

# Badania pali testowych

■ mgr. inż. Piotr Rychlewski, Instytut Badawczy Dróg i Mostów

Wykonywanie pali testowych i ich badanie przed rozpoczęciem budowy całości fundamentu jest w polskich warunkach wykonywane sporadycznie. Wynika to z kilku przyczyn: trudności we wpisaniu takiego działania w kontrakt realizowany zgodnie z ustawą o zamówieniach publicznych, trudności ze zmianą projektu palowania uwzględniającą wyniki badań testowych, zwykle napiętego harmonogramu i braku czasu na tego rodzaju działania dodatkowe, a także konieczności wyasygnowania na starcie dodatkowych środków.

Wobec tego pale projektuje się najczęściej wyłącznie na podstawie współczynników technologicznych, oporów pod podstawą i na poboczniczy zaczerpniętych z normy palowej PN-B-02482:1983 *Fundamenty budowlane. Nośność pali i fundamentów palowych*, bez ponoszenia dodatkowych wydatków na pale testowe. Jednak oszczędność czasu i pieniędzy inwestora może okazać się pozorna. Norma palowa ma już dzisiaj 26 lat. O konieczności jej aktualizacji napisano wiele publikacji. Brak jest w niej wielu nowych technologii palowych i dopasowana jest do polskich możliwości sprzętowych sprzed ćwierć wieku. W związku z tym wydaje się, że wcześniejsze przeprowadzenie prób (wykonanie próbnych obciążeń pali testowych) jest zgodne z elementarnymi zasadami racjonalnego projektowania.

Działanie takie generuje dwie zasadnicze korzyści: zwiększa bezpieczeństwo konstrukcji przez wcześniejsze zidentyfikowanie problemów mogących pojawić się w trakcie wykonywania pali lub powodujących niedostatki nośności pali oraz umożliwia optymalizację fundamentu (lepsze dopasowanie rzeczywistej nośności pali do występujących obciążeń). Ponadto z punktu widzenia formalnego obowiązek wcześniejszego wykonania pali testowych wynika z normy PN-B-02482 pkt 7.4. *Terminy przeprowadzania próbnych obciążeń*; pkt 7.4.1. *Zasady ogólne*, zawiera następujące wymagania: „Sprawdzenie nośności pali próbnie obciążanych należy przeprowadzać przed przystąpieniem do wykonywania pozostałych pali. Gdy liczba pali w obiekcie jest mniejsza niż 100, sprawdzenie można przeprowadzić podczas realizacji robót fundamentowych. Należy wówczas zapewnić taką kolejność wykonywania pali, aby w przypadku stwierdzonej zmiany nośności można było wykonać niezbędne zmiany w projekcie palowania.”

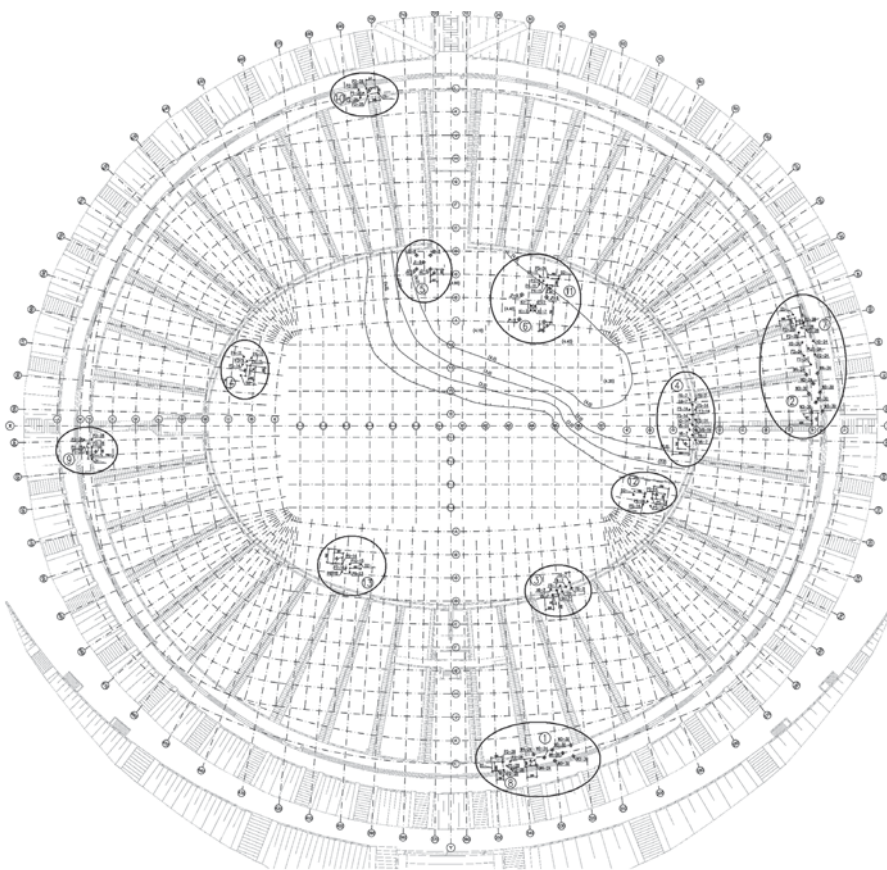
Na budowie Stadionu Narodowego w Warszawie liczba pali była znacznie większa niż 100 i dlatego, zgodnie z normą i zdrowym rozsądkiem, wykonano pale testowe i przeprowadzono ich obciążenia. Na tak dużej budowie, gdzie

długość pali przekracza 100 km, przeprowadzanie prób jest szczególnie celowe, ponieważ nawet niewielka zmiana w projekcie (np. skrócenie pali o 1 m) generuje gigantyczne oszczędności.

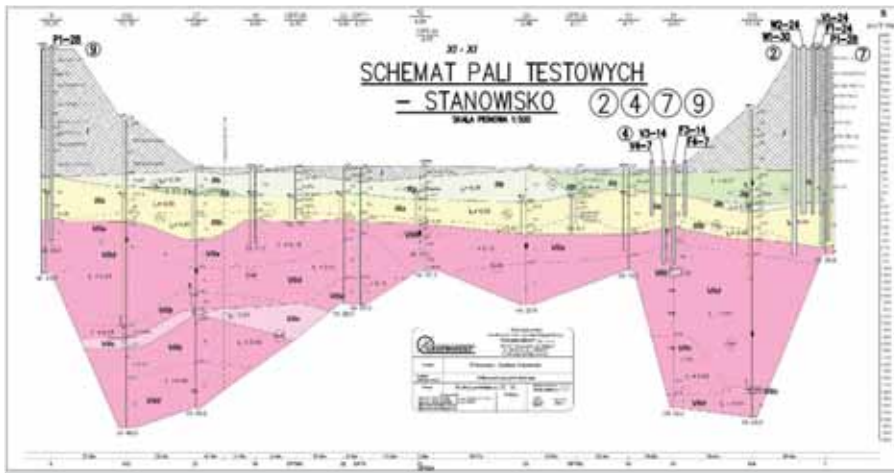
Ze względu na to, że znaczna część obiektu, łącznie z dachem jako najbardziej odpowiedzialną częścią konstrukcji, będzie posadowiona na palach, które w znacznej części przechodzą przez nasypy korony stadionu, we wstępnych obliczeniach projektant miał duże problemy z obliczeniowym wykazaniem potrzebnej nośności pali. Również ze względu na te nasypy i dużą zmienność warunków gruntowych niezbędne były próby technologiczne sprawdzające wykonalność przewidywanych w projekcie rozwiązań. Ponadto projektant poszukiwał rozwiązania zastępczego dla wymiany gruntów, zmniejszenia długości pali oraz alternatywy dla pali wielkośrednicowych. Jednocześnie harmonogram prac projektowych

umożliwił w ich trakcie przeprowadzenie dodatkowych badań.

Dlatego przewidziano badania próbne, które obejmowały: obciążenia kolumn betonowych z podstawą żwirową w rejonie występowania warstw namulów (4 sztuki – obciążenie płytą całej grupy); obciążenia kolumny jet grouting w pobliżu istniejącego tunelu; badania pali prefabrykowanych w różnych sekcjach stadionu z podstawą w warstwach piasków i ilów (8 badań statycznych, 48 dynamicznych oraz 3 obciążenia poziome); badania pali wielkośrednicowych Ø 1000 z iniekcją podstawy w najbardziej niekorzystnych warunkach gruntowych z podstawą w piaskach (2 sztuki, długość 24 m) i ilach (2 sztuki, długość 30 m) oraz jedno badanie siłą poziomą; badania pali Vibrex (4 sztuki) i Fundex (5 sztuk) różnych długości i średnic jako alternatywa pali wielkośrednicowych i prefabrykowanych.



Ryc. 1. Lokalizacja pali testowych



Ryc. 2. Jeden z przekrojów zawierający przykładowe stanowiska badawcze

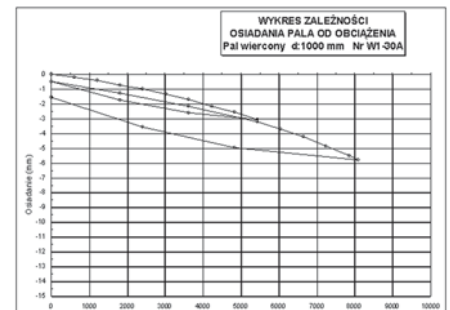
Lokalizacja pali testowych musiała spełniać dwa warunki. Po pierwsze, wykonane pale nie powinny kolidować z docelowym fundamentem, a po drugie, pale należało wykonać w różnych częściach stadionu, tak aby wykonane były w różnych warunkach gruntowych. Na rycinie 1 pokazano lokalizację stanowisk badawczych. Na rycinie 2 przedstawiono przykładowy schematyczny przekrój przez stanowiska badawcze. Pale różnych technologii wykonywane były generalnie w różnych miejscach. Jedynie stanowiska 2 i 7 znajdowały się bardzo blisko siebie i możliwe jest porównanie zachowania się różnych pali

w podobnych warunkach gruntowych. Krzywe osiadań pali ze stanowisk 2 i 7 (rycina 2 – po prawej stronie na koronie stadionu) pokazano na rycinach 3–7.

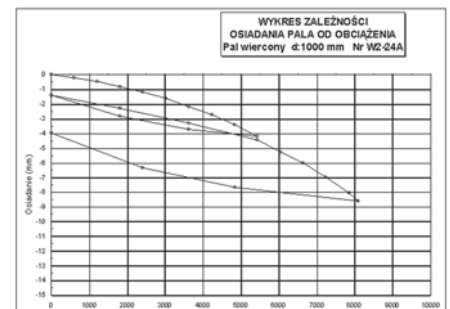
Próbné obciążenia i ich interpretacja przeprowadzane były przez wykonawców pali (firmy Aarsleff i Energopol Szczecin). W tabelicy 1 podano wyniki próbných obciążeń. Interpretacji wyników dokonano zgodnie z normą PN-B-02482:1983 na podstawie krzywej przemieszczenie – obciążenie. W pierwszej części tabelicy znajdują się wyniki badań pionowych na wciskanie, a w drugiej obciążeń poziomych.

Tab. 1. Wyniki próbných obciążeń pali testowych

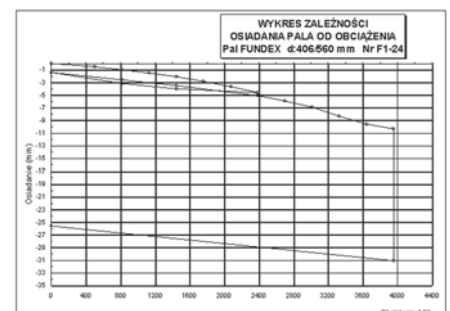
Długość pala [m]	Rodzaj pala			
	Prefabrykowany 400 x 400	Vibrex Ø 508/560	Fundex Ø 406/560	Wielkośrednicowy Ø 1000
nośność pala na wciskanie wynikająca z próbnego obciążenia (k × N°) [kN]				
7		2145	2145	
		2145	1966	
9	1150			
	1290			
12,3			2816	
14		2816	2816	
16	1634			
23	1901			
24		3014	2386 (złamanie pala)	6040
				6644
26	1634			
28	2215			
	2418			
30				6040
30				6040
Obciążenia poziome				
siła odpowiadająca przemieszczeniu głowy 10 mm [kN]				
7		119	130	
24				720
28	46			
	70			
	73			



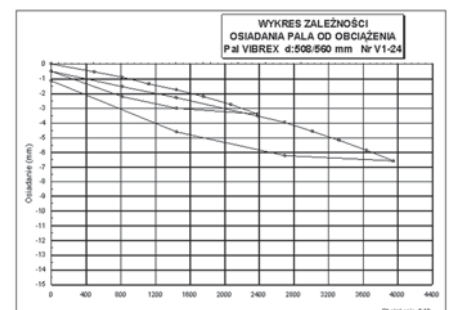
Ryc. 3. Krzywa osiadanie – obciążenie pala Ø 1000 L = 30 m



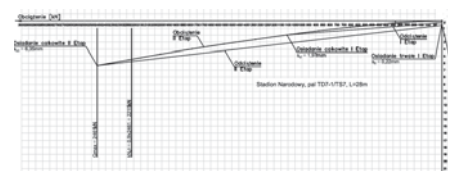
Ryc. 4. Krzywa osiadanie – obciążenie pala Ø 1000 L = 24 m



Ryc. 5. Krzywa osiadanie – obciążenie pala Fundex z iniekcją Ø 406/560 L = 24 m



Ryc. 6. Krzywa osiadanie – obciążenie pala Vibrex Ø 508/560 L = 24 m



Ryc. 7. Krzywa osiadanie – obciążenie pala prefabrykowanego 400x400 L = 28 m



Ryc. 8. Odkryte pale prefabrykowane

W związku z tym, że po wykonaniu pali testowych na koronie stadionu platforma robocza została obniżona, możliwe były oględziny odkopanych pali testowych. Na rycinie 8 pokazano odkryte pale prefabrykowane, a na rycinie 9 pale wielkośrednicowe  $\varnothing 1000$ .

#### Wnioski

Próbne palowanie jest jednym z najrozsądniejszych wydatków, szczególnie na budowie, gdzie długości pali liczy się w kilometrach. Jeśli projektant będzie miał odwagę uwzględnić jego wyniki w projekcie wykonawczym, oszczędności będą znacznie większe od poniesionych wydatków. Ponadto próby pozwolą zidentyfikować część pułapek czyhających na przyszłego wykonawcę palowania. Drobne przykrości, które spotykają wykonawców pali na etapie wstępnym (np. na stadionie uszkodzony wodociąg, trudności w przewierceniu lub przebiciu niektórych warstw gruntu, problemy z dostawą betonu itp.) i które są na początku rozwiązywane w małej skali, pozwolą przygotować się i uniknąć dużych kłopotów w przyszłości.

Wykonanie pali testowych na Stadionie Narodowym pozwoliło zmniejszyć przewidzianą do wykonania liczbę metrów pali oraz bezpiecznie posadzić konstrukcję obiektu. Wyniki obciążeń były bardzo dobre i w przypadku np. pali wielkośrednicowych z iniekcją podstawy wykazały wymaganą nośność w warstwach nasypów, co było trudne na podstawie tylko normy palowej.

REFERAT ZOSTAŁ WYGŁOSZONY NA SEMINARIUM *FUNDAMENTY PALOWE 2009* ORAZ WYDRUKOWANY W MATERIAŁACH KONFERENCYJNYCH



Ryc. 9. Odkryte pale wielkośrednicowe