

Pomiary geodezyjne w próbnym obciążeniu pali fundamentowych

Mierzymy osiadania pali

JAROSŁAW RYBAK, STEFAN ZAREMBA

Sprawdzenie w terenie nośności pali fundamentowych metodą próbnego obciążenia stanowi podstawowy sposób weryfikacji obliczeń konstrukcji. Ze względu na konieczność przeprowadzania kontroli przemieszczeń wielu punktów na głowicy obciążanego pala oraz pomiaru odkształceń samego układu obciążającego i pali kotwiących niezbędne jest dublowanie za pomocą niwelacji tradycyjnych pomiarów rejestrowanych czujnikami zegarowymi.

Podana w Polskiej Normie PN-83/B-02482 [1] procedura przeprowadzania badania nośności pali oraz zasady interpretacji wyników osiadań pozwalają na ocenę poprawności metody projektowania i jakości wykonania pali. Wyniki próbnego obciążenia stanowią podstawę do wprowadzenia ewentualnych zmian w projekcie palowania. Wiarygodność wyników osiadań musi być wysoka, ponieważ badania są czasochłonne, a koszt przeprowadzenia próbnego obciążenia jednego pala przekracza niejednokrotnie kwotę 10 000 zł. Z kolei zainstalowanie dodatkowego stanowiska badawczego jest często niemożliwe ze względu na niedostateczne zbrojenie i niewystarczającą nośność na wyciąganie innych pali kotwiących.

Podstawowymi urządzeniami pomiarowymi stosowanymi do pomiaru przemieszczeń pionowych są najczęściej czujniki zegarowe o dokładności odczytu 0,01 mm. Przymocowane są one do sztywnej bazy wykonanej zazwyczaj ze stalowych profili. Baza taka powinna być zakotwiona poza strefą wpływu osiadania obciążanego pala oraz poza zasięgiem deformacji terenu powstałych w wyniku podnoszenia pali kotwiących. W literaturze [6, 7] zasygnalizowano, że w przypadku pali obciążanych znacznymi siłami osiadania pomierzone w taki sposób są niekiedy znacznie zniekształcone ze względu na przemieszczenie bazy mocowania czujników. Baza ta znajduje się bowiem w sięgającej kilku metrów przestrzeni deformacji wokół badanego pala. Błędy w takim przypadku mogą dochodzić nawet do 10% wartości osiadania zarejestrowanych wartości, co podważa sens wykonywania pomiarów z maksymalną dokładnością, na jaką pozwalają czujniki. Prowadzić to może do błędnej analizy nośności pali.

Zastosowanie równoczesnego pomiaru niwelatorem o odpowiednio wysokiej dokładności, traktowanego jako uzupełnienie rejestracji przemieszczeń czujnikami zegarowymi, pozwala na wyeliminowanie błędów systematycznych wynikających z niestabilności układu odniesienia [8]. Należy zaznaczyć, że udział geodety w tego typu badaniach jest nieodzowny.



Pomiar osiadania pali

Zgodnie z normami

Sposób przeprowadzania próbnych obciążeń pali oraz zasady interpretacji wyników przedstawione są w punktach 7 i 8 Normy [1]. Przepisy normowe, dotyczące zasad określania liczby i wyboru miejsca pali próbnie obciążanych, nakazują wykonanie badań praktycznie dla każdego obiektu posadowionego na palach. Przy regularnym układzie warstw gruntu w podłożu próbnemu obciążeniu należy poddać: dwa pale na pierwsze 100 pali i co najmniej jeden pal na każde kolejne rozpoczęte 100 pali. Gdy warunki gruntowe są zróżnicowane, badaniu poddaje się tzw. pale reprezentatywne w obrębie każdej strefy geotechnicznej. Podobnie postąpić należy w przypadku pali pod fundamenty o małych dopuszczalnych osiadaniach. Odstąpienie od próbnych obciążeń możliwe jest jedynie w wypadku, gdy liczba pali na obiekcie nie przekracza 25 sztuk, a nośność podłoża i wykonawstwo pali nie budzą zastrzeżeń.

Dodatkowe wymagania dla pali wielkośrednicowych określa Polska Norma [2]. W typowaniu pali do próbnych obciążeń pod uwagę bierze się głównie obliczeniowe obciążenie pala, możliwość wykorzystania sąsiednich pali do kotwienia układu obciążającego oraz uwarunkowania czasowe (konieczność uzyskania niezbędnej wytrzymałości przez tworzywo pala). Szereg praktycznych zaleceń dotyczących zarówno sposobu przeprowadzania próbnych obciążeń, jak i interpretacji wyników osiadań dla różnych technologii wykonania pali znaleźć można w publikacjach [3, 4, 5, 6, 7].

Procedurę badania nośności pali opisuje *Projekt próbnych obciążeń*, będący integralną częścią projektu palowania. Powinien on zawierać opis sposobu przeprowadzenia próbnych obciążeń. Dodatkowo wymaga się określenia:

- wartości maksymalnych obciążeń obliczeniowych pali,
- projektowanych wartości obciążeń próbnych,
- dopuszczalnych przemieszczeń fundamentu na palach,
- sposobu uchwycenia głowicy pali w fundamentcie.

Dla geodety szczególnie istotny jest wymóg określenia przez projektanta konstrukcji dopuszczalnych osiadań fundamentu. Z praktyki wiadomo, że jest to często zaniebdywane, w związku z czym nie można porównać osiadań pomierzonych z obliczonymi.

Gdy próbne obciążenia poprzedzają rozpoczęcie właściwych robót palowych, projekt powinien zawierać wykaz i usytuowanie pali próbnych. W praktyce próbne obciążenia wykonywane są najczęściej w trakcie robót palowych. Powoduje to konieczność zaprogramowania badań w taki sposób, aby w przypadku stwierdzenia nośności odbiegającej od założonej w projekcie możliwe było dokonanie niezbędnych zmian w projekcie palowania.

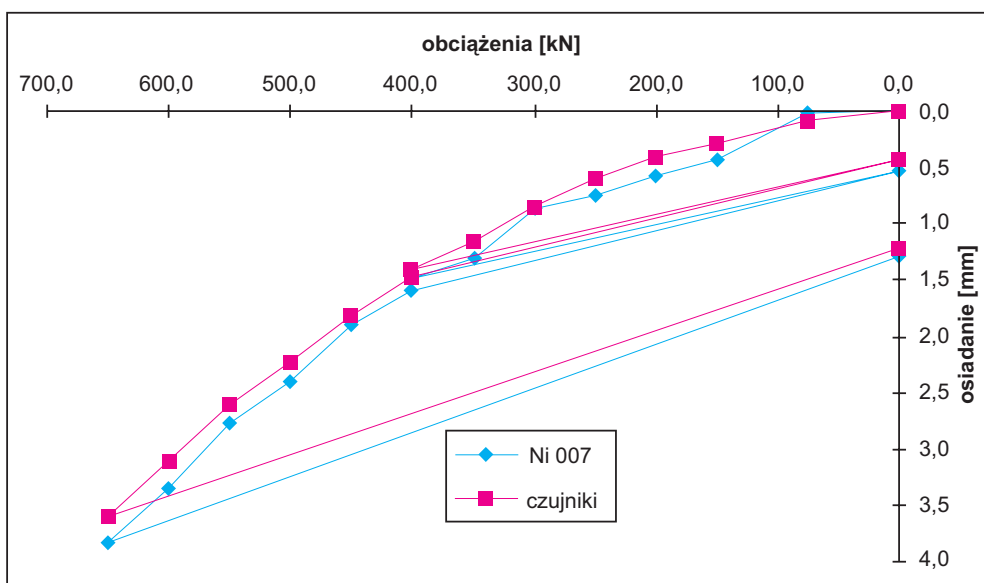
Urządzenia pomiarowe powinny zapewniać dokładność pomiaru przemieszczeń w granicach $\pm 0,05$ mm oraz pomiar sił z dokładnością 1% wartości Q_{\max} (Q_{\max} – maksymalna siła obciążająca pal w trakcie badania). Zestaw obciążający

zawierający: siłownik, pompę, przewody ciśnieniowe i manometr musi być wycechowany jako całość, a dokumenty cechowania powinny być udostępnione komisji prowadzącej próbne obciążenia.

Wszystkie urządzenia pomiarowe stosowane w trakcie badania powinny mieć ważne atesty. Wymóg ten jest często lekceważony, ale w sytuacjach konfliktowych ich brak może prowadzić do podważenia wartości wyników próbnego obciążenia.

Próbne obciążenia pali

Optymalne zaplanowanie próbnego obciążenia pala wymaga spełnienia wymagań normowych, a zarazem uzyskania odpowiedniej dokładności i wiarygodności wyników pomiarów. Wybór odpowiednich technik pomiarowych powinien zapewnić przeprowadzenie badania w możliwie najkrótszym czasie i przy minimalnych kosztach.



Rys. 1. Wykresy osiadania pala K-2 w funkcji obciążenie/osiadanie

Zgodnie z pkt. 7.1.3. Normy [1] próbne obciążenie siłą wciskającą pal należy projektować dla wartości obciążenia równej $1,5N_t$ (N_t – obliczeniowa nośność pala). W opracowaniach [5, 8] proponuje się stosować następujące wytyczne dla przebiegu próbnego obciążenia:

- kolejne stopnie obciążenia powinny wynosić $(1/8-1/12) N_t$ zachowując przy tym warunek, aby stopnie te odpowiadały pełnym działkom skali manometru,
- odczyty osiadań (mierzone czujnikami) należy prowadzić do czasu stwierdzenia umownej stabilizacji, tzn. do chwili, gdy w dwóch kolejnych, 10-minutowych okresach przyrost osiadań nie będzie większy niż 0,05 mm,
- dodatkowo należy prowadzić pomiary osiadań geodezyjną metodą niwelacji o podwyższonej dokładności (zmierzyć przemieszczenia głowicy badanego pala oraz pali kotwiących),
- po uzyskaniu obciążenia pala odpowiadającego wartości obciążenia obliczeniowego Q_t pal należy odciążyc, mierząc jego trwałe odkształcenie,
- ponownie należy pal obciążyć do wartości $1,5N_t$, a następnie, po jego całkowitym odciążeniu, pomierzyć końcowe, trwałe odkształcenie pala.

Obecnie najczęściej stosowanym sposobem obciążania pala siłą pionową jest zastosowanie siłownika hydraulicznego i konstrukcji przenoszącej siłę obciążającą na pale kotwiące.

Układ obciążający składa się z następujących części: belki układu obciążającego, elementów łączących układ obciążający z palami kotwiącymi oraz konstrukcji układu odniesienia dla realizacji osiadań pali. W skład układu obciążającego wchodzi ponadto: siłownik hydrauliczny z pompą i manometrem oraz zestaw dwóch (lub więcej) czujników zegarowych do pomiaru osiadań z dokładnością 0,01 mm. Punkty podparcia „bazy” do zamocowania czujników muszą być umieszczone w odległości nie mniejszej niż 4D (D – średnica pala).

Czujniki zegarowe stosowane w badaniu muszą mieć odpowiednio duży zakres pomiarowy. W przypadku przechYLENIA głowicy pala rejestruje się także jej obrót. Skutkuje to podniesieniem płytek, na których oparte są czujniki. Może to doprowadzić do uszkodzenia bazy lub czujników. Niejednokrotnie, przy dużych osiadaniach pali, zachodzi konieczność stosowania podkładek i przestawiania czujników w trakcie badania, co może spowodować błędy w pomiarze osiadań. Autorzy artykułu [4] omawiają ten problem i podają konkretne wartości błędów (zazwyczaj bardzo duże) w analizowanych wynikach badań terenowych. Podczas stosowania metody niwelacyjnej problem ten nie występuje, co stanowi jej ceną zaletę. Pomiar niwelatorem pozwala ponadto na odtworzenie przerwanych pomiarów i uzyskanie ciągłości badania, co jest warunkiem właściwej interpretacji wyników takich badań.

Przeprowadzone badania

W latach 1995-98 wykonano szereg próbnych obciążeń pali uformowanych w technologii *jet-grouting* (wysokociśnieniowej iniekcji strumieniowej) oraz mikropali iniekcyjnych. Wyniki próbnych obciążeń stanowiły sprawdzenie obliczeń nośności w projekcie palowania, a w pewnych przypadkach były podstawą do wprowadzenia zmian w projektach palowania [8].

Na przykład pal próbny K-2, wykonany w technologii *jet-grouting* miał średnicę $D = 0,5$ m i projektowany był na obciążenia obliczeniowe $Q_r = 400$ kN. Podstawowymi urządzeniami pomiarowymi do rejestrowania osiadań były czujniki zegarowe o zakresie pomiaru przemieszczeń 50 mm i dokładności odczytu 0,01 mm. Zamocowano je na sztywnej bazie utwierdzonej w odległości ponad 2,0 m (4 średnice pala) od osi pala obciążanego i osi pali kotwiących. Rejestrowano wartości **osiadań natychmiastowych** (dla kolejnych stopni obciążenia) oraz przyrosty osiadań w kolejnych, 10-minutowych okresach. Równolegle prowadzono geodezyjny pomiar osiadań dwóch punktów na głowicy pala (końcówki prętów stalowych zabetonowanych w głowicy) stosując niwelator Ni 007 oraz łąkę 1,5 m z taśmą inwaryową. Sprzęt ten zapewnia odpowiednią dla tych celów dokładność określania osiadania pala. Pomiar geodezyjny głowicy obciążanego pala ograniczono do **osiadań ustalonych** dla kolejnych stopni obciążenia.

Wykres osiadania pala K-2 (rys. 1) pokazuje minimalną, ale charakterystyczną różnicę pomiędzy danymi pomierzonymi za pomocą czujników a niwelacją. Wyniki pomiaru osiadań



Sprzęt geodezyjny firm: NIKON, TOPCON, SOKKIA, BERGER, BHI i innych



Sprzęt kreślarski firm: STANDARDGRAPH-MECANORMA, KIN, ROTRING, STAEDTLER



Światłokopiarki firm: REGMA, NEOLT

Materiały eksploatacyjne firm: REGMA, RENKER



Materiały do ploterów – papiery, folie, kalki
Folie kserograficzne



Pomocniczy sprzęt geodezyjny: ruletki, piony, węgielnice, łąty, tyczki, lustra, statywy



GEOZET S.C.

01-018 Warszawa, ul. Wolność 2a, tel./faks 838-41-83

mierzone niwelatorem są tutaj regularnie większe od pomiarów czujnikami. Sygnalizuje to przemieszczenie (lub ugięcie) bazy pomiarowej czujników. Otrzymane w tym przypadku różnice nie są duże (ok. 0,2 mm) i nie wpływają zasadniczo na wyznaczoną nośność pala.

Bardzo istotny z punktu widzenia wymagań normowych był bieżący geodezyjny pomiar przemieszczeń głowic pali kotwiących. To zaniechane często zalecenie Normy [1] pozwala (przy stwierdzonych wartościach uniesień pali kotwiących nie przekraczających 5 mm) na przyjęcie 100% projektowanej nośności na obciążenia z konstrukcji. Gdy nie prowadzi się takiego pomiaru, można dopuścić jedynie 80% tej wartości. Ponieważ rejestrowano przemieszczenia wielu punktów (głowic pali wyciąganych), pomiar geodezyjny nie wymagający konstruowania oddzielnej bazy pomiarowej był praktycznie niezastąpiony.

Przedstawiony przykład potwierdza zawarte w pracach [6, 7] sugestie, że przemieszczenie bazy czujników zegarowych w trakcie badania może znacznie przekroczyć wymaganą dokładność pomiaru osiadań. W rezultacie przyjęcie zaniżonych pomierzonych osiadań może prowadzić do błędnych wniosków z badań lub całkowicie je zdyskredytować.

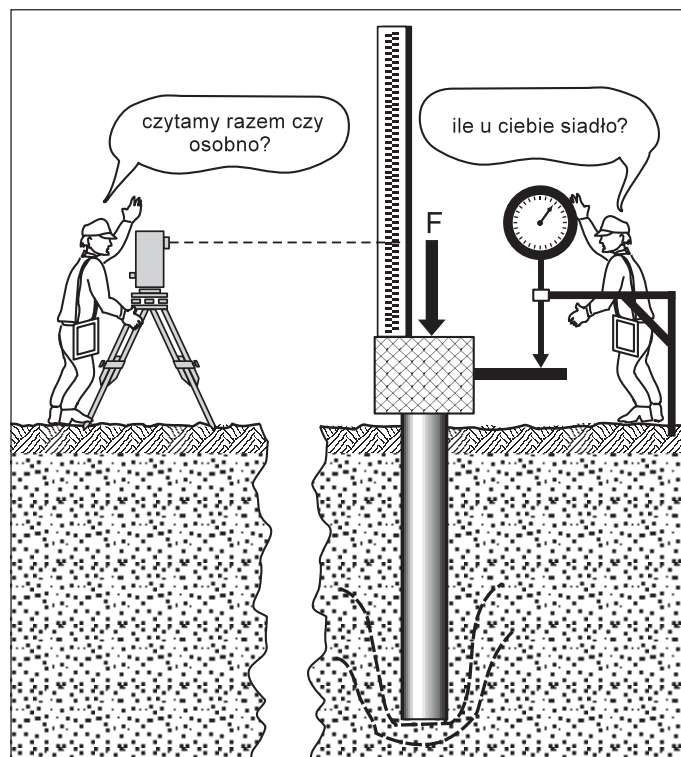
Wnioski

Badanie nośności pali metodą próbnych obciążeń jest wymogiem określonym polskimi normami i stanowi podstawowy sposób weryfikacji obliczeń statycznych zawartych w projekcie palowania. Prowadzenie takich badań wymaga jednak dokładnego planowania i starannego przeprowadzenia pomiaru. Norma [1] nie podaje wprost, jakie urządzenia pomiarowe należy stosować. Na podstawie własnych doświadczeń autorów [8] oraz wniosków z publikacji [5, 6, 7] można zalecić następujący tok postępowania:

- przemieszczenia osi głowicy obciążanego pala rejestrować czujnikami zegarowymi (min. 2-3 szt.). Pozwalają one na pomiar osiadań natychmiastowych po każdorazowym zwiększeniu obciążenia i po kolejnych 10-minutowych okresach, aż do ustabilizowania się osiadań pala,

- za pomocą niwelacji o podwyższonej dokładności należy prowadzić równoległą kontrolę osiadań ustabilizowanych pala (w kolejnych etapach ich obciążenia) oraz rejestrować ewentualne podnoszenia głowic pali wyciąganych. Taka kombinacja metod pomiarowych pozwala na osiągnięcie dużej niezawodności pomiarów, niezależnie od ewentualnych deformacji terenu wokół pala, spowodowanych jego osiadań czy też innymi czynnikami (praca ciężkiego sprzętu, wibracje). Metoda niwelacyjna zapewnia większą niezawodność poprzez możliwość dowiązania pionowego do punktów stałych leżących poza zasięgiem przestrzeni deformacji wokół stanowiska badawczego (należy stosować min. 2-3 punkty odniesienia). Przy stosunkowo małym koszcie, w krótkim czasie, pozwala kontrolować jednocześnie przemieszczenia wielu punktów głowicy obciążanego pala, pali kotwiących, a nawet ugięcia belek układu obciążającego.

Autorzy artykułu [4] podają, że w prowadzonych badaniach porównawczych wyniki osiadań rejestrowanych metodą geodezyjną były nawet do 50% wyższe od wartości wyznaczonych czujnikami zegarowymi. Tak olbrzymie różnice nie wynikały oczywiście z niedokładności przyrządów, lecz z przemieszczenia źle umocowanej bazy pomiarowej czujników. Wykrycie tych błędów byłoby niemożliwe bez prowadzonych równoległe obserwacji geodezyjnych.



Metoda niwelacyjna daje możliwość dowiązania pionowego do punktów stałych leżących poza zasięgiem przestrzeni deformacji wokół stanowiska badawczego

Podobne kombinacje metod rejestracji przemieszczeń i odkształceń znajdują zastosowanie przy innych badaniach nośności podłoża lub konstrukcji (np. przy próbnych obciążeniach mostów) i warto je stosować w praktyce.

Ilustracje ze zbiorów autorów

Jarosław Rybak jest pracownikiem Zakładu Fundamentowania Instytutu Geotechniki i Hydrotechniki Politechniki Wrocławskiej

dr Stefan Zaremba jest pracownikiem Zakładu Geodezji Instytutu Geotechniki i Hydrotechniki Politechniki Wrocławskiej

Literatura:

- [1] PN-83/B-02482 *Fundamenty budowlane. Nośność pali i fundamentów palowych*;
- [2] PN-78/B-02483 *Pale wielkośrednicowe wiercone. Wymagania i badania*;
- [3] **Gwizdała K., Motak E.**, *Ocena krzywej osiadania wysokociśnieniowych pali iniekcyjnych*, XLI Konferencja Naukowa KILiW PAN i KN PZITB, Kraków – Krynica 1996;
- [4] **Piasek Z., Sanecki L.**, *Analizy eksperymentalnych pomiarów systemowych przy próbnych obciążeniach pali fundamentowych*, XIII Konferencja Katedr i Zakładów Geodezji Wydziałów Niegeodezyjnych, Szklarska Poręba 1998;
- [5] **Rzeźniczak J., Ratajczak G., Rybak Cz.**, *Metodyka i wytyczne do wykonania próbnych obciążeń pali jet grouting na budowie Collegium Polonicum w Ślubicach*, Politechnika Poznańska, Instytut Inżynierii Ładowej, 1996;
- [6] **Wolski B.**, *Problemy geodezyjne w geotechnicznych badaniach podłoża gruntowego*, XII Konferencja Katedr i Zakładów Geodezji Wydziałów Niegeodezyjnych, Białystok – Supraśl 1997;
- [7] **Wolski B.**, *Optymalizacja programu obserwacji w metodzie próbnych obciążeń na przykładzie badań geotechnicznych*, Konferencja: „Problemy automatyzacji w geodezji inżynierskiej”, Warszawa 1997;
- [8] *Sprawozdania z próbnych obciążeń pali*, Materiały własne z lat 1995-1998.