

Zbigniew Muszyński, Jarosław Rybak***

ZASTOSOWANIE GEODEZYJNYCH METOD POMIAROWYCH W BADANIACH NOŚNOŚCI PALI

1. Wprowadzenie

Próbné obciążenia statyczne pali fundamentowych, wykonywane metodą belki odwróconej z wykorzystaniem sąsiednich pali jako pali kotwiących albo z zastosowaniem balastu, stanowiły dotychczas podstawową procedurę kontrolną nośności. Choć aktualnie w badaniach pali wbijanych coraz szerzej wprowadzane są testy dynamiczne, to badania statyczne zgodnie z [11] stanowią wciąż podstawowy test referencyjny. Norma europejska [12] promuje wręcz wykonywanie próbných obciążeń jako równoprawną metodę projektowania pali. Metoda ta, zwana obserwacyjną lub aktywnym projektowaniem, pozwala na najwłaściwszy dobór pali pod obciążenia. Procedura taka jest jednak obciążona istotnym mankamentem: ostateczne rozliczenie robót musi opierać się na kosztorysie powykonawczym, co jest trudne do zaakceptowania przez inwestorów. Badanie statyczne wykonane zgodnie z normami [10] lub [2] pozwala na weryfikację założeń projektowych, a zarazem na kontrolę jakości robót palowych. Należy dodać, że kontrola ta prowadzona jest w dość ograniczonym zakresie – statycznym badaniom nośności poddawany jest nieco ponad 1% wykonanych pali.

Istotą próbnego obciążenia statycznego w myśl normy [10] jest obciążanie pala kolejnymi stopniami do siły znacznie przekraczającej jego obliczeniowe obciążenie. W trakcie obciążania rejestruje się na bieżąco przemieszczenia pala. Jako zasadę przyjęto w normie [10], że kontynuacja obciążenia możliwa jest dopiero po osiągnięciu stabilizacji osiadań przy aktualnym obciążeniu. Jeżeli w kolejnych okresach 10-minutowych przemieszczenie pala nie przekracza 0,05 mm, to można mówić o stabilizacji. Interpretację wyników badań prowadzi się analizując (zgodnie z normą) przebieg krzywej obciążenie–osiadanie. Poprawna interpretacja badań zależy zatem w istotnym stopniu od dokładności pomiaru zarówno siły obciążającej pal, jak i jego przemieszczenia (osiadania). Pomiar siły wykonywany jest bezpośrednio za pomocą dynamometrów lub pośrednio przez pomiar ciśnienia

* Politechnika Wroclawska, Instytut Geotechniki i Hydrotechniki, Zakład Budownictwa Wodnego i Geodezji

** Politechnika Wroclawska, Instytut Geotechniki i Hydrotechniki, Zakład Fundamentowania

oleju w siłowniku hydraulicznym wywierającym obciążenie na pal. W pracy [6] zwrócono uwagę na problemy z wiarygodnością tak pozyskanych danych. Największe ryzyko noszą błędy systematyczne związane z niedokładnością hydraulicznego układu obciążającego (siłownika i manometrów) lub pomiarowego (czujników osiadań). Błędem tego typu można jednak zapobiegać, przeprowadzając okresowe kalibracje tych urządzeń. Znacznie trudniejsze do wychwycenia są odkształcenia bazy z czujnikami do rejestracji osiadań, zachodzące w czasie próbnego obciążenia i spowodowane np. wpływami termicznymi. Zaobserwowano, wynikające z nasłonecznienia, różnice we wskazaniach osiadań rzędu 0,1 mm, co jest znaczącym zaburzeniem w sytuacji wymaganej dokładności pomiaru rzędu 0,01 mm. Drugą przyczyną poważnych błędów systematycznych bywają przemieszczenia (lub ugięcia) bazy pomiarowej z czujnikami, wynikające z możliwego osiadania lub wypiętrzania terenu wokół badanego pala [19, 21]. Gdy obciąża się pale siłami dochodzącymi do kilku tysięcy kN, strefa deformacji może sięgać od kilku do kilkunastu metrów od pala [22]. Strefę tę może dodatkowo powiększać obciążenie dynamiczne spowodowane sąsiedztwem tras komunikacyjnych [7]. Nawet w korzystnych warunkach gruntowych przemieszczenia podłoża w punkcie podparcia bazy (położonym zbyt blisko obciążanego pala) mogą przekraczać 1 mm, przy kilkunastu milimetrach całkowitego osiadania pala [19, 21]. W pracach [15, 22] podaje się, że błędy spowodowane niestałością bazy pomiarowej czujników mogą dochodzić do 10% całkowitej wartości osiadań pala, a w skrajnych przypadkach nawet do 50%. Przykłady istotnych różnic w wielkościach osiadań rejestrowanych czujnikami zegarowymi i przy zastosowaniu niwelacji precyzyjnej podano w pracy [8]. Podobne różnice (choć w mniejszej skali) opisano w pracach [15, 16, 17]. Aby wyeliminować wpływ niestabilności bazy pomiarowej z czujnikami, określa się minimalne odległości oparcia bazy od poboczniczy pala próbnie obciążanego (wg PN – 2 m lub 4 średnice pala). Zaleca się również stosowanie belek drewnianych do konstrukcji układu odniesienia (są mniej podatne na wpływy termiczne), przykrywanie stanowiska badawczego namiotem eliminującym nasłonecznienie lub prowadzenie badań w nocy. Wszystkie te zalecenia pozostawiają jednak margines niepewności co do jakości pomiaru. Najpewniejszym rozwiązaniem jest prowadzenie równoległego pomiaru przemieszczeń pala metodami geodezyjnymi. Taki pomiar, prowadzony w dowiązaniu do punktu wysokościowego położonego poza strefą deformacji, zapewnia zachowanie stabilnego układu odniesienia i gwarantuje wiarygodne wyniki. Pozwala również na odtworzenie wyników w sytuacji, gdy baza pomiarowa zostanie poruszona. Dodatkowo pomiary geodezyjne są niezastąpione przy pomiarach przemieszczeń głowic pali kotwiących.

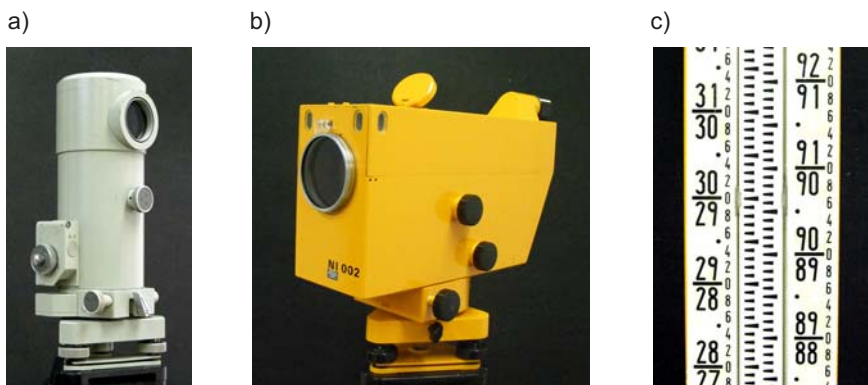
2. Geodezyjne metody pomiarowe

Metoda próbnych obciążeń jest stosowana w geotechnice głównie do badania nośności pali fundamentowych, stopnia zagęszczenia podłoża oraz badania nośności fundamentu konstrukcji [19]. Podstawowym zadaniem pomiarów geodezyjnych w tej metodzie jest rejestrowanie, w odpowiednich momentach przemieszczeń pionowych i/lub poziomych wybranych elementów konstrukcji. Czynności geodezyjne rozpoczynają się od stabilizacji w terenie punktów odniesienia (znaków pomiarowych), osadzonych poza strefą oddziaływania badanego obiektu, w miejscach zapewniających stałość wzajemnego położenia tych punktów. Identyfikacja stałych punktów odniesienia stanowi ważny etap opraco-

wania wyników pomiaru i jest opisywana m.in. w pracach [5, 13]. Badany obiekt reprezentowany jest przez odpowiednio dobraną liczbę punktów kontrolowanych. Przez przemieszczenie punktu rozumie się zmianę położenia punktu względem układu odniesienia zaistniałą w określonym odstępie czasu. Późniejsza, geodezyjna interpretacja przemieszczeń pozwala ocenić istotność przemieszczeń odnośnie do dokładności pomiaru oraz określić zachowanie elementów konstrukcji w przestrzeni. Zachowanie to może być opisywane przez kąty rotacji, pochylenie, składowe translacje, przez sprawdzenie, czy kontrolowany obiekt przemieszcza się jako bryła sztywna, czy też ulega odkształceniom. W dalszej części artykułu zostaną krótko scharakteryzowane ważniejsze metody pomiarowe stosowane w badaniach nośności pali fundamentowych.

2.1. Metody wyznaczania przemieszczeń pionowych

Precyzyjna niwelacja geometryczna jest odmianą klasycznej niwelacji geometrycznej, ale wykorzystuje instrumenty i techniki pomiarowe zapewniające uzyskanie dokładności rzędu $0,1 \div 0,3$ mm (szczegółowo opisane w [4]). Zasada niwelacji geometrycznej polega na tym, że oś celowa spoziomowanego niwelatora wyznacza w przestrzeni poziom geometryczny, który jest lokalnie prostopadły do kierunku siły ciężkości. Stawiając na mierzonych punktach pionowo ustawione łąty niwelacyjne, możemy odczytać z nich odległość tych punktów od poziomu geometrycznego niwelatora. W przypadku pomierzonej pary punktów różnica tych odległości określa różnicę wysokości tych punktów, czyli tzw. przewyższenie. W przypadku próbnych obciążeń pali fundamentowych punkty kontrolowane umieszcza się na głowicy obciążanego pala oraz na głowicach pali kotwiących. Punkty odniesienia stanowią repery stabilizowane w odpowiedniej odległości poza strefą deformacji. Pomiary niwelacyjne wykonuje się cyklicznie dla zadanych stopni obciążania i/lub przedziałów czasowych, wykonując odczyty z łąt ustawionych na punktach kontrolowanych i punktach odniesienia. Obecnie wykorzystuje się dwa rodzaje niwelatorów precyzyjnych: optyczne i cyfrowe. Najpopularniejsze niwelatory optyczne firmy Zeiss to modele Ni007 (o dokładności $\pm 0,7$ mm na 1 km podwójnej niwelacji precyzyjnej), Ni005 ($\pm 0,5$ mm/1 km), Ni002 ($\pm 0,2$ mm/1 km). Odczyty wykonuje się na łącie ze wstęgą inwarową (rys. 1).



Rys. 1. Niwelatory precyzyjne optyczne: a) Ni 007, b) Ni 002 oraz c) fragment łąty inwarowej

Niwelatory cyfrowe (elektroniczne) (rys. 2) wykonują odczyty automatycznie, przez analizę obrazu łąty kodowej, która ma wbudowaną taśmę inwarową z naniesionym kodem paskowym. Przykładem niwelatorów cyfrowych mogą być modele: DNA 03 firmy Leica Geosystems ($\pm 0,3$ mm/1 km), model DiNi 0.3 firmy Trimble ($\pm 0,3$ mm/1 km) oraz model DL-101C firmy Topcon ($\pm 0,4$ mm/1 km).

a)



b)



Rys. 2. Niwelatory precyzyjne cyfrowe: a) DNA 03, b) DiNi 0.3

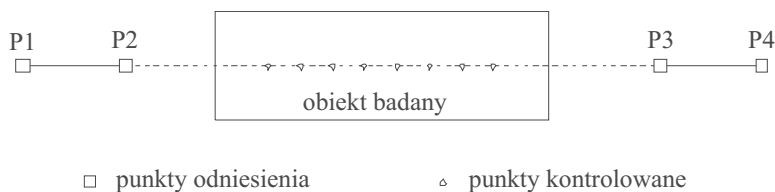
Precyzyjna niwelacja hydrostatyczna polega na określaniu względnych różnic wysokości za pomocą naczyń połączonych [23]. Niwelator hydrostatyczny składa się z dwóch cylindrów szklanych połączonych węzłem gumowym (o długości 20÷40 m) i wypełnionych wodą [1]. Różnica wysokości mierzonych reperów nie może przekraczać 30 cm. Pomiar wysokości zwierciadła wody w cylindrze wykonuje się, opuszczając specjalne ostrze przymocowane do skali mikrometru. Zetknięcie ostrza z lustrem wody sygnalizowane jest zapaleniem się żarówki. Odczyty wykonuje się jednocześnie w obu cylindrach, powtarza czterokrotnie i uśrednia do wartości 0,01 mm. Następnie powtarza się cały pomiar, zamieniając cylindry miejscami. Najnowocześniejsze niwelatory hydrostatyczne zamiast wody wykorzystują oleje silikonowe, natomiast poziom cieczy ustalany jest niezależnie trzema metodami, przy wykorzystaniu czujników ultradźwiękowych, dynamometrycznych i mikrofalowych. Możliwa jest pełna automatyzacja procesu pomiarowego i zdalne przesyłanie danych pomiarowych. Niwelacja hydrostatyczna jest obecnie najbardziej precyzyjną metodą wyznaczania przemieszczeń względnych w geodezji inżynierskiej [1].

Precyzyjna niwelacja trygonometryczna stosowana jest dość rzadko, umożliwia pomiar punktów znajdujących się w miejscach niedostępnych. Mierzone punkty sygnalizowane są specjalnymi tarczami celowniczymi. Punkty te obserwowane są ze specjalnych stanowisk (słupów betonowych pozwalających na wymuszone centrowanie instrumentu) oddalonych nie więcej niż 100 m. Pomiar kątów pionowych wykonuje się synchronicznie z kilku stanowisk tachimetrami elektronicznymi o dokładności pomiaru kąta pionowego

rzędu 2^{cc}. Odczyty powtarza się w kilku seriach pomiarowych. Odległość stanowiska od mierzonego punktu mierzy się dalmierzem lub wyznacza z wcięcia w przód. Osiągane dokładności wyznaczania przemieszczeń pionowych wahają się w granicach $\pm 0,5 \div 0,8$ mm dla odległości poniżej 50 m oraz $\pm 0,8 \div 1,5$ mm dla odległości do 100 m [1].

2.2. Metody wyznaczania przemieszczeń poziomych

Metoda aliniometryczna zwana też **metodą stałej prostej** – jest najczęściej stosowanym sposobem pomiaru przemieszczeń obiektów wydłużonych. Metoda ta pozwala wyznaczyć przemieszczenia poziome w kierunku prostopadłym do pionowej płaszczyzny odniesienia. Układ odniesienia stanowią zazwyczaj cztery punkty stabilizowane w linii prostej, po dwa z każdej strony badanego obiektu, poza strefą deformacji (rys. 3). Na ile to możliwe, usytuowanie punktów odniesienia dobiera się tak, aby punkty kontrolowane znajdowały się wzdłuż płaszczyzny odniesienia, w niewielkim od niej oddaleniu (do kilku centymetrów) i na podobnej wysokości. Na punkcie P2 przez wymuszone centrowanie ustawia się instrument, a na punkcie P3 – tarczę celowniczą. Do pomiaru wykorzystuje się specjalne, stabilne teodolity o dużym powiększeniu lunety zwane aliniometrami lub precyzyjne tachimetry elektroniczne. Pomiary wykonuje się w dwóch położeniach lunety, niekiedy w kilku seriach pomiarowych. Kontrolę wzajemnej stałości punktów odniesienia przeprowadza się, analizując ich przemieszczenia poziome oraz sprawdzając kąty poziome mierzone do ustalonych, dodatkowych punktów kierunkowych.

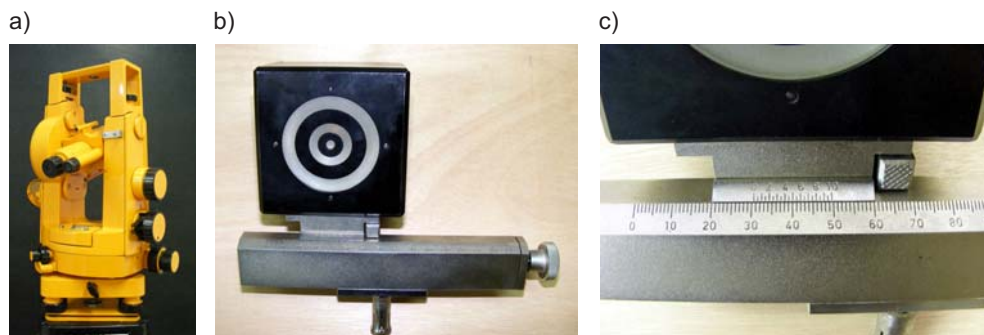


Rys. 3. Schemat metody aliniometrycznej

W zależności od sposobu pomiaru przemieszczenia poziomego w punktach kontrolowanych istnieją następujące odmiany opisywanej metody [1].

- a) Metoda aliniometryczno-geometryczna, w której pionową płaszczyznę odniesienia wyznacza oś celowa teodolitu lub aliniometru ustawionego w punkcie P2 i zorientowanego na punkt P3. Na każdym punkcie kontrolowanym umieszcza się specjalną tarczę celowniczą, którą za pomocą śruby mikrometrycznej przesuwają się, wprowadzając w linię celową (rys. 4). Wartości przemieszczeń poziomych w kierunku poprzecznym do linii odniesienia oblicza się, porównując ze sobą odczyty ze śruby mikrometrycznej pochodzące z różnych okresów pomiarowych. Niekiedy stosuje się nieruchome tarcze celownicze, a wartość przesunięcia poprzecznego odczytuje z aliniometru zaopatrzonego w mikrometr okularowy.
- b) Metoda aliniometryczno-trygonometryczna, w której precyzyjnym tachimetrem celuje się na nieruchomą tarczę celowniczą (usytuowaną na punkcie kontrolowanym) i wykonuje pomiar kąta paralaktycznego.

- c) Metoda aliniometryczno-mechaniczno-elektryczna, w której linia odniesienia jest zmaterializowana przez napiętą strunę metalową rozciągniętą między punktami P2 i P3. W każdym punkcie kontrolowanym zastabilizowane jest specjalne urządzenie wyposażone w zbiornik napełniony cieczą. W zbiorniku znajduje się pływak zaczepiony do metalowej struny. Przesunięcie punktu kontrolowanego powoduje zmianę położenia pływaka w zbiorniku z cieczą, które jest rejestrowane czujnikami elektrycznymi i może być telemetrycznie przesyłane do stacji nadzorującej.
- d) Metoda aliniometryczno-laserowa, w której linię odniesienia odzwierciedla wiązka laserowa. Umieszczona w punkcie kontrolowanym tarcza celownicza może być ręcznie wprowadzana w wiązkę lasera śrubą mikrometryczną, a następnie wykonuje się odczyt wartości przesunięcia z mikrometru. Druga możliwość to nieruchoma tarcza celownicza wyposażona w fotodetektor, który sam rejestruje położenie plamki lasera względem środka tarczy.



Rys. 4. a) teodolit Theo 010, b) i c) przesuwana tarczka celownicza z podziałką i noniuszem

Metoda trygonometryczna – polega na wykonywaniu w określonych odstępach czasu wielokrotnych pomiarów kątów poziomych i odległości, z jednoczesnym celowaniem na punkty kontrolowane z ustalonych punktów odniesienia, znajdujących się poza strefą oddziaływania badanego obiektu. Pomiarów wykonuje się teodolitami lub tachimetrami o wysokiej precyzji pomiaru kątów i odległości. Współrzędne punktów kontrolowanych oblicza się, rozwiązując wielokrotne wcięcia katowe, kątowo-liniowe lub liniowe. Różnice współrzędnych badanych punktów, obliczone z poszczególnych cykli pomiarowych, pozwalają obliczyć przemieszczenia punktów.

3. Opis wykonanych doświadczeń

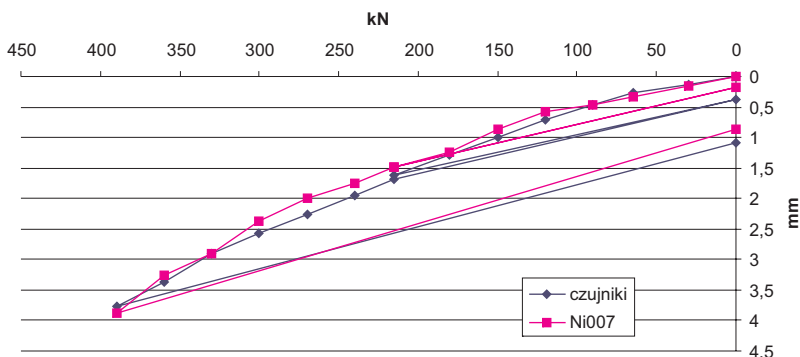
3.1. Próbne obciążenie statyczne – prawidłowo wykonana baza

Prowadzone przez Politechnikę Poznańską badania nośności pali jet-grouting na budowie Collegium Polonicum w Słubicach wykonywane były z dużą starannością i przy zachowaniu wszystkich wymogów normowych związanych z koniecznością zapewnienia

niezależnego pomiaru. Prowadzone równoległe pomiary niwelacyjne potwierdziły wartości osiadań rejestrowane czujnikami zegarowymi opartymi na głowicy pała (rys. 5). Obserwacje wykazują dużą zgodność (rys. 6). Pomiar geodezyjny potwierdza, że baza pomiarowa była niezależna. Różnice nie wpływają na interpretację badań i są skutkiem wpływów termicznych na stalową bazę pomiarową.



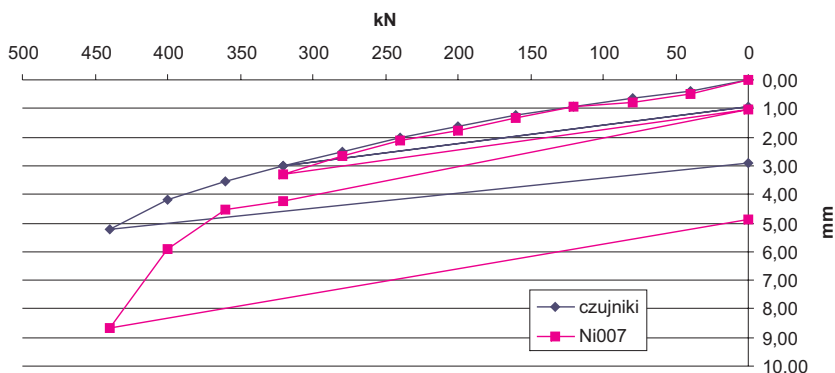
Rys. 5. Stanowisko badawcze z czujnikami zegarowymi i łatami inwarowymi



Rys. 6. Wykres z przebiegiem dwóch zgodnych obserwacji

3.2. Próbnе obciążenie statyczne mikropala na wciskanie – nieprawidłowo wykonana baza

Na rysunku 7 przedstawiono przebieg próbnego obciążenia zarejestrowany na podstawie wskazań czujników zegarowych i prowadzonych równocześnie pomiarów niwelatorem precyzyjnym. Obserwowane, systematycznie narastające, różnice mierzonych osiadań dla wyższych stopni obciążenia można wiązać z prawdopodobnym przemieszczaniem się bazy pomiarowej wraz z osiadającym palem. Różnice takie można zaobserwować dopiero przy znacznych osiadaniach pala (przy jego przeciążeniu), bowiem w pierwszym etapie próbnego obciążenia różnica w dokładności odczytów jest porównywalna z przemieszczeniami podłoża wokół pala. W rozpatrywanym przypadku różnica w wielkości rejestrowanych osiadań w znacznym stopniu przekłada się na interpretację obliczeniowej nośności pala. Należy zarazem podkreślić, że pomiar czujnikami prowadził do niedoszacowania osiadań, co może być istotne dla oceny ich pracy pod konstrukcją.



Rys. 7. Wykres z przebiegiem dwóch rozbieżnych obserwacji

3.3. Próbnе obciążenie siłą boczną

Badaniu poddano prefabrykowany pal wbijany, o długości 13 m, pogrążony w średnio zagęszczonych i zagęszczonych gruntach niespoistych oraz twaroplastycznych iłach. Ze względu na trudną do oszacowania nośność poziomą, jako kryterium zakresu prowadzonych badań przyjęto przekroczenie przez pal przemieszczenia bocznego równego 15 mm. Należy podkreślić, że w przypadku pali fundamentowych uznaje się, że ich nośność boczna równa jest sile, przy której przemieszczenie pala wynosi 10 mm. Badanie wykonano zatem w zakresie przekraczającym obliczeniowe obciążenie, które może obciążać pal. Konstrukcja bazy odniesienia, dla czujników zegarowych o dokładności 0,01 mm, była zamocowana do sąsiednich pali prefabrykowanych, odległych osiowo o ok. 1,2 m od pala próbnie obciążanego. Kontrolny pomiar geodezyjny prowadzono metodą aliniometryczną, wykonując odczyty teodolitem THEO 020 z miarki z naniesionym podziałem milimetrowym. Punkty odniesienia zastabilizowano w odległości ok. 6 m od badanego pala. Obiema metodami mierzono przemieszczenie pala na wysokości ok. 40 cm powyżej terenu. Stanowisko badawcze pokazano na rysunkach 8a i 8b. Wyniki przemieszczeń poziomych przedstawiono na rysunku 9.

a)

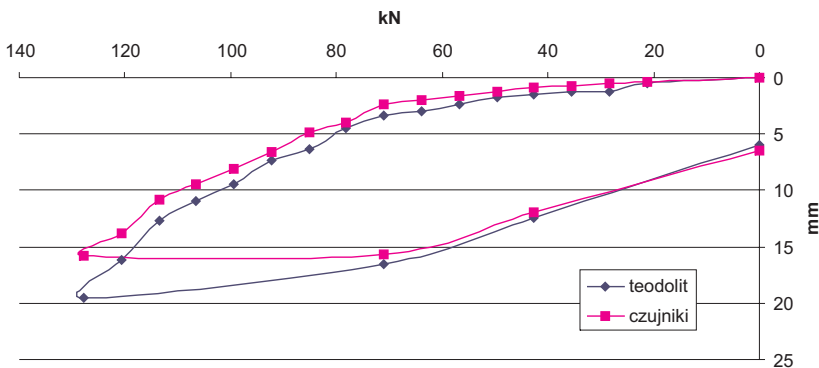


b)



Rys. 8. Stanowisko do badań nośności bocznej pali prefabrykowanych

Należy zauważyć, że pomiar wykonany metodą geodezyjną pokazał większe wartości przemieszczeń poziomych, co potwierdza wątpliwości dotyczące niezależności bazy odniesienia w przypadku czujników zegarowych. Co znamienne, wielkość przemieszczenia trwałego po odciążeniu była większa w przypadku pomiaru czujnikami. Oznacza to, że sąsiednie pale, stanowiące oparcie dla bazy czujników, doznały trwałego przemieszczenia podczas badania.



Rys. 9. Wykres z przebiegiem obserwacji przemieszczeń bocznych

4. Podsumowanie i wnioski

W przypadku badania statycznego na wciskanie można się pomylić w ocenie wielkości osiadań, ale to nie zmienia zasadniczo kształtu zależności obciążenie–osiadanie. Gdy

celem badania jest osiągnięcie nośności granicznej potrzebnej do kalibracji badań dynamicznych; pale i tak „płyną” więc czujniki zegarowe i niwelator pokazują „bardzo dużo”. Ewentualne niedokładności lub błędy systematyczne nie mają wtedy znaczenia. Przy wyciąganiu pali kotwiących pomiar geodezyjny (niwelacyjny) jest niezbędny, bo pozwala na szybką kontrolę wielu pali, a zarazem dostateczny, gdyż jest wystarczająco dokładny (kryterium jest takie: czy uniesienie było większe od 5 mm).

W badaniu statycznym nośności poziomej za kryterium uznaje się wartość przemieszczenia. Oznacza to, że za nośność pala uznaje się siłę, przy której pal przemieści się 10 mm. W tym przypadku każde niedoszacowanie przemieszczenia prowadzi do zawyżenia nośności.

Podziękowania

Autorzy składają szczególne podziękowania prof. B. Wolskiemu za udostępnienie własnych materiałów dotyczących zastosowania technik geodezyjnych w badaniach nośności pali.

LITERATURA

- [1] *Bryś H.*: Geodezyjne pomiary odkształceń i przemieszczeń zapór wodnych. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków, 1996
- [2] *Gwizdała K.*: Kontrola nośności i jakości pali fundamentowych. „Geoinżynieria i Tunelowanie” 2004, tom 1, nr 01
- [3] *Gwizdała K.*: Projektowanie pali fundamentowych. XX Ogólnopolska Konferencja „Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji”, Wisła-Ustroń 01–04 marca 2005
- [4] *Hermanowski A., Kamela Cz. i in.*: Niwelacja precyzyjna. PPWK, Warszawa, 1971
- [5] *Lazzarini T. i in.*: Geodezyjne pomiary przemieszczeń budowli i ich otoczenia. PPWK, Warszawa, 1977
- [6] *Muszyński Z., Rybak J.*: Zastosowanie metod estymacji odpornej w obliczeniach nośności granicznej pali. „Górnictwo i Geoinżynieria” (kwartalnik AGH) 2008, tom 32, z. 2, s. 257–265
- [7] *Pabian Z., Wolski B.*: O pomiarach przemieszczeń w badaniach podłoża gruntowego metodą obciążeń próbnych. „Inżynieria i Budownictwo” 1997, tom 53, nr 1
- [8] *Piasek Z., Sanecki L.*: Analizy eksperymentalnych pomiarów systemowych przy próbnym obciążeniu pali fundamentowych. XIII Konferencja Katedr i Zakładów Geodezji Wydziałów Niegeodezyjnych, Szklarska Poręba, 1998
- [9] PN-78/B-02483 Pale wielkośrednicowe wiercone. Wymagania i badania
- [10] PN-83/B-02482 Fundamenty budowlane. Nośność pali i fundamentów palowych
- [11] PN-EN 12699 Specjalne roboty geotechniczne. Pale przemieszczeniowe
- [12] PN-EN 1997-1: Eurokod 7. Projektowanie geotechniczne. Część 1. Zasady ogólne
- [13] *Prószyński W., Kwaśniak M.*: Podstawy geodezyjnego wyznaczania przemieszczeń. Pojęcia i elementy metodyki. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2006
- [14] *Rippel R.*: Próbnym obciążenia i badania głębokich fundamentów. Geoinżynieria i Tunelowanie 2004, tom 1, nr 2
- [15] *Rybak J., Zaremba S.*: Mierzymy osiadania pali. Pomiary geodezyjne w próbnym obciążeniu pali fundamentowych. „Geodeta” 1999, nr 2 (45), s. 22–25
- [16] *Rybak J., Zaremba S.*: Pomiary geodezyjne w próbnym obciążeniu pali. XIII Konferencja Katedr i Zakładów Geodezji na Wydziałach Niegeodezyjnych, Szklarska Poręba, 1998, s. 293–298
- [17] *Rybak J., Zaremba S.*: Zastosowanie pomiarów geodezyjnych w geotechnice. Jubileuszowa Sesja Naukowa „Geodezja w budownictwie”, Politechnika Gdańska, Gdańsk, 1999, s. 141–147
- [18] *Wolski B., Toś C.*: Geodezja inżyniersko-budowlana. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków, 2008

- [19] *Wolski B.*: Monitoring metrologiczny obiektów geotechnicznych. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków, 2006
- [20] *Wolski B.*: Optymalizacja programu obserwacji w metodzie próbnych obciążeń na przykładzie badań geotechnicznych. Konferencja „Problemy automatyzacji w geodezji inżynierskiej”, Warszawa, 1997
- [21] *Wolski B.*: Pomiary geodezyjne w geotechnice. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków, 2001
- [22] *Wolski B.*: Problemy geodezyjne w geotechnicznych badaniach podłoża gruntowego. XII Konferencja Katedr i Zakładów Geodezji Wydziałów Niegeodezyjnych, Białystok–Supraśl, 1997, s. 119–127
- [23] *Żurowski A., Kurałowicz Z.*: Zastosowanie geodezyjnych metod badawczych w budownictwie. „Inżynieria i Budownictwo” 1999, tom 55, nr 12, s. 686–690