

Analiza wyników badań pali z bezkomorową iniekcją podstaw

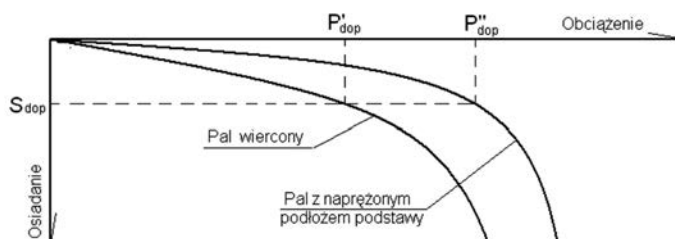
Mgr inż. Czesław Szymankiewicz, mgr inż. Dariusz Petyniak, mgr Andrzej Jachacy
Instytut Badawczy Dróg i Mostów w Warszawie, Zakład Fundamentowania

Dotychczasowe doświadczenia z zakresu wykonawstwa pali z iniekcją podstawy według rozwiązania IBDiM wskazują na znaczne zwiększenie ich nośności, a tym samym wartości dopuszczalnego obciążenia użytkowego w porównaniu z palami bez iniekcji. Zakres zwiększenia nośności jest różny i zależy od rodzaju podłoża pod podstawą pala. W niniejszym artykule przedstawiamy krótki przegląd metod wstępnego naprężania podłoża pod podstawami pali, ich zalety i wady oraz wnioski z analizy porównawczej uzyskanych wartości dopuszczalnych obciążeń użytkowych z próbnych obciążeń pali z iniekcją podstawy według rozwiązania Instytutu Badawczego Dróg i Mostów (IBDiM) a wyliczonymi nośnościami pali wierconych zgodnie z PN-83/B-02482.

ISTOTA I CEL ZABIEGU WZMACNIANIA PODSTAW PALI METODĄ IBDiM W ŚWIELE PODOBNYCH ZABIEGÓW OPISANYCH W LITERATURZE TECHNICZNEJ

Podczas wiercenia otworów pali występuje zjawisko odprężenia gruntu, a zwykle także jego rozluźnienia w otoczeniu otworu i w podłożu podstawy [2, 11]. Zdolność pala do przenoszenia obciążeń wynika z powstawania oporu gruntu na jego pobocznicy i pod podstawą. Mobilizacja oporu na pobocznicy wywołana przemieszczeniem pala występuje znacznie wcześniej niż pod jego podstawą i osiąga wartość graniczną przy osiadaniach około 10 do 20 mm, co odpowiada 1% do 2% średnicy pala. Natomiast opór pod podstawą rośnie wraz ze zwiększaniem się osiadania znacznie wolniej i osiąga wartość graniczną przy osiadaniach kilkunastu centymetrów odpowiadających w przybliżeniu 10% średnicy pala.

Podstawowym celem stosowania zabiegów jest takie wzmocnienie podłoża pod podstawą pala, aby jego opór był wzbudzany przy niewielkich osiadaniach, zbliżonych do zakresu przemieszczeń mobilizujących opór pobocznicy, powodując tym samym ich sumowanie w powyższym zakresie przemieszczeń, co spowoduje zwiększenie sztywności osiowej pala. Naprężenie podłoża podstawy powoduje, że krzywa osiadania pala jest bardziej płaska niż zwykłego pala wierconego, co pozwala dopuszczać większe ich obciążenia niż typowych pali o podobnej nośności granicznej (rys. 1).

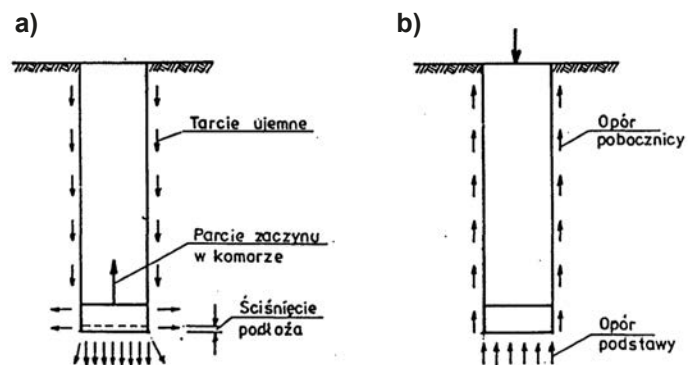


Rys. 1. Wpływ wstępnego naprężenia podłoża pod podstawą pala na osiadanie pala

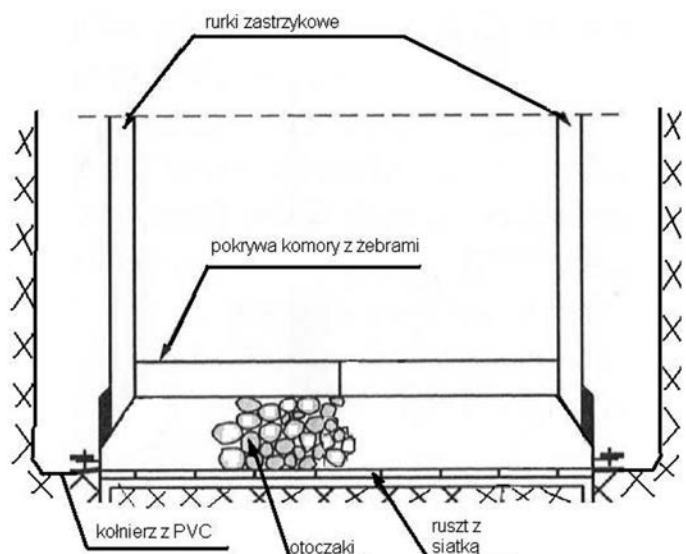
Wstępne naprężenie podłoża pod podstawą pala wprowadzono podczas budowy mostu przez jezioro Maracaibo w Wenezueli [1, 10]. Polegało ono na wykonaniu zastrzyków cementowych przez specjalną komorę umieszczoną pod podstawą pala. Siła parcia zaczynu powodowała ściśnięcie podłoża podstawy, a jednocześnie wypychała trzon pala do góry. Wprowadzoną siłę równoważył ciężar pala i tarcie ujemne pobocznicy (rys. 2a). W fazie pracy obciążenie pala było równoważone przez opór podstawy i pobocznicy (rys. 2b), przy czym na skutek wprowadzenia pod podstawę pala wstępnego naprężenia podłoża opór podstawy mobilizował się szybciej niż w przypadku pala bez iniekcji.

W kraju stosowane są trzy metody iniekcji naprężającej podłoże pod podstawami pali:

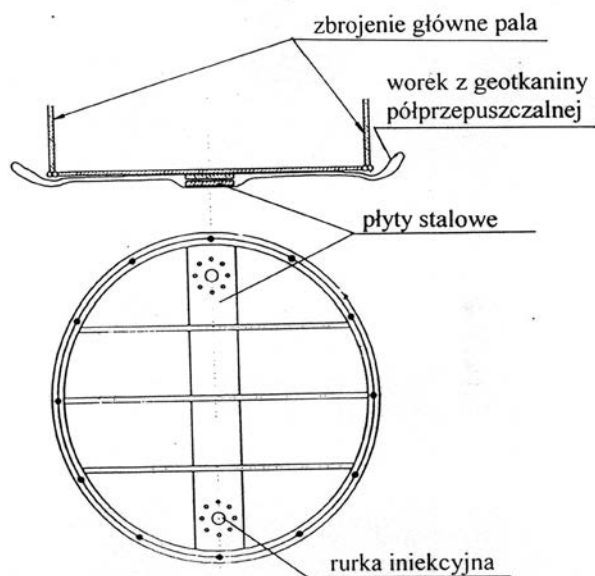
- metoda sztywnej komory zastrzykowej opracowana przez prof. A. Jarominiaka, pokazana na rys. 3, opisana w publikacjach [7, 8, 15].



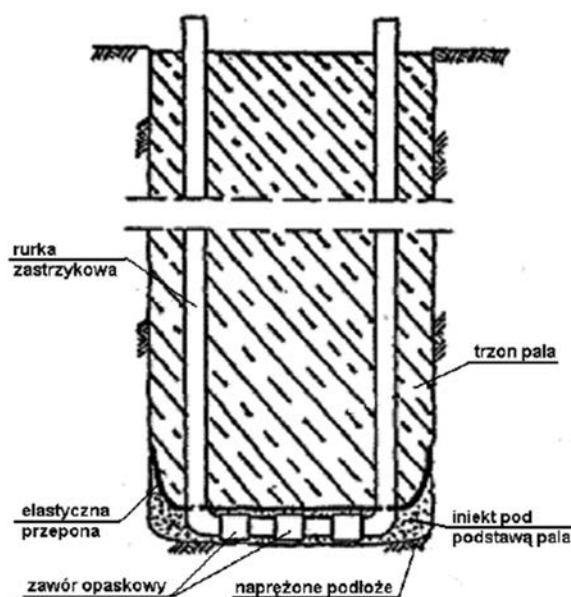
Rys. 2. Siły działające na pal: a) podczas zastrzyku, b) pod obciążeniem



Rys. 3. Instalacja do iniekcji z komorą sztywną



Rys. 4. Instalacja do iniekcji z komorą elastyczną



Rys. 5. Instalacja iniekcyjna bezkomorowa

- metoda elastycznej komory iniekcyjnej opracowana w katedrze Geotechniki Politechniki Gdańskiej, rys. 4, opisana w publikacjach [5, 6, 15, 16] – (patent nr PL 188356 z 2004 roku).
- metoda iniekcji bezpośredniej (bezkomorowej) opracowana przez Instytut Badawczy Dróg i Mostów w Warszawie, rys. 5, opisana w publikacjach [2, 4, 12] – (patent nr PL 17055 z 1994 roku).

Instalacja sztywnej komory składa się z fragmentu rury o średnicy mniejszej od rury inwentarzowej, zamkniętej od góry pokrywą z blachy z żebrami, od dołu rusztem wsporczym i siatką stalową, wypełnioną otoczkami. Po opuszczeniu zbrojenia wraz z komorą na dno otworu pala i zabetonowaniu jego trzonu, iniekcja komory odbywa się poprzez przymocowane do jej pokrywy stalowe rurki zastrzykowe wyprowadzone na powierzchnię.

Stosowanie sztywnych komór iniekcyjnych jest mało efektywne w gruntach silnie przepuszczalnych, gdyż nie są one przystosowane do zastrzyków powtarzalnych. W przypadku stosowania do zabezpieczenia otworu w czasie wiercenia rury inwentarzowej o podwójnej ścianie (grubość 50 mm) powierzchnia cylindrycznej komory jest o 20 do 30% mniejsza od przekroju pala. W gruntach spoistych może to doprowadzić do pozostawienia niewypełnionego zaczynem pustego pierścienia. W takiej sytuacji strefa oparcia pala i naprężanego podłoża jest znacznie zmniejszona. Ponadto w przypadku awarii i braku możliwości wykonania zastrzyku w komorę, na przykład z powodu zatkania rurek, pal będzie mieć znacznie mniejszą nośność od pala bez komory.

Instalacja elastycznej komory składa się z elastycznego worka z geosyntetyków półprzepuszczalnych, założonego na dwie równoległe blachy stanowiące rodzaj dysz i dołączonych do górnej blachy rurek zastrzykowych wyprowadzonych na powierzchnię. Iniekcję wykonuje się w ten sposób, że po opuszczeniu instalacji iniekcyjnej przymocowanej do zbrojenia pala na dno otworu rurki iniekcyjne i komorę elastyczną wypełnia się zawieszoną bentonitową, a następnie betonuje pal. Po kilku dniach (minimum 7) od zabetonowania wykonuje się iniekcję z zaczynu cementowego pod odpowiednim ciśnieniem, powodując zwiększenie objętości komory i naprężając podłoże pod podstawą pala. Zastosowanie odpowiedniego do warunków gruntowych geosyntetyku w podstawie pala zabezpiecza przed wypłynięciem iniektu na zewnątrz. Komora ta, podobnie jak sztywna, uniemożliwia wykonanie powtórnej iniekcji, gdy za pierwszym razem nie uzyska się oczekiwanych parametrów.

Trzeci sposób opracowany w IBDiM w roku 1994 eliminuje potrzebę stosowania specjalnej sztywnej czy wiotkiej komory zastrzykowej. Umożliwia on łatwe wielokrotne powtarzanie zastrzyku i skuteczne naprężenie podłoża pod podstawą pala.

Pierwszym obiektem mostowym, w którym zastosowano iniekcję według rozwiązania IBDiM był most przez rzekę Narew w Ostrołęce budowany w latach 1994-96. Jest to konstrukcja czteroprzęsłowa z przęsłem nad nurtem o rozpiętości 110 m podwieszonym na łuku. Posadowienie każdej z przynurtowych podpór dwusłupowych o wspólnej ławie zaprojektowano jako pośrednie na sześciu palach teleskopowych o średnicy 1600/1200 mm. W związku ze znacznymi obciążeniami pali oraz wymaganiem zminimalizowania różnicy osiadań fundamentów ze względu na konstrukcję przęsła nurtowego zastosowano tu zabieg wielokrotnej iniekcji bezkomorowej naprężającej podłoże piaszczyste pod stopami pali. Od tego czasu sposób ten zastosowano na kilkuset obiektach mostowych i kubaturowych. Zakład Fundamentowania, a następnie akredytowane Polowe Laboratorium Badań Pali przy Zakładzie przeprowadziło około 200 badań nośności pali z iniekcją podstawy według rozwiązania IBDiM w różnych warunkach gruntowych, potwierdzających efekty naprężenia podłoża niespoistego i spoistego.

TECHNOLOGIA

BEZKOMOROWYCH INIEKCJI PODSTAW PALI I ZJAWISKA ZACHODZĄCE W CZASIE INIEKCJI

W celu umożliwienia wykonania iniekcji konstrukcję pali należy dostosować poprzez wykonanie i połączenie z ich zbrojeniami specjalnej instalacji iniekcyjnej (rys. 5 i 6).



Rys. 6. Wyciągnięty pal z instalacją iniekcyjną
Widoczny poziomy odcinek „U” rurki z opaskami gumowymi
oraz przeponą separującą beton pala od gruntu i instalacji

Instalacja ta wykonana jest z rurek stalowych o średnicy 2” uformowanych w kształcie litery „U”. W poziomej części U-rurek wykonane są w dwóch lub trzech miejscach otwory osłonięte specjalnymi opaskami gumowymi. Nad nimi zamocowana jest przepona separacyjna, na przykład z folii PCV, która oddziela beton trzonu pala od podłoża i rurek z opaskami. W trakcie iniekcji opaski rozchylają się, zaś po zakończeniu iniekcji wracają do pierwotnego położenia uniemożliwiając „powrót” będącego pod ciśnieniem zaczynu. Uformowanie rurek w kształcie litery „U” (oba końce rurki wystają ponad głowicę pala) umożliwia w razie potrzeby przemycie całego układu wodą i powtórzenie iniekcji w dowolnym terminie.

Stosowanie tej metody jest możliwe także w przypadku pali o innym przekroju niż kołowy. Stosuje się wtedy więcej niż jedną instalację z U-rurek na pal. Na rys. 7 przedstawiono instalację z dwoma U-rurkami dla baret, zastosowaną na budowie wysokościowca przy ul. Złotej 44 w Warszawie.

Proces iniekcji rozpoczyna się od wypełnienia układu zaczynem cementowym przez podłączenie przewodu pompy do jednego końca instalacji z otwartym drugim końcem. Gdy zacznie z niego wypływać zaczyn cementowy, wtedy zamykany jest



Rys. 7. Instalacja do iniekcji podstaw baret budynku
przy ul. Złotej 44 w Warszawie

zawór przy wylocie rurki iniekcyjnej. Od tego momentu rozpoczyna się właściwa iniekcja podstawy pala, w czasie której mierzone jest ciśnienie, ilość wtłoczonego zaczynu i uniesienie głowicy pala. Ciśnienie podnoszone jest stopniowo co 0,5 MPa i utrzymywane dla każdego stopnia minimum 5 minut. Ciśnienie końcowe utrzymywane jest co najmniej przez 10 minut. Iniekcja jest prowadzona bezpośrednio do podłoża gruntowego pod elastyczną przeponę, która oddziela beton trzonu pala od podłoża i stanowi uprzywilejowaną drogę dla zaczynu cementowego. W miarę wzrostu ciśnienia zaczyn częściowo penetruje w grunt, powodując zatkanie jego porów, w wyniku czego następuje ściśnięcie rozluźnionego podłoża. Dalszy wzrost ciśnienia spowoduje wypychanie pala do góry. Jeżeli opór na pobocznicy jest zbyt mały (słabe jej zespolenie z gruntem), aby przeciwstawić się ciśnieniu iniekcji, nie można uzyskać jego zamierzonej wartości. W takiej sytuacji dość często następuje wędrowka zaczynu do góry wzdłuż słabej pobocznicy, gdyż łatwo się on przedostaje spod podstawy pala wzdłuż wywniętej do góry on przedostaje spod podstawy pala wzdłuż wywniętej do góry przerywa. Wtedy przerywa się iniekcję i płucze instalację wodą.

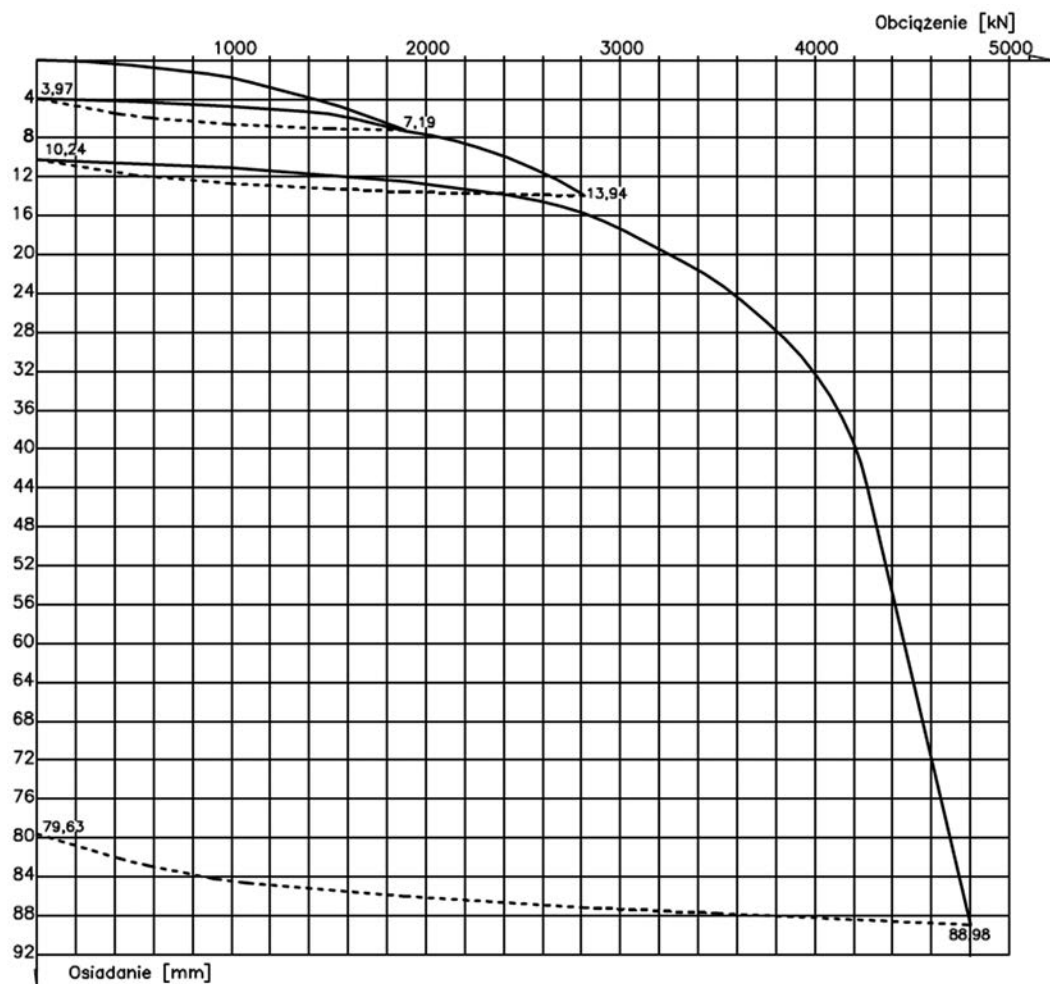
Przy powtórnej iniekcji z reguły uzyskuje się zamierzone ciśnienie. Jeżeli jednak nie, to iniekcję się przerywa i znowu powtarza aż do zamierzonego skutku. Dodatkowym pozytywnym efektem w omawianym przypadku jest wzrost nośności pobocznicy wskutek lepszego jej zespolenia z gruntem przez stwardniały zaczyn cementowy. W gruntach spoistych występujących na znacznej długości pobocznicy i przy nieprawidłowym formowaniu pala obserwowano wypływ zaczynu wzdłuż jego trzonu na powierzchnię, nawet w przypadku pali o długości przekraczającej 20 m.

Istotnym elementem rozwiązania jest bardzo prosta instalacja iniekcyjna, co pośrednio przyczynia się do dużej jej niezawodności. W zasadzie jedyną przyczyną niemożności wykonania iniekcji jest niedrożność U-rurki. W takim jednak przypadku pal zachowuje się jak standardowy pal bez iniekcji i nie występuje zjawisko obniżenia nośności jego podstawy.

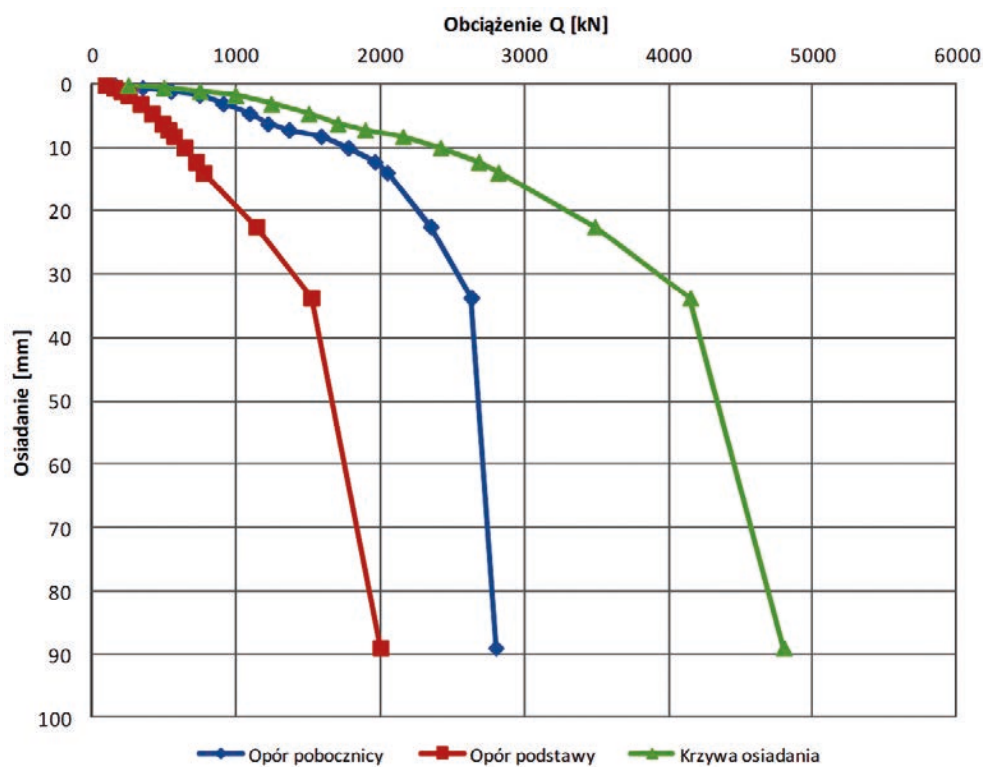
Jak w każdej technologii istnieją ograniczenia w jej stosowaniu. Omówiono je w opracowaniu [4, 12]. Najważniejsze z nich to skuteczność zabiegu w danych warunkach gruntowych. W przypadku występowania w podstawie pala słabych gruntów, to jest luźnych gruntów niespoistych, dla których stopień zagęszczenia $I_D \leq 0,4$, lub gruntów spoistych plastycznych o stopniu plastyczności $I_L \geq 0,3$, skuteczność zabiegu jest niewielka i z powodów ekonomicznych nie zaleca się jej stosowania. Innym ograniczeniem jest właściwy dla pali stosunek długości pala do jego średnicy, który w gruntach spoistych powinien być większy niż 10, a w gruntach niespoistych większy od 8.

PRZYKŁADY WYNIKÓW PRÓBNYCH OBCIĄŻEŃ PALI Z INIEKCJĄ BEZKOMOROWĄ

Interesujący jest przykład z badania pala o średnicy 1000 mm i długości 16 m na budowie węzła Salomea trasy S8, gdzie w palu nr 266 zastosowano ekstensometrię do określenia odkształceń trzonu pala i na tej podstawie określono rozkład oporów wzdłuż pobocznicy pala i w jego podstawie. Na rys. 8 przedstawiono krzywą osiadania pala, a na rys. 9 oddzielnie opór podstawy i opór pobocznicy.



Rys. 8. Krzywa osiadania pała nr 266



Rys. 9. Rozkład oporów. Salomea pał referencyjny 266 podpora nr 1

Z krzywej wynika, że osiągnięto obciążenie zbliżone do nośności granicznej pala, która wynosi około 4 900 kN. Graniczny opór podstawy pala wynosi 2 000 kN, a poboczniczy 2 900 kN. Rozkład oporów pokazuje wyraźnie, że opór poboczniczy wraz z przemieszczeniem narasta bardzo szybko do wartości przemieszczenia około 12 mm (to jest w przybliżeniu 1% średnicy), a potem krzywa gwałtownie opada. W przypadku podstawy pala mobilizacja oporów jest wolniejsza, ale dzięki iniekcji przebiega prawie proporcjonalnie do osiadania i osiąga wartość około 35 mm, aby następnie gwałtownie opaść. Należy podkreślić, że w tym przypadku mamy do czynienia z palem stosunkowo wiotkim, jak na pale wielkośrednicowe – stosunek długości do średnicy wynosi 16, a więc udział podstawy w przenoszeniu obciążeń jest mniejszy niż poboczniczy.

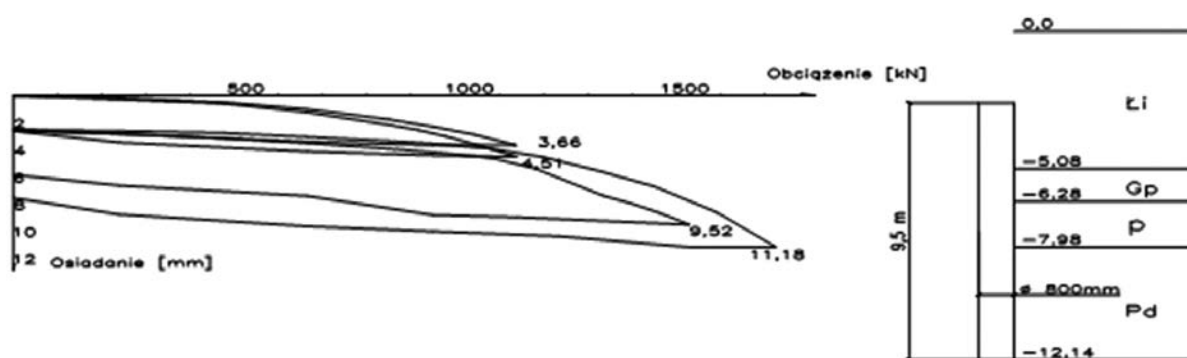
Skuteczność zabiegu potwierdzono między innymi wynikami próbnych obciążeń pala z iniekcją i bez iniekcji przeprowadzonymi na budowie kotła OFZ450 na terenie Elektrociepłowni Żerań w Warszawie (bliżej omówione w opracowaniu [11]).

Z zamieszczonych tam krzywych osiadania widać wyraźnie, że w przypadku pala z iniekcją jest ona bardziej płaska niż w przypadku pala bez iniekcji.

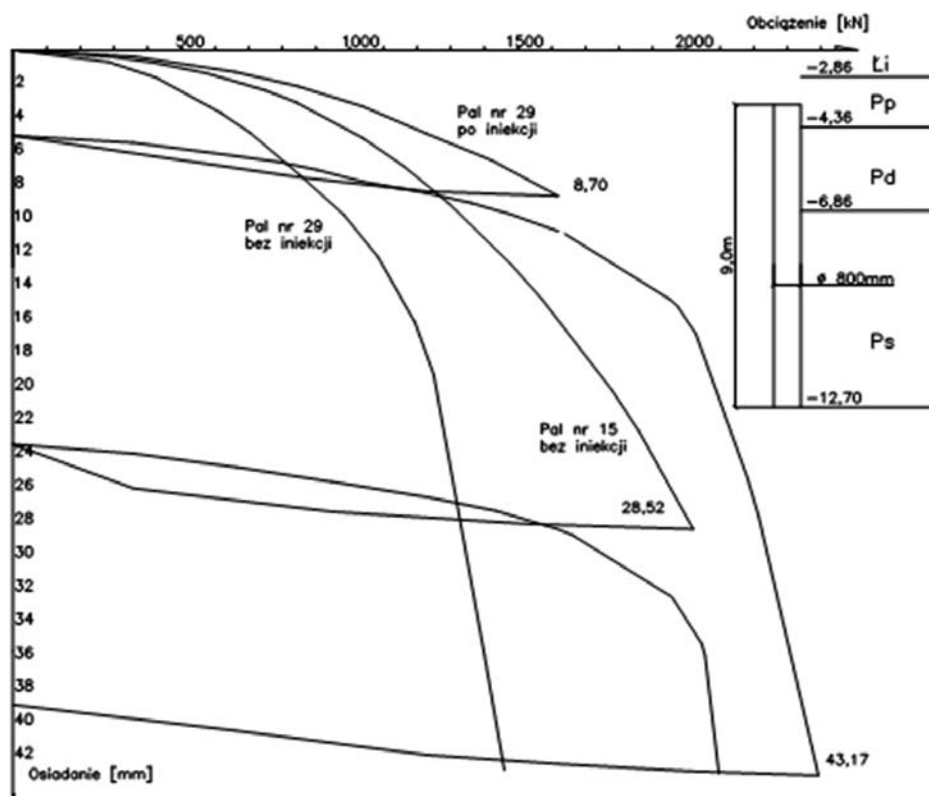
Inny przykład to zastosowanie pali z wbudowaną instalacją do bezkomorowej iniekcji na kilku obiektach autostrady A4. Projektant nie był pewien co do warunków gruntowych. W związku z tym zalecił na wszelki wypadek montaż instalacji, a decyzję o wykonaniu iniekcji bądź jej zaniechaniu postanowił podjąć dopiero po próbnym obciążeniu pali. Próbne obciążenia pali podpór z jednej strony obiektu wykazały ich wystarczającą nośność rys. 10.

Uwagę zwraca nieduże odsiadanie pali, co potwierdza tezę, że bezkomorowa instalacja do iniekcji nie ma negatywnego wpływu na nośność pali przy niewykonaniu iniekcji.

Natomiast próbne obciążenia pala jednej z podpór tego obiektu po drugiej stronie przeszkody wykazały ich zbyt małą nośność (rys. 11). W związku z tym podjęto decyzję o wykona-



Rys. 10. Wykresy próbnych obciążeń pali z instalacją, ale bez iniekcji



Rys. 11. Wykresy próbnych obciążeń pali przed i po iniekcji

niu iniekcji wszystkich pali tej podpory i ponowne obciążenie pala nr 29 po iniekcji. Z porównania wykresów wynika, że pal nr 29 przed iniekcją miał nośność graniczną około 1 400 kN, a więc mniejszą od nośności obliczeniowej, która wynosi około 1 600 kN. Po iniekcji pal osiągnął obciążenie odpowiadające nośności obliczeniowej przy osiadaniu 8,7 mm, a jego nośność graniczna wzrosła do około 2 300 kN. Iniekcja pala była przeprowadzona w I etapie: uzyskano ciśnienie 1,5 MPa, wtłoczono 160 l zaczynu i nastąpiło uniesienie głowicy pala o 3,7 mm. Iniekcje pozostałych pali przebiegały podobnie.

Tak duży wzrost nośności granicznej pala nie mógł być spowodowany jedynie wzmocnieniem podłoża pod podstawą pala, jak to ma miejsce w iniekcjach komorowych. Musiało nastąpić przeniknięcie iniektu do dolnej części poboczniczy pala i dzięki temu nastąpił również wzrost nośności poboczniczy. Potwierdzać to może również zdecydowanie mniejsze nachylenie krzywej osiadania już od samego początku obciążenia w stosunku do tego samego pala bez iniekcji. Należy zatem uznać, że stosunkowo łatwe przedostanie się zaczynu cementowego na pobocznice pala jest zaletą umożliwiającą w niektórych przypadkach również wzmocnienie poboczniczy.

ANALIZA WYNIKÓW PRÓBNYCH OBCIĄŻEŃ PALI Z BEZKOMOROWĄ INIEKCJĄ PODSTAWY W RÓŻNYCH WARUNKACH GRUNTOWYCH

Analiza wyników próbnych obciążeń pali z bezkomorową iniekcją podstawy w archiwum IBDiM wykazała że:

- W wielu przypadkach przy półtorakrotnym przeciążeniu w stosunku do uzyskanej od projektanta wartości nośności obliczeniowej uzyskano bardzo małe przemieszczenia pali o wartości mniejszej od 1% średnicy. Może to świadczyć o zaniżonej przez projektantów nośności obliczeniowej pali. W większości przypadków dotyczy to sytuacji, gdy pale są zagłębione w piaskach drobnych, pylistych i pyłach, w których norma [17] przewiduje duże redukcje wartości oporów poprzez współczynniki technologiczne. Może to również świadczyć o bardzo dobrym efekcie przeprowadzonego zabiegu iniekcji.
- Tylko w nielicznych przypadkach w trakcie badania osiągnięto nośność graniczną, co było związane z ograniczonymi możliwościami przeniesienia sił większych niż $1,5 N_t$ wynikających z uwarunkowań ekonomicznych (minimalne koszty konstrukcji obciążających).
- W większości przypadków badań, szczególnie tych starszych, jedyną informacją o warunkach gruntowych panujących w rejonie badanych pali są metryki pali wypełniane przez wykonawców.

Do analizy wpływu iniekcji na nośność pali wyselekcjonowano z archiwum IBDiM wyniki 98 próbnych obciążeń wraz z ich metrykami określającymi warunki gruntowe posadowienia. Podzielono je na pale z podstawami w gruntach spoistych (38 pali) oraz w gruntach niespoistych (60 pali).

W przypadku wielu pali osiadania uzyskane przy maksymalnym obciążeniu są niewielkie, znacznie mniejsze od wartości 1% średnicy pala z przyczyn wymienionych wcześniej. Oznacza to, że pal może mieć znacznie większą nośność, niż można

to określić na podstawie przeprowadzonego badania. Przyjęto, że nośność badanego pala, którego osiadania są niewielkie, odpowiada obciążeniu przy osiadaniu równym wartości jednego procenta średnicy, co jest założeniem bardzo ostrożnym. W takich przypadkach obliczono obciążenie pala przy jego osiadaniu równym 1% średnicy na podstawie krzywej osiadania pala wzorcowego, zagłębionego w podobnych warunkach gruntowych. Z krzywej wyznaczono przyrost obciążenia wraz z osiadaniami i na tej podstawie określono przyrost wartości siły w celu uzyskania osiadania wartości odpowiadającej 1% średnicy. Podsumowując, dla każdego pala, który w trakcie badania osiągnął obciążenie Q_{dop} przy osiadaniu większym od 1% średnicy pala przyjęto, że ta wartość odpowiada nośności pala uzyskanej w czasie próbnego obciążenia. Natomiast dla pali o mniejszych osiadanach niż 1% jego średnicy wyznaczono $Q_{1\%}$, które określono jako nośność pala. W niektórych przypadkach na etapie wykonywania próbnego obciążenia brakowało informacji o nośności pali lub były one zaniżone. W takich sytuacjach obliczono nośności według PN-83/B-02482. Współczynnik zwiększenia nośności pala z iniekcją podstawy k określono jako stosunek $Q_{dop} (Q_{1\%}) / N_t$, gdzie N_t jest nośnością pala obliczoną zgodnie z normą PN-83/B-02482.

WNIOSKI Z PRZEPROWADZONYCH ANALIZ I PROPOZYCJA WSPÓŁCZYNNIKÓW TECHNOLOGICZNYCH DLA PALI Z INIEKCJĄ BEZKOMOROWĄ

Na podstawie przeprowadzonych analiz można sformułować następujące wnioski.

1. Znaczący wpływ iniekcji na zwiększenie nośności pali z iniekcją bezkomorową w stosunku do nośności obliczonych zgodnie z PN-83/B-02482 uzyskuje się przy spełnieniu warunku $L/D > 10$.
2. Zwiększenie nośności pali z iniekcją bezkomorową w stosunku do nośności obliczonych zgodnie z PN-83/B-02482 wzrasta wraz z długością pala.
3. W przypadku pali z iniekcją bezkomorową w gruntach niespoistych średni minimalny współczynnik zwiększający nośność wynosi $k = 1,37$, w gruntach spoistych wynosi $k = 1,43$, natomiast współczynniki zwiększające obliczeniowe wynoszą odpowiednio dla gruntów niespoistych $k = 0,9 \cdot 1,37 = 1,23$ oraz dla gruntów spoistych $k = 0,9 \cdot 1,43 = 1,29$.
4. W celu obliczenia obciążeń dopuszczalnych na pale z iniekcją bezkomorową można stosować następującą zależność:

$$Q_{dop} = m \cdot N_t \cdot k$$

gdzie:

m – współczynnik obliczeniowy zgodnie z PN-83/B-02482,

N_t – nośność pala obliczona zgodnie z PN-83/B-02482,

k – współczynnik technologiczny uwzględniający iniekcję bezkomorową podstawy pala,

$k = 1,23$ dla gruntów niespoistych,

$k = 1,29$ dla gruntów spoistych.

W celu dokładniejszej analizy wpływu iniekcji bezkomorowych na ich nośność należy w dalszym ciągu powiększać bazę wyników próbnych obciążeń pali.

Podsumowanie wyników pokazuje, że zabieg bezkomorowych iniekcji podstaw pali przynosi większe efekty w przypadku pali, których podstawy są zagłębione w gruntach spoistych. Przeczy to dość powszechnej opinii, jakoby iniekcja była skuteczniejsza w gruntach niespoistych.

LITERATURA

1. Fleming W.G.K.: The improvement of pile performance by base grouting. "Proc. Instn Civ. Engrs Civ. Engng May 1993.
2. Gawor B., Kłosiński B., Petyniak D., Szymankiewicz Cz.: Zwiększanie zastrzykami nośności podstaw pali wierconych. Doświadczenia krajowe. Inżynieria i Budownictwo, nr 8/1994.
3. Goral St.: Wykonanie pali wielkośrednicowych pod budynek Warszawskiego Centrum DAEWO. Inżynieria i Budownictwo, nr 8/1998.
4. Grzegorzewicz K., Kłosiński B.: Fundamenty i podziemie 184-metrowego wieżowca WTT w Warszawie. Inżynieria i Budownictwo, nr 12/2001.
5. Gwizdała K.: Bored pile foundation execution and its relation to overall pile load settlement. Plenary session 2, Panel discussion, Proc. XIV ICSMFE, Hamburg 1998, vol. 4.
6. Gwizdała K., Tejchman A.: Badanie nośności pali wielkośrednicowych pod pylonem mostu podwieszonego przez Martwą Wisłę w Gdańsku. Inżynieria i Budownictwo, nr 12/2000.
7. Jarominiak A. i inni: Analiza przebiegu iniekcji pod stopy pali mostu autostradowego przez Wisłę w Toruniu – Grabowce. Materiały sesji naukowej Geotechnika w Budownictwie i Inżynierii Środowiska.
8. Jarominiak A.: Posadowienie absorbera siarki w Elektrowni Belchatów – nowa generacja fundamentów palowych. Inżynieria i Budownictwo, nr 10/1992.
9. Kerisel J., Simons H.: Die Gründung der Brücke über den Maracaibo-See. Vorträge der Baugrundtagung 1962 in Essen.
10. Kłosiński B., Skiba T.: Zwiększanie nośności pali wielkośrednicowych zastrzykami w podstawy. Prace IBDiM nr 1/1978.
11. Kłosiński B., Szymankiewicz Cz.: Wpływ iniekcyjnego naprężenia podstaw pali wierconych na ich nośność. Inżynieria i Budownictwo, nr 12/2001.
12. Kłosiński B., Szymankiewicz Cz.: Nośność pali wierconych z podstawami naprężonymi zastrzykami cementowymi. XII Krajowa Konferencja Mechaniki Gruntów i Fundamentowania. Szczecin – Międzyzdroje, 18-20 maja 2000 r.
13. Schmitt K. Spitzen-Verpressung von Grossbohrpfählen. Die Bautechnik nr 2/1971.
14. Szymankiewicz Cz., D. Petyniak, P. Głowacki, St. Wierzbicki Projekt zamienny posadowienia podpory nr 5 mostu Świętokrzyskiego w Warszawie IBDiM, Zakład Fundamentowania, Warszawa, 1999.
15. Tejchman A.: Wzmacnianie pali i fundamentów palowych. XVI Ogólnopolska Konferencja Warsztat pracy projektanta konstrukcji. Ustroń 21-24 lutego 2001 r.
16. Tejchman A.: O wzmacnianiu fundamentów palowych, Inżynieria i Budownictwo, nr 12/2001.
17. PN-83/B-02482 Nośność pali i fundamentów palowych.