

Problematyka interpretacji pomiarów rozkładu siły osiowej w trzonie pala podczas próbnych obciążeń statycznych

Dr inż. Adam Krasieński

Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska

Opracowany artykuł jest odpowiedzią na artykuł dyskusyjny Krzysztofa Sahajdy pt. „Dyskusja do artykułu dr. Krasieńskiego: „Wyniki badań terenowych pali i kolumn wkręcanych”, zamieszczonego w „Inżynierii Morskiej i Geotechnice”, nr 6/2011”.

Na wstępie pragnę podziękować Autorowi artykułu dyskusyjnego [4] za życzliwe słowa skierowane pod adresem podjętej przeze mnie tematyki badawczej oraz za poruszenie w dyskusji kilku bardzo istotnych kwestii dotyczących interpretacji pomiarów rozkładu siły osiowej w trzonie pala podczas próbnego obciążenia statycznego.

Zagadnienie dokładności i wiarygodności interpretacji wspomnianych pomiarów jest faktycznie problematyczne i bardzo złożone. Mogą o tym świadczyć liczne publikacje, w których było ono opisywane i analizowane. Dużą część tych publikacji przytoczył autor artykułu dyskusyjnego [4]. Można w nich znaleźć również wskazówki i propozycje sposobów rozwiązywania niektórych problemów związanych z analizowanymi pomiarami (np. w pracy [1]). Kilka innych mankamentów pozostaje jednak nadal nie rozwiązanych.

Muszę przyznać, że wiele problemów pomiarowych napotkałem również w trakcie własnych badań terenowych pali, realizowanych w ramach podjętego projektu badawczego nr N N506 432936. Problemy te wydały mi się na tyle istotne i uciążliwe, że nosiłem się z zamiarem przygotowania w przyszłości stosownego artykułu, poświęconego ich tematyce. Artykuł dyskusyjny K. Sahajdy zmobilizował mnie do wcześniejszego przygotowania publikacji, co niniejszym uczyniłem.

CHARAKTERYSTYKA PROBLEMÓW POMIAROWYCH

Wykorzystany w autorskich badaniach statycznych pali, opisanych w pracy [2], sposób określania wartości siły osiowej wzdłuż trzonów pali opierał się na pomiarach odkształceń tych trzonów. Jest to jak dotąd jedyny możliwy do zastosowania sposób, poza komorami „Osterberga”, które jednak, oprócz tego, że są kosztowne, mają również swoje wady i ograniczenia.

Sam pomiar odkształceń, dzięki zastosowaniu wysokiej klasy czujników strunowych, był bardzo dokładny (klasa dokładności minimum 0,2). Dużo większym błędem obarczone było natomiast przeliczenie odkształceń na siły osiowe Q_p , gdzie potrzebna była znajomość sztywności podłużnej EA trzonów pali.

W przypadku pala formowanego w gruncie, określenie miarodajnej wartości sztywności EA trzonu jest kłopotliwe ze względu na możliwe niejednorodności zarówno modułu E betonu, jak i przekroju A pala po jego długości. Bardzo przydatne byłoby całkowite wydobycie pala z gruntu, co niestety zwykle jest niemożliwe, lub bardzo skomplikowane technicznie. Nawet jednak wówczas pomierzona sztywność EA trzonu mogłaby się różnić od tej w czasie badania pala w gruncie ze względu na odkształcenia trwałe i zmiany w strukturze betonu, jakie zaszły podczas próbnego obciążenia.

Dodatkowym problemem zasygnalizowanym w pracy [4] są siły rezydualne, jakie mogą być uwięzione w trzonach pali przed rozpoczęciem próbnego obciążenia.

POMIAR SZTYWNOŚCI OSIOWEJ E_A TRZONU PALA PODCZAS PRÓBNEGO OBCIĄŻENIA

Pomiar sztywności E_A trzonów pali w badaniach opisanych w pracy [2] odbywał się w pierwszym odcinku trzonu pala bezpośrednio pod głowicą, a nie w głowicy, jak być może zrozumiał autor dyskusji [4]. Zadaniem głowicy było równomierne przekazanie siły z siłownika hydraulicznego na cały przekrój pala. W czasie dojrzewania pala, głowica obsypana była gruntem do około połowy swojej wysokości w celu ochrony trzonu pala przed oddziaływaniem czynników atmosferycznych. Można zatem sądzić, że warunki dojrzewania betonu w górnym odcinku pomiarowym nie odbiegały znacząco od warunków występujących na większych głębokościach, tym bardziej że większość pali wykonywana była w okresach o temperaturach powietrza od 5 do 15°C.

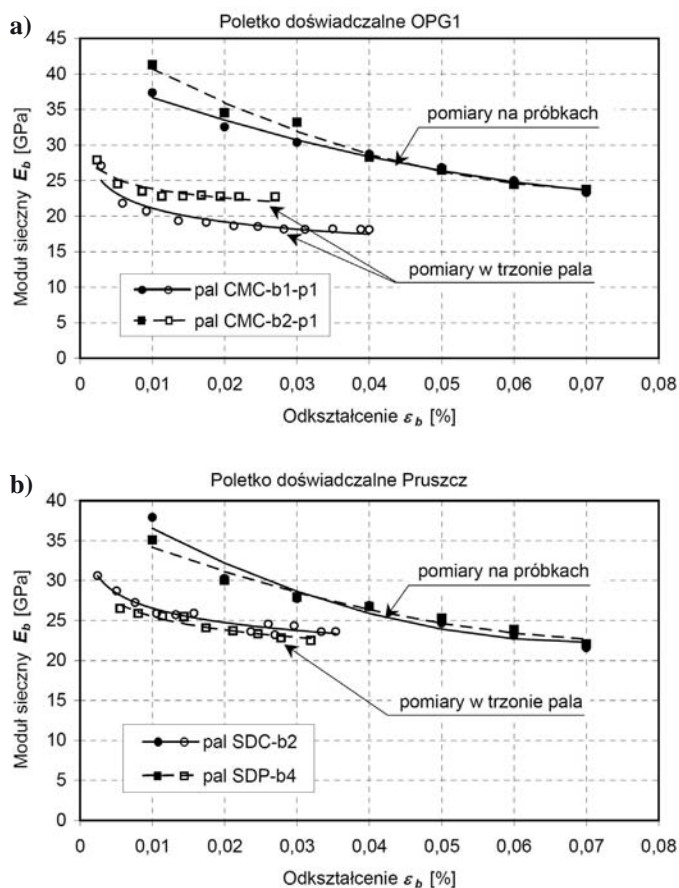
Jak podano w artykule [2], przed rozpoczęciem próbnego obciążenia pala i pomiarów czujnikami odkształceń, odcinek trzonu pala tuż pod głowicą odsłonięto na długości około 80 cm oraz oczyszczono z gruntu i słabej otoczki gruntowo-cementowej. W ten sposób uzyskano pewność, że siła w pierwszym odcinku pomiarowym będzie dokładnie równa sile mierzonej przez siłomierz na siłowniku, a ponadto umożliwiony został pomiar rzeczywistej średnicy (przekroju A) pala na odsłoniętym odcinku.

W artykule podano również, że wartość modułu E betonu pomierzona bezpośrednio w trzonie pala różniła się od wartości modułu mierzonego w laboratorium na próbkach walcowych o wymiarach $d = 150$ mm i $h = 300$ mm, ściskanych w prasie. Różnice te, dla kilku przykładowych pali przedstawiono na rys. 1. Próbki do badań laboratoryjnych przygotowano z tego samego betonu, z którego wykonano pale. Były to próbki betonowe w formach walcowych. Nie wykonywano badań na próbkach wycinanych z trzonów pali.

Jak wynika z rys. 1, we wszystkich przypadkach moduły E betonu pomierzone bezpośrednio w trzonach pali były mniejsze od modułów pomierzonych w badaniach laboratoryjnych na próbkach. Różnice te przekraczają nawet 30% i są duże szczególnie przy małych wartościach odkształceń.

Dodatkowo można zauważyć wyraźną zmienność modułu E betonu z odkształceniami (najczęściej nieliniową). Zmienność tę aproksymowano funkcją i uwzględniano w obliczeniach sił osiowych w poszczególnych odcinkach pomiarowych pali.

Stwierdzone różnice w wartościach modułu E betonu mogą wynikać głównie z lepszego zagęszczenia betonu w próbkach niż w palu. Beton w palu nie był w żaden sposób zagęszczany, natomiast przy betonowaniu próbek zwykle stosuje się jakiś sposób zagęszczania. Wpływ mogły mieć również różne warunki dojrzewania betonu w palu i w próbkach chociaż, próbki po 2-3 dniach przewożono z budowy do laboratorium, gdzie do upływu 28 dni od zabetonowania przechowywano je pod wodą w temperaturze około 10 ÷ 12°C. Wpływ mogło mieć jeszcze kilka innych czynników. Po stwierdzeniu tego faktu podczas badań na kilku pierwszych poletkach doświadczalnych zdecydowano, że interpretacja pomiarów rozkładu siły w palach będzie przeprowadzana z wykorzystaniem modułu E betonu pomierzonego w ich trzonach.

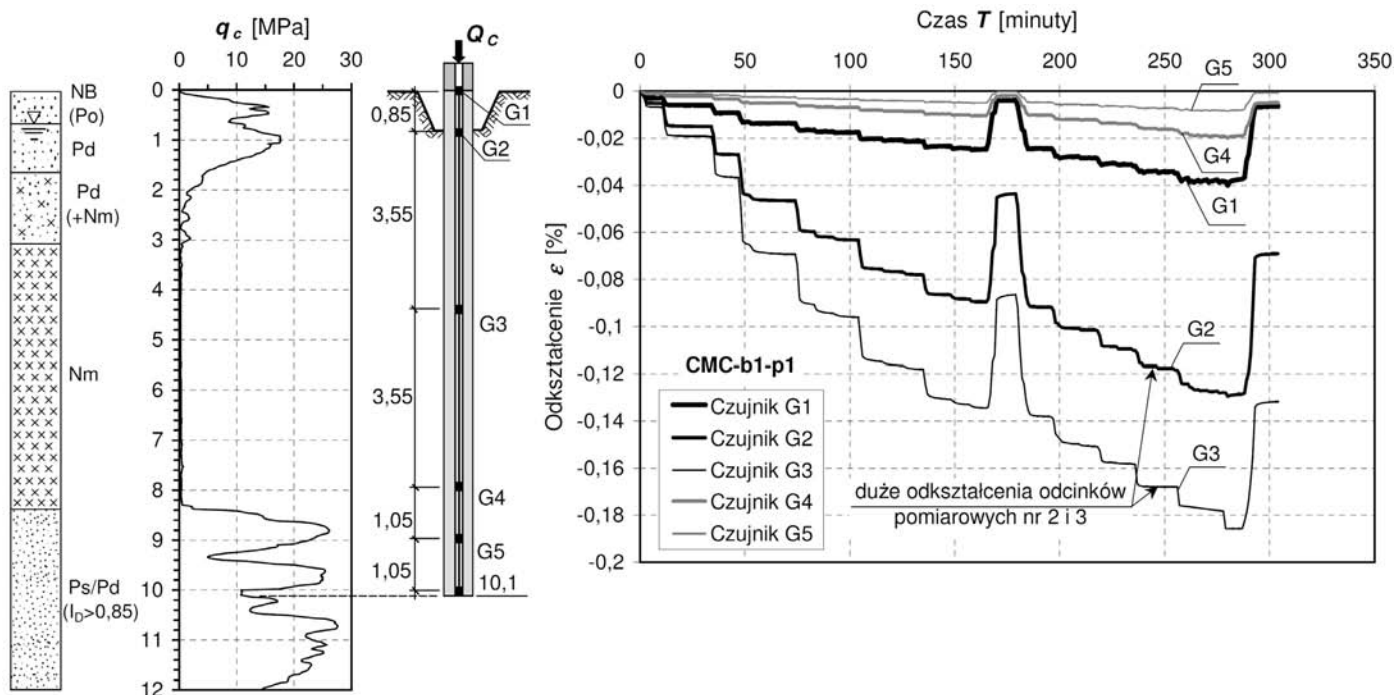


Rys. 1. Porównanie wyników pomiarów modułu betonu na próbkach w laboratorium i bezpośrednio w trzonach pali w czasie próbnego obciążenia

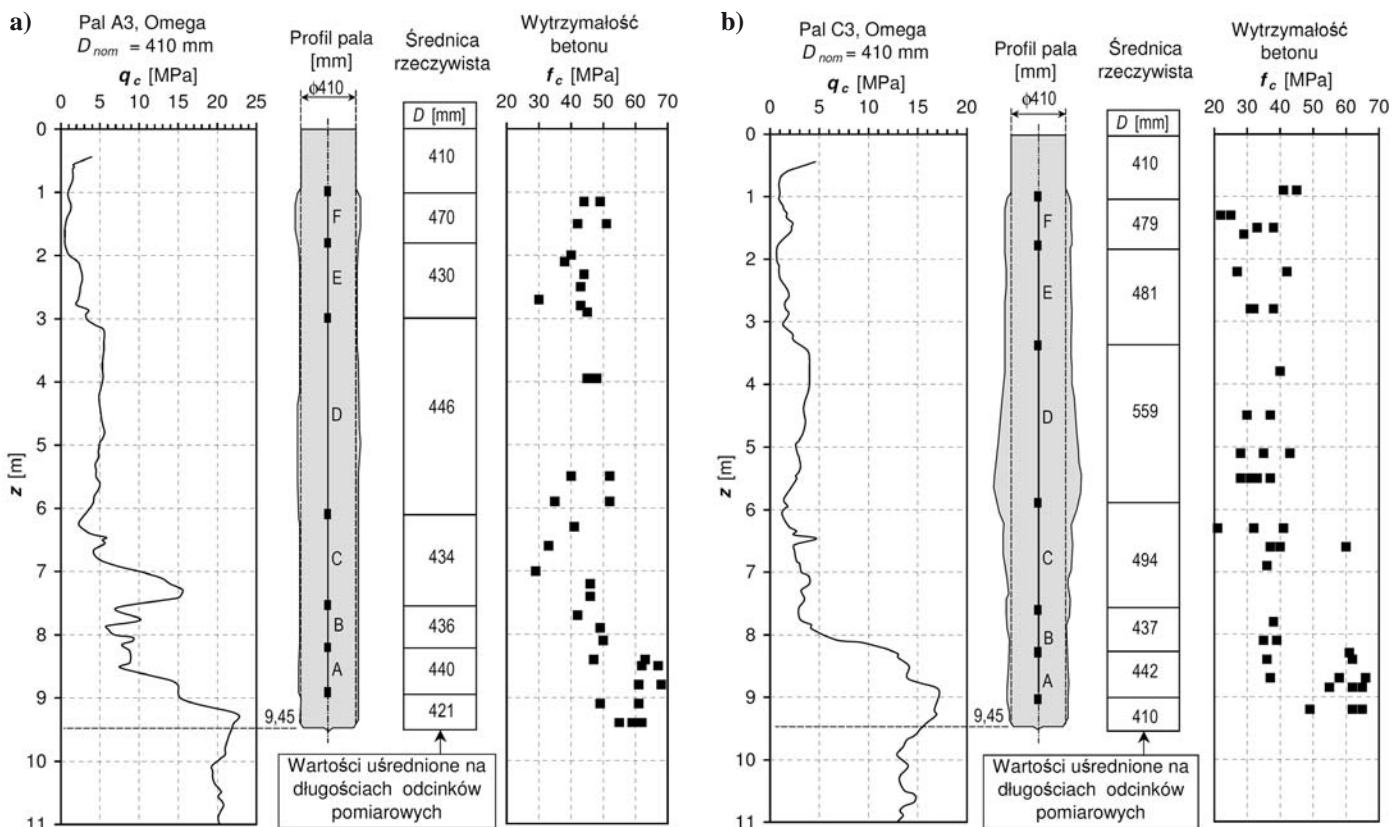
NIJEDNORODNOŚĆ SZTYWNOŚCI OSIOWEJ E_A TRZONÓW WZDŁUŻ DŁUGOŚCI PALI

Przekrój A trzonów pali przemieszczeniowych wkręcanych może wykazywać duże niejednorodności w warstwach gruntów ściśliwych (organicznych lub spoistych miękkoplastycznych). Mogą trafiać się w nich zarówno pogrubienia, jak i przewężenia trzonów. Jeżeli zmiany przekroju A są znaczne (powyżej 20%), to ich występowanie można czasami zaobserwować w pomiarach odkształceń. Wyniki tych pomiarów na odcinkach o zmienionym przekroju wykazują odchylenia w górę lub w dół od pomiarów na innych odcinkach pala. Na rys. 2 przedstawiono przykładowe wyniki pomiarów, w których wyraźnie widoczne jest obniżenie sztywności osiowej trzonu pala na odcinkach pomiarowych nr 2 i 3 spowodowanych przypuszczalnie zmniejszeniem przekroju pala. W takim przypadku, do dalszych interpretacji, wartości skróceń trzonów pali przyjmowane są bez korekty, natomiast korygowane są wartości sił Q_i w rozpatrywanych odcinkach (nr 2 i 3 w przytoczonym przykładzie), najczęściej metodą interpolacji lub uśredniania.

Z badań belgijskich [3] wynika, że w warstwach gruntów niespoistych średnice rzeczywiste trzonów pali wkręcanych mogą różnić się o około 1 ÷ 3 cm od średnicy nominalnej świdra, co przy średnicy świdra 410 mm po przeliczeniu na przekrój A trzonu pala daje różnicę od około 5 do 15%. W przytoczonych badaniach belgijskich, które wykonano na palach Atlas, Omega,



Rys. 2. Przykładowe wyniki pomiarów odkształceń trzonu pała, w których stwierdzono obniżenie sztywności osiowej na odcinkach nr 2 i 3



Rys. 3. Przykładowe wyniki badań belgijskich dotyczące niejednorodności przekroju i wytrzymałości betonu w trzonach pałi wkręcanych, [3]

DeWaal i Vibro, po przeprowadzeniu próbnych obciążeń pale wydobyto całkowicie z gruntu i dokładnie zinventaryzowano. Przykładowe wyniki inwentaryzacji dla dwóch pałi „Omega” przedstawiono na rys. 3.

Zmiany przekrojów trzonów pałi wkręcanych mogą więc być znaczne, w związku z czym nie powinno pomijać się tego faktu w interpretacjach i analizach pomiarów tensometrycznych. Należy zwrócić uwagę, że do określania rzeczywistej średnicy pała

należy brać faktyczną średnicę świdra, pomierzoną na budowie, a nie nominalną. Świdry wyposażone są na powierzchni bocznej w płaskie nakładki lub napawania do ochrony przed ścieraniem, które zmieniają rzeczywistą średnicę zewnętrzną świdra.

Równie złożonym zagadnieniem co zmienność przekroju jest zmienność modułu E betonu wzdłuż długości pala. We wcześniejszej części artykułu podano, że w badaniach autorskich pomiary modułu betonu przeprowadzano w górnym odcinku pala tuż pod głowicą. Nie ma jednak pewności, że na większych głębokościach parametry betonu będą takie same. Wiele przesłanek przemawia za tym, że zwiększają się one z głębokością. Główną przyczyną jest wzrost ciśnienia mieszanki betonowej z głębokością i związany z tym odpływ wody zarobowej z mieszanki do gruntu oraz wzrost zagęszczenia betonu. Ponadto beton z reguły uzyskuje wyższe parametry na odcinkach pala znajdujących się w gruntach niespoistych niż na odcinkach w gruntach spoistych i organicznych, co również wiąże się z odpływem wody zarobowej z mieszanki betonowej. Przedstawione fakty zostały potwierdzone przez wspomniane już wcześniej badania belgijskie [3], w których z wydobytych z gruntu pali wycięto szereg próbek rdzeniowych betonu do badań wytrzymałości na ściskanie. Były to najczęściej próbki o średnicy ϕ 50 mm (sporadycznie ϕ 90 mm), które następnie badano pod kątem wytrzymałości na ściskanie f_c . Nie badano niestety modułu E betonu. Badania wykazały, że wytrzymałość betonu zmieniała się na długości pali. Generalnie wzrastała z głębokością, a największy wzrost następował w dolnych odcinkach pali, zagłębionych w gruntach niespoistych. Wyniki przykładowych badań wytrzymałości betonu w palach przedstawiono na rys. 3, w postaci rozkładów wytrzymałości f_c z głębokością. Jak wiadomo, wraz z wzrostem wytrzymałości betonu na ściskanie wzrasta również jego moduł E .

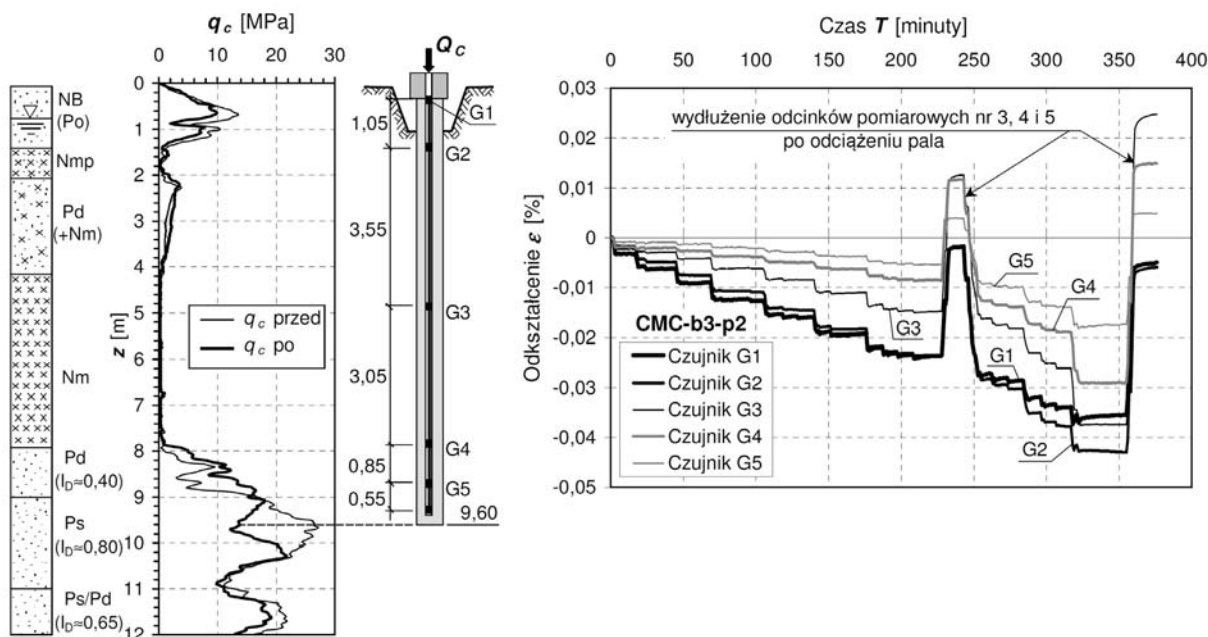
W badaniach autorskich, opisanych w pracy [2] do interpretacji pomiarów odkształceń przyjmowano na całej długości pali moduł betonu taki, jaki określono z pomiarów w górnych odcinkach trzonów tuż pod głowicami. Jednocześnie uwzględniano zmienność modułu z odkształceniami, o czym już wspomniano

wcześniej. Niezbędne w niektórych przypadkach korekty sztywności EA trzonów pali przeprowadzano, korygując przekrój A trzonów, podpierając się wynikami badań belgijskich [3].

SIŁY REZYDUALNE W TRZONACH PALI

W przypadku pali przemieszczeniowych wkręcanych w trzonach pali mogą generować się wstępne siły ściskające głównie w wyniku tarcia negatywnego, pojawiającego się w górnych partiach podłoża gruntowego. Tak jak podał Autor artykułu dyskusyjnego [4], tarcie to może powstawać w wyniku wtórnego osiadania podłoża gruntowego spowodowanego dysypacją nadwyżki ciśnienia wody w porach w słabo przepuszczalnych warstwach gruntów słabych, która to nadwyżka została wygenerowana przemieszczeniową technologią wykonawstwa pali. Dodatkowym czynnikiem powodującym tarcie negatywne może być poruszanie się po terenie ciężkiego sprzętu budowlanego (np. palownicy, o ciężarze 500 kN do 700 kN).

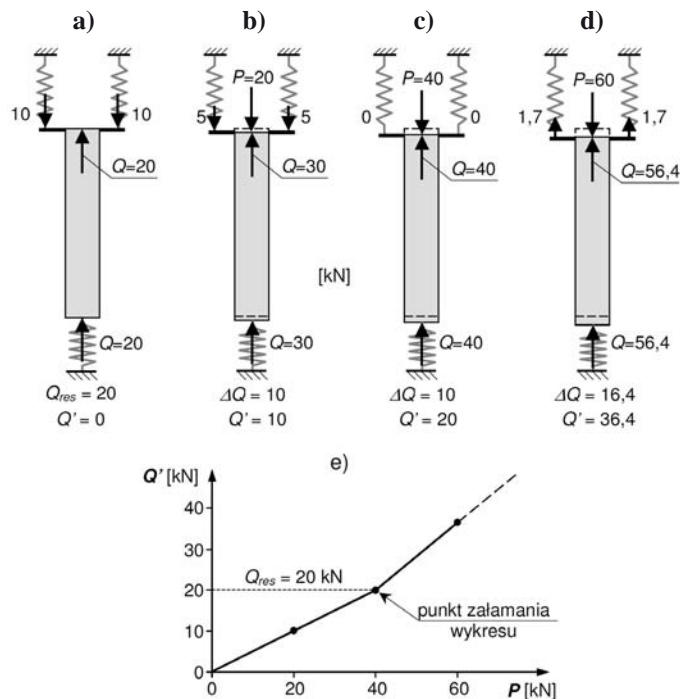
Stwierdzenie występowania wstępnej siły ściskającej nie jest łatwe. Jeżeli siła ta osiąga znaczną wartość, to o jej istnieniu możemy dowiedzieć się podczas pośredniego odciążenia pala, które wykonuje się zwykle przy sile zbliżonej do obciążenia projektowanego lub do obliczeniowej nośności pala. Jeżeli po odciążeniu pala we wszystkich odcinkach pomiarowych jego trzonu pozostają trwale odkształcenia (trwale skrócenia), to można sądzić, że przed rozpoczęciem próbnego obciążenia w palu nie było wstępnej siły ściskającej lub jej wartość była niewielka. Jeżeli natomiast brakuje odkształceń trwałych po odciążeniu lub rejestruje się odkształcenia przeciwnego znaku (tzn. następuje zwiększenie długości niektórych odcinków pomiarowych w stosunku do ich długości początkowych), to jest to dowód istnienia początkowej siły ściskającej w trzonie pala. Przykładowy wynik pomiarów odkształceń wskazujących na obecność początkowej siły ściskającej w trzonie pala przed próbnym obciążeniem przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Przykładowy wynik badania, w którym stwierdzono występowanie wstępnej siły ściskającej w trzonie pala

Wartość wstępnej siły ściskającej (siły rezydualnej) można w przybliżeniu oszacować z wartości wydłużeń odcinków pomiarowych. Nie wiemy jednak jakie przyjąć odkształcenia trwałe tych odcinków, które powinniśmy dodać do wartości wydłużeń. Można zastosować również inną metodę (autorską), której schemat ideowy przedstawiono na rys. 5.

W schemacie przedstawiono odkształcalny walec spoczywający na podatnym podłożu (dolna sprężyna). Walec został wstępnie ściśnięty siłą $Q_{res} = 20$ kN za pomocą naprężenia dwóch sprężyn (rys. 5a). Walec symbolizuje trzon pala, dolna sprężyna – warstwy nośne podłoża gruntowego, a naprężone sprężyny górne – górne warstwy podłoża działające tarciem



Rys. 5. Schemat ideowy do metody określania siły rezydualnej w trzonie pala

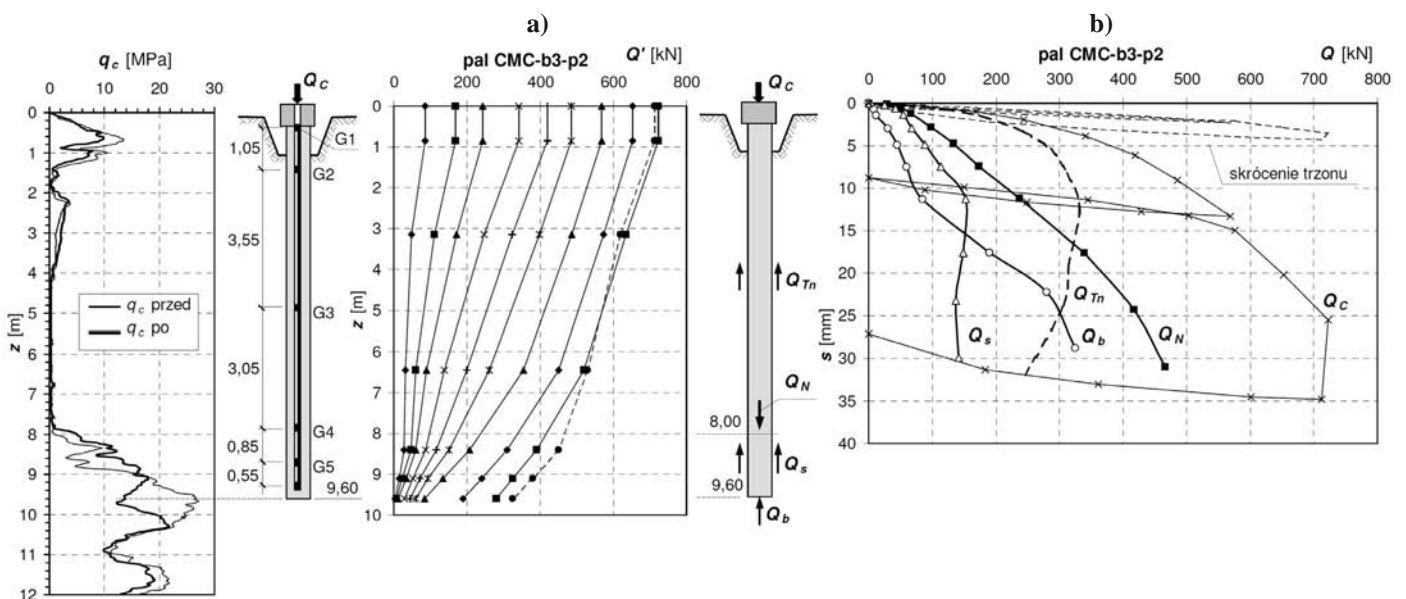
negatywnym. Założono, że sztywność górnych sprężyn na ściskanie jest trzy razy większa niż na rozciąganie. Odzwierciedla to w przybliżeniu rzeczywiste zachowanie gruntu, w którym po odwróceniu kierunku ścinania i przejściu z odciążenia w obciążenie obserwuje się znaczny spadek sztywności (2 do 5-krotny) oraz degradację oporu ścinania.

W trakcie przykładania obciążenia zewnętrznego P następuje skrócenie i osiadanie walca oraz jednocześnie odprężenie górnych sprężyn (rys. 5b,c). W rezultacie przyrosty siły w walcu ΔQ są mniejsze niż przyrosty obciążenia zewnętrznego ΔP . Po całkowitym odprężeniu sprężyn i przejściu ich w fazę rozciągania (rys. 5d) oraz przy dalszym wzroście obciążenia P , przyrosty siły w walcu ΔQ zwiększają się z 10 kN do 16,4 kN. Na wykresie zależności siły Q' od obciążenia zewnętrznego P (rys. 5e) można zauważyć załamanie, które następuje wówczas, gdy wartość siły Q' w walcu odpowiada wartości siły rezydualnej Q_{res} .

W czasie próbnego obciążenia pala, odczyty czujników odkształceń pozwalają na określenie jedynie przyrostu siły osiowej w trzonie, a więc siły odpowiadającej sile Q' w schemacie na rys. 5. Siła rezydualna Q_{res} , występująca w palu przed próbnym obciążeniem jest nieznaną. Z przedstawionego na rys. 5 schematu ideowego wynika jednak, że siłę tę można oszacować na podstawie analizy pomierzonych przyrostów siły osiowej Q' w trzonie pala w kolejnych stopniach obciążenia zewnętrznego.

Zaproponowaną metodę oszacowania wartości siły rezydualnej w trzonie pala zastosowano do przypadku przedstawionego na rys. 4.

Na rys. 6 przedstawiono wyniki wstępnej interpretacji bezpośrednich wyników pomiarów (bez przeprowadzania korekt). Na wykresach rozkładów siły Q'_i wzdłuż długości pala (rys. 6a) w kilku początkowych stopniach obciążenia można zauważyć stosunkowo małe przyrosty siły osiowej w dolnym odcinku pala oraz małe przyrosty oporu gruntu pod podstawą. Na wykresach Q - s (rys. 6b) otrzymano z kolei nierealny kształt krzywej oporu podstawy Q_b , stosunkowo małe opory poboczniczy



Rys. 6. Interpretacja badania na podstawie bezpośrednich wyników pomiarów

Q_s w gruncie nośnym, natomiast dużą wartość oporu górnych warstw gruntów słabych Q_{Tn} . Otrzymane wyniki wskazują na nieprawidłowości pomiarowe, które należy skorygować.

W celu korekty interpretacji pomiarów sporządzono wykresy przyrostów sił osiowych w poszczególnych odcinkach trzonu pała dla kolejnych stopni obciążenia (rys. 7). Na wykresach sił Q'_{G3} , Q'_{G4} i Q'_{G5} oraz siły Q'_b można zauważyć załamania podobne do załamania na wykresie z rys. 5e. Z punktów tych załamania odczytano wartości sił rezydualnych Q_{res} w poszczególnych poziomach trzonu pała.

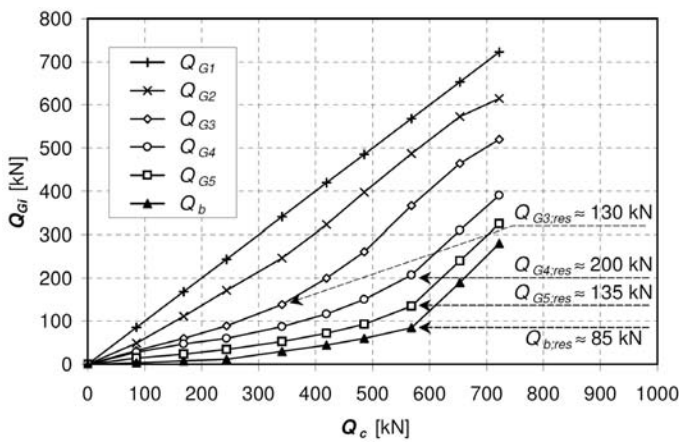
Oszacowane wartości siły rezydualnej wykorzystano następnie do korekty rozkładów sił osiowych Q_i w trzonie pała. Korekta składała się z dwóch kroków. Pierwszy krok polegał na dodaniu wykresu siły rezydualnej do wykresów sił z rys. 6a. Uzyskane po tym kroku skorygowane rozkłady sił osiowych przedstawiono na rys. 8a. Drugi krok korekty polegał na wyznaczeniu rozkładów sił osiowych dla przypadku, w którym przed

rozpoczęciem próbnego obciążenia nie byłoby siły rezydualnej w trzonie pała. Uznano, że wykresy z ostatnich czterech stopni obciążenia na rys. 8a nie wymagają dalszej korekty, gdyż z analizy ich kształtów wynika, że przy istniejącym poziomie obciążenia (powyżej $Q_c = 500$ kN) wpływ siły rezydualnej w pału został już w całości zniwelowany. Wykresy rozkładów sił osiowych dla wcześniejszych stopni obciążenia skorygowano, stosując zasadę podobieństwa i proporcjonalności w stosunku do wykresów z ostatnich czterech stopni obciążenia. Otrzymane ostatecznie rozkłady sił osiowych w pału przedstawiono na rys. 8b, a wyznaczone na ich podstawie wykresy Q -s oporów gruntu na poboczniczy i pod podstawą pała przedstawiono na rys. 9.

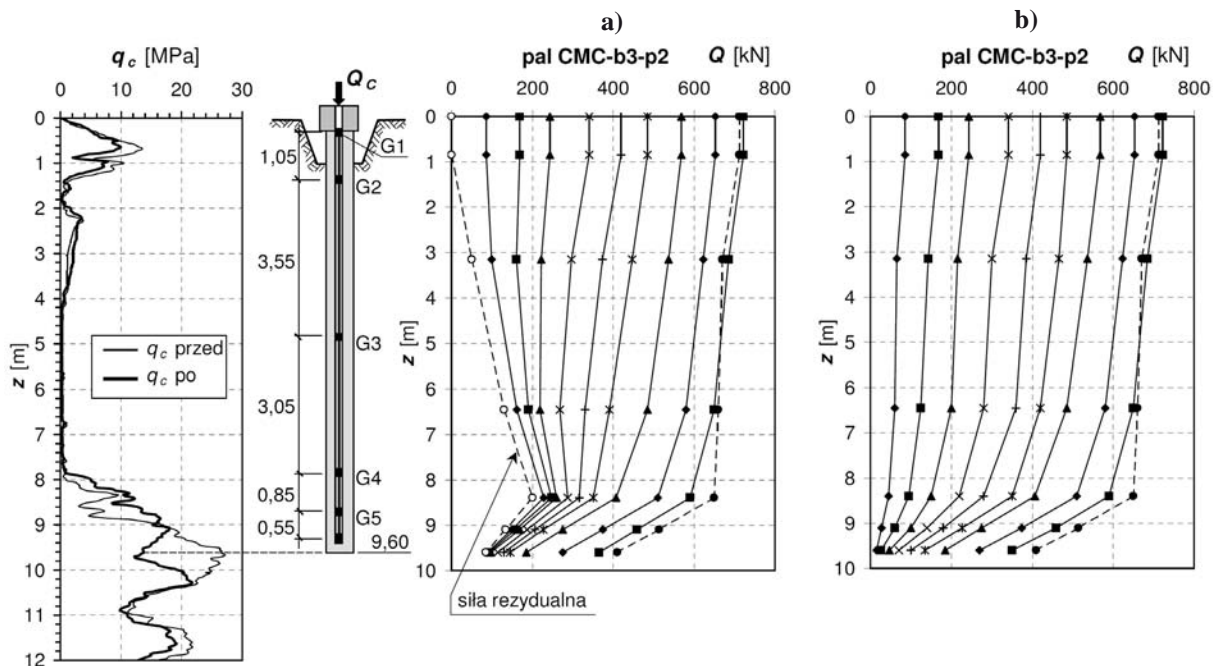
Porównując wykresy Q -s z rys. 9 z odpowiadającymi im wykresami na rys. 6b można zauważyć, że po przeprowadzeniu korekt wrosły wartości sił Q_s i Q_b przenoszonych przez warstwy gruntów nośnych, każda o około 100 kN, natomiast znacznie zmalała wartość siły Q_{Tn} przejmowanej przez górne warstwy gruntów słabych – z ponad 300 kN na rys. 6b do nieco ponad 100 kN na rys. 9. Wartość tarcia negatywnego T_n jest różnicą pomiędzy siłą Q_{Tn} z rys 6 i siłą Q_{Tn} z rys. 9, a więc wynosi około 200 kN (tyle samo co maksymalna wartość siły rezydualnej Q_{res} na długości pała).

Z przeprowadzonych analiz wynika, że nie uwzględnienie siły rezydualnej uwięzionej w trzonie pała przed próbnym obciążeniem prowadzi do uzyskiwania w interpretacjach pomiarów tensometrycznych zaniżonych wartości oporów dolnych warstw gruntów nośnych, natomiast zawyżonych oporów górnych warstw gruntów słabych, co zauważył również autor pracy [4].

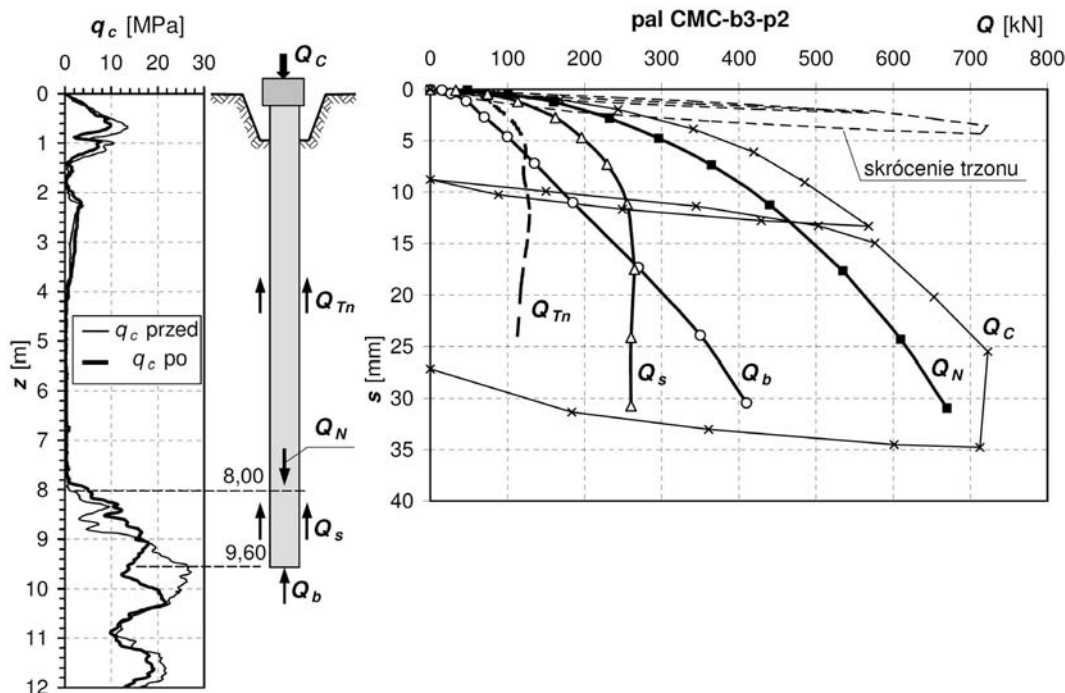
Podobnego rodzaju sytuacje, jak przedstawiona na przykładzie pała CMC-b3-p2, wystąpiły również podczas badań kilku innych pali w realizowanym projekcie badawczym. Wyniki pomiarów z tych badań skorygowano w podobny sposób jak opisano wcześniej. W przypadkach, gdy wyniki pomiarów tensome-



Rys. 7. Wykresy przyrostów sił osiowych w kolejnych odcinkach pomiarowych trzonu pała



Rys. 8. Wykresy rozkładów sił osiowych w pału: a) po pierwszym kroku korekty, b) po drugim kroku korekty



Rys. 9. Wykresy Q - s oporów gruntu na pobocznicę i pod podstawą pała uzyskane po drugim kroku korekty

trycznych nie wskazywały jednoznacznie na występowanie siły rezydualnej w trzonie pała (głównie, gdy po odciążeniu pała nie stwierdzano zwiększenia się długości odcinków pomiarowych w stosunku do ich długości początkowych), interpretację pomiarów przeprowadzono bez stosowania korekt.

Korzystnym elementem prowadzonych w projekcie badań było to, że na poszczególnych poletkach doświadczalnych wykonywano badania na trzech lub czterech palach o bardzo podobnych parametrach i pracujących w podobnych warunkach gruntowych. Dzięki temu możliwe było zastosowanie dodatkowo analizy porównawczej wyników pomiarów z badań poszczególnych pali, uśrednianie tych wyników oraz korygowanie wyników nadmiernie odbiegających od średniej tendencji. Analiza taka niewątpliwie podnosiła wiarygodność wyników badań.

PODSUMOWANIE

Nie ulega wątpliwości, że interpretacja pomiarów rozkładu siły w trzonie pała jest procesem bardzo złożonym, kłopotliwym i zawierającym wiele niedoskonałości. Ze względu na wpływy różnego rodzaju czynników, należy pogodzić się z faktem, że dokładność interpretacji tych pomiarów znajduje się na poziomie $\pm 20\%$. Im dokładniej będziemy potrafili oceniać wpływy czynników opisanych w artykule [4] oraz w niniejszym artykule, tym bardziej miarodajny będzie wynik końcowy naszych pomiarów.

Pomiar rozkładu siły w trzonach pali podczas próbnych obciążeń statycznych miał pełnić rolę narzędzia pomocniczego, dostarczającego dane do różnego rodzaju dalszych analiz naukowych i inżynierskich. Jak okazuje się jednak, już sam pomiar może stanowić ważne i skomplikowane zagadnienie naukowe będące tematem wielu analiz, a nawet bez wątpienia może być przedmiotem oddzielnego projektu badawczego.

Na koniec poruszona dodatkowo przez Autora artykułu dyskusyjnego [4] sprawa nazewnictwa. Osobiście w pełni zgadzam się, że w odniesieniu do stosowanych przeze mnie czujników pomiarowych powinno używać się określenia „ekstensometr”, szczególnie po zapoznaniu się z argumentacją przedstawioną przez Autora dyskusji. Terminu takiego używałem również w początkowych wersjach swoich publikacji. Otrzymałem jednak sugestie od recenzentów i redakcji czasopism, żeby używać raczej terminu „tensometr” lub „czujnik odkształceń”. Dyskusje wywołuje również używanie nazwy „pale wkręcane”. Według niektórych opinii nazwa ta kojarzy się bardziej ze stalowymi palami talerzowymi (w Polsce jeszcze mało popularnymi), które wprowadza się w grunt przez wkręcanie. Zgadzam się również i z tą opinią, i osobiście proponowałbym, aby w odniesieniu do analizowanych pali używać nazwy „pale przemieszczeniowe wkręcane”.

Kwestie nazewnictwa powinny zostać ostatecznie rozstrzygnięte na odpowiednim szczeblu (np. PKN lub PKG).

LITERATURA

1. Hayes J., Simmonds, T.: Interpreting strain measurements from load tests in bored piles. Proceedings of the 9th Int. Conference on Piling and Deep Foundations, Nice, 2002.
2. Krasieński A.: Wyniki badań terenowych pali i kolumn wkręcanych. Inżynieria Morska i Geotechnika, nr 6/2011.
3. Maertens J. & Huybrechts N.: Belgian screw pile technology. Design and recent developments. Swets & Zeitlinger B.V., Lisse, The Netherlands, 2003, s. 372.
4. Sahajda K.: Dyskusja do artykułu dr. Krasieńskiego: Wyniki badań terenowych pali i kolumn wkręcanych”, zamieszczonego w „Inżynierii Morskiej i Geotechnice”, nr 6/2011. Inżynieria Morska i Geotechnika, nr 2/2012.