

Badania polowe kształtu wbijanych kolumn kamiennych z wykorzystaniem metody elektrooporowej

Dr hab. inż. Jerzy Sękowski, prof. Pol. Śl., dr inż. Sławomir Kwiecień, mgr inż. Piotr Kanty
Politechnika Śląska w Gliwicach, Wydział Budownictwa

Jedną z metod wzmacniania podłoża zbudowanego z gruntów spoistych i organicznych o miąższości do 6 m jest wymiana dynamiczna (wbijane kolumny kamienne). Polega ona na formowaniu w gruncie wzmacnianym kolumn z kruszywa grubo-okruchowego udarami o dużej energii. Specyfika technologii wbijania powoduje, że w zależności od zastosowanej energii uderzenia, kształtu ubijaka oraz rodzaju i stanu gruntu słabego, wykonane kolumny charakteryzują się różnymi kształtami [4], [2]. Stąd też przed przystąpieniem do wykonania wzmocnienia jest konieczne przygotowanie poletka próbnego, na którym wykonuje się od kilku do kilkunastu kolumn, część z nich odkopując i inwentaryzując, celem potwierdzenia założonej w projekcie średnicy i długości kolumn. Również po wykonaniu wzmocnienia na określonym odcinku jest przeprowadzana inwentaryzacja kolumn (np. 1 kolumna na 50 m długości nasypu), potwierdzająca założone wzmocnienie. W tym celu stosowane są przekopy przez środek kolumny z użyciem koparek. Wiąże się to jednak z pewnymi trudnościami. W przypadku występowania wysokiego poziomu wody gruntowej, bez przeprowadzenia odwodnienia badanego podłoża, następuje szybki napływ wody oraz obsypywanie się skarp wykopu, co uniemożliwia prawidłowe ustalenie geometrii kolumny. Pomimo tego, że badania te są stosunkowo szybkie (średnio od 30 do 60 minut na jedną kolumnę), po ich przeprowadzeniu jest konieczne ponowne wykonanie kolumny. Ponadto badania te umożliwiają sprawdzenie kształtu nieznanej liczby kolumn.

Alternatywą mogą być badania geofizyczne, pozwalające w bezinwazyjny sposób na ustalenie kształtu wykonanych kolumn. Wymaga to jednak przeprowadzenia odpowiednich badań kalibrujących.

W artykule przedstawiono wyniki badań geofizycznych wykonanych metodą tomografii elektrooporowej, w celu ustalenia kształtu pojedynczej kolumny kamiennej na poletku badawczym zlokalizowanym w okolicach Zielonej Góry. Uzyskany w ten sposób kształt kolumny porównano z wynikami tradycyjnej odkrywki.

BADANIA POLOWE

Poletko badawcze

Badania polowe przeprowadzono w okolicach Zielonej Góry. Metodę wymiany dynamicznej wykorzystano tutaj do wzmocnienia podłoża gruntowego przy rozbudowie jednej z istniejących linii kolejowych.

Miejsce badania wybrano na podstawie dokumentacji geotechnicznej oraz projektowej wspomnianego przedsięwzięcia, przy przyjęciu kryterium występowania najbardziej odkształcalnych gruntów na tym odcinku.

Dodatkowo, w celu określenia warunków gruntowo-wodnych w miejscu formowania kolumny, wykonano ręczne wier-

cenia badawcze. W trakcie wierceń przeprowadzono makroskopowe rozpoznanie napotkanych gruntów, część z nich typując do dalszych badań laboratoryjnych (badania wilgotności, stanu oraz zawartości części organicznych).

Jak wykazały badania, w miejscu i do rozpoznanej głębokości, podłożę budują grunty nasypowe ze średnio zagęszczonego piasku średniego (platforma robocza umożliwiająca wjazd sprzętu ciężkiego na obszar wzmacnianego podłoża), rodzime plastyczne namuły gliniaste, lokalnie z dodatkiem części próchnicznych oraz rodzime średnio zagęszczone piaski średnie.

Podczas wierceń w podłożu natrafiono na wodę gruntową. Jej zwierciadło swobodne znajdowało się w stropie warstw rodzimych piasków średnich.

Przekrój geotechniczny w miejscu formowania kolumny przedstawiono na rys. 1.

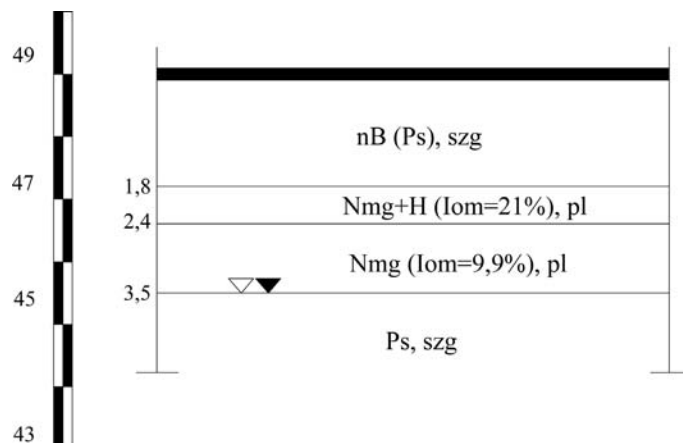
Warunki gruntowo-wodne określono również z wykorzystaniem badań geofizycznych metodą tomografii elektrooporowej ERT za pomocą 8-kanalowej, 64-elektrodowej aparatury rejestrującej, wzdłuż jednego profilu geofizycznego.

Badania przeprowadzono także po uformowaniu kolumny.

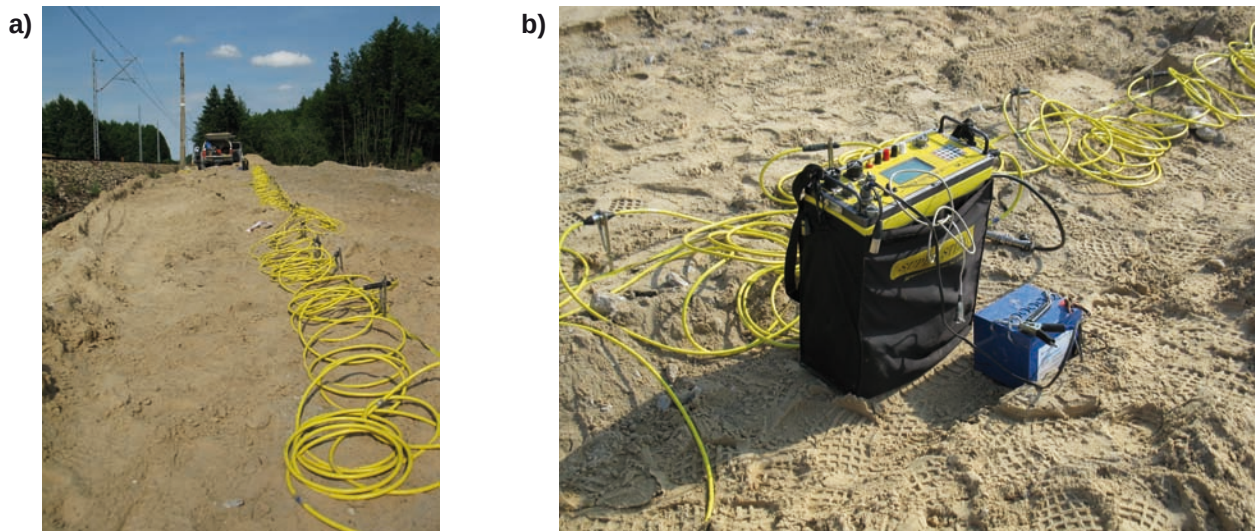
W badaniu geofizycznym wykorzystującym metodą tomografii elektrooporowej cykl pomiarowy polega na uziemieniu wzdłuż odcinka pomiarowego, w równych odstępach, kilkudziesięciu elektrod (rys. 2) i wykonaniu pomiarów dla wszystkich 4 elektrodowych kombinacji tych elektrod, spełniających warunki wybranego układu pomiarowego, zwykle układu Schlumbergera-Wennera [1].

Długość odcinka pomiarowego wyniosła 46,5 m, a rozstaw elektrod był równy 0,75 m. Zasięg głębokościowy badania wyniósł około 8,6 m p.p.t.

Wyniki pomiarów opracowano metodą modelowania matematycznego. W rezultacie opracowania uzyskano szczegółowe odwzorowanie zróżnicowania oporności elektrycznej ośrodka w przekroju wzdłuż linii pomiarowej.



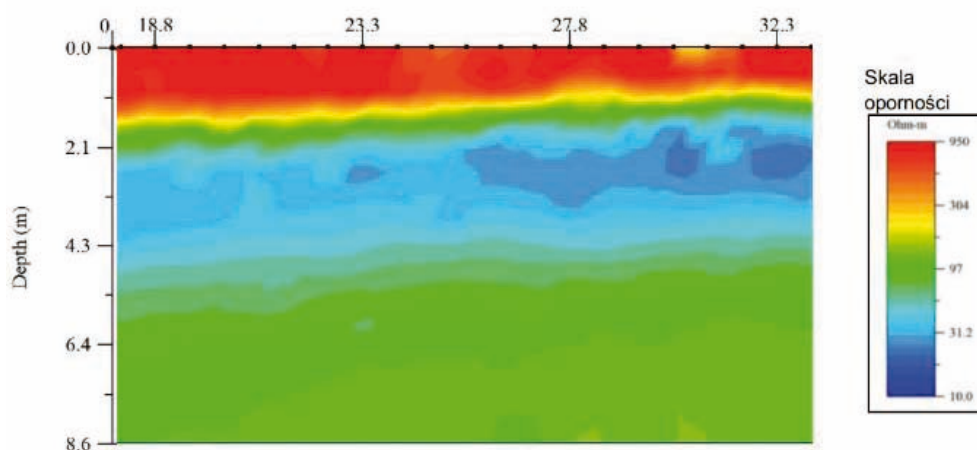
Rys. 1. Warunki gruntowo-wodne w miejscu formowania kolumny



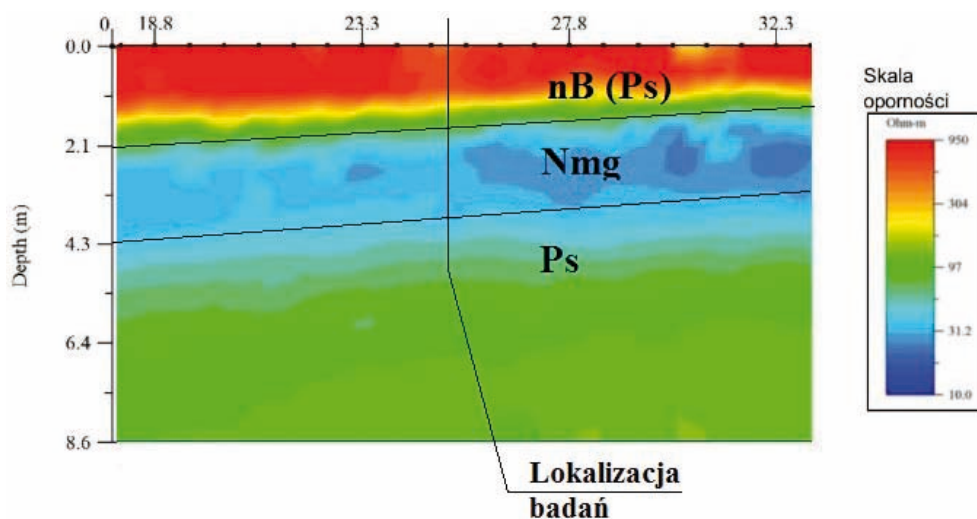
Rys. 2. Badania geofizyczne: a) widok odcinka pomiarowego, b) aparatura pomiarowa

Wyniki pomiarów obrazujących rozkład oporności elektrycznej wzdłuż linii profilu pomiarowego przed wykonaniem kolumny przedstawiono na rys. 3, a ich interpretację, wykonaną przez doświadczonego wykonawcę badań [1], pokazano na rys. 4.

Zarejestrowane oporności zawierają się w przedziale $10 \div 950 \Omega\text{m}$. Zaobserwowano trzy bloki opornościowe w postaci równoległych warstw wysokooporowych (platforma robocza), niskooporowych (grunty organiczne) oraz ponownie warstw wysokooporowych (nośne piaski średnie). Przy wy-



Rys. 3. Fragment przekroju geoelektrycznego przed wykonaniem kolumny



Rys. 4. Interpretacja wyników badań elektrooporowych przed wykonaniem kolumny

znaczeniu granic poszczególnych warstw przyjęto, że uzyskane oporności na poziomie poniżej 30 Ω m wiążą się z występowaniem spoistych gruntów organicznych [1], a oporności na poziomie powyżej 100 Ω m świadczą o występowaniu piasków (suchych i nawodnionych) [3].

Uzyskane wyniki badań geofizycznych (rys. 3 i 4) potwierdzają ustalone podczas wiercen rodzaj i miąższości napotkanych warstw gruntów (rys. 1).

Proces formowania kolumny kamiennej

Proces wymiany dynamicznej odbywał się z użyciem sprzętu umożliwiającego rzut ubijaka o kształcie zbliżonym do beczki i masie 11 t, z wysokości 15 m (rys. 5).

W trakcie wykonywania kolumny sprzęt pomiarowy do badań geofizycznych zdemontowano.

Kolumny uformowano z mieszanki destruktu betonowego i piasku, o frakcji 0 ÷ 150 mm.



Rys. 5. Urządzenie dźwigowe wraz z ubijakiem do formowania kolumn

W pierwszej kolejności w miejscu formowania kolumny z wysokości 5 m zrzucano ubijak formujący krater (rys. 6a), który następnie zasypywano (rys. 6b). Kolejne rzuty ubijaka wykonywano z wysokości 9 ÷ 10 m. Niepełna wysokość rzutu była spowodowana bezpośrednim sąsiedztwem czynnej linii kolejowej. Zasyp kruszywa wykonywano każdorazowo w momencie pełnego wpędu ubijaka (rys. 6c). W pierwszej fazie formowania kolumny krater wybijano już po dwóch zrzutach ubijaka. W kolejnych fazach liczba uderzeń potrzebnych do wprowadzenia materiału kolumny w podłoże wynosiła od 3 do 4. W końcowej fazie formowania kolumny ubijak zrzucano z wysokości około 1 m.

Badania kształtu kolumny

Badania elektrooporowe przeprowadzono ponownie, bezpośrednio po wzmocnieniu podłoża.

Różna oporność elektryczna materiału kolumny kamiennej i słabego podłoża powinna spowodować powstanie granicy geoelektrycznej, a tym samym umożliwić określenie kształtu wykonanej kolumny.

Wyniki pomiarów obrazujących rozkład oporności elektrycznej wzdłuż linii profilu pomiarowego po wykonaniu kolumny przedstawiono na rys. 7.

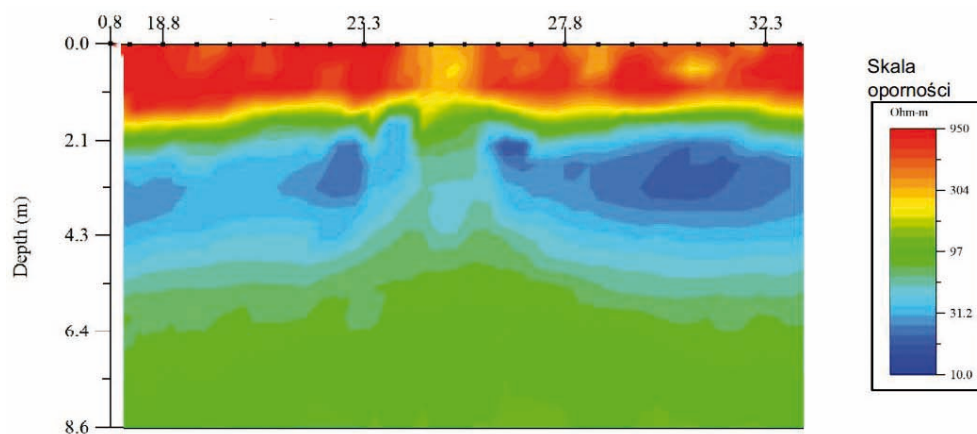
Na podstawie uzyskanych wyników zauważyć można, że między rzędnymi poziomymi 23,3 m oraz 27,8 m występuje grunt o zupełnie innej oporności elektrycznej niż otaczająca go platforma robocza, a w szczególności grunt organiczny. W tym przypadku jest to materiał, z którego wykonano kolumnę. Interpretację badań elektrooporowych w postaci obrysu kolumny naniesionego na mapę oporności podłoża przedstawiono na rys. 8.

Wprowadzona na mapy oporności skala pozwala na określenie podstawowych parametrów kolumny. Ustalona długość kolumny wyniosła 3,4 m, jej średnica górna 2,1 m, a dolna około 1,6 m.

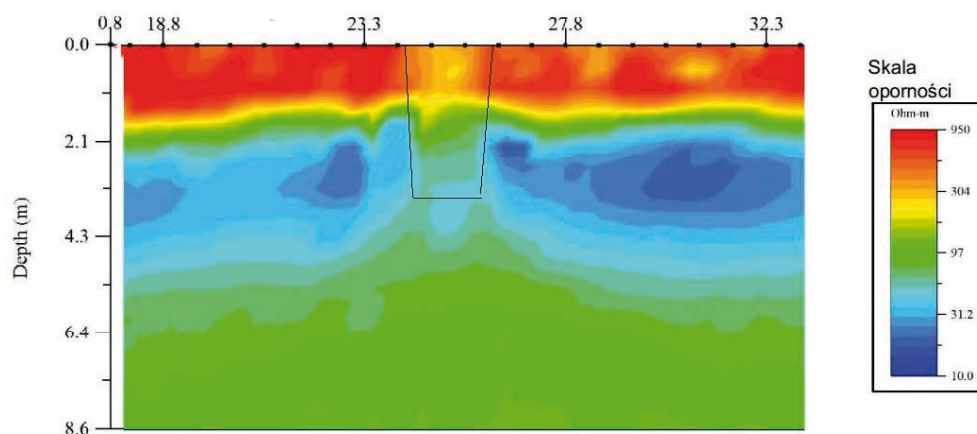
Odkrywkę kolumny dokonano po przeprowadzeniu badań geofizycznych. Wykonano ją koparko-ladowarką, kopiąc przez środek kolumny wzdłuż odcinka pomiarowego założonego w badaniach elektrooporowych.



Rys. 6. Proces formowania kolumny: a) powstały krater, b) zasyp krateru, c) pełny wpęd ubijaka



Rys. 7. Fragment przekroju geoelektrycznego po wykonaniu kolumny

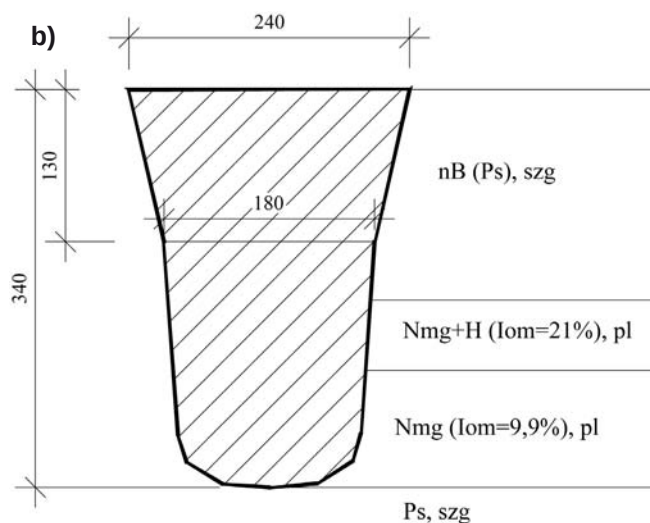


Rys. 8. Interpretacja wyników badań elektrooporowych po wykonaniu kolumny

Ze względów bezpieczeństwa pomiary inwentaryzacyjne oraz dokumentację fotograficzną wykonywano z poziomu terenu. Na rys. 9 przedstawiono wyniki inwentaryzacji kolumny.

Zinwentaryzowana kolumna miała wzdłuż długości kształt charakteryzujący się zmienną średnicą. Średnica głowicy była

równa 2,4 m, malejąc z głębokością. Na głębokości 1,3 m wynosiła 1,8 m. Podstawa kolumny miała kształt „półksiężyca”. Kolumna miała długość 3,4 m, „dochodząc” do nośnych średnio zagęszczonych piasków średnich.



Rys. 9. Wyniki inwentaryzacji kolumny: a) widok w wykopie, b) szczegóły inwentaryzacji

ANALIZA UZYSKANYCH WYNIKÓW

W wyniku wbijania w podłoże słabe, kruszywa o frakcji 0-150 mm, uzyskano kolumnę kamienną o kształcie zmiennym wzdłuż długości. Jej kształt korespondował z wynikami badań prowadzonych przez autorów [2] w zbliżonych warunkach gruntowych.

Na podstawie przeprowadzonej odkrywki ustalono, że długość kolumny wyniosła 3,4 m. Tym samym kolumna oparła się na gruntach nośnych. Identyczną długość kolumny uzyskano na podstawie badań elektrooporowych.

Również kształt kolumny uzyskany w obu badaniach był jakościowo zbliżony. Stwierdzono w obydwu badaniach, że średnica kolumny maleje wraz z głębokością. Różniły się natomiast nieznacznie charakterystyczne średnice kolumny. Na podstawie odkrywki ustalono, że średnica górna jest równa 2,4 m, natomiast dolna około 1,7 m. W przypadku badań geofizycznych średnice te były mniejsze i wyniosły odpowiednio 2,1 m i 1,6 m. Większą różnicę wyników uzyskano dla górnej średnicy, i może to wynikać z dokładności samej metody elektrooporowej, jak i z tego, że kolumnę uformowano z destruktu betonowego z dodatkiem tego samego piasku, jaki zastosowano w platformie roboczej.

PODSUMOWANIE

Przedstawione w artykule badania, ich wyniki oraz analiza to pierwszy krok autorów w kierunku wykorzystania badań geofizycznych, za pomocą tomografii elektrooporowej, do określania kształtu wbijanych kolumn kamiennych.

Zrealizowane badania dotyczyły określenia kształtu pojedynczej kolumny kamiennej i dały zadowalające rezultaty.

Ze względu na specyfikę metody wymiany dynamicznej badania określające długość kolumn oraz ich średnice są niezbędne i praktycznie każdorazowo wykonywane na budowie. Niewątpliwym atutem badań geofizycznych jest ich szybkość i bezinwazyjność w odniesieniu do podłoża oraz możliwość przebadania większego obszaru.

Stąd też zdaniem autorów, w przyszłości, konieczne byłoby przeprowadzenie badań geofizycznych i kontrolnych odkrywek przy większej liczbie kolumn.

LITERATURA

1. Gawron P, Długosz Ł., Frycz M.: Sprawozdanie z badań geofizycznych wykonanych metodą tomografii elektrooporowej w rejonie dynamicznej wymiany gruntu. Geotech, VI 2012.
2. Kwiecień S., Sękowski J.: Kolumny kamienne formowane w technologii wymiany dynamicznej. Monografia. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2012.
3. Lech M., Garbulewski K.: Określanie porowatości gruntów niespoistych na podstawie pomiarów oporności elektrycznej. Przegląd naukowy. Inżynieria i Kształtowanie Środowiska, 4(46), 48-56.
4. Sękowski J., Kwiecień S.: Badania polowe kształtu kolumn formowanych metodą wymiany dynamicznej. Inżynieria Morska i Geotechnika, 4, 2012, 426-432.

Badania wykonano w ramach projektu badawczego nr 1989/B/T02/2011/40 sfinansowanego ze środków Narodowego Centrum Nauki.

Piotr Kanty jest Stypendystą w Projekcie „SWIFT (Stypendia Wspomagające Innowacyjne Forum Technologii)” POKL.08.02.01-24-005/10 współfinansowanym ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego.