

Wgłębne wzmocnienie podłoża na Trasie Sucharskiego w Gdańsku

Mgr inż. Krystian Binder
Menard Polska

Podczas wzmocniania podłoża na Trasie Sucharskiego zastosowano technologię kolumn kombinowanych typu MCC, które są zaawansowanym technicznie wariantem kolumn betonowo-żwirowych. Dzięki takiemu rozwiązaniu zmniejszyły się koszty i czas realizacji tego zadania

Fot. 1. Aplikacja prefabrykowanych drenów pionowych

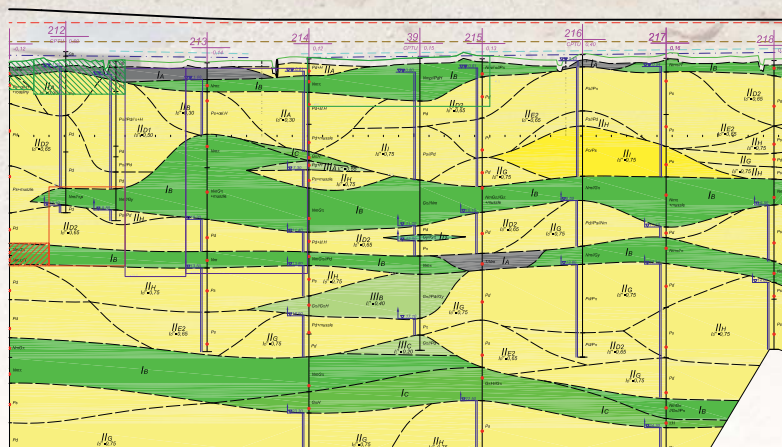
Budowana w Gdańsku Trasa Sucharskiego stanowić będzie drogowe połączenie Portu Gdańskiego, a w szczególności Portu Północnego, z krajową siecią dróg, w tym z drogą ekspresową S7, autostradą A1, Obwodnicą Południową Gdańska i Trasą Słowackiego. Inwestycja jest realizowana w trzech oddzielnych zadaniach: Budowa Obwodnicy Południowej Gdańska – od węzła „Olszynka” (inwestor – Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad), Budowa Trasy Sucharskiego Zadanie I i Zadanie II – do węzła „Ku Ujściu” (inwestor

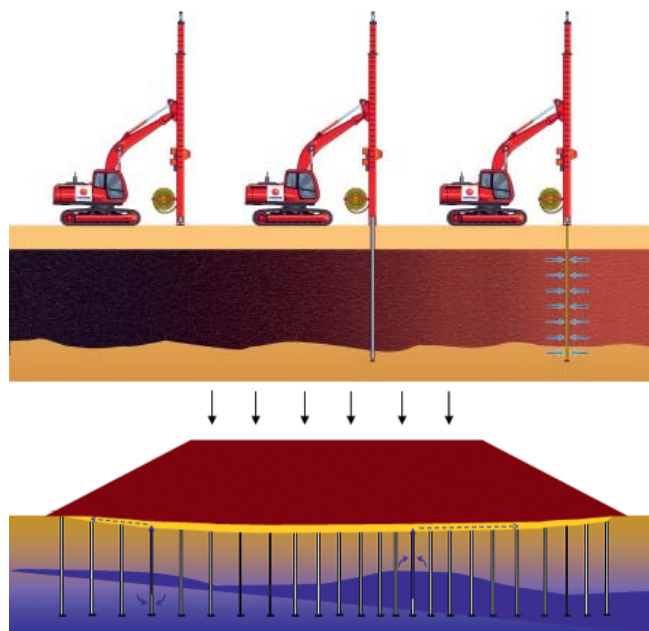
– Gdańskie Inwestycje Komunalne sp. z o.o.).

Całkowita długość odcinka, na którym realizowana jest inwestycja wynosi około 8,3 km, z czego 6,1 km jest realizowane w ramach Zadania I i II budowy Trasy Sucharskiego. Projekt obejmuje budowę trasy dwujezdniowej klasy głównej przyspieszonej o przekroju 2×2 i nawierzchni bitumicznej, zlokalizowanej w obrębie równiny deltowej Wisły, na obszarze Żuław Wiślanych.

Ze względu na fakt, iż działania w ramach tej inwestycji prowadzone są na obszarze bezpośrednio zagrożonym powodzią, niweletę trasy zasadniczej wyniesiono do rzędnej 2,7 m n.p.m. w celu ochrony przed powodzią morską i podtopieniami powstałymi na skutek podniesienia się wód gruntowych. Dokumentacja geotechniczna wskazuje na to, iż na tym obszarze w podłożu gruntowym występują piaski o różnej granulacji oraz utwory organiczne i próchnicze, wykształcone głównie w postaci namulów i torfów, lokalnie gytii, pyłów próchnicznych oraz piasków próchnicznych. Ustabilizowane zwierciadło wody gruntowej stwierdzono na głębokości około 0,5 – 6,3 m p.p.t, tj. na rzędnych około -0,2 do -0,8 m n.p.m. Na większych głębokościach rozpoznano zwierciadło napięte, gdzie warstwami napinającymi są warstwy słabo przepuszczalnych gruntów organicznych i mu-

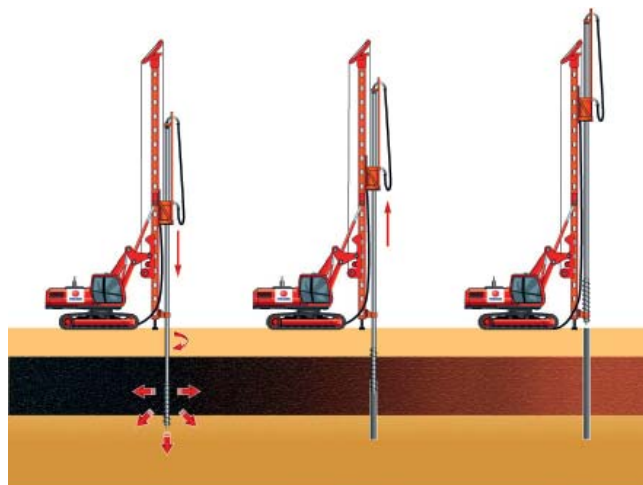
Rys. 1. Przekrój geologiczny warunków panujących w podłożu gruntowym na odcinku trasy zasadniczej





Rys. 2. Zasada działania drenażu pionowego i nasypu przeciążeniowego

Rys. 3. Schemat wykonywania kolumn CMC



ograniczenie osiadań budowanej trasy.

ków. Projekt wzmocnienia podłoża i wybór technologii wzmocnienia

Warunki odbiorowe określone przez zamawiającego zakładały ograniczenie osiadań do 5 cm podczas okresu gwarancyjnego, trwającego 5 lat od chwili zakończenia budowy. Maksymalne osiadania w okresie 30 lat założono do wartości 10 cm. Wstępne obliczenia wykazały, że dla występujących w podłożu niekorzystnych warunków gruntowych, tj. gruntów organicznych (namuły, torfy) i słabonośnych (pyły, gliny w stanie plastycznym lub miękkoplastycznym) i przy uwzględnieniu zmienności konstrukcji nasypu (wysokość), konieczne jest zastosowanie wzmocnienia podłoża gruntowego, aby spełnić wymagania odbiorowe.

Przedstawione w dokumentacji geotechnicznej warunki gruntowe występujące w ramach przedmiotowej inwestycji charakteryzują się dużą zmiennością i miąższością warstw słabych (rys. 1). W celu odpowiedniego dobrania metody wzmocnienia podłoża gruntowego do panujących warunków, cały odcinek podzielono na dwa główne profile geologiczne:

- warstwy słabe znajdują się bezpośrednio pod powierzchnią terenu;
- warstwy słabe znajdują się na pewnej głębokości (min. 3 i więcej metrów od poziomu terenu).

Projekt wykonawczy wzmocnienia podłoża gruntowego zakładał użycie przemieszczeniowych kolumn betonowych dla pierwszego profilu geologicznego oraz technologii jet-grouting (JG) do wzmocnienia podłoża dla drugiego profilu. Przyjęte rozwiązanie musiało być zoptymalizowane, gdyż stosowanie czasochłonnej technologii kolumn JG nie spełniało wymogów szacunku techniczno-ekonomicznego.

Ostatecznie, do wzmocnienia podłoża gruntowego należącego do pierwszego profilu geologicznego została użyta metoda betonowych kolumn przemieszczeniowych typu CMC oraz przeciążenia nasypem z użyciem prefabrykowanych drenów pionowych (VD). Do wzmocnienia podłoża gruntowego należącego do drugiego profilu założono metodę kolumn kombinowanych (MCC). Ze względu na znaczą miąższość przypowierzchniowej warstwy piasków nie występuje problem ze statecznością nasypu, dlatego głównym celem zastosowania technologii MCC jest

Wykonawstwo robót wzmocnienia podłoża gruntowego

Pod niskimi nasypami (do wysokości 3 m) trasy zasadniczej zastosowano przeciążenie nasypem wraz z drenami pionowymi. Wzmocnienie tą technologią polega na aplikacji w określonej siatce prefabrykowanych drenów pionowych w grunty słabo przepuszczalne, a następnie przeciążenie nasypem. Dzięki temu następuje wyciśnięcie wody z porów gruntowych z równoczesnym zagęszczeniem cząsteczek gruntu. W ten sposób poprawiają się parametry mechaniczne warstwy słabej. Dreny pionowe natomiast umożliwiają szybki wypływ wyciśniętej wody i tym samym skrócenie czasu konsolidacji.

Do aplikacji drenów pionowych służy specjalnie zaprojektowany maszt, który umożliwia pogrążenie profilu stalowego (wewnątrz którego znajduje się prefabrykowany dren pionowy) na głębokość nawet 30 m. Jako nośnika masztu używano koparki typu PC350 Komatsu.

Dreny pionowe zastosowano na około 60 000 m² obszaru Trasy Sucharskiego. Aplikowane w siatce kwadratowej o boku 1 do 1,5 m na głębokość 10–12 m skracaly czas konsolidacji do około 3 miesięcy z 1,5–3 lat. Wielkość przeciążenia określono w taki sposób, by uwzględniało przyszłe obciążenie użytkowe drogi oraz zjawisko pełzania gruntu. Wymuszone osiadania, jakie zrealizowały się podczas przeciążenia, wynosiły od 0,25 do 0,6 m.

Do wzmocnienia podłoża pod najazdy do obiektów inżynierskich zastosowano technologię kolumn przemieszczeniowych typu CMC. W strefie przejściowej wzmocnienie kolumnami betonowymi polegało na utworzeniu w podłożu sztywnych inkluzji betonowych, zapewniających ograniczenie osiadań oraz zwiększenie współczynnika stateczności podłoża gruntowego.

Do wykonywania kolumn CMC stosuje się specjalnie zaprojektowany świder przemieszczeniowy, zainstalowany na maszynie wyposażonej w głowicę o dużym momencie obrotowym i statycznym nacisku pionowym. Przemieszcza on grunt w kierunku poziomym do osi otworu. Po przemieszczeniu gruntu poza obręb kolumny wykonywana jest pod ciśnieniem iniekcja mieszanki betonowej. Iniekt do-

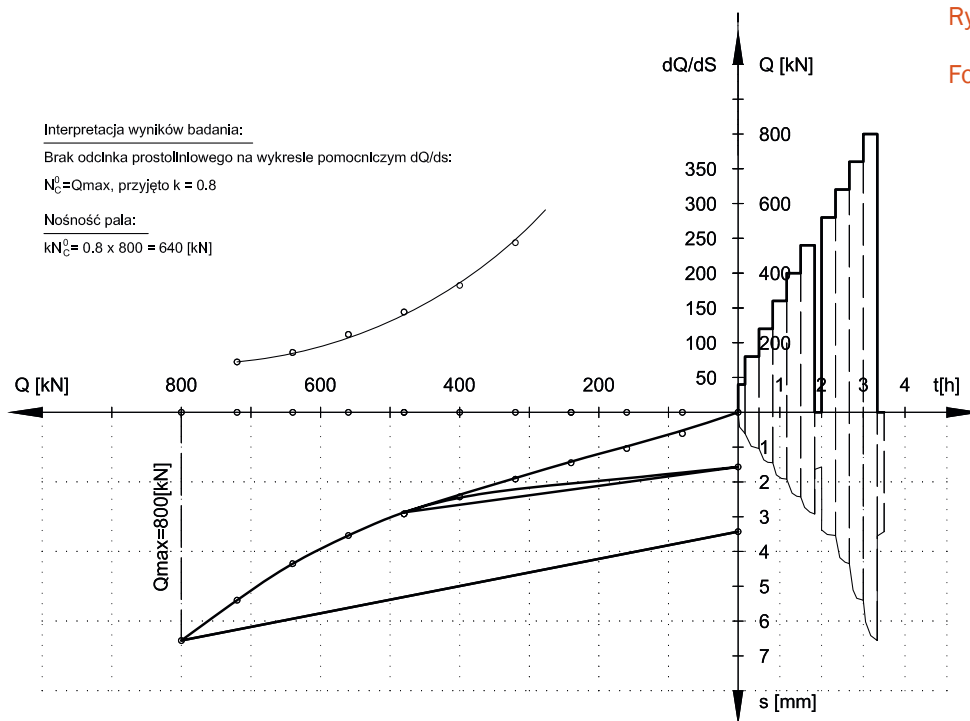
Interpretacja wyników badania:

Brak odcinka prostoliniowego na wykresie pomocniczym dQ/ds :

$N_c^0 = Q_{max}$, przyjęto $k = 0.8$

Nośność pala:

$kN_c^0 = 0.8 \times 800 = 640$ [kN]



Rys. 4. Wykres obciążenia próbnego kolumny CMC o średnicy 0,4 m

Fot. 2. Wykonywanie kolumn CMC

renu i nie generuje niebezpiecznych dla otoczenia wibracji.

Kolumny CMC wykonuje się do spągu warstwy nie-nośnej wraz z technologicznym zakotwieniem w warstwie nośnej (min. 0,5 m). Długość zakotwienia zależy od oporu (zagęszczenia) gruntu nośnego w danej lokalizacji i jest weryfikowana na bieżąco.

Jakość wykonania wzmocnienia określano na bieżąco na podstawie metryki kolumny, w której znajduje się m.in. jej profil, pobór energii podczas wiercenia, moment obrotowy, objętość mieszanki betonowej i ciśnienie podczas jej podawania.

Do sprawdzenia po wykonaniu kolumn służą metody badania ciągłości (PIT) lub obciążenia próbnego (rys. 4), którego celem jest potwierdzenie zakładanej nośności kolumny lub weryfikacja osiadania kolumny pod zadaniem obciążeniem.

Kolumny mają zazwyczaj średnice 0,4 m, a w pewnych szczególnych przypadkach stosuje się kolumny średnicy 0,25 do 0,6 m.

Na budowie Trasy Sucharskiego kolumny CMC zastosowano pod nasypy o wysokości nawet do 10 m. Zaprojektowano rozstawy od 1,6 do 2,6 m (w siatce kwadratowej) – w zależności od wysokości nasypu, o długościach dochodzących do 18 m.

Technologie te zostały zastosowane w miejscach, gdzie grunty nienośne zalegały od poziomu terenu, a przypowierzchniowa warstwa piasków miała grubość nie większą niż 2–3 m (profil I geologii). Trudniejszym przypadkiem, z punktu widzenia technologii wykonania wzmocnienia podłoża, był drugi profil geologiczny, który charakteryzował się tym, że grunty nienośne zalegały 5–7 m poniżej terenu. Sondowania statyczne CPT, wykonane na etapie projektu, wykluczały zastosowanie pali lub kolumn w technologii przemieszczeniowej, zastosowanej w innych lokalizacjach.

Na podstawie doświadczenia i wiedzy technicznej firmy Menard Polska została dobrana technologia kolumn kombinowanych typu MCC, które są zaawansowanym technicznie wariantem kolumn betonowo-żwirowych. Wykorzystanie tej metody zagwarantowało skrócenie czasu realizacji robót oraz skuteczne wzmocnienie gruntów nienośnych, jednocześnie nie powodując pogorszenia parametrów przypowierzchniowej warstwy zagęszczonych piasków.

Wzmocnienie kolumnami kombinowanymi polega na utworzeniu w słabym podłożu inkluzji składającej się z trzonu betonowego (o średnicy od 0,4 do 1 m) cechującego się dużą sztywnością. Zastosowanie go w gruntach



brany jest w specjalny sposób, pozwalający na osiągnięcie z góry ustalonego stosunku sztywności kolumny do otaczającego ją gruntu. W rezultacie uzyskujemy kompozyt gruntu i kolumn, współpracujących jako jednolita struktura o zwiększonej nośności. Proces wykonywania kolumny nie powoduje praktycznie żadnych uszkodzeń powierzchni te-

Perfekcja wykonania

- Jesteśmy wiarygodnym partnerem oferującym kompleksowe rozwiązania z zakresu wzmocnienia gruntu.
- Gwarantujemy to, co w realizacji wielkich przedsięwzięć jest najważniejsze – jakość, niezawodność i terminowość.
- Nasza praca jest podstawą najbardziej trwałych i nowoczesnych inwestycji.



słabych zapewnią wyraźne ograniczenie osiadań podłoża gruntowego. Dzięki tak dobranej technologii uzyskuje się bardzo małe osiadanie resztkowe, porównywalne do wartości uzyskiwanych w przypadku posadowień na palach.

Wykonywanie kolumn MCC odbywa się z poziomu platformy roboczej, perforując w głąb specjalną końcówką wibracyjną przez zagęszczone warstwy gruntów niespoistych oraz grunty słabe, aż osiągnie się strop gruntów nośnych. Następnie rozpoczyna się podawanie betonu, którego objętość jest monitorowana, przy jednoczesnym podciąganiu wibrokońcówki do góry. Dzięki odpowiedniej szybkości wychodzenia i jednoczesnego monitoringu objętości podawanego betonu otrzymuje się trzon betonowy o pożądanej średnicy.

Po osiągnięciu stropu warstwy gruntów słabych, następuje odcięcie dopływu mieszanki betonowej i podciąganie wibrokońcówki z jednoczesnym wykonaniem zasypania i zagęszczenia (poprzez wibrowanie) powstałego otworu roboczego. Pomiedzy trzonem betonowym a zawibrowanym gruntem wykształca się głowica żwirowo-betonowa, która umożliwia dystrybucję obciążeń na trzon betonowy.

Zastosowanie tej technologii eliminuje jeszcze jeden problem – przeszytwnienia podłoża nad głowicą kolumny, czyli prawidłowej współpracy warstw materacy geosyntetycznych z głowicami kolumn.

Obciążenie przekazywane na podłoże jest przenoszona nie tylko przez kolumny, ale także przez otaczający je grunt. Słabe podłoże przenosi zazwyczaj od 5 do 40% obciążeń całkowitych. Trzony betonowe z betonowo-żwirową głowicą pozwalają na zredukowanie osiadań podłoża od 60 do 95% (w zależności od stanu gruntu i rozstawu kolumn).

Sprawdzenie jakości wykonania kolumny odbywało się poprzez pobór i badanie próbek betonu użytego do wykonania trzonu betonowego. Zbadano również stan zagęszczenia przypowierzchniowych warstw gruntów niespoistych. Na rys. 6 przedstawiono sondowanie statyczne wykonane w osi wykonanej kolumny MCC, obrazujące zagęszczenie warstwy piasków.

Kolumny MCC zastosowano przede wszystkim na dojazdach do obiektów inżynierskich, gdzie wysokość nasypów dochodziła nawet do 10 m, a naprężenia w głębie położonych warstwach słabych, będące pochodną od obciążenia gruntu nasypem, powodowały niedopuszczone normą osiadania i występowanie tarcia negatywnego na palach pod przyczółkiem mostowym.

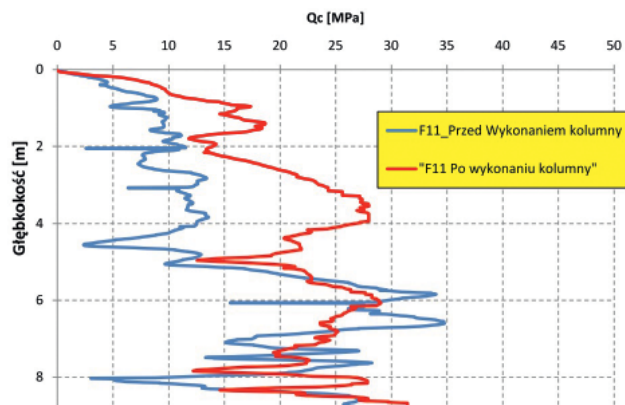
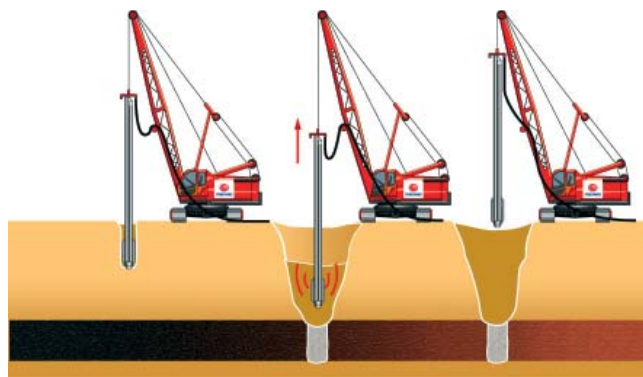
Kolumny wykonywano w siatce kwadratowej o boku od 2,4 do 4,5 m i średnicy od 0,4 do 0,6 m.

Podsumowanie

Opisane rozwiązania wzmocnienia podłoża gruntowego na Trasie Sucharskiego w Gdańsku wprowadzono jako alternatywę dla zaprojektowanego uprzednio wzmocnienia w postaci przemieszczeniowych kolumn betonowych oraz technologii jet-grouting. Pozwoliło to na prawie 10-krotne zmniejszenie kosztów oraz skrócenie czasu wykonania wzmocnienia podłoża.

Wzmocnienie podłoża na dojazdach do obiektu inkludzającymi typu MCC i CMC spowodowało redukcję osiadania oraz tarcia negatywnego oddziałującego na pale pod przyczółkami mostowymi.

Przeprowadzone badania kontrolne oraz próbne obciążenia potwierdziły spełnienie warunków nośności i osiadań zakładanych w projekcie. ■



Rys. 5. Schemat wykonywania kolumn MCC

Rys. 6. Sondowanie statyczne w osi wykonanej kolumny MCC

Fot. 3. Wykonywanie kolumn MCC