



## Projekt i realizacja wzmocnienia słabego podłoża nasypów na obwodnicy południowej Gdańska

■ Karolina Trybocka, Menard Polska Sp. z o.o.

W 2009 r. rozpoczęto realizację wzmocnienia podłoża na odcinku od km 5 + 701 do km 17 + 860 drogi ekspresowej S7 w ramach budowy południowej obwodnicy Gdańska. Z uwagi na niekorzystne warunki gruntowe pod projektowaną drogą wzmocnienie podłoża było niezbędne, aby spełnić warunki nośności i ograniczyć osiadania przy obciążeniu podłoża nasypem drogowym oraz założonym obciążeniu użytkowymi pojazdami. Zaprojektowano niespełna 700 tys. m<sup>2</sup> wzmocnienia w dwóch nowoczesnych technologiach: betonowych kolumn CMC oraz konsolidacji przy użyciu drenów pionowych i nasypu przeciążającego.

Inwestycja południowej obwodnicy Gdańska położona jest na obszarze Żuław Wiślanych, które stanowią holoceniową równinę aluwialną. Grunty w tym rejonie, takie jak mady, namuły, torfy oraz piaski o różnej granulacji, powstały w procesie akumulacji osadów rzecznych ok. 6–8 tysięcy lat temu. Pod względem stratygraficzno-genetycznym są to grunty powstałe po wycofaniu się lądolodu z terenu Polski i w swojej historii geologicznej nie były nigdy obciążone dodatkowym nadkładem. Miąższość osadów na terenie Żuław sięga ponad 20 m. Przykładowy profil litologiczny na projektowanym odcinku drogi przedstawiono na rycinie 1.

Kryterium wyboru technologii wzmocnienia było zapewnienie bezpieczeństwa i stateczności konstrukcji nasypów drogowych oraz ograniczenie osiadań eksploatacyjnych przy zminimalizowaniu kosztów inwestycji.

Kolumny betonowe wybrane zostały jako rozwiązanie adekwatne dla wysokich nasypów oraz odcinków sąsiadujących z obiektami inżynierskimi, natomiast technologia konsolidacji z udziałem drenażu pionowego była odpowiednia dla nasypów o wysokości nieprzekraczającej 5 m.

Wzmocnienie przemieszczeniowymi kolumnami typu CMC polega na utworzeniu w podłożu sztywnych inkluzji betonowych.

Tę metodę charakteryzuje brak ograniczeń związanych z warunkami gruntowymi. Zastosowanie kolumn przemieszczeniowych zapewnia wyraźne ograniczenie osiadań podłoża i znaczne zwiększenie współczynników stateczności podłoża gruntowego.

Założono wzmocnienie słabonośnego podłoża gruntowego za pomocą kolumn betonowych CMC o średnicy ok. 0,4 m, w rozstawie od 1,4 m x 1,4 do 3,0 m x 3,0 m, kotwionych w warstwie piasków nośnych. Dodatkowo zaprojektowano również zwieńczenie nasypu ocynkowanymi siatkami stalowymi, które ograniczają przemieszczenia poziome nasypu drogowego, przejmując siły poziome oraz zwiększając stateczność całej konstrukcji.

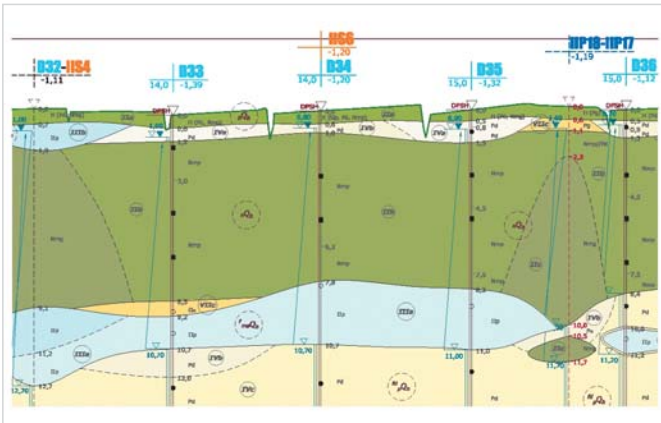
Celem zastosowania drenażu pionowego i przeciążenia jest przyspieszenie konsolidacji gruntów słabych i nieprzepuszczalnych, a tym samym poprawa ich parametrów mechanicznych.

Na obszarze projektowanej drogi rozstaw drenów od 1,0 m x 1,0 m do 1,5 m x 1,5 m oraz przeciążenie dobrano odpowiednio do warunków gruntowych, optymalizując zużycie materiału i czas konsolidacji. Zaprojektowany nasyp przeciążający sięgał od 2,5 do 4,2 m ponad poziom docelowego nasypu drogowego. Proces wznoszenia nasypów przeciążających wymagał fazowania wysokości nasypów, tak aby nie przekazać zbyt dużych obciążeń



na nieskonsolidowany grunt i nie narażać na utratę stateczności konstrukcji. Łącznie z czasem przeznaczonym na formowanie nasypów konsolidacja podłoża miała nastąpić maksymalnie po ośmiu miesiącach od zakończenia instalacji drenów.

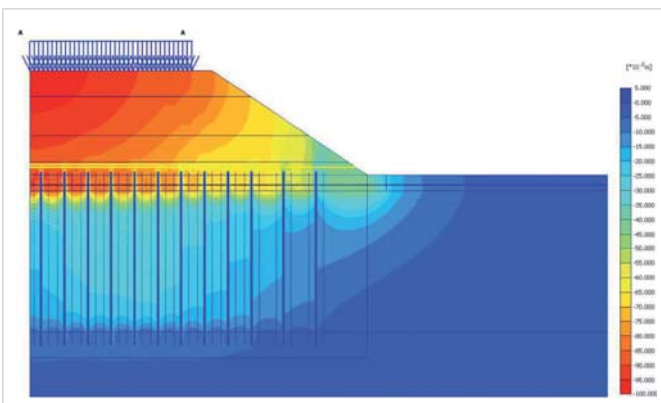
W procesie projektowania kluczowym zagadnieniem okazało się przyjęcie odpowiednich parametrów zarówno do obliczeń analitycznych, jak i do modeli numerycznych wzmacnianego podłoża gruntowego. W celu uszczegółowienia modelu budowy geologicznej oraz wyprowadzenia parametrów koniecznych do obliczeń projektowych, które nie zostały podane w dokumentacji przetargowej, podstawowa dokumentacja geotechniczno-inżynierska została rozszerzona o szereg dodatkowych badań.



Ryc. 1. Przykładowy przekrój geologiczno-inżynierski

Do obliczeń osiadań oraz efektywności wzmocnienia podłoża gruntowego kolumnami betonowymi typu CMC wykorzystano metodę elementów skończonych (ryc. 2). Poszczególne odcinki analizowano w modelu płaskiego stanu odkształcenia. Poprawność uproszczonego modelu dwuwymiarowego potwierdzono dokładnymi obliczeniami przeprowadzonymi dla modelu trójwymiarowego. Dodatkowa analiza pracy pojedynczej kolumny została przeprowadzona w stanie osiowosymetrycznym.

W procesie projektowania szczególną uwagę zwrócono na wyznaczenie naprężeń w kolumnach betonowych oraz zwymiarowanie warstwy transmisyjnej, którą w tym projekcie stanowiły ocynkowane siatki stalowe ułożone na warstwie zagęszczonego kruszywa. Zastosowanie siatek stalowych dało możliwość wyeliminowania zbrojenia w kolumnach skrajnych. Do analitycznych obliczeń nośności pojedynczej kolumny wykorzystano wyniki sondowań statycznych. Poprawność tych obliczeń została potwierdzona wynikami próbnych obciążeń. Ostateczne sprawdzenie polegało na wyznaczeniu współczynnika stateczności nasypu w fazie jego użytkowania metodą Bishopa.



Ryc. 2. Wyznaczone osiadania w modelu MES 2D



W obliczeniach przeprowadzanych dla metody drenażu pionowego, gdzie można spodziewać się osiadań na wysokim poziomie, zastosowano opis ośrodka gruntowego modelem lepko-sprężysto-plastycznym.

Model MES konsolidacji podłoża stanowił uzupełnienie rutynowych obliczeń analitycznych, w których do wyznaczenia czasu konsolidacji wykorzystano metodę szacowania wartości osiadań w czasie przez stopień konsolidacji. Wartość osiadań w czasie przez stopień konsolidacji, wyznaczono na podstawie współczynnika konsolidacji oraz wskaźnika ścisłości. Osiadania wtórne, które zachodzą w gruncie po zaniknięciu ciśnień porowych, oszacowano na podstawie współczynnika konsolidacji długotrwałej.

Monitoring, wykonywany bezzwłocznie po aplikacji kolumn CMC, drenów pionowych oraz wzniesieniu nasypu, ma na celu weryfikację przyjętych założeń, a także pozwala określić dokładnie czas zakończenia konsolidacji z nasypem przeciążającym.

W celu weryfikacji poprawności wykonania kolumn CMC wykonuje się następujące badania: kontrolę materiału, próbne obciążenia oraz badania ciągłości. Dodatkowo metryka każdej kolumny poddawana jest analizie.

Monitoring procesu konsolidacji polega na pomiarach osiadań oraz stopnia konsolidacji. Wraz z instalacją drenów pionowych zakłada się urządzenia monitorujące osiadania w podstawie nasypu (repery talerzowe, inklinometry) oraz nadwyżkę ciśnienia porowego (piezometry). W celu zapobiegnięcia awariom przy zbyt szybkim wznoszeniu nasypu przeprowadza się badania wytrzymałości na ścinanie gruntu.

W przypadku rozbieżności między projektowym a rzeczywistym stopniem konsolidacji można podjąć decyzje o ewentualnym wydłużeniu lub skróceniu czasu przeciążenia.

Przeprowadzane badania i monitoring dowodzą poprawność założeń projektowych. Poprawność wykonania kolumn została wykazana podczas obciążeń próbnych oraz badania ciągłości.

PRZEDSTAWIONA TEMATYKA ZOSTAŁA OMÓWIONA NA SEMINARIUM IBDiM I PZWFS WZMACNIANIE PODŁOŻA I FUNDAMENTÓW, WARSZAWA, 31 MARCA 2011.



ekonomiczne i sprawdzone rozwiązania problemów słabego podłoża



**menARD**



**kompleksowe rozwiązania w zakresie  
fundamentowania specjalnego  
oraz wzmocnienia podłoża  
od projektu do realizacji  
stosujemy  
najnowocześniejsze technologie**

- Dynamiczne zagęszczanie
- Dynamiczna wymiana
- Kolumny betonowe w technologii CMC
- Wibroflotacja/Kolumny żwirowe
- Konsolidacja próżniowa Menard Vacuum
- Drenaż pionowy
- Wgłębne mieszanie gruntu (DSM)
- Pale i kolumny CFA
- Jet Grouting

[www.menard.pl](http://www.menard.pl)

**MENARD POLSKA Sp. z o.o.**

**01-864 Warszawa ul.J.Kochanowskiego 49a Tel. 22 560 03 00 Fax. 22 560 03 01 e-mail: [biuro@menard.pl](mailto:biuro@menard.pl)**