

# WZMOCNIENIE PODŁOŻA GRUNTOWEGO pod obiektami mostowymi na drodze S3

tekst i zdjęcia: dr inż. PIOTR KANTY, mgr inż. PAWEŁ DUDZIŃSKI, mgr inż. PIOTR BĄBAŁA, Menard Polska Sp. z o.o.

W artykule opisano przygotowanie oraz wykonanie wzmocnienia podłoża gruntowego pod siedem obiektów mostowych (typu WD, WS, WDJ, WSJ), realizowanych w ramach zadania *Zaprojektowanie i wybudowanie drogi ekspresowej S3 Legnica (A4) – Lubawka, zadanie I od węzła Legnica II (bez węzła) do węzła Jawor II (z węzłem) o długości ok. 19,730 km, tj. od km 2 + 420,47 do km 22 + 150,00.*



Ryc. 1. Formowanie kolumny DSM za pomocą specjalnego padła

Konieczność wzmocnienia zaistniała nie ze względu na brak nośności podłoża gruntowego, lecz z potrzeby ograniczenia osiadań oraz osiadań różnicowych. Taki cel wykonywania kolumn DSM jest obecnie najczęściej spotykany w krajowych realizacjach pod obiektami mostowymi.

## Warunki geotechniczne

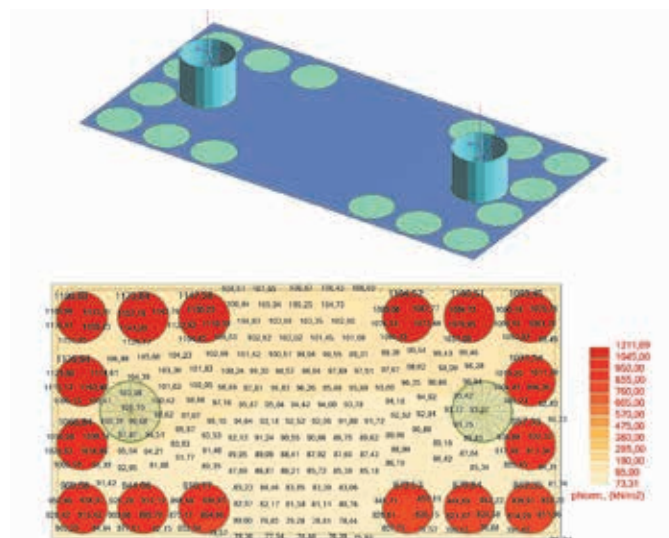
W celu rozpoznania warunków geologicznych we wszystkich obiektach mostowych dla każdej podpory wykonano co najmniej dwa wiercenia oraz minimum jedno sondowanie CPTu.

W podłożu rozpoznano grunty niespoiste oraz spoiste, praktycznie każdego rodzaju. Proporcja jednych do drugich wynosi mniej więcej 1:1, ich ułożenie często było naprzemienne. Jeżeli chodzi o grunty spoiste, to dominowały gliny piaszczyste i gliny pylaste z domieszkami pospółki lub żwiru. Występujące w podłożu grunty niespoiste (najczęściej w stanie średnio zagęszczonym) to pospółki i żwiru. Zwierciadło wody gruntowej stabilizowało się na głębokości kilku metrów.

## Technologia wglębnego mieszania gruntu DSM

Technologia wglębnego mieszania gruntu na mokro (DSM Wet) oparta jest na koncepcji poprawiania właściwości wytrzymałościowych gruntów występujących w podłożu przez wymieszanie ich z medium wiążącym (najczęściej zaczynem cementowym). Powstający w ten sposób cementogrunt charakteryzuje się znacznie wyższymi parametrami mechanicznymi i wytrzymałościowymi.

Wglębne mieszanie gruntu odbywa się przez wprowadzenie w podłożę gruntowe mieszadła (padła) o specjalnej konstrukcji, częściowo pokazanego na rycinie 1. Padel składa się z belek mieszających oraz różnie rozłożonych dysz iniekcyjnych. Średnica padła jest taka sama, jak projektowa średnica kolumny DSM. Faza formowania kolumny przebiega w kilku etapach, w których naprzemienne podciąganie i pogrążanie mieszadła zapewnia wymieszanie zaczynu cementowego z gruntem i utworzenie kolumny o relatywnie jednorodnej strukturze. W tej technologii DSM nie zawsze da się wyróżnić wyraźne cykle (dół – góra), niekiedy mieszanie następuje krokowo przez zagłębienie się np. na



Ryc. 2. Model numeryczny wzmocnionego podłoża wraz z fundamentem przyczółka

# Perfekcja wykonania



z gruntu innowacyjni

- > Jesteśmy wiarygodnym partnerem oferującym kompleksowe rozwiązania z zakresu **wzmocnienia gruntu i oczyszczania terenów zanieczyszczonych**
- > Mocne podstawy inwestycji to efekt naszych prac
- > Motorem napędowym naszego rozwoju jest **ciągłe udoskonalanie** stosowanych przez nas technologii
- > Gwarantujemy to, co w budownictwie jest najważniejsze  
**- jakość, niezawodność i terminowość**
- > Naszym celem jest realizacja każdej inwestycji w wydajny i ekonomiczny dla Klienta sposób



Spotkaj nas w Warszawie, Poznaniu, Krakowie, Szczecinie i Trojmieście

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



Ryc. 3. Powierzchnia pod filarem obiektu po wykonaniu kolumn DSM

1 m, a następnie wyjście o ok. 0,5 m. Sposób mieszania jest uzależniony od lokalnych warunków gruntowych, parametrów zaczynu, maszyny mieszającej. Nie można określić jednego, optymalnego sposobu mieszania, niejednokrotnie kolumnę DSM o wymaganych parametrach można uzyskać przez różne sekwencje mieszania.

### Rozwiązanie projektowe

Po wstępnej analizie możliwości posadowienia bezpośredniego (wykonanej na etapie PB [1]) zdecydowano się na posadowienie siedmiu obiektów mostowych na kolumnach DSM. Aby ograniczyć osiadanie obiektów, zaprojektowano dostosowane do obciążeń oraz wymiarów fundamentów siatki kolumn DSM o średnicy 1000 mm.

W trakcie projektowania autorzy zlecieli pobranie próbek gruntu do zarobów wstępnych. Takie zaroby zostały (jeszcze na etapie opracowywania PB [1] i PTiOR [2]) wykonane oraz zbadane. Przeprowadzono badania wytrzymałości na ściskanie jednoosiowe. Badania wykonano na reprezentacyjnych próbkach gruntu, które mieszano z trzema rodzajami spoiwa. Sporządzono ponad 70 próbek o wymiarach 15 x 15 x 15 cm. Uzyskano wytrzymałości na ściskanie (po 28 dniach przechowywania próbek) na poziomie 0,92–4,80 MPa. Jakkolwiek rozrzut wyników mógł wydawać się duży, to w obrębie jednego rodzaju gruntu i spoiwa rozrzuty były minimalne. Badanie te pozwoliły dobrać odpowiedni rodzaj cementu oraz przyrosty wytrzymałości między 7, 14 i 28 dniem.

Metodologię projektowania oparto na wytycznych podanych przez Topolnickiego [3]. Zastosowano globalny współczynnik bezpieczeństwa, zmniejszający wytrzymałość charakterystyczną materiału kolumn DSM. Ostatecznie postanowiono tak zaprojektować wzmocnienie, aby dla wszystkich podpór uzyskać jedną wartość wytrzymałości charakterystycznej kolumn DSM wynoszącą  $f_{ck,28} = 2,10$  MPa oraz  $f_{ck,56} = 3,00$  MPa. Długości kolumn różniły się na poszczególnych obiektach (łącznie było ich siedem) oraz podporach (łącznie 37). Maksymalna długość kolumn wynosiła 7,5 m. Razem zaprojektowano 772 sztuki kolumn DSM.

Kolumny odzwierciedlano numerycznie za pomocą modeli płytowo-słupowych. Widok jednego z modelowanych filarów wraz z mapą naprężeń pokazano na rycinie 2. Efektem finalnym projektu było oszacowanie osiadań oraz osiadań różnicowych na wzmocnionym podłożu.



Ryc. 4. Etap szalowania fundamentów mostu

### Realizacja prac

Wzmocnienie pod poszczególne obiekty wykonywano sukcesywnie według udostępnianych frontów. Wzmocnienie pod każdym obiektem wymagało indywidualnego podejścia do sposobu mieszania. Na każdej podporze dokonywano sprawdzenia jednorodności przekroju poprzecznego kolumny przez ścięcie głowicy i ocenę wizualną (ryc. 3).

Dla sprawdzenia założeń projektowych dotyczących wytrzymałości właściwej cementogruntu zostały pobrane próbki cementogruntu do badania po 28 i 56 dniach. Wykonano badania wytrzymałości materiału kolumn na ściskanie po 28 dniach – dwie serie badań cementogruntu (trzy normowe próbki, pobrane zgodnie z PN-EN 12350-1:2011, dla każdej podpory). Badania po 56 dniach wykonano dla co czwartej serii 28-dniowej. Uzyskano wytrzymałości  $f_{c,28} = 2,1$ –6,0 MPa oraz  $f_{c,56} = 3,2$ –8,0 MPa. We wszystkich badanych próbkach uzyskano minimalną wytrzymałość wymaganą projektem. Rozrzut wyników oraz fakt, że niektóre próbki wykazywały stanowczo wyższą wytrzymałość niż wymagana, należy uznać za naturalny. Wzmocnienie gruntu w tej technologii z reguły charakteryzuje się takimi rozrzutami.

Dzięki wykonanym testom wstępnym oraz pozytywnym wynikom pierwszych badań odbiorowych w większości przypadku po siedmiu dniach od zakończenia mieszania ostatniej kolumny na podporze rozpoczynano roboty mostowe (chude betony, zbrojenie i betonowanie fundamentów – ryc. 4).

### Literatura

- [1] Ocena geotechnicznych warunków posadowienia. Projekt geotechniczny. Obiekt: WD-3a, WD-6, WDJ-5, WDJ-7, WS-7, WS-9, WSJ-6. AECOM Polska oraz Wanecki Sp. z o.o. Gliwice, czerwiec 2016.
- [2] Projekt technologii i organizacji robót wzmocnienia podłoża gruntowego pod fundamentami obiektów inżynierskich WD-3a, WD-6, WDJ-5, WDJ-7, WS-7, WS-9, WSJ-6 w technologii kolumn cementogruntowych DSM. P. Bąbała, P. Kanty, M. Piasecki, M. Kiecana. Kraków, czerwiec 2016.
- [3] Topolnicki M.: Projektowanie i wykonawstwo posadowienia wiaduktów autostradowych na podłożu wzmocnionym metodą głębokiego mieszania gruntu (DSM). V Ogólnopolska Konferencja Mostowców. Wisła 2008.

