



ZBIGNIEW SIKORA, zbig@pg.gda.pl

MARIUSZ WYROŚLAK, mwyr@pg.gda.pl

Katedra Geotechniki, Geologii i Budownictwa Morskiego

USZCZELNIENIE DNA GŁĘBOKIEGO WYKOPU. PRZYPADEK DROGI EKSPRESOWEJ S8

PROTECTING DEEP EXCAVATION BY IMPERVIOUS SEALING LAYER. CASE EXPRESSWAY S8

Streszczenie W projekcie budowlanym drogi ekspresowej S8 Trasy Armii Krajowej w Warszawie, przewidziano, że część trasy będzie przebiegać w głębokim wykopie, w osłonie ścian szczelinowych. Badania geotechniczne wykazały bardzo niesprzyjające okoliczności w postaci wysokiego ciśnienia naporowego wody oraz niekorzystny układ warstw wodonośnych. W artykule opisano problem oraz rozwiązanie tego problemu przy wykorzystaniu uszczelnienia gruntu w dnie wykopu metodą jet-grouting.

Abstract The design task of expressway S8 assumed the trail must go down in deep excavation between diaphragm walls. Geotechnical tests gave proof that soil conditions are very weak. The deep excavation may cause hydraulic heave and large water pressure. The article shows geotechnical solution of the problem by protecting the bottom of excavation by impervious layer made of soil-cement component by jet-grouting.

1. Wstęp

Wraz z rozwojem drogowej sieci transportowej przybywa problemów związanych z projektowaniem przebiegu trasy. Kwestie własności gruntów, ustalenia środowiskowe, wymogi społeczne są etapem wstępnym, od którego zależy umiejscowienie inwestycji w terenie. Bardzo często ograniczenia w ustaleniu przebiegu trasy drogowej wymagają w dalszym etapie projektowania zmierzenia się z trudnościami, które znacząco wpływają na wybór technologii wykonania zaprojektowanej konstrukcji. Do takich problemów bez wątpienia należy podłoże, na którym projektowana jest inwestycja.

Jednym z najważniejszych aspektów wstępnego projektowania jest dokładne ustalenie geotechnicznych warunków gruntowych posadowienia konstrukcji nasypu drogi. Określenie przebiegu warstw gruntowych w podłożu, parametrów geotechnicznych tych warstw, ustalenie poziomów wód gruntowych, kierunków filtracji, pozwala na zastosowanie odpowiednich technologii, które zapewnią właściwy stan końcowy budowli.

Ostatecznym efektem powinno być uzyskanie produktu, którego jakość i trwałość zapewni mniejsze wydatki na remonty w przyszłości oraz wysoki standard i bezpieczeństwo w okresie użytkowania.

Kompleksowy projekt drogi ekspresowej S8 Trasy Armii Krajowej w Warszawie zakłada, że część drogi zostanie poprowadzona w głębokim wykopie w osłonie ścian szczelinowych, tymczasowo kotwionych. Najgłębszy wykop został zaprojektowany w części węzła „Konotopa” na odcinku ul. Warszawskiej w km 6+132 oraz na odcinku ul. Lazurowej

w km 6+815. Są to miejsca usytuowania przepompowni. Głębokość wykopu pod ułożenie żelbetowej płyty dennej w tych miejscach wynosi do 10 m ppt., w miejscach przepompowni dodatkowo 1 m niżej.

Wysoki poziom wody gruntowej na tym terenie stanowił inżynierski problem, bowiem nie było możliwe wykonanie odwodnienia poprzez pompowanie wody na czas wykonania wykopu i ułożenia płyty dennej pod budowę konstrukcji drogi.

2. Zagrożenia

Projekt wykonania poziomej przesłony uszczelniającej powstał po szczegółowej analizie wpływów, jakie mogłyby wywołać nagłe odwodnienie tak głębokiego wykopu, bez zabezpieczenia dna.

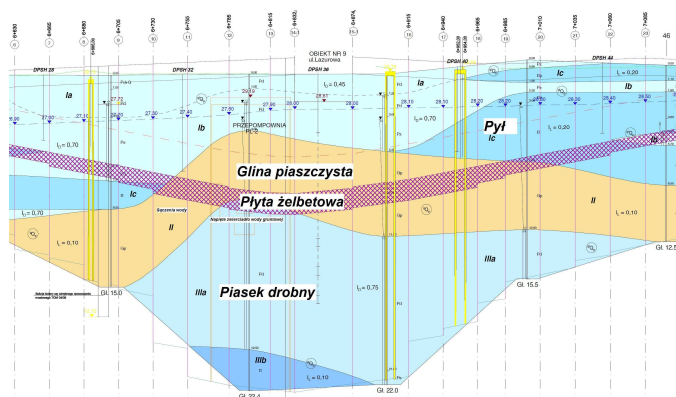
W obszarze odwodnienia mogłyby wystąpić znaczące zagrożenia środowiskowe i budowlane: dogęszczenie szkieletu gruntowego mogłyby spowodować znaczne osiadania okolicznych budynków. Wystąpiłyby trudności ze zrzutem masy wody odpompowanej z wykopu, włączanie tych wód poza rejon wykopu mogłyby lokalnie znacznie osłabić podłoże. Naruszenie bilansu wodnego mogłyby pogorszyć warunki siedliskowe drzewostanu oraz zamieranie życia biologicznego [5].

Odrębną grupę problemów mogłyby stanowić procesy związane z wykonywaniem robót ziemnych, a w szczególności możliwe wyparcie dna wykopu, niestateczność ścian szczelinowych, sufozja.

3. Warunki geotechniczne

W badaniach geotechnicznych, wykonanych na trasie projektowanej drogi, w km 6+000 do 7+100, warunki geotechniczne określono jako złożone. W podłożu zalegają warstwy piasku drobnego i pylistego, gliny piaszczyste (rys. 1). Grunty gliniaste ukształtowane są w postaci nieregularnych i izolowanych płatów, w których występują wkładki gruntów piaszczystych.

W badaniach hydrogeologicznych ustalono silne sączenia wody śródglinowej. Ciśnienie naporowe wody drugiego poziomu wodonośnego, a więc w obszarze dna wykopu, może wynieść do 140 kPa.



Rys. 1. Przekrój geologiczny, odcinek: ul. Łazurowa [3]

Wykop, w tych warunkach gruntowych, nie gwarantował naturalnej bariery wodoszczelnej w dnie wykopu.

W celu sprawnego wykonania prac przy płycie dennej należało wykonać poziomą przesłonę zabezpieczającą przed sączeniem wody do dna wykopu, a w szczególności w celu zabezpieczenia przed wyparciem płyty żelbetowej przed związaniem betonu.

4. Zabezpieczenie dna wykopu

Ułożenie monolitycznej płyty żelbetowej w dnie wykopu, wymagało odcięcia napływającej wody gruntowej na czas wykonywania prac oraz przez okres potrzebny do uzyskania pełnej wytrzymałości betonu.

Technika stałego obniżania zwierciadła wody gruntowej została odrzucona, ze względu na możliwość osiadania okolicznych budynków, jak również trudności z ciągłym odbiorem odpompowywanej wody i nieskuteczne próby odwodnienia.

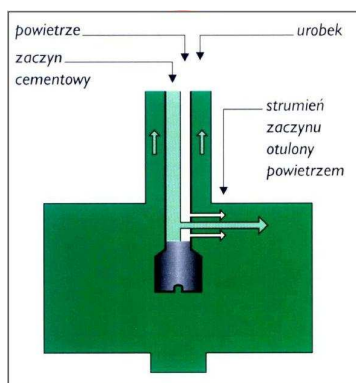
Do realizacji przyjęte zostało rozwiązanie polegające na wykonaniu w gruncie, poniżej dna wykopu, szczelnej poziomej przesłony w technologii jet-grouting.

Wykonanie przesłony rozpoczęto po wykonaniu ścian szczelinowych od wyrównania terenu do poziomu platformy roboczej (rys. 2).



Rys. 2. Przygotowanie platformy roboczej między ścianami szczelinowymi

Ze względu na znaczną głębokość wykonywania warstwy uszczelniającej oraz możliwość występowania lokalnie gliny w stanie zwięzłym, zastosowano jet-grouting w wariantcie D (double), w którym strumień zaczynu otulony jest powietrzem przy wyjściu z dyszy monitora.

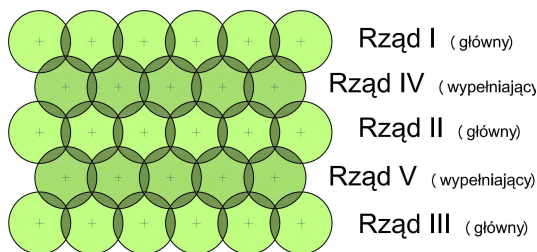


Rys. 3. Sposób formowania cementogruntu w wariantcie D jet-grouting

Wariant ten jest skuteczniejszy przy mieszaniu gruntu z zaczynem cementowym, bowiem uzyskuje się lepiej rozdrobniony grunt.

Dla uzyskania odpowiedniej szczelności przesłony, o niskim współczynniku filtracji, zaprojektowano zaczyn cementowy o gęstości $1,5 \text{ t/m}^3$ i w stosunku wagowym cement-woda $c/w = 1,0$. Wodoprzepuszczalność zwartej bryły cementogruntu wykonanego dla powyższych założeń nie powinna być większa niż $k = 10^{-7} \text{ m/s}$, należy nadmienić, że niemożliwe jest uzyskanie z takiego materiału przesłony idealnie szczelnej. Przyjęte założenia pozwalały przypuszczać, że na powierzchni wyznaczonej przez odległość ścian szczelinowych (35 m) i długość pojedynczego segmentu ściany (30 m), do wykopu napłynie około 35 m^3 wody w ciągu doby. Jest to ilość zbieżna z dotychczasowymi obserwacjami i monitoringiem podobnych konstrukcji na świecie [4]. W praktyce należało uwzględnić jeszcze wodę przesączającą się przez szczeliny dylatacyjne ścian szczelinowych oraz wodę opadową.

Tworzenie przesłony polegało na wykonaniu w odpowiedniej sekwencji rzędów kolumn jet-grouting o średnicy 1600 mm i rozstawie 1,35 m. Grubość przesłony wynosiła od 1 do 4 m i wynikała z konieczności zapewnienia zarówno niskiej wodoprzepuszczalności, jak również stateczności gruntu.



Rys. 4. Kolejność wykonywania rzędów kolumn jet-grouting tworzących przesłonę w gruncie

W tym układzie geometrycznym uzyskano przenikanie kolumny w kolumnę nie mniejsze niż 25 cm. Takie założenie wynika z koniecznego uzyskania ciągłości przesłony.

Technicznie był to proces bardzo trudny, bowiem problemem jest tutaj zapewnienie pionowości odwiertu na całej długości wiercenia, która w najgłębszym miejscu wynosiła ponad 17 m. Odchylenie odwiertu od pionu nie mogło przekraczać 1,5%.

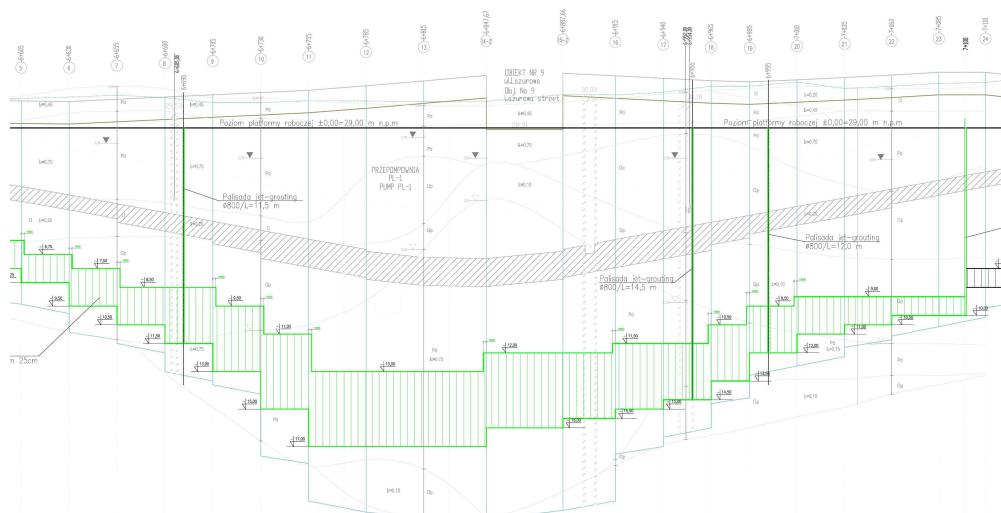


Rys. 5. Przykładowy przekrój poprzeczny ekranu uszczelniającego [1]

Grubość przesłony uszczelniającej została tak dobrana, aby stateczność całego układu była zachowana. Ekran grawitacyjny, własnym ciężarem oraz ciężarem nadkładu nawodnionego gruntu przewidziany został do powstrzymania ciśnienia wody gruntowej.

Umiejscowienie przesłony głęboko poniżej dna wykopu, było konieczne również dlatego, aby zminimalizować zagrożenie przesklepienia (ang.: arching) płaszczyzny ekranu uszczelniającego, a tym samym zapobiec jej pęknięciu.

Ponieważ ekran grawitacyjny zaprojektowany został w formie schodkowych warstw (rys. 6), więc na styku pionowych krawędzi cementogruntu i gruntu rodzimego oraz między cementogruntem i powierzchnią ściany szczelinowej będą mobilizowały się siły tarcia, które dodatkowo przeciwdziałają sile wyporu wody.



Rys. 6. Przekrój podłużny ekranu uszczelniającego [1]

Ekran uszczelniający wykonany został sekcjami oddzielnymi od siebie palisadami wyprowadzonymi do poziomu platformy roboczej. Na rys. 6 widoczna jest sekcja oddzielająca odcinek w miejscu największego przegłębienia wykopu. Kolejna krótka sekcja, to odcinek próbny, w którym testowano szczelność przesłony.

Uzyskane na odcinku próbnym satysfakcjonujące wyniki, pozwoliły na prowadzenie prac na całej długości projektowanego uszczelnienia dna wykopu.

5. Efekt uszczelnienia dna wykopu

Pionowość odwiertu uzyskano na zakładanym poziomie. Resztkowa przepuszczalność przesłony uszczelniającej była niższa od zakładanej. Odprowadzana woda z wykopu pochodziła głównie z nieszczelności styków ścian szczelinowych i opadów atmosferycznych. Ciągłość przesłony nie odbiegała znacząco od ciągłości bryły cementogruntu wykonanej w fazie przygotowawczej robót (rys. 7).



Rys. 7. Próbną masę cementogruntu

Ekran uszczelniający będzie spełniać swoją rolę również po wykonaniu drogi. Razem z płytą żelbetową oraz dodatkowym uszczelnieniem powierzchni zapewni wieloletnią i bezawaryjną eksploatację drogi.

6. Podziękowania

Autorzy pragną podziękować za użyte materiały pomocnicze firmie Polbud-Pomorze Sp. z o.o., a w szczególności Prezesowi Zarządu dr. inż. R. Imiołkowi, za współpracę przy tworzeniu tego artykułu.

Literatura

1. Projekt technologiczny wzmocnienia i uszczelnienia gruntu w dnie wykopu w km 6+000 do km 7+100. Droga Ekspresowa S8 Trasy Armii Krajowej od węzła Konotopa do węzła Prymasa Tysiąclecia. Główny projektant: dr inż. Mariusz Wyroślak. Polbud-Pomorze Sp. z o.o., sierpień 2008.
2. Sikora Z., Łoszewski M.: Two selected technologies for metropolitan area. International Conference on Geotechnics. Moskwa 2010.
3. Dokumentacja geotechniczna do projektu architektoniczno-budowlanego ścian szczelinowych drogi ekspresowej S8 Trasy Armii Krajowej na odcinku od km 6+000 do km 7+100 w Warszawie. Geoprojekt Sp. z o.o. Warszawa.
4. Smolczyk U., Bauduin Ch.: Geotechnical Engineering Handbook – Chapter 3.4: Stability of excavation (A. Weissenbach, A. Hettler, B. Simpson). John Wiley & Sons, 2002.
5. Opęchowski W.: Odwodnienia budowlane wykopów na przykładzie obiektów zrealizowanych w Warszawie. XX Ogólnopolska Konferencja Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji. Wisła – Ustroń 1 – 4 marca 2005.