**Stabilizacja masowa jako remedium na problemy z odwodnieniem i wykopami w trudnych warunkach geotechnicznych**

Mass stabilization as a remedy for drainage and excavation problems in geotechnical conditions

Jakub Saloni, mgr inż., Menard Sp. z o.o.

Bartosz Witkowski – mgr inż., Menard Sp. z o.o.

Kuba Jakubowski – mgr inż., Menard Sp. z o.o.

Wzmocnienie fundamentów i podłoża budowli w wielu przypadkach wykonywane jest również pod obiektami posadowionymi poniżej poziomu wody gruntowej. Przypadki takie mogą powodować znaczące problemy wykonawcom i projektantom. Zrealizowanie zadań tego typu wymaga prawidłowego zaprojektowania oraz wykonania wzmocnienia podłoża (najczęściej za pomocą kolumn) wraz z odwodnieniem. Głębokość odwodnienia najczęściej zdeterminowana jest przez poziom posadowienia lub poziom spodu warstwy transmisyjnej. Projekt odwodnienia musi być odpowiednio osadzony w realiach rzeczywistej technologii wykonania oraz zabezpieczenia wykopu.

Pierwszy etap, to odpowiednie badania geotechniczne określające nie tylko rodzaj gruntów, ale także dokładne parametry wytrzymałościowe i filtracyjne poszczególnych warstw. Należy zwrócić szczególną uwagą na możliwość występowania zwierciadła napiętego oraz kilku poziomów wodonośnych. Poziomy zwierciadła gruntowego mogą zmieniać się w czasie nawet o kilka metrów, w związku z tym warto bazować na badaniach wykonanych w różnych okresach czasu oraz porach roku.

Projekt odwodnienia należy odpowiednio zsynchronizować z projektem wykopu oraz wzmocnienia podłoża lub palowania w jego podstawie. Projekt geotechniczny powinien dokładnie opisywać wszystkie etapy realizacji robót budowlanych. W przypadku zmiany technologii realizacji robót przez wykonawcę, za każdym razem należy sprawdzić, czy powstałe opracowania nie wymagają aktualizacji. W szczególności jeśli dotyczy to przewidzenia innych lub dodatkowych faz realizacji robót czy dodatkowych obliczeń. Określenie wszystkich poziomów roboczych i poziomów elementów konstrukcyjnych oraz weryfikacja zgodności danych rysunkowych z założeniami będącymi podstawą obliczeń wymagają szczególnej staranności.

W przypadku prowadzenia robót geotechnicznych powiązanych z wykonaniem wykopów, projektant powinien posiadać wiedzę na temat sprzętu, który zostanie zastosowany do danej realizacji. Ciężki sprzęt do prowadzenia robót geotechnicznych cechują konkretne zasięgi wiercenia, pogrążania narzędzi do wykonania robót oraz odmienna statyka przekładająca się na rozkład naprężeń pod gąsienicami. Dane te należy uwzględnić przy wykonaniu projektu platformy roboczej. Dodatkowe obciążenie wykopu lub naziomu powyżej wykopu należy uwzględnić przy obliczeniach ścian oporowych,  stateczności ścian i dna wykopu.

Wymagana jakość wykonania robót powinna być starannie wyspecyfikowania. W przypadku robót geotechnicznych, niedokładność prac na jednym etapie, może wpłynąć destruktywnie

na roboty już wykonane albo prace następujące. Dla przykładu: gdy projekt odwodnienia przewiduje lub dopuszcza przerwy w pompowaniu, związana z nimi zmiana rozkładu sił powinna zostać uwzględniona w innych opracowaniach, np. w projekcie wykopu lub w projekcie wzmocnienia. Analogicznie: gdy rozwiązanie nie dopuszcza przerw w odwodnieniu, wykonawca powinien zapewnić jego ciągłość, w tym odpowiedni sprzęt i zasilanie awaryjne.

W ostatnich latach popularność zyskało wzmacnianie gruntu kolumnami sztywnymi, a w szczególności kolumnami betonowymi typu CMC, kolumnami wierconymi świdrem CFA lub podobnymi. W wielu przypadkach technologia ta pozwala na szybkie i ekonomiczne posadowienie różnego rodzaju obiektów budowlanych. Niestety wraz z coraz szerszym stosowaniem technologii kolumn, pojawią się aplikacje obarczone błędami projektowymi. Często bezpośrednią przyczyną problemów jest wykonanie robót ziemnych - w tym wykopów i towarzyszącego im odwodnienia. Istotną kwestią jest także sposób zaprojektowania i wykonania warstwy transmisyjnej. Efektem problemów mogą być awarie na etapie realizacji, nieuzasadnione zwiększanie kosztów robót i wydłużenie harmonogramu.

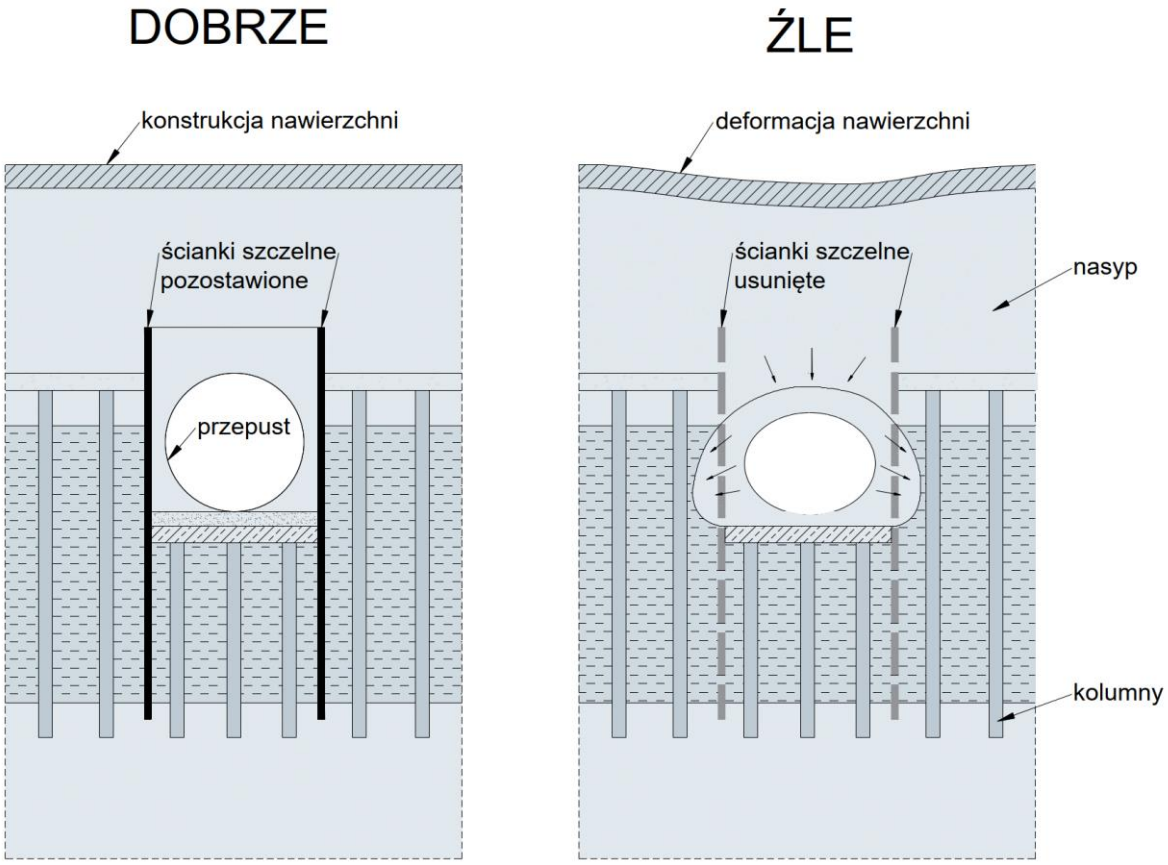
Wykop wraz z głowicami kolumn wykonanymi z poziomu terenu, w trakcie przerw w odwodnieniu wykopu.

Przerwane kolumny po uniesieniu dna wykopu.

Wykonywanie wykopu między kolumnami wraz z próbą stabilizacji wyparcia wykopu za pomocą chudego betonu.

Niezbrojone konstrukcyjnie kolumny CMC (zastosowano jedynie zbrojenie technologiczne o długości 4m), pod materac warstwy transmisyjnej. Widoczne wymycia gruntu pod przyczółkiem, w wyniku niestarannego odwodnienia.

W przypadku, gdy inne obiekty wbudowane w warstwę transmisyjną, jak np. przepusty czy instalacje, uniemożliwiają wykonanie warstwy transmisyjnej jako ciągłej, należy zastosować odpowiednie zabiegi w celu zapewnienia ciągłości jej pracy wraz ze zbrojeniem geosyntetycznym lub stalowym/kompozytowym, jeżeli takie występuje. Efekt uciąglenia można osiągnąć, np. poprzez wykonanie dodatkowej warstwy transmisyjnej nad przeszkodą, z zapewnieniem odpowiednich zakładów. W żadnym przypadku nie można dopuścić do przerwania ciągłości warstwy transmisyjnej, w konsekwencji prowadzącego do nieprawidłowej pracy systemu wzmocnienia podłoża kolumnami sztywnymi i nieakceptowanych wartości osiadań posadowionej konstrukcji. Ponadto w sytuacji, gdy obiekty “przecinające” ciągłość warstwy transmisyjnej są posadowione znacznie niżej niż poziom platformy roboczej, należy uwzględnić stopniowe zmiany poziomów kształtowania warstwy transmisyjnej bądź trwałe pozostawienie elementów zabezpieczenia wykopów (np. ścianek szczelnych). Brak zastosowania takich rozwiązań może prowadzić do zwiększonych osiadań na skutek wypychania gruntu zasypowego w obrębie przepustu do otaczających gruntów słabych (rys.x).

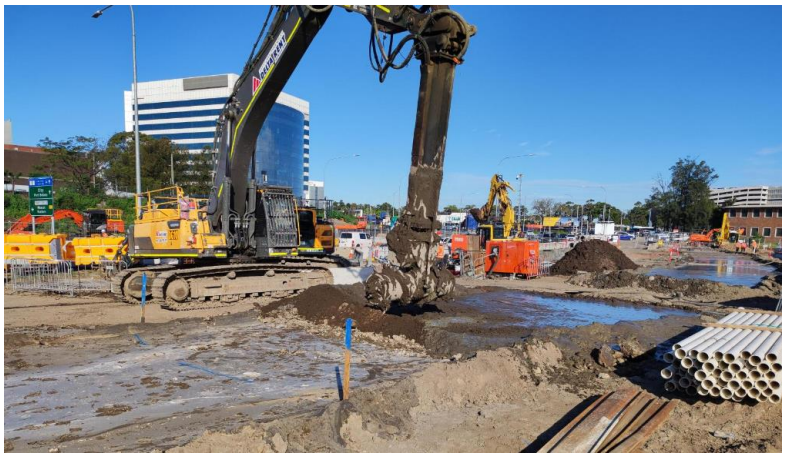



Rys.x Schemat prawidłowego i nieprawidłowego zabezpieczenia przepustu ściankami szczelnymi.

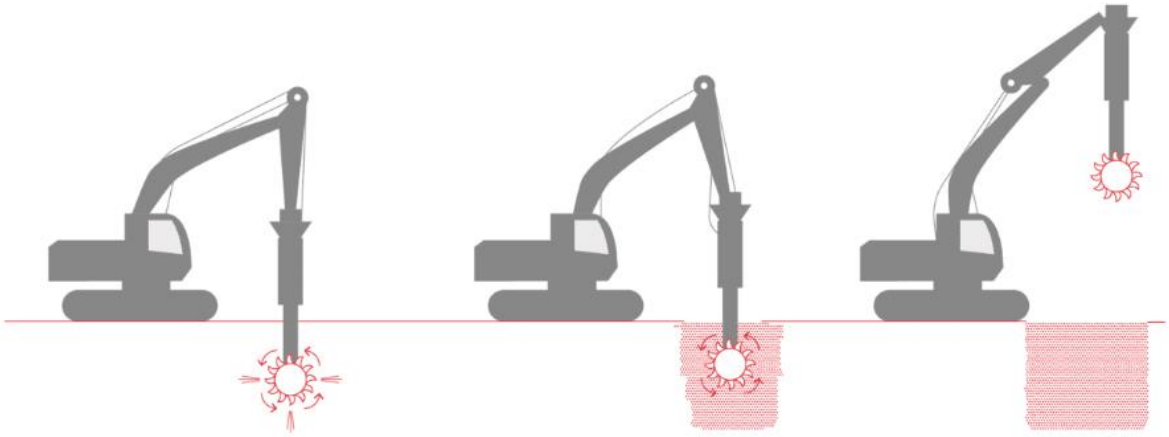
Rozwiązaniem alternatywnym w stosunku do tradycyjnego posadowienia przepustów, małych obiektów oraz rur kanalizacyjnych może być metoda stabilizacji masowej. Stabilizacja masowa może stanowić rozwiązanie alternatywne w stosunku do obudowy wykopu - w postaci ścianki szczelnej lub berlińskiej i wgłębnego odwodnienia wykopu, oraz warstwy transmisyjnej w postaci materaca geosyntetycznego.

Stabilizacja masowa nazywana inaczej solidyfikacją to technologia wzmacniania, która polega na zwiększeniu wytrzymałości gruntu przez wymieszanie go z czynnikiem wiążącym. Jest to z reguły wzmocnienie typu objętościowego, które ma poprawić parametry mechaniczne i odkształceniowe gruntu. Metoda polega na wprowadzeniu w podłoże mieszadła o specjalnej konstrukcji, które niszczy strukturę gruntu oraz miesza go z podawaną w tym samym czasie substancją wiążącą (rys. y). Stabilizację masową należy podzielić na dwa rodzaje – solidyfikację na mokro oraz na sucho.

Fot. X  Realizacja wzmocnienia podłoża w technologii masowej stabilizacji za obiektami inżynierskimi



Fot. Y  Realizacja wzmocnienia podłoża w technologii masowej stabilizacji



Rys. y Schemat wykonywania solidyfikacji

Solidyfikacja na mokro polega na mieszaniu gruntu z zaczynem cementowym lub cementowo-popiołowym. Technologię stosuje się do wzmacniania gruntów spoistych o małej wytrzymałości na ścinanie w warunkach bez drenażu oraz do gruntów niespoistych. Efektywność wzmocnienia sprawdza się wykonując badanie jednoosiowego ściskania na próbkach walcowych lub kostkowych (jak w DSM). Kontrola jakości w przypadku stabilizacji masowej na mokro i DSM jest praktycznie taka sama [3].

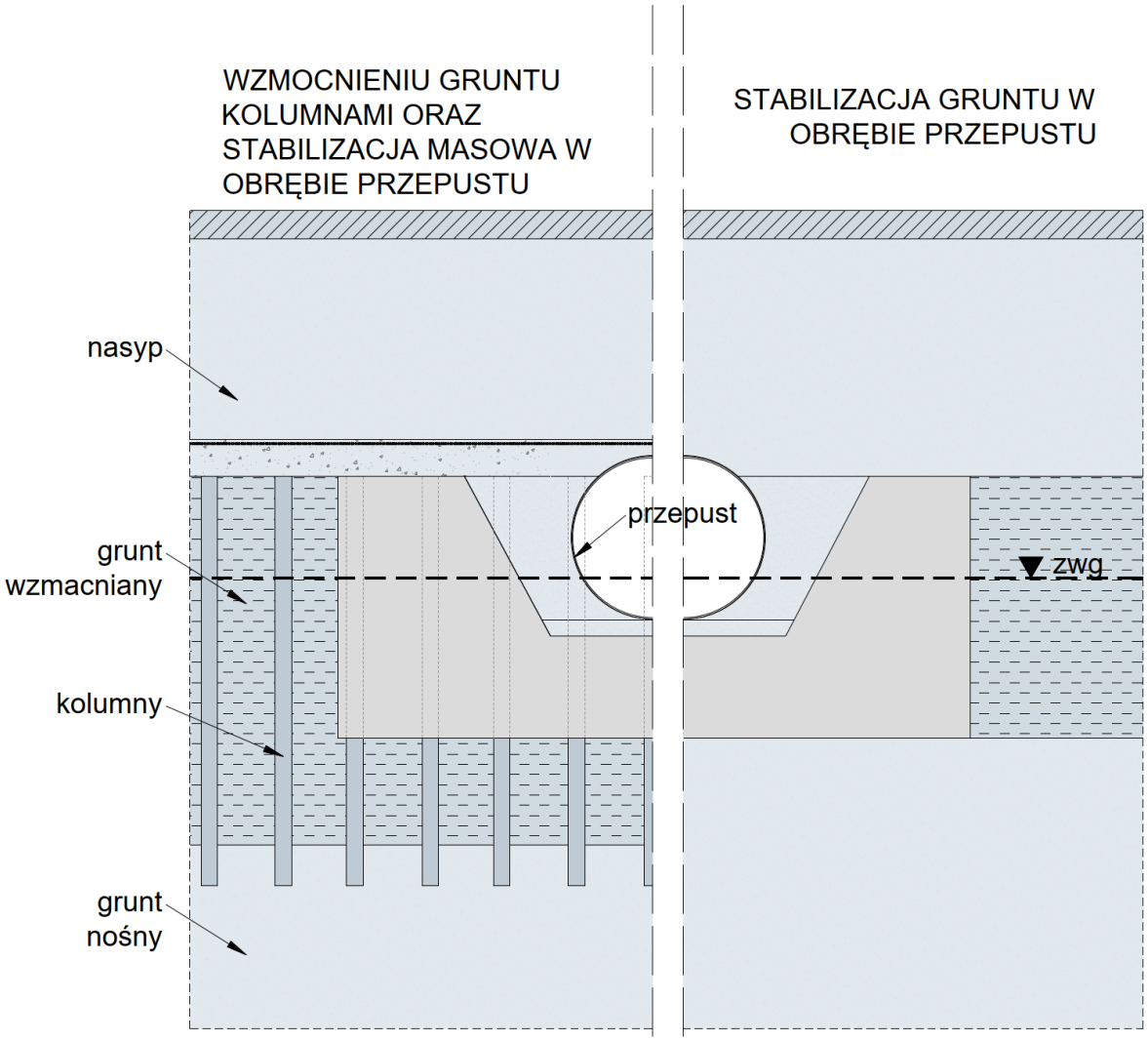
Solidyfikacja na sucho polega na mieszaniu gruntu z czynnikiem wiążącym (np. cementem, popiołem, mieszaninami cementowo-popiołowymi) bez dodatkowego udziału wody. Zabieg ten pozwala na osuszenie gruntu, wywołane procesem hydratacji, a następnie jego związanie. Technologię stosuje się do wzmacniania gruntów organicznych oraz spoistych małej wytrzymałości na ścinanie w warunkach bez drenażu. Dodatkowym warunkiem jest wilgotność naturalna gruntu, której wartość musi być większa niż 60%. W tym przypadku efektywność stabilizacji mierzy się, określając wytrzymałość na ściskanie próbek sześciennych. Wytyczne projektowe ujęto w [1], natomiast praktyczne wskazówki dotyczące badania materiału stabilizowanego masowo w [2].

Zaletą solidyfikacji jest zastosowanie lekkiego sprzętu, co pozwala na prowadzenie realizacji w miejscach niedostępnych dla tradycyjnych maszyn. Dodatkowo jest to technologia przyjazna środowisku, gdyż nie powstają odpady konieczne do wywożenia z placu budowy. Ograniczeniem metody jest głębokość, na jakiej można przeprowadzić wzmocnienie (maksymalna wynosi ok. 6 m).

**Wykonanie wykopów z zastosowaniem stabilizacji masowej**

W przedmiotowym zastosowaniu stabilizacja masowa wykonywana jest jako projektowana bryła gruntu stabilizowanego o wymiarach odpowiednio większych od wymiarów posadowionego obiektu. Stabilizację wykonuje się z poziomu terenu naturalnego. Parametry gruntu stabilizowanego (cementogruntu) projektowane są głównie z uwagi na obciążenia w sytuacji przejściowej. Po odpowiednim związaniu cementogruntu wykonuje się, za pomocą koparek, częściowy wykop bryły gruntu do poziomu posadowienia obiektu. Efektem jest powstanie “wanny” cementowo-gruntowej o samo-statecznych ścianach i ze szczelnym dnem (Rys.Z). W celu obniżenia kosztu można stosować strefowe obniżenia parametrów cementogruntu w miejscach przewidzianych do usunięcia. Odwodnienie wykopu wymagane jest jedynie w celu odprowadzenia wód powierzchniowych lub ewentualnych drobnych przecieków. Z tego powodu nie powstaje lej depresji i nie jest konieczne uzyskanie pozwolenia wodnoprawnego. Powyższe rozwiązanie pozwala na wyeliminowanie kosztu ścianek szczelnych i odwodnienia, a także przyspieszenie procedur formalnych. Szczególnie należy rozważyć je w sytuacji obiektów posadowionych na słabych gruntach, w których często założenie odzyskiwania ścianek szczelnych w celu obniżenia kosztu jest rozwiązaniem błędnym.

Istotną zaletą jest aspekt ekologiczny związany z brakiem stosowania ścianek szczelnych, niezaburzaniem środowiska wodno gruntowego oraz możliwością zastosowania wykopanego cement gruntu w celu wykonania nasypów budowlanych lub zasypek na terenie budowy.




Rys.Z Schemat zabezpieczenia wykopu pod przepust drogowy za pomocą solidyfikacji.

**Rozwiązanie typowe**

- ścianka szczelna ( często tracona)
- odwodnienie
- materac geosyntetyczny

**Rozwiązanie alternatywne**

- wykonanie bryły cemento-gruntu
- częściowy wykop bryły cemento-gruntu

**Zalety**

- W przypadku trudnych warunków geotechnicznych zmniejszenie globalnego kosztu robót geotechnicznych

- W każdym przypadku eliminacja potrzeby pozwolenia wodnoprawnego związanego z powstaniem leja depresji

- Brak ryzyk związanych z zaburzeniem stosunków gruntowo-wodnych

Literatura

[1] Euro Soil Stab, 2002, Development of Design and Construction Methods to Stabilize Soft Organic Soils: Design Guide for Soft Soil Stabilization, CT97-0351.

[2] Nowak Grzegorz, Piotr Kanty. 2019. Mass Stabilization as reinforcement of organicsoils, E3SWebofConferences97,04046 DOI:10.1051/e3sconf/20199704046.

[3] Topolnicki Michał. 2018. „Zasady stosowania i projektowania wzmocnienia gruntu metodą wgłębnego mieszania na mokro (DSM)". Inżynieria i Budownictwo no 1.

[4] Jończyk Małgorzata, Jendrysik Klaudia, Kanty Piotr, Stabilizacja masowa jako nowoczesna metoda wzmacniania podłoża, Materiały budowlane DOI: 10.15199/33.2020.02.03