

# Koszty wzmacniania podłoża przy budowie dróg w Polsce na podstawie ostatnich lat

Decyzja o przyznaniu Polsce i Ukrainie organizacji mistrzostw Europy poskutkowała koniecznością zrealizowania szeregu inwestycji drogowych w skali dotychczas niespotykanej w naszym kraju. Plan przedstawiony w 2008 roku zakładał, że do 2012 roku w Polsce powstanie około 1000 km nowych autostrad i około 2000 km nowych dróg ekspresowych. Budowa sieci szybkich i nowoczesnych dróg miała zapewnić połączenie z miastami-gospodarzami Euro 2012 w Polsce, a poprzez autostradę A4 zapewnić sprawną i szybką komunikację z Ukrainą.

Realizacja tak szeroko zakrojonych planów sprawiła, że w niedługim czasie Polskę nazwano największym placem budowy w Europie. Dziś już wiadomo, że nie wszystkie projekty udało się zrealizować w terminie, jednak zakres prowadzonych prac sprawił, że ostatnie lata były dla branży budownictwa drogowego czasem dynamicznego rozwoju.

Dla dróg, jako obiektów inżynierskich o dużej możliwości oddziaływania na społeczeństwo i środowisko, wymaga się, aby ich przebieg był optymalny, jak najmniej uciążliwy dla mieszkańców i otoczenia. Konieczność uwzględnienia warunków społecznych i środowiskowych sprawia, że obecnie obiekty te coraz częściej budowane są na terenach uznawanych dotychczas jako nieprzydatne do zabudowy. Względnie ekonomiczne wymuszają stosowanie gruntów rodzimych, z odpadów lub pochodzących z recyklingu do budowy nasypów drogowych. Szeroki wybór technologii wzmacniania podłoża pozwala na precyzyjny i optymalny dobór technologii wzmocnienia podłoża, z uwzględnieniem warunków gruntowych i wymagań technicznych.

W przypadku konieczności posadowienia budowli na gruntach słabych, konstrukcję należy zaprojektować w taki sposób, aby spełnione były warunki nośności. Istotne jest również zapewnienie stateczności budowli we wszystkich fazach budowy oraz aby osiadanie nie przekroczyło wartości dopuszczalnych. Wybrana do tego celu technologia wzmocnienia podłoża, oprócz spełnienia warunków technicznych, ekologicznych, musi też spełniać kryterium ekonomiczne.

## Metody wzmacniania podłoża

Metody wzmacniania podłoża można grupować pod względem różnych kryteriów (głębokość, rodzaj użytych materiałów, sposób pracy, sposób wykonywania).

Biorąc pod uwagę koszty i użyte materiały, wzmacnianie podłoża można podzielić w następujący sposób:

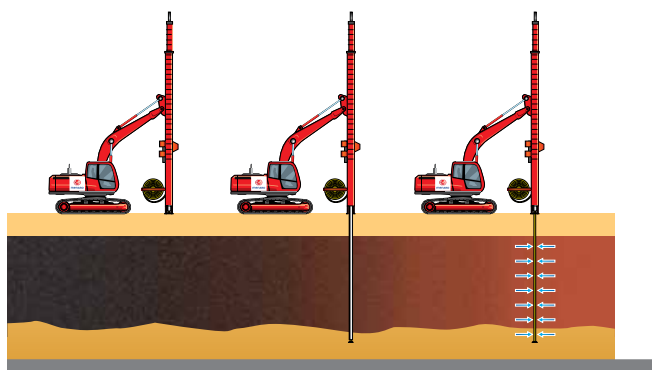
## Summary

The decision to make Poland and Ukraine hosts of the European Championships resulted in the need to set up a series of road investments on an unprecedented in our country scale. The plan presented in 2008 assumed that by 2012 there will have been built about 1000 km of new highways and about 2,000 km of new expressways. The network of fast, modern roads would provide a connection to the host cities for Euro 2012 in Poland, and by the motorway A4 ensure a smooth and rapid communication with Ukraine.

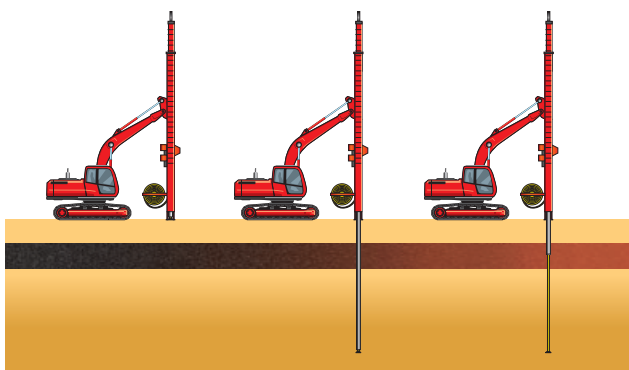
- metody wymagające dostarczenia do ośrodka gruntowego energii w celu zwiększenia stopnia zwięznięcia (*rapid impact compaction*, wibroflotacja, dynamiczne zagęszczanie),
- metody konsolidacyjne (klasyczna konsolidacja, przyspieszona konsolidacja z użyciem prefabrykowanych drenów pionowych, konsolidacja próżniowa Menard Vacuum Consolidation),
- metody wymagające wprowadzenia w grunt rodzimy kruszywa (kolumny żwirowe, kolumny wymiany dynamicznej),
- metody wymagające wprowadzenia w grunt zaczynu cementowego/mieszanki betonowej (kolumny DSM, kolumny przemieszczeniowe, iniekcja strumieniowa, kolumny MCC),
- metody wymagające wprowadzenia w grunt zarówno kruszywa, jak i mieszanki betonowej (kolumny żwirowo-betonowe formowane metodą wibrowymiany, kolumny betonowo-żwirowe formowane świdrem przemieszczeniowym).

## Kolumny MCC

W tym zestawieniu szczególnie interesująca jest technologia kolumn kombinowanych MCC systemu Menarda, które są zaawansowane



Rys. 1. Podział technologii wzmocnienia w zależności od warunków gruntowych



Rys. 2. Schemat wykonania kolumn MCC

sowanym technicznie wariantem kolumn betonowo-zwirowych. Ta specjalistyczna metoda znacznie poprawia parametry wytrzymałościowe i odkształceniowe gruntów. Uznawana jest za rozwiązanie przejściowe pomiędzy wibroflotacją a kolumnami betonowymi, co czyni ją bardziej uniwersalną.

Kolumny MCC dedykowane są w szczególności miejscom, gdzie pod warstwą gruntów o średnich parametrach występują grunty słabe i nienośne, podlegające wzmocnieniu. Proces powstawania kolumn MCC polega w pierwszej kolejności na wykonaniu otworu. W zależności od właściwości gruntów może do tego celu być użyty wibroflot lub inne urządzenie pozwalające wykonywać głębienie/drażnienie w sposób przemieszczeniowy, bez usuwania urobku na powierzchnię. Wibroflot jest to urządzenie, które składa się z cylindrycznego korpusu o średnicy 30-50 cm, który zawieszony jest przegubowo. Dolna część korpusu wyposażona jest w silnik elektryczny lub hydrauliczny. Umożliwia on obrót wału z umieszczonymi mimośrodowo obciążnikami. Proces ten wywołuje obrotowe drgania poprzeczne wibratora. Amplitudę tych drgań określa się na wartość w przedziale od 5 mm do 20 mm. Alternatywnym sposobem jest wykonanie otworu poprzez wiercenie głowicą przemieszczeniową. Zagłębianie wibroflotu, na skutek wprowadzanych przez głowicę wibratora drgań, powoduje powstanie wolnej przestrzeni. Gdy urządzenie osiągnie odpowiednią rzędną spodu projektowanej kolumny, rozpoczyna się następny etap – betonowanie. Wtłaczanie mieszanki betonowej odbywa się w miejscach, gdzie zalegają słabe grunty organiczne lub spoiste. Mieszanka betonowa transportowana jest przez pompy przewodami połączonymi z ma-

Technologia	Typowy zasięg zastosowania technologii do (m)	Grunty organiczne, namuł i torfy	Iły	Gliny	Pyl	Piaski, żwir	Antropogeniczne, nasypy niebudowlane
	4	nie stosowana	stosowana	stosowana	stosowana	stosowana	stosowana
	6	nie stosowana	stosowana	stosowana	stosowana	stosowana	stosowana
	6,5	nie stosowana	stosowana	stosowana	stosowana	stosowana	stosowana
	7	nie stosowana	stosowana	stosowana	stosowana	stosowana	stosowana
	12	nie stosowana	stosowana	stosowana	stosowana	stosowana	stosowana
	12	nie stosowana	stosowana	stosowana	stosowana	stosowana	stosowana
	20	nie stosowana	stosowana	stosowana	stosowana	stosowana	stosowana
	22	nie stosowana	stosowana	stosowana	stosowana	stosowana	stosowana
	24	nie stosowana	stosowana	stosowana	stosowana	stosowana	stosowana
	24	nie stosowana	stosowana	stosowana	stosowana	stosowana	stosowana
	24	nie stosowana	stosowana	stosowana	stosowana	stosowana	stosowana
	30	nie stosowana	stosowana	stosowana	stosowana	stosowana	stosowana
	30	nie stosowana	stosowana	stosowana	stosowana	stosowana	stosowana
	30	nie stosowana	stosowana	stosowana	stosowana	stosowana	stosowana
	30	nie stosowana	stosowana	stosowana	stosowana	stosowana	stosowana
	30	nie stosowana	stosowana	stosowana	stosowana	stosowana	stosowana

Legenda

nie stosowana

może być stosowana z ograniczeniami

stosowana

idealna dla danych warunków (grunt, konstrukcja)

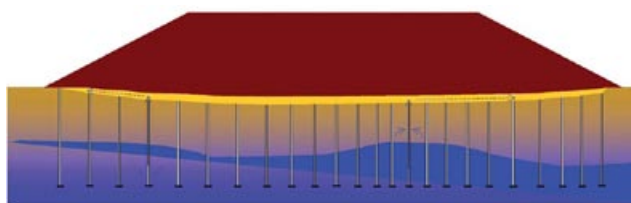
Rys. 3. Schemat montażu drenów pionowych

szną główną. Medium nośne wpływa do rdzenia urządzenia, a dalej wtłaczane jest do wykonanego wcześniej otworu przez dysze w rurze wibroflotu. Rozpoczyna się wówczas rozpychanie gruntu w warstwie wzmocnianej przez przemieszczającą się mieszankę betonową. W tym samym czasie zachodzi podnoszenie się cylindrycznego korpusu głowicy z odpowiednią prędkością. W zależności od parametrów gruntowych oraz ciśnienia mieszanki betonowej istnieje możliwość wytworzenia kolumn o średnicach od 0,4 m do 1,2 m. W dalszej części przeprowadza się zagęszczanie gruntu położonego nad warstwą gruntów słabych, które polegać może na zastosowaniu wibroflotacji lub wytworzeniu kolumn betonowych o średnicach zdecydowanie mniejszych niż dla warstwy słabej. W efekcie końcowym powstaje kolumna MCC. Fot. 1a-b przedstawiają kolumny MCC. Kolumny MCC często stosuje się pod obiektami inżynierskimi, w tym pod nasypami drogowymi. Po wytworzeniu kolumn MCC powstaje koncentracja na sobie naprężeń dodatkowych, pochodzących od projektowanych nasypów drogowych.

Technologia MCC została z powodzeniem zastosowana w 2012 roku jako wzmocnienie podłoża pod nasypy drogowe Trasy Sucharskiego w Gdańsku, zad. I i II. Około 30 000m<sup>3</sup> terenu pod nasypy drogowe zostało wzmocnione w tej technologii.

Inną bardzo ekonomiczną technologią, która powoli zdobywa uznanie wykonawców i projektantów, jest technologia przyspieszonej konsolidacji z użyciem pionowych drenów prefabrykowanych.

Metoda konsolidacji podłoża poprzez uformowanie nasypu przeciążającego jest jedną z najwcześniej stosowanych metod ▶



Rys. 4. Schemat działania drenów pionowych

- wzmocnienia podłoża gruntowego. W obecnych czasach stosowanie jej w pierwotnym wariantcie niemal zarzucono, z uzasadnionego powodu czasochłonności rozwiązania (czasem nawet wieloletnie oczekiwanie na konsolidację gruntu naturalnego). Stosowanie metody konsolidacji nasypem staje się w obecnych warunkach możliwe dzięki zastosowaniu odpowiednio zaprojektowanego systemu дренаżu pionowego. Drenaż pionowy może być stosowany w celu przyspieszenia konsolidacji gruntów nieprzepuszczalnych. Dreny pionowe są to płaskie, plastikowe, elastyczne przewody o przekroju okrągłym lub spłaszczonym, które, po zainstalowaniu w odpowiednim rozstawie, kilkadziesiąt razy zwiększają przepuszczalność podłoża, odpowiednio skracaając drogę oraz czas konsolidacji.

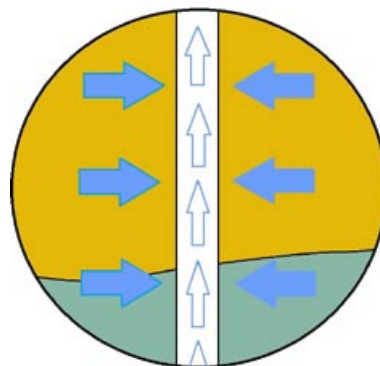
Obecnie dostępne jest specjalistyczne wyposażenie do wykonywania дренаżu pionowego, aby móc radzić sobie z szeroko zróżnicowanymi warunkami podłoża rodzimego. Wciskanie drenów pionowych możliwe jest nawet do głębokości znacznie przekraczającej 50 m, a osiągnięta wydajność pozwala na drenowanie podłoża na obszarach kilku tysięcy metrów w czasie jednej zmiany roboczej.

W większości przypadków w celu przyspieszenia konsolidacji wraz z drenażem pionowym stosuje się tymczasowy nasyp przeciążający. Jego celem jest osiągnięcie w podłożu stanu naprężeń przekraczającego docelowe naprężenia obliczeniowe. Dzięki odpowiedniemu zdrenowaniu podłoża i kontrolowanemu przeciążeniu konsolidacja gruntu przebiega szybko, co pozwala na wymuszenie osiadań podłoża w fazie realizacji zamierzenia budowlanego. Daje to gwarancję nieprzekroczenia dopuszczalnych osiadań wtórnych w czasie kilku dziesięcioleci użytkowania budowli. Skonsolidowany grunt cechuje się kilkukrotnie podniesionymi parametrami wytrzymałościowymi; w efekcie możliwe jest spełnienie wymagań związanych ze statecznością globalną powstałej budowli ziemnej.

Technologia przyspieszonej konsolidacji z użyciem drenów prefabrykowanych została zastosowana na szeroką skalę przy budowie drogi ekspresowej S7 w ramach budowy Południowej Obwodnicy Gdańska. Wzmocnionych w ten sposób zostało około 400 000 m<sup>2</sup> terenu pod nasypem drogowym

## Podsumowanie

Koszt wzmocnienia podłoża zależy przede wszystkim od danej technologii i wymaganej głębokości wzmocnienia, ale także od parametrów technicznych, które chcemy uzyskać. Ogólnie najbardziej ekonomiczne są metody wymagające wprowadzenie w rodzimy ośrodek gruntowy tylko energii celem zwiększenia zagęszczenia, jednak ich stosowanie jest organiczne tylko do luźnych gruntów niespoistych. Stosunkowo najdroższe są metody bazujące na zaczynie cementowym lub mieszance betonowej. Stan ten należy jednak uzupełnić i rozpatrywać w kontekście lo-



Rys. 5. Przykład zastosowania wzmocnienia podłoża w technologii drenów pionowych VD pod nasypem drogowym



kalnych warunków gruntowych, uwarunkowań lokalnych budowy oraz wymagań technicznych, jakim ma odpowiadać podłoże po wykonaniu wzmocnienia.

Stosowane w praktyce krajowej technologie wzmocnienia podłoża słabonośnego pozwalają na lokalizację inwestycji drogowych w miejscach do niedawna uważanych na nieprzydatne do tego celu. Szeroki wachlarz metod generuje duże oszczędności kosztów, jak i materiałów, co pozwala na wykorzystanie gruntów rodzimych oraz miejscowych, łatwo dostępnych materiałów. Wykorzystywane technologie są precyzyjnie dobierane do lokalnych warunków gruntowych i specyfiki danej budowy. Dzięki temu stosowane rozwiązania są optymalne pod względem ekologicznym, technicznym, a przede wszystkim ekonomicznym. □