

# Trenchmix®

## - technologia wzmocniania ośrodka gruntowego pod nasypami drogowymi i kolejowymi

tekst: mgr inż. PIOTR GŁOWACKI, dr inż. MACIEJ CHMIELEWSKI, Soletanche Polska Sp. z o.o.,

zdjęcia: SOLETANCHE POLSKA SP. Z O.O.

Technologia Trenchmix® (TRMX) jest bezpośrednim rozwinięciem technologii wgłębnego mieszania TRD (*trench re-mixing and cutting deep wall*), wymyślonej w Japonii w 1993 r. TRD była znaczącym przyczynkiem do rozwoju technologii wgłębnego wzmocniania gruntu (MIP). Przy użyciu powyższej technologii wykonano ponad 400 projektów w Japonii oraz Stanach Zjednoczonych, z których dwie trzecie dotyczyło ścian oporowych wykopów, a jedna trzecia przestroni filtracyjnych [1].

### 1. Technologia Trenchmix® – klasyfikacja, charakterystyka i możliwości stosowania

#### 1.1. Klasyfikacja i terminologia

Trenchmix® jest technologią opracowaną wspólnie przez Soletanche Bachy oraz producenta specjalistycznego sprzętu do prac drenażowych i odwodnieniowych Mastenbroek. Po raz pierwszy została zastosowana we Francji w 2005 r. [2, 3]. Technologia ta znana jest również pod nazwą CDMM (*continuous deep mixing method*). Obie te technologie należą do metod wgłębnego mieszania gruntu na mokro i wywodzą się bezpośrednio z metod CMI (*cutting mix injection*), które z powodzeniem były rozwijane w Niemczech od 1994 r., początkowo głównie do wzmocnień gruntów w budownictwie kolejowym.

W terminologii anglojęzycznej istnieje szereg terminów (MIP – *mix in place*, wet DMM – *deep mixing method*, DSM – *deep soil mixing*, DDM – *dry deep mixing*) określających proces wgłębnego mieszania gruntu na mokro lub na sucho, i to w rozmaitych wariantach.

W grupie metod wgłębnego mieszania gruntu (*deep mixing*) należy wymienić technologię pionowych kolumn (pojedynczych, podwójnych lub potrójnych), potocznie nazywaną DSM (w niniejszym artykule określaną dalej jako ADSM – *auger deep soil mixing*), technologię CSM (*cutter soil mixing*), jak również technologię Springsol, opracowaną i stosowaną przez grupę Soletanche Bachy. Wszystkie wymienione technologie mają swoje wady i zalety, jednak autorzy głównie skoncentrują się na opisie technologii Trenchmix®.

#### 1.2. Charakterystyka

W dużym uproszczeniu technologia Trenchmix® polega na zniszczeniu istniejącej struktury gruntu za pomocą frezów skrawająco-mieszających, przytwierdzonych do łańcucha poruszającego się wzdłuż miecza trenchera (fot. 1), i jednoczesnym mieszanii go ze spoiwem hydraulicznym podawanym w formie

zawiesiny. Znaczna moc silników hydraulicznych trenchera oraz wysoka prędkość przesuwu łańcucha (powyżej 4,0 m/s) zapewniają bardzo dobre wymieszanie gruntu ze spoiwem, prowadząc do całkowitej unifikacji w profilu pionowym. W wyniku tego procesu powstaje jednorodny w całym profilu panel z cementogruntu o zmodyfikowanych, w zamierzoną i kontrolowaną sposób, parametrach wytrzymałościowych i filtracyjnych (ryc. 2).

Jednorodność panelu jest największą przewagą technologii Trenchmix® w stosunku do wspomnianych metod ADSM czy CSM. Jakość wykonanego panelu i uzyskanie jego wysokich parametrów zapewniona jest przez dostosowanie prędkości mieszania, ilości podawanego spoiwa, jak i jego specjalnie dobrane ilościowo i jakościowo komponentów oraz prędkości poruszania się maszyny w stosunku do warunków gruntowych.

Spoiwami hydraulicznymi stosowanymi w technologii Trenchmix® są cement lub gotowe mieszanki na bazie cementu, bentonitu, popiołów lub żużli oraz dodatków i domieszek (plastyfikatorów i opóźniaczy).

Możliwości techniczne sprzętu pozwalają na wykonywanie podłużnych paneli o grubości 35–45 cm i głębokości do 12 m.

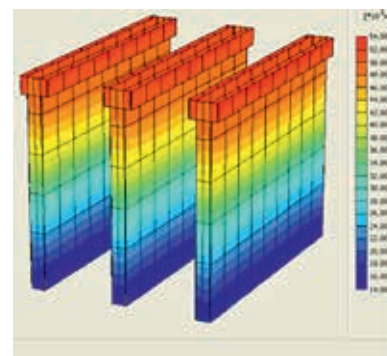
Sam proces produkcji wspomagany jest komputerowo, rejestrując w czasie rzeczywistym m.in. takie parametry, jak prędkość przemieszczania się trenchera, prędkość obrotu łańcucha, ilość tłoczonego zaczynu, opory na głowicach hydraulicznych, głębokość panelu.

Ideą zastosowania paneli Trenchmix® jest stworzenie w ramach rodzimego ośrodka gruntowego paneli z cementogruntu o zwiększonych parametrach wytrzymałościowych i odkształceniowych, które pozwalają uzyskiwać redukcję osiadań całkowitych, ograniczenie osiadań różnicowych czy zwiększenie nośności ośrodka gruntowego, jak również ukierunkowanie i ograniczenie filtracji.

Niewątpliwą zaletą wzmocnienia gruntu z pomocą technologii Trenchmix® jest m.in. ciągła struktura o stosunkowo małej zmienności parametrów fizycznych, korzystny charakter pracy w aspekcie przenoszenia obciążeń poziomych, ograni-



Fot. 1. Miecz trenchera z kompletem frezów skrawająco-mieszających



Ryc. 1. Projektowane przemieszczenia w panelach TRMX

czenie miejsc koncentracji naprężeń w podstawie paneli oraz w warstwie transmisyjnej, łatwość projektowania z użyciem MES w module analizy 2D zamiast 3D.

### 1.3. Możliwości zastosowania

Ze względu na swoją specyfikę technologia Trenchmix® znajduje zastosowanie w wielu sektorach budownictwa: w hydrotechnice – do budowy przesłon przeciwfiltracyjnych, w budownictwie kubaturowym – tymczasowych ścian oporowych, w ochronie środowiska – membran przeciw migracji zanieczyszczeń, w infrastrukturze – wzmocnień ośrodka gruntowego pod drogami i nasypami, w tym również kolejowymi. We wszystkich tych obszarach technologia Trenchmix® była już stosowana i można by eufemistycznie stwierdzić, że na dobre w tych obszarach zagościła i jest do dziś z powodzeniem używana.

W Polsce na przełomie lat 2015 i 2016 w technologii TRMX został zrealizowany projekt wzmocnienia podłoża gruntowego pod nasypem drogowym. Wzmocnienie ośrodka gruntowego z wykorzystaniem tej technologii okazało się dobrą alternatywą dla dotychczas stosowanych rozwiązań. Przykładowymi realizacjami zadań za granicą z zastosowaniem TRMX jako wzmocnień podłoża są: wzmocnienie podłoża pod nasypem drogowym przy Frankfield Loch w Stepps w Szkocji, stabilizacja zbocza w Edynburgu czy wzmocnienie podłoża pod nasypem drogowym zjazdu z drogi ekspresowej w Paryżu.

## 2. Wzmocnienie podłoża gruntowego w technologii TRMX pod nasypem drogowym na przykładzie trasy S19

### 2.1. Lokalizacja inwestycji w sąsiedztwie obiektu PG-8, km 8 + 125–km 8 + 364

Teren inwestycji mieści się w bezpośrednim sąsiedztwie Rzeszowa i dotyczy budowy nowego odcinka drogi ekspresowej S19, łączącego węzły drogowe Świlcza i Rzeszów Południowy. Kontrakt został zrealizowany w formule zaprojektuj i zbuduj, a firmy Soletanche Polska Sp. z o.o., Menard Polska Sp. z o.o. i Eurovia Polska SA tworzyły konsorcjum geotechniczne. Zaprojektowana trasa przebiega w terenie o zróżnicowanej budowie morfologicznej (ryc. 1).

Realizacja inwestycji na wielu jej odcinkach wiązała się z budową nasypów, spośród których najwyższy to nasyp obiektu PG-8 (km 8 + 110–8 + 380), który osiąga maksymalnie 21 m w dolinie (km 8 + 234). Nasyp wraz z obiektem PG-8 posadowiono na panelach cementogruntowych wykonanych w technologii TRMX.

### 2.2. Założenia projektowe oraz wyniki

Rozwiązanie projektowe (szerzej opisane w [6]) zakładało wykonanie 101 paneli o grubości 40 cm w kierunku prostopadłym do osi drogi i zmiennej głębokości od 6,0 do 10,0 m w centralnej części doliny, gdzie występowały lokalnie grunty organiczne. Rozstaw paneli uzależniony był od wysokości projektowanego nasypu i wahał się od 2,0 do 3,0 m. Warunki gruntowe zostały szczegółowo przedstawione w [4, 5]. W celu zwiększenia tarcia wzmocnionego podłoża z projektowanym nasypem stabilizowanym oraz dla uzyskania redukcji osiadań gruntu pomiędzy panelami TRMX jako warstwę transmisyjną obciążeń generowanych przez nasyp na panele zaprojektowano materac o grubości 70 cm z kruszywa grubookruchowego 0–400 mm bez elementów zbrojących.

Głównym kryterium jakościowym wykonania paneli TRMX było przyjęcie minimalnej wartości wytrzymałości na ściskanie próbek cementogruntu  $R_m$  równej 2,5 MPa po 90 dniach. Wartość ta uwzględnia niejednorodność wymieszanego cementogruntu oraz zmienność warunków gruntowych. Według obliczeń, naprężenia wewnętrzne w panelu nie przekraczały 1,5 MPa.

W tym celu zaprojektowano spoiwo hydrauliczne oraz określono jego dozowanie (250–400 kg/m<sup>3</sup>). Uzyskiwane wyniki badań grutobetonu po 20 dniach osiągały wytrzymałość powyżej 2,0 MPa, a po 56 dniach – wymagane 2,5 MPa, potwierdzając słuszność przyjętych założeń dozowania oraz składu komponentów spoiwa hydraulicznego.

Osiadania nasypu, których monitoring prowadzi firma Menard Polska i które szerzej opisano w [5], projektant oszacował na 29,0 cm. Prowadzony monitoring nie wykazuje obecnie niepokojących wartości, a poziom porównawczy, określony dla 12,0 m, daje porównywalne wyniki. Należy zaznaczyć, że pomiary są wciąż kontynuowane.

Analizowany przypadek posadowienia tak wysokiego nasypu jest niewątpliwie dużym wyzwaniem geotechnicznym zarówno pod względem projektowym, jak i wykonawczym. Skalę problemu uświadamia fakt, że w tak złożonym przypadku rozwiązanie projektowe zakłada wykorzystanie technologii, która do tej pory nie miała zastosowania w kontekście wzmocniania podłoża w Polsce i nie jest dobrze znana ani generalnym wykonawcom, ani inwestorom. Pomimo innowacyjnego rozwiązania projekt zyskał przychylną opinię zamawiającego, wzbudzając jednocześnie duże zainteresowanie oraz pozytywne opinie nadzoru inwestorskiego w trakcie produkcji.





Fot. 2. Ukształtowanie terenu oraz schodkowanie platformy



Fot. 3. Wzmocnienie podłoża gruntowego w technologii TRMX

Doświadczona kadra projektowa i nadzór techniczny z ramienia konsorcjum geotechnicznego oraz bogate zaplecze naukowo-techniczne pozwoliły na wypracowanie optymalnej koncepcji i zrealizowanie trudnego zagadnienia geotechnicznego.

### Literatura

[1] Hussin J., Kami C.: *Earth Retention Using the TRD Method*. Proceedings of the Earth Retention Conference, August 1–4, 2010, Washington, United States, ASCE Geotechnical Special Publication No. 208, pp. 318–325.

[2] Borel S. (Soletanche Bachy France): *Soil mixing innovations*. BGA CFMS Conference. London, 7 December 2007.

[3] *Ground Improvement. Third Edition*. Eds. K. Kirsch, A. Bell. CRC Press Taylor & Francis Group, 2013.

[4] *Dokumentacja badań podłoża na potrzeby realizacji zadania pt. „Budowa drogi ekspresowej S19 od km 5+093,00 do km 11+402,31 odcinek od węzła Świlcza (DK 4) bez węzła do węzła Rzeszów Południe (Kielanówka) z węzłem, wraz z niezbędną infrastrukturą techniczną, budowlami i urządzeniami budowlanymi*. PIG–PIB. Warszawa 2014.

[5] Bąbała P., Gos P., Warchał T.: *Wzmocnienie podłoża gruntowego pod wysokim nasypem drogowym w technologii Trenchmix*. XXXII Ogólnopolskie Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji. Wiśła, 7–10 marca 2017.

[6] Bąbała P., Gos P., Warchał T.: *Projekt wykonawczy wzmocnienia podłoża gruntowego na dojeździe oraz pod fundamentami obiektu PG-8*. Kraków 2014.

[7] Bąbała P., Chmielewski M., Łysiak P., Warchał T.: *Wzmocnienia gruntu. Nowe zastosowania technologii Trenchmix®*. Rzeszów 2016.

[8] Topolnicki M.: *In situ Soil Mixing*. In: *Ground Improvement Third Edition*. CRC Press Taylor & Francis Group, 2013, pp. 329–434.

[9] Głowacki P.: *Trenchmix – możliwości zastosowania w budownictwie infrastrukturalnym, kubaturowym i hydrotechnicznym*. Seminarium IBDiM i PZWFS *Wzmacnianie podłoża i fundamentów*. Warszawa, 2 marca 2017.





La Playa Apartments

Sopot



Łukasz Grabowski  
projektant



Sławomir Holda  
projektant/inżynier budowy



Robert Boksa  
inżynier budowy



Marlena Kordalska  
inżynier budowy



Jakub Morzywołek  
kierownik robót

## WYZWANIA NA BUDOWIE LA PLAYA APARTMENTS

▶ **ZAWIESZENIE KONSTRUKCJI ZABYTKOWEGO PAŁACYKU  
NAD PROJEKTOWANYM PODZIEMIEM !!!**

▶ **WYKOP ZLOKALIZOWANY 200M OD ZATOKI GDAŃSKIEJ**

▶ **WODA GRUNTOWA 0,5M POD POZIOMEM TERENU**

▶ **SZCZELNA PALISADA DSM DO 16M**

▶ **OBUDOWA WYKOPU W ŚCISŁEJ GRANICY DZIAŁKI**

▶ **OGRANICZENIE PRZEMIESZCZEŃ SĄSIEDNIEJ ZABUDOWY**

# A TY JAK TRUDNE WYZWANIA POSTAWISZ PRZED NAMI?

SKONTAKTUJ SIĘ Z NAMI!

OFFICE@SOLETANCHE.PL  
(+48) 22 639 74 11

WWW.SOLETANCHE.PL

Postaw na nas



SOLETANCHE