

mgr inż. Roman Rogowski*
mgr inż. Andrzej Szalbót*

Zastosowanie technologii CSM w budownictwie inżynieryjnym

The use of CSM technology in civil engineering

Proces rozwoju technologii wzmocnienia gruntu przybrał na sile w II połowie XX w. zwłaszcza w Europie Zachodniej, Stanach Zjednoczonych i Japonii. Jedną z metod, która się wtedy wykrystalizowała, było mieszanie gruntu in situ z zaczynem cementowym (*soil-mixing*), w wyniku której otrzymuje się tzw. cementogrunt o wytrzymałości na ściskanie $3 \div 20$ MPa w zależności od receptury zaczynu i rodzaju gruntu.

Do najbardziej rozpowszechnionych w Polsce metod *soil-mixingu* zalicza się iniekcję wysokociśnieniową jet-grouting oraz kolumny DSM (ang. Deep Soil Mixing). W przypadku **jet-groutingu** struktura gruntu jest niszczona i mieszana za pomocą wysokoenergetycznego strumienia zaczynu pod ciśnieniem $200 \div 800$ barów wypływającego z dysz zamontowanych na dolnym odcinku żerdzi. W przypadku, gdy żerdź jest podciągana obrotowo, powstaje kolumna cementogruntu o średnicy od kilkudziesięciu do nawet kilkuset centymetrów, natomiast jeśli żerdź jest podciągana bez obrotów, powstaje ściana z cementogruntu o wymiarach zależnych od parametrów iniekcji.

W **metodzie DSM** wstępne mieszanie gruntu z zaczynem cementowym odbywa się za pomocą mieszadła wyposażonego w dysze podające zaczyn cementowy. Obrotowy ruch mieszadła i wolne jego podnoszenie powodują równomierne wymieszanie gruntu z zaczynem, tworząc kolumnę cementogruntu o średnicy użytego mieszadła ($0,4 \text{ m} \div 1,2 \text{ m}$). W 2003 r. firma Bauer opracowała, na bazie hydrofrezów stosowanych do wykonywania ścian szczelinowych, **technologię CSM** (ang. **Cutter Soil Mixing**), którą z sukcesem stosuje się na Zachodzie do wykonania przesłon przeciwfiltracyjnych i ścian oporowych. W 2009 r. firma

IMB-Podbeskidzie zakupiła wiertnicę RG 20 S (fotografia 1) wraz osprzętem do wykonywania ścian oraz kolumn w technologii CSM i zaczęła ją stosować na krajowym rynku.



Fot. 1. Wiertnica RG 20 S wraz frezem

Charakterystyka technologii CSM

Technologia CSM służy do wstępnego mieszania gruntu za pomocą specjalnie skonstruowanego frezu zamontowanego do wiertnicy lub dźwigu kratowego i zasilanego przez maszynę podstawową bądź dodatkowy agregat hydrauliczny. W metodzie CSM wykonywane są panele o wymiarach od $2,4 \text{ m}/0,55 \text{ m}$ do $2,8 \text{ m}/0,8 \text{ m}$. Frez składa się z pionowej żerdzi, do której przytwierdzone są dwa bębny skrawające, w których znajdują się silniki hydrauliczne, umożliwiające

mieszanie gruntu zarówno w fazie pograżania, jak i wyciągania frezu. Oś obrotu bębnow skrawających jest pozioma i prostopadła do osi żerdzi. Wewnątrz pionowej żerdzi biegnie przewód iniekcyjny, zakończony dyszą iniekcyjną znajdującą się między bębni skrawającymi.

Urabianie gruntu odbywa się bez wstrząsów czy wibracji i jest wspomagane wypływem zaczynu cementowego lub płuczki bentonitowej (zalecanych w przypadku drążenia w gruntach skalistych lub na znacznej głębokości). Technologia CSM umożliwia radykalną poprawę właściwości mechanicznych istniejącego podłoża gruntoowego, które po połączeniu z zaczynem cementowym tworzy cementogrunt.

Po osiągnięciu przez frez głębokości założonej w projekcie następuje faza formowania sekcji. Frez jest podnoszony, z jednoczesnym wypływem iniektu i mieszaniem go za pomocą obracających się bębnow frezu, co zapewnia równomierne wymieszanie zaczynu z gruntem. Skład i ilość pompowanego zaczynu dostosowuje się do wymaganych właściwości cementogruntu. Proces wytworzenia i pompowania zaczynu sterowany jest komputerowo, wg danych wprowadzonych do panelu sterującego zespołem mieszalników i pomp. Jednocześnie cały proces wykonania pojedynczej kolumny w technologii CSM (fotografia 2) jest rejestrowany przez komputer wiertnicy. Technologia jest przyjazna dla środowiska ze względu na stosowanie nieszkodliwych materiałów oraz wyróżnia się małą ilością urobku.

Procedura wykonania ściany/kolumny w technologii CSM:

- **krok 1:** wykonanie niewielkiego wykopu początkowego z poziomu, z którego rozpoczyna się frezowanie, służącego jednocześnie do gromadzenia nadmiaru zawiesziny. W przypadku ścian oporowych o trwałym charakterze zasadne jest zastosowanie murków prowadzących;

* P.I. IMB-Podbeskidzie



Budownictwo inżynieryjne

Produkcja prefabrykatów



Przedsiębiorstwo
Inżynieryjne
"IMB - Podbeskidzie" Sp. z o.o.
ul. Gómy Bór 31a, 43-430 Skoczów
tel.: +48 33 853-25-65
fax: +48 33 853-25-66

Zrealizowaliśmy projekty współfinansowane przez UE.



Geoinżynieria

● **krok 2:** rozpoczęcie frezowania. Grunt upłynniony jest za pomocą zawiesiny podczas urabiania szczeliny. Pograżanie może odbywać się z użyciem płuczki wodnej, cementowej lub bentonitowej;

● **krok 3:** po osiągnięciu projektowanej głębokości rozpoczyna się właściwą iniekcję, pompując odpowiednią ilość zawiesiny;

● **krok 4:** wprowadzenie zbrojenia w postaci profili stalowych w sekcję ściany.

Podczas wykonywania kolejnych kroków rejestrowane są przez komputer wiertnicy CSM następujące parametry frezowania:

■ czas rozpoczęcia i zakończenia frezowania pojedynczej sekcji;

■ zużycie zaczynu (całkowite i na metr);

■ prędkość pograżania frezu oraz jego zagłębienie;

■ ciśnienie zaczynu;

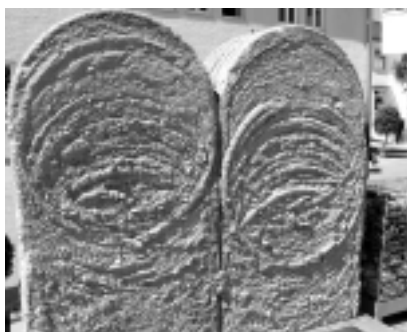
■ położenie frezu w planie oraz jego pionowość.

Monitoring wymienionych parametrów umożliwia stałą kontrolę jakości sekcji CSM. W celu uzyskania ciągłości ściany wykonuje się co drugą sekcję, a następnie pomiędzy nimi sekcje wtórne, nacinając sekcje pierwotne (zakład ok. 20 cm). Sekcje wtórne można wykonać zaraz po wykonaniu sekcji pierwotnych, tzw. soft-into-soft, lub po stężeniu sekcji pierwotnych, tzw. soft-into-hard.

Przykłady zastosowania technologii CSM w budownictwie inżynieryjnym

Pierwszą realizacją w technologii CSM była ściana oporowa stanowiąca zabezpieczenie wykopu pod przyczółek i podpory nr 3 wiaduktu WS4 w Bielsku-Białej w ramach kontraktu *Budowa drogi ekspresowej S69 Bielsko-Biała – Żywiec – Zwardoń odcinek nr 2*

węzeł „Krakowska” – węzeł „Bystrzańska”. Pierwotnie zaprojektowano zabezpieczenie w postaci stalowej ścianki szczelnej, ale biorąc pod uwagę względy ekonomiczne oraz możliwość potraktowania ścianki jako deskowania podpór wiaduktu, zdecydowano się wykonać przedmiotową ściankę w technologii CSM. Zadanie obejmowało wykonanie 440 m² ścianki w celu zabezpieczenia wykopu pod przyczółek oraz 130 m² ścianki stanowiącej zabezpieczenie wykopu pod podporę nr 3. Całkowita wysokość ścianki wynosiła 10 m, natomiast poziom dna wykopu znajdował się na głębokości ok. 6,5 m. Ścianka została zakotwiona jednym rzędem kotew systemu Titan 30/11. Warunki geologiczne w rejonie prac były trudne, gdyż frezowanie odbywało się w zwietrzelinie gliniastej przewarstwionej skałą twardą (piaskowcem o miąższości do 1,5 m). Szybkie i bezproblemowe wykonanie zadania umożliwiła konstrukcja frezu (fotografia 3) oraz zastosowanie specjalnych zębów skrawających. Frezowanie odbywało się z użyciem płuczki wodnej, a do uformowania ściany i wypełnienia szczeliny zastosowano zaczyn cemen-



Fot. 2. Uformowana kolumna CSM



Fot. 3. Frez CSM przed formowaniem kolumny

towy o w/c = 0,6. Po upływie 28 dni wycięto ze ściany próbki w celu sprawdzenia wytrzymałości na ściskanie. W przypadku próbek pobranych na wysokości najmniej korzystnego gruntu zwietrzeli-ny gliniastej osiągnięto średnią wytrzymałość 7,9 MPa. Należy wziąć pod uwagę fakt, iż dojrzewanie cementogruntu przebiega wolniej niż betonu i powszechnie przyjmuje się, że po 28 dniach cementogruntu osiąga ok. 70% swojej docelowej wytrzymałości.

Kolumny CSM z powodzeniem stosowane są również jako **przesłony przeciwfiltracyjne** zapobiegające sączeniu wody gruntowej (fotografia 4). W 2011 r. wykonano np. pionowe przesłony na zadaniu inwestycyjnym pn. *Zaprojektowanie i wykonanie odbudowy dróg gminnych usytuowanych na obwałowaniach rzeki Uszwica – Wał lewy, Wał prawy w m. Borzęcin*. W ramach odbudowy wałów przeciwpowodziowych firma P.I. IMB-Podbeskidzie wykonała 883 m² kolumn CSM



Fot. 4. Przesłona pionowa z kolumn CSM

długości 2,20 ÷ 3,30 m. Dobór odpowiednich składników zaczynu cementowego, jak również zapewnienie właściwego „zakładu” technologicznego poszczególnych kolumn pozwoliły uzyskać szczelną oraz wytrzymałą przesłonę, która zabezpieczy tereny wokół koryta rzeki przed negatywnymi skutkami spiętrzenia wody.

Dużym wyzwaniem, z uwagi na bardzo napięty termin realizacji, było wykonanie **wzmocnienia podłoża pod podpory Zintegrowanego Węzła Przesiadkowego w rejonie stadionu we Wrocławiu realizowanego na EURO 2012**. Od 25 października 2010 r. do 8 stycznia 2011 r. P. I. IMB-Podbeskidzie wykonało 2 211 m³ pionowej przesłony metodą wglębnego mieszania oraz 1 037 m³ ścianek zabezpieczających stopy fundamentowe podpór obiektu. Mając na uwadze niesprzyjające warunki atmosferyczne (m. in. ujemną temperaturę), które powodowały częste przestoje technologiczne, dotrzymane zostały wszystkie terminy wykonania wzmocnienia poszczególnych podpór, co przy zastosowaniu innej technologii byłoby rzeczą niemożliwą do osiągnięcia.

Analizując warunki gruntowe, które napotkaliśmy w trakcie formowania kolumn, np. bardzo zróżnicowaną budowę geologiczną, występowanie gruntów organicznych, wysoki poziom wód gruntowych, można stwierdzić, iż wglębne mieszanie gruntu w technologii CSM pozwala na uzyskanie jednolitej oraz szczelnej przesłony, niwelując jednocześnie wszystkie negatywne cechy gruntu pierwotnego.

Kolumny CSM, z uwagi na brak wstrząsów oraz wibracji, można bez obaw wykonywać w bliskim sąsiedztwie istniejących obiektów (np. zabezpieczenie głębokich wykopów Małopolskiego Centrum Biotechnologii UJ w Krakowie – fotografia 5) lub szlaków komunikacyjnych, czego dobrym przykładem jest **obiekt PZ-65A**. Podczas budowy przejścia dla dużych zwierząt nad autostradą A4 i linią kolejową nr 91 Kraków – Medyka w km A4 493+000.00, zabezpieczenie wykopów pod podpory „E” i „F” wykonano z kolumn CSM, które stanowiły zamknięte komory wokół stóp fundamentowych (fotografia 6). Komory zlokalizowane bezpośrednio przy linii kolejowej mają wymiary 9,2 x 86,95 m („E”) oraz 8,2 x 86,95 m („F”). Długość uformowanych kolumn CSM wynosi 8,0 m przy szerokości 0,55 m.



Fot. 5. Zabezpieczenie wykopu kolumnami CSM w przypadku budowy Małopolskiego Centrum Biotechnologii UJ w Krakowie



Fot. 6. Widok gotowej komory

W celu zapewnienia stateczności komór, kolumny zazbrojono podwójnymi profilami IPE 120 I = 6,0 m, zamontowano rygle poziome (HEB 300) oraz rozpory (w tym rozpory narożne i ukośne) z rur stalowych (273 x 7,1 mm).

Ścianki z kolumn CSM bardzo dobrze spełniły wymagania, które zostały określone na etapie projektowania: zabezpieczyły wykopki podczas wykonywania robót fundamentowych oraz deskowania podpór, posłużyły jako deskowanie tracone stóp fundamentowych (co wpłynęło na przyspieszenie prac) oraz zapewniły zachowanie stateczności nasypu kolejowego i pozwoliły na utrzymanie ciągłości ruchu linii kolejowej nr 91 relacji Kraków-Medyka podczas wykonywania robót.

Technologia CSM została wykorzystana przez firmę P.I. IMB-Podbeskidzie również do wykonania **kolumn pod fundamenty hali produkcyjnej w Skoczowie**. Z uwagi na obecność korzystnych dla *soil-mixingu* warunków geologicznych, tj. średnio zagęszczonych pospółek i piasków na głębokości 3 – 4 m, zdecydowano się posadowić każdą z 33 stóp fundamentowych hali na 3 kolumnach o wymiarach 2,4 x 0,55 m i długości 6,5 m. Zaprezentowane rozwiązanie okazało się najbardziej ekonomiczne ze względu na nie-

(dokończenie na str. 23)