



Wykonywanie przestón przeciwnfiltracyjnych w technologii DSM

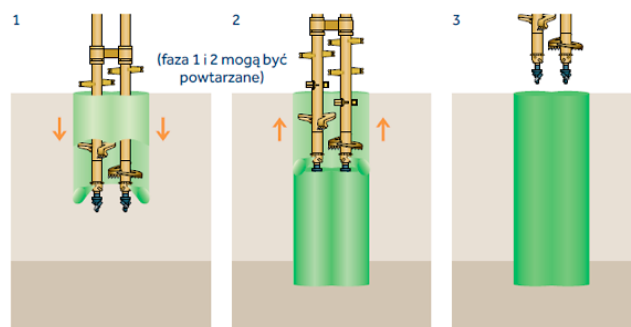
tekst: **RAFAŁ SOBOCIŃSKI**, Keller Polska, zdjęcia: **KELLER POLSKA**

Dynamiczny rozwój sektora budowlanego i coraz powszechniejsza realizacja inwestycji na terenach o skomplikowanych warunkach geotechnicznych przyczynia się do wykorzystania nowoczesnych metod wzmocniania i uszczelniania gruntów. Technologia DSM (*deep soil mixing*) oprócz poprawy właściwości mechanicznych zwiększa szczelność gruntów zalegających w podłożu w wyniku ich wymieszania ze spoiwem. Daje to możliwość wykonywania różnorodnych form cementogruntowych przestón przeciwnfiltracyjnych, dostosowanych do wymagań realizacji inwestycji.

W niniejszym artykule omówiono technologię DSM, a także metody wykonania przestón przeciwnfiltracyjnych przy jej zastosowaniu.

Technologia DSM

Wgłębne mieszanie gruntu na mokro (DSM-wet) polega na wprowadzeniu w podłoże pojedynczego lub wielokrotnego mieszadła o konstrukcji składającej się z żerdzi wiertniczej, belek poprzecznych i koronki wiertniczej. Wiercenie odbywa się bez wstrząsów i jest wspomagane wypływem zaczynu przygotowanego na bazie wody i spoiwa. Po osiągnięciu założonej głębokości następuje faza formowania kolumny DSM. W tym czasie obracane i podciągane do góry mieszadło równomiernie



Fazy wgłębego mieszania gruntu na mokro za pomocą podwójnego mieszadła

Tab. 1. Charakterystyczne średnice i rozstawy kolumn DSM w przesłonach przeciwfiltracyjnych

Średnica kolumny [cm]	Rozstaw kolumn [cm]	Grubość przesłony [cm]
60	50	33
70	60	36
80	60	53
100	80	60

miesza zaczyn z gruntem. Skład i ilość pompowanego zaczynu dostosowuje się do wymaganych właściwości cementogruntu.

Wykonanie pionowych przesłon przeciwfiltracyjnych przy zastosowaniu kolumn DSM

Do realizacji pionowych przesłon za pomocą kolumn DSM stosuje się pojedyncze lub wielokrotne mieszadła. Kluczowe dla zapewnienia szczelności połączeń poszczególnych kolumn jest utrzymanie reżimu wykonawczego w postaci odpowiedniej sekwencji wykonania. Dla pojedynczego mieszadła wykonujemy najpierw kolumny pierwotne, a następnie wypełniające. W takim przypadku należy zwrócić szczególną uwagę na projektowaną średnicę kolumn i założony pomiędzy nimi zakład w zależności od głębokości wykonania. Stosowane średnice i rozstawy przedstawia tabela 1.

W przypadku użycia wielokrotnych mieszadeł (np. podwójnych lub potrójnych) również stosuje się sekwencję elementów pierwotnych i wypełniających, znacząco ograniczając liczbę tzw. zimnych połączeń pomiędzy kolumnami. Wielokrotne mieszadła umożliwiają ponadto całkowitą eliminację ryzyka nieszczelności pomiędzy kolejnymi panelami kolumn przez zastosowanie metody *świeży w świeży*. W takim przypadku jedno z mieszadeł jest ustawiane w pozycji już wcześniej wykonanej kolumny i ponownie ją miesza, podczas gdy kolejne mieszadła wykonują już nowe kolumny. Realizacja przesłony bez zimnych połączeń pomiędzy kolumnami DSM pozwala na bezpieczne wykonywanie przesłon na bazie kolumn \varnothing 60 cm w rozstawie 50 cm do maksymalnych możliwości maszyny głównej.

Dużym obszarem stosowania pionowych przesłon przeciwfiltracyjnych realizowanych za pomocą kolumn DSM są zabezpieczenia wykopów w centrach miast bez konieczności obniżania zwierciadła wody gruntowej i negatywnych tego skutków dla sąsiedniej zabudowy. Zaletą tej technologii jest możliwość elastycznego dostosowania przebiegu przesłony do obrysu wykopu i minimalizacja strat powierzchni podziemnych kondygnacji wznoszonych obiektów. Do kolumn DSM, bezpośrednio po ich wykonaniu, można wprowadzać zbrojenie w postaci

kształtowników stalowych w przypadku zginanych elementów. Ponadto rozwiązania na bazie DSM dobrze sprawdzają się w połączeniu z innymi technologiami i elementami konstrukcyjnymi, takimi jak *jet-grouting* (np. przesłony poziome), kotwy, gwoździe gruntowe oraz rozparcia stalowe.

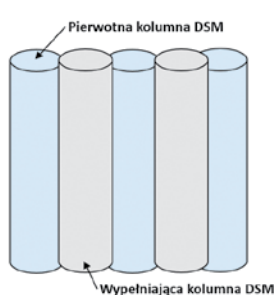
Wykonanie poziomych przesłon przeciwfiltracyjnych przy zastosowaniu kolumn DSM

Nowym rozwiązaniem dla kolumn DSM jest realizowanie za ich pomocą poziomych przesłon przeciwfiltracyjnych. Jest to możliwe dzięki rozwojowi technologii kolumn DSM pod względem możliwości wykonania dużych średnic, tj. powyżej 1,5 m. Taka metoda została po raz pierwszy zastosowana przez firmę Keller w Stanach Zjednoczonych, a pierwszy raz w Polsce w 2018 r. Przesłona pozioma jest wykonywana w postaci nachodzących na siebie kolumn DSM, które w ich części od platformy roboczej do poziomu przesłony mieszane są bez spoiwa, a na ich dolnym odcinku podawany jest zaczyn cementowy. Kluczowa w tym przypadku jest możliwość wykonywania tzw. wolnych przelotów i kontrola tego procesu za pomocą systemu rejestracji parametrów pracy maszyny głównej. Pozioma przesłona na etapie projektowania wymaga sprawdzenia jej stateczności ze względu na wypór w fazie wykonywania wykopu. W związku z tym częstym rozwiązaniem jest jej kotwienie, które może również spełniać zadanie pośredniego posadowienia budowanego obiektu.

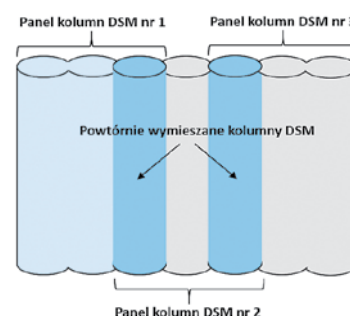
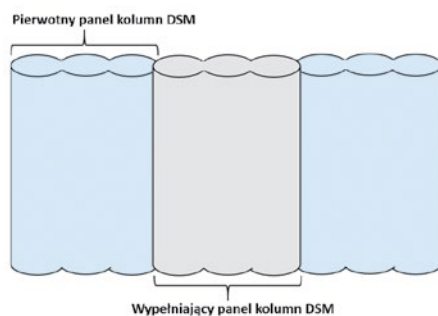
Kontrola jakości

Kontrola jakości procesu zarówno wykonawstwa, jak i finalnego produktu ma na celu sprawdzenie osiąganych parametrów cementogruntu w porównaniu do założeń projektowych. Obejmuje ona etapy przed przystąpieniem do prac, w trakcie wykonywania robót oraz po ich zakończeniu.

Na etapie przygotowania do realizacji zalecaną praktyką jest wykonanie w warunkach laboratoryjnych próbnych zarobów z gruntu pobranego z miejsca inwestycji i planowanego do zastosowania spoiwa w różnych konfiguracjach jego



Sekwencja wykonywania kolumn DSM w przesłonie przeciwfiltracyjnej metodą pierwotny - wypełniający



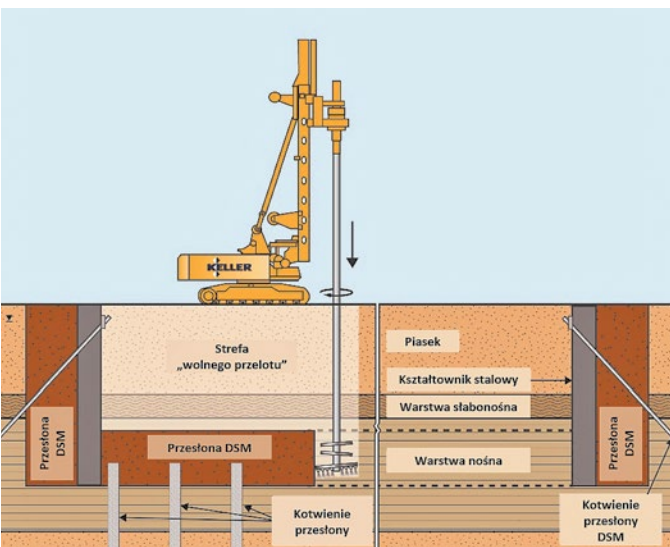
Sekwencja wykonywania kolumn DSM w przesłonie przeciwfiltracyjnej metodą *świeży w świeży* dla potrójnego mieszadła



Przykład realizacji zabezpieczenia wykopu z funkcją przesłony przeciwfiltracyjnej



Realizacja przesłony przeciwfiltracyjnej w systemie potrójnego mieszadła



Schemat wykonania poziomej przesłony przeciwfiltracyjnej



Widok na wykop w miejscu zrealizowanej przesłony poziomej i pionowej w kolumnach DSM

dozowania. Pozwala to na sprawdzenie możliwości osiągnięcia zakładanych parametrów materiału przesłony i ewentualnej korekty. Kontrola podlega również materiał i receptura zawiesiny, w tym także jej parametry, jak czas wiązania i gęstość. Jest to szczególnie istotne ze względu na stosowanie w przesłonach przeciwfiltracyjnych oprócz samego cementu jego mieszanek z bentonitem, popiołami czy mączką wapienną.

W trakcie realizacji prac kontrola jakości obejmuje stosowane materiały oraz parametry przygotowywanego na ich bazie zaczynu. Kontrolowany jest również proces wykonania kolumn DSM. Są to: ilość wbudowywanego materiału, głębokość, czas i zakres mieszania, gęstość zaczynu, jego przepływ i ciśnienie, prędkość obrotowa mieszadła, prędkość penetracji i wyciągania mieszadła, opory wiercenia oraz jakość mieszania, którą wyraża się wartością wskaźnika BRN. Parametr BRN (*blade rotation number*) określa całkowitą liczbę obrotów belki mieszającej na odcinku 1 m kolumny. Wyliczany jest na podstawie poniższego wzoru:

$$BRN = \Sigma M \times \left(\frac{R_p}{V_p} + \frac{R_w}{V_w} \right) \times n$$

gdzie: ΣM – liczba aktywnych belek mieszających (belka o długości równej średnicy kolumny liczy się podwójnie), R_p – prędkość obrotowa mieszadła w fazie penetracji [obr./min], V_p – prędkość liniowa penetracji mieszadła [m/min], R_w – prędkość obrotowa mieszadła w fazie wyciągania [obr./min], V_w – prędkość liniowa wyciągania mieszadła [m/min], n – liczba pełnych cykli mieszania dół – góra.

Wymienione parametry produkcyjne kolumn DSM są zapisywane w formie metryk przez automatyczny system rejestracji maszyny głównej. Osiągane parametry materiału kolumn (wytrzymałość na ściskanie i wodoprzepuszczalność) bada się na pobranych podczas realizacji próbkach cementogruntu. Kontrolę taką przeprowadzają certyfikowane laboratoria, a liczba badań określana jest w dokumentacji projektowej.

Po wykonaniu przesłony przeciwfiltracyjnej zaleca się, jeśli jest to możliwe, wykonanie miejscowych odkrywek i wizualną ocenę elementów pod względem jakości cementogruntu.

Podsumowanie

Kolumny DSM są szeroko stosowane do realizacji projektów z elementami przesłon przeciwfiltracyjnych. Wykorzystanie tej technologii pozwala na równoczesne pełnienie przez nią innych funkcji, takich jak zabezpieczenie wykopu lub wzmocnienie podłoża pod fundamenty obiektu. Możliwość łatwego łączenia kolumn DSM w dowolne układy geometryczne umożliwia elastyczne dopasowanie przebiegu przesłony do wymagań lokalnych realizowanego projektu. Prawidłowe zastosowanie technologii DSM w praktyce wymaga zrozumienia procesu mieszania gruntu ze spoiwem, reakcji chemicznych zachodzących w wymieszanym gruncie, krótko- i długookresowych właściwości cementogruntu oraz odpowiednio zdefiniowanej na etapie projektowym kontroli jakości robót podczas wszystkich etapów realizacji.

Więcej na www.keller.com.pl

