

Wykonywanie przegród przeciwnfiltracyjnych metodą wgłębnego mieszania gruntu na mokro Trenchmix[®] oraz wykopu szczelinowego stabilizowanego zawiesiną twardniejącą przez firmę Soletanche Polska

tekst: PIOTR GŁOWACKI, MARIUSZ HOFFMANN, Soletanche Polska Sp. z o.o.

Zły stan obwałowań przeciwpowodziowych w Polsce ujawnił się w czasie kolejnych powodzi w latach 1997, 2001 i 2010. Wiele z nich wymagało natychmiastowej przebudowy lub uszczelnienia. Na szerszą skalę prace te zapoczątkowano pod koniec lat 90. XX w. Tradycyjne metody naprawy obwałowań polegające na rozległych pracach ziemnych i dogęszczaniu są bardzo kosztowne, czasochłonne, a przede wszystkim stosowane samodzielnie nie zapewniają właściwego uszczelnienia podłoża obwałowań – strefy szczególnie narażonej na przerwanie w czasie powodzi. Bardzo efektywnym sposobem poprawy stanu obwałowań jest zastosowanie ekranów przeciwnfiltracyjnych zarówno w korpusie, jak i w ich podłożu.



Ryc. 1. Trencher Steenberger Hollandrain BSV7500

Jedną z metod wykonywania takich struktur są pionowe przegrody przeciwnfiltracyjne, zbudowane z gruntobetonu lub zawiesin twardniejących. Firma Soletanche Polska Sp. z o.o. posiada 20-letnie doświadczenie w realizacji przegród przeciwnfiltracyjnych, mających na celu ograniczenie filtracji w wałach przeciwpowodziowych, budowach piętrzących, a także izolacji odcieków składowisk odpadów. W artykule przedstawiono przykłady realizacji przegród pionowych metodą wgłębnego mieszania gruntu na mokro Trenchmix[®] oraz wykopu szczelinowego stabilizowanego zawiesiną twardniejącą (*slurry trench*).

Przegrody wykonywane w technologii Trenchmix[®]

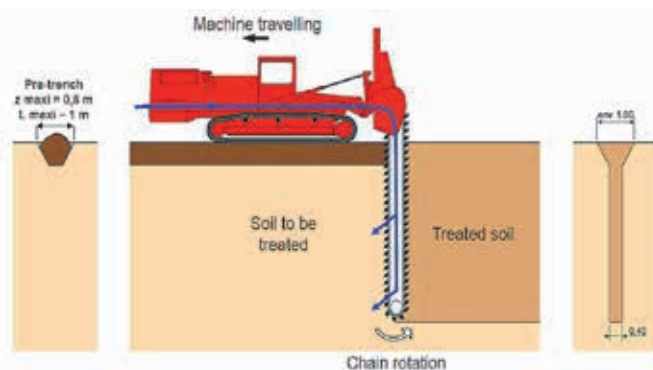
Technologia Trenchmix[®] CDMM (*Continuous Deep Mixing Method*) należy do metod mieszania gruntów in situ, w uproszczeniu polegających na zniszczeniu istniejącej struktury gruntu,

a następnie wymieszaniu jej z mokrym (spoiwo hydrauliczne) lub suchym (mieszanka wapna z cementem) materiałem wiążącym. Materiał powstający w wyniku takiego procesu (gruntobeton) charakteryzuje się korzystniejszymi parametrami (wytrzymałość, nieprzepuszczalność) od gruntu wyjściowego. Technologia mieszania gruntów in situ powstała w latach 50. w USA, ale jej intensywny rozwój nastąpił w latach 70. i 80. XX w., szczególnie w Japonii i krajach skandynawskich. Obecnie metoda ta jest powszechnie stosowana do wykonania przegród przeciwnfiltracyjnych na całym świecie.

Do realizacji przegród przeciwnfiltracyjnych metodą Trenchmix[®] CDMM Soletanche Polska Sp. z o.o. wykorzystuje specjalistyczne trenchery (np. firm Mastenbroek i Steenbergen Hollandrain, ryc. 1).

Typowy trencher zbudowany jest z gąsienicowego nośnika z przytwierdzonym ruchomym frezem, działającym na zasadzie piły łańcuchowej (ryc. 2).

W początkowym etapie w linii przebiegu przegrody wykonywany jest rowek prowadzący o głębokości ok. 0,5–1 m i szerokości nieznacznie przekraczającej rozstaw noży frezu. Jego celem jest nie tylko wytyczenie przebiegu przegrody, ale



Ryc. 2. Schemat wykonania przegrody przeciwnfiltracyjnej metodą Trenchmix[®]

również zapobieganie rozlewaniu się gruntobetonu na platformę roboczą. W kolejnym etapie nad rowkiem ustawiany jest trencher, który pograża frez do projektowej głębokości. Przymocowane do łańcucha ostrza niszczą istniejącą strukturę gruntu, a następnie mieszają go ze spoiwem hydraulicznym dostarczonym rurociągami ze stacji mieszania. Sprzęt stosowany przez Soletanche Polska Sp. z o.o. pozwala na wykonywanie przegród przeciwfiltracyjnych metodą bezspoinową o grubości 40 cm (okazjonalnie 60 cm) i głębokości do 12 m. Znaczna moc silnika hydraulicznego i duża prędkość przesuwu łańcucha skrawająco-mieszającego (4,8 m/s) zapewniają zarówno wysokie tempo produkcji (800–1200 m²/12 h), wysoką jakość mieszania gruntu i powstałego gruntobetonu. Trenchery wyposażone są również w komputerowe systemy sterująco-rejestrujące Lutz LT3. Właściwą jakość uzyskiwanego gruntobetonu zapewnia elektroniczna kontrola dostosowania tempa poruszania się trenchera, prędkości przesuwu i ilości dostarczanego materiału wiążącego.

Wartością określającą te parametry jest indeks mieszania:

$$IM = N \times V_f / V_t$$

gdzie:

N – liczba noży skrawająco-mieszających na 1 m.b. łańcucha,

V_f – prędkość przesuwu łańcucha [m/s],

V_t – prędkość jazdy trenchera [m/s].

W gruntach ziarnistych IM powinien wynosić 100–150, a w spoiwistych 200–250.

Spoivo hydrauliczne

W realizacji przegród przeciwfiltracyjnych metodami wgłębnego mieszania gruntu na mokro DMM (*Deep Mixing Method*) stosowane są materiały oparte na wodnych zawiesinach cementu portlandzkiego i żuźlowego, aktywnym mielonym żuźlu hutniczym, popiołach i bentonicie. Materiał dostarczany jest na budowę cementowozami w formie suchej i przepompowywany do silosów. Następnie w polowych stacjach mieszania (ryc. 3) na jego bazie produkowana jest zawiesina transportowana do trenchera rurociągami.



Ryc. 3. Stacja mieszania spoiwa hydraulicznego

Odległość stacji mieszania od miejsca wykonywania przegród może wynosić nawet powyżej 2 km. Ich dobór jakościowy i ilościowy zależy od pożądanych parametrów gruntobetonu. Czynniki takimi są:

- fizykochemiczne własności gruntu – uziarnienie, mineralogia, zawartość wody i materii organicznej, pH i inne. Np. grunty spoiwiste ilaste i pylaste znacznie trudniej niż sypkie ulegają wy-

mieszaniu z zawiesiną wiążącą i w znacznym stopniu hamują proces wiązania. Zawartość dużej ilości materii organicznej może to wiązanie całkowicie zatrzymać;

- jakość i ilość materiału wiążącego – materiał wiążący powinien być dobierany w zależności od celu zastosowania (wzmacnianie lub uszczelnianie). Podstawowymi parametrami są: czynnik cementu (*cement factor*), który określa wagę suchej masy materiału wiążącego, zastosowanego do uzyskania danej objętości gruntobetonu w kg/m³, oraz czynnik objętości (*volume ratio*), określający stosunek objętościowy iniektowanej zawiesiny do powstałej objętości gruntobetonu;
- czas i warunki wiązania gruntobetonu – poprawa parametrów gruntobetonu następuje w ciągu stosunkowo długiego czasu po wykonaniu wgłębnego mieszania. Zmiany mogą zachodzić w ciągu kilku miesięcy;
- rodzaj zastosowanego sprzętu i czas mieszania – jakość gruntobetonu zależy od sposobu mieszania (czas, liczba obrotów, stopień rozdrobnienia gruntu pierwotnego).

Typowe parametry przegród stosowanych w obwałowaniach rzek i mających na celu wydłużenie drogi filtracji wynoszą: wytrzymałość $R_s \geq 0,3\text{--}0,5$ MPa, współczynnik filtracji $k \leq 1 \times 10^{-7}\text{--}5 \times 10^{-8}$. Uzyskanie wyższej wytrzymałości przegród może spowodować ich popękanie w wyniku niejednorodnego osiadania w stosunku do gruntów otaczających. W zależności od rodzaju gruntu i wymaganych parametrów przegród dozowanie materiału mieści się w następujących granicach: czynnik spoiwa hydraulicznego 100–500 kg/m³, czynnik objętościowy 200–400 l.

Przykład realizacji przegród przeciwfiltracyjnej w technologii Trenchmix®

W ramach realizacji projektów *Odbudowa zapory bocznej Jeziora Zegrzyńskiego na odcinku od rzeki Prut do Pułtuska* oraz *Odbudowa zapory bocznej Jeziora Zegrzyńskiego na odcinku Łacha – Kania* Soletanche Polska wykonała ok. 134 000 m² przegród. Obiekty te, o głębokości 10 i 8 m i grubości 40 cm, były wykonywane z górnej powierzchni obwałowania. W trakcie produkcji uzyskano bardzo wysokie średnie tempo produkcji wynoszące ok. 1000 m² w ciągu ośmiogodzinnej zmiany.

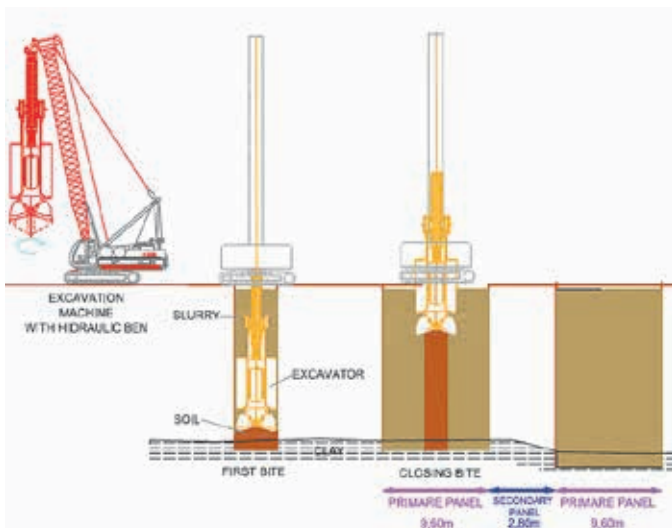
Wykop szczelinowy stabilizowany zawiesiną twardniejącą (*slurry trench*)

Cechą wyróżniającą przegród wykonane metodą wykopu szczelinowego jest całkowite zastąpienie gruntu rodzimego materiałem tworzącym przegrodę. Możliwość wykonywania głębokich wykopów szczelinowych, stabilizowanych zawiesinami koloidalnymi, opiera się na zasadzie równowagi gradientu ciśnienia złożowego przez ciśnienie hydrostatyczne słupa płuczki. W normalnych warunkach ciśnienie płuczki wyższe o 0,025 g/cm³ od złożowego stabilizuje wykop i zapobiega erupcji płynów złożowych oraz zasypaniu wykopu. Kolejnym czynnikiem stabilizującym wykop i zapobiegającym nadmiernej filtracji zawiesiny do gruntu jest osad filtracyjny (*filtration cake*) z cząsteczek ilowych powstający na ścianach wykopu. Czynniki te pozwalają na wykonywanie głębokich wykopów szczelinowych w utworach sypkich poniżej poziomu wód gruntowych.

Zawiesiny twardniejące w trakcie realizacji wykopów szczelinowych pełnią podwójną rolę. W czasie prowadzenia wykopu szczelina jest stabilizowana przez zawiesinę, która następnie

twardniejąc, powoduje powstanie ekranu wodoszczelnego. Wykop może być prowadzony przy użyciu tradycyjnych koparek jednozaczyniowych, melioracyjnych koparek wielozaczyniowych (metoda pośrednia pomiędzy wykopem szczelinowym i CDMM) lub sprzętu stosowanego do wykonywania żelbetowych ścian szczelinowych: głębiarek chwytakowych i hydrofrezów. W tej technologii uzyskuje się ekran wodoszczelny o głębokości do ponad 100 m i grubości od 40 cm do 2 m. Z uwagi na bardzo wysoką szczelność przegród wykonanych tą metodą (wiążąca się z całkowitym zastąpieniem gruntu rodzimego przez zawieszinę twardniejącą, możliwością kontroli rodzaju gruntu, w którym przegroda jest zakotwiczona, oraz możliwością usuwania przeszkód metodą dławowania) stosuje się je nie tylko do wykonywania przegród mających na celu ograniczenie filtracji, lecz również do całkowitego zamknięcia filtracji w hydrotechnicznych budowlach piętrzących i izolacji odcieków w składowiskach niebezpiecznych odpadów.

Wykop szczelinowy wykonywany chwytakiem nazywany jest często metodą krokową (ryc. 4). Polega ona na wykopaniu w linii przegrody wytyczonej murkami lub rowkiem niepołączonych z sobą paneli pierwotnych, a po częściowym związaniu zawiesziny, łączących je paneli wtórnych. Taka kolejność wykopu wiąże się z koniecznością zapewnienia stabilności szczeliny oraz zapobiega ewentualnym odchyleniom wykopu od pionu. W czasie drążenia szczeliny do wykopu dostarczana jest zawieszina twardniejąca, całkowicie wypełniająca wykop, co zapobiega powstaniu obrywów gruntu rodzimego. Typową zawiesziną twardniejącą stosowaną przy wykonywaniu wykopów szczelinowych są mieszanki cementu, żużla wielkopieczowego i bentonitu (ten ostatni składnik w znacznie większej ilości w stosunku do spoiw hydraulicznych) o następujących parametrach: gęstość 1,13–1,18 g/cm³ (ok. 200–250 kg suchej mieszanki na 1 m³ zawiesziny), lepkość 36–40 s.



Ryc. 4. Schemat wykonania przegrody przeciwnfiltracyjnej metodą wykopu szczelinowego slurry trench

Przykład realizacji przegrody przeciwnfiltracyjnej w technologii wykopu szczelinowego

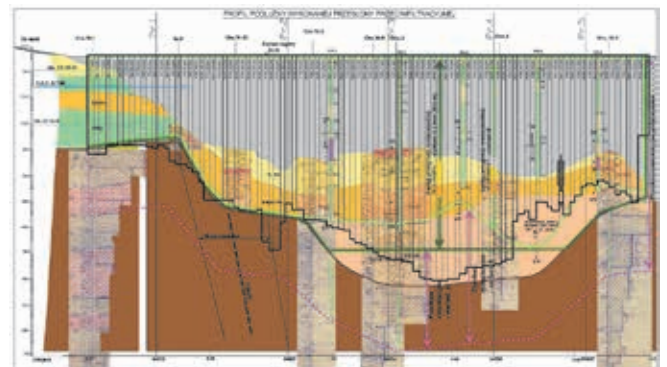
W ramach realizacji projektu *Likwidacja zjawiska niekorzystnej filtracji przez zaporę czołową zbiornika wodnego Chańcza* wykonywane było uszczelnienie korpusu w podłożu lewego skrzydła zapory



Ryc. 5. Głębiarka na koronie zapory Chańcza



Ryc. 6. Chwytak



Ryc. 7. Profil geologiczny zapory i jej podłoża z zaznaczonym przebiegiem wykopanej przegrody

Chańcza. W części projektu realizowanej przez Soletanche Polska Sp. z o.o. wykonano przegrodę przeciwnfiltracyjną metodą wykopu szczelinowego w ziemnym korpusie zapory i części podłoża zbudowanego z urabialnych utworów czwartorzędowych i wapieni miocenijskich. Uszczelnienie niższej części podłoża zbudowanego z kwarcytów wykonała firma Soley metodą niskociśnieniowej iniekcji impregnującej.

Wykop szczelinowy wykonywany był z drogi przebiegającej w koronie zapory, w której wycięto rowek prowadzący (ryc. 5, 6). Kolejne panele drążono do głębokości wystąpienia gruntów nieurabialnych. Przegroda o grubości 1 m w najgłębszym miejscu osiągnęła ponad 30 m głębokości (ryc. 7).

