



Innowacyjna technologia mieszania gruntu

W artykule zaprezentowano projekt badawczy realizowany przez firmę Menard Sp. z o.o., współfinansowany przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach programu „Operacyjny Inteligentny Rozwój 2014 – 2022”, o wartości 9 737 757, 03 PLN, w tym kwota dofinansowania 5 409 892, 56 PLN. Celem projektu jest opracowanie innowacyjnego samowystarczalnego i mobilnego systemu do mieszania wglębnego gruntu niezależnie od rodzaju podłoża, stosowanego do jego wzmocnienia. Projekt składa się z dwóch części: pierwsza obejmuje cztery etapy badań przemysłowych, a druga – trzy etapy prac rozwojowych. Okres realizacji 01.11.2020 – 31.10.2023.

Mieszanie gruntu

Technologie wglębnego mieszania gruntu umożliwiają modyfikację parametrów podłoża gruntowego przez wprowadzenie do jego struktury np. spoiwa cementowego lub innych materiałów [3]. Do mieszania gruntu wykorzystuje się mieszadła o różnej konstrukcji, które umożliwiają niszczenie jego pierwotnej struktury, wprowadzenie substancji wiążącej oraz odpowiednie ich mieszanie. Wyróżnia się **mieszanie gruntu na mokro (*wet mixing*) oraz na sucho (*dry mixing*)**. Dobór metody zależy od warunków gruntowych.

Wglębne mieszanie gruntu, oprócz funkcji ograniczenia przepływu wody gruntowej (przez tworzenie barier o niewielkiej przepuszczalności) i ochrony środowiska (przez immobilizację zanieczyszczeń w gruncie), stanowi jedną z podstawowych technologii wzmocnienia gruntów. Stosowane jest w budownictwie drogowym, kolejowym, przemysłowym (posadowienie zbiorników) oraz hydrotechnicznym (kanały, zapory, inżynieria brzegowa).

Technologia DSM (wglębne mieszanie gruntu w postaci kolumn) polega na wzmocnianiu gruntu w wyniku jego mieszania i formowania kolumn. Stosowana jest w przypadku budowy obiektów kubaturowych, przemysłowych, mostowych [5, 7], w kolejnictwie oraz pod drogami (wzmocnienia pod nasypami). Mieszanie gruntu odbywa się przez wprowadzenie w podłoże gruntowe mieszadła (padła) o specjalnej konstrukcji. Faza formowania kolumny przebiega w kilku etapach, w których naprzemiennie podciąganie i pogrążanie

mieszadła zapewnia wymieszanie zaczynu cementowego z gruntem i utworzenie kolumny o jednorodnej strukturze. Szczególną odmianą technologii DSM są **kolumny typu Springsol**, wykorzystywane głównie przy modernizacji nasypów kolejowych, stanowiące odpowiedź na problemy dotyczące **osiadania gruntów odkształcalnych**. Dzięki tej technologii możliwe jest przebicie się przez górną, niewymagającą wzmocnienia, warstwę i prowadzenie prac mieszających bezpośrednio w słabym gruncie. W przypadku, gdy należy wzmocnić grunt na głębokości 5 – 10 m, wydajność prac wzrasta dwukrotnie.

Trenchmix to pionowe panele cementogruntowe wykonane przy użyciu specjalistycznego trenchera zbudowanego z gąsienicowego nośnika z ruchomym frezem działającym na zasadzie piły łańcuchowej [1]. Przytwierdzone do łańcucha ostrza niszczą strukturę gruntu, a następnie mieszają z materiałem wiążącym. Duża moc silnika hy-

draulicznego i prędkość przesuwu łańcucha skrawająco-mieszającego zapewniają szybkie tempo prac i umożliwiają ich prowadzenie w twardym gruncie. Doskonałą jakością mieszania gruntu zapewnia automatyczne, elektroniczne sterowanie trenchera, np. prędkości przesuwu i ilości dostarczanego materiału wiążącego. Jednostka sterująca umożliwia kontrolę pracy w czasie rzeczywistym i elektroniczną rejestrację parametrów wykonywania paneli.

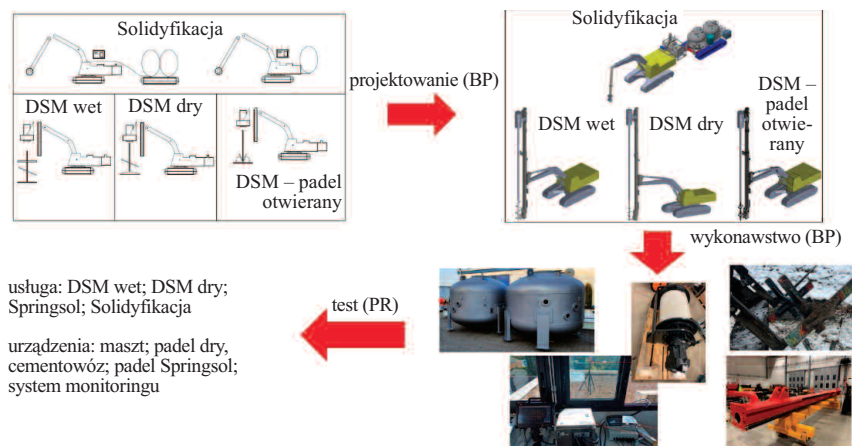
Technologia Solidyfikacji (stabilizacji masowej) polega na wprowadzeniu w podłoże mieszadła o specjalnej konstrukcji, które niszczy strukturę gruntu w wyniku ruchu rotacyjnego oraz miesza go z wprowadzonym spoiwem. Technologię omówiono w [4].

Zakres projektu badawczego

Prace badawcze prowadzone przez firmę Menard obejmują następujące obszary wglębnego mieszania:

- wykonywanie kolumn DSM w technologii: mokrej (DSM wet) oraz suchej (DSM dry);
- Solidyfikację – stabilizację masową;
- wykonywanie kolumn Springsol – wglębne mieszanie gruntu otwieranym/zamykanym narzędziem.

Technologie ujęte w programie badawczym oraz koncepcyjne etapy prac zaprezentowano na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat procesu badawczego

Opracowywane są innowacyjne urządzenia zwiększające efektywność prac, takie jak:

- **wielofunkcyjny maszt montowany do koparki** – koparka z wielofunkcyjnym masztem oraz innowacyjnym systemem mocowania głowicy, która usprawni proces uzbrajania osprzętu, a w efekcie zminimalizuje czas zmiany głowicy. Przełoży się to bezpośrednio na przyspieszenie realizacji wglębnego mieszania gruntu, zwłaszcza w przypadku stosowania kilku technologii mieszania (DSM, Springsol, Solidyfikacja) w ramach jednego projektu. Wielofunkcyjny maszt montowany do koparki usprawni prace w porównaniu ze wzmocnieniem wykonywanym palownicą, a nawet umożliwi ich wykonywanie na terenach do tej pory niedostępnych w przypadku technologii wglębnego mieszania, dzięki mniejszej maszynie, ale o większym spektrum konfiguracji;

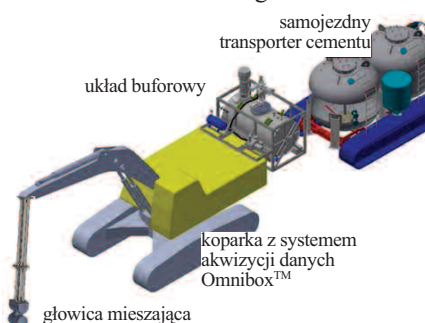
- **cementowóz** – samojezdny transporter cementu składający się z zespołu nośnego, zespołu napędowego, zespołu pneumatycznego i układu sterowania [6], które zostały opracowane we współpracy firmy Menard z wyspecjalizowanymi inżynierami instytutu KOMAG;

- **narzędzie typu Springsol** – optymalne pod względem ekonomicznym, produkcyjnym oraz ekologicznym. Choć technologia Springsol jest mało popularna w praktyce krajowej, dostrzega się jej duży potencjał stosowania, np. w specyficznie uwarstwionych gruntach, w przypadku istniejących konstrukcji drogowych i kolejowych oraz awarii geotechnicznych;

- **system monitoringu parametrów w trakcie mieszania gruntu w technologii Solidyfikacji obejmujący aparaturę wraz z oprogramowaniem** – umożliwia on rejestrowanie i wizualizację parametrów produkcyjnych oraz weryfikację wykonywanych robót. Rozwiązanie usprawni prace, poprawi jakość wzmocnienia podłoża gruntowego i w efekcie zostanie ograniczona liczba badań oraz testów powykonawczych. System będzie kompatybilny ze środowiskiem Omnibox™ [2].

Charakterystyka rozwiązań technicznych

Wymagania dotyczące budowy samojezdnego transportera cementu określono na podstawie doświadczeń i analiz geotechnicznych, mechanicznych oraz ekonomicznych. Pojemność użyteczną dwóch stalowych zbiorników do składowania spoiw hydraulicznych określono na ok. 14 m³ łącznie, a ciśnienie obliczeniowe na ok. 8 barów. W autorskim rozwiązaniu (rysunek 2) zaprojektowano dodatkowy układ buforowy na koparce, który pozwala na zachowanie ciągłości pracy, kiedy zbiorniki samojezdnego transportera cementu są napełniane spoiwem. Konstrukcja podwozia transportera cementu została dostosowana do prędkości maksymalnej 5 km/h na terenie płaskim lub o nachyleniu do 20°. Wykorzystanie wózków gąsienicowych umożliwi poruszanie się maszyny w trudnych warunkach placu budowy. Zastosowany w rozwiązaniu zespół pneumatyczny pozwoli na transport mieszanki cementowo-powietrznej z założoną wydajnością do głowicy mieszającej oraz zbiornika buforowego.



Rys. 2. Innowacyjny system do Solidyfikacji [6]

Ruch samojezdnego transportera cementu jest kontrolowany za pomocą bezprzewodowego systemu zdalnego sterowania, składającego się z nadajnika i odbiornika, pomiędzy którymi będzie możliwa komunikacja na odległość do 100 m. Dzięki sterowaniu radiowemu, kierowanie maszyną oraz jej obsługa mogą odbywać się z bezpiecznego dla operatora miejsca z pełną kontrolą nad jej przebiegiem.

Zastosowanie nowoczesnego silnika spalinowego spełniającego wymagania EU Stage V/US EPA Tier 4 wraz z ener-

gooszczędnym zespołem hydraulicznym wyposażonym w pompę zmiennego wydatku ze sterowaniem LS pozwoliło na ograniczenie zanieczyszczenia powietrza produktami spalania paliwa.

Podsumowanie

Pierwsza część projektu badawczego obejmuje badania przemysłowe, w których skład wchodzi analiza oraz badania poszczególnych elementów konstrukcyjnych i systemowych. Jej zwieńczeniem są prototypy i integracja całego układu. Druga część obejmuje prace rozwojowe, czyli testy w warunkach operacyjnych oraz dopracowywanie rozwiązań technicznych. Po zakończeniu programu badawczego zostanie wprowadzona na rynek ekologiczna i zoptymalizowana pod kątem wydajności innowacyjna technologia do wzmocnienia podłoża gruntowego.

Literatura

- [1] Bąbała P., M. Jończyk, P. Kanty. *Design of high road embankments on improved ground*. The XVII European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering at Reykjavik.
- [2] Bunieski S., B. Quandalle. 2019. *A Practical Example of Data Exchange and Expert System Applied to Ground Improvement Works*. Conference proceedings of 3rd International Conference on Information Technology in Geo-Engineering, Guimarães, Portugal.
- [3] Introduction to the Deep Soil Mixing Methods as Used in Geotechnical Applications; Federal Highway Administration.
- [4] Jendrysik K., P. Kanty, M. Jończyk. 2020. „Stabilizacja masowa jako nowoczesna metoda wzmocnienia podłoża”. *Materiały Budowlane* (2): 14 – 16. DOI: 10.15199/33.2020.02.03.
- [5] Kanty P. 2017. „Aspekty projektowania kolumn DSM pod obiektami mostowymi”. *Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne* Styczeń – Luty.
- [6] Nieśpiałowski K., P. Kanty, R. Hanke, C. Oziołek, Z. Szkudlarek, S. Janas. 2021. *Projekt budowy samojezdnego transportera cementu wykorzystywanego w technologii stabilizacji masowej*. Komtech.
- [7] Topolnicki M. 2008. *Projektowanie i wykonawstwo posadowienia wiaduktów autostradowych na podłożu wzmocnionym metodą wglębnego mieszania gruntu (DSM)*. Materiały V Ogólnopolskiej Konferencji Mostowców. Wisła.

mgr inż. Radosław Hanke
mgr inż. Karolina Trybocka
mgr inż. Małgorzata Jończyk-Szostek
dr inż. Piotr Kanty
Menard Sp. z o.o.