



Temat specjalny

Wzmacnianie podłoża w drogownictwie

tekst: **MARIAN KOWACKI**, Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne



KOPALNIE PORFIRU I DIABAZU Sp. z o.o.



MKM Kruszywa
Sp. z o.o.

ADD ASFALT



KELLER



KRUSZGEO SFA

LIEBHERR



SOLETANCHE



UTECH
MASZYNY I URZĄDZENIA TECHNICZNE

TITAN POLSKA

Wzmocnienie podłoża gruntowego jest szczególnie odpowiedzialnym zadaniem z uwagi na ogromne koszty oraz problemy techniczne, jakie niesie za sobą popełnienie błędu na etapie projektowania lub wykonawstwa. Każde z dostępnych rozwiązań cechuje się określonymi właściwościami, a wybór odpowiedniej techniki powinien uwzględniać specyficzne warunki terenowe i potrzeby projektu.



foto: altitudedrone, fotolia.com





fol. catalyseur7, fotolia.com

Zawiłości terminologiczne

Przyjmując propozycję przedstawioną przez autorów raportu CIRIA C573 [1], cytowaną w wielu publikacjach, ulepszenie podłoża jest kontrolowaną zmianą stanu, rodzaju lub zachowania materiałów podłoża, mającą na celu osiągnięcie odpowiedniej reakcji podłoża na istniejące lub projektowane oddziaływania środowiska i obiektów budowlanych. Natomiast sam termin ulepszenie podłoża nie jest już tak jednoznaczny. W polskiej literaturze geotechnicznej termin ten występuje sporadycznie, nieco częściej w drogownictwie, gdzie używane jest określenie podłoża ulepszone. Najczęściej spotykanymi terminami są wzmacnianie podłoża oraz wzmacnianie gruntu, co jest związane z terminologią normową wprowadzoną w 1998 r. Termin wzmacnianie podłoża był jednak stosowany już wcześniej, o czym świadczą liczne publikacje cytowane w wytycznych IBDiM [2].

Brak ujednoczonych czy usystematyzowanych terminów nie stanowi problemu merytorycznego, ale głównie porządkowy. Zakładając, że wzmacnianie podłoża należy traktować jako tłumaczenie terminu *ground improvement*, wyrażenia: sposoby stabilizacji i wzmacniania gruntów czy też wzmacnianie i uszczelnianie gruntu, będą niepoprawne, ponieważ stabilizacja jest jedną z metod wzmacniania, a uszczelnienie jest jednym ze skutków wzmacniania gruntów. Dlatego za uzasadnione należy uznać stosowanie w polskiej geotechnice alternatywnych terminów: ulepszenie podłoża lub ulepszenie gruntów, z jednoczesnym uwzględnieniem klasyfikacji tych metod [3].

Klasyfikacja metod

Z uwagi na ich różnorodność metody ulepszenia podłoża klasyfikuje się pod kątem różnych kryteriów (tab. 1). Klasyfikacja przyjęta przez Technical Committee 211, działający w ramach Międzynarodowego Stowarzyszenia Mechaniki Gruntów i Inżynierii Geotechnicznej (International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering – ISSMGE), obejmuje pięć zasadniczych kategorii ulepszenia podłoża wraz z przypisanymi do nich metodami i zasadami ich działania. W ramach tych kategorii wyróżniono:

- ulepszenie podłoża utworzonego z gruntów niespoistych lub materiałów nasypowych bez stosowania domieszek,
- ulepszenie podłoża utworzonego z gruntów spoistych bez stosowania domieszek,

- ulepszenie podłoża za pomocą domieszek i wkładek umieszczanych lub wykonywanych w podłożu,
- ulepszenie podłoża za pomocą domieszek cementujących grunt,
- zbrojenie gruntu [4].

W klasyfikacji metod ulepszenia podłoża jako kryterium podziału mogą być przyjmowane technologia wzmocnienia, głębokość ingerencji w podłożo, stosowane materiały czy też finalnie uzyskany efekt. Istotny czynnik utrudniający sklasyfikowanie poszczególnych metod stanowią także często nieostre granice pomiędzy technologiami. W celu osiągnięcia pożądanego efektu różne sposoby stosowane są łącznie, co również utrudnia jednoznaczny podział. W ramach klasyfikacji metod ulepszenia podłoża autorzy dzielą je także na grupy technologii, zaliczając do nich:

- wymianę gruntów słabonośnych na nasyp z kwalifikowanego kruszywa,
- wzmocnienie podłoża przez poprawienie jego właściwości (parametrów) bez stosowania domieszek innych materiałów (kruszyw, spoiw),
- wzmocnienie podłoża przy zastosowaniu domieszek, np. na drodze powierzchniowej lub wgłębnej stabilizacji bądź formowania kolumn czy elementów palopodobnych,
- wzmocnienie podłoża przy użyciu geosyntetyków,
- metody mieszane, polegające na stosowaniu kilku różnych zabiegów wzmacniających [5].

Przegląd stosowanych rozwiązań

Sposobem od dawna stosowanym w fundamentowaniu jest wymiana gruntu, która polega na wybraniu warstwy istniejącego gruntu nienośnego i zastąpieniu go warstwą nasypu budowlanego. Zamiennym materiałem nasypowym może być zarówno grunt naturalny (piaski, żwiry, pospółki), jak i antropogeniczny (żużel wielkopieczowy, popioły elektrowniane, łupki przepalony), który spełnia wymogi normowe. Wymiana może obejmować część gruntu, co stosuje się w przypadku, gdy miąższość warstw nienośnych osiąga znaczne wartości lub gdy w podłożu występuje zwierciadło wód gruntowych na niewielkiej głębokości. Jeśli stwierdza się przypowierzchniowe zaleganie warstw gruntów nienośnych o niewielkiej miąższości, w których nie zaobserwowano występowania zwierciadła wód gruntowych, wówczas stosowana jest pełna wymiana gruntu.

Kolejna grupa technologii to wzmocnienie gruntu przez modyfikację jego właściwości. Jednym z rozwiązań

Tab. 1. Podział metod wzmacniania podłoża gruntowego [8]

Kryterium podziału	Rodzaj metod	Stosowane rozwiązania
Głębokość wykonywanego wzmocnienia	wzmacnianie powierzchniowe	dogęszczenie powierzchniowe (np. wałowanie)
		stabilizacja powierzchniowa
		zabudowa geosyntetyków
	wzmacnianie wgłębne	konsolidacja dynamiczna, zagęszczanie impulsowe
		kolumny kamienne i żwirowe
		kolumny cementowo-gruntowe (np. jet grouting, DSM)
		kolumny betonowe
	dreny pionowe i nasyp przeciążający	
Rodzaj stosowanego materiału	niewymagające dodatkowych materiałów	zagęszczanie powierzchniowe
		konsolidacja dynamiczna, zagęszczanie impulsowe
	wymagające użycia dodatkowych materiałów	stabilizacja spoiwem (np. cementem)
		konstrukcje z geosyntetyków
		wzmocnienie kolumnami z kruszywa, betonu lub zaczynu cementowego zmieszanego z gruntem
	konsolidacja z zastosowaniem drenów pionowych i nasypu przeciążającego	
Występowanie drgań	dynamiczne	zagęszczanie powierzchniowe i wgłębne
		kolumny kamienne i żwirowe
	statyczne	stabilizacja gruntu i wałowanie statyczne
		kolumny jet grouting i DSM
	kolumny betonowe	
Zmiana parametrów gruntu zalegającego w podłożu	poprawiające parametry wzmacnianych gruntów	zagęszczanie powierzchniowe i wgłębne
		kolumny kamienne i żwirowe (dogęszczenie gruntów niespoistych, poprawa warunków konsolidacji gruntów spoistych)
		drenaż pionowy i nasyp przeciążający (poprawa warunków konsolidacji gruntów spoistych)
	niepoprawiające parametrów wzmacnianych gruntów	stabilizacja spoiwem (brak efektu wzmocnienia gruntu poza warstwą gruntu zmieszanego ze spoiwem)
		kolumny jet grouting i DSM (poza obszarem iniekcji zaczynu cementowego)
		kolumny betonowe
	zabudowa geosyntetyków	
Wrażliwość na przeszkody występujące w gruncie (np. w nasypach antropogenicznych)	niewrażliwe	zagęszczanie powierzchniowe i wgłębne
		kolumny kamienne i jet grouting
	wrażliwe	kolumny DSM
		kolumny betonowe i żwirowe

stosowanych w gruntach w pełni nasyconych wodą i cechujących się względnie niskim współczynnikiem filtracji jest konsolidacja gruntu. Przy wzmacnianiu warstw słabonośnych o niewielkiej miąższości stosuje się konsolidację nasypem przeciążającym. Przy większych miąższościach wzmacnianego gruntu w celu zredukowania czasu konsolidacji ośrodka konsolidacja jest wspomagana drenami. Innymi metodami z tej grupy są konsolidacja przez odwodnienie i próżniowa, wykorzystujące wpływ efektu obniżenia lustra wody lub odpompowania wody z ośrodka gruntowego na proces konsolidacji. Obie mają istotny wpływ na otoczenie i wymagają zastosowania specjalistycznego sprzętu.

W gruntach mineralnych, rodzimych i nasypowych, drobno- i gruboziarnistych stosowane jest zagęszczenie gruntu w uję-

ciu klasycznym. W zagęszczaniu luźnych osadów piaszczystych i nasypów antropogenicznych ze szczególnym uwzględnieniem wysypisk odpadów komunalnych rozwiązaniem może być zagęszczanie dynamiczne, którego jednym z wariantów jest dynamiczna wymiana gruntu. Do zagęszczania, najczęściej luźnych osadów piaszczystych, używa się także energii detonowanego ładunku wybuchowego. Technologia stosowaną w gruntach sypkich, zwłaszcza poniżej lustra wody gruntowej, które wzmacnia się przez ich odpowiednie zagęszczenie, jest wibroflotacja. Stosując wibratory wgłębne, można podwyższyć i wyrównać stopień zagęszczenia gruntu bez względu na poziom zwierciadła wody gruntowej.

Technologią stanowiącą rozwinięcie wibroflotacji jest wibrowymiana, stosowana przy wzmacnianiu

Doświadczyc postępu.

Together.
Now
Tomorrow. &

Odwiedź nas na

bauma

Munich, April 8th–14th

Dowiedz się więcej na:
www.liebherr-bauma.com



Liebherr maszyny do głębokiego fundamentowania

- Szeroka oferta i długi okres eksploatacji ze względu na solidną budowę osprzętu
- Niska emisja i wysoka efektywność dzięki inteligentnym systemom napędowym
- Komfort obsługi dzięki innowacyjnej koncepcji sterowania
- Dopasowane narzędzia robocze zapewniają doskonałą wydajność
- Zoptymalizowana konstrukcja dzięki wszechstronnej konsultacji

Liebherr-Polska Sp. z o. o.
ul. Hansa Liebherra 8
41-710 Ruda Śląska
Tel.: +48 32 342 69 50
E-mail: info.lpl@liebherr.com
www.facebook.com/LiebherrConstruction
www.liebherr.pl

LIEBHERR

W których głośnych inwestycjach kruszywa ze zwirowni Nowa Biała zostały użyte do wzmocnienia podłoża?



**LESZEK KAWALA, wiceprezes zarządu,
MKM Kruszywa Sp. z o.o.**

Zwirownia Nowa Biała, będąca własnością firmy MKM Kruszywa Sp. z o.o., wydobywa i przerabia kruszywa o bardzo wysokich parametrach pod względem wytrzymałości, mrozoodporności, niepodatności na działanie czynników

atmosferycznych, czystych ekologicznie.

Produkowane kruszywa mają szerokie zastosowanie w drogownictwie, w tym do wzmacniania podłoża, a także w budownictwie, małej architekturze oraz produkcji betonów. Konkretnie zastosowania to m.in.: budowa nasypów, podbudowa dróg i placów, podsypka do układania płytek i krawężników, stabilizowanie gruntów, utwardzanie nawierzchni placów i parkingów, produkcja betonów towarowych, wyrobów betonowych typu kostka brukowa, krawężniki itp., wypełnianie fundamentów, wzmacnianie podłoża drogowego, wypełnianie wykopów, wypełnianie gabionów, wysypywanie ścieżek ogrodowych i alejek, wypełniacz do masy asfaltowej, uszorstnienie nawierzchni drogowych w ziemie.

Priorytetem dla nas jest wyprodukowanie i dostarczenie klientowi towaru najwyższej jakości, spełniającego wszelkie normy. Jakość naszych materiałów cieszy się bardzo dużym uznaniem, co potwierdzają referencje oraz fakt, że są stosowane w większości znaczących inwestycji na Podhalu, jak np. budowa drogi ekspresowej S7 na odcinku Skomielna Biała–Chabówka (główny dostawca kruszyw), budowa zintegrowanej sieci tras rowerowych Velo Dunajec, odcinki Zakopane – Sromowce Niżne i Szczawnica – Zabrzeź, budowa węzła drogowego w Poroninie, budowa mostów przez Biały Dunajec w Białym Dunajcu, przez Kamienicę w miejscowości Zabrzeź oraz przez potok Rdzawka, łączący miejscowości Ponice i Rdzawka, a także budowa galerii handlowej w Nowym Targu i innych obiektów.

Dzięki stałemu monitorowaniu rynku i zmieniających się trendów nasz asortyment jest konkurencyjny cenowo i odpowiada na zapotrzebowanie branży budowlanej. Z klientami tworzymy układ partnerski. Staramy się tak dopasować ofertę, aby mogli bez przeszkód realizować swoje cele. Bardzo często klienci, zwłaszcza indywidualni, oczekują pomocy w zakresie wyboru materiału i organizacji transportu. Zawsze służymy im doradztwem technicznym oraz pomagamy załatwić wszelkie formalności.

niejednorodnych podłoża słabonośnych, która polega na formowaniu w słabym podłożu kolumn z kamienia lub żwiru, zbrojących i drenujących grunt. W bardzo słabych gruntach, których wytrzymałość nie zapewnia boczno oparcia podczas formowania kolumny, wykonuje się kolumny wibrocementowe i wibrobetonowe, formowane z kruszywa związanego cementem. Technologia polegającą na głębokim wymieszaniu szkieletu gruntowego z materiałem wiążącym jest głęboka stabilizacja (*deep soil mixing* – DSM). Polega ona na formowaniu w podłożu kolumn utworzonych z miejscowego gruntu mieszanego ze spoiwem, podawanym w postaci suchej (*dry mixing*) lub mokrej (*wet mixing*). W drogownictwie do wzmacniania i stabilizacji podłoża nasypów znajdują zastosowanie kolumny wiercone przemieszczeniowe. Dla wzmocnienia lub uszczelnienia podłoża gruntowego wykorzystuje się ponadto iniekcje gruntowe, np. iniekcję zagęszczającą (*compaction grouting*). Z powodzeniem stosowane jest także powierzchniowe ulepszanie podłoża gruntowego spoiwami hydraulicznymi, zwykle cementem, zwane stabilizacją powierzchniową.

W celu wzmacniania słabego podłoża budowli ziemnych wykorzystywane są geosyntetyki, które przejmują obciążenia od ruchu pojazdów oraz ciężaru gruntu nasypowego. Używane do wzmacniania podłoża mają wytrzymałość przy zerwaniu nie mniejszą niż 25 kN/m, a odkształcalność jednostkową przy zerwaniu mniejszą niż 20%. Wśród stosowanych wyrobów znajdują się geotkaniny, geowłókniny, georuszty, geosiatki oraz geokraty.

Wybór odpowiedniej technologii wzmocnienia powinien uwzględniać efektywność wzmocnienia, czas wykonania robót, możliwości sprzętowe, materiałowe, lokalizację oraz koszty wykonania. Decyzje podejmowane w tym zakresie przekładają się na jakość szlaków komunikacyjnych [5, 6, 7].

Literatura

- [1] Mitchel J.M., Jardine F.M.: *A guide to ground treatment*. CIRIA C573. London 2002.
- [2] *Wytyczne wzmacniania podłoża gruntowego w budownictwie drogowym*. IBDiM. Warszawa 2002.
- [3] Madej J.S.: *Ulepszanie podłoża. Terminologia i klasyfikacja metod*. „Inżynieria Morska i Geotechnika” 2015, nr 3, s. 525–528.
- [4] *TC211 Classification of Ground Improvement methods* (online). International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Technical Committee 211, Ground Improvement. Dostępny w Internecie: <https://www.tc211.be/ground-improvement-tc211/tc211-classification-of-ground-improvement-methods/> (dostęp 20 lutego 2019).
- [5] Łęcki P., Róžański M.: *Wzmacnianie podłoża gruntowego budowli drogowych*. „Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne” 2015, nr 2, s. 46–54.
- [6] Gajewska B., Kłosiński B.: *Wzmacnianie słabego podłoża kolumnami w budownictwie drogowym*. „Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne” 2012, nr 4, s. 56–62.
- [7] Bzówka J.: *Wybrane techniki wzmacniania słabego podłoża gruntowego w budownictwie komunikacyjnym*. „Inżynieria Morska i Geotechnika” 2015, nr 3, s. 416–423.



FAE MTH

- maszyna wielozadaniowa: stabilizator gruntu, kruszarka kamieni i betonu, recykler kompletnych konstrukcji drogowych
- stabilizacja gruntu do głębokości 50 cm w dowolnie ciężkich warunkach gruntowych (praca z przekładniami bocznymi)
- recykling kompletnych konstrukcji drogowych do głębokości 35 cm (praca samym rotorem)
- kruszenie kamieni i gruzu o zalecanych średnicach do 70 cm
- komora mieszania o zmiennej pojemności zapewnia szybką pracę i doskonałą homogeniczność mieszanki środka wiążącego z podłożem także przy pełnej głębokości roboczej

**30 LAT DOŚWIADCZENIA PRODUCENTA
ORAZ NAJWYŻSZA JAKOŚĆ POTWIERDZONA
FABRYCZNĄ 24 MIESIĘCZNĄ GWARANCJĄ**



FAE STABI/H

- najwydajniejszy na rynku stabilizator gruntu dla ciągników o mocy 300-500 KM pozwala na bardzo szybką realizację zleceń
- dopracowana geometria rotora oraz komora mieszania o zmiennej pojemności zapewniają doskonałą homogeniczność mieszanki środka wiążącego z podłożem w każdych warunkach terenowych minimalizując ryzyko kosztownych poprawek
- komora mieszania o zmiennej pojemności oznacza możliwość uzyskania pełnej głębokości roboczej 50 cm w niemal dowolnych warunkach gruntowych, dzięki czemu praca wykonywana jest w jednym przejeździe
- radialny system narzędziowy FAE o znacznej odporności na kamienie oraz bardzo długiej żywotności lub klasyczny system narzędzi z trzonkiem okrągłym fi. 22 mm
- komputerowo sterowany system dozowania płynów bezpośrednio do komory mieszania utrzymuje zadany wydatek (FAE AIS) lub prosty system zraszania (FAE WSS)