



Temat specjalny

Wzmacnianie gruntu pod drogami

tekst: **MARIA SZRUBA**, Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne



LIEBHERR



Budowa dróg wymaga rozwiązania wielu coraz częściej nietypowych problemów geotechnicznych. Na terenach zurbanizowanych wynikać one mogą m.in. z oddziaływania na sąsiednią zabudowę oraz trudnych warunków w podłożu gruntowym. Odpowiedzią rynku na te wyzwania jest stale poszerzający się wachlarz metod i technologii, które z powodzeniem stosowane, nadal ulegają ciągłemu doskonaleniu.



foto: Mr Twister, Adobe Stock



fol. Hoda Bogdan, Adobe Stock

Wybór odpowiedniej technologii wzmocnienia powinny uwzględniać jej efektywność, czas wykonania robót, możliwości sprzętowe, materiałowe, lokalizację oraz koszty wykonania. Wyzwania w zakresie rozwiązań geotechnicznych z uwagi na różne warunki gruntowe, większe obciążenie dróg ruchem i coraz gęstszą zabudowę stanowią bodziec dla ich stałego ulepszania. Dzięki nowoczesnym technologiom w połączeniu z użyciem specjalistycznych urządzeń możliwe jest wdrożenie w życie projektów w niemal każdych warunkach gruntowych.

Klasyfikacja metod wzmocnienia podłoża gruntowego

Nie ma jednej ogólnej klasyfikacji metod i technologii wzmocnienia podłoża gruntowego, ponieważ istnieje wiele kryteriów, według których można dokonać takich podziałów. Co więcej, dzisiaj jak nigdy wcześniej stworzenie ujednoczonej klasyfikacji wydaje się praktycznie niemożliwe z uwagi na to, że prawie każda z firm działających w zakresie wzmocnienia podłoża promuje swoje własne, autorskie metody lub technologie. Ponieważ ich podstawy obliczeniowe niejednokrotnie opierają się na wiedzy empirycznej, zdobytej w trakcie wcześniejszych realizacji, rozwiązania te ulegają ciągłym modyfikacjom.

Generalnie podziału metod wzmocnienia podłoża gruntowego można dokonać ze względu na:

- stosowany materiał (istnieją także metody bez użycia jakichkolwiek innych materiałów, np. zagęszczanie gruntu),
- rodzaj użytego materiału, z którego wykonano wzmocnienie (m.in. grunty niespoiste, beton, zaczyn cementowy),
- rodzaj współpracy elementu wzmocniającego z podłożem (m.in. pale, kolumny),
- sposób wykonania (metody dynamiczne i statyczne),
- rodzaj i źródło oddziaływującej energii (metody impulsowe i wibracyjne),
- głębokość zalegania gruntów słabonośnych oraz obszar zastosowania,
- przyjęty sposób posadowienia (bezpośredni, pośredni, głębokoki).

Także same elementy wzmocniające podłoże gruntowe mogą być wykonywane za pomocą różnych metod. Z kolei poruszając się w obrębie jednej metody, można mówić o różnych technologiach wykonywania danego elementu wzmocniającego, np. szerokie zastosowanie we wzmocnianiu podłoża gruntowego ma metoda iniekcyjna, przy czym istnieje kilka technologii jej realizacji [1].

Możliwości sprzętowe

Nowoczesne metody wymagają nowoczesnego sprzętu. W praktyce do podłoży gruntowych stosuje się urządzenia o działaniu ubijającym, ugniatającym i wibrującym. Różnego rodzaju ubijaki – grawitacyjne, spalinowe, pneumatyczne – wykorzystywane są do zagęszczania impulsowego. Wywierają na powierzchnię zagęszczanej warstwy obciążenie pionowe o różnej częstotliwości. Zagęszczarki, walce wibracyjne i wibratory są źródłem drgań mechanicznych, przenoszonych na podłoże gruntowe, co jest istotą zagęszczania wibracyjnego. Przy wibroflotacji stosuje się wibratory na sztywnej żerdzi (wibrofloty), zagłębiane w podłożu z równoczesnym upłynnianiem gruntu. Do powierzchniowego zagęszczania gruntów spoistych i niespoistych znajdują zastosowanie walce wibracyjne. Do zagęszczania gruntów w miejscach trudno dostępnych służą m.in. zagęszczarki płytowe, w których elementem roboczym jest metalowa płyta drgająca, przenosząca drgania na podłoże gruntowe.

Stosowane niegdyś wibratory do zagęszczania wgłębno, których zasięg nie przekraczał 6 m głębokości, zostały zastąpione przez sondy wibracyjne lub wibroflotację. Sondy wibracyjne zagęszczają grunt pod wpływem pionowych, a niekiedy poziomych drgań umieszczonego w ich głowicy wibratora. Zagęszczanie udarowe odbywa się za pomocą ciężkiego ubijaka, który swobodnie spada z dużej wysokości na powierzchnię podłoża. Z kolei w zagęszczaniu dynamicznym ubijakiem o masie 15 t i spadającym z wysokości do 15 m wykonuje się kilkukrotny udar w jednym miejscu. W przypadku konsolidacji

Wzmacnianie i ulepszanie podłoża gruntowego – przegląd wybranych rozwiązań [4]

Metoda		Rozwiązanie	Zalecana głębokość zabiegu
Osuszanie		Sączki odprowadzające wodę z podłoża nawierzchni	Zwykle do 0,5 m
Elektroosmoza		Prąd stały wspomaga przepływ wody lub iniektu w gruncie	Zwykle do 15 m
Wzmacnianie powierzchniowe	Zagęszczanie powierzchniowe	Zagęszczanie mechaniczne warstwami	Zwykle do 30–50 cm, maksymalnie do 1 m
	Ulepszanie uziarnienia i stabilizacja mechaniczna	Doziarnianie odpowiednimi gruntami, kruszywami, ewentualnie spoiwa, mieszanie, zagęszczanie	Warstwami do 15–30 cm
	Ulepszanie gruntu spoiwami	Mieszanie gruntu ze spoiwem, zagęszczanie	Warstwami do 40–50 cm
	Stabilizacja chemiczna spoiwami	Mieszanie gruntu ze spoiwem i wodą, zagęszczanie	Warstwami do 15–40 cm
Wymiana gruntu	Pełna wymiana gruntu	Wykopanie warstw słabych, budowa nasypu	Do 3–5 m, głębiej, gdy nie ma wody
	Częściowa wymiana gruntu	Usunięcie części warstw słabych, budowa nasypu	Do 2–3 m powyżej wody
	Wyparcie gruntu nasypem	Usypanie nasypu z wyparciem słabego gruntu, ewentualnie wspomagane wybuchami	5 m i więcej
	Lekkie wypełnienie nasypu	Wbudowanie bloków lub nasyp z lekkiego materiału	Wysokość nasypu do 3–5 m
Metody statyczne	Wstępne obciążenie	Obciążenia długo przed zabudową, przeciążenie	Do 3–5 m
	Budowa etapowa	Budowa warstwami z przerwami na konsolidację, przeciążenie	Do 4–6 m
	Przeciążenie	Przyspieszenie konsolidacji naciskiem dodatkowego nakładu gruntu	Do 5–8 m
	Wspomaganie konsolidacji drenami pionowymi	Zwiększenie przepuszczalności podłoża, skrócenie drogi filtracji	Do 10–20 m
	Wspomaganie konsolidacji podciśnieniem	Przyspieszenie konsolidacji ciśnieniem atmosferycznym	Do 8–12 m
	Przypory boczne podstawy nasypu	Poprawa stateczności podstawy ławami z gruntu	Do 4–6 m
Metody wibracyjne	Wibroflotacja	Zagęszczanie wibroflotem, zwłaszcza gruntów nasypanych	Zwykle 3–25 m, wyjątkowo do 30 m
	Wibrowymiana	Formowanie kolumn z kruszywa w słabym gruncie	Do 10 m, wyjątkowo do 20 m
	Kolumny wibrobetonowe	Formowanie kolumn z betonu w słabym gruncie	Do 10 m, wyjątkowo do 15 m
	Wibrowanie wgłębne	Zagęszczanie wibracyjne, upłynnienie, konsolidacja z dociążeniem	Do 30 m (nieskuteczne w górnych warstwach do 3–4 m)
Metody dynamiczne	Konsolidacja dynamiczna (ubijanie)	Powtarzane powierzchniowe udary o dużej energii	Zwykle 3–15 m (nieskuteczne górne 1–2 m)
	Słupy wybijane udarami	Powtarzane punktowe udary o dużej energii	Zwykle 3–8 m, wyjątkowo 15 m
	Zagęszczanie wybuchami	Upłynnienie od wstrząsów, osiadanie, zagęszczenie	Do 30 m (nieskuteczne w górnych warstwach do 3–4 m)
Zbrojenie wgłębne	Pale zagęszczające	Pale przemieszczeniowe żwirowe, piaskowe, drewniane	Zwykle do 15 m (nieskuteczne górne 1–2 m)
	Mieszanie wgłębne	Formowanie kolumn cementowo-gruntowo-wapiennych	Zwykle do 20 m
	Gwoździowanie gruntu	Formowanie gwoździ wierconych lub wbijanych, ukośnych 10–20° od poziomu	Wysokość ścian do 20 m
	Kotwienie	Formowanie sprężanych kotew iniekcyjnych	Zwykle do 30 m

Doświadczyc postępu.



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.pl@liebherr.com
www.facebook.com/LiebherrConstruction
www.liebherr.pl

LIEBHERR

Drogi coraz częściej budowane są na terenach mało przydatnych do zabudowy. W jaki sposób przeprowadza się ekspertyzy techniczne stanu podłoża w budownictwie drogowym?



PIOTR RYCHLEWSKI,
Instytut Badawczy Dróg i Mostów

Zagadnienie jest bardzo aktualne nie tylko w odniesieniu do dróg. Ogólnie można powiedzieć, że tereny o dobrych podłożach już się skończyły i buduje się w miejscach, które w przeszłości uznane były za nieprzydatne. Dotyczy to nawet małych domów jednorodzinnych i, paradoksalnie, dla takich inwestorów problemy z podłożem są niezwykle bolesne ze względu na budżety dopięte na styk lub nawet nie. W przypadku dużych inwestycji możliwe jest zwiększenie finansowania, ale jest to czasochłonne i powoduje duże opóźnienia w realizacji. Rozpoznanie stanu podłoża w takich przypadkach staje się sprawą kluczową.

Wagę problemu doceniają najwięksi inwestorzy. PKP PLK i GDDKiA opracowały własne wytyczne badań podłoża gruntowego. Stanowią one doskonałą wskazówkę do programowania i wykonywania badań. W połączeniu z nowoczesnymi metodami badań polowych i laboratoryjnych umożliwiają dobre rozpoznanie gruntów znajdujących się w podłożu. Na szczęście historią są już dokumentacje, które o torfach lub nasypach pisały lakonicznie: grunty słabe i nienadające się do posadowienia. Dzisiaj konieczne jest określenie ich parametrów, bowiem wykorzystywane są one po wzmocnieniu do przenoszenia obciążeń. Cenne jest też w rozpoznaniu zachowanie zdrowego rozsądku i wykorzystanie intuicji inżynierskiej. Wizja lokalna w terenie, a przy długich obiektach liniowych nowoczesne metody, jak drony czy zdjęcia satelitarne, mogą dać lepsze efekty w planowaniu badań niż literalne zastosowanie tabelki z wytycznych. W rozpoznaniu podłoża gruntowego bardzo ważne są lokalne uwarunkowania i badania powinny być planowane i oceniane przez osoby mające doświadczenie z podobnymi warunkami gruntowymi.

dynamicznej ubijak o wadze do 200 t wykonuje jedno- lub dwukrotny udar w jednym miejscu, spadając z wysokości do 25 m. Do zagęszczania gruntów stosuje się także ładunki wybuchowe – metoda jest szczególnie efektywna przy miąższości warstwy zagęszczanego gruntu w granicach 20–30 m.

Do zagęszczania gruntów metodą wałowania stosuje się różne rodzaje walców w zależności od sposobu przyłożenia obciążenia

do podłoża, które jest uwarunkowane rodzajem gruntu. Do gruntów drobnoziarnistych (spoiстых) stosuje się przeważnie wałowanie statyczne, natomiast do gruntów gruboziarnistych i kamienistych – wałowanie dynamiczne (wibracyjne).

W przypadku stabilizacji powierzchniowej, polegającej na mieszaniu stabilizatora z gruntem górnej warstwy podłoża, a następnie odpowiednim zagęszczeniu tej warstwy, do mieszania wykorzystuje się frezarki drogowe, mieszarki ruchome lub stacjonarne.

Jedną z nowszych metod wzmacniania powierzchniowych warstw podłoża, utworzonych głównie z gruntów organicznych, jest stabilizacja masowa. Wzmocnienie uzyskuje się przez mechaniczne mieszanie gruntu z odpowiednią ilością stabilizatora, mającego najczęściej postać proszku. Do aplikacji stabilizatora służy koparka wyposażona w mieszadło.

W przypadku wglębnego mieszania gruntu stosuje się maszyny wiertnicze, których parametry dobierane są w zależności od przyjętej metody. Przy wykonywaniu zastrzyków zagęszczających za pomocą techniki wiertniczej wprowadza się do podłoża rurę iniekcijną. W przypadku iniekcji strumieniowej za pomocą metody wiertniczej zagłębia się w podłożu żerdź iniekcijną, wyposażoną na dolnym końcu w odpowiednie dysze [2].

Kierunki rozwoju

To m.in. dzięki stosowaniu nowych rozwiązań i technik posadowień obiektów infrastruktury komunikacyjnej oraz nowym technologiom wykonawstwa robót fundamentowych i ziemnych – bardzo często na terenach o niekorzystnych warunkach geotechnicznych – wytyczane są kierunki rozwoju eksperymentalnej geotechniki stosowanej przy posadowieniu obiektów infrastruktury liniowej.

Coraz częściej ocenia się nie tylko stopień ryzyka awarii obiektów wywołanych naturalnymi przyczynami i starzeniem się materiałów, a także ich długookresowe zachowanie się w zmiennych warunkach obciążenia. W ślad za tym idzie udoskonalanie terenowych i laboratoryjnych metod badań ośrodka gruntowego oraz ich interpretacji, których celem jest właściwy dobór parametrów do projektowania geotechnicznego oraz metod obliczeniowych. Obecnie z uwagi na projektowanie i wykonawstwo masowo realizowanych obiektów przy użyciu nowych materiałów oraz z zastosowaniem nowych technologii wykonawstwa robót, które inaczej współpracują z ośrodkiem gruntowym, niezwykle istotna jest rola badań geotechnicznych. Ogromne znaczenie mają także badania odbiorowe w wykonawstwie robót ziemnych, będących jednym z podstawowych elementów robót liniowych, często w gęstej zabudowie miejskiej oraz pod silnie obciążonymi nawierzchniami. Dotyczy to zwłaszcza konstrukcji podatnych, dla których mobilizowany stan parcia gruntu lub oporu ma zasadnicze znaczenie i zawsze jest związany z odpowiednim zagęszczeniem gruntu i osiąganymi modułami odkształcenia [3].

Mając na uwadze nie tylko coraz bardziej skomplikowane warunki gruntowe, ale także aspekty ekonomiczne, optymalizację czasu wykonania inwestycji oraz odpowiedzialność społeczną i troskę o środowisko, firmy prześcigają się w udoskonalaniu stosowanych metod wzmacniania podłoża gruntowego z uwzględnieniem wszystkich tych aspektów. Innowacje są podstawą rozwoju gospodarki, ale poszukiwanie nowych



foto: altitudedrone, Adobe Stock

rozwiązań wiąże się także coraz częściej ze świadomością odpowiedzialności, jaka spoczywa na każdej z firm biorących udział w procesie budowlanym. Takie podejście zapewnia bezpieczeństwo powstającym obiektom infrastrukturalnym, a co ważniejsze – ich użytkownikom.

Literatura

[1] Gwóźdź-Lasoń M.: *Modele obliczeniowe podłoża gruntowego w aspekcie różnych metod i technologii wzmocnienia*. Kraków 2007 (online). Praca doktorska, prom. dr hab. Jan Gaszyński, prof. PK. Dostępny w Internecie: <https://repozytorium.biblos.pk.edu.pl/resources/26595> (dostęp 21 lutego 2020).

[2] Madej J.S.: *Ulepszanie podłoża. Materiały pomocnicze do wykładów z zakresu geotechniki*. Koszalin 2015 (online). Dostępny w Internecie: http://www.wbiis.tu.koszalin.pl/kgeo/pliki/J.S.Madej_Ulepszanie_podloza_skrypt.pdf (dostęp 23 lutego 2020).

[3] Bolt A., Duszyński R.: *Wybrane problemy geotechniczne wykonawstwa infrastruktury podziemnej*. V Jubileuszowa Międzynarodowa Konferencja Technologie Bezwykopowe NO-DIG Poland 2012. Kielce Cedzyna, 17–19 kwietnia 2012.

[4] *Wytyczne wzmacniania podłoża gruntowego w budownictwie drogowym*. Generalna Dyrekcja Dróg Publicznych. Warszawa 2002.



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**

ul. Cygana 1
45-131 Opole
tel.: 77 45 14 280 / 281

www.utech.pl