

Technologie zagęszczania w głębi gruntów niespoistych

tekst: inż. DANIEL DALAK, Menard Polska Sp. z o.o.

Podłoże zbudowane z gruntów niespoistych, nawodnionych w stanie luźnym ($I_d < 0,33$) może wykazywać możliwość znacznego osiadania (brak spełnienia II stanu granicznego). Dodatkowym niebezpieczeństwem wynikającym z ich słabego zagęszczenia może być utrata nośności podłoża lub ich upłynięcie w wyniku działania obciążeń dynamicznych (brak spełnienia I stanu granicznego). Zagadnienie wzmocnienia gruntów niespoistych, polegających na ich zagęszczeniu, należy rozpatrywać jako powierzchniowe lub wgłębne.

Zagęszczanie powierzchniowe ogranicza się do przypowierzchniowych warstw (głębokość do 1,5 m) podłoża gruntowego, które zagęszczane są za pomocą różnego rodzaju walców gładkich, okółkowanych, kołowych i ogumowanych; ciągnionych i samojezdnych; ciągników gąsienicowych i kołowych; płyt wibracyjnych, walców wibracyjnych, ubijaków wibracyjnych [1]. Zagęszczanie wgłębne obejmuje technologie oparte na przykładaniu do gruntu energii generowanej za pomocą różnego rodzaju źródeł zewnętrznych działających na większej głębokości.

W niniejszym artykule przedstawiono metody poprawy parametrów wytrzymałościowych oraz odkształceniowych gruntów niespoistych wykorzystujące technologie zagęszczania wgłębne. Ze względu na sposób wykonania oraz technikę wzmocnienia możemy wyróżnić podział na metody wibracyjne oraz dynamiczne.

1. Metody wibracyjne

1.1. Wibroflotacja

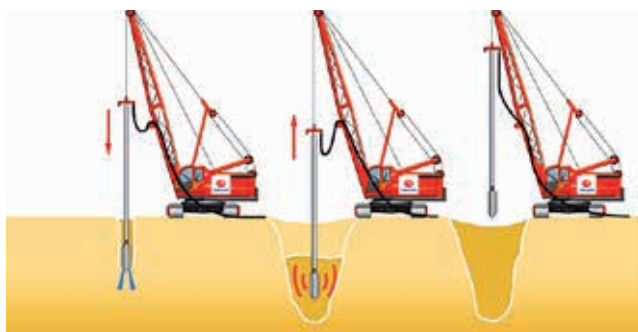
Wibroflotacja (ang. *Vibroflotation*) to metoda wzmocnienia gruntu niespoistego polegająca na wywołaniu zmiany układu ziaren pod wpływem cyklicznych drgań poziomych. W wyniku tego uzyskuje się gęstsze ułożenie ziaren gruntowych i zmniejszenie objętości porów. Do zagęszczenia stosuje się ciężkie wibratory wgłębne (wibrofloty).

Mają one cylindryczny kształt i średnicę od 30 do 50 cm. W dolnej części wibroflota zamontowana jest jednostka napędowa,



Ryc. 1. Wibroflot V16 [2]

wywołująca drgania poprzeczne o amplitudzie od 5 do 48 mm. Często na końcówce wibroflota umieszczone są dysze, którymi może być tłoczona woda lub powietrze, wpływające na skuteczność pogrążania oraz zagęszczenia gruntu. Wibroflot zagłębiany jest wraz z rurą prowadzącą w grunt pod własnym ciężarem lub – w przypadku wibroflota umieszczonego na konstrukcji samonośnej

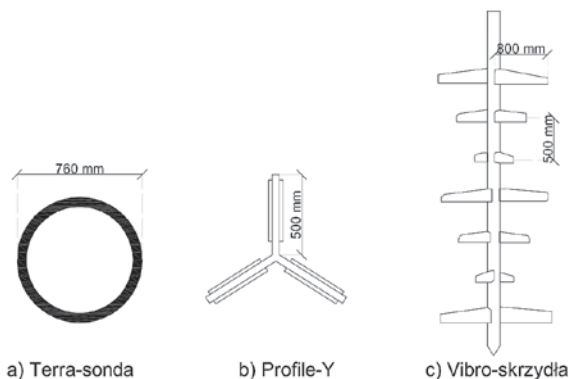


Ryc. 2. Schemat wykonania wibroflotacji [2]

– z udziałem siły wciskającej, z jednoczesnym działaniem wibracji. Zagęszczanie odbywa się podczas podciągania wibroflota ruchem posuwisto-zwrotnym. W luźnym gruncie powstaje zagęszczony słup zwykle o średnicy od 1,5 do 2,5 m, zależnie od siatki punktów zagęszczenia oraz rodzaju gruntu.

1.2. Sondy wibracyjne

Zagęszczenie gruntu za pomocą sond wibracyjnych (ang. *Vibratory Probing*) jest bardzo podobne do opisanej powyżej wibroflotacji. W porównaniu jednak do tej metody zagęszczenie uzyskuje się przede wszystkim w wyniku drgań pionowych. Rycina 3 przedstawia trzy najpopularniejsze rodzaje sond wibracyjnych.



Ryc. 3. Trzy rodzaje sond wibracyjnych [3]

1.2.1. Sonda Terra

Terra-sonda (ang. *Terra-probe*) została wynaleziona w USA. Zagęszczenie tą metodą polega na wvibrowywaniu w grunt niespo-

isty rury o średnicy 760 mm (ryc. 3a). Rura jest o 3–5 m dłuższa niż zakładana głębokość wzmocnienia. Zagęszczenie następuje na zewnątrz i wewnątrz rury. Częstotliwość drgań wynosi ok. 15 Hz.

1.2.2. Profile-Y

Profile-Y (ang. *Y-profile*) powstały w Belgii jako alternatywna dla sondy Terra. Zasada ich działania jest jednak do niej zbliżona. Podstawową różnicą jest kształt, który wyklucza zatykanie się rury gruntem w czasie wwbrowywania (ryc. 3b). Odnotowano maksymalną głębokość zagęszczenia do 10 m.

1.2.3. Wibro-skrzydła

Wibro-skrzydła (ang. *Vibro-wings*) powstały w Szwecji w celu zagęszczania luźnych piasków pylastych. Konstrukcja wibro-skrzydła składa się z 15-metrowego stalowego pręta, do którego dospawane są skrzydła o długości 80 cm, w odstępach co 50 cm (ryc. 3c). Do pogrążania w gruncie stosowany jest ciężki wibrator o masie 7 t.

1.3. Zalety metod wibracyjnych

- Znaczny przyrost stopnia zagęszczenia gruntu.
- Wzrost wytrzymałości gruntu.
- Wzrost modułów odkształcenia gruntu.
- Redukcja osiadania gruntu niespoistego.
- Zminimalizowanie ryzyka wystąpienia upłynnienia gruntu.

1.4. Ograniczenia metod wibracyjnych

- Technologia czuła na procentową zawartość frakcji pylastej i ilastej.
- Drgania mogą działać szkodliwie na znajdujące się w pobliżu obiekty.
- Głębokość zagęszczania zależy od wielkości użytych maszyn oraz sposobu pogrążania wibratora.

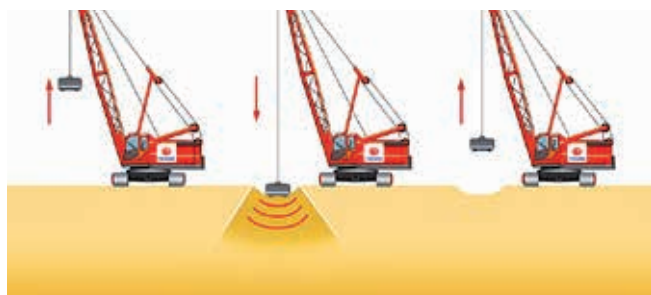
2. Metody dynamiczne

2.1. Zagęszczanie dynamiczne

Metoda dynamicznego zagęszczania (ang. *Dynamic Compaction*) została wprowadzona przez pioniera w dziedzinie wzmocnienia podłoża gruntowego, Louisa Menarda [2]. Polega ona na ulepszeniu słabego podłoża za pomocą uderzeń o dużej energii. W wyniku rozchodzenia się w gruncie fali objętościowej oraz fali powierzchniowej grunt ulega zagęszczeniu, zróżnicowanemu w zależności od jego stanu, struktury, głębokości zalegania oraz ilości przyłożonej energii. Energia przekazywana jest na podłoże za pomocą wielokrotnych uderzeń odpowiednio ukształtowanego ciężaru (stalowy ubijak) o masie od 10 do 40 t, spadającego z wysokości od 5 do 40 m.

W celu przeprowadzenia dynamicznego zagęszczenia stosuje się dźwigi kratowe, które umożliwiają uzyskanie odpowiednio wysokiej energii uderzenia.

W przypadku suchych lub mało wilgotnych gruntów niespoistych zagęszczenie następuje w wyniku wyciskania powietrza z porów



Ryc. 4. Schemat wykonania dynamicznego zagęszczenia [2]

oraz przemieszczenia cząstek gruntu [2]. Zmniejsza się porowatość gruntu, a tym samym wzrasta stopień zagęszczenia.

W gruntach znajdujących się poniżej poziomu wody gruntowej energia zagęszczenia powoduje chwilowy wzrost ciśnienia wody w porach. Po rozproszeniu nadwyżki ciśnienia następuje poprzecznie przemieszczenie i wzajemne zbliżanie się do siebie ziaren gruntu.

Zagęszczenie dynamiczne zwykle poprzedza się wykonaniem poletka próbnego, na którym określa się rozstaw siatki punktów roboczych oraz potrzebną energię uderzenia do uzyskania wymaganego zagęszczenia, tj. masę i kształt ubijaka, a także wysokość jego zrzucania.

2.2. Zagęszczanie impulsowe

Zagęszczenie impulsowe RIC (ang. *Rapid Impact Compaction*) polega na aplikowaniu energii na podłoże gruntowe poprzez uderzenia powtarzane z częstotliwością od 40 do 60 uderzeń na minutę. Wykorzystywany jest w tym celu hydrauliczny młot, który jest zamontowany na koparce. Młot o masie od 5 do 12 t jest zrzucany z wysokości ok. 1,2 m na okrągłą stopę o średnicy od 1,5 do 1,8 m [2]. Głębokość zagęszczenia wynosi od 2 do 4 m.



Ryc. 5. Technologia zagęszczenia impulsowego RIC [2]

System sterowania umieszczony w kabinie operatora daje możliwość kontroli procesu zagęszczania, rejestrując takie parametry, jak energia uderzenia czy wpęd stopy. Może on być również wykorzystany do zmiany wysokości, z której zrzucany jest młot.

Zagęszczenie w technologii RIC zwykle poprzedza się wykonaniem poletka próbnego, na którym wykonywane jest zagęszczenie dla różnych rozstawów i przy różnej liczbie uderzeń. Następnie bada się lokalnie zagęszczenie wzmocnionego gruntu i określa optymalny rozstaw siatki i liczbę uderzeń na jeden punkt. Najczęściej przyjmuje się, w zależności od gruntów, od 10 do 40 uderzeń na punkt.

2.3. Walec dynamiczny (ang. *Roller Dynamic Compaction*)

Poprawa parametrów gruntów niespoistych w tej metodzie polega na kilkukrotnym przejeździe po zagęszczanej powierzchni specjalnego zespołu do ubijania. Zespół ten składa się z odpowiednio zaprojektowanego walca, który jest dołączony do pojazdu mechanicznego. W trakcie jazdy z odpowiednią prędkością walec, obracając się, generuje energię zagęszczającą podłoże gruntowe. Prędkość jazdy wynosi od 10 do 12 km/h.

Głębokość zagęszczenia zależy od liczby przejazdów, rodzaju oraz wilgotności gruntu. W gruntach niespoistych wynosi maksymalnie 2 m.

2.4. Mikrowybuchy

Metoda mikrowybuchów (ang. *Blasting*) znajduje zastosowanie głównie we wzmocnianiu nawodnionych gruntów niespoistych. Wzmocnianie podłoża tą metodą jest efektywne tylko poniżej poziomu zwierciadła wody gruntowej. Konieczne jest wykonanie próbnych prac dla potwierdzenia skuteczności zaproponowa-

nej metody, sprzętu oraz uzyskiwanych parametrów podłoża po wzmocnieniu.

Kształt i przekrój kolumny zależy od energii uzyskanej przy eksplozji materiału wybuchowego (rodzaju materiału wybuchowego oraz masy jednostkowej ładunku), a także rodzaju gruntów zalegających w podłożu. Rozstaw kolumn uformowanych z gruntu niespoistego wynosi od 4,0 do 7,0 m (w zależności od charakterystyki gruntów).

2.5. Zalety metod dynamicznych

- Znaczny wzrost parametrów wytrzymałościowych i odkształceniowych gruntu.
- Wysoka wydajność przy niedużych nakładach finansowych.
- Mniejsza wrażliwość na zawartość frakcji pylastej i ilastej zagęszczanego gruntu niż metody wibracyjne.

2.6. Ograniczenia metod dynamicznych

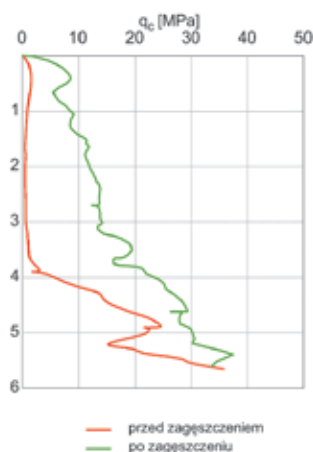
- Głębokość zagęszczania ograniczona wielkością generowanej energii.
- Drgania mogą działać szkodliwie na znajdujące się w pobliżu obiekty.
- Głębokość zagęszczania zależy od techniki elaboracji ładunku.

2.7. Weryfikacja efektów dynamicznego zagęszczania na poletku próbnym

W celu weryfikacji efektów dynamicznego zagęszczania Menard Polska wykonał poletko próbne w okolicach Gdańska. Na podstawie badań gruntu, wykonanych na potrzeby poletka, stwierdzono występowanie w podłożu utworów postglacialnych, holocenijskich związanych z rozwojem delty Wisły. Utwory te wykształcone zostały w postaci piasków różnej granulacji. Nad gruntami mineralnymi zalegały nasypy piaszczyste w stanie luźnym. Miąższość nasypów nie przekraczała 5 m. Woda gruntowa o zwierciadle swobodnym lub napiętym znajdowała się na głębokości 0,6 ÷ 3,0 m p.p.t.

Wzmocnienie metodą dynamicznego zagęszczania wykonano w dwóch fazach. Po każdej fazie przeprowadzane były badania sondą CPTU w celu sprawdzenia efektów wykonywanych działań.

Na podstawie wykonanych badań można stwierdzić znaczny wzrost oporów na stożku q_c w porównaniu do stanu przed dynamicznym zagęszczaniem (ryc. 6). Wzrost oporu na stożku q_c związany jest ze zmianą stanu zagęszczenia gruntu, przyrostem parametrów wytrzymałości oraz odkształcenia badanego gruntu. Na podstawie otrzymanych wyników stwierdzono spełnienie kryterium odbiorowego, które zdefiniowano jako minimalny stopień zagęszczenia wzmocnianej warstwy.

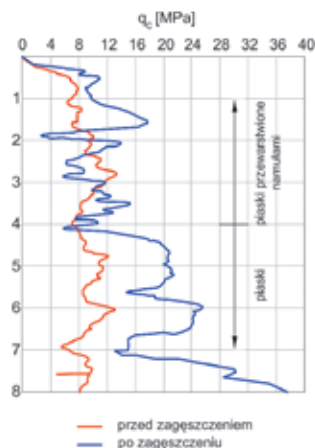


Ryc. 6. Wyniki sondowań statycznych przed i po zagęszczeniu dynamicznym [2]

Otrzymane wyniki potwierdziły efektywność wzmocnienia podłoża metodą zagęszczania dynamicznego w gruntach niespoistych o niskim zagęszczeniu.

2.8. Weryfikacja efektów metody mikrowybuchów na poletku próbnym

Menard Polska przeprowadził badania na poletku badawczym w Gdańsku w celu zbadania efektu zagęszczania wywołanego w technologii mikrowybuchów. Na podstawie wykonanych badań geotechnicznych stwierdzono w podłożu występowanie piasków drobnych w stanie średnio zagęszczonym, przewarstwionych gruntami słabonośnymi (namuły).



Ryc. 7. Wyniki sondowań statycznych przed i po zagęszczeniu metodą mikrowybuchów [2]

Technologia mikrowybuchów wykorzystana do zagęszczania gruntów niespoistych spowodowała znaczny przyrost wartości oporu stożka q_c po zagęszczeniu. Do głębokości 4 m piaski przewarstwione są namułami, co spowodowało, że w miejscach gruntów spoistych nastąpił wzrost ciśnienia wody w porach gruntu, powodując obniżenie wartości oporu stożka q_c (bezpośrednio po eksplozji ładunku). Dyssypacja ciśnienia wody w porach gruntu spowodowana upływem czasu od momentu zagęszczania powoduje przyrost wartości q_c . Na głębokości od 4 do 9 m występuje warstwa piasków, które w wyniku braku przewarstwień gruntów spoistych wykazała 2,5-krotny przyrost wartości oporu stożka q_c bezpośrednio po wykonanym zagęszczeniu.

3. Podsumowanie

Przedstawione technologie zagęszczania w głębokiego gruntów niespoistych wykorzystywane przez Menard Polska są bezpiecznym i oszczędnym sposobem wzmocnienia podłoża gruntowego, które poprawiają charakterystykę wytrzymałościowo-odkształceniową gruntów niespoistych. Przy odpowiednim rozpoznaniu warunków gruntowo-wodnych stanowią znacznie tańszą alternatywę modyfikacji podłoża gruntowego, która umożliwi posadowienie bezpośrednie konstrukcji.

Literatura

- [1] Pisarczyk S.: *Geoinżynieria. Metody modyfikacji podłoża gruntowego*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2005.
- [2] Materiał wewnętrzne firmy Menard Polska.
- [3] Mitchell J.M., Jardine F.M.: *A Guide to Ground Treatment*, CIRIA, 2002.

Perfekcja wykonania

- > Jesteśmy wiarygodnym partnerem oferującym kompleksowe rozwiązania z zakresu wzmocnienia gruntu.
- > Gwarantujemy to, co w realizacji wielkich przedsięwzięć jest najważniejsze – jakość, niezawodność i terminowość.
- > Nasza praca jest podstawą najbardziej trwałych i nowoczesnych inwestycji.

