



Technologie Vibro

do głębokiego wzmocnienia gruntu

Przegląd technologii vibro



Podłoże gruntowe

Jeżeli nośność podłoża jest niewystarczająca, to bardzo często optymalnym rozwiązaniem okazują się technologie vibro, dzięki którym można poprawić nośność słabego gruntu do praktycznie dowolnej głębokości, zarówno pod, jak i nad zwierciadłem wody gruntowej.

Wibrator wgłębny

Wibrator wgłębny ma kształt cylindryczny, długość od 3 do 5 m i waży około 2 tony. Wirująca masa, napędzana silnikiem elektrycznym, wywołuje silne drgania poziome i umożliwia pogrążanie wibratora oraz zagęszczanie gruntu. Wibratory mogą być podwieszane na linie lub mocowane na końcu masywnej rury o odpowiedniej długości, która montowana jest na dźwigu, koparce lub specjalnej jednostce nośnej (np. maszynie Vibrocat firmy Keller).

Technologie vibro

Trzy podstawowe odmiany technologii vibro różnią się sposobem działania i przekazywania obciążeń na podłoże. Optymalne rozwiązanie posado-

wienia jest często opracowywane przez naszych specjalistów przy współpracy z inwestorem i konstruktorem obiektu.

Wibroflotacja ma zastosowanie w gruntach sypkich, które wzmacnia się przez ich odpowiednie zagęszczenie.

Wibrowymiana polega na formowaniu kolumn z kruszywa, które przejmują obciążenie w słabych gruntach spoistych oraz niespoistych nie poddających się zagęszczaniu własnemu.

Wibrowane elementy palopodobne, np. kolumny betonowe lub scementowane, mogą przejąć i przekazać na głębsze podłoże stosunkowo duże obciążenia. Są używane wówczas gdy kolumny z kruszywa nie zapewniają trwałego wzmocnienia podłoża ze względu na otaczający je grunt.

Wykonawstwo

Wibrator pogrąży się w podłoże na projektowaną głębokość. Następnie w kierunku od dołu do góry i zależnie od zastosowanej technologii vibro wykonuje się zagęszczanie gruntu bądź formowanie trzonu kolumny z kruszywa lub betonu.

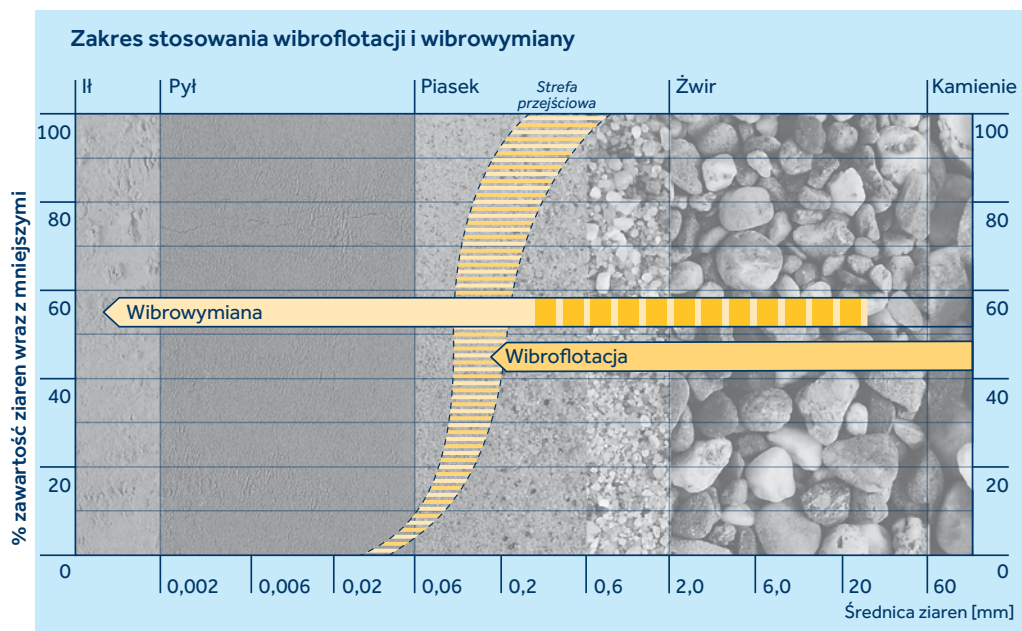
Technologie vibro

są uniwersalnymi metodami wzmocnienia gruntu, stosowanymi głównie w celu bezpośredniego posadowienia budowli na podłożu o niewystarczającej nośności. Firma Keller zgłosiła patent na wibrator wgłębny już w 1934 roku i stosowała tę technologię początkowo do zagęszczania gruntów ziarnistych, głównie piasków i żwirów. Dzięki stałemu rozwojowi technologii vibro i wprowadzeniu szerokiej gamy zróżnicowanych wibratorów Keller jest obecnie w stanie zwiększyć nośność podłoża niemal w każdych warunkach gruntowych.

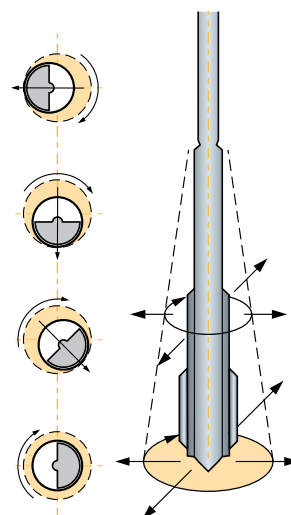
Zalety

Technologie vibro są dobrze opanowane pod względem technicznym, wyjątkowo uniwersalne i elastyczne w zastosowaniu a czas wykonania robót jest stosunkowo krótki. Umożliwia to prowadzenie dalszych prac budowlanych niemal równoległe ze wzmocnianiem podłoża. Te cechy decydują o ekonomicznej atrakcyjności technologii Vibro i ich częstym wykorzystywaniu.

Dodatkową zaletą jest nieszkodliwy wpływ na środowisko. W podłożu wbudowywane są jedynie naturalne i lokalne materiały mineralne a ilości urobku są stosunkowo niewielkie.



Zasada działania wibratora



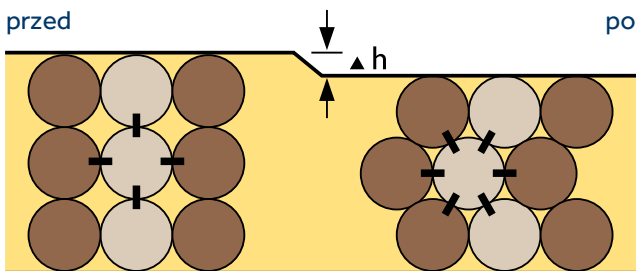
Wibroflotacja: technologia zagęszczania gruntów sypkich

Wibrator do wibroflotacji

Zagęszczanie gruntów sypkich zachodzi najefektywniej przy zastosowaniu wibratorów o stosunkowo niskiej częstotliwości drgań. Wibrator podwieszany jest zwykle na dźwigu lub koparce. Dla osiągnięcia zaplanowanej głębokości wibrator przedłuża się za pomocą odpowiedniej rury. Pograżanie wibratora w grunt oraz zagęszczanie może być wspomagane silnym wypływem wody przez zintegrowane dysze znajdujące się przy ostrzu a czasem również na trzonie wibratora. Zagęszczanie wykonuje się ruchem posuwisto-zwrotnym od dołu do góry, z określonym postępowaniem pionowym. Efektywność zagęszczania zależy od parametrów technicznych użytego wibratora, rodzaju gruntu i przyjętego rozstawu punktów.

Aspekty geomechaniczne

W strefie oddziaływania wibratora, zależnej od rodzaju gruntu, typu wibratora oraz zastosowanej metodyki robót, następuje przemieszczanie ziaren gruntu prowadzące do wzrostu stopnia ich upakowania. W zależności od właściwości podłoża i intensywności zagęszczania osiąga się zmniejszenie objętości gruntu do ok. 15%.

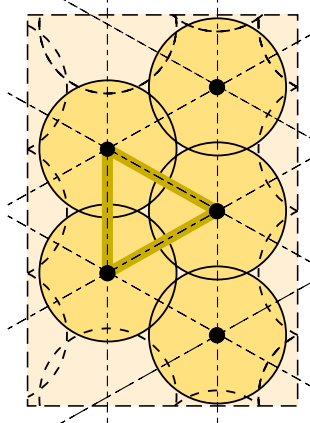


Koncepcja posadowienia

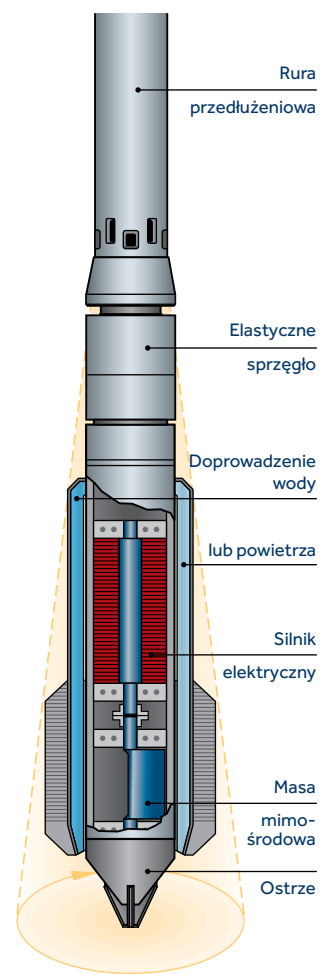
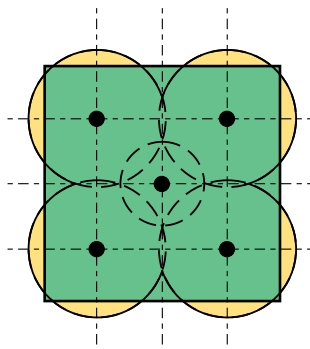
Zasięg oddziaływania wibroflotacji zależy od wielu czynników. Firma Keller posiada bogate doświadczenie umożliwiające opracowanie właściwej kon-

cepcji posadowienia. Liczbę punktów i głębokość zagęszczenia ustala się biorąc pod uwagę rodzaj podłoża, typ konstrukcji, kształt fundamentu i wymagany stopień poprawy podłoża. Osiągnięcie w danych warunkach optymalnego układu punktów i sposobu zagęszczania wymaga jednak przeprowadzenia weryfikacji w terenie. Przy optymalnym zagęszczeniu możliwe jest osiągnięcie znacznych nacisków na podłoże, dochodzących nawet do 1000 kPa. Poprzez odpowiedni dobór głębokości i rozmieszczenia punktów roboczych możliwe jest zagęszczenie podłoża gruntowego o dowolnym obrysie. Dla kontroli osiągniętego stopnia zagęszczenia wykonuje się statyczne lub dynamiczne sondowania gruntu.

Zagęszczenie pod obciążeniem powierzchniowe



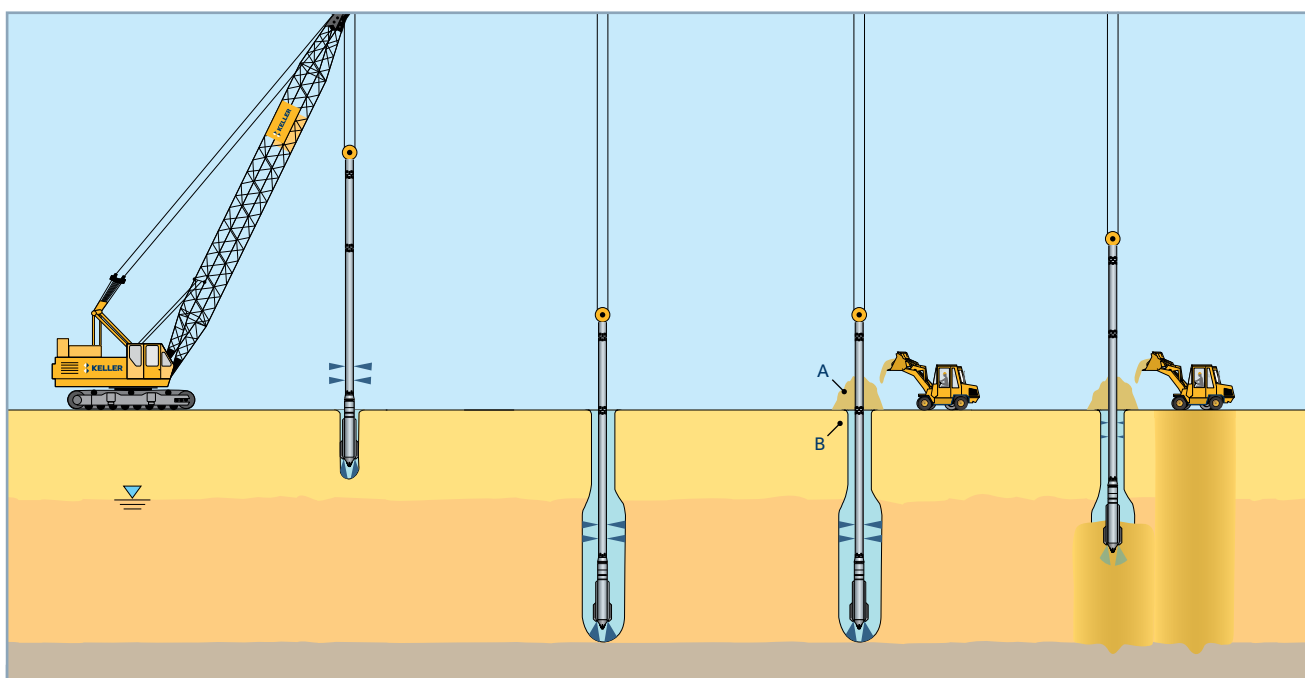
Zagęszczenie pod stopę fundamentową



Informacje techniczne

Piaszczyste i żwirowe warstwy w podłożu oraz niekontrolowane nasypy piaszczyste mają często zbyt niskie zagęszczenie, uniemożliwiające bezpieczne posadowienie budowli. Stosując wibratory wgłębne Kellera można podwyższyć i wyrównać stopień zagęszczenia gruntu, niezależnie od poziomu zwierciadła wody gruntowej.

Proces vibroflotacji



1. Zagłębianie

Drgający wibrator, przy udziale płuczki wodnej, pogrąża się w grunt do planowanej głębokości. Drobne frakcje gruntu są przy tym wynoszone na powierzchnię przez wypływającą wodę. Po osiągnięciu planowanej głębokości zmniejsza się dopływ wody.

2. Zagęszczanie

Zagęszczanie gruntu wykonuje się od dołu do góry. Strefa oddziaływania wibratora osiąga średnicę do 5m. Przyrost zagęszczenia poznaje się po zwiększonym poborze prądu przez wibrator.

3. Wypełnianie

Wokół wibratora tworzy się lej na skutek osiadania gruntu, który wypełnia się materiałem dowiezionym (A) lub rodzimym (B). Zасып stanowi do ok. 10 % zagęszczanej objętości.

4. Zakończenie

Po wykonaniu vibroflotacji poziom roboczy wyrównuje się, a następnie dodatkowo zagęszcza wibratorem powierzchniowym.

Zalety vibroflotacji

- Redukcja osiadania fundamentów
- Zwiększenie nośności umożliwiające zmniejszenie wymiarów stóp fundamentowych
- Zwiększenie sztywności
- Zwiększenie wytrzymałości na ścinanie
- Może zmniejszyć przepuszczalność
- Osłabia potencjał upłynnienia
- Zapewnia stabilizację zboczy
- Umożliwia budowę na nasypach
- Pozwala na zmniejszenie głębokości posadowienia
- Zapobiega poziomym przemieszczeniom podłoża wywołanym trzęsieniami ziemi

Wibrowymiana: technologia vibro w gruntach sypkich o dużej zawartości drobnych cząstek i w gruntach spoistych

Sprzęt i wykonawstwo

Gruboziarniste kruszywo podawane jest do górnego zasobnika wibratora ze śluzą wlotową. Wewnątrz wibratora kruszywo przesuwane jest za pomocą sprężonego powietrza w kierunku otworu wylotowego przy ostrzu. Wibrator porusza się wzdłuż prowadnicy jednostki gąsienicowej Vibrocat, która może go dodatkowo dociskać. Kruszywo wypływające pod ostrzem wibratora w fazie jego podciągania jest następnie zagęszczane i rozpychane na boki przy powrocie i docisku wibratora. W wyniku posuwisto-zwrotnego trybu pracy wibratora formowane są kolumny z kruszywa (KSS), które współpracują z gruntem w przenoszeniu obciążenia.

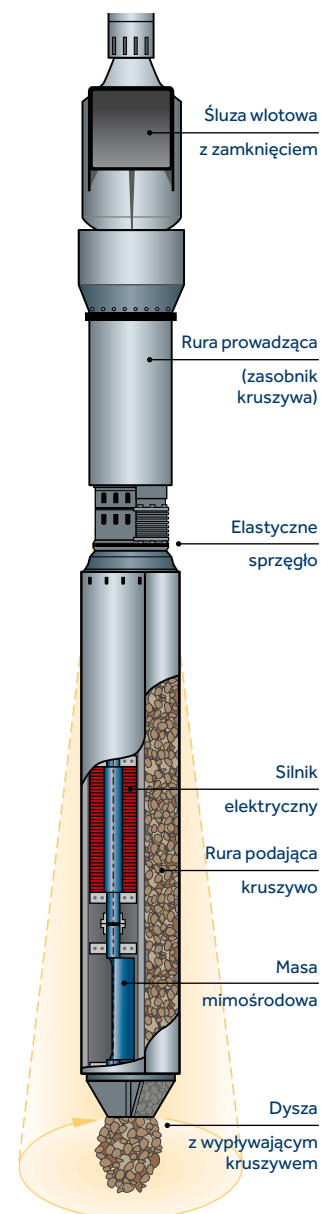
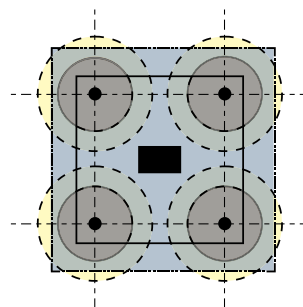
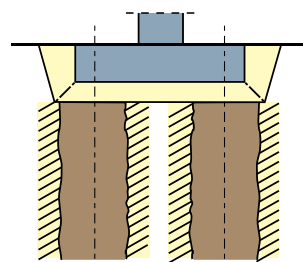
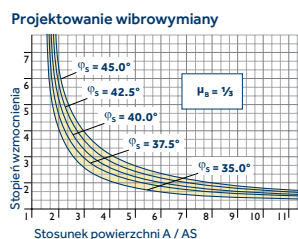
Aspekty geomechaniczne

W niektórych gruntach spoistych i mieszanych, zależnie od ich stopnia nasycenia wodą, poziome wibracje i rozpychanie na boki mogą również prowadzić do ich zagęszczenia. Ten efekt składowy wzmocnienia podłoża jest podobny jak przy wibroflotacji. Niezależnie od tego głównym celem wibrowymiany jest wzmocnienie słabszych gruntów, które nie poddają się zagęszczeniu własnemu. Wzmocnienie osiągnięte jest dzięki formowaniu kolumn z kruszywa, które charakteryzują się dużą sztywnością i wytrzymałością na ścinanie.

Koncepcja posadowienia

W odróżnieniu od przestrzennego zagęszczenia własnego, które można również sprawdzić w prosty sposób, działanie kolumny z kruszywa jest bardziej złożone i trudniejsze do oceny. W tym celu wykonuje się kontrolne sondowanie w trzonie kolumny oraz próbne obciążenia. Keller opracował również własną metodę projektowania kolumn, którą wielokrotnie sprawdzono

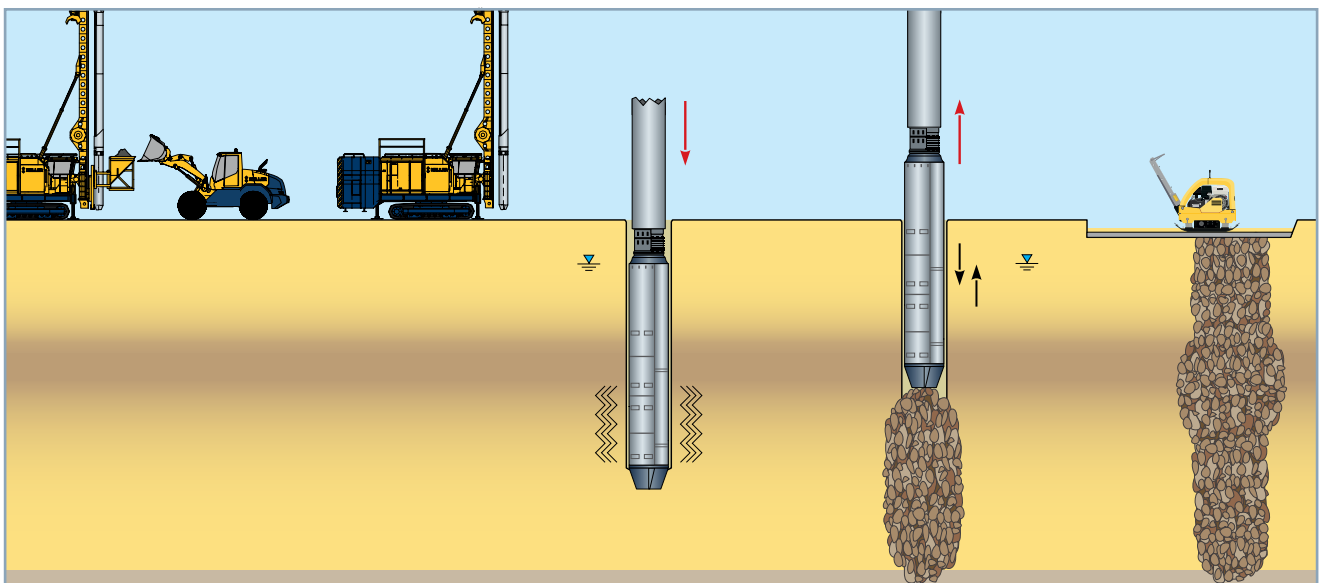
w praktyce. Fundamenty na kolumnach z kruszywa wymiaruje się jak posadowione bezpośrednio, a dopuszczalne naciski na podłoże wynoszą od 150 do 400 kPa.



Informacje techniczne

Grunty spoiste i niejednorodne mają często niewystarczającą nośność lub nadmierną ścisłość. Przy zawartości frakcji pylastych i ilastych powyżej 10% praktycznie nie poddają się zagęszczaniu własnemu. Wówczas do wzmocnienia gruntu stosowana jest wibrowymiana. Metoda ta jest również skuteczna przy wzmocnianiu niekontrolowanych nasypów, zawierających m.in. gruz, żużel, popioły, itp.

Proces wibrowymiany



1. Przygotowanie

Wibrator śluzowy podczepiony do masztu jednostki gąsienicowej Vibrocat ustawiany jest w punkcie projektowanej kolumny. Ładowarka napędza pojemnik kruszywem.

2. Napelnianie

Pojemnik jest wciągany na maszt i opróżniany przez śluzę do zasobnika w rurze. Po zamknięciu śluzę kruszywo przemieszcza się przy udziale sprężonego powietrza w kierunku ostrza wibratora.

3. Zagłębianie

Wibrator rozpycha i penetruje grunt do projektowanej głębokości, przy udziale sprężonego powietrza i docisku maszyny podstawowej.

4. Budowanie

Budowanie kolumny następuje ruchem posuwisto-zwrotnym. Podciąganiu wibratora towarzyszy wypływ kruszywa w zwolnionej przestrzeni pod ostrzem. Zagłębianie powoduje rozpychanie i zagęszczanie kruszywa.

5. Zakończenie

Po wykonaniu kolumn należy dodatkowo zagęścić powierzchniowo dno wykopu i ewentualną podsypkę pod fundamentem lub warstwę wyrównawczą usypaną na powierzchni roboczej.

Zalety wibrowymiany

- Redukcja osiadania fundamentów
- Zwiększenie nośności podłoża umożliwiające zmniejszenie wymiarów stopy fundamentowej
- Zwiększenie sztywności
- Zwiększenie wytrzymałości na ścinanie
- Pozwala na szybki drenaż wody gruntowej
- Osłabia potencjał upłynnienia
- Zapewnia stabilizację zboczy
- Umożliwia budowę na nasypach
- Pozwala na zmniejszenie głębokości posadowienia
- Zapobiega poziomym przemieszczeniom podłoża wywołanym trzęsieniami ziemi

Wibrowane elementy palopodobne



Kolumny betonowe wibrowane (FSS)

Sprzęt i wykonawstwo

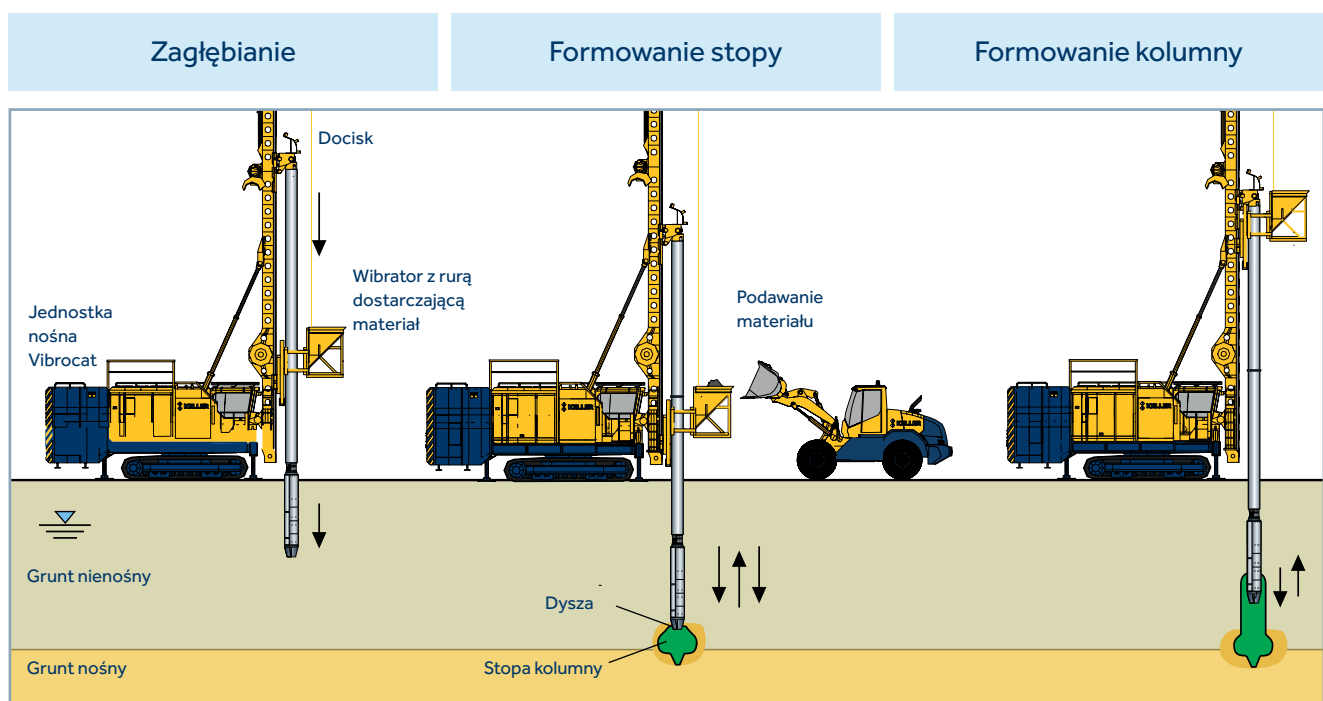
Kolumny FSS wykonuje się techniką wibrowymiany, przedstawioną wyżej. Wykonuje się je z gotowego betonu ubijalnego o wytrzymałości na ściskanie od 5 do 20 MPa. Odpowiedni skład i konsystencja betonu powoduje, że zachowuje się on podobnie jak kruszywo w trakcie wibrowymiany zapewniając takie same wzmocnienie i dogęszczenie gruntu otaczającego kolumnę FSS.

Posadownienie

Kolumny FSS projektuje się podobnie jak pale lub sztywne inkluzje, biorąc pod uwagę ich nośność zewnętrzną, wewnętrzną oraz osiadanie. Typowe nośności zewnętrzne wynoszą od 400 do ok. 900 kN i są osiągnięte przy niewielkich zagłębieniach wibratora w grunt nośny dzięki uformowaniu poszerzonej stopy żwirowej. Nośność wewnętrzną kolumny zależy od klasy betonu i przewyższa nośność zewnętrzną.

Aspekty geomechaniczne

Ze względu na betonowy trzon kolumny FSS zachowują się w podłożu podobnie jak pale lub sztywne inkluzje.



Kolumny hybrydowe

W wielu zastosowaniach kolumny FSS można łatwo łączyć z kolumnami z samego kruszywa (KSS). Betonowy trzon obejmuje wówczas strefy gruntów bardzo słabych, a trzon żwirowy stanowi np. podatną głowicę kolumn określanych łącznie jako kombinowane kolumny żwirowo-betonowe KSS/FSS lub kolumny hybrydowe.

Aspekty geomechaniczne

Cechą charakterystyczną kolumn betonowych z głowicą żwirową, które traktuje się jako elementy przestrzennego wzmocnienia gruntu, jest ich zdolność do znacznej redukcji osiadania generowanego w gruntach słabych przy zachowaniu podatnego charakteru wzmocnienia, bez zwiększenia lokalnej sztywności w rejonie głowic kolumn.

Możliwe jest też wykonanie kolumn hybrydowych w systemie stopa żwirowa, trzon betonowy oraz stopa żwirowa trzon betonowy, głowica żwirowa

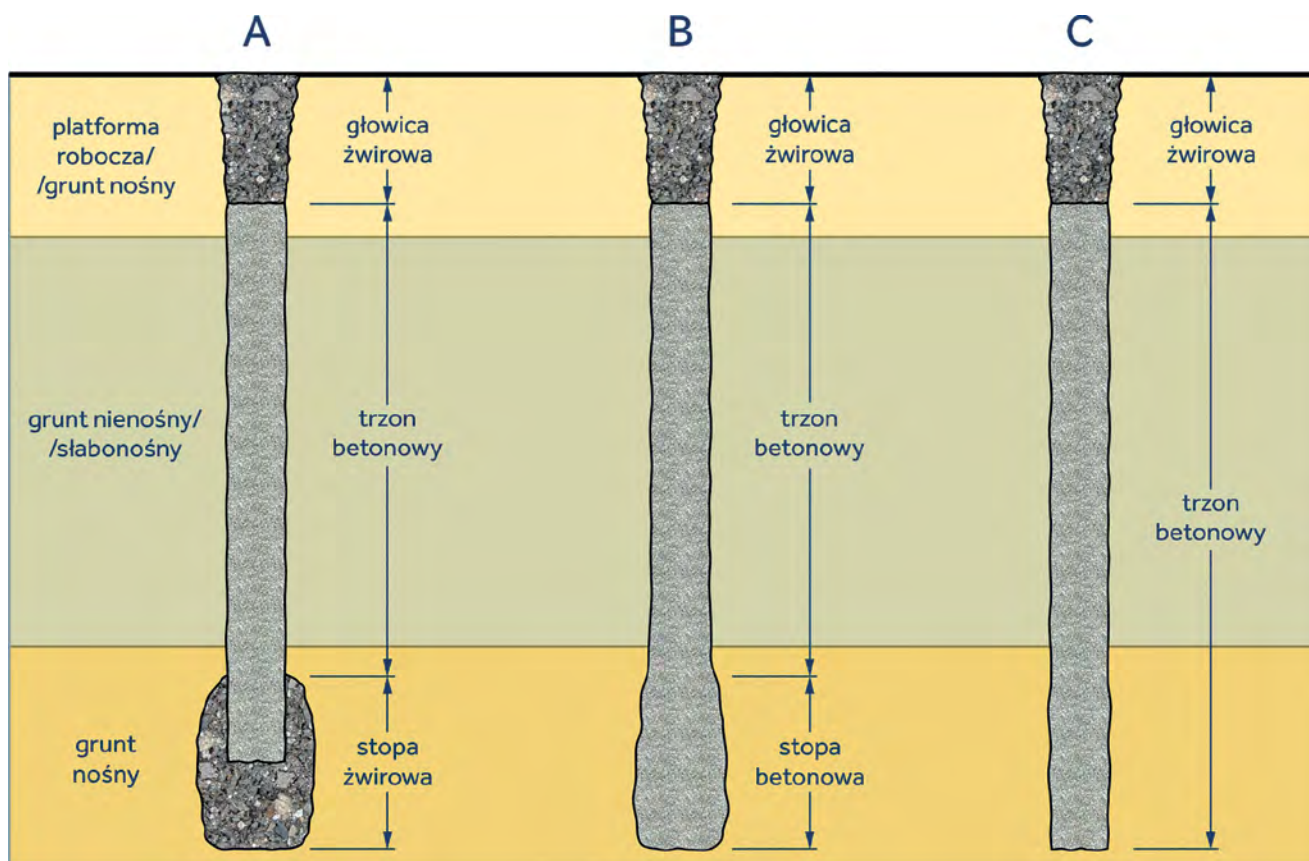
Sprzęt i wykonawstwo

Kolumny hybrydowe mogą być wykonywane :

- poprzez formowanie stopy, trzonu oraz głowicy za pomocą wibratora z rdzeniowym podawaniem materiału,
- za pomocą głowicy rozpychającej pogrążanej w podłoże za pomocą głowicy obrotowej (trzon) i wibratora z rdzeniowym podawaniem kruszywa (głowica),
- poprzez wwibrowywanie w podłoże stalowej rury za pomocą nasadowego wibratora hydraulicznego.

Przykładowe konfiguracje kolumn hybrydowych:

A – kolumna z głowicą i stopą żwirową, B – kolumna z głowicą żwirową i stopą betonową, C – kolumna z głowicą żwirową i betonowym trzonem



Zalety kolumn hybrydowych

- Jednorodny charakter pracy wzmocnionego podłoża
- Możliwość zachowania bezpośredniego charakteru posadowienia fundamentów
- brak urobku wydobywanego na powierzchnię
- brak niekorzystnych oddziaływań na sąsiadujące obiekty podczas wykonywania kolumn w technologii wkręcanej
- brak rozluźnienia gruntu podczas wykonywania kolumn
- zmniejszenie ilości zbrojenia w fundamentach w porównaniu do technologii palowych
- niskie zużycie materiału w porównaniu z kolumnami wykonywanymi w innych technologiach
- duża szybkość wykonania

Kontrola i zapewnienie jakości wykonania

W przypadku wszystkich technologii wibracyjnych stosowane są elektroniczne urządzenia pomiarowe w celu zapewnienia i rejestrowania stałej, wysokiej jakości wykonania.

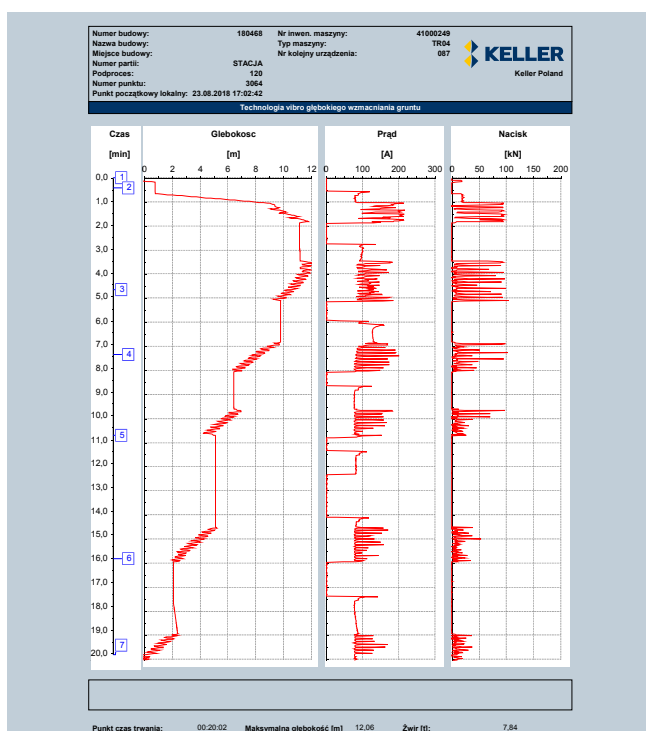


Parametry produkcyjne

Podczas zagęszczania i penetracji automatycznie rejestrowane są różne parametry produkcyjne. Wielkości takie jak czas, głębokość, prędkość zagłębiania/wyciągania, siła docisku i natężenie prądu mogą być wyświetlane i drukowane.

Próbne obciążenia grupy kolumn

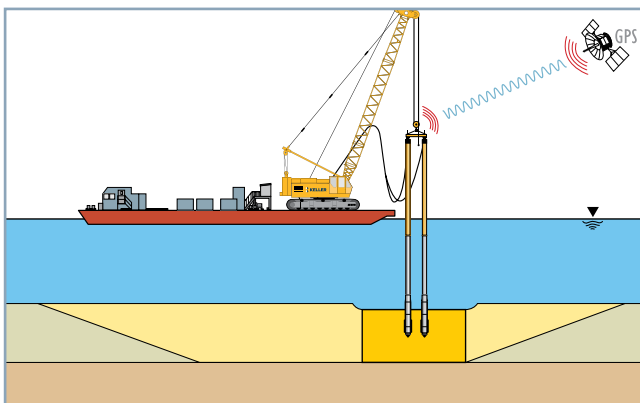
W celu sprawdzenia założeń projektowych wykonuje się próbne obciążenia statyczne grupy kolumn symulujące pracę konstrukcji pod obciążeniem roboczym.



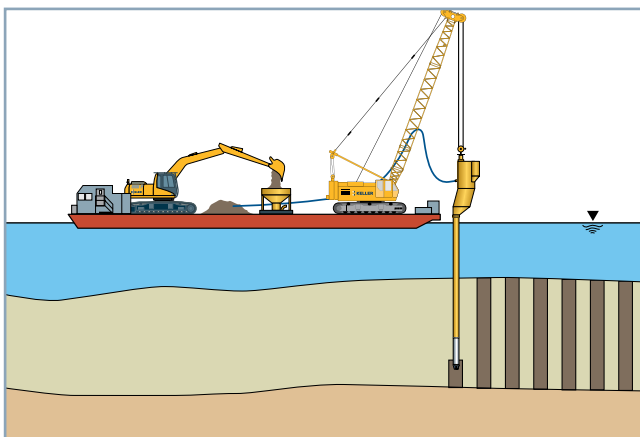
Zastosowania specjalne

Wibratory podwójne i zagęszczanie pod wodą

Przy dużych powierzchniach, w tym również pod wodą, można wykonywać wibroflotację za pomocą dwóch lub więcej połączonych wibratorów.



W przypadku wibrowymiany pod wodą, np. w celu posadowienia nabrzeży portowych lub filarów mostowych, stosuje się specjalną pompę do kruszywa umożliwiającą formowanie kolumny wibratorem śluzowym.



Wibrowymiana bez wibratora śluzowego (górne podawanie materiału)

Kolumny żwirowe w gruntach spoistych można wykonywać metodą podawania materiału z góry za pomocą wibratorów zawieszanych na dźwigach, podobnie jak w przypadku wibroflotacji. Zastosowanie płuczki ułatwia zagłębianie wibratora, wypłukiwanie cząstek drobnych, transport żwiru z góry wokół wibratora, zapobiegając jego zakleszczeniu w gruncie oraz umożliwiając osiągnięcie większej średnicy kolumny.



Kolumny hybrydowe wykonane pod place składowe kontenerów

W ramach zwiększenia możliwości przeładunkowych kontenerów w Porcie Szczecin wykonano place składowe pod kontenery i place manewrowe. Keller Polska wykonała projekt technologiczny i zrealizowała wzmocnienie podłoża za pomocą kolumn hybrydowych o średnicy 360 i 400 mm o łącznej długości około 44 000 m. Betonowy trzon kolumn wykonywany był głowicą przemieszczeniową a głowica żwirowa za pomocą wibratora wglębny. Koncepcja projektowa i realizacja kolumn potwierdzona została za pomocą szeregu próbnych obciążeń oraz obciążenia kontenerami w skali naturalnej.

Keller Polska sp. z o.o.

Globalny zasięg, lokalny partner
www.keller.com.pl

