

BRANŻOWY ZAKŁAD DOŚWIADCZALNY  
BUDOWNICTWA DROGOWEGO I MOSTOWEGO Sp. z o.o.

OGÓLNE SPECYFIKACJE TECHNICZNE

**D - 02.01.01c**

**WZMOCNIENIE PODŁOŻA GRUNTOWEGO PRZEZ MIESZANIE WGLĘBNE  
GRUNTU  
I FORMOWANIE KOLUMN LUB BŁOKÓW WAPIENNYCH I  
CEMENTOWYCH**

Warszawa 2015

Jednostka autorska,  
opracowanie edytorskie i rozpowszechnienie:  
Branżowy Zakład Doświadczalny Budownictwa Drogowego  
i Mostowego Sp. z o.o.  
03-808 Warszawa, ul. Mińska 25, tel./fax 22 871 87 90  
www.drogowa.strefa.pl

Niniejsza ogólna specyfikacja techniczna jest materiałem pomocniczym do opracowania specyfikacji technicznej wykonania i odbioru robót budowlanych przy zlecaniu i realizacji robót na drogach i ulicach.

Treść ogólnej specyfikacji technicznej jest aktualna na dzień 30 września 2015 r.  
Przy sporządzaniu specyfikacji technicznej wykonania i odbioru robót budowlanych należy uaktualnić przepisy zawarte w wykorzystywanej niniejszej ogólnej specyfikacji technicznej.

**SPIS TREŚCI**

- 1. WSTĘP**
- 2. MATERIAŁY**
- 3. SPRZĘT**
- 4. TRANSPORT**
- 5. WYKONANIE ROBÓT**
- 6. KONTROLA JAKOŚCI ROBÓT**
- 7. OBMIAR ROBÓT**
- 8. ODBIÓR ROBÓT**
- 9. PODSTAWA PŁATNOŚCI**
- 10. PRZEPISY ZWIĄZANE**
- 11. ZAŁĄCZNIKI**

**NAJWAŻNIEJSZE OZNACZENIA I SKRÓTY**

SST	- ogólna specyfikacja techniczna
ST	- specyfikacja techniczna wykonania i odbioru robót budowlanych
IBDiM	- Instytut Badawczy Dróg i Mostów
GDDP	- Generalna Dyrekcja Dróg Publicznych

## **1. WSTĘP**

Przedmiotem niniejszej ogólnej specyfikacji technicznej (SST) są wymagania dotyczące wykonania i odbioru robót związanych ze wzmocnieniem podłoża gruntowego metodą mieszania wglębnego gruntu i formowania kolumn lub bloków wapiennych i cementowych.

### **1.2. Zakres stosowania SST**

Ogólna specyfikacja techniczna (SST) stanowi podstawę opracowania szczegółowej specyfikacji technicznej (SST) stosowanej jako dokument przetargowy i kontraktowy przy zlecaniu i realizacji robót na drogach, ulicach i placach.

### **1.3. Zakres robót objętych SST**

Ustalenia zawarte w niniejszej specyfikacji dotyczą zasad prowadzenia robót związanych z wykonaniem i odbiorem wzmocnienia podłoża gruntowego metodą mieszania wglębnego słabych gruntów spoistych, namulów i torfów ze spoiwem, najczęściej z wapnem i/lub cementem (również z innymi spoiwami) i uformowanie w podłożu kolumn lub masywnych bloków. Metodę tę wykorzystuje się do wzmacniania warstw (zwykle do 20 m) słabych gruntów, które trudno byłoby wymienić albo wzmocnić innymi metodami. Metoda pozwala zwiększyć nośność, poprawić stateczność oraz ograniczyć osiadanie pod obciążeniem, np. nasypem drogowym.

### **1.4. Określenia podstawowe**

**1.4.1.** Wzmocnienie podłoża - trwałe nadanie podłożu gruntowemu właściwości zwiększających jego nośność oraz zmniejszających odkształcalność i wrażliwość na wpływ czynników atmosferycznych.

**1.4.2.** Mieszanie wglębne miejscowego gruntu (ang. deep soil mixing – DSM) - metoda formowania w podłożu ze słabych gruntów - kolumn lub ich układów albo masywnych bloków utworzonych z miejscowego gruntu mieszanego, najczęściej z wapnem i/lub cementem, niekiedy z mieszanką cementowo-piaskową lub innymi spoiwami.

**1.4.3.** Metoda wglębnego mieszania na mokro – przeprowadzony na miejscu budowy proces polegający na mechanicznym zmieszaniu odspojonego uprzednio materiału gruntowego z zaczynem, składającym się z wody i spoiwa z domieszką lub bez wypełniaczy i dodatków.

**1.4.4.** Metoda wglębnego mieszania na sucho – przeprowadzony na miejscu budowy proces polegający na mechanicznym zmieszaniu odspojonego uprzednio materiału gruntowego ze spoiwem z domieszką lub bez wypełniaczy i dodatków.

**1.4.5.** Kolumna – bryła gruntu o kształcie zbliżonym do walca, poddanego odpowiedniemu procesowi z użyciem narzędzia mieszającego. Przekrój kolumny jest uzależniony od rodzaju narzędzia mieszającego oraz technologii mieszania gruntu.

**1.4.6.** Masywne bloki wapienne i cementowe - bloki różnego kształtu, formowane w podłożu metodą mieszania wglębnego miejscowego gruntu z wapnem i/lub cementem, służące do wzmocnienia grubych warstw słabych gruntów.

**1.4.7.** Pozostałe określenia podstawowe są zgodne z obowiązującymi, odpowiednimi polskimi normami i z definicjami podanymi w SST D-M-00.00.00 „Wymagania ogólne”[1] pkt 1.4.

### **1.5. Ogólne wymagania dotyczące robót**

Ogólne wymagania dotyczące robót podano w SST D-M-00.00.00 „Wymagania ogólne” [1] pkt 1.5.

## 2. MATERIAŁY

### 2.1. Ogólne wymagania dotyczące materiałów

Ogólne wymagania dotyczące materiałów, ich pozyskiwania i składowania, podano w SST D-M-00.00.00 „Wymagania ogólne” [1] pkt 2.

### 2.2. Materiały do wykonania wzmocnienia i stabilizacji podłoża

#### 2.2.1. Zgodność materiałów z dokumentacją projektową

Materiały do wykonania wzmocnienia i stabilizacji podłoża powinny być zgodne z ustaleniami dokumentacji projektowej lub ST.

#### 2.2.2. Stosowane materiały

W przypadku wzmocnienia i stabilizacji podłoża gruntowego metodą formowania kolumn lub bloków, w procesie mieszania gruntu podłoża można stosować następujące spoiwa:

- ☐ wapno (palone lub hydratyzowane),
- ☐ cement (portlandzki, hutniczy itp.),
- ☐ mieszankę cementowo-piaskową, piaskowo-wapienną,
- ☐ popioły lotne, żużle wielkopiecowe (granulowane), bentonit.

Bentonit (bardzo drobnoziarnisty il) powinien charakteryzować się:

- ☐ zawartością cząstek ilowych w zasadzie większą niż 50% wagowo, z tym że przeważającą ilość w tych cząstkach powinny stanowić montmorillonity,
- ☐ znaczną zdolnością adsorpcji wody, wynoszącą zwykle 300 ÷ 400% własnej masy,
- ☐ znaczną zdolnością do tiksotropii, tj. zdolności przechodzenia zawiesiny cząstek ilowych w wodzie ze stanu zolu do stanu żelu,
- ☐ pozbawieniem zanieczyszczeń (np. ziarnami piasku, pyłami o większej średnicy),
- ☐ dostawą w workach ocechowanych przez wytwórnię.

W metodzie wgłębnego mieszania na mokro najczęściej stosowanym spoiwem jest cement.

W metodzie wgłębnego mieszania na sucho jako spoiwo można stosować cement lub mieszankę wapna i cementu.

Do ulepszania gruntów o wysokiej zawartości cząstek organicznych, gruntów mocno nawodnionych oraz bardzo słabych powinny być stosowane mieszanki spoiw o specjalnie przygotowanej recepturze. Zalecany skład tych mieszanek, w zależności od rodzaju gruntu poddanego wgłębnemu mieszaniu, przedstawiono w tablicy 1.

Tablica 1. Skład mieszanek w zależności od rodzaju gruntu poddanego wgłębnemu mieszaniu

Rodzaj gruntu	Zalecane spoiwo
Gлина	Wapno lub wapno/cement
Gлина miękkoplastyczna	Wapno lub wapno/cement
Gлина organiczna i gytie	Wapno/cement lub cement/żużel wielkopiecowy lub wapno/gips
Torf	Cement, cement/żużel wielkopiecowy lub wapno/gips/cement
Grunty zasiarczone	Cement lub cement/żużel wielkopiecowy
Muł	Wapno/cement lub cement

Bentonit może być stosowany jako spoiwo dla poprawienia reologii i stabilizacji zaczynów.

Cement, wapno, popioły lotne, żużle wielkopieczowe granulowane powinny odpowiadać wymaganiom dokumentacji projektowej oraz spełniać wymagania zawarte w odpowiednich SST [5, 6, 7, 8, 9].

Wodę zarobową do sporządzania zaczynów cementowych należy pobierać wprost z wodociągów lub studni albo dowozić beczkowozami ze sprawdzonych źródeł. Woda zarobowa powinna odpowiadać wymaganiom normy PN-EN 1008 [10]. Woda wodociągowa nie wymaga badań. Woda ze studni lub innych miejsc uzyskania powinna spełniać warunki ww. normy.

Jako zbrojenie (jeśli jest wymagane dokumentacją projektową) można stosować pręty stalowe, stalowe ruszty, belki lub inne, zgodne z Ustawą o wyrobach budowlanych [19].

Inne materiały, które mogą być stosowane w czasie budowy, powinny być trwałe, odporne na kontakty z gruntem oraz zgodne z wymaganiami dokumentacji projektowej, ustaleniami producentów i Ustawą o wyrobach budowlanych [19].

Źródła pochodzenia materiałów powinny być udokumentowane i nie powinny być zmieniane bez akceptacji Inżyniera.

Składowanie materiałów nieprzeznaczonych do bezpośredniego wbudowania po dostarczeniu na budowę, powinno się odbywać zgodnie z zaleceniami odpowiednich SST [5, 6, 7, 8, 9] lub ustalane indywidualnie.

### **3. SPRZĘT**

#### **3.1. Ogólne wymagania dotyczące sprzętu**

Ogólne wymagania dotyczące sprzętu podano w SST D-M-00.00.00 „Wymagania ogólne” [1] pkt 3.

Wykonawca odpowiedzialny jest za szczegółowy dobór sprzętu, zapewniający prawidłowe wykonanie robót określonych w dokumentacji projektowej i ST oraz zgodnie z założoną technologią.

Specjalistyczny sprzęt do mieszania wglębnego powinien zapewnić wykonanie robót odpowiednio do warunków gruntowych i wymagań określonych w ST oraz w dokumentacji projektowej. Powinien być dostosowany do technologii wykonania, głębokości wiercenia i tolerancji wykonania wymaganych w dokumentacji projektowej.

Wykonawca robót powinien dysponować odpowiednim parkiem maszynowym (części, zapasowe maszyny) dla zapewnienia ciągłości robót w przypadku awarii sprzętu.

Sprzęt do wykonania robót podlega kalibracji i musi uzyskać akceptację Inżyniera.

#### **3.2. Sprzęt stosowany do wykonania robót**

Przy wykonywaniu wzmocnienia i stabilizacji podłoża gruntowego metodą formowania kolumn lub bloków wapiennych i cementowych Wykonawca, w zależności od potrzeb, powinien wykazać się możliwością korzystania ze sprzętu dostosowanego do przyjętej metody robót:

- ☐ urządzenia z pojedynczym lub kilkoma mieszadłami obrotowymi, np. palownicy lub mieszadła na koparce gąsienicowej,
- ☐ świdra ślimakowego (do formowania cienkich „minipali”),
- ☐ innego sprzętu przystosowanego do odspajania i mieszania gruntu podłoża (m.in. pomp, sprzętu do wykonywania robót ziemnych).

Prędkość obrotowa narzędzia wierzącego oraz prędkość zagłębiania i wyciągania narzędzia powinny zapewniać uzyskanie jednolicie wymieszanego gruntu.

Sprzęt do formowania kolumn i bloków w podłożu powinien być wyposażony w urządzenie rejestrujące parametry procesu mieszania: głębokości oraz ilości podawanego spoiwa, ciśnienia tłoczenia itp. Otrzymywany wydruk stanowi metrykę kolumny lub bloku.

## **4. TRANSPORT**

### **4.1. Ogólne wymagania dotyczące transportu**

Ogólne wymagania dotyczące transportu podano w SST D-M-00.00.00 „Wymagania ogólne” [1] pkt 4.

### **4.2. Transport materiałów**

Materiały stosowane przy wzmocnieniu i stabilizacji podłoża można przewozić w sposób określony w odpowiednich SST [5, 6, 7, 8, 9] lub ustalony indywidualnie.

## **5. WYKONANIE ROBÓT**

### **5.1. Ogólne zasady wykonania robót**

Ogólne zasady wykonania robót podano w SST D-M-00.00.00 „Wymagania ogólne” [1] pkt 5.

### **5.2. Dokumentacja projektowa**

Wykonawca przed przystąpieniem do robót przedstawi Inżynierowi do akceptacji projekt technologiczny robót wzmocnienia podłoża metodą wgłębnego mieszania gruntu. Projekt technologiczny powinien być zgodny z postanowieniami normy PN-EN 14679 [11] oraz „Wytycznymi wzmacniania podłoża gruntowego w budownictwie drogowym”, [17] i podlega akceptacji Inżyniera. Przy sporządzaniu projektu dopuszcza się korzystanie z poprzednich doświadczeń Wykonawcy, o ile nastąpiła odpowiednia weryfikacja tych doświadczeń za pomocą testów potwierdzających parametry podłoża.

#### **5.2.1. Dane wyjściowe do uwzględnienia w projekcie technologicznym**

Projekt technologiczny ulepszania gruntu powinien uwzględniać następujące dane zawarte w dokumentacji projektowej (dostarczone przez Zamawiającego) lub, w razie ich braku lub niekompletności, określone przez Wykonawcę:

- a) ograniczenia prawne i ustawowe,
- b) topografię terenu,
- c) warunki obciążenia,
- d) warunki klimatyczne,
- e) roboty konstrukcyjne prowadzone aktualnie lub w przewidywalnej przyszłości, mogące wpływać na stan podłoża, jak wykonanie tuneli, głębokich wykopów, roboty drenażowe,
- f) plan urządzeń i instalacji podziemnych, istniejących fundamentów itp.,
- g) możliwość wystąpienia wykopalisk archeologicznych,
- h) wymagania środowiskowe jak ograniczenia dotyczące hałasu, wibracji, zanieczyszczeń, składowania i utylizacji urobku,
- i) ograniczenia zewnętrzne (istniejące przyległe konstrukcje, napowietrzne linie energetyczne, dostępność terenu, stan dróg dojazdowych itp. ),
- j) ograniczenia wynikające z ewentualnej konieczności etapowania robót,
- k) dopuszczalne przemieszczenia i odkształcenia konstrukcji i urządzeń znajdujących się w pobliżu placu budowy, na które mogą mieć wpływ wykonywane roboty,
- l) poprzednie doświadczenia w zakresie wgłębnego mieszania gruntu lub innych specjalistycznych robót geotechnicznych, wykonywanych na terenie przyległym do

przedmiotowej budowy, w tym wyniki badań przeprowadzonych na placu budowy mogących potwierdzić dane przyjęte do projektowania,

- m) zanieczyszczenia podłoża gruntowego lub inne zagrożenia, które mogą mieć wpływ na metodę wykonania i bezpieczeństwo robót,
- n) ograniczenia posiadanego sprzętu mieszającego przy określaniu rozmieszczenia kolumn lub bloków i tolerancji ich wykonania,
- o) dopuszczalne odchylenia kątowe i tolerancje wykonania kolumn przy określaniu rozstawu między kolumnami przecinającymi się,
- p) określenie szczególnych właściwości stosowanych materiałów, jeśli takie są wymagane ze względów wytrzymałościowych lub środowiskowych,
- q) rozpoznanie podłoża obejmujące jego budowę geologiczną, poziomy występowania i poziomy piezometryczne wód gruntowych, parametry geotechniczne warstw gruntu, dane o przewidywanych przeszkodach w podłożu oraz ocenę agresywności środowiska gruntowego.

Badania geotechniczne powinny być wykonane zgodnie z PN-EN 1997-1 [12] oraz PN-EN 1997-2 [13]. Przy określaniu koniecznego zakresu badań geotechnicznych można brać pod uwagę doświadczenie przy wykonywaniu wglębnego mieszania gruntu w podobnych warunkach, w pobliżu placu budowy.

Oprócz badań geotechnicznych wymaganych normą PN-EN 1997-1 [12], rozpoznanie podłoża powinno też w szczególności uwzględniać:

- obecność głazów, otoczków, warstw skalnych, które mogą spowodować wystąpienie trudności w wykonaniu robót lub wymagać zastosowania specjalnej technologii lub narzędzi,
- występowanie gruntów pęczniejących,
- obecność w podłożu pustek lub szczelin,
- piezometryczne poziomy wód gruntowych, ich możliwe wahania oraz występowanie wód artestyjskich lub zawieszonych,
- grubość gruntu warstwy powierzchniowej, występowanie korzeni drzew i innych przeszkód.

W uzupełnieniu budowy geologicznej i struktury gruntów podłoża Wykonawca określi w miarę potrzeby następujące parametry:

- gęstość, uziarnienie, skład mineralogiczny, zawartość cząstek organicznych, wilgotność, granice konsystencji,
- zagęszczenie gruntu i jego odkształcenie,
- wytrzymałość (na ściskanie, ścinanie),
- przepuszczalność gruntu,
- stan wód podziemnych (zanieczyszczenia, agresywność, pH, rodzaj i zawartość jonów i metali).

Po wykorzystaniu otworów badawczych powinny być one odpowiednio zabezpieczone (zasypane), aby nie wpływały na stan wód gruntowych oraz wykonanie i pracę kolumn.

### 5.2.2. Zakres projektu technologicznego

Projekt technologiczny wglębnego mieszania gruntu powinien określać wszystkie warunki wykonania robót, w szczególności:

- a) lokalizację i zakres robót,
- b) opis warunków gruntowo – wodnych,
- c) plan dróg technologicznych i ewentualnych pomostów roboczych i innych urządzeń pomocniczych,
- d) gospodarkę odpadami zgodną z Ustawą o odpadach [18],

- e) rodzaj zastosowanego sposobu wzmocnienia podłoża (np. za pomocą kolumn, minipali, bloków),
- f) sposób dostosowania robót do istniejących warunków terenowych i gruntowych (np. do rozmiarów, granic placu budowy, topografii i pochylenia terenu, istniejących dojazdów, ograniczeń, przeszkód w podłożu),  
Uwaga: Jeżeli jakieś wykryte przeszkody podziemne nie mogą zostać usunięte, to należy oznaczyć odpowiedni obszar na rysunkach projektowych, a w sąsiedztwie wykonanie robót należy zaprojektować w taki sposób, aby uniknąć niedopuszczalnych uszkodzeń.
- g) procedurę roboczą (sposób mieszania gruntu, parametry wiercenia i pompowania zaczynu, kolejność wykonania i warunki techniczne, które mogą wpływać na kolejność wykonania elementów, rysunki robocze z podaną kolejnością wykonania elementów),
- h) dobór sprzętu, środków zapewniających dokładność wiercenia i procedur koniecznych w razie wystąpienia przerw w trakcie wiercenia,
- i) program monitorowania wpływu robót wiertniczych na przyległe konstrukcje (rodzaj i dokładność przyrządów, częstość pomiarów) i wytyczne interpretacji wyników tych pomiarów oraz sposób zabezpieczenia tych konstrukcji przed uszkodzeniem, jeśli to okaże się konieczne,
- j) sposób dostosowania się do ograniczeń środowiskowych (dotyczących hałasu, drgań, zanieczyszczeń),
- k) sposób postępowania (zabezpieczenia długotrwałej trwałości) w przypadku ekspozycji kolumn lub bloków na agresywne czynniki fizyczne lub chemiczne,
- l) środki zapobiegające niedopuszczalnym osiadaniom lub uniesieniu, zwłaszcza w gruntach pylastych, gliniastych i ilastych,
- m) wymagania dla materiałów, rodzaj i zawartość spoiwa, stosunek c/w, dodatki, parametry zaczynu cementowego,
- n) wymagania dla zbrojenia konstrukcyjnego kolumn (klasa stali, sposób montażu), jeśli jest stosowane,
- o) wymagany kształt, zagłębienie w warstwie nośnej, wodoprzepuszczalność (jeśli dotyczy),
- p) wymagania wytrzymałościowe dla kolumn i bloków, dostosowane do rodzaju gruntu,  
Uwaga: Ostateczna wytrzymałość gotowych kolumn lub bloków jest uzależniona od wielu czynników, jak właściwości gruntu, warunki mieszania, rodzaj narzędzi mieszających i sposób mieszania, warunki pielęgnacji, rodzaj i zawartość spoiwa, warunki gruntowe itp., nie zawsze możliwych do ścisłego określenia na etapie sporządzania dokumentacji projektowej i projektu technologicznego. Z tego względu wytrzymałość ulepszonego gruntu należy szacować i weryfikować w trakcie trwania budowy na podstawie testów laboratoryjnych, posiadanego doświadczenia Wykonawcy, badań polowych oraz testów weryfikacyjnych, natomiast dokumentacja projektowa i projekt technologiczny powinny być modyfikowane w czasie trwania robót, jeśli pierwotne wymagania zawarte w dokumentacji projektowej nie mogą być spełnione.
- q) lokalizację elementów (plan fundamentowania),
- r) tolerancje wykonania elementów w odniesieniu do ich długości, średnicy, pochylenia i usytuowania w planie,
- s) organizację robót i harmonogram robót, zawierające plan obciążenia kolumn oraz etapowanie robót,
- t) sposób postępowania w przypadku wystąpienia okoliczności nieprzewidzianych w dokumentacji projektowej (np. warunki gruntowo-wodne odbiegające od projektowych, konieczność zastosowania przerw w mieszaniu gruntu). Wszelkie zmiany w stosunku do projektu technologicznego wykonania robót powinny być natychmiast rejestrowane,

- u) określenie odpowiedniego zabezpieczenia i kontroli w przypadku, gdy grunty w podłożu mogą być narażone na przemarznięcie,
- v) plan testów i procedur akceptowania materiałów użytych do wykonania robót,
- w) sposób wykonania testów wstępnych i weryfikujących (pkt 6) oraz możliwość modyfikacji parametrów mieszania gruntu na podstawie wyników testów. Wstępny projekt technologiczny może być oparty na testach laboratoryjnych i doświadczeniu Wykonawcy w wykonywaniu robót w porównywalnych warunkach popartych wstępnymi badaniami polowymi wykonanymi przed przystąpieniem do zasadniczych robót konstrukcyjnych. Podczas badań polowych należy zweryfikować, czy ilość oraz rodzaj użytego spoiwa, jak również energia mieszania są odpowiednie dla uzyskania wymaganej wytrzymałości i jednorodności ulepszanego podłoża. W przypadku, gdy badania polowe nie potwierdzą spełniania wymagań stawianych w dokumentacji projektowej, należy zweryfikować projekt technologiczny w zakresie doboru materiałów oraz parametrów mieszania.
- x) określenie sposobu kontroli wykonanych robót i badań odbiorczych:
  - w przypadku odbioru robót opartego na testach wykonywanych na odwiertach rdzeniowych, projekt powinien precyzować lokalizację i wiek kolumn poddawanych testom, sprzęt do pobierania odwiertów, procedury wykonania testów,
  - w przypadku odbioru robót opartego na testach polowych wykonywanych na cementogrunie, projekt powinien określać warunki wykonania badań i kryteria odbioru. Tolerancje, w zależności od określonych parametrów wykonania robót, powinny uwzględniać dokładność metody testowej,
  - należy sprecyzować graniczne wartości parametrów geotechnicznych oraz sposób postępowania w przypadku wystąpienia przekroczeń tych wartości.

### **5.3. Kierownictwo i nadzór robót**

Roboty objęte niniejszą SST mogą być wykonywane jedynie przez Wykonawcę posiadającego odpowiedni sprzęt do wykonywania wglębnego mieszania gruntu oraz odpowiednie doświadczenie w prowadzeniu tego typu robót.

W czasie wykonywania robót należy zapewnić dozór techniczny ze strony Wykonawcy i nadzór ze strony Zamawiającego. Niezbędna jest obecność odpowiedzialnego kierownika robót. Przebieg robót powinien być na bieżąco dokumentowany w dzienniku budowy.

### **5.4. Zasady wykonywania robót**

Konstrukcja i sposób wykonania wzmocnienia i stabilizacji podłoża powinny być zgodne z dokumentacją projektową, projektem technologicznym i ST. W przypadku braku wystarczających danych można korzystać z ustaleń podanych w niniejszej specyfikacji oraz z informacji podanych w załącznikach 1 i 3.

Podstawowe czynności przy wykonywaniu robót obejmują:

1. roboty przygotowawcze, obejmujące lokalizację miejsca i elementów robót i jego parametry wysokościowe,
2. wykonanie elementów wzmacniających podłoże, w postaci kolumn, minipali lub bloków, przez odspojenie gruntu i jego mieszanie ze spoiwem oraz wykonanie ew. dodatkowych elementów nośnych,
3. ew. wykonanie warstwy wyrównawczej w poziomie głowic kolumn,
4. ew. profilowanie i zagęszczenie powierzchni terenu,
5. roboty wykończeniowe.



## 5.5. Roboty przygotowawcze

Przed przystąpieniem do robót należy, na podstawie dokumentacji projektowej, ST lub wskazań Inżyniera:

- ☐ ustalić lokalizację terenu robót,
- ☐ przeprowadzić obliczenia i pomiary geodezyjne niezbędne do szczegółowego wytyczenia robót oraz ustalenia danych wysokościowych,
- ☐ usunąć przeszkody, np. drzewa, krzewy, obiekty, ew. elementy dróg, ogrodzenia itp.,
- ☐ oznaczyć miejsca formowania kolumn lub bloków wzmacniających podłoże,
- ☐ wykonać platformę roboczą stanowiącą podłoże o odpowiedniej nośności dla sprzętu, a także odbioru, kontroli i składowania materiałów,
- ☐ skontrolować materiały i wyroby do wykonania ulepszenia gruntu na zgodność z wymaganiami ST, dokumentacji projektowej i projektu technologicznego.

Zaleca się korzystanie z ustaleń SST D-01.00.00 [2] w zakresie niezbędnym do wykonania robót przygotowawczych.

## 5.6. Wykonanie elementów wzmacniających podłoże

### 5.6.1. Wymagania ogólne

Wgłębne mieszanie gruntu może być wykonywane dwoma metodami:

- ☐ mieszania na sucho,
- ☐ mieszania na mokro.

Wykonanie wgłębno mieszania powinno być zgodne z projektem technologicznym dostarczonym przez Wykonawcę i powinno obejmować:

- ustawienie narzędzia wierzącego (mieszającego) w miejscu projektowanego elementu z zachowaniem tolerancji określonych w dokumentacji projektowej,
- mechaniczne formowanie elementu przez urządzenie z pojedynczym lub kilkoma mieszadłami obrotowymi, poprzez odspojenie gruntu miejscowego i jego mieszanie oraz częściową wymianę ze spoiwem (np. wapnem i/lub cementem), w postaci suchej i mokrej,
- wyciąganie narzędzia wierzącego.

W trakcie wyciągania narzędzia spoiwo (w stanie suchym lub zmieszane z wodą) powinno być podawane do gruntu w sposób ciągły. Mieszadła (poziome poprzeczki) obracają się w pozycji poziomej mieszając grunt ze spoiwem. Można stosować również metody, w których spoiwo podawane jest w trakcie zagłębiania narzędzia lub zarówno trakcie zagłębiania, jak i wyciągania.

Uwaga: Przed przystąpieniem do robót należy określić właściwości zastosowanych materiałów oraz parametry mieszania na podstawie testów wstępnych i weryfikujących (patrz pkt 6), tak aby ulepszony grunt spełniał wymagania założone w dokumentacji projektowej dla określonego celu stabilizacji. Do testów Wykonawca powinien użyć materiału i sprzętu takich, jakie będą stosowane w czasie robót. Przyjęty sposób ulepszenia gruntu może być realizowany po akceptacji Inżyniera.

#### 5.6.1.1. Kolumny

Kolumny można wykonywać pionowo lub ukośnie, przy czym zaleca się aby pochylenie kolumn lub ścian, ze względów wykonawczych, nie było większe od 10°.

Podstawa kolumny powinna być zagłębiona co najmniej 0,5÷1 m w warstwę nośną. Jeśli dokumentacja projektowa nie przewiduje inaczej, to głowice kolumn zaleca się pozostawiać na poziomie co najmniej 1 m poniżej powierzchni wzmacnianego nasypu lub terenu.

Stosowane są różne schematy lokalizowania kolumn (patrz rys 1.1) w postaci:

- ☐ pojedynczych słupów w siatce lub rzędach,

- ☐ ścian z kolumn,
- ☐ rusztów z kolumn,
- ☐ bloków z kolumn stycznych lub przecinających się.

Schemat lokalizowania kolumn (plan fundamentowania) powinien być określony w projekcie technologicznym.

#### 5.6.1.2. Minipale

Odmianą kolumn są cienkie „minipale” o średnicy do 200 mm, formowane przez mieszanie słabego gruntu podłoża z mieszanką piaskowo-cementową lub piaskowo-wapienną, wprowadzaną świdrem ślimakowym.

Długość minipali oraz ich rozmieszczenie powinno być zgodne z ustaleniami dokumentacji projektowej, ST lub Inżyniera.

#### 5.6.1.3. Stabilizacja blokowa

Stabilizacja blokowa jest metodą formowania masywnych bloków, utworzonych z miejscowego gruntu mieszanego ze spoiwem, najczęściej z wapnem i/lub cementem, niekiedy z mieszanką cementowo-piaskową.

Stabilizację blokową zaleca się stosować w warstwach od 2 do 5 m bardzo słabych gruntów organicznych (torfów, namulów) i miękkoplastycznych ilów.

Na powierzchni zaleca się układać zbrojenie z geosyntetyków, a na nim roboczą warstwę gruntu (lub kruszywa) grubości około 1 m, umożliwiającą wjazd maszyn (patrz rys. 1.2). Układanie geosyntetyków powinno odpowiadać wymaganiom SST D-02.03.01c [4], a wykonanie warstwy gruntu - SST D-02.00.00 [3].

Zaleca się mieszanie gruntu ze spoiwem wykonywać odcinkami bloku długości od 3 do 5 m, np. mieszadłem umocowanym na koparce gąsienicowej.

#### 5.6.2. Mieszanie na sucho

W metodzie mieszania gruntu na sucho spoiwo jest podawane do gruntu w formie suchej za pomocą sprężonego powietrza.

Jako spoiwo zaleca się stosować: cement (portlandzki, hutniczy, krzemionkowy itp.), wapno (palone lub hydratyzowane), popioły lotne, żużle wielkopiecowe (hydratyzowane), gips lub bentonit. Wilgotność ulepszanego gruntu powinna wynosić co najmniej 20%.

Metodę wgłębnego mieszania na sucho zaleca się stosować głównie do ulepszania gruntów spoistych.

W zależności od zastosowanej techniki narzędzie wierzące może mieć jedną lub dwie żerdzie mieszające grunt, a średnica narzędzia może wynosić od 0,4 m do 1,3 m. Spoiwo podawane jest pod ciśnieniem od 300 kPa do 800 kPa z prędkością od 50 kg/min do 200 kg/min, w ilości od 100 do 300 kg/m<sup>3</sup> ulepszanego gruntu. Podawanie spoiwa może następować w trakcie podciągania żerdzi lub zarówno w trakcie zagłębiania, jak i jej podciągania.

Maksymalna głębokość ulepszenia gruntu wynosi (w zależności od techniki) od 25 m do 33 m.

W trakcie wgłębnego mieszania gruntu na sucho należy utrzymywać ciśnienie powietrza na możliwie niskim poziomie, aby uniknąć przedostawania się powietrza do gruntu, jednak powinno być ono na tyle wysokie, aby wypychane przez powietrze spoiwo wypełniło cały przekrój poprzeczny kolumny.

W trakcie wykonywania każdej kolumny należy mierzyć i rejestrować ilość zużytego spoiwa oraz ciśnienie powietrza i monitorować energię mieszania.

#### 5.6.3. Mieszanie na mokro

Przy mieszaniu na mokro zaleca się stosowanie mieszanki spoiwa (przeważnie cementu) i wody, do której mogą być dodawane popioły lotne lub żużle wielkopiecowe oraz inne dodatki lub wypełniacze (piasek). Wskaźnik wodno-cementowy (w/c - wagowo) powinien wynosić w zastosowaniach konstrukcyjnych od 0,4 do 0,7 (ostatecznie powinien być określony w projekcie technologicznym i zweryfikowany testami wstępnymi i/lub badaniami polowymi).

W przypadku użycia dodatku bentonitu, mieszanina wodno-bentonitowa powinna być przygotowana przed dodaniem cementu lub innego spoiwa.

Mieszanka podawana jest do gruntu równomiernie za pomocą pompy.

Metodę wgłębnego mieszania na mokro można stosować zarówno do ulepszania gruntów niespoistych, jak i spoistych.

Proces wgłębnego mieszania na mokro można czasowo przerwać pod warunkiem, że nie rozpoczęło się jeszcze stwardnienie zaczynu, a ponowne mieszanie gruntu rozpocznie się na głębokości co najmniej 0,5 m powyżej poziomu, na którym przerwano proces mieszania.

Pompy do transportu zaczynu powinny mieć odpowiednią wydajność, aby zapewnić zgodną z projektem technologicznym dostawę zaczynu.

W zależności od zastosowanej techniki narzędzie wierzące może mieć od jednej do czterech żerdzi, a średnica narzędzia może wynosić od 0,4 m do 1,6 m. Zaczyn podawany jest pod ciśnieniem od 300 kPa do 1000 kPa z prędkością od 0,08 m<sup>3</sup>/min do 1,0 m<sup>3</sup>/min, w ilości od 70 do 450 kg/m<sup>3</sup> ulepszanego gruntu. Maksymalna głębokość ulepszenia gruntu na lądzie wynosi (w zależności od techniki) od 25 m do 48 m. Podawanie spoiwa może następować w trakcie podciągania żerdzi lub zarówno w trakcie zagłębiania, jak i jej podciągania.

Gęstość mieszanki powinna być badana przynajmniej 2 razy w trakcie zmiany roboczej dla każdej wytwórni. W przypadku przygotowywania zaczynu na miejscu budowy częstość kontroli powinna być zwiększona i zaakceptowana przez Inżyniera.

W trakcie wykonywania każdej kolumny należy mierzyć i rejestrować ilość zużytego zaczynu za pomocą przepływomierza oraz monitorować energię mieszania.

## **5.7. Montaż zbrojenia konstrukcyjnego**

Jeśli przewiduje się zbrojenie kolumn, to można w świeżej kolumnie osadzać stalowe pręty, szkielety lub kształtowniki. Otulenie ich należy zapewnić przez użycie odpowiednich elementów dystansowych. Do montażu zbrojenia może się okazać konieczne zastosowanie wibratora.

Zbrojenie konstrukcyjne powinno być instalowane zgodnie z dokumentacją projektową.

## **5.8. Warstwa wyrównawcza**

Jeśli przewidziano wykonanie warstwy wyrównawczej (rozdzielczej) pomiędzy wzmocnionym podłożem a nasypem drogi, to powinna być ona zgodna z wymaganiami dokumentacji projektowej lub poniższymi wskazaniem.

Zadaniem warstwy jest równomierne rozłożenie obciążenia nasypu na podłoże wzmocnione kolumnami lub bloki. Warstwa spełnia również rolę drenażu poziomego.

Warstwa wyrównawcza może mieć grubość 50 cm. Może składać się z pospółki ułożonej w dwóch warstwach: dolnej grubości 20 cm i górnej grubości 30 cm. Pomiędzy warstwami można ułożyć geosiatkę o wytrzymałości na rozciąganie wzdłużne około 70 kN/m i rozciąganie poprzeczne około 60 kN/m.

Warstwę dolną układa się i zagęszcza na powierzchni wyrównanej po wykonaniu kolumn lub bloku. Na warstwie dolnej układa się pasma geosiatki w kierunku poprzecznym do osi drogi. Sąsiednie pasma można połączyć na zakłady szerokości 50 cm. Górną warstwę układa się na geosiatce i zagęszcza się.

## 5.9. Profilowanie i zagęszczenie powierzchni terenu

Jeśli dokumentacja projektowa nie przewiduje inaczej to warstwę wyrównawczą lub teren poddany wzmocnieniu metodą formowania kolumn lub bloków wapiennych i cementowych należy wyprofilować i zagęścić.

Po oczyszczeniu powierzchni z wszelkich zanieczyszczeń należy sprawdzić, czy istniejące rzędne terenu umożliwiają uzyskanie, po profilowaniu, zaprojektowanych rzędnych podłoża. Zaleca się, aby rzędne terenu przed profilowaniem były o co najmniej 5 cm wyższe niż projektowane rzędne podłoża. Jeśli występują zaniżenia poziomu w podłożu przewidzianym do profilowania, to należy spulchnić podłoże na głębokość zaakceptowaną przez Inżyniera, dowieźć dodatkowy grunt spełniający wymagania dokumentacji projektowej, w ilości koniecznej do uzyskania wymaganych rzędnych wysokościowych i zagęścić warstwę do uzyskania wartości wymaganego wskaźnika zagęszczenia.

Do profilowania podłoża można stosować równiarki lub inny sprzęt zaakceptowany przez Inżyniera.

Po profilowaniu podłoża należy przystąpić do jego zagęszczenia, które zaleca się wykonać walcami wibracyjnymi lub zagęszczarkami wibracyjnymi.

## 5.10. Przygotowanie głowic kolumn do posadowienia na nich fundamentu obiektu inżynierskiego

Głowice kolumn po wyrównaniu lub skuciu do wymaganego poziomu nie mogą być narażone na przemarzanie. W przypadku pęknięcia lub rozkruszenia kolumny należy rozkuć głębiej i uzupełnić chudym betonem.

Po wykonaniu kolumn należy odczekać co najmniej 3 dni. W obszarze wykonanych kolumn nie dopuszcza się ruchu ciężkiego sprzętu. Kolumny należy ostrożnie ścinać koparką wyposażoną w łyżkę o gładkiej krawędzi (niedopuszczalne jest stosowanie zębów, ścinanie spychaczem i przepychanie kolumn) lub rozkuwać w przypadku stwardniałego cementogruntu. Nie wolno również nadmiernie przegłębiać jednostronnego wykopu wokół kolumny ze względu na możliwość jej przełamania lub pęknięcia. Ewentualne ubytki i nierówności powierzchni głowicy kolumny należy wyrównać chudym betonem.

Grunt dookoła zewnętrznych kolumn należy wyrównać i powierzchniowo dogęścić wibratorem płytowym do wskaźnika zagęszczenia  $I_s \geq 0,95$ . W przypadku kiedy odstępki wewnętrzne między kolumnami na to pozwalają, należy również w podobny sposób wyrównać i powierzchniowo dogęścić grunt między kolumnami. Następnie głowice kolumn należy oczyścić ze wszystkich luźnych odłamków cementogruntu i betonu oraz piasku. Na tak przygotowanych kolumnach i dogęszczonym podłożu można wykonać projektowaną warstwę betonu wyrównawczego pod projektowany fundament, o grubości zgodnej z dokumentacją projektową.

Wszelkie wykopy w pobliżu kolumn sięgające poniżej poziomu posadowienia fundamentu, które mogłyby mieć niekorzystny wpływ na wykonane wzmocnienie podłoża, wymagają wnikliwej analizy i zgody Inżyniera.

## 5.11. Roboty wykończeniowe

Roboty wykończeniowe powinny być zgodne z dokumentacją projektową i ST. Do robót wykończeniowych należą prace związane z dostosowaniem wykonanych robót do istniejących warunków terenowych, takie jak:

- ☐ odtworzenie przeszkód czasowo usuniętych przed wykonaniem wzmocnienia podłoża, np. parkanów, ogrodzeń, nawierzchni, chodników, krawężników itp.,
- ☐ niezbędne uzupełnienia zniszczonej w czasie robót roślinności, tj. zatrawienia, krzewów, ew. drzew,
- ☐ roboty porządkujące otoczenie terenu robót.

## **5.12. Warunki bezpieczeństwa**

Szczególna uwaga powinna być zwrócona na przestrzeganie warunków bezpieczeństwa pracowników obsługujących lub pracujących w pobliżu sprzętu mieszającego grunt.

Postępowanie ze stosowanymi materiałami i produktami powinno być zgodne z instrukcjami bezpieczeństwa ich producentów.

Uwaga: Reakcja między wapnem palonym i wilgocią zawartą w powietrzu jest wysoko egzotermiczna, co może prowadzić do zapłonu i eksplozji oraz wydzielania się żrących i toksycznych substancji. Z tego powodu pracownicy powinni nosić szczelne osłony na oczy, rękawiczki ochronne oraz maski.

Podczas robót powinny być rozpoznane i wzięte pod uwagę ograniczenia środowiskowe takie jak hałas, drgania, zanieczyszczenia powietrza i wody oraz wpływ budowy na sąsiadujące konstrukcje.

Jeśli konstrukcje wrażliwe lub niestabilne skarpy znajdują się w sąsiedztwie placu budowy lub w potencjalnej strefie wpływu robót na te elementy, ich stan powinien być szczegółowo obserwowany i dokumentowany przed i w trakcie wykonywania robót.

## **6. KONTROLA JAKOŚCI ROBÓT**

### **6.1. Ogólne zasady kontroli jakości robót**

Ogólne zasady kontroli jakości robót podano w SST D-M-00.00.00 „Wymagania ogólne” [1] pkt 6.

### **6.2. Badania przed przystąpieniem do robót**

#### **6.2.1. Badanie materiałów**

Przed przystąpieniem do robót Wykonawca powinien:

- ☐ uzyskać wymagane dokumenty, dopuszczające wyroby budowlane do obrotu i powszechnego stosowania (certyfikaty na znak bezpieczeństwa, aprobaty techniczne, certyfikaty zgodności, deklaracje zgodności, ew. badania materiałów wykonane przez dostawców itp.),
- ☐ ew. wykonać własne badania właściwości materiałów przeznaczonych do wykonania robót, określone w pkt 2.

Wszystkie dokumenty oraz wyniki badań Wykonawca przedstawia Inżynierowi do akceptacji.

#### **6.2.2. Dokładność i kalibracja urządzeń kontrolno-pomiarowych końcówki mieszającej i urządzeń tłocznych**

Dokładność czujnika do pomiaru głębokości należy sprawdzać raz na tydzień, w razie potrzeby wykonując jego kalibrację. Na pełnej długości końcówki mieszającej dopuszczalna tolerancja dokładności pomiaru wynosi  $\pm 100$  mm.

Urządzenia do pomiaru ilości podawanego zaczynu cementowego należy kalibrować raz na tydzień w trakcie wykonywania robót, przepuszczając w tym celu przez przepływomierz znaną ilość zaczynu cementowego. Dopuszczalna tolerancja pomiaru na przepływomierzu wynosi  $\pm 5$  %.

#### **6.2.3. Testy wstępne i weryfikujące**

Ponieważ właściwości wzmocnionego gruntu są uzależnione od wielu czynników, w tym technologii wykonania, przed przystąpieniem do zasadniczych robót, a także w trakcie ich robót należy wykonać testy w celu potwierdzenia, że wymagania założone w

dokumentacji projektowej są możliwe do osiągnięcia. Testy obejmują badania laboratoryjne oraz próby polowe.

Przy określaniu (potwierdzaniu) właściwości wzmocnionego gruntu na podstawie testów należy brać pod uwagę:

- że testy laboratoryjne mogą dać wyniki przeszacowane w stosunku do możliwych do osiągnięcia w warunkach budowy (ze względu na bardziej kontrolowane warunki mieszania i pielęgnacji w warunkach laboratoryjnych),
- poprawę parametrów wzmocnianego gruntu w czasie, zależną głównie od rodzaju i ilości zastosowanego spoiwa oraz warunków pielęgnacji (temperatury, pielęgnacji z użyciem wody itp.).

Z powyższych powodów testy laboratoryjne mogą nie być wystarczające do weryfikacji przyjętej metody ulepszania gruntu, dlatego zalecane jest również przeprowadzenie badań polowych.

Na etapie testów wstępnych należy określić kolejność wykonania robót, czas wiązania spoiwa i twardnienia cementogruntu oraz średnicę kolumn, aby uniknąć lokalnych osiadań lub wysadzin podłoża.

W przypadku, gdy zachodzi niebezpieczeństwo nieprzewidzianych reakcji chemicznych między zastosowanym spoiwem i zanieczyszczeniami występującymi w ulepszanym gruncie, powinien być opracowany specjalny program testów dla zbadania konsekwencji takich reakcji.

#### 6.2.3.1. Testy laboratoryjne

Testy laboratoryjne obejmują badania wykonane w laboratorium dwóch rodzajów próbek:

- wykonanych w warunkach laboratoryjnych,
- pobranych z różnych głębokości z wcześniej wykonanych kolumn na poletku próbnym.

##### a) Próbki wykonane w warunkach laboratoryjnych

Badanie próbek wykonanych w warunkach laboratoryjnych daje możliwość wstępnego określenia rodzaju spoiwa lub mieszanki spoiw, ilości spoiwa, współczynnika w/c, jakie należy stosować dla osiągnięcia wymaganych w dokumentacji projektowej parametrów ulepszanego gruntu.

Sposób przygotowania i składania próbek może być określony na podstawie „Design Guide Soft Soil Stabilisation” [15] lub wg innej metody zatwierdzonej przez odpowiednią jednostkę naukowo-badawczą, np. IBDiM.

Testy wykonywane na próbkach laboratoryjnych dają wyniki niepewne i mogą być wiarygodnie wykorzystane do wstępnego określenia parametrów ulepszanego gruntu, pod warunkiem posiadania przez Wykonawcę dużego doświadczenia w określaniu korelacji między wytrzymałością próbek wykonanych w warunkach laboratoryjnych i odpowiednimi właściwościami gruntu w warunkach polowych, zbliżonych do występujących w przedmiotowym kontrakcie.

##### b) Próbki pobrane z wcześniej wykonanych kolumn (po 7 i 28 dniach pielęgnacji)

Próbki pobrane z wykonanych kolumn za pomocą odwiertów rdzeniowych mogą być wykorzystane do określenia deformacji, wytrzymałości i jednorodności ulepszanego gruntu. Wybór techniki pobierania próbek, rodzaj próbnika, średnica próbek zależą od rodzaju ulepszanego gruntu, jego stanu i uziarnienia. Ilość pobieranych próbek zależy od wielkości zadania konstrukcyjnego, ale nie powinna być mniejsza od trzech. Próbki powinny być pobierane z całej głębokości ulepszanego gruntu.

Badając próbki rdzeniowe można określić:

- charakterystykę wytrzymałościową i moduł Younga (wykonując badanie próbek na ściskanie; w przypadku zaobserwowania pęknięć w próbkach zaleca się testy trójosiowe wg PN-EN 1997-2 [13]),
  - moduł ściśliwości (wykonując badanie edometrem wg PN-EN 1997-2 [13]),  
Uwaga: Dla oceny osiadania ustabilizowanego podłoża, wykorzystanie modułu Younga jest bardziej reprezentatywne niż modułu ściśliwości, które może prowadzić do zaniżenia wartości osiadań w długim okresie czasu.
  - przewodnictwo hydrauliczne – bezpośrednio można ocenić za pomocą urządzenia zbudowanego indywidualnie specjalnie do tego celu; może być też oszacowane metodą pośrednią za pomocą obliczeń opartych na wartości wskaźnika zagęszczenia określonego badaniem edometrem.
- c) Próbki pobrane z wcześniej wykonanych kolumn (badanie stosowane w metodzie wgłębnego mieszania na mokro; próbki powinny być pobierane przed rozpoczęciem wiązania spoiwa)

Próbki powinny być pobierane w ilości 1 na 500 m<sup>3</sup> ulepszanego gruntu lub jedna na dzienną zmianę roboczą. Materiał pobierany za pomocą specjalnego chwytaka powinien być umieszczany w cylindrach, poddawany pielęgnacji w określonej temperaturze i testowany jak wyżej.

#### 6.2.3.2. Próby polowe

Jeżeli brak jest wcześniejszych doświadczeń z robót wykonywanych w podobnych warunkach lub niemożliwe jest wykonanie dostatecznego rozpoznania podłoża, Wykonawca powinien wykonać wstępne próby polowe.

Celem wykonania prób polowych jest:

- sprawdzenie jednorodności kolumn,
- określenie właściwości mechanicznych materiału kolumn i przewodnictwa hydraulicznego,
- określenie kryteriów dla kontroli parametrów mieszania wgłębnego, jak prędkości zagłębiania i wyciągania mieszadła, prędkości obrotowej mieszadła, zachodzenia na siebie kolumn i ilości podawanego spoiwa/zaczynu.

#### a) Sprawdzenie jednorodności (ciągłości) kolumn

Jednorodność (ciągłość) kolumn można badać:

- sondą stożkową CPT,
- pobierając i badając próbki rdzeniowe,
- za pomocą testów geofizycznych (ten rodzaj testów jest w fazie eksperymentalnej).

#### b) Określenie właściwości mechanicznych

- wytrzymałość gruntu na ścinanie oraz pomiar odkształcenia ulepszanego gruntu można wykonać badaniem presjometrem (wg PN-EN 1997-2 [13]). Test presjometryczny wymaga wywiercenia otworu w kolumnie, w którym umieszcza się presjometr,
- parametry wytrzymałościowe można badać wykorzystując statyczną sondę stożkową CPT (wymagane jest wcześniejsze wykonanie otworu w celu utrzymania sondy wewnątrz kolumny i możliwości przeprowadzenia badania na głębokości do 25 m). Sonda powinna być wciskana z prędkością ok. 20 mm/s przy ciągłej rejestracji oporu zagłębiania.

#### c) Określenie przewodnictwa hydraulicznego

Do określenia właściwości hydraulicznych mogą być stosowane różne testy polowe, jednak obecnie nie ma dostępnego sprzętu specjalnie zaprojektowanego do tego celu.

Uwaga: Podczas wykonywania badań polowych należy stosować ten sam sprzęt, materiały, technologię wykonania, jakie są przewidziane do wykonania robót zasadniczych. W szczególności należy stosować te same parametry mieszania, jak:

- prędkość zagłębiania i wyciągania narzędzia mieszającego,
- prędkość rotacji narzędzia mieszającego,
- ciśnienie powietrza (w przypadku mieszania na sucho),
- ilość spoiwa wtłaczanego w grunt w jednostce czasu.

W szczególnych przypadkach również inne parametry powinny być monitorowane, jeśli mają one bezpośredni wpływ na jakości wykonanych robót, np. zachodzenie na siebie sąsiednich kolumn czy moment obrotowy narzędzia, gdy kolumny są posadawiane w sztywnym podłożu.

### **6.3. Badania w czasie robót**

#### **6.3.1. Warunki gruntowe**

W trakcie wiercenia należy monitorować warunki gruntowo-wodne na podstawie parametrów pracy narzędzia wierzącego, takich jak:

- zużycie energii,
- opór przy zagłębianiu,
- właściwości gruntu wydobytego podczas wiercenia.

Należy też monitorować przemieszczenia pionowe i poziome podłoża gruntowego oraz w przypadkach uzasadnionych, ciśnienie porowe.

W przypadkach gdy jest to uzasadnione, należy wykonać odpowiednie testy chemiczne podłoża gruntowego (określenie zawartości substancji aktywnych chemicznie, wartość pH, zawartość węglanów, chlorków, siarczanów i siarczków).

Wszystkie odchylenia od założeń projektowych powinny być rejestrowane.

#### **6.3.2. Parametry wiercenia**

W trakcie wykonywania wglębnego mieszania gruntu, dla każdej kolumny powinny być monitorowane i rejestrowane następujące parametry wiercenia:

- data i przedział czasowy wykonania robót,
- kształt narzędzia wierzącego,
- szybkość zagłębiania i wyciągania narzędzia wierzącego,
- prędkość obrotowa narzędzi wierzącego,
- rodzaj spoiwa,
- stosunek w/c (w przypadku mieszania na mokro),
- ilość suchego spoiwa lub zaczynu na metr zagłębienia narzędzia,
- ciśnienie podawania zaczynu lub suchego spoiwa,
- ustawienie w planie i pionie narzędzia wierzącego,
- tolerancje wykonania (w planie i w pionie, średnica),
- kolejność wykonania kolumn,
- rzędna spodu i wierzchu kolumny.

Zaleca się, aby parametry wiercenia były monitorowane dla każdej z wykonywanych kolumn automatycznie, z użyciem systemu komputerowego. W takim przypadku na każdym etapie robót (każda z kolumn powinna mieć określony indywidualny numer referencyjny) możliwa jest ocena wykonania robót i ewentualnie korekta technologii lub ilości kolumn do zainstalowania.

### **6.4. Badania kontrolne kolumn i bloków**

Zgodność założeń projektowych z wykonanymi robotami powinna być kontrolowana w zakresie:

- charakterystyki wytrzymałościowej kolumn lub bloków,
- osiadań,
- jednorodności materiału wykonanych elementów,



- gabarytów wykonanych elementów,
- ich przepuszczalności,
- usytuowania kolumn i ewentualnie wielkości zachodzenia na siebie (zachodzenie na siebie kolumn może być mierzone za pomocą inklinometru w trakcie zagłębiania i wyciągania narzędzia wierzącego oraz przez przewiercenie kolumn lub oględziny zewnętrzne).

Zakres badań kontrolnych kolumn i bloków oraz sposób wykonania badań powinny zostać określone przed przystąpieniem do robót, w zależności od celu i zakresu robót i metody ich wykonania i zaakceptowane przez Inżyniera.

Zwykle badania powinny być wykonywane na całym terenie robót, w różnych gruntach. Zaleca się wykonanie co najmniej 5 prób dla każdego rodzaju gruntu.

Badania mogą obejmować:

- ☐ badanie wytrzymałości na ściskanie

Wytrzymałość na ściskanie jednoosiowe kolumn należy sprawdzić po 28 dniach od wykonania, na znormalizowanych próbkach prostokątnych o wymiarach 40 mm × 40 mm × 160 mm. Próbki należy uformować ze świeżego materiału pobranego podczas wykonywania kolumn, zagęścić zgodnie z PN-EN 196-1 [14], przechować do czasu wykonania badania w warunkach zbliżonych do warunków panujących na placu budowy. Należy pobrać 1 serię próbek na około 200 mb kolumn, lecz nie mniej niż 2 serie badań dla każdej z wydzielonych podpór, w przypadku ulepszania podłoża pod fundamenty obiektów inżynierskich (1 seria obejmuje 4 normowe beleczki próbne). Badanie wytrzymałości na ściskanie należy przeprowadzić zgodnie z PN-EN 196-1 [14]. Osiągnięta wytrzymałość na ściskanie nie powinna być mniejsza niż wymagana w dokumentacji projektowej.

Wytrzymałość na ściskanie można też badać wykonując próbne odwierty rdzeniowe. Próbné odwierty należy wykonać nie wcześniej niż 28 dni po wykonaniu kolumny,

- ☐ odkopanie górnego odcinka 2-3 m i ocenę wymiarów oraz jakości i jednorodności tworzywa,
- ☐ sondowanie materiału kolumn specjalną końcówką ze skrzydełkami (przydatne do głębokości 8 m),
- ☐ badanie wytrzymałości kolumny sondą wyciąganą (specjalna końcówka ze skrzydełkami z przymocowaną metalową linką jest osadzana podczas formowania kolumny; w badaniu rejestruje się zmienność siły potrzebnej podczas wyciągania końcówki),
- ☐ badanie presjometrem, specjalną sondą krzyżakową, sondą statyczną, badania geofizyczne (pomiar prędkości fal),
- ☐ próbne obciążenia płytą (świdrem talerzowym) na różnych głębokościach w kolumnie,
- ☐ pomiary osiadań (uniesień) i ewentualnie bocznych przemieszczeń gruntu,
- ☐ dokładność usytuowania kolumn w planie

Dokładność usytuowania kolumn w planie powinna wynosić  $\pm 20$  cm dla kolumn wewnętrznych i  $\pm 15$  cm dla kolumn zewnętrznych (zlokalizowanych przy krawędzi ulepszanego gruntu). Dopuszcza się niespełnianie tolerancji 15 cm przez 10 % kolumn zlokalizowanych przy krawędzi. W przypadku występowania większych odchyłek należy powiadomić Inżyniera, w celu podjęcia odpowiednich decyzji. Liczba kolumn powinna być zgodna z projektem technologicznym.

Przy wykonywaniu badań zaleca się korzystać z Instrukcji badań podłoża gruntowego budowli drogowych i mostowych [16].

## 6.5. Częstotliwość badań

Częstotliwość oraz zakres badań i pomiarów, które należy wykonać w czasie robót podaje tablica 2.

Tablica 2. Częstotliwość oraz zakres badań i pomiarów w czasie robót

Lp.	Wyszczególnienie badań i pomiarów	Częstotliwość badań	Wartości dopuszczalne
1	Lokalizacja i zgodność granic terenu robót z dokumentacją projektową	1 raz	Wg pktu 5 i dokumentacji projektowej
2	Sprawdzenie wykonania usunięcia przeszkód	1 raz	Wg pktu 5
3	Wytyczenie miejsc wykonania kolumn, bloków itp. zagęszczających podłoże	Ocena ciągła	Wg pktu 5 i dokumentacji projektowej
4	Wykonanie wzmocnienia i stabilizacji podłoża gruntowego przez formowanie kolumn, bloków	Ocena ciągła	Wg pktu 5 i 6
5	Ew. wykonanie warstwy wyrównawczej	Ocena ciągła	Wg pktu 5
6	Ew. profilowanie i zagęszczenie powierzchni terenu	Ocena ciągła	Wg pktu 5
7	Wykonanie robót wykończeniowych	Ocena ciągła	Wg pktu 5

## 6.6. Monitorowanie robót

Monitorowanie powinno obejmować systematyczne pomiary, obserwacje oraz dokumentowanie wyników. W fazie badań podłoża i budowy należy założyć punkty monitorowania i rozpocząć pomiary, a w razie potrzeby obserwacje i systematyczne oceny należy kontynuować w czasie eksploatacji budowli.

W czasie robót należy realizować program monitorowania, obejmujący obserwacje i dokumentowanie dostosowane do specyfiki stosowanych zabiegów, np.:

- ☐ pomiary i rejestrację parametrów technologicznych podczas wykonywania elementów,
- ☐ pomiary położenia, wymiarów i właściwości tworzywa formowanych elementów, zmiany właściwości i wytrzymałości w czasie,
- ☐ przebieg osiadań oraz zmiany ciśnienia porowego i wytrzymałości gruntu podczas konsolidacji,
- ☐ inwentaryzację wykonanych konstrukcji w podłożu.

W fazie eksploatacji rodzaj i zakres obserwacji zależy od kategorii geotechnicznej obiektu oraz od przewidywanych lub zaobserwowanych problemów, związanych z zachowaniem podłoża budowli.

Zaleca się, na wszystkich podporach obiektów posadowionych na kolumnach, zainstalować repery do kontroli osiadania w widocznych i dostępnych w każdej fazie budowy miejscach. Repery powinny być odpowiednio oznakowane i zniwelowane przez uprawnionego geodetę (zgodnie z Rozporządzeniem w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać obiekty inżynierskie i ich usytuowanie (Dz. U. z 2000 r., Nr 63, poz. 735, § 298) [20]. W ciągu całego cyklu budowy obiektu wymaga się obserwacji i rejestracji osiadania wszystkich reperów w odstępach czasu wynoszących 1 miesiąc.

Dodatkową kontrolę osiadania dla obiektów inżynierskich należy przeprowadzić po:

- ☐ zakończeniu zasypek podpór lub fundamentów,
- ☐ rozdeskowaniu ustroju nośnego.

Zestawienie wyników obserwacji należy przedłożyć do oceny i akceptacji Inżyniera. Przekroczenie wartości osiadań bezwzględnych określonych w dokumentacji projektowej lub dopuszczalnej różnicy osiadania pomiędzy podporami, wynoszącej 1 cm, wymagają zajęcia stanowiska przez projektanta obiektu w celu podjęcia odpowiednich decyzji. Kontrolę i rejestrację osiadania należy prowadzić przez okres 1 roku od ułożenia nawierzchni na obiekcie i dojazdach, z częstotliwością co 3 miesiące. Wyniki obserwacji, potwierdzone przez uprawnionego geodetę, należy niezwłocznie dostarczać do Inwestora.

## **7. OBMIAR ROBÓT**

### **7.1. Ogólne zasady obmiaru robót**

Ogólne zasady obmiaru robót podano w SST D-M-00.00.00 „Wymagania ogólne” [1] pkt 7.

### **7.2. Jednostka obmiarowa**

Jednostką obmiarową jest  $m^2$  (metr kwadratowy) wykonanego wzmocnienia podłoża.

## **8. ODBIÓR ROBÓT**

### **8.1. Ogólne zasady odbioru robót**

Ogólne zasady odbioru robót podano w SST D-M-00.00.00 „Wymagania ogólne” [1] pkt 8.

Roboty uznaje się za wykonane zgodnie z dokumentacją projektową, ST i wymaganiami Inżyniera, jeżeli wszystkie pomiary i badania z zachowaniem tolerancji wg pkt 6 dały wyniki pozytywne.

Do odbioru robót Wykonawca przedstawi:

- parametry wiercenia wg pktu 6.3,
- informacje dotyczące wykonanych kolumn, obejmujące wyniki testów oraz wszystkie odstępstwa od dokumentacji projektowej,
- dokumenty potwierdzające właściwości zastosowanych materiałów,
- wyniki badań podłoża.

### **8.2. Odbiór robót zanikających i ulegających zakryciu**

Odbiorowi robót zanikających i ulegających zakryciu podlegają:

- ☐ wykonanie kolumn, bloków itp. wzmacniających podłoże,
- ☐ ew. profilowanie podłoża.

## **9. PODSTAWA PŁATNOŚCI**

### **9.1. Ogólne ustalenia dotyczące podstawy płatności**

Ogólne ustalenia dotyczące podstawy płatności podano w SST D-M-00.00.00 „Wymagania ogólne” [1] pkt 9.

### **9.2. Cena jednostki obmiarowej**

Cena wykonania 1  $m^2$  wzmocnienia podłoża gruntowego obejmuje:

- ☐ prace pomiarowe i roboty przygotowawcze,
- ☐ oznakowanie robót,
- ☐ dostarczenie materiałów i sprzętu,
- ☐ wykonanie wzmocnienia podłoża metodą formowania kolumn lub bloków wapiennych i cementowych z ew. zastosowaniem innych materiałów,
- ☐ ew. profilowanie i zagęszczenie powierzchni terenu,

- ☐ roboty wykończeniowe,
- ☐ przeprowadzenie pomiarów i badań wymaganych w niniejszej specyfikacji technicznej,
- ☐ odwiezienie sprzętu.

## **10. PRZEPISY ZWIĄZANE**

### **10.1. Ogólne specyfikacje techniczne (SST)**

1. D-M-00.00.00 Wymagania ogólne
2. D-01.00.00 Roboty przygotowawcze
3. D-02.00.00 Roboty ziemne
4. D-02.03.01c Wzmocnienie geosyntetykiem podłoża nasypu na gruncie słabonośnym
5. D-04.05.01a Podbudowa i podłoże ulepszone z mieszanki kruszywa związanego hydraulicznie cementem
6. D-04.05.02a Podbudowa i podłoże ulepszone z gruntu ulepszanego wapnem (wg PN-EN 14227-11)
7. D-04.05.03a Podbudowa i podłoże ulepszone z mieszanki kruszywa związanego hydraulicznie popiołem lotnym
8. D-04.05.04a Podbudowa i podłoże ulepszone z mieszanki kruszywa związanego hydraulicznie granulowanym żużlem wielkopiecowym
9. D-04.05.05a Podbudowa i podłoże ulepszone z mieszanki kruszywa związanego gotowym wyrobem hydraulicznego spoiwa drogowego

### **10.2. Normy**

10. PN-EN 1008:2004 Woda zarobowa do betonu – Specyfikacja pobierania próbek, badanie i ocena przydatności wody zarobowej do betonu, w tym wody odzyskanej z procesów produkcji betonu
11. PN-EN 14679:2005 Wykonawstwo specjalnych robót geotechnicznych - Wgłębne mieszanie gruntu
12. PN-EN 1997-1 Eurokod 7 - Projektowanie geotechniczne - Część 1: Zasady ogólne  
PN-EN 1997-1:2008+NA:2011+A1:2014-05
13. PN-EN 1997-2:2009 Eurokod 7 - Projektowanie geotechniczne - Część 2: Rozpoznanie i badanie podłoża gruntowego
14. PN-EN 196-1:2006 Metody badania cementu - Część 1: Oznaczanie wytrzymałości

### **10.3. Inne dokumenty**

15. EuroSoilStab, 2002, Development of design and construction methods to stabilise soft organic soils. Design Guide Soft Soil Stabilisation. CT97-0351. Project No.: BE 96-3177, Industrial & Materials Technologies Programme (Brite-EuRam III), European Community, Brussels, [Internet], [2015-09-24], Dostęp: <http://sps-sro.ru/files/stab.pdf>
16. Instrukcja badań podłoża gruntowego budowli drogowych i msstowych, GDDP - IBDiM, Warszawa 1998
17. Wytyczne wzmacniania podłoża gruntowego w budownictwie drogowym, GDDP - IBDiM, Warszawa, 2002
18. Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach wraz z późniejszymi zmianami (Dz.U. z 2013 r. poz. 21 z późn. zm.)
19. Ustawa z dnia 16 kwietnia 2004 r. o wyrobach budowlanych (Dz.U. nr 92, poz. 881, z późn. zm.)

20. Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 30 maja 2000 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać obiekty inżynierskie i ich usytuowanie (Dz. U. nr 63, poz. 735 z późn. zm.)

## 11. ZAŁĄCZNIKI

### ZAŁĄCZNIK 1

#### **ZASADY WZMOCNIENIA PODŁOŻA GRUNTOWEGO PRZEZ MIESZANIE WGLĘBNE GRUNTU I FORMOWANIE KOLUMN LUB BLOKÓW WAPIENNYCH I CEMENTOWYCH (wg [17])**

##### **1.1. Zastosowanie**

Mieszanie wgłębne (ang. *deep soil mixing*) jest metodą formowania w podłożu kolumn (zwanymi także „słupami”) lub ich układów, albo masywnych bloków, utworzonych z miejscowego gruntu mieszanego ze spoiwem: najczęściej z wapnem i/lub cementem, niekiedy z mieszanką cementowo-piaskową. Metoda ta jest wykorzystywana do wzmacniania grubych warstw słabych gruntów spoistych, namulów i torfów, które trudno byłoby wymienić albo wzmocnić innymi metodami.

Celem zabiegu jest poprawa właściwości podłoża, głównie mechanicznych. Kolumny ze spoiwem wapiennym mają w pewnych gruntach dużą wodoprzepuszczalność, dzięki czemu spełniają zarazem rolę drenów przyspieszających konsolidację podłoża. Zaletą metody jest szybkie uzyskiwanie przejezdności drogi w trudnych warunkach podłoża dzięki możliwości obciążenia kolumn nasypem już w ciągu paru tygodni po ich wykonaniu. Natomiast formowane kolumny nie są sztywnymi elementami konstrukcyjnymi, jak pale. Często też celowo są wykonywane jako dość podatne, co zapewnia włączenie do współdziałania z nimi otaczającego gruntu.

W zależności od warunków podłoża mieszanie wgłębne jest wykorzystywane do celów:

- ☐ wzmocnienia podłoża: pojedyncze kolumny lub rzędy kolumn używane są do wzmocnienia dużych masywów ściśliwego gruntu w celu zwiększenia nośności i poprawy stateczności oraz ograniczenia osiadań pod obciążeniem, np. pod nasypami drogowymi lub kolejowymi, dojazdami do mostów;
  - ☐ stabilizacji podłoża: stabilizacja blokowa dużych objętości gruntu w celu uzyskania ich jednorodnej wytrzymałości, w związku z głębokimi wykopami lub fundamentami budowli.
- Poza tym, mieszanie wgłębne można stosować do:
- ☐ formowania przegród przeciwnapływowych: ściany z przecinających się kolumn służą do zapobiegania filtracji wody przez albo pod obwałowaniami oraz do przeciwdziałania napływowi wody do głębokich wykopów poniżej wody gruntowej;
  - ☐ formowania w bardzo słabym gruncie koryt dla przepustów, przewodów lub rurociągów;
  - ☐ zapobiegania upłynnieniu luźnych gruntów piaszczystych: konstrukcje skrzyniowe lub komorowe z przecinających się kolumn pod wysokimi nasypami lub budowlami zapobiegają upłynnianiu się i wypieraniu gruntu podłoża, spowodowanemu np. przez wstrząsy sejsmiczne lub wybuchy.

Przydatność tej metody jest ograniczona, jeżeli występują w gruncie przeszkody utrudniające mieszanie, grunt ma niekorzystne właściwości chemiczne itp., okresowo wzrasta zasadowość (wskaźnik pH) gruntu.

## 1.2. Badania terenowe i projektowanie

Opracowanie dokumentacji projektowej wymaga ustalenia grubości i składu granulometrycznego słabych warstw wymagających wzmocnienia, oceny ich właściwości geotechnicznych oraz rozpoznania poziomu stropu podłoża nośnego. Szczególną uwagę należy zwrócić na zawartość części organicznych w gruncie, konsystencję gruntów spoistych, wytrzymałość na ścinanie i ścisłość, zanieczyszczenia chemiczne gruntu (szczególnie związkami siarki) i agresywność wód gruntowych.

W badaniach terenowych pobiera się nienaruszone próbki wzmocnianego gruntu, wyznacza wytrzymałość na ścinanie w warunkach bez odpływu  $\sigma_3$  i wrażliwość gruntu (sondą obrotową) oraz moduł odkształcalności  $E_0$  (np. świdrem talerzowym). Do szybkiego głębokiego rozpoznania zalecana jest sonda wciskana (CPT), która pozwala oszacować wytrzymałość i odkształcalność gruntu.

W każdym przypadku należy wykonać wstępne badania mieszanki, aby określić ilość spoiwa potrzebną w występujących gruntach. Można to wykonać na próbnym mieszankach w laboratorium lub wykonując kolumny próbne na obiekcie. W przypadku gruntów o dużej zawartości części organicznych, należy sprawdzić możliwość uzyskania wymaganej wytrzymałości, przepuszczalności i długotrwałej stateczności.

Dokumentacja projektowa powinna zawierać: wymagane parametry mechaniczne (wytrzymałość, odkształcalność) tworzywa kolumn i dotyczące wodoszczelności konstrukcji (jeśli potrzebne), tolerancje wykonawcze kolumn i konstrukcji (długości, pochylenia, usytuowania). Sposób formowania kolumn należy dostosować do właściwości występujących gruntów.

## 1.3. Opis metody

### 1.3.1. Proces tworzenia kolumn

Istotą procesu jest odspajanie gruntu i jego mieszanie oraz częściowa wymiana ze spoiwem (najczęściej z wapnem i/lub cementem) w postaci suchej lub mokrej. W wyniku powstaje mieszanka gruntu i spoiwa. Mieszanie jest wykonywane mechanicznie, z użyciem urządzeń z pojedynczym lub z kilkoma mieszadłami obrotowymi, do głębokości co najmniej 3 m (pionowo lub ukośnie). Metodę można stosować w gruntach rodzimych i w nasypach. W składowiskach odpadów, osadnikach szlamowych itp., służy ona dodatkowo do „unieruchomienia” składników mogących powodować skażenie wód gruntowych. Kształt i układ formowanych elementów zależy od rodzaju, liczby i rozmieszczenia mieszadeł maszyny. Elementy mają postać pojedynczych kolumn, ścian, rusztów, bloków lub kombinacji pojedynczych kolumn, stycznych lub przecinających się (rys. 1.1). Średnica kolumn wynosi od 0,4 do 1 m, długość zwykle do 10 m, ale osiąga 20 m i więcej.

Kolumny są zwykle rozmieszczane w siatce 1 x 1 m do 2 x 2 m, albo w rzędach (kolumny styczne lub wcięte jedna w drugą). Jeżeli kolumny podlegają regularnie zamarzaniu i rozmarzaniu, to mogą one być wykorzystywane w ograniczonym czasie, najwyżej do 2 lat.

Cienkie „minipale” o średnicy do 200 mm, formowane są przez mieszanie słabego gruntu podłoża z mieszanką piaskowo-cementową lub piaskowo-wapienną, wprowadzaną świdrem ślimakowym. Mają one długość od 3 do 10-12 m, rozmieszczane w liczbie 1 do 2 na  $m^2$ . Do wzmocniania słabych gruntów stosowane są też kolumny o średnicy 400-600 mm, formowane świdrem ciągłym.

### 1.3.2. Stabilizacja blokowa

Stabilizacja blokowa (rys. 1.2) stosowana jest najczęściej w niezbyt grubych warstwach (zwykle 2 do 5 m) bardzo słabych gruntów organicznych (torfów, namulów) i miękkoplastycznych ilów. Na powierzchni układane jest zbrojenie z geosyntetyków, a na nim

warstwa gruntu lub kruszywa (zwykle około 1 m), umożliwiająca wjazd maszyn. Mieszadło na koparce gąsienicowej miesza grunt podłoża ze spoiwem sekcjami po 3 do 5 m.

### 1.3.3. Mieszanie gruntu ze spoiwem na sucho

W metodzie mieszania na sucho stosuje się:

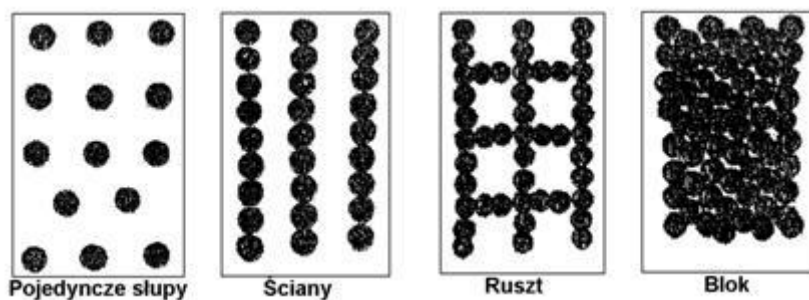
- ☐ cement,
- ☐ wapno,
- ☐ gips, popioły lotne, żużle wielkopiecowe,
- ☐ bentonit.

Skład mieszanki dobierany jest odpowiednio do właściwości gruntu i celu stabilizacji. Zwykle stosuje się mieszanki wapna, cementu i dodatków. Wprowadzane w grunt sproszkowane spoiwo, zwłaszcza wapno, pochłania wodę z gruntu, osuszając go i poprawiając jego właściwości. Dodatek cementu zwiększa wytrzymałość materiału kolumn oraz przyspiesza jego twardnienie. Wapno wchodzi w związki z minerałami ilastymi, co prowadzi do długotrwałego wzrostu wytrzymałości gruntu wokół kolumn. Wytrzymałość na ścinanie stabilizowanego gruntu wzrasta od 10 do 40 razy, zwykle do 100-150 kPa.

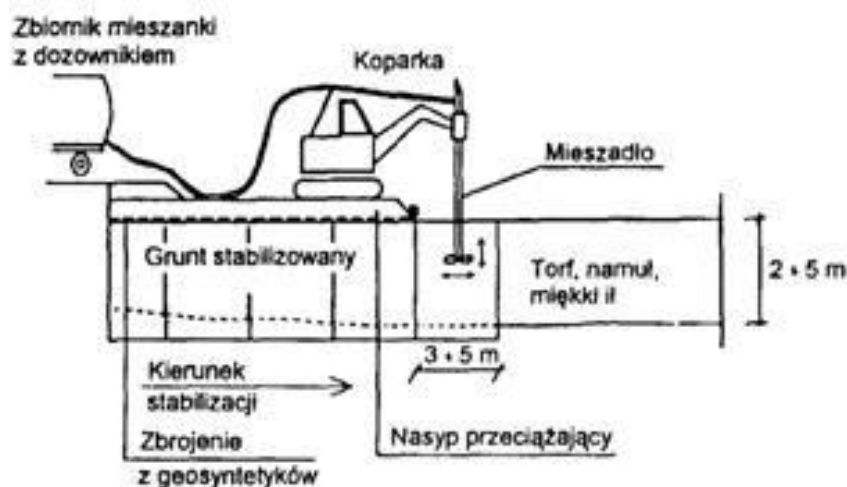
Kolumny, szczególnie wapienne, mają w niektórych gruntach spoistych specyficzną porowatą strukturę. Powoduje ona, że wodoprzepuszczalność kolumn jest często nawet 100-1000 razy większa od przepuszczalności wzmacnianego gruntu spoistego. Dzięki temu kolumny spełniają zarazem rolę drenów, umożliwiając szybszą konsolidację podłoża. Proces ten jest często przyspieszany przez przeciążenie dodatkowym nadkładem gruntu, co eliminuje późniejsze długotrwałe deformacje budowli.

### 1.3.4. Mieszanie gruntu ze spoiwem na mokro

Do mieszania na mokro stosuje się zwykle mieszankę z cementu i wody. Mogą być dodawane popioły lotne lub żużle wielkopiecowe oraz inne dodatki lub wypełniacze. Wskaźnik w/c (wagowo) powinien wynosić w zastosowaniach konstrukcyjnych od 0,4 do 0,7, w przegrodach przeciwnieprzepuszczalnych od 1 do 2, z dużym dodatkiem wypełniacza. W przypadku użycia dodatku bentonitu mieszanina wodno-bentonitowa powinna być przygotowana przed dodaniem cementu lub innego spoiwa. Jako spoiwo jest zwykle stosowany cement, żużle wielkopiecowe i/lub popioły lotne. W celu uzyskania równomiernej wytrzymałości kolumny może być konieczne zwiększenie ilości spoiwa w warstwach gruntów organicznych i spoistych, w stosunku do potrzebnej w piaskach. Wytrzymałość na ściskanie kolumn cementowo-wapiennych osiąga 3 do 6 MPa, zależnie od właściwości gruntu oraz rodzaju i ilości użytego spoiwa. Szczególnie dużą wytrzymałość uzyskują kolumny formowane z użyciem mieszanki cementu i granulowanego żużla wielkopiecowego. W gruntach organicznych wytrzymałość jest znacznie mniejsza. W świeżej kolumnie może być osadzane zbrojenie (stalowe pręty, szkielety lub kształtowniki). Otulenie ich powinno zostać zapewnione przez użycie odpowiednich elementów dystansowych. Materiał kolumn grunto-cementowych ma małą wodoprzepuszczalność.



Rys. 1.1. Przykłady układów kolumn: pojedynczych oraz ścian, rusztu i bloku z kolumn stycznych lub przecinających się



Rys. 1.2. Przykład stabilizacji blokowej spoiwem całej objętości gruntu

## ZAŁĄCZNIK 2

### PRZYKŁAD WYKONANIA KOLUMN CEMENTOWO-WAPIENNYCH

(wg artykułu A. Jarominiaka, L. Bichajły, L. Folta i K. Trojnara pt. „Odbudowa drogi krajowej nr 4 na odcinku ul. Krakowskiej w Przemyśle, zniszczonym wskutek osuwiska”, Drogownictwo nr 9 z 1999 r.)

#### 2.1. Sposób tworzenia kolumn

Do osuszenia i wzmocnienia nasypu drogowego poniżej poziomu jego rozbiórki, a także podłoża nasypu, używa się kolumny cementowo-wapienne. Powodują one lokalnie wgłębną stabilizację słabych gruntów spoiwistych, namulów i gruntów organicznych. W rezultacie uzyskuje się w krótkim czasie w miejscach kolumn polepszenie właściwości wytrzymałościowych gruntów, w tym modułów odkształceń. Między kolumnami cechy słabych gruntów pozostają przez długi czas niezmienione. Grunty są stabilizowane suchą mieszanką cementu portlandzkiego i drobno zmielonego wapna palonego, samym cementem lub samym wapnem. Między wapnem i gruntem następują trzy reakcje:

- 1) wapno palone reaguje z wodą zawartą w gruncie stając się wapnem gaszonym. Reakcja ta jest egzotermiczna, przez co następuje zmniejszenie wilgotności gruntu, po pewnym czasie również znajdującego się między kolumnami. Wapno gaszone zwiększa wartość pH w gruncie. Częstki wapna przemieszczają się w pory gruntu otaczającego kolumny. Gaszenie wapna jest szybkim procesem - w ciągu pierwszych 5-10 minut 100 g wapna palonego wiąże około 32 g  $H_2O$ ;
- 2) następuje wymiana jonów w strukturze gruntu. Jony  $K^+$  i  $Na^+$  cząstek gruntu są wymieniane na jony  $Ca^{2+}$ , wskutek czego struktura gruntu zmienia się na gruzelkowatą (występuje skłaczkanie). Wymiana jonowa i zmiana struktury gruntu zaczynają się natychmiast po wprowadzeniu wapna i kończą się zwykle w ciągu jednej doby (oprócz wymiany jonów, która może trwać wiele miesięcy);
- 3) wskutek reakcji pucolanowej tworzy się spoiwo podobne do cementowego. Większość gruntów zawiera wolną krzemionkę oraz krzemiany i gliniany, które reagują z wapnem, tworząc spoiwo. Reakcje te ułatwia zwiększone pH w wyniku reakcji (1). Trwają one kilka lat.



Generalnie, produktem reakcji wapna palonego ( $\text{CaO}$ ) z wodą jest wodorotlenek wapnia  $\text{Ca(OH)}_2$ . Natomiast w przypadku hydratacji cementu z udziałem tlenku wapnia powstaje żel wapniowo-krzemowy zawierający  $\text{CaO}$   $\square$   $\text{SiO}_2$   $\square$   $\text{H}_2\text{O}$  oraz  $\text{Ca(OH)}_2$ . Pierwszy składnik jest zhydratyzowanym cementem, drugi - wapnem gaszonym, reagującym z minerałami gruntu. Zatem oba składniki stanowią spoiwo. Korzystnym dla hydratacji cementu działaniem wapna jest zwiększenie temperatury gruntu do  $40\div 50^\circ\text{C}$ , gdy w przypadku hydratacji samego cementu temperatura wzrasta jedynie o około  $10^\circ\text{C}$  - przy średniej rocznej temperaturze gruntu rzędu  $8^\circ\text{C}$ . Znaczny wzrost temperatury zwiększa reaktywność cementu w pierwszym okresie jego wiązania.

Procentowy udział cementu i wapna w mieszance stabilizującej przyjmuje się w zależności od cech wzmacnianego gruntu. Chociaż przy dużej dozie cementu osiągnięcie wyższej wytrzymałości materiału kolumn jest w pełni możliwe, to jednak zaleca się ograniczenie jej do  $150\div 250$  kPa, by nie tworzyć w gruncie „sztywnych kołków” (tzw. „efektu pikowanej kołdry”).

Generalną ideą metody jest utworzenie przez kolumny, wraz z otaczającym je wzmocnionym gruntem masywu o zwiększonej sztywności. Głównym celem jest polepszenie cech wytrzymałościowych tego masywu: zwiększenie jego wytrzymałości na ścinanie, zmniejszenie wilgotności i zwiększenie modułu odkształceń. Wskutek polepszenia tych cech uzyskuje się mniejsze deformacje masywu gruntowego oraz mniej zróżnicowane i mniejsze osiadania pod obciążeniami.

Grunt zmieszany w kolumnie z wapnem i cementem nie jest materiałem jednorodnym. W czasie mieszania tworzą się zestabilizowane bryły. Wytrzymałości na ścinanie połączeń między nimi są mniejsze niż wytrzymałość wewnątrz brył.

Nieregularna struktura kolumn powoduje, że działają one jak dreny pionowe, przyspieszając konsolidację otaczającego je gruntu.

## **2.2. Palownica do wykonania kolumn**

Kolumny wykonuje się specjalną palownicą wyposażoną w teleskopową żerdź rurową oraz w zbiorniki wapna i cementu. Palownica wkręca żerdź zakończoną specjalnym wiertłem-mieszadłem do projektowego poziomu stopy kolumny. Powoduje to mieszanie gruntu w zasięgu działania wiertła. Następnie żerdź, obracaną w przeciwnym kierunku, wyciąga się z gruntu, z równoczesnym tłoczeniem przez nią sprężonym powietrzem mieszanki stabilizującej. Mieszanka jest wydmuchiwana z żerdzi w grunt przez otwór nad mieszadłem. Postęp wyciągania żerdzi wynosi  $15\text{--}20$  mm/obrót. Tłoczenie mieszanki jest zatrzymywane  $50$  cm poniżej powierzchni nasypu. Prędkością podnoszenia żerdzi, ilością mieszanki wapna z cementem wtłaczanej na  $1$  m kolumny oraz ciśnieniem wtłaczania steruje mikrokomputer zainstalowany w kabinie operatora palownicy.

## **2.3. Dane dotyczące wykonania kolumn w przykładzie podanym w artykule**

W celu stabilizacji zagrożonej części nasypu wykonano kolumny o nominalnej średnicy  $50$  cm, rozmieszczone w rzędach rozstawionych osiowo  $1,25$  m z lewej strony osi drogi oraz  $2,5$  m z prawej strony osi drogi. Rozstaw osiowy kolumn w rzędach przyjęto stały, wynoszący  $2,5$  m.

Na  $1$  m kolumny wtłaczano  $60$  kg mieszanki cementowo-wapiennej o proporcji składników:  $30\%$  wapna palonego, drobno mielonego i  $70\%$  cementu portlandzkiego marki „350”.

Zastosowano kolumny o długościach od  $5$  do  $12$  m. Kolumny zagłębiano co najmniej  $1$  m w warstwę nośną podłoża - poniżej potencjalnej powierzchni poślizgu. Szybkość formowania kolumn była bardzo duża - wykonanie  $12$ -metrowej kolumny trwało zaledwie kilka minut.

Zastosowanie kolumn cementowo-wapiennych do stabilizacji nasypu skutecznie poprawiło wytrzymałość nasypu na ścinanie w przekrojach kolumn przecinających potencjalną powierzchnię poślizgu. Jednocześnie działanie drenujące kolumn zredukowało możliwość lokalnego zwiększenia się ciśnienia porowego w gruncie i przez to zmniejszyło niebezpieczeństwo powstania w nim poślizgu.

Efektywność wzmocnienia nasypu została potwierdzona przez porównanie wyników sondowań statycznych przeprowadzonych przed wykonaniem kolumn z wynikami sondowań wykonanych po wykonaniu kolumn. Analiza wyników sondowań wykazała, że:

- ☐ opory sondowań w kolumnach są nieporównywalnie większe niż sondowań w gruncie przed wykonaniem kolumn;
- ☐ w miarę oddalania się od kolumny opory sondowań maleją i stają się coraz bliższe oporom uzyskanym w gruncie niestabilizowanym.

Ponadto przeprowadzono badania wytrzymałości materiału kolumn na ściskanie. Trzy próbki pobrane z kolumn zbadano po 8 dniach - ich wytrzymałość wynosiła od 2,41 do 2,96 MPa. Dwie próbki zbadano po 28 dniach - miały wytrzymałość 4,2 i 4,3 MPa. Świadczy to o zwiększaniu się efektu wzmocnienia z upływem czasu.

### **ZAŁĄCZNIK 3**

#### **WZMOCNIENIE PODŁOŻA GRUNTOWEGO TECHNOLOGIĄ MIP**

(wg materiałów firmy BAUER Spezialtiefbau Polska Sp. z o.o.)

##### **3.1. Technologia MIP**

Technologia MIP (Mixed-in-Place) dotyczy wglębnego mieszania, wiertnicą z potrójnym świdrem, gruntu oraz doprowadzaniem do niego w trakcie procesu wiertniczego mieszanki wiążącej np. zaczynu cementowego lub cementowo-bentonitowego) aż do uzyskania w podłożu po stwardnieniu trzech kolumn gruncocementowych. Metodą tą można wykonywać fundamentowanie, wzmocnienie podłoża gruntowego, ściany oporowe, pionowe przesłony filtracyjne, zabezpieczenie wykopów itp.

Technologia MIP jest opatentowana od 1992 r. i posiada aprobatę Instytutu Techniki Budowlanej w Berlinie od 2002 r.

Technologię MIP można stosować w gruntach niespoistych, także z przewarstwieniami z namulów i torfów, przy głębokościach odwiertów do 25 m. Technologia nie ma zastosowania w terenach skalistych i przy występowaniu gładów. Zaletą jest powstawanie minimalnych drgań podczas prac wiertniczych.

##### **3.2. Sprzęt**

Przy pracach technologią MIP stosuje się:

- a) gąsienicowe urządzenie wiertnicze (rys. 3.1), na którego prowadnicy umieszczone są, przymocowane obok siebie, trzy świdry ciągłe (rys. 3.2) o średnicy 370 mm, 550 mm lub 880 mm,
- b) stację mieszania (rys. 3.3), której zadaniem jest przepompowanie do wiertnicy mieszanki wiążącej grunt (np. zaczynu cementowego) po odpowiednim jej wymieszaniu i przygotowaniu.

##### **3.3. Materiały**

W zależności od rodzaju robót i gruntów stosuje się różne rodzaje mieszanek wiążących z odpowiednio dobranymi recepturami. W skład mieszanek wiążących zwykle wchodzi: cement, bentonit, woda oraz - w zależności od potrzeb - dodatkowe substancje zmieniające właściwości mieszanki.

Zwykle uzyskuje się następujące parametry mieszanek wiążących grunt, przy wykonywaniu:

- a) ściany oporowej - wytrzymałość na ściskanie  $5 \div 15$  MPa
- b) stabilizacji podłoża - wytrzymałość na ściskanie  $> 1,0$  MPa  
- współczynnik filtracji  $< 1 \times 10^{-8}$  m/s ( $> 1 \times 10^{-10}$  m/s).

### 3.4. Przebieg prac

Potrójny świder zostaje wkręcany w podłoże z równoczesnym doprowadzaniem mieszanki wiążącej, np. zaczynu cementowego lub cementowo-bentonitowego. Po osiągnięciu założonej w projekcie głębokości doprowadza się do wymieszania gruntu podłoża z mieszanką poprzez obustronny ruch rotacyjny pojedynczych świderów przy jednoczesnym unoszeniu i zagłębianiu prowadnicy wraz ze świdrami. Po stwardnieniu materiału podłoża powstają trzy obok siebie położone kolumny gruntocementowe o średnicy zależnej od wielkości świderów (np. 370 mm).

W zależności od rodzaju robót lokalizacja potrójnych kolumn może mieć charakter rozproszony, może tworzyć ściany i inne formy, zbliżone do układów kolumn przedstawionych na rysunku 1.1.

Zaletą trójkolumnowej technologii robót jest możliwość uzyskania bardzo szczelnej i jednolitej ściany oporowej skonstruowanej z jednego rzędu kolumn, w którym grunt został przemieszczany dwukrotnie. Schemat robót przy takiej ścianie obejmuje wykonanie (rys. 3.4):

1. pierwszych dwóch odcinków trójkolumnowych ściany, oddalonych od siebie,
2. środkowego brakującego odcinka kolejnymi trzema kolumnami,
3. dodatkowych trzech kolumn, wiążących odcinek środkowy i lewostronny,
4. dodatkowych trzech kolumn, wiążących odcinek środkowy i prawostronny,
5. nowego odcinka trójkolumnowego, oddalonego od poprzedniego odcinka ściany.

Efektom takiego wykonania jest ciągła ściana oporowa, bez spoin, z równomiernie wymieszanym gruntem we wszystkich elementach.

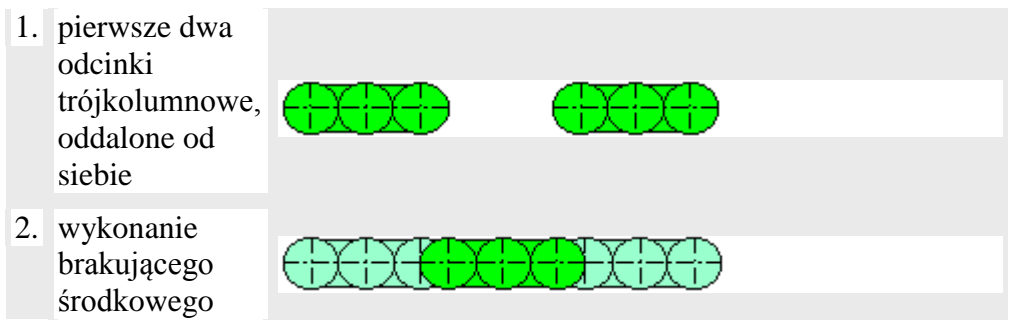
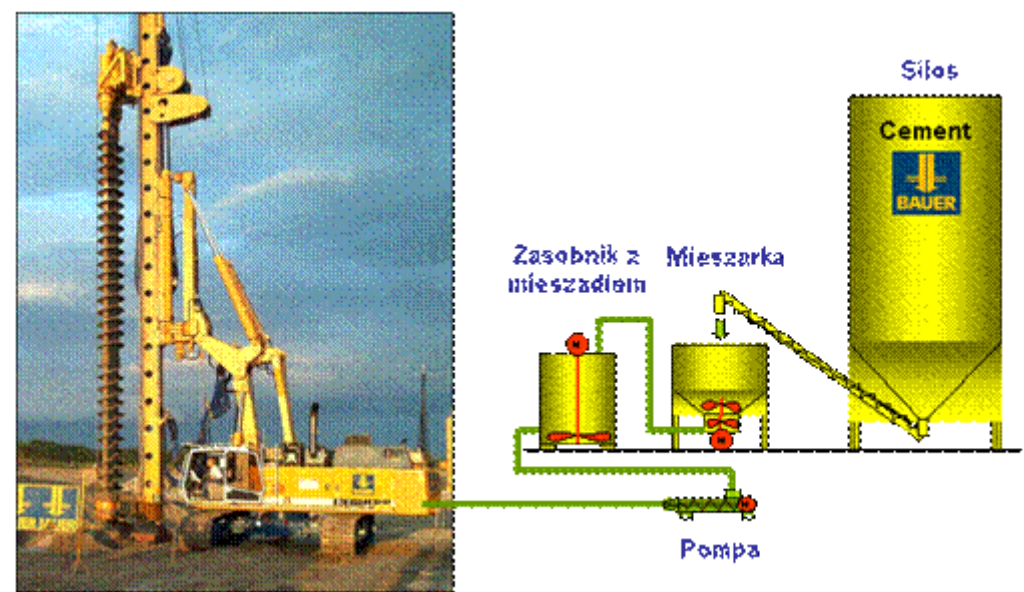
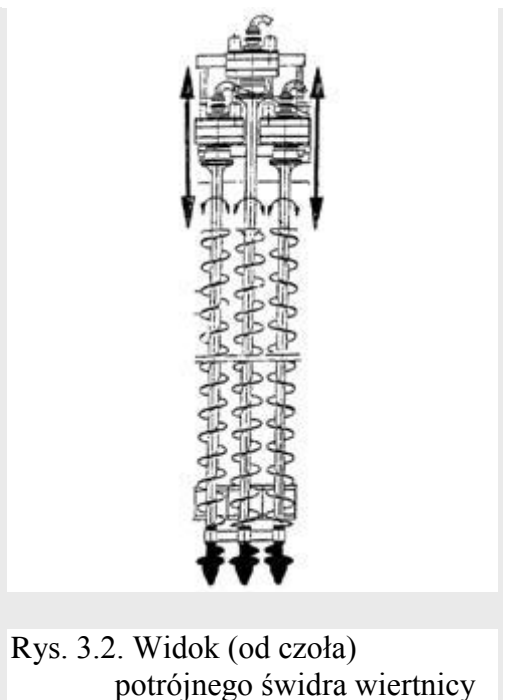
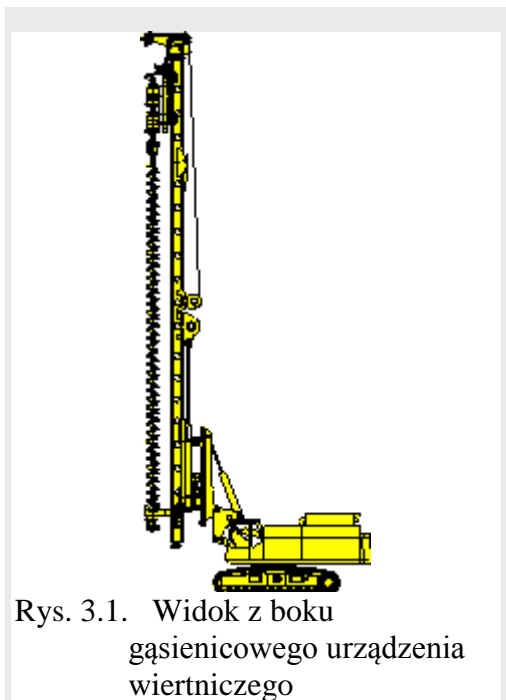
Konstrukcje liniowe z kolumn, w miarę potrzeby, można wzmacniać, wprowadzając w środek kolumn lub poza linię ściany dodatkowe elementy nośne, jak profile stalowe lub pale żelbetowe. Istnieje też możliwość zastosowania siatki zbrojeniowej, gwoździowania lub zakotwienia..

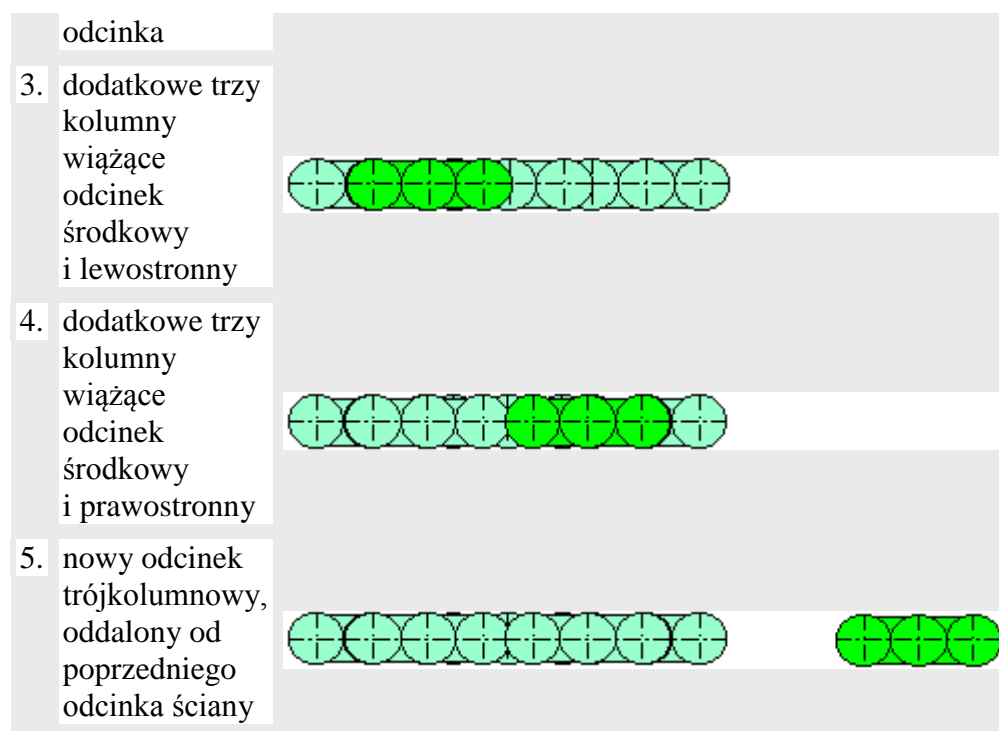
### 3.5. Kontrola jakości

Przed rozpoczęciem robót przeprowadza się badania laboratoryjne gruntu podłoża i wody gruntowej oraz określa się skład mieszanki wiążącej grunt i jej ilości do wprowadzenia w zależności od warunków gruntowych.

W czasie robót prowadzi się obserwacje:

- ☐ składu i gęstości mieszanki wiążącej grunt (np. zaczynu cementowego),
- ☐ ilości pompowanej mieszanki,
- ☐ czasu wwiercania i podciągania świderów,
- ☐ liczby obrotów silników napędzających świdry,
- ☐ przebiegu pracy świderów,
- ☐ daty i czasu wykonania pojedynczych odcinków trójkolumnowych,
- ☐ pionowego przebiegu prac.





Rys. 3.4. Kolejne etapy wykonania przesłony/ściany oporowej trójkolumnową technologią Mixed in Place