

WARUNKI TECHNICZNE WYKONYWANIA I ODBIORU ŚCIAN SZCZELINOWYCH I BARET

ZAŁĄCZNIK DO MONOGRAFII S-89 „ŚCIANY SZCZELINOWE I BARETY – KONSTRUKCJE I ZASTOSOWANIA”



WARUNKI TECHNICZNE WYKONYWANIA I ODBIORU ŚCIAN SZCZELINOWYCH I BARET

Wydanie III, zaktualizowane

(Załącznik do monografii S-89

„Ściany szczelinowe i barety – konstrukcje i zastosowania”)

Opracowali:

mgr inż. Krzysztof Grzegorzewicz

dr inż. Bolesław Kłosiński

mgr inż. Piotr Rychlewski

inż. Łukasz Górecki

Warszawa 2022

SPIS TREŚCI

WPROWADZENIE	4
1. WSTĘP	5
1.1. Przedmiot pracy	5
1.2. Określenia	5
2. KONSTRUKCJE FORMOWANE ZE ŚCIAN SZCZELINOWYCH	8
3. WYMAGANIA OGÓLNE.....	10
3.1. Badania podłoża.....	10
3.2. Dokumentacja techniczna	11
3.3. Kierownictwo i nadzór robót.....	13
3.4. Zgodność z dokumentacją.....	13
3.5. Inne wymagania	13
4. MATERIAŁY	14
4.1. Beton.....	14
4.2. Zbrojenie.....	15
4.3. Bentonit	16
4.4. Polimery	16
5. ROBOTY PRZYGOTOWAWCZE.....	16
5.1. Przygotowanie placu robót.....	16
5.2. Przygotowanie podłoża	17
6. WYKONANIE ŚCIAN SZCZELINOWYCH.....	18
6.1. Wytyczenie ścian szczelinowych	18
6.2. Zaplecze technologiczne	18
6.3. Wykonanie ścianek prowadzących	18
6.4. Ciecz stabilizująca	20

6.5. Głębianie szczeliny	26
6.6. Formowanie ściany.....	27
6.7. Konstruowanie barek	37
6.8. Tolerancje wymiarów ścian szczelinowych	38
6.9. Wodoszczelność i izolacje ścian szczelinowych	40
6.10. Odkopywanie ściany szczelinowej	41
6.11. Konstrukcje oporowe otwarte	42
6.12. Roboty wykończeniowe ścian szczelinowych	42
6.13. Odwodnienia wykopów.....	42
6.14. Przemieszczenia gruntu i odkształcenia budowli w sąsiedztwie wykopów.....	44
7. MONITOROWANIE	45
8. BADANIA	46
8.1. Opis badań.....	46
8.2. Ocena wyników badań i odbiór końcowy.....	50
9. NORMY ZWIĄZANE	52
10. PIŚMIENNICTWO	52
ZAŁĄCZNIK	
Metryka ściany szczelinowej	55

WPROWADZENIE

Kształtowanie konstrukcji i wykonawstwo ścian szczelinowych należy do specjalnych robót geotechnicznych, wymagających specjalistycznej wiedzy i doświadczenia. Wykonawstwo robót wymaga też wyszkolonych i wykwalifikowanych pracowników i nadzoru.

Ściany szczelinowe są obecnie powszechnie stosowane dzięki atrakcyjnej ofercie technicznej i ekonomicznej wykonawców, których wiedza i doświadczenie są na ogół na wysokim poziomie. Natomiast sztuka budowy ścian szczelinowych, ich cechy i ograniczenia nie wszędzie są znane. Niniejsza praca upowszechnia informacje pozwalające lepiej zrozumieć specyfikę wykonywania i użytkowania ścian szczelinowych

Opracowanie nawiązuje do „Warunków technicznych wykonywania ścian szczelinowych”, wydanych przez IBDiM w latach 1987 i 1992 [9]. Zasady zostały stworzone z wykorzystaniem bogatych doświadczeń krajowych i zagranicznych ostatniego dziesięciolecia oraz są dostosowane do potrzeb wszystkich uczestników procesu inwestycyjnego. Uwzględniono wymagania wynikające z normy PN-EN 1538 ustanowionej w 2002 roku oraz jej znowelizowanej wersji EN 1538 z 2015 r.

Praca nie odnosi się do ścian formowanych z prefabrykatów, cementogruntu i „zawiesiny zbrojonej” ani do użycia zawieszin twardniejących – rzadko stosowanych w kraju, ani do przegród przeciwfiltracyjnych formowanych w szczelinach, opisanych w innych pracach, np. [2, 8].

Zagadnienia konstruowania i specyfiki wykonywania ścian szczelinowych opisane są obszernie w monografii „Ściany szczelinowe i barety – konstrukcje i zastosowania” [6], której Załącznik stanowią niniejsze zaktualizowane wytyczne.

Wykonywanie ścian szczelinowych wymaga wiedzy specjalistycznego personelu i umiejętności doświadczonych wykonawców, czego nie zastąpią normy ani niniejsza praca.

1. WSTĘP

1.1. Przedmiot pracy

Przedmiotem pracy są zasady konstruowania oraz wymagania i badania kontrolne dotyczące wykonywania ścian szczelinowych i baret, stanowiących elementy konstrukcji budowlanych.

Zasady mają zastosowanie przy budowie betonowych ścian szczelinowych:

- tuneli komunikacyjnych,
- obudów głębokich wykopów,
- wielokondygnacyjnych garaży podziemnych,
- głębokich podziemi i szybów,
- konstrukcji oporowych,
- obiektów hydrotechnicznych,
- fundamentów budynków, podpór mostów i urządzeń przemysłowych.

1.2. Określenia

Ściana szczelinowa – ściana wykonana z żelbetu lub betonu, formowana w szczelinie wygłębionej w gruncie. Beton jest układany przez rurę wlewową (kontraktor), pod cieczą stabilizującą.

Bareta – element nośny w postaci krótkiego odcinka ściany szczelinowej, zwykle o przekroju owalnym lub prostokątnym, najczęściej głębiną pojedynczym rozwarciem chwytaka.

Ciecz stabilizująca – ciecz używana podczas głębinienia do zabezpieczania stateczności ścian szczeliny głębinionej w gruncie. Zwykle jest to zawiesina bentonitowa, rzadziej roztwór polimerowy lub zawiesina twardniejąca.

Zawiesina bentonitowa – mieszanina bentonitu lub innego przydatnego iłu z wodą oraz z dodatkami aktywującymi, wykazująca właściwości tiksotropowe, służąca do zapewnienia stateczności wykopu (szczeliny).

Zawiesina twardniejąca – zawiesina, która wiąże i twardnieje z upływem czasu. Jest to zawiesina zawierająca il (bentonit), cement lub inne spoiwo oraz dodatkowe materiały jak granulowany żużel wielkopiecowy lub popioły lotne, wypełniacze i domieszki, tężąca i twardniejąca zwykle po kilku dniach, osiągając docelową wytrzymałość od 0,3 do około 3 MPa.

Roztwór polimerowy – wodny roztwór polimeru wiertniczego, naturalnego lub syntetycznego, przydatny jako ciecz stabilizująca.

Ścianki prowadzące (potocznie też „murki prowadzące”) – ścianki wykonywane przed głębinieniem szczeliny, zapewniające stateczność jej górnej części i prowadzenie narzędzia głębiącego oraz umożliwiające zawieszenie szkieletu zbrojeniowego w szczelinie, jak również podciąganie i wyrywanie elementów rozdzielczych, a także wyznaczające docelowe usytuowanie ścian szczelinowych.

Szczelina – wąskoprzestrzenny wykop głębiniony z zapewnieniem stateczności ścian cieczą stabilizującą.

Zabior (chwyt) – odcinek szczeliny o długości równej rozwarciu szczęk chwytaka lub zasięgowi narzędzia skrawającego hydrofrezu. Rozróżnia się zabioły pierwotne i wtórne (głębione pomiędzy już wygłębionymi zabiorami lub otworami pierwotnymi).

Odcinek szczeliny – część szczeliny długości określonej w projekcie, wypełniona cieczą stabilizującą. W przypadku głębinienia chwytakiem odcinek obejmuje jeden lub kilka zabiorów, usytuowanych wzdłuż linii prostej lub załamanej.

Sekcja ściany szczelinowej – odcinek ściany szczelinowej betonowany jako jeden element. W zależności od kolejności wykonywania rozróżnia się sekcje pierwotne (prowadzące P) oraz wtórne (zamykające Z) głębane i betonowane pomiędzy sekcjami pierwotnymi lub kolejne (następujące N) głębane i betonowane jedna za drugą.

Wymiary sekcji (szczeliny lub ściany – rys. 1): długość – dłuższy wymiar poziomy sekcji; grubość nominalna – krótszy wymiar poziomy sekcji, równy największej szerokości narzędzia głębiącego; głębokość – pionowy wymiar sekcji.

Styk sekcji – pionowa powierzchnia oddzielająca sąsiednie sekcje.

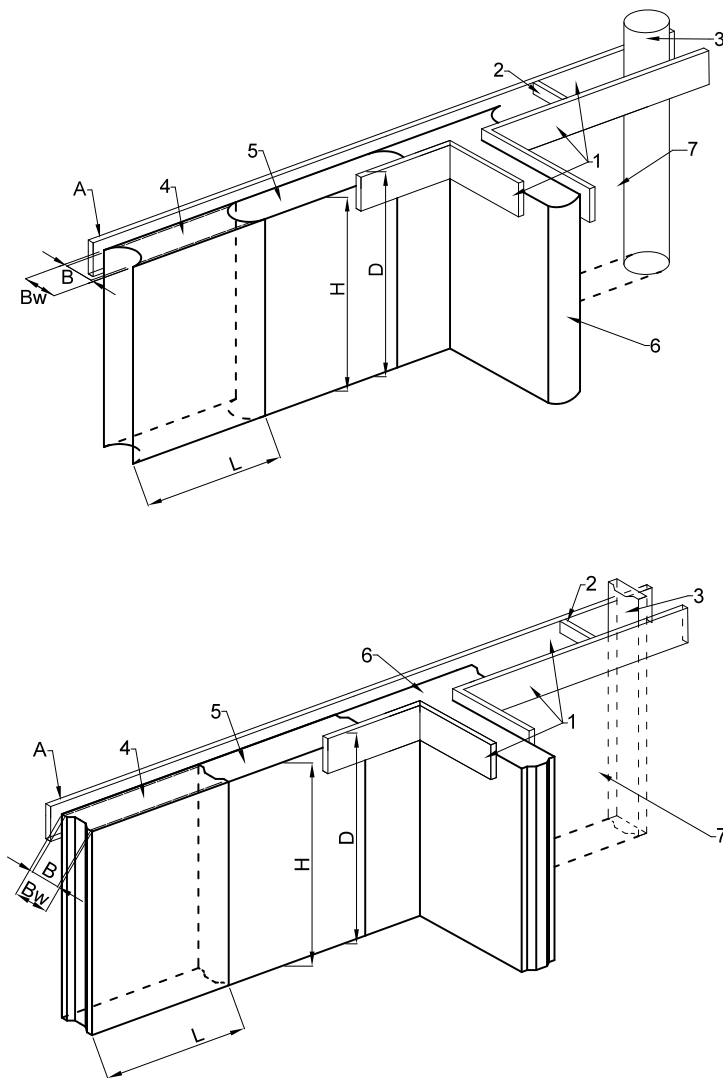
Element rozdzielczy (element stopendowy/stopend) – element (rura lub specjalny kształtownik albo prefabrykat) umieszczany w szczelinie przed betonowaniem, służący do uformowania styku sekcji ściany.

Szkielet zbrojeniowy – przestrzenny element zmontowanego i połączonego sztywno zbrojenia, wkładany do odcinka szczeliny przed betonowaniem; w sekcji może być jeden lub więcej elementów szkieletu zbrojeniowego, zwykle niepołączonych ze sobą.

Rura wlewowa (kontraktor) – rura składana z łączonych szczelnie odcinków, służąca do układania betonu w szczelinie wypełnionej cieczą stabilizującą.

Elementy dystansowe - elementy montowane do szkieletu zbrojeniowego, np. w formie walca betonowego o poziomej osi obrotu lub wygiętego siodłowo płaskownika, zapewniające wymaganą otulinę (odległość prętów szkieletu od ściany szczeliny).

Elementy konstrukcyjne i charakterystyczne wymiary ściany szczelinowej przedstawia rys. 1.



Rys. 1. Podstawowe elementy i wymiary ściany szczelinowej z elementami rozdzielczymi okrągłymi (u góry) i płaskimi (u dołu): 1 – ścianka prowadząca, 2 – rozparcie ścianek, 3 – element rozdzielczy, 4 – sekcja pierwotna, 5 – sekcja wtórna, 6 – sekcja teowa (z żebrzem), 7 – sekcja kolejna (niezabetonowana); A – rzędna wierzchu ścianek prowadzących, B – grubość nominalna ściany, Bw – szerokość wykopu szczeliny, L – długość sekcji = rozstaw osiowy elementów rozdzielczych, D – głębokość szczeliny, H – wysokość ściany

2. KONSTRUKCJE FORMOWANE ZE ŚCIAN SZCZELINOWYCH

Ściany szczelinowe są stosowane najczęściej jako żelbetowe konstrukcje oporowe lub fundamentowe, zwykle o grubości od 50 do 100 cm, a wyjątkowo od 40 do 150 cm i głębokości do 30 i więcej metrów. Z elementów ścian szczelinowych wykonuje się fundamenty, zwłaszcza tzw. baretę.

Ściany szczelinowe można wykonać niemal w każdych warunkach gruntowych. Wykonywane są bez wstrząsów i dużego hałasu. Są one stosowane głównie w konstrukcjach trwałych. Zastosowanie ich jako obudów wykopów i ścian oporowych znacznie ogranicza zakres robót ziemnych i zajęcia terenu, w porównaniu do budowy żelbetowych ścian oporowych w wykopach wąsko- lub szerokoprzestrzennych.

Szczeliny ścian głębione są z powierzchni terenu przy użyciu głębiarek z chwytakami żerdziowymi lub ciężkimi chwytakami linowymi. Przeszkody w gruncie powodują konieczność użycia dłuta lub innych specjalnych zabiegów, ale wydajność głębienia bardzo wówczas maleje. W przypadku dużych powierzchni i głębokości ścian, a także do głębienia w skałach stosowane są głębiarki z hydrofrezami, które zapewniają dużą wydajność i głębokość wiercenia (nawet ponad 100 m) oraz umożliwiają mechaniczne urabianie skał lub twardych gruntów. Jednak problemem jest powstająca duża objętość płuczki z urobkiem, znacznie większa niż przy głębieniu chwytakami, jak również rozbudowany zespół urządzeń do oczyszczania i regeneracji zawiesiny.

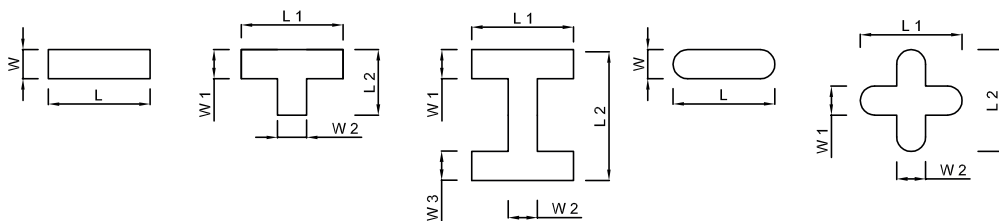
Ściany szczelinowe są wykonywane w dwóch fazach:

- głębienie w gruncie szczeliny o pionowych ścianach, z zabezpieczeniem stateczności ścian wykopu cieczą stabilizującą – najczęściej zawiesiną bentonitową;
- formowanie żelbetowej ściany; mieszanka betonowa układana jest w szczelinie przy użyciu rury wlewowej, tzn. metodą kontraktor.

Ściany formowane są z sekcji, zwykle długości od 2,8 do 9 m, wyjątkowo większe, jeśli to wynika z geometrii przebiegu ściany. Kolejną sekcję wykonuje się po związaniu betonu sekcji sąsiedniej, a w celu uzyskania dobrego połączenia sekcji płaszczyznom stykowym nadaje się odpowiedni kształt. Styków sekcji nie należy umieszczać w narożach ścian. Kształt ściany w planie może być złożony, składający się z odcinków prostych lub łamanych.

Jako elementy fundamentów stosuje się baretę – odcinki ściany szczelinowej grubości zwykle od 50 do 120 cm, długości od 1,5 do 5–6 m, wykonywane analogicznie do pali zgodnie z PN-EN 1536+A1:2015E, a także fundamenty złożone np. w kształcie liter T, L lub H albo krzyża (rys. 2). Kształt i wymiary przekroju baret są dostosowane do sprzętu używanego przez ich wykonawcę. Zgodnie z normą baretę mają przekrój po-

przecznym do 15 m^2 , grubość W nie mniejszą niż $0,4 \text{ m}$, stosunek największego do najmniejszego wymiaru przekroju nie większy od 6. Fundamenty takie przenoszą bardzo duże obciążenia pionowe. Mogą one też przenosić znaczne siły poziome, jeżeli mocne grunty występują niezbyt głęboko od powierzchni terenu. Zalecane są proste baret, o przekroju odpowiadającym kształtowi narzędzia głębiącego, łatwe i szybkie w wykonawstwie. Baret o złożonych kształtach są mniej efektywne od prostych z uwagi na nośność, trudności wykonania i dłuższy czas głębenia, co wpływa niekorzystnie na ich jakość. W przypadku potrzeby większej nośności korzystniej jest wykonać dwie proste baret niż jedną o złożonym kształcie.



Rys. 2. Przekroje baret – przykłady i wymiary: L - długość baret; W - grubość baret

Ściany szczelinowe prefabrykowane są formowane w szczelinach pod osłoną zawiesziny twardniejącej (bentonitowo-cementowej), która po wstawieniu prefabrykatu żelbetowego wiąże uzyskując wytrzymałość do około 3 MPa . Z zawiesziny twardniejącej można także formować jednofazowo przegrody przeciwnieprzepuszczalne oraz ściany zbrojone kształtownikami stalowymi.

Podstawowym dokumentem dotyczącym wykonywania ścian szczelinowych jest norma PN-EN 1538+A1:2015E. Norma określa zasady wykonywania oraz zagadnienia praktyczne, które należy uwzględnić w projekcie wykonawczym ścian trwałych lub tymczasowych.

Po uzyskaniu odpowiedniej wytrzymałości betonu, ściany mogą być jedno- lub obustronnie odkopane. Przy jednostronnym odkopaniu ściana stanowi konstrukcję oporową, służącą do zapewnienia stateczności gruntu lub przyległych budowli. Jeżeli trzeba wykonać głębszy wykop lub jeżeli naziem jest silnie obciążony, to ścianę należy podeprzeć rozporami poziomymi lub stropami konstrukcji, ukośnymi zastrzałami albo kotwami gruntowymi, z buławami wyprowadzonymi poza klin odłamu wywołujący parcie na ścianę. Zastosowanie kilku poziomów podparć umożliwia wykonanie pod osłoną ściany wykopu do głębokości ponad 20 m . Bez podpierania mogą być również wykonywane wysokie konstrukcje oporowe ze ścian o złożonym przekroju (teowych, skrzyniowych) oraz cylindryczne studnie lub szyby.

Zależnie od grubości ściany i jej zbrojenia ściany mogą pracować jako wspornik: grubości $60\text{--}80 \text{ cm}$ o wysokości do około $4\text{--}6 \text{ m}$, grubości $100\text{--}120 \text{ cm}$ o wysokości do około 8 m , teowe (z zębem $3\text{--}6 \text{ m}$) o wysokości do $10\text{--}15 \text{ m}$, skrzyniowe – ponad 20 m . Rozpiętości przęseł pomiędzy podparciami (rozporami, kotwami, stropami)

typowych ścian grubości 60–80 cm mogą wynosić od 6–7 m (przez dwie pierwsze kondygnacje podziemia) do 4–5 m przy dnie wykopu.

Dzięki łatwości kształtowania elementów oraz zdolności przenoszenia dużych, skoncentrowanych obciążeń pionowych i poziomych ściany szczelinowe są szeroko stosowane do wzmacniania i zabezpieczania fundamentów np. budynków lub podpór mostowych.

Wykonawstwo wykopów w obudowie ze ścian szczelinowych jest szczegółowo opisane np. w pracach [4, 20].

3. WYMAGANIA OGÓLNE

3.1. Badania podłoża

Badania geotechniczne do projektu i wykonania ścian szczelinowych należy wykonać zgodnie z ogólnymi zasadami, podanymi w normie PN-EN 1997 lub np. w instrukcjach GDDP (1998) [7], PKP PLK 2016 [25] oraz GDDKiA 2019 [26]. Wszystkie informacje z badań geotechnicznych powinny być udostępnione wykonawcy ścian szczelinowych przed zawarciem kontraktu.

Program badań powinien zostać zatwierdzony przez projektanta. Dokumentacja powinna zawierać przekroje geotechniczne wzdłuż projektowanych ścian szczelinowych oraz podawać szczegółowy opis gruntów i ich parametry. Szczególną uwagę należy zwrócić na następujące zagadnienia związane z wykonywaniem ścian szczelinowych:

- warunki gruntowo-wodne, w tym wszystkie poziomy piezometryczne wód i przepuszczalność gruntów,
- występowanie silnie przepuszczalnych gruntów gruboziarnistych albo pustek (naturalnych lub sztucznych), które mogą spowodować nagłą ucieczkę cieczy stabilizującej i obwał szczeliny; może to wymagać specjalnych środków zaradczych,
- obecność, wytrzymałość i odkształcalność słabych gruntów, takich jak miękkoplastyczne grunty spoiste lub torfy, które mogą powodować trudności w czasie głębienia szczeliny (odkształcenia lub utratę stateczności),
- obecność głazów lub przeszkód, które mogą powodować trudności w czasie głębienia oraz w miarę możliwości na ocenę ich rozmiarów i częstotliwości wy-

stępowania; ponieważ w przypadku obecności przeszkód należy zwiększyć tolerancje odchyłeń wymiarowych ścian oraz liczyć się z pogorszeniem ich jakości,

- występowanie, położenie, wytrzymałość i twardość skały lub innych twardych materiałów, które mogą powodować trudności w czasie głębenia oraz mogą wymagać użycia specjalnych narzędzi,
- szkodliwe właściwości chemiczne wody gruntowej, gruntu i skały, a także gdy potrzeba – na temperaturę wody,
- szkodliwe właściwości chemiczne zalegających materiałów odpadowych,
- obecność gruntów poddanych wcześniejszym zabiegom (np. chemicznym, iniekcji, zeskaleniu), które mogą powodować negatywne skutki w czasie głębenia.

Poziomy piezometryczne różnych warstw wodonośnych na terenie robót należy monitorować oddzielnie, przez odpowiednio długi okres, aby ocenić najwyższe poziomy piezometryczne, jakie mogą wystąpić podczas budowy ścian szczelinowych i użytkowania obiektu. Szczególną uwagę należy zwrócić na wody ze zwierciadłem napiętym.

W dokumentacji należy przeanalizować skutki podpiętrzenia wód gruntowych spowodowane przegrodzeniem przez ściany naturalnych dróg filtracji wody w podłożu.

Parametry wytrzymałościowe i odkształceniowe gruntów i skał należy wyznaczać na podstawie badań laboratoryjnych i/lub in situ na pełnej głębokości ściany szczelinowej oraz około 5 m poniżej jej spodu, w zależności od rodzaju gruntu i przeznaczenia ściany. Wartości parametrów powinny uwzględniać spodziewane wielkości odkształceń jednostkowych gruntu.

Jeżeli wymaga się, by ściana szczelinowa sięgała do skały lub była w nią zagłębiona, to poziom powierzchni skały należy określić w kierunku podłużnym i poprzecznym, na długości ściany szczelinowej. Należy również wyznaczyć właściwości skały, w tym jej twardość oraz stan zwiętrzenia i stopień spękania.

3.2. Dokumentacja techniczna

Dokumentacja techniczna, na podstawie której wykonuje się ściany szczelinowe, powinna zawierać:

- a. plan urządzeń i instalacji podziemnych w miejscu budowy ścian, dostępne informacje o istniejących fundamentach lub innych przeszkodach oraz, w razie potrzeby, wymagania dotyczące zabezpieczeń i sprawdzania w czasie robót rzeczywistego położenia urządzeń;

- b. dokumentację badań podłoża, podającą budowę geologiczną, parametry geotechniczne warstw gruntu, poziomy występowania i poziomy piezometryczne wód gruntowych, dane o przepuszczalności warstw oraz o składzie chemicznym wód i agresywności środowiska, informacje o przewidywanych przeszkodach w podłożu (np. głazy) i o naturalnych lub sztucznych pustkach w podłożu, mogących stanowić drogę ucieczki zawiesiny; jeśli wymaga się, aby ściana była zagłębiona w skałę lub grunty spoiste odcinające dopływ wody, to należy określić poziom występowania tych warstw wzdłuż ściany;
- c. ekspertyzę lub opis obiektów budowlanych istniejących i projektowanych w sąsiedztwie ściany (w pasie o szerokości nie mniejszej od głębokości szczeliny i od dwukrotnej głębokości wykopu), z podaniem danych o ich fundamentach, głębokości posadowienia, pomieszczeniach podziemnych, konstrukcji i stanie technicznym obiektów, elementach mogących stanowić utrudnienie lub zagrożenie wykonawstwa ścian;
- d. wymagania dotyczące odwodnienia wykopu oraz zakotwień lub rozparć ściany szczelinowej w fazie jej odkopywania oraz docelowej;
- e. projekt wykonawczy konstrukcji ścian szczelinowych określający: usytuowanie, wymiary i rzędne ścian, podział na sekcje, konstrukcję zbrojenia sekcji i sposób jego montażu, usytuowanie elementów łączących (marek), otworów lub wnęk w ścianie, kotew gruntowych; konstrukcję styków i kolejność formowania sekcji, konstrukcję ścianek prowadzących; ewentualne wymagania specjalne dotyczące zawiesiny i betonu; tolerancje wymiarowe oraz wymagania specjalne wymienione w p. 6.8 i 6.9; projekt konstrukcji powinien być dostosowany do sprzętu wykonawcy robót, w szczególności do rodzaju, kształtu i wymiarów narzędzia głębiącego;
- f. na życzenie zamawiającego – dodatkowo dokumentację technologiczną, określającą: sposób wykonania ścian i recepturę mieszanki betonowej; zabezpieczenia w warunkach szczególnych zagrożeń (np. uszczelnianie podłoża, wymianę gruntu, zastrzyki), wymagania dotyczące obniżenia poziomu wód gruntowych, a także wymagania BHP.

Dokumentacja technologiczna powinna być opracowywana przez specjalistyczne przedsiębiorstwo wykonujące ściany szczelinowe albo przez nie uzgodniona.

Projekt obiektu powinien zawierać program monitorowania przemieszczeń ścian szczelinowych oraz sąsiadujących obiektów i instalacji.

3.3. Kierownictwo i nadzór robót

W czasie robót należy zapewnić dozór techniczny ze strony wykonawcy i nadzór ze strony zamawiającego. Niezbędna jest obecność odpowiedzialnego kierownika robót lub jego kompetentnego zastępcy. Przebieg robót powinien być bieżąco dokumentowany w dzienniku budowy oraz w metrykach sekcji ściany szczelinowej (przykład w Załączniku).

Nadzór robót ze strony zamawiającego powinien przystąpić do odbioru szczeliny bezpośrednio po wygłębieniu i podjąć decyzję o betonowaniu. W przypadku braku decyzji należy kontynuować wykonywanie ściany, ponieważ zwłoka na tym etapie negatywnie wpływa na jakość ściany.

Betonowanie sekcji powinno być kierowane przez przeszkolonego pracownika, którego nazwisko umieszcza się w metryce sekcji.

3.4. Zgodność z dokumentacją

Ściany szczelinowe należy wykonywać zgodnie z wymaganiami projektu. W przypadku stwierdzenia niezgodności warunków geotechnicznych z podanymi w dokumentacji lub w przypadku innych nieprzewidzianych okoliczności należy powiadomić projektanta oraz przeanalizować potrzebę odpowiednich zmian konstrukcji i sposobu wykonania robót.

Skutki usterek ścian zagrażających bezpieczeństwu budowli należy usuwać na podstawie dodatkowego programu naprawczego lub projektu wzmocnienia konstrukcji. W sytuacjach wymagających niezwłocznych działań decyzje podejmuje kierujący robotami, w razie potrzeby w porozumieniu z projektantem.

3.5. Inne wymagania

W kwestiach nieokreślonych w projekcie i specyfikacjach oraz normie PN-EN 1538 należy przestrzegać wymagań dla robót ogólnobudowlanych oraz norm, przepisów BHP i innych dokumentów dla odpowiednich rodzajów robót.

Nie można lekceważyć bezpieczeństwa robót związanych z budową ścian szczelinowych i podziemi. Główne zagrożenia to ruch ciężkich maszyn, operowanie wielko-

gabarytowymi szkieletami zbrojeniowymi, wstawianie, a po betonowaniu wyciąganie elementów rozdzielczych oraz miejsca robót zanieczyszczone urobkiem i zawieszoną bentonitową.

Należy dbać o ograniczenie szkodliwości robót dla otaczającego środowiska oraz uciążliwości dla okolicznych mieszkańców, aby uniknąć ich protestów i działań wstrzymujących budowę.

4. MATERIAŁY

4.1. Beton

Cement, kruszywo i woda oraz dodatki do betonu powinny odpowiadać wymaganiom PN-EN 206:2013, w szczególności Załącznika D, oraz PN-B-06265 (uzupełnienia krajowego do tej normy) odpowiednio do agresywności środowiska i klasy ekspozycji betonu oraz technologii wykonania. Przy wyborze rodzaju cementu należy uwzględnić agresywność gruntu i wody gruntowej. Korzystne jest użycie cementów z dodatkiem typu II (m.in. popiołów lotnych), gdyż poprawia to urabialność mieszanki, spowalnia wiązanie, redukuje ilość ciepła wytwarzanego podczas wiązania, poprawia trwałość i zmniejsza prędkość odsączania wody z mieszanki betonowej. Większość cementów zalecanych do stosowania w Załączniku D normy PN-EN 206 zawiera już w swoim składzie dodatki popiołów, żużli itp., lecz ich zawartość może być bardzo różna. Zalecane jest użycie CEM I z dodatkiem określonej w recepturze ilości kwalifikowanych popiołów, co zapewnia kontrolowaną ich zawartość, spełniającą warunek ograniczenia ich masy. Sam cement CEM I może nadmiernie przyspieszać wiązanie i powodować pogorszenie jakości ścian. Kontrolowana stała zawartość popiołów w mieszance powoduje, że jej cechy technologiczne są stabilne.

W przypadkach uzasadnionych np. agresywnością środowiska gruntowego można użyć odpowiednio dobrany cement CEM III. W środowiskach agresywnych siarczanowo w stopniu średnim lub silnym należy stosować cement specjalny o wysokiej odporności na siarczany HSR.

Należy używać kruszywa o ziarnach naturalnie ukształtowanych, spełniającego wymagania dotyczące cech fizycznych i chemicznych dla kruszywa marki 30. Największe ziarna kruszywa do betonu ścian zbrojonych powinny przechodzić przez sito o średnicy 31,5 mm. Norma PN-EN 206:2013 w Załączniku D zaleca wagową zawartość frakcji piaskowej w kruszywie ponad 40% oraz zawartość frakcji pyłowych (z ce-

mentem i innymi drobnymi materiałami) w mieszance w granicach od 400 kg/m³ do 550 kg/m³. Frakcje te obejmują cząstki o wymiarach od 2 µm do 63 µm, łącznie z cząstkami cementu i innych materiałów drobnoziarnistych.

Norma PN-EN 206 w Załączniku D w tablicy D.2 zawiera wymaganie, by w betonie do ścian szczelinowych zawartość cementu przy maksymalnej średnicy ziaren 16 mm wynosiła co najmniej 400 kg/m³. Warunek ten wynika z potrzeb technologicznych. Dostateczna zawartość frakcji drobnych $D \leq 0,125$ mm jest niezbędna, by zapewnić właściwy przepływ mieszanki układanej podwodnie lub w zawieszynie. Zadanie to spełnia nie tylko cement, lecz także inne składniki, jak popioły lotne lub inne dodatki. Dlatego w normie PN-EN 206 zalecono, by część cementu zastąpić popiołami lotnymi albo pyłem krzemionkowym. W przypadku zastosowania cementu CEM I maksymalna uwzględniana ilość popiołu lotnego powinna być nie większa niż 0,33 masy cementu.

Do wykonywania ścian szczelinowych zalecana jest klasa wytrzymałości betonu co najmniej C25/30, a w uzasadnionych przypadkach nie większa niż C30/37.

Wymaganie sprawdzenia nasiąkliwości i mrozoodporności pochodzące z wycofanej normy betonowej PN-88/B-06250 należy uznać za zbędne. Dążenie do ich spełnienia prowadzi do uzyskania betonów nieprzydatnych technologicznie. W typowych ścianach zagłębionych w gruncie wystarczające jest wymaganie spełnienia warunku głębokości penetracji wody do 50 mm oraz stopnia wodoszczelności W8.

W odniesieniu do betonu ścian szczelinowych i baret w obiektach mostowych i tunelach komunikacyjnych należy stosować zasady podane w rozporządzeniu [18] z 2019 r., w którym zostały usunięte nieuzasadnione wymagania stawiane betonom do konstrukcji mostowych, jakie były zawarte w dawnej wersji rozporządzenia z 2000 r.

4.2. Zbrojenie

Do zbrojenia konstrukcyjnego ścian najczęściej są obecnie stosowane stale żebrowane klas A III i A IIIN, w szczególności różne odmiany stali RB500, spełniające wymagania określone w PN-EN 1992-1-1:2006. Zaleca się stosować stal o zwiększonej ciągliwości. Jako zbrojenie pomocnicze mogą być użyte niższe klasy stali. Haki montażowe, zwłaszcza ciężkich szkieletów, powinny być ze stali gładkiej, gdyż zdarzają się wypadki pękania haków ze stali żebrowanej. Stosowane stale powinny być przydatne do łączenia prętów przez spawanie lub zgrzewanie.

W szczególnych warunkach bywa stosowane zbrojenie prętami i strzemionami z włókna szklanego, zatopionego w masie z żywicy poliestrowej, opisane w punkcie 6.6.2.

4.3. Bentonit

Należy stosować bentonit sproszkowany, przeznaczony do robót fundamentowych lub wiertnictwa. Dostarczany bentonit powinien posiadać atest określający jego skład i podstawowe właściwości. Nie dopuszcza się mieszania bentonitów różnych gatunków lub od różnych producentów. Składowany bentonit należy chronić przed zawilgoceniem.

Bentonity są często modyfikowane dodatkiem polimerów poprawiających właściwości zawiesiny.

4.4. Polimery

Polimery są to substancje chemiczne o bardzo dużej masie cząsteczkowej, złożone z wielokrotnie powtórzonych składników zwanych merami, które tworzą elastyczne łańcuchy.

Dostępne na rynku polimery, oznaczone jako przeznaczone do wytwarzania cieczy stabilizujących do głębokich wierceń geologicznych, studziennych i przewiertów poziomych, są dostarczane w postaci proszku lub cieczy. Są one zwykle wzbogacane różnymi dodatkami. Utrudnieniem jest to, że pod nazwą polimery oferowane są materiały o zróżnicowanym składzie chemicznym i przeznaczeniu, a zatem i właściwościach nie zawsze odpowiednich jako składniki roztworów polimerowych stabilizujących szczeliny. Specjalną odmianą są polimery biodegradowalne, ulegające w krótkim czasie rozkładowi przez bakterie. Wyczerpujące informacje o właściwościach i stosowaniu zawieszin polimerowych zawiera monografia [6].

5. ROBOTY PRZYGOTOWAWCZE

5.1. Przygotowanie placu robót

Przed rozpoczęciem robót teren należy wyrównać, usunąć przeszkody i kolizje oraz wykonać wymagane w dokumentacji zabezpieczenia. Likwidowane lub wykryte podczas wstępnych wykopów przewody lub dreny powinny zostać uszczelnione w sposób uniemożliwiający wpływ przez nie cieczy stabilizującej.

Na powierzchni gruntu należy wykonać platformę roboczą. W razie potrzeby powierzchnię należy umocnić w celu zapewnienia stabilnego ustawienia głębiarki oraz umożliwienia dojazdu środków transportowych. Zalecane jest, by platforma była co najmniej 1,5 m ponad najwyższym poziomem wód gruntowych, przewidywanym w czasie robót. Powierzchnię terenu należy tak ukształtować, aby do szczeliny nie spływała woda opadowa oraz woda pochodząca z mycia narzędzi i sprzętu.

W ramach prac przygotowawczych należy przeprowadzić pomiary stanów początkowych elementów określonych w programie monitorowania. W przypadkach przewidzianych w projekcie należy wzmocnić albo zabezpieczyć obiekty znajdujące się w bezpośrednim sąsiedztwie robót. Elewacje budowli, chodnik i jezdnię przylegające do głębionych szczelin zaleca się zabezpieczyć przed zanieczyszczeniem zawiesziną lub betonem.

Wyjazd z budowy należy wyposażyć w myjnię kół i podwozi samochodów obsługujących budowę. Na ulicy w sąsiedztwie budowy należy ustawić zgodnie z projektem organizacji ruchu oznakowania, a w trakcie robót utrzymywać czystość nawierzchni. Wskazane jest wyznaczenie pracownika czuwającego nad czystością nawierzchni, a w miarę potrzeby też ułatwiającego włączenie się do ruchu ulicznego pojazdom wyjeżdżającym z budowy.

5.2. Przygotowanie podłoża

W przypadku występowania w podłożu gruntów o bardzo dużej przepuszczalności lub intensywnego przepływu wód gruntowych, w celu zapewnienia stateczności szczelin może być niezbędne uszczelnienie podłoża, np. przez wykonanie zastrzyków. W razie występowania przy powierzchni podłoża szczególnie słabych gruntów (niekonsolidowanych torfów, namulów lub gruntów spoistych o konsystencji zbliżonej do płynnej), może być konieczna wymiana tych gruntów na nasyp budowlany o kontrolowanym składzie i zagęszczeniu albo też ich wzmocnienie inną metodą. W miejscach wykonywania ściany szczelinowej usunięty fragment starej budowli lub słaby grunt należy zastąpić piaskiem stabilizowanym cementem.

6. WYKONANIE ŚCIAN SZCZELINOWYCH

6.1. Wytyczenie ścian szczelinowych

Tyżenie położenia ścian powierza się specjalistycznemu zespołowi geodezyjnemu, w nawiązaniu do siatki lub położenia osi głównych i reperów przekazanych przez zamawiającego.

Ścianki prowadzące należy wytyczyć z dużą dokładnością. Od wyznaczenia ich kształtu w pionie i planie zależy dokładność usytuowania lica ściany szczelinowej oraz właściwe umieszczenie szkieletu zbrojeniowego i elementów wyposażenia technologicznego, w szczególności usytuowanie wnęk do połączenia ściany z płytą denną i stropami podziemia, marek stalowych do rozpór lub uzbrojenia pod głowice kotew gruntowych.

6.2. Zaplecze technologiczne

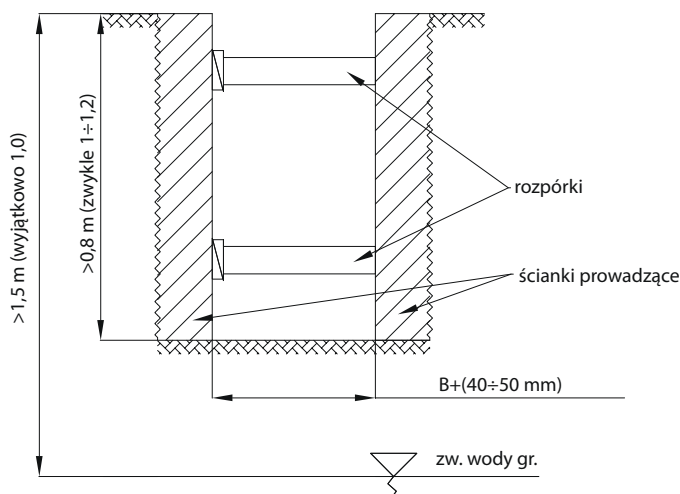
Lokalizację wytwórni zawiesziny lub cieczy stabilizującej należy dostosować do możliwości terenowych i programowanej kolejności robót. Przemieszczanie wytwórni, a szczególnie jej zbiorników jest kłopotliwe i wymaga przerywania robót.

W pobliżu miejsca głębinienia szczeliny nie należy składować materiałów ani ustawiać sprzętu innego niż konieczny do bezpośredniego użycia.

6.3. Wykonanie ścianek prowadzących

Kształt i wymiary ścianek prowadzących powinny być dostosowane do warunków wodno-gruntowych, przeznaczenia i rozmiarów ściany szczelinowej, obciążeń bocznych oraz innych czynników (rys. 3). Zagłębienie ścianek przyjmuje się w granicach 0,8–1,5 m, w zależności od przewidywanych wahań zwierciadła zawiesziny, warunków stateczności oraz głębokości spodziewanego położenia w gruncie uzbrojenia terenu lub innych przeszkód.

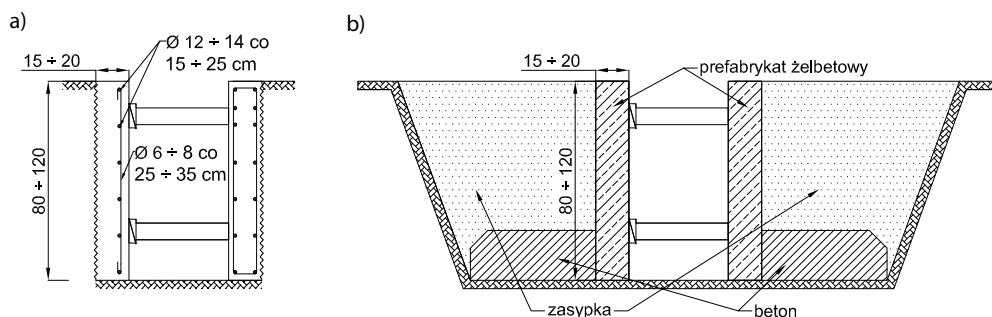
Wierzch ścianek przyjmuje się zgodnie z projektem technologii, zwykle nie mniej niż 0,25 m powyżej projektowanej rzędnej wyrównanego wierzchu ściany szczelinowej, w celu umożliwienia ułożenia betonu z nadmiarem, który później zostanie usunięty zgodnie z p. 6.6.4.



Rys. 3. Wymagane wymiary ścianek prowadzących

Odstęp w świetle ścianek prowadzących powinien być większy o 40 do 50 mm od nominalnej grubości ściany. Powierzchnie wewnętrzne ścianek powinny być pionowe. Górna powierzchnia ścianek powinna być pozioma i wyrównana, ściśle na wymaganej rzędnej, którą sprawdza się niwelatorem. W przypadku potrzeby zmiany poziomu należy uzyskiwać to uskokami w miejscach styków sekcji. Na ściankach prowadzących oznacza się początek i koniec sekcji oraz położenie elementu rozdzielczego.

Ścianki należy wykonywać z betonu co najmniej klasy C12/15. Kształt, konstrukcja i zbrojenie ścianek powinny uwzględniać możliwość łatwej ich rozbiórki po wykorzystaniu.


Rys. 4. Przykłady przekrojów ścianek prowadzących
a – formowane na miejscu, b – prefabrykowane

Zbrojenie podłużne ścianek powinno być ciągłe, zapewniające współdziałanie ścianek na odcinku głębionym z sąsiednimi odcinkami. Przekrój zbrojenia projektuje się odpowiednio do przewidywanych obciążeń. W ściankach prefabrykowanych stosowane jest zbrojenie w osi ścianki lub przy obu powierzchniach bocznych, zaś w ściankach kątowych – zwykle tylko w osi ścianki. Typowe ilości zbrojenia wynoszą: podłużne

Ø12–14 mm co 150–250 mm, pionowe Ø6–8 mm co 250–330 mm. Ponieważ ścianki prowadzące są elementami tymczasowymi, wykonawca ma możliwość dostosowania ich do warunków budowy. Zbrojenie ich może być mniejsze od minimalnego, wymaganego w konstrukcjach żelbetowych. Zaleca się wykonanie zaczepów służących do chwytania rozbieranych odcinków ścianek.

Zaleca się stosowanie ścianek formowanych bezpośrednio w wykopie, deskowanych tylko od strony szczeliny (rys. 4a) lub ścianek prefabrykowanych (rys. 4b). Typowe wymiary ścianek wynoszą: grubość 15–25 cm, wysokość 0,8–1,2 m. Podstawa ścianki powinna być wylewana lub ustawiana na przygotowanym podłożu. Nadmierne wygłębienia, jak również inne wykopy (np. po przełożeniu uzbrojenia terenu) należy zapierać betonem klasy C8/10 lub gruntem stabilizowanym. Zasyпка ścianek powinna być dobrze zagęszczona.

Przestrzeń pomiędzy wykonanymi ściankami prowadzącymi należy do czasu głębienia w tym rejonie szczeliny zapierać gruntem lub rozpiierać poza głębionym w danym momencie odcinkiem szczeliny.

W przypadku ścian szczelinowych niezbrojonych lub krótkich odcinków ścian (np. baret) w sprzyjających warunkach gruntowych (mocne grunty rodzime, woda gruntowa co najmniej 2 m poniżej powierzchni terenu) można nie wykonywać ścianek prowadzących, zastępując je szablonymi metalowymi, prefabrykatami betonowymi, elementami drewnianymi itp., zabezpieczającymi krawędź szczeliny.

6.4. Ciecz stabilizująca

6.4.1. Zawiesina bentonitowa

6.4.1.1. Właściwości zawiesin stabilizujących

Do zapewnienia stateczności szczelin najczęściej jest stosowana zawiesina bentonitowa (bentonit jest szczególnym rodzajem iłu o zdolności wiązania bardzo dużej ilości wody). Zawiesina ta odznacza się właściwościami tiksotropowymi, to znaczy, że w stanie spokoju stabilizuje się tworząc żel o pewnej wytrzymałości na ścinanie, a zmieszana np. narzędziem głębiarki – upływnia się. Zawiesina zapewnia stateczność szczeliny w wyniku działania sił utrzymujących na ściany wykopu: parcia hydrostatycznego oraz zjawisk fizycznych na styku z gruntem. W gruntach drobnoziarnistych efekt stabilizacji jest uzyskiwany dzięki formowaniu się osadu filtracyjnego. W gruntach gruboziarnistych efekt ten wynika z żelowania zawiesiny wnika-jącej w pory gruntu. W przypadku zastosowania roztworów polimerowych efekt stabilizujący wynika z ciśnienia spływowego cieczy przenikającej w grunt. Głębokość wnikan-ia zawiesiny jest mała w glinach i iłach, większa w gruntach piaszczy-

stych i pylastych. Trudności mogą występować w bardzo przepuszczalnych żwirach i szczelinowatych skałach.

Podstawowe czynniki wpływające na stateczność, na które można mieć wpływ podczas głębenia, to właściwości i poziom zawiesiny, długość sekcji oraz czas przez jaki szczelina pozostaje niezabetonowana, w zależności od poziomu wody gruntowej i rodzaju gruntów (ewentualne zmniejszenie wytrzymałości gruntu na ścinanie z upływem czasu). Na stateczność szczeliny mogą wpływać: rodzaj sprzętu i sposób głębenia, a w szczególności stosowanie dłutowania lub materiałów wybuchowych.

Poziom zawiesiny powinien być utrzymywany co najmniej 1 m powyżej najwyższego poziomu piezometrycznego wody. W przypadku gruntów bardzo miękkich może być konieczne podwyższenie poziomu cieczy stabilizującej i/lub zwiększenie jej gęstości podczas głębenia oraz ograniczenie czasu, przez który szczelina pozostaje niezabetonowana; ewentualnie zmniejszenie długości sekcji do jednego zabioru. W przypadku gruntów gruboziarnistych bardzo przepuszczalnych lub gdy w gruncie są pustki może wystąpić ucieczka cieczy stabilizującej i w związku z tym należy przewidzieć zabiegi specjalne, np. większą wytrzymałość strukturalną cieczy przez zwiększenie zawartości bentonitu, wykonanie w takich warstwach iniekcji przed głębeniem szczeliny.

Do przygotowania zawiesiny, jej składowania oraz do usuwania zwiercin z zawiesiny wypływającej z głębionej szczeliny potrzebne są na budowie dość duże urządzenia, wymagające sporo miejsca. Oczyszczanie zawiesiny jest konieczne, gdyż cząstki zwiercanego gruntu zwiększają jej gęstość i lepkość, co powoduje trudności wypierania jej przez mieszkankę betonową i prawidłowego zabetonowania.

6.4.1.2. Przygotowanie zawiesiny

Zawiesinę wykonuje się na podstawie receptury zweryfikowanej w warunkach budowy, uwzględniającej wymagania projektu konstrukcyjnego, warunki gruntowe, poziom wody w gruncie, obciążenia naziomu i inne. Recepturę należy ustalić dla bentonitu i wody stosowanej na budowie. Recepturę należy aktualizować dla każdej partii bentonitu.

Zawiesinę przygotowuje się z naturalnego bentonitu sodowego lub najczęściej z bentonitu wapniowego aktywowanego dodatkami chemicznymi. W przypadku potrzeby zwiększenia gęstości zawiesiny można stosować odpowiednie dodatki dociążające. Właściwości bentonitu powinny być jednorodne w kolejnych partiach i zgodne z certyfikatem lub świadectwem dostawcy. Należy to okresowo sprawdzać na budowie.

Proszek bentonitowy powinien być dokładnie wymieszany z czystą wodą. Zaleca się przygotowanie zawiesiny co najmniej na 24 godziny przed jej użyciem w celu właściwego uwodnienia cząstek bentonitu. Należy zapewnić ilość zawiesiny przekraczającą teoretyczną objętość szczeliny średnio o 50%, a w gruntach silnie przepuszczalnych o 100%.

6.4.1.3. Wymagane właściwości zawiesiny

Jeśli projekt nie zawiera specjalnych wymagań, to właściwości zawiesiny roboczej wlewanej do szczeliny powinny spełniać wymagania PN-EN 1538:2015-08 podane w tablicy 1.

TABLICA 1. Właściwości zawiesin bentonitowych wg PN-EN 1538:2015-08

Właściwości	Zawiesina		
	świeżo przygotowana	do ponownego użycia	przy dnie szczeliny przed betonowaniem
gęstość w g/ml	< 1,10	< 1,25	< 1,15
lepkość wg Marsha w s	od 32 do 50	od 32 do 60	od 32 do 50
objętość filtratu w ml	< 30	< 50	brak wymagań
odczyn pH	od 7 do 11	od 7 do 12	brak wymagań
zawartość piasku w % objętości	brak wymagań	brak wymagań	< 4
osad filtracyjny w mm	< 3	< 6	brak wymagań

W szczególnych warunkach może zachodzić potrzeba stosowania zawiesiny o innych właściwościach od podanych w tablicy 1. Należą do nich np.:

- grunty i skały o bardzo dużej przepuszczalności lub zawierające pustki, gdzie może nastąpić ucieczka zawiesiny,
- wysoki poziom piezometryczny wody gruntowej (np. o napiętym zwierciadle),
- bardzo luźne piaski lub słabe grunty spoiste (orientacyjnie opór sondy CPT $q_c < 300$ kPa lub wytrzymałość $c_u < 15$ kPa),
- występowanie wody słonej/morskiej.



Rys. 5. Przykład zestawu przyrządów do kontroli właściwości zawiesiny na budowie

Zawieszina o zwiększonej wytrzymałości na ścinanie może być wymagana np. w celu zmniejszenia jej przenikania w podłoże.

W specjalnych przypadkach (np. ściany niezbrojone) w fazie “przed betonowaniem” można dopuścić zawartość piasku do 6%.

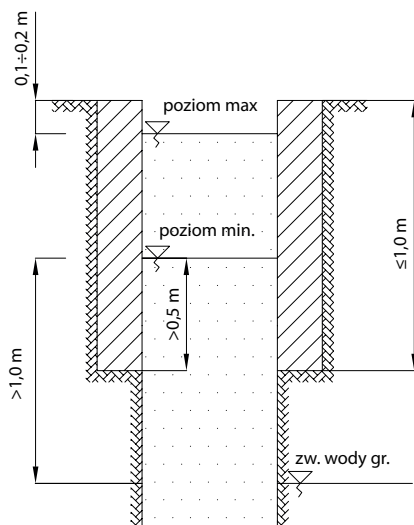
Jakość zawiesziny ma wpływ nie tylko na stateczność ścian szczeliny, ale też na uformowanie ściany. Duża gęstość zawiesziny sprzyja wzrostowi wytrzymałości strukturalnej, a ta utrudnia rozplýwanie się mieszanki betonowej w szczelinie oraz wypełnianie strefy styku sekcji i otulenie zbrojenia. Dlatego nie należy zwiększać ilości bentonitu w zawieszinie ponad wartość niezbędną do uzyskania wymaganych cech.

Zaleca się też badanie odstoju wody po 24 h. Nie powinien on przekraczać 2%.

Zawartość piasku w zawieszinie wzrasta w czasie głąbienia, szczególnie w gruntach niespoistych. Próbkę zawiesziny do badania zawartości piasku pobiera się z dolnej partii szczeliny, tj. z miejsca, w które sedimentuje piasek. W celu utrzymania ziaren piasku w zawieszeniu i redukcji przenikania zawiesziny w pory gruntu konieczne jest, by miała ona właściwą wytrzymałość strukturalną. Dlatego ważne jest badanie wytrzymałości strukturalnej żelu. Powinna ona, po 10 min. od zmieszania zawierać się w przedziale 1,4–10 Pa.

6.4.1.4. Warunki stosowania zawiesziny

Wymagany poziom utrzymywania zawiesziny w dostosowaniu do warunków gruntowych i wodnych budowy powinien określać projekt technologiczny. Należy utrzymywać w przybliżeniu stały poziom zawiesziny, uzupełniając ją w miarę głąbienia. Po wyciągnięciu narzędzia z urobkiem zwierciadło zawiesziny opada, lecz powinno być co najmniej 0,5 m powyżej spodu ścianek prowadzących. Poziom zawiesziny należy utrzymywać co najmniej 1,0 m powyżej stwierdzonego poziomu wody gruntowej (rys. 6). Jako zbiornik wyrównawczy zawiesziny zaleca się wykorzystywać przestrzeń pomiędzy ściankami prowadzącymi przyległych sekcji.



Rys. 6. Wymagania dotyczące poziomu zawiesziny w szczelinie

Temperatura wody używanej do produkcji zawiesiny oraz wlewanej zawiesiny nie powinna być niższa od 5°C.

W czasie robót należy przewidzieć środki zapobiegające rozlewaniu się i rozpryskiwaniu zawiesiny w otoczeniu szczelin.

W przypadku nagłej ucieczki zawiesiny ze szczeliny należy niezwłocznie zasypać szczelinę gruntem, najlepiej piaskiem, a następnie ustalić wspólnie z nadzorem robót sposób dalszego postępowania.

6.4.2. Roztwory polimerowe

Roztwory polimerowe stosuje się na podstawie opracowanej laboratoryjnie receptury dla wybranego polimeru, dostosowanej do warunków obiektu. Roztwory polimerowe lub bentonitowo-polimerowe mogą być używane jako ciecz stabilizująca, lecz zgodnie z normą PN-EN 1538+A1:2015 powinno to być robione tylko na podstawie wcześniejszego doświadczenia w podobnych lub gorszych warunkach geotechnicznych i po próbach wykonania szczelin w pełnej skali na terenie robót.

Rozpuszczone w wodzie polimery tworzą roztwór nienewtonowski, który można stosować do zabezpieczania otworów zamiast zawiesin bentonitowych. Ciecz polimerowa jest wodnym roztworem, a nie zawiesiną. W odróżnieniu od bentonitów roztwór polimerowy pozostawiony w spokoju nie żeluje (nie ma cech tiksotropowych). Po zamieszaniu jego lepkość maleje, co jest korzystne przy pracy narzędzia głębiarki lub przy pompowaniu roztworu. Nie tworzy on uszczelniającego osadu filtracyjnego „ciasta” na ścianie otworu, takiego jak bentonit. W rezultacie roztwór może filtrować w gruncie piaszczystym, co powoduje jego duże zużycie. Stateczność szczelin stabilizowanych polimerami jest zwykle zapewniona, jeśli są przestrzegane zasady podobne jak przy zawiesinach bentonitowych. Jednak ze względu na mniejszy ciężar objętościowy roztworu zaleca się, by jego poziom był 2–3 m powyżej poziomu piezometrycznego wody gruntowej.

Dostawcy polimerów zalecają większą lepkość świeżego roztworu niż zawiesin bentonitowych – zwykle 60 do 100 s wg lejka Marsha. Jednak zbyt duża lepkość (orientacyjnie ponad 150 s) powoduje trudności podczas betonowania. Częsteczki polimerów osadzają się na ziarnach gruntu, szczególnie spoistego, co powoduje zmniejszanie stężenia roztworu. „Oszczędzanie” polimerów prowadzi do zbyt małej lepkości i w konsekwencji do obwałów otworów.

Zagraniczne doświadczenia wykazują ich istotne zalety, dzięki czemu zyskują one popularność. Zaletą roztworów polimerowych jest łatwiejsze ich przygotowanie, mniejsze urządzenia, szybsze uwodnienie i gotowość do użycia. Sproszkowane polimery po rozpuszczeniu w wodzie mogą być hydratyzowane w otwartym zbiorniku i ostrożnie mieszane za pomocą lancy ze sprężonym powietrzem. Korzyścią ze stosowania roztworów polimerowych jest też czystość placu robót, łatwe oczyszczanie sekcji przed betonowaniem oraz łatwiejsza utylizacja zużytego roztworu. Polimery nie pogarszają przyczepności

betonu do zbrojenia oraz poprawiają nośność pobocznic ścian i baret. Jednak pierwsze krajowe próby użycia polimerów dały wyniki dość niezachęcające. Postępowanie z roztworami polimerowymi jest trudne. Niewłaściwe ich stosowanie powoduje problemy.

Wobec braku odpowiednich norm roztwory należy przygotowywać i sprawdzać zgodnie z instrukcjami producenta. Polimery powinny być całkowicie rozproszone podczas mieszania w wodzie, przed ich uwodnieniem. W przeciwnym razie tworzą się grudki suchego materiału otoczonego warstwą uwodnionego polimeru, która ogranicza dostęp wody i ich wymieszanie. Suche grudki są nieaktywne, a brak części masy czynnego polimeru pogarsza właściwości roztworu. Aby temu zapobiec producenci stosują specjalne środki chemiczne.

Na budowie najczęstszym prostym badaniem kontrolnym lepkości roztworu jest czas wypływu z lejka Marsha, sprawdzana jest też wartość wskaźnika pH. Podczas sprawdzania przydatności roztworu odzyskanego ze szczeliny badane są: gęstość objętościowa, lepkość mierzona lejkiem Marsha, wskaźnik pH oraz zawartość piasku.

Zachowanie roztworów i postępowanie z nimi jest zasadniczo odmienne od typowych zawiesin bentonitowych. Roztwory nie utrzymują zawieszonych ziaren gruntu, które dość szybko opadają na dno szczeliny. Specyficzna dla roztworów polimerowych jest faza oczekiwania na sedymentację piasku po wygłębieniu szczeliny. Może ona trwać od 30 minut (przy stosowaniu dodatku flokulantu) do kilku godzin, głównie w zależności od lepkości roztworu i rodzaju gruntów. Osad ten należy dokładnie usunąć, gdyż pozostawiony powoduje „miękkie” oparcie podstawy ściany lub barety, radykalnie zmniejszając sztywność pionową. Luźny osad z dna grozi też zanieczyszczeniem układanej mieszanki betonowej. W początkowej fazie betonowania warstwa osadu jest wypychana i unoszona przez mieszankę. Część osadu gromadzi się poza siatką zbrojenia ściany, skąd mieszanka nie jest już w stanie go wypchnąć. Nie pozwala to na uformowanie otuliny zbrojenia, zwłaszcza w przypadku par prętów. Osad gromadzi się szczególnie na końcach sekcji przy elementach rozdzielczych. „Buły” osadu tkwiące w betonie po odsłonięciu pozostawiają dziury w ścianie, a w części nieodsłoniętej są drogami do napływu wody. Konieczne jest skontrolowanie i potwierdzenie całkowitego usunięcia osadu piasku i oczyszczenia dna otworu lub szczeliny. Przerwa pomiędzy oczyszczeniem dna a rozpoczęciem betonowania powinna być jak najkrótsza. Całkowite usunięcie osadu z dna powinno być wiarygodnie sprawdzone i potwierdzone przez nadzór.

6.4.3. Zawiesina twardniejąca

Zawiesina twardniejąca pełni podwójną rolę: cieczy stabilizującej oraz materiału wiążącego. Może być ona stosowana w specjalnych przypadkach, według wymagań określonych w specyfikacji technicznej projektu. W kraju od wielu lat opanowano użycie zawiesin twardniejących [8]. Są one stosowane głównie do osadzania elementów żelbetowych lub stalowych oraz do formowania przegród przeciwnapływowych.

Zawiesina może być przygotowana z użyciem bentonitu sodowego lub aktywowanego bentonitu wapniowego oraz spoiw cementowych. Mogą być też stosowane dodatki

wydłużające czas wiązania zawiesiny i poprawiające jej konsystencję podczas głębienia oraz późniejszego osadzania w niej elementów. Przy doborze dodatków należy uwzględnić wpływ temperatury oraz składników chemicznych gruntu i wody gruntowej na czas wiązania zawiesiny.

6.5. Głębienie szczeliny

W czasie głębienia szczeliny należy przestrzegać wymagań określających minimalny poziom cieczy stabilizującej oraz jej właściwości. Szczelinę głębi się odcinkami o długości zwykle 2,80 do 9 m, wyjątkowo większej. Długość odcinka zależy od rodzaju urządzenia głębiącego, rozwarcia szczęk chwytaka oraz od warunków gruntowych, a także od znajdujących się w sąsiedztwie obiektów, urządzeń podziemnych i obciążeń nazioemu przy szczelinie. Długość sekcji powinna być taka, aby była zapewniona stateczność szczeliny podczas głębienia. W niekorzystnych warunkach stateczności, tj. w przypadku występowania gruntów spoistych miękkoplastycznych i namulów o $I_L > 0,75$, torfów oraz luźnych gruntów niespoistych, gdy poziom wody gruntowej jest w granicach 1 do 1,5 m od poziomu terenu, może być konieczne ograniczenie długości sekcji do jednego zabioru. W szczególnych warunkach, np. w przypadku występowania wstrząsów gruntu wywołanych ruchem pojazdów lub w razie obciążenia gruntu przy szczelinie fundamentami oraz bliskiego sąsiedztwa urządzeń podziemnych, w celu zwiększenia zapasu stateczności szczeliny wskazane jest ograniczenie długości głębionych odcinków. Długość odcinków szczeliny znajdującej się w bezpośrednim sąsiedztwie fundamentu budynku zaleca się ograniczyć do jednego zabioru; najczęściej jest to 2,5 do 2,8 m.

Głębienie narzędziami chwytakowymi odbywa się pionowymi zabiorami do pełnej głębokości szczeliny. Należy co 4÷5 m sprawdzać pionowość głębienia, kontrolując położenie i pionowość lin lub żerdzi narzędzia głębiącego. Konieczne jest stosowanie działań zapobiegających odchyleniom od wymaganego kształtu szczeliny, spowodowanych asymetrią narzędzia skrawającego (np. przez obracanie chwytaka o 180 stopni). Uszkodzone elementy skrawające (szczęki, zęby, frezy) narzędzi głębiących mogą powodować duże deformacje kształtu ściany.

Zwykle kolejny zabiór wykonuje się w pewnej odległości od poprzedniego, a następnie wybiera grunt pozostały między nimi. Należy przestrzegać zasady, że opory obu szczęk chwytaka powinny być podobne, tj. aby obie szczęki chwytaka trafiały w grunt albo w już wybrane zabioiry. Odstępstwo od tej zasady jest dopuszczalne tylko w przypadku, gdy chwytak od strony wcześniejszego wykopu ma oparcie o wcześniej zabetonowaną sekcję ściany. W przypadku użycia hydrofrezu długość głębionego odcinka jest równa dłuższemu poziomemu wymiarowi urządzenia frezującego.

Po osiągnięciu przewidzianej projektem głębokości należy oczyścić dno całego odcinka oraz powierzchnie styków z wcześniej zabetonowanymi sekcjami. Do czyszczenia służą narzędzia o kształcie dostosowanym do profilu powierzchni styku. W przypadku stosowania rurowych elementów rozdzielczych styki należy czyścić narzędziem

o zakończeniach półkolistych. Właściwe oczyszczenie powierzchni styków jest warunkiem uzyskania ich szczelności. Natomiast w przypadku elementów płaskich czyszczenie styków nie jest potrzebne. Płaskie elementy rozdzielcze umożliwiają instalację uszczelki pomiędzy przyległymi sekcjami.

Następnie, zależnie od jakości zawiesziny wypełniającej szczelinę, należy ją wymienić na czystą lub, jeśli nie wymaga wymiany, wymieszać ruchami narzędzia głębiącego.

Głębienie szczeliny i jej przygotowanie do betonowania powinno przebiegać szybko, bez zbędnych przerw i przestojów. Należy dążyć do tego, aby głębienie i betonowanie sekcji odbyło się jednego dnia. W przypadku sekcji przyległych do istniejącego obiektu wymagane jest zabetonowanie sekcji w dniu rozpoczęcia jej głębienia.

W specjalnych przypadkach, jeśli warunki gruntowe lub wodne budzą wątpliwości co do możliwości bezpiecznego przebiegu robót, zaleca się wykonanie szczeliny próbnej.

Barety o małym zagłębieniu (do 6–8 m) można głębić za pomocą lekkich maszyn. Zwykle są to nieduże koparki, wyposażone w chwytak zamykany hydraulicznie, zawieszony na sztywnej żerdzi połączonej przegubowo z wysięgnikiem koparki. Wymiary chwytaków to 120×60 cm, 100×100 cm, 100×140 cm. Zaletą tych maszyn jest mała wysokość, dzięki czemu można nimi wykonywać roboty pod mostem, w tunelu lub w miejscach trudno dostępnych.

6.6. Formowanie ściany

6.6.1. Wstawianie elementów rozdzielczych

Elementy rozdzielcze służą do uformowania styków sekcji. Wstawia się je po zakończeniu głębienia, oczyszczeniu sekcji i zezwoleniu na betonowanie. Rozróżnia się elementy pozostawiane w sekcji oraz usuwane po jej zabetonowaniu. Wymiar poprzeczny elementu odpowiada szerokości szczeliny. Dawniej powszechnie stosowano elementy rurowe, dzięki którym uzyskuje się walcową powierzchnię styku. Obecnie najczęściej używane są płaskie elementy rozdzielcze, zwykle odpowiednio profilowane.

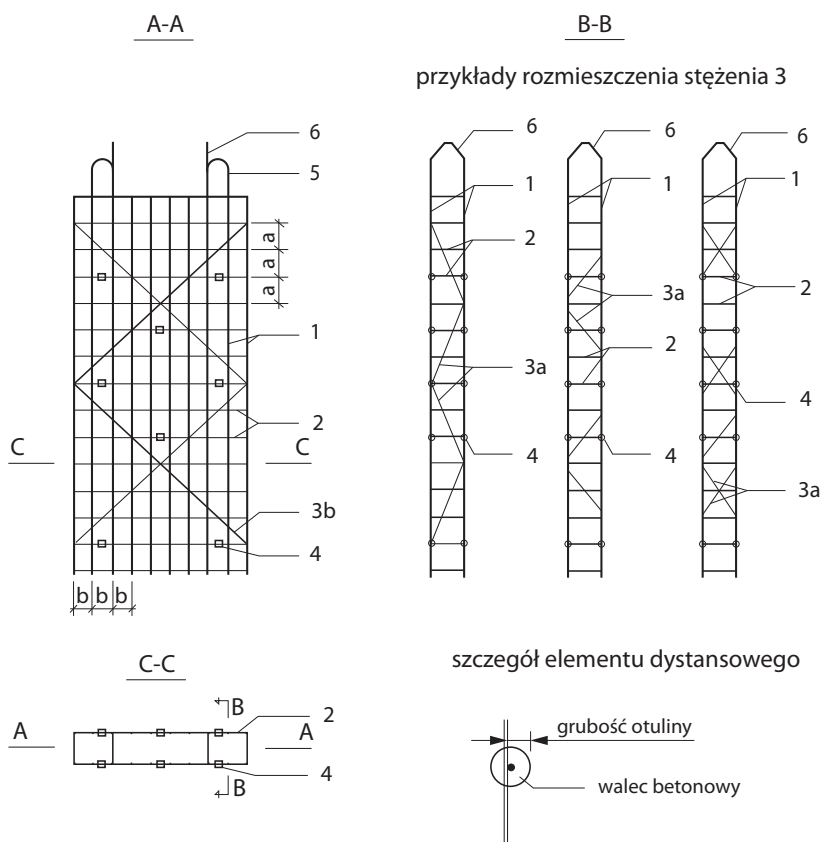
Elementy rozdzielcze powinny być w dobrym stanie technicznym. Niedopuszczalne jest użycie elementów uszkodzonych lub zdeformowanych. Powierzchnia zewnętrzna elementu powinna być przed wstawieniem oczyszczona i powleczone środkiem zmniejszającym przyczepność betonu. Należy sprawdzić pionowość wstawienia elementu. Górny koniec elementu należy unieruchomić względem ścianek prowadzących.

Stosuje się również elementy formujące styki o specjalnej konstrukcji, np. z wkładką uszczelniającą (metalową lub z tworzyw sztucznych), albo też w szczególnych przypadkach zapewniające ciągłość zbrojenia ściany. Te specjalne elementy usuwa się dopiero po wygłębieniu sąsiedniej sekcji. Innym rozwiązaniem specjalnym są tracone elementy z prefabrykatów żelbetowych albo stalowe (przy dużej głębokości łączone w pionie), pozostawiane w stykach.

Przy bardzo dużych głębokościach ścian elementy rozdzielcze są trudne w użyciu, co ogranicza ich długość zwykle do około 20–30 m, a nie na pełną głębokość ściany. Wskutek tego część styku sekcji poniżej elementu może nie zapewniać szczelności. W takim przypadku należy przeanalizować, czy nie powoduje to zagrożenia bezpieczeństwa stateczności dna wykopu (np. możliwości „przebicia hydraulicznego”). Jeżeli ściana ma zapewnić szczelną przegrodę dla wód podziemnych, to element rozdzielczy powinien sięgać do spodu ściany.

6.6.2. Zbrojenie sekcji

Wymagania dotyczące konstruowania zbrojenia zawiera norma PN-EN 1538. Racjonalne konstruowanie zbrojenia ścian ma duży wpływ na ich wykonawstwo oraz rzeczywistą nośność i trwałość. Nadmierna ilość stali może być szkodliwa dla jakości konstrukcji ze względu na utrudniony rozplływ mieszanki betonowej. Optymalnie zaprojektowana ściana o grubości do 80 cm wymaga zbrojenia w ilości 60–80 (wyjątkowo 90) kg/m² ściany.



Rys. 7. Schemat szkieletu zbrojeniowego: 1 – zbrojenie główne (pionowe), 2 – pręty poziome (o kształcie prostokątnych strzemion), 3 – stężenia (a – na powierzchni czołowej, b – na powierzchni frontowej), 4 – elementy dystansowe, 5 – ucha do zawieszenia szkieletu w szczelinie, 6 – pręty do podnoszenia szkieletu; a – rozstaw prętów poziomych, b – rozstaw prętów pionowych

Zbrojenie sekcji (rys. 7) składa się z jednego, dwóch lub nawet z trzech szkieletów. Odstęp w świetle między szkieletami tej samej sekcji powinien umożliwiać włożenie szkieletów i wynosi zwykle co najmniej 200 mm, a odległość szkieletu zbrojeniowego od styku sekcji nie powinna być mniejsza od 100 mm. Ustalając wymiar szkieletu wzdłuż ściany należy zachować odstęp od elementu rozdzielczego równy 1/100 wysokości szkieletu ze względu na możliwość odchylenia jego położenia. W szkieletach należy przewidzieć miejsce na ustawienie jednej lub kilku rur wlewowych, najlepiej w geometrycznym środku sekcji lub szkieletów. Należy je tak rozmieścić, aby umożliwić równomierne wypełnianie betonem sekcji w całym jej przekroju. Załamane sekcje w narożach wypukłych zbrojone są zwykle dwoma oddzielnymi szkieletami, łączonymi dodatkowymi prętami wiązanymi do nich podczas jednoczesnego opuszczania do szczeliny.

W projekcie konstrukcji ściany szczelinowej należy uwzględnić nieciągłość zbrojenia na stykach sekcji i pomiędzy szkieletami zbrojenia tej samej sekcji. W przypadkach szczególnych, gdy wymagana jest ciągłość zbrojenia, należy w sekcję wbudować szkielet monolityczny, a styki konstruować tak, aby zapewnić współpracę poziomych prętów stykających się sekcji. Konieczne jest wówczas użycie specjalnych elementów rozdzielczych, umożliwiających takie łączenie zbrojenia.

Zaleca się stosowanie zbrojenia głównego pionowego z prętów o średnicy 20÷32 mm, dopuszcza pręty średnicy do 40 mm lub wyjątkowo pary prętów cieńszych. Wskazane jest rozmieszczanie zbrojenia w jednej warstwie, najwyżej w dwóch, wyjątkowo w trzech (z zachowaniem wymaganych odległości między prętami). Przy większej ich liczbie możliwość poprawnego zabetonowania w zawieszinie jest wątpliwa, co może zmniejszyć nośność budowli oraz zagraża trwałości konstrukcji ściany, zwłaszcza że po nieodslanianej stronie ściany i poniżej dna wykopu nie można sprawdzić braku zespolenia i otulenia prętów.

Poziome zbrojenie należy przyjmować z prętów o średnicy 12÷20 mm. Szkielet należy usztywnić np. za pomocą skrzyżowanych prętów ukośnych na jego zewnętrznych powierzchniach, a w szerokich szkieletach także wewnątrz, aby można je było podnieść z pozycji poziomej i wstawić do szczeliny bez powodowania trwałych odkształceń. Wszystkie styki prętów ukośnych oraz co najmniej 30% styków pozostałych prętów szkieletu należy połączyć przez spawanie lub zgrzewanie. Dodatkowe wzmocnienia należy przewidzieć w miejscach zawieszenia szkieletu. W przypadku niedostatecznej sztywności szkieletu należy go podnosić z poziomu do pionu z użyciem dodatkowego podwieszenia lub elementu usztywniającego.

Kształt zbrojenia w szkielecie powinien być prosty, a rozstaw prętów jak największy – powinien być dobrany w taki sposób, by nie utrudniał rozplywania mieszanek betonowej i nie następowało uniesienie lub przemieszczenie szkieletu w czasie betonowania. Zaleca się rozstaw prętów pionowych co najmniej 150 mm; w przypadkach szczególnych odstęp można zmniejszyć, ale należy zachować minimalne rozstawy w świetle prętów 100 mm. Lokalnie, w strefie zakładu łączonych prętów głównych, dopuszcza się rozstaw prętów pionowych zmniejszony do połowy wartości zalecanej.

Należy jednak unikać stosowania par przylegających prętów; a jeśli to nieuniknione, gdy pręty są w pobliżu styku z płytą denną, wskazane jest je rozsunać, aby umożliwić wniknięcie mleczka cementowego i otulenie ich na całym obwodzie.

Rozstaw prętów poziomych zaleca się nie mniejszy niż 300 mm; w przypadkach szczególnych można go zmniejszyć, ale należy zachować rozstaw w świetle prętów poziomych co najmniej 200 mm, a wyjątkowo, lokalnie 180 mm.

Należy unikać koncentracji zbrojenia pomocniczego, np. przy głowicach kotew gruntowych. Pomiędzy prętami tego zbrojenia należy zachować prześwit co najmniej 80 mm.

Na szkielecie zbrojeniowym należy umieścić elementy dystansowe, zapewniające wymagane otulenie zbrojenia betonem. W przypadku zbrojenia głównego powinno ono wynosić co najmniej 75 mm w konstrukcjach trwałych i 60 mm w konstrukcjach o przeznaczeniu tymczasowym lub w trwałych uformowanych w środowisku nieagresywnym w stosunku do betonu. W przypadku występowania silnie agresywnych wód lub gruntów grubość otuliny należy zwiększyć do 100 mm. W konstrukcjach trwałych elementy dystansowe należy wykonywać z materiałów niemetalowych, o trwałości co najmniej równej betonowi, jeśli nie są one usuwane podczas betonowania. Zaleca się użycie walców betonowych osadzonych na poziomym pręcie lub innych elementów zapewniających wymagane otulenie. Średnica walca powinna być dostosowana do wymaganej grubości otulenia, długość przyjmuje się w granicach 80÷150 mm (węższe w mocniejszym gruncie). Należy przyjmować po 1 elemencie dystansowym z każdej strony szkieletu na około 10 m² jego powierzchni, lecz co najmniej po 4 elementy po każdej stronie szkieletu.

Jako zbrojenie ściany można stosować także kształtowniki stalowe: dwuteowniki walcowane lub spawane. Grubość takich ścian zwykle wynosi 0,8 do 1,2 m, a rozstaw dwuteowników 2 do 3 m. Zbrojenie z kształtowników jest na ogół droższe od typowego zbrojenia żelbetu prętami, lecz ma ono szereg zalet, do których należy:

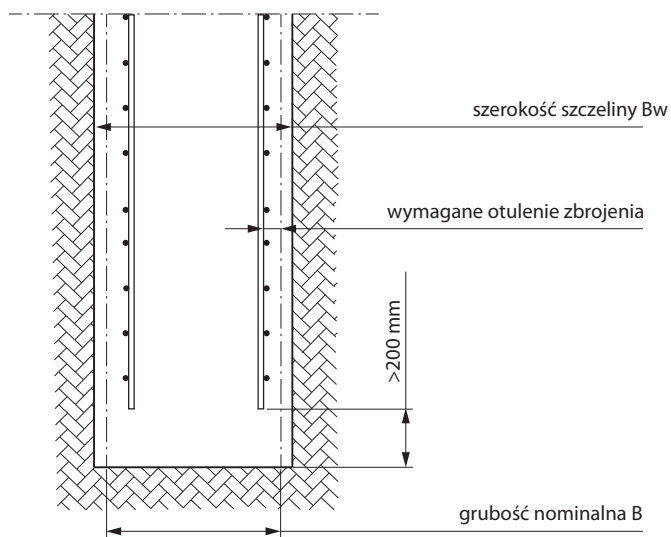
- większa od żelbetu sztywność i wytrzymałość na zginanie,
- szybsze uzyskanie pełnej wytrzymałości konstrukcji,
- łatwość połączenia stalowej konstrukcji stropu tunelu lub innych elementów z konstrukcją zbrojenia ściany,
- mniejsza pracochłonność robót na budowie niż w przypadku przygotowania szkieletu zbrojeniowego.

W celu umożliwienia przepływu poprzecznego mieszanki betonowej w środkach kształtowników należy przewidzieć otwory. Beton wypełniający przestrzeń pomiędzy dwuteownikami może nie być zbrojony, lub – w przypadku rozstawu dwuteowników ponad 1–1,5 m stosuje się zbrojenie poprzeczne. Może być ono montowane łącznie z dwuteownikami lub osadzane pomiędzy nimi w postaci szkieleto-
w.

W szkielecie wbudowuje się pręty, blachy lub kształtowniki (tzw. marki) do połączenia z elementami konstrukcji wykonywanej po odkopaniu ściany. Łączniki kotwiące marki wklejane w wywierconych otworach, zwłaszcza przenoszące siły styczne do ściany,

należy wymiarować z dużym zapasem, gdyż ze względu na nieuniknione niedokładności połączeń poszczególne łączniki przejmują nierównomiernie obciążenia.

W górnym końcu szkieletu należy przyspawać ucha montażowe służące do podnoszenia oraz pręty do zawieszania na ściankach prowadzących. Dolny koniec zawieszonego szkieletu powinien znajdować się co najmniej 200 mm ponad dnem szczeliny (rys. 8). Szkielety niesymetryczne powinny mieć ucha montażowe tak umieszczone, by szkielet wisiał pionowo. Strony szkieletu należy też wyraźnie oznaczyć, by zapobiec jego odwrotnemu wbudowaniu.



Rys. 8. Usytuowanie szkieletu zbrojeniowego nad dnem szczeliny

Szkielety o długości większej od około 12–15 m składane są z odcinków, zwykle z połączeniem prętów na zakład. Styk odcinków powinien znajdować się poza strefą dużych momentów zginających oraz połączeń ze stropami, gdzie występuje duża koncentracja zbrojenia. Długość zakładu prętów rozciąganych powinna być nie mniejsza od 40 średnic, a prętów ściskanych – od 20 średnic pręta. Podczas montażu i wstawiania części szkieletu należy połączyć np. przetyczkami przez odpowiednie ucha lub przez zespawanie prętów spoinami szczepnymi. Sposób łączenia powinien być szybki i niezawodny, uniemożliwiający wzajemne przesuwanie się elementów podczas wstawiania do szczeliny.

Jeżeli zbrojenie składa się z kilku odcinków, to należy dokładnie wymierzyć długości zakładu, aby zapewnić usytuowanie na właściwej wysokości marek, prętów do zakotwień itp.

Jeśli ściana szczelinowa w górnej części ma być przedłużona obudową typu berlińskiego, szkielet zbrojeniowy przedłuża się dwuteownikami. W strefie zanurzenia w betonie dwuteowniki powinny mieć wycięte otwory w środkach w celu ułatwienia przepływu mieszanki betonowej w czasie formowania oraz lepszego ich zamocowania w ścianie.

Połączenie zbrojenia płyty lub stropu ze ścianą szczelinową

Miejsca połączeń są szczególnie trudne do właściwego zabetonowania ze względu na koncentrację zbrojenia i wkładki przewężające przekrój ściany. Stosowane są różne rozwiązania połączeń: za pomocą prętów odginanych ze ściany, wnek kształtowanych wkładką ze styropianu, osadzanych muf do łączenia na gwint, prętów wklejanych w wywiercone otwory i inne.

Najczęściej stosowane jest wbudowywanie w szkielet zbrojeniowy zagiętych prętów, przeznaczonych do odgięcia i połączenia ze zbrojeniem płyty lub stropu. Odgięcie powinno być wykonane starannie, gdyż pręty źle odgięte nie odzyskują w pełni prostoliniowego kształtu, niezbędnego do przejścia sił rozciągających od momentu utwierdzenia; takiego połączenia nie można traktować jako pełne utwierdzenie. Może to skutkować powstaniem zarysowań i zawilgoceniem ściany nad płytą denną, wynikającym z przenikania wody spod płyty wskutek jej ciśnienia lub podciągania kapilarnego.

Kształtowanie styku otulającą obustronnie pręty wkładką ze styropianu, jak też lokalne zagęszczenie zbrojenia w strefie wneki, dodatkowo utrudnia przemieszczanie się mieszanek betonowej i sprzyja powstawaniu stref zanieczyszczeń. Przy głębokich sekcjach styropian może ulec zgnieceniu lub przemieszczeniu. Sprzyja to złemu wypełnieniu szczeliny betonem oraz zatrzymywaniu się w tym miejscu zanieczyszczonej mieszanek betonowej górnej warstwy, stykającej się z zawieszoną i osadem filtracyjnym, zgarnianym ze ścian szczeliny i prętów zbrojenia. Podwójna wkładka ze styropianu powoduje wyizolowanie prętów z betonu i może skutkować późniejszym zarysowaniem poziomym betonu strefy rozciąganej.

W połączeniach ze ścianami stropów pochyłych (np. ramp zjazdowych parkingów) nie zaleca się stosowania wkładek ze styropianu, gdyż bardzo trudno jest zapewnić ich usytuowanie na właściwej wysokości. W praktyce prościej jest po odsłonięciu ściany wykuć potrzebne bruzdy czy wneki.

Zbrojenie z włókna szklanego

Zaletą zbrojenia z prętów formowanych z włókien szklanych zatopionych w masie żywicy winyloestrowej jest dużo łatwiejsze skrawanie go niż stali, przez narzędzia tarczy tunelowej podczas przebijania się przez ścianę obudowy.

Zbrojenie to wykazuje wiele zalet w stosunku do stali budowlanej: ma podobną lub znacznie większą (ponad 1000 MPa) wytrzymałość na rozciąganie, wydłużenie sprężyste prawie do zerwania (ponad 1,5%), bardzo dużą odporność na korozję, nie magnesuje się i nie przewodzi prądu, jest dużo lżejsze. Natomiast moduł sprężystości włókien szklanych jest znacznie mniejszy (40 000 do 60 000 MPa). Mniejsza jest też przyczepność prętów do betonu, dlatego w celu jej poprawy pręty kształtuje się jako żebrowane albo pokrywane piaskiem. Typowe średnice prętów prostych zbrojenia to 16, 25 i 32 mm, długość handlowa – 12 do 14 m. Typowe średnice strzemion wynoszą 12 do 20 mm.

Podczas łączenia szkieletów stosuje się śrubowe zaciski montażowe (tzw. cybanty).

6.6.3. Wnęki i elementy połączeń

Formy, wkłady lub rury do wytworzenia wnęk i otworów powinny być przymocowane do szkieletu zbrojeniowego w sposób uniemożliwiający ich przemieszczenie podczas betonowania. Kształt i wymiary tych elementów powinny być tak dobrane, aby nie utrudniały wstawiania rury wlewowej oraz nie zakłócały znacząco przepływu mieszanki betonowej w szczelinie. Jeżeli jest możliwe wycięcie otworów, to zaleca się ich wykonanie po odsłonięciu ściany.

Wkłady z arkuszy styropianu, formujące wnęki w betonie, nie powinny być dłuższe od szerokości szkieletu zbrojeniowego, do którego są mocowane. Zaleca się, aby w ścianach o grubości do 60 cm wnęki nie sięgały poza pierwszą warstwę zbrojenia. Styropian powinien mieć dostateczną wytrzymałość na ściskanie wywołane parciem mieszanki betonowej.

6.6.4. Betonowanie sekcji

Warunki betonowania ścian szczelinowych są specyficzne, gdyż porcje mieszanki układane jako pierwsze są wynoszone do góry i w końcu betonowania wypływają aż na wierzch elementu. Dlatego mieszanka powinna być tak projektowana, by zachowała płynność w ciągu całego procesu betonowania. Standardem jest okres płynności przez 3 godziny. Dostępne dodatki do betonów pozwalają zapewnić płynność mieszanki co najmniej przez 6 godzin.

Mieszanki betonowe do ścian szczelinowych i baret, układane metodą kontraktor w zawiesinie, powinny mieć skład i właściwości zgodne z wymaganiami norm PN-EN 206:2013 i PN-B-06265 (uzupełnienia krajowego do tej normy), odpowiednio do klasy ekspozycji betonu oraz technologii wykonania. W przypadku rozbieżności postanowień stosuje się Załącznik D „Wymagania dodatkowe do specyfikacji i zgodności betonu do specjalnych robót geotechnicznych”.

Zwiększone wymagania wobec betonu mają poprawić trwałość i odporność konstrukcji na korozję. Szczególne wymagania obowiązują w konstrukcjach mostowych (rozporządzenie Ministra Infrastruktury [18] z 1.08.2019 r.). Regulują one klasy betonu, jego nasiąkliwość i mrozoodporność, natomiast rodzaj cementu i kruszywa należy dostosować do technologii wykonania. Klasa wytrzymałości powinna być nie mniejsza niż C25/30. Brak wymagań technologicznych np. dotyczących konsystencji mieszanki. W rozporządzeniu z 2019 r. [18] usunięto postanowienia krytykowane w poprzedniej wersji rozporządzenia z 2000 r. jako nierealne do spełnienia w przypadku formowania elementów w zawiesinie. Dotyczy to w szczególności wymagania stosowania do ścian szczelinowych i baret w obiektach mostowych oraz tunelach komunikacyjnych tzw. betonu mostowego (na kruszywie łamanym, tylko z cementem CEM I, o zbyt gęstej konsystencji). Wymagania te są uzasadnione i realne do spełnienia w konstrukcjach betonowanych w deskowaniu i zagęszczanych wibracyjnie.

Jednak nie są one ani potrzebne, ani możliwe (lub skrajnie trudne) do spełnienia w ścianach szczelinowych i palach.

Mieszanka betonowa powinna spełniać określone kryteria technologiczne, które decydują o jej przydatności, np. konsystencja ciekła umożliwiająca układanie przez rurę wlewową (kontraktor), kruszywo otoczkowe o dużej zawartości frakcji piaskowej, dostatecznie długi czas początku wiązania. Nie należy używać kruszywa łamanego. Skład mieszanki betonowej powinien być dobrany w sposób uniemożliwiający jej segregację podczas układania, zapewniający swobodny przepływ wokół zbrojenia i po stwardnieniu uzyskanie materiału zagęszczonego i wodoszczelnego. Wieloletnia praktyka wykazała, że jest to możliwe.

Skład i konsystencja mieszanki betonowej powinny zapewnić:

- wysoką odporność na segregację,
- wysoką plastyczność i dobrą spoistość,
- łatwy przepływ i rozprzestrzenianie się w szczelinie,
- dostateczną samozagęszczalność,
- wystarczającą urabialność przez cały czas układania mieszanki.

Kruszywo powinno spełniać wymagania podane w p. 4.1.

TABLICA2. Zalecane parametry konsystencji mieszanki betonowej

Średnica rozptywu Ø [mm]	Opad stożka H [mm]	Warunki układania mieszanki (przykładowe)
500+/-30	150+/-30	na sucho
600+/-30	230+/-30	podwodnie (w zawieszynie) przez rurę wlewową

Konsystencję mieszanki należy określać na podstawie badania rozptywu albo opadu stożka zgodnie z PN-EN 206:2013 Załącznik D. W przypadku mieszanek ciekłych zalecane jest badanie rozptywu, gdyż pomiar opadu stożka zawyża ich płynność. Zalecane wartości oraz ich dopuszczalne odchyłki podano w tabelicy 2.

W razie potrzeby należy określać zmiany w czasie konsystencji projektowanej mieszanki. W przypadku grubych ścian i długo trwających betonowań sekcji receptura mieszanki powinna zapewnić potrzebny czas płynności mieszanki. Wymaga to użycia specjalnych środków upłynniających i superplastyfikatorów, np. polimerowych, a nie zwiększonej ilości wody.

Ze względów technologicznych nie należy prowadzić betonowania w temperaturze poniżej -5°C .

Wygłębiona szczelina powinna zostać zabetonowana tak szybko, jak to jest możliwe. Należy zapewnić taką wydajność produkcji i dostawy mieszanki betonowej, aby średnia prędkość wznoszenia mieszanki betonowej w szczelinie na całej wysokości sekcji była nie mniejsza niż 4 m/h. Należy zagwarantować dostawę mieszanki w ilości niezbędnej do zabetonowania całej sekcji. Zwykle potrzebna jest ilość o kilkanaście procent większa od teoretycznej objętości sekcji.

Betonowanie należy rozpocząć niezwłocznie po wstawieniu szkieletu zbrojeniowego. Czas od oczyszczenia i odbioru dna szczeliny do początku betonowania nie powinien być dłuższy od 4 h. W momencie wlewania mieszanki opad stożka (zgodnie z PN-EN 206:2013) powinien wynosić co najmniej 180 mm, lecz zalecana jest wartość opadu 200 do 240 mm (klasa S5), a średnica rozprywu około 600 mm (klasa F5).

Wskaźnik wodno-cementowy w/c nie powinien być większy niż 0,6. W celu zwiększenia ciekłości można stosować środki uplastyczniające. Temperatura mieszanki nie powinna być niższa od 5°C.

Zaleca się doświadczalne projektowanie składu mieszanki w celu wykluczenia możliwości jej rozsegregowania oraz sprawdzenia czasu zachowania wymaganej konsystencji. Mieszanke betonową należy układać w szczelinie metodą kontraktor, tzn. przez rurę wlewową, zapobiegając zanieczyszczeniu lub przemieszaniu mieszanki z zawiesziną. Rury wlewowe na ogół zaopatrzone są w górnej części w lej, ale mogą również być bezpośrednio połączone z pompą do betonowania. Liczba rur wlewowych stosowanych w jednej sekcji powinna być tak określona, aby ograniczyć poziomą odległość, jaką pokonuje mieszanka betonowa. W normalnych warunkach zaleca się ograniczenie tej odległości do 2,5 m. Przy sekcjach dłuższych od około 5 m lub o złożonym kształcie należy przewidzieć betonowanie jednocześnie dwiema lub trzema rurami wlewowymi. Jeśli w sekcji jest kilka szkieletów zbrojeniowych, to jest wskazane, aby w każdym z nich była jedna rura wlewowa. Rury wlewowe należy rozmieścić, a następnie wlewać przez nie mieszanke betonową w sposób zapewniający równomierne podnoszenie jej poziomu w całej sekcji.

Rura wlewowa powinna mieć średnicę nie mniejszą od 200 mm i sześciokrotnej największej średnicy ziaren kruszywa, zalecana jest średnica około 270 mm. Powinna umożliwiać swobodny przesuw w szkielecie zbrojeniowym. Rura zwykle składa się z leja i odcinków długości około 3 m oraz 1 m i 2 m. Łączenie i rozdzielanie powinno być szybkie. Rura powinna być szczelna. Zmontowana rura powinna być prosta i bez wgłębień oraz dokładnie oczyszczona z pozostałości betonu.

Rozpoczynając betonowanie należy umieścić w rurze wlewowej korek oddzielający mieszankę od zawiesziny (np. piłkę gumową, korek lub granulat ze styropianu, kulę z papieru). Rurę i lej wypełnia się mieszanką betonową, utrzymując wylot tuż ponad dnem szczeliny. Następnie, po napełnieniu rury i leja, unosi się ją około 10 cm, aż do opadnięcia w niej poziomu mieszanki. Dalej podaje się mieszankę do rury, unosząc ją stopniowo i demontując kolejne odcinki. Dolny koniec rury powinien być stale zanurzony w ułożonym betonie co najmniej 2,0 m (zalecane 3–4 m), lecz nie więcej niż

5 m. W początkowej fazie betonowania należy zwrócić uwagę, by wznoszący się słup mieszanki nie uniósł lub nie przemieścił szkieletu zbrojeniowego. W razie potrzeby należy zmniejszyć zagłębienie rury wlewowej, a także odpowiednio unieruchomić szkielet.

Betonowanie powinno przebiegać w sposób ciągły. Przerwy w podawaniu mieszanki dłuższe niż 30 minut mogą spowodować zablokowanie przepływu mieszanki i potrzebę wyciągnięcia rury wlewowej, jej oczyszczenia i wznowienia betonowania. W takim przypadku należy się liczyć z powstaniem w ścianie defektu. Zaleca się, by wydajność betonowania umożliwiła wypełnianie szczeliny z prędkością co najmniej 4 m w ciągu godziny. W sekcjach o objętości ponad 100 m³ wskazane jest zapewnienie większej prędkości wznoszenia.

W przypadku zatrzymania przepływu mieszanki betonowej w rurze można wymusić jej ruch przez uderzenie w rurę lub gwałtowne pokręcenie rurą wlewową.

Jeżeli nastąpi awaryjne przerwanie betonowania sekcji, to należy je wznowić w taki sposób, by zapobiec przemieszaniu mieszanki betonowej z zawiesiną lub wprowadzeniu zawiesiny w głąb ułożonej mieszanki. Jeżeli nastąpi zatkanie rury wlewowej itp., to należy ją wyjąć i oczyścić, a betonowanie wznowić możliwie niezwłocznie – przed zgęstnieniem już ułożonej mieszanki. Praktycznie każde przerwanie betonowania powoduje defekty ściany. Informacja o przerwie powinna się znaleźć w uwagach metryki sekcji.

Mieszanke betonową należy dowozić betonowozami, zapewniającymi jej ciągłe mieszanie. Niedopuszczalny jest transport mieszanki bez ciągłego mieszania. Bezpośrednio przed wbudowaniem zaleca się sprawdzić ciekłość mieszanki. Każdy betonowóz powinien mieć metrykę z wytwórni, podającą co najmniej jej przeznaczenie (obiekt), klasę betonu, oznaczenie receptury mieszanki oraz czas jej wykonania. Mieszanke można wbudować, jeżeli czas jej przydatności, określony w zależności od temperatury składników i otoczenia oraz użytych dodatków i domieszek, mieści się w technologii czasowej betonowania. Należy pamiętać, że przy betonowaniu w zawieszynie na powierzchni wypływa najwcześniej wlewana mieszanka.

W miarę betonowania szczeliny odpompowuje się z niej ciecz stabilizującą i kieruje ją do regeneracji. W czasie betonowania zaleca się szczelinę zabezpieczyć w celu zapobieżenia wpadnięciu do niej ludzi lub mieszanki betonowej.

Szczelinę betonuje się do rzędnej, mierzonej na końcach sekcji, wyższej o 0,3–0,5 m od projektowanego poziomu wierzchu ściany. Ułożonej mieszanki nie należy zagęszczać wibratorami. Górną warstwę, przepłukaną i zanieczyszczoną zawiesiną należy usunąć, a wierzch betonu wyrównać zgodnie z projektem. Pręty zbrojenia wystające ponad beton należy oczyścić z zawiesiny i resztek betonu. Dogodnie jest wykonać to wkrótce po zakończeniu betonowania. Wierzch betonu po wyrównaniu należy zabezpieczyć przed wysychaniem lub przemarzaniem. Jeśli powierzchnia betonu znajduje się poniżej wierzchu ścianki prowadzącej, to usuwanie górnej, zanieczyszczonej warstwy betonu wykonuje się zwykle w terminie późniejszym, po uzyskaniu dostępu.

6.6.5. Wyciąganie elementów rozdzielczych

Wyciąganie elementów rurowych należy zacząć po 3–5 h od rozpoczęcia układania mieszanki. Początkowo podciąga się element do 10 cm w celu zerwania przyczepności. Dalsze wyciąganie następuje po upływie 4–5 h od zakończenia betonowania. Właściwy czas wyciągania elementów rozdzielczych zależy od temperatury mieszanki, czasu jej wiązania oraz okresu pomiędzy wytworzeniem i ułożeniem. Należy go ustalić doświadczalnie dla warunków wykonywania robót. Element rozdzielczy można całkowicie wyciągnąć po stwierdzeniu związania betonu wierzchu sekcji.

Płaskie elementy rozdzielcze i elementy formujące styki o specjalnej konstrukcji usuwa się dopiero po wygłębieniu sąsiedniej sekcji. Element jest górą odchylany od związanego betonu sekcji i po odspojeniu od niej wyciągany ze szczeliny.

Podczas wydobywania elementów rozdzielczych należy zwrócić uwagę, by nie uszkodzić betonu i zbrojenia sekcji. Wyjęty element należy dokładnie oczyścić i powlec środkiem zapobiegającym przyczepności betonu.

6.6.6. Wykonanie styków sekcji

Sposób formowania styków powinien zapewnić taką szczelność ściany, aby nie przenikała woda gruntowa pod naturalnym ciśnieniem. Styki sekcji mają kształt płaski, półokrągły lub złożony. Stosowane jest rozwiązanie z uszczelką z profilowanej taśmy z tworzywa sztucznego. W przypadku nieszczelności styku wykonawca ściany jest zobowiązany do jego uszczelnienia.

Zakończenie pionowe ściany, która ma być w przyszłości kontynuowana, powinno być odpowiednio ukształtowane, by umożliwić szczelne połączenie obu części. Najprościej jest zakończyć sekcję połączeniem cylindrycznym, które nie wymaga pozostawienia elementu rozdzielczego, albo też innym umożliwiającym powiązanie konstrukcji ściany. Przy braku odpowiedniego zakończenia ściany należy się liczyć z nieciągłością połączenia i przeciekami wody trudnymi do uszczelnienia.

6.7. Konstruowanie baret

Barety krótkie (na jeden chwyt głębiarki) są konstruowane podobnie jak pale wiercone. Są one zbrojone szkieletem z prętów o średnicy co najmniej 12 mm – powinny być co najmniej 3 pręty na metr po każdej stronie szkieletu zbrojeniowego. Rozstaw prętów zbrojenia pionowego powinien być jak największy, by umożliwić właściwy przepływ mieszanki betonowej, ale nie powinien być większy od 400 mm. Poziomy rozstaw w świetle prętów pionowych lub ich wiązek nie powinien być mniejszy od 100 mm.

Wymagane minimalne przekroje zbrojenia podano w tablicy 3. Ponieważ barety niemal zawsze mają przekrój większy od 1 m², to w praktyce minimalny przekrój zbrojenia wynosi 0,25% przekroju baret.

TABLICA 3. Minimalny przekrój zbrojenia podłużnego baret według PN-EN 1536:2015

Nominalny przekrój baret A_c	Przekrój zbrojenia podłużnego A_s
$A_c \leq 0,5 \text{ m}^2$	$A_s \geq 0,5 \% A_c$
$0,5 \text{ m}^2 < A_c \leq 1,0 \text{ m}^2$	$A_s \geq 0,0025 \text{ m}^2$
$A_c > 1,0 \text{ m}^2$	$A_s \geq 0,25 \% A_c$

Zbrojenie baret wyciąganych oraz obciążonych siłami dynamicznymi powinno sięgać do spodu baret, w innych przypadkach można przyjmować szkielety krótsze.

Otulina minimalna zbrojenia w zależności od warunków środowiska i przyczepności powinna być zgodna z PN-EN 1992. Otulina minimalna ze względów wykonawczych nie powinna być mniejsza niż 75 mm.

Elementy dystansowe zapewniające otulinę powinny być rozmieszczone symetrycznie na szkielecie zbrojeniowym. W baretach stosuje się zwykle co najmniej dwa elementy w każdym poziomie, po każdej stronie szkieletu, w rozstawie pionowym nie większym niż 3,0 m. Należy zachować dostateczny prześwit pomiędzy ścianą otworu, by umożliwić bezpieczne wbudowanie szkieletu bez uszkodzenia ścian otworu.

Baretę służące jako fundamenty słupów do tymczasowego podparcia w metodzie stropowej zbroi się profilami stalowymi, zespolonymi z wiązką prętów zwiększających przyczepność. Zbrojenie to pogrąża się niezwłocznie po zabetonowaniu baret. W środku profilu stalowego (HEB) należy wykonać otwory umożliwiające przepływ mieszanki i lepsze zespolenie z otaczającym betonem.

Wymagania dotyczące betonu w baretach i sposobu jego układania są podobne jak w ścianach szczelinowych. W celu zwiększenia sztywności osiowej i ograniczenia osiadań baret zaleca się wstępne naprężanie ich podstawy za pomocą iniekcji zaczynu cementowego [12, 21].

6.8. Tolerancje wymiarów ścian szczelinowych

Jeśli projekt ściany szczelinowej nie określa inaczej, dopuszczalne odchylenia wymiarów w stosunku do podanych w dokumentacji są następujące:

- a. ścianki prowadzące
 - położenie wewnętrznej krawędzi ścianki od strony wykopu $\pm 20 \text{ mm}$,
 - rozstaw ścianek $+20, -10 \text{ mm}$,
 - rzędne wierzchu ścianek $\pm 20 \text{ mm}$,
 - różnice wysokości wierzchu ścianek 10 mm/m ;

b. szczelina

- głębokość szczeliny – 100 mm, + bez ograniczenia,
- zagłębienie w określonej warstwie (nośną, nieprzepuszczalną) – 100 mm, + bez ograniczenia;

c. elementy rozdzielcze i zbrojenie

- usytuowanie osi elementu rozdzielczego (wzdłuż ściany) ± 80 mm;
- odchylenie elementu rozdzielczego od pionu (wzdłuż ściany) do 1:100,
- wymiary gabarytowe szkieletu zbrojeniowego ± 20 mm,
szerokość szkieletu tylko ± 10 mm
- usytuowanie szkieletu wzdłuż ściany ± 80 mm,
- rzędne zawieszenia szkieletu (wzgl. wierzchu ścianek prowadzących) ± 50 mm,
- usytuowanie blach lub kształtowników łączących (marek),
elementów formujących wnęki i otwory w kierunku poziomym ± 100 mm;
w kierunku pionowym ± 50 mm;

d. ściana szczelinowa

- rzędna wierzchu (po skuciu) -100, + 30 mm,
- rzędna wierzchu ściany lub barety (po zabetonowaniu) zakończonej na dużej głębokości – powinna być przebetonowana;
- poziome odsunięcie sekcji ściany od projektowego położenia (mierzone od teoretycznego położenia wierzchu ścianki prowadzącej):
 - w górnej części: ± 50 mm,
 - w dolnej części: odchylenie od pionu odkopanej powierzchni ściany do 1:70, (odchylenia położenia sąsiednich sekcji nie powinny powodować nieciągłości ściany),
 - otulenie zbrojenia -10 mm, + bez ograniczenia;

UWAGA: lokalne występy lub wybrzuszenia powierzchni nie są defektem, lecz normalną cechą technologii; w razie potrzeby usuwa się je po odkopaniu ściany;

- e. w warunkach szczególnych wykonawstwa ścian projekt może przewidywać większe lub mniejsze niektóre tolerancje wykonania.

Dopuszczalne tolerancje wymiarowe ścian powinny być uwzględnione w projekcie architektonicznym, aby uniknąć potrzeby skuwania prawidłowo wykonanych ścian. Jeżeli podane tolerancje zostały przekroczone, to wskazane jest rozważenie rozwiązań pozwalających uniknąć skuwania czy wyburzeń fragmentów ściany.

Podane tolerancje dotyczą ścian konstrukcyjnych, stanowiących element nośny konstrukcji. Dla ścian stanowiących czasową obudowę wykopu można dopuszczać większe odchyłki wymiarów, dostosowane do potrzeb konstrukcji istniejącej lub budowanej w sąsiedztwie obudowy.

6.9. Wodoszczelność i izolacje ścian szczelinowych

Beton nie jest tworzywem nieprzepuszczalnym – zjawisko dyfuzji powoduje, że zawsze występuje w nim migracja cieczy i gazów. Jednak na podstawie wieloletnich doświadczeń stwierdzono, że odpowiednio zaprojektowany i wykonany beton w ścianach szczelinowych jest zwykle wystarczająco szczelny. W przypadku wskaźnika $w/c \leq 0,6$ oraz właściwie dobranej ilości kruszywa współczynnik wodoprzepuszczalności betonu k_p nie przekracza 10^{-10} cm/s.

Jednakże norma PN-EN 1538 wyraźnie stanowi: „Nie można oczekiwać, że ściany szczelinowe będą całkowicie wodoszczelne, gdyż przecieki mogą się pojawić w stykach, przy wnękach lub przez materiał ściany. W normalnych warunkach nie można uniknąć wilgotnych plam i kropelek wody na powierzchni ściany.”

Także styki sekcji: płaskie, półokrągłe lub o złożonym kształcie nie gwarantują szczelności, lecz na ogół są szczelne dzięki wbudowanej uszczelce i/lub powłoce osadu filtracyjnego pozostałego z zawiesiny. Warunki formowania ścian w środowisku gruntowym praktycznie eliminują skurcz betonu ścian.

Ewentualne nieszczelności mogą wynikać z cech technologii ścian, a także z wad wykonania, oraz rys i pęknięć betonu ścian, związanych z typowym zachowaniem zginanego żelbetu. Pęknięcia powodowane są najczęściej nierównomiernymi przemieszczeniami sąsiednich sekcji np. w rozwartych narożach, przy różnych ugięciach sekcji. Możliwości zapewnienia szczelności ścian zależą od wysokości ciśnienia wody na zewnątrz ściany. Technika wykonania ścian szczelinowych nie zapewnia całkowitej szczelności. Uzyskanie ścian zupełnie suchych jest możliwe tylko przez wykonanie dodatkowej izolacji przeciwwilgociowej jako dodatkowej konstrukcji.

Istnieją różne podejścia do kwestii zabezpieczania obiektów przed przeciekami przez ściany. Przepisy zagraniczne podają różne klasy i kryteria szczelności ścian. Na podstawie przepisów angielskich i austriackich na użytek krajowy przyjęto trzy klasy szczelności.

Standardowa (klasa 1) – ściany wykonuje się z betonu wodoszczelnego (zwykle wymagany stopień wodoszczelności W8) bez dodatkowej izolacji. Dopuszczalne są wilgotne plamy i drobne kropelki (roszenie) na powierzchni ściany, natomiast niedopuszczalne są strużki wody i mierzalne przecieki. Pojedyncza plama nie może być większa niż 4 m^2 , a całkowita powierzchnia plam większa niż 5% widocznej powierzchni ściany. Przeciekom związanym z rysami i pęknięciami zapobiega się przez odpowiednie konstruowanie elementów.

Ewentualne nieszczelności są usuwane po odkopaniu ścian (np. uszczelniając je zastrzykami cementowymi, chemicznymi, z tworzyw sztucznych albo wykonując zaprawy betonu ścian). Wskazane jest pewne odczekanie z wykonaniem napraw aż do wystąpienia pełnych odkształceń ścian.

Ulepszona (klasa 2) – na zamówienie inwestora wykonuje się dodatkowe uszczelnienie ściany lub inne zabiegi. Dopuszcza się niewielkie plamy wilgoci lub występowanie

kropelek (roszenie) na fragmentach powierzchni ściany, natomiast niedopuszczalne są strużki wody i mierzalne przecieki. Pojedyncza plama nie może być większa niż 1 m^2 , a całkowita powierzchnia plam większa od 1% widocznej powierzchni ściany. Ewentualne nieszczelności są usuwane po odkopaniu ścian (np. zastrzykami od wewnątrz lub z zewnątrz konstrukcji albo uszczelniając beton ścian). Doszczelnienie powinno być wykonywane po pełnym obciążeniu budynku, z uwzględnieniem warunków pogodowych wymaganych dla procesu uszczelnień.

Specjalna (klasa S) – stosowana w pomieszczeniach mieszkalnych, biurowych lub użytkowych o wysokich wymaganiach; na zamówienie inwestora stosuje się specjalne środki i zabiegi, np. uszczelnienia styków sekcji wkładkami, uciąganie zbrojenia w stykach itp. i/ albo układanie od wewnątrz izolacji klejonej na warstwie wyrównawczej na powierzchni ścian, z żelbetową "wanną" dociskową – izolacja taka powinna wytrzymać ciśnienie wody działające na zewnątrz ściany.

Szczelność ścian można oceniać dopiero po zamknięciu budynku lub pomieszczeń i uszczelnieniu płyty dennej oraz po ich osuszeniu, aby wyeliminować napływ wód opadowych lub technologicznych oraz zjawisko rosznienia pary na zimnych ścianach.

Żądanie stopnia wodoszczelności ścian wyższego niż standardowy ma swoją cenę – inwestor i projektant powinni mieć świadomość, że wymaganie to powoduje wzrost kosztu, czasu robót na specjalne zabiegi lub utratę przestrzeni na konstrukcję dociskającą izolację.

6.10. Odkopywanie ściany szczelinowej

Przed rozpoczęciem odkopywania należy wykonać wieńce lub inne elementy uciągające wierzch ściany. Odkopywanie należy prowadzić na podstawie projektu określającego terminy, zakres, kolejność i sposób usuwania gruntu oraz podającego konieczne zabezpieczenia i wzmocnienia, np. kotwienie, rozparcie lub inny sposób przejścia sił poziomych, które mogłyby wywołać nadmierne odkształcenia lub przemieszczenia ściany albo groziły utratą jej stateczności. Spełnienie wymagań podanych w projekcie powinno być przedmiotem wnikliwej kontroli nadzoru, a decyzje w sprawie dopuszczenia dalszego etapu robót należy zapisywać w dzienniku budowy. Nie należy dopuszczać bez akceptacji projektanta lokalnych, nieprzewidzianych w projekcie przełębień wykopu w pobliżu ściany, zmiany sposobu rozparcia itp.

Przy stropowej metodzie budowy podziemia szczególną ostrożność należy zachować podczas robót ziemnych prowadzonych pod stropem. Niedostateczne oświetlenie, odpadające spod stropu elementy deskowania, spaliny z silników napędzających maszyny, wysięki wody z gruntu, strome skarpy wyrobiska drążonego przez ładowarki stwarzają poważne zagrożenia dla pracujących tam osób.

Wykonawstwo wykopów w obudowie ze ścian szczelinowych jest szczegółowo opisane np. w pracach [4, 5, 6, 20].

6.11. Konstrukcje oporowe otwarte

Przy projektowaniu konstrukcji oporowych otwartych (np. ścian oporowych lub wjazdów do tuneli) należy uwzględnić fakt, że narażone są one na dużo większe amplitudy wahań temperatur (w cyklach dobowych i sezonowych) niż konstrukcje zagłębione w gruncie i trwale zamknięte. Wynikają z tego dużo większe termiczne zmiany długości. Dylatacje i styki elementów konstrukcji (płyta denna, ściana szczelinowa, zwieńczenie) powinny być tak wzajemnie dostosowane, aby zapewnić swobodę odkształceń termicznych bez wywoływania spękań. Ich wzajemne przesunięcie spowoduje powstanie spękań i nieszczelności.

Ze względu na utrudnienia w formowaniu ściany nie zaleca się używania dodatków do mieszanki betonowej w celu poprawienia mrozoodporności, chyba że wykazano, iż nie mają wpływu na poprawność układania mieszanki w szczelinie.

W celu wyeliminowania niekorzystnych zjawisk zaleca się stosowanie osłon np. z paneli. Konieczne jest przy tym odprowadzenie wody z przestrzeni międzywarstwowych.

6.12. Roboty wykończeniowe ścian szczelinowych

Ścian szczelinowych w pomieszczeniach podziemia nie zaleca się tynkować. Jeśli względy estetyczne wymagają gładkich powierzchni, można je przykryć panelami przytwierdzanymi na śruby i demontowanymi w razie potrzeby. A taka potrzeba często się pojawia, szczególnie gdy ściana wykazuje zawilgocenia wymagające naprawy. Na ścianie bez tynku łatwo można ustalić miejsce przecieku i je uszczelnić. Otynkowanie ściany utrudnia odnalezienie nieszczelności. Działania naprawcze wymagają wtedy usunięcia tynku, a po ich zakończeniu powtórnego otynkowania. Może się też okazać, że zabieg był nieskuteczny i trzeba go powtórzyć. Panel może być wielokrotnie zdejmowany, a po każdej interwencji niezwłocznie założony.

6.13. Odwodnienia wykopów

Wykopy w ścianach szczelinowych najczęściej sięgają poniżej zwierciadła wody, która komplikuje budowę fundamentów i podziemi. Istotne znaczenie ma rozpoznanie poziomów wód i obserwacja ich zmian, a także przepuszczalności gruntu. Przy ponad dwóch kondygnacjach podziemnych jest zwykle konieczne kosztowne odwodnienie. Zagadnienia odwodnień są obszerniej opisane m.in. w pracach [13, 20, 24]. W zależności od warunków gruntowych i realizacyjnych stosuje się różne rozwiązania:

- rozległą depresję poziomu wód za pomocą studni rozmieszczonych poza obrysem wykopu – sposób niezalecany w warunkach zwartej zabudowy,
- ograniczone obniżenie zwierciadła lub ciśnienia wody przez pompowanie w obrysie obudowy wykopu przy odcięciu ścianami szczelinowymi od warstw wodonośnych,
- zagłębienie ścian szczelinowych do warstw mało przepuszczalnych i odcięcie lub ograniczenie dopływu wody,
- wykonanie w poziomie spodu ścian przegrody wodoszczelnej formowanej metodą iniekcji strumieniowej lub tradycyjnych zastrzyków uszczelniających – sposób ten jest zawodny i trudny do zapewnienia pełnej szczelności.

Klasyczne odwodnienie przez rozległą depresję poziomu wód za pomocą studni rozmieszczonych poza obrysem wykopu zwykle nie jest dopuszczane w warunkach bliiskiej zabudowy. Odwodnienie takie może być realizowane tylko na podstawie projektu zatwierdzonego przez służby ochrony środowiska. Wymaga to czasu na czynności administracyjne. Dlatego projekt powinien być przygotowany odpowiednio wcześniej, aby z wyprzedzeniem móc rozpocząć pompowanie wody. Obniżanie jej zwierciadła początkowo postępuje dość szybko, ale maleje w miarę rozszerzania się zasięgu leja depresji.

Znacznie częściej stosuje się ograniczone obniżenie zwierciadła lub ciśnienia wody przez pompowanie w obrysie obudowy wykopu przy odcięciu ścianami szczelinowymi od warstw wodonośnych albo odcięcie lub ograniczenie dopływu wody przez zagłębienie ścian szczelinowych do warstw mało przepuszczalnych, bądź też przez wykonanie w poziomie spodu ścian przegrody wodoszczelnej (formowanej metodą iniekcji strumieniowej, kolumn mieszania wgłębnego DSM lub tradycyjnych zastrzyków uszczelniających), lecz sposób ten jest kosztowny, a zapewnienie pełnej szczelności jest wątpliwe.

Małe ilości wody pojawiającej się w wykopie, pochodzącej z wysięków z otaczającego gruntu lub z opadów należy sprowadzać zbieraczami do najniższego punktu i odpompowywać. Przy obfitych wysiękach, gdy zbieracze nie wystarczają, trzeba stosować odwodnienie wgłębne igłofiltrami lub studniami z kręgów (nie powinny być one sytuowane blisko ściany). Należy unikać rozlewania się wody po powierzchni wykopu, bowiem zawilgocenie utrudnia pracę, szczególnie poruszanie się pojazdów z kołami na pneumatykach, a także pogarsza parametry gruntu.

W przypadku obniżenia poziomu wody w wykopie występuje nierównowaga jej ciśnień, zagrażająca stateczności dna wykopu. Nadmierne pogłębienie wykopu może doprowadzić do wyłamania warstwy gruntów nieprzepuszczalnych lub sztucznej przegrody, stanowiących poziomy ekran. Wtedy burzliwemu wypływowi wody towarzyszy upłynnienie gruntów niespoistych warstwy wodonośnej i zupełne zniszczenie podłoża, co może prowadzić do pozbawienia oporu ściany szczelinowej i katastrofy budowlanej. Innym zagrożeniem jest tzw. przebicie hydrauliczne przez nieszczelno-

ści obudowy lub przegrody, powodujące trudny do opanowania napływ wody wraz z gruntem (zwykle piaszczystym lub pylastym). Należy także mieć na uwadze groźbę uniesienia przez wypór wody podziemi niskich, mało obciążonych części budowli. Ocena warunków wodnych i stateczności dna wymaga ostrożności i przezorności, bo skutki błędów mogą być katastrofalne.

Rzeczywisty poziom lub ciśnienie wody gruntowej należy mierzyć w piezometrach i rejestrować. Rozmieszczenie piezometrów powinien określać projekt odwodnienia. Pogłębianie wykopu jest dozwolone dopiero po osiągnięciu odpowiedniego obniżenia poziomu lub ciśnienia wody gruntowej.

Po zakończeniu wykopów trzeba utrzymać pompowanie wody aż do czasu wykonywania konstrukcji podziemia dostatecznie ciężkiej, by była zdolna przeciwstawić się jej wyporowi. Dlatego w płycie fundamentowej i izolacji pozostawia się otwory, przez które przechodzi rura studni. Miejsce po likwidacji studni pozostaje słabym punktem podziemia.

Odcięcie dopływu wody przez zagłębienie ścian szczelinowych w grunty nieprzepuszczalne nigdy nie jest zupełnie szczelne i nieuniknione jest odbudowanie pełnego ciśnienia piezometrycznego pod płytą denną. Przy jej wymiarowaniu należy uwzględnić działanie wyporu. Gdy ciężar konstrukcji nie zapewnia zrównowżenia wyporu wody, to konieczne są specjalne zabiegi: najczęściej kotwienie palami lub mikropalami, rzadziej baretami lub kotwami trwałymi. Pogrubienie płyty dennej jest mało efektywne. Jeżeli spodziewany dopływ wody jest bardzo mały, to kosztownego kotwienia dna można uniknąć przez wykonanie pod płytą niezawodnego drenażu (np. z warstwy 20 cm betonu jednofrakcyjowego) oraz rurek umożliwiających kontrolowany wypływ wody do instalacji odwodnienia podziemia. W przypadku awarii odwodnienia w najgorszym razie nastąpi zalanie spodu podziemia, co zawsze byłoby mniej groźne od wyłamania i zniszczenia płyty.

6.14. Przemieszczenia gruntu i odkształcenia budowli w sąsiedztwie wykopów

Wykopy budowlane powodują zawsze przemieszczenia otaczającego terenu, które na obszarach zurbanizowanych mogą stanowić zagrożenie pobliskich budowli i instalacji [1, 10, 13, 14, 16, 20]. Ogólnie należy się liczyć z przemieszczeniami poziomymi rzędu $0,25\% H$ i osiadaniem $0,20\% H$ (gdzie H oznacza docelową głębokość wykopu). Przy niewłaściwym zabezpieczeniu obudowy wykopów przemieszczenia mogą być znacznie większe. Największe są przemieszczenia obudów wspornikowych, najmniejsze wykonywanych metodą stropową. Duży wpływ mają warunki gruntowe, a stosunkowo niewielki sztywność samej obudowy.

Wpływ wykopu na otoczenie zależy od działania kilku czynników, których skutkiem są nie tylko osiadania, ale także uniesienie dna. W gruntach pęczniejących bywa

ono duże i przyrasta przez długi okres. W gruntach niespoistych przemieszczenia, a zwłaszcza uniesienia dna są niewielkie.

Wielkość przemieszczeń można ograniczyć różnymi zabiegami, jak ograniczenie wysokości obudowy wspornikowej, wczesne wbudowanie podparć (rozpór, kotew), sprężanie rozpór, użycie metody stropowej.

Ocena wpływu wykopów na sąsiednie budowle możliwa jest na podstawie danych z obserwacji obiektów [1, 10, 14, 17]. Uproszczoną metodę empiryczną oceny przemieszczeń, opartą na wynikach pomiarów z terenu Polski, zaproponowano w Wytycznych ITB [13]. Dokładniejsza analiza jest złożona, jej wyniki obarczone są dużą niepewnością. Decydujące znaczenie ma określenie realnych wartości parametrów odkształceniowych głębokich warstw podłoża, z uwzględnieniem zakresu małych odkształceń jednostkowych [16].

Obudowy wykopów są konstrukcjami odpowiedzialnymi, a błędy niosą zagrożenia życia ludzi i ogromnych strat materialnych. Pomyślne doświadczenia krajowe dowodzą, że odpowiednio przygotowane i prowadzone roboty umożliwiają bezpieczne wykonywanie głębokich wykopów, nawet w bezpośrednim sąsiedztwie zabudowy.

7. MONITOROWANIE

Na etapie projektowania czynione są różne założenia dotyczące zachowania konstrukcji. W celu weryfikacji ich słuszności oraz upewnienia się, że wykonana budowla nadal będzie zachowywać się zgodnie z wymaganiami, należy prowadzić monitorowanie konstrukcji i miejsc w sąsiedztwie obudowy ze ścian szczelinowych. W przypadku obiektów stwarzających duże zagrożenia, zwłaszcza zaliczonych do 3. Kategorii Geotechnicznej, rozporządzenie [19] oraz norma PN-EN 1997-1:2008 nakładają obowiązek ich monitorowania podczas, a niekiedy również po zakończeniu budowy.

Zakres pomiarów zależy od charakteru otoczenia budowli, warunków gruntowych i wodnych, głębokości ściany oraz poziomu i sposobu jej odkopywania [22, 27]. Podczas monitorowania można prowadzić pomiary przemieszczeń i odkształceń gruntu wywołanych przez wykopy i ciężar wznoszonej konstrukcji. Ważne jest też monitorowanie poziomów wody oraz obiektów znajdujących się w strefie oddziaływania budowy.

Monitorowanie powinno być prowadzone wg zasad ustalonych w dokumencie (projekcie) przygotowanym na potrzeby określonego obiektu, zgodnie ze wskazaniem Wytycznych ITB [13]. Powinien on zawierać szczegółowe opisy i instrukcje określające m.in. cel i zakres monitorowania, okres trwania, wyszczególnienie obiektów,

wykaz czynności i rodzaje pomiarów, a w szczególności wielkości ostrzegawcze i alarmujące oraz działania wymagane w przypadku przekroczenia tych wartości. W pomiarach powinny być uwzględnione te elementy budowy ścian szczelinowych, które wpływają na zachowanie i bezpieczeństwo budowli.

Zakres i rodzaj pomiarów kontrolnych powinien być ustalany indywidualnie w zależności od potencjalnych zagrożeń. Pomiary należy wykonywać co najmniej po każdym zakończonym etapie robót związanych z pogłębianiem wykopu i zabezpieczaniem obudowy lub w ustalonych okresach, np. co 2 tygodnie.

Wyniki pomiarów i obserwacji dokonanych w ramach monitorowania należy zapisywać w dzienniku budowy lub rejestrować na piśmie i kopię przekazywać inspektorowi nadzoru. Wyniki zaleca się gromadzić w komputerowej bazie danych, umożliwiającej ich graficzną prezentację i szybki przegląd.

Niezbędnym elementem monitorowania jest bieżąca, szybka ocena wyników obserwacji i niezwłoczne alarmowanie zainteresowanych, ewentualne wdrażanie przewidzianych w projekcie działań „kryzysowych”. W szczególnych projektach takich jak np. metro powinny być instalowane systemy automatycznego monitorowania i ostrzegania. Niezastąpiona jest codzienna kontrola wizualna konstrukcji i otoczenia obudowy wykopu.

8. BADANIA

8.1. Opis badań

8.1.1. Sprawdzenie podłoża gruntowego

Sprawdzenie polega na porównaniu rzeczywistych warunków gruntowych z warunkami podanymi w projekcie. Dla wszystkich sekcji należy prowadzić makroskopową ocenę wydobywanego urobku zgodnie z PN-88/B-04481: określenie rodzaju i barwy gruntów niespoistych oraz dodatkowo konsystencji gruntów spoistych. Profil gruntu należy podać w metryce sekcji. Uzupełniające badania podłoża należy wykonać dla pierwszej głębiej sekcji, dla dalszych wskazanych w projekcie oraz w przypadku, gdy badanie makroskopowe wykaże istotne różnice w stosunku do parametrów podłoża przyjętych w projekcie ściany.

W przypadku, gdy ściana szczelinowa ma być zagłębiona w warstwie nieprzepuszczalnej, należy prowadzić makroskopową ocenę wydobywanego urobku przy głębie-

niu każdego zabioru i określać rodzaj, barwę, konsystencję gruntu oraz stwierdzić zagłębienie ściany w tę warstwę.

8.1.2. Sprawdzenie wykonania ścianek prowadzących

Sprawdzenie należy wykonywać badając:

- a. zgodność z dokumentacją techniczną usytuowania i wymiarów wykopów oraz zmontowanego deskowania ścianek – za pomocą pomiarów geodezyjnych na zgodność z wymaganiami p. 6.3 i 6.8,
- b. zgodność z dokumentacją zbrojenia ścianek przez oględziny i z użyciem podziałki milimetrowej,
- c. jakość betonu zgodnie z PN-EN 206:2013,
- d. zgodność wymiarów ścianek po rozdeskowaniu – jak w a).

8.1.3. Sprawdzanie zawiesiny

8.1.3.1. Zakres badań

Badania pełne właściwości zawiesiny należy wykonywać:

- podczas opracowywania receptury zawiesiny,
- podczas przygotowywania pierwszego zarobu zawiesiny,
- w trakcie robót co najmniej raz w tygodniu,
- po każdej dostawie nowej partii bentonitu.

Badania niepełne wykonuje się co najmniej raz dziennie na próbce przygotowanej z zawiesiny oraz w trakcie odbioru każdego wygłębionego odcinka szczeliny. Bezpośrednio przed dopuszczeniem do betonowania określa się gęstość zawiesiny i zawartość piasku na 2 próbkach pobranych ze szczeliny, z głębokości $1 \div 3$ m oraz z około 0,3 m powyżej dna. Wszystkie sprawdzenia wykonuje się zgodnie z wymaganiami p. 6.4.1.3.

8.1.3.2. Sposób pełnego badania zawiesiny

Badanie pełne obejmuje oznaczenie następujących cech zawiesiny:

- gęstości,
- lepkości umownej,
- objętości filtratu,
- zawartości piasku,
- osadu filtracyjnego,
- odczynu pH.

Ponadto zaleca się badanie odstoju wody.

Sposób wykonywania tych badań wg normy BN-76/1785-01 jest następujący:

Gęstość zawiesiny należy oznaczać w wyskalowanym naczyniu o objętości nie mniejszej niż 150 g, przez zważenie naczynia na wadze o dokładności 0,1 g lub stosując wagę typu Baroida. Gęstość należy podawać w g/cm^3 z dokładnością 0,01.

Lepkość umowną należy oznaczać lejkiem Marsha mierząc czas wypływu 1000 cm^3 zawiesiny. Lejek powinien być wyskalowany tak, aby czas wypływu 1000 cm^3 wody wynosił $28 \pm 0,5$ s. Lepkość należy podawać w sekundach z dokładnością do 1 s. Ostatnio wprowadzono lepkościomierz kulkowy tzw. harfę, uznawaną za przydatniejszą do badania na budowie lepkości zawiesiny od lejka Marsha.

Objętość filtratu należy oznaczać w prasie filtracyjnej lub przyrządem nurnikowym. Miarą jest objętość wyrażona w ml, określona po 30 minutach badania.

Odczyn pH należy oznaczać wskaźnikiem uniwersalnym przez zanurzenie wskaźnika w zawiesinie i porównanie z barwą wzorcową. Odczyn pH należy podawać z dokładnością do 1.

Zawartość piasku należy oznaczać w odpowiednim przyrządzie, który składa się ze szklanego naczynia miarowego zwężającego się ku dołowi oraz cylindra z sitkiem o liczbie oczek równej $6400/\text{cm}^2$ i stożkowej końcówki cylindra, służących do wypłukania i oddzielenia piasku z zawiesiny. Zebrana objętość piasku w naczyniu pomiarowym, wyrażona w ml, pochodząca z próbki zawiesiny o objętości 20 ml, pomnożona przez 5, jest miarą (w procentach) zawartości piasku.

Osad filtracyjny należy oznaczać w prasie filtracyjnej. Miarą jest grubość warstwy osadu na sączku, określona po 30 minutach badania, wyrażona w mm.

Odstój wody należy oznaczać w cylindrze szklanym o objętości nominalnej 1000 cm^3 , wysokości 350 mm i średnicy 60 mm. Próbkę zawiesiny wlewa się do cylindra i pozostawia na 24 godziny. Po tym czasie określa się ilość wody na skali cylindra w procentach objętościowych z dokładnością do 1%.

8.1.3.3. Sposób niepełnego badania zawiesiny

Badanie niepełne obejmuje sprawdzenie gęstości, lepkości, zawartości piasku i odczynu pH zawiesiny w sposób podany dla badania pełnego.

8.1.4. Sprawdzanie roztworu polimerowego

Kontrola roztworu polimerowego jest ogólnie podobna, jak zawiesiny bentonitowej. Specyficznymi badaniami są kontrola przyrostu grubości osadu i oczyszczenia dna szczeliny przed betonowaniem, opisane w 6.4.2. Zakres i sposoby badań oraz kryteria powinny być określone w indywidualnej specyfikacji stosowania konkretnego roztworu.

8.1.5. Sprawdzenie wykonania szczeliny

Badania w trakcie robót polegają na bieżącym sprawdzaniu w miarę postępu głębienia:

- a. głębokości otworu,
- b. poziomu zwierciadła zawiesiny w szczelinie,
- c. kontroli właściwości zawiesiny zgodnie z p. 8.1.3,
- d. pionowości szczeliny – przez pomiar pionowości zawieszenia narzędzia głębiącego.

Pomiary głębokości szczeliny należy wykonywać z dokładnością ± 100 mm za pomocą wycechowanej linki lub taśmy z obciążnikiem.

Po wygłębieniu odcinka szczeliny należy sprawdzić:

- a. głębokość w trzech punktach (na końcach i w środku sekcji) – przez pomiar jak wyżej,
- b. oczyszczenie powierzchni styków – przez opuszczenie narzędzia głębiarki wzdłuż styku, z kontrolą pionowości ruchu narzędzia,
- c. właściwości zawiesiny – przez pobranie próbek z głębokości około 0,3 m powyżej dna szczeliny oraz zbadanie gęstości (wg p. 8.1.3.2) zgodnie z p. 6.4.1.

Jeżeli właściwości zawiesiny nie spełniają wymagań z p. 6.4.1, to należy ją wymienić (częściowo lub całkowicie) wypompowując zawiesinę z dolnej części szczeliny, z równoczesnym uzupełnieniem świeżą zawiesiną od góry w taki sposób, by stale utrzymywać jej poziom w szczelinie zgodnie z wymaganiami p. 6.4.1. Następnie należy przemieszczać zawiesinę w szczelinie i ponownie wykonać sprawdzenie głębokości i właściwości zawiesiny.

8.1.6. Sprawdzenie formowania sekcji ściany

Badania polegają na sprawdzeniu zgodności z dokumentacją i wymaganiami p. 6.6:

- a. stanu elementów rozdzielczych i rury do betonowania – przez oględziny,
- b. położenia w szczelinie elementów rozdzielczych i szkieletu zbrojeniowego – przez pomiar z dokładnością ± 20 mm,
- c. konsystencji mieszanki betonowej, poziomu mieszanki w szczelinie, głębokości zanurzenia wylotu rury wlewowej, poziomu zwierciadła zawiesiny i niezmienności położenia szkieletu zbrojeniowego – dokonywanych w miarę postępu robót.

Konsystencję mieszanki betonowej sprawdza się przez pomiar opadu stożka lub wielkości rozplywu zgodnie z PN-EN 206:2013 na wymagania w p. 6.6.4.

Poziom mieszanki betonowej w szczelinie sprawdza się z dokładnością ± 100 mm przy użyciu cechowanej linki lub taśmy z obciążnikiem. Wymiary i masa obciążnika powinny być tak dobrane, aby w zawieszynie tonął, a w mieszance betonowej pozostał na jej powierzchni. Wyniki pomiarów zamieszcza się w metryce sekcji ściany.

Próbki betonu do badania konsystencji i wytrzymałości na ściskanie pobiera się w czasie wprowadzania mieszanki betonowej do szczeliny, w liczbie co najmniej 3 na sekcję. Próbkę do badań wodoszczelności pobiera się na początku, w trakcie oraz na końcu robót, lecz nie rzadziej niż co 2 tygodnie. Próbkę należy przygotowywać, przechowywać i badać zgodnie z PN-EN 206:2013.

8.1.7. Sprawdzenie szczelności ścian

Szczelność ścian można oceniać dopiero po zamknięciu budynku lub pomieszczeń i uszczelnieniu płyty dennej oraz po ich osuszeniu, aby wyeliminować napływ wód opadowych lub technologicznych oraz zjawisko rosznienia pary na zimnych ścianach. Szczelność ścian na otwartej przestrzeni można sprawdzać tylko w następujących warunkach atmosferycznych: przy temperaturze powietrza powyżej 0°C oraz poniżej 25°C, gdy na sprawdzaną ścianę nie padają bezpośrednio promienie słoneczne, a w ciągu poprzedzających 24 godzin nie było opadów.

Sprawdzenie wykonuje się przez oględziny i określenie stanu zawilgocenia powierzchni ściany oraz przez pomiar wielkości plam wilgoci. Wilgotność plam na powierzchni ściany sprawdza się przez dotknięcie ręką: na dłoni może pozostać ślad wody, ale bez widocznych kropli lub zamoczenia. Na powierzchni betonu wilgotne plamy są widoczne jako ciemniejsze od pozostałej powierzchni betonu. Niedopuszczalne jest spływanie kropel wody po ścianie.

8.1.8. Sprawdzenie nośności elementów ściany szczelinowej lub baret

Sprawdzenie przeprowadza się w szczególnych przypadkach, na podstawie indywidualnie opracowanego programu, dostosowanego do istniejących potrzeb i warunków. Zasady badań nośności osiowej można określić odpowiednio adaptując wymagania PN-B-02482:1983. Próbné obciążenia poziome ścian wymagają uzasadnienia ich celu, założeń analizy i kryteriów oceny wyników.

8.1.9. Badania specjalne

Badania specjalne obejmują badania nieniszczące ciągłości i cech materiału ścian, pomiary przemieszczeń i odkształceń ścian [13] oraz inne, określone w projekcie. Należy też prowadzić obserwacje przemieszczeń obiektów w zasięgu strefy oddziaływania wykopu. Zasady i metody badań ustala się indywidualnie w warunkach konkretnego obiektu, w nawiązaniu do projektu, norm i przepisów.

8.2. Ocena wyników badań i odbiór końcowy

W przypadku stwierdzenia odchyień usytuowania ścianek prowadzących przekraczających tolerancje podane w p. 6.8, położenie ich należy skorygować lub ścianki rozebrać i wykonać ponownie.

Jeżeli właściwości zawiesziny nie spełniają wymagań p. 6.4.1, to należy ją wymienić lub uzdatnić zgodnie z p. 8.1.4.

Sposób postępowania w przypadku stwierdzenia usterek wykonania sekcji nienadających się do usunięcia powinien określić w porozumieniu nadzór techniczny z projektantem. Jest niedopuszczalne rozebranie ściany szczelinowej lub sekcji. Zaleca się opracowanie rozwiązań konstrukcyjnych, ograniczających niezbędny zakres prac korygujących, niepowodujących naruszenia warunków hydro-geotechnicznych.

Do odbioru końcowego ścian wykonawca powinien przedstawić:

- a. dokumentację techniczną z naniesionymi zmianami i uzupełnieniami, dokonanymi w trakcie robót,
- b. dziennik budowy lub dokument równoważny,
- c. atesty stosowanych materiałów,
- d. metryki sekcji ścian,
- e. wyniki badań próbek betonu,
- f. inne dokumenty lub wyniki badań, określone w kontrakcie lub zlecone przez nadzór.

Zakres informacji zawartych w metryce sekcji nie powinien być mniejszy niż w załączonym przykładzie formularza metryki sekcji.

Ściana szczelinowa wykonana z zachowaniem wymagań konstrukcyjnych, wymiarowych, wytrzymałościowych oraz spełniająca wodoszczelność standardową (klasa 1) lub wyższą (jeśli taka była określona w kontrakcie) jest odbierana bez zastrzeżeń.

W przypadku niespełnienia któregoś z tych wymagań dokonuje się oceny wpływu odstępstwa na wartość techniczną i użytkową. Jeżeli odstępstwo nie obniża wartości technicznej lub użytkowej, to ściana może być odebrana bez zastrzeżeń lub z określeniem rodzaju zastrzeżeń i ich konsekwencji. Natomiast jeśli odstępstwo obniża wartość techniczną i użytkową, to wdraża się program naprawczy lub ustala inną formę rozstrzygnięcia kwestii obniżonej wartości ściany.

Jeśli wykonany element nie spełnia wymagań technicznych, ale może bezpiecznie i trwale pełnić założoną funkcję, co zostanie potwierdzone opinią jednostki naukowo-badawczej, to można dokonać odbioru, ewentualnie obniżając wartość wg propozycji opiniującego.

9. NORMY ZWIĄZANE

BN-76/1785-01 Płuczka wiertnicza. Metody badań własności w warunkach polowych.

PN-B-02482:1983 Fundamenty budowlane – Nośność pali i fundamentów palowych.

PN-B-02483:1978 Pale wielkośrednicowe wiercone. Wymagania i badania.

PN-B-04481:1988 Grunty budowlane. Badania próbek gruntu.

PN-B-06265:2018-10 Beton. Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność. Krajowe uzupełnienie PN-EN 206+A1:2016-12.

PN-EN-206:2013+A1:2016-12 Beton: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność.

PN-EN-1536+A1:2015 E Wykonawstwo specjalnych robót geotechnicznych – Pale wiercone.

PN-EN-1538:2015-08 Wykonawstwo specjalnych robót geotechnicznych – Ściany szczelinowe.

PN-EN 1992-1-1:2008 Projektowanie konstrukcji z betonu – Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.

PN-EN 1997-1:2008 Projektowanie geotechniczne – Część 1: Zasady ogólne.

10. PIŚMIENNICTWO

- [1] Bogusz W., Godlewski T.: Geotechniczne oddziaływania obiektów w przestrzeni podziemnej – redefinicja wymagań, *Acta Sci. Pol. Architectura*, 2017, nr 3, s. 25–34.
- [2] Borys M.: Wytyczne wykonywania pionowych przegród przeciwfiltacyjnych z zawieszin twardniejących w wałach przeciwpowodziowych, Instytut Melioracji i Użytków Zielonych, Falenty 2017.
- [3] Grzegorzewicz K.: Technika wykonywania ścian szczelinowych, Wyd. IBDiM, Warszawa 1975, Seria „S” – Studia i Materiały, zesz. 3.

- [4] Grzegorzewicz K.: Projektowanie i wykonywanie ścian szczelinowych, *Geoinżynieria: drogi mosty tunele*, 2005, nr 3, s. 43-51.
- [5] Grzegorzewicz K.: Bukiet kwiatów – czyli o czym pamiętać i czego unikać przy projektowaniu ścian szczelinowych, *Seminarium IBDiM i PZWFS „Ściany szczelinowe”*, Warszawa, 22 kwietnia 2010, s. 3-30.
- [6] Grzegorzewicz K., Kłosiński B., Rychlewski P., Górecki Ł.: Ściany szczelinowe i baret – konstrukcje i zastosowania, *Wyd. IBDiM, Warszawa 2020, Seria „S” – Studia i Materiały*, zesz. 89.
- [7] Instrukcja badań podłoża gruntowego obiektów drogowych i mostowych, Cz. 1 i 2, *GDDP, Wyd. IBDiM, Warszawa 1998*.
- [8] Kledyński Z., Rafalski L.: Zawiesiny twardniejące, *Wyd. KILiW PAN, Warszawa 2009, Seria: Studia z zakresu inżynierii*, nr 66.
- [9] Kłosiński B.: Warunki techniczne wykonywania ścian szczelinowych, *Wyd. 2, Wyd. IBDiM, Warszawa 1992, Seria „I” – Informacje, instrukcje*, zesz. 35.
- [10] Kłosiński B.: Wpływ głębokich wykopów na odkształcenia przyległych budowli, *Inżynieria i Budownictwo*, 2010, nr 11, s. 579–585.
- [11] Kłosiński B., Kamiński P.: Wymagania stawiane betonom do ścian szczelinowych, *Inżynier Budownictwa*, 2016, nr 2, s. 76–81.
- [12] Kłosiński B., Szymankiewicz Cz.: Doświadczenia IBDiM ze stosowania oraz badań pali i baret z iniekcyjnie naprężanymi podstawami, *Inżynieria i Budownictwo*, 2005, nr 3, s. 120–125.
- [13] Kotlicki W., Łukasik S., Godlewski T., Bogusz W.: Ochrona zabudowy w sąsiedztwie głębokich wykopów, *Wyd. ITB, Warszawa 2020, Seria: Instrukcje, Wytyczne, Poradniki ITB*, nr 376 (nowelizacja instrukcji nr 376/2002).
- [14] Michalak H., Pęski S., Pyrak S., Szulborski K.: O wpływie wykonywania wykopów głębokich na zabudowę sąsiednią, *Inżynieria i Budownictwo*, 1998, nr 1.
- [15] Opęchowski W.: Uwarunkowania hydrogeologiczne głębokiego fundamentowania, *Seminarium IBDiM i PZWFS „Ściany szczelinowe”*, Warszawa, 22 kwietnia 2010.
- [16] Popielski P.: Oddziaływanie głębokich posadowień na otoczenie w środowisku zurbanizowanym, *Ofcyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej*, Warszawa 2012.
- [17] Popielski P., Dąbska A.: Analiza granicznych wartości odkształceń konstrukcji i przemieszczeń fundamentów według PN-EN 1997-1:2008 w odniesieniu

- do norm polskich, radzieckich i rosyjskich, Inżynieria i Budownictwo, 2012, nr 4, s. 33–38.
- [18] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 1 sierpnia 2019 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich usytuowanie (Dz. U. z 2019 r. poz. 1642).
- [19] Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z 25 kwietnia 2012 r. w sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadawiania obiektów budowlanych (Dz. U. z 2012 r. poz. 463).
- [20] Siemińska-Lewandowska A.: Głębokie wykopy – Projektowanie i wykonawstwo, WKŁ, Warszawa 2010.
- [21] Szymankiewicz Cz.: Iniekcyjne naprężanie podstaw pali wierconych i baret, Seminarium IBDiM i PZWFS „Fundamenty palowe i specjalne”, Warszawa, 2 marca 2004.
- [22] Tomczak U.: Monitoring ścian szczelinowych, Seminarium IBDiM i PZWFS „Ściany szczelinowe”, Warszawa, 22 kwietnia 2010, s. 93–106.
- [23] Topolnicki M., Buca R., Dymek D.: Bezpieczeństwo dużych i głębokich wykopów budowlanych, Inżynieria i Budownictwo, 2015, nr 6.
- [24] Welka A., Świniański J.: Suchy wykop budowlany, czyli jak skutecznie odciąć dopływ wody do wykopu, Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne, 2018, nr 4, s. 26–29.
- [25] Wytyczne badań podłoża gruntowego dla potrzeb budowy i modernizacji infrastruktury kolejowej. PKP PLK, Warszawa 2015, s. 162.
- [26] Wytyczne wykonywania badań podłoża gruntowego na potrzeby budownictwa drogowego. Część 1: Wytyczne badań podłoża budowlanego w drogownictwie, PIG-PIB, AGH, PW, Warszawa 2019.
- [27] Zaczek-Peplińska J., Pasik M., Popielski P.: Geodezyjny monitoring obiektów w rejonie oddziaływania budowy tuneli i głębokich wykopów – doświadczenia i wnioski, Acta Sci. Pol. Architectura, 2013, nr 2, s. 17–31.

Profil gruntu [m]

METRYKA ŚCIANY SZCZELINOWEJ

WYKONAWCA: OBIEKT:.....

GLEBIENIE SEKCJA NR.....

Rzędna ścianek prowadzących (A)

Szerokość szczeliny (B)

Długość szczeliny (L)

Głębokość szczeliny (D)

Początek głębenia: data:.....godz.:

Koniec głębenia: data:.....godz.:

CIECZ STABILIZUJĄCA

Rodzaj: zawiesina bentonitowa / inna

Ocena cieczy po zakończeniu głębenia:

Czy wymieniono ciecz przed betonowaniem? TAK NIE

ELEMENT FORMUJĄCY STYK

Rodzaj: rura Ø..... / inny.....

ZBROJENIE

Typ szkieletu: Wysokość

Wstawienie zbrojenia: data: godz.:

..... Zbrojenie odebrał Zezwalam na betonowanie

BETONOWANIE data

Wysokość zabetonowana (H):[m] Symbol receptury:

Objętość teoretyczna:[m³] Klasa betonu:

Zużycie betonu:[m³] Wytwórnia betonu

Liczba rur wlewowych:szt. Kierownik betonowania:.....

Nr rej.	Betonowozy			Próbki		Opad stożka [cm]	Głębokość [m]			Uwagi		
	Godzina		Nr WZ	Objętość betonu			Oznaczenie	Liczba pobrań	Miejsce pomiaru		Średnia	
	Przyjazd	Rozładunek		L.p.	Dowiezionego				Narasztająco			1

Uwagi

Pieczęć i podpis Wykonawcy

Podpis inspektora nadzoru