

Konstrukcje oporowe w obiektach inżynierskich

Wielopoziomowe skrzyżowania, wiadukty i mosty wymagają wykonania konstrukcji oporowych, które obciążone są m.in. parciem gruntu. W wersji minimalnej są to tylko przyczółki ze skrzydełkami. W przypadku braku miejsca dla skarp o naturalnym pochyleniu, konieczne jest wykonywanie również ścian oporowych (fot. 1, 2).



Fot. 1. Ściana żelbetowa dojazdu do Wiaduktu



Fot. 2. Ściana oporowa przejazdu pod torami kolejowymi

Żelbetowe ściany oporowe

Najczęściej konstrukcje ścian oporowych wykonywane są z żelbetu formowanego w deskowaniu na miejscu budowy. Przy mniejszych gabarytach dostosowanych do możliwości transportowych ściany kątowe mogą być prefabrykowane. Posadowienie projektowane jest jako bezpośrednie, na palach lub na wzmocnionym podłożu. Betonowanie ściany żelbetowej na budowie nie jest specjalnie skomplikowane. Wykonuje się je w dwóch etapach: najpierw element poziomy, a potem pionowy. Betonowanie w różnym czasie dwóch elementów połączonych ze sobą skutkuje powstawaniem rys skurczowych w elemencie pionowym. Jest to zjawisko naturalnie, pionowe rysy mają największe rozwarście w dolnej części i zanikają nie dochodząc do wierzchu elementu pionowego. Pewnym utrudnieniem wykonawczym takich ścian jest jedynie zbrojenie, szalowanie i betonowanie części pionowej, szczególnie jeśli jest ona wysoka. Przykład zbrojenia pionowej części przyczółka pokazano na fot. 3. Próba wyeliminowania problemów wykonawczych jest zastosowanie prefabrykowanej części pionowej. Wykonana w leżącej formie, jest potem ustawiana w miejscu wbudowania i w jednym betonowaniu (razem z częścią poziomą) łączona z całą konstrukcją. Przykład konstrukcji wykonanej w tej technologii pokazano na fot. 4.



Fot. 3. Widok zbrojenia pionowego ściany żelbetowej



Fot. 4. Ściana oporowa monolityczna z pionowymi elementami prefabrykowanymi

Ściany oporowe z gruntu zbrojonego

Elementy prefabrykowane znajdują liczne zastosowania w konstrukcjach z gruntu zbrojonego. Roboty na mokro ograniczają się do wykonania niewielkiego fundamentu. Przykład takiej aplikacji pokazano na Niemalże ręcznie można wykonać ścianę z gruntu zbrojonego z licem z bloczków betonowych (fot. 7). Konieczny sprzęt ogranicza się do ładowarki i zagęszczarki. Na niewielkim fundamencie układa się kolejne warstwy bloczków. W ustalonych projektowo odstępach pionowych, warstwy zasyпки zbrojone są geosyntetykami o obliczonej długości i wytrzymałości długoterminowej. Aby zminimalizować odkształcenia ściany zbrojenie powinno być w sposób kontrolowany wstępnie naciągane, tak aby zlikwidować luzy i zafałdowania. Małe wymiary bloczków pozwalają budować ściany o różnych kształtach w planie. Mogą to być elementy proste oraz łukowe o różnych promieniach, zarówno wklęsłe jak i wypukłe. Zmieniając kolor betonu w bloczkach możliwe jest skomponowanie różnych wzorów widocznych na licu ściany. Przy użyciu geotkaniny możliwe jest uformowanie skarpy zbrojonej bez użycia bloczków. Zawinięcie tkaniny w deskowaniu i odpowiednie zagęszczenie zasyпки kształtuje powierzchnię skarpy. Na fot. 8 pokazano przykład takiej konstrukcji w zastosowaniu tymczasowym, przy połówkowej budowie obiektu. Jeśli tego rodzaju zbrojenie ma pełnić swoją funkcję długotrwale, konieczne jest zastosowanie ochrony przed szkodliwymi wpływami atmosferycznymi. Może być to obsypka z gruntu i darniowanie, panele osłonowe lub bloczki, które nie przejmują parcia gruntu, a stanowią jedynie element osłony. Dużą zaletą konstrukcji z gruntu zbrojonego jest ich podatność, czyli zdolność dopasowywania się do powstających odkształceń i przemieszczeń konstrukcji i podłoża.



Fot. 5. Ściana panelowa z gruntu zbrojonego elementami stalowymi



Fot. 6. Panele prefabrykowane ściany oporowej

Konstrukcje gabionowe

Podobne właściwości mają ściany gabionowe (fot. 9). Mogą być projektowane jako masywne, w których stateczność zapewniona jest przez ciężar konstrukcji oraz pełniące tylko funkcję oblicowania, w których stateczność zapewniona jest przez zbrojenie gruntu. Składają się z koszy z siatki stalowej wypełnionej

kamieniami. Szczególnie korzystne jest stosowanie gabionów w obszarach, gdzie jest łatwo dostępny kamień. Siatka gabionowa ma specjalny splot, który zapewnia, że nie rozplata się po uszkodzeniu pojedynczego drutu. Korzystnymi cechami ścian gabionowych jest fakt, że dobrze dopasowują się do ewentualnych osiadań podłoża oraz nie blokują wypływu wody zza ściany. fot. 5. Konstrukcja przęśła kolejowego oparta jest na oddzielnych filarach, natomiast parcie gruntu za przyczółkiem przenosi blok gruntu zbrojonego taśmami stalowymi. W takiej konstrukcji bardzo istotnym elementem konstrukcyjnym jest kruszywo zasypki. Jej parametry wytrzymałościowe zależą od właściwego zagęszczenia i jest to jedno z najistotniejszych zagadnień w konstrukcjach z gruntu zbrojonego, bez względu na rodzaj użytego zbrojenia. Obliczanie stanowią panele prefabrykowane połączone z płaskownikami stalowymi zbrojenia. Panele mają łączniki centrujące umożliwiające wykonanie ściany z równym licem. Przykład paneli z widocznymi łącznikami oraz elementami startowymi do taśm stalowych pokazano na fot. 6. Wykonanie takiej ściany wymaga niewielkiej ilości sprzętu, ale konieczny jest m.in. dźwig do podawania elementów prefabrykowanych.



Fot. 7. Ściana oporowa z drobnowymiarowych elementów betonowych z gruntem zbrojonym siatkami geosyntetycznymi

Fot. 8. Ściana gruntu zbrojonego geotkaniną poliestrową

Fot. 9. Ściana oporowa z gabionów kamiennych

Ściany szczelinowe

Konieczność zabezpieczenia się przed napływem wody zdecydowanie częściej występuje w przypadku wykopów. Na fot. 10 pokazano dojazdy do tunelu drogowego. Skarpy zabezpieczone są wspornikowymi ścianami szczelinowymi. Wykonywane były one z powierzchni terenu przed wykonaniem wykopu. Poziom wody gruntowej znajduje się kilka metrów powyżej niwelety widocznej jezdni. Problemem ścian szczelinowych „pod gołym niebem” jest duża zmienność temperatur w sezonie lato-zima. Odształcenia termiczne (skrócenie w zimie) powodują otwieranie się styków i przecieki wody. Doraźne działania iniekcyjne poprawiają sytuację tylko na jeden sezon. W lecie uszczelnienie jest mocno ściskane, a kolejnej zimy styki otwierają się ponownie. Skutecznym antidotum jest jedynie usunięcie pierwotnej przyczyny, czyli wahań temperatury. Dobrym przykładem jest rozwiązanie przedstawione na fot. 10. Panele akustyczne pełnią jednocześnie funkcje izolującą i osłaniającą ścianę. Dzięki temu grunt za ścianą o stabilnej temperaturze, jest w stanie zapewnić tę stabilność również na powierzchni ściany pod ekranem. Niewskazane jest natomiast w takim przypadku tynkowanie ściany. Utrudnia to ewentualne odnalezienie miejsca przecieku, ponieważ woda może wychodzić przez tynk w innym miejscu niż przesącza się przez żelbetową ścianę. Ponadto pierwsza próba iniekcji ściany na stałe psuje jej walory estetyczne. Zalecane są wszelkiego rodzaju elementy osłonowe, najlepiej tymczasowo demontowalne.



Fot. 10. Ściany oporowe dojazdu do tunelu wykonane w technologii ścian szczelinowych



Fot. 11. Ściany oporowe i przyczółek wykonany z grodzic stalowych

Ściany oporowe z grodzic stalowych i PVC

Równie skuteczne w powstrzymaniu wody są ściany wykonane z grodzic stalowych. Na fot. 11 pokazano przykład ścian, które stanowią jednocześnie zabezpieczenie skarp i przenoszą obciążenia pionowe od konstrukcji wiaduktu. Sprawą zbyt demonizowaną w tego rodzaju konstrukcjach jest korozja elementów stalowych. W częściach widocznych rozwiązaniem jest pomalowanie konstrukcji, które poprawia walory estetyczne. Natomiast w gruncie skutecznym rozwiązaniem jest naddatek korozyjny przekroju. Postęp korozji da się przewidzieć i są to wartości mierzalne. Możliwe jest zaprojektowanie konstrukcji, które w całym okresie eksploatacji obiektu będzie bezpiecznie przenosić obciążenia. Ścianka stalowa może mieć schemat konstrukcyjny wspornikowy lub tak jak w tym przypadku, ze względu na obciążenie ruchem i nawierzchnię jezdni na naziemie, stężony ściągami. W niewielkich konstrukcjach rozwiązaniem problemu korozji elementów stalowych jest również zastosowanie grodzic z tworzyw sztucznych. Ze względu na mniejsze możliwości przenoszenia obciążeń stosowane są one powszechnie do zabezpieczeń niewielkich nabrzeży, brzegów kanałów lub jak pokazano na fot. 12 jako niewielkie ściany oporowe. Rozwiązują one tu problem braku dostępności miejsca dla nasypu kolejowego. Ze względu na mniejszą odporność na uszkodzenia, wymagają one doświadczonego wykonawstwa. W warunkach gruntowych, gdzie opory pogrążania są duże, w celu właściwego wprowadzenia ścianek, mogą być konieczne dodatkowe zabiegi lub urządzenia.

Ściany oporowe z gwoździ gruntowych

W miejscach, gdzie wykop wykonywany jest w gruntach, które mogą zachować tymczasową stateczność, możliwe jest wykonanie ściany gwoździowanej. Odkopując skarpy warstwami wykonuje się kolejne rzędy gwoździ gruntowych. Powierzchnie skarp zabezpiecza się torkretem zbrojonym siatką stalową. Przykład takiej skarpy pokazano na fot. 13. Stanowi ona tymczasowe zabezpieczenie ścian wykopu na terenie byłej kopalni węgla kamiennego. Technologia ta jest szczególnie popularna na terenie występowania fliszu karpackiego, spękanych skał i łupków. W konstrukcjach docelowych istotnym zagadnieniem jest odwodnienie przestrzeni za licem ściany, tak aby nie działało na niego parcie wody o dużej wysokości.



Fot. 12. Przykład ścianki oporowej z grodzic z tworzyw sztucznych



Fot. 13. Torkretowana ściana gwoździowana głębokiego wykopu



Fot. 14. Palisada stanowiąca obudowę głębokiego wykopu

Ścianki szczelne - palisady

Relatywnie mało popularną w Polsce metodą zabezpieczenia skarp są palisady. Wykonuje się je najczęściej tam, gdzie zakres prac jest za mały dla ścian szczelinowych. Z powodzeniem stosuje się je do zabezpieczania skarp na osuwiskach, wykopach również w bezpośrednim sąsiedztwie rzek. Na fot. 14 pokazano przykład palisady podtrzymującej skarpę z zabytkowym budynkiem w czasie głębienia wykopu obok. Palisada może być wykonana z pali sąsiadujących lub wcinanych jeden w drugi. To drugie rozwiązanie umożliwia uzyskanie palisad szczelnych dla wody. Wykonuje się je najczęściej stosując naprzemiennie pale pierwotne niezbrojone i ze słabszego materiału oraz pale wtórne wcinające się w pierwotne i zawierające zbrojenie. Wykonanie pali wcinanych w „sąsiada” jest możliwe w technice rur obsadowych i bardzo trudne np. w technice pali CFA. Z powodzeniem wykonywane są palisady za pomocą mikropali.

Podsumowanie

Dzięki wielu istniejącym technologiom do wykonywania ścian oporowych można otrzymać ścianę ściśle odpowiadającą zapotrzebowaniu. Możliwe jest uzyskanie różnej podatności i odkształceń konstrukcji, rozmaitych faktur i kolorów, właściwie dowolnych kształtów, ściany szczelnej lub łatwo odwadnianej, dopasowanej do istniejących warunków gruntowych i rodzajów zasypki.

mgr inż. Piotr Rychlewski
Instytut Badawczy Dróg i Mostów