

dr inż. Bolesław Kłosiński*

Kołowe i wielokątne obudowy wykopów ze ścian szczelinowych

Głębokie wykopy, zwłaszcza wśród istniejącej zabudowy, są dużym wyzwaniem technicznym. W celu ich bezpiecznego głębienia i ochrony otoczenia najczęściej są obecnie stosowane obudowy ze ścian szczelinowych, które zostały sprawdzone na wielu budowach i stały się dobrze opanowaną technologią przez firmy wykonawcze [2, 3, 5]. Główne ich zalety to duża sztywność oraz możliwość wykorzystania jako docelowych ścian podziemia i fundamentu budowli. Kształt obudów podyktowany jest zwykle granicą działki i opisany liniami prostymi; najczęściej bywa prostokątny. Ściany obudów wymagają solidnego zbrojenia do przeniesienia momentów zginających oraz dużego zagłębienia poniżej dna wykopu w celu zapewnienia ich stateczności. Obudowy głębszych wykopów są kotwione, podpierane stropami podziemia lub rozporami stalowymi.

Korzystnym, choć też rzadziej stosowanym, rozwiązaniem konstrukcyjnym są obudowy kołowe w planie [4], których kształt sprawia, że ściana pracuje jak sklepienie złożone z odcinków (sekcji). Obudowy kołowe są stosowane jako podziemne zbiorniki i parkingi, a szczególnie szyby o różnym przeznaczeniu, jak również elementy złożonych struktur podziemnych. W Polsce wykorzystano je m.in. w przypadku budowy górnych części wielu szybów (fotografia 1), obudowy osadników, szybu odbiorczego (fotografia 2) tunelu do przesyłu ścieków pod Wisłą w Warszawie oraz w kopalniach węgla i miedzi głębokości ponad 30 m.

Grubość ścian obudów wynosi zwykle 60 lub 80 cm, rzadziej 100 cm i więcej. Kołowy kształt zapewnia pracę ściany jako konstrukcji „samonośnej” – na ogół niewymagającej rozparć lub kotwienia. Możliwe jest mniejsze zagłębienie poniżej spodu wykopu, gdyż ściana nie wymaga utwierdzenia w gruncie. Istotne

* Instytut Badawczy Dróg i Mostów



Fot. 1. Widok obudowy szybu kopalni ze ścian szczelinowych

[www.soletanche.pl/realizacje]



Fot. 2. Obudowa ze ścian szczelinowych szybu tunelu pod Wisłą [Fot. P. Rychlewski]

jest, aby obciążenia obudowy były możliwie równomierne. W przypadku zróżnicowanej budowy gruntu, różnego poziomu wody gruntowej lub lokalnego obciążenia naziomu, powstają w obudowie momenty zginające i nierównomierne przemieszczenia, które mogą zagrazić jej stateczności. Należy się liczyć także z niedokładnością usytuowania, zwłaszcza w dolnej części sekcji ścian, zakłócającą pracę łukowej konstrukcji. W celu usztywnienia obudowy wykonuje się monolityczny wieniec wiążący poszczególne sekcje ściany na jej wierzchu, często poszerzony na zewnątrz w poziomie terenu oraz żelbetowe lub stalowe pierścienie

usztywniające na wysokości ściany. W miarę głębienia wykopu obudowę mogą usztywniać stropy podziemia.

Obudowy wielokomorowe

Rozbudowane konstrukcje podziemne mogą być wykonywane w postaci dwu lub więcej przecinających się kołowych komór. Rozwiązanie takie zastosowano w 2005 r. przy budowie podziemia zespołu budynków mieszkalnych w Singapurze (fotografia 3). W związku z tym, że na głębokości 35 m podłoże tworzyły słabe osady morskie, zastosowanie obudowy trójkomorowej umożliwiło szybkie wykonanie podziemia. Uniknięto stosowania rozparć ścian i formowania płyty dennej metodą iniekcji strumieniowej. Ściany szczelinowe głębokości 29 m miały grubość 80 i 100 cm. W miejscu przecięcia komór wykonano u góry żelbetowe rozpory. Dołem rozparcie stanowiła poprzeczna ściana do poziomu żelbetowej płyty dennej grubości 3 m. Wraz ze ścianami wykonano bary podpierające płytę, sięgające do mocnych gruntów lub skały. Otwarta obudowa umożliwiała masowe roboty ziemne wykopu.

W przypadku wykopów o bardzo dużej powierzchni obudowy kołowe bywają wykorzystywane jako fundament oraz samonośny element stabilizujący. W specjalnych warunkach



Fot. 3. Obudowa trójkomorowa z rozporami tylko w miejscach przecięcia [1]

gruntowych, np. gdy występują wielometrowe warstwy słabe wykluczające możliwość kotwienia obudowy, a duża szerokość utrudnia użycie rozpór, wykonana w centrum wykopu kołowa „studnia” umożliwi łatwe głębenie wewnątrz niej. Ściany zewnętrzne obudowy wykopu podpierane są rozporami opartymi o tę „studnię”, które mogą być znacznie krótsze. Beton ściany jest głównie ściskany obwodowo, co pozwala ograniczyć lub w ogóle wyeliminować zbrojenie. W przypadku optymalizacji kosztów często zadawane jest pytanie: czy zastosować grubszą ścianę niezbrojoną, czy też cieńszą, ale zbrojoną. Największa grubość jest niezbędna w dolnej części ściany, ale jej wymiar musi być jednakowy na wysokości.

Obwodowe siły ściskające powodują zmniejszenie obwodu, a w efekcie przemieszczenie do środka i zmniejszenie średnicy. Jest to spowodowane głównie odkształceniem styków sekcji, w których pozostaje osad z zawiesiny i ulega ścisnięciu. Największe odkształcenia występują w dolnej części, gdzie siły w obudowie są największe. Odkształcenia obudowy zależą od liczby styków, lecz nie zależą od jej promienia. Natomiast odkształcenia powodowane skurczem i pelzaniem betonu są nieznaczne, gdyż korzystne są warunki dojrzewania betonu w gruncie. Ściana nie jest ściśle kołowa, lecz wielokątna – składa się z odcinków prostych o długości narzędzia głębiącego (1,5 do 3 m) lub niekiedy większych. W przypadku dużej średnicy ścianki prowadzące są kołowe, lecz o rozstawie zwiększonym odpowiednio do wymiarów narzędzia głębiącego, a w przypadku małej średnicy obudowy (orientacyjnie do 10 m) wielokątne.

W ścianach niezbrojonych styki sekcji są zwykle w narożach: w każdym lub niekiedy co drugim bądź co trzecim. Beton układany jest przez jedną lub dwie rury wlewowe, umieszczone w załamaniach. Jeżeli ściana wymaga uzbrojenia, to styki w narożach nie są wskazane.

Obudowy, szczególnie dużej średnicy (ponad 40 – 50 m), są konstrukcjami podwyższonego ryzyka. Wymagają wnikliwej analizy stateczności oraz monitorowania odkształceń podczas odkopywania, a czasem i eksploatacji. Grunt z wnętrza powinien być wybierany równomiernie. Jeżeli zostaną zaobserwowane nierównomierne odkształcenia ścian, to konieczne może być dodatkowe podparcie.

Obudowy z pali i kolumn

Zalety obudów kołowych są wykorzystywane również w przypadku innych technologii obudów. Alternatywą dla ścian szczelinowych są obudowy kołowe formowane z pali wierconych (stycznych lub wciętych), kolumn iniekcyjnych albo mikropali. Imponującym przykładem są fundamenty mostu przez rzekę Fatala w Gwinei [1]. Most o rozpiętości prześel $82,5 + 160 + 82,5 = 325$ m przekracza koryto rzeki o głębokości do 37 m i bystrym nurcie, z dnem zbudowanym z twardego, spękanego piaskowca. Obszar ten jest narażony na silne trzęsienia ziemi. Dwa filary nurtowe posadowiono na fundamentach zespolonych z płyty opartej na piaskowcu, wzmocnionej pionowymi i ukośnymi mikropalami iniekcyjnymi. Fundamenty wykonano w „studniach” uformowanych z podwójnego pierścienia kolumn iniekcyjnych zagłębionych w skałę (fotografia 4). Ze względu na sejsmikę terenu obudowę wzmocniono mikropalami, zakotwionymi w podłożu skalistym. Fundamenty wykonywano z usypanych platform roboczych, co nie pozwalało na stosowanie ciężkiego sprzętu. W związku z tym kolumny oraz mikropale w obudowie i pod fundamentem wykonywano lekkimi maszynami, przed rozpoczęciem głębenia wykopu wewnątrz „stud-



Fot. 4. Most Fatala. Obudowa masywnego fundamentu filara rzecznego formowana z kolumn iniekcyjnych wzmocniona mikropalami [1]

ni”. Podczas głębenia wykopu wewnątrz obudowy usztywniono ją stalowymi pierścieniami i uzupełniono torcretem.

Literatura

- [1] Bustamante M., Reiffsteck P.: A review of recent bridge foundation: French experience. L Konf. KILiW PAN i KN PZITB, Warszawa-Krynica, 12 – 17 września „Krynica 2004” t. I, str. 29 – 52.
- [2] Grzegorzewicz K.: Projektowanie i wykonywanie ścian szczelinowych. „Geoinżynieria drogi mosty tunele” nr 3/2005, s. 43 – 51.
- [3] Kłosiński B.: Warunki techniczne wykonywania ścian szczelinowych (wyd. II). Wyd. IBDiM. Seria I: Informacje, instrukcje, z. nr 35, Warszawa 1992.
- [4] Puller M.: Deep excavations. A practical manual. Telford Publ., London 1996, 437 s.
- [5] Siemińska-Lewandowska A.: Głębokie wykopy – Projektowanie i wykonawstwo. Wyd. Komunikacji i Łączności, Warszawa 2010, 180 s.

Budynki wysokie

W ostatnich latach notujemy gwałtowny rozwój budynków wysokich, zmieniający obraz przestrzenny miast (olbrzymi wzrost wysokości wieżowców – powyżej 800,0 m w Azji oraz w USA). Zjawisko zabudowy wysokiej, to zarówno problem przestrzeni miast, jak również ekonomii, techniki, materiałów i technologii wznoszenia wieżowców. Tym pasjonującym problemom poświęcone jest drugie rozszerzone wydanie książki „Budynki wysokie”, której autorami są **prof. dr hab. inż. Adam Zbigniew Pawłowski** i **dr inż. Ireneusz Cała**. Książka obejmuje problemy projektowania wieżowców, badań z tym związanych oraz doświadczeń autorów z tej dziedziny.

„Budynki wysokie” są jedyną książką z tego zakresu w naszym kraju prezentującą m.in. liczące się krajowe osiągnięcia w tej dziedzinie. Wydawcą książki jest Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.

