

Kotwienie płyty dennej budynku Muzeum II Wojny Światowej w Gdańsku

tekst: mgr inż. JAKUB SIERANT, Titan Polska Sp. z o.o.

Funkcjonująca od kilkunastu lat na rynku technologia mikropali samowierzących TITAN dowiodła swojej przydatności i skuteczności w budownictwie inżynierskim. Mikropale wykorzystywane są z powodzeniem nie tylko przy podchwytywaniu i wzmacnianiu fundamentów, ale również jako pełnoprawne elementy posadowienia, jedna z metod stabilizacji osuwisk, obudowy ścian wykopów (palisady) czy też jako technologia do zadań specjalnych.



Widok na teren budowy z lotu ptaka

Do takich zaliczyć należy bez wątpienia zabezpieczenie (kotwienie) płyt dennych przed wyporem. Z tym zagadnieniem konstruktorzy obiektów mają do czynienia coraz częściej. Nowoczesna, wymagająca architektura i konieczność lokalizowania obiektów w miejscach o skomplikowanych warunkach geologiczno-inżynierskich wymagają bowiem stosowania dodatkowych rozwiązań. Budynek z częścią podziemną, nierzadko o znacznej kubaturze, lokalizowane w warunkach wysokiego poziomu wody gruntowej poddane są działaniu siły wyporu. Jeśli ciężar własny obiektu jest niewystarczający do zrównoważenia tej siły, niezbędne jest dodatkowe zabezpieczenie, wykonywane najczęściej przez zakotwienie płyty dennej mikropalami. Wiele tego typu zabezpieczeń wykonano w ciągu ostatnich lat, m.in. w Warszawie dla wielorodzinnych budynków mieszkalnych czy np. w Krakowie (obiekt hotelowy). Charakter

i skala tego rodzaju zabezpieczeń jest różna i wynika oczywiście z funkcji obiektu i jego konstrukcji. Najbardziej wymagającym i jednocześnie najbardziej widowiskowym, jak do tej pory, zadaniem tego typu było kotwienie płyty dennej budynku siedziby Muzeum II Wojny Światowej w Gdańsku.

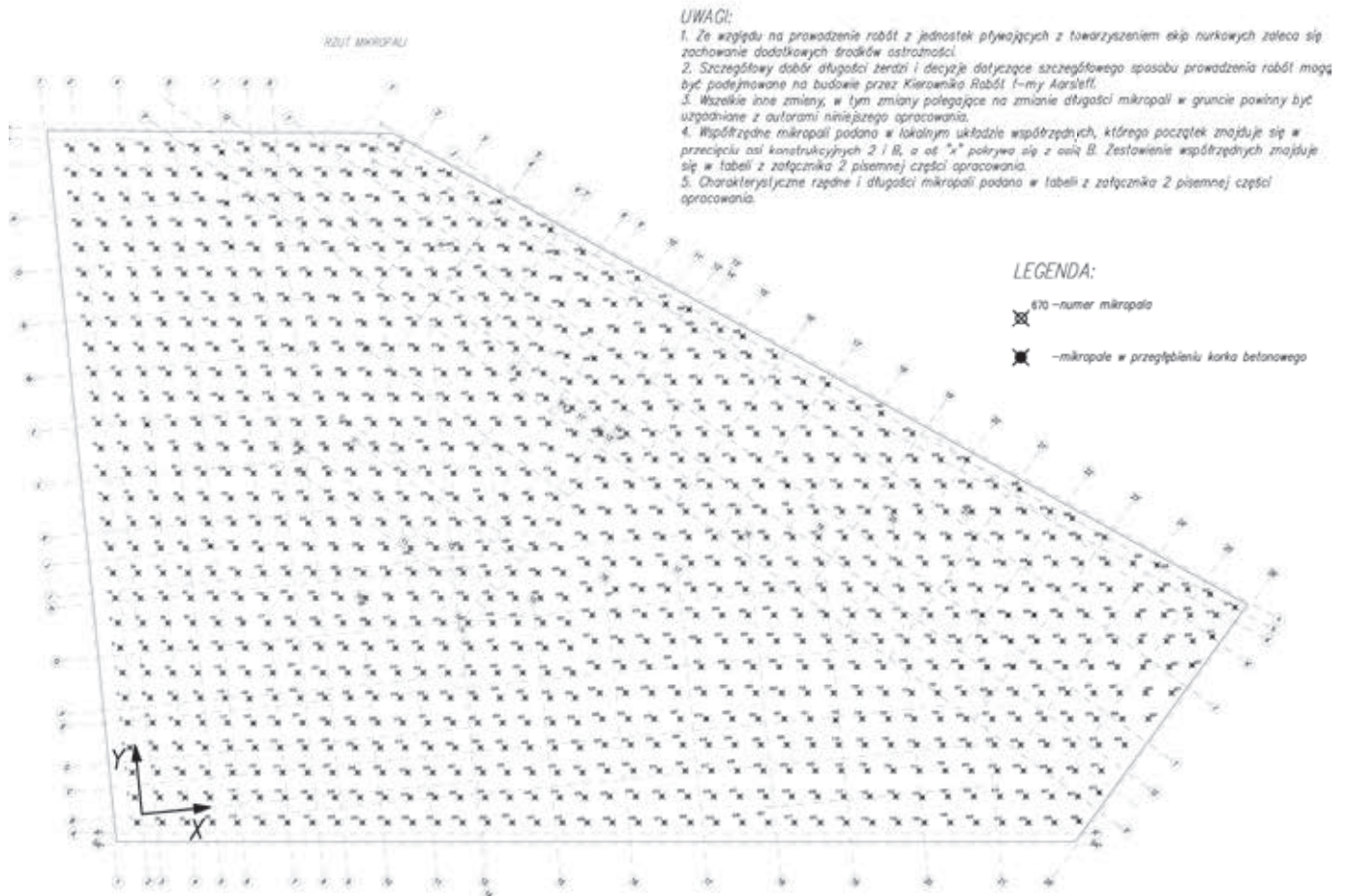
Suchy wykop

Budynek siedziby Muzeum zlokalizowany jest na obrzeżach starego Gdańska, przy ul. Wałowej, ok. 200 m od historycznego budynku Poczty Polskiej. Wyznaczony pod budowę teren zajmuje powierzchnię 17 tys. m². Od wschodu ogranicza go ul. Stoczniowa, zaś od południa przylega do ujścia Kanału Raduni do Motławy.

W samym budynku dostępnych będzie ok. 23 tys. m² powierzchni, z czego ok. 5 tys. m² przewidziano na wystawę stałą. Wypełnienie założeń dotyczących ukształtowania stałej przestrzeni ekspozycyjnej jako przestronnej, otwartej hali w połączeniu z symboliczną architekturą, w której jedyną widoczną częścią budynku jest charakterystyczna dominanta, wymagało zlokalizowania znacznej części budynku poniżej poziomu terenu. Wobec tego siedzibę Muzeum zaprojektowano jako żelbetową konstrukcję zagłębioną całkowicie poniżej istniejącego poziomu terenu. Do realizacji zadania konieczne stało się wykonanie wykopu zajmującego niemal cały obrys dostępnej pod budowę działki o obwodzie wynoszącym ok. 506 m.b. i głębokości dochodzącej do 18 m. Z uwagi na bliskość Motławy, skutkującą wysokim poziomem wód gruntowych, warunki wykonania i zabezpieczenia wykopu były skomplikowane i wymagały prowadzenia większości robót pod wodą. W tej sytuacji pierwszym etapem robót budowlanych było wykonanie tzw. suchego wykopu, umożliwiającego rozpoczęcie robót zasadniczych związanych ze wznoszeniem obiektu. Wykonanie suchego wykopu obejmowało zrealizowanie odpowiedniej obudowy ścian i korka betonowego uszczelniającego dno oraz odpompowanie wody z zalanego wykopu. Ponieważ ciężar własny ażurowej konstrukcji budynku okazał się niewystarczający do zrównoważenia siły wyporu (ciśnienie blisko 16 m słupa wody), niezbędne stało się wykonanie w dnie wykopu mikropali kotwiących korek i płytę denną dla zabezpieczenia przed wyporem. Zadanie wykonania suchego wykopu powierzono firmie Soletanche Polska Sp. z o.o.

Warunki gruntowo-wodne

Pod względem litologicznym w podłożu gruntowym wydzielono warstwy nasypu gruzowo-mineralno-organicznego, zalegającego od powierzchni terenu do głębokości 1,7–3,9 m. Poniżej, do głębokości 7,4–10,7 m, udokumentowano występowanie torfów i namułów. Głębsze podłoże tworzą piaski drobne i średnie w stanie średnio zagęszczonym i za-



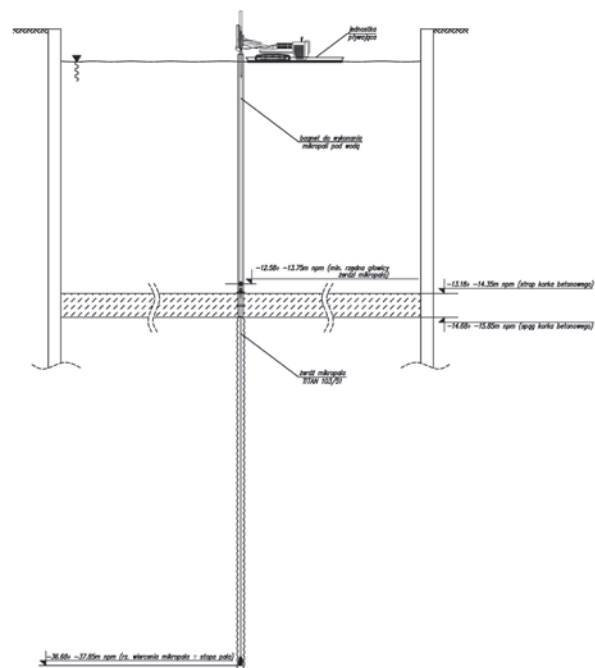
Plan rozmieszczenia mikropali w wykopie

gęszczonym, o miąższości ok. 20 m, przewarstwione niekiedy cienkimi soczewkami gruntów spoistych. Utwory piaszczyste podścielone są warstwą gruntów piaszczysto-żwirowych w stanie zagęszczonym. Utworów tych nie przewiercono do głębokości 40 m.

Jak wspomniano wcześniej, bliskość Kanału Raduni i Motławy pozostaje w związku z poziomem wody gruntowej w podłożu obiektu. W dokumentacjach geologiczno-inżynierskiej oraz hydrogeologicznej stwierdzono występowanie jednego poziomu wodonośnego o charakterze napiętym. Poziom wody gruntowej stabilizował się na głębokości 1,8–3,2 m p.p.t. przy czym zaznaczono, że może on podlegać wahaniom (+/- 0,6 m) w zależności od pór roku, intensywności opadów oraz poziomu wody w Motławie.

Wyzwanie

Wykonanie wykopu o głębokości blisko 18 m w warunkach zwierciadła wody stabilizującego się ok. 2 m p.p.t. wymagało szczegółowego dopracowania każdego elementu składającego się na rozwiązanie konstrukcyjne suchego wykopu. Opracowany przez Soletanche projekt wykonania szczelnej wanny przewidywał realizację w pierwszej kolejności żelbetowej obudowy ścian wykopu. Obudowę tę wykonano w postaci kotwionych ścian szczelinowych. Po zabezpieczeniu obrysu wykopu przystąpiono do robót ziemnych i głębinienia wykopu zasadniczego. Po osiągnięciu poziomu wód gruntowych wykop wypełnił się wodą, a dalsze głębinienie odbywało się z jednostek pływających metodą refulacji. Po dogłębieniu wykopu do projektowanej



Rysunek technologiczny – wykonanie mikropali

rzędnej posadowienia korka uszczelniającego dno w obrysie ścian szczelinowych powstał basen o powierzchni ponad hektara i głębokości ponad 16 m. Tak przygotowany teren stał się frontem dla robót mikropalowych związanych z zabezpieczeniem dna wykopu i przyszłego budynku przed wyporem.

Projekt kotwienia korka opracowano w firmie Aarsleff Sp. z o.o. Z uwagi na zmieniające się warunki pracy konstrukcji w projekcie przewidziano dwie fazy charakteryzujące pracę



Wykonywanie mikropali z platform pływających



mikropali kotwiących. Tymczasowa, cechująca się największym obciążeniem pojedynczego mikropala, obejmuje okres od chwili odpompowania wody z wykopu do ukończenia wszystkich robót budowlanych przy budynku. W okresie tym siła wyporu do zrównoważenia jest największa, a przeciwdziałania jej jedynie ciężar własny korka. Założono, że czas trwania tej fazy nie przekroczy dwóch lat. W fazie docelowej wyłączenie mikropali maleje, gdyż siła wyporu przeciwdziałania dodatkowo ciężar własny całego budynku. Wymagany okres żywotności mikropali w tej fazie ustalono na 100 lat.

Po rozmieszczeniu mikropali w dnie wykopu według równej siatki przyjęto, że zakotwienie zrealizowane będzie przy pomocy 914 mikropali.

Przy tym założeniu według obliczeń statycznych w fazie przejściowej obciążenie pojedynczego mikropala wynosi 2080 kN. Na etapie użytkowania gotowego obiektu siła wyciągająca redukuje się do 1690 kN na mikropal. Warunki do wykonywania robót mikropalowych były niezwykle złożone. Dostęp do frontu robót był możliwy jedynie z wykorzystaniem jednostek pływających, zatem cały proces instalacji (wiercenie i iniekcja) mógł odbywać się z barek. Pociągało to za sobą konieczność instalowania mikropali z tzw. martwym przelotem, tj. przez 16 m wody. Mikropale musiały być zlokalizowane precyzyjnie w założonej siatce rozstawu. Należało uwzględnić trudności związane z zaopatrywaniem pływających jednostek wykonawczych w niezbędny materiał (zbrojenie mikropali odpowiedniej długości) oraz rozwiązać kwestię osadzania płyt oporowych kotwiących głowicę mikropala w korku betonowym. Przy tym wszystkim należało oczywiście zapewnić odpowiednią wydajność instalacji, aby sprostać ograniczeniom terminowym, oraz wysoką powtarzalność procesu w kategoriach jakości wykonywanych prac. Po przeanalizowaniu wszystkich ograniczeń i koniecznych do spełnienia wymagań ustalono, że jedyną technologią odpowiadającą warunkom jest system mikropali samowiercących TITAN. Na podstawie wyliczonej, wymaganej nośności pojedynczego mikropala do realizacji zadania przyjęto mikropale TITAN typu 103/51 o charakterystyce (nośności wewnętrznej) odpowiadającej wynikom obliczeń statycznych i zapewniającej odpowiednią długowieczność (okres użytkowania 100 lat). Stosownie do spodziewanych warunków gruntowych dobrano końcówkę wiertniczą o średnicy 220 mm. Dla uzyskania niezbędnej nośności zewnętrznej mikropala przy tej średnicy koronki wyliczono jego długość roboczą (utwierdzenia w gruncie) na 22 m. Uwzględniając długość martwego przelotu (przejście przez wodę) oraz niezbędne poprawki na długość, wynikające z możliwej do osiągnięcia dokładności robót ziemnych prowadzonych pod wodą, kolumna robocza mikropala sięgała 40 m.

Przed przystąpieniem do zasadniczej fazy robót z poziomu terenu wykonano mikropale próbne, które poddano następnie badaniom wstępnym. Po potwierdzeniu możliwości osiągnięcia nośności rzędu 3000 kN oraz ustaleniu wstępnej charakterystyki pracy zatwierdzono ostatecznie przyjętą technologię wykonania mikropali.

Wykonanie robót mikropalowych powierzono firmom Aarsleff i Soley. Każdy z wykonawców dysponował własną platformą pływającą, na której umieszczono wiertnicę, magazyn materiałów (żerdzie, łączniki, koronki itp.) oraz zaplecze dla pracowników i centrum koordynowania dla ekip nurkowych wspomagających instalację mikropali. Dla zapewnienia odpowiedniej wydajności opracowano szczególną procedurę instalacji mikropali z wykorzystaniem stworzonego pod kątem tego zadania specjalnego łącznika, tzw. złącza łupinowego. Jest to rodzaj łącznika dzielonego, uchylnego, z zawiasem, który umożliwia łatwe rozpięcie i rozchylenie obu połówek złącza (łupin) w celu uwolnienia spiętych nim dwóch żerdzi. Element ten miał kluczowe znaczenie dla tempa robót. Cykl prac instalacyjnych przedstawiał się następująco:

1. Przez wodę opuszczano kolumnę żerdzi uzbrojoną w końcówkę wiertniczą.
2. Po precyzyjnym naprowadzeniu kolumny na punkt lokalizacji mikropala przez nurka wiercenie mikropala odbywało się zgodnie z technologią TITAN (wiercenie z jednoczesną iniekcją, powtarzanie marszu przewodu dla lepszego ukorzenia trzonu itp.) z sukcesywnym dokładaniem kolejnych odcinków żerdzi, do osiągnięcia ustalonej długości mikropala w gruncie.
3. Ostatnia żerdź pogrążanej w gruncie kolumny łączona była z kolumną żerdzi martwego przelotu za pomocą złącza łupinowego; po wywierceniu zadanej długości i umiejscowieniu ostatniej żerdzi kolumny roboczej na właściwej rzędnej nurek rozpiął złącze łupinowe, uwalniając pogrążone w gruncie zbrojenie mikropala od kolumny żerdzi tworzących przelot martwy.
4. Po uwolnieniu kilkunastometrowej długości kolumny przelotu martwego (niejako przedłużka umożliwiająca wiercenie przez wodę), wciąż wpięta na powierzchni do głowicy wiertnicy, stanowiła zaczątek kolumny roboczej kolejnego mikropala; bez zbędnych operacji rozkręcania i wyciągania żerdzi na powierzchnię opuszczano nurkowi kolejną końcówkę wiertniczą, którą ten nakręcał na ostatnią żerdź pozostającej w wodzie kolumny, utworzona została tym samym z dotychczasowej przedłużki kolejna kolumna robocza żerdzi, gotowa do pozycjonowania i pogrążania w dnie.
5. W kolejnym kroku nurek formował głowicę na wykonanych wcześniej mikropalach; formowanie polegało na osadzeniu płyty oporowej na wystającym ponad dno odcinku



Przygotowania do próbnych obciążeń



żerdzi; aby umożliwić sprawne mocowanie i pozycjonowanie płyty na określonej wysokości nad dnem w warunkach mocno ograniczonej widoczności, opracowano specjalny jej rodzaj; płyta w formie okrągłej blachy o średnicy 480 mm i grubości 90 mm wyposażona była w otwór centralny i gwintowaną tuleję; dzięki takiemu rozwiązaniu i dospawanym do blachy pomocniczym uchwytem nurek nakręcał całą płytę oporową na żerdź i stabilizował precyzyjnie w odpowiednim położeniu przez pokręcanie.

Ekipy nurkowe, pozostając w łączności z zespołem na powierzchni, poza czynnościami instalacyjnymi prowadziły również działania inspekcyjne, pomagające w kontroli jakości robót, dostarczające informacji np. o ciągłości wypływu powrotnego płuczki czy iniektu końcowego.

Dzięki wysublimowanym (choć stosunkowo prostym) rozwiązaniom technicznym dla technologii TITAN oraz sprawnej organizacji robót w tych niecodziennych warunkach osiągnięto doskonałe efekty w postaci wysokiej wydajności. Każdy zespół roboczy pracował w tempie rzędu 100–120 m.b. instalowanych „na gotowo” mikropali dziennie. Łącznie wykonano blisko 22 tys. m.b. mikropali w okresie od stycznia do początku kwietnia 2014 r., co, biorąc dodatkowo pod uwagę fakt, że szczyt instalacyjnego zaangażowania przypadł na okres zimy, jest znakomitym rezultatem i świadczy zarówno o możliwościach samej technologii, jak i potencjale technicznym i inżynierskim wykonawców.

Końcową weryfikację jakości wykonanych robót i skuteczności metody przeprowadzono, wykonując próbne obciążenia mikropali. Operacja badań odbiorczych wykonywanych pod wodą na głębokości kilkunastu metrów również nie należała do działań rutynowych. Przeprowadzenie próbnych obciążeń zlecono firmie PileTest Sp. z o.o. Całą niecodzienną operację przygotowano dzięki wykorzystaniu możliwości technicznych i doświadczenia firmy PileTest oraz przy wsparciu wszystkich zaangażowanych w zadanie firm. Opracowano i wykonano konstrukcję wsporczą dla siłownika w postaci ramy złożonej ze stalowych belek. Konstrukcję wsporczą oparto na czterech mikropalach konturujących środkowego, piątego mikropala poddawanego badaniu.

Poszczególne części konstrukcji wsporczej były opuszczane na dno i tam składane w całość, montowane i poziomowane przez nurków. Zadanie to stanowiło dla nich szczególne wyzwanie. Z uwagi na mętność wody prace prowadzone były przy widoczności rzędu kilkadziesiąt centymetrów, zaś precyzja montażu, jakiej od nich wymagano, decydowała o powodzeniu całego zadania – jakiegokolwiek niedoskonałości w tej części operacji mogły się przełożyć na

uszkodzenie konstrukcji, sprzętu lub zniszczenie wykonanych już mikropali. Do badania wykorzystano przelotowy siłownik hydrauliczny zasilany z powierzchni oraz zestaw pomiarowy z tensometrów. Wyniki z czujników cyfrowych korelowane były z pomiarami geodezji precyzyjnej. Do badanego mikropala dokręcano przedłużkę, wyprowadzając kolumnę żerdzi nad powierzchnię wody, co umożliwiało zamontowanie optycznego punktu pomiarowego. W kwestii programu badań, nie odbiegał on od procedury rutynowej dla badań na powierzchni. Na obu badanych mikropalach osiągnięto wymagane obciążenie testowe ponad 2300 kN, przy przemieszczeniu nieprzekraczającym 25 mm. Stabilizacja przemieszczeń następowała w ciągu kilkadziesiąt minut.

Potwierdzenie skuteczności wykonanych zabezpieczeń otworzyło drogę do kolejnego etapu robót – podwodnego betonowania korka. Ułożenie pod wodą betonu o grubości 1,5 m na obszarze hektara w cyklu betonowania ciągłego jest kolejnym szczególnym osiągnięciem inżynierskim, wymagającym nieprzeciętnych zdolności technicznych, logistycznych i planistycznych. Zadanie to, zrealizowane przez Soletanche, z pewnością stanie się przedmiotem osobnego artykułu.

Synergia

Podczas realizacji robót związanych z wykonaniem suchego wykopu bez wątplenia przesunięto kilka inżynierskich granic. Skala zadania i jego złożoność były wyjątkowe, a presja czasu, choć obecna na wszystkich budowach, tu była szczególnie wyraźna i potęgująca poziom trudności. Przy takim poziomie skomplikowania nie ma miejsca na jakiegokolwiek niedociągnięcia materiałowe, technologiczne i wykonawcze, a o sukcesie lub porażce przesądzą szczegóły. Przykład pokazuje również dobitnie, jak ważne jest zaangażowanie i współpraca – synergia wszystkich uczestników procesu: dostawcy technologii, podwykonawców, generalnego wykonawcy i jednostek nadzoru. To również kolejny, wyraźny dowód na efektywność samej technologii TITAN, świadczący o tym, jak potężne jest właściwe narzędzie we właściwych rękach.

Literatura

- [1] „Projekt technologiczno-warsztatowy na wykonanie suchego wykopu dla Muzeum II Wojny Światowej w Gdańsku”. Soletanche Polska Sp. z o.o., wrzesień 2012.
- [2] „Projekt technologiczno-warsztatowy wykonania mikropali kotwiących korek betonowy”. Aarsleff Sp. z o.o., listopad 2013.
- [3] Informacje ze strony internetowej www.muzeum1939.pl.

