

# Głęboko posadowione inwestycje w terenie zabudowanym

## Wymagania geoinżynieryjne

dr hab. inż. prof. ATH Jacek Pieczyrak – Akademia Techniczno-Humanistyczna  
mgr inż. Konrad Wanik – Politechnika Śląska

Budowa obiektów wymagających wykonania głębokich wykopów, w szczególności zlokalizowanych w terenie zabudowanym, wiąże się z licznymi utrudnieniami. W procesie przygotowania i realizacji inwestycji niezbędna jest współpraca zespołu specjalistów z różnych branż. Wśród nich nie może zabraknąć geotechników działających już w początkowym etapie robót

### Wprowadzenie

Budowa obiektów w terenie zabudowanym stwarza ograniczenia techniczne, z którymi musi się liczyć projektant oraz wykonawca. Trudności te potęgują się, gdy zachodzi potrzeba wykonania paru kondygnacji podziemnych, a co za tym idzie – posadowienia głębokiego. Jedynym plusem takiego rozwiązania jest zazwyczaj znaczna wartość dopuszczalnego obciążenia podłoża gruntowego. Po stronie minusów lista jest znacznie dłuższa:

- konieczność wykonania skomplikowanego, a przede wszystkim odpowiedzialnego zabezpieczenia głębokiego wykopu;
- konstrukcja zabezpieczająca wykop musi być na tyle sztywna, aby nie doszło do oderwania się klina odłamu gruntu, nierzadko powinna być rozpięta lub kotwiona;
- zakres rozpoznania oraz opracowań wykracza znacząco poza dokumentację dla inwestycji niewymagających wykonania głębokich wykopów, obejmując dodatkowo określenie zasięgu stref oddziaływania wykopu, prognozę osiadań oraz ocenę ich wpływu na istniejącą zabudowę;
- budowle takie zaliczają się do trzeciej kategorii geotechnicznej, co wiąże się z potrzebą bardziej szczegółowego rozpoznania podłoża gruntowego wykonanego w formie dokumentacji geologiczno-inżynierskiej oraz hydrogeologicznej;
- w większości przypadków zachodzi potrzeba obniżenia zwierciadła wody gruntowej, co dodatkowo wiąże się zarówno z obowiązkiem zrzutu odpompowywanej wody, jak i prognozą wpływu depresyjnego obniżenia zwierciadła wody gruntowej na dodatkowe osiadania istniejącej zabudowy;
- ze względu na technologię głębinienia wykopu utrudniona jest nie tylko praca maszyn budowlanych, np. koparek, ale i odwóz gruntu z wykopu oraz dowóz materiałów i prefabrykowanych elementów konstrukcji;
- jeżeli sąsiadująca zabudowa znajduje się bardzo blisko projektowanej budowli, a ponadto z uwagi na swój wiek jest zużyta fizycznie i posiada

liczne uszkodzenia, wówczas zachodzi obowiązek jej zabezpieczenia, które obejmować może wzmocnienia z wykorzystaniem ściągów (tzw. ankrowania) i/lub wzmocnienia podłoża gruntowego;

- niezbędny jest rozbudowany monitoring obejmujący obiekty zlokalizowane w sąsiedztwie budowy, warunki gruntowo-wodne oraz konstrukcję zabezpieczającą wykop budowlany.

Sprostanie wymienionym wymaganiom stawia przed zespołem projektującym i budującym, a także nadzorującym, trudne zadanie wymagające dużej wiedzy i doświadczenia oraz rzetelności.

W artykule, na bazie doświadczeń związanych z projektami i ekspertyzami geotechnicznymi oraz późniejszą realizacją prac, przedstawiono geoinżynieryjne warunki związane z inwestycjami wymagającymi wykonania głębokich wykopów na obszarach zabudowanych. Z uwagi na dużą ilość przykładów, z których do najciekawszych należą inwestycje takie jak Galeria Katowice w rejonie dworca kolejowego Katowice Osobowa oraz budowa zespołu budynków z wielopoziomowym garażem podziemnym w Warszawie przy ul. Żelaznej, nie przytaczano konkretnych sytuacji. Skupiono się na uniwersalnych zasadach, które mogą znaleźć zastosowanie dla dowolnie wybranej budowy.

### Zalecany tok postępowania i zakres wymaganych danych

Inwestycje, dla których zachodzi potrzeba wykonania głębokiego wykopu, a przede wszystkim zlokalizowane w terenie zabudowanym, wymagają podjęcia szczególnych działań. Dotyczą one zarówno etapu prac przedprojektowych, jak również późniejszego projektowania i realizacji robót budowlanych. W kontekście skomplikowanych oraz niezmiernie odpowiedzialnych zagadnień geotechnicznych obok zakresu działań ważna jest także ich właściwa kolejność.

Ważne jest, aby osoby odpowiedzialne za zagadnienia geoinżynieryjne uczestniczyły w pracach, już na etapie powstawania koncepcji obiektu.

Nawet robocze konsultacje stwarzają szanse na sformułowanie wstępnej oceny oddziaływań oraz określenie zakresu wymaganego rozpoznania. Właściwe ukierunkowanie działań i świadomość zagrożeń pozwala sprawnie poprowadzić dalsze prace.

W przypadku dużych i skomplikowanych inwestycji obok zespołu projektowego powołuje się zespół ekspercki sporządzający ekspertyzę budowlaną. W opracowaniu tym zawiera się kwestie związane z istniejącymi obiektami oraz analizę geoinżynierską wykonaną w powiązaniu z projektowanymi zadaniami. Przy pracach współdziałały zespoły projektantów, ekspertów z różnych dziedzin oraz geologów wykonujących dokumentację geologiczno-inżynierską i hydrogeologiczną.

Zakres danych niezbędnych dla geoinżynierskiej analizy inwestycji w rozważanym przypadku wykracza znacznie poza standardowo występujące rozpoznanie. Główne różnice wynikają z konieczności rozszerzenia obszaru zainteresowań o tereny, a co za tym idzie obiekty zlokalizowane w sąsiedztwie planowanej inwestycji. Rośnie także rola rozpoznania warunków gruntowo-wodnych, które w tym przypadku należy wykonać w formie dokumentacji geologiczno-inżynierskiej oraz hydrogeologicznej. W ogólnym zarysie zakres wymaganego rozpoznania obejmuje:

- dane archiwalne terenu obejmujące sposób jego dotychczasowego użytkowania oraz zabudowy, które to bardzo często są odmienne od aktualnej sytuacji;
- rozpoznanie planowanych inwestycji obejmujących tereny sąsiednie, które mogą wpływać zarówno na projekt, jak i późniejszą realizację prac;
- rozpoznanie obiektów objętych ochroną konserwatorską;
- dane archiwalne dotyczące warunków gruntowo-wodnych terenu inwestycji oraz działek sąsiednich;
- mapy do celów projektowych zawierające informacje o rodzaju i przebiegu sieci uzbrojenia terenu;
- zarys koncepcji planowanej inwestycji;
- dane dotyczące istniejących obiektów obejmujące w szczególności określenie rodzaju i stanu ich konstrukcji, sposobu aktualnego użytkowania, a także spraw własnościowych;
- dane dotyczące budowy podłoża gruntowego uzyskane z wykonanej dla potrzeb realizacji inwestycji dokumentacji geologiczno-inżynierskiej;
- dane dotyczące warunków gruntowo-wodnych panujących na przedmiotowym obszarze, uzyskane z wykonanej dla potrzeb realizacji inwestycji dokumentacji hydrogeologicznej.

W niniejszym zestawieniu elementy typowo geotechniczne stanowią jedynie część ogółu informacji. Sytuacja ta obrazuje znaczny zakres danych analizowanych pod kątem geoinżynierskich wymagań stawianych inwestycjom obejmującym wykonanie głębokich wykopów w terenie zabudowanym.

Elementy rozpoznania wymienione w pierwszych pięciu punktach powinny być zebrane przed przystąpieniem lub w ostateczności na etapie opracowania koncepcji. W oparciu o nie można wykonać wstępne prace projektowe, które powinny zawierać, jak już wcześniej wspomniano, aspekty geoinżynierskie projektowanej inwestycji.

Na etapie koncepcyjnym oprócz określenia geometrii zasadniczej bryły obiektu należy podjąć decyzję dotyczącą części podziemnej.

Z punktu widzenia zabezpieczenia ścian wykopu oraz obiektów sąsiednich są one decydujące dla dalszego toku postępowania, a przede wszystkim zakresu prac. Dla przyjętego rodzaju zabezpieczenia i głębokości wykopu wykonuje się wstępną ocenę oddziaływań inwestycji. W szczególności musi ona obejmować przewidywany rozmiar obszaru objętego jej wpływami z wyszczególnieniem występujących tam obiektów.

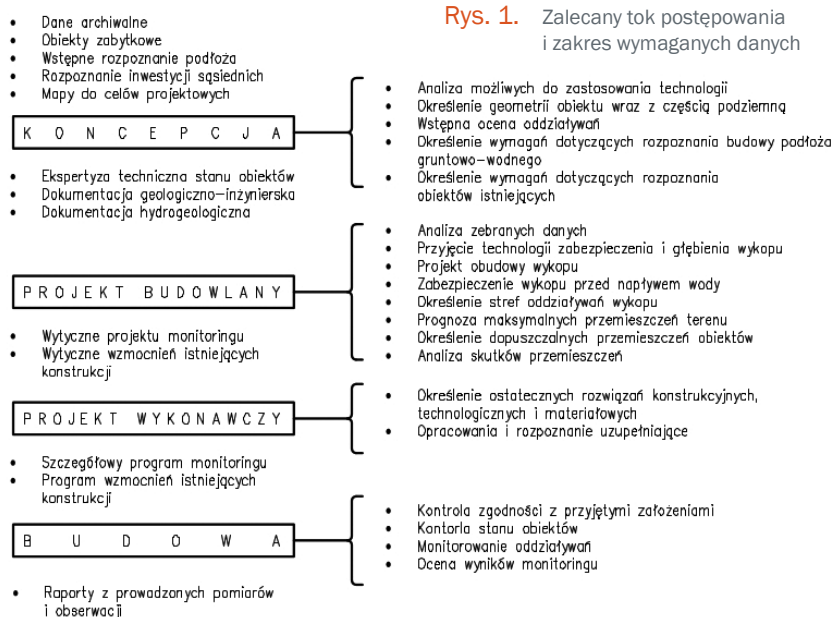
Na podstawie opracowanej koncepcji projektowej geotechnik wraz z projektantem mogą określić szczegółowe wymagania i zakresy rozpoznania zawartego w trzech ostatnich punktach. O ile wcześniej możliwa była częściowa współpraca, to od tego momentu stały udział i współdziałanie w ramach zespołu projektowego i eksperckiego osób związanych z geotechniką jest nieodzowny.

Etap projektowy to przede wszystkim wnikliwa analiza zebranych danych oraz przyjęcie rozwiązań konstrukcyjnych w zakresie geotechniki, dotyczących sposobu posadowienia obiektu, zabezpieczenia stateczności ścian i technologii głębienia wykopu oraz sposobu zabezpieczenia dna przed napływem wody gruntowej. Elementy te muszą zostać zawarte w części projektu budowlanego, który zgodnie z aktualnie przyjętą nomenklaturą nosi nazwę projektu geotechnicznego [9].

Na podstawie przyjętych rozwiązań i warunków gruntowo-wodnych prognozuje się ekstremalne przemieszczenia terenu w strefie objętej wpływami głębokiego wykopu. Przemieszczenia te porównuje się z dopuszczalnymi, określonymi dla obiektów istniejących na podstawie rozpoznania rodzaju i stanu ich konstrukcji. W przypadku, gdy istnieje uzasadniona obawa, że przemieszczenia przekroczą dopuszczalne wartości, projektuje się prace wzmacniające. W szczególnych przypadkach, jeśli istnieje taka możliwość, powtórnie analizuje się konstrukcję obudowy wykopu oraz technologię jego głębienia. Poszukując rozwiązań dających mniejsze przemieszczenia, zmienia się przyjętą technologię lub schematy.

Na etapie projektu wykonawczego dla ostatecznie zatwierdzonych rozwiązań technologiczno-konstrukcyjnych wykonuje się projekt monitoringu. Opracowanie to w ogólnym zarysie obejmuje rodzaj i zakres wykonywanych pomiarów, ich częstotliwość oraz wartości alarmowe i graniczne wraz z zasadami postępowania w przypadku ich osiągnięcia.

Opisany na rys. 1 zakres i tok postępowania dobrze wpisuje



je się w zalecane schematy przedstawione w opracowaniu [1]. Na uwagę zasługuje jedna różnica zaobserwowana w trakcie do-tychczasowych prac. Jest nią przesunięcie szczegółowej inwentaryzacji uszkodzeń obiektów z etapu projektu wykonawczego na wcześniejsze etapy. Powinna ona być wykonywana podczas opracowania projektu budowlanego lub nawet koncepcyjnego. Wiąże się to zarówno z chęcią wcześniejszego poznania szczegółowego stanu obiektów, jak również ze znaczną pracochłonnością wymaganą przez opracowania inwentaryzacyjne. Przyznać należy jednak, że zarówno dla inwestora, jak i projektanta taka zmiana nie jest do końca korzystna. Najlepiej bowiem, gdy przed przystąpieniem do budowy dysponują oni możliwie najbardziej aktualną inwentaryzacją uszkodzeń.

W miejscu tym należy poruszyć jeszcze jedną ważną kwestię. Wykonanie wspomnianego projektu geotechnicznego winno się powierzyć specjalistom posiadającym wymagane kwalifikacje. W odniesieniu do rozważanego przypadku są nimi geotechnicy, którzy muszą posiadać szeroką wiedzę potwierdzoną nie tylko uprawnieniami budowlanymi w specjalności konstrukcyjno-budowlanej, ale również geotechnicznymi. Bez wątpienia nie można ograniczyć się do osoby geologa wykonującego dokumentację geologiczno-inżynierską, gdyż nie dysponuje on odpowiednim wykształceniem inżynierskim.

## Analiza warunków gruntowych

Obiekty wznoszone w terenie zabudowanym i charakteryzujące się występowaniem więcej niż jednej kondygnacji podziemnej, z uwagi na stopień skomplikowania, należy zaliczyć do trzeciej kategorii geotechnicznej. Niniejsze zaklasyfikowanie, uwzględniające odpowiedzialność konstrukcji utrzymującej naziem wraz ze zlokalizowanymi na nim obiektami, pomimo braku jednoznacznego wskazania w obowiązujących przepisach prawnych [9], powinno mieć miejsce nawet w prostych warunkach gruntowych.

Dla obiektów zaliczanych do trzeciej kategorii geotechnicznej rozpoznanie budowy podłoża gruntowego należy wykonać jako dokumentację geologiczno-inżynierską oraz hydrogeologiczną. Dokumentacje te, będące jedną z podstaw projektu geotechnicznego, muszą powstać na etapie opracowania projektu budowlanego. Na wcześniejszych etapach zazwyczaj wykonuje się wstępną analizę na podstawie zachowanych dokumentacji archiwalnych.

W przypadku braku opracowań archiwalnych należy wykonać wstępne rozpoznanie w formie opinii geotechnicznej. Pozwala ono określić zakres polowych i laboratoryjnych badań podłoża, które powinny być wykonane w ramach dokumentacji geologiczno-inżynierskiej oraz hydrogeologicznej. Dokumentacje te są niezbędne do wykonania obliczeń w ramach projektu geotechnicznego. Na etapie opracowania koncepcji umożliwiają one wstępne oszacowanie zasięgu wpływów inwestycji oraz skali problemów, z jakimi należy się liczyć podczas dalszych prac.

Badania geotechniczne niezbędne dla poprawnej analizy warunków gruntowych należy wykonać w obrysie obiektu oraz w jego otoczeniu. W ogólnym ujęciu obejmują one:

- określenie rodzaju, stanu i przestrzennego układu warstw budujących podłoże;
- określenie fizycznych i mechanicznych parametrów gruntów budujących poszczególne warstwy podłoża;
- badania zanieczyszczenia gruntu i wód gruntowych;
- odkrywki istniejących fundamentów;
- badania fizykochemiczne;
- inne badania niezbędne do przeprowadzenia obliczeń analitycznych i numerycznych dla przyjętego modelu podłoża [9].

Analizując warunki gruntowe szczególną uwagę przykładają się do występowania warstw nasypowych oraz gruntów słabo-nośnych. Pierwsze stanowią zapis i odwzorowanie najmłodszej historii terenu. Drugie wskazują zazwyczaj na niekorzystne warunki gruntowo-wodne. W odniesieniu do obrysu wznoszonego obiektu grunty te, z uwagi na ich płytkie zaleganie, nie stanowią zazwyczaj większego utrudnienia. W większości przypadków zostają usunięte z terenu prac podczas głębienia wykopu. Jednakże występując poza obrysem części podziemnej obiektu oraz poniżej poziomu posadowienia, także w jego obrysie, stanowią źródło potencjalnych utrudnień:

- ze względu na słabe bądź niejednorodne właściwości stwarzają trudności dla oszacowania rzeczywistych wartości parcia gruntu na obudowę;
- stanowią element mogący potęgować negatywny wpływ przemieszczeń obudowy na wielkości i nierównomierność osiadań w obrębie fundamentów obiektów zlokalizowanych w strefie oddziaływań;
- w przypadku występowania w poziomie istniejących bądź projektowanych fundamentów narzucają konieczność podjęcia prac wzmacniających lub wykonania głębokich fundamentów;
- miąższość gruntów nasypowych w bezpośrednim sąsiedztwie istniejących obiektów zazwyczaj sięga spodu ich posadowienia, występowanie nasypów poniżej może sugerować obecność rozzebranych części podziemnych obiektów;
- w składzie nasypów niebudowlanych zazwyczaj występują składniki utrudniające prace związane z wykonaniem obudowy oraz wzmocnień posadowienia istniejących obiektów, dotyczy to także głębienia wykopów;
- grunty nasypowe mogą posiadać zanieczyszczenia chemiczne, co powoduje konieczność ich usunięcia oraz utylizacji i to nie tylko w zakresie objętym wykopami;
- grunty organiczne mogą być źródłem trudności wykonawczych oraz ograniczać zakres możliwych technologii zabezpieczenia i wzmocnienia posadowienia istniejących obiektów, np. zaczyny cementowe stosowane w technologiach iniekcyjnych wykorzystywanych powszechnie do wzmacniania istniejących obiektów [6] w gruntach organicznych i wysokoorganicznych mogą nie wiązać lub uzyskiwać niewystarczające wytrzymałości.

Analiza występowania gruntów nasypowych wykonywana jest zazwyczaj w postaci mapy lub tabeli zawierającej obok poziomów zalegania, również poziomy posadowienia obiektów w sąsiedztwie wywierconych otworów badawczych. Analiza wykonana w tej formie daje możliwość weryfikacji przeprowadzonych badań poprzez porównanie poziomów zalegania gruntów nasypowych w odniesieniu do istniejących fundamentów. Analogicznie postępuje się w odniesieniu do gruntów słabo-nośnych oraz nie-nośnych, a w szczególności organicznych.

Osobne zagadnienie stanowi określenie gruntów zalegających w poziomie posadowienia istniejących obiektów. Wiedza na ten temat pozwala na weryfikację nośności, szczególnie, gdy planuje się ich przebudowę. Informacje uzyskane z odkrywek fundamentowych należy porównać z danymi z wykonanych w ich sąsiedztwie otworów badawczych.

W odniesieniu do projektowanego obiektu najważniejsze jest rozpoznanie wykonane w pobliżu obudowy wykopu oraz poniżej jego dna. Pierwsze pozwala określić wartości parcia na obudowę, a drugie nośność i osiadania fundamentu oraz kwestie związane ze statecznością dna i napływem wody do wykopu.

Rozważając możliwy wpływ inwestycji, obok kwestii związanych z osiadaniami wywołanymi wykonaniem obudowy oraz wy-

## POLSKA ŁYŻKA PRZESIEWAJĄCA: **DRIFT K160**



### Dane techniczne:

- Łyżka może być montowana na koparkach o masie od 16 do 32 ton.
- Pojemność: 1,1 m<sup>3</sup>
- Waga: 1650 kg
- Dostępne granulacje: 0-13, 0-18, 0-27, 0-41, 0-53, 0-68 mm
- W standardzie łyżka przesiewająca DRIFT K160 jest:
  - wyposażona w dowolne szybkozłącze
  - posiada wyprowadzone przewody zasilające
- Łyżkę montuje się jako przedsiębierną

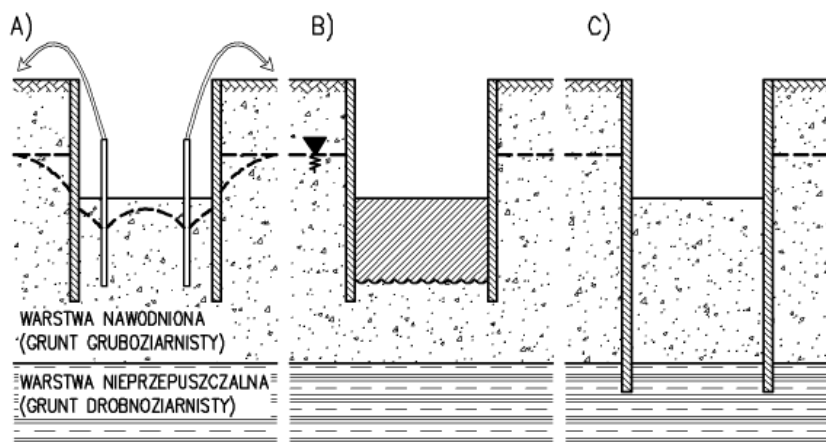
### Oto kilka propozycji zastosowań łyżki przesiewającej DRIFT K160:

- Obsypywanie rur rodzimym materiałem z wykopu.
- Materiał po wyburzeniach i zanieczyszczona gleba mogą być przesiewane.
- Przesiewanie i ładowanie na ciężarówkę w jednym kroku.
- Za pomocą łyżki DRIFT K160 można odseparować materiał pożądaný od odpadu z każdego rodzaju materiału wsadowego.
- Przesiewanie gleby np: humusu
- Szybkie i sprawne zasypywanie wykopu.
- Przesiewanie zamrożonego lub zbrylonego materiału jak gleba, kopaliny, nawóz sztuczny itp.
- Napowietrzanie kompostu przyspieszające procesy kompostowania.
- Przesiewanie torfu (oddzielanie torfu od pni i korzeni)
- Prosty sposób na tworzenie mieszanek z gleby i kruszywa.
- Stabilizacja za pomocą gliny i zanieczyszczonej gleby.



**Fot. 1.** Występowanie głazów narzutowych oraz pozostałości starych fundamentów może być przyczyną utrudnień podczas prowadzenia prac. Na zdjęciu widoczny jest glaz, który wszedł w strukturę podbicia fundamentu wykonywanego w technologii iniekcji strumieniowej jet-grouting (fot. K. Wanik)

**Rys. 1.** Warianty zabezpieczenia wykopu przed napływem wody gruntowej: A) studnie depresyjne, B) przesłona iniekcyjna, C) zagłębienie obudowy w podłoże nieprzepuszczalne



kopu, należy uwzględnić możliwą zmianę parametrów gruntów związaną ze zmianą stosunków wodnych. Wykonanie obudowy wykopu może spowodować zarówno obniżenie, jak i spiętrzenie zwierciadła wody gruntowej. W przypadku występowania gruntów wrażliwych, które szybko pogarszają swoje własności lub osiadają, należy przewidzieć wyprzedzające wzmocnienie posadzenia.

Dla realizacji specjalistycznych prac geotechnicznych niezmiernie ważne są wszelkie informacje dotyczące występowania w podłożu gruntowym wtrąceń lub przewarstwień mogących stanowić znaczne utrudnienie w prowadzeniu prac. Dotyczy to nie tylko gruntów nasypowych oraz pozostałości starych obiektów, o których wspomniano już wcześniej, ale również gruntów rodzimych. Do takich utrudnień, na które można natrafić w warstwach podłoża rodzimego należą m.in. głazy narzutowe (fot. 1) oraz bruk morenowy. W obrębie gruntów organicznych występować mogą pozostałości drewna, które jest materiałem trudnozwiercalnym.

### Analiza warunków gruntowo-wodnych

W przypadku inwestycji wymagających głębokiego posadzenia występowanie nawierconego lub ustabilizowanego zwierciadła wody gruntowej powyżej poziomu dna wykopu należy uznać za powszechne. Głębokie wykopu, sięgające poniżej poziomu terenu na głębokość kilkunastu i więcej metrów, powodują przecięcie pierwszego oraz nierzadko i drugiego poziomu wodonośnego. Sytuacja taka stwarza wyjątkowo trudne uwarunkowania realizacji prac i może być źródłem niekorzystnych oddziaływań w obrębie terenu podlegającego ich wpływom.

Analiza uwarunkowań hydrogeologicznych powinna być prowadzona wieloetapowo, począwszy od wstępnych prac koncepcyjnych. Dokumentację archiwalną wraz z ewentualnym rozpoznaniem wstępnym wykonanym w formie dokumentacji geotechnicznej są elementem pozwalającym nie tylko na wstępne określenie sposobu zabezpieczenia wykopu, ale przede wszystkim na określenie zakresu właściwego rozpoznania. Pojawiające się w trakcie prac projektowych wątpliwości często wymagają wykonania dodatkowych badań, nawet po opracowaniu właściwego rozpoznania hydrogeologicznego.

Wykonanie głębokiego wykopu w aspekcie warunków hydrogeologicznych wymaga przeanalizowania zagadnień związanych z występowaniem zwierciadła wody gruntowej, a w szczególności z przestrzennym układem nawodnionych warstw gruntów przepuszczalnych (gruboziarnistych) i nieprzepuszczalnych (drobnoziarnistych), obejmując:

- występowanie i charakterystykę poziomów wodonośnych;
  - przestrzenny układ warstw, a w szczególności rodzaj gruntów w poziomie dna wykopu i ich miąższość oraz poziomy występowanie warstw nieprzepuszczalnych, mogących stanowić wraz z obudową wykopu wygradzenie odcinające napływ wody gruntowej do wnętrza wykopu;
  - kwestie stateczności pojawiające się w przypadku napiętego zwierciadła wody gruntowej, stabilizującego się powyżej poziomu dna wykopu;
  - poza wodami gruntowymi należy uwzględnić konieczność odprowadzenia wód opadowych i uwieczonych oraz pochodzących z nieszczelności, których ilość przy dużym obszarze wykopu może być znaczna;
  - zabezpieczenie gruntów w poziomie posadowienia przed rozmakaniem;
  - wypór konstrukcji występujący po odbudowaniu się stosunków gruntowo-wodnych, do którego dochodzi z biegiem czasu po zakończeniu prac.
- Dla całego przedsięwzięcia kluczowa jest kwestia zabezpieczenia wykopu przed napływem wód gruntowych spoza jego obszaru. Do stosowanych sposobów zapewnienia odwodnionego wykopu należą (rys. 2):
- doraźne lub trwałe obniżenie zwierciadła wody gruntowej z wykorzystaniem drenażu pionowego (studni depresyjnych);
  - wykonanie w dnie wykopu przesłony iniekcyjnej, tzw. korka dennego;
  - wykonanie odpowiednio głębokiej obudowy wykopu zagłębionej w warstwy nieprzepuszczalne izolującej obszar prac od

napływu wody z terenów przyległych.

Obniżenie zwierciadła wody gruntowej z wykorzystaniem drenażu pionowego zapewnia prowadzenie robót budowlanych przy „suchym” wykopie. W większości przypadków jest rozwiązaniem najprostszym oraz najtańszym, lecz niepozbawionym wad. Odbierając wody z podłoża gruntowego wytwarza się lej depresji, którego zasięg wykracza zazwyczaj znacznie poza obszar objęty pracami. Wytworzeniu zwierciadła dynamicznego w obrębie posadowienia istniejących obiektów towarzyszą dodatkowe osiadania.

Podczas obniżania zwierciadła wody gruntowej z wykorzystaniem studni depresyjnych oraz odprowadzania wody gruntowej opadowej, uwięzionej lub pochodzącej z przecieków, należy tak prowadzić prace, aby ciśnienie sphywowe skierowane było w dół. Jedynie w przypadku gruntów bardzo gruboziarnistych i części gruboziarnistych (żwiru) z uwagi na znaczne wymiary ziaren nie ma to większego znaczenia. Przyjmuje się, że zdepresjonowane zwierciadło wody gruntowej powinno znajdować się minimalnie 0,5 m poniżej aktualnego bądź docelowego dna wykopu [4], [5].

Mając na uwadze zabudowany charakter terenu oraz licząc się z realnym zagrożeniem powstania uszkodzeń na skutek osiadań spowodowanych wytworzoną depresją, poszukuje się zazwyczaj rozwiązań alternatywnych.

Drugim z możliwych sposobów zabezpieczenia wykopu może być wykonanie przesłony filtracyjnej formowanej z wykorzystaniem technik iniekcyjnych. Wykonanie kolumn kształtowanych w technologii iniekcji strumieniowej jet-grouting pozwala na wytworzenie sztucznej warstwy izolującej dno wykopu. W powiązaniu ze szczelną obudową uzyskuje się odcięcie napływu wód gruntowych.

Praktyka wskazuje, że wykonanie idealnie szczelnego korka dennego formowanego iniekcyjnie jest trudne. Przyczyn należy szukać w nieuniknionych odchyłkach wynikających z technologii wiercenia i formowania przesłony iniekcyjnej na znacznej głębokości oraz z występowaniem w podłożu przeszkód [7]. Niemniej jednak rozwiązania takie są stosowane i spełniają swoją funkcję. W przypadku wystąpienia nieznacznych przecieków woda zbierana jest w płytkich studzienkach, które i tak zostają zazwyczaj wykonane dla zbierania wód opadowych. W celu zminimalizowania występowania nieszczelności przesłony iniekcyjnej po-

szczególne kolumny wykonuje się z zakładem, bez pozostawiania wolnych przestrzeni. Zastosowanie kolumn dużych średnic powyżej 1,0÷1,4 m zmniejsza ilość styków, a więc miejsc szczególnie niepewnych.

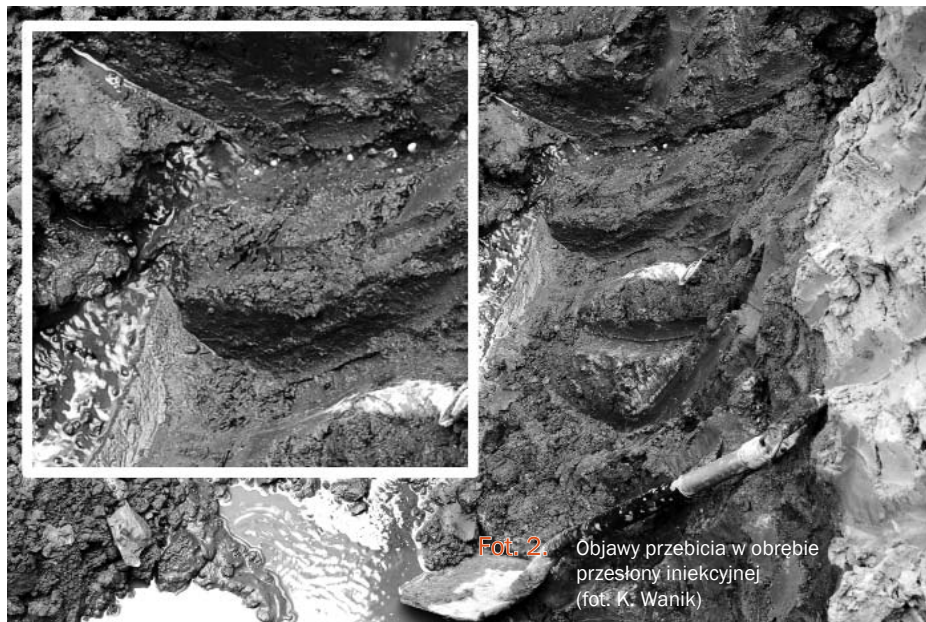
Szczelne wygrodenie wykopu uzyskać można także poprzez wykorzystanie naturalnej budowy podłoża. Jeśli obudowa wykopu zagłębiona zostanie w warstwy nieprzepuszczalne, uzyskamy efekt skuteczniejszy niż w rozwiązaniu z przesłoną iniekcyjną. Warstwy odcinające muszą być ciągłe oraz zlokalizowane możliwie płytko poniżej dna wykopu. W przypadku zalegania ich na większych głębokościach konieczne jest wydłużenie konstrukcji obudowy ponad wielkości wynikające z analizy statycznej. Przy szczegółowym rozpoznaniu podłoża gruntowego oraz ciągłych warstwach nieprzepuszczalnych wymagane minimalne zagłębienie obudowy w warstwie odcinającej należy przyjąć około 2 m (jednak nie mniej niż 1 m).

Obok zapewniania odcięcia napływu wody gruntowej do wykopu każdorazowo należy przeanalizować możliwość utraty stateczności dna spowodowaną naporowym zwierciadłem wody gruntowej. Na skutek wykonywania wykopu naturalnie istniejący stan równowagi zostaje zachwiany. Ciśnienie wywierane przez pomniejszony wykopem nadkład gruntu może nie równoważyć naporu wody. W momencie przekroczenia stanu granicznego dochodzi do utraty stateczności dna i awarii (fot. 2).

Informacje podane w dokumentacji geologiczno-inżynierskiej oraz hydrogeologicznej o charakterze, a w szczególności o poziomach nawierconego i ustabilizowanego zwierciadła wody gruntowej, dotyczą informacji zarejestrowanych podczas wierceń oraz obserwacji. Należy pamiętać, że w wyniku gwałtownych opadów atmosferycznych, wyjątkowo długich okresów deszczowych, spiętrzenia wody w pobliskiej rzece lub zbiorniku, czy też jego gwałtownego opróżnienia bądź wykonania głębokiego wykopu, stan wód gruntowych może ulec zmianom [4]. Zmiany te nie zawsze mogą być uchwycone prowadzonymi w ograniczonym okresie czasowym obserwacjami.

W większości opracowań przyjmuje się jako miarodajne wahania poziomu wody gruntowej w przedziale ±1 m, co w przybliżeniu odpowiada około 70% przypadków zarejestrowanych amplitud w prowadzonych dotychczas badaniach [2]. Zmiany poziomów wód gruntowych uwzględnia się w dokumentacji projektowej dotyczącej zarówno samego obiektu, jak i prac towarzyszących, do których zalicza się m.in. projekt odwodnienia.

Zwykle odwodnienie wykopu dla obiektu głęboko posadowionego wiąże się z koniecznością odprowadzenia dużej ilości wód. Błąd w oszacowaniu ich ilości może być bardzo kosztowny dla wykonawcy/inwestora. W związku z tym zachodzi potrzeba dokładnego określenia współczynnika wodoprzepuszczalności gruntu, czyli wykonania próbnego pompowania. Badanie takie, mimo że jest drogie i czasochłonne, jest opłacalne, bowiem odzwierciedla rzeczywiste warunki hydrologiczne, uśredniając wszelkie niejednorodności budowy podłoża gruntowego. Wyznaczenie „rzeczywistego” współczynnika filtra-



Fot. 2. Objawy przebicia w obrębie przesłony iniekcyjnej (fot. K. Wanik)

cji  $k$ , wymaga obserwacji na węzle hydrologicznym złożonym ze studni i dwóch otworów obserwacyjnych (piezometrów) [3].

### Monitoring, pomiary i obserwacje

Obudowy ścian wykopu, pełniące rolę zarówno zabezpieczenia, jak i konstrukcji części podziemnej obiektu, stanowią odpowiedzialne elementy, których awaria lub nadmierne przemieszczenia mogą spowodować zagrożenie bezpieczeństwa ludzi i obiektów znajdujących się w ich sąsiedztwie. Projektując konstrukcję zabezpieczenia, oprócz określenia sił wewnętrznych oraz zwiarytowania w oparciu o nie elementów konstrukcyjnych, wyznacza się jej przemieszczenia. Wykonane obliczenia bazują na wielu uproszczeniach. Obarczone są więc niezamierzonym błędem o trudnej do określenia wielkości.

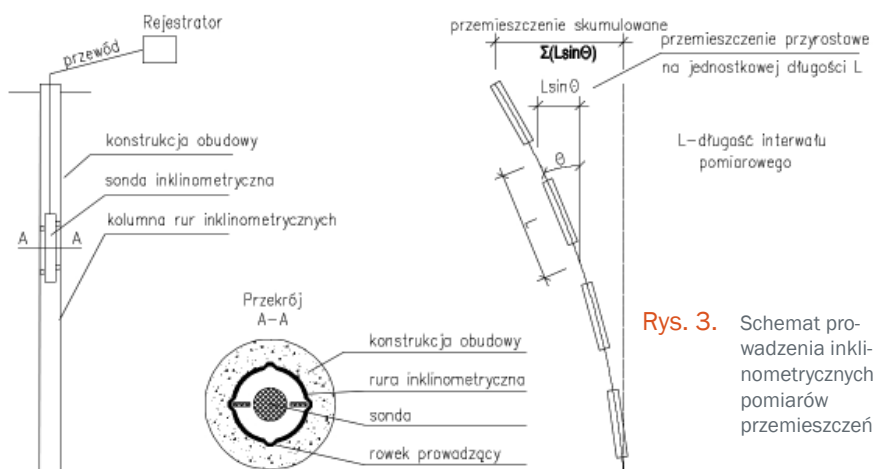
W oparciu o prognozowane wartości przemieszczeń obudowy wykopu określa się osiadania terenu, które stanowią podstawę oceny wpływu prowadzonych prac na sąsiednie obiekty. W przypadku, gdy prognozowane wartości przekraczają dopuszczalne, projektuje się prace mające na celu zwiększenie odporności konstrukcji bądź zmniejszenie osiadań.

Cały ten tok bazuje na wielu uproszczeniach, które swoje źródło mają m.in. w rozpoznaniu i przyjęciu warunków gruntowo-wodnych, ocenie stanu konstrukcji istniejących, metodach obliczeniowych oraz rzeczywistym przebiegu robót. Mając tego świadomość należy na etapie wykonawczym prowadzić pomiary i obserwacje wykonywane zazwyczaj w formie monitoringu. Terminy „pomiary” i „monitoring” obecnie są bardzo często mylone, przez co błędnie funkcjonują zamiennie. Ogólnie rzecz ujmując, różnica pomiędzy pomiarami a monitoringiem polega na zakresie i częstotliwości działań. W skład każdego systemu monitoringu wchodzić muszą zarówno pomiary i obserwacje, określenie rodzaju zagrożenia (wartości ostrzegawczych i granicznych wyników pomiaru) oraz jasne zasady informacji o tychże wynikach i sposobie alarmowania w razie przekroczenia wartości ostrzegawczych czy granicznych (określenie sposobu informacji o zagrożeniu). Wynika z tego, że monitoring charakteryzuje znacznie szerszy zakres niż pomiary. Wymaga on ustalenia zarówno zakresu pomiarów i obserwacji dostosowanych do zagrożenia, które chcemy monitorować, jak i instrukcji postępowania z uzyskanymi informacjami.

Zgodnie z definicją, monitoring rozumiany jest jako zespół działań mających na celu odpowiednio wczesne wykrycie zagrożenia, którym w przypadku obudowy wykopu jest zaistnienie nadmiernego przemieszczenia (rys. 3).

W większości przyjmowane schematy postępowania spełniają wymogi stawiane monitoringowi z jednym tylko zastrzeżeniem: nie można mówić o monitoringowi w przypadku wykonywania pojedynczych pomiarów lub odległych i wybranych przypadkowo terminach obserwacji [8]. Sytuacje takie mają niestety miejsce dość często, szczególnie w odniesieniu do pomiarów inklinometrycznych. Nadal funkcjonują stare specyfikacje techniczne zawierające zapisy o konieczności wykonania kilku, bardzo często jedynie 4 pomiarów. Obejmując przedział czasowy od zabudowy do końca okresu gwarancyjnego, obserwacje takie nie mogą stanowić rzetelnej informacji o zachowaniu się konstrukcji. Nakłady ponie-

POMIAR INKLINOMETRYCZNY – SCHEMAT



Rys. 3. Schemat prowadzenia inklinometrycznych pomiarów przemieszczeń

sione na wykonanie punktów pomiarowych, wykorzystywane są jedynie częściowo.

Niezaprzeczalnie jednak lepiej wykonać bazę pomiarową z pomiarem odniesienia niż zupełnie z niej zrezygnować. Stwarza to możliwość szybkiego przystąpienia do pomiarów w pełnym zakresie i w każdym czasie, gdy sytuacja na budowie wymusi taką konieczność. Prowadzenie monitoringu w przypadku zaistnienia wartości przewyższających dopuszczalne zakresy daje możliwość szybkiej oceny sytuacji. Przekłada się to bezpośrednio na podejmowane działania zabezpieczające. Nie wyszczególniając badań i pomiarów stanowiących powszechnie przyjęte procedury kontroli procesu budowlanego, jak również badań specjalistycznych dostosowywanych do specyficznych uwarunkowań, monitoringiem obejmuje się zazwyczaj co najmniej:

- istniejące obiekty zlokalizowane w strefie oddziaływania wykopu, w szczególności zlokalizowane w strefie wpływów bezpośrednich w zakresie:
  - określenia zmian stanu technicznego obiektów,
  - rozwoju uszkodzeń w zainstalowanych szczelinomierzach,
  - przemieszczeń i odkształceń w geodezyjnych punktach pomiarowych;
- elementy zabezpieczenia wykopu, na które składają się konstrukcja obudowy wykopu oraz jej podparcia w zakresie:
  - pomiarów inklinometrycznych przemieszczeń poziomych ścian szczelinowych (rys. 3),
  - pomiary geodezyjne ścian szczelinowych i rozparć;
- osiadania terenu prac i terenów przyległych:
  - pomiary geodezyjne zmian wysokościowych terenu;
- stosunki gruntowo-wodne w zakresie:
  - pomiarów poziomów wód gruntowych,
  - kontroli zawartości części stałych w odprowadzanych wodach,
  - kontroli wskaźników jakościowych wód gruntowych.

Przedstawiony zakres pomiarów i obserwacji pozwala na uzyskanie uzupełniających się wzajemnie danych obrazujących zjawiska zachodzące na terenie prac budowlanych. Dobierany jest indywidualnie z uwzględnieniem istniejącego zagospodarowania terenu oraz zagrożeń mogących pojawić się podczas wykonywania poszczególnych robót. Monitoring prowadzi się w oparciu o szczegółową dokumentację, wykonywaną zazwyczaj etapowo w dostosowaniu do postępu prac. Składają się na nią dwa opracowania:

- wytyczne do projektu monitoringu opracowane na etapie pro-

jektu budowlanego zazwyczaj w ramach ekspertyzy technicznej;

- projekt monitoringu opracowany na etapie dokumentacji wykonawczej, bazujący na ostatecznie przyjętych rozwiązaniach konstrukcyjnych i materiałowych.

Projekt monitoringu opracowuje się kompleksowo z uwzględnieniem wszystkich etapów budowy. Monitorowanie wybranych elementów, takich jak poziomy, wskaźniki jakościowe oraz stopy wody gruntowych, osiadania i wychylenia obiektów oraz rozwój uszkodzeń obiektów sąsiadujących rozpoczyna się przed przystąpieniem do zasadniczych prac budowlanych. Pomiarów te dostarczają cennych informacji pozwalających na ustalenie udziału prac związanych z realizacją inwestycji w ogóle zjawisk zachodzących na rozważanym terenie. Służą również ewentualnej korekcie przyjętych rozwiązań konstrukcyjnych oraz technologicznych. W projekcie monitoringu zawiera się część opisową oraz graficzną precyzującą:

- rodzaje pomiarów i obserwacji składające się na całość programu monitoringu;
- zakres monitoringu z wyszczególnieniem elementów składowych (obiektów);
- rozmieszczenie i ilość punktów pomiarowych;
- sposób prowadzenia pomiarów i obserwacji, ich minimalna częstotliwość, dokładność oraz powiązanie z postępem robót;
- terminy wykonania pomiarów bazowych, ustalających stan wyjściowy;
- wskazanie prac mających szczególne znaczenie dla bezpieczeństwa w odniesieniu do monitorowanych wielkości;
- minimalne okresy, w jakich należy prowadzić poszczególne pomiary i obserwacje, w tym monitoring prowadzony po realizacji obiektu;
- sposób rejestracji poszczególnych wyników i obserwacji oraz określenie formy, w jakiej zostaną opracowane i przedstawione do oceny;
- sposób oceny wyników pomiarów i obserwacji;
- wartości ostrzegawcze i alarmowe;
- sposób postępowania w przypadku przekroczenia wartości ostrzegawczych i alarmowych;
- osoby odpowiedzialne za prowadzenie monitoringu oraz ocenę i weryfikację wyników pomiarów i obserwacji;
- sposób i czas likwidacji punktów pomiarowych i obserwacyjnych.

Z uwagi na złożoność procesu inwestycyjnego konieczne jest przewidzenie w projekcie monitoringu możliwości jego ewentualnej korekty i uzupełnienia. Zmiany dokonuje się w dostosowaniu do szczegółowych opracowań technologicznych przedstawionych przez wykonawców prac, mających wpływ na monitorowane wielkości. W dokumentacji należy przewidzieć także możliwość rozszerzenia wstępnie wyznaczonych stref oddziaływania wykopu. Dokonuje się tego na podstawie wyników pomiarów przemieszczeń prowadzonych podczas głębinienia wykopu.

Rozszerzenie zasięgu stref niesie za sobą konieczność zwiększenia zakresu punktów pomiarowych. Wyjściowy okres i ilość pomiarów ustalony zostaje w korelacji z poszczególnymi etapami wykonywania prac. Dla obiektów, które wymagają wzmocnień konstrukcji, należy przewidzieć konieczność prowadzenia monitoringu osiadań i rozwoju uszkodzeń podczas prowadzenia prac wzmocniających. Tak samo należy postąpić w odniesieniu do wyburzeń, które prowadzone będą przed przystąpieniem do zasadniczych robót budowlanych.

Niezwykle ważnym elementem projektu monitoringu jest określenie ostrzegawczych oraz dopuszczalnych wartości mierzonych wielkości, a w szczególności przemieszczeń obudowy oraz istniejących obiektów. Wartości te w odniesieniu do obudowy wykopu określane są przez projektanta, który powinien uwzględnić zarówno rodzaj obudowy, jak i charakterystykę oraz stan obiektów pozostających w strefie oddziaływania. Dopuszczalne przemieszczenia istniejących obiektów określane są na podstawie inwentaryzacji oraz wynikają z oceny stanu technicznego konstrukcji. W analizach uwzględnia się ewentualne wzmocnienia.

Z uwagi na charakterystykę inwestycji monitoring istniejących obiektów zlokalizowanych w strefie oddziaływania jest zagadnieniem niezwykle ważnym. Poszczególne pomiary i obserwacje rozpoczyna się przed przystąpieniem do zasadniczych prac, wykonując:

- przeglądy wraz z inwentaryzacją stanu technicznego;
- lokalizację zarysowań i pęknięć oraz instalacje szczelinomierzy;
- instalacje wraz z wykonaniem pomiaru zerowego punktów geodezyjnych.

Na dalszych etapach obejmujących realizację wzmocnień istniejących obiektów, formowanie zabezpieczenia oraz głębinienie wykopu wykonuje się:

- kontrolę stanu technicznego, odnosząc się do wykonanej inwentaryzacji;
- pomiary rozwarości rys i pęknięć w zainstalowanych uprzednio szczelinomierzach;
- pomiary punktów geodezyjnych.

Monitoring przemieszczeń obudowy wykopu stanowi podstawowy element weryfikacji prawidłowego przebiegu procesu wznoszenia obiektu w jego początkowej fazie. Prowadzony jest z wykorzystaniem pomiarów inklinometrycznych (rys. 3) oraz weryfikujących je (w ograniczonym zakresie) pomiarów geodezyjnych. Pomiary inklinometryczne wykorzystywane są tam, gdzie wymagana jest znaczna dokładność kontroli przemieszczeń

poziomych oraz brak dostępu wyklucza zastosowanie pomiarów geodezyjnych. Dzieje się tak m.in. poniżej poziomu dna wykopu. Wykonywanie pomiaru przy pomocy sondy inklinometrycznej (fot. 3) cechuje szybkość oraz znaczna dokładność odczytu przemieszczenia kolumny inklinometrycznej na poszczególnych jej poziomach [8].

Kolumny inklinometryczne wykonane z odpowiednio wytrzymałego tworzywa sztucznego ABS montowane

**HEISSLUFTTECHNIK FLOCKE**  
autoryzowany dystrybutor

**Zgrzewarki ręczne**  
**Zgrzewarki samojezdne**  
**Wytlaczarki**  
**Dysze**  
**Grzałki**  
**Aksesoria**

**SPRZEDAŻ**   **SZKOLENIA**   **TESTY**   **SERWIS**  
Heisslufttechnik Flocke tel. 322091202   www.heisslufttechnik.pl

**LEISTER**





Fot. 3. Wykonanie pomiaru w kolumnie inklinometrycznej (fot. K. Wanik)

są do zbrojenia ścian szczelinowych lub, gdy to nie jest możliwe, wykonywane w podłożu gruntowym w bezpośrednim sąsiedztwie obudowy. Długości kolumn inklinometrycznych dostosowuje się do głębokości wykonywanego zabezpieczenia wykopu.

Jako uzupełniający element kontroli przemieszczeń obudowy wykopu wykonuje się pomiary geodezyjne luster dalmierzyczych zainstalowanych w wieńcu ściany szczelinowej. Ilość punktów pomiarowych zazwyczaj jest większa niż ilość kolumn inklinometrycznych. Każdorazowo przewidzieć należy punkt pomiarowy zlokalizowany w miejscu wykonania kolumny inklinometrycznej.

Pomiary hydrogeologiczne prowadzone na etapie wykonawczym mają na celu dostarczenie informacji odnośnie do zmian położenia poszczególnych horyzontów wodonośnych wywołanych przez prowadzone prace. Zmiany te mogą mieć charakter spiętrzenia zwierciadła wód gruntowych lub ich obniżenia. W większości przypadków w pomiarach prowadzonych na etapie wykonawczym wykorzystuje się kolumny piezometryczne, wykonane wcześniej na potrzeby opracowania dokumentacji hydrogeologicznej. Pomiary prowadzi się nieprzerwanie, poczynając od chwili instalacji kolumn do końca realizacji inwestycji.

Kontrolę poziomu wód gruntowych należy prowadzić zarówno wewnątrz, jak i na zewnątrz wykopu. Pomiary prowadzone wewnątrz obrysu wykopu pozwalają na bieżąco weryfikować wykonane obliczenia hydrogeologiczne. Umożliwiają kontrolę stopnia szczelności obudowy oraz wykluczają niebezpieczeństwo znacznego obniżenia zwierciadła wód gruntowych poza wykopem w przypadku powstania nieszczelności.

Uzupełniająco do pozostałych pomiarów, wykonuje się monitoring zmian wysokościowych siatki wyznaczonych punktów pomiarowych zlokalizowanych na powierzchni terenu. Z uwagi na zagrożenie uszkodzeniem punktów pomiarowych, wykonuje się je w postaci reperów wgłębnych. Montaż punktów oraz prowadzenie pomiarów rozpoczyna się przed przystąpieniem do prac terenowych, wykonując pomiary inicjalne, tj. tzw. pomiary zerowe dla stanu wyjściowego. Poszczególne pomiary w miarę możliwości wykonuje się w tych samych terminach. W chwili zaobserwowania znacznej dynamiki przyrostów mierzonych wielkości, wystąpienia wartości alarmowych lub granicznych zwiększa się wstępnie określoną częstotliwość pomiarów. W przypadku dużych i skomplikowanych inwestycji w projekcie monitoringu przewiduje się konieczność powołania zespołu ekspertów weryfikujących na bieżąco rejestrowane dane. Zespół ten we współpracy z projektantem, kierownikiem budowy oraz inspektorem nadzoru zapewnia ocenę i weryfikację wyników pomiarów i obserwacji. W kompe-

tencji zespołu leży także podejmowanie decyzji odnośnie do działań zaradczych oraz korekty zakresu i częstotliwości prowadzonego monitoringu.

## Podsumowanie

Budowa obiektów wymagających wykonania głębokich wykopów, w szczególności zlokalizowanych w terenie zabudowanym, wiąże się z licznymi utrudnieniami. W procesie przygotowania i realizacji inwestycji niezbędna jest współpraca zespołu specjalistów z różnych branż. Wśród nich nie może zabraknąć geotechników działających już w początkowym etapie robót.

Analiza geoinżynierska oraz późniejsze opracowanie projektu geotechnicznego w przypadku dużych inwestycji wymaga przeanalizowania znacznej ilości informacji, które wykraczają poza standardowe zakresy.

W trakcie prowadzenia prac dla kontroli poprawności procesu wznoszenia obiektu, szczególnego znaczenia nabiera monitoring wykonawczy. Weryfikuje on poprawność założeń przyjętych na etapie opracowania dokumentacji projektowej i daje możliwość wyprzedzającego działania w przypadku wykrycia nieprawidłowości.

Szczególnego znaczenia nabierają pomiary przemieszczeń poziomych ścian obudowy głębokiego wykopu, które znajdują odzworowanie w zachowaniu się obiektów zlokalizowanych w strefie objętej ich wpływami. Przemieszczenia te należy kontrolować z wykorzystaniem pomiarów inklinometrycznych oraz weryfikować pomiarami geodezyjnymi. ■

*Referat został wygłoszony podczas XXVIII Warsztatów Pracy Projektanta Konstrukcji „GEOTECHNIKA”, 5-8 marca 2013 r., Wisła*

## Literatura

- [1] Kotlicki W., Wysokiński L. (2002): Ochrona zabudowy w sąsiedztwie głębokich wykopów. Instrukcja ITB nr 376/2002. ITB, Warszawa 2002.
- [2] Pazdro Z., Kozerski B. (1990): Hydrogeologia ogólna. Arkady, Warszawa 1990.
- [3] Pieczyrak J. (1997): Hydrologia wód gruntowych. Inżynieria i Budownictwo nr 1/97.
- [4] Pieczyrak J. (1997): Geotechniczne problemy odwadniania wykopów. Inżynieria i Budownictwo nr 4/97.
- [5] Pieczyrak J. (1998): Uwagi praktyczne dotyczące doraźnego obniżania zwierciadła wody gruntowej. Inżynieria i Budownictwo nr 11/98.
- [6] Wanik K. (2009): Zastosowanie iniekcji strumieniowej „jet-grouting” do zabezpieczania i wzmacniania posadowienia przyszybowych obiektów powierzchniowych. Wiadomości Górnicze 7-8/2009.
- [7] Wanik K. (2010): Wybrane uwarunkowania projektowe i technologiczne stosowania iniekcji strumieniowej. Inżynieria i Budownictwo 2/2010.
- [8] Wanik K. (2012): Zastosowanie monitoringu inklinometrycznego w realizacji inżynierskich obiektów budowlanych. Inżynieria Morska i Geotechnika nr 4/2012.
- [9] Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 27 kwietnia 2012 r. w sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadowienia obiektów budowlanych. Dziennik Ustaw z 2012 r. nr 0 poz. 463.