

Zastosowanie łączonych technologii robót geotechnicznych w złożonych uwarunkowaniach terenu przemysłowego

tekst: DANIEL SŁOWIKOWSKI, MICHAŁ ŁUKWIŃSKI, PAWEŁ HAJDUK, Polbud-Pomorze Sp. z o.o.

Specyfiką funkcjonowania zakładów przemysłowych jest duże nagromadzenie infrastruktury technologicznej na stosunkowo niewielkim obszarze. Jest to podyktowane wymogami technologicznymi, ale również wynika z rozwoju zakładu oraz jego infrastruktury. W trakcie kilkudziesięcioletniego cyklu użytkowania terenu przemysłowego instalacja i obiekty technologiczne są modernizowane, usuwane lub dobudowywane są nowe, tworząc złożony układ oddziaływania na podłoże gruntowe. Układ ten dodatkowo może komplikować stan, kiedy w podłożu znajduje się infrastruktura podziemna.

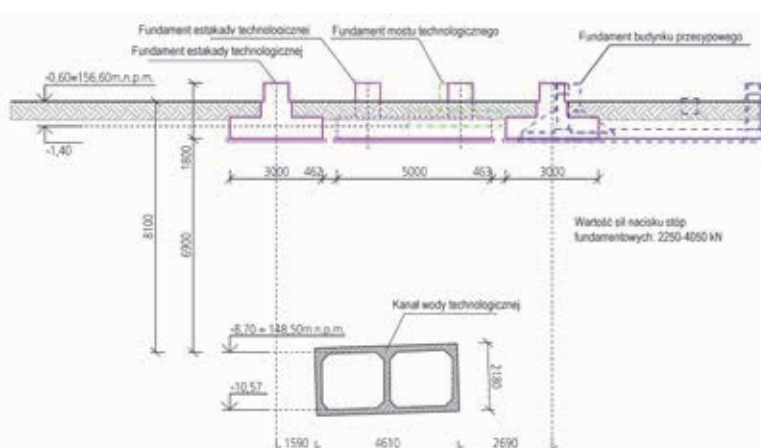
Odzworowanie skomplikowanego układu naprężeń w gruncie jest bardzo trudne, co wpływa na prowadzenie procesu inwestycyjnego na terenach przemysłowych. Przykładem takiej inwestycji jest rozbudowa oraz modernizacja istniejącej infrastruktury naziemnej i podziemnej w jednym z zakładów przemysłowych w kraju, gdzie w wyniku przebudowy podziemnego kanału doprowadzającego wodę technologiczną doszło do utraty stateczności gruntu bezpośrednio pod kanałem oraz pod fundamentami instalacji technologicznej w jego sąsiedztwie.

Rozwiązanie tego rodzaju problemów geotechnicznych wymaga jednostkowego podejścia i zastosowania łączonych, odpowiednio dopasowanych technik robót geotechnicznych.

Utrata nośności podłoża gruntowego w wyniku odwadniania terenu

Jednym z etapów modernizacji urządzeń technologicznych omawianego zakładu przemysłowego był remont kanału doprowadzającego wodę technologiczną. Kanał posadowiony jest na głębokości ok. 10 m p.p.t., a jego przebieg krzyżuje się z estakadami technologicznymi oraz taśmociągami, których fundamenty posadowione są obok oraz bezpośrednio nad kanałem, tworząc niesymetryczny układ naprężeń gruntu, oddziałujący na konstrukcję kanału (ryc. 1).

Prace remontowe kanału wymagały jego osuszenia i odwodnienia gruntu. Odwodnienie prowadzone było przez kilka miesięcy w sposób niewłaściwy, co doprowadziło do sufozji (rozluźnienia w wyniku przesunięcia mas gruntu wraz z dynamicznie przepływającą wodą) i rozluźnień gruntu oraz miejscowych pustek. Osiedlenia konstrukcji sięgały kilku centymetrów, co zagrażało poprawnemu funkcjonowaniu instalacji oraz sta-



Ryc. 1. Schemat rozmieszczenia kanału wody technologicznej oraz fundamentów instalacji technologicznej

teczności konstrukcji. W trybie awaryjnym wykonano podpory tymczasowe konstrukcji oraz zlecono firmie Polbud-Pomorze Sp. z o.o. opracowanie projektu i wykonanie działań naprawczych, przywracających nośność podłoża gruntowego w rejonie posadowienia kanału oraz obiektów technologicznych (ryc. 2).

Wyniki sondowań, jakie wykonał Instytut Techniki Budowlanej, dokumentując stan degradacji podłoża gruntowego, pozwoliły wstępnie wyznaczyć miejsca największych rozluźnień gruntu oraz pustek. Poza pustakami w gruncie, w strefach rozluźnień stopień zagęszczenia gruntu nie przekraczał wartości 0,25. Stwierdzono także, że w podłożu kanału do głębokości 11,0–12,0 m p.p.t. (tj. ok. 1,0–2,0 m poniżej poziomu posadowienia kanału) zalegają grunty o niższych parametrach geotechnicznych. Jest to naturalna zmienność w profilu gruntowym,



Ryc. 2. Widok miejsca wykonywania robót naprawczych

źle dobrana i wykonana podbudowa kanału lub efekt kilkudziesięcioletniego funkcjonowania kanału w warunkach jego nieuszczelnienia. Prawdopodobnie zmienność ta miała wpływ na rozwój sufozji w trakcie awarii powstałej w ciągu ostatnich kilku miesięcy. Z uwagi na fakt występowania gruntów o niższej nośności bezpośrednio pod kanałem oraz posadowienie fundamentów estakady bezpośrednio nad kanałem przyjęto, że przestrzeń wzmocnienia powinna sięgać do poziomu 11,0–12,0 m p.p.t. (średnio 11,5 m p.p.t.). Uznano także, że wzmocnienie powinno sięgać na długości ok. 30,0 m wzdłuż kanału oraz na odległość 3,5–4,0 m poza obrys kanału lub poza fundament estakady. Przewidywana kubatura gruntu do wzmocnienia wynosiła ok. 3500,0 m³ (z pominięciem kubatury kanału).

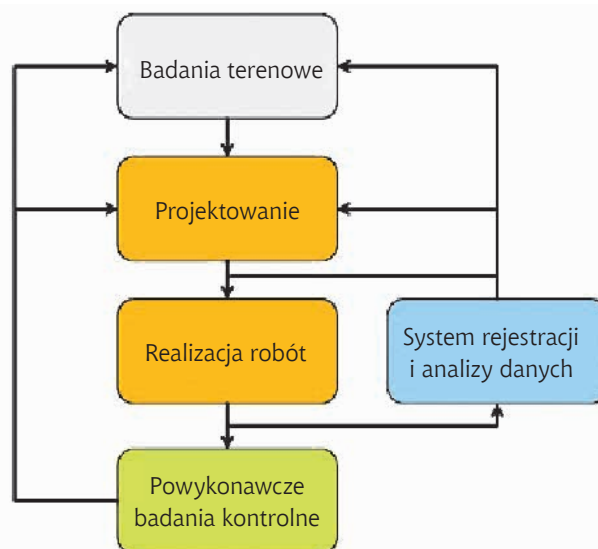
Rozwiązania projektowe i realizacja robót

Z uwagi na złożony charakter powstałej awarii postanowiono, że jej likwidacja oparta będzie na zastosowaniu kilku technologii specjalnych robót geotechnicznych. Przyjęto założenie prowadzenia ciągłego monitoringu parametrów technologicznych robót, na podstawie którego sukcesywnie weryfikowane i korygowane były założenia projektowe. Całość robót oraz ich prowadzenie na bieżąco konsultowano z nadzorem merytorycznym budowy, który prowadził Instytut Techniki Budowlanej z Warszawy. Poniżej przedstawiono ogólny schemat postępowania w trakcie wykonywania robót, uwzględniający sprzężenia zwrotne w zarządzaniu projektem, pozwalające na weryfikację przyjętych założeń projektowych (ryc. 3).

Ze względu na warunki gruntowe w celu utrzymania procesu niekontrolowanego i nierównomiernego osiadania zaprojektowano i wykonano następujący zakres robót:

- zwiększenie nośności fundamentów estakady technologicznej za pomocą mikropali,
- podchwycenie kanału wody chłodzącej w strefach rozluźnionego gruntu oraz fundamentów estakady za pomocą kolumn jet grouting,
- wykonanie wzmocnienia objętościowego gruntu przez iniekcje wzmacniająco-doprężające w strefie do 4 m od kanału (ryc. 4, 5).

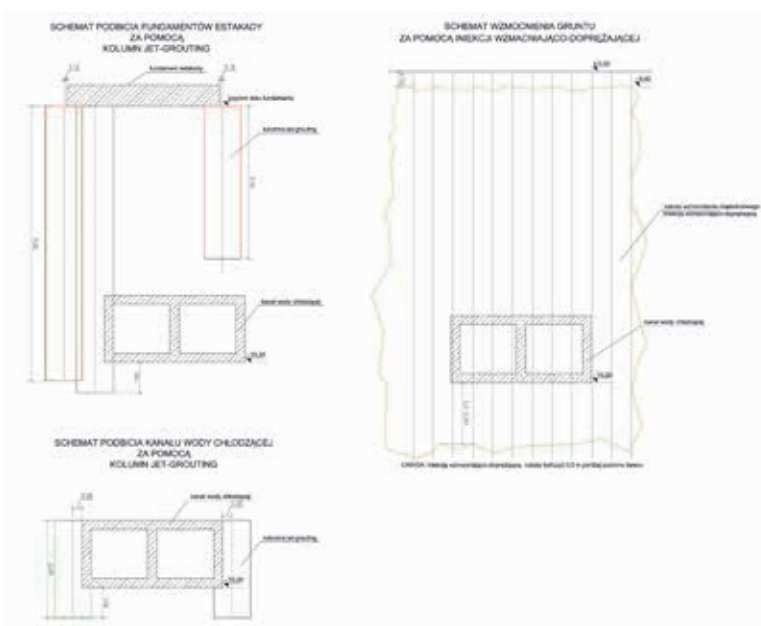
Celem wykonania mikropali było jak najszybsze wzmocnienie posadowienia fundamentów estakad oraz odtworzenie układu przenoszenia obciążeń z konstrukcji na grunt poniżej strefy



Ryc. 3. Schemat zarządzania jakością projektu

rozluźnienia. Wykonano mikropale w systemie żerdzi samowiercących DYWI® Drill o długości 5 i 9 m (roboty realizowane były z wykopu wykonanego do poziomu fundamentów, tj. ok. 2,5–3,0 m p.p.t.). Mikropale zainstalowane zostały w przewiertach przez fundamenty oraz dowiązane do fundamentów. Ze względu na duże rozmycia i rozluźnienia gruntu każdy mikropal dodatkowo został doprężony kilkustopniową iniekcją zawiesiny cementowej, przy jednoczesnym monitoringu geodezyjnym instalacji. Doprężenie wykonano przy stopniowaniu ciśnienia od 5 do 25 b, aż do utraty chłonności przez grunt.

Kolumny jet grouting wykonano w drugim etapie robót w celu ustabilizowania i podchwycenia kanału wody chłodzącej w rejonie stwierdzonych rozluźnień gruntu. Fragment fundamentów znajduje się ponad kanałem i pierwotnie przenosił część obciążeń na kanał pośrednio przez grunt zalegający pomiędzy stropem kanału a fundamentem. Po rozluźnieniu gruntu pomiędzy kanałem a fundamentami nadległymi oraz po bokach kanału układ przenoszenia naprężeń został zmieniony. Po wykonaniu kolumn jet grouting układ przenoszenia naprężeń z fundamentów na grunt realizowany



Ryc. 4. Schemat wykonania iniekcji w celu odtworzenia nośności podłoża gruntowego

jest przez mikropale oraz kolumny jet grouting, podchwytyjące i spinające konstrukcję kanału oraz współpracujące z mikropalami. Na tym etapie robót wykonano 38 kolumn o długości 5–9 m i średnicy $D = 1,20$ m, o łącznej długości 450 m.b.

Zasadniczą iniekcję kubatury rozluźnionego gruntu należało wykonać po podchwyceniu konstrukcji kanału i fundamentów. Roboty realizowane były w technologii łączonej:

- iniekcji wzmacniającej (PN-EN 12716:2003), przy zastosowaniu zaczynu cementowo-popiołowo-bentonitowego,
- iniekcji doprężającej, realizowanej w technologii iniekcji niskociśnieniowej (PN-EN 12715:2003).

W pierwszym kroku wykonano w siatce podstawowej ok. 20–25% otworów iniekcji wzmacniającej (strumieniowej) ze stałym ciśnieniem. W wyniku tego uzyskano zasadnicze wzmocnienie objętościowe gruntu. Zakładając stałe ciśnienie i energię strumienia iniekcyjnego, zasięg wzmocnienia w gruncie zagęszczonym był mniejszy niż w strefie rozluźnionej, a tym samym uzyskano autoadaptację zasięgu wzmocnienia gruntu wokół otworu iniekcyjnego. Iniekcję tego etapu wykonano z ciśnieniem roboczym ok. 150 b.

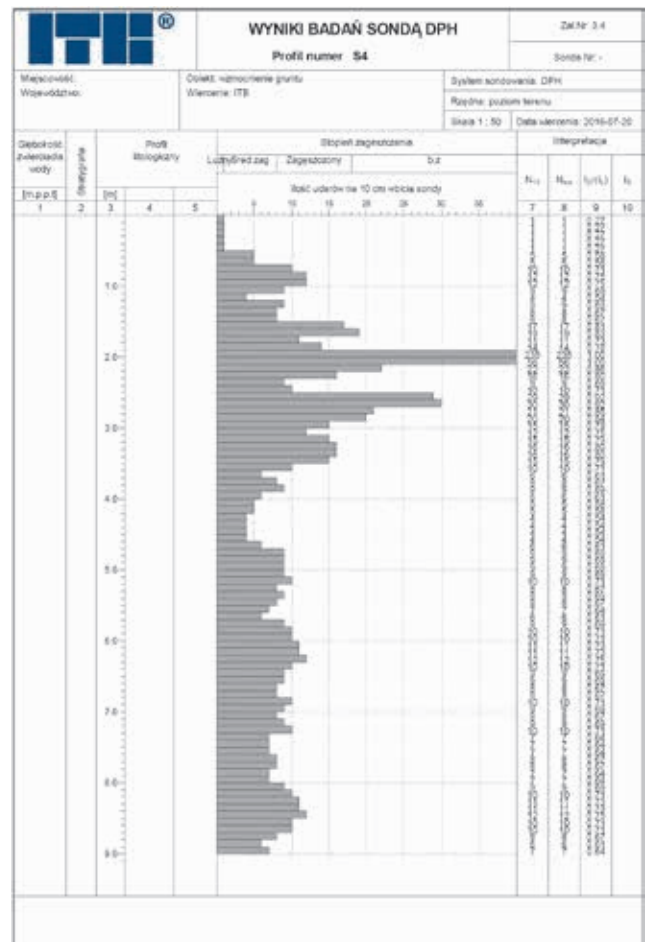
W kolejnym etapie robót wykonano iniekcję niskociśnieniową doprężającą przez otwory zlokalizowane w regularnej siatce trójkątów równobocznych o zmiennym rozstawie (od 0,75 do 1,30 m).

Iniekcję wykonano w zaprojektowanych interwałach głębokości, metodą kolejnych dogęszczeń otworów iniekcyjnych. Iniekcję doprężającą przeprowadzono przy zastosowaniu zaczynu cementowego oraz cementowo-popiołowo-bentonitowego. Skład i parametry reologiczne spoiwa iniekcyjnego dobrano tak, by osiągnąć oczekiwany efekt, tj. przemieszczenie i dogęszczenie struktury rozluźnionego gruntu przy jednoczesnym wypełnianiu powstałych na skutek przemieszczeń gruntu wolnych przestrzeni. Ciśnienia iniekcji oraz wydatki chwilowe spoiwa



Ryc. 5. Wykonanie robót iniekcyjnych w warunkach kolizji z infrastrukturą przemysłową

skomponowano w taki sposób, aby uniknąć tzw. hydroszczelinowania gruntu. Hydroszczelinowanie mogłoby doprowadzić do laminarnych horyzontalnych przewarstwień spoiwa, co uznano za niewłaściwe.



Ryc. 6. Przykładowe wyniki badań powykonawczych – sonda dynamiczna średnia (badania ITB)

Podsumowanie

Zaprojektowany zakres robót zrealizowano w okresie od maja do sierpnia 2016 r. W ramach robót osiągnięto założone cele, odtworzono nośność gruntu oraz stateczność konstrukcji technologicznych w skomplikowanym układzie obciążeń oraz uwarunkowań zewnętrznych.

Całość robót wykonywano przy codziennym ciągłym monitoringu geodezyjnym instalacji technologicznych, który obejmował ok. 40 punktów pomiarowych.

Badania powykonawcze mikropali potwierdziły projektowaną ich nośność w warunkach silnie zdegradowanego podłoża gruntowego.

Badania stanu gruntu wykonane sondą średnią wykazały skuteczność przyjętych rozwiązań projektowych (ryc. 6). W wyniku wykonanych robót naprawczych uzyskano stan gruntu odpowiadający stopniu zagęszczenia I_d z przedziału 0,55–1,00 (średnio 0,63). Poza stanem zagęszczenia gruntu uzyskano pełne wysycenie i dogęszczenie pustek, co zweryfikowano otworami rdzeniowymi oraz badaniami pobranych rdzeni. Wytrzymałość scementowanego gruntu na jednoosiowe ściskanie w badanych rdzeniach waha się w przedziale 1,83–13,47 MPa.





- Posiadamy własne biuro projektowe i bogate zaplecze techniczne
- Zapewniamy badania podłoża gruntowego
- Projektujemy i wykonujemy wzmocnienia podłoża gruntowego
- Optymalizujemy projekty robót geotechnicznych i fundamentowych
- Jesteśmy doświadczoną firmą o polskim kapitale oraz generalnym wykonawcą robót budowlanych



- Pąg przemieszczeniowe, wielkośrednicowe, pąg CFA IS (pąg z poszerzoną podstawą), mikropąg
- Kolumny jęt grouting, DSM, żwirowe, żwirowo-betonowe
- Gwoździe i kotwy gruntowe
- Wymiana dynamiczna gruntu
- Mikrowybuchy

- Ściany szczelinowe
- Iniekcje niskociśnieniowe
- Wibrowymiana
- Wibroflotacja
- Pipe roofing
- Ciężkie ubijanie gruntu

