

Zastosowanie iniekcji strumieniowej „jet grouting” do zabezpieczania i wzmacniania posadowienia przyszybowych obiektów powierzchniowych

Artykuł opiniował dr inż. Ryszard Żyliński

1. Wstęp

Technologia wysokociśnieniowej iniekcji strumieniowej „jet grouting” znana jest na polskim rynku już od przeszło 20 lat. Dzięki swojej specyfice znalazła wiele zastosowań, często znacznie odmiennych od pierwotnie zakładanych. Elementy formowane iniekcyjnie wykorzystywane są do kształtowania fundamentów pośrednich oraz wzmacniania posadowień. Coraz częściej dołączają do nich podbicia istniejących fundamentów kształtowane iniekcyjnie, konstrukcje oporowe w postaci palisad i mas zeskalonego gruntu oraz różnego typu przesłony iniekcyjne. Z punktu widzenia Autora niniejszego artykułu najważniejsze będą dwie z wymienionych, a mianowicie wzmocnienia posadowień oraz pionowe przesłony iniekcyjne formowane w podłożu gruntowym.

2. Technologia iniekcji strumieniowej „jet grouting”

Iniekcja strumieniowa polega na niszczeniu struktury gruntu budującego podłoże gruntowe oraz jego mieszaniu i częściowej wymianie na czynnik wiążący. Niszczenie struktury gruntu uzyskiwane jest w efekcie działania wysokoenergetycznego strumienia cieczy (iniektu), która zazwyczaj jest równocześnie czynnikiem wiążącym (rys. 1). Elementy powstające podczas procesu iniekcji nazywamy kolumnami iniekcyjnymi bądź ścianami iniekcyjnymi w zależności od ich kształtu [6]. Iniekcja strumieniowa może być wykonywana w systemie pojedynczym, podwójnym lub potrójnym. Systemy te różnią się między sobą ilością mediów zastosowanych do urabiania i cementacji gruntu.



Rys. 1. Strumień iniektu formujący kolumnę „jet grouting”.

Najpowszechniej stosowany system pojedynczy wykorzystuje jedno medium, którym jest zazwyczaj zaczyn cementowy.

Formowanie kolumn iniekcyjnych „jet grouting” przebiega etapowo. Przed przystąpieniem do zasadniczych prac należy geodezyjnie wyznaczyć położenie otworów wiertniczo-iniekcyjnych oraz ustawić wiertnicę nad otworem (rys. 2, poz. 1). Następnie przystępuje się do wiercenia otworu o średnicy od 100 mm do 150 mm na projektowaną głębokość przy pomocy przewodu iniekcyjnego, którego dolna część uzbrojona jest w narzędzie wierzące, stanowiące jednocześnie iniektor umożliwiający prowadzenie iniekcji (rys. 2, poz. 2). Następnie wykonuje się właściwy zabieg formowania buławy kolumny przy złożonym ciśnieniu iniekcji, parametrach ruchowych oraz składzie mieszaniny iniekcyjnej, które to są kontrolowane na bieżąco przez dozór wykonawcy (rys. 2, poz. 3). Ostatnim etapem jest zabudowa zbrojenia w kolumnie, która następuje bezpośrednio po zakończeniu jej formowania, co ważne – przed rozpoczęciem procesu wiązania gruntobetonu (rys. 2, poz. 4).

Zaznaczyć należy, że nie wszystkie kolumny muszą mieć zbrojenie. Stosuje się je w postaci zbrojenia sztywne (rura grubościenna, kształtownik stalowy, wiązka prętów itd.), gdy wymagane jest przeniesienie znacznych obciążeń, w przypadku występowania w podłożu warstw gruntów organicznych o znacznej miąższości oraz zawsze wtedy, gdy kolumny pracują na zginanie (np. w palisadach oporowych).

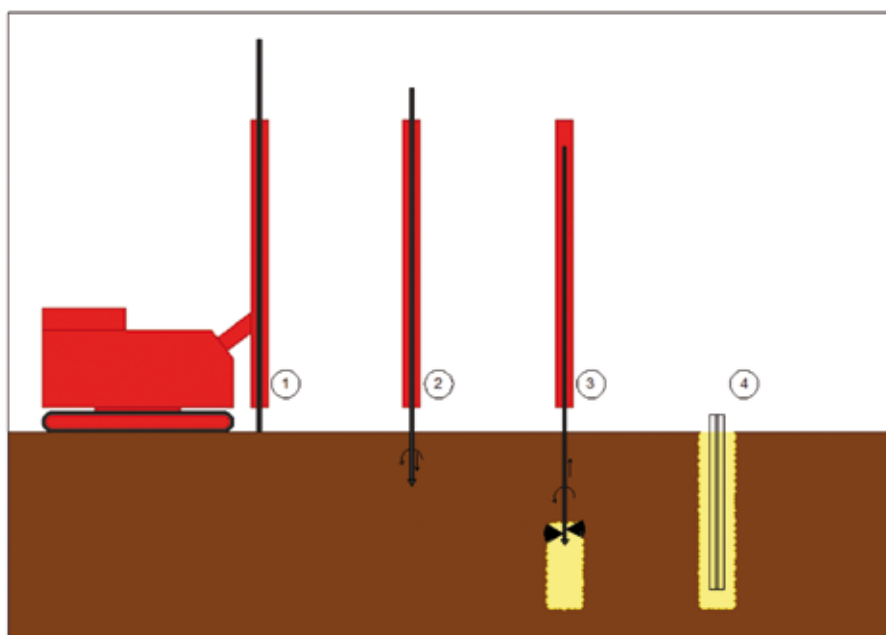
Konieczność zastosowania zbrojenia określana musi zostać każdorazowo w dokumentacji projektowej. Zastosowane nazewnictwo w tym artykule jest zgodne z ustaleniami zawartymi w stosunkowo niedawno wprowadzonej

normie PN-EN 12716:2002: Wykonawstwo specjalnych robót geotechnicznych – Iniekcja strumieniowa [6]. Dotychczas elementy o przekroju kołowym, powstające w wyniku działania strumienia iniektu, nazywano w zależności od średnicy mikropalami bądź palami iniekcyjnymi „jet grouting”. Zmiana nazewnictwa podyktowana została innym niż w przypadku tradycyjnych pali materiałem budującym trzon kolumn, zwanym gruntobetonem.

Gruntobeton jest to stwardniałe tworzywo budujące kolumnę iniekcyjną powstałe w procesie jej formowania poprzez wymieszanie iniektu wraz z gruntem zalegającym w podłożu. Jego właściwości, a szczególnie wytrzymałość na ścislenie, zależna jest od wielu czynników, do których należą między innymi rodzaj gruntu podłoża, zastosowany iniekt, parametry techniczne procesu formowania kolumny „jet grouting”. Cechą charakterystyczną i odróżniającą gruntobeton od tradycyjnego tworzywa, jakim jest beton stosowany w palach, jest jego niejednorodność, spowodowana specyfiką technologii iniekcji strumieniowej.

3. Specyfika prac przy obiektach powierzchniowych szybów

Każda grupa zastosowań danej technologii niesie specyficzne uwarunkowania technologiczne, które należy uwzględnić już na etapie opracowania dokumentacji projektowej. W przypadku wzmocnienia i zabezpieczenia konstrukcji występują kwestie, które należy uznać za kluczowe szczególnie, gdy uwzględnimy bezpośrednie sąsiedztwo szybu. Szczególnie ważnym aspektem prowadzenia prac w bezpośrednim sąsiedztwie istniejących obiektów jest konieczność zapewnienia bezpieczeństwa wzmocnianych konstrukcji.



Rys. 2. Etapy formowania kolumn iniekcyjnych
1 – geodezyjnie położenie otworów wiertniczo-iniekcyjnych; 2 – wiercenie otworu;
3 – formowanie buławy kolumny; 4 – zabudowa zbrojenia w kolumnie

Technologia iniekcji strumieniowej cechuje się brakiem wstrząsów mogących zagrazać zwłaszcza znacznie nadwątłonym przez czas obiektom. Małorednicowe przewiertki przez istniejące konstrukcje (o ile zachodzi konieczność ich wykonania, celem dostania się pod wzmacniany fundament) wykonywane mogą być bezударowo, bądź przy zastosowaniu młotków pneumatycznych o nieznacznej sile uderzenia, którego wpływ jest pomijalny dla bezpieczeństwa konstrukcji. Formowanie kolumn iniekcyjnych oraz późniejsza zabudowa zbrojenia nie niesie za sobą żadnych wpływów dynamicznych.

Ciśnienia stosowane w technologii iniekcji strumieniowej dobierane są każdorazowo indywidualnie, uwzględniając wzmacniany obiekt. Energia strumienia iniektu wykorzystywana jest do niszczenia struktury gruntu w zakresie podlegającym kontroli i nie wywołuje negatywnego oddziaływania poza tą strefą. W sytuacjach, które mogą budzić wątpliwości, możliwe jest wykonanie kolumn próbnych celem weryfikacji przyjętych założeń (zakresu penetracji strumienia cieczy).

Całość prac prowadzona jest przy otwartym przewodzie wiertniczym. Uzyskiwane jest to przez zastosowanie końcówek wiertniczych o średnicy większej niż średnica zastosowanego przewodu wiertniczego, co uniemożliwia wywieranie ciśnienia na otaczający górotwór. Formowanie buław kolumn wykonywane jest od spodu uprzednio odwierconego otworu przez podnoszenie iniektora z przewodem do góry (rys. 2, poz. 3), nadmiar zaczynu wymieszanego z gruntem podłoża swobodnie wypływa na powierzchnię terenu, tworząc tzw. zrzuty technologiczne. Zjawisko szczelinowania górotworu, które może wystąpić przy zastosowaniu iniekcji klasycznej, w przypadku zastosowania iniekcji strumieniowej „jet grouting” nie ma szans zaistnieć. Jest to bardzo ważne ze względu na zagrożenie wobec obudowy szybowej, jakie niesie szczelinowanie górotworu.

Prowadzenie prac przy obiektach wymagających ingerencji w ich wewnętrzną substancję w większości przypadków niesie za sobą konieczność wykonywania robót w skrajnie trudnych warunkach ruchowych. Niskie i wąskie pomieszczenia, małe szerokości otworów drzwiowych, istniejące sieci uzbrojenia terenu oraz infrastruktura obiektu przysparzają znacznych trudności. W przypadku obiektów powierzchniowych szybów pełniących rolę stacji wentylatorów, rozdzielni, budynków podsadzki czy wieży szybowych utrudnienia te są szczególnie znaczne.

Dzięki zastosowaniu zminiaturyzowanego sprzętu (małogabarytowe wiertnice), zabudowie zbrojenia kolumn, o ile takowe jest wymagane, w postaci elementów odcinkowych oraz możliwości ulokowania części ciągu technologicznego poza obiektem, trudności tu opisane w większości przypadków można z powodzeniem przezwyciężyć.

Ważnym aspektem prowadzenia prac – nie tylko w odniesieniu do obiektów powierzchniowych szybów – jest czas potrzebny na realizację wzmocnienia bądź zabezpieczenia. Nowe technologie, do których można zaliczyć iniekcję strumieniową, cechuje zazwyczaj szybsze – niż ma to miejsce w przypadku metod klasycznych

– tempo realizacji określonego zadania. Krótki okres realizacji poza oczywistymi korzyściami materialnymi ma również inny wymiar, który w wielu przypadkach może okazać się kluczowym, a mianowicie możliwość szybkiej reakcji celem usunięcia zaistniałego zagrożenia.

O możliwościach i celowości zastosowania iniekcji strumieniowej w celu wzmocnienia i zabezpieczenia istniejących obiektów powierzchniowych przyszybowych świadczą opisane w kolejnym rozdziale przykłady wykonanych napraw i zabezpieczeń.

4. Przykłady wykonanych napraw i zabezpieczeń

4.1. W kopalni „Marcel”

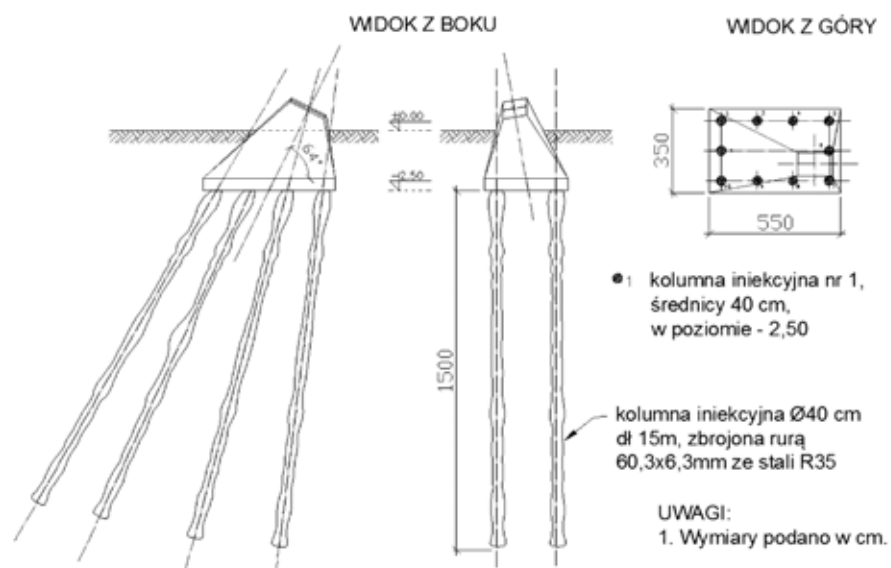
Wzmocnienie podłoża gruntowego fundamentów obiektów powierzchniowych szybów „Marklowice I”, „Marklowice II” oraz „Podsadzki” w kopalni „Marcel” zrealizowano w 2007 r. Na zakres prac składały się wzmocnienia:

- fundamentów blokowych zastrzałów wieży szybowej szybu „Marklowice I”,
- stóp fundamentowych budynku stacji wentylatorów przy szybie „Marklowice II”,
- ław i stóp fundamentowych wieży szybu „Podsadzki”.

Wieża szybowa szybu „Marklowice I” ma konstrukcję stalową, jednozastrzałową w układzie koła obok siebie. Zastrzał opiera się przegubowo na trzonie oraz na fundamencie. Trzon oparty jest bezpośrednio przez belki podwieżowe na głowicy ostatecznej szybu. Pod zastrzałem wykonano dwa fundamenty blokowe, posadowione na głębokości około -2,5 m o wymiarach w poziomie posadowienia 5,5 m na 3,5 m, z których jeden zlokalizowany jest wewnątrz budynku nadszybia (rys. 3). Podczas użytkowania pojawiły się znaczne osiadania fundamentów zastrzała wieży szybowej zagrażające bezpiecznej pracy obiektu. Na podstawie analiz określono, że przyczyną jest występowanie bezpośrednio pod fundamentami gruntów o znacznie niższej nośności, niż przyjęto podczas projektowania konstrukcji.

Budynek stacji wentylatorów przy szybie „Marklowice II” jest obiektem wolno stojącym, jednokondygnacyjnym o wymiarach w rzucie 41,0 m na 23,5 m znajdującym się po zachodniej stronie szybu i połączony z nim lunetą. Nadmierne osiadania fundamentów stacji wentylatorów spowodowała zbyt niska nośność podłoża gruntowego. Posadowienie wyciszenia, wykonanego później, nie wykażało nadmiernych osiadań. Mając na uwadze problemy pojawiające się z fundamentami budynku, konstrukcję wyciszenia oparto niezależnie na podłożu wstępnie wzmocnionym do nośności 300 kPa.

Wieża szybu „Podsadzki”, który pełni funkcję szybu wdechowego z przeznaczeniem do transportu podsadzki hydraulicznej oraz mieszaniny popiołowo wodnej, ma konstrukcję typu basztowego. Z zachowanych materiałów wynika, że słupy konstrukcji wspaniejsze



Rys. 3. Wzmocnienie fundamentów zastrzałów wieży szybowej szybu „Marklowice I” w kopalni „Marcel”

oparto częściowo na belkach ułożonych na obudowie szybu i zbiornika podszkowego oraz na stopach i ławach fundamentowych wykonanych niezależnie na zewnątrz zbiornika na głębokości 1,88 m p.p.t. Przyczyną powstania nierównomiernego osiadania fundamentów, prowadzącego do nadmiernych wychyleń wieży, było ich niejednorodne oparcie.

Mając na uwadze warunki geotechniczne oraz specyficzne warunki terenowe, do wzmocnienia posadowienia obiektów powierzchniowych szybów, zlokalizowanych na terenie kopalni „Marcel”, wykonano kolumny formowane w technologii iniekcji strumieniowej „jet grouting”. Zbrojenie kolumn średnicy 0,4 m i długości od 6,0 do

15,0 m stanowiły rury grubościenne łączone odcinkowo. Prace w każdym z rozważanych przypadków wymagały zastosowania małowabarytowych wiertnic mogących pracować wewnątrz obiektów (budynek nadszybia szybu „Marklowice I”) oraz bezpośrednio przy ścianach zewnętrznych, przy których znajdowały się elementy infrastruktury uniemożliwiające prowadzenie prac sprzętem o większych gabarytach (rys. 4). Poza wiertnicami pozostała część ciągu technologicznego ulokowano w bezpośrednim sąsiedztwie obiektów w ramach dostępnego miejsca.

Prace wzmocniające wykonano szybko i sprawnie, zapewniając bezpieczną pracę przedmiotowych obiektów.



Rys. 4. Formowanie kolumn iniekcyjnych do wzmocnienia posadowienia wieży szybowej szybu „Podszkowego” w kopalni „Marcel”

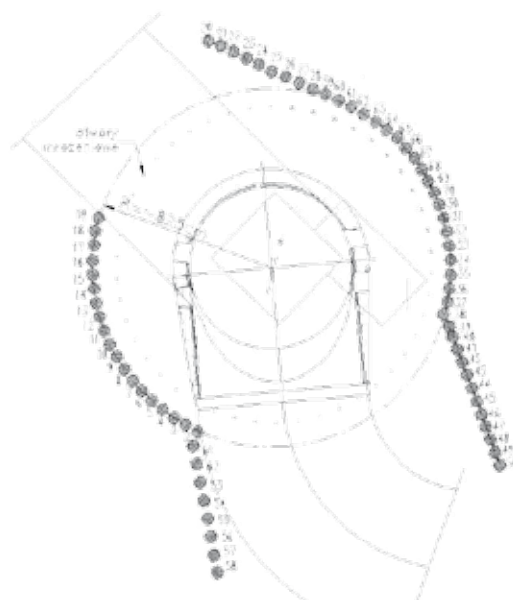
4.2. W kopalni „Pniówek”

Szczególnie godny przytoczenia wydaje się sposób usuwania skutków awarii, do której doszło przy szybie V KWK „Pniówek”, opisywana już wcześniej obszernie w materiałach konferencyjnych [2].

Zapadnięcie się konstrukcji kanału wentylacyjnego łączącego szyb V KWK „Pniówek” ze stacją wentylatorów spowodowało znaczne naruszenie struktury gruntu wokół głowicy szybu, która wykonana została w zamrożonym górotworze i trwała w nim przez cały okres głąbienia. Po rozmrożeniu szybu, otwory mroźniowe zlikwidowano przez cementowanie, natomiast przestrzeni pomiędzy

górotworem, a rurami nie cementowano. Piwnicy mroźniowej nie zlikwidowano. Zapadlisko pojawiające się już wcześniej likwidowano doraźnie, zasypując gruntem, płytami betonowymi i asfaltem.

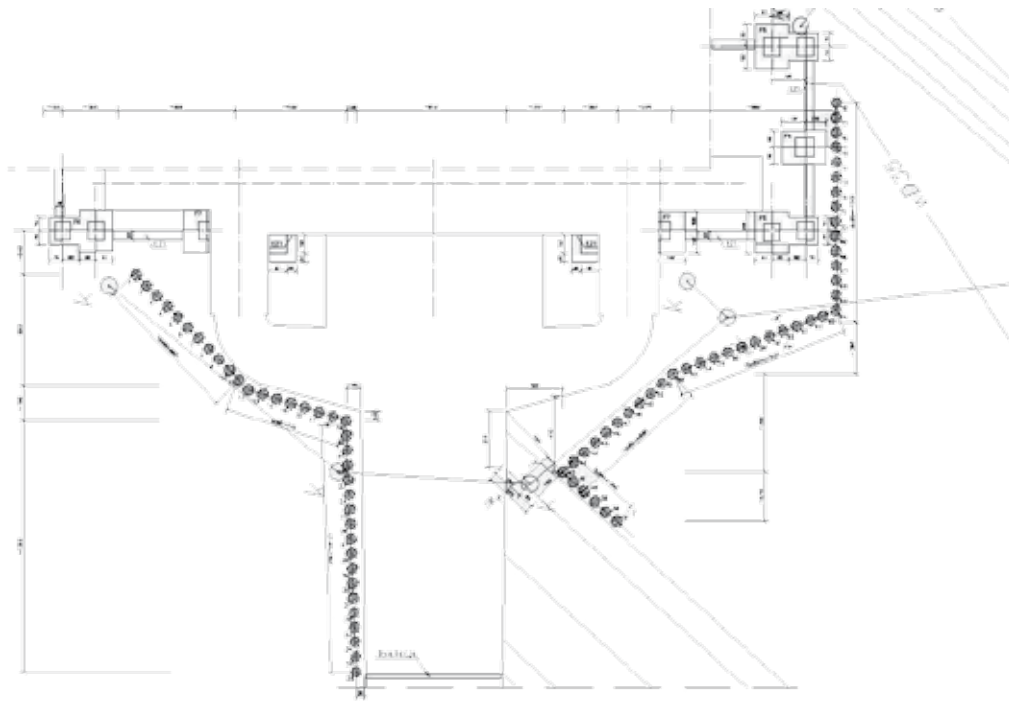
Po przeanalizowaniu materiałów archiwalnych oraz wykonanych prac, zaobserwowano drenujący wpływ szybu V, co miało znaczny wpływ na pogorszenie się warunków gruntowo-wodnych w obrębie rozważanego terenu. Wahania poziomu wodnego wpływają niszcząco na strukturę gruntów mało spoiwych i spoiwych, przez rozluźnienie i obniżenie stopnia konsystencji, co w konsekwencji spowodowało pogorszenie własności fizyko-mechanicznych gruntów.



Rys. 5. Zeskalenie gruntu wokół szybu V w kopalni „Pniówek” (dokumentacja powykonawcza)



Rys. 6. Wiertnica pracująca przy szybie V w kopalni „Pniówek”



Rys. 7. Zeskalenie gruntu wokół budynku wentylatorów w kopalni „Pniówek” (dokumentacja powykonawcza)

Mając na uwadze odległy okres wykonania badań geologicznych (1973 r.) jak również możliwość pogorszenia się warunków gruntowych spowodowanych budową i eksploatacją szybu V, do szczegółowego określenia budowy geologicznej przy szybie wykonano dodatkowy otwór kontrolny sięgający do 25,0 m. Po przeanalizowaniu uzyskanych danych stwierdzono, że w obrębie badanego terenu występują antropogeniczne grunty czwartorzędowe wykształcone w postaci mineralnych nasypów niebudowlanych o miąższości około 0,5 m oraz rodzime utwory czwartorzędowe piętra holocenu i plejstocenu wykształcone w postaci osadów wodno-lodowcowych. W odwierconym profilu utworów czwartorzędowych dominują grunty spoiste i małospoiste reprezentowane w znacznej przewadze przez gliny pylaste, pyły oraz ropy, wśród których występują przewarstwienia utworów sypkich. Utwory sypkie wykształcone w postaci piasków średnich oraz pylastych są kolektorami wody gruntowej, która została nawiercona na głębokości od 9,8 do 17,0 m i miała napięte lustro wody stabilizujące się na głębokości 5,5 m, p.p.t.

Utwory małospoiste oraz spoiste, wśród których dominują grunty o dużej zawartości frakcji pylastej, mają słabą strukturę tiksotropową, która – pod wpływem wahań poziomu wody gruntowej oraz drgań wywołanych pracą w obrębie szybu ciężkiego sprzętu – może ulec gwałtownej destrukcji.

Analizując materiały dotyczące konstrukcji obiektu, uwzględniając budowę podłoża gruntowego oraz ogół występujących w nim zjawisk związanych z brakiem cementacji przestrzeni między rurami mroźniowymi a podłożem gruntowym, konieczne okazało się wykonanie prac zeskalających górotwór. Szczególnie ważne podczas

prowadzenia prac było niewywieranie negatywnego wpływu na obudowę szybu V. Uzasadnione okazało się zastosowanie do zabezpieczenia przypowierzchniowej części rury szybowej zeskalania gruntu z wykorzystaniem kolumn iniekcyjnych kształtowanych w technologii iniekcji strumieniowej „jet grouting”. Wykonane kolumny iniekcyjne średnicy 0,6 m i długości 21,0 m uzupełniły ubytki gruntu i utworzyły w podłożu barierę uniemożliwiającą dalszą degradację gruntu w obrębie części przypowierzchniowej rury szybowej. Długość kolumn dobrana została tak, aby ich dolne końce zagłębione zostały w wystarczająco sztywne i nośne podłoże. Na długość kolumn wpływ miał także zakres przewidywanych negatywnych zmian, jakie zaszły wskutek powstania zapadliska przy szybie V.

Wlot do szybu zniszczonego kanału zabetonowano i uszczelniono, a sam kanał zlikwidowano przez wypełnienie materiałem wiążącym. Po odcięciu możliwości dopływu wody do szybu V, co nastąpiło po zamknięciu zniszczonej lunety, warunki gruntowo-wodne powinny powoli się ustabilizować, jednak powrót ich do stanu z przed awarii jest niemożliwy.

Uwzględniając możliwość propagacji rozluźnień podłoża gruntowego, celem odciążenia możliwości wpływu powstałego zapadliska na budynek stacji wentylatorów, wykonano barierę ochronną uniemożliwiającą ucieczkę gruntu podłoża w kierunku powstałego zapadliska. Barierę wykonano wokół budynku wentylatorów oraz odcinka kanałów wentylacyjnych wychodzących z budynku stacji wentylatorów w postaci zeskalania gruntu sięgającego głębokości 21,0 m p.p.t., wytworzonego z kolumn iniekcyjnych średnicy 0,6 m formowanych w technologii iniekcji strumieniowej „jet grouting”.

Zatrzymanie dopływu wód z zawiesiną gruntową do szybu oraz prowadzona metodą iniekcji strumieniowej odbudowa masy gruntowej pozwalają mieć nadzieję na odbudowę środowiska w stopniu pozwalającym na dalsze pełnienie swej funkcji przez szyb V i związaną z nim infrastrukturę. Poprawę warunków gruntowych wykazały badania mikrograwimetryczne z maja 2008 r. wykonane na przekroju obok szybiku wentylacyjnego.

5. Podsumowanie

Wzmacnianie i zabezpieczanie konstrukcji jest zadaniem złożonym, w którym każdorazowo należy uwzględnić szereg różnorodnych czynników, które powodują znaczne utrudnienia w prowadzeniu prac. Jak pokazują przytoczone realizacje, technologia iniekcji strumieniowej wydaje się być szczególnie predysponowana do stosowania w przypadku, gdy prace należy wykonać szybko, a przede wszystkim bezpiecznie i możliwe najmniej inwazyjnie. Wyrazić można tylko nadzieję, że okazji do wykonywania tego typu prac w sytuacjach awaryjnych będzie w przyszłości jak najmniej.

Literatura

1. *Bielski S., Kubański A., Wanik K.*: Praktyczne zastosowanie metod iniekcyjnego wzmacniania podłoża gruntowego. *Budownictwo Górnicze i Tunelowanie* 2009, nr 1
2. *Chudek M.D., Kubański A., Tobczyk S., Wanik K.*: Technika i technologia likwidacji zagrożenia geotechnicznego szybu V KWK „Pniówek”. XIII Międzynarodowe Sympozjum geotechnika-Geotechnics, Gliwice-Ustroń 2008
3. *Dulski M., Dąbrowska A., Kubański A., Wanik K.*: Prace geoinżynierskie na obiektach kolejowych. 20 lat doświadczeń. *Geoinżynieria* 2008, nr 03 (18)
4. *Dulski M., Wanik K.*: Wykorzystanie technologii „jet grouting” w posadowieniach alternatywnych. *Geoinżynieria* 2009, nr 02 (21)
5. *Klem B., Wanik K.*: Sport na jet grouting. *Aktualności Budowlane* 2009, nr 1 (12)
6. PN-EN 12716:2002: Wykonawstwo specjalnych robót geotechnicznych - Iniekcja strumieniowa.
7. *Spyra K., Zawada S., Zych J.*: Wzmacnianie podłoża gruntowego metodą iniekcji ciśnieniowej pod nasypy drogowe i obiekty inżynierskie autostrady A4. 2003



USZCZELNIENIA TECHNICZNE

TRELLEBORG
SEALING SOLUTIONS

biuro@trelleborg.com; www.tss.trelleborg.com/pl