

PRZYKŁADY ZASTOSOWANIA TECHNIKI INIEKCJI STRUMIENIOWEJ W PRACACH GEOINŻYNIERYJNYCH

Konrad WANIK*, Joanna BZÓWKA

Politechnika Śląska, ul. Akademicka 5, 44-100 Gliwice

Streszczenie: W artykule przedstawiono wybrane przykłady zastosowania techniki iniekcji strumieniowej w pracach inżynierskich, w zależności od celu i rodzaju wykonywanych prac. Przedstawiono technikę polegającą na niszczeniu struktury gruntów budujących podłoże, a następnie na mieszaniu gruntów i ich częściowej wymianie na czynnik wiążący uzyskiwany w efekcie działania wysokoenergetycznego strumienia iniektu. Scharakteryzowano obszary wykorzystania elementów iniekcyjnych do posadowienia nowych obiektów oraz wzmocnienia istniejących konstrukcji inżynierskich, jak również formowania konstrukcji oporowych oraz podchwyceń iniekcyjnych. Zwrócono uwagę na specyfikę technologii z uwzględnieniem jej zalet oraz ograniczeń. Poruszono kwestię pracy w ograniczonej przestrzeni, możliwość formowania kolumn pod istniejącymi konstrukcjami oraz kształtowania elementów iniekcyjnych o zróżnicowanej geometrii. Podano również ograniczenia dotyczące zabudowy zbrojenia w kolumnach iniekcyjnych oraz możliwości wykorzystania zrzutów technologicznych. Posłużono się przykładami prac zrealizowanych na przestrzeni kilku ostatnich lat.

Słowa kluczowe: iniekcja strumieniowa, jet grouting, kolumny iniekcyjne.

1. Wprowadzenie

Iniekcja strumieniowa polega na niszczeniu struktury gruntów budujących podłoże oraz ich mieszaniu i częściowej wymianie na czynnik wiążący. Niszczenie struktury gruntu jest uzyskiwane w efekcie działania wysokoenergetycznego strumienia cieczy nazywanej iniektem, która zazwyczaj jest równocześnie czynnikiem wiążącym (rys. 1). Elementy powstające podczas procesu iniekcji zgodnie z definicją nazywamy kolumnami iniekcyjnymi bądź ścianami iniekcyjnymi w zależności od ich kształtu (PN-EN 12716:2002 *Wykonawstwo specjalistycznych robót geotechnicznych. Iniekcja strumieniowa*).

Iniekcja strumieniowa może być wykonywana w systemie pojedynczym, podwójnym lub potrójnym (Bzówka i in., 2013). Systemy te różnią się między sobą ilością mediów zastosowanych do odpajania i urabiania gruntu. Najpowszechniej stosowany system pojedynczy wykorzystuje jedno medium, którym jest zazwyczaj zaczyn cementowy. Iniekt po wymieszaniu z gruntem podłoża twardnieje tworząc cemento-grunt. Materiał ten może mieć właściwości zbliżone do betonu, z tego powodu często nazywany jest również grunto-betonem. Wytrzymałość na jednoosiowe ścislenie powstałego tworzywa jest zależna od rodzaju gruntów występujących

w podłożu i w przybliżeniu wynosi odpowiednio: dla kolumny wykonanej w gruntach organicznych 1 MPa, w glinach 5 MPa, w piaskach 15 MPa i w żwirach 20 MPa. Należy jednak zaznaczyć, że dla większości gruntów wytrzymałość na ścislenie można zwiększyć poprzez modyfikację technologii iniekcji, idącą w kierunku wydłużenia czasu formowania kolumn, przekładającego się na ilość zużytego materiału wiążącego i/lub modyfikację składu zaczynów iniekcyjnych.

2. Zestaw roboczy i praca w ograniczonej przestrzeni

Jedną z niezaprzeczalnych zalet iniekcji strumieniowej (*jet grouting*) jest możliwość wykorzystania do formowania kolumn małowabarytowego sprzętu oraz usytuowanie części ciągu technologicznego poza obiektem. Ma to ogromne znaczenie w przypadku konieczności prowadzenia prac w obrębie pomieszczeń lub konstrukcji przy znacznie ograniczonej przestrzeni. Ograniczenia mogą wynikać zarówno z konieczności pracy wewnątrz obiektu, jak również z bliskości istniejących konstrukcji (rys. 2). Możliwość wprowadzenia wiertnicy w wąskie przestrzenie i ukośne formowanie kolumn pod istniejącym fundamentem

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: konrad.wanik@polsl.pl



Rys. 1. Wysokoenergetyczny strumień iniektu formujący kolumny iniekcyjne (fot. własna)



Rys. 2. Formowanie kolumn iniekcyjnych z wykorzystaniem małogabarytowej wiertnicy w obrębie istniejącej konstrukcji przy znacznie ograniczonej przestrzeni roboczej (fot. własna)

są niejednokrotnie jednym z niewielu możliwych sposobów wzmocnienia posadowienia.

Do formowania kolumn w technologii iniekcji strumieniowej wykorzystuje się między innymi: wiertnicę wraz z przewodem wiertniczo-iniekcyjnym uzbrojonym w iniektor, wysokociśnieniową pompę iniekcyjną, zestaw mieszalników obejmujący ultramikser oraz mieszalnik wolnoobrotowy, silosy z cementem oraz przewody łączące poszczególne elementy systemu. W zależności od rodzaju prac i zastosowanego systemu w skład zestawu wchodzić mogą dodatkowe elementy. Przykładowo, w systemie podwójnym wykorzystującym sprężone powietrze, wymagane jest zastosowanie kompresora (Bzówka i in., 2013).

Z wymienionych elementów jedynie wiertnica uzbrojona w przewód wiertniczo-iniekcyjny musi znaleźć się bezpośrednio w miejscu formowania kolumny (rys. 2). Pozostałe elementy technologiczne mogą być usytuowane w oddaleniu, dochodzącym nawet do 100 m. Najmniejsze samostojdne wiertnice charakteryzują się możliwością zastosowania oddzielnego agregatu hydraulicznego, który również można zlokalizować poza miejscem ich pracy.

Uwzględniając wymienione możliwości w połączeniu z zastosowaniem małogabarytowych wiertnic napędzanych hydraulicznie możliwe jest formowanie kolumn w obrębie ograniczonej przestrzeni. Przyjmuje się, że minimalna wysokość pomieszczenia, w którym można bez większych utrudnień prowadzić prace powinna wynosić minimum 2,5 m. Szerokość otworów wjazdowych nie może być mniejsza niż 1,0 m. Wymiary te oczywiście pozostają w ścisłej korelacji z zastosowaną wiertnicą.

Przykładem prac prowadzonych wewnątrz pomieszczeń, ilustrującym opisane zalety iniekcji strumieniowej, może być wykonanie podchwycenia fundamentów dwóch sąsiednich kamienic zlokalizowanych w Alejach Jerozolimskich w Warszawie (rys. 3-4). Opisywane budynki zostały zlokalizowane na dwóch w pełni zabudowanych i przylegających do siebie działkach o kształcie zbliżonym do prostokąta. Dostęp do niewielkiego dziedzińca wewnętrznego, w obrębie którego należało zlokalizować ciąg technologiczny, zapewniały dwa przejazdy bramowe. Prowadzony kapitalny remont obiektów zakładał adaptację pomieszczeń piwnicznych charakteryzujących się niewielką wysokością mieszczącą się w przedziale od 1,7 do 2,5 m. Chcąc w pełni wykorzystać kondygnację podziemną konieczne stało się wykonanie obniżenia poziomu posadzki, które pociągnęło za sobą konieczność wykonania nowych, znacznie głębszych fundamentów. Istniejące ławy fundamentowe charakteryzowały się bardzo płytkim poziomem posadowienia wynoszącym od 0,2 do 0,5 m. W opisywanym przypadku maksymalne różnice rzędnych spodu istniejących fundamentów i dna wykopu wynosiły od 1,8 do 2,1 m. Lokalnie występowały przegłębienia o różnicy wysokości dochodzącej do 3,25 m, związane ze zbiornikiem technologicznym oraz fundamentem dźwigu.

Podłoże gruntowe w obrębie posadowienia kamienicy budowały grunty spoiste wykształtowane jako gliny

piaszczyste, występujące w stanie od twaroplastycznego do półzwarłego. Do głębokości wierceń badawczych wynoszącej 12,0 m poniżej poziomu terenu nie nawiercono poziomu wodonośnego, rejestrując jedynie nieznaczne sączenia.

Konieczność wykonania prac w sposób ograniczający wymaganą ingerencję oraz zły stan istniejącego obiektu zdecydowały o zastosowaniu podchwycenia formowanego iniekcyjnie. Ciąg technologiczny zlokalizowano w obrębie dziedzińca, a wiertnicę wprowadzono do istniejących pomieszczeń piwnicznych. Z uwagi na zbyt małą wysokość pomieszczeń część stropów wymagała wyburzenia. W zależności od dostępności do miejsc wierceń, zastosowano dwa układy kolumn iniekcyjnych o średnicy 0,5 m. W pomieszczeniach, do których możliwy był dostęp obustronny przewidziano wykonanie kolumn iniekcyjnych w układzie koźlowym, naprzemiennie z obu stron fundamentu. W pozostałych przypadkach zeskalenie wykonywano jednostronnie, co wymagało zwiększonej liczby elementów iniekcyjnych w celu zapewnienia należytego podparcia ław.

3. Formowanie kolumn i zabudowa zbrojenia

W przypadku konieczności zabudowy zbrojenia kolumny iniekcyjne wymagają zastosowania elementów sztywnych. Powszechnie wykorzystuje się dwuteowniki i rury stalowe zabudowane jako jeden ciągły element bądź łączone odcinkowo. Można też użyć wiązki złożonej na przykład z kilku prętów, lecz jest to rozwiązanie rzadko stosowane. Brak możliwości zabudowy koszy zbrojeniowych wynika z technologii kształtowania kolumny i charakterystyki tworzywa gruntowo-cementowego.

Formowanie kolumn iniekcyjnych przebiega wieloetapowo (Bzówka i in., 2013). W pierwszym etapie wykorzystując przewód iniekcyjny uzbrojony w iniektor, wierci się otwór na projektowaną głębokość, odpowiadającą długości kolumny. Średnica otworu jest znacznie mniejsza od średnicy kolumny. Średnice powszechnie stosowanych przewodów wiertniczych zawierają się w przedziale 90-150 mm.

Podczas wiercenia dochodzi także do wstępnego rozluźnienia struktury gruntu. Ma to na celu zwiększenie zasięgu strumienia iniektu formującego kolumnę, co przekłada się w efekcie na większą średnicę elementu iniekcyjnego. Następnie rozpoczyna się właściwe formowanie kolumny. Tworzywo kolumny stanowi iniekt wymieszany z gruntem podłoża, zawierający w swej objętości wszystko to, co w podłożu znalazło się w obrębie jego oddziaływania (Wanik, 2010). Część cząstek gruntu zostaje wyniesiona wraz z nadmiarem zaczynu iniekcyjnego tworząc tak zwany zrzut technologiczny.

Jeśli w podłożu gruntowym występują kamienie, gruz bądź inne elementy, wejdą one w strukturę kolumny (rys. 4), która dodatkowo może charakteryzować się niejednorodnością. W tak powstałym ośrodku nie



Rys. 3. Podchwycony iniekcyjnie fundament kamienicy w Alejach Jerozolimskich w Warszawie z usuniętymi odsadzkami. Widoczne miejsca przewierćów przez ławy ceglane (fot. własna)



Rys. 4. Głaz narzutowy zalegający w podłożu, w strukturze kolumn tworzących podchwyconie iniekcyjne kamienicy w Alejach Jerozolimskich w Warszawie (fot. własna)

ma możliwości zabudowy zbrojenia o małej sztywności i średnicy zbliżonej do średnicy formowanej kolumny.

Technikę iniekcji strumieniowej w większości przypadków stosuje się w trudnych warunkach gruntowych, z warstwą gruntów nienośnych, które zazwyczaj zawierają składniki utrudniające zabudowę zbrojenia. Zbrojenie koszowe jest możliwe do zabudowy w kolumnach formowanych poza istniejącymi fundamentami, w górnym odcinku na głębokość około 1,0-2,0 m.

Wymóg stosowania sztywnych elementów zbrojących wynika ze specyfiki technologii oraz tworzywa gruntowo-cementowego. W wielu przypadkach, szczególnie gdy prace prowadzone są w obrębie istniejących obiektów, zachodzi również potrzeba zabudowy zbrojenia odcinkowego. Najprostszym, choć nie najtańszym rozwiązaniem, jest wykorzystanie rur grubościennych łączonych za pomocą złączek gwintowanych. Rury zabudowuje się w uformowanej kolumnie poprzez zakładanie i skręcanie kolejnych odcinków.

Z powodzeniem zbrojenie można także łączyć z wykorzystaniem spawania, co eliminuje konieczność wykonywania połączeń gwintowanych. Wydłuża to jednak znacznie czas potrzebny na zabudowę zbrojenia w terenie.

Przykładem prac wykonanych w technologii iniekcji strumieniowej wymagających zastosowania zbrojenia łączonego odcinkowo jest palisada oporowa przytrzymująca skarpy przyczółka wiaduktu w ciągu drogi wojewódzkiej nr 935 w Żorach. Konieczność wykonania prac wynikała z braku wolnej przestrzeni pomiędzy filarem oraz skarpy przyczółka. W celu wykonania połączenia drogowego wymagane było znaczne podcięcie istniejącej konstrukcji ziemnej. Dodatkowym elementem komplikującym prace była zabudowa w odległości około 3,5 m, w obrębie konstrukcji jezdni, kolektora średnicy DN1500 mm, znacznie zwiększającego głębokość wykopu.

Podłoże gruntowe na terenie objętym pracami budowały utwory czwartorzędowe wykształtowane w postaci średnio zagęszczonych piasków drobnych i średnich z przewarstwieniami twaroplastycznych oraz plastycznych pyłów i glin. Woda gruntowa o zwierciadle swobodnym występowała na głębokości od 1,6 do 1,7 m poniżej poziomu terenu, w obrębie warstwy piasków średnich.

Z uwagi na ograniczoną przestrzeń pod konstrukcją wiaduktu wykonano kotwioną palisadę oporową. Uwzględniając różnicę poziomów wynoszącą 5,3 m (bez uwzględnienia przegłębienia pod kolektor) kolumny wykonano w dwóch rzędach. Zbrojenie kolumn iniekcyjnych średnicy 0,5 m stanowiły rury grubościenne 88,9×8,0 mm łączone odcinkowo poprzez spawanie. Na górze palisady wykonano oczep żelbetowy, w który wprowadzono zbrojenie rurowe spinając poszczególne elementy (rys. 5).

Kotwienie wykonano z wykorzystaniem samowierzących iniekcyjnych kotew gruntowych opartych na belkach oporowych. Z uwagi na wysokość przytrzymywanej skarpy oraz kolejność prowadzenia prac zróżnicowano układ kotwienia obejmujący od 1 do 3

poziomów. Górny rząd kotwienia był wymagany na końcowym etapie pracy konstrukcji z uwagi na konieczność odbudowy części skarpy rozebranej dla wykonania platformy roboczej.

Po odkopaniu i oczyszczeniu powierzchni palisady wykończono z wykorzystaniem koszulki żelbetowej wylewanej na mokro. Zbrojenie zewnętrznej warstwy połączono ze zbrojeniem kolumn iniekcyjnych. Wygląd docelowej konstrukcji oporowej przedstawiono na rysunku 5.

Czynniki decydujące o wyborze techniki iniekcji strumieniowej w prezentowanym przykładzie były następujące: możliwość doboru sprzętu pozwalającego na prowadzenie robót pod istniejącą konstrukcją wiaduktu, zabudowa odcinkowego zbrojenia oraz prowadzenie prac nie zagrażających obiektowi.

Część skarpy przyczółka zlokalizowaną poza konstrukcją wiaduktu zabezpieczono z wykorzystaniem ścianki szczelnej, co znacznie przyspieszyło prace prowadzone w okresie zimowym. Grodzice stalowe na odcinku powyżej konstrukcji nawierzchni docelowo obłożono białymi panelami (rys. 6).

4. Zrzuty technologiczne i możliwość ich wykorzystania

Do wad iniekcji strumieniowej można zaliczyć powstawanie podczas procesu wiercenia i formowania kolumn odpadów, które powszechnie nazywane są zrzutami technologicznymi. Jest to nadmiar mieszaniny zaczynu iniekcyjnego z gruntem, powstający podczas formowania kolumn i wypływający na powierzchnię przez pierścieniową przestrzeń między żerdzią a ścianą otworu iniekcyjnego (PN-EN 12716:2002).

Zaklasyfikowanie zrzutów technologicznych jako urobku sugeruje analogię do urobku wynoszonego podczas formowania pali wierconych. Zrzuty pozostawione w miejscu prowadzenia prac z czasem twardnieją, tworząc cemento-grunt o właściwościach niewiele gorszych od materiału kolumn. W większości przypadków traktuje się je jako odpad wymagający usunięcia po zakończeniu prac. W praktyce, dbając o ich w miarę równomierne rozproszczenie na powierzchni, zrzuty mogą być wykorzystane jako warstwa wyrównująca pod przyszłą konstrukcję. Pozwala to ograniczyć grubość betonu wyrównawczego pod konstrukcją (Wanik, 2010). W przypadku formowania nasypów nad głowicami kolumn, zrzuty można wykorzystać do wstępnej stabilizacji podłoża.

Zrzuty technologiczne były wykorzystane podczas prowadzenia rozbudowy siedziby oddziału ZUS w Sosnowcu. Pod stopami oraz ławami fundamentowymi wykonano układ kolumn iniekcyjnych średnicy 0,5 m i długości 5,0 m, zbrojonych kształtownikami stalowymi IPE 140 ze stali St3S.

Podłoże gruntowe w miejscu prowadzenia prac stanowiły nasypy niebudowlane zalegające od powierzchni terenu do głębokości 2,0 m, składające się z piasków średnich, piasków gliniastych oraz glin



Rys. 5. Wykonana palisada oporowa podtrzymująca skarpe przyczółku wiaduktu w Żorach z widocznym zbrojeniem rurowym przed zabetonowaniem oczepu (fot. własna)



Rys. 6. Konstrukcja oporowa podtrzymująca skarpe przyczółka wiaduktu w Żorach (fot. własna)

piaszczystych. Poniżej do głębokości 3,0 m zalegały luźne piaski średnie. Najniższą, nośną warstwę gruntową stanowiły zagęszczone piaski średnie. W czasie wierceń poziomu zwierciadła wody gruntowej nie nawiercono.

Część zrzutów powstających podczas formowania kolumn wykorzystano jako warstwę wyrównawczą (rys. 7). Pozwoliło to zredukować grubość potrzebnej warstwy podkładowej oraz ograniczyć ilość materiałów odpadowych.

W przytoczonym przykładzie budowa podłoża gruntowego sprzyjała wykorzystaniu zrzutów technologicznych. Z uwagi na występowanie gruntów składających się w przeważającej mierze z piasków, cemento-grunt charakteryzuje się dobrymi i jednorodnymi parametrami wytrzymałościowymi.

Decyzje o wykorzystaniu powstających podczas formowania kolumn odpadów technologicznych należy każdorazowo wnikliwie przeanalizować. Pozostawienie i wykorzystanie zrzutów powstających podczas prac prowadzonych w okresie zimowym lub na zamrażonym podłożu należy wykluczyć. Dotyczy to zarówno okresów, w których panują ujemne temperatury, jak również miejsc, w których podłoże nie zdąży rozmarznąć. Wypływające na powierzchnię terenu zrzuty technologiczne przykrywają zamrażony grunt i wodę. Po rozmarznięciu może okazać się, że pod warstwą cemento-gruntu pozostała pusta przestrzeń.

5. Drgania podczas prowadzenia prac

Prace z zastosowaniem iniekcji strumieniowej bardzo często wykorzystywane są do wzmacniania posadowienia obiektów, których konstrukcja charakteryzuje się złym stanem technicznym. Brak drgań podczas wiercenia i formowania kolumn zalicza się w takiej sytuacji do niezaprzeczalnych atutów opisywanej technologii.

Wprowadzenie oddziaływań dynamicznych o pomijalnym wpływie na konstrukcję może być związane z koniecznością wykorzystanie młotka udarowego do przejścia przez trudno zwiercalne przeszkody. Zaliczają się do nich głównie głązy (rys. 4) oraz betonowe elementy konstrukcji. Jednakże nawet w tym przypadku drgania te nie są zagrożeniem dla obiektu, co zostało potwierdzone licznymi realizacjami wykonanymi na przestrzeni ostatnich lat. Często prowadzonymi w obrębie obiektów wpisanych do rejestru zabytków.

6. Rozwiązania alternatywne

Specyfika formowania elementów iniekcyjnych sprzyja wykorzystaniu kolumn w posadowieniach alternatywnych. Możliwość wykonania kolumn o zróżnicowanej średnicy oraz występujących w grupie pozwala na dostosowanie prac do wymaganej geometrii oraz nośności. Wymiar uzyskanej kolumny jest zależny od doboru parametrów wiercenia i iniekcji oraz możliwy do uzyskania bez zmiany zestawu technologicznego (Bzówka, 2009; Bzówka i in., 2013).

Przykładowym wykorzystaniem zróżnicowanych układów kolumn może być realizacja posadowienia zamiennego (rys. 8) sali gimnastycznej VI Liceum Ogólnokształcącego przy ul. Warszawskiej w Białymstoku (Klem i Wanik, 2009).

Wyjściowy projekt zakładał posadowienie obiektu na studniach fundamentowych o zróżnicowanej średnicy. Poszukiwano rozwiązania zamiennego, pozwalającego przyspieszyć prace oraz wyeliminować konieczność prowadzenia odwodnienia zagrażającego istniejącym obiektom. Nie bez znaczenia był również aspekt ekonomiczny.

Podłoże gruntowe na terenie objętym pracami charakteryzowało się niekorzystnymi warunkami gruntowo-wodnymi, na które składały się warstwy nasypów niebudowlanych oraz gruntów organicznych wykształconych jako namuły. Warstwy nienośne zalegały na głębokości od 2,7 do 3,6 m poniżej poziomu terenu. Poniżej występowały nośne średnio zagęszczone i zagęszczone piaski drobne i średnie oraz twardoplastyczne gliny morenowe. Woda gruntowa o zwierciadle napiętym występowała na głębokości od 2,7 do 3,6 m i stabilizowała się na głębokości od 2,4 do 2,6 m poniżej poziomu terenu. Warunki wodne pozostawały w ścisłej korelacji ze stanami wody w pobliskiej rzece Białej.

Ostatecznie przyjęte rozwiązanie wykorzystywało układy kolumn formowanych w technologii iniekcji strumieniowej. W miejscach węzłów konstrukcyjnych wykonano grupy liczące od 3 do 5 kolumn iniekcyjnych średnicy 0,8 m, zapewniając tym samym warunki podparcia niezmiennie do pierwotnie zaprojektowanych (rys. 8). Dzięki utrzymaniu pierwotnych założeń nie wystąpiła konieczność zmian sposobu utwierdzenia i konstrukcji belek podwalinowych.

Prowadzone prace prowadzono bez wywoływania drgań, mogących stanowić zagrożenie dla istniejących obiektów, a wykonane układy kolumn nie zmieniły warunków gruntowo-wodnych.

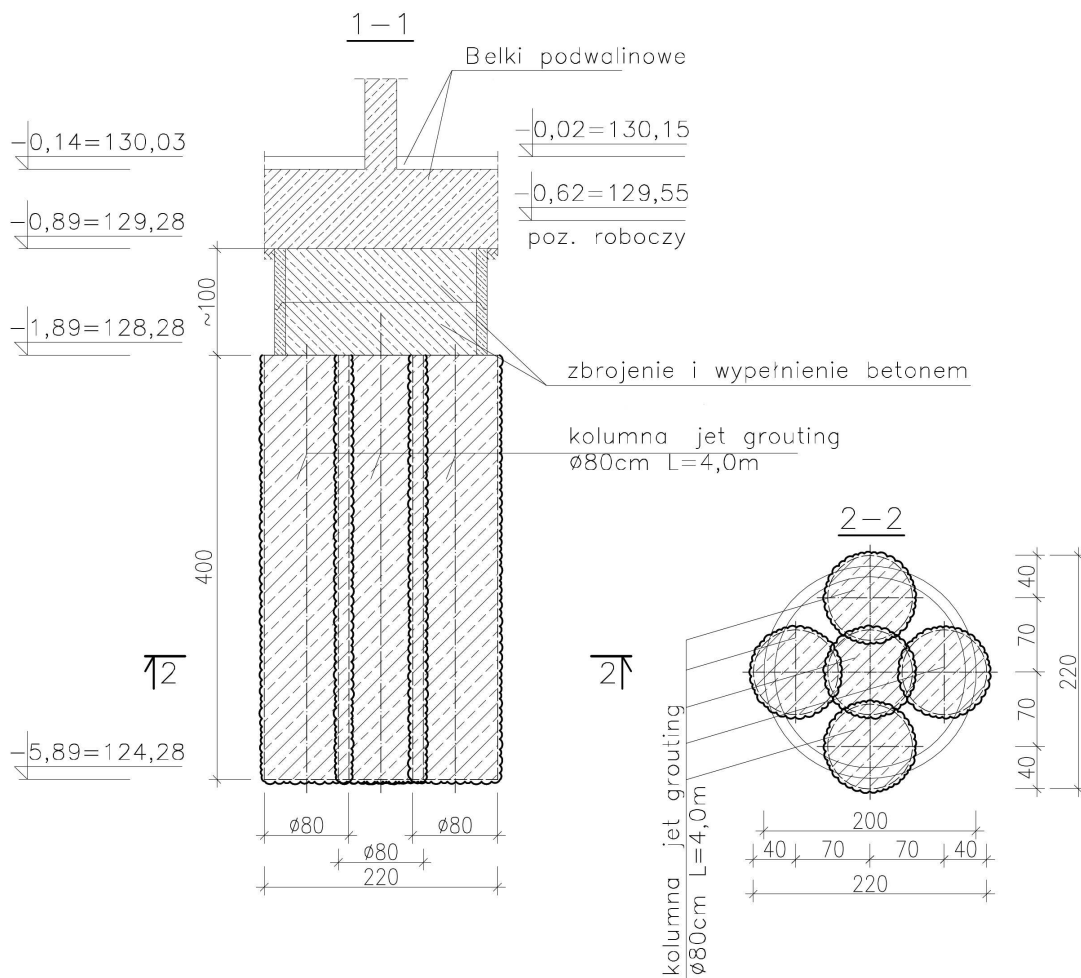
7. Podsumowanie

Przedstawione przykłady nie wyczerpują szerokiego zakresu możliwych zastosowań iniekcji strumieniowej. Przybliżają jedynie najważniejsze cechy technologii wykorzystywanej do kształtowania nowych posadowień i wzmacniania istniejących fundamentów, jak również formowania konstrukcji oporowych oraz podchwyceń iniekcyjnych. Z powodzeniem technika iniekcji strumieniowej może być stosowana jako wzmocnienie oraz uszczelnienie ośrodka gruntowego.

Możliwość kształtowania elementów iniekcyjnych o zróżnicowanej geometrii sprzyja poszukiwaniu nowych, nietypowych zastosowań. Prowadzone prace badawcze dążą do bliższego poznania procesów zachodzących podczas formowania kolumn (Wanik i Modoni, 2012) oraz modyfikacji składu zaczynów. Możliwość precyzyjnego doboru parametrów wiercenia i iniekcji pozwala na bezpieczne oraz ekonomiczne projektowanie



Rys. 7. Wykorzystanie zrzutów technologicznych jako wstępnej podbudowy pod warstwy konstrukcyjne przy rozbudowie siedziby oddziału ZUS w Sosnowcu (fot. własna)



Rys. 8. Fundament zastępczy składający się z pięciu kolumn iniekcyjnych średnicy 0,8 m wykonany zamiennie do studni fundamentowej średnicy 2,0 m w ramach budowy sali gimnastycznej VI Liceum Ogólnokształcącego przy ul. Warszawskiej w Białymstoku, 2008 rok

przekładające się na powszechne i częste stosowanie iniekcji strumieniowej.

Literatura

- Bzówka J. (2009). Współpraca kolumn wykonywanych techniką iniekcji strumieniowej z podłożem gruntowym. Monografia. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice.
- Bzówka J., Wanik L., Wanik K. (2013). Proces technologiczny iniekcji strumieniowej. W: Proc. of the 18th International Seminary "Reinforcement, Sealing and Anchoring of Rock Massif and Building Structures 2013", Ostrava 2013, 100-105.
- Klem B., Wanik K. (2002). Sport na jet grouting. *Aktualności Budowlane*, nr 1(12)/2009, 14-15.
- Wanik K. (2010). Wybrane uwarunkowania projektowe i technologiczne stosowania iniekcji strumieniowej. *Inżynieria i Budownictwo*, 2/2010, 68-70.

Wanik L., Modoni G. (2012). Numerical analysis of the diffusion of submerged jets for jet grouting application. W: *Incontro Annuale dei Ricercatori di Geotecnica 2012 - IARG 2012*, Padova 2012.

APPLICATIONS OF JET GROUTING TECHNIQUE IN GEOENGINEERING WORKS

Abstract: The paper presents selected examples of jet grouting technique in engineering works, depending on the purpose and type of the works. The use of injection elements for foundation of new facilities and the strengthening of existing engineering structures was characterized. Attention to the specificity of technology including its advantages and limitations was paid. The examples of works carried out in the last few years were presented.