

Wiertniczo-iniekcyjna profilaktyka geoinżynierska

Konstrukcje kształtowane na nowo

mgr inż. Andrzej Kubański

Zakład Inżynierski GEOREM Sp. z o.o.

1. Wprowadzenie

Zmniejszenie zakresu geologicznych wierceń poszukiwawczych oraz potrzeby chwili rozszerzyły zainteresowanie wiertnictwa o zakres prac wiertniczo-iniekcyjnych, m.in. dla budownictwa. Początkowo ograniczano się do zastosowań wiertnictwa w pracach likwidujących awarie budowlane. Następnie rozpoczęto działania wytyczające sposoby zastosowań techniki wiertniczej do uzdatniania terenów zniszczonych eksploatacją górniczą i modyfikacji własności geotechnicznych.

Wprowadzenie różnych technik wiertniczych właściwych, dla udostępnianego ośrodka skalnego powoduje, że podstawową czynnością jest wykonanie odpowiedniego otworu wiertniczego, umożliwiającego aplikowanie środków wiążących pod ciśnieniem – od hydrostatycznego do kilkudziesięciu MPa. Zastosowania techniki wiertniczo-iniekcyjnej pozwala na kształtowanie masywów o pożądanych parametrach geotechnicznych, pali pionowych i ukośnych, kolumn przenoszących obciążenia pionowe i poziome, przepon i ekranów o charakterze izolacyjnym, a ostatnio także konstrukcji zabezpieczających osuwiska. Niewątpliwą zaletą technik iniekcyjnych jest współdziałanie ośrodka skalnego w kształtowaniu nowych warunków wytrzymałościowych. Dobór mieszanin wiążących uwzględnia każdorazowo wpływ na ośrodek gruntowo-skalny i jest wynikiem analizy jakości zamierzonego celu w odniesieniu do ewentualnych oddziaływań negatywnych.

W początkowym okresie stosowania technik wiertniczo-iniekcyjnych dążono do otrzymania wielkoobjętościowych brył gruntu zmodyfikowanego, który obciążano lub drażono w nim wyrobiska. Postęp w technikach wiertniczych i technologiach iniekcji pozwala obecnie kształtować konstrukcje o zamierzonych wymaganiach budowlanych.

Chcąc przybliżyć zagadnienia geoinżynierii, przedstawiamy poniżej kilka charakterystycznych tematów z ponad 500 zrealizowanych w okresie działalności Zakładu Inżynierskiego GEOREM Sp. z o.o. w Sosnowcu.

2. Wybrane przykłady realizacji

2.1. Zabezpieczenie posadowienia mostów w trakcie pogłębienia koryta rzeki Rawy w Katowicach

Jedną z pierwszych spektakularnych realizacji, wykorzystujących technologię iniekcji strumieniowej zwanej jet-grouting, wykonano w 1994 r. Metodę zastosowano dla zabezpieczenia trzech obiektów mostowych na czas realizacji pogłębienia i regulacji koryta rzeki Rawy w Katowicach.

Jako pierwszy zabezpieczeniu poddano most drogowy w ciągu ul. Bagiennej. Obiekt o szerokości 144,0 m i rozpiętości 21,0 m wykonano jako jednoprzęsłowy, posadowiony na palach wielkośrednicowych. Konstrukcję nośną stanowiły belki prefabrykowane typu Płońsk. Przez most przebiega dwujezdniowa ulica o dużym natężeniu ruchu. Jej zamknięcie nie było przewidywane z uwagi na pierwszorzędne znaczenie tej arterii komunikacyjnej.

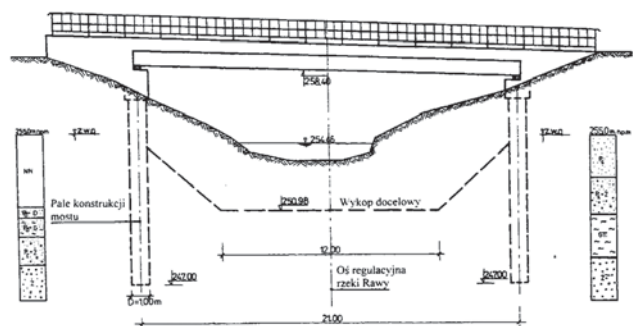
Wykonanie wykopu technologicznego pod przyszłe pogłębione koryto rzeki stwarzało zagrożenie odsłonięcia części poboczniczy pali wielkośrednicowych, a tym samym zmniejszenie stateczności mostu, po którym odbywał się normalny ruch samochodowy. W związku z tym zaprojektowano, a następnie wykonano, zabezpieczenie obiektu za pomocą palisad utworzonych z mikropali iniekcyjnych.

Konstrukcję palisad stanowiły:

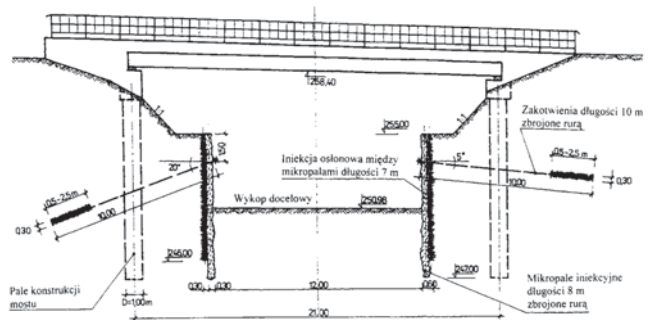
- w I rzędzie, od strony wykopu, mikropale \varnothing 300 mm o zbrojeniu rurowym w rozstawie osiowym co 0,75 m. Długość mikropali wynosiła 8,0 m;
- w II rzędzie, jako uzupełnienie konstrukcji ścianki, zaprojektowano mikropale z iniekcją cementową bez zbrojenia o długości 7,0 m;
- kotwy gruntowe o długości 10,0 m, zwieńczone stalową belką oporową, którą stanowiły dwa ceowniki 180.

Łącznie wykonano 462 mikropali iniekcyjnych zbrojonych stalową rurą grubościenną i 451 szt. mikropali iniekcyjnych bez zbrojenia oraz 125 kotew gruntowych.

Obserwacje geodezyjne mostu i drogi nie wykazały żadnych zmian posadowienia, mimo zalania wykopu i podmycia przestrzeni pomiędzy mikropalami w trakcie lokalnej powodzi, spowodowanej intensywnymi opadami atmosferycznymi. Typowy przekrój przedstawiono na rycinach 1 i 2.



Ryc. 1. Przekrój koryta rzeki przed przebudową



Ryc. 2. Przekrój obudowy wykopu



Ryc. 3. Pogłębienie koryta rzeki pod mostem w osłonie mikropali iniekcyjnych

Podobne rozwiązania zastosowano przy zabezpieczeniu jeszcze dwóch obiektów mostowych w ramach dalszej realizacji pogłębienia koryta Rawy w Katowicach (ryc. 3).

2.2. Zmiana posadowienia mostu nad kanałem ulgi rzeki Odry w Opolu

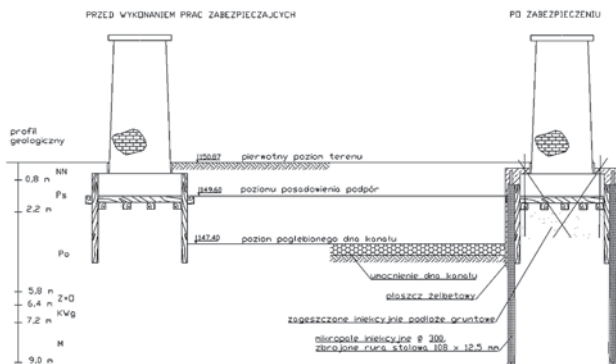
Kolejnym przykładem realizacji z wykorzystaniem metod wiertniczo-iniekcyjnych jest zabezpieczenie podpór mostu kolejowego dla dokończenia rozpoczętej na początku XX w. budowli chroniącej miasto przed powodzią.

Zakres prac iniekcyjnych obejmował zabezpieczenie i wzmocnienie podłoża gruntowego pod fundamentami ośmiu filarów i dwóch przyczółków mostu kolejowego, na którym powinien odbywać się normalny ruch pociągów.

Dla każdej podpory wykonano (ryc. 4):

- szczelną palisadę wokół podpory, utworzoną z mikropali $\varnothing 300$ mm kształtowanych metodą iniekcji strumieniowej jet-grouting. Mikropale zbrojone były stalową rurą grubościenną;
- po wykonaniu palisady, w celu wzmocnienia posadowienia każdej podpory, wykonano iniekcję cementową. Przewiercano istniejące fundamenty małosrednicowymi otworami, na przemian otwory pionowe i pod kątem 25° do pionu, w rozstawie co 1,0 m, a następnie przeprowadzono zabieg iniekcji klasycznej przy wykorzystaniu uszczelniaczy otworowych;
- dla powiązania zbrojenia wieńca żelbetowego w fundamentach podpór osadzono pręty stalowe;
- wykonano wieniec żelbetowy, łączący pale ze starą konstrukcją fundamentów podpór;
- po pogłębieniu wykopu do docelowej głębokości wykonano płaszcz żelbetowy w części nadziemnej palisady.

Ogółem dla każdego filara wykonano 108 mikropali i 25 otworów dla iniekcji klasycznej oraz 54 mikropale i 12 otworów dla iniekcji klasycznej pod każdym przyczółkiem (ryc. 5).



Ryc. 4. Przekrój poprzeczny przez podporę mostu



Ryc. 5. Nowe posadowienie filaru mostowego

Całość prac zabezpieczających była wykonywana przy nieograniczonym ruchu kolejowym, w związku z tym zachodziła konieczność bezwzględnego przestrzegania reżimów technologicznych prowadzenia robót iniekcyjnych.

W trakcie prac prowadzono stały monitoring osiadań podpór mostu, który nie wykazał żadnego negatywnego oddziaływania zabiegów iniekcyjnych na obiekt.

Zabezpieczenie posadowienia mostu pozwoliło na wykonanie pogłębienia kanału i zwiększenie jego przekroju do wymiarów gwarantujących, wraz z innymi urządzeniami, ochronę przeciwpowodziową miasta Opolo nawet na przepływy jakie wystąpiły w 1997 r.

2.3. Wzmocnienie murów budowli średniowiecznych

Zachowanie dla potomnych dziedzictwa narodowego w postaci średniowiecznych budowli, których stan techniczny na przestrzeni lat uległ znacznej dewastacji, wymaga licznych prac naprawczych. Prace te zmierzają do zmiany funkcji obiektów i przystosowaniu ich konstrukcji do przenoszenia nowych obciążeń. Kamienne budowle łączone zaprawą wapienną z upływem wieków uległy procesom destrukcyjnym, szczególnie widocznym w postaci ubytków zaprawy zniszczonej procesami biochemicznymi.

Przykładem obrazującym powyższe stwierdzenie jest aktualnie trwająca przebudowa bastionu św. Barbary w murach obronnych klasztoru jasnogórskiego. Wewnątrz widocznych ceglanych murów znajdują się mury kamienne zbudowane w średniowieczu. Grubość murów wapiennych na zaprawie osiąga 5,0 m. Bastion wewnątrz wypełniony jest gruntem nasypowym, który dla wykonania nowej funkcji musi być wybrany. Nowa funkcja murów obronnych będzie polegała na podtrzymaniu kopuły nakrywającej przyszlą kaplicę, otoczoną katakumbami znajdującymi się w murach ceglanych.

Aby mury mogły przenieść nowe obciążenia, należało wzmocnić zaprawą wapienną, uzupełnić jej braki oraz zlikwidować szczeliny. Zastosowano iniekcję w masyw murów udostępniony otworami wiertniczymi rozmieszczonymi w rzędach co 2 m. Otwory te stanowiły pierwszy etap iniekcji. Otwory drugorzędne stanowiły kontrolę pierwszego zabiegu iniekcyjnego i pozwalały na dotoczenie zaprawy wiążącej w miarę potrzeb. Iniekcję poprzedzało sprawdzenie chłonności przy pomocy sprężonego powietrza. Iniekcję prowadzono płynną zaprawą podobną do klejów powszechnie stosowanych, jednak bez wypełniaczy kwarcowych z uwagi na wapienne środowisko. Ciśnienie iniekcji nie przekraczało 0,5 MPa. Osiągnięty średni promień penetracji wyniósł ok. 1,0 m. Ilość wtłoczonego iniektu w stosunku do objętości muru pozwala na stwierdzenie, że mury przeniosą założone obciążenia. Niedogodnością występującą w tej realizacji była wymuszona obniżającym się w miarę usuwania z bastionu gruntu nasypowego, kolejność iniekcji z góry doół. Wykonane, widoczne na zdjęciu wejścia do bastionu, wykute

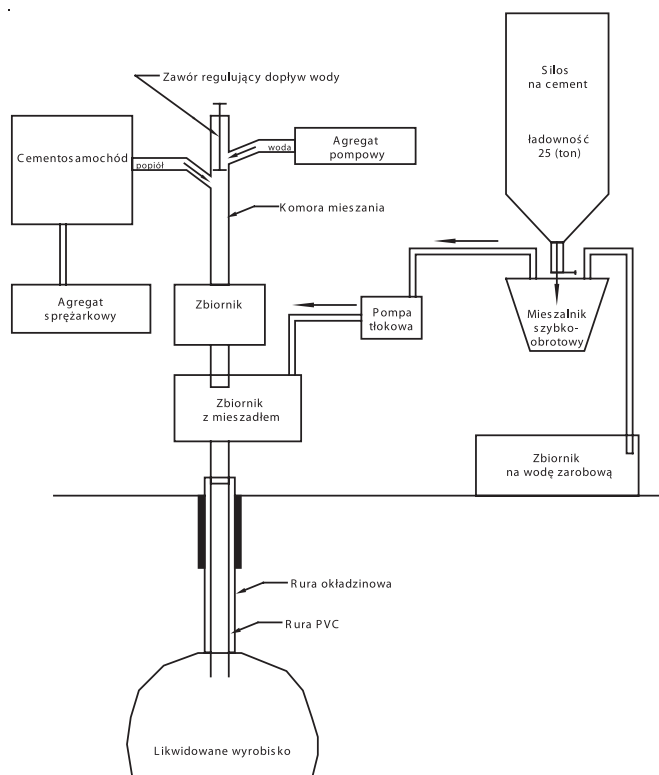
w murach potwierdziły rozchodzenie się iniektu uzupełniającego zaprawę (ryc. 6). Podobną techniką iniekcijną wzmocniono mury Pałacu Gzichowskich w Będzinie i kilkanaście innych zabytkowych obiektów.



Ryc. 6. Wzmacnianie murów bastionu św. Barbary na Jasnej Górze

2.4. Przywracanie wartości podłoża budowlanego terenom pogórnym

Trwająca od zarania dziejów eksploatacja minerałów pozostawia za sobą zniszczoną strukturę ośrodka skalnego, począwszy od powierzchni aż do głębokości kilkuset metrów. Według oceny mechaniki górotworu najbardziej odczuwalny wpływ na powierzchnię terenu wywołują pustki pogórnice znajdujące się do głębokości 80 m, gdyż są przyczyną odkształceń nieciągłych, charakteryzujących się m.in. nagłością zdarzenia. Schodzenie z eksploatacją do niższych poziomów powoduje reaktywację zjawisk destrukcyjnych nadległych pustek i ich propagację ku górze. I tak np. pustka z głębokości 60,0 m potrafi przemieścić się do głębokości 16,0 m, jak to miało miejsce w jednej z hut na terenie Sosnowca. A to już jest duże zagrożenie dla istniejących i nowo budowanych obiektów.

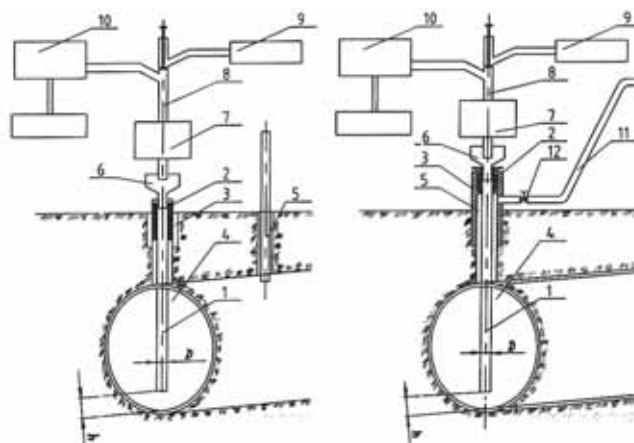


Ryc. 7. Schemat technologiczny zatlaczania pylistych mieszanin wiążących

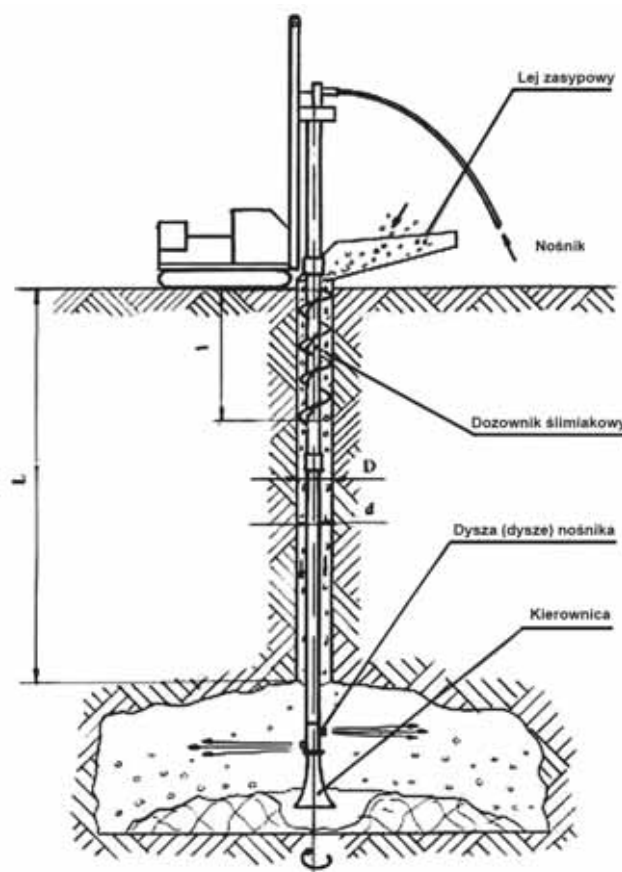
W ostatnich 30 latach, w związku z budową szlaków komunikacyjnych, nastąpiła konieczność przywracania terenom zniszczonym eksploatacją górniczą wartości wymaganych przez budownictwo. Spośród kilku metod udostępniania starych wyrobisk najważniejsza okazała się technika wiertnicza, pozwalająca na udostępnienie pustek wypełnionych wodą, gazami pożarowymi lub palącymi się. Wszystkie te zjawiska w obszarach zagrożenia udostępnione otworem, można dokładnie rozpoznać poprzez wizualną obserwację telewizyjną oraz odpowiednie pomiary zjawisk chemiczno-fizycznych. Rozpoznanie pozwala na zaprojektowanie odpowiedniej metody wypełniania materiałami wiążącymi w przypadku uzdatniania terenu dla budownictwa lub składowania odpadów.

W ostatnich latach opracowano opatentowane sposoby podawania materiałów wypełniających do pustek wypełnionych wodą oraz podawania kruszywa do pustek (ryc. 7, 8, 9).

Z grupy kilkudziesięciu przykładów realizacyjnych warto wskazać na uzdatnienie podłoża pod węzłem autostradowym A1 z A4 w Mysłowicach, który wybudowano nad zalaną w la-



Ryc. 8. Schematy zatlaczania mieszanin wiążących do wyrobisk zalanych wodą



Ryc. 9. Schemat zatlaczania ziarnistych mieszanin podsadzających

tach 30. XX w. kopalnią węgla kamiennego. Budowa autostrady śródmiejskiej zwanej DTŚ wymagała rozległych prac uzdatniających dla ochrony obiektów inżynierskich i przełożenia tras kolejowych. Dla ograniczenia zakresu prac przyjęto zasadę szczególnego uzdatnienia terenów pod mostami i wiaduktami oraz likwidację szybów.

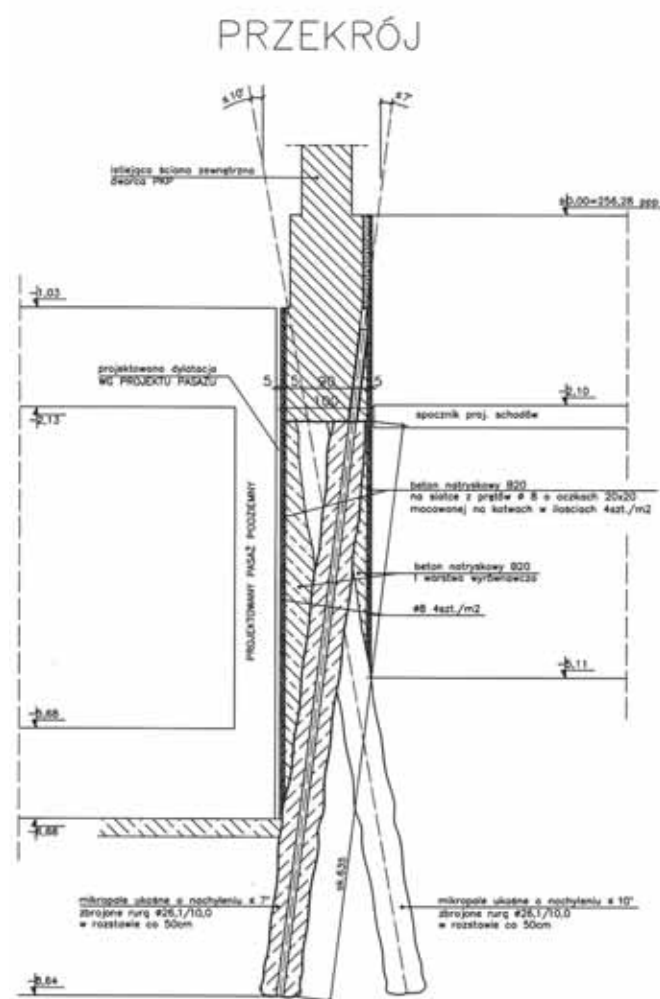
Duże realizacje uzdatniające wykonano przed budową osiedli mieszkaniowych na terenie Dąbrowy Górniczej, Chorzowa i Siemianowic.

Nowe realizacje drogowe prowadzące osiowo przez obszar Górnego Śląska, gdzie w górotworze występują zjawiska krasowe oraz zniszczenia naturalnej struktury podłoża przez górnictwo, wymagają szczególnej troski i nakładów finansowych. Prace te powinny nosić znamiona naprawczej profilaktyki geotechnicznej, znacznie wyprzedzającej inwestycyjne procesy budowlane, które cechuje duże tempo prac.

2.5. Budowa podziemi pod istniejącymi budynkami

Modernizacja powstałych sto i więcej lat temu układów komunikacyjnych miast wymaga stosowania całego szeregu technologii geoinżynierskich, realizowanych w sposób do niedawna uznany za niewykonalny. Realizacja wizji architektów wymaga wykonania nowych fundamentów pod budowlą istniejącą. Z zagadnieniem tym zmierzono się przy przebudowie pieszego układu pod dworcem kolejowym i placem przed dworcem w Sosnowcu.

Spełnienie wizji projektantów wymagało wykonanie głębokich na 6,5 m wykopów pod zabytkowym budynkiem dworca oraz obok fundamentów budynków przylegających do placu



Ryc. 10. Konstrukcja ścian podziemia z mikropali na odcinkach przy projektowanej pasażu podziemnym

przed dworcem. Dodatkowym zadaniem było zabezpieczenie torowiska tramwajowego i jezdni na czas budowy placu pod dworcem, gdzie umieszczono 4500 m² powierzchni handlowej, pomieszczenia obsługi podróżnych i szeroki trakt komunikacyjny przystosowany dla osób niepełnosprawnych ruchowo.

Pod fundamentami budynku dworca wykonano ok. 1000 kolumn zbrojonych kształtownikami stalowymi techniką iniekcji strumieniowej jet-grouting do głębokości 9,0 m w układzie kołowym (ryc. 10).

Obok fundamentów budynków okalających plac oraz dla ochrony torowiska i jezdni wykonano kilkaset pali w technice świdra ciągłego CFA.

Realizacja tak dużego zakresu prac geoinżynierskich pozwoliła na realizację zamierzenia w sposób bezpieczny dla budynków, ruchu tramwajowego i pieszego, który dzięki odpowiedniej kolejności robót odbywał się w trakcie budowy. Na bryle zabytkowego budynku nie zaobserwowano żadnych pęknięć ani nie zmierzono osiadań. Odkopane kolumny iniekcyjne posłużyły po wykonaniu kotwienia siatki zbrojeniowej i betonu natryskowego jako element ścian podziemi (ryc. 11).



Ryc. 11. Iniekcja strumieniowa jet grouting pod fundamentami budynku dworca kolejowego w Sosnowcu

Rezultatem zrealizowanych prac jest rozwiązanie komunikacyjne, które po kilkuletnim użytkowaniu w pełni sprawdziło się i powinno być inspiracją dla projektantów do szerszego stosowania tego rodzaju rozwiązań. Technologie i sprawni wykonawcy potrafią zabezpieczyć metodami geoinżynierskimi istniejącą substancję budowlaną i komunikacyjną przed niekorzystnymi zjawiskami związanymi ze schodzeniem w podziemia infrastruktury miast.

3. Podsumowanie

Ograniczony zakres niniejszego artykułu nie pozwala na przedstawienie zastosowań w innych dziedzinach budownictwa, jak hydrotechnika, budownictwo mieszkaniowe, energetyka, budownictwo drogowe i kolejowe i inne.

Kilkunastoletnia doświadczenia, w ramach którego zrealizowano w Z.I. GEOREM ponad 500 zadań związanych ze stosowaniem techniki wiertniczo-iniekccyjnej wykazał, że po udostępnieniu ośrodka gruntowo skalnego otworem wiertniczym przy pomocy odpowiednich narzędzi można głęboko ingerować w jego własności fizyczne. Powstanie całego szeregu specjalistycznych narzędzi i środków zdolnych wnikać w strukturę gruntów i skał pozwala na kształtowanie konstrukcji geoinżynierskich, stanowiących istotny czynnik postępu w budownictwie. Wykorzystanie w geoinżynierii wiedzy z kilku specjalności, takich jak: geologia, budownictwo, mechanika, hydraulika, materiałoznawstwo wymaga odpowiedniej ingerencji w programy nauczania na poziomie średnim i wyższym ludzi chcących rozwijać tę dziedzinę techniki.