KONRAD WANIK, *Konrad.Wanik@polsl.pl*
LIDIA WANIK, *Lidia.Wanik@polsl.pl*
Katedra Geotechniki, Wydział Budownictwa, Politechnika Śląska w Gliwicach

ZASTOSOWANIE INIEKCJI STRUMIENIOWEJ DO NAPRAWY I WZMOCNIENIA KONSTRUKCJI DROGI ZLOKALIZOWANEJ NA TERENIE WPŁYWÓW EKSPLOATACJI GÓRNICZEJ

APPLICATION OF JET GROUTING TECHNIQUE TO REPAIR AND STRENGTHEN THE ROAD STRUCTURE LOCATED AT THE UNDERGROUND MINING ACTIVITY AREA

Streszczenie W referacie przedstawiono analizę przyczyn występowania cyklicznych awarii w obrębie drogi zlokalizowanej na terenie występowania niekorzystnych zjawisk geologicznych. Opisano przyjęte rozwiązania mające na celu naprawę oraz wzmocnienie konstrukcji drogi. Określono zalety technologii iniekcji strumieniowej jet grouting zastosowanej dla wzmocnienia podłoża. Przeanalizowano wybrane aspekty prowadzania prac wiertniczo-iniekcyjnych na terenach występowania pustek i rozluźnień podłoża. W oparciu o obserwacje poczynione w trakcie użytkowania drogi zweryfikowano przyjęte rozwiązania.

Abstract The paper presents the analysis of recurring failures causes within the road located in the area of adverse geological phenomena. The solutions adopted to repair and strengthen the construction of the road are described. Advantages of jet grouting technology used for subsoil strengthening are specified. Selected aspects of drilling and injecting in the areas of cavities and loosened ground occurrence are analyzed. The solutions were verified based on the observations made during the road use.

1. Wprowadzenie

Techniki iniekcyjne znajdują szerokie zastosowanie przy wzmacnianiu i naprawach różnych konstrukcji. Istota iniekcji w połączeniu z szeroką gamą sprzętu pozwala ukierunkować działania w miejsca predysponowane, często niedostępne dla innych technologii.

Iniekcja strumieniowa jest techniką wiertniczo-iniekcyjną polegającą 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. Podczas procesu iniekcji dochodzi również do wypełnienia pustek występujących w podłożu gruntowym [2, 4].

W opisywanym przykładzie przedstawiono zastosowanie iniekcji strumieniowej do wzmocnienia i naprawy konstrukcji jezdni południowej w ciągu drogi wojewódzkiej nr 933 w Jastrzębiu-Zdroju. Opisywany odcinek drogi stanowi część aktualnie budowanej obwodnicy miasta, która tworzyć będzie połączenie Jastrzębia-Zdroju z Drogą Krajową nr 81, w kierunku wschodnim oraz z autostradą A1, w kierunku zachodnim.

Lokalizacja opisywanego odcinka drogi stwarza liczne zagrożenia dla jego właściwego funkcjonowania. Skomplikowana budowa geologiczna nakłada się na niekorzystne ukształtowanie terenu oraz wpływy prowadzonej eksploatacji górniczej. Zachodzące nieprzerwanie

na rozważanym terenie procesy powodują cykliczne powstawanie uszkodzeń. Wymusza to przyjmowanie niestandardowych metod zabezpieczeń oraz prowadzenie pomiarów i obserwacji pozwalających bezpiecznie użytkować obiekty oraz weryfikować pracę przyjmowanych rozwiązań.

2. Charakterystyka uszkodzeń

Teren, na którym zlokalizowany jest opisywany odcinek drogi określany jest jako predysponowany do powstania deformacji nieciągłych. Pierwsze uszkodzenia w obrębie jezdni zarejestrowano w 2004 r. stwierdzając wystąpienie trzech szczelin o szerokości 2 cm w warstwie ścieralnej. W roku 2005, w bezpośrednim sąsiedztwie drogi na powierzchni terenu ujawniło się pięć deformacji nieciągłych. Przyjęły one formę dyslokacji ze różnicowaniem poziomu terenu wynoszącym od 0,10÷0,40 m. Nieciągłości te zostały usunięte przez zasypanie i zniwelowanie [1].

W grudniu 2009 r. odnotowano powstanie zapadliska w rejonie jezdni oraz spękań i szczelin w nawierzchni asfaltowej. Uszkodzenia spowodowane były złożoną budową geologiczną przedmiotowego terenu, niekorzystnymi warunkami wodnymi, uszkodzeniem systemu odwodnienia oraz prowadzoną eksploatacją górniczą.

Głównym czynnikiem powodującym powstanie uszkodzeń były migrujące wody. Spowodowały one wymywanie cząstek gruntu z podłoża korpusu drogowego, co finalnie doprowadziło do powstania zapadliska.

Gromadzone i napływające w znacznych ilościach wody gruntowe i powierzchniowe znalazły połączenie hydrauliczne z rowem otwartym zgodnie z ogólnym spadkiem terenu i kierunkami spływu, przyczyniając się do wymywania najlżejszych cząstek gruntu. Osiadania i deformacje związane z prowadzoną eksploatacją górniczą stanowiły jeden z czynników aktywizujących przepływ wód. Wymywany przez wodę grunt osadził się w przepuście i rowach opaskowych, co doprowadziło do ich zamulenia.

Zaistniała sytuacja wymagała podjęcia działań naprawczych. Na podstawie szczegółowej analizy zebranych danych oraz uzupełniającego rozpoznania geotechnicznego opracowano ekspertyzę obejmującą rozwiązania projektowe [3].

Prace naprawcze oraz wzmacniające (rys. 1) prowadzono jesienią 2010 r. oraz wiosną 2011 r. Objęły one odcinek jezdni południowej o długości około 35,0 mb. Celem prac było wytworzenie możliwie jednorodnych warunków pod nasypem drogowym oraz wykonanie elementów wzmacniających. Działania te miały zabezpieczyć odcinek drogi w strefie powstających uszkodzeń cyklicznych na wypadek ponownego wystąpienia czynników aktywizujących.

W grudniu 2011 r. w rejonie wylotu przepustu przy krawędzi pobocza jezdni południowej od strony rowu doszło do ujawnienia się na powierzchni terenu pustki powstałej w podłożu gruntowym. Ubytek mas ziemnych objął również strefę podłoża pod wykonaną konstrukcją materaca geosyntetycznego opartego na kolumnach iniekcyjnych. Powstała sytuacja nie spowodowała uszkodzenia nawierzchni jezdni. Pustkę zlikwidowano z zastosowaniem technik wiertniczo-iniekcyjnych bez konieczności zamykania drogi i przy utrzymaniu jej normalnego funkcjonowania.

Rys. 1. Schemat wykonanych prac naprawczych i wzmacniających [3]

3. Budowa geologiczna

Budowa geologiczną na przedmiotowym obszarze charakteryzuje się znacznym skomplikowaniem. Składają się na nie niekorzystne warunki geologiczne, występowanie gruntów zróżnicowanych pod względem wytrzymałościowym oraz złożone warunki wodne panujące w podłożu.

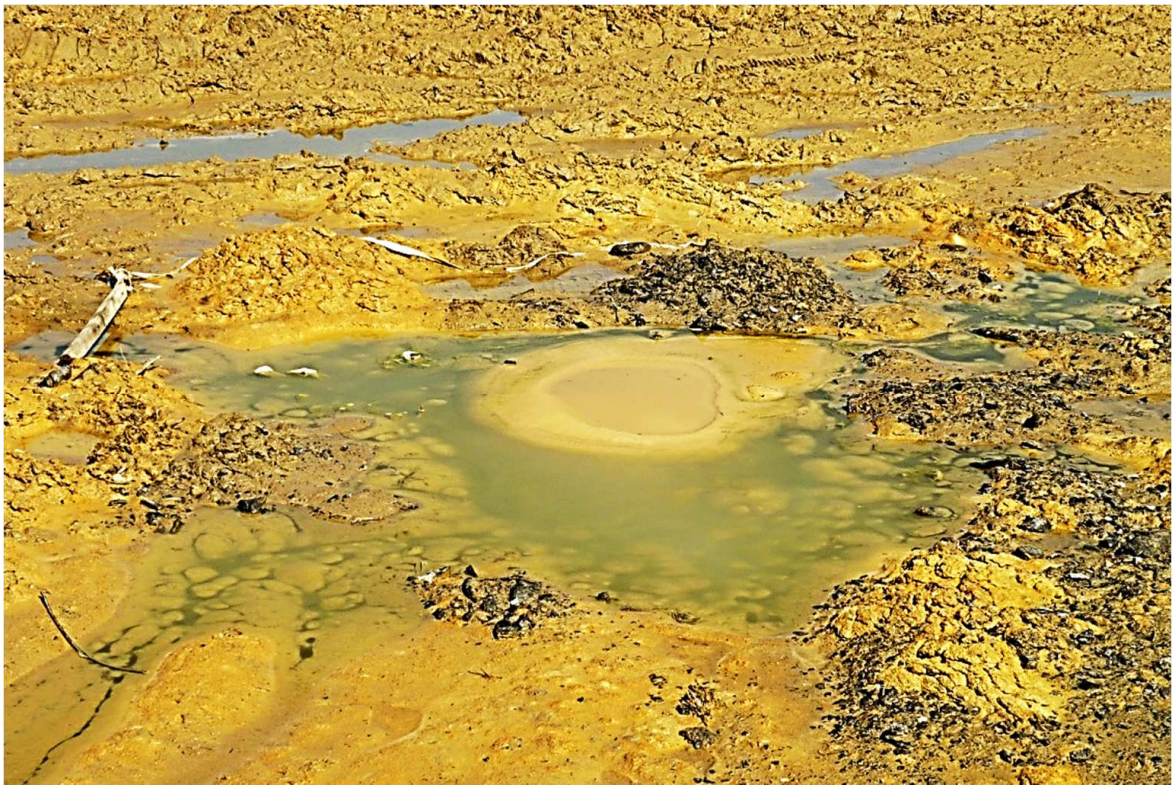
W bezpośrednim sąsiedztwie powstałych uszkodzeń strefę przypowierzchniową stanowią zagęszczone grunty nasypowe zbudowane z odpadów powęglowych w postaci rozdrobnionego łupka ilastego. Pod warstwą nasypową, stanowiącą korpus drogowy o zróżnicowanej miąższości wynoszącej od 1,4÷2,0 m, występują pyły lessopodobne. Cechują się one znaczną podatnością na działanie wody łatwo ulegają uplastycznieniu i rozmyciu. Poniżej na głębokości od 4,20÷5,50 m p.p.t. występują upłynnione piaski z pyłami, w obrębie których występują zjawiska kurzawkowe.

W otworze badawczym wykonanym w miejscu ujawnionej pustki woda gruntowa o zwierciadle swobodnym występowała na głębokości około 1,40 m poniżej konstrukcji jezdni. Jest ona związana z lokalnie występującą warstwą piasków grubych i średnich o nieznacznej miąższości wynoszącej około 0,3 m.

Opisana powyżej charakterystyka i poziom zwierciadła wody gruntowej w bezpośrednim sąsiedztwie pustki wskazuje na przerwanie warstwy izolującej nadkładu gruntów spoistych trudno przepuszczalnych występujących na pozostałym obszarze. Uwzględniając znaczne różnice poziomów nawierconego i ustabilizowanego zwierciadła wody gruntowej w pozostałych otworach badawczych, sytuacja taka jest skrajnie niekorzystna.

Miejsce powstałego uszkodzenia znajduje się na drodze przepływu wód gruntowych występujących pod znacznym ciśnieniem i izolowanych przez warstwy gruntów spoistych. Sytuacja ta ma miejsce zarówno na kierunku północno-południowym, jak również na kierunku zachodnio-wschodnim.

W przypadku naruszenia ciągłości warstw izolujących, do jakiego niewątpliwie doszło na przedmiotowym obszarze, wody gruntowe pod znacznym ciśnieniem znajdują ujście w wyżej położonych warstwach podłoża lub nawet na powierzchni terenu. Sytuację taką zaobserwowano po stronie jezdni południowej podczas wizji lokalnych w 2010 r. W styczniu 2012 r. po stronie jezdni północnej na powierzchni terenu pojawiały się źródełka wody o znacznym dopływie tworzące lokalne rozlewisko (rys. 2). Pojawieniu się wypływów towarzyszył czasowy brak odwodnienia drogowego związany z prowadzonymi w tym okresie pracami budowlanymi.



Rys. 2. Wypływy wody wynoszącej materiał gruntowy podłoża na skraju jezdni północnej

W okresach o podwyższonym poziomie wód gruntowych, przy przerwaniu warstw izolujących, wypływająca na powierzchnię terenu woda wynosi drobne cząstki gruntu tworząc lokalne pustki wypełnione wodą bądź upłynnionym i znacznie rozluźnionym gruntem. Sytuacja taka stwarza zagrożenie dla stabilności podłoża drogi zarówno w okresie wypływu wody (wynoszenie gruntu), jak również w okresach o obniżonym poziomie wód, gdy może dochodzić do osiadań na skutek opadania upłynnionego gruntu w miejscach przerwania ciągłości warstwy izolującej.

4. Niekorzystne zjawiska geologiczne

Niekorzystne zjawiska geologiczne są związane z bliskością dużych dyslokacji tektonicznych o charakterze regionalnym oraz prowadzoną eksploatacją górniczą.

W rejonie powstałych uszkodzeń występują nieciągłe zaburzenia tektoniczne, do których należy między innymi uskok pniówkowski o wysokości zrzutu od 25÷35 m. Dużym dyslokacjom towarzyszą na ogół liczne drobniejsze uskoki i spękania górotworu o kierunkach zbliżonych do głównych uskoków. Wzdłuż dużych uskoków tworzą się w ten sposób szerokie strefy górotworu o zmniejszonej wytrzymałości skał [1].

Eksploatacja górnicza w rejonie powstałych uszkodzeń prowadzona jest od 1975 r. Obecnie na przedmiotowym terenie oddziaływają wpływy eksploatacji górniczej prowadzonej przez pobliskie kopalnie KWK „Borynia – Zofiówka", dawniej Ruch „Zofiówka" i KWK „Pniówek", należące do JSW S.A. w Jastrzębiu-Zdroju.

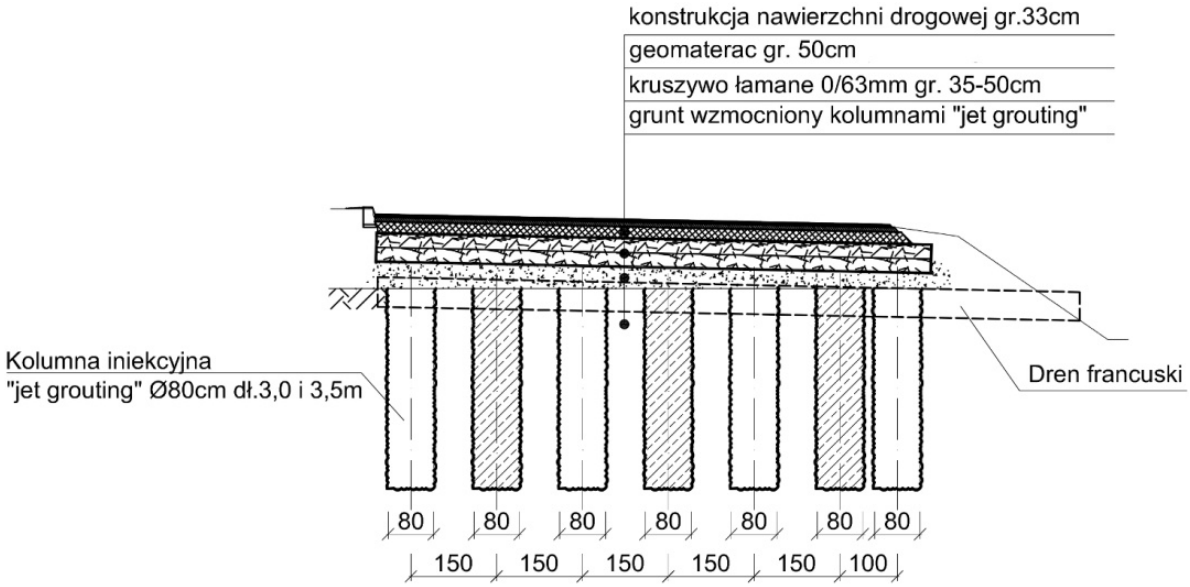
Maksymalne obniżenia terenu związane z eksploatacją prowadzoną do 2012 r. wynoszą do 15,0 m i obejmują między innymi miejsce ujawnienia się pustki. Obszar ten znajduje się na granicy stref kategorii IV i V. Przewidywane dalsze obniżenia nie powinny przekroczyć 2,0 m, a maksymalne odkształcenia poziome odpowiadać II kategorii [1].

Na opisywanym odcinku droga przebiega w obszarze określanym jako zalewiskowy. Mimo występowania wysokiego poziomu wód gruntowych, prawidłowa praca pompowni skutecznie zapobiega powstaniu zalewiska poeksploatacyjnego.

5. Wykonane prace naprawczo-wzmacniające

Wykonane w oparciu o opracowaną dokumentację [3] prace miały na celu zabezpieczenie drogi przed dalszym degradującym wpływem zjawisk zachodzących na przedmiotowym terenie. Prace rozpoczęto jesienią 2010 r. z przerwą w okresie zimowym, po czym wznowiono je na wiosnę 2011 r. W 2010 r. wykonano zasadniczą część robót wzmacniających i odwodnieniowych pozostawiając do wykonania w 2011 r. docelowe warstwy konstrukcji jezdni.

Na wykonaną konstrukcję składały się kolumny iniekcyjne formowane w technologii iniekcji strumieniowej [2] wraz z materacem geosyntetycznym oraz drenażem typu francuskiego (rys. 3). Uzupełniająco wykonano prace towarzyszące obejmujące inwentaryzację i przekładkę uzbrojenia podziemnego oraz uporządkowanie i częściową odbudowę systemu odwodnienia. Po zakończeniu prac naprawczych i wzmacniających odtworzono konstrukcję jezdni oraz pozostałe elementy pasa drogowego.

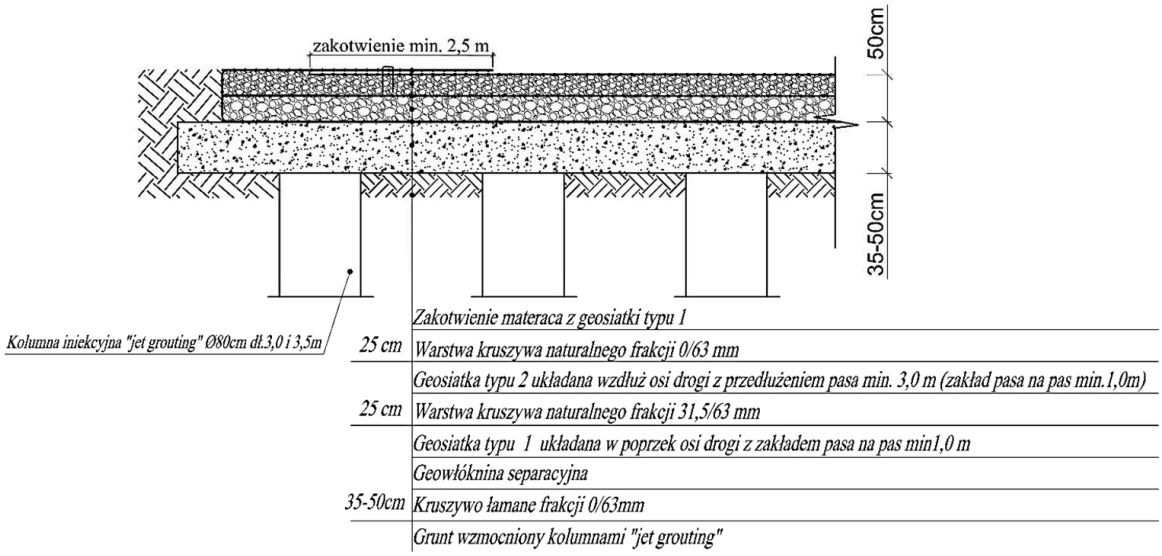


Rys. 3. Konstrukcja wzmocnienia jezdni południowej wykonana na opisywanym odcinku [3]

Zasadnicze prace wzmacniające wykonano w obrębie jezdni południowej na długości 35,0 m. Obejmowały one wykonanie 102 szt. kolumn iniekcyjnych średnicy 0,8 m i długości 3,0 oraz 3,5 m. Przyjęte długości kolumn wynikały ze zróżnicowania budowy geologicznej podłoża jezdni. Kolumny rozmieszczono w siatce 2,5×1,5 m z przesunięciem w rzędach i dogęszczeniem przy istniejącym przepuście oraz na skraju jezdni (rys. 1).

Prace wiertniczo-iniekcyjne związane z formowaniem kolumn iniekcyjnych w pierwszej kolejności zeskaliły rozluźnione warstwy podłoża gruntowego oraz wypełniły pustki w nim występujące. Jako iniekt zastosowano zaczyn cementowy wykonany na bazie cementu portlandzkiego, charakteryzujący się gęstością od 1,50÷1,70 g/cm^3. Uzyskanie założonego celu potwierdzały bardzo duże zużycia iniektu, obserwowane podczas prac. W początkowej fazie robót znacznie przekraczały one ilości wymagane do uformowania kolumn o zaprojektowanej średnicy.

Kolumny iniekcyjne wytworzyły stabilne posadowienie dla wyżej położonych warstw konstrukcyjnych jezdni. Przekazanie obciążeń na kolumny uzyskano poprzez zastosowanie materaca geosyntetycznego, wykonanego na całym odcinku objętym pracami.



Rys. 4. Konstrukcja wykonanego geomateraca [3]

Geomaterac (rys. 4) o grubości 0,5 m wykonano w postaci materaca pełnego składającego się z dwóch typów siatek wypełnionych kruszywem naturalnym frakcji 31,5/63 mm oraz 0/63 mm.

Siatki zewnętrzne ułożone zostały w poprzek osi drogi oraz uzupełniająco wzdłuż osi drogi, w połowie wysokości materaca. Pod siatkami zewnętrznymi, bezpośrednio na przygotowanym podłożu (pod materacem) ułożono geowłókninę separacyjną, celem uniknięcia ewentualnych uszkodzeń właściwego elementu nośnego, jakim są siatki. W konstrukcji geomateraca założono wykonanie warstwy podkładowej pomiędzy głowicami kolumn oraz geomateracem o grubości około 0,5 m z kruszywa łamanego 0/63 mm.

W celu odwodnienia wgłębnego korpusu drogi na długości 35,0 m wykonano pięć drenów francuskich w rozstawie co około 5,0 m. Ujęcie wód z drenażu przewidziano do istniejącego rowu otwartego.

Ze względu na wpływy eksploatacji górniczej dla wszystkich materiałów geosyntetycznych stosowano zakładki o szerokości minimalnej wynoszącej 1,0 m.

6. Analiza pracy wykonanego zabezpieczenia

Obserwacje poczynione w trakcie użytkowania drogi, jak również w momencie ujawniania się wtórnego ubytku mas ziemnych, wskazują, iż wykonana konstrukcja zapewniła właściwą pracę obiektu. Pomimo powstania pustej przestrzeni pod konstrukcją geomateraca nie doszło

do jego przerwania, co potwierdza właściwą wytrzymałość zastosowanych materiałów i słuszność przyjętego rozstawu kolumn.

Dzięki właściwemu zaklinowaniu ziaren kruszywa wypełniającego, materac nie uległ samoczynnemu opróżnieniu na skutek przemieszczenia się materiału wypełniającego w kierunku pustej przestrzeni.

Brak deformacji powierzchni jezdni oraz pęknięć, które mogłyby im towarzyszyć, świadczy o stabilnej pracy układu podłoże gruntowe – kolumny iniekcyjne – geomaterac. Wykonane kolumny iniekcyjne pomimo powstałych rozluźnień posiadają stabilne oparcie, przez co są zdolne do przejmowania obciążeń przekazywanych z konstrukcji jezdni poprzez geomaterac.

Z powyższego wnioskować można, że powstała pustka miała charakter lokalny i nie doprowadziła do utraty nośności wykonanych kolumn posiadających oparcie w głębiej zalegających warstwach podłoża gruntowego.

Wykonana geoinżynieryjna konstrukcja wzmacniająca pomimo lokalnego ubytku gruntu spełniła swoją funkcję. Nie dopuściła do powstania uszkodzenia konstrukcji jezdni i pozwala na jej dalsze użytkowanie przy obustronnym ruchu i znacznie intensywniejszych obciążeniach (rys. 5).

Rys. 5. Stan jezdni południowej w miejscu wykonanego wzmocnienia w kwietniu 2012 r.

Aktualnie prowadzone na opisywanym odcinku drogi prace budowlane związane z przebudową jezdni północnej wraz z systemem odwodnienia przyczyniają się do zmiany warunków gruntowo-wodnych. Wykonanie wysokich nasypów może spowodować wytworzenie strefy utrudniającej przepływ wody gruntowej, co w konsekwencji doprowadzi do lokalnego podniesienia się jej poziomu. Przy braku sprawnie działającego systemu odwodnienia przyczyni się to do nasilenia zjawisk sufozyjnych. Uwzględniając powyższe niezmiernie ważne jest utrzymywanie sprawnego sytemu odwodnienia oraz dalsze prowadzenie pomiarów i obserwacji.

Uwzględniając zakres wykonanych dotychczas prac wiertniczo-iniekcyjnych oraz obserwowane zużycia materiałów iniekcyjnych z dużą pewnością stwierdzić można, że górotwór w dalszym ciągu podlega deformacjom pochodzenia górniczego, co powoduje tworzenie się nowych szczelin. Powstałe nieciągłości powodują aktywację procesów sufozyjnych, którym towarzyszy przemieszczanie się cząsteczek gruntowych. Dowodzą tego ubytki mas powstałe po wykonaniu prac zabezpieczających oraz wykonane badania geofizyczne. Na chwilę obecną pomimo wykonanych prac naprawczych nie da się wykluczyć dalszego tworzenia się szczelin, co doprowadzić może do powstawania pustek.

7. Podsumowanie

Występowanie niekorzystnych zjawisk geologicznych, skomplikowane warunki gruntowo-wodne oraz niekorzystne ukształtowanie terenu wymusiły w opisywanym przypadku przyjęcie specjalistycznych rozwiązań. Na etapie projektowym wymagały przeprowadzenia szczegółowych badań oraz analiz wykraczających poza powszechnie przyjmowane ramy. Podczas realizacji prac niezmiernie ważne były pomiary i obserwacje pozwalające na bieżąco korygować przyjęte założenia. Dotyczyło to między innymi prac iniekcyjnych. Ilości zużytego iniektu znacznie wykraczały ponad wymagane dla uformowania kolumn o założonej geometrii.

Przyjęta technologia wykonania prac zabezpieczających pozwoliła na wypełnienie powstałych pustek przy jednoczesnym ukierunkowaniu iniektu w miejsca występowania ubytków oraz rozluźnień [4]. Prace zrealizowano przy braku zagrożenia dla istniejących konstrukcji.

Uwzględniając powyższe można stwierdzić, że zarówno technologię jak i zakres robót naprawczych oraz wzmacniających dobrano właściwie. Wykonane prace pozwoliły na dalsze bezpieczne użytkowanie drogi na analizowanym obszarze.

Literatura

1. Analiza geotechniczna określająca przyczyny powstałego ubytku masy ziemnej pod konstrukcją jezdni w ciągu DW nr 933 wraz z określeniem wytycznych, co do dalszych działań naprawczych. PPW „Midach” Sp. z o.o., Katowice, kwiecień 2012 r.
2. Bzówka J: Współpraca kolumn wykonywanych techniką iniekcji strumieniowej z podłożem gruntowym. Monografia. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2009.
3. Ekspertyza budowlana w celu ustalenia przyczyn i sposobu zabezpieczenia osuwiska od strony jezdni południowej w ciągu DW nr 933 w Jastrzębiu – Bziu. PPW „Midach” Sp. z o.o., kwiecień 2010 r.
4. Wanik K.: Wybrane uwarunkowania projektowe i technologiczne stosowania iniekcji strumieniowej. Inżynieria i Budownictwo 2/2010, s. 68-70.

Współautorka artykułu – Lidia Wanik otrzymała stypendium w ramach projektu DoktoRIS – Program stypendialny na rzecz innowacyjnego Śląska współfinansowanego przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego.