

Innowacyjna metoda wzmocnienia gruntu za przyczółkiem przy użyciu iniekcji geopolimerowych



dr inż.
ANNA BANAŚ
Politechnika Gdańska
Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska
ORCID: 0000-0003-4760-4592



dr hab. inż. prof. nadzw. PG
LECH BAŁACHOWSKI
Politechnika Gdańska
Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska
Katedra Geotechniki, Geologii
i Budownictwa Morskiego
ORCID: 0000-0002-3240-8313



mgr inż.
ANDRZEJ KURYŁOWICZ
Andrzej Kuryłowicz Project
Warszawskie Przedsiębiorstwo Mostowe Mosty
Spółka z ograniczoną odpowiedzialnością
Budownictwo Spółka Komandytowa
ORCID: 0000-0002-8918-1906



mgr
AGNIESZKA POTERAJ-OLEKSIK
Cover/Geobear Polska
ORCID: 0000-0002-0828-1367

W niniejszej pracy przedstawiono nowatorską koncepcję remontu wiaduktu w ciągu drogi krajowej nr 12 nad torami PKP w miejscowości Podbór. Pierwszy raz w Polsce wykonano wzmocnienie gruntu za przyczółkiem wiaduktu przy użyciu iniekcji geopolimerowych, co w znaczący sposób skróciło czas ograniczenia w ruchu kołowym, a tym samym także samego remontu.

W obecnych czasach szybki rozwój infrastruktury i nowoczesnych technologii niejednokrotnie narzuca projektantom oraz wykonawcom takie rozwiązania, aby prowadzone roboty budowlane były jak najmniej uciążliwe dla uczestników ruchu i nie ingerowały w system komunikacyjny. Dotyczy to zarówno budowy nowych obiektów, jak i remontu już istniejących.

Ważnym aspektem w procesie projektowania i wykonywania obiektu mostowego jest zapewnienie bezpieczeństwa samej konstrukcji nośnej, jak również odpowiednie zaprojektowanie połączenia obiektu mostowego z nasypem. Jedną z głównych przyczyn awarii występujących w tej strefie przejściowej są nadmierne osiadania nasypu [1, 2], które jednocześnie często prowadzą do uszkodzeń dyatacji. Powszechnie stosowane metody wmac-

niania nasypów bazują najczęściej na wymianie gruntu, konsolidacji podłoża, stabilizacji mechanicznej, metodach wibracyjnych i dynamicznych, na zbrojeniu wgłębnym czy zastosowaniu geosyntetyków [3, 4]. Stosowanie opisanych metod w przypadku remontu wymaga zwykle rozbiórki nawierzchni i prowadzenia długotrwałych prac ziemnych, co nie tylko znacznie zwiększa koszty samych prac, ale również utrudnia eksploatację obiektu podczas prowadzonych robót.

Iniekcja materiałów geopolimerowych stanowi nieuciążliwą alternatywę dla tradycyjnego podbudowywania i palowania. Wdrożenie rozwiązania można zaliczyć do kategorii działań proaktywnych (poprawa nośności gruntów w celu umożliwienia zwiększenia obciążeń lub przeciwdziałanie osiadaniam w długiej perspektywie czasowej) albo reak-

tywnych (usuwanie zaistniałych uszkodzeń) [5]. Iniekcje geopolimerowe z powodzeniem stosowane są do podniesienia oraz stabilizowania płyt drogowych i lotniskowych. Z uwagi na to, że geopolimery wzmocniają grunt oraz poprawiają jego nośność, wykorzystywane są również do podparcia konstrukcji budowlanych. Technologia ta jest szczególnie przydatna w miejscach trudno dostępnych lub tam, gdzie istnieją trudności z wprowadzeniem ciężkiego sprzętu [5, 6].

Opis konstrukcji wiaduktu

Wiadukt rozpatrywany w niniejszym artykule zlokalizowany jest na drodze krajowej nr 12 Łęknica – Radom – Dorohusk w kilometrze 486+725 w miejscowości Podbór (fot. 1.). Przeprowadza on ruch nad czynną linią kolejową nr 22 Tomaszów – Radom. Obiekt został wybudowany w 1951 roku. Ze względu na potrzebę elektryfikacji linii kolejowej nr 22 w 1975 roku wymagał on przebudowy, która polegała na podniesieniu konstrukcji o około 110 cm. Wieloletnie użytkowanie obiektu oraz wzrastający ruch na DK12 spowodowały w 2003 roku potrzebę przeprowadzenia remontu zwiększającego bezpieczeństwo ruchu i zapewniającego trwałość obiektu na kolejne 20 lat [7].

Konstrukcja nośna wiaduktu w przekroju poprzecznym stanowi cztery dźwigary żelbetowe o szerokości 60 cm i zmiennej wyso-



Fot. 1. Widok ogólny (Geobear Sp. z o.o.)

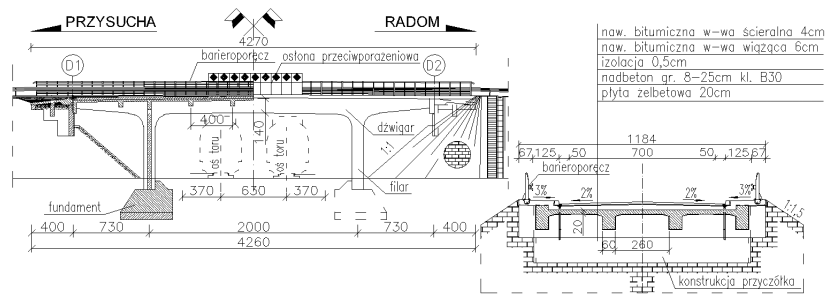
kości (rys. 1b.). Rozstaw osiowy dźwigarów wynosi 340 cm. Schemat statyczny obiektu to monolityczna rama o rozpiętości przęsła głównego wynoszącej 20 m z dwoma wspornikami o wysięgu 7,3 m każdy. Całkowita długość konstrukcji liczy 34,6 m. Podpory pośrednie stanowią słupy rami żelbetowej o przekroju prostokąta o wymiarach 60 x 100 cm połączone ścianą żelbetową. Podpory skrajne obiektu to skrzynie przyczółkowe (kaszycy) zatopione w nasypie. Obiekt posadowiony jest na stopach fundamentowych znajdujących się pod słupami rami żelbetowej. Położenie obiektu oraz wysokość skrajni kolejowej wymusiły budowę wysokich nasypów na dojeździe do obiektu [8].

Stan techniczny obiektu

Konstrukcja nośna obiektu jest w dobrym stanie technicznym. Problemem, jaki pojawił się podczas jego eksploatacji, było powstanie progów na dylatacjach modułowych. Przemieszczenie profili względem siebie dochodziło do 30 mm (fot. 2.). Różnica przemieszczeń na dylatacji została spowodowana osiadaniami skrzyń przyczółkowych wraz ze skrzydłami i belkami gzymsowymi. Przemieszczenie wywołało uszkodzenie wkładek elastomerowych, a w konsekwencji nieszczelność dylatacji. Prowadziło to do przenikania wody do konstrukcji nośnej, a tym samym przyczyniało się do postępującej degradacji obiektu oraz do korozji zbrojenia. Osiadanie nasypu na dojazdach prawdopodobnie spowodowane było niedostatecznym zagęszczeniem gruntu i wyplukiwaniem drobnych frakcji przez wody opadowe i roztopowe [8].

Technologia iniekcji geopolimerowych

Iniekcje geopolimerowe pozwalają poprawić mechaniczne i hydrauliczne właściwości gruntów przez zwiększenie nośności podłoża, zmniejszenie jego odkształcalności oraz zmniejszenie współczynnika filtracji. Iniektowany materiał zwiększa swoją objętość w gruncie, wypełniając, a także uszczelniając puste przestrzenie. Zwiększanie objętości iniektu w gruncie powoduje przemieszczenia poziome oraz pionowe w otaczającym materiale, co zwiększa jego zagęszczenie. Dodatkowo następuje przyrost składowej poziomej naprężenia w gruncie. Gdy osiągnie ona wartość składowej pionowej naprężenia na danej głębokości, pojawiają się dodatkowe przemieszczenia pionowe, które mogą powodować podnoszenie budowli [9]. Technologia swoje zastosowanie znajduje w czterech podstawowych obszarach budownictwa, a także inżynierii komunikacyjnej. Są to roboty polegające na: stabilizacji i poziomowaniu oraz wzmacnianiu i zagęszczaniu gruntu. Metoda stosowana jest ponadto do wzmacnienia fundamentów za pomocą kolumn geopolimerowych, jak również jest wykorzystywana w celu



Rys. 1. a) Przekrój podłużny i widok z boku obiektu, b) Przekrój poprzeczny obiektu [8]



Fot. 2. Progi na dylatacji modułowej spowodowane osiadaniami nasypu (Geobear Sp. z o.o.)

wypełnienia pustek i kawern, a także uszczelnienia podłoża oraz podbudowy (fot. 3.).

Iniekcję można podzielić na dwie podstawowe kategorie w zależności od miejsca wzmacnienia: iniekcję przypowierzchniową oraz konsolidację wgłębną wskutek iniekcji rozprężających [10]. Pierwsza polega na iniektowaniu materiału pomiędzy konstrukcją oraz grunt i ma na celu przywrócenie pełnej styczności fundamentu z gruntem. Konsolidacja wgłębną polega na wzmacnieniu

oraz zwiększeniu nośności gruntu. Jest wykonywana pod warstwami konstrukcji, bezpośrednio w podłożu gruntowym.

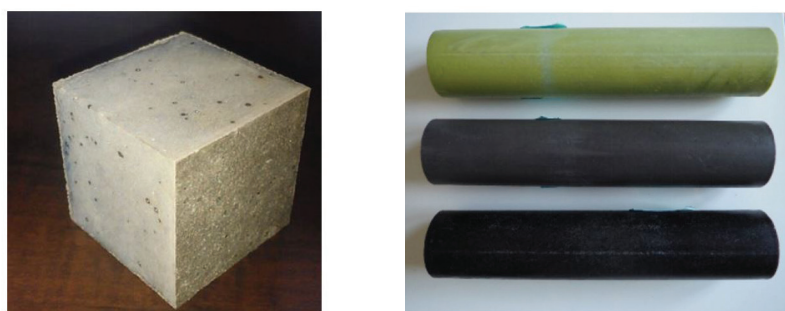
Materiały geopolimerowe to wysoko ekspansywne żywice o dużym przyroście wytrzymałości w stosunkowo krótkim czasie (fot. 4.) [11]. Charakterystyczną cechą materiałów geopolimerowych jest możliwość ich zastosowania w szerokim przedziale temperatur. Prace polegające na wzmacnieniu podłoża lub podbudowy konstrukcji można wyko-

Tablica 1. Podstawowe parametry wytrzymałościowe geopolimerów, wartości uśrednione

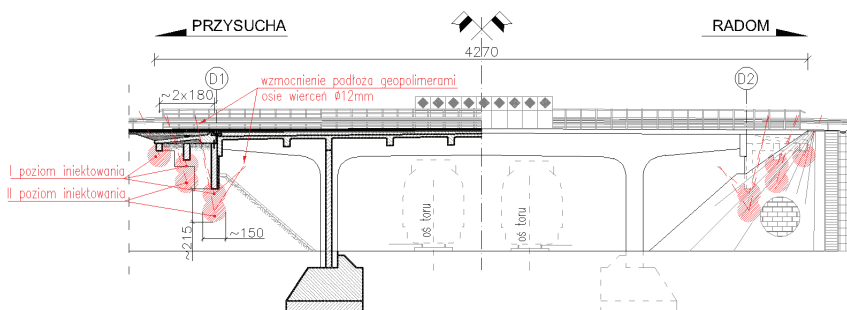
Gęstość objętościowa po ekspansji	50 kg/m ³ – 500 kg/m ³
Wytrzymałość na ściskanie	0,5 MPa – 15 MPa (50 MPa)
Wytrzymałość na rozciąganie	0,5 MPa – 8 MPa
Wytrzymałość na zginanie	0,5 MPa – 15 MPa
Ciśnienie pęcznienia	10,000 kPa
Moduł sprężystości	10 MPa – 80 MPa



Fot. 3. Zastosowanie iniekcji geopolimerowych (Geobear Sp. z o.o.)



Fot. 4. a) Geopolimer, b) Belki geopolimerowe (Geobear Sp. z o.o.)



Rys. 2. Schemat rozmieszczenia wzmocnienia podłoża iniekcją geopolimerową – w przekroju podłużnym [8]

nywać w temperaturach od ok. -15°C do ok. 60°C, co w Polsce umożliwia prowadzenie prac praktycznie przez cały rok [10]. Bardzo ważną cechą z punktu widzenia oddziaływania substancji, jednakowo na całym obszarze wzmocnienia, jest zjawisko pęcznienia. Dodatkowo elastyczność materiału pozwala na łatwe dopasowanie i szczelne wypełnienie wzmocnianego podłoża. W tabeli 1. zostały przedstawione podstawowe właściwości wytrzymałościowe materiału geopolimerowego, przy czym należy podkreślić bardzo istotną zależność, jaka występuje pomiędzy wytrzymałością na ściskanie a gęstością materiału.

Wytrzymałość materiału geopolimerowego na ściskanie jest zależna od gęstości mieszanki, dlatego też ważny jest dobór odpowiedniej jej gęstości i składu. Istotną cechą materiałów geopolimerowych są dobre właściwości hydroizolacyjne, co potwierdzają badania przewodności hydraulicznej przeprowadzane na czystych próbkach żywicy geopolimerowych, jak również na próbkach gruntu po wykonanym zabiegu iniekcji.

W trakcie wszystkich prac iniekcyjnych wzmocniania warstwa w obrębie każdego otworu iniekcyjnego jest monitorowana za pomocą laserowego sprzętu niwelacyjne-

go z punktami pomiarowymi umieszczonymi w pobliżu. Podczas prac stabilizacyjnych każdy punkt iniekcyjny poddawany jest zabiegowi do momentu, aż pożądany ruch zostanie zarejestrowany na najbliższym czujniku. W projektach stabilizacyjnych jest to wykazanie minimalnego ruchu pionowego.

Geopolimery Geobear nie wywierają negatywnego wpływu na środowisko, a ich stosowanie jest bezpieczne zarówno dla gruntów i wód gruntowych, jak również dla osób pracujących z tym materiałem na co dzień. Bardzo istotne jest, że technologia iniekcji geopolimerowych w porównaniu z konwencjonalnymi rozwiązaniami generuje śladowe ilości dwutlenku węgla. Nawierty wykonywane są z użyciem wiertarek elektrycznych o małym poborze mocy. Ponadto realizacja projektów odbywa się szybko – od 2 do 10 razy szybciej niż w przypadku mikropalowania. Również do przechowywania żywicy nie potrzeba dużej liczby zbiorników. Materiał jest składowany i zabezpieczony w specjalnych zbiornikach IBC wielokrotnego użytku.

Skład żywicy dobierany jest zgodnie z warunkami miejsca użycia przy uwzględnieniu szeregu czynników, takich jak: rodzaj i nośność gruntu oraz jego właściwości, wielkość obciążenia, szybkość procesu wiązania oraz zakładane parametry konsolidacji. Podstawą do zaprojektowania iniekcji jest wykonanie sondaży podłoża gruntowego, określenie podstawowych parametrów gruntu, wielkości osiadań oraz stopnia konsolidacji podłoża. Punkty iniekcyjne (otwory) dobierane są według projektu wzmocnienia, przy czym ich rozstaw wynosi standardowo 1,5 m.

Technologia wzmocnienia przyczółka

Wzmocnienie gruntu pod przyczółkami wiaduktu wykonano od 3 do 7.06.2019 r. Rozmieszczenie wykonanych iniekcji (rys. 2.) wykonano zgodnie z założeniami Projektu Remontu [8]. Sondowania realizowane przed naprawą wskazywały, że stopień zagęszczenia ID gruntów tworzących nasyp w sąsiedztwie, na obszarze wykonywanych prac, odpowiadał gruntom luźnym, wynosił od około 0,2 do 0,35. Grunt pod przyczółkami został wzmocniony jednym lub dwoma poziomami iniekcji polimerowej w 120 punktach iniekcyjnych. Łącznie zużyto 2016 kg iniektu. Do wykonania prac wykorzystano polimery URETEK HARDENER 10 oraz URETEK RESIN 2409.

Prace budowlane wykonywane były zarówno z poziomu jezdni, jak i w strefie przyczółka pod obiektem (rys. 3.). Początkowo prace prowadzone były ze stanowisk roboczych zlokalizowanych pod ramą obiektu. Wykonano nawierty przez konstrukcję żelbetową przyczółka, a następnie wprowadzono stalowe rurki iniekcyjne o średnicy 12 mm. Rozpoczęto iniektowanie gruntu mieszanką ekspansywnych geopolimerów, których miesza-

nie w odpowiedniej temperaturze i ilości odbywa się w pojeździe technologicznym Geobar. Wprowadzony iniekt zaczyna pęcznieć od razu po wprowadzeniu w nasyp, wypełniając pustki gruntowe. Równocześnie ekspansja materiału powoduje dogęszczenie ziaren podłoża oraz zwiększenie naprężeń w całym ośrodku gruntowym. W trakcie prowadzenia iniekcji z tego stanowiska zauważono przemieszczenia poziome wzmocnianego nasypu. Ze względu na geometryczny kształt nasypu, a zwłaszcza strome nachylenie jego skarp, w trakcie pęcznienia materiału nie udało się uzyskać na tyle dużych sił pionowych, żeby spowodować uniesienie się dylatacji. Przemieszczenia poziome pojawiły się, zanim wystąpiły siły pionowe zdolne unieść żelbetową konstrukcję. Następnie przystąpiono do wykonania nawierzeń przez nawierzchnię drogową. Analogicznie do wykonanej wcześniej iniekcji, wprowadzono rurki iniekcyjne i rozpoczęto wprowadzanie iniektu geopolimerowego. Cały proces kontrolowany był w czasie rzeczywistym za pomocą narzędzi laserowych, z dokładnością wynoszącą 0,5 mm. Po wykonaniu zadania sprawdzono stopień zagęszczenia gruntu, a wyniki przedstawiono w tabelach pomiarowych. Pomiar geodezyjny potwierdził uniesienie dylatacji od 0,5 mm do 1,5 mm. Wartość, która by wykluczyła potrzebę wymiany dylatacji, to około 30 mm. Osiągnięto wzmocnienie nasypu drogowego przy częściowym zamknięciu drogi w czasie 4 dni roboczych, bez konieczności rozbiórki, ponownego układania oraz zagęszczania całego nasypu. Po wykonaniu wzmocnienia została rozebrana nawierzchnia asfaltowa i wykuta dylatacja. Wyrównano rzędne wysokościowe poprzez ułożenie nowej warstwy masy asfaltowej oraz montaż dylatacji na rzędnej docelowej.

Wyniki badań in situ

Podczas prac iniekcyjnych (rys. 3. i 4.) prowadzono ciągły monitoring geodezyjny skarp i dylatacji na wiadukcie. Zaobserwowane uniesienie dylatacji mieści się w przedziale 0,5 mm – 1,5 mm, zaś ruch skarp w zakresie 1,0–32,0 mm.

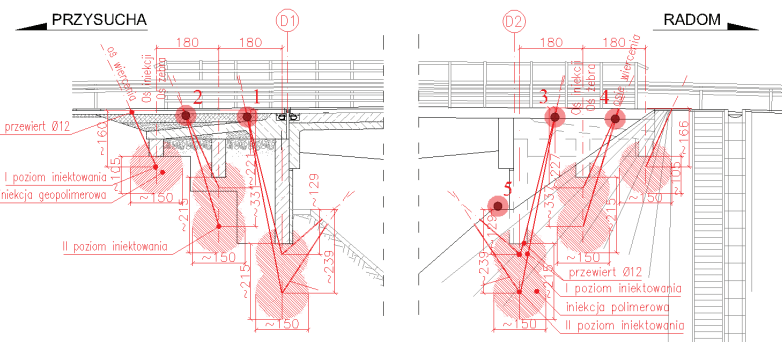
Po wykonaniu prac iniekcyjnych wykonano porównawcze badanie lekką sondą dynamiczną DPL, które potwierdza wzmocnienie gruntu w strefie iniekcji. Wyniki badań sondą DPL przed i po przedstawiono na rysunku 3.

Podsumowanie

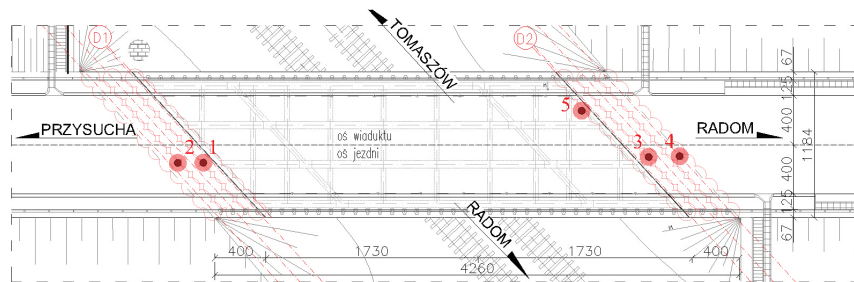
Wzmocnienie nasypu z zastosowaniem iniekcji geopolimerowych bezpośrednio pod żebrami płyty przejściowej w znaczący sposób skróciło czas ograniczeń w ruchu kołowym, a tym samym wykonania samej inwestycji. W standardowych przypadkach zastosowanie tej technologii pozwala na przyspieszenie prac nawet pięciokrotnie, z uwagi na bardzo szybki czas wiązania geopolimerów, które w ciągu 30–60 sekund uzyskują 95% swojej wytrzymałości. Roboty mo-



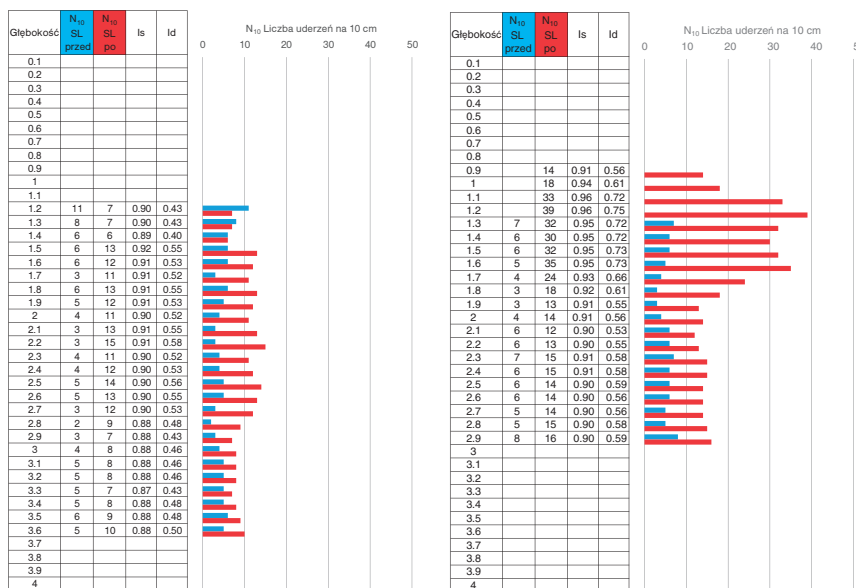
Fot. 5. Wzmocnienie gruntu pod przyczółkami wiaduktu drogowego na drodze krajowej nr 12 przez iniekcje geopolimerowe (Geobear Sp. z o.o.)



Rys. 3. Rozmieszczenie przeprowadzonych iniekcji geopolimerowych na przyczółku wraz z rozmieszczeniem punktów sondowania DPL w przekroju podłużnym [13]



Rys. 4. Rozmieszczenie punktów sondowania DPL w widoku z góry [13]



Rys. 5. Wyniki badań sondą DPL przed i po iniekcji dla punktów 1 i 4 [13] (zamieszczono wartości wskaźnika zagęszczenia I_s oraz stopnia zagęszczenia I_D po wykonaniu iniekcji)

gły być zatem wykonywane w sposób jak najmniej uciążliwy dla uczestników ruchu i najmniej ingerowały w system komunikacyjny. W standardowym podejściu, z uwagi na konieczność wykonania wykopu i zagęszczenia poszczególnych warstw, naprawa dyatacji wymagałaby wprowadzenia ruchu wahadlowego na minimum trzy miesiące. Dodatkowo wykonanie prac przy wykorzystaniu standardowych technologii wymusza użycie ciężkiego sprzętu, który nie jest potrzebny przy iniekcjach geopolimerowych. Wykorzystanie nowoczesnej technologii w postaci iniekcji geopolimerowych pozwala wykonywać prace budowlane z dużą dbałością o środowisko naturalne z uwagi na to, że są one bezpieczne dla środowiska i obojętne dla wód gruntowych. Prace te nie generują szkodliwych drgań, wstrząsów oraz hałasu wywołanych pracą ciężkiego sprzętu.

Literatura

- [1] Kokotkiewicz P., Problemy geotechniczne na styku obiektów inżynierskich z nasypami drogowymi, „MOSTY”, 1/2016.
- [2] Trojnar K., Jak projektować nasypy na dojazdach do obiektów mostowych na słabym podłożu?, „MOSTY”, 1/2016.
- [3] Gajewska B., Kłosiński B.A., Rozwój metod wzmocnienia podłoża gruntowego. Seminarium IBDiM i PZWFS: Wzmocnienie podłoża i fundamentów, Warszawa 2011.
- [4] Jermolowicz P., Wzmocnienie nasypów drogowych. Zasady projektowania i wykonawstwa. Opolo-Pokrzywna. SITK, 2011.
- [5] www.geobear.pl.
- [6] Poteraj-Oleksiak A., Poziomowanie i stabilizacja gruntów – zalety metody iniekcji geopolimerowych, „Magazyn Autostrady”, 11-12/2018.
- [7] Projekt remontu wiaduktu nad PKP w m. Podbór w ciągu drogi krajowej nr 12 km 486+725 – Dokumentacja archiwalna – opracowanie Tarcopol, 01.2003 r.
- [8] Remont dyatacji wiaduktu drogowego nad linią kolejową w ciągu drogi krajowej nr 12 w km 486+725 w miejscowości Podbór. PONDUS Cezary Witas, 04.2018 r.

- [9] Non-Disruptive Ground Engineering Services. How ground injection works and where to use it. Prezentacja URETEK, 2017.
- [10] Poteraj-Oleksiak A., Wzmocnienie podłoża gruntowego i podbudowy dróg betonowych przy pomocy iniekcji geopolimerowych. II Suwalskie Forum Drogowe, Suwałki 2018.
- [11] Jindal B.B., Investigations on the properties of geopolymer mortar and concrete with mineral admixtures: A review. Construction and Building Materials, Volume 227, 2019.
- [12] Bromley L., Hadfield D., Broszura techniczna: Iniekcje geopolimerowe w budownictwie. Uretek, 2016.
- [13] Dokumentacja powykonawcza wzmocnienia gruntu iniekcjami geopolimerowymi. Wiadukt drogowy nad linią kolejową w ciągu drogi krajowej nr 12 w km 486+725 w miejscowości Podbór, Geobear, 06.2019 r.

DOI: 10.5604/01.3001.0014.3581

PRAWIDŁOWY SPOSÓB CYTOWANIA
Banaś Anna, Bałachowski Lech, Kuryłowicz Andrzej, Poteraj-Oleksiak Agnieszka, 2020, Innowacyjna metoda wzmocnienia gruntu za przyczółkiem przy użyciu iniekcji geopolimerowych, „Builder” 09 (278). DOI: 10.5604/01.3001.0014.3581

Streszczenie: W obecnych czasach szybki rozwój infrastruktury i nowoczesnych technologii niejednokrotnie narzuca projektantom oraz wykonawcom takie rozwiązania, aby prowadzone roboty budowlane były jak najmniej uciążliwe dla uczestników ruchu i nie ingerowały w system komunikacyjny. Dotyczy to zarówno budowy nowych obiektów, jak i remontu już istniejących. W niniejszej pracy przedstawiono nowatorską koncepcję remontu wiaduktu w ciągu drogi krajowej nr 12 nad torami PKP w miejscowości Podbór. Problemem, który występował podczas eksploatacji obiektu i prowadził do potrzeby pilnej oraz jak najmniej inwazyjnej jego naprawy, było nadmierne osiadanie nasypu za przyczółkiem. Pierwszy raz w Polsce wykonano wzmocnienie gruntu za

przyczółkiem wiaduktu przy użyciu iniekcji geopolimerowych, które w znaczący sposób skróciło czas ograniczenia w ruchu kołowym, a tym samym także samego remontu.

Słowa kluczowe: mosty, wzmacnianie gruntu, geopolimery, iniekcje, nadmierne osiadanie, remonty, ochorna środowiska, ułatwienia komunikacyjne

Abstract: INNOVATIVE METHOD OF STRENGTHENING SOIL BEHIND THE ABUTMENT BY USING GEOPOLYMER INJECTIONS.

Nowadays, the rapid development of infrastructure and modern technologies often imposes on designers and contractors solutions which make the carried out construction works hassle-free for road users and interfere with the communication system as little as possible. This work presents an innovative concept for the renovation of the viaduct along National Road No. 12 over the PKP tracks in Podbór. The problem that occurred during the exploitation of the viaduct and led to the urgent and least invasive repair of it was excessive settlement of the embankment behind the abutment. For the first time in Poland, the abutment of viaduct was strengthened using geopolymer injections, which significantly reduced the time allocated to the restrictions on road traffic, and thus shortened the time of the investment itself.

Keywords: bridges, soil strengthening, geopolymers, injections, excessive settlements, renovations, environmental protection, communication facilities

REKLAMA

BUILDER SCIENCE

Builder OPEN ACCESS

BUILDER SCIENCE - dział miesięcznika **BUILDER** dostępny w ramach open access journals, w którym publikowane są artykuły naukowe w następujących dyscyplinach naukowych: architektura i urbanistyka oraz inżynieria lądowa i transport. Artykuły naukowe indeksowane są w bazach danych: Index Copernicus i BazTech.

20 punktów MNiSW

WWW.BUILDERSCIENCE.PL