

Anna BANAS¹
Lech BAŁACHOWSKI²
Andrzej KURYŁOWICZ³
Andrzej KOWALIK⁴
Agnieszka POTERAJ - OLEKSIK⁵
Cezary WITAS⁶

INNOWACYJNA METODA WZMOCNIENIA PRZYCZÓŁKA WIADUKTU PRZY UŻYCIU INIEKCJI GEOPOLIMEROWYCH

1. Wstęp

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 jak najmniej ingerowały w system komunikacyjny. Dotyczy to zarówno budowy nowych obiektów jak i remontu obiektów 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 [10,16], które jednocześnie często prowadzą do uszkodzeń dylatacji. Powszechnie stosowane metody wzmacniania nasypów bazują najczęściej na wymianie gruntu, konsolidacji podłoża, stabilizacji mechanicznej, zastosowaniu kotew gruntowych, metodach wibracyjnych i dynamicznych, na zbrojeniu wgłębnym, czy zastosowaniu geosyntetyków [4,8]. Stosowanie opisanych metod w przypadku remontu wymaga zwykle rozbiórki nawierzchni i prowadzenia długotrwałych prac ziemnych, co nie tylko znacznie zwiększa koszty samych prac remontowych, ale również utrudnia eksploatację obiektu podczas prowadzonych robót.

¹ dr inż., Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Katedra Transportu Szynowego i Mostów

² dr hab. inż. prof. nadzw. PG., Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Katedra Geotechniki, Geologii i Budownictwa Morskiego

³ mgr inż., Warszawskie Przedsiębiorstwo Mostowe Mosty Spółka z ograniczoną odpowiedzialnością Budownictwo Spółka Komandytowa

⁴ mgr inż., Warszawskie Przedsiębiorstwo Mostowe Mosty Spółka z ograniczoną odpowiedzialnością Budownictwo Spółka Komandytowa

⁵ mgr, Geobear Polska

⁶ mgr inż., PONDUS Cezary Witas

Iniekcja materiałów geopolimerowych stanowi nieuciążliwą alternatywę dla tradycyjnego podbudowywania i palowania. Metoda iniekcji oparta jest na ponad 30-letnim okresie badań i rozwoju oraz wniosków wynikających z przeprowadzonych prac [5]. Implementację rozwiązania można zaliczyć do kategorii działań proaktywnych (poprawa nośności gruntów w celu umożliwienia zwiększenia obciążeń lub przeciwdziałanie osiadaniu w długiej perspektywie czasowej) lub reaktywnych (usuwanie zaistniałych uszkodzeń). Iniekcje geopolimerowe z powodzeniem stosowane są do stabilizacji, podniesienia oraz stabilizowania płyt drogowych i lotniskowych. Z uwagi na to, że geopolimery wzmacniają grunt oraz poprawiają jego nośność z powodzeniem wykorzystywane są również do podparcia konstrukcji budowlanych. Technologia ta jest szczególnie przydatna w miejscach trudnodostępnych, lub tam, gdzie istnieją trudności z wprowadzeniem ciężkiego sprzętu [5,12].

2. Opis konstrukcji wiaduktu

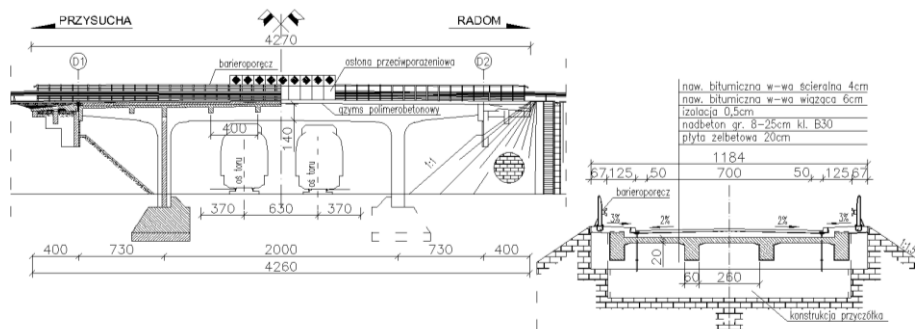
Wiadukt, rozpatrywany w niniejszej pracy, zlokalizowany jest na drodze krajowej nr 12 Łęknica – Radom – Dorohusk w kilometrze 486+725 w miejscowości Podbór (rys. 1). Przeprowadza on ruch nad czynną linią kolejową nr 22 Tomaszów – Radom. Obiekt został wybudowany w 1951 roku. Ze względu na potrzebę elektryfikacji 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 trwałość obiektu na kolejne 20 lat [14].



Rysunek 1. Widok ogólny (Geobear sp. z o.o.)

Ustrój nośny wiaduktu w przekroju poprzecznym stanowią cztery dźwigary żelbetowe o szerokości 60 cm i zmiennej wysokości (rys 2b). 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 wynosi 34,6 m. Podpory pośrednie stanowią słupy ramy żelbetowej o przekroju prostokąta o wymiarach 60x100 cm połączone ścianą żelbetową. Podpory skrajne obiektu to skrzynie przyczółkowe (kaszyce) zatopione w nasypie. Obiekt posadowiony jest bezpośrednio na stopach fundamentowych znajdujących się pod słupami ramy żelbetowej. Położenie obiektu oraz wysokość skrajni kolejowej wymusiły konieczność ukształtowania i budowy wysokich nasypów na dojeździe do obiektu [15].





Rysunek 2. a) Przekrój podłużny i widok z boku obiektu b) Przekrój poprzeczny obiektu [15]

3. Stan techniczny obiektu

Konstrukcja nośna obiektu jest w dobrym stanie technicznym. Problem, jaki pojawił się podczas jego eksploatacji było powstanie progów na dylatacjach modułowych. Przesunięcie profili względem siebie dochodziło do 30 mm (rys. 3). Różnica przemieszczeń na dylatacji została spowodowana osiadaniami skrzyń przyczółkowych wraz ze skrzydłami i belkami gzymsowymi. Przesunięcie spowodowało uszkodzenie wkładek elastomerowych, a w konsekwencji nieuszczelnienie dylatacji. Prowadziło to do przenikania wody do konstrukcji nośnej, a tym samym przyczyniało się do jej postępującej degradacji obiektu oraz do korozji zbrojenia. Osiadanie nasypu na dojazdach prawdopodobnie spowodowane było niedostatecznym zagęszczeniem gruntu i wypłukiwaniem drobnych frakcji przez wody opadowe i roztopowe [15].



Rysunek 3. Progi na dylatacji modułowej spowodowane osiadaniami nasypu. (Geobear sp. z o.o.)

4. Technologia Iniekcji Geopolimerowych

Iniekcje geopolimerowe pozwalają poprawić mechaniczne i hydrauliczne właściwości gruntów poprzez zwiększenie nośności podłoża i zmniejszenie jego odkształcalności oraz zmniejszenie współczynnika filtracji. Metoda pozwala na poprawę parametrów gruntów o niestabilnej strukturze zawierającej puste przestrzenie lub kawerny. Iniektowany materiał zwiększa swoją objętość w gruncie wypełniając i uszczelniając puste przestrzenie. Zwiększanie objętości iniektu w gruncie powoduje przemieszczenia poziome i 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 [11]. Metoda może być zatem stosowana do podnoszenia nadmiernie lub nierównomiernie osiadających płyt lotnisk lub



nawierzchni drogowych. Technologia swoje zastosowanie znajduje w czterech podstawowych obszarach budownictwa i inżynierii komunikacyjnej. Są to roboty polegające na: stabilizacji i poziomowaniu oraz wzmacnianiu i zagęszczaniu gruntu. Metoda stosowana jest ponadto do wzmocnienia i podbicia fundamentów przy pomocy kolumn geopolimerowych, jak również wykorzystywana jest w celu wypełnienia pustek i kawern oraz uszczelnienia podłoża i podbudowy (rys. 4).



Rysunek 4. Zastosowanie iniekcji geopolimerowych (Geobear sp. z o.o.)

Iniekcję możemy podzielić na dwie podstawowe kategorie w zależności od miejsca wzmocnienia: iniekcję przypowierzchniową oraz konsolidację wgłębną wskutek iniekcji rozprężających [13]. Pierwsza polega na iniektowaniu materiału pomiędzy konstrukcją oraz grunt i ma na celu przywrócenie pełnej styczności fundamentu z gruntem. Konsolidacja wgłębną polega na wzmacnieniu i zwiększeniu nośności gruntu i jest wykonywana pod warstwami konstrukcji, bezpośrednio w podłożu gruntowym.

W zależności od warunków gruntowych oraz rodzaju i zakresu wzmocnienia wyróżnia się dwie możliwości aplikacji geopolimerów:

- a. Aplikacja bezpośrednio w podłożu gruntowe.
- b. Wykonanie kolumn geopolimerowych - stosowane do wzmacniania gruntów słabych. Kolumny przenoszą znaczną część obciążeń pionowych, a dodatkowo dogęszczają lub konsolidują otaczający grunt. Technologia może być stosowana, gdy inne rodzaje kolumn (żwirowe, betonowe) nie mogą być wykonywane ze względu na wstrząsy i brak możliwości dojazdu ciężkich maszyn, a inne konwencjonalne metody ulepszenia/zagęszczania gruntu już nie są skuteczne.

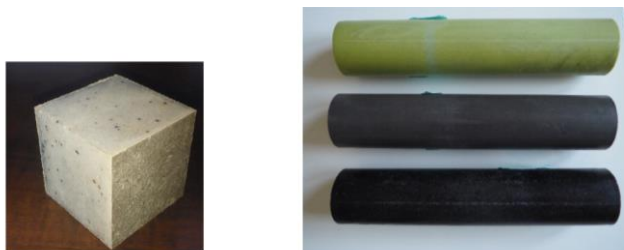
Materiały geopolimerowe to wysoko ekspansywne żywice o wysokim przyroście wytrzymałości w stosunkowo krótkim czasie (rys. 5). Ekspansywna żywica poliuretanowa należy do rodziny sztywnych polimerów z zamkniętymi komórkami. Posiada bardzo szczególne właściwości chemiczne i fizyczne, jest klasyfikowana w kategorii usieciowionych polimerów termoutwardzalnych [6,9]. Powstaje w wyniku egzotermicznej reakcji polimeryzacji między dwoma składnikami zmieszanyymi w określonych proporcjach objętościowych (komponent A i B). Najważniejszymi właściwościami fizycznymi tych materiałów są wysoka ogniotrwałość, ale przede wszystkim wysoka twardość i odporność mechaniczna [1].

Skład żywic dobierany jest zgodnie z warunkami miejsca aplikacji przy uwzględnieniu szeregu czynników, takich jak: rodzaj i nośność gruntu oraz jego właściwości, obciążenie, szybkość procesu wiązania oraz zakładane parametry konsolidacji. Jednym z podstawowych parametrów charakteryzujących materiał geopolimerowy jest szybkość wiązania aplikowanej substancji, czyli procesu uzyskania wytrzymałości kohezyjnej, a przez to fizycznych i chemicznych właściwości materiału w wyniku reakcji chemicznej



(polimeryzacji). Szybkość wiązania przejawia się uzyskaniem około 90-95% zakładanej wytrzymałości w czasie od 30 do 60 sekund, zgodnie z deklaracją producentów [2].

Efekt wzmocnienia wywołany jest specyficzną pracą materiału geopolimerowego oraz jego oddziaływania na otaczające środowisko (podłoże). Wpływ na otaczający grunt powoduje polepszenie jego parametrów mechanicznych, tj. wytrzymałości na ścinanie i odkształcalności. W gruntach niespoistych wzrasta zagęszczenie, a grunt spoisty ulega konsolidacji, a dodatkowo wzrasta składowa pozioma naprężenia w gruncie. W konsekwencji wzrasta sztywność i wytrzymałość znacznej objętości podłoża znajdującego się pod fundamentami (lub płytami) [7].



Rysunek 5. a) Geopolimer b) Belki geopolimerowe (Geobear sp. z o.o.)

Charakterystyczną cechą materiałów geopolimerowych jest możliwość ich zastosowania w bardzo szerokim spektrum temperaturowym. Prace polegające na wzmocnieniu podłoża lub podbudowy konstrukcji można swobodnie wykonywać w przedziale temperaturowym od ok. -15°C do ok. 60°C , co w skali Polski umożliwia prowadzenie prac praktycznie przez cały rok [13]. Bardzo ważną cechą z punktu widzenia oddziaływania substancji, jednakowo na całym obszarze wzmocnienia, jest zjawisko pęcznienia zarówno w pionie, jak i w poziomie. Dodatkowo elastyczność materiału pozwala na łatwe dopasowanie i szczelne wypełnienie wzmacnianego podłoża. Wielokierunkowa ekspansywność geopolimeru ma również tę zaletę, że powoduje zwiększenie naprężeń poziomych w gruncie lub podbudowie, dzięki czemu uzyskujemy zwiększoną nośność i zmniejszone osiadania. W tabelicy 1 przedstawione zostały podstawowe właściwości wytrzymałościowe materiału geopolimerowego, przy czym należy podkreślić bardzo istotną zależność, jaka występuje pomiędzy wytrzymałością na ściskanie, a gęstością materiału.

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

W przypadku procesu iniekcji siła ekspansji geopolimeru jest zawsze mniejsza od jego wytrzymałości na ściskanie, co oznacza stałe podparcie konstrukcji na etapie całego procesu wykonywania wzmocnienia. Wytrzymałość materiału geopolimerowego na ściskanie jest zależna od gęstości mieszanki, dlatego też bardzo 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 żywic geopolimerowych, jak również na próbkach gruntu po wykonanym zabiegu iniekcji. Otrzymane, w wyniku badań na materiałach geopolimerowych w stanie czystym, wartości przewodności hydraulicznej mieszczą się w zakresie od 1×10^{-9} do 1×10^{-8} m/s, co sugeruje niską porowatość efektywną tego materiału. Przewodność hydrauliczna próbki gruntu po iniekcji wyniosła w przybliżeniu 10^{-10} m/s, co odpowiada wodoprzepuszczalności ilów czy zwartych glin ilastych [1,7].

W trakcie wszystkich prac iniekcyjnych wzmocniana warstwa w obrębie każdego otworu iniekcyjnego jest monitorowana za pomocą laserowego sprzętu niwelacyjnego z czujnikami umieszczonymi w określonych miejscach. Często wymagane jest również umieszczenie czujników bezpośrednio na konstrukcji, aby monitorować jej ruch.

Podczas prac stabilizacyjnych każdy punkt iniekcyjny poddany jest zabiegowi do momentu, aż pożądaný ruch zostanie zarejestrowany na najbliższym czujniku. W projektach stabilizacyjnych jest to $<0,5$ mm.

Standardowo harmonogram prac prowadzony jest w następującej kolejności:

1. pomiary wstępne – ocena konstrukcji, badanie nośności, ocena wymaganego zakresu wzmocnienia;
2. dobór ilościowy i jakościowy geopolimeru, obliczenia dotyczące głębokości iniekcji oraz zakładanej wytrzymałości; wykonanie tzw. makiety wierceń;
3. proces aplikacji materiału geopolimerowego przy stałej kontroli poziomu wzmocnienia oraz przemieszczeń konstrukcji;
4. uszczelnienie otworów iniekcyjnych w nawierzchni;
5. badania porealizacyjne i pomiary kontrolne.

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. Badania przeprowadzone na geopolimerach wykazały, że nie powodują żadnych zanieczyszczeń gruntu, co wynika z ich budowy chemicznej. Geopolimery to substancje o strukturze zamkniętej, w której występują bardzo mocno powiązane ze sobą łańcuchy cząsteczek.

W porównaniu z iniekcjami cementowymi, Geobear wprowadza małe ilości materiału. Ilość aplikowanego geopolimeru rzadko przekracza 2 do 4% objętości w miejscu zabiegu (wagowo od 0,2 do 1%). Migracja geopolimeru od punktu iniekcji jest ograniczona (do 2 m), ponieważ proces polimeryzacji zachodzi bardzo szybko, a 90% zabiegów naprawczych wykonuje się na głębokości od 3 do 4 m. Bardzo istotnym 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 aspekty przechowywania żywicy nie wymagają nadmiernej ilości zbiorników. Materiał jest przechowywany i zabezpieczony w specjalnych zbiornikach IBC wielokrotnego użytku. Dzięki temu nie produkujemy zbędnych kontenerów oraz nie wytwarzamy dodatkowych odpadów.

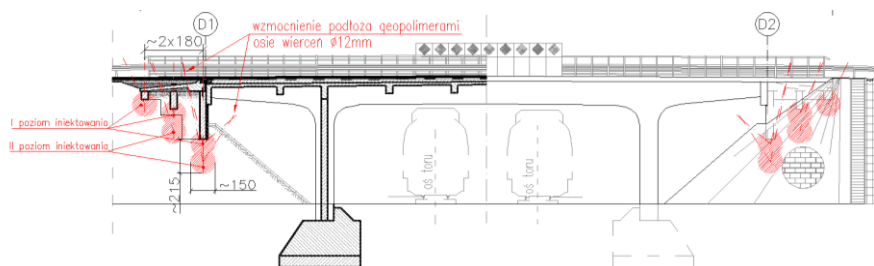
Skład żywicy dobierany jest zgodnie z warunkami miejsca aplikacji przy uwzględnieniu szeregu czynników, takich jak: rodzaj i nośność gruntu oraz jego właściwości, wielkość obciążenia, szybkość procesu wiązania oraz zakładane parametry konsolidacji. W zależności od stopnia złożoności projektu, w celu doboru jakościowego oraz ilościowego żywicy niezbędne jest dysponowanie określonym zakresem badań. Podstawą do zaprojektowania iniekcji jest wykonanie sondowań podłoża gruntowego, określenie podstawowych parametrów gruntu, wielkości osiadań oraz stopnia konsolidacji podłoża.



Poziom iniekcji zależy od miąższości warstwy która podlega wzmocnieniu. W przypadku nasypów przyczółków iniekcja zazwyczaj odbywa się wielopoziomowo. Punkty iniekcyjne (otwory) dobierane są według projektu wzmocnienia, przy czym ich rozstaw wynosi standardowo 1,5 m od kolejnego punktu.

4. Technologia wzmocnienia przyczółka

W dniach od 03.06.2019 do 07.06.2019 r. zostało wykonane wzmocnienie gruntu pod przyczółkami wiaduktu drogowego. Rozmieszczenie wykonanych iniekcji (rys. 6) wykonano zgodnie z założeniami Projektu Remontu [15]. Sondowania wykonane przed naprawą wskazywały, że stopień zagęszczenia I_D gruntów tworzących nasyp w sąsiedztwie, na obszarze wykonywanych prac odpowiadał gruntom luźnym, kształtując się na poziomie od około 0,2 do 0,35. Grunt pod przyczółkiem został wzmocniony jednym lub dwoma poziomami iniekcji polimerowej w 120 punktach iniekcyjnych. Łącznie zostało zużyte 2016 kg iniektu. Do wykonania prac wykorzystano polimery URETEK HARDENER 10 oraz URETEK RESIN 2409.



Rysunek 6. Schemat rozmieszczenia wzmocnienia podłoża iniekcją geopolimerową – w przekroju podłużnym [15]

Prace budowlane wykonywane były zarówno z poziomu jezdni jak i w strefie przyczółka pod obiektem (rys 7). Początkowo prace prowadzone były ze stanowisk roboczych zlokalizowanych pod ramą obiektu. Wykonano nawierthy przez konstrukcję żelbetową przyczółka, a następnie wprowadzono stalowe rurki iniekcyjne o średnicy 12 mm. Rozpoczęto iniektowanie gruntu mieszkanką ekspansywnych geopolimerów, których mieszanie w odpowiedniej temperaturze i ilości odbywa się w pojeździe technologicznym Geobear. Wprowadzony iniekt zaczyna pęcznić od razu po wprowadzeniu w nasyp, wypełniając pustki gruntowe. Równocześnie ekspansja materiału powoduje dogęszczenie ziaren kruszywa 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 nawierthy 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 iniekcji, sprawdzono stopień zagęszczenia gruntu, a wyniki przedstawiono w tabelach pomiarowych. Pomiar geodezyjny potwierdził uniesienie dylatacji od 0,5 mm do 1,5mm. Wartość podniesienia, która by wykluczyła potrzebę wymiany dylatacji to około 30 mm. Osiągnięte zostało wzmocnienie nasypu drogowego przy częściowym zamknięciu drogi, w czasie 4 dni roboczych, bez



konieczności rozbiórki, ponownego układania i zagęszczania całego nasypu. Po wykonaniu wzmocnienia, została rozebrana nawierzchnia asfaltowa i wykuta dylatacja. Wyrównane zostały rzędne wysokościowe poprzez ułożenie nowej warstwy masy asfaltowej oraz montaż dylatacji na rzędnej docelowej.

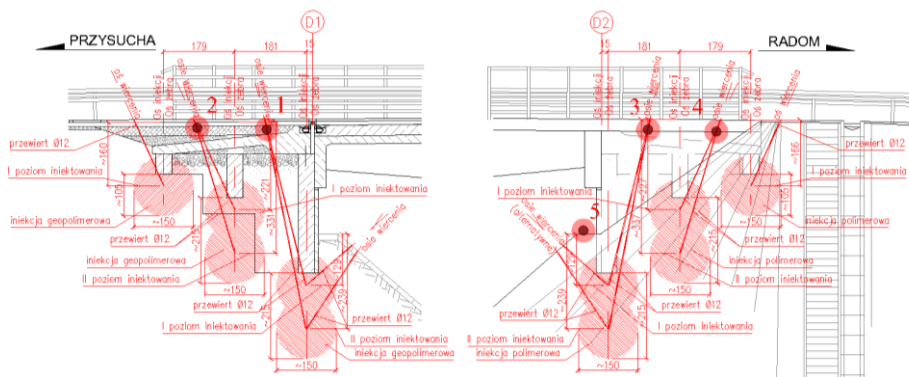


Rysunek 7 Wzmocnienie gruntu pod przyczółkami wiaduktu drogowego na drodze krajowej nr 12 poprzez iniekcje geopolimerowe (Geobear sp. z o.o.)

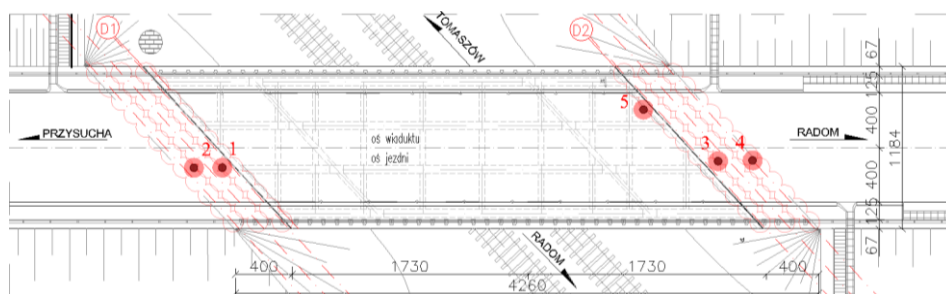
6. Wyniki badań in situ

Podczas prac iniekcyjnych (rys. 8 i 9) prowadzono ciągły monitoring geodezyjny skarp i dylatacji na wiadukcie. Zaobserwowany ruch dylatacji mieści się w przedziale 0,5 mm – 1,5 mm. Zaobserwowany ruch skarp mieści się w przedziale 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 iniekcji przedstawiono na rysunku 10.

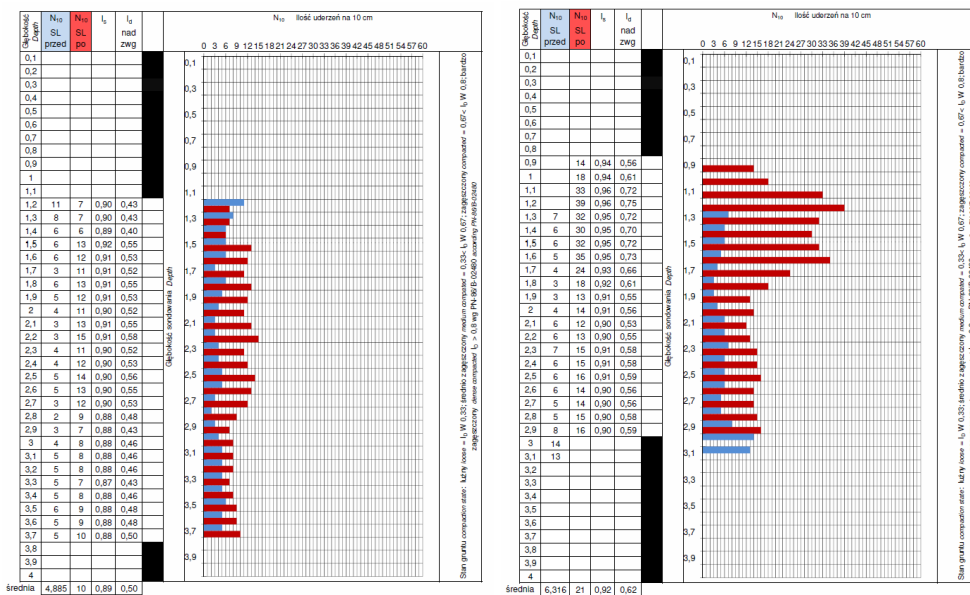


Rysunek 8. Rozmieszczenie przeprowadzonych iniekcji geopolimerowych na przyczółku wraz z rozmieszczeniem punktów sondowania DPL w przekroju podłużnym [3]



Rysunek 9. Rozmieszczenie punktów sondowania DPL w widoku z góry [3]





Rysunek 10. Wyniki badań sondą DPL przed i po iniekcji dla punktów 1 i 4 [3] (zamieszczono wartości wskaźnika zagęszczenia I_s oraz stopnia zagęszczenia I_D po wykonaniu iniekcji)

7. Podsumowanie

Wzmocnienie nasypu z zastosowaniem iniekcji geopolimerowych bezpośrednio pod żebrami płyty przejściowej, w znaczący sposób ograniczyło czas przeznaczony na wprowadzane ograniczenia w ruchu kołowym, a tym samym skróciło czas samej inwestycji. W standardowych przypadkach zastosowanie tej technologii pozwala na skrócenie czasu nawet pięciokrotnie, z uwagi na bardzo szybki czas wiązania geopolimerów, które w ciągu 30-60 sekund uzyskują 95% swojej wytrzymałości. Roboty mogły 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 dylatacji wymagałaby wprowadzenia ruchu wahadłowego na minimum trzy miesiące. Dodatkowo wykonanie prac przy wykorzystaniu standardowych technologii wymaga użycia 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 i hałasu wywołanych pracą ciężkiego sprzętu.

Literatura

- [1] BROMLEY L., HADFIELD D.: Broszura techniczna: Iniekcje geopolimerowe w budownictwie. Uretk. 2016
- [2] CSTB Europejska Ocena Techniczna



- [3] 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.
- [4] GAJEWSKA B, KŁOSIŃSKI B. A. Rozwój metod wzmocniania podłoża gruntowego. Seminarium IBDiM i PZWFS: Wzmocnianie podłoża i fundamentów, Warszawa, 2011
- [5] www.geobear.pl
- [6] www.geopolymer.org
- [7] HELLMIEIER P., SORANZO E., WEI W., Niederbrucker R., Paschetto A. An experimental investigation into the performance of polyurethane grouting in soil. 14th Pan-American Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Toronto, 2011, Vol. 14
- [8] JERMOŁOWICZ P., Wzmocnienie nasypów drogowych. Zasady projektowania i wykonawstwa. Opole-Pokrzywna, SITK, 2011
- [9] JINDAL B. B. Investigations on the properties of geopolymer mortar and concrete with mineral admixtures: A review. Construction and Building Materials, Volume 227, 2019
- [10] KOKOTKIEWICZ P. Problemy geotechniczne na styku obiektów inżynierskich z nasypami drogowymi. MOSTY, 1/2016
- [11] Non-Disruptive Ground Engineering Services. How ground injection works and where to use it. Prezentacja URETEK, 2017
- [12] POTERAJ-OLEKSIK A.-Oleksiak, Poziomowanie i stabilizacja gruntów – zalety metody iniekcji geopolimerowych, Magazyn Autostrady, 11-12/2018
- [13] POTERAJ-OLEKSIK A.: Wzmocnianie podłoża gruntowego i podbudowy dróg betonowych przy pomocy iniekcji geopolimerowych. II Suwalskie Forum Drogowe, Suwałki, 2018
- [14] Projekt remontu wiaduktu nad PKP w m. Podbór w ciągu drogi krajowej nr 12 km 486+725 - Dokumentacja archiwalna - opracowanie Tarcopol, 01.2003 r.
- [15] Remont dylatacji wiaduktu drogowego nad linią kolejową w ciągu drogi krajowej nr 12 w km 486+725 w miejscowości Podbór. PONDUS Cezary Witas, 04.2018 r.
- [16] TROJNAR K. Jak projektować nasypy na dojazdach do obiektów mostowych na słabym podłożu? MOSTY, 1/2016

INNOVATIVE METHOD OF STRENGTHENING THE ABUTMENT BY USING GEOPOLYMER INJECTIONS

Summary

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.

