ARKADIUSZ KWIECIEŃ, *akwiecie@pk.edu.pl*
TADEUSZ TATARA, *ttatara@pk.edu.pl*
BOGUSŁAW ZAJĄC, *bz@limba.wil.pk.edu.pl*
Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Krakowska, Konsorcjum PK-NTB
ANDRZEJ BUDZIKOWSKI, *abudzikowski@ntbgrupa.pl*
NTB Grupa, Sp. z o.o., Konsorcjum PK-NTB
MACIEJ KARPAŁA, *karpala.maciej@pl.sika.com*
SIKA Poland, Sp. z o.o.

INNOWACYJNA NAPRAWA TOROWISKA TRAMWAJOWEGO W SOSNOWCU Z UŻYCIEM ZŁĄCZA PODATNEGO

INNOVATIVE REPAIR OF TRAM RAIL-TRACK IN SOSNOWIEC USING FLEXIBLE JOINT

Streszczenie W pracy przedstawiono opis stanu awaryjnego torowiska tramwajowego w Sosnowcu, które wymagało remontu przy ograniczeniu czasu jego wyłączenia z eksploatacji. Wymaganie to spełniła innowacyjna technologia naprawy opracowana w Politechnice Krakowskiej, wykorzystująca polimerowe złącza podatne. Naprawa torowiska została zrealizowana przez Konsorcjum PK-NTB w kilkugodzinnych wyłączeniach weekendowych i wykazała się wysoką skutecznością, ocenioną po rocznej obserwacji.

Abstract In the paper, there is presented description of failure state of a tram rail-track in Sosnowiec, which required repair with limitation of time needed for close. This requirement fulfilled the innovative repair technology worked out in the Cracow University of Technology, using polymer flexible joints. Repair of the tram rail-track was carried out by the Consortium PK-NTB during weekend closure lasting several hours. This repair demonstrated high efficiency, assessed after one year of observation.

1. Wstęp

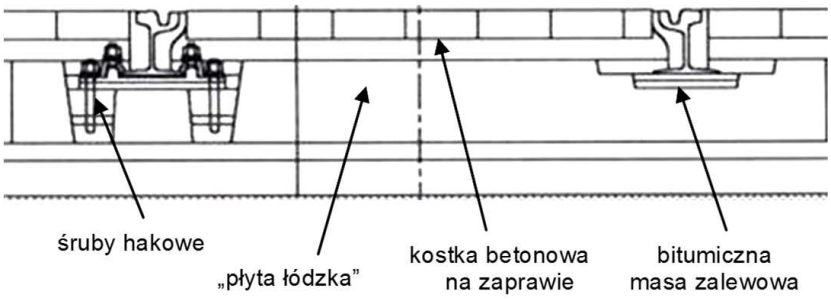
W ostatnim dwudziestoleciu rozbudowie uległo wiele aglomeracji miejskich w Polsce, z czym związana była ściśle budowa nowych i przebudowa starych szlaków komunikacyjnych. Torowiska tramwajowe, stanowiące jeden z podstawowych elementów współczesnej komunikacji miejskiej, także przechodziły burzliwy okres powstawania nowych rozwiązań konstrukcyjnych, które były wdrażane w wielu miastach Polski, takich jak Kraków, Łódź, Poznań, Warszawa, Wrocław i innych. Największą siecią tramwajową w Polsce może się poszczycić aglomeracja śląska. Zastosowane różnorodne rozwiązania technologiczne, oparte często na starych materiałach dostępnych w latach 80-tych i 90-tych ubiegłego wieku, były poddane wieloletniej eksploatacji. Część z nich nie wytrzymała próby czasu, powodując awarie torowisk tramwajowych i konieczność podjęcia interwencji przywracających stan techniczny spełniający wymagania eksploatacyjne. Szerszy opis stosowanych torowisk tramwajowych wraz z ich skróconą charakterystyką i towarzyszącymi im problemami eksploatacyjnymi opisano w pracy [1].

Doraźne naprawy uszkodzeń w torowiskach tramwajowych nie wymagają najczęściej zamknięcia linii, ale wystąpienie stanu awaryjnego wymuszającego kapitalny remont torowiska powoduje jego wyłączenie z eksploatacji. Taka sytuacja generuje wymierne straty finansowe nie tylko dla przedsiębiorstwa obsługującego linie tramwajowe, ale przede wszystkim wysokie koszty społeczne, z którymi inwestor i wykonawca remontu muszą się coraz częściej liczyć i brać je pod uwagę przy wyborze technologii naprawy.

Ten aspekt był brany pod uwagę przy podejmowaniu decyzji przez Tramwaje Śląskie o naprawie torowiska tramwajowego w Sosnowcu przy ul. 3 Maja, którego fragment przebiegający w zwartej zabudowie centrum miasta, wykonany został podczas remontu ok. 11÷12 lat temu w zmodyfikowanej wersji płyty PPT [2, 3] nazywanej potocznie „płytą łódzką". Wady konstrukcyjne tego systemu zostały opisane w pracy [4]. Po ponad 10-cio letniej eksploatacji tego torowiska, jego uszkodzenia oraz generowane przez nie wibracje i hałas powodowały dyskomfort zamieszkujących w pobliżu ludzi, wymuszając podjęcie decyzji o remoncie ok. 140 metrowego odcinka podwójnego torowiska. Jedynym okresem umożliwiającym prace remontowe były 12÷14 godzinne wyłączenia weekendowe w ciągu dnia, z koniecznością przywrócenia możliwości przetaczania taboru w nocy po naprawionym torowisku. Przewozy zastępcze pasażerów na tej obleganej arterii komunikacyjnej obsługiwane były przez podstawione autobusy. Tak krótki okres wyłączenia wymusił zastosowanie nowej technologii naprawy, która została opracowana i zrealizowana przez Konsorcjum naukowo-przemysłowe PK-NTB z użyciem polimerowych złączy podatnych, chronionych prawem patentowym na rzecz Politechniki Krakowskiej.

2. Opis stanu awaryjnego torowiska tramwajowego i przyczyn jego powstania

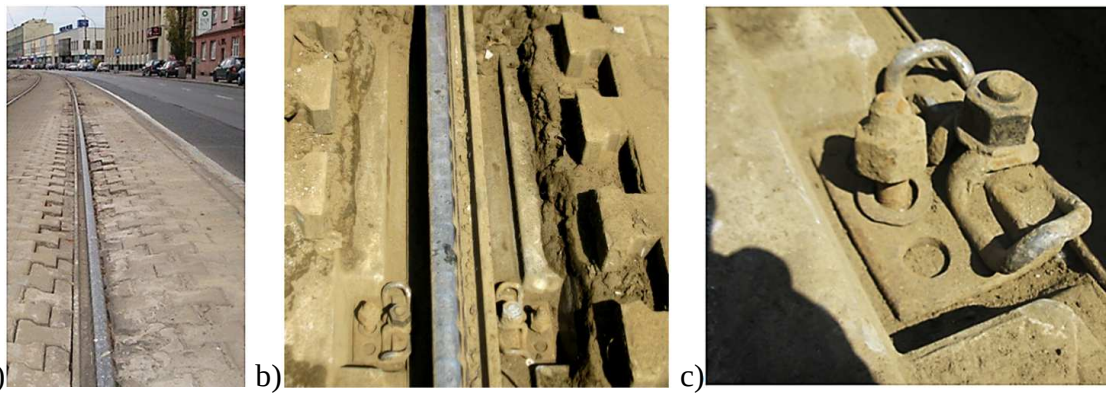
Wyremontowany odcinek dwutorowego torowiska tramwajowego na kierunku Katowice – Zagórze ułożony jest w środku pomiędzy dwoma pasami ruchu dla pojazdów kołowych, z nawierzchnią z kostki betonowej stanowiącej zabudowę torowiska, umożliwiającą ruch pojazdów specjalnych (karetek, straży pożarnej). Szyny tramwajowe 180S mocowane są do podbudowy z prefabrykowanych płyt betonowych za pomocą systemu mocującego PT 180, przytwierdzonego do podłoża betonowego śrubami hakowymi. Pomiędzy punktami węzłowymi stopka szyny spoczywała na warstwie bitumicznej masy zalewowej (rys. 1).



Rys. 1. Schematyczny przekrój przez torowisko przed naprawą: przez węzeł przytwierdzający (po lewej) i pomiędzy węzłami (po prawej)

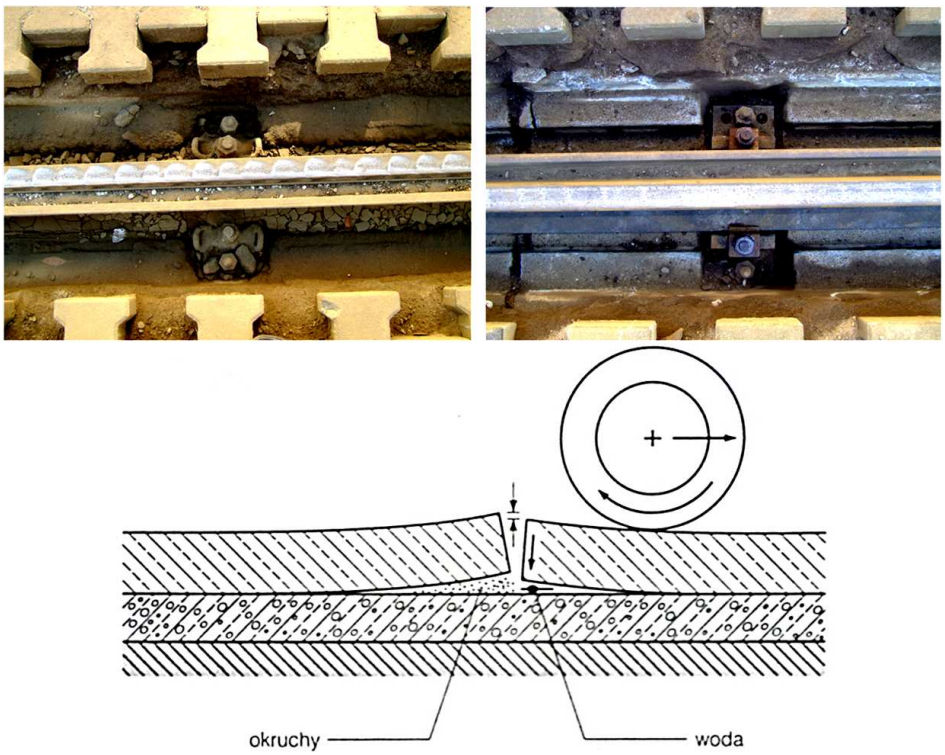
Objawami nieprawidłowego funkcjonowania torowiska na „płycie łódzkiej" było powstanie osiadań nawierzchni wykonanej z kostki betonowej (rys. 2a) oraz generowana podczas przejazdu tramwajów nadmierna emisja wibroakustyczna, uciążliwa dla mieszkańców w sąsiednich kamienicach. Wartość emisji akustycznej, pomierzona przed naprawą przez Tramwaje Śląskie na rozpatrywanym odcinku przy przejeździe tramwajów, dochodziła do 116 dB. Poziom wibracji generowany przez przejeżdżający tabor był wyraźnie wyczuwalny przed budynkami

jak i w ich wnętrzach bez użycia specjalistycznych przyrządów pomiarowych (na wykonanie pomiarów drgań nie było środków finansowych). Dokonana odkrywka wykazała, że w miejscu zapadliska masa bitumiczna jest wyciśnięta spod stopki szyny (rys. 2b), a węzły przytwierdzające szynę do podłoża betonowego są poluzowane lub zniszczone (rys. 2c). Przy takim „zamocowaniu" ugięcie szyny dochodziło nawet do kilku centymetrów pod przejeżdżającymi tramwajami, co przekładało się na wysoki poziom emisji wibroakustycznej.



Rys. 2. Zapadnięta nawierzchnia z kostki betonowej wokół szyn (a), odkrywka - wyciśnięta spod szyny masa bitumiczna (b), poluzowane śruby hakowe w węzłach przytwierdzających szynę (c)

Przyczyną powstałych uszkodzeń było zastosowanie nieściśliwej masy bitumicznej o charakterystyce lepko-plastycznej, jako wypełnienia pod szyną. Masa ta, w podwyższonych temperaturach w okresie letnim, ulegała uplastycznieniu i nieodwracalnej deformacji pod wpływem uginającej się szyny, co prowadziło do jej wyciskania spod stopki szyny (rys. 2b). Wyciśnięta spod szyny masa bitumiczna była widoczna na całej długości odkrytego torowiska (rys. 3).

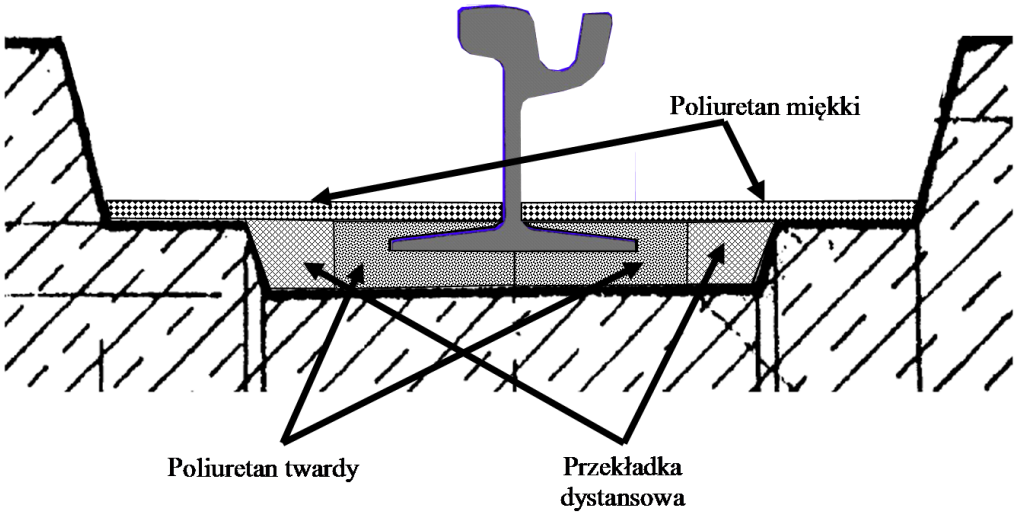


Rys. 3. Otoczenie szyny przed i po usunięciu masy bitumicznej (u góry) oraz schemat działania zjawiska hydrodynamicznego pompowania (na dole) [5]

Dodatkowym czynnikiem odpowiedzialnym za pogorszenie się stanu torowiska było działanie zjawiska hydrodynamicznego pompowania (opisanego w [5] i [6]), generowanego przez przejeżdżające tramwaje (rys. 3). Zjawisko to wywołane jest przejazdem koła tramwaju po szynie, któremu towarzyszy ugięcie szyny w miejscu braku należytego podparcia i tam, gdzie pod szyną (lub pod podbudową torowiska) zalega woda. Zmiana prześwitu pod szyną generuje znaczący wzrost ciśnienia w nieściśliwej cieczy, która wyciskana jest gwałtownie spod szyny istniejącymi szczelinami, zabierając ze sobą materiał podbudowy. Zjawisku temu towarzyszy przyrost deformacji w postaci nadmiernych osiadań szyny, a wypłukiwanie podbudowy spod kostek betonowych doprowadziło do powstania zapadlisk w nawierzchni (rys. 2a). W przypadku torowiska w Sosnowcu, zjawisko to występowało cyklicznie przy stałym napływie wody pod szynę (np. w trakcie opadów deszczu). Wywołane tymi przyczynami nadmierne ugięcia szyn spowodowały zniszczenie zamocowania szyn (przyspieszone przez korozję). Pogarszający się coraz bardziej stan torowiska wymusił podjęcie decyzji o jego naprawie, jednak tradycyjnie stosowane technologie polegające na wymianie torowiska na nowe nie mogły zostać zastosowane, gdyż użytkowane torowisko nie mogło być wyłączone na dłużej niż kilkanaście godzin w okresach weekendowych.

3. Przyjęty sposób naprawy i opis jego realizacji

Brak możliwości wyłączenia torowiska z eksploatacji na więcej niż kilkanaście godzin wymagał opracowania i zastosowania nowej szybkiej technologii naprawy, która w krótkim czasie umożliwi wykonanie sprężystego mocowania szyn o właściwościach ograniczających emisję wibroakustyczną i zapewniających trwałe przytwierdzenie szyny do podłoża betonowego, które będzie niewrażliwe na zjawisko hydrodynamicznego pompowania. Taka technologia została opracowana w Politechnice Krakowskiej z wykorzystaniem polimerowych złączy podatnych, których zasada działania została przedstawiona szczegółowo w pracy [7]. Schemat przyjętego rozwiązania przedstawia rys. 4.



Rys. 4. Schemat układu warstw poliuretanowych w złączu naprawczym torowiska

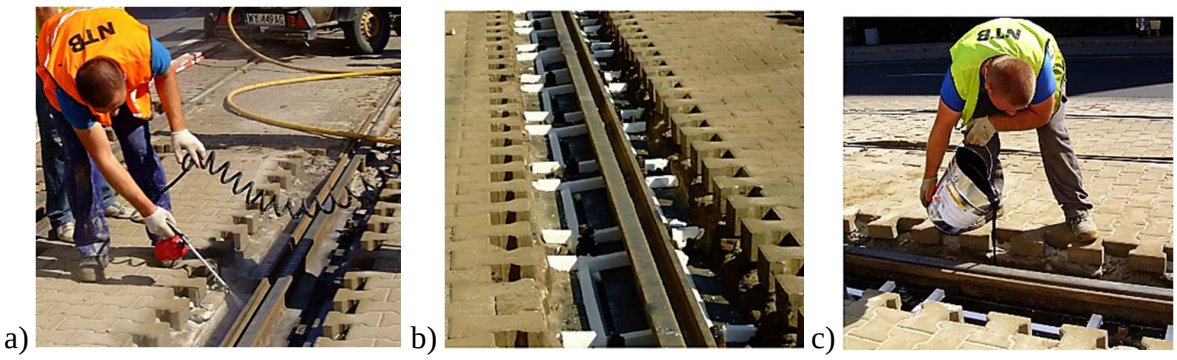
Zastosowano w nim warstwę łączącą wykonaną z poliuretanu twardego, przytwierdzającego sprężyście stopkę szyny do podłoża betonowego pomiędzy węzłami mocującymi, która przenosi cyklicznie występujące duże siły dynamiczne ściskające i rozciągające oraz ścinające, dopuszczając stosunkowo duże deformacje (w porównaniu z betonem). Poliuretan ten posiada dobre właściwości tłumiące drgania, a także cechuje się modułem sztywności równym 600 MPa,

odkształcalnością graniczną 10% oraz wytrzymałością na rozciąganie ok. 18 MPa. Zabezpieczenie powierzchniowe przed infiltracją wody zostało wykonane z poliuretanu miękkiego, posiadającego również dobre właściwości tłumiące drgania, a także cechującego się modułem sztywności równym 4 MPa, odkształcalnością graniczną 140% oraz wytrzymałością na rozciąganie ok. 1,4 MPa. Opracowany system mocowania był gotowy do przenoszenia obciążeń dynamicznych od taboru tramwajowego już po 2 godzinach od chwili aplikacji poliuretanu twardego.

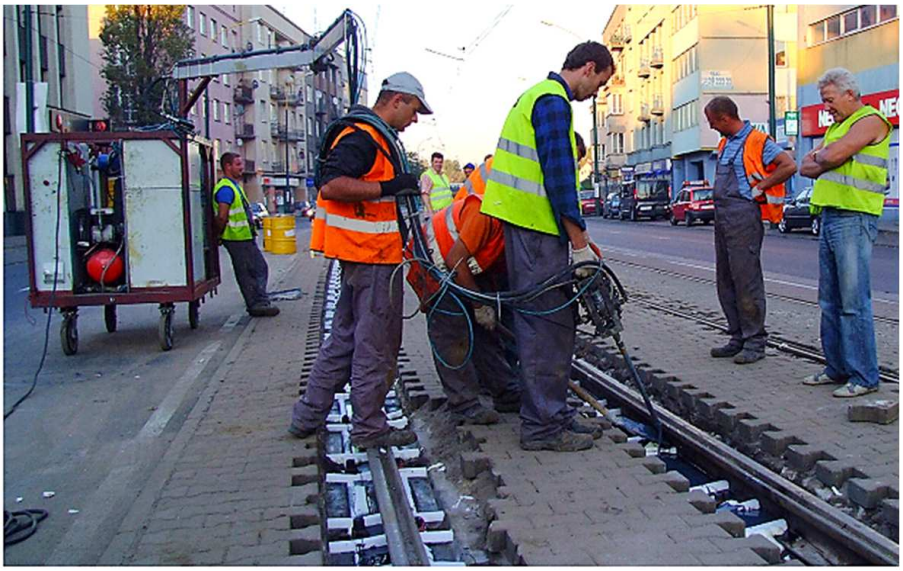
Dzięki tak szybkiemu czasowi wiązania polimerowego złącza podatnego [7], możliwe było zrealizowanie prac stosunkowo dużymi odcinkami roboczymi, w których najwięcej czasu zajmowały prace przygotowawcze (ok. 10 godzin). Całość naprawionego torowiska wyniosła 267 m pojedynczego toru, podzielonego na 6 odcinków roboczych realizowanych w zamknięciach weekendowych (po 27,2 m, 80 m i 38,9 m na kierunku Katowice oraz po 60,4 m, 30 m i 30,5 m na kierunku Zagórze).

W ramach jednego zamknięcia wykonany został cały zakres prac obejmujący: podniesienie szyn na remontowanym odcinku i oczyszczenie ich z masy bitumicznej (rys. 5a), rektyfikację szyn oraz ponowne zamocowanie przy pomocy systemu łączników (rys. 5b), piaskowanie powierzchni stopki szyny i betonu podbudowy oraz odpylenie całości (rys. 5c), zagruntowanie powierzchni betonowych i stalowych stykających się z polimerem (rys. 6a), zamontowanie przekładek dystansowych oraz szalunków traconych wokół istniejących węzłów mocujących (rys. 6b), wypełnienie poliuretanem twardym przestrzeni pod szyną i wokół stopki (rys. 6c i 8a) oraz zabezpieczenie całości warstwą poliuretanu miękkiego (rys. 7 i 8b). Grubość warstwy poliuretanu twardego pod stopką szyny wynosiła 25÷30 mm, natomiast grubość warstwy ochronnej polimeru miękkiego na powierzchni wyniosła 10 mm. Prace związane z wykonaniem polimerowych złączy podatnych oraz ich kontrola jakości prowadzone były pod nadzorem Politechniki Krakowskiej.

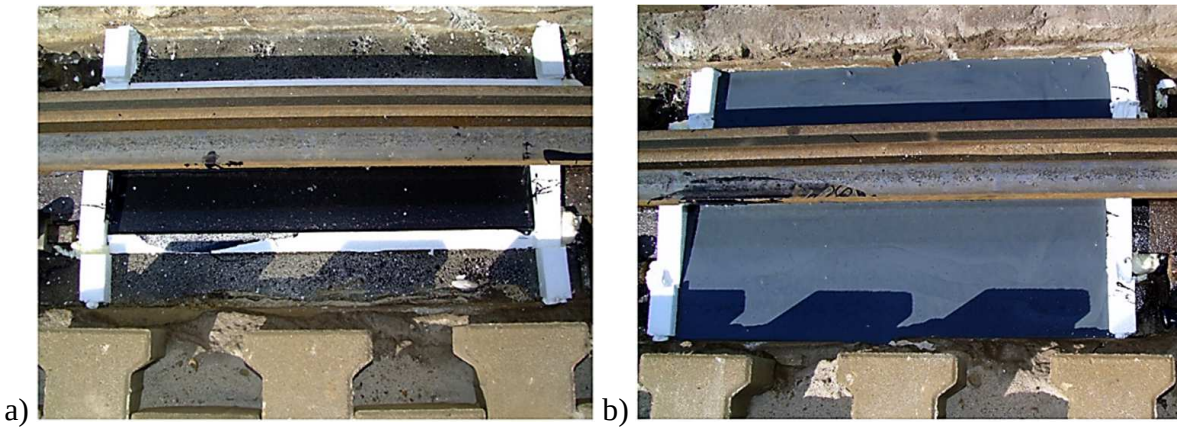
Rys. 5. Szyna oczyszczona z masy bitumicznej (a), rektyfikacja szyny i wymiana łączników (b), piaskowanie i oczyszczanie powierzchni łączonych złączem polimerowym (c)



Rys. 6. Gruntowanie podstawy szyny i powierzchni betonowej (a), przekładki dystansowe i szalunek tracony (b), aplikacja złącza podatnego wykonanego z poliuretanu twardego (c)



Rys. 7. Aplikacja maszynowa warstwy ochronnej wykonanej z poliuretanu miękkiego



a) b)

Rys. 8. Złącze podatne utworzone: z poliuretanu twardego – warstwa podszynowa (a) i z poliuretanu miękkiego – warstwa ochronna (b)

Naprawione odcinki toru pozostały niezabudowane (rys. 9a) w celu umożliwienia wykonania oględzin złączy podatnych po rocznym okresie eksploatacji w zmiennych warunkach pogodowych. Prace remontowe wykonywano w warunkach zgodnych z wymaganiami technologicznymi aplikacji poliuretanów, przy czym realizacja jednego z odcinków wymagała zastosowania dodatkowych zabezpieczeń ochronnych z uwagi na warunki pogodowe (rys. 9b). Ruch tramwajowy na naprawionych odcinkach był przywracany każdorazowo po dwóch godzinach od zakończenia układania poliuretanu twardego. Reprezentatywny czas realizacji naprawy 80 m toru wynosił 15 godzin, z czego prace przygotowawcze (oczyszczanie otoczenia szyn i ich rektyfikacja) trwały 10 godzin, a właściwe prace związane z wykonaniem złącza podatnego (piaskowanie, gruntowanie, układanie form i aplikacja polimeru) trwały 5 godzin. Opóźnienia w oddaniu torowiska do eksploatacji nie wystąpiły, lecz było ono każdorazowo przekazywane użytkownikom przed wyznaczonym terminem zakończenia prac. Poziom emisji akustycznej, zmierzony przez pracowników Tramwajów Śląskich po naprawie złączem podatnym, obniżył się o ok. 40 dB.

a) b)

Rys. 9. Naprawione torowisko niezabudowane kostką brukową (a) prace naprawcze prowadzone pod namiotem w niekorzystnych warunkach pogodowych (b)

4. Kontrola stanu torowiska po rocznej eksploatacji

Wizja lokalna przeprowadzona po rocznej eksploatacji torowiska wykazała, że pozostawione bez osłony złącze podatne (nieprzykryte kostką brukową) zostało powierzchniowo zanieczyszczone (rys. 10), natomiast jego stan techniczny jest bardzo dobry.

Rys. 10. Naprawione torowisko w bardzo dobrym stanie technicznym po rocznej eksploatacji – z widocznymi powierzchniowymi zanieczyszczeniami

Po usunięciu zanieczyszczeń (rys. 10) stwierdzono, że powłoki poliuretanowe wykazują się należytą sprężystością, bez śladów uszkodzeń oraz pełną przyczepnością do podłoża betonowego i szyn, co zapewnia wymaganą szczelność połączenia i ochronę przed wodą. Nie stwierdzono żadnej degradacji materiału (np. pod wpływem UV – [7]). Przeprowadzone obserwacje pracy złącza podatnego pod obciążeniem dynamicznym przejeżdżającymi tramwajami wykazały, że zamocowanie szyny przy użyciu masy poliuretanowej zapewnia należyte podparcie oraz przenoszenie obciążeń ściskających i rozciągających. Nie zaobserwowano nadmiernych wibracji ani hałasu generowanych przez przejeżdżające tramwaje, poza miejscem gdzie wystąpiła nieciągłość szyny w pękniętym połączeniu spawanym. Podsumowując należy stwierdzić, że zastosowane masy poliuretanowe pracują w złączu podatnym w sposób prawidłowy, spełniając założone wymagania eksploatacyjne.

5. Wnioski

Przedstawione w niniejszej pracy uszkodzenia torowisk tramwajowych z podbudową wykonaną z prefabrykowanych płyt betonowych (tzw. „płyty łódzkiej”), w których bezpośrednio pod stopką szyny występują masy bitumiczne, są obserwowane w wielu miejscowościach [1]. Niepodjęcie naprawy tak zdeformowanego torowiska prowadzi do szybko postępującej jego degradacji i powstania stanu awaryjnego, wymagającego pilnej interwencji remontowej.

Remonty tramwajowych szlaków komunikacyjnych w aglomeracjach miejskich są najczęściej czasochłonne i wiążą się z wysokimi kosztami wykonawczymi i społecznymi. Coraz częściej głównym kryterium doboru technologii naprawy jest redukcja tych kosztów, przez zminimalizowanie czasu wyłączenia torowiska z eksploatacji. Wykorzystanie polimerowych złączy podatnych przy naprawie torowiska w Sosnowcu umożliwiło przywrócenie należytego stanu technicznego, przy jednoczesnym skróceniu czasu wyłączenia z eksploatacji i redukcji środków finansowych potrzebnych na jej realizację.

Literatura

1. Makuch J.: Torowiska tramwajowe – Wczoraj i dziś, IX Dolnośląski Festiwal Nauki,. Wrocław 2006.
2. Nowa A., Porębski R.: Ocena budowy i wstępnej eksploatacji niekonwencjonalnej nawierzchni tramwajowej w Poznaniu. IV Konferencja Naukowa „Drogi Kolejowa”, Warszawa-Jahranka 1987.
3. Zątek R.: Wielka płyta w torowisku tramwajowym. Transport Miejski 3/1988.
4. Krużyński M., Szydło A., Piotrowski A., Makuch J., Mazurkiewicz R., Trupkiewicz R.: Ocena stanu technicznego torowiska tramwajowego w ciągu ulic Nowowiejskiej i Piastowskiej we Wrocławiu. Instytut Inżynierii Lądowej Politechniki Wrocławskiej, Raport SPR 129/99, Wrocław 1999.
5. Szydło A.: Nawierzchnie drogowe z betonu cementowego. Teoria, Wymiarowanie, Realizacja. Polski Cement Sp. z o.o., Kraków 2004.
6. Kwiecień A.: Uszkodzenia betonowych nawierzchni lotniskowych. Konferencja Naukowo-Techniczna, Awarie Budowlane’09, Szczecin-Międzyzdroje 2009.
7. Kwiecień A.: Polimerowe złącza podatne w konstrukcjach murowych i betonowych. Monografia 414. Seria Inżynieria Lądowa. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2012.