miesięcznik naukowo-techniczny stowarzyszenia inżynierów i techników komunikacji RP

przegląd komunikacyjny

5
2013
rocznik LXVIII
cena 29,40 zł
w tym 5% VAT

UKAZUJE SIĘ OD 1945 ROKU

Strefa kolizji zwierząt z taborem kolejowym

Linia Hutnicza Szerokotorowa. Obszary dysfunkcji systemu transportowego miasta. Diagnostyczna ocena stanu wadliwości nowego torowiska tramwajowego. Zmiany w modelach biznesowych europejskich tradycyjnych przewoźników lotniczych.

ISSN
0033-22-32

Diagnostyczna ocena stanu
wadliwości nowego torowiska tramwajowego

Krzysztof Gradkowski

Na przykładzie nowego torowiska tramwajowego zbudowanego na moście trasy W-Z w Warszawie, szczegółowo analizowane są wszelkie defekty powstałe w wyniku technologii budowy systemu szyna w otulinie ERS. Związek przyczynowo- skutkowy pomiędzy stanem torowiska a etapami technologii jest wykazywany również na podstawie badań laboratoryjnych materiałów. Diagnostyczna ocena przyczyn braku szczelności torowiska pozwala na wskazanie odstępstw od etapowych warunków technicznej stosowalności. Konkluzje i wnioski artykułu pozwolą na uniknięcie błędów technologicznych stosowania sytemu ERS

Artykuł recenzowany zgodnie z wytycznymi MNiSW **data zgłoszenia do redakcji: 13.03.2013** **data akceptacji do druku: 09.04.2013**

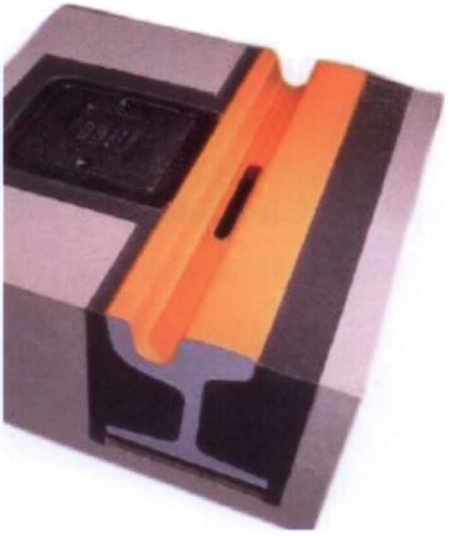
dr inż.
Krzysztof Gradkowski
Politechnika Warszawska,
Wydział Inżynierii Lądowej,
Zakład Inżynierii Komunikacyjnej
k.gradkowski@il.pw.edu.pl

Z ogólnych zasad realizacji inwestycji w inżynierii lądowej wiadomo, że jakość finalnych rozwiązań budowlanych – podobnie jak innych rozwiązań technicznych – jest ściśle zależna od:

- jakości rozwiązań przyjętych w dokumentacji projektowej będącej podstawą wykonania robót w ramach danej inwestycji budowlanej,
- jakości materiałowej i technologicznej wykonania robót inwestycji budowlanej zgodnie z zaprojektowanymi rozwiązaniami.

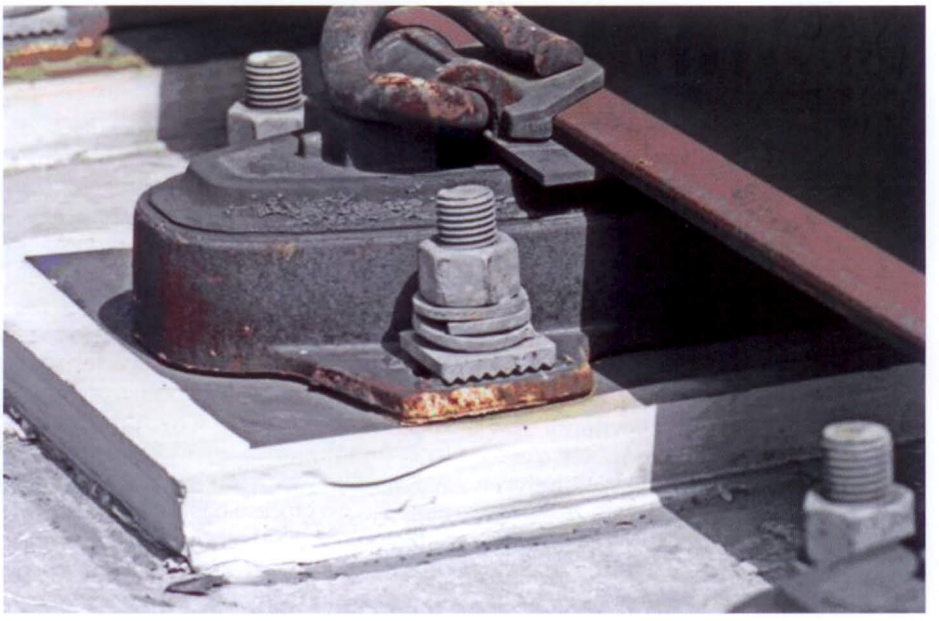
Rozwiązania projektowe nowych konstrukcji torowisk tramwajowych oparte są zazwyczaj na nowych, sprawdzonych i testowanych elementach oraz materiałach poszczególnych części składowych. Każdy projekt budowlany powinien być sporządzony w sposób kompetentny przez projektantów i w określonym trybie przewidzianym w Prawie budowlanym. Współczesne torowiska tramwajowe powstały w wyniku konieczności przystosowania do warunków środowiska miejskiego [3] oraz przy dużym udziale zastosowań tworzyw sztucznych [2].

Obecne rozwiązania konstrukcyjne zespolonych nawierzchni i podtorza tramwajowego nie stanowią już prototypów, lecz rozwiązania systemowe, sprawdzone na szeroką skalę w różnych aplikacjach, w tym na terenie Warszawy na Moście Poniatowskiego i Moście Marii Skłodowskiej-Curie oraz w lokalizacjach na terenie Wrocławia. Dominującą staje się konstrukcja torowiska tramwajowego z ciągłym, sprężystym podparciem i mocowaniem szyn, wykonana w systemie szyny w otulinie i określana skrótem ERS, (rys.**1**). W projektowanych rozwiązaniach systemu mocowania szyny i uszczelnienia strefy przyszynowej stosuje się żywiczną masę zalewową *Edilon Corkelast*, która jest przeznaczona do konstrukcji torowisk tramwajowych wykonywanych według systemu ERS w torowiskach wspólnych z jezdnią na stalowych i betonowych obiektach mostowych. System torowisk tramwajowych z obudowana szyną jest niejako przeciwstawny do rozwoju nowych systemów przytwierdzeń w kolejowych drogach szynowych, gdzie mamy do czynienia ze swoistą „ekspozycją" szyny i innym sposobem oraz zasadą wibroizolacji, (fot. **2**).



1. Zasada szyny w otulinie we współczesnych torowiskach tramwajowych

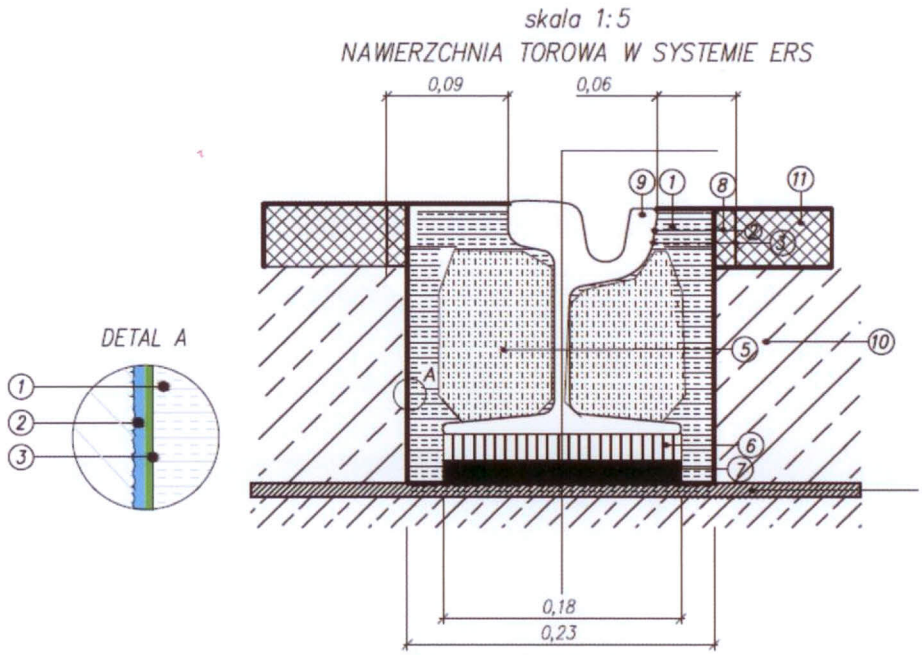
Jednym z przykładów bezpośredniego zastosowania nowej konstrukcji torowiska tramwajowego, spełniającego funkcję drogi szynowej i drogi samochodowej, jest wykonana konstrukcja na Moście Śląsko - Dąbrowskim (trasa W-Z) w Warszawie. Niewątpliwie nowoczesna funkcjonalność takiego rozwiązania zależna jest od skutecznej jakości technicznej uzyskanej w wyniku wymaga-



2. Nowe rozwiązania bloku przytwierdzeń izolujących szyny kolejowe

nej technologii budowy takiego torowiska. Zatem, szczegółowa analiza niedociągnięć, które miały i mogą mieć miejsce w podobnych przypadkach, może być pouczająca w uniknięciu analogicznych błędów. Konstrukcja rozpatrywanego przykładu torowiska, w wersji zaczerpniętej z dokumentacji powykonawczej, jest przedstawiona na rys.**3**.

W początkowym okresie gwarancyjnym eksploatacji tego torowiska wystąpiły jego wyraźne defekty i wady, których następstwem mógł być nawet stan awaryjny torowiska na całej długości Mostu Śląsko-Dąbrowskiego i przyległych strefach przyczółkowych. Był to też bezpośredni powód przeprowadzenia analizy zawartej w opinii [1]. Wadliwość konstrukcji dotyczyła głównie elementów oznaczonych liczbami „1" i „11" na rysunku 3 aczkolwiek jakość całego systemu konstrukcyjnego jest zależna również od pozostałych elementów składowych, a zwłaszcza materiałów gruntujących (tzw. primerów – tj. elementów oznaczonych na rysunku **3** jako „2"i „3"). Wady grupy B (zdefiniowane dalej) występowały strefowo wzdłuż toków szynowych, a pewna część odcinków nie wykazywała żadnych wad i była wykonana prawidłowo, (fot. **4**).



3. Przekrój konstrukcyjny nawierzchni torowej wykonanej w systemie szyny w otulinie w torowisku na Moście Śląsko-Dąbrowskim w Warszawie

Gdzie:
1 – Żywiczna masa zalewowa o trwałej elastyczności – Edilon Corkelast 70
2 – Powłoka gruntująca na ściankach i na dnie kanału szynowego
3 – Powłoka sczepna na ściankach i na dnie kanału szynowego
4 – Izolacja płyty nośnej mostu
5 – Wkładki do komór łubkowych (profile poliuretanowe)
6 – Ciągła, sprężysta przekładka podszynowa Edilon Resilient Strip 2000 0,16 m mocowana klejem Edilion Dex-G
7 – Warstwa wyrównawcza z Corkelast TO,
8 – Kanał szynowy w betonowej płycie podbudowy
9 – Szyna rowkowa typu 60R2
10 – Pyta torowa żelbetowa – zbrojenie wg projektu wykowaczego
11- Asfalt twardolany 0,045 m

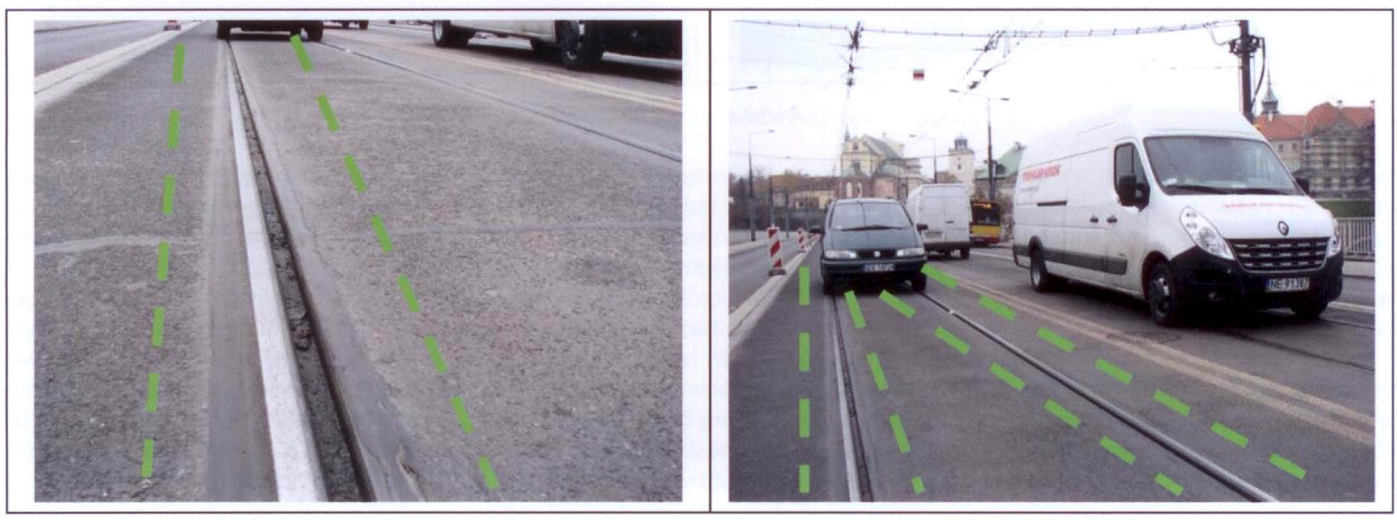
Wady konstrukcji torowiska tramwajowego na Moście Śląsko-Dąbrowskim w Warszawie

W wyniku szczegółowej inspekcji torowiska tramwajowego na wymienionym odcinku stwierdzono wady konstrukcji torowiska, dokonując ich ogólnego podziału na grupy ***A***, ***B***, ***C***. Ilustrację tych defektów stanowią głównie zdjęcia fotograficzne wykonane w okresie poprzedzającym bezpośrednio rozpoczęcie robót naprawczych, tj. usunięcie wadliwych elementów (materiału) konstrukcji torowiska oraz w fazie wstępnej wykonywania tych robót, tj. podczas lub po usunięciu elementów wadliwych. Wady sklasyfikowane w tych grupach charakteryzują się podobieństwem rodzajowym i strefą występowania w torowisku. Są to następujące grupy wad;

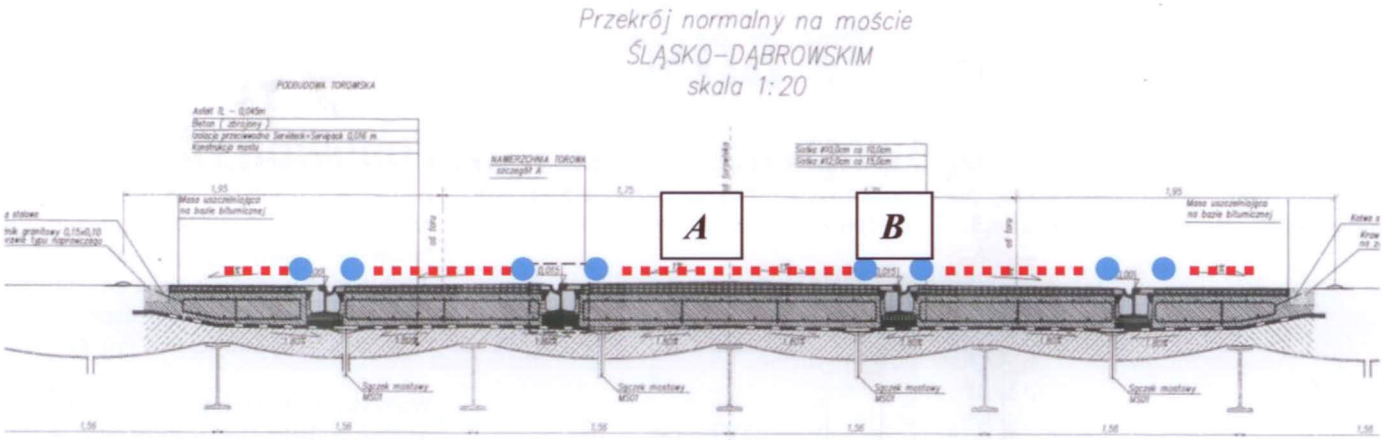
Grupa A – spękania warstwy bitumicznej (zabudowy torowiska stanowiącej nawierzchnię drogową), przebiegające poprzecznie do toru na kierunku zbliżonym do prostopadłego w stosunku do osi toru, przedstawione na ilustracjach **5** i **6**. (czerwona linia kropkowana).

Grupa B – odspojenia i spękania wypełnień uszczelniających strefę przyszynową (tzw. zalewek), wykonanych wzdłuż toków szynowych, przedstawione na ilustracjach **5** i **7** (niebieska linia kropkowana).

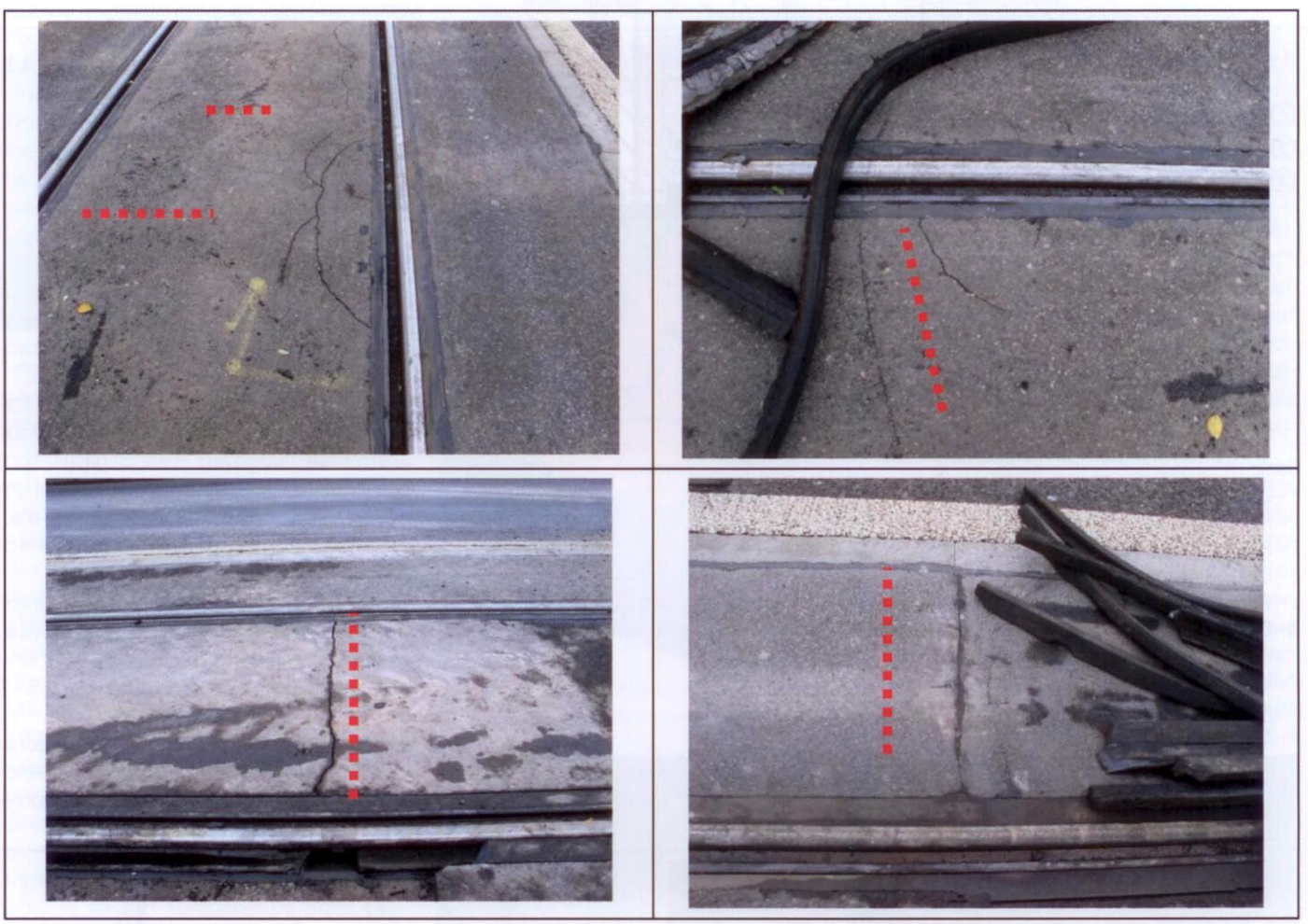
Grupa C – ubytki, wyłupania i wykruszenia bitumicznej nawierzchni drogowej i betonowej zabudowy torowiska w strefach przy-



4. Przykłady odcinków prawidłowej sczepności masy zarówno do asfaltu, jak i do szyn



5. Przekrój konstrukcji torowiska tramwajowego na moście Śląsko-Dąbrowskim z oznaczeniami stref występowania wad grupy A i B



*6. Przykłady wad grupy **A** w bitumicznej warstwie zabudowy torowiska*

ległych do dylatacji mostowej i do torowych urządzeń wyrównawczych, kompensujących wzajemne przemieszczenia podłużne szyn oraz nawierzchni drogowej w torowisku, oznaczone na ilustracjach **8** i **9** (zielone obramowanie).

Należy zauważyć, że zniszczenia ciągłości nawierzchni drogowo- szynowej jako torowiska tramwajowego w strefach dylatacji konstrukcji wiaduktu i pomostu w istocie były spowodowane innymi czynnikami niż omawiane dotąd wady torowiska na pomoście. Zasadniczy wpływ na powstanie tych zniszczeń wyniknął z koncentracji naprężeń w sekcji torowego urządzenia wyrównawczego, kompensującego wydłużenia temperaturowe szyn. Ponadto nie ustalone drgania krawędzi przyczółkowych, wywołane zmiennością sztywności podłoża i konstrukcji stalowych części urządzenia dylatacji, były dodatkowym powodem uszkodzeń. Ze względu na specyfikę konstrukcji torowiska w strefie dylatacji, w dalszej części artykuły szczegółowe przyczyny powstałych wad i zniszczeń w strefie dylatacji nie były rozpatrywane.

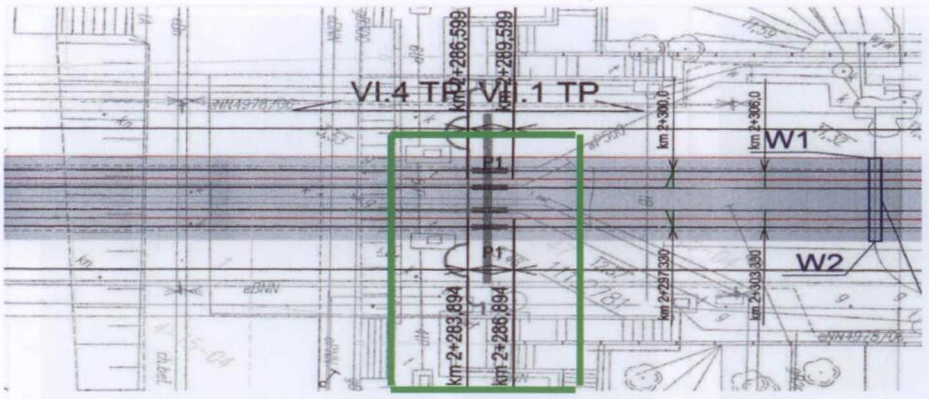
W ogólnej syntezie, zakres defektów torowiska tramwajowego na Moście Śląsko- Dąbrowskim można scharakteryzować następująco;

1. analiza dokumentacji projektowej pozwoliła na ustalenie i określenie stanu technicznego torowiska tramwajowego o konstrukcji wykonanej w systemie szyny w otulinie (ERS), objętego oględzinami, jako złego i niezgodnego z wymaganiami określonymi w dokumentacji technicznej, a także odbiegającego od powszechnie stosowanych wymagań

*7. Przykłady wad grupy **B** w bitumicznej warstwie zabudowy*

ogólnych wynikających z bezpieczeństwa eksploatacyjnego i funkcjonalności torowisk tramwajowych,

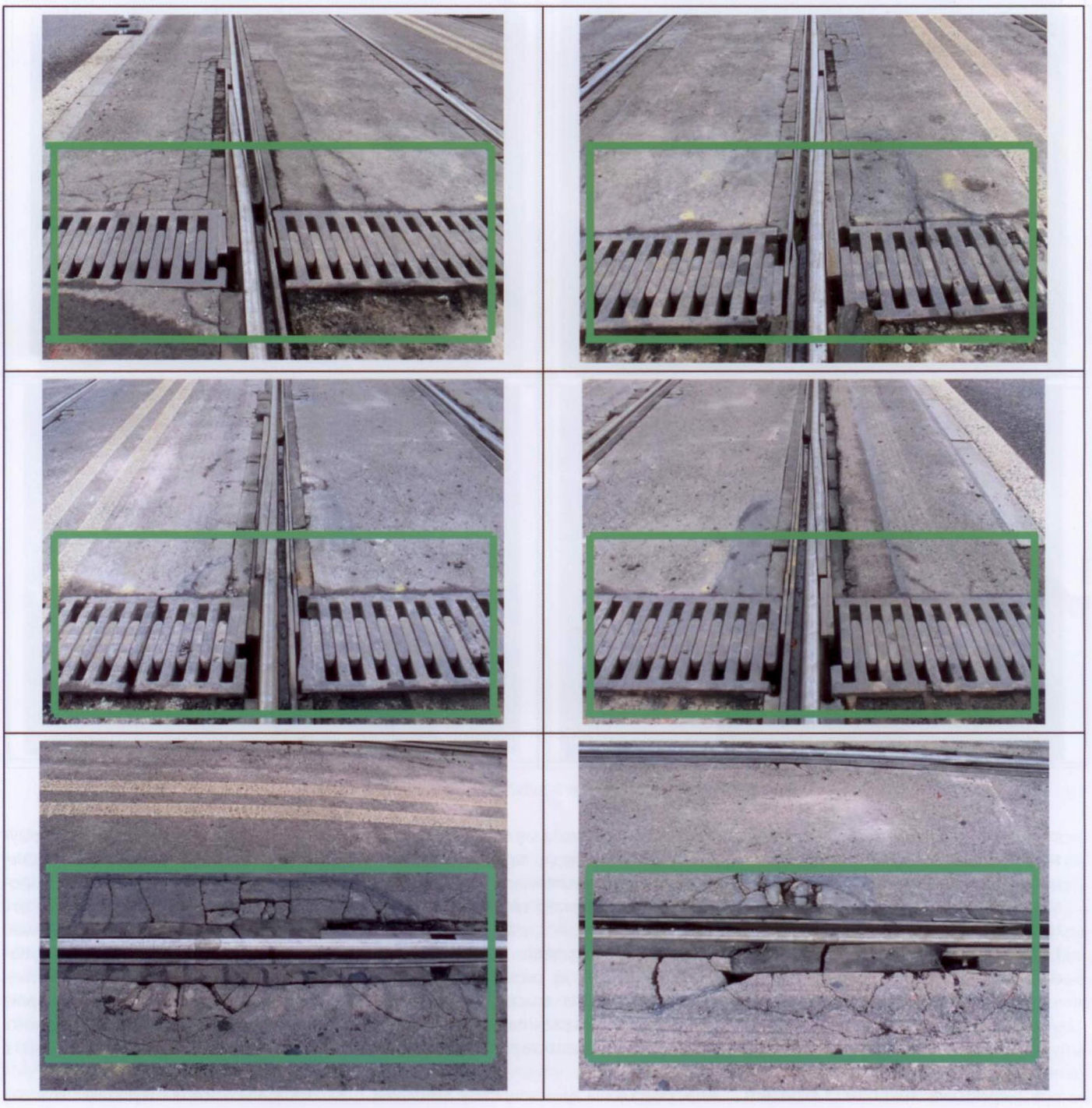
2. stan techniczny ocenianego torowiska tramwajowego na Moście Śląsko-Dąbrowskim wykazał następujące rodzaje wad;
   - spękania, wykruszenia i odspojenia górnej warstwy bitumicznej zabudowy torowiska stanowiącej nawierzchnię drogową. Odspojenia te wykazywały niewłaściwą sczepność z betonem podbudowy, tzn. bitumiczna warstwa ścieralna dawała się bez trudu odspajać, co wskazuje na brak odpowiedniego zagruntowania powierzchni betonowej przed ułożeniem warstwy bitumicznej,
   - lokalne odspojenia wskazanej wyżej warstwy od jej betonowego podłoża występują na znacznych powierzchniach wewnątrz i na zewnątrz toków szynowych toru oraz na tzw. międzytorzu,
   - odspojenia żywicznej masy zalewowej uszczelniającej strefę przyszynową zarówno od szyn, jak też od strony przyległej do szyn warstwy bitumicznej nawierzchni drogowej (asfaltu). Odspojenia te są jednak niejednorodne, tzn. występują przeważnie po stronie warstwy bitumicznej w strefie przyszynowej, ale także w niektórych innych miejscach. Stwierdzono ich występowanie tylko po stronie szyny (brak sczepności z szyną) przy prawidłowej sczepności z warstwa bitumiczną,
3. dokonana ocena wykazała znaczną nieregularność wskazanych wad pod



8. Plan z lokalizacją dylatacji mostowej i szynowych przyrządów wyrównawczych

względem ich zakresu i miejsc występowania, wskazującą na możliwą niejednorodność cech materiałowych lub warunków technologicznych wykonania wadliwych elementów torowiska,

4. niejednorodność cech materiałowych dotycząca najliczniejszej wady wymienionej powyżej przejawiała się także w nieregularnej porowatości struktury żywicznej masy uszczelniającej, zaobserwowanej na przekrojach (miejscach przecięcia lub rozerwania) odspojonych w ramach naprawy torowiska pasm tej masy, a także w występowaniu domieszki ziaren piasku stwierdzonych w niektórych jej przekrojach,



9. Stan zniszczeń torowiska w strefie szynowego urządzenia wyrównawczego i dylatacji

10. Uszczelniająca masa zalewowa – widoczna nieregularna porowatość jej struktury.

Analiza przyczyn powstałych wad torowiska tramwajowego

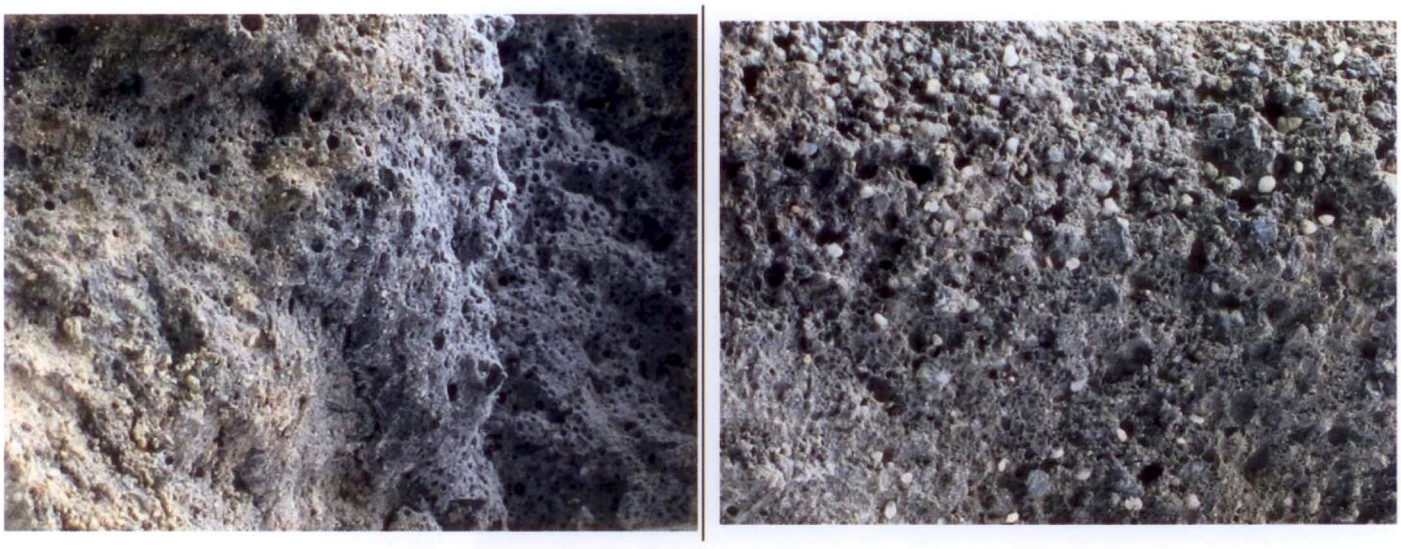
Opisany wyżej stan wadliwości torowiska uzasadniał ukierunkowanie analizy przyczyn wad konstrukcji torowiska tramwajowego na przyczyny materiałowo-technologiczne. Oględziny makroskopowe uszczelniającej masy zalewowej wzbudzały istotne wątpliwości co do jakości strukturalnej tej masy, (ilustracja **10**). W związku z tym dokonano pobrania próbek materiałów elementów składowych przedstawionych na fot.**11** i fot.**12**. Pobrane próbki materiału stanowiły kilkunastokilogramowe partie materiału stanowiące asfalt twardo-lany, bitumicznej warstwy ścieralnej oznaczonej na rysunku jako „11" i masę zalewową *Edilon Corkelast TO*, oznaczonej na rysunku jako „1".Mając na uwadze materiałowy aspekt potencjalnych przyczyn wadliwości należy rozumieć postać finalną materiałów wbudowywanych do torowiska, a nie cechy poszczególnych składników, z jakich je wykonano. Cechy składników w materiałach kompozytowych nie są obecnie możliwe do zbadania po chemicznych reakcjach wiązania i stwardnieniu materiału jako całości, za wyjątkiem określenia ilościowego udziału w gotowym wyrobie domieszek obcych (np. kruszywa). Cały materiał próbek pochodził z miejsc wycięć usuwanych wad torowiska przez firmę remontową.

Próbki asfaltu (masy mineralno – asfaltowej) zostały poddane ekstrakcji, która pozwoliła na określenie rodzaju materiału oraz ustalenie składu granulometrycznego kruszywa użytego do jego receptury. W zakresie identyfikacji masy mineralno – bitumicznej można ją zakwalifikować jako masę typu MA11 –asfalt lany, według WT-2, 2010.

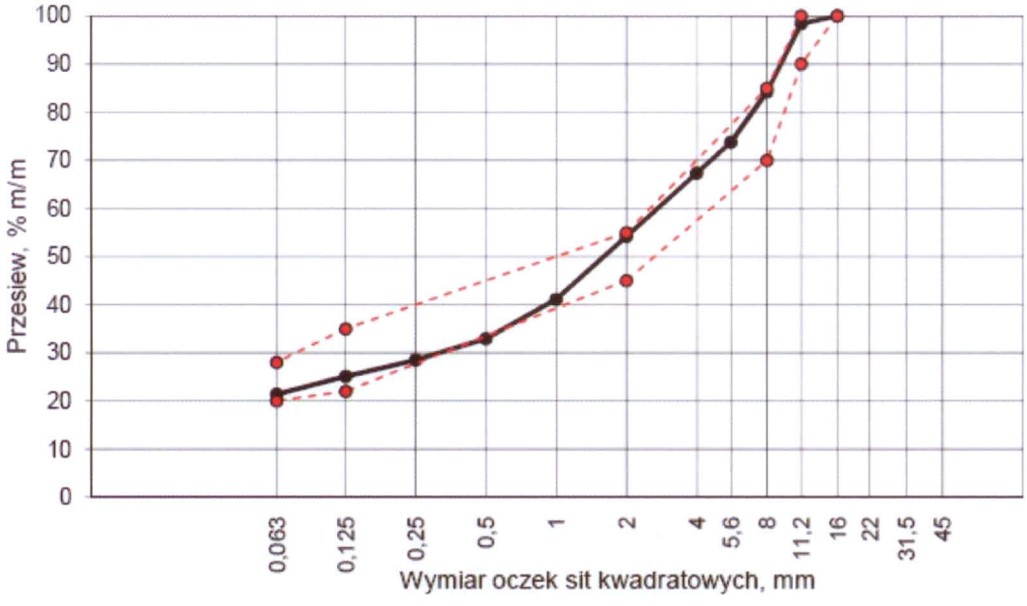
W odniesieniu do drugiego z wymienionych powyżej elementów (oznaczonego cyfrą „1" na przekroju konstrukcyjnym), którego dotyczy stwierdzona wadliwość (brak sczepności z uszczelnianymi elementami konstrukcji torowiska, tj. szyną i warstwą ścieralną z asfaltu twardolanego), należy stwierdzić, że zbadanie tej cechy na próbce stwardniałego materiału odspojonego od łączonych powierzchni nie jest możliwe, wobec nieodwracalności niektórych procesów i reakcji chemicznych. Na podstawie analizy dokumentów określających wymagania, jakie powinien spełniać ten materiał (Aprobata techniczna i Karta techniczna wyrobu), stwierdzono, że dokumenty te nie przewidują występowania w strukturze finalnego (stwardniałego) wyrobu domieszk w rodzaju wypełniaczy. Występowanie piasku w uszczelniającej masie zalewowej *Edilon Corkelast* stwierdzono w materiale usuwanym w ramach naprawy stwierdzonych wad. Dla oceny ilościowej tej domieszki (wagowo w całej masie próbki) wykonano badania metodą solwencji cieplnej pobranych próbek. Wynika z nich, że w masie zalewowej występowało do około **30% wagowo** piasku. Dodatkowym potwierdzeniem występowania zanieczyszczeń piaskiem w materiale masy zalewowej są fotografie **13** wykonane w warunkach badań laboratoryj-

11. Próbki masy mineralno asfaltowej

12. Próbki masy Edilon-Corkelast



13. Powiększenia struktury wewnętrznej próbki masy zalewowej Edilon-Corkelast



Rodzaj mieszanki

MA11 KR1-6		
Punkty graniczne uziarnienia		
Przesiew, % m/m		
Sito #, mm:	od	do
31,500		
22,400		
16,000	100,00	
11,200	90,00	100,00
8,000	70,00	85,00
5,600		
2,000	45,00	55,00
0,125	22,00	35,00
0,063	20,00	28,00
Zaw. lepiszcza		5,83%
	Bmin=	6,50%

14. Porównawcze granice wymaganych uziarnień kruszywa dla masy mineralno - asfaltowej

nych, przy kilkukrotnym powiększeniu przekroju próbki. Z fotografii struktury materiału wynika, że piasek ten występował w nierównomiernym nasyceniu masy żywicznej, tj. w stanie miejscowej koncentracji ziaren lub w miarę równomiernym ich nasyceniu, czyli w stanie równomiernego rozproszenia w całej objętości próbki. Relacje ilościowe pomiędzy tymi dwoma stanami fizycznymi w całym zbiorze pobranych próbek nie są praktycznie możliwe do określenia, jednak nie ma to większego znaczenia dla oceny wpływu tego odstępstwa od normatywnego składu masy zalewowej na jej cechy sczepne. Sam fakt występowania domieszki piasku w strukturze masy zalewowej ma niewątpliwie znaczenie dla takich wymaganych funkcji tej masy jak:

- sprężystość, czyli podatność na sprężyste odkształcenia wskutek eksploatacyjnych obciążeń szyny,
- wytrzymałość – zwłaszcza zmęczeniowa – w zakresie obciążeń ścinających stanowiących zasadniczą postać obciążeń działających na masę zalewową,
- sczepność wskutek zmniejszenia przez ziarna piasku powierzchni kontaktowej, aktywnej pod względem tej cechy.

Wpływ piasku stwierdzonego w strukturze masy zalewowej – nie przewidywanego jej recepturą, a tym samym stanowiącego stan niepożądany, należy ocenić ogólnie jako niekorzystny i stanowiący wysoce prawdopodobną przyczynę stwierdzonych wad konstrukcji torowiska w strefie uszczelnienia główki szyny.

W ocenie uzyskanych wyników należy jednak zastrzec, że pobrane próbki są bezpośrednio pobierane z dowolnych, przypadkowych miejsc w ilości nie zawsze stanowiącej pełną reprezentację statystyczną, pozwalającą na jednoznaczne, udokumentowane ilościowo sformułowanie wniosków odnośnie ustalenia przyczyn powstania pozostałych wad konstrukcji torowiska na Moście Śląsko – Dąbrowskim. Wykonanie znacznej ilości badań to koszt kilkuset tysięcy złotych. Nie mniej, analityczne wyniki określenia składników poszczególnych materiałów, można uznać za reprezentatywne, bowiem pozwalają jednoznacznie stwierdzić, że,

- mieszanka mineralno – asfaltowa, jej krzywa uziarnienia miała zaledwie ograniczenie minimalne ilości kruszywa wypełniającego masę bitumiczną (piasku), o niedostatecznych parametrach zagęszczalności (kształt krzywej uziarnienia, (rys.**14**), co oznacza jej zaledwie dostateczną jakość i która mogła być w warunkach intensywnej eksploatacji i obciążenia ruchem jedną z przyczyn poprzecznych spękań zabudowy bitumicznej torowiska tramwajowego, zawartość bitumu w próbce była niedostateczna i wynosiła 5,8% zamiast minimalnej zawartości lepiszcza 6,5%, (wady grupy A),

- masa zalewowa (żywica uszczelniająca) zawierała piasek w samej wewnętrznej strukturze materiału i na powierzchniach kontaktowych, a zawartość drobnych ziaren kruszywa, ustalona wagowo, wynosiła 29,1% (wady grupy B),
- zniszczenia ciągłości nawierzchni w strefach dylatacji konstrukcji wiaduktu i pomostu były spowodowane dodatkowymi wpływami koncentracji naprężeń w sekcji torowego urządzenia wyrównawczego oraz drganiami nie ustalonymi wywołanymi zmiennością sztywności podłoża i konstrukcji w torowisku tramwajowym (wada grupy C).

Wnioski ogólne

1. Wadliwość eksploatowanej konstrukcji torowiska tramwajowego na Moście Śląsko-Dąbrowskim w Warszawie była zjawiskiem destrukcji narastającej ilościowo w czasie i przejawiającej się w postaci pęknięć i szczelin na powierzchni zabudowy torowiska, a zwłaszcza w jego strefach przyszynowych.
2. Brak jest przesłanek mogących stanowić podstawę hipotezy, że przyczyną stwierdzonych wad są niewłaściwe rozwiązania projektowe konstrukcji remontowanego torowiska tramwajowego. Najbardziej prawdopodobne przyczyny tych wad stanowią czynniki materiałowo-technologiczne związane z procesem wykonania torowiska.
3. Jednoznaczne wskazanie przyczyn stwierdzonych wad na podstawie badań materiałowych próbek pobranych po ok. 3 latach od ich wykonania z usuwanych, wadliwych elementów konstrukcji torowiska i występujących w stanie finalnego produktu (stwardniałej masy zalewowej wykonanej na bazie z żywic poliuretanowych dwu składników oraz stwardniałych warstw masy bitumicznej) jest obecnie ograniczone, a w niektórych aspektach wręcz niemożliwe. Możliwe jest jedynie sformułowanie i uzasadnienie hipotez takich przyczyn.
4. Hipotetycznymi przyczynami stwierdzonych wad jest zbieg kilku czynników technologiczno-materiałowych, z których tylko część materiałowa jest możliwa do oceny opartej na mierzalnych parametrach. Wiele czynników technologicznych, istotnych dla prawidłowego wykonawstwa robót, jest obecnie niemożliwa do oceny za względu na ich zanikający i doraźny charakter. Do czynników tych należą np. warunki oczyszczenia i zagruntowania powierzchni kontaktowych uszczelnianych elementów oraz warunki termiczne ułożenia i zagęszczenia warstw asfaltu.
5. Najbardziej prawdopodobną tezą o zaistnieniu niekorzystnych przyczyn materiałowych jest niedostateczna jakość mieszanki mineralno-bitumicznej (asfaltu) i wystąpienie niepożądanych domieszek piasku w składzie żywicznej masy zalewowej, potwierdzonych badaniami laboratoryjnymi próbek tej masy. ◀

Materiały źródłowe

[1] Gradkowski K.: Technologiczne defekty torowiska tramwajowego na trasie mostu W-Z w Warszawie. Opinia dla Sądu Gospodarczego w Warszawie, luty 2013, stron 30

[2]. Makuch J.: Zastosowanie tworzyw sztucznych w nowoczesnych rozwiązaniach torowiska tramwajowych w Polsce. Plik pdf na www, dostęp 12.12.2012.

[3]. Oleksiewicz W.: Nowoczesne konstrukcje torowisk tramwajowych. Konferencja Naukowo Techniczna Miasto-Transport 2006. Prezentacja.