ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2005
Seria: BUDOWNICTWO z. 103 Nr kol. 1692

Jacek MAKUCH
Politechnika Wrocławska

BŁĘDY W PROJEKTOWANIU I WYKONAWSTWIE NOWYCH ROZWIĄZAŃ KONSTRUKCJI TORÓW TRAMWAJOWYCH

Streszczenie. W artykule rozpoznano przyczyny rozpoczęcia stosowania nowych rozwiązań konstrukcji torów tramwajowych. Zwrócono uwagę na dużą ilość błędów pojawiających się na etapie projektowania, jak i wykonawstwa konstrukcji tych torów. Przeanalizowano zagadnienia związane z podparciem, zamocowaniem i zabudową szyny. W podsumowaniu wskazano na możliwe sposoby rozwiązania przedstawionych problemów.

DESIGN ERRORS AND CONSTRUCTION DEFECTS OF TRAM TRACK NEW SOLUTIONS

Summary. The causes of applying new solutions for track construction were recognized. Special focus was given on a big number of errors in the design and construction of the solutions. Elements such as rail support, fastenings and fulfillment were analyzed. In conclusion possible solutions to the discussed problems were presented.

1. Wstęp

W miastach polskich eksploatujących tramwaje działalnością naprawczą i utrzymaniową w zakresie torów tramwajowych do końca lat 80. zajmowały się miejskie przedsiębiorstwa komunikacji, wykorzystując własne zakłady torowe. Stosowały one wypracowane przez siebie rozwiązania konstrukcyjne i technologiczne, zwykle zaspokajając występujące potrzeby remontowe. U schyłku tego okresu zakres środków przeznaczanych na remonty torów z roku na rok ulegał ograniczeniu, w efekcie czego proces ich degradacji w większości miast prześcignął tempo dokonywanych remontów. Pojawiła się pilna potrzeba opracowania i rozpoczęcia stosowania nowych, trwalszych rozwiązań.

W początku lat 90. w naszym kraju rozpoczęto wprowadzanie reformy ustrojowej, której efektem były zmiany w modelu zarządzania komunikacją zbiorową. Wprowadzenie gospodarki rynkowej doprowadziło do zbliżenia poziomu cen produktów krajowych i zagranicznych, w wyniku czego możliwy stał się import technologii z państw rozwiniętych. Nastąpił wzrost aktywności producentów z branży torów tramwajowych, zainteresowanych promocją i sprzedażą swych produktów i rozwiązań. W efekcie tych przeobrażeń, w stosunku do tradycyjnych typów konstrukcji torów tramwajowych stosowanych w miastach polskich przed początkiem lat 90., po tym okresie nastąpiło rozpowszechnienie się wielu nowatorskich rozwiązań [1, 2].

O ile w przypadku torów tramwajowych wydzielonych z jezdni, gdzie stosuje się sprawdzone w dużo cięższych warunkach pracy rozwiązania zaczerpnięte z kolei, nowe konstrukcje nie powodują niespotykanych dotąd problemów w utrzymaniu i eksploatacji, to inaczej bywa w przypadku nowych rozwiązań torów wbudowanych w jezdnię, które niekiedy już po krótkim okresie eksploatacji ujawniają swoje mankamenty albo też nie przynoszą spodziewanych efektów. Powodem jest stosunkowo duża ilość błędów pojawiających się na etapie projektowania, jak i wykonawstwa konstrukcji tych torów.

2. Podparcie szyny

Poprawnie zaprojektowany i zbudowany tor, będący w stanie zdatności eksploatacyjnej, ze względu na zapewnienie właściwego rozkładu obciążeń eksploatacyjnych oraz tłumienie drgań powinien być elastyczny, tzn. pod wpływem przejazdu pojazdu szynowego powinien ulegać odkształceniom:

- sprężystym (ustępującym po odciążeniu toru),
- jednorodnym (o tej samej wartości na długości toru),
- nie przekraczającym pewnych granicznych wielkości wynikających z warunków użytkowania.

W klasycznym torze jego elastyczność uzyskuje się na tłuczniu i podkładach drewnianych, a w przypadku podkładów strunobetonowych - na przekładkach podszynowych.

W tramwajowych torach wbudowanych w jezdnie zamiast podkładów i podsypki najczęściej stosuje się sztywne płyty betonowe lub żelbetowe. Elementem zapewniającym elastyczność toru jest materiał pojawiający się pomiędzy stopką szyny a wierzchem podbudowy betonowej. Najczęściej są to tworzywa sztuczne, stosowane w formie prefabrykatów (przekładki, taśmy) albo wykonywane na budowie (podlewy). Stosowane są też dwa modele podparcia szyny: ciągły albo punktowy (strefowy).

Podstawowym błędem popełnianym przy projektowaniu i wykonawstwie podparcia szyny jest zastosowanie nieodpowiedniej sztywności tego podparcia zarówno co do samej wartości, jak i jej zmienności na długości toru. Najczęstsze powody powstawania wymienionych błędów to:

a) zastosowanie nieodpowiedniego materiału,
b) niedokładne wykonanie,
c) zmiana kolejności (uproszczenie) technologii wykonania prowadząca do zmiany modelu pracy toru.

2.1. Zastosowanie nieodpowiedniego materiału

Sztywność materiałów stosowanych do podlewów ciągłych pod stopką szyny z definicji powinna być co najmniej dwukrotnie mniejsza od sztywności materiałów stosowanych na podlewy punktowych podpór. Tymczasem częstą praktyką w zakresie inwestycji realizowanej przez jednego wykonawcę, gdzie w rozjazdach pod zwrotnicami i krzyżownicami stosuje się podlew ciągły, natomiast w pozostałych torach podlew punktowy, jest stosowanie jednego tylko rodzaju materiału podlewowego i to wybranego nie ze względu na pożądaną sztywność, lecz ze względu na korzystną cenę.

W przypadku przekładek nie każdy ich rodzaj stosowany z powodzeniem w torach odkrytych nadaje się do zastosowania w torach wbudowanych w jezdnie ulic. Przykładowo guma posiadająca współczynnik Poissona bliski 0,5 dla wykazania elastyczności w kierunku pionowym potrzebuje swobody odkształcenia w kierunku poziomym, co w konstrukcjach torów wbudowanych nie zawsze jest możliwe. Dlatego w tej sytuacji bardziej odpowiednie są

przekładki nie z pełnej gumy, lecz rowkowane lub otworowane, a najlepiej z wewnętrznymi (zamkniętymi) pustkami powietrznymi, gdyż w przypadku torów wbudowanych zwykle nie udaje się utrzymać ich szczelności przez cały okres eksploatacji [3] i woda z opadów atmosferycznych przenikająca w głąb konstrukcji pozostawia w otwartych pustkach powietrznych piasek i brud, a zimą po prostu zamarza, przez co własności elastyczne przekładek ulegają zmianie. Innym korzystnym rozwiązaniem są kompozyty gumy i materiału posiadającego współczynnik Poissona bliski zeru (np. korek).

W przypadku wbudowanego w jezdnię toru na podporach punktowych materiał umieszczany pod stopką szyny na odcinkach pomiędzy podporami powinien pełnić jedynie rolę wypełniacza (nie powinien brać udziału w przenoszeniu obciążeń, a jedynie zapewnić szynie swobodę ugięcia oraz szczelne wypełnienie przestrzeni w celu ochrony przed gromadzeniem się wody i zanieczyszczeń). Częstym błędem jest stosowanie w tym wypadku zbyt twardych materiałów (najczęściej bitumicznych mas podlewowych), w wyniku czego tor taki pracuje w sposób niezgodny z teoretycznymi założeniami, według których został zaprojektowany, gdyż:

- masy podlewowe, które miały pełnić jedynie rolę wypełniacza, stają się tak naprawdę podporą przekazującą obciążenia na betonową podbudowę, co może powodować ich szybką degradację,
- tor taki nie daje efektu tłumienia drgań, jaki zapewnić miały materiały wibroizolacyjne zastosowane w podporach (żywice poliuretanowe oraz elastomery modyfikowane),
- zniszczenie mas podlewowych (rozszczelnienie) może powodować dalszą degradację następnych elementów składowych konstrukcji toru.

W wyniku badań ugięć szyny przeprowadzonych we Wrocławiu w roku 2001 dla sześciu przebadanych torowisk tego typu uzyskano rzeczywiste ugięcia szyny średnio czterokrotnie mniejsze od teoretycznych [4], wyliczonych na podstawie sztywności zastosowanych materiałów i modelu pracy toru zgodny z dokumentacją projektową. Przykład ten jest o tyle ważny, iż pokazuje, że nie zawsze zastosowanie drogich materiałów wibroizolacyjnych idzie w parze z wykorzystaniem w pełni ich właściwości.

W warunkach wrocławskich innym, dość często popełnianym, błędem jest przykład pokazany na rys.1.

Rys.1. Skokowa zmiana sztywności podparcia szyny (Wrocław - skrzyżowanie ul. Traugutta i Krasińskiego, 2003 r.)

Fig.1. Stepwise change of rail support stiffness (Wrocław – cross roads of Traugutta and Krasińskiego, 2003 r.)

Podpora szynowa zawierająca aż dwie przekładki elastyczne (podszynową i podpodkładkową) sąsiaduje bezpośrednio z blokiem krzyżownicy posadowionym na podbudowie betonowej za pośrednictwem sztywnych podpór z betonu epoksydowego. Błąd ten wynika najprawdopodobniej ze słabej znajomości cech tworzyw sztucznych, a konkretnie mylenia żywic poliuretanowych (elastycznych) z epoksydowymi (sztywnymi).

2.2. Niedokładne wykonanie

Sztywność przekładek i podlewów zmienia się wraz ze zmianą ich grubości. Niedopuszczalną praktyką jest więc wykorzystywanie podlewów albo przekładek podszynowych do korygowania różnic wysokości pomiędzy spodem stopki szyny a wierzchem podbudowy betonowej, spowodowanych niedokładnym jej wykonaniem. Co prawda mogą do tego zachęcać sami producenci materiałów podlewowych, którzy reklamują swoje wyroby przedstawiając jako zaletę mniejszą, niż w przypadku przekładek, konieczność precyzyjnego wykonania wierzchu warstwy podbudowy betonowej. Zarówno podlewy jak i wkładki na sąsiednich podporach oraz na długości podparcia ciągłego powinny mieć porównywalną grubość. Nierówności wierzchu podbudowy betonowej należy niwelować materiałami o sztywnościach takich jak podbudowa betonowa (epoksydobetony albo cementowe zaprawy szybkowiążące). Innym rozwiązaniem mogłoby być zróżnicowanie sztywności materiału podlewowego albo przekładki i uzależnienie go od grubości i modelu podparcia szyny, lecz wymagałoby to dodatkowych obliczeń i szczególnej uwagi przy wbudowywaniu.

Utrzymanie stałej grubości przekładek oraz podlewów niestety często nie jest przestrzegane. Nierzadką praktyką jest "upychanie" takiej liczby przekładek podszynowych albo podpodkładkowych, aby wypełnić lukę pod podpieranym elementem. W przypadku realizowanych na przestrzeni ostatnich kilku lat we Wrocławiu remontów rozjazdów tramwajowych, w których zastosowano podlewy krzyżownic, w obrębie tych samych węzłów odległości pomiędzy spodami blach podkrzyżownicowych przygotowanych do wykonania podlewu a wierzchem podbudowy betonowej wahały się od 5 do 30 mm, czyli różniły się między sobą aż sześciokrotnie !

W przypadku stosowania rowkowanych lub otworowanych przekładek należy na etapie wykonawstwa szczególnie zadbać o to, aby po umieszczeniu w torze rowki i otwory przekładek pozostały wolne od zanieczyszczeń (piasek, beton), gdyż - jak już wspomniano - powoduje to zmianę ich własności elastycznych. Bardzo korzystne byłoby opracowanie taśmy podszynowej dla toru węgierskiego z wewnętrznymi (zamkniętymi) pustkami powietrznymi, gdyż, jak wykazują przypadki awaryjnych napraw tego toru, już po kilku latach eksploatacji rowki taśm podszynowych ulegają wypełnieniu stwardniałymi zanieczyszczeniami.

2.3. Zmiana kolejności technologii wykonania

Przekładki dołkowane charakteryzują się większą elastycznością w stosunku do przekładek płaskich ale tylko wtedy, jeśli przylegają do sztywnych płaskich powierzchni. Podczas remontu skrzyżowania ul. Pomorskiej i Dubois we Wrocławiu w roku 1998 zamieniono kolejność wykonania betonowej podbudowy toru w stosunku do montażu punktowych podpór szyny, w efekcie czego poliuretanowe dołkowane przekładki podpodkładkowe zostały obetonowane od spodu betonem podbudowy torowiska, co obniżyło ich elastyczność.

Kolejnym przykładem podobnych działań może być remont torowiska w ul. Grabiszyńskiej przy placu Pereca w roku 2000, gdzie w wyniku analogicznej zmiany

kolejności wykonania podbudowy betonowej podkładki żebrowe oparły się nie tylko na zastosowanym podlewie poliuretanowym, ale na znacznie bardziej sztywnych poliamidowych dyblach zabetonowanych w podbudowie, a służących do osadzenia wkrętów kotwiących podkładki żebrowe.

Na szczęście dwa przedstawione przykłady nie powodują na tyle dużych zmian sztywności podparcia szyny, aby miało to zagrażać przedwczesną destrukcją toru.

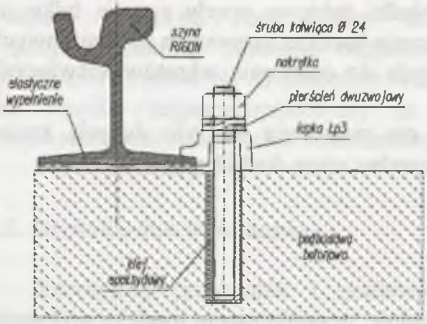
3. Zamocowanie szyny

W tramwajowych torach wbudowanych w jezdnie o punktowym modelu podparcia stosuje się sposoby zamocowania identyczne lub analogiczne jak w torach kolejowych: klasycznych (na poprzecznych podkładach) lub niekonwencjonalnych (na punktowych podporach), czyli rozwiązania sprawdzone, nie powodujące niespotykanych dotąd problemów. Szyny najczęściej mocuje się do podbudowy betonowej za pośrednictwem podkładek żebrowych (PT180) z łapkami sztywnymi (Łp) albo sprężystymi (skl), podkładki żebrowe natomiast za pomocą śrub kotwiących wklejanych klejem epoksydowym we wcześniej wywiercone w podbudowie betonowej otwory albo stosując wkręty kolejowe i poliamidowe dybli wbetonowanych w podbudowę.

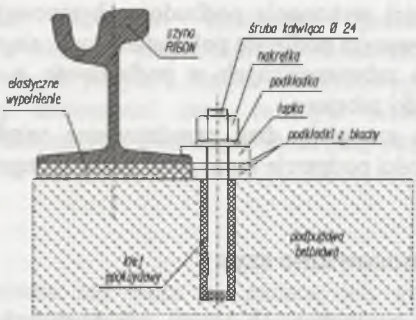
Inaczej jest w przypadku tramwajowych torów wbudowanych w jezdnie o ciągłym modelu podparcia. Co prawda konstrukcje z szynami zamocowanymi wkładkami gumowymi (tor węgierski) albo zalanymi w całości masami z tworzyw sztucznych w korytach prefabrykowanych żelbetowych płyt nawierzchni jezdni i torowiska nie potrzebują dodatkowego kotwienia szyn, jednak ze względu na duże zużycie drogich materiałów zalewowych ten drugi typ rozwiązania stosuje się rzadko. Dlatego najczęściej elastyczny ciągły podlew albo przekładka pojawiają się jedynie pod stopką szyny. Zabudowa typu drogowego występująca po bokach szyny nie zapewnia wystarczającego jej zamocowania i potrzebne jest dodatkowe kotwienie szyny do podbudowy betonowej. I tu pojawiają się rozmaite rozwiązania, będące adaptacjami mocowań szyn do podkładek żebrowych albo torów podsuwnicowych, które niestety nie zawsze okazują się być rozwiązaniami udanymi.

Na rysunku 2 przedstawiono sposób mocowania z wykorzystaniem łapek Łp. Niestety brak żebra podkładki powoduje skłonność prezentowanego mocowania do obracania się wokół śruby kotwiącej. Mankamentem jest również fakt, że zewnętrzne ramię łapki opiera się na betonie, co powoduje jego wykruszenia, a w efekcie luzowanie się mocowania. Na podstawie obserwacji napraw zabudowy drogowej wrocławskich torowisk z zastosowaniem omawianego typu mocowania stwierdzono, że około połowa mocowań po kilkuletnim okresie eksploatacji jest "przekrzywiona" albo wręcz ulega uszkodzeniu.

Na rysunku 3 przedstawiono sposób mocowania z wykorzystaniem łapek dla torów podsuwnicowych. Wadą tego rozwiązania jest brak sprężystego docisku szyny, czyli w efekcie brak elastyczności mocowania w kierunku "do góry" (unoszenie szyny) oraz poluzowanie szyny w momencie jej ugięcia. Podobnie jak w poprzednim rozwiązaniu mocowanie oparte na jednej śrubie kotwiącej wykazuje tendencję do obracania się podkładek, co może powodować wsuwanie się ich pod stopkę szyny, a w efekcie punktową zmianę sztywności podparcia szyny.



Rys.2. Mocowanie szyny do podbudowy betonowej łapką Łp3
Fig.2. Fixing of rail to concrete foundation with the use of clamp Łp 3



Rys.3. Mocowanie szyny do podbudowy betonowej łapką toru podsuwnicowego
Fig.3. Fixing of rail to concrete foundation with the use of crane track's clamp

4. Zabudowa szyny

W tramwajowych torach wbudowanych w konstrukcje jezdni drogowych zabudowa przestrzeni okołoszynowej powinna zapewnić:
- wzajemną niezależność ugięć szyny i nawierzchni drogowej,
- szczelność połączenia.

W celu spełnienia pierwszego z warunków, komory szynowe nie powinny być wypełniane materiałem będącym kontynuacją warstw drogowej zabudowy śródtorzy i międzytorzy (rys.4). Powinny to być osobne wkładki, które razem z szyną utworzą jeden blok, odseparowany od reszty zabudowy drogowej szczelinami dylatacyjnymi.

Rys.4. Wypełnienie komór szynowych betonem zabudowy śródtorza i międzytorza (Łódź – skrzyżowanie ul. Legionów i ul. Zachodniej, 2002 r.)
Fig.4. Filling rail chambers with concrete of intertrack space (Łódź – cross rods of Lgionów Street and Zachodnia Street, 2002)

W przypadku wrocławskich torowisk jedynym materiałem używanym jak dotychczas do wypełniania komór szynowych są prefabrykowane bloczki betonowe. Idea zastosowania betonu jako tworzywa wkładek wynika z dużej jego masy, przez co uzyskuje się obniżenie

podatności szyn na wpadanie w drgania od poruszającego się po torze taboru. Jednakże idea ta pozostaje słuszna pod jednym warunkiem - zapewnienia trwałego zespolenia wkładek z szyną, co wymaga zastosowania elastycznej warstwy klejącej o odpowiedniej grubości. Tymczasem we wrocławskich torach wkładki te są wklejane na zaprawy ogólnobudowlane, w efekcie czego jeszcze przed wykonaniem reszty zabudowy drogowej ulegają one odspojeniu od szyn (rys.5), a w gotowym torze stanowią osobny element drgający, emitujący przez to dodatkowy hałas oraz powodujący rozszczelnienie nawierzchni. Uzyskuje się w ten sposób efekt odwrotny do zamierzonego. Potwierdzeniem tych spostrzeżeń mogą być wyniki przeprowadzonych odkrywek podczas ekspertyzy [5], gdzie po 5 latach eksploatacji toru wkładki komór szynowych zamieniły się w luźny gruz betonowy, przejazdom tramwajów towarzyszył zaś charakterystyczny hałas podobny do odgłosu kamieni w potrząsanej miednicy, a po opadach deszczu dodatkowo pojawiały się wychlapy o konsystencji gęstej zawiesiny wody wymieszanej z pyłem z rozkruszonych elementów betonowych.

Rys.5. Wypadanie bloczków betonowych z komór szynowych (Wrocław - plac Strzegomski, 2005 r.)
Fig.5. Falling out of concrete blocks from rail chambers (Wrocław – Strzegomski Square, 2005)

Do wypełnienia komór szynowych znacznie bardziej nadają się wkładki z elastycznych tworzyw sztucznych. Wskazane jest, aby wkładki te wystawały poza komory szynowe o ok. 3 cm, co dzięki ich elastyczności pozwoli na uzyskanie pionowej szczeliny dylatacyjnej pomiędzy blokiem szyny a drogową zabudową torowiska. W pionie wkładki te powinny sięgać ok. 3 cm poniżej poziomu główki szyny, gdyż górną część styku szyny z nawierzchnią drogową (miejsce najbardziej narażone na rozszczelnienie) korzystniej jest wypełnić masą zalewową o dobrych własnościach adhezyjnych w stosunku do stali szynowej i materiału zabudowy drogowej oraz o wystarczająco wysokiej temperaturze mięknienia (okresy letnich upałów).

W przypadku łączenia toków szynowych poprzeczkami torowymi należy również obłożyć je odpowiednimi materiałami, tak aby uzyskać pożądaną swobodę ich ruchów pionowych.

W przypadku zabruku torowiska kostką kamienną lub betonową nie należy stosować zbyt drobnych kostek w strefie przyszynowej, gdyż będzie to prowadziło do szybkiego poluzowania się elementów zabruku i w efekcie rozszczelnienia nawierzchni.

5. Podsumowanie

Zastosowanie nowych technologii oprócz doskonalenia dotychczasowych rozwiązań zwykle niesie ze sobą nowe problemy. Tak jest i w przypadku stosowania nowych rozwiązań konstrukcji torowisk tramwajowych. Początkowy okres ich eksploatacji należy wykorzystać na wychwycenie i usunięcie pojawiających się błędów.

W świetle przedstawionych problemów dużego znaczenia nabierają szczegółowe specyfikacje techniczne. Są one dokumentem formalno-technicznym, określającym między innymi wymagania w zakresie wykonania i odbioru robót. Ich stosowanie jest obowiązkowe w przypadku dróg krajowych, a zalecane w przypadku pozostałych dróg. Zadaniem projektantów jest więc określanie w specyfikacjach parametrów stosowanych tworzyw oraz technologii ich wbudowania, tak aby ustrzec się przed praktykami polegającymi na zastępowaniu materiałów ich tańszymi ale gorszymi odpowiednikami. Z drugiej strony nie należy podawać w specyfikacjach technicznych wymagań tak wysokich, że nie spełnia ich jak dotąd żadne tworzywo.

Ze strony producentów materiałów wykorzystywanych w konstrukcjach torowisk tramwajowych wskazane jest z kolei określanie wszelkich niezbędnych charakterystyk i parametrów oraz technologii i warunków wbudowania produktów. Charakterystyki te powinny być określane na próbkach o wymiarach i w warunkach odpowiadających rzeczywistym warunkom pracy tych produktów w torach tramwajowych.

Dostawcy nowych technologii nie powinni poprzestawać jedynie na uzyskaniu certyfikatów i aprobat dopuszczających stosowanie swych produktów w konstrukcjach torów tramwajowych, lecz powinni dostarczać również warunki techniczne ich stosowania. Wskazane jest organizowanie przez producentów nowych technologii szkoleń z zakresu ich stosowania dla pracowników wykonawców robót oraz oferowanie nadzoru podczas budowy.

Literatura

1. Makuch J.: Konstrukcje torowisk tramwajowych stosowanych we Wrocławiu od początku lat 90., IX Konferencja Naukowa "Drogi Kolejowe", Kraków - Kościelisko 1997
2. Makuch J.: Zastosowanie tworzyw sztucznych w nowoczesnych rozwiązaniach konstrukcji torowisk tramwajowych w Polsce, XLVII Konferencja Naukowa Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN i Komitetu Nauki PZITB, tom 4 - Inżynieria Komunikacyjna, Krynica 2001
3. 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
4. Makuch J.: Ugięcie szyny jako parametr oceny konstrukcji torowisk tramwajowych (praca doktorska), Instytut Inżynierii Lądowej Politechniki Wrocławskiej, Raport PRE 14/2002, Wrocław 2002
5. Krużyński M., Szydło A., Piotrowski A., Makuch J., Mazurkiewicz R., Trupkiewicz R.: Ocena stanu technicznego torowiska tramwajowego w ulicy Grabiszyńskiej we Wrocławiu. Instytut Inżynierii Lądowej Politechniki Wrocławskiej, Raport SPR 130/99, Wrocław 1999