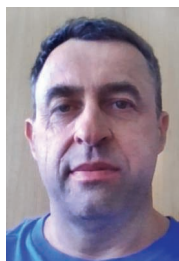


Badania kształtu przekroju krzyżownic tramwajowych

Examination of the cross-section shape of tram frogs



Jacek Makuch

Dr inż.

Politechnika Wrocławska, Katedra
Dróg, Mostów, Kolei i Lotnisk

jacek.makuch@pwr.edu.pl

Streszczenie: W artykule odniesiono się do problemu jakim są przypadki wykolejeń tramwajów podczas przejazdu przez krzyżownice rozjazdów. Przedstawiono odmienną konstrukcyjną krzyżownic tramwajowych w stosunku do kolejowych. Zdefiniowano przyczyny zjawiska jakim jest bagatelizowanie potrzeby monitorowania zużycia krzyżownic tramwajowych. Dokonano przeglądu krajowych przepisów regulujących projektowanie, budowę i utrzymanie krzyżownic tramwajowych oraz porównano je z analogicznymi przepisami dotyczącymi infrastruktury kolejowej. Przeprowadzono przegląd stosowanych metod pomiaru i urządzeń pomiarowych w zakresie analizy zużycia elementów stalowych nawierzchni szynowych, ze szczególnym naciskiem na najnowsze technologie. Zaprezentowano trzy wybrane przykłady przeprowadzonych badań krzyżownic tramwajowych, różniące się zastosowanym sprzętem pomiarowym. W podsumowaniu sformułowano wnioski z przeprowadzonych badań i analiz.

Słowa kluczowe: Tory tramwajowe; Diagnostyka; Krzyżownice

Abstract: The paper refers to the problem of trams derailing when crossing the crossing frogs. The structural difference of tram frogs in relation to railway frogs is presented. The causes of the phenomenon of underestimating the need to monitor the wear of tram frogs were defined. National regulations governing the design, construction and maintenance of tram frogs have been reviewed and compared with the corresponding regulations for rail infrastructure. A review of the measurement methods and measuring devices used in the field of wear analysis of steel elements of rail surfaces was carried out, with particular emphasis on the latest technologies. Three selected examples of tests of tram frogs, differing in the measuring equipment used, are presented. In the summary, conclusions from the conducted research and analyses were formulated.

Keywords: Tram tracks; Diagnostics; Frogs

Wstęp

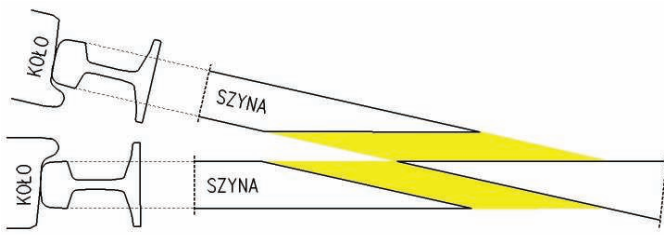
Niniejszy artykuł stanowi kontynuację rozważań zaprezentowanych na konferencji Infraszyn w 2019 roku, a dotyczących badań, jakie autor przeprowadził na wrocławskiej pętli tramwajowej Sępolno. Badania te polegały na określeniu zużycia elementów stalowych nawierzchni szynowych. W poprzednim artykule [1] przedstawione zostały wyniki analiz dotyczących zużycia szyn, co do zaś zużycia krzyżownic tramwajowych autor zdecydował, aby zagadnienia te zaprezentować w formie osobnego artykułu, co niestety z powodu pandemii stało się możliwe

dopiero po trzech latach. Wracając zaś do pętli Sępolno, o ile w przypadku szyn okazała się ona znakomitym poligonem badawczym, ze względu na dużą różnorodność typów i wieku elementów nawierzchni torowej, a w efekcie również dużą różnorodność form i wielkości ich zużycia, o tyle w przypadku krzyżownic już tak nie było, gdyż pętla ta posiada jedynie cztery krzyżownice. Dlatego rozważania zawarte w niniejszym artykule są niejako podsumowaniem wszystkich badań krzyżownic tramwajowych, jakie autor do tej pory kiedykolwiek i gdziekolwiek przeprowadził.

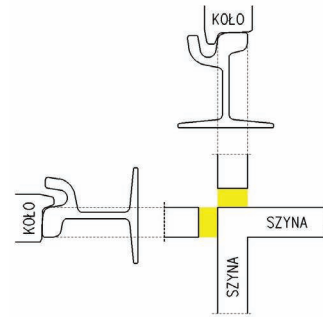
Autor artykułu od ponad 30 lat jest

zatrudniony na Politechnice Wrocławskiej, obecnie na stanowisku adiunkta dydaktycznego i w ramach dydaktyki prowadzi przedmiot „Diagnostyka dróg szynowych” obejmujący wykład i zajęcia laboratoryjne, dla studentów studiów magisterskich specjalności kolejowej. W ramach zajęć laboratoryjnych wraz ze studentami zajmuje się pomiarami zużycia elementów nawierzchni torowej posiadanym sprzętem, na pozyskanych rzeczywistych próbkach zużytych szyn oraz krzyżownic, albo poprzez wyjścia w teren i pomiary w eksploatowanych torach.

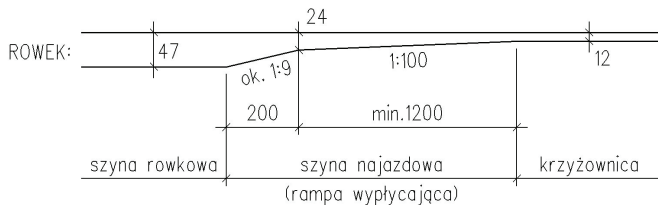
Oprócz dydaktyki autor artykułu uczestniczy w pracach naukowo-



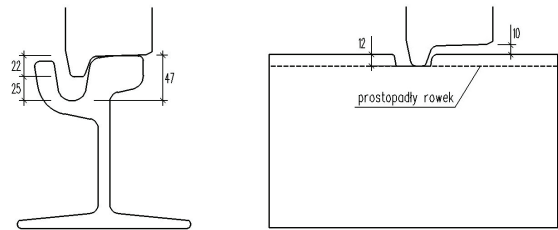
1. Schemat ideowy konstrukcji krzyżownicy kolejowej



2. Schemat ideowy konstrukcji krzyżownicy tramwajowej



3. Wytyczenie rowka w krzyżownicy tramwajowej



4. Przejazd koła tramwajowego po szynie (z lewej) i przez krzyżownicę (z prawej)

-badawczych realizowanych przez uczelnię. Jesienią 2011 roku na zlecenie wrocławskiego Zarządu Dróg i Utrzymania Miasta Politechnika Wrocławska przeprowadziła trwające ponad miesiąc kompleksowe badania diagnostyczne całej wrocławskiej sieci tramwajowej, w których ocena zużycia elementów nawierzchni torowej była jedną z ich części składowych [2].

Ponadto, w przeciągu ostatnich kilkunastu lat Politechnice Wrocławskiej kilkakrotnie zlecane było wykonanie ekspertyz [3, 4, 5, 6, 7] dotyczących problemów w postaci wykolejeń na nowych albo eksploatowanych zwrotnicach oraz krzyżownicach we wrocławskich torach tramwajowych.

Odmienność konstrukcyjna krzyżownic tramwajowych

Krzyżownice tramwajowe, w stosunku do krzyżownic kolejowych, charakteryzują się odmiennością konstrukcyjną - generalnie dotyczy to problemu rowka. Otóż, o ile w krzyżownicach kolejowych (rys. 1) stosuje się małe skosy (1 : 9), stosunkowo szerokie koła (135 mm) oraz stosunkowo szerokie główki szyn (70 mm dla 49E1), w efekcie czego koło przejeżdżające przez krzyżownicę nie spada z główki szyny, o tyle w przypadku krzy-

żownic tramwajowych (rys. 2) skosy mogą być dużo większe (od 9° nawet do przecięt prostopadłych), koła są węższe (90 mm), podobnie główki szyn (56 mm dla 60R2), dlatego koła tramwajowe przejeżdżając przez krzyżownicę mogą już spadać z poziomu główki szyny w rowek. Aby jednak do tego nie dochodziło w krzyżownicach tramwajowych stosuje się wypłyce rowka (rys. 3) z 47 mm do 12 mm, tak aby koło pokonujące krzyżownicę toczyło się przez nią obrzeżem, a nie bieżnią (rys. 4).

Taki sposób rozwiązania problemu przechodzenia kół przez krzyżownice tramwajowe rodzi jednak pewne zagrożenie - szeroki i płytki rowek może powodować, że koła nie będą trafiały w „swoją” rowek albo będą wjeżdżały na górną powierzchnię krzyżownicy, co najczęściej będzie się kończyło wykolejeniem.

Geneza problemu

Dla autora artykułu, inspiracją do podjęcia rozważań w nim opisywanych było zdarzenie, jakie miało miejsce 15 kwietnia 2015 roku na placu Bema we Wrocławiu. O godzinie 13.52 tramwaj linii 6 typu Skoda 16T skręcając na tym skrzyżowaniu w lewo (z kierunku ul. Drobnera, w kierunku ul. Ponia-

towskiego) uległ wykolejeniu drugim i trzecim wózkiem. Na szczęście nikomu nic się nie stało, co prawda w wyniku działania siły odśrodkowej w łuku tramwaj drugim i trzecim wózkiem częściowo wjechał na peron przystanku, ale pasażerowie w porę się odsunęli.

A co się działo dalej? Otóż o godzinie 14.05, czyli zaledwie 13 minut później inny tramwaj – tym razem dwuwagonowy Konstal 105N, skręcając na tym samym skrzyżowaniu również w lewo, ale w innej relacji (z kierunku mostów Młyńskich, w kierunku ul. Drobnera) również uległ wykolejeniu, pierwszym wózkiem drugiego wagonu.

Już do pierwszego wykolejenia został wezwany dźwig pogotowia MPK, który po przyjeździe na miejsce zdarzenia najpierw zajął się „wkolejeniem” drugiego z wykolejonych tramwajów, ponieważ znacznie łatwiej jest to zrobić w przypadku jednowagonowego dwuwózkowego tramwaju starego typu, niż nowoczesnego wieloczołowego przegubowego tramwaju niskopodłogowego. Ruch tramwajowy na skrzyżowaniu przywrócono po około godzinie.

Tak jak już wspomniano, w przedstawionych wydarzeniach nikt nie ucierpiał, ale niestety nie zawsze tak

się dzieje. Kilkadziesiąt lat temu w Krakowie doszło do podobnego wykołowania.

Ostatni wagon tramwaju skręcającego w lewo z ulicy Dietla w Stradomską, w wyniku wykołowania i działania siły odśrodkowej na łuku uderzył bokiem w kamienicę i tu niestety zginął pieszy poruszający się chodnikiem.

Podsumowując dotychczasowe rozważania, zdaniem autora artykułu problemowi wykołowań tramwajów w krzyżownicach nie poświęca się jak dotąd wystarczającej uwagi.

Przyczyny bagatelizowania problemu wykołowań tramwajów w krzyżownicach

Podstawową przyczyną bagatelizowania analizowanego problemu jest fakt, że tramwaje przejeżdżające przez krzyżownice poruszają się z niewielkimi prędkościami: 15 albo nawet 10 km/h (zależy to od wewnętrznych przepisów obowiązujących w danym mieście). Jeżeli dochodzi więc do wykołowań, to ich skutki raczej nie mają charakteru katastrof w ruchu lądowym.

Co więcej, czasami jeśli wykołowanie miało miejsce w torach zabudowanych i koła nadal pozostają w poziomie jezdni, doświadczeni motorniczowie potrafią umiejętnie, powoli i delikatnie cofając albo ruszając do przodu „wkoleić” tramwaj. Jeśli jednak nie jest to możliwe, albo jeśli tory nie są zabudowane i koła w wyniku wykołowania spadły poniżej poziomu główki szyny - potrzebny jest dźwig i dochodzi do trwającego co najmniej kilkadziesiąt minut wstrzymania ruchu tramwajowego.

Zdaniem autora artykułu bagatelizowana jest również sama potrzeba monitorowania zużycia krzyżownic tramwajowych. Tu z kolei przyczyną może być fakt, iż podstawowa forma zużywania się krzyżownic – w postaci pogłębiania się dna rowka, działa akurat na korzyść bezpieczeństwa przejazdu. Skutkiem tego jest to, że

krzyżownice tramwajowe często eksploatauje się bez jakichkolwiek działań utrzymaniowych do przysłowiowego „zajechnia”, czyli do momentu kiedy pęknie, albo kiedy uzyskają tak zdeformowane kształty rowków, że nie nadają się już do zregenerowania poprzez napawanie i szlifowanie.

W celu zidentyfikowania kolejnych przyczyn bagatelizowania analizowanego problemu autor artykułu dokona w dwóch następnych jego rozdziałach przeglądu obowiązujących przepisów i stosowanych urządzeń pomiarowych.

Przegląd przepisów

Obecnie zasady konstruowania i diagnostyki krzyżownic tramwajowych regulują dwa dokumenty:

- wytyczne – tak zwane „tramwajowe” [8] z 1983 roku (95 stron) oraz
- polska norma – tak zwana „odbiorowa” [9] z 1998 roku (7 stron), co prawda wycofana przez Polski Komitet Normalizacyjny w 2020, tyle że w zamian nie pojawił się żaden analogiczny dokument, dlatego jest ona nadal podawana przez zamawiających jako obowiązująca we wszelkiego rodzaju Opisach Przedmiotu Zamówienia czy Specyfikacjach Istotnych Warunków Zamówienia dotyczących tramwajowych robót torowych.

Jakie w tych dokumentach pojawiają się informacje dotyczące krzyżownic? W wytycznych „tramwajowych” czytamy, że:

- krzyżownice należy wykonywać z bloków stalowych,

- głębokość wypłyconego rowka powinna wynosić od 10 do 14 mm,
- pochylenie rampy wypływającej powinno wynosić 1:100,
- należy unikać krzyżownic o łukach w tym samym kierunku,
- minimalny kąt krzyżownicy wynosi 9°, a zalecany powinien być większy od 13°,
- dopuszczalna szerokość toru – tak jak poza krzyżownicami,
- niedopuszczalne są pęknięcia krzyżownic.

W normie „odbiorowej” o krzyżownicach nie ma ani słowa, a w obu dokumentach brak jest jakichkolwiek ilustracji.

Informacji jest więc niewiele, a nawet te które podano są mocno:

- niedoprecyzowane (inne wymiary rowka - takie jak szerokość, pochylenie ścian bocznych i wyokrąglenia, długości ramp wypływających, krzyżownice w torach pętli tramwajowych - często o łukach w tym samym kierunku),
- nieaktualne (już od wielu lat nie stosuje się krzyżownic o rowkach płytszych niż 12 mm).

A jeśli porównalibyśmy przepisy „tramwajowe” z „kolejowymi” (tab.1), to dysproporcja będzie porażająca, zarówno jeśli chodzi o objętość, jak i aktualność.

Ten niedostatek niektórzy zarządcy infrastruktury tramwajowej w Polsce rekompensują własnymi opracowaniami. Tramwaje Warszawskie w 2017 roku opracowały własne wytyczne: główny dokument wraz jedenastoma

Tab. 1. Porównanie objętości i aktualności przepisów regulujących projektowanie, budowę i utrzymanie infrastruktury tramwajowej i kolejowej w Polsce

dokument	przepisy	
	tramwajowe wytyczne / norma	kolejowe obecne Id-4 / „stare” D 6
objętość:		
- całość	95 / 7 stron	ponad 2000 stron (wszystkie Id)
- o rozjazdach	4 / 0,5 strony	165 / 167 stron
- o krzyżownicach	1 / 0 stron	21 / 27 stron
aktualność:	1983 / 1998	2019 / 1991

załącznikami (łącznie 169 stron), w tym załącznik szósty – w całości poświęcony rozjazdom (zawierający 13 stron i 11 ilustracji) oraz dwa rozdziały poświęcone krzyżownicom (osobny dla płytko, a osobny dla głęboko-rowkowych).

Oczywiście, oprócz przepisów są jeszcze opracowania producentów rozjazdów tramwajowych. Niektóre polskie miasta eksploatujące tramwaje, przygotowując warunki przetargowe na roboty torowe zamieszczają w nich zalecenia przekopiowane z takich materiałów. Niestety często są to jedynie opisy tekstowe, które niezbyt precyzyjnie odzwierciedlają oryginalne zasady, przedstawiane najczęściej w postaci ilustracyjnej.

Podsumowując tę część rozważań, kolejną przyczyną bagatelizowania problematyki zużycia krzyżownic tramwajowych, na którą autor pragnie zwrócić uwagę, jest niewystarczające i mocno już nieaktualne ujęcie tych zagadnień w przepisach dotyczących projektowania, budowy i utrzymania torów tramwajowych rangi krajowej.

Przegląd urządzeń pomiarowych

Wśród urządzeń pomiarowych, jakie wykorzystuje się do analizy kształtu przekroju elementów stalowych nawierzchni torowych generalnie można wyróżnić dwie ich grupy. Pierwsza - to różnego rodzaju precyzyjne mierniki odległości, począwszy od zwykłych suwmiarek klasycznych, poprzez specjalne rozjazdowe, następnie aparaty rylcowe, profilometry mechaniczne albo elektroniczne, szablony i szczelinomierze.

Druga grupa, to urządzenia odwzorowujące kształt - są to przyrządy nieco bardziej skomplikowane, takie jak profilografy: mechaniczne (pisakowe), mechaniczno-elektroniczne (z wodzikiem kulkowym albo rolkowym), optyczno-elektroniczne (inaczej laserowe, wykorzystujące technikę LIDAR, czyli skaningu laserowego).

Ostatnie z wymienionych urzą-

dzeń, niekoniecznie muszą być przyrządami stacjonarnymi, mogą to być głowice montowane w toromierzach wózkowych czy drezynach pomiarowych, a nawet w zwykłych pojazdach szynowych. Wrocławskie MPK na początku 2020 roku przeprowadziło w przeciągu jedynie trzech dni kompleksowe badania diagnostyczne niemalże całej swojej sieci tramwajowej, przy pomocy jednego z posiadanych tramwajów, który wyposażono w dodatkową, odpowiednią aparaturę i oprogramowanie. Podczas pomiarów tramwaj ten jeździł bez pasażerów, jako „pojazd techniczny”, ale są już stosowane analogiczne urządzenia, które w kilka minut można zamontować na „rejsowych” pociągach pasażerskich, jak przykładowo system RILA [10]. Z tego typu rozwiązań korzystają koleje holenderskie i brytyjskie [11].

Podsumowując tę część rozważań, autor pragnie zwrócić uwagę na kolejną przyczynę bagatelizowania problematyki zużycia krzyżownic tramwajowych. Otóż z powodu wspomnianej już odmienności konstrukcyjnej krzyżownic tramwajowych, większość z wymienionych powyżej typowo „kolejowych” urządzeń pomiarowych (głównie tych starszych) nie nadaje się do badania zużycia krzyżownic tramwajowych, dlatego też dotychczas badań tych raczej nie wykonywano. Ale sytuacja ta ostatnio uległa zmianie - nowsze urządzenia (profilomierze mechaniczno-elektroniczne oraz laserowe) nie posiadają już takich ograniczeń, można nimi badać zużycia zarówno szyn, krzyżownic kolejowych, jak i tramwajowych.

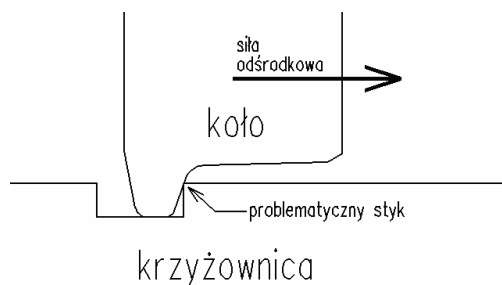
Wybrane przykłady przeprowadzonych badań

W drugiej części artykułu autor pragnie zaprezentować trzy wybrane przykłady zrealizowanych przez niego badań kształtu przekroju krzyżownic tramwajowych, z trzech różnych okresów - przy wykorzystaniu:

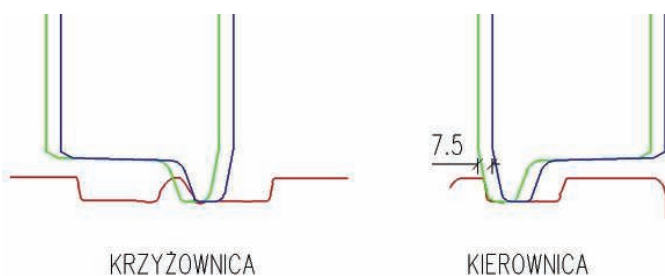
- suwmiarek,

- profilografu mechaniczno - elektronicznego,
- profilografu laserowego.

Pierwszy przykład, to badania przeprowadzone dla wykonanej w latach 2005-07 przebudowy torów tramwajowych w ciągu ulic Świdnickiej, Widok, Szewskiej i Grodzkiej we Wrocławiu. W nowo zabudowanych rozjazdach zastosowano krzyżownice monoblokowe, których wypływne rowki posiadały kształt regularnego prostokąta o szerokości 36 mm i głębokości 14 mm, a dzioby i górne krawędzie - nie posiadały wyokrąglenia. Podczas pierwszych próbnych jazd tramwajów wystąpiły problemy z przechodzeniem zestawów kołowych przez krzyżownice - obrzeża kół wspinały się na dzioby krzyżownic i po przejechaniu kilkunastu lub kilkudziesięciu centymetrów wpadały z powrotem do rowków, albo tylko uderzały w dzioby krzyżownic, powodując jednakże znaczny hałas i drgania. Pojawiły się liczne ślady ścinania oraz wykruszeń i odłupañ krawędzi tocznych rowków krzyżownic i szyn najazdowych oraz dziobów krzyżownic. Tory dopuszczono do ruchu linowego, ale tylko dla starszych wysokopodłogowych tramwajów produkcji krajowej, gdyż nowoczesne niskopodłogowe tramwaje Skoda 16T nadal miały problemy z pokonywaniem krzyżownic. Dzięki przeprowadzonym pomiarom, jako główną przyczynę zaistniałych problemów uznano niewłaściwe ukształtowanie rowków w krzyżownicach monoblokowych i szynach najazdowych z rampami wpływającymi - ich prostokątny kształt nie korespondował z profilem obręczy koła. Skutek był taki, że w przypadku rowka dla toku położonego w łuku (rys. 5), koło pod wpływem działania siły odśrodkowej, stykiem pochylonej powierzchni bocznej obręczy i ostrego zakończenia górnej krawędzi rowka wspinało się do góry jak po rampie i wyjeżdżało z rowka, w efekcie czego dochodziło do wykolejenia.



5. Schemat ideowy współpracy obręczy koła z rowkiem krzyżownicy tramwajowej [3, 4]



7. Symulacja graficzna przejazdu kół tramwaju przez krzyżownicę i kierownicę [7]

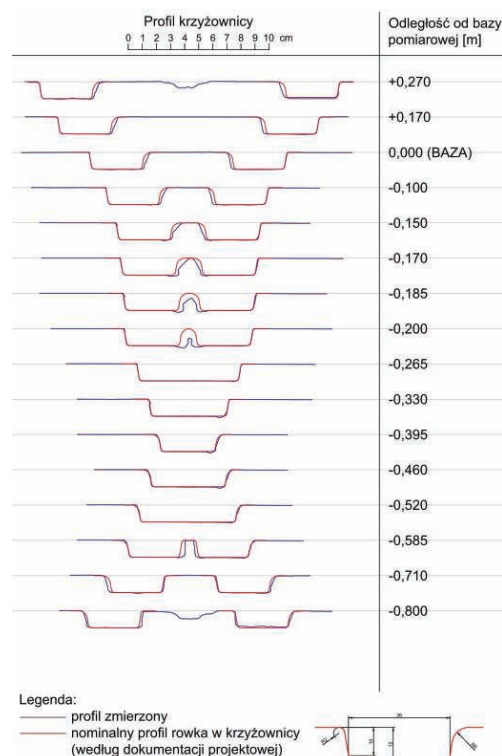


8. Widok rzeczywisty (z lewej) i cyfrowy bliźniak (z prawej) krzyżownicy tramwajowej [11]

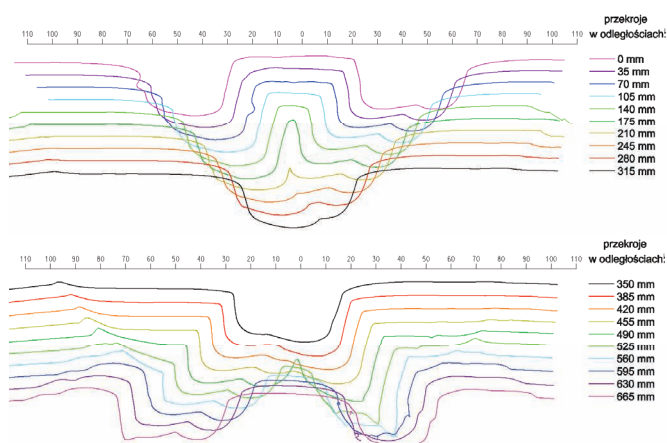
Drugi przykład, to badania przeprowadzone na zmodernizowanej w 2015 roku pętli tramwajowej Oporów. Pętla ta w wyniku przebudowy uzyskała zupełnie nowy układ geometryczny. W pierwszych miesiącach eksploatacji doszło do kilku wykolejeń tramwajów na krzyżownicach dwóch rozjazdów wjazdowych. Podobnie jak na ul. Szewskiej wykolejeniom częściej ulegały nowoczesne tramwaje niskopodłogowe (tym razem Pesa Twist), niż starsze wysokopodłogowe pojazdy produkcji krajowej, a jeśli nawet nie dochodziło do wykolejenia, to podobnie jak na ul. Szewskiej

- obrzeża kół wspinały się na dzioby krzyżownic, po czym po przejechaniu kilkudziesięciu centymetrów wpadały z powrotem do rowków. Tym razem jednakże rowki krzyżownic nie posiadały (tak jak na ul. Szewskiej) kształtu regularnych prostokątów oraz ostrych zakończeń górnych krawędzi. Zastosowane rozjazdy posiadały natomiast wypłyceń rowków nie tylko w krzyżownicach, ale również w szynach „drugiego” toku (czyli w kierownicach) - w celu uniknięcia efektu przechyłki odwrotnej w łuku. Obserwacje i pomiary przeprowadzone w terenie wykazały, że podczas wjazdów na tory

wewnętrzne - w dziób krzyżownicy uderzało zewnętrzne koło pierwszej osi wózka, natomiast podczas wjazdów na tory zewnętrzne - w dziób krzyżownicy uderzało tym razem wewnętrzne koło drugiej osi wózka. Wykonane podczas badań pomiary kształtu przekroju krzyżownic tramwajowych i kierownic (rys. 6), pozwoliły na przeprowadzenie prostych symulacji graficznych przejazdu kół tramwaju właśnie przez te krzyżownice i kierownice (rys. 7). Dzięki przeprowadzonym pomiarom, jako główną przyczynę zaistniałych problemów uznano niewłaściwe ukształtowanie



6. Pomiary kształtu przekroju poprzecznego krzyżownicy tramwajowej profilomierzem mechaniczno-elektronicznym (opracował Adam Hyliński) [7]



9. Wykres kaskadowy wygenerowanych przekrojów poprzecznych przez krzyżownicę [11]

rowków w kierownicach - ograniczenie się jedynie do ich wypłyenia bez równoczesnego zawężenia ich szerokości, paradoksalnie zamiast polepszyć, niestety pogorszyło warunki współpracy pojazdów z torem.

Trzeci przykład, to badania przeprowadzone w marcu 2020 roku na pętli Osobowice. Pomiary te nie wiązały się z realizacją jakiegokolwiek ekspertyzy, a wynikały jedynie z potrzeby nauczania się obsługi skanera laserowego do nawierzchni torowych, jaki wtedy zakupiono. Na rys. 8 przedstawiono krzyżownicę tramwajową pierwszego rozjazdu na tejże pętli. Była to krzyżownica w wieku około 20 lat, szynowa (a nie blokowa), spawana, łukowa (z promieniem 50 m w torze zwrotnym). Krzyżownica ta posiadała charakterystyczne (dla ruchu tramwajowego) postacie zużyć: dwa ślady przejazdu kół w toku łukowym, natomiast jeden ślad – w prostym oraz rozwijające się pęknięcia i ubytki na jednym ze styków zespawanych jej elementów. Dzięki zastosowanej metodzie pomiarowej, w stosunku do obiektu rzeczywistego - udokumentowanego tutaj klasyczną fotografią, możliwe było wygenerowanie jego tak zwanego digital twin, czyli cyfrowego bliźniaka.

Taki cyfrowy bliźniak jest oczywiście obiektem trójwymiarowym. Przeglądając go w oprogramowaniu komputerowym możemy go dowolnie obracać, co ułatwia nam narzędzie „View Cube” (analogiczne jak w programie Autocad). Możemy go oczywiście przesuwac oraz wykonywać oddalenia i zbliżenia (a przez to bardziej dokładnie oglądać pewne szczegóły). Możemy wykonywać tak zwane „wirtualne spacer”. Z trójwymiarowego modelu możemy również wygenerować przekroje poprzeczne oraz profile podłużne.

Na rys. 9 przedstawiono serię kolejnych przekrojów poprzecznych w widoku kaskadowym - lepiej uwiadaczniającym zmiany kształtu prze-

kroju. Wyraźnie widać wspomniane wcześniej charakterystyczne postacie zużyć.

Podsumowanie

Zdaniem autora niniejszego referatu, problemowi wykolejeń tramwajów w krzyżownicach nie poświęca się dotychczas należytej uwagi. Oczywiście są ku temu pewne powody, takie jak wspomniane już:

- niewielkie prędkości tramwajów,
- formy zużycia działające na korzyść bezpieczeństwa,
- nieaktualne i bardzo skąpe przepisy,
- nie dające się wykorzystać urządzenia pomiarowe,

które częściowo usprawiedliwiają taki stan rzeczy. Czasy się jednak zmieniają i pojawiły się obecnie pewne nowe okoliczności:

- coraz większy udział eksploatowanych tramwajów stanowią nowoczesne niskopodłogowe przegubowe pojazdy, które po pierwsze – znacznie łatwiej ulegają wykolejeniom, niż starsze klasyczne wysokopodłogowe pojazdy wzorowane na tramwaju typu PCC, a po drugie – jeżeli już dojdzie do wykolejenia, to znacznie trudniej jest je z powrotem ustawić na tory, niż tramwaje starszego typu (nie sprawdza się w tym przypadku zakup większego dźwigu - przekonało się o tym wrocławskie MPK, które po kilku latach negatywnych doświadczeń wycofało się z tego pomysłu),
- komunikacja tramwajowa jeśli chce odbudować swoją pozycję w tak zwanym „modal split” sprzed pandemii, musi zaoferować wysoką niezawodność, a przecież każde wykolejenie, to co najmniej kilkudziesięciominutowe wstrzymanie ruchu spowodowane oczekiwaniem na dźwig i wykonanie odpowiednich działań – jeśli się

to nie zmieni, mieszkańcy miast nie będą chcieli korzystać z tak zawodnego środka transportu, nadal będą jeździli samochodami,

- pojawiły się nowe techniki pomiarowe, takie jak LIDAR, oferujące precyzyjne i wysoko zautomatyzowane narzędzia, możliwe do wykorzystania w przypadku oceny zmian kształtu krzyżownic tramwajowych (wykorzystanie tej techniki jest przykładem zastosowania tak zwanej inżynierii odwrotnej),
- w branży budowlanej wdrażana jest metodologia BIM, jako efekt procesów cyfryzacji i informatyzacji, ogarniających obecnie niemal wszystkie dziedziny naszego życia,
- w obszarach zarządzania pojawiają się nowe metodologie, takie jak lean (szczupłe zarządzanie) czy agile (zwinne zarządzanie), które mają charakter strategii proaktywnych, charakteryzujących się przewidywaniem, działaniem z wyprzedzeniem i wywoływaniem zmian w środowisku, w celu zminimalizowania skutków nieprzewidzianych trudności.

W ten sposób do transportu szynowego wkraczają rozwiązania tak zwanej czwartej rewolucji przemysłowej - metodologia BIM, a wraz z nią cyfrowe bliźniaki (digital twins), internet rzeczy (IoT) i możliwe dzięki tym narzędziom nowoczesne formy zarządzania zasobami (Asset Management) w całym cyklu życia elementów infrastruktury (Life Cycle Cost). Możliwe staje się stosowanie nowoczesnych proaktywnych metodologii w utrzymaniu dróg szynowych, takich jak: utrzymanie predykcyjne (predictive maintenance), utrzymanie w oparciu o dane (data driven maintenance) czy utrzymanie zorientowane na niezawodność (reliability centred maintenance) [13, 14, 15].

W przypadku najnowszych technik pomiarowych służących do ana-

lizy zużyć elementów stalowych nawierzchni szynowych stosuje się już powszechnie zasadę odwzorowania kształtu, a nie tak jak dawniej - punktowych pomiarów wybranych wielkości. Przeprowadza się analizy w sposób graficzny, a nie wyłącznie liczbowy. Jest to przykład tak zwanej analizy obrazowo-porównawczej, której prekursorem u nas w Polsce w branży kolejowej już ponad 20 lat temu był profesor Henryk Bałuch [16]. Co prawda w programach takich jak SONIT, czy SOHRON porównywało się wykresy zmierzonych parametrów geometrycznych toru, a nie odwzorowanych kształtów przekroju zużytych elementów, ale w tym drugim przypadku idea pozostaje taka sama. Taki sposób przeprowadzania badań:

- uwidacznia najdrobniejsze niuanse zmian kształtu przekroju poprzecznego,
- czyni analizę zaistniałych zużyć bardziej dogłębną i szczegółową.

Metodologia ta wpisuje się również w tak zwany BIM 6D – czyli możliwość symulacji przeprowadzanych na cyfrowych modelach obiektów.

Podsumowując, zdaniem autora niniejszego artykułu, nadszedł już odpowiedni moment, aby w przypadku problemu jakim jest ocena zużyć krzyżownic tramwajowych: po pierwsze – zaktualizować i doprecyzować stosowane w tym zakresie przepisy, a po drugie zacząć wykorzystywać nowoczesne techniki pomiarowe i sposoby analizy ich wyników. ◀

Materiały źródłowe

- [1] Makuch J. Pomiary zużycia przekroju szyn w torach pętli tramwajowej. Przegląd Komunikacyjny, 2019, nr 6, str. 2-7.
- [2] Makuch J. Pomiary geometrii torów tramwajowych toromierzem elektronicznym we Wrocławiu. Przegląd Komunikacyjny, 2014, nr 8, str. 24-30.
- [3] Krużyński M., Makuch J., Piotrowski A. Ekspertyza dotycząca stanu

technicznego torów tramwajowych po dokonanych korektach na średnicowej linii tramwajowej północ-południe we Wrocławiu. Politechnika Wrocławska, Instytut Inżynierii Lądowej, Zakład Infrastruktury Transportu Szynowego. Raport serii U nr 17/2007-03-07, Wrocław marzec 2007.

- [4] Krużyński M., Makuch J., Piotrowski A. Ekspertyza dotycząca stanu technicznego torów tramwajowych po dokonanych korektach na średnicowej linii tramwajowej północ-południe we Wrocławiu - część 2. Politechnika Wrocławska, Instytut Inżynierii Lądowej, Zakład Infrastruktury Transportu Szynowego. Raport serii U nr 28/2007-05-15, Wrocław maj 2007.
- [5] Krużyński M., Makuch J., Piotrowski A. Wstępna ekspertyza techniczna rozjazdów tramwajowych na skrzyżowaniu ulic Kazimierza Wielkiego - Szewska. Politechnika Wrocławska, Instytut Inżynierii Lądowej, Zakład Infrastruktury Transportu Szynowego. Raport serii U nr 31/2007, Wrocław maj 2007.
- [6] Krużyński M., Piotrowski A., Makuch J., Gisterek I. Ekspertyza techniczna zwrotnicy tramwajowej w ul. Nowy Świat we Wrocławiu po wykolejeniach w dniach 23.08.2007 i 3.09.2007. SITK RP Oddział Wrocław, grudzień 2007.
- [7] Gisterek I., Makuch J., Popiołek A. Ekspertyza techniczna dotycząca jakości wykonania przebudowy pętli tramwajowej Oporów we Wrocławiu. Politechnika Wrocławska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego, Raport serii U nr 117/2015, Wrocław listopad 2015.
- [8] Wytyczne techniczne projektowania, budowy i utrzymania torów tramwajowych, MAGTiOŚ 1983.
- [9] PN-K-92011: 1998 Torowiska tramwajowe. Wymagania i badania.
- [10] RILA – Next step in track geometry. <https://www.youtube.com/watch?v=hFXNagtytcE&t=1s> (do-

stęp: 7.04.2022).

- [11] Niknam N., Nolan J.: Network Rail Wales and Western SWRRP Digital Twin Programme. Bentley webinar 9.12.2021. <https://www.bentley.com/pl/global-events/events-overview> (dostęp: 7.04.2022).
- [12] Makuch J., Gisterek I., Hyliński A., Lalewicz P., Gonera J. Analiza możliwości wykorzystania skanera laserowego do diagnostyki krzyżownic tramwajowych. XVIII Konferencja Naukowo-Techniczna Nowoczesne Technologie i Systemy Zarządzania w Transporcie Szynowym, Zakopane 4-6.12.2019.
- [13] Walters C., Hobsch R., Ammann L. Bringing a new dimension to your public transportation network. Global Railway Review webinar 2.12.2020. <https://www.globalrailwayreview.com/webinar/112414/bringing-a-new-dimension-to-your-public-transportation-network/> (dostęp: 7.04.2022).
- [14] Flower T., Kronmuller D. A data-driven approach to reliability-centred maintenance. Global Railway Review webinar 27.05.2021. <https://www.globalrailwayreview.com/webinar/121221/a-data-driven-approach-to-reliability-centred-maintenance/2/#register> (dostęp: 7.04.2022).
- [15] Wanek-Libman M., Smith A., Marcolongo V. The power of rapidly deployed analytics to improve track maintenance. Mass Transit & Bentley webinar 27.04.2021. https://event.webcasts.com/starthere.jsp?ei=1447299&tp_key=c-fe1019222 (dostęp 7.04.2022).
- [16] Bałuch H. Diagnostyka obrazowo-porównawcza jako podstawa planowania napraw toru. Przegląd Kolejowy, 1998, nr 4, str. 16-23.