

PROBLEMY DOSKONALENIA KONSTRUKCJI ROZJAZDÓW TRAMWAJOWYCH W ŚWIELE WROCŁAWSKICH DOŚWIADCZEŃ

W 2007 roku Zakład Infrastruktury Transportu Szynowego Politechniki Wrocławskiej wykonał cztery ekspertyzy [1 ÷ 4] dotyczące stanu technicznego torów tramwajowych we Wrocławiu, związane bezpośrednio z wprowadzeniem do ruchu liniowego nowoczesnych niskopodłogowych tramwajów Skoda 16T i problemów z eksploatacją tych tramwajów w przypadku niektórych rozjazdów. Pierwsze trzy ekspertyzy dotyczyły niedawno zakończonej przebudowy torów tramwajowych w ulicy Szewskiej – inwestycji, która wraz zakupem nowych tramwajów była współfinansowana ze środków Unii Europejskiej, ostatnia zaś – eksploatowanej od ośmiu lat zwrotnicy w ulicy Nowy Świat. Wyniki ekspertyz ujawniły pewne niedoskonałości usprawnień konstrukcyjnych stosowanych od kilkunastu lat we wrocławskich rozjazdach tramwajowych. W artykule przedstawiono syntetycznie wyniki ekspertyz.

Krzyżownice na ulicy Szewskiej

W grudniu 2006 roku, po półtorarocznym okresie zakończyła się przebudowa torów tramwajowych w ciągu ulic Widok – Szewska – Grodzka na odcinku od pl. Teatralnego do mostu Pomorskiego. W nowych rozjazdach zastosowano krzyżownice monoblokowe, których spłycone rowki posiadały kształt regularnego prostokąta o szerokości 36 mm i głębokości 14 mm, a dzioby – ostre zakończenia (fot. 1).

Podczas pierwszych jazd próbnych wykonywanych na przełomie roku 2006 i 2007 tramwajami 102N (najstarszym liniowo eksploatowanym wówczas taborze tramwajowym we Wrocławiu) wystąpiły problemy z przechodzeniem zestawów kołowych przez krzyżownice. Obrzeża kół wspinały się na ich dzioby i po przejechaniu kilkunastu lub kilkudziesięciu centymetrów wpadały z powrotem do rowków, albo tylko uderzały w dziób powodując jednakże znaczny hałas i drgania. Pojawiły się liczne ślady ścinania (fot. 2) oraz wykruszeń i odlupień (fot. 3) krawędzi toczonego rowka krzyżownicy i szyn najazdowych oraz dziobów krzyżownic.

W okresie od stycznia do marca 2007 wykonawca robót przeprowadził szlifowanie powierzchni toczonego toru w celu wyeliminowania przyczyn opisanych powyżej problemów. Prace szlifierskie polegały głównie na poszerzeniu prześwitu toru w miejscach lokalizacji krzyżownic oraz ścięciu i wyokrągleniu ich dziobów. Niestety, ze względu na brak



Fot. 1. Prostokątne rowki i ostre dzioby krzyżownic



Fot. 2. Ścinanie ostrych górnych krawędzi rowka



Fot. 3. Odlupanie dzioba krzyżownicy

¹ Dr inż., Politechnika Wrocławska, Instytut Inżynierii Lądowej, Zakład Infrastruktury Transportu Szynowego, jacek.makuch@pwr.wroc.pl.

odpowiedniego w tym celu sprzętu (typowe szlifierki torowe – które „nie pasują” do splyconych rowków krzyżownic tramwajowych oraz ręczne szlifierki kątowe) w efekcie prac uzyskano znaczne nieregularności w kształcie rowków krzyżownic i szyn łączących. Rowki posiadały ściany boczne miejscami pionowe, a miejscami w pochyleniach zmienionych na długości toru. Podobnie zmienne na długości torów były również szerokości rowków. Styk ścian bocznych rowków i górnej powierzchni krzyżownic oraz szyn miejscami był wyokrągłony, a miejscami posiadał kształt ostrej krawędzi.

Po wykonaniu prac szlifierskich przeprowadzono dwie ekspertyzy: pierwszą przez SITK Oddział w Warszawie (na zlecenie inwestora) dotyczącą wpływu zeszlifowania bocznych krawędzi żłobków w krzyżownicach blokowych rozjazdów i szyn na ich trwałość oraz drugą – przez Politechnikę Wrocławską (na zlecenie wykonawcy robót) dotyczącą stanu technicznego toru po dokonanych korektach. Obie ekspertyzy potwierdziły możliwość dopuszczenia torowiska do ruchu pod pewnymi warunkami. Ekspertyza SITK zaleciła odtworzenie właściwego kształtu rowków krzyżownic (w okresie gwarancyjnym) poprzez ich napawanie, natomiast ekspertyza Politechniki poleciła:

- próbne komisyjne przejazdy każdego nowo wprowadzanego do ruchu typu taboru (z myślą o nowych niskopodłogowych tramwajach Skoda 16T),
- ograniczenie prędkości jazdy do 5 km/h na rozjazdach przez pierwszy miesiąc eksploatacji,
- przeprowadzenie pomiarów geometrii torów po pierwszym miesiącu eksploatacji.

Tory w ulicy Szewskiej dopuszczono do ruchu liniowego 10 marca 2007 r. – ale tylko dla wysokopodłogowych tramwajów produkcji krajowej 102N i 105N.

Pod koniec marca przeprowadzono jazdy próbne tramwajami Skoda 16T, które tak jak wcześniej tramwaje 102N miały podobne problemy z pokonywaniem krzyżownic w nowo zabudowanych rozjazdach. Po ostatecznych korektach szlifierskich tramwaje te dopuszczono do ruchu liniowego 6 kwietnia 2007 roku.

Po pierwszym miesiącu eksploatacji, w wyniku drugiej ekspertyzy przeprowadzonej przez Politechnikę na początku maja 2007, stwierdzono nieznaczny postęp zużycia toru w stosunku do poprzednich badań, jednakże ze względu na utrzymywanie się nieregularności kształtu rowków krzyżownic i szyn łączących, które nie zaniknęły w wyniku naturalnego zużycia („dotarcia się”) torów, zalecono:

- utrzymanie ograniczenia prędkości przejazdu tramwajów do 5 km/h w rozjazdach,
- dalsze monitorowanie stopnia zużycia torów w formie pomiarów: głębokości i szerokości rowków splyconych oraz zmiany ich kształtu (np. poprzez zastosowanie profilomierza torowego) oraz nierówności poziomych i pionowych, gradientu, przechyłki i wchrowatości (np. poprzez zastosowanie toromierza samorejestrującego do pomiarów ciągłych).

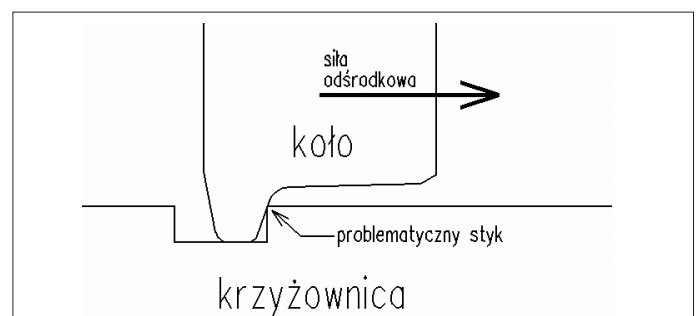
Zalecenia te przewidziano na okres do momentu prze-

prowadzenia kompleksowej regeneracji i reprofilacji torów w rozjazdach (poprzez napawanie i szlifowanie – aż do uzyskania właściwej ich geometrii), przy czym prace te zalecono poprzedzić wykonaniem szczegółowych badań rozjazdów, w celu określenia właściwego sposobu ich naprawy.

Jako główną przyczynę powstałych trudności z rozpoczęciem eksploatacji nowych torów tramwajowych w ulicy Szewskiej w obu ekspertyzach Politechniki określono niewłaściwe ukształtowanie rowków w krzyżownicach monoblokowych i szynach najazdowych (na długości których następuje zmiana głębokości rowka).

Do połowy lat 90. we wrocławskich rozjazdach tramwajowych stosowane były powszechnie krzyżownice wykonywane z szyn rowkowych – poprzez odpowiednie ich docięcie, zespawanie i połączenie elementami śrubowymi. Splycenie rowków krzyżownic uzyskiwano poprzez wspawanie w ich dno odpowiednio wyprofilowanych klinów stalowych. Krzyżownice te niestety cechowały się niską trwałością – w przypadku bardziej obciążonych tras tramwajowych niekiedy już po półrocznym okresie eksploatacji pojawiały się w nich pierwsze uszkodzenia (pęknięcia spawów, rozluźnienie elementów śrubowych). Największym mankamentem było jednak szybkie zużywanie się klinów gwarantujących splyconą głębokość rowka, w efekcie czego krzyżownice te nie zapewniały właściwego przejazdu koła tramwajowego (obrzeżem, a nie bieżnią) czego skutkiem było generowanie drgań i hałasu, zmniejszenie komfortu jazdy i szybsze zużywanie się taboru.

Dlatego już w drugiej połowie lat 90. rozpoczęto stosowanie innego typu krzyżownic – wykonanych z monolitycznego bloku stalowego (o wysokości 180 mm i szerokości 300 mm), jak również szyn najazdowych – wykonanych z szyny szerokogłównkowej (VK60), w których splycone rowki uzyskuje się poprzez frezowanie górnej stalowej powierzchni tych elementów. Rozwiązania te pozbawione są wad starszego typu konstrukcji, niestety w nowym pomysśle kryje się pewne niebezpieczeństwo. W przypadku frezowania rowków najłatwiej jest uzyskać prostokątny ich kształt. Niestety kształt ten nie pasuje do profilu obręczy koła tramwajowego (rys.1). W krzyżownicach rozjazdów najczęściej jeden tok szynowy przebiega w łuku. Skutek jest taki, że w przypadku łukowego rowka o prostokątnym kształcie, koło pod wpływem siły odśrodkowej, stykiem pochylonej powierzchni bocznej obręczy i ostrego zakończenia górnej krawędzi rowka będzie z niego wyjeżdżał jak po rampie!



Rys. 1. Brak dopasowania splyconego prostokątnego rowka krzyżownicy do profilu koła

Wady tej nie posiadały rozwiązania starszego typu, gdyż z definicji – skoro wykonywane były z szyn rowkowych, to ich rowki posiadały pochylenia bocznych ścian (1:6) jak i wyokrąglenia górnych krawędzi.

Zwrotnica na ulicy Nowy Świat

Latem 2007 roku, w krótkich odstępach czasu wystąpiły po sobie dwa wykojenia tramwajów Skoda 16T na najazdowej zwrotnicy w ulicy Nowy Świat, na wysokości skrzyżowania z ulicą Cieszyńskiego. Wrocławski Zarząd Dróg i Komunikacji, jako zarządzający infrastrukturą, w celu ustalenia przyczyn tych wykojeń zlecił Politechnice Wrocławskiej (za pośrednictwem lokalnego oddziału SITK), wykonanie ekspertyzy technicznej tejże zwrotnicy tramwajowej.

Zwrotnica jest początkiem rozjazdu jednotorowego pojedynczego lewego (fot. 4) i posiada typową geometrię: tor zasadniczy prosty, tor zwrotny w łuku o promieniu 50 m, półzwrotnice o długościach 5,3 m oparte na kącie środkowym 6 stopni. Konstrukcyjnie zwrotnica jest wykonana z szyn rowkowych i blach stalowych, posiada iglice płytko posadowione (o wysokości 60 mm) osadzone sprężystie w sposób niewymienny (za pomocą spawów).



Fot. 4. Widok na analizowaną zwrotnicę zgodnie z kierunkiem jazdy

Pierwsze wykojenie miało miejsce 23 sierpnia 2007. Tramwaj uległ wykojeniu pierwszym zestawem kołowym na zwrotnicy i po przejechaniu około 15 m zatrzymał się na krawężniku oddzielającym torowisko od trawnika. Drugi wózek zatrzymał się tuż za zwrotnicą i nie uległ na niej wykojeniu. Zwrotnica była przestawiona do jazdy na kierunek zwrotny – zgodny z trasą przebiegu tramwaju. Po usunięciu wykojonego tramwaju i sprawdzeniu komisyjnie poprawności działania zwrotnicy dopuszczono ją do ruchu.

Drugie wykojenie miało miejsce 3 września 2007. Analogicznie do poprzedniego, tramwaj uległ wykojeniu pierwszym zestawem kołowym na zwrotnicy, która przestawiona była do jazdy na kierunek zwrotny – zgodny z trasą przebiegu tramwaju. Przy usuwaniu tramwaju wystąpiły problemy z blokowaniem się jego hamulców, dlatego normalny ruch tramwajowy przywrócono dopiero następ-

niego dnia rano – wtedy też przeprowadzono pomiary geometrii torów i po sprawdzeniu komisyjnie poprawności działania zwrotnicy dopuszczono ją do ruchu.

12 września 2007 dokonano wymiany prawej iglicy analizowanej zwrotnicy na nową, a następnego dnia powtórzono pomiary geometrii torów.

W wyniku oględzin zwrotnicy przeprowadzonych w ramach ekspertyzy Politechniki w listopadzie 2007 roku, stwierdzono widoczne gołym okiem przewężenia prześwitu toru około 1,75 m od początków iglic w prawym toku szynowym w przypadku jazdy na kierunek zwrotny (fot. 5), jak i w lewym toku szynowym w przypadku jazdy po torze zasadniczym (fot. 6).



Fot. 5. Przewężenie prześwitu w prawym toku szynowym



Fot. 6. Przewężenie prześwitu w lewym toku szynowym

Obserwacje te znalazły potwierdzenie w wynikach pomiarów geometrii torów na długości analizowanej zwrotnicy przeprowadzonych za pomocą mikroprocesorowego toromierza samorejestrującego do pomiarów ciągłych, przez pracowników Zarządu Dróg i Komunikacji 4 września 2007 – po drugim wykojeniu (tabela 1) i 13 września 2007 – po wymianie prawej iglicy (tabela 2).

Zdiagnozowane przewężenia prześwitu torów były według ekspertyzy Politechniki jedną z głównych przyczyn obu wykojeń. Paradoksalnie wymiana iglicy przeprowadzona 12 września 2007 tylko pogorszyła sytuację, gdyż wartości przewężeń uległy zwiększeniu.

Tabela 1

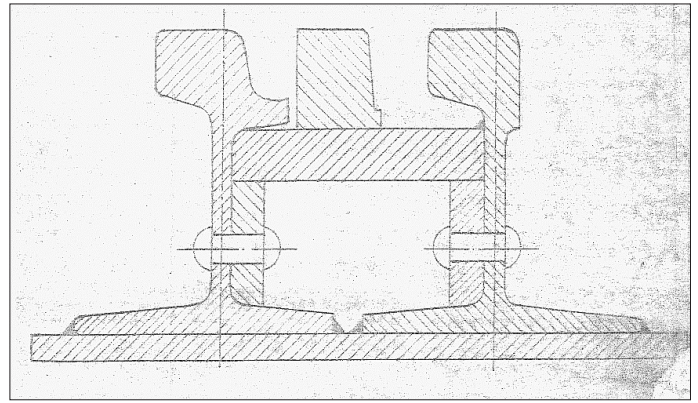
Przewężenie prześwitu (w ramce) w pomiarach z 4.09.2007						
Kilometr [km]	Szerokość [mm]	Gradient [mm]	Przechyłka [mm]	Wichrowatość [mm]	Pion [mm]	Poziom [mm]
0,0035	9,0	-3,9	-66,7	-29,3	2,6	-0,4
0,0040	8,7	-12,3	-69,2	-28,2	2,0	5,9
0,0045	5,1	-9,7	-71,9	-26,2	0,2	3,1
0,0050	-3,7	2,3	-75,8	-22,3	-6,1	-4,9
0,0055	-4,6	1,7	-79,6	-16,9	-11,4	-6,0
0,0060	-1,3	3,8	-81,7	-11,3	-8,2	-5,2
0,0065	-2,9	9,6	-82,8	-7,7	-2,6	-4,9
0,0070	2,5	3,1	-83,2	-5,0	0,2	0,8

Tabela 2

Przewężenie prześwitu (w ramce) w pomiarach z 13.09.2007						
Kilometr [km]	Szerokość [mm]	Gradient [mm]	Przechyłka [mm]	Wichrowatość [mm]	Pion [mm]	Poziom [mm]
0,0035	9,0	-9,6	-69,2	-27,9	3,3	1,9
0,0040	3,4	-9,7	-72,1	-26,7	2,1	2,7
0,0045	-0,6	-5,5	-74,9	-23,7	-3,0	-4,0
0,0050	-6,3	1,0	-77,5	-20,0	-11,0	-7,0
0,0055	-6,0	4,8	-80,6	-16,0	-11,0	-5,7
0,0060	-5,3	12,3	-83,1	-11,4	-2,4	-6,0
0,0065	-1,3	7,9	-83,9	-6,7	0,8	-1,2
0,0070	7,1	-1,1	-83,4	-2,3	-0,3	7,1

Do połowy lat 90. we wrocławskich rozjazdach tramwajowych stosowane były powszechnie iglice z osadą czopową. Zaletą tego typu rozwiązania była mniejsza siła potrzebna do przestawienia iglicy (zarówno w przypadku napędu obsługiwanego ręcznie, jak i mechanicznego), gdyż czop działający na zasadzie przegubu (zawiasu) stawiał niewielki opór, wynikający z tarcia stykających się ze sobą elementów. Niestety wadą tego rozwiązania był brak ciągłości powierzchni tocznej główki szyny. W przypadku bardziej obciążonych tras tramwajowych niekiedy już po półrocznym okresie eksploatacji zwrotnic z osadą czopową pojawiały się różnice wysokości w miejscu osady iglicy, czego skutkiem było generowanie drgań i hałasu, zmniejszenie komfortu jazdy i szybsze zużywanie się taboru.

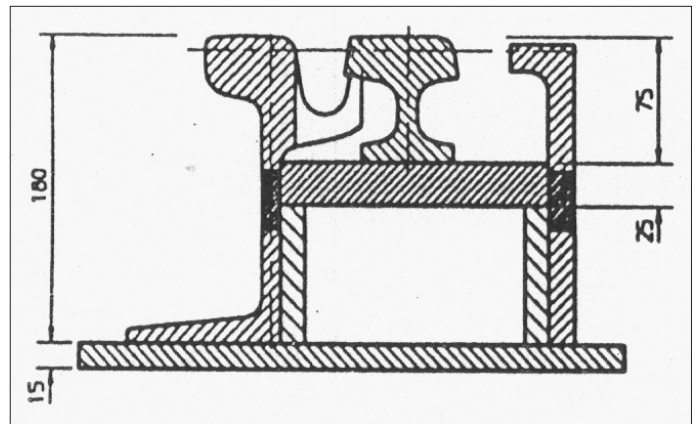
Dlatego już w drugiej połowie lat 90–tych rozpoczęto stosowanie innego typu zwrotnic – z iglicami osadzonymi sprężysto, w których iglica jest na stałe przymocowana za pomocą spawu do szyny, której jest kontynuacją, natomiast przestawianie iglicy jest możliwe dzięki sprężystości materiału, jakim jest stal. Rozwiązanie to pozbawione jest wad starszego typu konstrukcji, niestety w nowym pomysłe kryje się pewne niebezpieczeństwo. Jeżeli ograniczymy się jedynie do zamiany osad czopowych na sprężyste pozostawiając wszystkie pozostałe elementy zwrotnicy bez zmian, nie będzie ona pracować poprawnie. Iglice, w końcowych odcinkach swych długości (tuż przed osadami) będą posiadały kształt przekroju zbliżony do prostokąta (rys. 2), co nie zapewni właściwej swobody odkształceń w kierunku poziomym.



Rys. 2. Niepoprawny (prostokątny) kształt iglicy tuż przed osadą sprężystą

Przedział sprężystej pracy takich iglic będzie przypadał na odcinek pierwszej połowy ich długości (licząc od ostrza iglicy), natomiast druga połowa – będzie praktycznie sztywna, podczas gdy w poprawnie pracujących iglicach powinno być dokładnie na odwrót. Efektem zastosowania takiego rozwiązania mogą być lokalne zwężenia prześwitu torów – właśnie w połowie długości iglic.

Aby tego uniknąć, w końcowych odcinkach długości iglic należy zastosować przekrój zbliżony do dwuteownika (rys. 3), co umożliwi wykształcenie w tym miejscu przegubu sprężystego.



Rys. 3. Poprawny (dwuteowy) kształt iglicy tuż przed osadą sprężystą [7]

Ostatecznymi zaleceniami ekspertyzy stanu technicznego zwrotnicy w ulicy Nowy Świat przeprowadzonej przez Politechnikę było:

- wprowadzenie ograniczenia prędkości do 5 km/h dla tramwajów typu Skoda 16T na analizowanej zwrotnicy,
- w najbliższym sezonie budowlanym – wymiana analizowanej zwrotnicy na nową – nowocześniejszą (pozbawioną wykazanych niedoskonałości konstrukcyjnych).

Podsumowanie

Przedstawione w niniejszym artykule dwa przykłady usprawnień konstrukcyjnych zastosowanych w ostatnich latach we wrocławskich rozjazdach tramwajowych wpisują się niestety w pewien dość powszechny obecnie niekorzyst-

ny trend, polegający na „podpatrywaniu” rozwiązań stosowanych w najbardziej rozwiniętych państwach świata, a następnie adaptowaniu ich do krajowych realiów – niestety poprzez upraszczanie, polegające najczęściej na rezygnowaniu z trudnych do uzyskania albo kosztownych składników tych rozwiązań, co niestety może przynosić skutki odwrotne do zamierzonych.

Zarówno krzyżownice monoblokowe z frezowanymi prostokątnymi rowkami, jak i zwrotnice ze sprężystości osadzonymi iglicami o prostokątnym przekroju na całej długości, pojawiły się we Wrocławiu w połowie lat 90-tych, ale dopiero w roku 2007 dostrzeżono, że sprawiają one pewne problemy, a stało się to za sprawą wprowadzenia do ruchu nowoczesnych niskopodłogowych tramwajów Skoda 16T, których wymagania co do jakości toru okazują się być większe, niż w przypadku wysokopodłogowych tramwajów produkcji krajowej [5].

Oba rozważane rozwiązania konstrukcyjne rozjazdów przez okres ponad dziesięciu lat były z powodzeniem stosowane, co więcej – były uważane za udane! Przez cały ten czas większość nowo zabudowanych wrocławskich rozjazdów tramwajowych w kilku pierwszych tygodniach eksploatacji była „docierana” przez „niezniszczalne” wagony 102N i 105N, i dopiero zderzenie z nowoczesną technologią niskiej podłogi poddało pod wątpliwość poprawność takich praktyk.

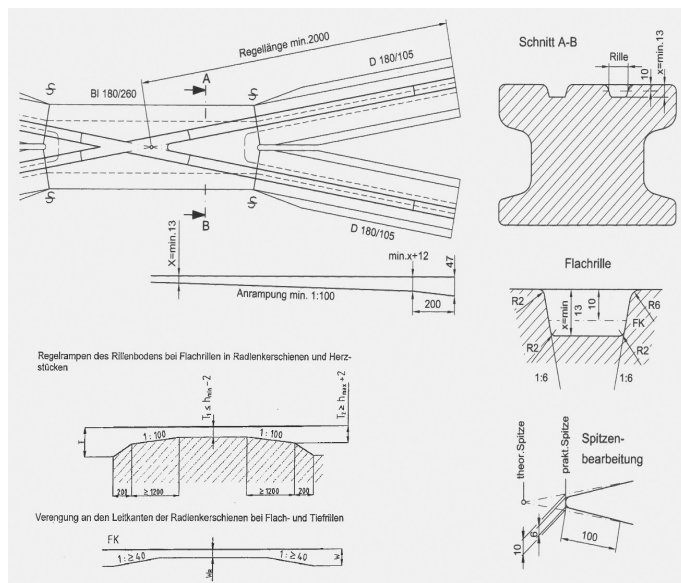
Pikanterii całej sprawie dodaje fakt, że po raz pierwszy problem ujrzał światło dzienne w przypadku sztandarowej inwestycji miejskiej, szeroko opisywanej w prasie i przedstawianej w lokalnych mediach, współfinansowanej z budżetu Unii Europejskiej, w przypadku której inwestor zastosował nowy model kontroli jakości – w postaci nadzoru zewnętrznego.

W próbnych przejazdach przeprowadzanych tramwajami podczas odbiorów na ulicy Szewskiej brał udział przedstawiciel producenta rozjazdów. Już wtedy formułowane były pod jego adresem zarzuty dotyczące zastosowanego kształtu rowków w krzyżownicach. Producent bronił się jednak stwierdzając, że przy zamawianiu rozjazdów należało określić pożądany kształt rowków, gdyż w dokumentacji projektowej nie został on sprecyzowany.

Przykład ten dobitnie pokazuje, iż obecne realia gospodarki kapitalistycznej niestety nie przystają do obowiązujących przepisów oraz poziomu szczegółowości opracowywanych projektów torowych. Producenci starają się osiągnąć jak największy zysk, dlatego produkują zgodnie z dokumentacją i przepisami, ale równocześnie – jak najprościej. Tymczasem w wytycznych projektowania torów tramwajowych [8] określone są jedynie: głębokość rowków splyconych krzyżownic ($10 \div 14$ mm) i pochylenie rampy wypływającej ($1:100$).

W publikacjach w prasie branżowej, na komisjach torowych IGKM oraz konferencjach tramwajowych, już od dłuższego czasu podnoszony jest postulat konieczności natychmiastowej aktualizacji krajowych przepisów normujących projektowanie, budowę i utrzymanie torów tramwajowych. Zdaniem autora niniejszego artykułu, w ramach tej

aktualizacji należy opracować również **szczegółowe zalecenia dotyczące produkcji zwrotnic i krzyżownic**. Można, w tym wypadku skorzystać z bogatych doświadczeń zagranicznych (rys. 4).



Rys. 4. Zalecenia dotyczące wykonania krzyżownic stosowane przez jednego z producentów w Niemczech [6]

Do czasu opracowania takich wytycznych wskazane jest, aby inwestorzy wymagali od projektantów bardziej szczegółowego precyzowania zaleceń dotyczących wykonania rozjazdów w projektach torów tramwajowych.

Literatura:

1. 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.
2. 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.
3. 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 31/2007, Wrocław, maj 2007.
4. Krużyński M., Piotrowski A., Makuch J., Gisterek I., *Ekspertyza techniczna zwrotnicy tramwajowej w ul. Nowy Świat we Wrocławiu po wykojeniach w dniach 23.08.2007 i 3.09.2007*, SITK RP Oddział Wrocław, grudzień 2007.
5. Makuch J., *Problemy utrzymania torów tramwajowych w warunkach sukcesywnego wprowadzania nowoczesnego taboru niskopodłogowego*, Mat. II Konferencji Naukowo-Technicznej „Projektowanie, budowa i utrzymanie infrastruktury w transporcie szynowym”, Zakopane 2009.
6. ThyssenKrupp GfT Gleistechnik – materiały reklamowe.
7. VAE Aktiengesellschaft – materiały reklamowe.
8. *Wytyczne techniczne projektowania, budowy i utrzymania torów tramwajowych*, MAGTiOŚ 1983.