

Inż. Łukasz WOLNIEWICZ*

PROPOZYCJA ZASTOSOWANIA MODYFIKACJI PROFILU KOŁA PST W TRAMWAJACH WROCŁAWSKICH

Słowa kluczowe: tramwaje, tabor, infrastruktura torowa, profil PST

STRESZCZENIE

W referacie przedstawiono problemy zużycia kół tramwajowych w warunkach wrocławskich. Problemy te są spowodowane głównie niezgodnościami technicznymi. Zużycie zestawów kołowych i szyn tramwajowych zależy od wzajemnego dostosowania pod względem kształtów. We Wrocławiu stosowany jest od wielu lat profil starego typu T, który według dotychczasowych analiz zużywał się w mniejszym stopniu niż profil PST zalecany i stosowany w wielu innych miastach w Polsce gdzie eksploatowana jest komunikacja tramwajowa. W referacie przedstawiono argumenty przemawiające za ponownym badaniem na wybranych trasach, zaproponowano również plan i metodę badań.

1. CHARAKTERYSTYKA SIECI TRAMWAJOWEJ WE WROCŁAWIU

Sieć tramwajowa we Wrocławiu ma długość około 190 km. Rozstaw szyn wynosi 1435 mm. Na terenie miasta występuje niewielkie zróżnicowanie linii w profilu. W eksploatacji są ok. 362 wozy tramwajowe, które tworzą 88 pociągów wieloczlonych oraz 137 pociągów dwuwagonowych. Sieć tramwajowa składa się z różnych typów szyn, zarówno S49, jak i 180 S, 180 W, Ri60N oraz inne typy wbudowane w jezdnię. Pod tym względem torowiska wrocławskie są podobne do torowisk w innych dużych miastach, takich jak Poznań, Kraków. Za utrzymanie taboru odpowiada MPK, natomiast za utrzymanie torowisk Zespół Torowy w Zarządzie Dróg i Utrzymania Miasta. Poprawa trwałości torowisk oraz kosztów utrzymania taboru leży we wspólnym interesie wymienionych instytucji. W tramwajach stosowane są obręcze typu T.

* Politechnika Wrocławska

Istotne dla trwałości taboru oraz degradacji torowisk jest szybkie reagowanie na uszkodzenia toru zgłaszane przez motorniczych. Czas reakcji wpływa na zakres naprawy i dalszą degradację. Ważnym czynnikiem jest także jakość wykonywanych napraw oraz czy są realizowane podczas ruchu liniowego. Ten ostatni czynnik wiąże się z możliwymi błędami podczas napraw, które skutkują mniejszą trwałością lub sytuacją zagrożenia.

Z wywiadów przeprowadzonych w grupie motorniczych wynika, że w wielu przypadkach ignorowane są zgłaszane przez nich nieprawidłowości dotyczące różnych miejscowych uszkodzeń torowisk, które często są przyczyną wykolejeń wozów tramwajowych. Zaobserwowano także brak procedur związanych z wykolejeniami, które prowadziłyby do analiz i ustalenia przyczyn takiego zdarzenia. Efektem tego mogą być kolejne zdarzenia w niewielkich odstępach czasu. Analizując raporty wykolejeń dostrzegalna jest dominacja zdarzeń spowodowanych „złym stanem infrastruktury”.

2. PROFIL PST

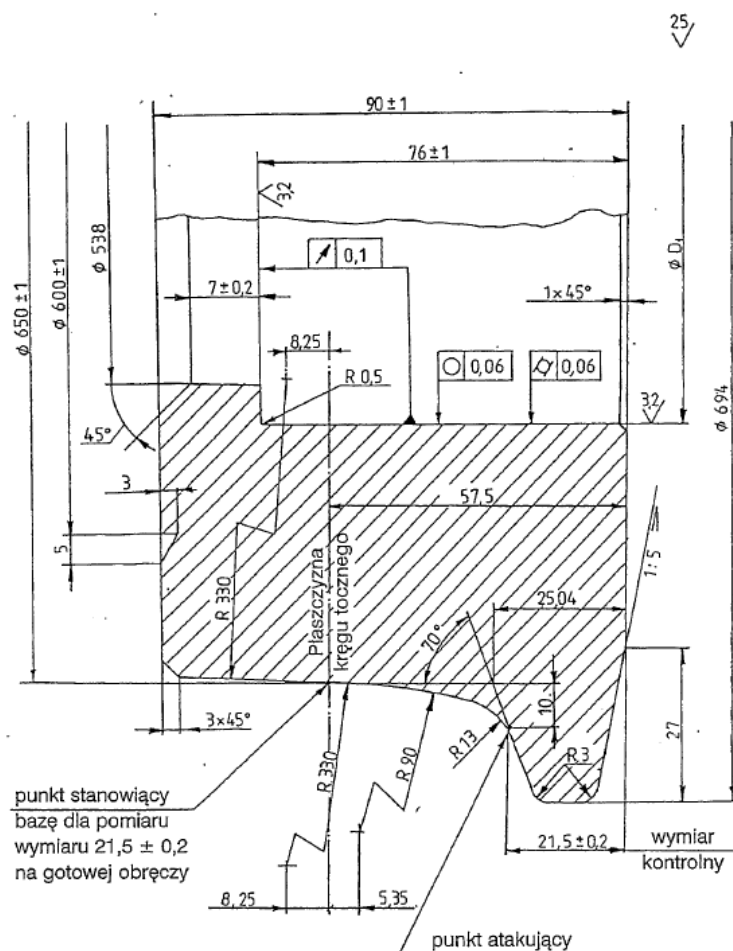
2.1.CHARAKTERYSTYKA PROFILU PST

Profil koła tramwajowego typu PST został opracowany w połowie lat 80-tych XX wieku w Instytucie Pojazdów Szynowych *Tabor* w Poznaniu dla nowej linii tamtejszego szybkiego tramwaju. W 1992 roku objęto go normą PN-91 K-88251. W 1997 roku wprowadzono normę PN-K-92016 (rys. 1) dopuszczającą stosowanie innego konturu bieżni, jeśli zachowa się średnicę zewnętrzną i wymiar kontrolny szerokości obrzeża. Obie normy różnią się także promieniem łuku przejściowego, w starszej wynosi on 80 mm, a w nowszej 90 mm [1, 2]. Kształt kołowy części roboczej w profilu PST powoduje powstawanie siły geometrycznej centrującej, pochodzącej od sił grawitacyjnych. W związku z tym profil ten jest także korzystny dla pojazdów z kołami niezależnymi.

2.2.PROBLEMY WYSTĘPUJĄCE PODCZAS EKSPLOATACJI PROFILU PST

W trakcie eksploatacji zauważono pewne niedoskonałości stosowanego profilu, które, zdaniem specjalistów, można zredukować poprzez nieznaczną modyfikację jego zarysu. Główny problem dotyczy wężykowania zestawów kołowych profilu T podczas jazdy po szynach typu S49. Dodatkowo punkty styku kół z szynami przemieszczają się w zbyt wąskim zakresie. Powoduje to silne zużycie ścierne i zmęczeniowe podczas jazdy

po szynach S49 oraz szynach rowkowych 60R2. Ekwiwalentna stożkowatość mieści się w dopuszczalnych wartościach na szynach 60R2, a na szynach S49 jest zbyt duża.

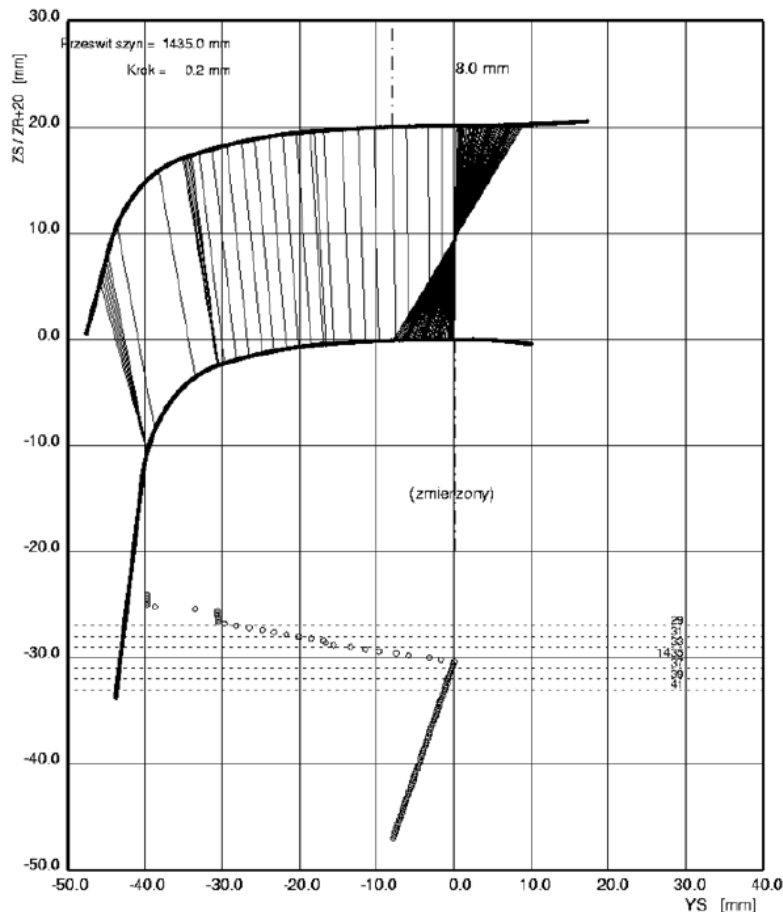


Rys. 1. Profil PST według normy PN-K-92016.

Źródło: [2].

Podczas jazdy po szynach R49 i 60R2 można zaobserwować także brak centrowania geometrycznego i kinematycznego kół, wynikający z kąta styku strefy położonej po zewnętrznej stronie koła z szyną. Kąt ten jest zbliżony do poziomu. Zjawisko występuje najczęściej na odcinkach prostych.

Przeskok punktu styku przy współpracy profilu PST z szyną S49 występuje przy rozstawie 1430 mm, a dla szyny 60R2 przy 1435 mm. Skutkiem tego jest niestabilność toru jazdy. Na rys. 2 i rys. 3 przedstawiono rozkład punktów styku. Zużycie ściernie ma miejsce w środkowej części profilu PST, przez co stożkowatość podczas jazdy na odcinku prostym ulega zmniejszeniu. Na łukach natomiast dochodzi do częstszego kontaktu obrzeża z powierzchnią wewnętrzną rowka lub szyny z obrzeżem koła. Oprócz zużycia powoduje to zwiększenie hałasu [3].



Rys. 2. Rozkład punktów styku profilu PST na szynie 60R2.

Źródło: [3].

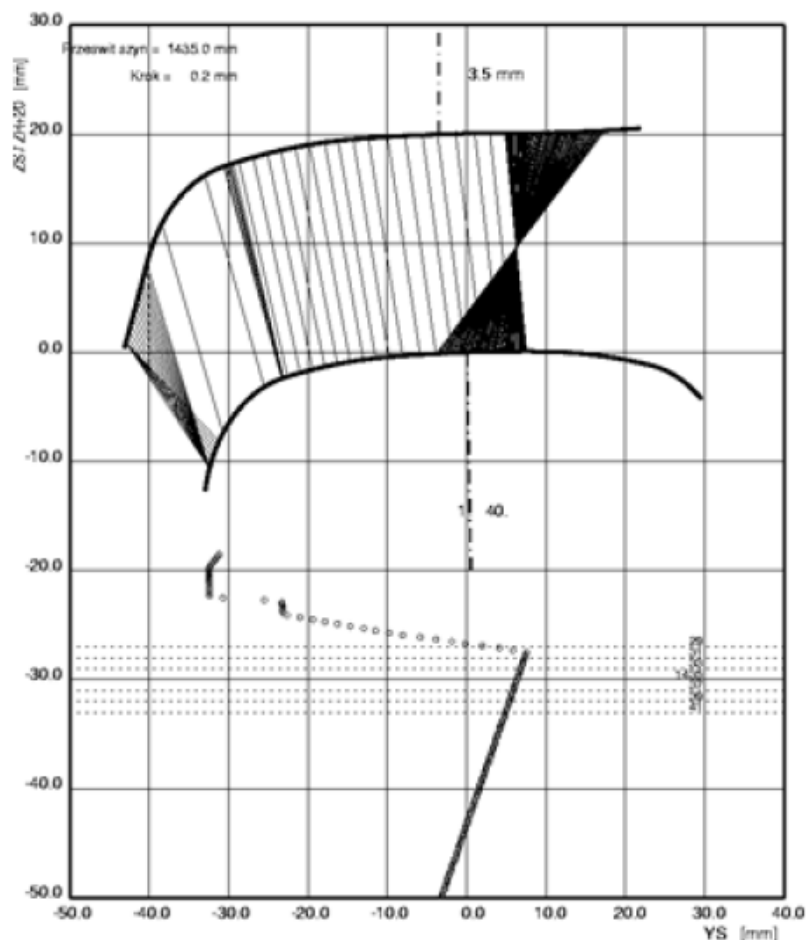
2.3.MODYFIKACJE PROFILU PST

Modyfikacje mają na celu poprawienie wcześniej wymienionych wad w zakresie dopuszczonym przez normę PN-K-92016. Autorzy referatu pt. *Propozycja modyfikacji profilu koła tramwajowego PST* z Instytutu Pojazdów Szynowych TABOR [3] proponują trzy zasadnicze rodzaje udoskonaleń profilu PST.

Modyfikacja A – zmiana środka promienia wypukłego R330 z 8,25 mm na -8,25 mm (rys.1, położenie środka łuku R = 330 mm). Podgrupą jest modyfikacja As, czyli zastosowanie odcinka prostego o pochyleniu 1:20 zamiast łuku kołowego w części zewnętrznej profilu. Zużycie torów i kół przesunie się w kierunku wewnętrznym, co zapewni lepsze prowadzenie na łukach. W profilu takim lepsze powinno być także prowadzenie kinematyczne kół niezależnych. Wyniki przeprowadzonych badań wskazują, że zużycie szyn byłoby niewiele mniejsze niż tradycyjnym PST.

Modyfikacja B – propozycja zmiany środków promieni R330 (wklęsłego i wypukłego) z 8,25 mm na 12 mm. W przypadku wężykowania dla szyn 60R2 i S49, punkty styku

z kołami w szerokiej skali zmieniają swoje położenie, dzięki czemu zużycie ścierne i zmęczeniowe jest rozłożone na całą powierzchnię.



Rys. 3. Rozkład punktów styku profilu PST na szynie 60R2.

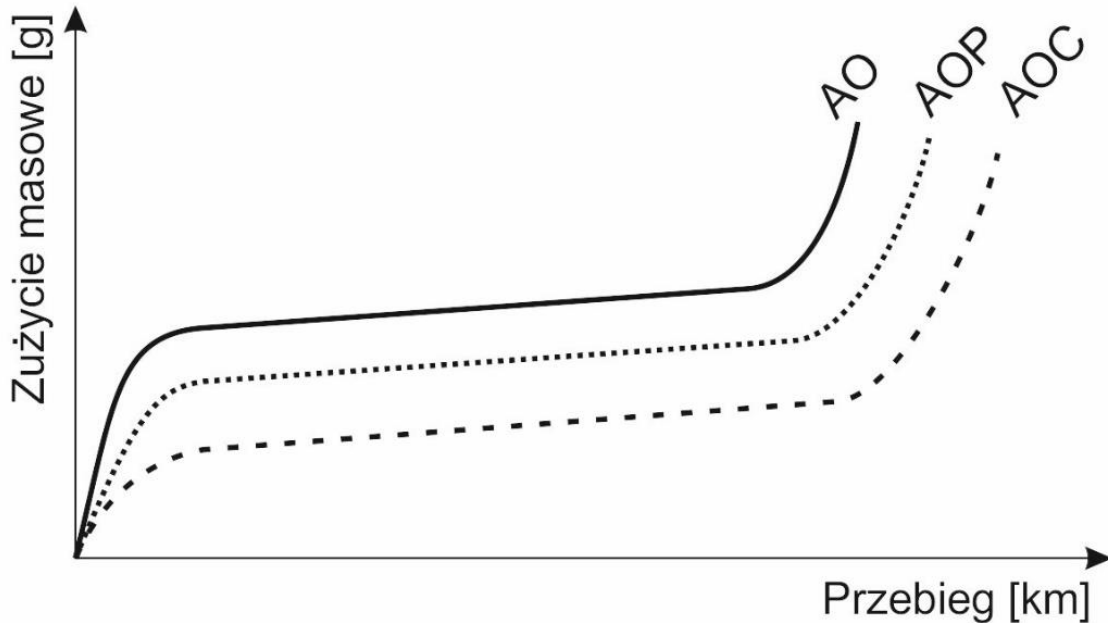
Źródło: [3].

Modyfikacja C – propozycja zmiany środków promieni R330 (wkłęsłego i wypukłego) z 8,25 mm na 16 mm. W porównaniu do poprzedniej modyfikacji w tym przypadku łuk jest bardziej przesunięty. Naciski rozkładają się równomierniej, styk koło-szyna jest stabilny w większym obszarze, dzięki czemu zużycie ścierne kół i szyn jest mniejsze.

3. PROFIL OBREČZY A ZUŻYCIE ŚCIERNE

Zagadnienie to jest przedmiotem badań od wielu dziesiątków lat. W przypadku kolejowych pojazdów szynowych, jako podstawowe profile stosowane były kolejno profile obręczy AO, AOP, AOC. Ewolucyjne zmiany zmierzały w kierunku wydłużenia okresu

stabilnej pracy obręczy oraz zmniejszenia jej zużycia ściernego. Procesy te jakościowo ilustruje rys. 4.



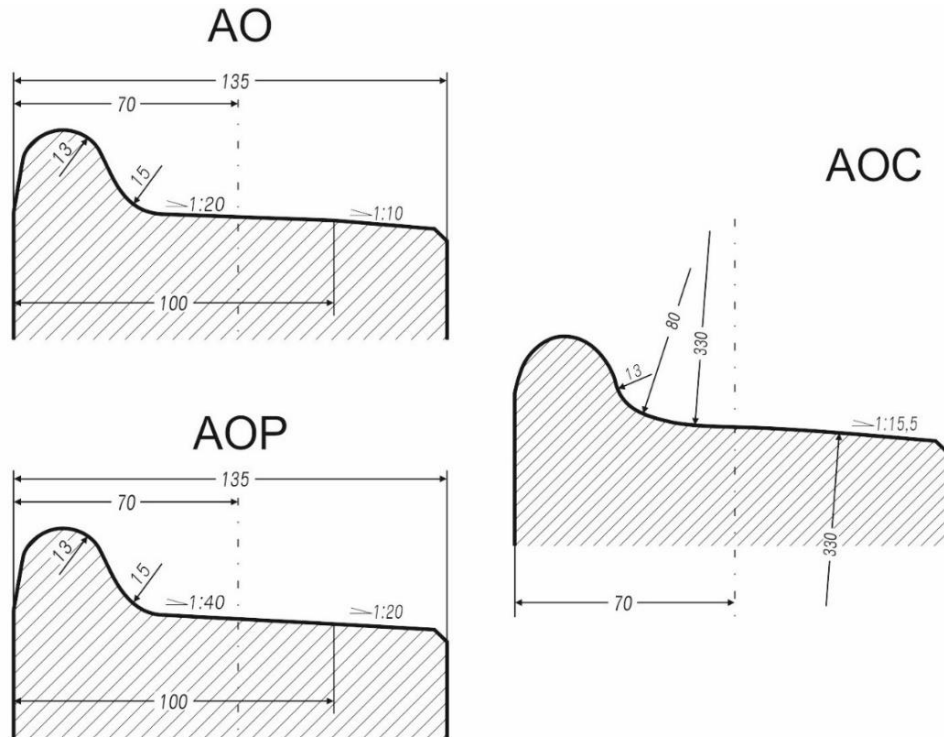
Rys. 4. Poglądowy przebieg zużycia ściernego obręczy w funkcji przebiegu.

Źródło: opracowanie własne.

Zarys AOC ukazuje profil ustabilizowany. Rzeczywisty zarys tego profilu dobrze odwzorowuje zestaw wymiarów geometrycznych, który składa się z łuku wypukłego $R=330$ mm, łuku wklęsłego $R=330$ mm oraz pochylenia 1:15,5. Koła zestawów tramwajowych pracują nieco inaczej niż koła kolejowe, ponadto ze względu na eksploatację torowisk zabudowanych w jezdniach, posiadają obręcze o mniejszej szerokości. Z tego względu zarysy obręczy tramwajowych [2] nie w pełni odwzorowują zarysy kolejowe (rys. 5 i rys. 6).

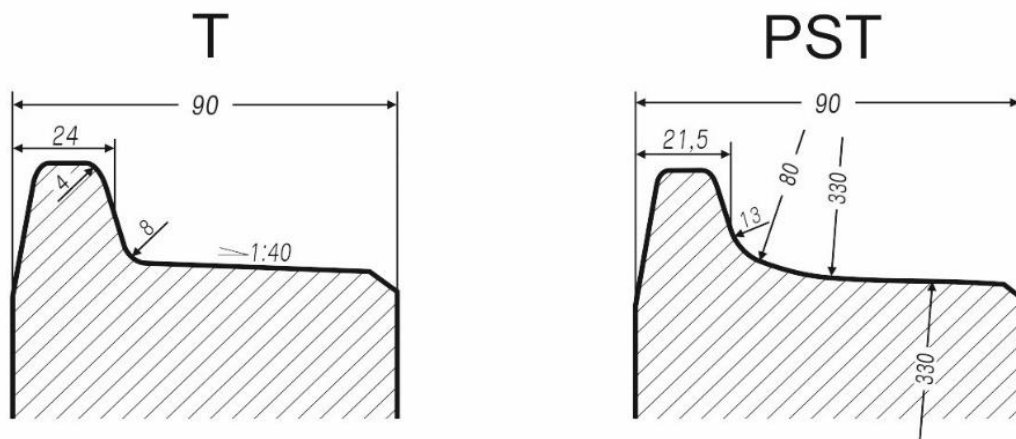
Zarys tramwajowy T oparty jest na zarysie kolejowym AOP, natomiast zarys PST na zarysie kolejowym AOC. Generalnie obręcze tramwajowe ze względu na specyfikę swojej pracy zużywają się wielokrotnie szybciej niż obręcze kolejowe.

Szyny tramwajowe eksploatowane na odcinkach prostych ulegają dużemu zużyciu ściernemu, dlatego powinny charakteryzować się odpornością na ścieranie. W tym celu jako materiał na tory stosuje się stale wysokowęglowe o strukturze perlitycznej. Są one twarde, odporne na pękanie i ścieranie. Powodem do reprofilacji zestawów kołowych może być płaskie miejsce na powierzchni koła lub nadmierne zużycie obrzeża.



Rys. 5. Zarysy obręczy kolejowych AO, AOP, AOC.

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 6. Zarysy obręczy tramwajowych T i PST.

Źródło: opracowanie własne.

Zagadnienia zużycia kół były przedmiotem wielu prac [4, 5, 6]. W publikacjach tych, bardzo wszechstronnych i wnikliwych, brakuje informacji na temat przebiegu zużycia ściernego obręczy w funkcji przebiegu. Wyniki tego rodzaju badań pozwoliłyby określić wpływ parametrów eksploatacyjnych, obciążeń, charakteru danego zestawu (toczny, na-

pędny), systemu smarowania – na przebieg zużycia. Cenne byłyby wyniki porównawcze dla różnych konstrukcji tramwajów.

We Wrocławiu możemy wyróżnić dwa typy tramwajów: ciężkie (wozy z trzema sztywnymi wózkami typu Skoda) i lekkie (pozostałe modele). W zależności od klasyfikacji pojazdu, obręcze wykazują inny sposób zużycia podczas eksploatacji. W tramwajach ciężkich powierzchnie boczne obrzeża koła w drugim zestawie kołowym są rozwalcowane. Jest to mniej widoczne w pierwszym zestawie kołowym, gdyż ma tam miejsce dodatkowo silne zużycie ścierane przez nabieganie koła na szynę. Obręcz rozwalcowana jest na obrzeżu i na zewnętrznej powierzchni części czołowej, gdzie materiał jest wyciskany przez ciężki tramwaj podczas wężykowania po torze zużytym i wypływa po obu stronach obręczy. Najczęściej przyczyną jest niedopasowanie materiału oraz infrastruktury do liczby wózków w ciężkich pojazdach. Rozwalcowanie na powierzchni wierzchołka obrzeża koła wynika z jazdy po krzyżownicach płytko-rowkowych. Ich płaszczyzna wierzchołka jest płaska, co powoduje niekorzystny rozkład naprężeń powierzchni kontaktowej. Rozwiązaniem jest zaokrąglenie tej powierzchni. Spłaszczenie powierzchni następuje podczas eksploatacji w wyniku zużycia oraz poprzez rozwalcowanie. Korzystniejsze jest odejście od tego typu krzyżownic na rzecz krzyżownic głęboko-rowkowych. W tramwajach lekkich profile kół zużywają się w inny sposób. Zużycie następuje na szerokości obrzeża koła, a mniej na wysokości. Obręcz zużyta na szerokości podczas reprofiliacji wymaga zebrania większej ilości materiału obręczy, co skraca znacznie jej żywotność. W ten sposób narażamy się na dodatkowe koszty. W tramwajach ciężkich zużycie obręczy ma miejsce zarówno na wysokości jak i szerokości. Związane jest to z prowadzeniem wózków zwrotnych o stosunkowo małej podatności na kątowe skręcenia (ok. $1,15^{\circ}$), co powoduje duże siły prowadzące i jednocześnie zużywanie się obrzeży.

4. PLAN BADAŃ ZUŻYCIA ZESTAWÓW KOŁOWYCH

4.1. PRZYGOTOWANIE PRÓBY BADAWCZEJ, METODA BADAŃ

W związku z różnorodnością szyn i podtorzy, na których ułożone są szyny we Wrocławiu, planuje się badania na wydzielonych liniach, które można uznać za stosunkowo nowe, w bardzo dobrym stanie. Są to linie tramwajowe 31, 7 i 4. Charakterystyki tych linii zawiera tabela 1.

Na wszystkich zestawach kołowych badanych pociągów tramwajowych na obwodzie obręczy zostaną zaznaczone punkty referencyjne, co 45° . W punktach tych zdejmowany

będzie profil obręczy za pomocą profilometru laserowego IKP-5T. Profilometr ten pozwala z dużą dokładnością zmierzyć promień obręczy na całej jej szerokości, pozwala przeliczyć różnicę promieni w stosunku do profilu wyjściowego oraz obliczyć zgodnie z regułami Guldina objętość figury odpowiadającej zużyciu ściernemu obręczy.

Tab. 1. Charakterystyka wybranych linii tramwajowych.
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych ZDiUM.

Nr linii	Długość trasy [km]	Rodzaj szyn			Stan torowiska (bardzo dobry) [%]
		Ri60N [%]	S49 [%]	LK1 [%]	
31	13	73	8	19	72
7	11	62	36	2	39
4	12	61	39	0	66

Omawiane urządzenie pozwala zarchiwizować wyniki z wielu pomiarów. Zużycie ściernie wyrażone w jednostkach objętości lub masy dla danego koła będzie obliczone jako średnia wartość z ośmiu punktów referencyjnych na obwodzie obręczy. Pomiary będą prowadzone na stanowisku badawczym na tokarni podtorowej, gdzie istnieje możliwość łatwego dostępu do poszczególnych punktów referencyjnych. Zakłada się krok obliczeniowy 1 mm na szerokości obręczy. Poprzez wyznaczenie 8 punktów referencyjnych na obwodzie koła chcemy uniknąć wpływu korugacji obręczy na wyniki zużycia.

4.2. PLAN BADAŃ EKSPERYMENTALNYCH

Przedmiotem badań będą tramwaje Skoda 16T (5-członowy, na trzech wózkach, 6 zestawów kołowych) i PESA Twist (3 człony, 4 wózki, 8 zestawów kołowych), wyposażone w zestawy kołowe o profilu T i zmodyfikowane PST typu C. W tramwajach 16T wózki skrajne są wózkami napędzonymi z osiami smarowanymi natryskowo. Planuje się prowadzenie badań na 4 pociągach tramwajowych, po dwa z każdego typu. Obserwowane będą wszystkie osie pojazdów. W ten sposób uzyskamy wyniki na temat zużycia zestawów:

- napędnych, smarowanych,
- napędnych niesmarowanych,
- tocznych niesmarowanych.

We wszystkich wariantach badane będą profile T oraz zmodyfikowane PST typu C. Spodziewam się jednoznacznej odpowiedzi odnośnie trwałości zestawów kołowych na torowiskach o charakterystykach podanych w tabeli 1.

W tej sytuacji pomiary obejmą 2 x 12 kół w tramwaju 16T oraz 2 x 16 kół w tramwaju PESA Twist. Pomiary będą prowadzone przy okazji przeglądów technicznych OT-1, 5 do 6 tys. km przebiegu. Okres pomiędzy reprofilacją wynosi średnio 60 tys. km. Można powiedzieć, że proces reprofilacji zeruje wyniki zużycia ściernego. O ile warunki na to pozwolą, badania będą kontynuowane do momentu wymiany obręczy.

5. PODSUMOWANIE

Analizy tego typu były już wykonywane w innych polskich miastach (np. Poznań i Kraków). Każde miasto to jednak indywidualne warunki eksploatacji i tabor. W najbliższych latach do eksploatacji mogą wejść te typy konstrukcji tramwajowych, które zostały wytypowane do badań. Z jednej strony zyskamy głębszą wiedzę na temat zużycia zestawów w trakcji tramwajowej, z drugiej wyniki tych badań mogą przyczynić się do zmniejszenia kosztów eksploatacji.

Podczas badań zaleca się zastosowanie zmodyfikowanego profilu PST, gdyż głównym problemem w tradycyjnym PST jest wężykowanie. Proponowane modyfikacje poprawiają stabilność biegu tramwaju i zmniejszają zużycie. Podczas przejazdu po łuku obrzeże zużywa się w mniejszym stopniu, a pojazd nie generuje hałasu o wysokiej częstotliwości i natężeniu. Zużywająca się powierzchnia toczna szyny przy zastosowaniu zmienionego profilu PST będzie wykazywać lepsze dostosowanie się do współpracy z kołem. Dotyczy to także szyn zużytych w ograniczonym stopniu przed wprowadzeniem do ruchu nowych zestawów kołowych.

LITERATURA

- [1] Czyczuła W., Tułeczki A., Budowa i badania eksploatacyjne pojazdu kolejowo – drogowego TRAMKOL-02, Technika Transportu Szynowego 6/2000
- [2] Finke Sz., Piechowiak T., Bryk K., Sienicki A., Propozycja modyfikacji profilu koła tramwajowego PST – referat na konferencję Pojazdy Szynowe 2016
- [3] Norma PN/91 K-88251 – Kontur bieżni kół elastycznych wagonów tramwajowych, 1991
- [4] Norma PN-K-92016 – Tramwajowe zestawy kołowe, elastyczne. Obręcze obrobione, Wymagania i badania, 1997

- [5] Piec P., Analiza zużycia wieńca koła zestawów kołowych pojazdów szynowych, Logistyka – nauka nr 3/2014
- [6] Zając G., Jurga S., Badania trwałości obręczy kół tramwajowych eksploatowanych w MPK S.A. w Krakowie, Problemy eksploatacji nr 2/2009

PROPOSITION OF APPLICATION OF MODIFICATION OF PST WHEEL PROFILE IN WROCLAW'S TRAMS

Keywords: tramway, tramway track, profile of type PST

ABSTRACT

My project shows the problems of usage of tram's wheels in Wroclaw's conditions. These problems are caused mainly by technical incompatibilities. Wheel sets and rails usage depends on mutual adjustment in terms of shapes. In Wroclaw, there is applied the profile of an old-type T, which, according to existing analysis, was getting old to a lesser extent than recommended profile of type PST and used in many other cities in Poland. In my project you can find the arguments, which stand for redoing some research on selected routes, there is also the plan that I propose and some methods of the research.