

**Kształtowanie profilu koła tramwajowego w aspekcie oddziaływania dynamicznego z szyną**

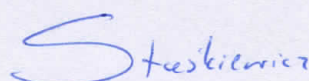
Obręcze kół tramwajowych, pomimo ponad dwukrotnie niższego dopuszczalnego nacisku na szynę, prezentują znacznie krótsze przebiegi międzyprzetoczeniowe niż koła i obręcze kolejowe. Dodatkowo, z uwagi na konieczność kupowania obręczy dla nowoczesnych tramwajów u zagranicznych producentów, ich wysoka cena stanowi istotny problem dla operatorów taboru tramwajowego w Polsce. Jedną z metod obniżenia tego składnika kosztu utrzymania jest zapewnienie właściwej współpracy profilu koła z szyną, zapewniającej bezpieczeństwo jazdy przed wykolejeniem oraz równomierne, powolne zużywanie się elementów pary ciernej. Niemalże od rozpoczęcia eksploatacji kolei o trakcji parowej na początku XIX w. wprowadzano kolejne modyfikacje profili kół i szyn, będące efektem naukowych analiz i rozważań. Dzisiaj branża transportu kolejowego dysponuje ogromnym zasobem wiedzy naukowej, w tym poświęconej różnym zagadnieniom współpracy koła z szyną. Niektóre z opisywanych w aspekcie eksploatacji kolei zjawisk i zależności parametrów związanych z kontaktem koła i szyny mogą zostać, przy dostosowaniu odpowiednich założeń, odniesione do pojazdów tramwajowych. Kwantyfikacja oddziaływania dynamicznego koła z szyną daje możliwość dogłębnego zrozumienia istoty współpracy tej pary ciernej, jednocześnie umożliwiając przeciwdziałanie występowaniu niekorzystnych warunków. Takimi warunkami może być dwupunktowy styk koła z szyną, występowanie wysokich naprężeń kontaktowych, wspinanie się koła na szynę itp., które mogą przyczyniać się między innymi do zwiększenia intensywności zużywania się kół (i szyn) lub obniżenia bezpieczeństwa jazdy. Jednym ze sposobów przeciwdziałania niekorzystnej współpracy koła z szyną lub dalszej poprawy istniejących rozwiązań jest optymalizacja profilu koła. Współczesne techniki komputerowe umożliwiają szybki dobór i analizę setek tysięcy profili kół w poszukiwaniu rozwiązania optymalnego ze względu na określone wymagania i warunki eksploatacji. Tak szeroki zakres jest niemożliwy do osiągnięcia posługując się metodami opartymi wyłącznie na weryfikacji eksperymentalnej. Wszystko to otwiera możliwość dogłębnego poznania zjawisk występujących podczas eksploatacji pary koła tramwajowego z szyną oraz uzyskanie cech pożądanых przez operatora systemów tramwajowych.

W niniejszej rozprawie doktorskiej skupiono się na tematyce kształtowania profilu koła tramwajowego w aspekcie oddziaływania dynamicznego z szyną. Odwołując się do stanu obecnego w zakresie warunków eksploatacji tramwajów na przykładzie miasta Poznania, a także dostępnej literatury naukowej, określono wpływ wybranych parametrów profilu poprzecznego i radialnego (odchyłki promienia tocznego) koła tramwajowego na oddziaływanie dynamiczne z szyną. Zweryfikowano także zmiany wybranych parametrów współpracy koła i szyny zaistniałe wskutek zużywania się profili współpracujących powierzchni. Prezentowana w niniejszej pracy problematyka uzupełnia wiedzę w zakresie współpracy koła tramwajowego z szyną, a także jej kształtowania, ze względu na dotychczasową niewielką liczbę opracowań naukowych istniejących w ramach tego zagadnienia.

Utylitarnym aspektem niniejszej rozprawy jest opracowanie metodyki doboru profilu koła tramwajowego do warunków eksploatacji. W tym celu sformułowano główne zależności parametrów profilu koła tramwajowego w aspekcie bezpieczeństwa jazdy i intensywności zużywania, określono założenia dla projektowania nowych profili kół tramwajowych oraz opracowano założenia metodyki ich weryfikacji.

Na podstawie materiału badawczego opracowanego w niniejszej pracy przeprowadzono optymalizację nowego profilu koła tramwajowego dla wybranego pojazdu eksploatowanego przez Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne w Poznaniu. W pracy przedstawiono, na przykładzie nowo opracowanego profilu PP7, tok numerycznej weryfikacji dynamicznej współpracy z szyną, a także omówiono wyniki eksploatacji nadzorowanej.

**Słowa kluczowe:** tramwaj, symulacja układów wielomasowych, profil koła, profil szyny, zużywanie, bezpieczeństwo przed wykolejeniem, optymalizacja.





**On tram wheel profile design in terms of dynamic interaction with rail**

Tram wheel rims, despite their permissible axle load being two times lower, present significantly shorter mileage expectancies than railway wheels or wheel rims. Additionally, the high price of rims for modern trams which come from abroad is a significant problem for tram rolling stock operators in Poland. One of the methods for reducing this maintenance cost is to ensure the proper interaction of the wheel-rail pair which gives the required level of ride safety and an even, mild wear of the friction pair elements. Almost since the beginning of traction engine operation at the dawn of the 19th century, modifications were being made to wheel and rail profiles, and some of them were the result of scientific analyses and considerations. Today, the rail transport industry can take advantage of a huge base of scientific knowledge, including works dedicated to various issues of wheel and rail interaction. Some of the phenomena and dependence of parameters related to wheel and rail contact described from the railway operation aspect can be, when modifying the relevant assumptions, applied to tram vehicles. Quantification of the dynamic interaction of the wheel-rail pair gives the possibility of a thorough understanding of the essence of cooperation of this friction pair, while enabling the prevention of adverse operational conditions. Such conditions may be: two-point wheel-rail contact, high contact stress, wheel climbing on the rail, etc., which may contribute – among other issues – to increased wear of the wheels (and rails) or reduced ride safety. One of the ways to prevent adverse wheel-rail cooperation or to further improve existing solutions is to optimise the wheel profile. Modern computer techniques allow the quick analysis of hundreds of thousands of wheel profiles in search of optimal solutions that adhere to specified requirements and operating conditions. Such a broad analysis is impossible to achieve using methods based solely on experimental verification. All of this opens up the possibility of learning the phenomena that occur during the operation of a tram wheel-rail pair in-depth and fulfilling the features desired by the tram system operator.

This dissertation focuses on the topic of designing a tram wheel profile in terms of dynamic interaction with the rail. By referring to the current state in terms of tram operation conditions, the example of the city of Poznań, as well as the available state-of-the-art scientific literature, the impact of selected parameters of the transverse and radial (rolling radius deviations) tram wheel profile on the dynamic interaction with the rail was determined. Changes in selected parameters of wheel-rail interaction as a result of wear to the profiles of the interacting surfaces were also verified. The issues presented in this work supplement the knowledge in the field of tram wheel-rail interaction – as well as its design – due to the small number of scientific studies in this area to date.

A utilitarian aspect of the work is to develop a methodology for tailoring a tram wheel profile for the specified operating conditions. The main dependencies of the parameters of the tram wheel profile in terms of driving safety and wear intensity, assumptions for the design of new tram wheel profiles and the verification methodology for new tram wheel profiles were formulated. On the basis of the research material developed in this dissertation, the optimisation of a new tram wheel profile was carried out for a selected vehicle operated by the Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne w Poznaniu (Eng. Municipal Transport Company in Poznan). The workflow of numerical verification of the dynamic cooperation with the rail are presented on the example of the newly designed PP7 profile and the results of supervised operation are discussed.

**Keywords:** tram, multibody simulation, wheel profile, rail profile, wear, ride safety, optimisation.

