

dr inż. Jacek Makuch^{1*)}

ORCID: 0000-0001-6052-0970

dr inż. Igor Gisterek¹⁾

ORCID: 0000-0001-6285-937X

dr inż. Adam Hyliński¹⁾

ORCID: 0000-0002-3871-3618

Traps of new solutions for tram track construction

Pułapki nowych rozwiązań konstrukcji torów tramwajowych

DOI: 10.15199/33.2025.09.09

Abstract. This article presents a study of four cases where implementation of completely novel solutions on Wrocław's tram tracks caused dangerous moments during exploitation. For each of the analysed cases, causes of the problems that occurred were identified and undertaken corrective actions are presented. The background of the considerations is a systemic change that took place in Poland 30 years ago and a problem of the lack of amendments to regulations concerning tram tracks for three consecutive decades.

Keywords: wheel-rail interface; tram turnouts; vibroisolation mats; low floor trams; tram-bus routes.

Streszczenie. W artykule przedstawiono studium czterech przypadków wdrożenia we wrocławskich torach tramwajowych zupełnie nowych rozwiązań konstrukcyjnych, które, jak się później okazało, miały istotne wady z punktu widzenia bezpieczeństwa ruchu. Dla każdego z analizowanych przypadków określono przyczyny zaistniałych problemów oraz zastosowane działania naprawcze. Tłem rozważań są zmiany ustrojowe, jakie dokonały się w Polsce 30 lat temu, oraz problem braku nowelizacji przepisów dotyczących torów tramwajowych przez trzy kolejne dekady.

Słowa kluczowe: współpraca koła z szyną; rozjazdy tramwajowe; maty wibroizolacyjne; tramwaje niskopodłogowe; trasy tramwajowo-autobusowe.

A breakthrough moment in the development of Wrocław's tram track construction came in the mid-1990s. This was linked to the political changes that took place in our country after 1989. The introduction of a market economy, changes in the public transport management model, and the import of technology from developed countries all contributed to the widespread adoption of many innovative tram track construction solutions. Thirty years have passed since this breakthrough. During this period, we participated in numerous consultations on problems related to the design of Wrocław's tram tracks [1]. The article discusses solutions whose application brought results that were different from those intended. The new solutions contained certain "traps," which, unfortunately, were only revealed after construction work was completed and the tracks were put into service.

Frogs

Until the mid-1990s, tram turnout frogs in Wrocław were made from standard grooved tram rails (Figure 1a). These rails were cut to size and welded together. It was also necessary to use groove shallowing (Figure 1b) to ensure that the tram wheels passed through the frogs with their flange, not their tread, preventing them from falling into the "unsuitable" groove and hitting its bottom, generating noise and vibration. These shallows were achieved by welding specially profiled steel inserts into the groove bottom. Unfortunately, such frogs were characterized by limited

Przełomowym momentem w rozwoju konstrukcji wrocławskich torowisk tramwajowych była połowa lat dziewięćdziesiątych XX wieku. Wiąże się to ze zmianami ustrojowymi, jakie miały miejsce w naszym kraju po 1989 r. Wprowadzenie gospodarki rynkowej, zmiany w modelu zarządzania transportem publicznym, import technologii z państw rozwiniętych – to wszystko przyczyniło się do rozpowszechnienia wielu nowatorskich rozwiązań konstrukcji torów tramwajowych. Obecnie mija 30 lat od tego przełomowego momentu. W tym okresie wielokrotnie uczestniczyliśmy w konsultacjach dotyczących problemów związanych z rozwiązaniami konstrukcyjnymi wrocławskich torów tramwajowych [1]. W artykule omówiono rozwiązania, których zastosowanie przynosiło efekty odbiegające od zamierzonych. W nowych rozwiązaniach czaiły się bowiem pewne „pułapki”. Wychodziły one na jaw niestety dopiero po zakończeniu robót budowlanych i oddaniu torów do użytkowania.

Krzyżownice

Do połowy lat dziewięćdziesiątych XX wieku, krzyżownice w rozjazdach tramwajowych we Wrocławiu wykonywano ze standardowych tramwajowych szyn rowkowych (rysunek 1a). Szyny te odpowiednio docinano i łączono w jedną całość przez spawanie. Konieczne było też zastosowanie wypłyceń rowków (rysunek 1b) tak, aby koła tramwajowe przejeżdżały przez krzyżownice obrzeżem, a nie bieżnią, i dzięki temu nie wpadały w „nie swój” rowek oraz nie uderzały w jego dno, generując hałas i drgania. Wypłyceń te uzyskiwano przez wspawanie w dno rowka odpowiednio wyprofilowanych stalowych wkładek. Krzyżownice takie cechowały się niestety małą trwałością. Dostatecznie szybko pojawiały się pierwsze pęknięcia spawów. Szybkiemu zużyciu ulegały również stalowe wkładki. Krzyżownice takie nie zapewniały właściwego przejazdu koła tramwajowego (obrzeżem,

¹⁾ Politechnika Wrocławska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

^{*)} Correspondence address: jacek.makuch@pwr.edu.pl

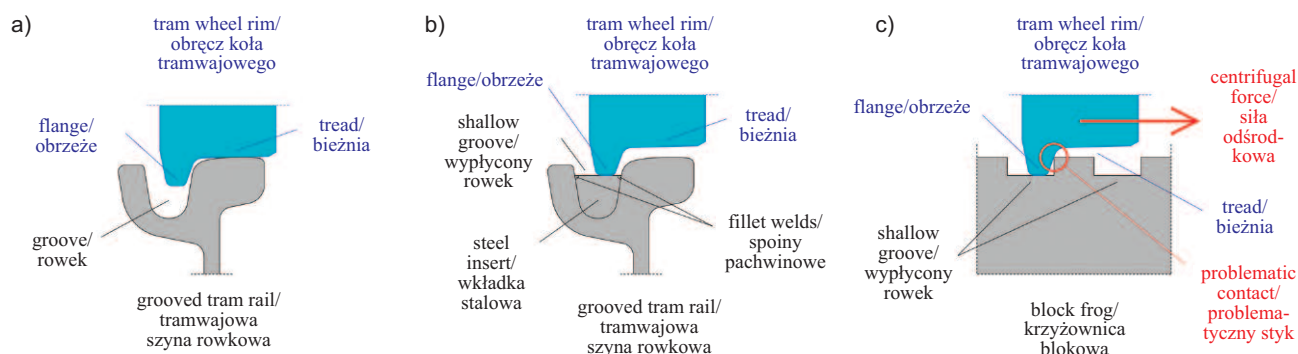


Fig. 1. Interaction of tram wheel's rim with rail groove and a frog

Rys. 1. Współpraca obręczy koła tramwajowego z rowkiem szyny i krzyżownicy

durability. The first cracks in the welds appeared quite quickly. The steel inserts also wore out rapidly. Such frogs did not ensure proper tram wheel travel (using the flange, not the tread), resulting in reduced ride comfort and rapid wear of both the rolling stock and the tracks. For this reason, in the second half of the 1990s, following solutions used abroad [2], frogs made of monolithic steel blocks were introduced, with shallower grooves obtained by milling the upper part of the blocks (Figure 1c). This solution was free from the disadvantages of older designs, but unfortunately it did contain certain risks. With milling, it is easiest to achieve a rectangular groove shape, but this does not correspond to the profile of the tram wheel rim (Figure 1c). In tram turnout frogs, one rail track usually runs in an arc. The result can be that in a rectangular groove located in an arc, the wheel, at the contact of the inclined side surface of the flange and the unrounded top edge of the groove, will exit it as if on a ramp under the influence of centrifugal force. The observed phenomenon coincides with the so-called Nadal derailment criterion [3]. This imperfection was not present in older designs, which were made from standard grooved rails, and then, by definition, their grooves had inclined side walls and rounded top edges.

New-type frogs began to be used in Wrocław in the second half of the 1990s, and the new solution caused no problems for the rolling stock in use at the time, which lulled the attention of designers, contractors, and infrastructure managers. However, modern low-floor trams emerged – heavier, with articulated, supported sections (on bogies) and also suspended sections (without bogies), as well as with bogies spaced further apart and not always turning. These trams are characterized by greater demands on vehicle-track interaction than their high-floor predecessors.

Wrocław's first modern low-floor trams appeared in 2006. Their purchase (9 Skoda 16T trams) was associated with the reconstruction of Świdnicka, Widok, Szewska, and Grodzka Streets, for which the city received European Union funding. The new turnouts utilized block-type frogs with rectangular grooves. Already during the first test runs, problems occurred with the wheels of the Skoda trams passing through the frogs. The wheel flanges would run into the frog noses, causing derailments, or after traveling several dozen centimeters, they would fall back into the

a nie bieżnią), czego efektem było zmniejszenie komfortu jazdy i szybkie zużywanie się zarówno taboru, jak i torów. Z tego powodu w drugiej połowie lat dziewięćdziesiątych, wzorując się na rozwiązaniach stosowanych za granicą [2], rozpoczęto stosowanie krzyżownic wykonanych ze stalowych monolitycznych bloków, w których wypłycone rowki uzyskiwano przez frezowanie górnej części tych bloków (rysunek 1c). Rozwiązanie to pozbawione było wad konstrukcji starszego typu, ale niestety kryły się w nim pewne zagrożenia. W przypadku frezowania najłatwiej jest uzyskać prostokątny kształt rowków, ale nie koresponduje on z profilem obręczy koła tramwajowego (rysunek 1c). W krzyżownicach rozjazdów tramwajowych najczęściej jeden tok szynowy przebiega w łuku. Efekt może być taki, że w rowku o prostokątnym kształcie położonym w łuku koło, stykiem pochylonej powierzchni bocznej obrzeża i niewyokrąglonej górnej krawędzi rowka, będzie z niego wyjeżdżało jak po rampie pod wpływem siły odśrodkowej. Zaobserwowane zjawisko pokrywa się z tzw. kryterium wykolejenia Nadala [3]. Niedoskonałości tej nie miały rozwiązania starszego typu, które wykonywano ze standardowych szyn rowkowych, a wtedy z definicji ich rowki miały pochylenia ścian bocznych oraz wyokrąglenia górnych krawędzi.

Krzyżownice nowego typu zaczęto stosować we Wrocławiu od drugiej połowy lat dziewięćdziesiątych XX wieku i w przypadku eksploatowanego wtedy taboru nowe rozwiązanie nie powodowało problemów, co uspiło czujność projektantów, wykonawców robót i zarządzającego infrastrukturą. Pojawiły się jednak nowoczesne tramwaje niskopodłogowe – cięższe, z połączonymi przegubowo członami podpartymi (na wózkach), ale i wiszącymi (bez wózków), a także z wózkami bardziej oddalonymi od siebie i nie zawsze skrętnymi. Tramwaje te pod względem współpracy pojazdu z torem charakteryzują się większymi wymaganiami niż ich wysokopodłogowi poprzednicy.

We Wrocławiu pierwsze nowoczesne tramwaje niskopodłogowe pojawiły się w 2006 r. Ich zakup (9 tramwajów Skoda 16T) wiązał się z przebudową ulic Świdnickiej, Widok, Szewskiej i Grodzkiej, na którą to inwestycję miasto uzyskało dofinansowanie z Unii Europejskiej. W nowych rozjazdach zastosowano krzyżownice blokowe z prostokątnymi rowkami. Już podczas pierwszych próbnych przejazdów wystąpiły problemy z przechodzeniem kół tramwajów Skoda przez krzyżownice. Obrzeża kół wjeżdżały na dzioby krzyżownic i dochodziło do wykolejenia lub po przejechaniu kilkudziesięciu centymetrów wpadały one z powrotem w row-

grooves, generating noise and vibration. Furthermore, numerous shear marks were observed (photo 1) and chipping of the rolling edges of the frog grooves and their noses (photo 2).

Based on inspections and measurements, the incorrect shape of the grooves was identified as the main cause of the problems with wheel passage through the frogs. The remedial action included grinding the grooves in the frogs to achieve a 1:6 slope on their side walls and rounding the upper edges (6 mm on the side affected by the centrifugal force from the wheels and 2 mm on the opposite side). Unfortunately, professional grinders used in railway tracks (for thermite welds grinding) were not available during the work, as the small dimensions of the tram frog grooves prevented this. Therefore, grinding was performed manually, using angle grinders, which was imprecise. It would certainly be more advantageous to obtain the correct shape of the grooves of these frogs already at the turnout manufacturer during the production process. However, the end result proved satisfactory, as after grinding, the problems with the Skoda trams passing through the frogs ceased.



Photo 1. Traces of shearing of rolling edges at the cross grooves
Fot. 1. Ślady ścinania krawędzi tocznych rowków krzyżownic

Switches

Until the mid-1990s, tram switches in Wrocław had pivot (articulated) blade heel (attachments). These pivots operated on a hinge-like basis and, by definition, did not ensure the continuity of the railhead's running surface. Height differences at the blade heel point quickly developed, generating noise and vibration, resulting in reduced ride comfort and rapid wear of both the rolling stock and the tracks. For this reason, in the second half of the 1990s, following abroad solutions [4], a different type of blade attachment was introduced, the so-called rail-elastic heel, in which the blades are connected to the railheads (of which they are a continuation) by welding. Horizontal deformation of the blades (necessary for adjustment) is possible thanks to the elasticity of the steel from which they are made. This solution was free from the disadvantages of older designs, but unfortunately, it did pose a certain risk. If the blades (as in pivot heel) reach a width comparable to the railhead, they will have a constant cross-sectional shape throughout their length (Figure 2a), this will not provide the required freedom of

ki, generując przy tym hałas i drgania. Ponadto wystąpiły liczne ślady ścinania (fotografia 1) oraz wykruszenia krawędzi tocznych rowków krzyżownic i ich dziobów (fotografia 2).

Dzięki przeprowadzonym oględzinom i pomiarom, za główną przyczynę problemów z przejazdem kół przez krzyżownice uznano niewłaściwy kształt ich rowków. W ramach działań naprawczych przeprowadzono szlifowanie rowków w krzyżownicach, w celu uzyskania pochylenia ich ścian bocznych (1 : 6) oraz wyokrąglenia górnych krawędzi (6 mm po stronie oddziaływania siły odśrodkowej od kół i 2 mm – po stronie przeciwnej). Niestety podczas prac nie można było skorzystać z profesjonalnych szlifierek, stosowanych w torach kolejowych (do obróbki spoin termitowych), gdyż nie pozwalały na to zbyt małe wymiary rowków krzyżownic tramwajowych. Szlifowanie wykonano więc ręcznie, za pomocą szlifierek kątowych, co było mało precyzyjne. Z pewnością korzystniej byłoby uzyskać właściwy kształt rowków tych krzyżownic już u producenta rozjazdów podczas procesu ich wytwarzania. Efekt końcowy okazał się jednak zadowalający, gdyż po przeprowadzeniu szlifowania ustały problemy z przejazdem tramwajów Skoda przez krzyżownice.



Photo 2. Traces of shearing and chipping on the frog nose
Fot. 2. Ślady ścinania oraz wykruszeń dziobów krzyżownic

Zwrotnice

W rozjazdach tramwajowych we Wrocławiu, do połowy lat dziewięćdziesiątych ub. wieku, zwrotnice miały czopowe (przegubowe) mocowanie iglic. Czopy te działały na zasadzie zawiasów i z definicji nie zapewniały ciągłości powierzchni tocznej główki szyny. Dostatecznie szybko pojawiały się różnice wysokości w miejscu mocowania iglic, co powodowało generowanie hałasu i drgań, a w efekcie pogorszenie komfortu jazdy i szybkie zużywanie się zarówno taboru, jak i torów. Z tego powodu w drugiej połowie lat dziewięćdziesiątych, wzorując się na rozwiązaniach zagranicznych [4], rozpoczęto stosowanie mocowania iglic innego typu, tzw. szynowo-sprężystego, w którym iglice połączone są z główkami szyn (których są kontynuacją) przez spawanie. Odkształcanie iglic w poziomie (konieczne w celu ich przestawiania) jest natomiast możliwe dzięki sprężystości stali, z której są one wykonane. Rozwiązanie to pozbawione było wad konstrukcji starszego typu, ale niestety kryło się w nim pewne zagrożenie. W przypadku, gdy iglice (tak jak przy mocowaniu czopowym), po osiągnięciu szerokości porównywalnej z główką szyny, będą miały do końca swej długości stały kształt przekroju (rysunek 2a), nie zapewni to wymaganej swobody ich przemieszczeń (w wyniku



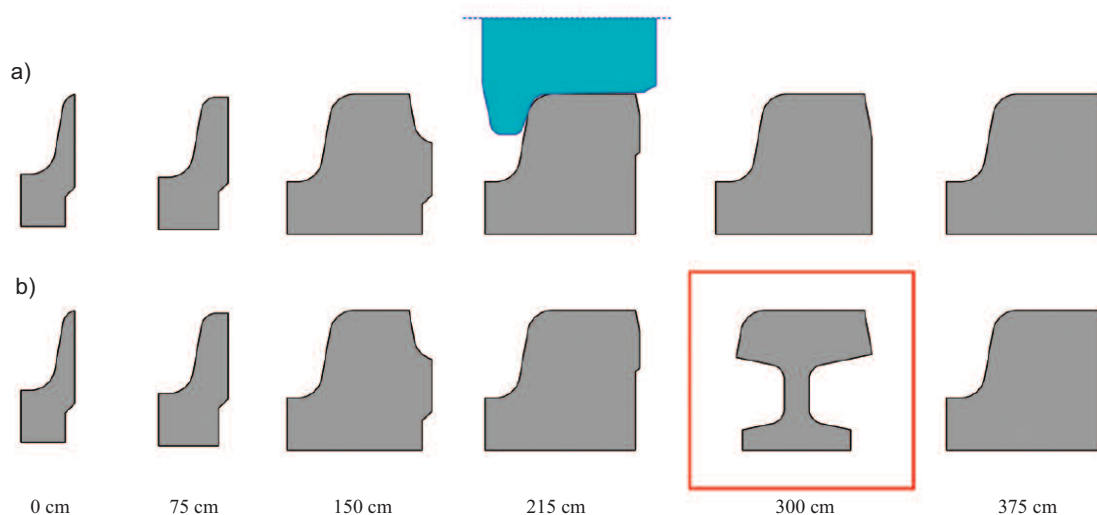


Fig. 2. Cross-sections of the blades – with distances from their beginning; a) blade with pivot heel; b) blade with rail-elastic heel; in the red frame – a cross-section ensuring development of an apparent elastic hinge (for deformations in the horizontal plane)

Rys. 2. Przekroje iglic – w odległości od jej początku: a) iglica z mocowaniem czopowym; b) iglica z mocowaniem szynowo-sprężystym; w czerwonej ramce – przekrój zapewniający wykształcenie pozornego przegubu sprężystego (dla odkształceń w płaszczyźnie poziomej)

movement (due to deformation) in the horizontal plane. The first half of such blades' length will be subject to elastic deformation horizontally (due to the decreasing cross-sectional width towards the beginning), while the second half will be practically rigid. In properly functioning blades, the opposite should be true. To avoid this, a cross-section similar to an I-beam should be applied along a certain section of the blade's length, before the end is elastically secured (Figure 2b – in the red box), which will allow for the development of a virtual elastic hinge (for deformation in the horizontal plane).

Blades with rail-elastic heel were first used in Wrocław in the second half of the 1990s, and, as with the frogs, problems appeared only when new low-floor trams were introduced into service. In the summer of 2007, two Skoda trams derailed at the overrun switch on Nowy Świat Street (before the intersection with Św. Mikołaja Street). Older high-floor trams passed through the switch without problems. Inspections and measurements revealed narrowing of the track gauge in the middle of the switch blades, both in the turning and straight-ahead directions. Furthermore, examination of the cross-sectional shape of the right curved switch blade (Figure 3), subjected to the centrifugal force from the tram wheels, revealed two distinct patterns of lateral wear:

odkształceń) w płaszczyźnie poziomej. Pierwsza połowa długości takich iglic będzie miała możliwość odkształceń sprężystych w poziomie (dzięki malejącej szerokości przekroju w kierunku ich początku), natomiast druga połowa będzie praktycznie sztywna. W poprawnie pracujących iglicach powinno być natomiast dokładnie na odwrót. Aby tego uniknąć, na pewnym odcinku długości iglicy, przed sprężystym mocowaniem jej zakończenia, należy zastosować w niej przekrój zbliżony do dwuteownika (rysunek 2b – w czerwonej ramce), co umożliwi wykształcenie w tym miejscu pozornego przegubu sprężystego (dla odkształceń w płaszczyźnie poziomej).

Iglice mocowane sprężysto zaczęto stosować we Wrocławiu od drugiej połowy lat dziewięćdziesiątych XX wieku, i podobnie jak w przypadku krzyżownic, problemy pojawiły się dopiero w momencie wprowadzenia do eksploatacji nowych tramwajów niskopodłogowych. Latem 2007 r., na najazdowej zwrotnicy w ul. Nowy Świat (przed skrzyżowaniem z ul. Św. Mikołaja), miały miejsce dwa wykolejenia tramwajów Skoda. Starsze tramwaje wysokopodłogowe przejeżdżały przez zwrotnicę bez problemów. W wyniku przeprowadzonych oględzin i pomiarów stwierdzono przewężenia prześwitu torów w środku długości iglic, zarówno w przypadku jazdy na kierunek zwrotny, jak i na wprost. Ponadto badania kształtu przekroju prawej iglicy łukowej (rysunek 3), obciążonej oddziaływaniem siły odśrodkowej od kół tramwajów, wykazały dwa odmienne sposoby jej bocznej zużycia eksploatacyjnego:

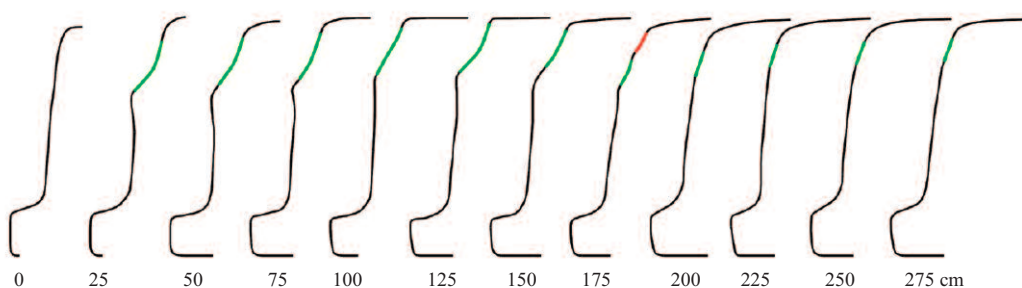


Fig. 3. Lateral wear (green, and in cross-section 175 also red) of the right arch blade

Rys. 3. Zużycie boczne prawej iglicy łukowej (kolor zielony, a w przekroju 175 również czerwony)

- in the 0 – 150 cm and 200 – 275 cm sections of the blade length, there was one pattern of lateral wear;

- in the 175 cm section, there were two patterns of lateral wear (one above the other) (Figure 4).

The lower wear pattern was caused by high-floor trams, while the upper one was caused by Skoda trams. While the lower wear pattern still allowed the tram wheel to safely pass over the switch (without the risk of the wheel flange entering the upper surface), the upper wear pattern was no longer sufficient, as the right wheel tread rose as much as 14 mm above the upper surface of the switch. As part of the repair work, a decision was made to replace the switch with a new one as soon as possible – one with a design free from the identified imperfections. In the meantime, a 5 km/h speed limit for Skoda trams on the switch was introduced.

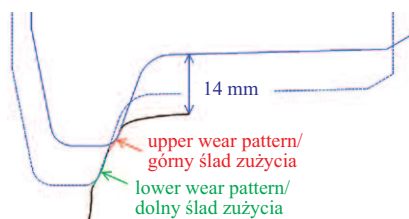


Fig. 4. Two patterns of lateral wear of the 175 mm cross-section of the blade, indicating two different ways the tram wheels passed this place

Rys. 4. Dwa ślady zużycia bocznego iglicy w przekroju 175, świadczące o dwóch odmiennych sposobach przejazdu kół tramwajowych w tym miejscu

- w przekrojach 0 – 150 cm oraz 200 – 275 cm długości iglicy występował jeden ślad zużycia bocznego;

- w przekroju 175 cm występowały dwa ślady (jeden nad drugim) zużycia bocznego (rysunek 4).

Dolny ślad zużycia pochodził od tramwajów wysokopodłogowych, natomiast górny – od tramwajów Skoda. O ile dolny ślad zapewniał jeszcze bezpieczny przejazd koła tramwajowego po iglicy (bez zagrożenia wjechania obrzeżem koła na górną jej powierzchnię), o tyle górny nie był już w stanie tego zagwarantować, gdyż bieżnia obręczy prawego koła wznosiła się aż 14 mm powyżej górnej powierzchni iglicy. W ramach działań naprawczych podjęto decyzję o jak najszybszej wymianie zwrotnicy na nową – o konstrukcji pozbawionej wykazanych niedoskonałości. Do tego czasu wprowadzono natomiast ograniczenie prędkości przejazdu tramwajów Skoda po zwrotnicy do 5 km/h.

Guard rails

In 2015, the Oporów tram terminus in Wrocław was modernized, giving it a completely new geometric layout. Unfortunately, in the first months after the reconstruction, several tram derailments occurred on the frogs of the turnouts onto the passing tracks. As before, derailments were more common among low-floor trams (this time, Pesa Twist trams purchased in 2015). Observations and measurements of wheel passage through the shallow grooves of the frogs revealed symptoms similar to those observed on Skoda trams in 2006. This seemed strange, as the frog grooves of the turnouts installed during the Oporów loop modernization already had inclined side walls and rounded top edges. However, it was observed that the wheel flanges of the first bogie axles were striking the frog noses when entering the inner tracks, while the wheel flanges of the second bogie axles were striking the frog noses when entering the outer tracks. This was confirmed by traces of the wheels passing through the frog (photo 3). This is because, according to the principles of inertia, a bogie moving along a curved track will always want to go straight (and not turn). The measurements carried out showed that, in order to avoid the effect of cant caused by the use of a shallow groove in only one rail, the turnouts under consideration had shallow grooves not only in the frogs but also in the adjacent parallel rails. In these cases, the groove's side wall on the inside of the track plays a role analogous to the guard rail in a classic railway turnout, protecting against wheel flange impact with the frog nose. Unfortunately, limiting to only shallowing such grooves without

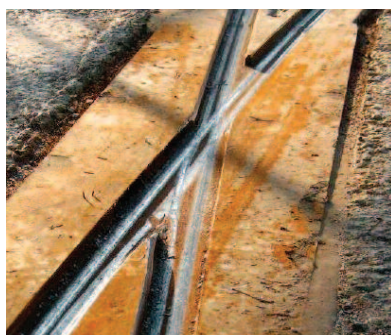


Photo 3. Traces of different passing paths of wheels of the first and second axles of a bogie through the frog

Fot. 3. Ślady odmiennego sposobu przejazdu kół pierwszej i drugiej osi w wózku przez krzyżownice

Toki szynowe pełniące rolę kierownicy

W 2015 r. zmodernizowana została wrocławska pętla tramwajowa Oporów, w efekcie czego uzyskała ona zupełnie nowy układ geometryczny. Niestety w pierwszych miesiącach po zakończeniu przebudowy doszło do kilku wykolejeń tramwajów na krzyżownicach rozjazdów wjazdowych na tory mijankowe. Podobnie jak poprzednio, wykolejeniom częściej ulegały tramwaje niskopodłogowe (tym razem Pesa Twist zakupione w 2015 r.). W wyniku przeprowadzonych obserwacji i pomiarów przejazdu kół przez rowki wypłyconych krzyżownic, stwierdzono objawy analogiczne jak w przypadku tramwajów Skoda w 2006 r. Wydawało się to dziwne, gdyż rowki krzyżownic rozjazdów wbudowanych podczas modernizacji pętli Oporów miały już pochYLENIA ścian bocznych oraz wyokrąglenia górnych krawędzi. Zaobserwowano jednak, że obrzeża kół pierwszych osi wózków uderzają w dzioby krzyżownic podczas wjazdów na tory wewnętrzne, natomiast obrzeża kół drugich osi wózków uderzają w dzioby krzyżownic podczas wjazdów na tory zewnętrzne. Potwierdzeniem tego były ślady przejazdu kół przez krzyżownice (fotografia 3). Dzieje się tak dlatego, że zgodnie z zasadami bezwładności, wózek poruszający się torem w łuku zawsze będzie chciał jechać na wprost (a nie skręcać). Przeprowadzone pomiary wykazały, że rozważane rozjazdy w celu uniknięcia efektu przechyłki, spowodowanej zastosowaniem wypłyconego rowka tylko w jednym toku szynowym, miały wypłyconia rowków nie tylko w krzyżownicach, ale również w szynach sąsiednich toków równoległych. W ich przypadku, ściana boczna rowka od wewnątrz toru pełni rolę analogiczną do kierownicy w klasycznym rozjeździe kolejowym, czyli chroni przed uderzeniem obrzeża koła w dziób krzyżownicy. Niestety ograniczenie się jedynie





simultaneously narrowing their width worsened, instead of improving, the conditions for wheel passage through the turnout frog (photo 4).

Along the length of the rail acting as a guard rail, in addition to shallow the groove, its width should be narrowed, for example, by welding (and grinding) the side wall of the rail on the inside of the track. Of course, it would be more advantageous to obtain the correct shape of the grooves for these rails from the turnout manufacturer during the production process. This procedure of narrowing the width of the grooves in the rails acting as guard rails is used in abroad solutions (photo 5) and is confirmed by applicable local regulations [5].

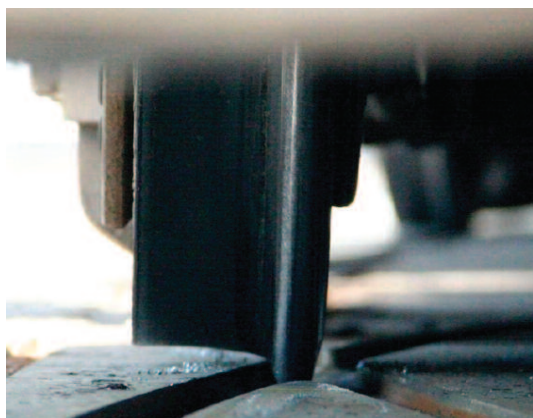


Photo 4. Due to the lack of narrowing of the rail groove acting as a guard rail for the right-hand wheel, the rim of the left-hand wheel hits the nose of the frog

Fot. 4. Z powodu braku zawężenia rowka szyny pełniącej rolę kierownicy dla koła po prawej stronie, obrzeże koła po lewej stronie uderza w dziób krzyżownicy

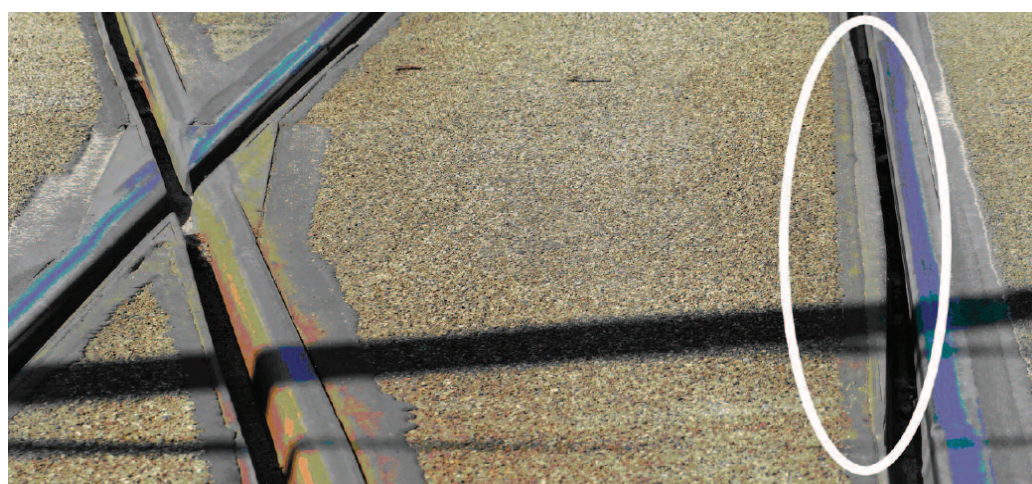


Photo 5. Reduction of the width of the rail groove acting as a guide rail (Bochum, Germany)

Fot. 5. Zmniejszenie szerokości rowka toku szynowego pełniącego rolę kierownicy (Bochum, Niemcy)

Vibration-isolating mats in tracks accessible to city buses

In June 2019, a newly constructed section of the tram line was opened in Wrocław. It featured grooved rails embedded with polyurethane sealants in the rail channels of precast reinforced concrete slabs, which also served as the track surface. The gaps between the slabs were grouted with polyurethane sealant. On this line:

Maty wibroizolacyjne w torowiskach udostępnionych do ruchu autobusów miejskich

W czerwcu 2019 r. oddano do eksploatacji we Wrocławiu nowo wybudowany odcinek trasy tramwajowej. Zastosowano w niej tor z szyn rowkowych, osadzonych za pomocą mas poliuretanowych w kanałach szynowych prefabrykowanych płyt żelbetonowych, stanowiących jednocześnie nawierzchnię

- the track was also opened to city buses,
- due to the proximity of the track to residential buildings, vibration-isolating mats were installed directly beneath the reinforced concrete slabs of the tram and bus tracks.

It seemed that combining these two solutions posed no threat. The first tram track (built-in road surface, but organizationally separated from general traffic) was opened to buses in Wrocław in 1995 (Ruska Street), and many kilometers of such solutions are currently in use. The first vibration-isolating mats were installed on Wrocław's tram tracks in 2004 (Jedności Narodowej Street), with further installations taking place in the following years. Unfortunately, after only a year of operation, problems arose on this track: cracks, chipping, and keying of the concrete surface slabs, as well as damage to the gap fillers (photo 6).

The inspection and measurements revealed no manufacturing errors. However, the use of an overly flexible vibration isolation mat was deemed the main cause of the problems. Figure 5 compares the stiffness of the mat used (thick red line) with other mats offered by other manufacturers at the time. In the case of tram traffic only, such high flexibility of the mats used does not cause any negative effects, but when loaded by bus wheels – the situation is completely different (Figure 6). This effect does not apply to track slabs, which contain rails embedded in a polyurethane sealant, as this ensures continuity between adjacent slabs (the rails function similarly to dowels). Unfortunately, this is no longer the case with slabs between the tracks and outside the tracks. Furthermore, these slabs are much smaller. The repair work involved leveling and then anchoring the slabs, filling in any flaking and missing sections, sealing any cracks, and replenishing or replacing any damaged sealant.



Photo 6. Damage to the surface of the tram-bus track
Fot. 6. Uszkodzenia nawierzchni torowiska tramwajowo-autobusowego

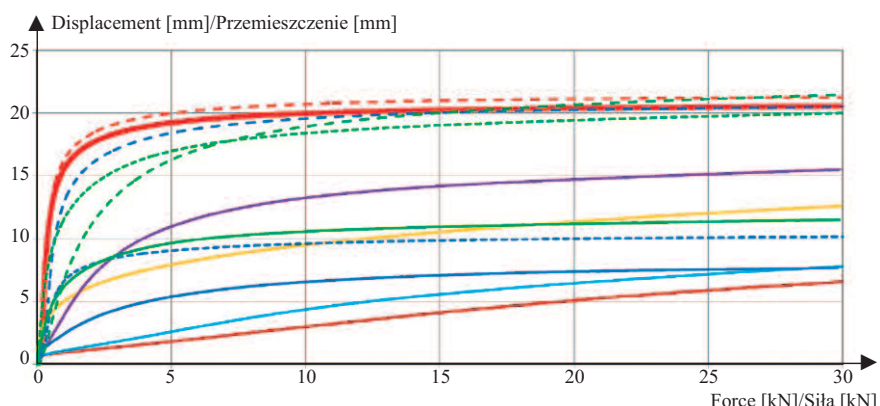


Fig. 5. Results of displacement measurements in relation to loading force for the tested mats
Rys. 5. Wyniki pomiarów przemieszczeń względem siły obciążającej dla przebadanych mat

torowiska. Szczeliny pomiędzy płytami zaspoinowano poliuretanową masą zalewową. W trasie tej:

- torowisko udostępniono również do ruchu autobusów miejskich;
- ze względu na niewielką odległość torowiska od linii zabudowy mieszkalnej, zastosowano maty wibroizolacyjne bezpośrednio pod żelbetowymi płytami nawierzchni tramwajowo-autobusowej.

Wydawało się, że w połączeniu tych dwóch rozwiązań nie kryje się żadne zagrożenie. Pierwsze torowisko tramwajowe (zabudowane, ale wydzielone organizacyjnie z ruchu ogólnego) udostępniono we Wrocławiu dla autobusów już w 1995 r. (ul. Ruska), a obecnie eksploatowanych jest wiele kilometrów tego typu rozwiązań. Z kolei pierwsze maty wibroizolacyjne zastosowano we wrocławskich torowiskach tramwajowych już w 2004 r. (ul. Jedności Narodowej), natomiast w kolejnych latach miały miejsce następne realizacje. Niestety na omawianym torowisku, już po roku eksploatacji, pojawiły się problemy: pęknięcia, wykruszenia i klawiszowanie betonowych płyt nawierzchni oraz uszkodzenia wypełnień w szczelinach (fotografia 6).

W wyniku przeprowadzonych oględzin i pomiarów nie stwierdzono błędów wykonawczych. Za główną przyczynę zaistniałych problemów uznano natomiast zastosowanie zbyt podatnej maty wibroizolacyjnej. Na rysunku 5 porównano sztywność zastosowanej maty (gruba czerwona linia) z innymi matami, oferowanymi w tym czasie przez producentów. W przypadku ruchu wyłącznie tramwajowego, tak duża podatność zastosowanych mat nie powoduje negatywnych skutków, natomiast podczas obciążenia od kół autobusów jest zupełnie inaczej (rysunek 6). Efekt ten nie dotyczy płyt torowych, w kanałach których znajdują się szyny osadzone w poliuretanowej masie zalewowej, gdyż zapewnia to uciąglenie kolejnych sąsiadujących ze sobą płyt (szyny działają podobnie jak dyble). Niestety w przypadku płyt na międzytorzu oraz na zewnątrz torów już tak nie jest. W dodatku płyty te charakteryzują się dużo mniejszymi rozmiarami. W ramach działań naprawczych dokonano wyrównania, a następnie kotwienia płyt, uzupełnienia złuszczeń i ubytków oraz uszczelnienia ich pęknięć, a także uzupełnienia lub wymiany uszkodzonych mas zalewowych.

W wyniku przeprowadzonych oględzin i pomiarów nie stwierdzono błędów wykonawczych. Za główną przyczynę zaistniałych problemów uznano natomiast zastosowanie zbyt podatnej maty wibroizolacyjnej. Na rysunku 5 porównano sztywność zastosowanej maty (gruba czerwona linia) z innymi matami, oferowanymi w tym czasie przez producentów. W przypadku ruchu wyłącznie tramwajowego, tak duża podatność zastosowanych mat nie powoduje negatywnych skutków, natomiast podczas obciążenia od kół autobusów jest zupełnie inaczej (rysunek 6). Efekt ten nie dotyczy płyt torowych, w kanałach których znajdują się szyny osadzone w poliuretanowej masie zalewowej, gdyż zapewnia to uciąglenie kolejnych sąsiadujących ze sobą płyt (szyny działają podobnie jak dyble). Niestety w przypadku płyt na międzytorzu oraz na zewnątrz torów już tak nie jest. W dodatku płyty te charakteryzują się dużo mniejszymi rozmiarami. W ramach działań naprawczych dokonano wyrównania, a następnie kotwienia płyt, uzupełnienia złuszczeń i ubytków oraz uszczelnienia ich pęknięć, a także uzupełnienia lub wymiany uszkodzonych mas zalewowych.

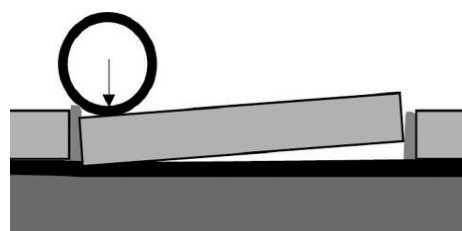


Fig. 6. Behavior diagram of the concrete plates under a load of a bus wheel
Rys. 6. Schemat zachowania się betonowych płyt pod obciążeniem od koła autobusu





Summary

For over thirty years, the realities of a capitalist economy have been operating in our country. Designers, construction contractors, and track accessory manufacturers strive to win tenders, where price is often the deciding factor. Therefore, they perform their work in accordance with applicable regulations, but at the same time as cheaply as possible. Over the past 30 years, a certain unfavorable trend has persisted, consisting of copying abroad solutions and then simplifying them to reduce prices. This was facilitated by old, outdated regulations regarding the design, construction, and maintenance of tram tracks, dating back to 1983 – 1998 [6 ÷ 8]. Moreover, the level of detail in the track designs developed during this period left much to be desired. Therefore, when preparing subsequent investments, investors protected themselves against problematic solutions (unfortunately, usually only after their initial implementation) by introducing appropriate provisions into the SIWS (specification of essential terms of the contract) or OPZ (description of the subject matter of the contract), or by requiring designers to include such provisions in the STWiORB (technical specifications for the execution and acceptance of construction works). Fortunately, this period has come to an end. New guidelines for the maintenance of tram tracks have been available since July 2023 [9], and for their design and construction since March 2024 [10].

The "traps" of new tram track construction solutions identified in the article had two causes. The decision was made to use a proven new solution, but:

- some of its own modifications were introduced, which generated certain new problems;
- it was combined with another proven new solution, which also sometimes generated certain new problems.

When introducing innovations, you can't follow a standard approach. You need to be open to all possible interactions, and when applying your own modifications, you need to be able to anticipate the potential negative effects of their use. It's also important to be aware that perfect solutions are very rare, they often have advantages and disadvantages in addition to them.

*Photos 1 ÷ 3 – J. Makuch; photo 4 – A. Hylński;
photo 5 – I. Gisterek*

*Received: 29.04.2025
Revised: 16.06.2025
Published: 19.09.2025*

Podsumowanie

Od ponad trzydziestu lat funkcjonują w naszym kraju realia gospodarki kapitalistycznej. Projektanci, wykonawcy robót budowlanych oraz producenci akcesoriów torowych starają się wygrać przetarg, gdzie decydującym czynnikiem jest najczęściej cena, dlatego wykonują swoje prace zgodnie z obowiązującymi przepisami, ale jednocześnie jak najtaniej. Przez wspomniane 30 lat utrzymywał się pewien niekorzystny trend, polegający na odwzorowywaniu zagranicznych rozwiązań, a następnie ich upraszczaniu w celu obniżenia ceny. Pozwalały na to stare, nieaktualizowane przepisy dotyczące projektowania, budowy i utrzymania torów tramwajowych, pochodzące jeszcze z lat 1983 – 1998 [6 ÷ 8]. Ponadto poziom szczegółowości opracowywanych w tym okresie projektów torowych pozostawiał wiele do życzenia. Inwestorzy, przygotowując kolejne inwestycje, zabezpieczali się więc przed problematycznymi rozwiązaniami (niestety zwykle dopiero po ich pierwszym zastosowaniu), wprowadzając odpowiednie zapisy do specyfikacji istotnych warunków zamówienia (SIWZ) czy opisów przedmiotu zamówienia (OPZ) albo wymagając od projektantów umieszczenia takich zapisów w specyfikacjach technicznych wykonania i odbioru robót budowlanych (STWiORB). Ten okres na szczęście dobiegł końca. Od lipca 2023 r. dostępne są nowe wytyczne, dotyczące utrzymania torów tramwajowych [9], a od marca 2024 r. ich projektowania oraz budowy [10].

Zidentyfikowane w artykule „pułapki” nowych rozwiązań konstrukcji torów tramwajowych miały dwie przyczyny. Decydowano się na zastosowanie sprawdzonego nowego rozwiązania, ale:

- wprowadzano w nim pewne własne modyfikacje, co generowało pewne nowe problemy;
- łączono je z innym sprawdzonym nowym rozwiązaniem, co również generowało niekiedy pewne nowe problemy.

Wprowadzając innowacje, nie można postępować szablonowo. Trzeba być otwartym na wszelkie możliwe interakcje, a stosując własne modyfikacje, trzeba umieć przewidzieć potencjalne negatywne skutki ich zastosowania. Należy mieć też świadomość, że bardzo rzadko mamy do czynienia z rozwiązaniami idealnymi; najczęściej oprócz zalet, mają one pewne wady.

*Fot. 1 ÷ 3 – J. Makuch; fot. 4 – A. Hylński;
fot. 5 – I. Gisterek*

*Artykuł wpłynął do redakcji: 29.04.2025 r.
Otrzymano poprawiony po recenzjach: 16.06.2025 r.
Opublikowano: 19.09.2025 r.*

Literature

- [1] Makuch J, Gisterek I, Hylński A. Analiza przyczyn wybranych wykończeń tramwajowych we Wrocławiu na przestrzeni ostatnich kilkunastu lat. Konferencja Innowacyjny Tramwaj, Kraków 16.10.2019.
- [2] Oberbauhandbuch ThyssenKrupp GfT Gleistechnik, 2010.
- [3] Pyrgidis Ch. Railway Transportation Systems; Design, Construction and Operation. CRC Press, 2022.
- [4] VAE Aktiengesellschaft: dokumentacja techniczna Weichen Ri60 Schnitte zur Zungenvorrichtung, dla Grazer Verkehrsbetriebe 1994.
- [5] Technische Regeln Spurführung. Republika Federalna Niemiec, 2006.

- [6] Wytyczne techniczne projektowania, budowy i utrzymania torów tramwajowych, MAGTiOŚ 1983.
- [7] BN-91/8938-01 Torowiska tramwajowe. Wymagania i badania techniczne przy odbiorze.
- [8] PN-K-92011:1998 Torowiska tramwajowe. Wymagania i badania.
- [9] WR-D-84 Wytyczne utrzymania infrastruktury transportu tramwajowego, 10.07.2023.
- [10] WR-D-43-3-01 Wytyczne projektowania infrastruktury transportu zbiorowego. Część 3: Projektowanie infrastruktury transportu tramwajowego, 12.03.2024.