

PROBLEM KANCIASTYCH ŁUKÓW W TORACH TRAMWAJOWYCH¹

Jacek MAKUCH

Politechnika Wroclawska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego,

W artykule podjęto próbę rozpoznania zagadnienia z zakresu diagnostyki dróg szynowych, jakim są przypadki braku styczności poziomych krzywizn toków szynowych w łukach torów tramwajowych o niewielkich wartościach promieni. Przedstawiono przykłady takich przypadków. Rozpoznano przyczyny dotychczasowego nieprzywiązywania wagi do wad toru tego typu. Przeanalizowano zalecenia wynikające z przepisów dotyczące podobnych sytuacji. Dokonano analizy zagadnienia pod względem geometrycznym. Zaproponowano metodę badań wraz ze sposobem analizy jej wyników, umożliwiającą skwantyfikowanie opisywanego zjawiska. W podsumowaniu zwrócono uwagę na aktualność zagadnienia, zaprezentowano wnioski z dotychczas wykonanych prac oraz wskazano kierunki dalszych możliwych badań.

Słowa kluczowe: tory tramwajowe, diagnostyka, wady toru.

1. WSTĘP

Na przestrzeni ostatnich dziesięciu lat, dwukrotnie zlecono Politechnice Wroclawskiej wykonanie ekspertyz dotyczących ustalenia przyczyn wykolejenia się tramwajów na nowo wyremontowanych wroclawskich torowiskach. Pierwszy raz miało to miejsce w 2007 roku, po zakończeniu modernizacji ul. Szewskiej [1], drugi zaś – w 2015 roku, po przebudowie pętli tramwajowej Oporów [2].

Podczas prac związanych z wykonaniem ekspertyz, w obu tych inwestycjach stwierdzono występowanie w torach przypadków braku styczności krzywizn toków szynowych w łukach o małych promieniach, w miejscach połączeń nawierzchni stalowej toru (spoin termitowych), w sytuacjach zmian układu geometrycznego (wartości promienia) albo konstrukcji toru (zwrotnica / szyna / krzyżownica albo zmiana typu zabudowy) na jego długości. W dalszej części artykułu przypadki te będą określane mianem „kanciastych łuków”. Wybrane przykłady takich miejsc przedstawiono na rysunkach 1, 2 i 3.

Co prawda, w przypadku obu analizowanych inwestycji wykolejenia okazały się być spowodowane błędami popełnionymi przy konstruowaniu krzyżownic rozjazdów [3], niemniej jednak stwierdzone przypadki kanciastych łuków, mimo że nie

¹ DOI 10.21008/j.1897-4007.2017.25.22

powodują bezpośredniego zagrożenia utraty bezpieczeństwa prowadzenia ruchu, nie powinny być traktowane jako zjawiska bez znaczenia, gdyż z pewnością:

- zmniejszają komfort jazdy pasażerów (odczuwalne szarpnięcia),
- przyczyniają się do zwiększonego zużycia taboru i infrastruktury torowej,
- nie wystawiają dobrych referencji wykonawcom robót,
- powodują sytuacje konfliktowe pomiędzy wykonawcą robót, zarządzającym oraz użytkownikiem infrastruktury.

W ramach prac związanych z wykonaniem ekspertyz prowadzone były przez pracowników Politechniki wizje lokalne i pomiary – nierzadko w towarzystwie przedstawicieli wykonawcy robót, inwestora i użytkownika. Stwierdzone wizualnie przypadki kanciastych łuków zawsze wzbudzały emocje i dyskusje, były też różnorako (często odmiennie) komentowane i wyjaśniane.

W przypadku modernizacji ul. Szewskiej sytuację przedstawioną na rysunku 1 wykonawca robót próbował wyjaśnić faktem zmiany promienia łuku toru w tym miejscu z $R = 50$ m (w zwrotnicy) na $R = 24,5$ m (w relacji skrętnej na skrzyżowaniu) – co było dość wątpliwym tłumaczeniem, gdyż w takiej sytuacji dodane na zdjęciu (rys. 1) robocze linie (ciągła i przerywana) odzwierciedlające kształt krzywizny toku szynowego w planie – powinny być do siebie styczne, zamiast się przecinać i być aż tak rozbieżne! Wobec zanegowania takiego sposobu wytłumaczenia, kolejna jego próba wychodziła z założenia, iż mamy tu do czynienia ze złudzeniem optycznym w sytuacji, gdy na krzywizny toru w planie nakładają się załamania niwelety w profilu podłużnym. Z takim wyjaśnieniem trudniej jest już polemizować – i rzeczywiście w przypadku sytuacji przedstawionej na rysunku 2 może tak być w rzeczywistości, gdyż na długości dodanej na zdjęciu roboczej linii przerywanej wypłycony rowek (w krzyżownicy) ma stałą głębokość, natomiast na długości roboczej linii ciągłej (rampa wypływająca) głębokość rowka zwiększa się.

Przeprowadzając wizje lokalne oraz sporządzając dokumentację fotograficzną, wykonuje się je najczęściej nie w widoku „z góry”, lecz tylko z perspektywy. Pojawia się wtedy niestety ryzyko wystąpienia zafałszowań wynikających ze wspomnianych złudzeń optycznych, ponadto analizując dokumentację fotograficzną tak jak na rysunkach 1, 2 i 3 (z perspektywy) poprzez „dorysowywanie” pomocniczych roboczych linii (odzwierciedlających kształt krzywizn toku szynowego w planie), nie powinno się używać łuków, lecz fragmenty elips – co znacznie komplikuje taki sposób analizy, gdyż łuk posiada jedną stałą wartość promienia, a w przypadku elipsy – nie bardzo wiadomo, jak dobrać właściwe proporcje jej prostopadłych średnic.

W przypadku przebudowy pętli Oporów stwierdzone przypadki kanciastych łuków wykonawca tłumaczył koniecznością dotrzymania napiętych terminów. Odcinki torów o odmiennej konstrukcji (w rozjazdach i na przejazdach drogowych – na podbudowie betonowej; poza tym – na podkładach i podsypce) były wykonywane w różnych okresach, w efekcie czego na styku torów o różnej konstrukcji nie wszędzie udało się uzyskać styczność krzywizn.

Wobec przedstawionych powyżej kontrowersji względem sposobu wizualnej oceny przypadków kanciastych łuków (Szewska), jak i problemów technologii robót powodujących występowanie takich przypadków (Oporów) wskazane i cenne wydaje się być opracowanie metody skwantyfikowania (określenia w sposób liczbowy) opisywanego zjawiska.



Rys. 1. Tramwajowa relacja skrzyżna z ul. Widok w ul. Kazimierza Wielkiego (zdjęcie wykonane zgodnie z kierunkiem ruchu) – miejsce występowania kantu w szynie wyróżniono białą poziomą strzałką, dodane na zdjęciu robocze białe linie (ciągła i przerywana) odzwierciedlają kształt krzywizny toku szynowego w planie



Rys. 2. Tramwajowa relacja skrzyżna z ul. Szewskiej w ul. Grodzką (zdjęcie wykonane przeciwnie do kierunku ruchu)



Rys. 3. Tramwajowy tor w łuku o stałym promieniu $R = 25$ m, za końcem przejazdu drogowego – na pętli Oporów (zdjęcie wykonane zgodnie z kierunkiem ruchu)

Potrzeba tu wynika również z faktu odmienności uwarunkowań infrastruktury tramwajowej w stosunku do klasycznej kolei. O ile większość metod diagnostyki torów tramwajowych ma kolejowy „rodowód” (po wprowadzeniu drobnych modyfikacji, a niekiedy nawet bez), to jednak zjawisko kanciastych łuków okazuje się być problemem wyłącznie „tramwajowym”. Na kolei nie stosuje się aż tak małych promieni łuków ($R_{\min} = 180$ m, wyjątkowo 150 m [4]), a miejsca połączeń szyn na długości kontroluje się metodą sprawdzania prostości spoin [5] albo zgrzein [6]. W torach tramwajowych dla $R_{\min} = 25$ m (wyjątkowo nawet 20 m) analogiczna kontrola powierzchni bocznej główki szyny metrowym liniałem obarczona byłaby błędem wynikającym z teoretycznej krzywizny łuku, a nie imperfekcji wykonania. Na kolei nie stosuje się szyn rowkowych, natomiast umieszczenie standardowego liniału w rowku tramwajowej szyny w łuku o małym promieniu, 14 mm poniżej poziomu jej główki – może okazać się niewykonalne.

Opisywany problem kanciastych łuków nie dotyczy jednakże całości infrastruktury tramwajowej, a jedynie miejsc, w których występują łuki o niewielkich promieniach ($R \leq 50$ m) czyli:

- skrzyżowań ze zmianą kierunku przebiegu trasy tramwajowej,
- węzłów rozjazdowych,
- pętli i krańcówek,
- zajezdni.

Specyfiką takich miejsc są:

- niewielkie prędkości jazdy (rzędu 10 – 20 km/h),
- stosowanie szyn rowkowych.

Pierwsza z wymienionych powyżej cech powoduje, że kanciaste łuki nie są utożsamiane z miejscami bezpośredniego zagrożenia prowadzenia ruchu tramwajowego, dlatego do opisywanego problemu dotychczas nie przywiązywano należytej uwagi. Niniejszy artykuł jest próbą zmiany takiego stanu rzeczy.

2. ZALECENIA WYNIKAJĄCE Z PRZEPISÓW

Przepisy tramwajowe nie definiują przypadku określanego w niniejszym artykule mianem kanciastych łuków. Jednakże pewne zasady, dotyczące sprawdzania wad torów w innych analogicznych przypadkach, wydają się możliwe do wykorzystania.

Niewycofana jak dotąd (przynajmniej w momencie pisania niniejszego artykułu) tramwajowa norma „odbiorowa” [7], w rozdziale 3 „Badania”, w podpunkcie 3.2.7 „Sprawdzenie nawierzchni stalowej toru” w podpunkcie h) zaleca *kontrolowanie ustawienia powierzchni tocznych i bocznych styków szyn stalową linią kontrolną długości 2 m* – czyli nawet w bardziej rygorystyczny sposób niż na kolei, gdzie używa się liniału metroowego [5, 6]. Z drugiej zaś strony norma tramwajowa nie podaje żadnych wartości odchyłek dopuszczalnych, nie jest też uwzględniony przypadek torów w łukach o odpowiednio małych promieniach, dla których taki pomiar w przypadku powierzchni bocznej, ze względu na obciążenie błędem (teoretyczna strzałka łuku) – staje się bezzasadny.

W poprzedniej wersji normy „odbiorowej” [8], w treści analogicznego podpunktu było jeszcze dodane, aby *wzrokowo sprawdzać prawidłowość wykonania spoin* – przy czym nie doprecyzowano, czy dotyczyło to również układu geometrycznego, czy może tylko poprawności konstrukcyjnej.

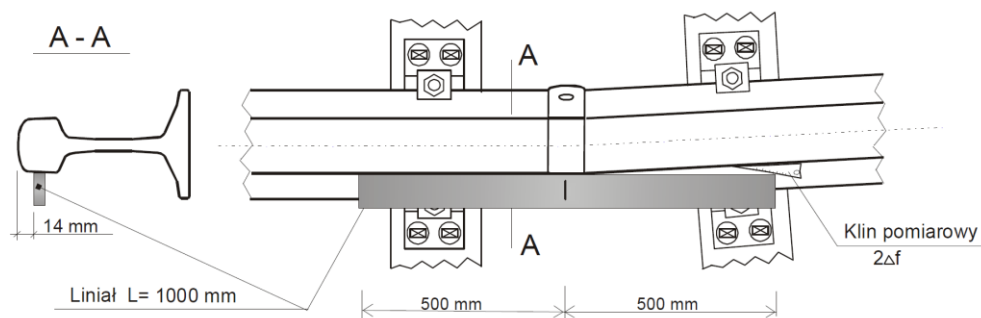
Wracając do aktualnej normy „odbiorowej” [7], w podpunkcie f) dotyczącym kontroli poprawności wartości promieni szyn w łukach (*szablonami lub innymi nie mniej dokładnymi przyrządami*), w przypadku stwierdzenia odchyłek, zaleca się *pomiary dodatkowe strzałki łuku określonego cięciwą – suwmiarką i przymiarem stalowym długości 2 m, z zaznaczonym w sposób trwały punktem środkowym*.

W poprzedniej wersji normy „odbiorowej” [8] w podpunkcie 3.5 dotyczącym odbioru technicznego końcowego podany był wymóg, aby *cały odbierany odcinek ... przejechać wagonem z nominalnym obciążeniem i odnotować miejsca, w których nastąpiły zakłócenia w płynności jazdy*, a następnie w *miejscach tych przeprowadzić badania*. Podany był również wymóg *wzrokowego sprawdzenia prawidłowości ułożenia*, lecz nie całej nawierzchni torowej, a tylko *rozjazdów*.

3. ANALIZA ZAGADNIENIA POD WZGLĘDEM GEOMETRYCZNYM

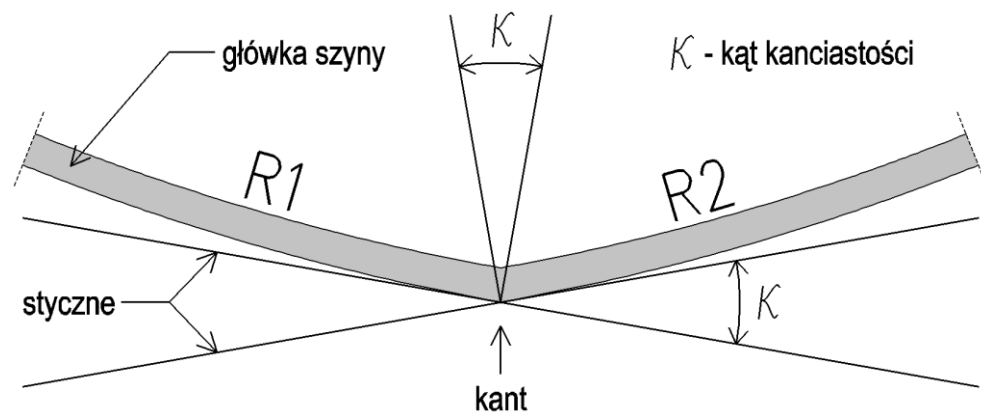
Z teoretycznego punktu widzenia przypadek występowania kantu (załomu krzywizny w planie) w łuku szyny jest analogiczny do przypadku kantu w torze prostym, z którym mamy do czynienia przy niepoprawnie geometrycznie (w płaszczyźnie

poziomej) wykonanych spoinach termitowych albo zgrzeinach. Sposób ich kontroli regulują odpowiednie instrukcje kolejowe [5, 6]. Miarą braku prostoliniowości złącza jest tu wielkość Δf , mierzona przy pomocy liniału i klina (rys. 4).



Rys. 4. Kontrola prostoliniowości złącza w płaszczyźnie poziomej w torach kolejowych [5]

Niestety w przypadku toru w łuku miarą jego kanciastości nie może być wielkość analogiczna do Δf , gdyż będzie się na nią składać nie tylko wartość wynikająca z imperfekcji wykonania, ale i wspomniana już teoretyczna strzałka łuku. W takiej sytuacji najprostszym sposobem skwantyfikowania jego kanciastości wydaje się być zmierzenie kąta pomiędzy stycznymi do obu fragmentów łuków ($R1$ i $R2$), którego kant jest wspólnym punktem (rys. 5). Do oznaczania tej wielkości na potrzeby niniejszego artykułu zastosowano grecką literę kappa (κ), natomiast jako nazwę wielkości – „kąt kanciastości”.



Rys. 5. Propozycja sposobu skwantyfikowania kanciastości szyny w łuku

Kolejnym problemem wymagającym rozwiązania jest znalezienie sposobu zmierzenia tej wielkości, który będzie:

- wykonalny w warunkach terenowych,

- stosunkowo prosty i tani,
- wystarczająco dokładny.

Jedna z możliwych propozycji przedstawiona jest w następnym rozdziale niniejszego artykułu, wcześniej jednak warto rozważyć możliwe przypadki kanciastości łuku, gdyż jest ich znacznie więcej niż w przypadku toru na odcinku prostym.

Przy kontroli prostoliniowości złącza w płaszczyźnie poziomej toru prostego mogą wystąpić dwa zasadnicze przypadki [5, 6]:

- wypukłość – powodująca zwężenie szerokości toru (przyrządek pokazany na rysunku 4),
- wklęsłość – powodująca poszerzenie szerokości toru.

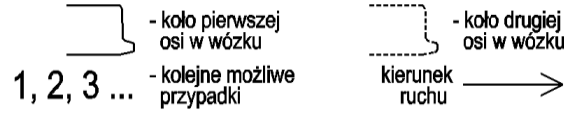
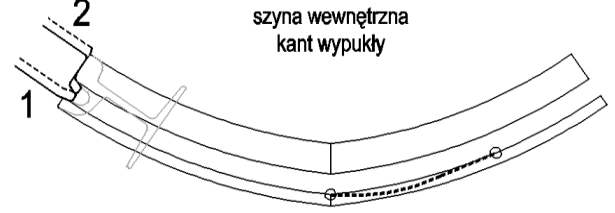
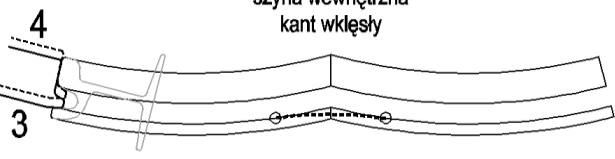
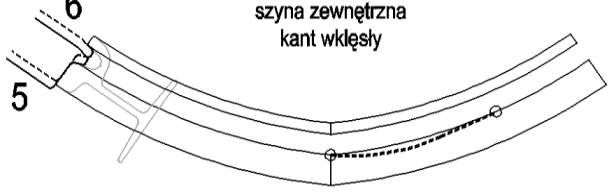
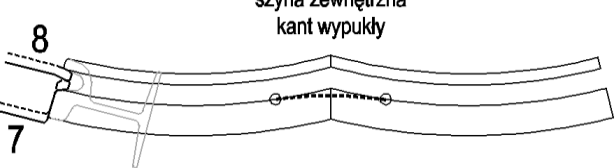
Przy analizie kanciastości łuku wymienione powyżej dwa przypadki będą nieco odmiennie, w zależności od tego, czy analizuje się szynę zewnętrzną, czy wewnętrzną łuku. Kolejną różnicą to tramwajowe szyny rowkowe – w przypadku których obrzeże koła może być prowadzone nie tylko główką szyny, ale i jej prowadnicą, ponadto dla tramwajów pokonujących z niewielkimi prędkościami łuki o małych promieniach (tzw. „ciasne łuki”), w odmienny sposób będą zachowywać się koła pierwszej osi w wózku – będą „wypychane” na zewnątrz łuku, w stosunku do kół drugiej osi w wózku – te z kolei będą „wpychane” do wewnątrz łuku. Uwzględniając powyższe, liczba możliwych przypadków wynosi osiem!

Przypadki te w sposób graficzny przedstawiono w tabeli 1. Ich analiza uwidacznia, że w zależności od tego, czy przez kant przejeżdża koło pierwszej, czy drugiej osi w wózku – odczuwane przez pasażerów szarpnięcia mogą być mocniejsze albo łagodniejsze. Dzieje się tak dlatego, gdyż w części analizowanych przypadków (oznaczonych jako 2, 3, 6 i 7) obrzeże koła ma możliwość przejechania w kancie na „drugą połowę” szerokości rowka – co teoretycznie powinno łagodzić efekt szarpnięcia.

Odczuwalność szarpnięć będzie również zależna od wzajemnej konfiguracji występowania kantów w obu tokach szynowych analizowanego łuku (wewnętrznego i zewnętrznego). Teoretycznie możemy wyróżnić tu trzy następujące przypadki:

- kanty „bliźniacze” (o porównywalnym kształcie i wartości parametru κ) w obu tokach,
- w jednym toku kant „większy”, a w drugim „mniejszy”,
- kant tylko w jednym toku, a w drugim – szyna o poprawnym układzie geometrii krzywizny w planie.

Tab. 1. Analiza możliwych przypadków kanciastości szyn tramwajowych w łuku

OPIS	 <ul style="list-style-type: none"> - koło pierwszej osi w wózku - koło drugiej osi w wózku 1, 2, 3 ... - kolejne możliwe przypadki - zużycie boczne szyny spowodowane przejeżdżaniem kół przez kant kierunek ruchu →
MOŻLIWE PRZYPADKI	 <p style="text-align: center;">szyna wewnętrzna kant wypukły</p>
	 <p style="text-align: center;">szyna wewnętrzna kant wklęsły</p>
	 <p style="text-align: center;">szyna zewnętrzna kant wklęsły</p>
	 <p style="text-align: center;">szyna zewnętrzna kant wypukły</p>

Pierwszy z wymienionych przypadków będzie występował najczęściej w sytuacji, gdy zmiana typu konstrukcji toru (szyny albo zabudowy) ma miejsce w obu tokach szynowych w tym samym przekroju (np. sytuacja pokazana na rysunku 3), ostatni zaś – jeśli taka zmiana dotyczy tylko jednego toku szynowego (np. w przypadku krzyżownic blokowych – rysunek 2).

Kolejny element wpływający na odczuwalność szarpnięć to szerokość toru w miejscach występowania kantów w szynach oraz tzw. „długość prowadna” zestawu kołowego (związana z odległością pomiędzy kręgami tocznymi kół tej samej osi) w taborze tramwajowym. Przy pewnych ich wartościach (odbiegających od nomi-

nalnych, lecz możliwych – ze względu dopuszczalne odchyłki zużycia) efekt szarpnięcia może być potęgowany, a przy innych łagodzony.

Analiza przypadków uwidacznia również dwie odmienne formy szczególnego zużycia nawierzchni stalowej toru, będącego wynikiem oddziaływania kół tramwajów w takich miejscach:

- ścinanie (wyłagadzanie) kantu,
- żłobienie szyny za kantem.

Na rysunkach w tabeli 1 przedstawiono te zużycia przy pomocy regularnych linii, choć obserwacje poczynione na pętli Oporów po niespełna dwuletnim okresie eksploatacji pokazują, że mogą mieć one nieregularny, wręcz falisty charakter.

4. PROPOZYCJA METODY POMIAROWEJ

Podczas prac związanych z wykonaniem ekspertyzy dotyczącej ul. Szewskiej, w celu skwantyfikowania zidentyfikowanych wcześniej wzrokowo miejsc występowania kantów w łukach szyn, rozważano zastosowanie strzałkomierza. Ostatecznie jednak zrezygnowano z tego pomysłu, gdyż po pierwsze – pomiary te byłyby zbyt mało dokładne, a po drugie – pozwoliłyby jedynie na wyliczenie wartości promienia, a nie kąta kanciastości.

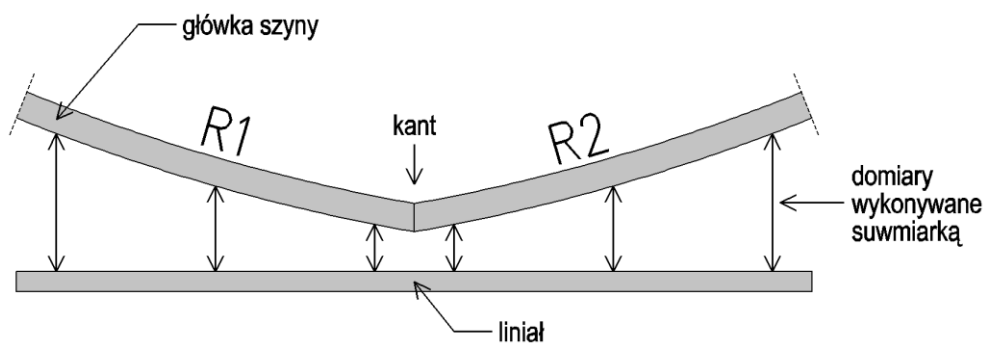
Podczas prac związanych z wykonaniem ekspertyzy dotyczącej pętli Oporów wykonano między innymi pomiary układu geometrycznego torów elektronicznym toromierzem samorejestrującym TEC1435, na których podstawie podjęto próbę wnioskowania w oparciu o zmierzone wartości szerokości toru i jego nierówności poziomych, w miejscach zidentyfikowanych wzrokowo kantów w łukach szyn. Niestety, nie udało się określić żadnych zależności, które pozwoliłyby ustalić w jakikolwiek sposób wielkość kątów kanciastości w tych miejscach.

Kolejnym pomysłem było sięgnięcie po metodę wspomnianą w normie „odbiorowej” [7] – wykorzystującą suwmiarkę i przymiar liniowy o długości 2 m. Ideę przeprowadzonych pomiarów przedstawiono na rysunkach 6, 7 i 8. Sposób ten nazwano roboczo „metodą sześciu domiarów”.

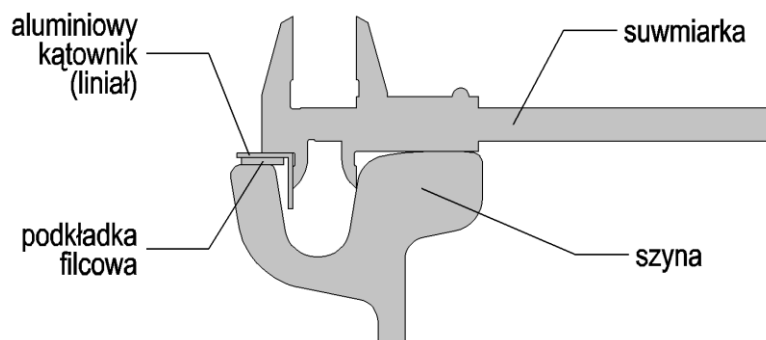
Ze względu na krótki termin wykonania ekspertyzy opisywane pomiary miały nieco improwizowany charakter. Jako przymiar liniowy zastosowano aluminiowy kątownik o wymiarach w przekroju 25 x 25 / 2 mm (jedynie taki, z dostępnych w najbliższym markecie budowlanym, „pasował” do szyny rowkowej). Niestety konieczne okazało się skrócenie liniału z 2 m do 1,6 m, gdyż normy [7], ze względu na zbyt duży rozmiar zaburzeń kształtu krzywizn szyn w łukach z kantem, po prostu nie mieścił się w rowkach szyn. Wybór kątownika podyktowany był dużą sztywnością poprzeczną (w obu prostopadłych kierunkach) takiego przekroju. Ponieważ prowadnica rowka szyny Ri60N jest obniżona o 6 mm w stosunku do poziomej główki szyny, dla wyrównania zastosowano pod kątownikiem podkładki filcowe o grubości 4 mm. Do ustabilizowania liniału na czas pomiaru użyto szmat bawełnianych wciskanych w rowek.



Rys. 6. Pomiar kanciastości szyny w łuku na pętli Oporów



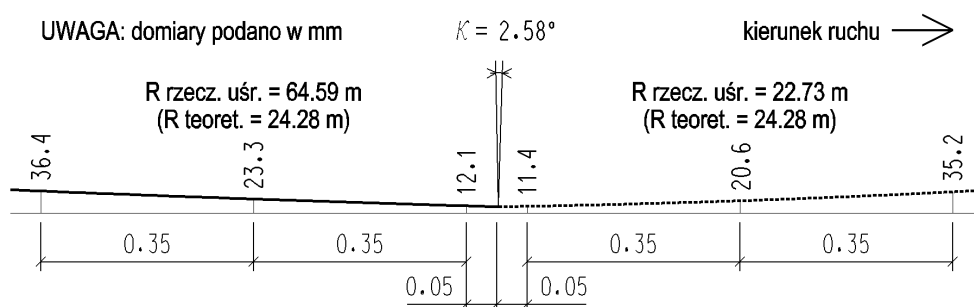
Rys. 7. Idea pomiaru kanciastości szyny w łuku „metodą sześciu domiarów”



Rys. 8. Domiary wykonywane suwmiarką

W celu wykonania prostopadłych domiarów posłużono się standardową suwmiarką uniwersalną z zakresem pomiarowym do 150 mm, z noniusem 39 mm, o dokładności pomiaru 0,05 mm. Domiary były mierzone 16 mm poniżej poziomu główki szyny, gdyż na taką głębokość sięgały szczęki suwmiarki przeznaczone do pomiaru wymiarów wewnętrznych. Ze względu na kształt tych szczęk, wartości mierzonych domiarów nie mogły być mniejsze niż 7 mm. Dzięki temu, że od momentu oddania torów tramwajowych do eksploatacji do momentu przeprowadzenia pomiarów upłynęło tylko około 2 miesiące – główki szyn nie posiadały jeszcze śladów zużycia bocznego, które w przypadku, gdyby było nieregularne na długości szyn (co w ciasnych łukach niekiedy ma miejsce) – mogłoby zafałszować wyniki przeprowadzanych pomiarów (właściwego odwzorowania kształtu krzywizny łuku w planie).

Do analizy wykonanych pomiarów użyto komputerowego programu grafiki inżynierskiej (Microstation), w którym do odwzorowania przebiegu obu łączących się w kancie łuków użyto komend ich wykreślenia metodą wskazania trzech punktów. Wyniki pomiarów dla miejsca z kanciastą szyną pokazanego na rysunku 3 przedstawiono na rysunku 9. Uzyskane z pomiarów wartości kątów kanciastości κ dla zidentyfikowanych wcześniej wzrokowo miejsc występowania kantów w łukach torów na pętli Oporów mieściły się w przedziale pomiędzy 1,19 a 2,58 stopnia [2].



Rys. 9. Analiza wyników pomiaru kanciastości szyny pokazanej na rysunku 3

Zaproponowana metoda pomiaru kanciastości szyny w łuku zakłada pewne uproszczenie – wykorzystanie metody wskazania trzech punktów do odwzorowania kształtu obu łączących się w kancie łuków sugeruje, że na długości tych trzech punktów każda z szyn posiada krzywiznę o stałej wartości promienia, choć w rzeczywistości wcale tak być nie musi. Jednakże przyjęcie opisywanego uproszczenia jest niejako „cechą własną” tej metody – bez niego nie dałoby się jednoznacznie określić kąta kanciastości κ . Uproszczenie to pozwala również poznać wartości promieni będących przybliżeniem (uśrednieniem) rzeczywistych krzywizn łuków, na odcinkach po pół długości liniału po obu stronach kantu, co następnie umożliwia porównanie ich z wartościami teoretycznymi promieni łuków w tych miejscach. Wartość ich rozbieżności jest swego rodzaju kolejną miarą stwierdzonej

wizualnie kanciastości szyny w łuku. Rozbieżności wartości promieni (rzeczywistych uśrednionych w stosunku do teoretycznych) powinny wystąpić niejako z definicji – w przeciwnym razie układ geometryczny krzywizn toku szynowego byłby poprawny i żaden kant nie mógłby się w analizowanym miejscu pojawić.

Prace pomiarowe przeprowadzone na pętli Oporów ujawniły pewne niedoskonałości zaproponowanej metody. Główne zastrzeżenia dotyczyły zastosowanego liniału, który okazał się być niewystarczająco sztywny. Przy przeprowadzaniu pomiaru domiarów prostokątnych należało je wykonywać bardzo delikatnie, gdyż już niewielki nacisk suwmiarki powodował odkształcenia liniału. Wskazana wydaje się być zmiana kształtu przekroju poprzecznego liniału – tak aby nie było potrzeby umieszczania go w rowku szyny, a przez to nie było konieczności skracania jego długości z 2 m do 1,6 m. Wskazane wydaje się być również zastosowanie wygodniejszej w użyciu suwmiarki z elektronicznym odczytem mierzonych wartości. Zastosowana metoda stabilizacji położenia liniału (bawełnianymi szmatami) okazała się zbyt prowizoryczna.

W opisaney w niniejszym artykule metodzie, zamiast analitycznego sposobu wyliczenia wartości parametru κ skorzystano z metody graficznej, w oparciu o komputerowy program grafiki inżynierskiej. Może to budzić pewne obiekcje z tytułu „mało naukowego” sposobu podejścia do rozwiązania problemu. Bardziej wskazane w takiej sytuacji wydawałoby się napisanie własnego programu komputerowego, według algorytmu obliczeń rozwiązania analitycznego albo przynajmniej sporządzenie obliczeniowego arkusza kalkulacyjnego. Jednakże dla autora niniejszego artykułu, który oprócz działalności naukowej zajmuje się projektowaniem infrastruktury torowej (właśnie z wykorzystaniem komputerowych programów grafiki inżynierskiej), taki sposób wyliczenia wartości parametru κ był bardziej dogodny.

Preferowanie metody graficznej w stosunku do rozwiązania analitycznego (w postaci wzorów i przekształceń algebraicznych) jest odzwierciedleniem nowych możliwości, jakie pojawiły się w momencie upowszechnienia komputerowych programów grafiki inżynierskiej. Graficzne (wykreślne) sposoby rozwiązywania zagadnień analitycznych znane były od dawna, jednakże w okresie stosowania kreślenia wyłącznie odręcznego, ze względu na nie zawsze odpowiednio wystarczającą jego dokładność – wykorzystywane były wyłącznie w analizach wstępnych, które albo poprzedzały dokładne obliczenia, albo z pewnych szczególnych powodów ich nie wymagały. Od momentu rozpowszechnienia się metod kreślenia wspomaganych komputerowo sytuacja uległa diametralnej zmianie. W programach grafiki inżynierskiej ograniczeniem przestał być problem skali rysunku, a w konsekwencji problem ograniczonej dokładności jego wykonania. Stosując programy takie jak Autocad czy Microstation, pod warunkiem korzystania z poprawnych zasad i odpowiednich komend kreślenia (a nie „na oko”), można uzyskać graficznie rozwiązania jednoznaczne i dokładne, zamiast jedynie przybliżonych.

5. PODSUMOWANIE

Przypadki kanciastych łuków w nowo wybudowanych lub wyremontowanych torach tramwajowych, co prawda rzadko – ale jednak się zdarzają. Jak pokazują przykłady ul. Szewskiej czy pętli Oporów z Wrocławia, po torach posiadających takie wady jest dopuszczany ruch tramwajów liniowych. Co prawda nie wiąże się to bezpośrednio z zagrożeniem utraty bezpieczeństwa prowadzenia ruchu, gdyż jak już zauważono specyfiką miejsc występowania wad toru tego typu są niewielkie prędkości jazdy (10 – 20 km/h). Niedobrze jest jednak bagatelizować to zjawisko i zupełnie go nie uwzględniać, po pierwsze – z przyczyn określonych we wstępie artykułu (zmniejszenie komfortu jazdy, zużycie taboru i infrastruktury, niekorzystne referencje dla wykonawcy robót), a po drugie – z powodu nabierających aktualnie znaczenia opisanych poniżej nowych przesłanek.

Zdarza się współcześnie, że o miejscu rozpoczęcia i zakończenia inwestycji (włączenia się torów przebudowywanych w istniejące) decydują niejako „zza biurka” urzędnicy miejscy, którzy nigdy ani nie projektowali, ani nie budowali infrastruktury torów tramwajowych, wybierając dowolne fragmenty ciasnych łuków relacji skrajnych na skrzyżowaniach lub w węzłach rozjazdowych niekiedy z kilkumetrowym „rozminięciem” w obu tokach szynowych tego samego toru. Generują w ten sposób potencjalnie miejsca, w których ryzyko wystąpienia kantów w torach staje się niepokojąco wysokie.

Kolejnym argumentem jest odmienność konstrukcyjna obecnie produkowanych wieloczlonowych nowoczesnych niskopodłogowych tramwajów w stosunku do pojazdów starszego typu. Tramwaje 13N, 102N i 105N z wózkami skrajnymi, umieszczonymi w początku i końcu oraz pod przegubami pojazdu, znacznie łatwiej pokonywały wszelkie nierówności toru. Można się było o tym przekonać we Wrocławiu wiosną 2007 roku, kiedy to wrocławskie MPK wprowadziło do ruchu liniowego nowoczesne niskopodłogowe tramwaje Skoda 16T. Ulegały one wykolejeniom w miejscach, przez które starsze „stodwójki” i „stopiątki” przejeżdżały bez problemu [9]. W obecnie produkowanych tramwajach zdarza się, że pod pojedynczym członem tramwaju umieszczony jest wózek bez możliwości skrętu, czyli tak na prawdę dwie osie, niemal „na sztywno” połączone z podwoziem – tak jak w wagonach ostożnicowych (starych tramwajach typu N), a człon ten sąsiaduje z dwoma kolejnymi, które nie są w ogóle podparte wózkami (tzw. lektyki). Na styku koła z szyną występują więc większe oddziaływania dynamiczne, szczególnie podczas pokonywania wszelkich nierówności toru.

Kanciaste łuki wykrywane są wizualnie, co niestety jest swego rodzaju formą oceny subiektywnej, narażonej ponadto na możliwość błędu. Ludzkie oko bywa zawodne – z następujących dwóch powodów:

- nie każdy człowiek ma równie dobry wzrok – dla jednego obserwatora kant łuku będzie ewidentnie zauważalny, a dla drugiego już niekoniecznie,

- w przypadku obserwacji z perspektywy, w miejscach nakładania się poprawnej krzywizny w planie z jej załamaniem w profilu podłużnym może wystąpić efekt złudzenia optycznego – kant łuku może być zauważany, choć w rzeczywistości tak na prawdę go nie będzie!

Poleganie na wzrokowej ocenie okazuje się być niewystarczające – potrzebna jest więc diagnostyczna metoda pomiarowa, pozwalająca na skwantyfikowanie zjawiska kantu w łuku.

Przedstawiona w niniejszym artykule propozycja metody pomiarowej ma charakter wyłącznie pilotażowy. Przeprowadzone prace pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

- sama idea pomiaru i jego analizy wydaje się być słuszna,
- dopracowania wymagają pewne elementy składowe metody pomiarowej: liniał (tworzywo, przekrój poprzeczny, długość) oraz metoda jego stabilizacji,
- konieczne jest rozpoznanie dokładności pomiaru wartości κ według proponowanej metody oraz określenie dopuszczalnych wartości granicznych tego parametru.

Zagadnienia te będą przedmiotem dalszych prac autora niniejszego artykułu.

Analiza zmian zapisów dokonujących się w dokumentach normatywnych [7, 8], przeprowadzona w drugim rozdziale niniejszego artykułu uwidacznia, że rezygnuje się obecnie z zaleceń „wzrokowego” kontrolowania poprawności układu geometrycznego torów, co pozostaje w sprzeczności z aktualnymi trendami w drogach kolejowych. Profesorowie Maria i Henryk Bałuch w swoich ostatnich publikacjach i książkach (np. [10]) proponują wprowadzenie pojęcia diagnostyki wizualnej – oznaczającej *rozpoznawanie odchyłeń od stanu normalnego w nawierzchni i podtorzu bez posługiwania się sprzętem i urządzeniami pomiarowymi*, z zastrzeżeniem, że *wskazane jest jednak posługiwanie się lornetkami i rejestrowanie obrazów za pomocą aparatów fotograficznych*. Oczywiście rozpoznanie wizualne, z racji wykazanych wcześniej niedoskonałości, nie powinno być jedynym, natomiast zdaniem autora niniejszego artykułu dużym błędem jest zupełne eliminowanie tego sposobu rozpoznania jako elementu wstępnego – inicjującego dalsze, możliwe do podjęcia kroki procesu diagnostycznego.

Szkoda również, że z dokumentów normatywnych usunięto wymóg odnotowywania miejsc zakłóceń płynności jazdy, podczas próbnego przejazdu tramwajem odcinków nowych torów przed dopuszczeniem ich do ruchu, w celu późniejszego przeprowadzenia dodatkowych pomiarów kontrolnych w tych miejscach. Tu podobnie jak w przypadku rozpoznania wizualnego ocena posiłkująca się ludzkim zmysłem równowagi może mieć charakter subiektywny – dla jednych diagnostów szarpnięcia mogą być już odczuwalne, podczas gdy dla innych – jeszcze nie. Metoda wydawałoby się mało nowoczesna, ale czy nie warto do niej powrócić i traktować również jako element rozpoznania wstępnego – inicjującego dalsze, bardziej wyrafinowane techniki diagnostyki torów tramwajowych?

Podsumowując, proponuje się aby przy najbliższej okazji nowelizacji przepisów tramwajowych rozważyć możliwość powrotu do zapisów, które w przypadku stwierdzanych przez diagnostów zmysłami wzroku i równowagi wad w postaci kanciastości toru obligowały do zastosowania metody diagnostycznej (zapropnowanej w niniejszym artykule albo innej), pozwalającej na skwantyfikowanie tego niekorzystnego zjawiska. Na pewno przyczyniłoby się to do:

- zmniejszenia konfliktów na linii: wykonawca robót – inwestor / użytkownik,
- podniesienia jakości wykonywanych robót, a w efekcie zmniejszenia tempa zużycia infrastruktury i taboru oraz poprawy komfortu podróżowania komunikacją tramwajową.

Wracając natomiast do określonej mianem „mało nowoczesnej” metody odnawiania miejsc zakłóceń płynności jazdy podczas próbnego przejazdu tramwajem – ideałem byłoby posiadanie i stosowanie przy odbiorach robót tramwajowego wagonu pomiarowego, analogicznego do stosowanych na kolei drezyn EM-120. Może warto byłoby rozpocząć działania w tym kierunku – posiadania w kraju (przy kilkunastu funkcjonujących sieciach tramwajowych) jednego takiego pojazdu, ale ze względu na łatwość przejeżdżania z jednej sieci na drugą – w formie pojazdu drogowo-kolejowego, który wiosną każdego roku objeżdżałby tory tramwajowe w kraju, a po zakończeniu realizowanych sukcesywnie w ciągu roku modernizacji i budów – brał udział w ich odbiorach końcowych? Niestety pomysł ten niejako „na starcie” napotyka na trzy poważne przeszkody:

- sieci tramwajowe w Polsce zarządzane są przez niezależne od siebie podmioty,
- niektóre z miast eksploatują tor wąski o szerokości 1 m,
- póki co, żaden z producentów nie posiada w swojej ofercie takiego pojazdu.

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, Raport serii U nr 17/2007-03-07, Politechnika Wroclawska, Instytut Inżynierii Lądowej, Zakład Infrastruktury Transportu Szynowego, marzec 2007.
- [2] Gisterek I., Makuch J., Popiołek A.: Ekspertyza techniczna dotycząca jakości wykonania przebudowy pętli tramwajowej Oporów we Wrocławiu, Raport serii U nr 117/2015, Politechnika Wroclawska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego, listopad 2015.
- [3] Makuch J.: Problemy doskonalenia konstrukcji rozjazdów tramwajowych w świetle wrocławskich doświadczeń, Transport Miejski i Regionalny 2010 nr 11.
- [4] Warunki techniczne jakim powinny odpowiadać budowle kolejowe i ich usytuowanie, DzU RP Nr 151 z 15.12.1998, poz. 987; ze zmianami: DzU RP z 30.06.2014, poz. 867.
- [5] Id-5 Instrukcja spawania szyn termitem, PKP PLK 2005.
- [6] Id-112 Warunki techniczne wykonania i odbioru zgrzein w szynach kolejowych nowych łączonych zgrzewarkami stacjonarnymi. Wymagania i badania, PKP PLK 2013.
- [7] PN-K-92011:1998 Torowiska tramwajowe. Wymagania i badania.
- [8] BN-91/8938-01 Torowiska tramwajowe. Wymagania i badania przy odbiorze.

- [9] Makuch J.: Problemy utrzymania torów tramwajowych w warunkach sukcesywnego wprowadzania nowoczesnego taboru niskopodłogowego, Konferencja INFRASZYN, Zakopane 2009.
- [10] Bałuch H., Bałuch M.: Układy geometryczne toru i ich deformacje, ZPK / WAT / PKP PLK, Warszawa 2010.

PROBLEM OF ANGULAR CURVES IN TRAM TRACKS

Summary

In the article an attempt was made to recognize the problem related to railroad diagnostics concerning the events of horizontal curvature tangency deficiency of rails in tram curves with minor values of radius. Examples of such events were presented. Reasons of the marginalization of this type of track defects were recognized. Recommendations established by technical norms concerning the similar situation were overviewed. The problem was analyzed from the geometrical perspective. A method of investigations was proposed including a way of results analysis allowing a quantification of the issue. In the recapitulation the importance of the problem was pointed out, conclusions from so far executed works were presented, and directions of further possible investigations were showed.

Keywords: tram tracks; diagnostics; track defects.

Dane autora:

Dr inż. Jacek Makuch

Politechnika Wrocławska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

Katedra Mostów i Kolei

e-mail: jacek.makuch@pwr.edu.pl

telefon: +48 71 320 3936