

# Pomiary zużycia przekroju szyn w torach pętli tramwajowej

## Measurements of transverse section wear of rails in tracks of tram-loop



**Jacek Makuch**

Dr inż.

Politechnika Wrocławska, Wydział  
Budownictwa Lądowego  
i Wodnego; Katedra Mostów  
i Kolei

jacek.makuch@pwr.edu.pl

**Streszczenie:** W artykule odniesiono się do problemów będących wynikiem zastępowania klasycznych metod pomiaru zużycia przekroju szyn nowymi technikami opartymi na wykorzystaniu urządzeń elektronicznych. Określono przyczyny zmian kształtu przekroju szyn. Przypomniano zasady kontroli zużycia szyn wynikające z przepisów. Dokonano przeglądu stosowanych metod pomiaru i urządzeń pomiarowych. Przeanalizowano nominalne kształty przekrojów szyn stosowanych w torach tramwajowych. Opisano sposób wykonania pomiarów profilomierzem mechaniczno-elektronicznym oraz toromierzem mechanicznym przeprowadzonych na pętli tramwajowej Sępolno we Wrocławiu. Przedstawiono propozycję graficznego sposobu analizy wyników pomiarów zużycia przekroju szyn w powiązaniu z pomiarami szerokości toru. W podsumowaniu sformułowano wnioski z przeprowadzonych badań.

**Słowa kluczowe:** Tory tramwajowe; Diagnostyka; Profilomierz

**Abstract:** In article the problems of classical methods of transverse section wear of rails replacement with new techniques based on electronic devices was concerned. Reasons of rails shape section changes were defined. Principles of rails waste inspection resulting from regulations were reminded. Review of practical measurement methods and devices were made. Shapes of nominal sections of rails used in tram tracks were analyzed. Realization of measurements executed with mechanical-electronic profile gauge and mechanical track gauge on tram-loop Sępolno in Wrocław were described. Proposal of graphic manner analysis of rail wear measurements in connection with track width measurements were proposed. In summary conclusions from effected investigations were formulated.

**Keywords:** Tram tracks; Diagnostics; Profile Gauge

W sierpniu 2017 roku rozpoczęła się we Wrocławiu trwająca około dwa miesiące wymiana rozjazdów tramwajowych na skrzyżowaniu ul. Paderewskiego i Mickiewicza. Na czas tych prac, z ruchu tramwajowego została wyłączona pętla Sępolno. Autorowi niniejszego artykułu udało się uzyskać zgodę zarządzającego infrastrukturą (ZDiUM) na przeprowadzenie w tym czasie pomiarów zużycia przekroju szyn na tej pętli. Badania te nie były efektem jakiegokolwiek zlecenia czy grantu, a wynikały jedynie z potrzeby sprawdzenia poprawności działania sprzętu diagnostycznego wykorzystywanego w dydaktyce, przed rozpoczęciem kolejnego semestru zajęć ze studentami. Możliwość ich przeprowadzenia stała się jednakże okazją do rozpoznania pewnych interesują-

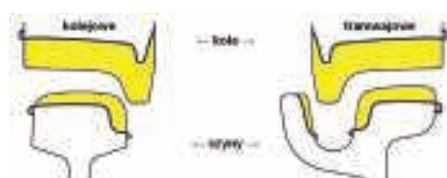
cych problemów, będących wynikiem zastąpienia klasycznych metod pomiaru zużycia przekroju szyn, nowymi technikami opartymi na wykorzystaniu urządzeń elektronicznych.

### Przyczyny zmian kształtu przekroju szyn

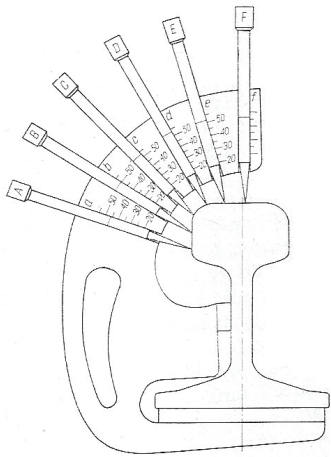
Wraz z upływem czasu, w eksploatowanych pojazdach szynowych oraz torach pojawiają się różnice w kształtach przekrojów kół i szyn - rzeczywistych w stosunku do nominalnych. Na rys. 1 przedstawiono najczęściej występujące kształty zużycia obręczy jak i nawierzchni stalowej torów - zarówno dla szyn kolejowych (główkowych) jak i tramwajowych (rowkowych). Najważniejszą ich przyczyną jest występujące na powierzchniach toczyń zużycie cierne, będące wynikiem oddziaływań w postaci tarcia oraz uderzeń - stalowych kół o stalowe szyny. Są to „ubytki” materiału (wyróżnione na rys. 1 kolorem żółtym). Na granicach powierzchni toczyń mogą zaś wystąpić spływy w postaci wybrzuszeń, czyli „nadmiary”

materiału (wyróżnione na rys. 1 kolorem różowym) - będące wynikiem przemieszczeń uplastycznionej stali, a skoro tak - to mają one charakter nie tylko nadmiarów, ale i równocześnie ubytków. Kształt powierzchni toczyń eksploatowanych szyn może zostać zmieniony również w wyniku celowo przeprowadzonych działań, takich jak reprofilacja (szlifowanie) albo regeneracja (napawanie i szlifowanie).

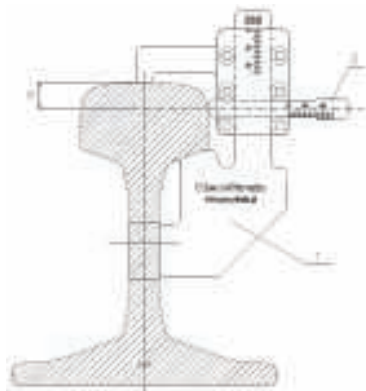
Poniżej powierzchni toczyń, szyny mogą ulegać zjawisku nadmiernej korozji. Najpierw w wyniku rozwarstwień i łuszczenia się powierzchnia szyny ulega „napęcznieniu” - czyli pojawiają nadmiary, choć oczywiście nie jest to materiał w postaci jednorodnej stali (tak jak przy spływach), później zaś rozwarstwienia i łuski zaczynają odpadać, co doprowadza do ubytków. Możliwą przyczyną zmiany kształtu przekroju szyny mogą być również ciała obce, które do nich przywarły, powodując wystąpienie nadmiarów. Dwie ostatnie z wymienionych przyczyn nie dotyczą powierzchni toczyń szyn, co nie znaczy że mogą być zupełnie pominięte w



1. Najczęściej występujące kształty zużycia obręczy kół i szyn [1]



2. Aparat rylcowy



3. Profilometr szablonowy [4]

analizie zjawiska zużycia ich przekrojów. Większość metod pomiaru tego zużycia ma bowiem charakter pośredni - odwołuje się do tak zwanych powierzchni odniesienia, czyli tych części przekroju szyny, które nie uległy zużyciu. Jeżeli ich obraz zostanie zafałszowany, wtedy też ostateczne wyniki przeprowadzonych analiz stają się niewiarygodne.

## Zasady kontroli zużycia szyn wynikające z przepisów

W torach klasycznej kolei reguluje je załącznik nr 14 instrukcji Id-1 [2], w którym w zależności od klasy toru i typu szyn podane są dopuszczalne wartości zużycia główki: pionowego (od 8 do 28 mm) i bocznego (od 12 mm do dolnej jej krawędzi) oraz kąta nachylenia powierzchni bocznej (65, 60 albo 55 stopni). Zużycie boczne określa się 15 mm poniżej górnego poziomu główki szyny, a kąt jego nachylenia – w stosunku do poziomu. Niestety rysunek ilustrujący w instrukcji zasady określania zużycia bocznego jest nieprecyzyjny (szyna zamiast do wewnątrz, jest pochylona na zewnątrz toru), co może powodować niewłaściwą jego interpretację. O ile zużycie pionowe i boczne sprawdza się od wielu lat, to kąt – stosunkowo od niedawna (ostatnia wersja instrukcji

D1 z 2002 roku). W nieco zawaolowany sposób (w pierwszej uwadze do tablicy 1) uwzględniony jest przypadek koincydencji (równoczesnego występowania) zużycia pionowego i bocznego - w takich sytuacjach dopuszczalne zużycie pionowe należy zmniejszyć o połowę rzeczywistego zużycia bocznego.

W przypadku torów tramwajowych zagadnienia te regulują znacznie starsze przepisy [3] z 1983 roku, w których nie wyróżnia się klas torów, za to rozróżnia się trzy przypadki szyn: rowkowe oraz kolejowe (główkowe) o ciężarze do albo ponad 422 N/m i podaje odpowiadające im dopuszczalne wartości zużycia główki: pionowego P (odpowiednio 18, 12 albo 15 mm) i bocznego B (15 mm – dla każdego z trzech przypadków szyn). Przepisy definiują ponadto jednocześnie zużycie pionowe i boczne jako  $P+B/3$  i podają jego dopuszczalne wartości (odpowiednio 18, 12 albo 15 mm – czyli dokładnie tak samo, jak dla zużycia pionowego). Przepisy nie wymagają natomiast sprawdzania kąta nachylenia powierzchni bocznej, a dla szyn rowkowych - zużycie prowadnicy (bocznego i kąta nachylenia). Nie jest również w nich doprecyzowane na jakiej głębokości należy określać zużycie boczne główki szyny - czy tak samo jak na kolei, czy może nieco wyżej (uwzględniając fakt, iż koła tramwajowe mają o około 6 mm niższe obrzeża).

## Metody pomiaru i urządzenia pomiarowe

Najstarszymi i jednocześnie najprostszymi są dyskretne metody pomiaru. Najczęściej wykonuje się je suwmiarkami. Jest to jednakże pomiar pośredni – mierząc wysokość całej szyny i odejmując od jej wymiaru nominalnego określamy jej zużycie pionowe, analogicznie w przypadku zużycia poziomego. Aby ułatwić przeprowadzanie pomiarów opracowano urządzenia umożliwiające pomiar bezpośredni - takie jak: aparaty rylcowe (rys. 2) oraz profilometry szablonowe (rys. 3).

Niestety aparaty rylcowe najczęściej definiują „swoje” miejsca pomiaru, niekoniecznie te same, których sprawdzenia wymagają od nas przepisy. Z kolei przedstawiony na rys. 3 profilometr szablonowy określa zużycie pionowe dokładnie w środku szerokości główki szyny – co w rzeczywistych pomiarach mocno zużytych szyn nie zawsze ma miejsce. Nowsze metody to pomiary



4. Profilograf mechaniczny [5]

ciągłe. Umożliwiają je urządzenia takie jak profilografy mechaniczne (rys. 4), w przypadku których ruch wodzika prowadzonego ręcznie po powierzchni szyny powoduje rysowanie kształtu jej przekroju na papierze. Znacznie nowocześniejsze urządzenia umożliwiające pomiary ciągłe to profilomierze mechaniczno-elektroniczne (rys. 5) w przypadku których musimy jeszcze ręcznie „obrysować” wodzikiem szynę albo optyczno-elektroniczne (rys. 6) gdzie pomiar odbywa się zupełnie automatycznie, dzięki zastosowaniu techniki skanowania laserowego.

Jedynie dwa ostatnie urządzenia umożliwiają pomiar z dokładnością do 0,1 mm, wszystkie wcześniej wymienione – tylko do 1 mm. Co prawda suwmiarki posiadają noniusze, należy jednakże uwzględnić błędy przykładania przyrządu przy wykonywaniu pomiarów. Z drugiej zaś strony przepisy nie wymagają od nas dokładności większych niż 1 mm.

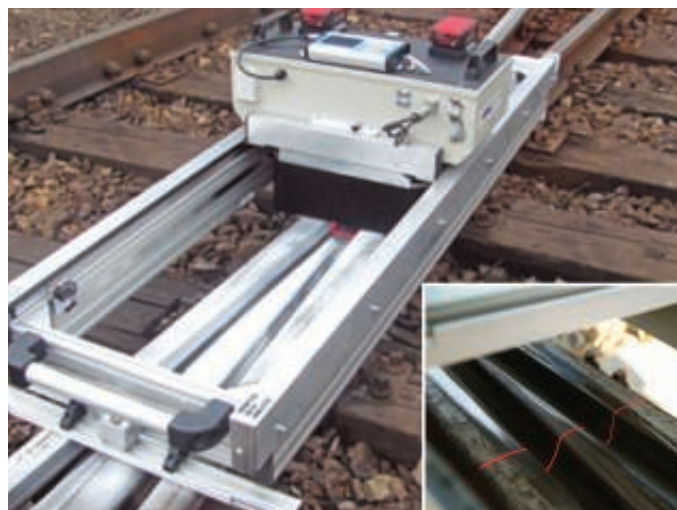
## Przekroje nominalne szyn stosowanych w torach tramwajowych

W przypadku pomiarów pośrednich, zmierzone wielkości należy odnieść do przekrojów nominalnych, określonych w odpowiednich dokumentach normatywnych [7, 8 i 9].

Na rys. 7, 8 i 9 przedstawiono takie przekroje, przy czym forma ich prezentacji różni się od przedstawianej w normach, gdyż zostały one zmodyfi-



5. Profilomierz mechaniczno-elektroniczny [6]



6. Profilomierz optyczno-elektroniczny [6]

kwane przez autora artykułu do potrzeb dydaktyki. Kolorami oznaczono odmienne przypadki krzywizn kształtu przekroju: niebieskie to odcinki proste, a czerwone i zielone to łuki. Podane liczby oznaczają wartości promieni łuków. Różowe linie wymiarowe to wymiary nominalne, ale tylko niektóre (w rysunkach normowych jest ich znacznie więcej). Pokazano jedynie wymiary potrzebne do określenia zużycia przekroju szyny, czyli przykładowo szerokość główki szyny 15 mm poniżej jej górnego poziomu - należy jednakże zauważyć, że przy dużych zużyciach pionowych wymiar ten ulega zwiększeniu (o 1 mm na 8 mm zużycia pionowego szyny 49E1), co bywa powodem zaniżania określanych wartości zużyć bocznych jeśli tego nie uwzględnimy. Kąt nachylenia powierzchni bocznej główki szyny typu kolejowego (49E1) podano dla jej pochylenia do wnętrza toru wynoszącego 1 do 40. Dla szyn typu tramwajowego (rowkowych) - dwa ich starsze typy pokazano na jednej ilustracji (rys. 8), gdyż różnią się one tylko górnym zakończeniem prowadnicy (wyższą prowadnicę, pokazaną linią przerywaną ma szyna 180P). Kąty na-

chylenia powierzchni bocznych główki i prowadnicy są nieco inne w szynie nowszej (rys. 9) niż w starszych (rys. 8), gdzie dodatkowo różnią się jeszcze dla główki i prowadnicy, a generalnie (dla szyny nowszej i obu starszych) dla główek są o około 7 stopni mniejsze niż w szynie kolejowej (główkowej). Na rys. 8 i 9 jest znacznie więcej różowych linii wymiarowych niż na rys. 7 - wynika to z faktu, iż w torach tramwajowych znacznie częściej niż w kolejowych stosuje się konstrukcje zabudowane, a wtedy zużycia pionowe możemy określić jedynie w oparciu o położenie niezużytego dna rowka albo niezużytej górnej powierzchni prowadnicy, natomiast zużycia boczne - w oparciu o położenie niezużytej bocznej powierzchni prowadnicy. Lecz jeśli dno rowka i prowadnica są zużyte - w tramwajowych torach zabudowanych nie da się określić pomiarami suwmiarką zużyci pionowych i bocznych. Na rys. 8 i 9 podobnie jak na rys. 7 pokazano zwiększenie wymiaru nominalnego szerokości główki szyny wraz ze wzrostem jej zużycia pionowego, które tym razem postępuje w szybszym tempie, gdyż 1 mm wzrostu uzyskuje się już przy tylko 6 mm zuży-

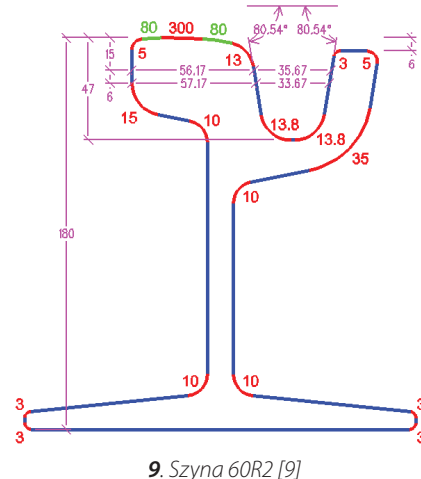
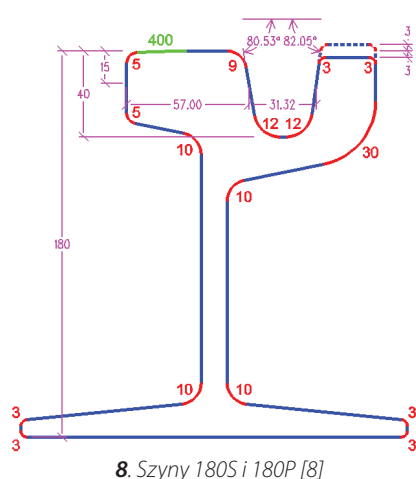
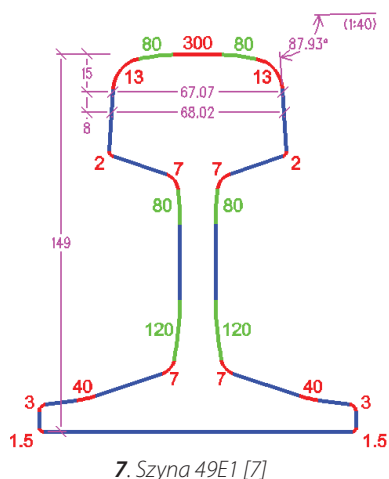
cia pionowego. Przy maksymalnym zużyciu pionowym wynoszącym 18 mm, możemy więc zaniżyć określone zużycie boczne nawet o 3 mm. Jeżeli zaś jako wymiar nominalny wykorzystujemy szerokości rowka - wtedy tempo wzrostu jest dwukrotnie większe (2 mm na 6 mm zużycia pionowego).

## Opis pętli oraz przeprowadzonych na niej pomiarów

W przeciągu ostatnich 30 lat na pętli Sępólno kończyły trasę trzy linie tramwajowe, za wyjątkiem okresu 6 lat (pomiędzy jesienią w 2011 i 2017), kiedy to do Sępólna docierały tylko dwie linie.

Ostatni remont pętli przechodziła ponad 30 lat temu. W 2012 roku wyremontowano odcinek linii tramwajowej bezpośrednio przed pętlą (od skrzyżowania ul. Paderewskiego z ul. Mickiewicza), wymieniono szyny, podkłady, podsypkę oraz sieć trakcyjną. Wtedy też korzystając z wstrzymania ruchu tramwajowego, na samej pętli zastąpiono niektóre najbardziej zużyte zwrotnice, krzyżownice i szyny w łukach nowymi.

Pętla okazuje się być bardzo „wdzięcznym” obiektem badawczym. W





układzie geometrycznym (rys. 10) posiada bowiem łuki o zarówno dużych, średnich jak i małych promieniach oraz wstawki proste pomiędzy łukami zgodnymi i odwrotnymi, krótkie oraz długie. Nieremontowana od wielu lat, ale za to z lokalnymi wymianami wybranych, najbardziej zużytych jej elementów, cechuje się dużą różnorodnością typów i wieku eksploatowanej nawierzchni torowej, a w efekcie również dużą różnorodnością form i wielkości zużyć przekroju porzecznego szyn.

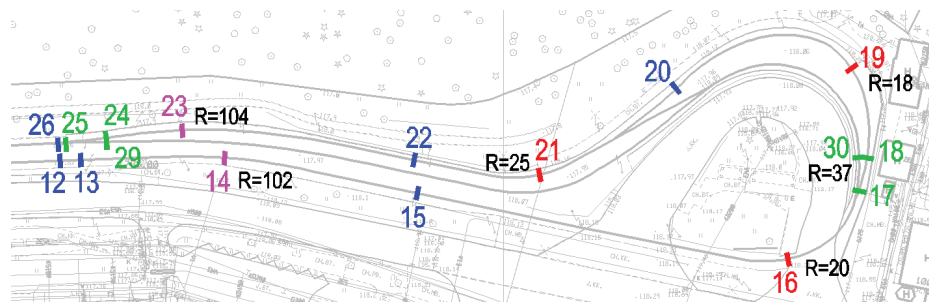
Pomiary wykonano 18 sierpnia 2017 roku między godziną 10-tą a 13-tą, przy ładnej słonecznej pogodzie. Temperatura powietrza wynosiła na początku pomiarów 23°C, a pod koniec 30°C, natomiast szyn - odpowiednio 36°C i 44°C.

Do przeprowadzenia pomiarów zużycia przekrojów poprzecznych szyn wybrano 17 charakterystycznych miejsc (stanowisk) na długości pętli (rys. 10): 6 - na prostej, 2 - w łagodnych łukach, 3 - w ciasnych łukach i 6 w rozjazdach (obejmujących zarówno odcinki proste jak i łuki). Na każdym ze stanowisk zmierzono kształt zużycia szyn lewej i prawej mechaniczno-elektronicznym profilomierzem firmy GRAW (rys. 5), a ponadto w celu powiązania ze sobą pomiarów kształtu zużycia obu szyn - szerokość (prześwit) i przechyłkę mechanicznym toromierzem firmy SOLA.

## Analiza wyników badań

Profilomierz wykorzystany w badaniach posiadał stworzone przez jego producenta oprogramowanie do analizy ich wyników, jednakże ze względu na ograniczony zakres narzędzi tego oprogramowania oraz dość unikatowy sposób pracy z rysunkami (odmienny od stosowanego w najpopularniejszych programach grafiki inżynierskiej) autor artykułu wykorzystał to oprogramowanie jedynie do przekonwertowania plików wykonanych pomiarów na format dxf, a dalszą ich analizę wykonał w najbardziej mu znanym edytorze grafiki inżynierskiej - programie Microstation.

Dla każdego stanowiska analiza przeprowadzana była w trzech następujących etapach.



10. Pętla Sępólno - stanowiska pomiarowe (kolor: niebieski – odcinki proste, różowy – łagodne łuki, czerwony – ciasne łuki, zielony – rozjazdy) i promienie łuków

Etap pierwszy (rys. 11) polegał na nałożeniu przekroju zużytego na nominalny, w oparciu o tzw. powierzchnie odniesienia - czyli te części kształtu przekroju, które nie powinny być się zużyć. W przypadku szyn rowkowych są to (według oznaczeń na rys. 11):

- 1 - bok i dół główki szyny (po zewnętrznej stronie toru),
- 2 - dno rowka,
- 3 - góra prowadnicy,
- 4 - bok i dół prowadnicy.

Nakładanie przeprowadzane było metodą kolejnych prób. Dopasowywano jedną powierzchnię odniesienia i sprawdzano efekt dopasowania w przypadku pozostałych. Aby wykonać to jak najdokładniej stosowano duże zbliżenia widoku rysunku oraz korzystano z narzędzi dowiązywania. Niekiedy udawało się uzyskać dopasowanie we wszystkich czterech sprawdzanych miejscach. Przeważnie jednak przynajmniej jedno albo dwa z tych miejsc nie pasowały do pozostałych. W analizowanym na rys. 11 przykładzie (stanowisko 14, szyna lewa) były to dno rowka oraz dół główki szyny (choć bok już pasował). Konieczne więc było podjęcie decyzji, które z dopasowań są mniej wiarygodne i nie należy ich uwzględnić. W analizowanym przypadku uznano, że dno rowka uległo jednak zużyciu w wyniku korozji, gdyż analizowany przekrój znajdował się w miejscu załomu wklęsłego toru i nawet podczas przeprowadzania pomiarów w rowku „stała” woda, choć opady deszczu wystąpiły kilka dni wcześniej. Podobnie uznano, że dół główki uległ zniekształceniu w wyniku nadmiernej korozji albo przywarcia ciała obcego, albo też wystąpienia obu tych przyczyn łącznie.

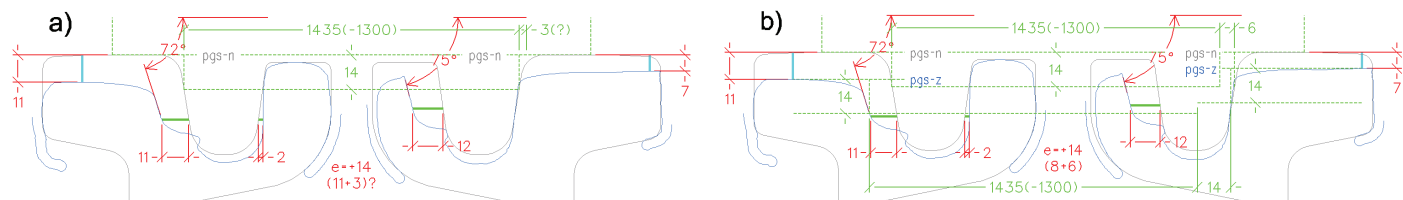


11. Nałożenie przekroju zużytego (kolor niebieski) na nominalny (kolor szary) w oparciu o powierzchnie odniesienia (kolor czerwony)

Etap drugi, to graficzne zidentyfikowanie miejsc zużyć pionowego i bocznego oraz ich zwymiarowanie. W przypadku ustalania kąta nachylenia powierzchni bocznej konieczne było skonstruowanie linii stycznej do najbardziej wystających (do wewnątrz rowka) wierzchołków łamanej odwzorowującej kształt zużytej powierzchni bocznej. W etapie tym bardzo przydatne okazały się narzędzia systemów grafiki inżynierskiej takie jak: znajdowanie minimalnej odległości pomiędzy elementami, kopiowanie równoległe, docinanie, zautomatyzowane wymiarowanie z zaokrągleniem.

Etap trzeci, to ustawienie względem siebie przekrojów szyn lewej i prawej, najpierw nominalnie (rys. 12a), po czym - z uwzględnieniem zmierzonej rzeczywistej szerokości toru (rys. 12b). Analizowany na rys. 12 przykład (stanowisko 14) jest torem położonym w łuku prawym o promieniu  $R = 102$  m, z szynami w wieku ponad 30 lat. Nie dziwi więc duże zużycie boczne główki szyny lewej i prowadnicy szyny prawej, jak również brak albo niewielkie zużycia boczne główki szyny prawej i prowadnicy szyny lewej oraz stosunkowo duże zużycia pionowe (większe w toku zewnętrznym łuku).

Wstawiając szynę prawą obok lewej (rys. 12a), najpierw wykonywano



12. Przekroje szyny lewej i prawej z określonymi wartościami zużyć, zorientowane względem siebie w oparciu o nominalną (a) albo rzeczywistą (b) szerokość toru



**13.** Porównanie kształtów zużycia szyn w tym samym wieku ale dla różnych przypadków geometrii toru (opis w tekście)



**14.** Porównanie kształtów zużycia szyn toru o tym samym typie geometrii ale dla różnego ich wieku (opis w tekście)

lustrzane odbicie tej pierwszej, potem zrównywano poziomy główki szyn dla przekrojów nominalnych (pgs-n), a następnie oddalano przekroje tak, aby 14 mm poniżej pgs-n uzyskać nominalny wymiar szerokości toru. Jednakże dla uzyskania lepszej czytelności przeprowadzanej analizy graficznej, zamiast 1435 mm stosowano wymiar o 1300 mm mniejszy, czyli 135 mm - wtedy obie szyny na rysunku pojawiały się tuż obok siebie. Na koniec należało rozsunąć szyny tak, aby odpowiadało to zmierzonej rzeczywistej szerokości toru (e). W analizowanym przypadku wynosiła ona akurat +14 mm (czyli 14 mm poszerzenia). Stosując logikę znaną z pomiarów zużyc szyn wykonywanych suwmiarką, skoro zużycie boczne szyny lewej wyniosło 11 mm, a prawej - nie wystąpiło (0 mm), to na owe 14 mm poszerzenia składało się: 11 mm wynikające ze zużyc bocznych i tylko 3 mm spowodowane eksploatacyjnym rozsunieniem się szyn. W przeprowadzanej więc analizie, o owe 3 mm należało rozsunąć szyny od ich położenia nominalnego. Tyle tylko, że mierząc szerokość zużytego toru, toromierz przykładano nie do szyn o nominalnych kształtach przekroju lecz zużytych, dlatego wracając do przeprowadzanej analizy graficznej (rys. **12b**), szynę prawą odsunęto od szyny lewej tak aby zmierzoną toromierzem rzeczywistą szerokość toru (1435 mm powiększone o 14 mm poszerzenia) uzyskać 14 mm poniżej poziomów główek szyn dla przekrojów zużytych (pgs-z). Okazało się wtedy, że przekrój nominalny szyny prawej odsunął się od lewej nie o 3 mm, ale o 6 mm.

Podsumowując dotychczasowe rozważania, w poszerzeniu toru wynoszącym w analizowanym przypadku 14 mm: tylko 8 mm było wynikiem zużyc bocznych szyn, a aż 6 mm wynikało z ich wzajemnego rozsunienia. Trochę może się to wydawać nielogiczne, ale dopiero dokładna analiza graficzna pozwala zrozumieć odmienność takiego sposobu wnioskowania, w porównaniu

do analiz przeprowadzanych wyłącznie obliczeniowo - stosowanych przy pomiarach wykonywanych suwmiarkami. Powodem tej rozbieżności są występujące oprócz bocznych również pionowe zużycia szyn. Im są one większe, tym większa okazuje się rozbieżność obu metod wnioskowania. Przeprowadzenie przedstawionych powyżej trzech etapów graficznej analizy wyników wykonanych pomiarów jest punktem wyjścia do kolejnych możliwych analiz, które mogą mieć charakter zarówno nadal graficzny, jak i już czysto opisowy (tabelaryczny, obliczeniowy).

Po uzyskaniu poprawnie nałożonych przekrojów zużytych na nominalne, możemy je porównywać pomiędzy sobą - na przykład różne typy geometrii toru, ale w tym samym wieku, albo na odwrót. Na rys. **13** przedstawiono porównanie kształtów zużycia szyn w wieku około 30 lat dla różnych przypadków geometrii toru:

- szyny zewnętrzne w łukach (kolor czerwony) - ewidentnie największe zużycia boczne główek; zużycia pionowe przeważnie duże; zużycia boczne niesymetryczne (główek względem prowadnic),
- szyny wewnętrzne w łukach (kolor zielony) - tu z kolei ewidentnie największe zużycia boczne prowadnic; natomiast pionowe główek przeważnie małe; zużycia boczne również niesymetryczne,
- szyny w odcinkach prostych (kolor niebieski) - średnie zużycia zarówno pionowe jak i boczne, te drugie w miarę symetryczne.

Na rys. **14** przedstawiono porównanie kształtów zużycia szyn w łukach dla różnego ich wieku:

- szyny około 5-letnie (kolor niebieski) - ewidentnie dużo mniejsze zu-

życia,

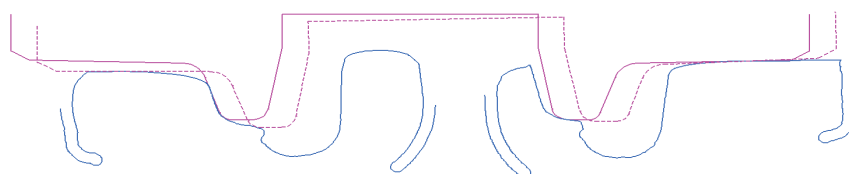
- szyny około 30-letnie (kolor czerwony) - tu znacznie większe zużycia, przy czym boczne - zamiennie (to znaczy jeśli nie główki, to prowadnice).

Na obu rysunkach kolorem szarym przedstawiono nominalne przekroje szyn. Po uzyskaniu poprawnie zorientowanych względem siebie zużytych przekrojów szyn lewej i prawej możemy „ustawić” na nich obręcze kół tramwajowych - o kształtach nominalnych (rys. **15**) albo o różnych stopniach zużycia, co daje możliwość:

- rozpatrywania różnych przypadków wzajemnych położeń,
- analizy przyczyn kształtu zużyc zarówno szyn jak i obręczy kół.

W przeprowadzonych pomiarach na każdym ze stanowisk mierzono również przechyłkę torów. Jej wartości mogły być uwzględniane w trzecim etapie przedstawionej powyżej graficznej metody analizy wyników pomiarów (analogicznie jak zmierzone szerokości toru), z czego jednak nie skorzystano, gdyż zdaniem autora artykułu niepotrzebnie komplikowałoby to przeprowadzane analizy, bez uzyskiwania jakichkolwiek wymiernych korzyści z tego tytułu. Nie mniej jednak znajomość wartości rzeczywistych przechyłek pozostaje cenną informacją. Może się ona okazać pomocna przy interpretacji zróżnicowania uzyskanych zużyc przekrojów szyn oraz przy ustalaniu możliwych przypadków wzajemnych położeń zestawu kołowego względem toru (jak na rys. **15**).

W tabeli **1** przedstawiono zestawienie wyników przeprowadzonych badań. Ponieważ wybór lokalizacji stanowisk pomiarowych miał charakter wyrzykowy, nie przeprowadzono analiz statystycznych, a jedynie ograniczono się (w



**15.** Analiza współpracy obręczy kół tramwajowych ze zużytymi szynami

dolnej części tabeli) do określenia wartości ekstremalnych, które to porównano z wartościami dopuszczalnymi (tylko dla tych parametrów, dla których takowe w ogóle są określane).

W prawej części tabeli 1 (z żółtym tłem) porównano metody „rozdziału” zmierzonego prześwitu toru pomiędzy zużycia boczne i rozsunęcia szyn - metodę graficzną (przedstawioną w niniejszym artykule) w stosunku do obliczeniowej (stosowanej przy pomiarach suwmiarką). Przedostatnia kolumna to rozbieżność obu metod, a ostatnia - to średnie zużycie pionowe. Na 17 przebadanych stanowisk tylko w przypadku dwóch (zaznaczonych na czerwono) nie znalazła potwierdzenia postawiona wcześniej w artykule hipoteza, iż owa rozbieżność jest tym większa, im większe są zużycia pionowe szyn. Pozostałe 15 stanowisk potwierdziło słuszność postawionej hipotezy. Interesującą obserwacją z badań jest fakt, iż w łukach torów tramwajowych o niewielkich promieniach, główki szyn wewnętrznych osiągają zużycia boczne porównywalne z występującymi w główkach szyn zewnętrznych (w tab. 1 wyróżniono je zielonym tłem) i to nawet przy dużych wartościach poszerzeń szerokości toru.

## Podsumowanie

Nowe metody pomiarów zużycia przekroju szyn oraz ich analizy, oparte na zastosowaniu urządzeń elektronicznych, cechuje szereg zalet. Najważniejsze z nich to:

- większa dokładność,
- szeroki zakres możliwości wykorzystania narzędzi edytorów grafiki inżynierskiej (Autocad albo Microstation),
- łatwiejsza wykrywalność nietypowych przypadków zużycia,
- możliwość bardziej zgodnego z rzeczywistością powiązania pomiarów zużycia bocznych z pomiarami szerokości toru,
- możliwość analizy zjawiska współpracy obręczy kół z szynami,
- szersze możliwości i bardziej wiarygodne wyniki oceny zużycia szyn w tramwajowych torach zabudowanych.

Niestety oprócz zalet, są też pewne wady:

- droższy sprzęt, wymagający dodatkowo zakupu oprogramowania,
- większa liczba danych do przeanalizowania, a przez to również więk-

Tab. 1. Zestawienie wyników przeprowadzonych badań

nr stanowiska	geometria toru, a dla rozdziału - miejsce	szyna		zużycia kształtu przekroju						przebieg	szerokość toru (prześwit)					rozbieżność określenia rozsun. szyn (graf. - obl.)	śr. zuż. pion.				
		str.	typ	wiek	główka			prowadn.			zmierzona	graficznie		obliczeniowo							
					pion. P	bocz. B	jedn. P+B/3	kat. α	kat. β			zuz. bocz.	rozsun. szyn	zuz. bocz.	rozsun. szyn						
12	prosta	L 60R2	5	1	1	1	76	0	-	-1	1	3	-2	2	-1	-1	1				
13	prosta	L 180P	30	8	7	10	75	1	78	-1	10	2	8	7	3	5	10.5				
14	łuk prawy R=102	L 180S	30	11	11	15	72	2	-	31	14	8	6	11	3	3	9				
15	prosta	L 180P	30	8	3	9	75	2	75	21	9	3	6	6	3	3	8.5				
16	łuk lewy R=20	L 60R2	5	9	15	14	75	4	73	-58	15	25	-10	27	-12	2	9				
17	prosta (tuż za R=20) początek zwrotnicy	L 60R2	5	2	2	3	74	4	72	-4	14	8	6	7	7	-1	1.5				
18	prosta tor zasadniczy rozj.	L 60R2	5	1	1	1	76	0	-	-13	3	3	0	3	0	0	0.5				
30	łuk lewy R=37 tor zwrotny rozj.	L 60R2	5	0	6	2	69	2	81	-10	14	12	2	12	2	0	0.5				
19	łuk lewy R=18	L 60R2	5	1	5	3	73	5	68	-38	14	11	3	11	3	0	1.5				
20	prosta (tuż za R=18)	L 180S	30	5	0	5	-	1	76	14	2	7	-5	7	-5	0	4				
21	łuk prawy R=25	L 60R2	5	0	4	1	72	1	79	39	6	9	-3	9	-3	0	2				
22	prosta	L 180P	30	8	3	9	75	3	75	11	8	4	4	7	1	3	8				
23	łuk lewy R=104	L 180P	30	11	1	11	77	14	77	-40	12	3	9	5	7	2	7				
24	prosta (tuż za R=104) tor zwrotny rozj.	L 60R2	5	2	0	2	75	0	-	-10	1	3	-2	3	-2	0	1.5				
29	prosta tor zasadniczy rozj.	L 180P	30	5	5	7	75	3	74	-10	4	3	1	5	-1	2	3				
25	prosta (tuż za R=50) początek zwrotnicy	L 60R2	5	2	3	3	71	0	-	4	15	3	12	3	12	0	1				
26	prosta (za łukiem R=50)	L 60R2	5	1	8	4	73	0	-	1	8	8	0	8	0	0	1				
										min:	66	68	-58								
										max:	13	15	15	14	39	15	25	12	27	12	5
										dop:	18	15	18	-	-	-	-	-	-	-	-

szą pracochłonność oraz w efekcie trudniejsze podjęcie ostatecznych decyzji,

- trudniejsze wnioskowanie w oparciu o większą liczbę powierzchni odniesienia.

W oparciu o przeprowadzone analizy autor artykułu postuluje wprowadzenie następujących zmian w obowiązujących przepisach:

- korekta rysunku ilustrującego sposób pomiaru kąta nachylenia powierzchni bocznej główki szyny w zał.14 instrukcji Id-1,
- doprecyzowanie sposobu pomiaru zużycia bocznego przy jednoczesnym dużym zużyciu pionowym (ze względu na ryzyko zaniżania określanych zużycia bocznych),
- określenie w przepisach tramwajowych dopuszczalnych wartości zużycia bocznego prowadnicy oraz kąta zużycia bocznego główki i prowadnicy.

Potrzebne jest również rozstrzygnięcie problemu na jakiej głębokości należy mierzyć zużycie boczne w torach tramwajowych - tak samo jak na kolei, czy płycie (ze względu na niższe obrzeże obręczy koła tramwajowego)?

Ważnym wnioskiem wynikającym z przeprowadzonych badań jest konkluzja, iż nowe elektroniczne metody pomiarów i ich analiz nie zwalniają nas „z myślenia”, nadal ważną rolę odgrywa doświadczenie. Uwidaczniają to chociażby problemy:

- podjęcia właściwej decyzji przy

nakładaniu profilu zużytego na nominalny (w sytuacji, gdy różne powierzchnie odniesienia sugerują odmienne rozwiązania),

- analizowania powiązań pomiarów zużycia bocznych z pomiarami szerokości toru (na ile poszerzenia toru są wynikiem zużycia bocznych główek szyn, a na ile zmian ich położenia),
- analizowania przypadków współpracy koła z szyną (dobór możliwych połączeń zestawu kołowego względem szyn). ◀

## Materiały źródłowe

- [1] Technische Regeln für die Spurführung von Schienenbahnen nach der Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen (BOStrab), Mai 2006
- [2] Id-1 (D-1) Warunki techniczne utrzymania nawierzchni na liniach kolejowych - PKP PLK Warszawa 2005 - ze zmianami 2006, 2010, 2015
- [3] Wytyczne techniczne projektowania, budowy i utrzymania torów tramwajowych, MAGTiOŚ 1983
- [4] [www.neostrain.pl/inspector.php?ins=7](http://www.neostrain.pl/inspector.php?ins=7)
- [5] [www.geismar.com/en/traditional-measurement/212-p110.html](http://www.geismar.com/en/traditional-measurement/212-p110.html)
- [6] [www.graw.com/pomiary-toru.html](http://www.graw.com/pomiary-toru.html)
- [7] PN-EN 13674-1+A1:2017-07 Kolejnictwo - Tor - Szyna - Część 1: Szyny kolejowe Vignole'a o masie 46 kg/m i większej
- [8] PN-H-93440:1992 Stal - Szyny tramwajowe z rowkiem
- [9] PN-EN 14811+A1:2010 Kolejnictwo - Tor - Szyny specjalne - Szyny rowkowe i związane z nimi profile konstrukcyjne