

Ocena powierzchni tocznej szyn na podstawie pomiarów falistości

Grzegorz STENCEL¹

Streszczenie

Artykuł wymienia podstawowe wady powierzchni tocznej szyn, sklasyfikowane na podstawie doświadczeń kolei w Polsce oraz w innych krajach europejskich. Scharakteryzowano techniki pomiaru i obserwacji powierzchni szyn. Przedstawiono przykładowe wyniki pomiarów. Na podstawie zaprezentowanych pomiarów profilu podłużnego przeanalizowano możliwość wykorzystania wyników do oceny powierzchni tocznej szyn.

Słowa kluczowe: zużycie faliste szyn, wady powierzchni tocznej szyn, pomiary szyn

1. Wstęp

Od początku istnienia transportu szynowego, szyny jako części składowe nawierzchni, są szczególnym obiektem badań. Częste zmiany gatunków stali stosowanej do produkcji szyn i zestawów kołowych, jak również doskonalenie konstrukcji pojazdów oraz zwiększanie ich prędkości i mocy powodują, że na powierzchni tocznej szyn występują zjawiska, które nie zawsze można łatwo zdiagnozować.

Dostępne są liczne sposoby zautomatyzowanego wykrywania wad powierzchni tocznej szyn, nie zawsze jednak istnieje możliwość zastosowania pełnego zakresu technik pomiarowych. Z tego względu w artykule rozważono możliwość zastosowania pomiarów falistości szyn do oceny powierzchni tocznej.

2. Najczęściej spotykane wady powierzchni tocznej szyn

W ostatnich latach na temat wad występujących na powierzchni tocznej szyn napisano wiele publikacji [2–5, 8–11, 17]. Według [4], wprowadzenie pojazdów szynowych ze sztywniejszym zawieszeniem spowodowało wzrost liczby uszkodzeń powierzchniowych szyn. Do najczęstszych rodzajów uszkodzeń zalicza się:

- wybuksowania,
- zagłębienia (*squat*),
- rysy (*headchecks*),
- łuszczenie blaszkowate (*shelling*),
- wady spoin.

Wybuksowania przejawiają się w postaci miejscowego wytarcia szyn przez obracające się koła stojącej lub ruszającej lokomotywy. Wytarcie, wskutek powstającej przy tym wysokiej temperatury, często jest połączone ze zmianami strukturalnymi stali, co łącznie może doprowadzić do pęknięcia szyny [16]. Znałe są przypadki, w których wybuksowania mają głębokość kilkunastu milimetrów [3].

Wady typu *squat* powstają wskutek długotrwałej kumulacji odkształceń plastycznych w wierzchniej warstwie główki szyny [3]. Prowadzono wiele badań, również w Polsce [4, 5, 8], w celu określenia czynników wpływających na rozwój wad zmęczeniowych, jednakże ich geneza wciąż nie jest jednoznaczna.

Wady typu *headchecks* (rysy) rozwijają się przede wszystkim w łukach o promieniu rzędu 600–1000 m. W łukach o mniejszych promieniach rozwój tych wad hamuje zużycie boczne szyny. Do czynników sprzyjających rozwojowi wad *headcheck* zalicza się również większe obciążenie toku wewnętrznego wynikające z niedomiaru przechyłki o niewielkiej wartości, powodujące odciążenie kół pojazdów na toku zewnętrznym łuku. Rysy na powierzchni z czasem propagują w głąb, wywołując pęknięcia i złamania szyn.

W większości zarządów kolejowych strategia wykrywania i usuwania wad skupia się przede wszystkim na rysach i zagłębieniach [9]. Nierzadko w tej samej lokalizacji występują dwie różne wady, co utrudnia ich dokładną diagnostykę [3]. Na kolejach holenderskich wprowadzono klasyfikację wad typu *headcheck* i *squat*, według której niewielkie rysy nie przekraczają 10 mm długości, średnie zawierają się w przedziale 10–19 mm, rysy o długości 20 do 29 mm stanowią

¹ Mgr inż.; Instytut Kolejnictwa, Zakład Dróg Kolejowych i Przewozów; e-mail:gstencil@ikolej.pl.

dużą wadę, natomiast rysy o długości większej od 30 mm są określane jako ekstremalne [17].

W przypadku *squat* (zagłębienie), wadę lekką stanowi pojedynczy odcisk z ciemną plamą. Wada średnia ma kształt litery „V” z ciemnymi plamami po obu stronach. Wada typu ciężkiego ma długość 20-29 mm i występuje w połączeniu z wgnieceniem główki szyny z dużą ciemną plamą [17].

Odzwierciedleniem znaczenia problemu występowania wad na powierzchni tocznej szyn są rekomendacje programu INNOTRACK zakładające wprowadzenie profilu *anti-headcheck* (AHC) i cyklicznego szlifowania. Problematyka ta była przedmiotem prac grupy WP 4.5 programu INNOTRACK. Grupa najpierw przyjrzała się praktykom utrzymaniom w zarządach kolejowych, po czym wyszczególniła pięć różnych profili AHC. Rekomendacje zalecają szlifowanie wstępne i zapobiegawcze, dopracowanie obecnych specyfikacji dotyczących technologii szlifowania przez maszyny szlifujące, optymalizacji logistyki maszyn szlifujących, a także zaproponowanie procedur umożliwiających wprowadzenie strategii zapobiegawczego szlifowania [12, 14].

Na wielu kolejach strategię utrzymania szyn przewidują profilowanie początkowe, które zazwyczaj wykonuje się po przeniesieniu obciążenia 20 Tg. Zaletą takiej strategii jest usunięcie warstwy odwęglonej, której obecność przyczynia się do szybszego rozwoju wad w szynach. Zwiększona wadliwość szyn oznacza wzrost kosztów utrzymania, wynikających choćby z konieczności częstszych inspekcji, w tym badań metodami niszczącymi, które wciąż są rozwijane, nie tylko w zastosowaniu do badań nawierzchni kolejowej [1].

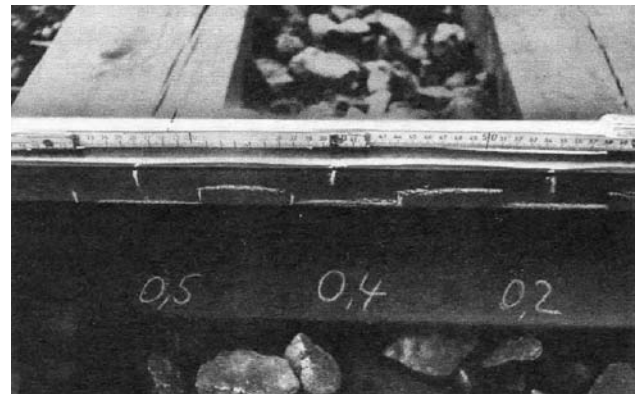
Autor publikacji [11] proponuje, aby ze względów ekonomicznych, w celu zdjęcia warstwy odwęglonej, szlifowanie szyn przeprowadzać metodą stacjonarną u producentów lub w zgrzewalniach. Frezowanie stacjonarne jest technologią, która jeszcze niedawno była promowana przez jednego z czołowych dostawców technologii profilowania szyn. Firma promowała frezowanie początkowe, jako sposób na profilowanie szyn w trybie początkowym, jeszcze przed zabudową szyn w torze. Jako zalety wymieniano m.in. brak konieczności wykonywania prac profilujących w trybie początkowym w torze oraz usuwanie nierówności szyn w miejscach występowania zgrzein. Frezowanie w trybie początkowym miało być alternatywą dla szlifowania, ale ten pomysł nie zdobył szerszego zainteresowania ze strony zarządców infrastruktury [15].

3. Techniki pomiaru i obserwacji nierówności powierzchni tocznej szyn

Pomiary nierówności powierzchni tocznej szyn zazwyczaj wykonuje się za pomocą przyrządów wy-

posażonych w specjalne czujniki indukcyjne bądź głowice laserowe. Mogą być stosowane przyrządy pomiarowe stacjonarne (liniał elektroniczny), ruchome (wózek pomiarowy), bądź zainstalowane na pojazdach, gdzie pomiar może być wykonany na przykład za pomocą czujników przyspieszeń zamontowanych na łożyskach osi (maźnicach). W artykule [6] autorzy przedstawili analizę porównawczą wyników pomiarów wykonanych za pomocą trzech typów aparatury.

Nierówności powierzchni tocznej mierzy się w celu sprawdzenia, czy na danym odcinku toru nie występuje faliste zużycie szyn. Fale krótkie lub średnie o znacznej głębokości można również zmierzyć prostymi przyrządami pomiarowymi. Przykład takiego pomiaru przedstawiono na rysunku 1. Mimo większej wiedzy na temat zjawiska zużycia falistego i konsekwencji, jakie może ono powodować, wciąż jeszcze można zaobserwować stopień zużycia o wartościach przedstawionych na rysunku 1, szczególnie w torach tramwajowych.



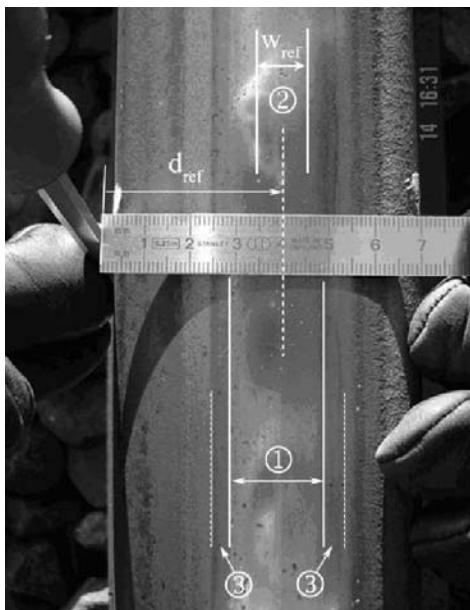
Rys. 1. Pomiar głębokości fal [6]; liczby na stopce szyny oznaczają głębokość fal w mm

Przyrządy do pomiarów nierówności powierzchni tocznej szyny są montowane na większości maszyn służących do profilowania szyn. Jest to również standardowe wyposażenie nowoczesnych drezyn pomiarowych. Pomiar wykonuje się zazwyczaj z krokiem pomiarowym wynoszącym 1 mm. Wyniki prezentuje się najczęściej w postaci wykresów fal o długości w zakresach 10÷30, 30÷100, 100÷300, 300÷1000 mm.

Z punktu widzenia problemów eksploatacyjnych związanych z falistym zużyciem szyn, do oceny najbardziej pomocne są wykresy fal o długości z przedziału 30÷100 mm. Parametrem decydującym o konieczności profilowania szyn na danym odcinku, a także służącym do prognozy zakresu prac (np. liczby przejść szlifierki), jest średnia głębokość fal w tym zakresie nierówności. W nomenklaturze stosowanej w normach europejskich [12] zamiast o średniej głębokości fal, mówi się o średniej wartości *peak-to-peak* (P-P).

W Instytucie Kolejnictwa, do pomiarów nierówności toczonej, stosuje się obecnie przyrząd wyposażony w głowicę laserową. Można nim wykonywać pomiary fal o długości w zakresach 10÷30, 30÷100, 100÷300 mm z krokiem pomiarowym 1 mm. Położenie głowicy laserowej względem osi szyny można regulować, co pozwala na pomiar nierówności powierzchni toczonej szyny w różnych strefach kontaktu koła z szyną. Taka analiza jest wymagana w przypadku pomiarów chropowatości do celów oceny emisji hałasu [13]. Liczba linii na szerokości powierzchni toczonej, na długości których należy wykonać pomiar, jest uzależniona od szerokości śladu kół na powierzchni szyny. Ustala się ją na podstawie szerokości w_{ref} zawierającej się w szerokości śladu (rysunek 2):

- $w_{ref} \leq 20$ mm: pomiar wykonuje się wzdłuż jednej linii,
- $20 \text{ mm} < w_{ref} \leq 30$ mm: pomiar wykonuje się na długości dwóch linii oddalonych od siebie o 5 mm,
- $w_{ref} > 30$ mm: pomiar wykonuje się na długości trzech linii oddalonych od siebie o 10 mm.



Rys. 2. Szerokość w_{ref} [9]

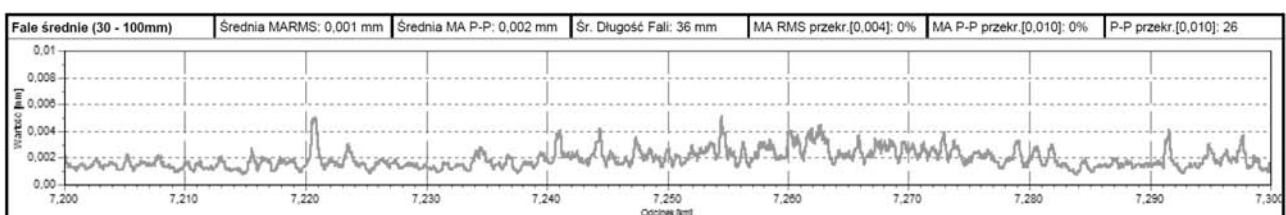
4. Przykłady pomiarów powierzchni toczonej szyn po profilowaniu

Pomiary powierzchni toczonej szyn przedstawione w artykule, wykonano w Instytucie Kolejnictwa. W celu uproszczenia i większej przejrzystości analizy, pod uwagę wzięto wykresy fal o długościach w zakresie 30÷100 mm. Na rysunku 3 przedstawiono wyniki pomiarów szyny po szlifowaniu. Nierówności są niewielkie – średnia głębokość ma wartość 0,002 mm. Odzwierciedleniem tych wyników jest rysunek 4, chociaż są tam widoczne również niebieskie przebarwienia świadczące o zbyt wysokiej temperaturze wywołanej szlifowaniem. Taka wada technologiczna może być stwierdzona wyłącznie metodą wzrokową, dlatego do odbiorów robót po profilowaniu szyn nie wystarczą same wyniki pomiarów.

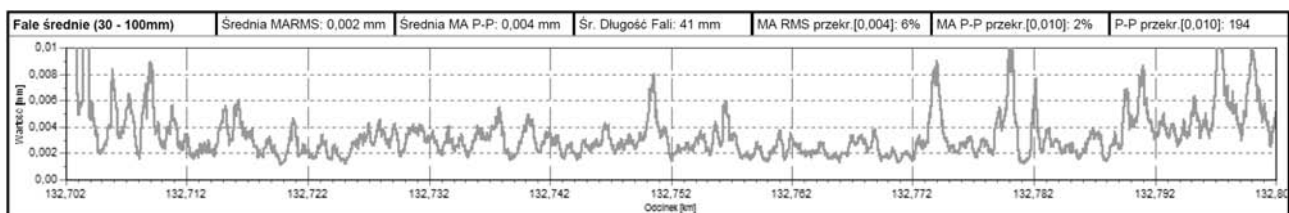


Rys. 4. Powierzchnia toczonej szyny po szlifowaniu [fot. autor]

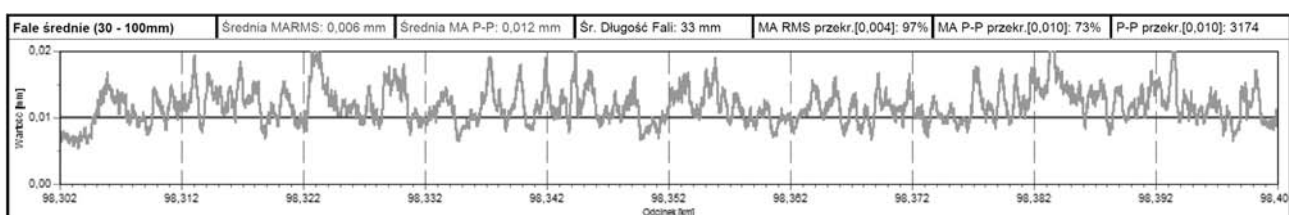
Na rysunku 5 przedstawiono wyniki pomiarów fal po frezowaniu szyn. Należy tu dodać, że tor był gorzej utrzymany niż tor wykorzystany w poprzednim przykładzie. Nierówności są tu nieco większe – średnia głębokość fali ma wartość około 0,004 mm.



Rys. 3. Wykres fal szyny po szlifowaniu [opracowanie własne]

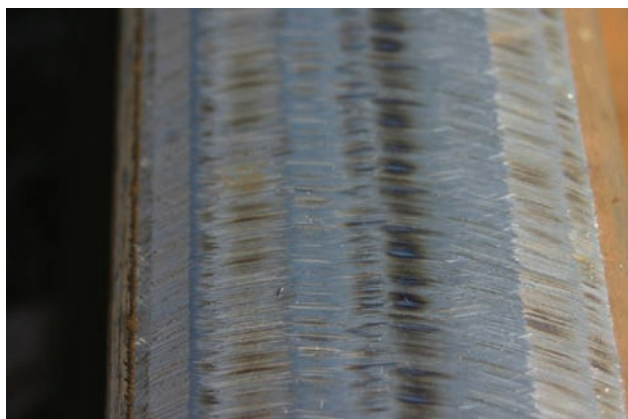


Rys. 5. Wykres fal – szyna po frezowaniu [opracowanie własne]



Rys. 6. Wykres nierówności powierzchni toczonej – szyna po niewłaściwym szlifowaniu [opracowanie własne]

Przykład niewłaściwego szlifowania, widocznego na wykresie nierówności przedstawiono na rysunku 6. Po zabiegu szlifowania szyna została „porysowana” na tyle głęboko, że średnia głębokość fal w zakresie 30÷100 mm jest dwukrotnie większa niż w przypadku nowej szyny. Można stwierdzić, że poza zdjęciem warstwy odwęglonej, w tym przypadku szlifowanie nie przyniosło korzyści.

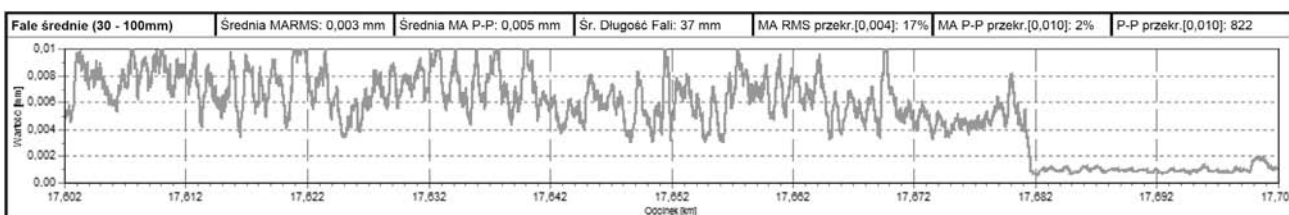


Rys. 7. Powierzchnia toczonej szyny po niewłaściwym szlifowaniu [fot. autor]

5. Przykłady pomiarów powierzchni toczonej szyn nieprofilowanych

Pomiary falistości są uzasadnione od początku eksploatacji szyn nawet w przypadku, gdy po zabudowie nie przeprowadzono prac szlifierskich. Pomiary wykonane na nowych szynach wskazują, że nierówności powierzchni toczonej osiągają wartości bliskie wartościom dopuszczalnym określonym w normie [12], dotyczącej odbiorów prac po profilowaniu szyn. Przykład nierówności nowej szyny zabudowanej w bardzo dobrze utrzymanym torze, przedstawiono na rysunku 8. Doskonale widać, że na ostatnich 20 metrach prezentowanego odcinka znajduje się szyna szlifowana. Nierówności zmierzone na szynie szlifowanej są znacznie mniejsze, niż w poprzednich przykładach przedstawionych na rysunkach 3 i 4. Jest to zasługa stosunkowo często wykonywanych prac szlifierskich. Dobra jakość tych prac była łatwiejsza do osiągnięcia z powodu dobrego stanu geometrycznego toru z nawierzchnią bezpodsypkową.

Innym przykładem jest szyna o dużym stopniu degradacji, z licznymi wadami typu *squat*. Wady te występowały praktycznie co kilkadziesiąt centymetrów (rys. 9).

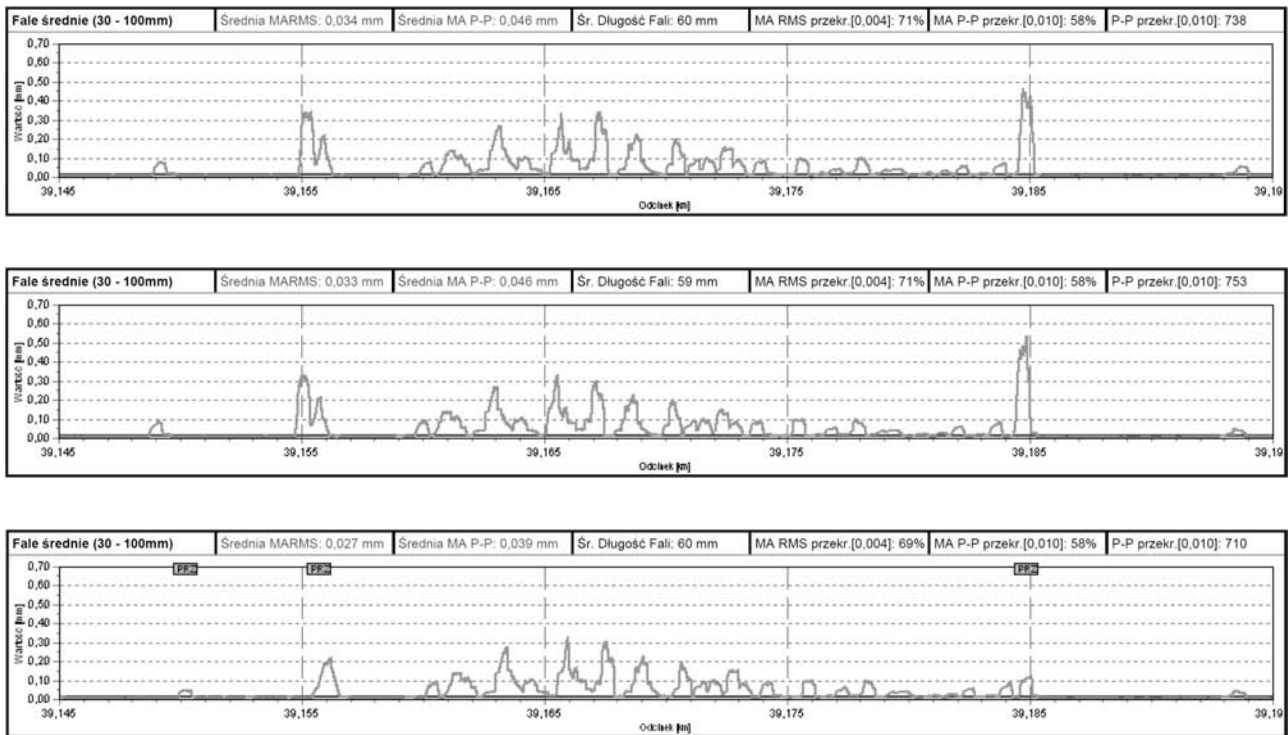


Rys. 8. Wykres nierówności powierzchni toczonej – szyna nowa i po szlifowaniu [opracowanie własne]



Rys. 9. Powierzchnia toczna szyny z licznymi wadami [fot. autor]

Rysunek 10 przedstawia wykresy pomiarów wykonanych kolejno po sobie. Widać dużą powtarzalność wyników, poza przypadkiem, gdzie wykonano przerwę w pomiarach w rejonie złączy szynowych klasycznych, co spowodowało zmniejszenie wartości nierówności na wykresie. Wykres ten znacząco różni się od poprzednich, ponieważ fale nie są regularne. Wynika to z faktu, że na badanym odcinku nie było wyraźnego zużycia falistej szyn. Zwiększone nierówności pokazują rozmiar wad przedstawionych na rysunku 9. W miejscach, gdzie wady nie występują, nierówności powierzchni tocznej szyn są niewielkie.

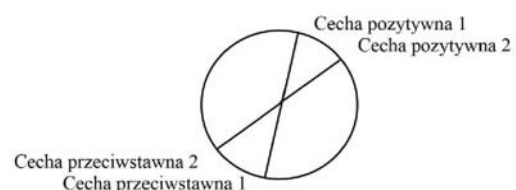


Rys. 10. Wykresy nierówności powierzchni tocznej – szyna zdegradowana [opracowanie własne]

6. Przydatność pomiarów falistości do oceny powierzchni tocznej szyn – metoda ANKOT

W analizie przydatności pomiarów falistości do oceny powierzchni tocznej szyn posłużono się metodą ANKOT. Nazwa metody jest akronimem od ANALIZY Kontrastowej Obiektów Technicznych. Założeniem metody jest zestawianie różnych cech, aspektów, atrybutów itp., opisujących badany obiekt. Cechy

przeciwstawne umieszcza się na końcach średnicy koła (rys. 11).



Rys. 11. Schemat zestawiania cech w metodzie ANKOT [opracowanie własne]

Cechy pomiarów falistości zestawiono w tablicy 1.

Tablica 1

Atrybuty pomiarów falistości

Zazwyczaj prosta obsługa urządzeń pomiarowych.	Możliwość pomiaru wyłącznie na długości pojedynczych linii.
Wyniki łatwe w interpretacji.	Brak zbiorczej oceny dotyczącej liczby wad.
Uzyskanie dokładnej informacji na temat powierzchni tocznej szyn.	Brak możliwości wykrywania wad wewnętrznych.
Możliwość wykorzystania wyników do odbioru szyn po profilowaniu.	Wyniki nie uwzględniają wszystkich możliwych wad po profilowaniu.

7. Podsumowanie

Przedstawione wyniki pomiarów wskazują, że istnieją możliwości wykorzystania wyników pomiarów zużycia falistego do oceny stanu powierzchni tocznej szyn. Nie ma natomiast przesłanek do stwierdzenia, że te pomiary w najbliższym czasie staną się wystarczające w diagnostyce szyn.

Podstawowym ograniczeniem metody pomiarowej, uniemożliwiającym jej szersze zastosowanie jest pomiar na środku powierzchni tocznej szyn, co nie pozwala na wykrycie wad znajdujących się w pozostałej części główki (np. *headcheck*).

Zaletą metody polegającej na wykorzystaniu pomiarów zużycia falistego jest łatwość jej zastosowania i opracowania wyników, czego nie można powiedzieć o metodach defektoskopowych i wiroprowadowych.

Literatura

- Antolik Ł.: Kierunki rozwoju badań ultradźwiękowych na przykładzie badań osi kolejowych, *Problemy Kolejnictwa*, 2014, Zeszyt 163, s. 7–24.
- Badscok P.: Putting the brakes on squat growth. *International Railway Journal*, 2008, No. 8.
- Bałuch H.: Perspektywy zmniejszenia wad powierzchniowych szyn, V Ogólnopolska Konferencja Techniczna „Spawalnictwo Dróg Szynowych – Certyfikacja jest gwarancją Bezpieczeństwa?”. Kraków, 15–17 maja 2013.
- Bałuch H.: Wady na powierzchni szyn – geneza i możliwości ich usuwania techniką spawalniczą, IV Ogólnopolska Konferencja N.T. „Spawalnictwo Dróg Szynowych – Jakość, Niezawodność, Bezpieczeństwo”, Bochnia, 12–14 maja 2010.
- Bałuch H., Bałuch M.: Eksploatacyjne metody zwiększania trwałości rozjazdów kolejowych, CNTK, Warszawa 2009.
- Bogdaniuk B., Massel A.: Pomiary nierówności powierzchni tocznych szyn na liniach PKP. *Problemy Kolejnictwa*, 1995, Zeszyt 120, s. 41–53.
- Funke H.: *Schienenschleifen*, Transpress, Berlin, 1984.
- Guidat A.: The necessity of rail maintenance and track design considerations. *Rail Engineering International*, No. 1 2006.
- Guidelines for management of rail grinding, Report D4.5.5. *Innotrack. Innovative Track System*, 2006.
- Lesiak P., Wlazło M.: Wizualizacja i analiza obrazów wad head checking w szynach kolejowych badanych metodą skaterometrii laserowej, *Logistyka* nr 6/2014.
- Mikłaszewicz I.: Odwęglenie a wady powierzchni główki szyny, *Problemy Kolejnictwa*, 2015, Zeszyt numer 165, s. 85–96.
- PN-EN 13231-3:2012: Kolejnictwo – Tor – Odbiór prac – Część 3: Odbiór reprofiliowanych szyn w torze, Data publikacji 28.03.2012.
- PN-EN 15610:2009: Kolejnictwo – Emisja hałasu – Pomiar nierówności powierzchni tocznej szyny w odniesieniu do emisji hałasu, Data publikacji 15.10.2009.
- Schöch W.: Recommendations for strategic rail maintenance in Europe: the application of anti-headcheck profiles and cyclic grinding, *Rail Engineering International*, No. 1 2011.
- Stencel G.: Porównanie technologii profilowania szyn, *Projektowanie, budowa i utrzymanie infrastruktury w transporcie szynowym: INFRASZYN 2015*, Zakopane 22–24.2015, s. 299–309.
- Zariczny J., Grulkowski S.: Analiza czynników wpływających na rozwój wad 227 squat, V Ogólnopolska Konferencja Techniczna „Spawalnictwo Dróg Szynowych – Certyfikacja jest gwarancją Bezpieczeństwa?”. Kraków, 15–17 maja 2013.
- Zoeteman A., Dollevoet R.: Combating rolling contact fatigue: strategies adopted in The Netherlands. *Rail Engineering International*, No. 1 2010.

Evaluation of Running Surface of Rails by Measuring Corrugation

Summary

The article outlines the basic defects in the running surface of rails. Classification was based on the experience of railways in Poland and other European railways. Measurement techniques and the observation surface of the rails were characterized. Examples of measurement results were presented. On the basis of the presented measurements of corrugation analyzes the possibilities of using the results to assess the running surface.

Keywords: rail corrugation, running surface defects in rails, rail measurements

Оценка поверхности катания рельсов на основании измерений волны

Резюме

В статье перечислены основные недостатки поверхности катания рельсов. На основании представленных измерений продольного профиля был проведен анализ возможностей использования результатов для оценки поверхности катания рельсов.

Ключевые слова: волны рельсов, недостатки поверхности катания рельсов, измерения рельсов