

Paweł PIEC

Instytut Pojazdów Szynowych  
Politechnika Krakowska

WPŁYW ŻELIWNÝCH WSTAWEK HAMULCA KLOCKOWEGO  
NA POWSTAWANIE ZUŻYCIA FALISTEGO KÓŁ TOCZNYCH  
POJAZDÓW SZYNOWYCH ORAZ SZYN

Streszczenie. Praca zawiera wyniki badań stanowiskowych i eksploatacyjnych nad powstawaniem zużycia falistego kół podczas hamowania hamulcem klockowym. Autor w ramach stypendium brał udział w tych badaniach oraz przeprowadził analizę zarejestrowanych podczas badań wartości sygnałów mierzonych wielkości. Badania stanowiskowe i eksploatacyjne przeprowadzono w ośrodku badawczym kolei DB w Minden. W badaniach określono wpływ materiału wstawek hamulcowych na powstawanie zużycia falistego kół. Określono także wyniki powstawania zużycia falistego: prędkość liniową podczas hamowania, nacisk klocka hamulcowego na koło oraz minimalny czas trwania procesu hamowania. Na podstawie przeprowadzonej analizy widmowej drgań koła i klocka hamulcowego określono wartość częstotliwości ich przyspieszeń. W zakończeniu pracy przedstawiono proces powstawania zużycia falistego kół oraz szyn.

## 1. WPROWADZENIE

Do najważniejszych rodzajów zużycia zestawów kołowych pojazdów szynowych należą:

- pęknięcia zmęczeniowe osi,
- pęknięcia zmęczeniowe tarczy koła,
- ścieranie powierzchni tocznej,
- podcięcia obrzeża,
- płaskie miejsca i narosty,
- rozwałcowanie na powierzchni tocznej,
- poluzowanie obręczy,
- pęknięcia zmęczeniowe na powierzchni tocznej,
- wykruszenia zmęczeniowe na powierzchni tocznej,
- owalizacja koła,
- zużycie faliste koła.

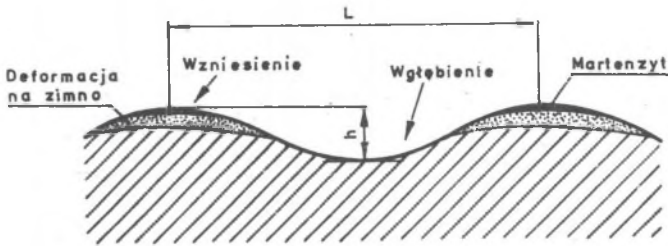
Podział ten obejmuje te rodzaje zużycia, które pod względem statycznym stanowią duży procent przypadków, jak i te które występują rzadziej, ale ze względu na zagrożenie bezpieczeństwa ruchu lub obniżenie komfortu jazdy powinny być również rozpatrywane [1].

Zużyciem falistym nazywamy występujące w regularnych odległościach trwałe nieporządane zmiany stanu warstwy wierzchniej obręczy lub szyny, w wyniku czego okres użytkowania ulega skróceniu.

Należą do nich:

- zmiany twardości,
- zmiany strukturalne w sensie mikro- i makro-,
- zmiany chropowatości powierzchni,
- zmiany zabarwienia (obszary jasne i ciemniejsze),
- odkształcenia plastyczne materiału.

Na rys. 1 przedstawiono schemat poglądowy warstwy wierzchniej elementu ze zużyciem falistym. Odległości między wzniesieniami, stanowiące największy procent, wynoszą 3-5 cm, a ich wysokości około 0,05 mm.



Rys. 1. Schemat poglądowy warstwy wierzchniej elementu ze zużyciem falistym

$h$  - wysokość wzniesienia,  $L$  - odległość dwóch sąsiednich wzniesień

Fig. 1. The pictorial scheme of the surface layer of the corrugated element

$h$  - the rise height,  $L$  - distance between two successive rises

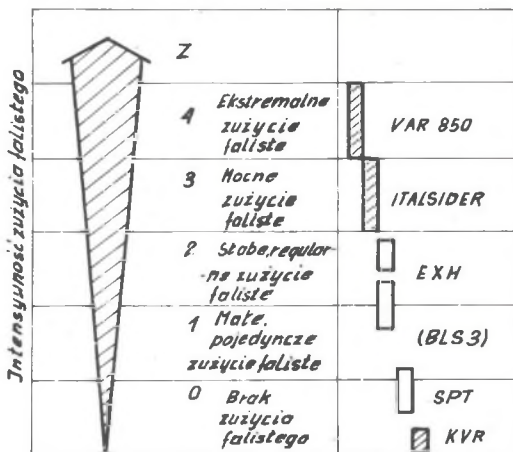
## 2. INTENSYWNOŚĆ ZUŻYCIA FALISTEGO

Zużycie faliste występujące na powierzchni toczonej kół pojazdów szynowych oraz powierzchni jezdnej szyn jest problemem, którego rozwiązaniem zajmują się od wielu lat różne ośrodki badawcze. Pierwsze publikacje związane z tym tematem spotyka się już w 1885 roku. Pochodzą one z Anglii. Fink (1953) w swojej pracy przedstawia problem zużycia falistego oraz stan jego badań w okresie minionych 60 lat [2]. Rosemeier (1954) przedstawia wyniki badań zużycia falistego szyn przeprowadzonych przez Ośrodek Badawczy DB w Minden [3]. W badaniach obejmujących 400 km linii kolejowej do obliczeń statystycznych przyjęto 5170 km szyn. Okazało się, że 46,5% szyn wykazuje zużycie faliste.

Zużycie faliste występuje nie tylko na szynach, ale także można go spotkać na kołach pojazdów szynowych. Fakt ten potwierdzają w swoich pra-

cach: Langerke (1935), Fink (1953), Gössl (1955), Birman (1958), Düskow (1964), Werner (1973), Bugarcic (1974), Willenbrink (1979), Skvor (1980), Piec (1980).

Skvor w celu ograniczenia zużycia falistego kół lokomotyw elektrycznych wprowadził 23 zmiany w zakresie jej konstrukcji, technologii i eksploatacji. Na rys. 2 przedstawiono wyniki z tych badań w zakresie zastosowania różnych materiałów na obręcz kół [3]. Obręcze wykonane z mate-

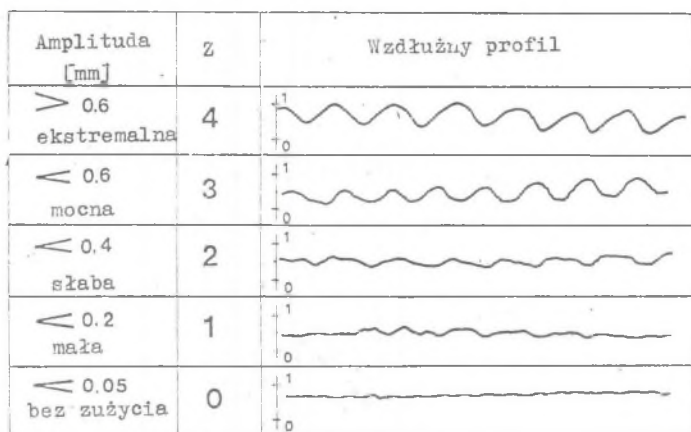


Rys. 2. Wpływ materiału obręczy na intensywność powstawania zużycia falistego kół lokomotywy elektrycznej: przebieg lokomotywy - 30000 km, odległość wzniesień - 15 cm

Fig. 2. Influence of the wheel tyre material on the corrugation rate of electric locomotive wheels: run of the locomotive - 30000 km, distance between two rises - 15 cm

riażu KVR nie wykazywały zużycia falistego. Dla pozostałych materiałów intensywność powstawania tego zużycia była zróżnicowana. Różnice te przedstawiono na rys. 3. Pomiar wysokości wzniesień zużycia falistego zostały wykonane po przebiegu lokomotywy 30000 km. Odległości wzniesień wynoszą w tym przypadku 15 cm. Podobny obraz tego zużycia stwierdzono także na kołach wagonów osobowych, które eksploatowane są na tych samych liniach kolejowych (patrz [1], rys. 46).

Na kołach wagonów osobowych EW IIB 2378 stwierdzono w Szwajcarii występowanie zużycia falistego, którego kształt zobrazowano na rys. 4. Przebieg wagonu w tym przypadku wynosi 52000 km, wysokość wzniesienia 0,04 mm. W pracy [1] podano, że zużycie faliste nie tylko pogarsza współpracę zestawu kołowego z szyną i klockiem hamulcowym, ale jednocześnie powoduje wzrost poziomu natężenia dźwięku podczas jazdy pociągu. Przykła-



Rys. 3. Wyniki pomiaru zużycia falistego powstałego na obręczach kół wykonanych z różnych materiałów (patrz rys. 2)

Fig. 3. The measurement results of the corrugation of the wheel tyres made of various materials (see fig. 2)



Rys. 4. Obraz zużycia falistego utworzonego na powierzchni toczonej koła wagonu osobowego EW IIB 2378 (Rhätische Bahn): skala 1:1, wysokość wzniesień - 0,04 mm (ciemniejsze obszary), przebieg - 52000 km

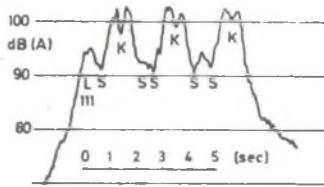
Fig. 4. View of the corrugation wear of the rolling surface of the wheel of the EW IIB 2378 (Rhätische Bahn) passenger coach (scale 1:1, the rises height - 0,04 mm (the more dark regions), run - 52000 km

dowo wzrost wysokości wzniesienia zużycia falistego o  $10\mu$  powoduje wzrost poziomu natężenia dźwięku o 2,6 dB dla prędkości jazdy 120 km/h.

Z pomiarów zużycia falistego kół przeprowadzonych w zakładach naprawczych wagonów w RFN wynika, że spośród przebadanych zestawów kołowych z hamulcem klockowym aż 60% wykazuje zużycie faliste, zaś w przypadku hamulca tarczowego tylko 3-5% (Hartwig 1981). Obraz tego zużycia w tym przypadku jest taki sam jak przedstawiony na rys. 4.

Willenbing (1979) w swojej pracy podaje wyniki pomiaru natężenia dźwięku zarejestrowanego podczas przejazdu pociągu. W składzie pociągu znajdowały się wagony wyposażone w hamulec klockowy oraz wagony wyposażo-

ne w hamulec tarczowy. Wyniki z tych pomiarów zaobrazowano na rys. 5. Z rysunku tego wynika, że poziom natężenia dźwięku zmierzony podczas przejazdu

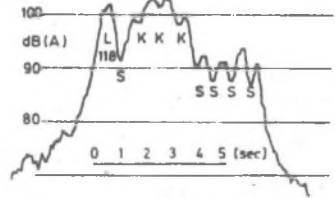


Rys. 5. Wykres przebiegu poziomu natężenia dźwięku zmierzonego w odległości 7,5 m od osi toru podczas przejazdu pociągu z prędkością 140 km/h

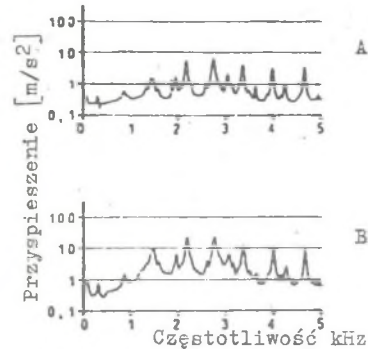
L111, L118 - lokomotywa, K - wagony z hamulcem klockowym, S - wagony z hamulcem tarczowym, (wartości minimalne na wykresie dotyczą środka wagonu)

Fig. 5. The run of the sound intensity level measured in the distance of 7,5 m from the track axis during a run of the train with the travelling speed of 140 km/h

L111, L118 - the locomotive, K - wagons equipped with the shoe brake, S - wagons equipped with the disc brake, (the minimal values on the diagram are relative to the middle of the wagon)



pociągu dla wagonów z hamulcem klockowym jest o 10 dB (A) większy w porównaniu z poziomem natężenia dźwięku zmierzonym podczas jazdy dla wagonów z hamulcem tarczowym. Różnicę tę Willenbrink wyjaśnia na podstawie przeprowadzonych obserwacji zestawów kołowych, które były wymontowane z wagonów. Z obserwacji tej wynika, że wszystkie zestawy z hamulcem klockowym



Rys. 6. Widmo promieniowych przyspieszeń koła

A - szyny szlifowane, B - szyny wykazujące zużycie faliste, prędkość jazdy - 160 km/h

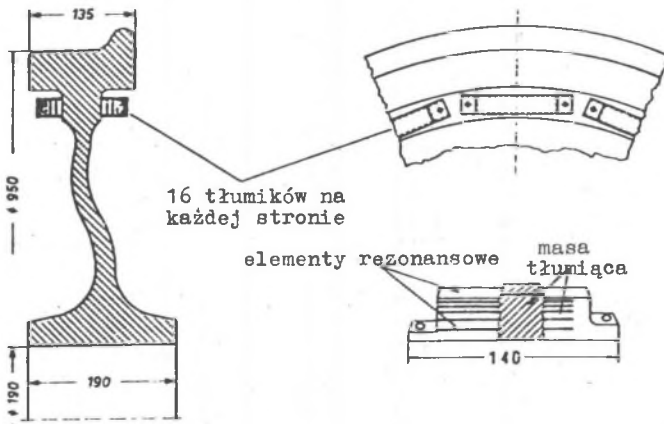
Fig. 6. The spectrum of the radial accelerations of the wheel

A - the grinded rails, B - the rails with corrugation, the travelling speed - 160 km/h

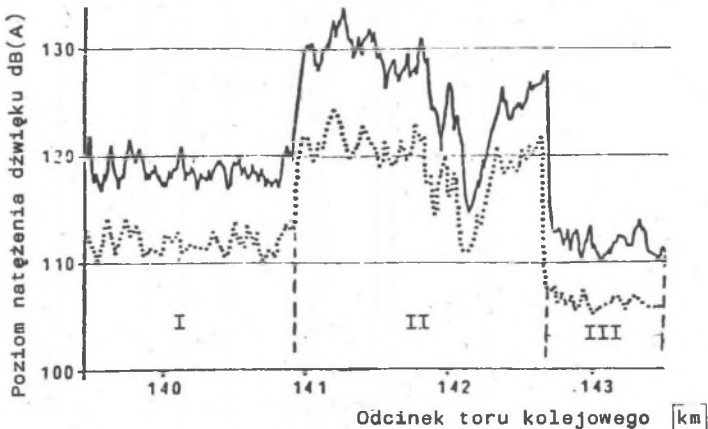
wykazywały w większym lub mniejszym stopniu zużycie faliste. Zestawy kołowe z hamulcem tarczowym nie wykazywały zużycia falistego.

Raquet (1978) w swojej pracy podaje wyniki pomiaru przyspieszeń koła w kierunku promieniowym podczas przejazdu pociągu z prędkością 160 km/h po szynach szlifowanych oraz po szynach wykazujących zużycie faliste, rys. 6 [5]. Występowanie zużycia falistego na szynach powoduje ponad 10-krotny wzrost tych przyspieszeń. W celu wyeliminowania szkodliwego oddziaływania zużycia falistego szyn wprowadzono w praktyce ich szlifowanie. Zbudowano w tym celu specjalne wagony wyposażone w odpowiednie urządzenia do szlifowania.

Pierwszy wagon do szlifowania szyn zbudowano w RFN w 1950 roku. Podobne wagony zbudowano w USA w 1955 roku oraz w Szwajcarii i we Francji. Wprowadzenie do eksploatacji zestawów kołowych z zamocowanymi na kołach tłumikami (rys. 7), umożliwiło także obniżenie poziomu natężenia dźwięku podczas jazdy pociągu o około 10 dB (rys. 8).



Rys. 7. Koło monoblokowe z zamontowanymi tłumikami drgań  
Fig. 7. The solid wheel with the mounted vibration dumper



Rys. 8. Wykres z pomiaru poziomu natężenia dźwięku  
I - szyny wykazujące małe zużycie faliste, II - szyny ze zużyciem falistym,  
III - szyny szlifowane  
— - - - koła bez tłumików,  
- - - - koła z zamontowanymi tłumikami,  
prędkość jazdy - 160 km/h

Fig. 8. The diagram drawn on the basis of the sound intensity level measurements

I - the rails showing a small corrugation, II - the rails with the corrugation, III - the grinded rails  
— - - - the wheels without dampers,  
- - - - the wheels with mounted dampers,  
the travelling speed - 160 km/h

Procentowy udział szyn i kół wykazujących zużycie faliste oraz fakt szlifowania szyn czy też montowania dynamicznych tłumików na kołach w celu obniżenia poziomu natężenia dźwięku świadczy o skali i zasięgu tego zużycia.

### 3. PRZYCZYNY ZUŻYCIA FALISTEGO

Proces powstawania zużycia falistego uzależniony jest od bardzo wielu czynników. Badania zmierzające do ich określenia prowadzone są od momentu stwierdzenia tego zużycia na szynach i kołach zestawów kołowych pojazdów szynowych. Prace te Kummrow (1976) dzieli na pięć grup. Autorzy reprezentujący poszczególne grupy jako przyczynę zużycia falistego wskazują:

- I - drgania szyny;
  - wymuszone,
  - rezonans,
- II - drgania skrętne;
  - koła, zestawu kołowego,
  - rezonans,
  - drgania wywołane tarciem,
- III - drgania poprzeczne;
  - koła, zestawu kołowego,
  - poślizg poprzeczny,
  - nabieganie obrzeża na szynę,
  - jazda w łuku,
- IV - materiał szyny (własności);
  - błędy walcowania,
  - stopień umocnienia (zmienny),
- V - procesy fizykochemiczne;
  - tworzenie się martenzytu,
  - przekroczenie dopuszczalnych naprężeń kontaktowych,
  - tworzenie się tlenków.

Skvor (1979) przedstawił wyniki z badań wpływu obręczy wykonanych z różnych materiałów na powstawanie zużycia falistego kół. Z badań tych wynika, że obręcze wykonane z materiału KVR nie wykazują zużycia falistego (rys. 2). Obręcze wykonane z pozostałych materiałów, które uwzględniono w badaniach, wykazywały po takim samym przebiegu różną intensywność zużycia falistego.

Wykonana analiza prac dotyczących badań zużycia falistego szyn i kół, w tym również szkodliwego oddziaływania tego zużycia na otoczenie oraz przeprowadzone obserwacje i pomiary zużycia zestawów kołowych w zakładach naprawczych taboru kolejowego w RFN (Krefeld, Duisburg - Weddau, Opladen, Darmstadt), Szwajcarii (Landquart, Bellinzona), jak również udział w naradach naukowo-technicznych w roku 1980 (Aachen - Krettek, Minden - Werner,

zespół stanowiskowych badań hamulcowych kolei DB, Stuttgart - Uetz, Landquart - Skvor, Bern - Weber) stanowiły podstawę do opracowania planu badań zużycia falistego kół. W planie tym wskazano na wpływ materiału wstawek klocków hamulcowych na powstawanie zużycia falistego kół. Postawiono hipotezę, że drgania wieńca koła i klocka hamulcowego są przyczyną zużycia falistego kół podczas hamowania. Takiego sposobu podjęcia nie spotyka się w pracach dotyczących badań zużycia falistego.

#### 4. WYNIKI BADAŃ ZUŻYCIA FALISTEGO NA STANOWISKU HAMULCOWYM

Badania na stanowisku hamulcowym bezwładnościowym, w których Autor uczestniczył w ramach stypendium naukowego, zostały przeprowadzone w ośrodku badawczym kolei DB w Minden w roku 1981 i 1986. Współpracujące elementy na tym stanowisku mają rzeczywiste wymiary. Zastosowano koło monoblokowe typ 88 oraz wstawki klocka hamulcowego wykonane z dwóch różnych materiałów - z żeliwa oraz prasowane z proszków metali. Dla obu materiałów wstawek przeprowadzono próby hamowania do zatrzymania określane nazwą "hamowanie stop" oraz próby hamowania przy stałej prędkości określane nazwą "hamowanie const". Próby te wykonano dla różnych wartości prędkości i różnych wartości nacisków klocka na obręcz.

Podczas prób hamowania rejestrowano następujące wielkości:

- obroty koła,
- czas hamowania,
- prędkość liniową na obwodzie koła,
- nacisk klocka hamulcowego na koło,
- ciśnienie w cylindrze hamulcowym,
- współczynnik tarcia,
- przyspieszenie wieńca koła w trzech kierunkach,
- przyspieszenie klocka hamulcowego w trzech kierunkach.

Po zakończeniu kolejnych prób hamowania fotografowano powierzchnie cierne koła i wstawki. Dla określonych warunków "hamowania stop" sfilmowano za pomocą szybkobieżnej kamery obraz zmian powierzchni ciernej koła.

Wartości sygnałów mierzonych wielkości zostały zapisane:

- na 14-ścieżkowej taśmie magnetycznej
- w formie wykresu na oscylografie,
- w formie wydruku.

Na podstawie tych zapisów oraz dokumentacji filmowej i fotograficznej przeprowadził analizę całości badań. W celu wykonania tej analizy wykorzystano aparaturę udostępnioną przez ośrodek badawczy kolei DB w Minden oraz Wyższą Szkołę Techniczną w Aachen. Wyniki z pomiarów stanowiskowych, zapisane na 14-ścieżkowej taśmie magnetycznej, poddano wąskopasmowej ana-



lizie sygnału drgań przy interwale częstotliwości wynoszącym 25 Hz (1981) i 80 Hz (1986).

Podczas tej analizy badano:

- a) wpływ wstawek żeliwnych i z proszków metali na powstawanie zużycia falistego koła,
- b) warunki hamowania (czas, prędkość, nacisk klocka hamulcowego na obręcz), dla których występuje zużycie faliste,
- c) wpływ materiału wstawek klocków hamulcowych na wartość współczynnika tarcia,
- d) widmo przyspieszeń wieńca koła podczas hamowania wstawkami żeliwnymi i z proszków metali,
- e) widmo przyspieszeń klocka hamulcowego podczas hamowania wstawkami z żeliwa i z proszków metali,
- f) zmianę drgań własnych koła po kolejnych przetaczaniach powierzchni ciernej.

W tablicy 1 przedstawiono wyniki z wybranych prób "hamowania stop". Z tablicy tej wynika, że podczas hamowania wstawkami żeliwnymi zużycie faliste powstaje jeżeli prędkość wynosi około 100 km/h, a nacisk klocka na obręcz około  $40 \text{ N/cm}^2$ . Podczas hamowania wstawkami z proszków metali zużycie faliste nie powstaje. Czas trwania hamowania potrzebny dla ukształtowania się zużycia falistego na powierzchni koła wynosi około 9 sekund, tablica 2.

Tablica 1

Zestawienie wyników z wybranych prób "hamowania stop"

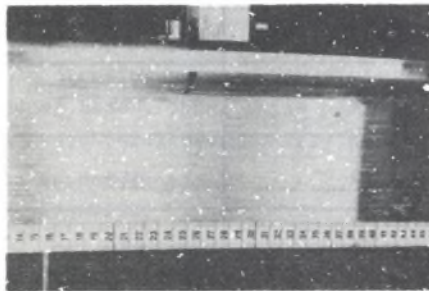
Warunki hamowania		Występowanie zużycia falistego na powierzchni ciernej koła po hamowaniu wstawkę	
prędkość początkowa [km/h]	nacisk klocka na obręcz [ $\text{N/cm}^2$ ]	żeliwa	z proszków metali
100	40	tak	nie
80	40	nie	nie
60	40	nie	nie
40	40	nie	nie

Tablica 2

Zestawienie warunków hamowania dla wybranych prób stanowiskowych wstawki żeliwne

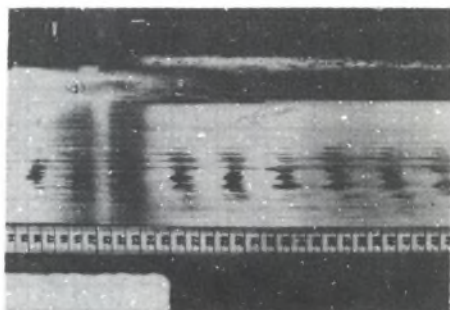
Lp.	Nacisk klocka na obręcz [N/cm <sup>2</sup> ]	Prędkość		Czas hamowania [s]	Moc hamowania [kW]	Utworzenie zużycia falistego
		początkowa [km/h]	końcowa [km/h]			
1	40	100	70	27	106	tak
2	30	99,6	99,6	9,9	67	tak
3	40	120	0	104	87	tak
4	40	120	115	4,4	98	nie
5	40	120	110	10,4	72,8	tak
6	15	120	120	9,9	40	nie
7	80	40	0	11,3	76	nie
8	25	40	40	20,35	30	nie

Na rys. 9 przedstawiono widok ogólny wycinka powierzchni koła po próbie hamowania, podczas którego nie powstało zużycie faliste, poz. 8 w tabelicy 2. Ten sam wycinek powierzchni koła lecz po próbie hamowania dla warunków odpowiadających poz. 2 w tabelicy 2, podczas którego powstało zużycie faliste, przedstawiono na rys. 10. Na kole tym widoczne są małe obszary o ciemniejszym zabarwieniu. Wstawka klocka hamulcowego współpracująca podczas tej próby hamowania z kołem wykazywała na powierzchni trącej intensywne ślady wytarcia z wyraźnym zabarwieniem ciemnoniebieskim.



Rys. 9. Widok ogólny powierzchni czarnej koła bez zużycia falistego po próbie hamowania, tablica 2, poz. 8

Fig. 9. General view of the friction surface of the wheel without corrugation after the braking test (see table 2, item 8).



Rys. 10. Widok ogólny wycinka powierzchni ciernej koła z widocznym zużyciem falistym po próbie hamowania, tablica 2, poz. 2

Fig. 10. General view of the friction surface sector of the wheel with visible corrugation after the braking test (see table 2, item 2)

Wytarcie to było zlokalizowane na małym obszarze w środkowej części powierzchni. Ślady wytarcia wstawki pokrywają się ze śladami zużycia falistego na kole, które także usytuowane jest w części środkowej.

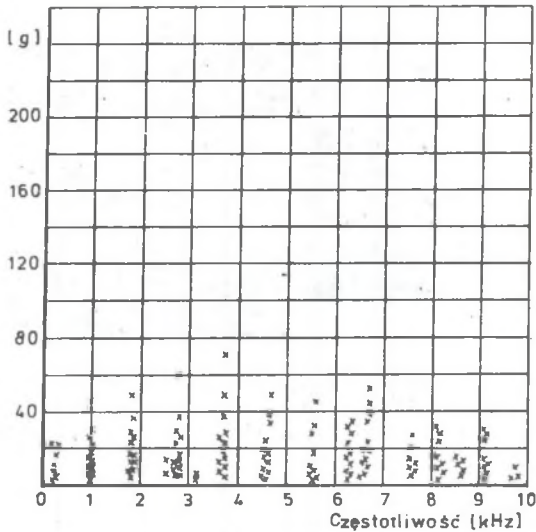
Na podstawie analizy widmowej drgań stwierdzono, że podczas "hamowania stop" amplitudy drgań koła i klocka hamulcowego mają największą wartość w początkowej fazie hamowania. Częstotliwości drgań mają w przybliżeniu stałą wartość niezależną od zmian prędkości podczas hamowania. Amplitudy drgań koła i klocka hamulcowego podczas hamowania wstawkami z proszków metali mają wartości 10-100 razy mniejsze w porównaniu do wartości amplitud podczas hamowania wstawkami żeliwnymi. W tabelicy 3 zestawiono wartości względnych maksymalnych amplitud drgań przyspieszeń koła podczas hamowania wstawkami z proszków metali i z żeliwa.

Tablica 3

Zestawienie wartości względnych amplitud drgań przyspieszeń koła podczas hamowania wstawkami z dwóch różnych materiałów

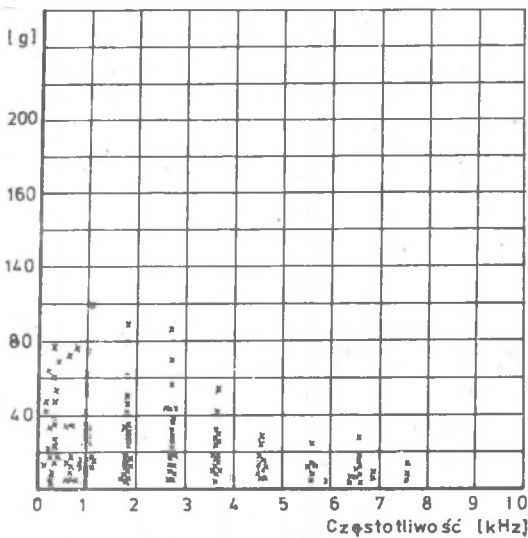
Materiał wstawki	Kierunek drgań koła		
	styczny	osiowy	promieniowy
Proszki metali	1	1	1
Żeliwo	100	10	100

Na rysunkach 11, 12, 13 oraz 14, 15 i 16 przedstawiono kolejno wartości szczytowych widm przyspieszeń stycznych, osiowych i promieniowych



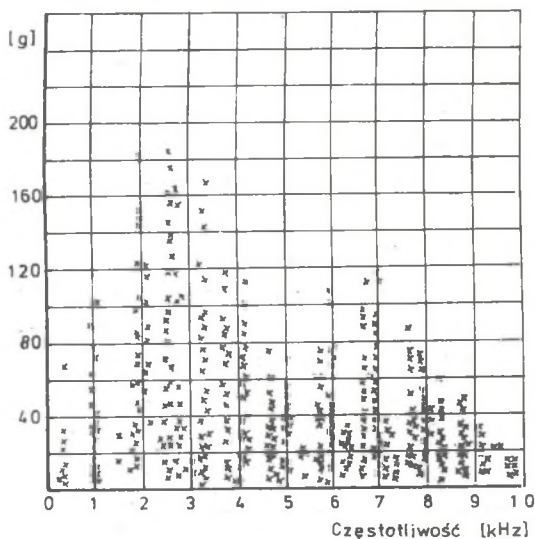
Rys. 11. Wykres wartości szczytowych widm przyspieszeń stycznych koła dla początkowej fazy hamowania (sporządzony na podstawie przeprowadzonych prób hamowania)

Fig. 11. Diagram of the peak values of the wheel tangential acceleration spectrums for initial braking phase (made on the basis of the braking tests)



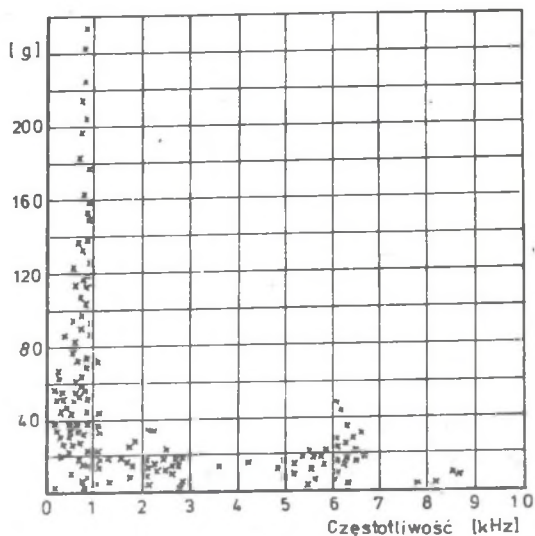
Rys. 12. Wykres wartości szczytowych widm przyspieszeń osiowych koła dla początkowej fazy hamowania (sporządzony na podstawie przeprowadzonych prób hamowania)

Fig. 12. Diagram of the peak values of the wheel axial acceleration spectrums for initial braking phase (made on the basis of the braking tests)



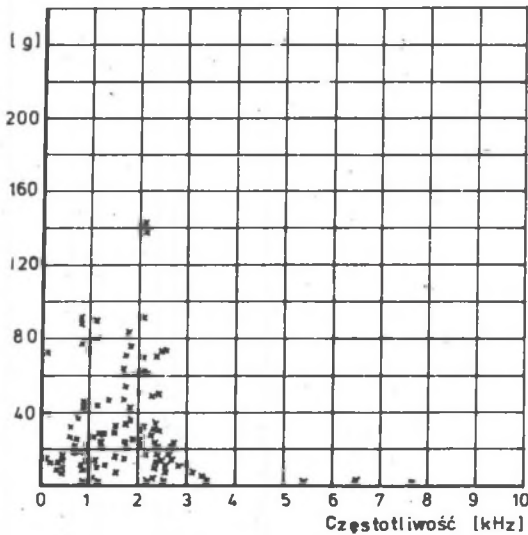
Rys. 13. Wykres wartości szczytowych widm przyspieszeń promieniowych koła dla początkowej fazy hamowania (sporządzony na podstawie przeprowadzonych prób hamowania)

Fig. 13. Diagram of the peak values of the wheel radial acceleration spectrums for initial braking phase (made on the basis of the braking tests)



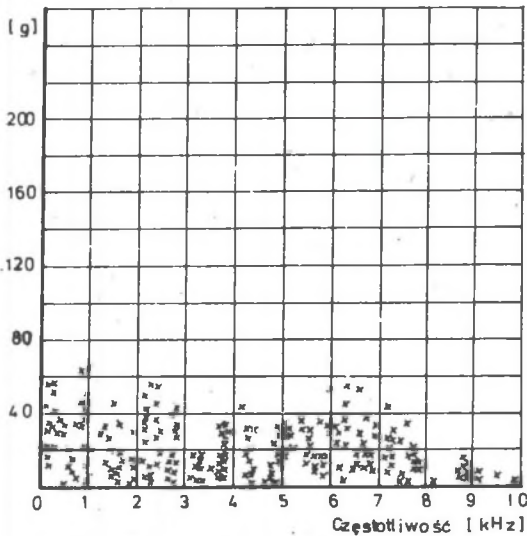
Rys. 14. Wykres wartości szczytowych widm przyspieszeń stycznych klocka hamulcowego dla początkowej fazy hamowania (sporządzony na podstawie przeprowadzonych prób hamowania)

Fig. 14. Diagram of the peak values of the brake shoe tangential acceleration spectrums for the initial braking phase (on the basis of the braking tests)



Rys. 15. Wykres wartości szczytowych widm przyspieszeń osiowych klocka hamulcowego dla początkowej fazy hamowania (sporządzony na podstawie przeprowadzonych prób hamowania)

Fig. 15. Diagram of the peak values of the brake shoe axial acceleration spectrums for the initial braking phase (made on the basis of the braking tests)



Rys. 16. Wykres wartości szczytowych widm przyspieszeń promieniowych klocka hamulcowego dla początkowej fazy hamowania (sporządzony na podstawie przeprowadzonych prób hamowania)

Fig. 16. Diagram of the peak values of the brake shoe radial accelerations for the initial braking phase (made on the basis of the braking tests)

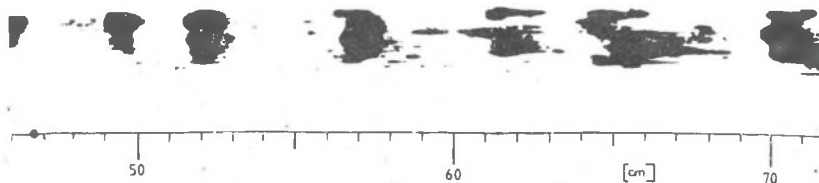
wieńca koła oraz klocka hamulcowego. Z rysunków tych wynika, że największe wartości amplitud mają przyspieszenia styczne klocka oraz promieniowe koła. Z wykresu na rysunku 14 można wydzielić częstotliwość o wartości około 800 Hz o wąskim zakresie zmian. Uwzględniając, dla utworzonego podczas hamowania obrazu zużycia falistego przedstawionego na rys. 10, prędkość  $V = 99,6$  km/h oraz obliczoną na podstawie pomiarów na obwodzie koła średnią wartość odstępów pomiędzy obszarami o ciemniejszym zabarwieniu  $L_p = 3,6$  cm, można określić częstotliwość stycznych drgań klocka hamulcowego:

$$f_p = \frac{V}{L_p} = \frac{99,6 \cdot 10^5}{3,6 \cdot 3600} = 764 \text{ Hz}$$

Reasumując powyższe można stwierdzić, że częstotliwość  $f_p$  odpowiada przedstawionemu na rys. 14 zakresowi częstotliwości, dla którego amplitudy mają największe wartości.

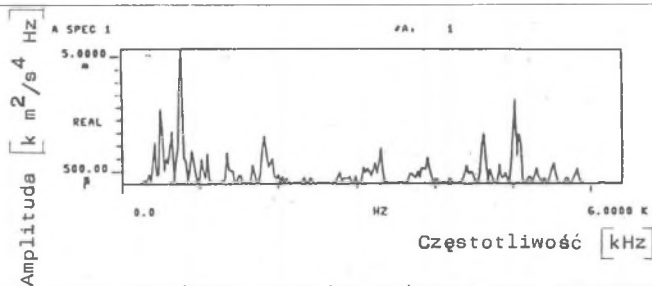
##### 5. BADANIA EKSPLOATACYJNE POWSTAWANIA ZUŻYCIA FALISTEGO KÓŁ

Badania eksploatacyjne, w których Autor uczestniczył, przeprowadzono na odcinku toru kolejowego Minden-Porta w roku 1981. Wagon badawczy wyposażony był w koła typ 88 oraz hamulec klockowy z wstawkami z żeliwa. Przed badaniami wstawki poddano napromieniowaniu. Próbę "hamowania stop" przeprowadzono dla prędkości 100 km/h i nacisku klocka na koło  $40 \text{ N/cm}^2$ . Po zakończeniu hamowania odtworzono na papierze czułym na promieniowanie (któremu poddano wstawkę) rzeczywistą powierzchnię styku koła z wstawką (rys. 17). Obraz tej odbitki świadczy, że kontakt koła z wstawką klocka hamulcowego występował szczególnie intensywnie na ograniczonych obszarach powierzchni trącej koła. Z przeprowadzonej analizy widmowej przyspieszeń stycznych klocka hamulcowego wynika, że w początkowej fazie hamowania największą wartość amplitudy mają częstotliwości w zakresie 750 Hz (rys.18).



Rys. 17. Wycinek odtworzonej na papierze czułym na promieniowanie rzeczywistej powierzchni styku koła podczas hamowania z napromieniowaną wstawką klocka hamulcowego

Fig. 17. The sector of the real contact surface of the wheel during braking with the irradiated brake shoe, reproduced on the photographic paper



Rys. 18. Charakter przebiegu gęstości widmowej mocy stycznych przyspieszeń klocka hamulcowego w początkowej fazie hamowania: badania eksploatacyjne, "hamowanie stop",  $V = 100$  km/h, nacisk klocka na koło  $40$  N/cm<sup>2</sup>, wstawki żeliwne,  $k$  - współczynnik

Fig. 18. The run character of the power spectral concentration of the shoe brake tangential accelerations in the initial braking phase: operational tests, "stop braking",  $V = 100$  km/h, pressure of the brake shoe against the wheel -  $40$  N/cm<sup>2</sup>, grey cast iron inserts,  $k$  - coefficient

Porównując badania eksploatacyjne z badaniami stanowiskowymi można stwierdzić zgodność ich wyników.

## 6. ZAKOŃCZENIE

Badania stanowiskowe wykazały, że:

- materiał wstawki z proszków metali, który charakteryzuje się dobrymi własnościami tłumiącymi drgania, nie powoduje powstawania zużycia falistego na powierzchni koła,
- wstawki żeliwne powodują powstawanie zużycia falistego na kole jeżeli zachowane są warunki hamowania: prędkość około  $100$  km/h, nacisk klocka na koło około  $40$  N/cm<sup>2</sup>, minimalny czas trwania hamowania około  $9$  sekund,
- największe wartości amplitud mają przyspieszenia styczne klocka hamulcowego oraz promieniowe koła,
- amplitudy przyspieszeń stycznych klocka hamulcowego mają największe wartości w zakresie częstotliwości około  $800$  Hz.

Badania eksploatacyjne na odcinku toru kolejowego dla wagonu z hamulcem klockowym i wstawkami żeliwnymi wykazały zgodność wyników w odniesieniu do badań stanowiskowych.

Reasumując całość badań należy stwierdzić, że przyczyną powstawania zużycia falistego, które tworzy się w początkowej fazie hamowania dla warunków określonych w niniejszej pracy, są drgania koła i klocka hamulcowego o częstotliwości około  $800$  Hz. Drgania te powodują wzrost dynamicznych naprężeń kontaktowych między kołem i wstawką klocka hamulcowego. Oddziaływanie to jest szczególnie widoczne jeżeli styk koła z wstawką odbywa się na małej powierzchni. W początkowej fazie hamowania następuje szybki wzrost temperatury warstwy wierzchniej wstawki na powierzchni trą-



cej. Powoduje to wygięcie wstawki, a tym samym styk koła z wstawką staje się liniowy lub punktowy. Po przekroczeniu dopuszczalnych naprężeń kontaktowych w wyniku oddziaływania dynamicznej siły o częstotliwości około 800 Hz następuje miejscowe deformowanie materiału na tak ukształtowanych makroobszarach powierzchni kontaktowej. W badaniach eksploatacyjnych ujawnia się to w formie intensywniejszego szczepiania się materiału wstawki z kołem. W badaniach stanowiskowych deformacja ta jest bardziej widoczna. Na powierzchni koła występują małe obszary, odpowiadające powierzchniowo ukształtowanej powierzchni kontaktowej między kołem a wstawką, na których widoczne są ślady plastycznej deformacji o ciemnoniebieskim zabarwieniu, co potwierdza występowanie wysokich temperatur. Jest to zgodne z zarejestrowanym za pomocą szybkobieżnej kamery obrazem zachodzących zmian na powierzchni ciernej koła podczas hamowania [1]. Na podstawie analizy tego filmu w zwolnionym tempie stwierdzono, że w początkowej fazie hamowania występują w ograniczonym odstępie czasu intensywne wyrzucanie rozżarzonych cząstek ścieranego materiału.

Przeprowadzone w 1986 roku pomiary w zakładzie odlewania wstawek żeliwnych w Ratingen wykazały, że szybki wzrost temperatury warstw wierzchnich wstawki na powierzchni trącej powoduje jej wygięcie w takim stopniu, że promień jej krzywizny wzrasta o około 5 cm.

Wstawki wykonane z proszków metali nie tylko tłumią drgania powstające w kole i klocku hamulcowym podczas tarcia ale także ze względu na lepsze przewodnictwo cieplne (około 75% stanowi proszek miedzi) przeciwdziałają powstawaniu wysokich gradientów temperatury.

W zakończeniu należy stwierdzić, że tak ukształtowany obraz powierzchni koła z widocznym zużyciem falistym będzie z kolei oddziaływał na współpracę koła z szyną. Przedstawione wyniki badań uzewnętrzniają jedną z przyczyn zmian chropowatości koła, w której to zmianie wielu autorów dopatruje się przyczyn zużycia falistego szyn.

#### LITERATURA

- [1] Piec P.: Mechanizm powstawania zużycia falistego kół tocznych wagonów w warunkach hamowania klockowego oraz sposoby przeciwdziałania. Monografia 71, Politechnika Krakowska, Kraków 1988.
- [2] Fink M.: Die Entstehung der Schienenriffeln. Der Stand der Riffelforschung nach rund 60 Jahren. Glasers Annalen, 77 (1953) nr 11.
- [3] Rosemeier H.: Untersuchungen über Schienenriffeln. Die Bundesbahn, 1954, nr 5.
- [4] Skvor F.: Riffel - oder Polygonbildung von Schienenfahrzeugen. Verkehrstechnik in der Schweiz. 1979/80, nr 16.
- [5] Hartwig K.: Erforschung der Schwingungsmarken auf den Laufflächen der Räder. Untersuchung von Radsätzen in AW Darmstadt. Versuchsanstalt Minden, Bericht 214/Fbbk 1,8, 12.06.1981.

- [6] Raquet E., Tacke G.: Die Schallabstrahlung der Schienenräder und Erprobung Schalgedämpfter Räder für Fern- und Nahverkehr. Eisenbahntechnische Rundschau, 1978, nr 4.
- [7] Langerke A.: Betriebserfahrungen mit dreiachsigen Gelenkwagen. Verkehrstechnik, 1935, nr 25.
- [8] Gössel N.: Die härteste Fläche zwischen Rad und Schiene bei Zugkraftbeaufschlagung und ihre Auswirkung auf die ausnutzbare Haftung. Eisenbahntechnische Rundschau, 1955, nr 4.
- [9] Birmann F.: Schieneneiffeln, ihre Erforschung und Verhütung, VDI-Z, 1958, nr 100.
- [10] Důskow A.: Entstehung, Formen und Häufigkeit von Flächen Riffeln auf den Radreifen von Strassenbahnwagen. Elektrische Bahnen, 1964, nr 6.
- [11] Werner K.: Radriffeln und periodischer Grübchenverschleiss bei Rollstandversuchen durch Wechselwirkungen mit tonfrequenten Eigenschwingungen und kohärenten Ultraschallfeldern. Archiv für Eisenbahntechnik, 1973, nr 28.
- [12] Bugarcic H.: U-Bahn-Versuche über das Zusammenwirken von Rad Schiene hinsichtlich Geräuscentwicklung, Laufverhalten. Stossübertragung, Reibung, Abnützung und Wellenbildung - II. Teil. Verkehr und Technik, 1974, nr 11.
- [13] Kummrow R.: Riffelbildung an der Ge 4/4 II der RhB. Zwischenbericht zur Literaturrecherche über Riffel- und Wellenbildung, Winterthur, 6.2.1976.
- [14] Willenbrink L.: Neuer Erkenntnisse zur Schallabstrahlung von Schienenfahrzeugen. Eisenbahntechnische Rundschau, 1979, nr 5.

Recenzent: Doc. dr hab. inż. Eugeniusz Świtoński

Wpłynęło do Redakcji 19.10.1989 r.

ВЛИЯНИЕ ЧУГУННОГО БАШМАКА ТОРМОЗНОЙ КОЛОДКИ ДЛЯ СОЗДАВАНИЯ ВОЛНООБРАЗНОГО ИЗНОСА НЕСУЩИХ КОЛЕС ПОДВИЖНОГО СОСТАВА И РЕЛЬСОВ

Р е з ю м е

Работа содержит результаты исследований на испытательном стенде и в эксплуатации создания волнообразного износа колес во время торможения колодочным тормозом. Автор в пределах стипендия участвовал в этих исследованиях и провел анализ значений сигналов измеренных величин зарегистрированных во время исследований. Исследования на испытательном стенде и эксплуатационные проведены в исследовательском центре ДБ в Минден. В испытаниях определено влияние материала тормозных башмагов на создание волнообразного износа колес. Определено тоже условия создания волнообразного износа; линейная скорость во время торможения, давление тормозного башмака на колесо и минимального времени торможеного процесса. На основании

INFLUENCE OF THE GREY CAST IRON BRAKE SHOES ON THE CORRUGATION  
OF BOTH THE RAIL VEHICLES ROLLING WHEELS AND THE RAILS

## S u m m a r y

The work comprises the results of the stand and operational investigations on the phenomenon of the wheel corrugation generated during braking with the shoe brake. Such investigations as well as the analysis of the recorded signals values have been carried out during the author's scientific scholarship. The stand and operational experiments have been carried out at the DB Railway Research Centre of Munden. In the investigations, an influence of the brake shoes material on corrugation of the wheels was determined. The conditions of the corrugation generation such as: the vehicle travelling speed during braking, the pressure of the brake shoe against the wheel and the braking process minimal duration time have been determined as well. On the basis of the spectral analysis of the wheel and the brake shoe vibration, the frequency value of their acceleration was determined. In the ending of the work, the mechanism of the wheels and rails corrugation has been presented.