

Marek SITARZ
Andrzej HELKA
Paweł PIEC ¹⁾
Grzegorz ZAJĄC ¹⁾

BADANIA EKSPLOATACYJNE ŻELIWNYCH I KOMPOZYTOWYCH WSTAWEK HAMULCOWYCH

Streszczenie. W pracy opisano część badań i pomiarów, jakie dokonano w czasie prób ruchowych wstawek żeliwnych i kompozytowych klocków hamulcowych zamontowanych w elektrycznych zespołach trakcyjnych serii EN57. Przeprowadzone próby miały na celu wyznaczenie masy hamowanej pojazdu oraz parametrów związanych z hamowaniem hamulcami klockowymi: hałasu, drgań i temperatury.

SERVICE RESEARCH OF CAST IRON AND PLASTIC BRAKE SHOES

Summary. This paper presents the part of research and measurements of installed into electric traction vehicle EN57 cast iron and plastic brake shoes, which have been made in service tests.

These tests aimed to mark the mass of vehicle braking and parameters connecting with braking process of brake shoes: noise, vibrations and temperature.

1. WSTĘP

W ostatnich latach dużo uwagi poświęca się problemom ekologii. Jednym z elementów pojazdu szynowego mających wpływ na bezpieczeństwo i komfort podróżnych oraz wpływ na środowisko naturalne są wstawki klocka hamulcowego. Wstawki żeliwne przy intensywnym hamowaniu często powodują iskrzenie, co może być przyczyną pożarów. Ponadto pociągi wyposażone w układy hamulcowe ze wstawkami żeliwnymi emitują wysoki poziom hałasu podczas hamowania, co jest szczególnie uciążliwe w nocy. Zmniejszenie emisji hałasu u źródła, dzięki wstawkom kompozytowym, będzie efektywniejsze i mniej kosztowne niż budowa ścian dźwiękochłonnych przy torach.

Zgromadzenie Generalne Wspólnoty Kolei Europejskich uchwaliło w Berlinie w dniu 16.12.1997 roku z inicjatywy kolei SBB i DB odpowiednie zalecenia, które przewidują zastąpienie używanych do tej pory wstawek żeliwnych w transporcie kolejowym wstawkami kompozytowymi. Uzupełniając ww. plan działania w celu redukcji hałasu, podkomitet 5T obradujący w ramach Międzynarodowego Związku Kolei (UIC) zlecił Europejskiemu Instytutowi Badań Kolejnictwa (ERRI) stworzenie założeń technicznych w obszarze UIC dla stosowania wstawek z tworzywa sztucznego. Dla nowo budowanych wagonów są to wstawki typu K, natomiast w istniejących wagonach, wykorzystując istniejące układy hamulcowe, można do-

1) Politechnika Krakowska, Instytut Pojazdów Szynowych

kończąc zamianę żeliwnych wstawek klocków hamulcowych na wstawki typu L, o współczynniku tarcia zbliżonym do żeliwnego. Konieczność stosowania dwóch różnych materiałów ciernych jest spowodowana z jednej strony niską wartością współczynnika tarcia wstawek żeliwnych, do których dostosowane są istniejące hamulce kolejowe. Z drugiej strony, w wagonach nowych oraz w wagonach modernizowanych Karty UIC zalecają stosowanie kompozytowych wstawek hamulcowych typu K o wyższym współczynniku tarcia.

Według Kart UIC 541-4 VE wstawki kompozytowe nie mogą zawierać niebieskiego azbestu. Odradzane jest również zastosowanie metali ciężkich (ołowiu, cynku) w stanie metalicznym czy w związkach. Średnia wartość współczynnika tarcia wstawek typu „K” wynosi ok.0,25. W nowym projekcie Karty UIC 541-4 przewiduje się również stosowanie bezpośrednich zamienników wstawek żeliwnych (typ LL) w istniejących układach hamulcowych. Są to wstawki hamulcowe o średnim współczynniku tarcia zawartym w zakresie $0,08 \div 0,12$. Dodatkowo, po przeregulowaniu istniejących układów hamulcowych, dopuszczono do stosowania wstawki hamulcowe o średnim współczynniku tarcia $0,12 \div 0,18$ (typ L). W każdym przypadku skład materiału kompozytowego musi zostać dobrany pod kątem osiągnięcia optymalnego kompromisu pomiędzy technicznymi właściwościami hamowania, zużyciem, agresywnością w stosunku do bieżni koła, jak również wpływem na wartość współczynnika przyczepności pomiędzy kołem a szyną.

Firmy europejskie od wielu lat prowadzą badania nad opracowaniem alternatywnych wkładek hamulcowych. Uzyskane materiały kompozytowe różnych firm znajdują zastosowanie w wagonach towarowych kolei Europy Zachodniej.

W Polsce również zostały podjęte badania w kierunku opracowania odpowiedniego materiału ciernego do zastosowania w produkcji kompozytowych wstawek klocków hamulcowych. Badania podjęła firma Frenoplast, specjalizująca się do tej pory w produkcji bezazbestowych okładzin ciernych do hamulców tarczowych pojazdów szynowych, charakteryzujących się m. in. odpornością na aquaplaning, stabilnym współczynnikiem tarcia ($\mu=0,35$). Jednakże z uwagi na przeważające w krajowym taborze kolejowym hamulce klockowe firma Frenoplast rozpoczęła prace nad stworzeniem alternatywnego i konkurencyjnego dla żeliwa materiału.

Został opracowany materiał kompozytowy o nazwie FR502, który ze względu na wartość współczynnika tarcia może być zakwalifikowany jako materiał o średnim współczynniku tarcia 0,18, czyli typu L i który zgodnie z Kartą UIC 541-1 może być stosowany w istniejących układach hamulcowych po spełnieniu wszystkich wymogów i badań określonych w karcie (m.in. po przeregulowaniu ciśnienia w cylindrach hamulcowych).

2. BADANIA I POMIARY

Instytut Transportu Politechniki Śląskiej przy współudziale Instytutu Pojazdów Szynowych Politechniki Krakowskiej przeprowadził próby ruchowe elektrycznych zespołów trakcyjnych serii EN57, wyposażonych we wstawki hamulcowe wykonane z materiału kompozytowego o oznaczeniu FR502. Ponadto zostały przeprowadzone takie same próby w celach porównawczych na jednostkach EN57, wyposażonych w tradycyjne wstawki żeliwne.

W ramach tych prób wykonywano następujące pomiary:

- pomiar drogi hamowania,
- pomiar poziomu hałasu podczas hamowania,
- pomiar przyspieszeń wstawki klocka hamulcowego,
- pomiar temperatury wstawki klocka hamulcowego,
- pomiar temperatury obręczy zestawu kołowego.

2.1. Pomiar drogi hamowania

Pomiar wykonano z wykorzystaniem elektronicznego licznika impulsów, który zliczał impulsy z nadajnika zamontowanego na lince prędkościomierza przy tachometrze znajdującym się w kabinie maszynisty. Każdorazowo dokonywano kalibracji urządzenia, aby było możliwe przeliczenie liczby zapisanych impulsów na drogę w metrach. Pomiar drogi hamowania był przeprowadzany z różnych prędkości: 100, 80, 60, 40 i 30 km/h i było to zawsze hamowanie nagłe elektropneumatyczne (EP).

Próby te odbywały się na trasie Tychy-Pszczyna, zgodnie z regulaminem tymczasowym opracowanym przez Zakład Infrastruktury Kolejowej w Katowicach. Na trasie tej można było rozwijać prędkość 100 km/h, a pochylenie toru na wybranych prostych odcinkach (nie na łuku) nie przekraczało wymaganych 5‰.

Pomiary te przeprowadzono zgodnie z Kartą UIC 544-1 (4. wydanie, 01.01.2000) w celu wyznaczenia masy hamowanej jednostki wyposażonej we wstawki kompozytowe i porównania jej z wartością wypisaną na EN57. W tym celu najpierw wyznaczono drogi hamowania dla EN57 wyposażonego w tradycyjne żeliwne wstawki hamulcowe, a następnie wyznaczono na tym samym odcinku drogi hamowania dla EN57 wyposażonego we wstawki kompozytowe FR502. Zgodnie z kartą UIC 544-1 otrzymane wyniki skorygowano w celu uwzględnienia średniego pochylenia toru, współczynnika mas wirujących zgodnie ze wzorem:

$$S_{j \text{ kor}} = 3,933 * \rho * V_{j \text{ nom}}^2 / (3,933 * \rho * V_{j \text{ zmierz}}^2 - i * S_{j \text{ zmierz}}) * S_{j \text{ zmierz}} \text{ [m]}$$

gdzie:

$S_{j \text{ kor}}$ – skorygowana droga hamowania [m],

$S_{j \text{ zmierz}}$ – droga hamowania zmierzona [m],

$V_{j \text{ nom}}$ – prędkość wyjściowa badania [km/h],

$V_{j \text{ zmierz}}$ – prędkość wyjściowa zmierzona podczas badania [km/h],

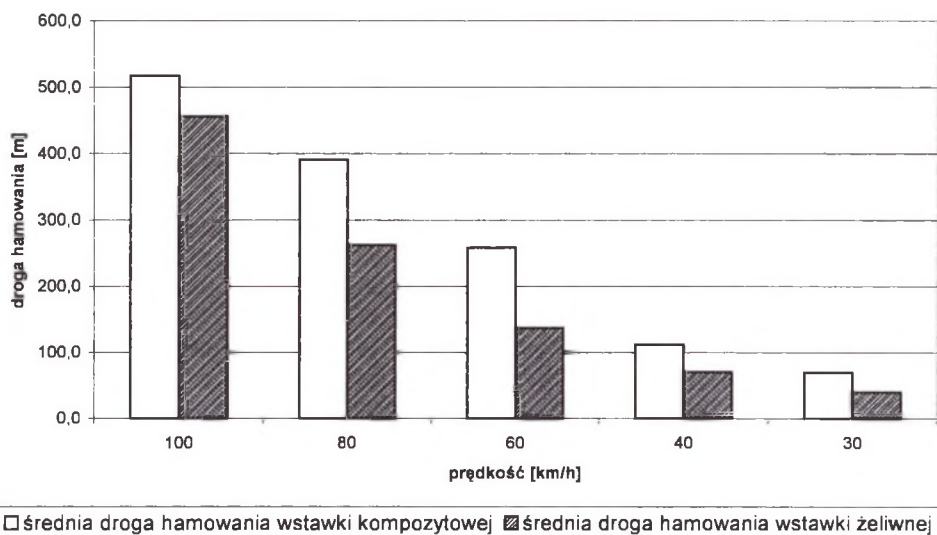
i – średnie pochylenie toru [‰],

ρ – współczynnik uwzględnienia „mas wirujących”, który dla pociągów osobowych został przyjęty jako 1,15.

Dla zespołów trakcyjnych wyposażonych w żeliwne wstawki średnia, skorygowana droga hamowania z prędkości 100 km/h wyniosła 479,8 m. Natomiast dla EN57 wyposażonego we wstawki kompozytowe średnia, skorygowana droga hamowania z prędkości 100 km/h wyniosła 486,5 m. Na podstawie otrzymanych wyników można stwierdzić, że masa hamowana EN57 wyposażonej we wstawki żeliwne wynosi 123 t, natomiast masa hamowana EN57 ze wstawkami kompozytowymi wynosi 120 t. Masa hamowana wypisana na jednostce wynosi 130 t. Z niewielkiej różnicy pomiędzy drogami hamowania dla poszczególnych typów wstawek (zgodnie z Kartą UIC 541-1) można wnioskować, że masa hamowana dla EN57 ze wstawkami kompozytowymi jest zachowana. Badania te przeprowadzono zgodnie z normą przy słabym wietrze i na suchych szynach.

Ponadto wykonano dodatkowo serię zahamowań dla celów porównawczych z prędkości: 100, 80, 60, 40 i 30 km/h w różnych warunkach pogodowych (wiatr, silny deszcz). Otrzymane wyniki przedstawiono na rys. 1.

Z rys. 1 wynika, że wstawki kompozytowe wykazują tendencję do wydłużania drogi hamowania, m.in. wraz z malejącą prędkością w stosunku do wstawek żeliwnych. Związane jest to z przebiegiem współczynnika tarcia wstawek kompozytowych, który jest stabilny w całym zakresie prędkości. Natomiast współczynnik tarcia wstawek żeliwnych zmienia się w zależności od prędkości, przy czym wykazuje on gwałtowny wzrost wraz ze zmniejszaniem się prędkości.



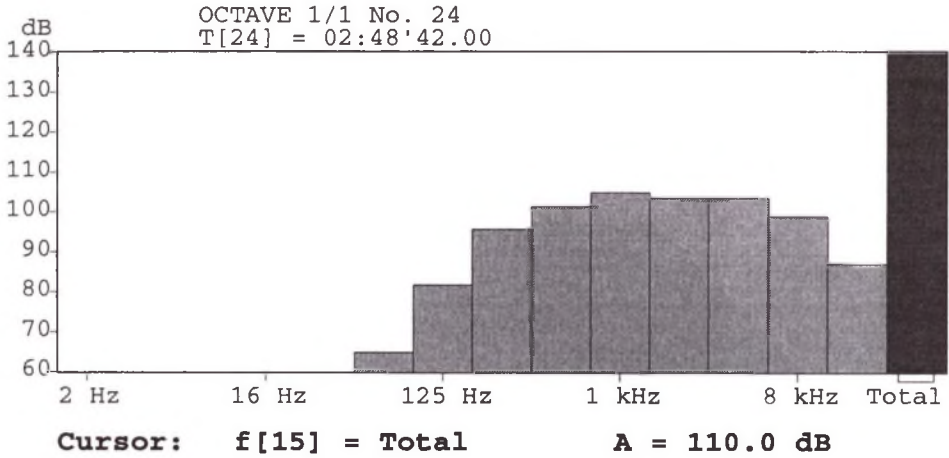
Rys. 1. Porównanie dróg hamowania wstawkami kompozytowymi i żeliwnymi z różnych prędkości
 Fig. 1. Braking distances comparison of plastic and cast iron brake shoes of different speeds

Praktycznym skutkiem takiej cechy wstawk wykonanych z materiału kompozytowego jest to, że podobnie jak w pojazdach hamowanych hamulcami tarczowymi w żadnym przypadku (nawet podczas hamowania nagłego) nie występuje zjawisko szarpnięć w końcowej fazie hamowania. Hamowanie wstawkami kompozytowymi przebiega zawsze w sposób równomierny, łagodny ze stałą wartością opóźnienia.

2.2. Pomiar poziomu hałasu podczas hamowania

Do innych parametrów związanych z hamowaniem, który był mierzony podczas tych badań eksploatacyjnych, należy zaliczyć poziom hałasu, generowany podczas hamowania. Pomiar hałasu dokonywany był za pomocą mikrofonu pojemnościowego typu SV 02/C4 wraz z przedwzmacniaczem mikrofonowym 1/2" typu SV01A połączonego z cyfrowym analizatorem i miernikiem dźwięku typu SVAN 912 AE. Miernik ten umożliwiał przeprowadzenie analizy typu FFT w poszczególnych oktawach w czasie rzeczywistym i zapisanie jej do pamięci. Dzięki temu możliwa była analiza dźwięku w różnych oktawach co 0,25 sekundy. Pomiar przeprowadzono dla włączonego filtra typu A, charakterystyce dynamicznej oznaczonej F oraz uśrednieniu liniowym. Mikrofon zamocowany był w obsadzie klocka hamulcowego w odległości ok. 7 cm od klocka. Pomiar dźwięku dokonywany był podczas hamowania z prędkości: 100, 80, 60, 40 i 30 km/h.

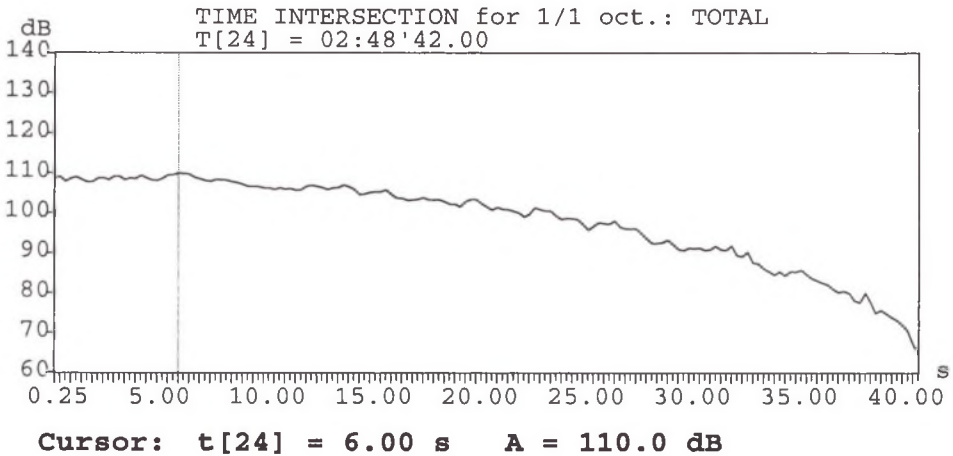
Istniała również możliwość rejestrowania i analizy średniego poziomu hałasu w poszczególnych oktawach. Przykład takiej analizy wraz z wartością średnią dla hamowania z prędkości 100 km/h przedstawia rys. 2.



Rys. 2. Analiza oktawa hałasu podczas hamowania wstawkami kompozytowymi z prędkości 100 km/h

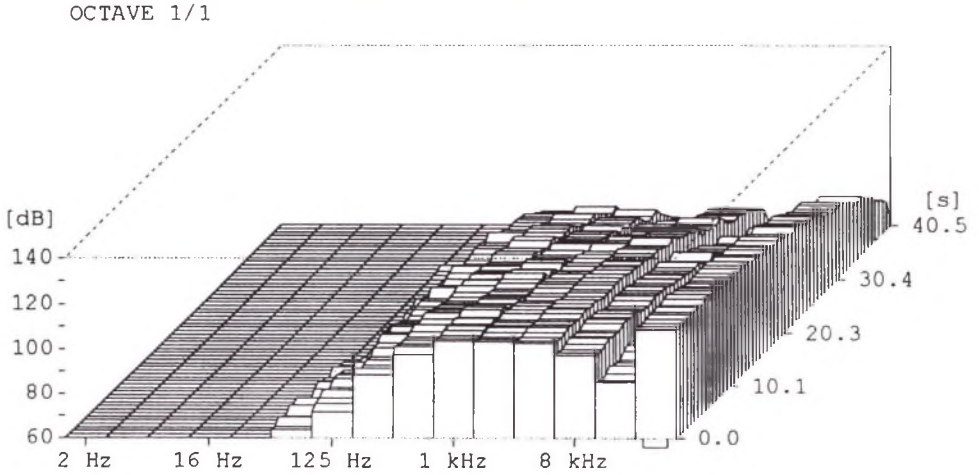
Fig. 2. Octave analysis of noise during braking of plastic brake shoes with the speed of 100 km/h

Ponadto miernik SVAN 912 AE umożliwiał pomiar średniego poziomu dźwięku, jak i jego natężenia w czasie w poszczególnych oktawach w funkcji czasu (rys. 3 i rys. 4).



Rys. 3. Średni poziom hałasu podczas hamowania wstawkami kompozytowymi z prędkości 100 km/h w funkcji czasu

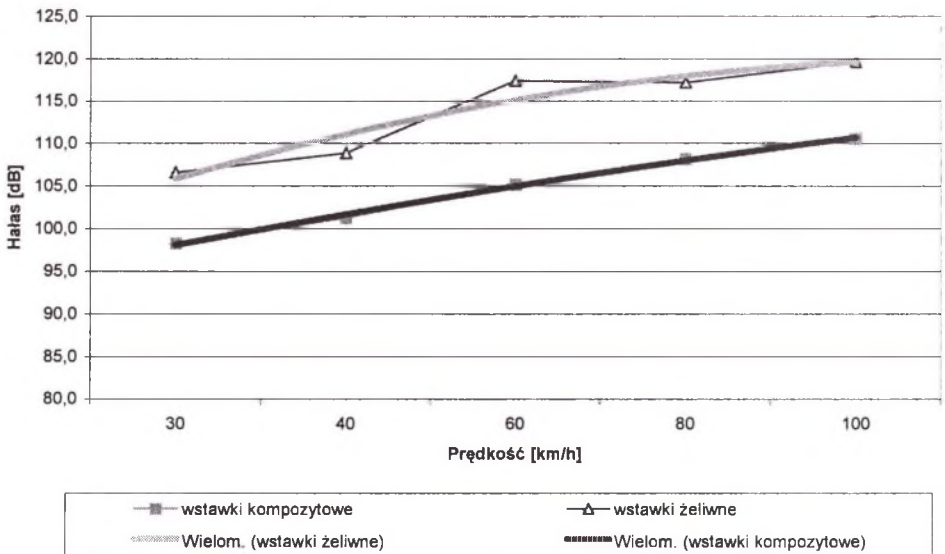
Fig. 3. Average level of noise during braking of plastic brake shoes with the speed of 100 km/h in function of time



Rys. 4. Poziom hałas dla poszczególnych oktaw podczas hamowania wstawkami kompozytowymi z prędkości 100 km/h w funkcji czasu

Fig. 4. Level of noise for each octaves during braking of plastic brake shoes with the speed of 100 km/h in function of time

Podczas tych prób ruchowych mierzono poziom hałasu podczas hamowania z różnych prędkości dla wstawków żeliwnych i kompozytowych. Na rys.5. przedstawiono średni poziom hałasu dla poszczególnych typów wstawków.



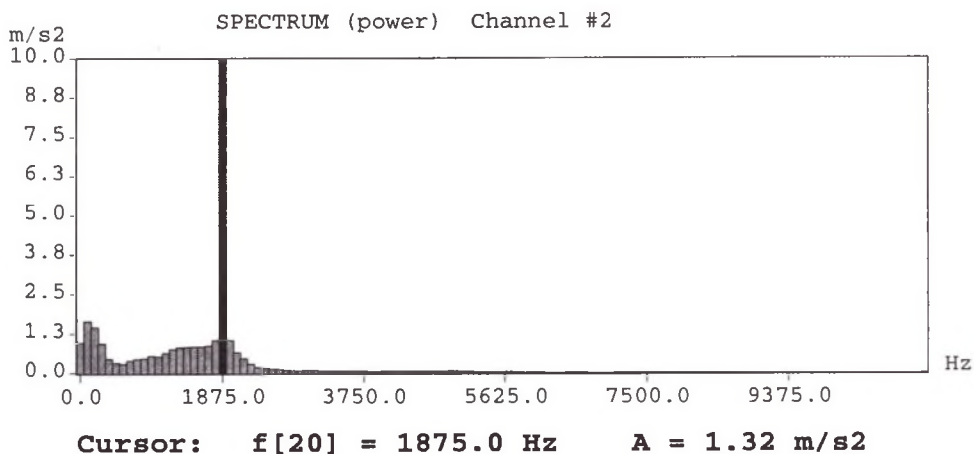
Rys. 5. Średni poziom hałasu dla wstawków żeliwnych i kompozytowych podczas hamowania z różnych prędkości

Fig. 5. Average level of noise during braking of plastic and cast iron brake shoes with different speeds

Z rys. 5. wynika, że poziom hałasu podczas hamowania wstawkami kompozytowymi jest średnio o 10 dB mniejszy niż w przypadku wstawek żeliwnych. Dodatkowo należy podkreślić to, że w czasie hamowania wstawkami kompozytowymi nie występują „piski” tak charakterystyczne dla procesu hamowania wstawkami żeliwnymi. Ponieważ największe natężenie hałasu dla wstawek żeliwnych i kompozytowych występuje dla częstotliwości 1-2 kHz, na które ucho ludzkie jest najbardziej wrażliwe, stąd wyeliminowanie nieprzyjemnych „pisków” i ogólne obniżenie poziomu hałasu daje wymierne efekty.

2.3. Pomiar przyspieszeń wstawki klocka hamulcowego

Następnym badanym parametrem były przyspieszenia wstawki hamulcowej w trzech osiach za pomocą 3-osioowego przetwornika drgań firmy Dytran USA typu 3073A wraz z przedwzmacniaczem czterokanałowym typu SV 06A połączonego z cyfrowym analizatorem i miernikiem typu SVAN 912 AE. Mierzono i zapisywano spektrum przyspieszeń z zakresu od 0 do 11300 Hz, kanał 1 – oś prostopadła do powierzchni trącej, kanał 2 – oś styczna do pow. trącej, kanał 3 – oś poprzeczna do pow. trącej. Czujnik drgań zamontowano na boku wstawki hamulcowej. Pomiaru wykonywano dla hamowań z prędkości: 100, 80, 60, 40 i 30 km/h, podczas hamowania wstawkami żeliwnymi i kompozytowymi. Przykładowe wielkości przyspieszeń w badanym zakresie pomiarowym dla hamowania z prędkości 100 km/h dla wstawki kompozytowej przedstawia rys. 6.



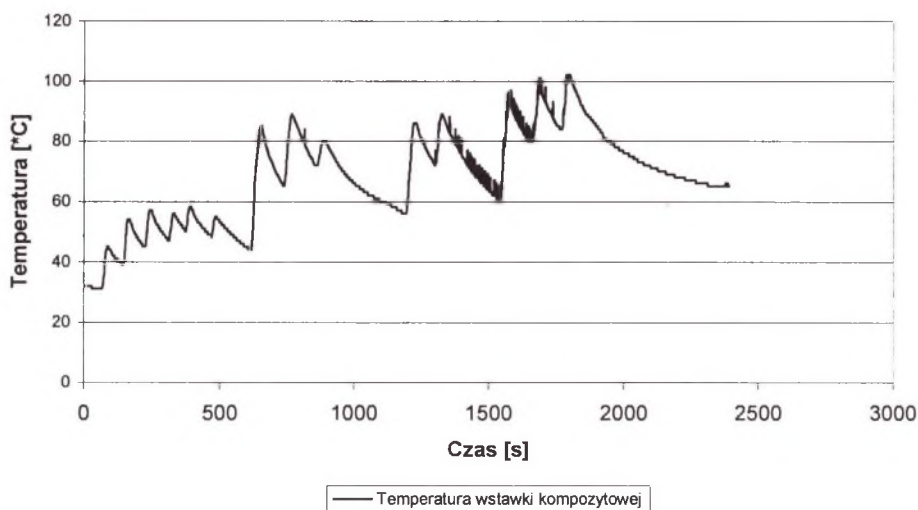
Rys. 6. Przyspieszenia wstawki kompozytowej w kierunku stycznym dla hamowania z prędkości 100 km/h

Fig. 6. Acceleration of plastic brake shoes in contiguous direction for braking with the speed of 100 km/h

Podczas hamowania największe przyspieszenia kompozytowej wstawki oscylują wokół wartości 2 m/s², natomiast dla wstawki żeliwnej przekraczają 30 m/s². Stąd wynika, że wstawki klocka hamulcowego wykonane z materiału kompozytowego FR502 powodują obniżenie poziomu ich drgań.

2.4. Pomiar temperatury wstawki klocka hamulcowego

Kolejną mierzoną wielkością była temperatura wstawki hamulcowej. Jej pomiaru dokonano za pomocą termopary typu K zamocowanej w wydrążonym we wstawce otworze w odległości ok. 2-3 mm od powierzchni trącej. Termopara połączona była z miernikiem elektronicznym typu METEX M-3860D, który podłączony był do laptopa, gdzie zapisywano zmierzoną temperaturę w funkcji czasu. Temperaturę mierzono przez cały czas badań, przy czym seria badań przewidywała każdorazowo wykonanie kilkunastu zahamowań z różnych prędkości. Przykładowy wykres temperatury w funkcji czasu dla wstawki kompozytowej przedstawiono na rys.7.

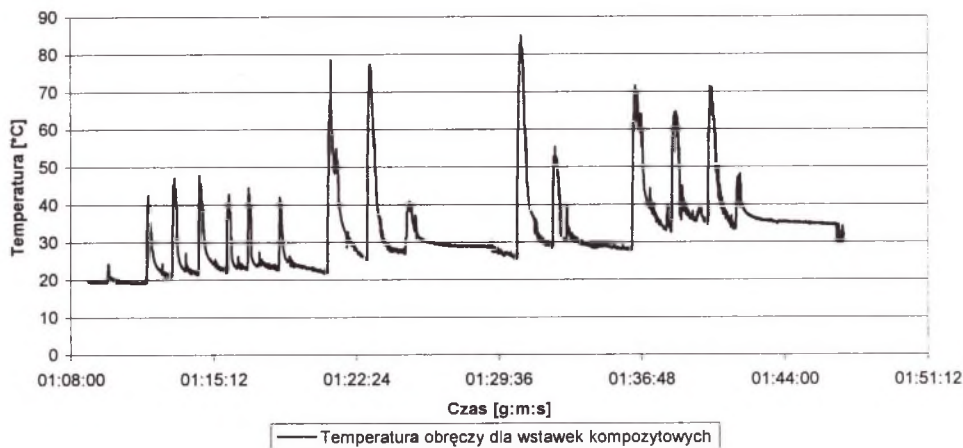


Rys. 7. Temperatura wstawki kompozytowej podczas serii hamowań z różnych prędkości
 Fig. 7. The temperature of plastic brake shoes during series of braking with different speeds

Mierzono temperaturę zarówno dla wstawki kompozytowej, jak i żeliwnej. Temperatura wstawki kompozytowej nie przekroczyła 120-130°C, natomiast dla wstawki żeliwnej dochodziła do 350°C.

2.5. Pomiar temperatury powierzchni tocznej obręczy zestawu kołowego

Dodatkowo wykonywany był pomiar temperatury powierzchni tocznej obręczy koła, który dokonywano za pomocą pirometru Minolta/Land typu minilaser+ w odległości ok. 2-3 cm poniżej wstawki hamulcowej. Pirometr połączony był z laptopem, który pozwalał na zapisywanie mierzonej temperatury w funkcji czasu. Temperaturę mierzono przez cały czas badań równoległe z pomiarem temperatury wstawki. Wykres temperatury powierzchni tocznej obręczy współpracującej ze wstawką kompozytową przedstawia rys.8. Temperatura powierzchni tocznej obręczy podczas wykonywania hamowań z różnych prędkości nie przekroczyła dla wstawek żeliwnych i kompozytowych 120°C.



Rys. 8. Temperatura powierzchni toczonej obręczy współpracującej ze wstawką kompozytową dla hamowań z różnych prędkości

Fig. 8. The temperature of working surface of rolling hoop cooperating with plastic brake shoes for braking with different speeds

2.6. Próby ciągnięcia

Karta UIC wymagała również tzw. próby ciągnięcia. Przeprowadzono ją również w ramach opisywanych badań. Polegała ona na tym, że jednostka EN57 wyposażona we wstawki kompozytowe jechała w stanie zahamowanym ze średnią prędkością 60 km/h na odcinku ok. 30 km. Wstawki wykonane z materiału FR502 przeszły ją pomyślnie. Po wykonanych próbach wstawki kompozytowe były poddane oględzinom, które nie wykazały większych uszkodzeń (niewielkie dopuszczalne pęknięcia), wtrąceń metalicznych czy też innych nieprawidłowości, wymienionych przez stosowne normy.

Także współpracujące zestawy kołowe nie wykazały występowania płaskich miejsc lub nalepów.

3. WNIOSKI

Wstępne badania eksploatacyjne przeprowadzone na elektrycznych zespołach trakcyjnych typu EN57, wyposażonych we wstawki klocka hamulcowego wykonane z materiału kompozytowego FR502, pozwalają wysnuć następujące wnioski:

- zastosowanie tych wstawk pozwala zachować masę hamującą jednostki EN57 (pod warunkiem spełnienia określonych wymogów),
- stosowanie wstawk tego typu nie tylko eliminuje nieprzyjemne „piski” podczas hamowania, ale dzięki obniżeniu poziomu hałasu średnio o 10 dB podnosi komfort podróżnych i osób przebywających w pobliżu hamującego pociągu,
- przyspieszenia występujące na wstawkach kompozytowych są ponad 15-krotnie mniejsze niż dla wstawk żeliwnych, dzięki temu powodują obniżenie poziomu drgań,

- temperatury występujące na kompozytowej wstawce hamulcowej i współpracującym z nią zestawie kołowym nie przekraczają dopuszczalnych wartości.

Literatura

1. Karta UIC 541-3 VE. wyd. 3, 1.7.1985r.
2. Karta UIC 541-4 VE. wyd. 2, 1.10.1990r.
3. Karta UIC 544-1 V. wyd. 4, 1.01.2000r.
4. Piec P.: Zjawiska kontaktowe w elementach pojazdów szynowych. Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji. Kraków 1999.
5. Temat UIC 5T53. Redukcja hałasu. Montaż w wagonach wstawek hamulcowych z materiałów kompozytowych. 9.07.2001.

Recenzent: Dr hab. inż. Stanisław Dzuła

Abstract

This article represents research and measurements passed during service tests of electric motor units EN57 with installed cast-iron and plastic brake shoes. During these tests braking distance for EN57 with plastic brake shoes was marked in aim to define the mass of vehicle braking. Besides noise, vibrations and temperature of brake shoes and working surface of rolling hoop of vehicle wheel during the braking process were defined. During the braking process plastic brake shoes are characterized by lower levels of noise, vibrations and temperature than cast-iron ones. Received results permit to give positive mark for using plastic brake shoes in rail vehicles.