TECHNIKA TRANSPORTU SZYNOWEGO

Wojciech SAWCZUK

ZASTOSOWANIE SYGNAŁU WA DO DIAGNOSTYKI KOLEJOWEGO HAMULCA TARCZOWEGO

Streszczenie

W pojazdach szynowych ze względu na coraz to większe prędkości jazdy prowadzi się prace nad udoskonalaniem układów hamulcowych tak, aby zatrzymanie pojazdu odbyło się na możliwie najkrótszej drodze hamowania. Większe wymagania stawiane układom hamulcowym wymusza nie tylko okresowe kontrolowanie stanu pary ciernej, ale również stałego monitorowania zużycia elementów pary ciernej układu hamulcowego.

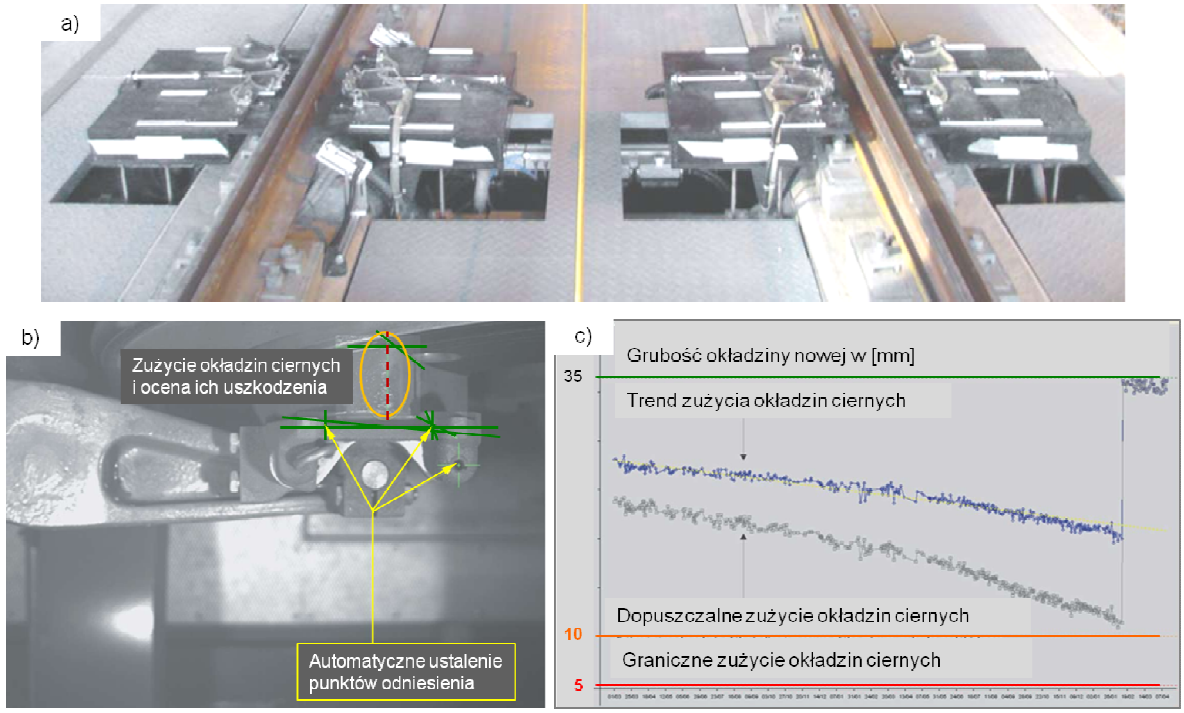
Celem artykułu jest przedstawienie możliwości diagnozowania zużycia okładzin ciernych hamulca tarczowego wykorzystując wybrane charakterystyki widmowe sygnału WA (wibroakustycznego) generowanego przez obsadę hamulcową z okładzinami ciernymi.

WSTĘP

W pojazdach szynowych, ze względu na ciągły wzrost prędkości jazdy w celu uzyskania wymaganej drogi hamowania, stosuje się hamulce tarczowe jako hamulec zasadniczy.

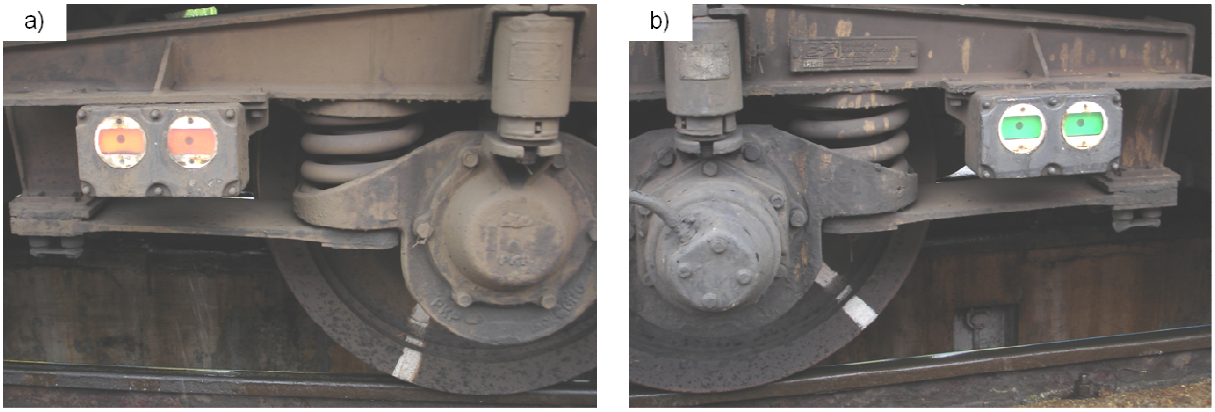
Do niewielu wad hamulca tarczowego zalicza się brak możliwości kontroli stanu pary ciernej tarcza-okładzina w całym procesie eksploatacji. Jest to szczególnie zauważalne w wagonach kolejowych, w których tarcze hamulcowe zamocowane są na osi zestawu kołowego między kołami [4, s. 84-86]. W celu sprawdzenia zużycia okładzin ciernych i tarcz hamulcowych, konieczne jest wykorzystanie kanału rewizyjnego dla przeprowadzenia kontroli a w sytuacji osiągnięcia granicznego zużycia elementów ciernych również ich wymiany. Ze względu na rozbudowany układ hamulcowy wagonu oraz lokomotywy, składający się najczęściej z 8 indywidualnych cylindrów hamulcowych, utrudnione jest zastosowanie jednego systemu diagnostycznego do oceny zużycia wszystkich par ciernych.

W technice kolejowej do diagnozowania zużycia okładzin ciernych stosuje się stanowiska torowe, w których dokonuje się fotograficznej rejestracji obrazu pary ciernej tarcza hamulcowa-okładzina cierna podczas przejazdu pociągu. Następnie na podstawie zarejestrowanych obrazów dokonuje się oszacowania grubości okładzin ciernych hamulca tarczowego, co przedstawia rys.1. Przy grubości okładzin wynoszącym 10mm, maszynista pociągu otrzymuje informację o osiągnięciu granicznego dopuszczalnego zużycia okładzin na danej osi zestawu kołowego. Stanowiska torowe do diagnostyki zużycia okładzin ciernych stosowane są między innymi na kolejach niemieckich, angielskich i francuskich.



Rys. 1. Stanowisko podtorowe do fotograficznej oceny zużycia okładzin ciernych firmy MERMEC Group: a) widok stanowiska, b) identyfikacja punktów odniesienia, c) szacowanie grubości okładziny [8]

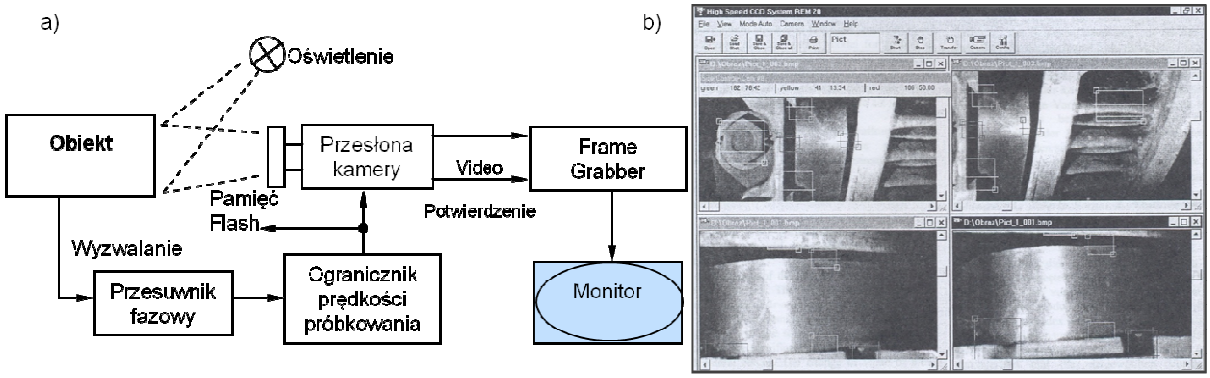
W pojazdach szynowych, najczęściej stosowane są układy sygnalizujące proces hamowania oraz luzowania (rys.2), widoczne dla obsługi pociągu ze środka jak i z zewnątrz pojazdu. Wspomniane układy umożliwiają podczas przejazdu pociągu sprawdzenie, w którym z wagonów jest zablokowany układ hamulcowy.



Rys. 2. Urządzenie sygnalizujące działanie hamulca tarczowego na wagonie typu Bmnopux: a) hamulec włączony, b) hamulec wyłączony

Innym zaawansowanym układem do diagnostyki hamulca tarczowego jest system do wizyjnej kontroli i diagnostyki opracowany w Instytucie Pojazdów Szynowych TABOR w Poznaniu. Układ diagnozujący (rys. 3) [1, s. 37-53] dostarcza pełnych informacji na temat zużycia okładzin ciernych oraz tarcz hamulcowych w każdym momencie eksploatacji.

Opracowane rozwiązania cechuje skomplikowany i kosztowny układ pomiarowy składający się z kamery cyfrowej i oprogramowania do przetwarzania obrazu. Po udanych próbach na stanowisku badawczym, wizyjny układ diagnostyczny będzie testowany podczas badań eksploatacyjnych.



Rys. 3. System wizyjny HARD Soft [1]: a) schemat zasady działania, b) obraz pary ciernej hamulca tarczowego do oszacowania zużycia okładziny i tarczy

Celem badań jest przedstawienie możliwości wykorzystania sygnału drganiowego generowanego przez obsady hamulcowe do oceny zużycia okładzin ciernych hamulca tarczowego podczas symulowanych hamowań ze stałą mocą (hamowanie na spadku).

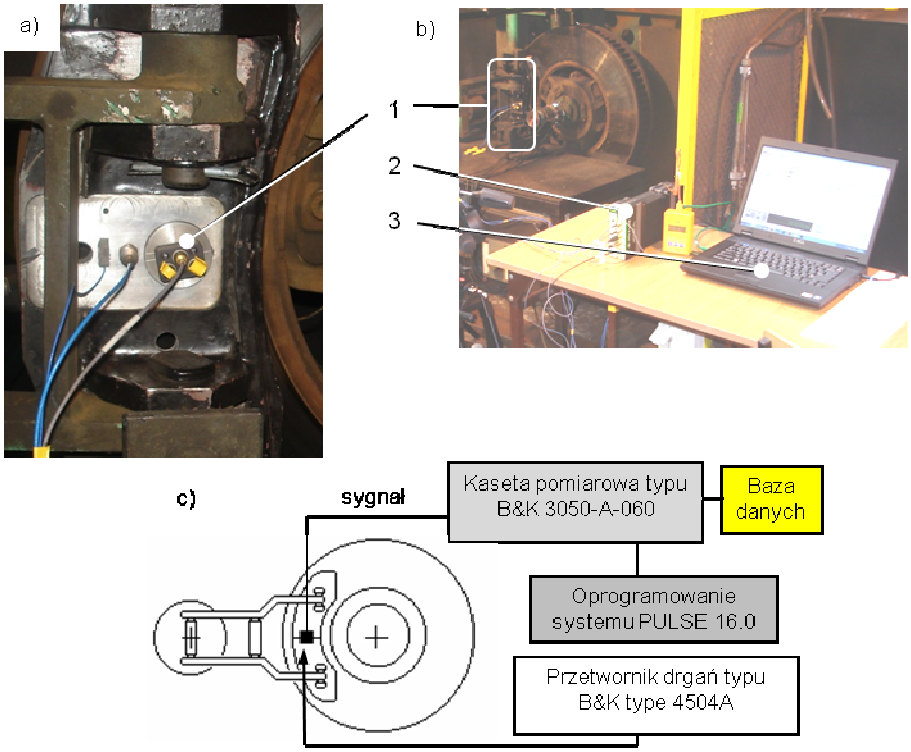
1. METODYKA BADAŃ

Badania przeprowadzone zostały na bezwładnościowym stanowisku do badań hamulców klockowych i tarczowych pojazdów szynowych w Instytucie Pojazdów Szynowych TABOR w Poznaniu. Obiektem badań była tarcza hamulcowa typu 640×110 z wentylującymi łopatkami firmy BSI oraz 3 komplety okładzin typu 200 FR20H.2 firmy Frenoplast. Pierwszy komplet okładzin - nowy o grubości 35 mm oraz 2 komplety zużyte do grubości 25 mm i 15 mm.

Do badań wykorzystano program badawczy 2B1 zgodniez załącznikiem C.2 zawartym w Kodeksie UIC 541-3. Dla wspomnianego programu przeprowadzono hamowanie ze stałą mocą hamowania wynoszącą 55kW [6, s. 23]. Jest to symulacja zjadu pociągu ze stałą prędkością przy włączonym układzie hamulcowym. Prędkość zjazdu v=80km/h, nacisk okładziny na tarczę N=28kN, całkowity symulowany czas zjazdu pociągu t=10min. Masa do hamowania przypadająca na jedną tarczę wyniosła w czasie badań M=6700kg. Na jednej z obsad hamulcowych zamocowano przetwornik drgań co przedstawia rysunek 4a przykręcony do obsady za pośrednictwem płytki mocującej [3, s. 16].

Podczas badań rejestrowano sygnały przyspieszeń drgań w jednym kierunku tj. prostopadłych do powierzchni ciernej tarczy hamulcowej. Do akwizycji sygnałów drgań zastosowano zestaw pomiarowy składający się z: piezoelektrycznego przetwornika przyspieszeń drgań, kasety pomiarowej typu B&K 3050-A-060 wraz z oprogramowaniem systemu PULSE 16.0. Tor pomiarowy przedstawiono na rysunku 4b.

Przetworniki drgań typu 4504 firmy Brüel&Kjær wybrano na podstawie wytycznych zawartych w pracy [2, s. 2], liniowe pasmo przenoszenia przetworników wyniosło 13 kHz. Częstotliwość próbkowania ustawiono na 131 kHz. Oznacza to, że pasmo poddane analizie zgodnie z zależnością Nyquista wyniosło 65 kHz.



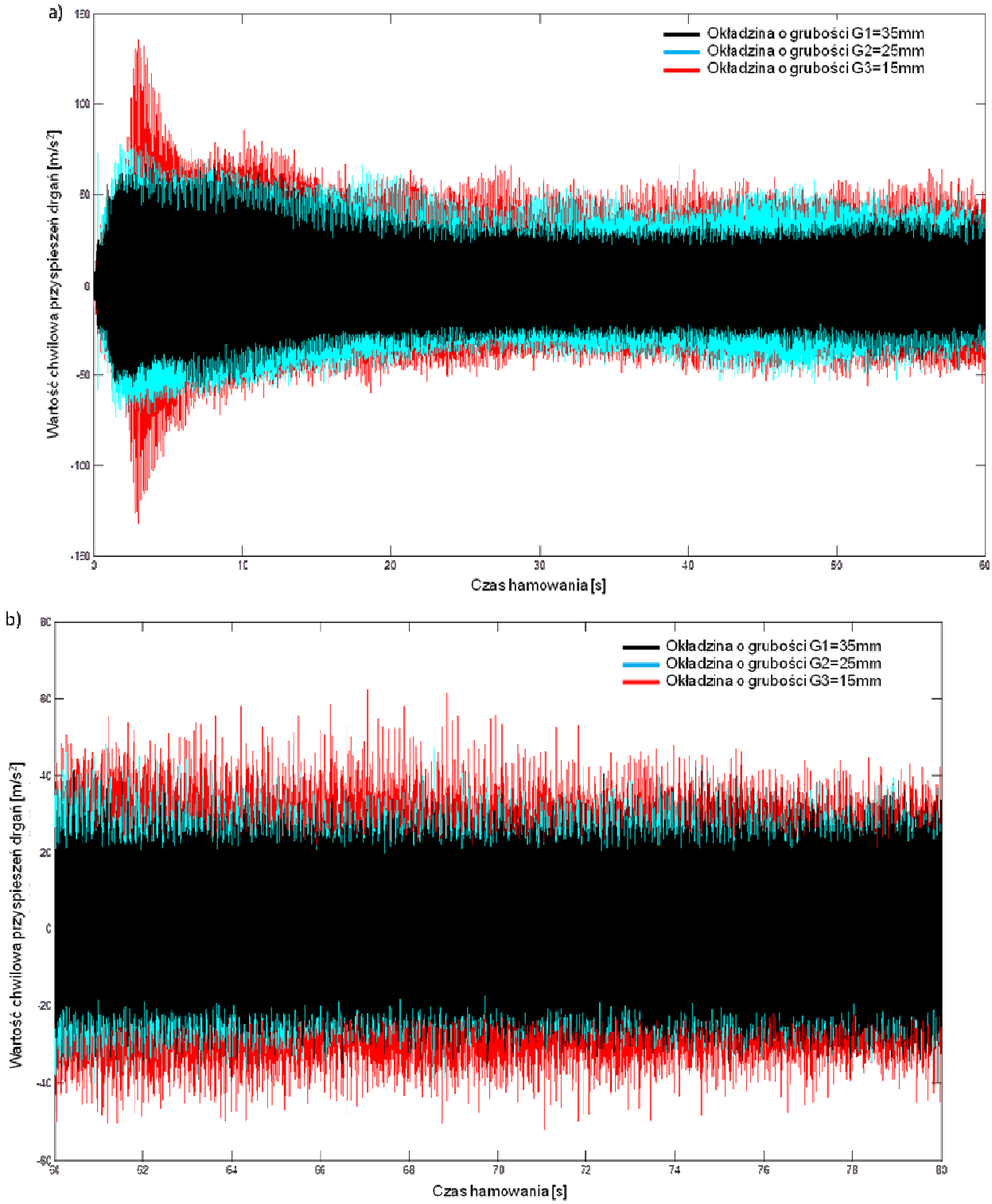
Rys. 4. Stanowisko do badań kolejowego hamulca tarczowego: a) obsada okładziny z przetwornikiem drgań, b) widok sposobu pomiaru przyspieszeń drgań generowanych przez obasę z okładziną cierną, c) schemat toru pomiarowego: 1-przetwornik, 2-kaseta pomiarowa typu B&K 3050-A-060, 3- Oprogramowanie systemu PULSE 16.0

Badania zostały przeprowadzone zgodnie z zasadami eksperymentu czynnego. Po przeprowadzeniu hamowania dla zadanej grubości okładziny, zmieniano okładzinę bez zmian pozostałych parametrów hamowania jak prędkość zjazdu pociągu, docisk okładziny do tarczy czy masa hamująca i czas hamowania. Równocześnie obserwowano zmiany zachodzące w amplitudzie chwilowych przyspieszeń drgań.

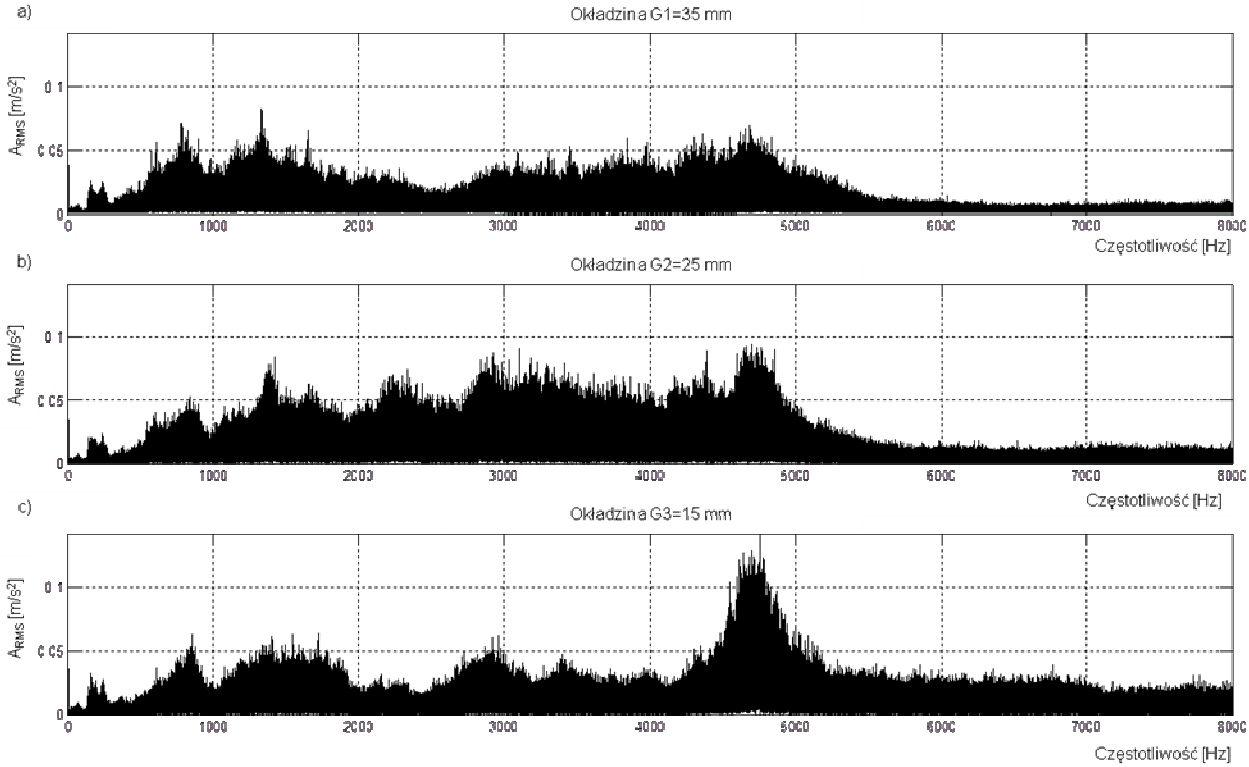
2. WYNIKI BADAŃ

Podczas badań stanowiskowych symulujących hamowania na spadku, dokonując analizy czasowej przyspieszeń drgań generowanych przez obsady hamulcowe kolejowego hamulca tarczowego – możliwe jest obserwowanie zamian wartości przyspieszeń drgań w zależności od grubości okładzin ciernych. Na rysunku 5 przedstawiono przebiegi czasowe przyspieszeń drgań dla trzech rozpatrywanych grubości okładzin ciernych. Wartości maksymalne przyspieszeń drgań w początkowym okresie hamowania ze stałą mocą wyniosły odpowiedni: dla okładziny nowej o grubości G1=35mm – 67m/s^2, dla okładziny zużytej do grubości G2=25mm – 79m/s^2 i dla okładziny G3=15mm – 135m/s^2 .

Następnie dokonano analizę wartości chwilowych przyspieszeń drgań w dziedzinie częstotliwości. Celem analizy widmowej sygnałów drgań było wyznaczenie pasm częstotliwości związanych ze zmianą grubości okładziny w czasie pracy układu hamulcowego. Na rysunku 6 przedstawiono przykładowe widma amplitudowe przyspieszeń drgań dla różnych grubości okładzin uzyskanych przy hamowaniu ze stałą prędkością wynoszącej 80km/godz.



Rys. 5. Wartość chwilowa przyspieszeń drgań w funkcji czasu hamowania podczas hamowania ze stałą mocą dla trzech grubości okładzin ciernych: a) w pierwszym okresie hamowania, b) w kolejnym okresie hamowania



Rys. 6. Zależność amplitudy przyspieszeń drgań od częstotliwości dla różnych grubości okładzin ciernych dla hamowania ze stałą mocą przy prędkości v=80km/h: a) grubość okładziny G1=35mm, b) grubość okładziny G2=25mm, c) grubość okładziny G3=15mm

Badania o charakterze diagnostycznym pomiaru przyspieszeń drgań pochodzących z obsad hamulcowych w dziedzinie częstotliwości wykazały, że możliwe jest znalezienie pasm częstotliwości, w których obserwuje się zależność wartości skutecznej przyspieszeń drgań A_{RMS} (zależność (1)) [7, s. 133] od różnych grubości okładzin dla hamowania symulującego zjazd pociągu z włączonymi hamulcami.

$$A_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T [s(t)]^2 \, dt} \tag{1}$$

gdzie:

T – czas uśredniania,

$s(t)$ – wartość chwilowa amplitudy przemieszczeń drgań.

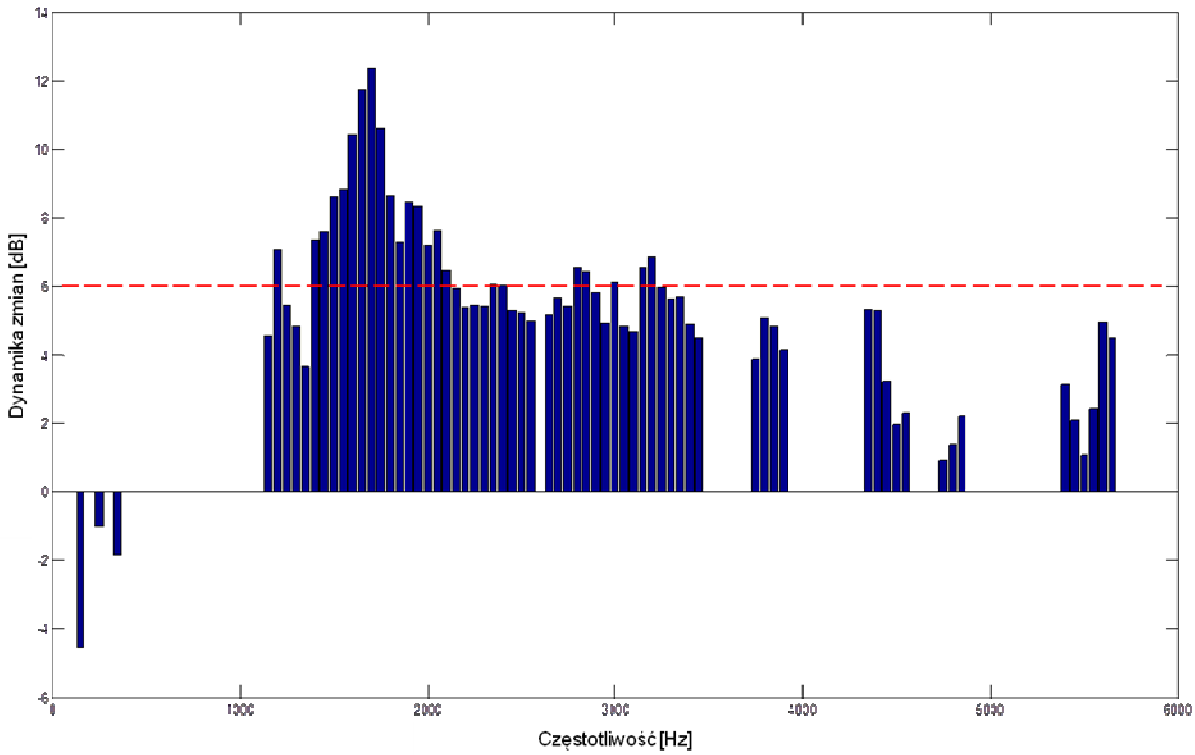
Dodatkowo przedstawiono dynamikę zmian zgodnie z zależnością (2) [5, s. 214] badanego parametru diagnostycznego, co również przedstawia rysunek 7.

$$D = 20\lg\left(\frac{s_2}{s_1}\right) \tag{2}$$

gdzie:

s_1 – wartość miary punktowej (np. A_{RMS}) wyznaczonej dla okładziny G3 lub G2,

s_2 – wartość tej samej miary punktowej wyznaczonej dla okładziny G1.



Rys. 7. Zależność dynamiki zmian rozpatrywanego parametru diagnostycznego dla wąskich pasm częstotliwości widma amplitudowego.

Wrażliwość diagnostyczna danego parametru tj. wartość skuteczna przyspieszeń drgań (A_{RMS}) wyznaczona z widma amplitudowego określano na podstawie dynamiki zmian opisanej zależnością (2). Wówczas możliwe jest stwierdzenie, czy dany parametr diagnostyczny wykazuje zmienność na zmianę stanu, wynikającą z zużycia okładzin ciernych. Dany parametr diagnostyczny wykazuje zadowalającą wrażliwość na zmianę stanu, jeżeli dynamika zmian otrzymanych symptomów jest powyżej 6dB [5, s. 215]. Wówczas stwierdza się podwójna zmianę wartości zmierzonego parametru diagnostycznego.

Analizując wartości dynamiki zmian do celów diagnostycznych należy wykorzystać pasma częstotliwości 1150-1200Hz, 1350-2100Hz, 2750-2850Hz i 3100-3250Hz aby w czasie hamowań ze stałą mocą możliwe było diagnozowanie zużycia okładzin ciernych kolejowego hamulca tarczowego dokonują analizy widmowej wartości chwilowych przyspieszeń drgań generowanych przez obsady hamulcowe.

PODSUMOWANIE

Stanowiskowe badania diagnostyczne wykazały, że możliwe jest diagnozowanie zużycia okładzin ciernych hamulca tarczowego dokonując analizy wartości przyspieszeń drgań obsad z okładzinami w dziedzinie częstotliwości. Badania te dowiodły, że krótkie fragmenty hamowania pociągu na spadku ze stałą prędkością i towarzyszące temu drgania obsad z okładzinami ciernymi mogą dostarczyć informacji o stanie pary ciernej hamulca.

Analiza drgań obsad w dziedzinie częstotliwości umożliwia diagnozowanie zużycia okładzin ciernych w czterech pasmach tj. 1150-1200Hz, 1350-2100Hz, 2750-2850Hz i 3100-3250Hz wyznaczając z tych pasm wartość skuteczną przyspieszeń drgań A_{RMS}.

Kolejnym etap prac będzie wyprowadzenie regresyjnych modeli diagnostycznych do oszacowania zużycia okładzin ciernych hamulca tarczowego

Projekt jest finansowany ze środków Narodowego Centrum Nauki, nr N N504 644840

APPLICATION OF VIBROACOUSTIC SIGNAL TO DIAGNOSE RAILWAY DISC BRAKING SYSTEM

Abstract

In rail vehicles, because of higher and higher ride speeds, there are works carried out to upgrade braking systems to stop the vehicle at shortest possible braking distance. It is required that in braking systems the condition of friction set is periodically controlled and the wear of braking system parts is constantly monitored.

The purpose of this article is to present possibility to diagnose the friction set of disc brake by using selected frequency characteristics of vibroacoustic signal generated by brake caliper with friction pads.

BIBLIOGRAFIA

1. Bocian S., Boguś P, Kaluba M., Kardacz A.: *Pozyskanie obrazu przez komputerowe systemy graficzne do wizyjnej kontroli i diagnostyki hamulca tarczowego*. Pojazdy Szynowe 2000, nr 2, s. 37-53.
2. Brüel&Kjær.: *Piezoelectric Accelerometer Miniature Triaxial Delta Tron Accelerometer – Type 4504A*. Oferta firmy Brüel & Kjær.
3. Brüel&Kjær.: *Measuring Vibration*. Revision September 1982.
4. Gruszewski M.: *Wybrane zagadnienia eksploatacji hamulca tarczowego*. Technika Transportu Szynowego 1995, nr 6-7, s. 84-86.
5. Gryboś R.: *Drgania maszyn*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2009, s. 214.
6. Kodek UIC 541-3.: *Hamulec-Hamulec tarczowy I jego zastosowanie. Warunki dopuszczenia okładzin hamulcowych*, Wyd. 6, listopad 2006.
7. Sawczuk W., Szymański M. G.: *Application of selected time and amplitude characteristics of vibration Signac to diagnose railway disc brake*. Modern Electric Traction – Vehicles s. 129-141.
8. Strona internetowa: http://www.mermecgroup.com/diagnostics/rolling-stock-inspection/96/1/brake-pads-wear.php (12.10.2012).

Autor:
Wojciech SAWCZUK