

Grzegorz M. Szymański

Politechnika Poznańska, Instytut Silników Spalinowych i Transportu

Wojciech Sawczuk

Politechnika Poznańska, Instytut Silników Spalinowych i Transportu

OCENA GRUBOŚCI OKŁADZINY CIERNEJ TARCZOWEGO HAMULCA KOLEJOWEGO NA PODSTAWIE ANALIZY CZASOWO-WIDMOWEJ SYGNAŁÓW DRGANIOWYCH

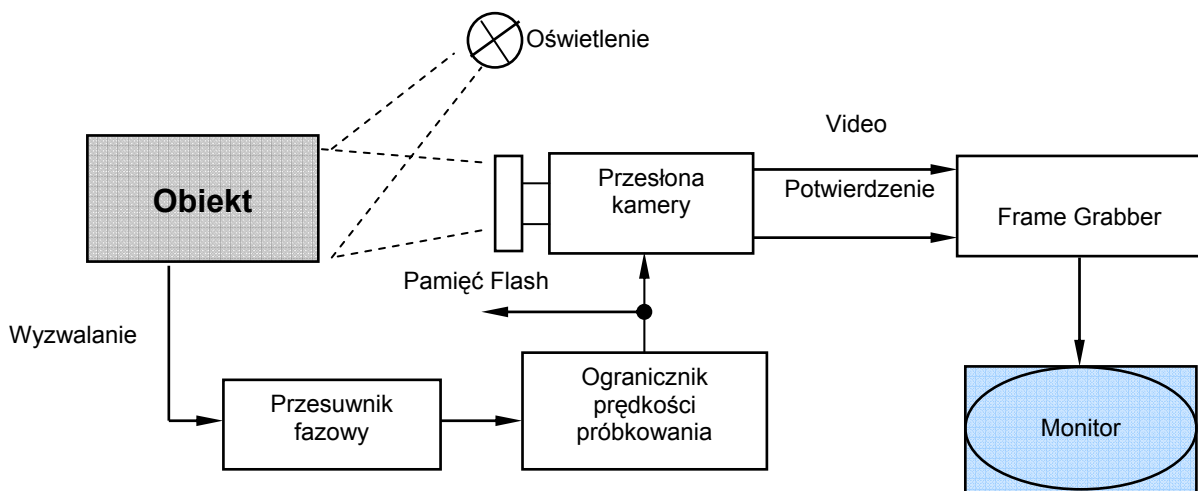
Streszczenie: W artykule przedstawiono nową metodę oceny grubości okładzin ciernych tarczowego hamulca kolejowego bazującą na wynikach parametryzacji mapy czasowo-widmowej $a(t,f)$ drgań generowanych przez elementy składowe hamulca. Jako narzędzie selekcji czasowo-widmowej sygnału drganiowego zaproponowano zastosowanie metod analizy czasowo-częstotliwościowej (JTFA). Zarysowano algorytm metody i zamieszczono przykład ilustrujący zastosowanie uśrednianej synchronicznie krótkoczasowej transformacji Fouriera (STFT) do ekstrakcji składowych sygnału związanych z procesem hamowania. W wyniku parametryzacji mapy $a(t,f)$, uzyskano miary sygnału współzmiennicze z grubością okładziny hamulcowej.

Słowa kluczowe: wagon kolejowy, hamulec tarczowy, diagnostyka wibroakustyczna

1. WPROWADZENIE

W większości produkowanych pojazdów szynowych podstawowym hamulcem roboczym jest hamulec tarczowy, który ze względu na szereg zalet zastępuje klasyczny hamulec kłocowy. Do podstawowych zalet hamulca tarczowego należy zaliczyć stały przebieg średniego współczynnika tarcia „ μ ”, wynoszący 0,35, w całym zakresie prędkości oraz lepsze warunki odprowadzenia ciepła, powstałego podczas hamowania do atmosfery [2]. Do niewielu wad hamulca tarczowego zalicza się brak możliwości kontroli stanu pary czarnej w całym procesie eksploatacji. Jest to szczególnie zauważalne w wagonach kolejowych, w których tarcze hamulcowe zamocowane są na osi zestawu kołowego. W celu sprawdzenia zużycia okładzin ciernych i tarcz hamulcowych, konieczne jest wykorzystanie kanału rewizyjnego dla przeprowadzenia kontroli.

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. Najbardziej zaawansowanym układem do diagnostyki hamulca tarczowego jest system do wizyjnej kontroli i diagnostyki opracowany w Instytucie Pojazdów Szynowych TABOR w Poznaniu [2]. Układ diagnozujący pokazany na rysunku 1 dostarcza pełnych informacji na temat zużycia okładzin ciernych oraz tarcz hamulcowych w każdym momencie eksploatacji. Opracowane rozwiązania ze względu na skomplikowany i kosztowny układ pomiarowy składający się z kamery cyfrowej i oprogramowania do przetwarzania obrazu, po udanych próbach na stanowisku badawczym, jak na razie nie znalazł zastosowania w przemyśle kolejowym.



Rys. 1. Zasada dziania systemu wizyjnego HARD soft [1]

W wagonach kolejowych, rozpowszechnione są układy sygnalizujące proces hamowania oraz luzowania, widoczne dla obsługi wagonu ze środka jak i z zewnątrz pojazdu. Wspomniane układy umożliwiają podczas przejazdu pociągu sprawdzenie, w którym z wagonów jest uszkodzony układ hamulcowy.

Celem badań jest wykorzystanie sygnału drganiowego obsad okładzin do oceny zużycia okładzin ciernych hamulca tarczowego podczas badań poligonowych na wagonie 136AMg.

2. WIBROAKUSTYCZNA DIAGNOSTYKA TARCZOWEGO HAMULCA KOLEJOWEGO

Jako wektor sygnału do oceny stanu technicznego urządzeń wykorzystywane są parametry procesów towarzyszących, roboczych oraz parametry procesów wykorzystywanych w badaniach nieniszczących (np. ultradźwięki). Wielkościami opisującymi procesy robocze stosowanymi w diagnostyce są: moc, moment obrotowy i

reakcyjny, chwilowa prędkość kątowna itp.; są one stosowane jako uogólnione parametry stanu technicznego.

Parametry procesów towarzyszących (drżenia, hałas, procesy termiczne, zużycia itp.) są stosowane do diagnozowania szczegółowego stanu technicznego obiektu oraz lokalizacji niezdatności. Do najczęściej wykorzystywanych procesów towarzyszących w diagnostyce należą procesy wibroakustyczne (drżenia i hałas).

W pracy [3] Sawczuk i Szymański opisali możliwości zastosowania wybranych miar punktowych charakteryzujących sygnały drganiowe do oceny stanu technicznego pary ciernej hamulca tarczowego. Badania autorzy przeprowadzili na stanowisku bezwładnościowym umożliwiającym symulację rzeczywistych warunków hamowania zgodnie z zadaniem programem.

Autorzy pracy [4] zastosowali analizę szeregów czasowych sygnałów drgań do wyznaczenia czasu hamowania, który porównali z czasem zmierzonym przez oprzyrządowanie stanowiska bezwładnościowego.

Dokonując analizy przebiegów czasowych dla zadanych grubości okładzin, zaobserwowali występowanie drgań samowzbudnych dla okładzin zużytych do grubości 15mm. Zjawisko drgań samowzbudnych może mieć związek ze zmianą własności dynamicznych układu spowodowanej zmianą masy obsady z okładziną, co jest szczególnie widoczne pod koniec procesu hamowania.

W pracy [5] autor zweryfikował regresyjne modele diagnostyczne, wyznaczone na podstawie badań stanowiskowych i poligonowych. Na podstawie analizy przeprowadzonych badań stwierdził, że istnieje możliwość diagnozowania zużycia okładzin ciernych hamulca tarczowego wykorzystując wybrane parametry opisujące proces tarcia oraz sygnał drganiowy generowany przez obsadę z okładziną cierną. Opracował algorytm diagnostowania pary ciernej hamulca tarczowego.

Na podstawie analizy bibliograficznej stwierdzono, że nie ma obecnie prac dotyczących oceny grubości okładziny ciernej tarczowego hamulca kolejowego na podstawie analizy czasowo-widmowej sygnałów drganiowych.

2. METODYKA BADAŃ

Badania poligonowe przeprowadzono podczas jazu próbnych wagonu w składzie pociągu na trasie Poznań-Rzepin. Obiektem badań był układ hamulcowy wagonu pasażerskiego 136AMg wyposażony w wózek typu MD 523. Widok wózka MD 523 z zamocowanymi przetwornikami drgań do układu dźwigniowego hamulca tarczowego przedstawia rysunek 2.

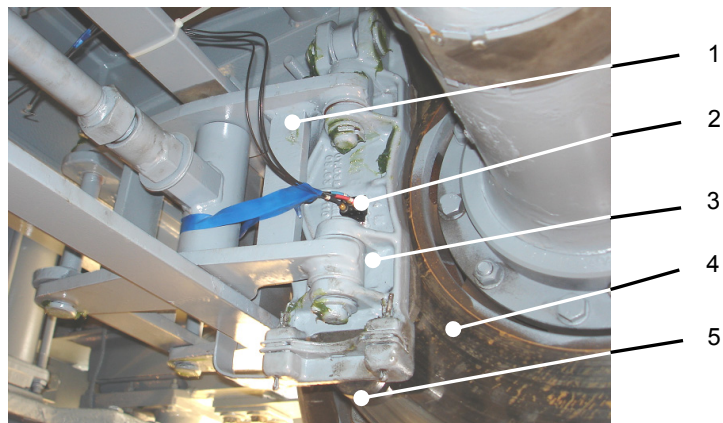
Do akwizycji sygnałów drgań zastosowano zestaw pomiarowy, składający się z:

- piezoelektrycznych przetworników drgań B&K typ 4504A, 3szt.,
- kasety pomiarowej typu B&K 3560 C,
- oprogramowania systemu PULSE 12.5.

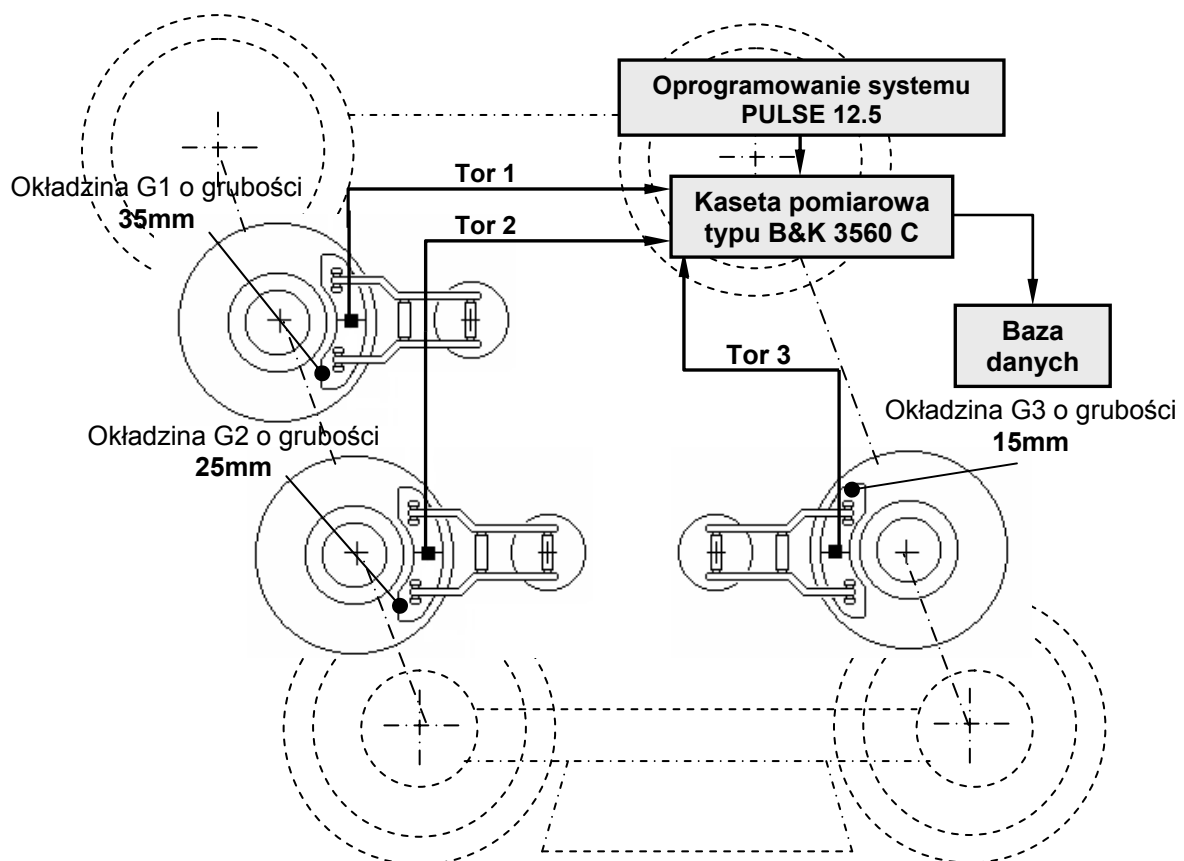
Schemat toru pomiarowego drgań na wózku MD 523 wagonu, przedstawiono na rysunku 3.

Do badań wykorzystano przetworniki drgań typu 4504 firmy Brüel&Kjær. Liniowe pasmo przenoszenia przetworników wyniosło 13 kHz. Podczas badań diagnostycznych

rejestrowano sygnały w paśmie od 0,1 Hz do 10 kHz. Do analizy wyników drgań istotne zmiany sygnału występuje do 6 kHz. Częstotliwość próbkowania wynosiła 32 kHz, co oznacza, że pasmo poddane analizie zgodnie z zależnością Nyquista wyniosło 16 kHz.



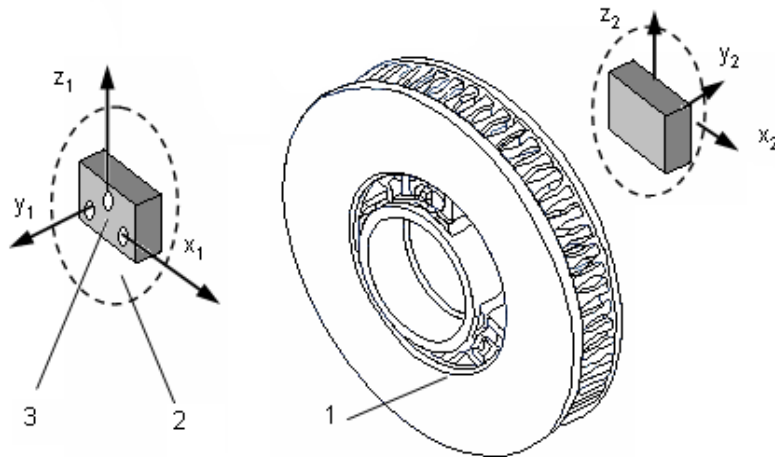
Rys. 2. Widok miejsc zamocowania przetworników drgań do układu dźwigniowego hamulca tarczowego wózka Minden-Deutz MD 523 wagonu 136AMg: 1- układ dźwigniowy hamulca tarczowego, 2- przetwornik drgań, 3- obsada okładziny (imak), 4- tarcza hamulcowa, 5- okładzina ciarna



Rys. 3. Schemat torów pomiarowych drgań okładzin ciarnych na wózku Minden-Deutz MD 523 wagonu 136AMg

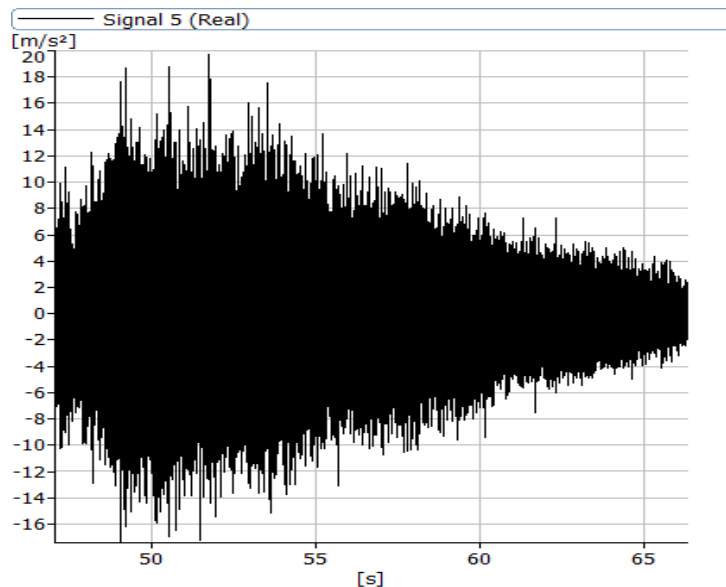
3. ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

Analizie poddano sygnały drgań zarejestrowane w trzech wzajemnie prostopadłych kierunkach dla różnych grubości okładzin ciernych. Orientację kierunków pomiaru drgań względem tarczy hamulcowej przedstawiono na rysunku 4.



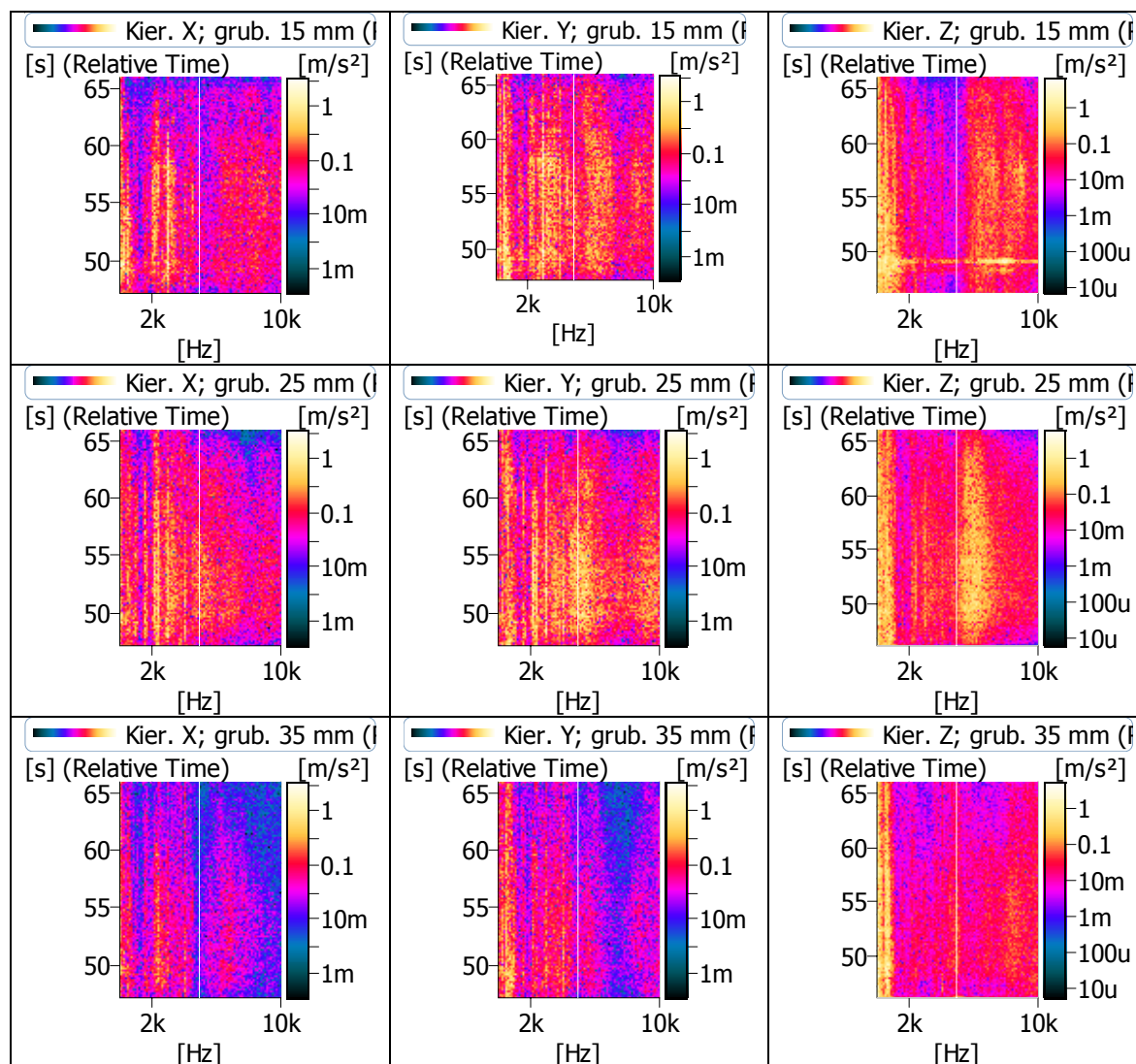
Rys. 4. Orientacja kierunków drgań obsad okładzin; 1-badana tarcza hamulcowa, 2-obsada okładziny, 3- czujnik drgań

Przeanalizowano sygnały zarejestrowane w trakcie procesu hamowania od prędkości 60 km/h do 40 km/h. Przykładowy przebieg czasowy sygnału drganiowego pokazano na rysunku 5.



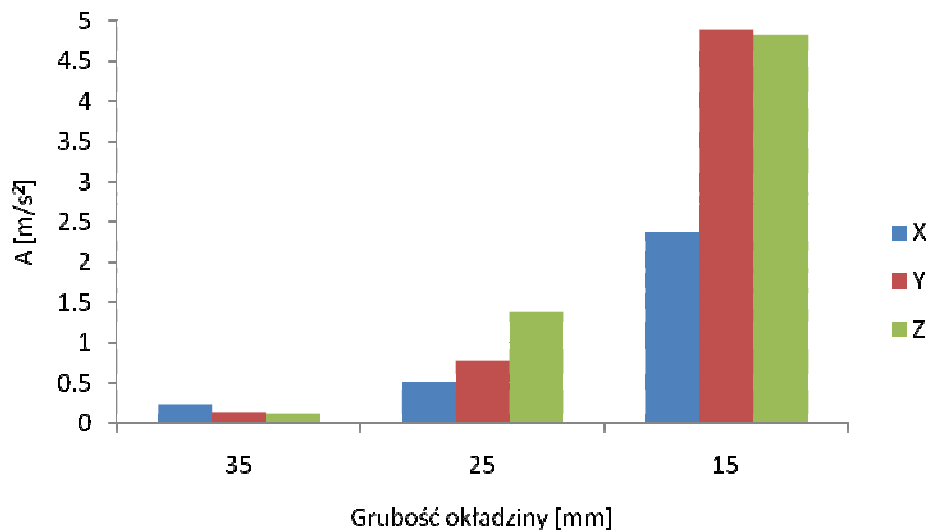
Rys. 5. Przykładowy przebieg czasowy sygnału przyspieszeń drgań obsad okładzin hamulcowych podczas hamowania

Analizę czasowo-widmową przeprowadzono metodą krótkoczasowej transformaty Fouriera (STFT). Polega ona poddaniu analizie FFT krótkich sekwencji sygnału, w których może być on traktowany, jako quasi stacjonarny. Uzyskane wyniki analiz przedstawiono w postaci map czasowo-widmowych na rysunku 6.



Rys. 6. Mapy czasowo-widmowe sygnałów przyspieszeń drgań obsad okładzin hamulcowych podczas hamowania

W celu określenia grubości okładzin hamulcowych w zależności od parametrów opisujących sygnały drganiowe należy przeprowadzić parametryzację map czasowo-widmowych. Do oszacowania grubości klocka hamulcowego zastosowano maksymalną wartość z mapy czasowo-widmowej przyspieszeń drgań w paśmie 6-8 kHz. Wyniki obliczeń przedstawiono graficznie na rysunku 7.



Rys. 7. Zależność maksymalnej wartości z mapy czasowo-częstotliwościowej przyspieszeń drgań w paśmie 6-8 kHz

Przedstawione na rysunku 7 wyniki obliczeń umożliwiają ocenę grubości okładzin hamulcowych. Wyznaczone parametry diagnostyczne charakteryzują się wysoką dynamiką w zakresie 20-30 dB (w zależności od kierunku pomiaru drgań). Wysoka wartość dynamiki parametru diagnostycznego zmniejsza ryzyko błędnej diagnozy.

4. PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono możliwość wykorzystania sygnału drganiowego do oceny stanu pary ciernej hamulca tarczowego. Po analizie czasowo-częstotliwościowej sygnałów przyspieszeń drgań stwierdzono, że możliwe jest określenie zużycia okładzin ciernych na podstawie maksymalnej wartości z mapy czasowo-częstotliwościowej przyspieszeń drgań w paśmie 6-8kHz przy hamowaniu podczas jazdy eksploatacyjnej. Najlepszym w opisywanym przypadku kierunkiem pomiaru przyspieszeń drgań jest kierunek „Z” – kierunek styczny do okręgu tarczy. Wyznaczone parametry diagnostyczne dla sygnałów zarejestrowanych w tym kierunku charakteryzują się największą dynamiką zmian przekraczającą 30 dB.

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 nr 2/2000.
2. Kodeks UIC 541-3, Hamulec – Hamulec tarczowy i jego zastosowanie. Warunki dopuszczenia okładzin hamulcowych. Wydanie 6, listopad 2006.
3. Sawczuk W., Szymański G. - Zastosowanie sygnału drganiowego do oceny stanu technicznego pary ciernej hamulca kolejowego. Materiały 28 mezinárodní vědecká konference DIAGO® 2009, Czechy

Rožnov pod Radhoštěm, 27–28.01.2009 Technická DIAGNOSTIKA, z 1 Ročník XVIII 2009, s. 34 –
streszczenie, referat na CD, s. 271÷275

4. Sawczuk W., Szymański G.M., Application of selected time and amplitude characteristics of vibration signal to diagnose railway disc brake. Monografia, Gdańsk 2010.
5. Sawczuk W., Badanie tarczowego układu hamulcowego pojazdu szynowego w aspekcie możliwości jego diagnozowania. Rozprawa doktorska Politechnika Poznańska, Poznań 2010.

ASSESSING THICKNESS OF FRICTION PAD OF RAILWAY DISK BRAKE ON THE BASIS OF TIME-FREQUENCY ANALYSIS OF VIBRATION SIGNALS

Abstract: This article presents a new method of assessing thickness of friction pads of railway disc brake based on results of parameterization of time-frequency map $a(t,f)$ of vibrations generated by brake's elements. Methods of time-frequency analysis (JTFA) were suggested as a tool of time-frequency selection of vibration signal. The authors described algorithm of the method and presented an example illustrating application of synchronously averaged short time Fourier transformation (STFT) for extraction of signal's elements connected with braking process. As a result of parameterization of map $a(t,f)$ signal parameters covariant with the thickness of disc brake were obtained.

Keyword: railway, car, disc brake, vibroacoustic diagnostics