

Janusz GARDULSKI, Rafał BURDZIK

ZASTOSOWANIE ESTYMATORA FALKOWEGO W DIAGNOSTYCE AMORTYZATORÓW SAMOCHODOWYCH

Streszczenie. W artykule przedstawiono próbę wykorzystania estymatora falkowego do diagnozowania amortyzatorów. Badano łączne uszkodzenia w postaci wycieku płynu amortyzatorowego i ubytku uszczelnienia tłoczka. Pojazd pobudzano do drgań i rejestrowano sygnały wibroakustyczne. Jako miarę modelowanych uszkodzeń wykorzystano wartości maksymalnych uśrednionych widm falkowych.

APPLICATION WAVELET ESTIMATOR IN DIAGNOSIS OF CAR SHOCK ABSORBER

Summary. The paper presents possibility of using wavelet estimator to shock absorber technical condition diagnosis. There were detected cooperation failures as leak of shock absorber fluid and plunger seal loss. Car was activated to vibration and vibroacoustic signals were recorded. Maximal averaging values of wavelet spectrum were used as simulations defects measure.

WSTĘP

Diagnostyka amortyzatorów samochodów osobowych jest istotnym elementem określenia stanu technicznego zawieszenia pojazdu w trakcie badań kontrolnych. Stosowane obecnie metody badań amortyzatorów zostały opisane w [1]. Nie identyfikują one uszkodzeń i dlatego jest to forma oceny w ujęciu niezawodnościowym: sprawny – niesprawny.

Wszystkie metody badań amortyzatorów wymagają pobudzenia zawieszenia do drgań. Pomiar wybranych parametrów drganiowych jest źródłem sygnałów o dużej zawartości informacji o stanie badanego obiektu. Ich dalsza analiza pozwala określić miary stanu technicznego. W niniejszym opracowaniu realizacji zadania diagnozowania amortyzatorów zabudowanych w pojeździe dokonano przy zastosowaniu estymatora falkowego.

OBIEKT BADAWCZY

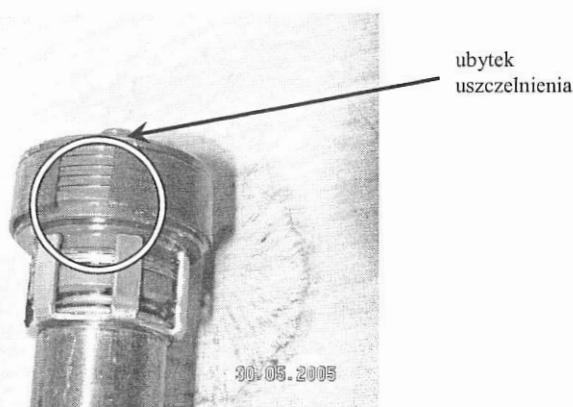
Eksperymenty przeprowadzono na amortyzatorach samochodu osobowego, w których zamodelowano najbardziej powszechne i trudno diagnozowalne uszkodzenia. Zasada działania teleskopowych amortyzatorów hydraulicznych polega na pośrednim przekazaniu ruchu pionowego koła pod wpływem wymuszenia na ruch tłoka amortyzatora. Następnie poprzez właściwy przepływ cieczy roboczej przez odpowiednie zawory i kalibrowane otwory

realizowane jest tłumienie mas resorowanych. Szczelne złożenie tłok – cylinder jest warunkiem koniecznym prawidłowej pracy tego układu. W wyniku zużycia elementów amortyzatora zmienia się wartość jego tłumienia. Jednym z symptomów zużycia jest wyciek oleju amortyzatorowego. Trudno diagnozowalne uszkodzenia amortyzatorów to:

- wzrost nieszczelności tłoczka,
- zmiana objętości cieczy roboczej.

Uszkodzenia te wprowadzono kolejno do obiektu badawczego.

Wzrost nieszczelności tłoczka zamodelowano jako wycięcie części uszczelnienia tłoczka amortyzatora, którego wartość określano w stosunku do uszczelnienia nowego jako 2%, 4% i 6% jego obwodu (rys.1).



Rys. 1. Przykład ubytku uszczelnienia tłoczka amortyzatora
Fig. 1. Example of shock absorber plunger seal loss

Zmianę objętości cieczy roboczej realizowano jako zmniejszanie ilości oleju amortyzatorowego kolejno o 5% od wartości 100% do 60%.

Taki zakres uszkodzeń przyjęto po przeprowadzeniu badań amortyzatorów wybudowanych na stanowisku indykatorowym.

METODA BADAŃ

Eksperyment czynny polegał na pobudzeniu do drgań samochodu z amortyzatorem o zidentyfikowanym stanie technicznym. Wykorzystano do tego celu stanowisko o wymuszeniu harmonicznym. W czasie badań rejestrowano pionowe przyspieszenia drgań. Przetwornik zamocowano w punkcie łączenia amortyzatora do nadwozia.

METODY ANALIZY

Zarejestrowane sygnały są niestacjonarne i dlatego wymagają zastosowania analizy wielowymiarowej. Pozwala to na obserwację rozkładu sygnału w dziedzinie czasu i częstotliwości.

Narzędziem analizy wielowymiarowej są między innymi metody oparte na teorii falek, które pozwalają na lokalną analizę częstotliwościową sygnału [4].

Analiza niestacjonarnych własności spektralnych polega na stosowaniu okien automatycznie zwiężających się dla wysokich częstotliwości i rozszerzających się podczas analizy niskich częstotliwości. Zastosowana transformacja falkowa określona jest następująco:

$$WT(a, b) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \psi_{ab}(t) dt \quad (1)$$

gdzie:

$f(t)$ - analizowany sygnał,

$\psi_{ab}(t)$ - baza falkowa wyznaczana z zależności:

$$\psi_{ab}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (2)$$

gdzie:

$a > 0$ - parametr przesunięcia względem częstotliwości,

$b \in R$ parametr przesunięcia względem czasu.

W analizie zastosowano falkę Morleta zdefiniowaną jako:

$$\psi(t) = C \cdot e^{\frac{-t^2}{2}} \cos(5t) \quad (3)$$

gdzie C jest stałą normalizującą.

Falka Morleta cechuje się dobrą lokalizacją składowych częstotliwościowych na osi częstotliwości. Poza tym jej zastosowanie pozwala na wykorzystanie w procesie przetwarzania procedury FFT, co przyspiesza proces obliczeniowy.

UZYSKANE WYNIKI ANALIZ

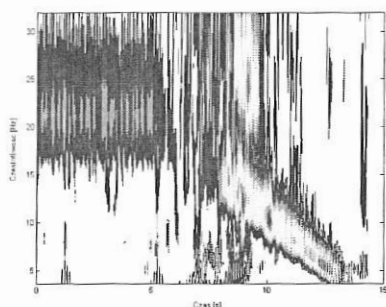
Poniżej przedstawiono przykładowe rozkłady transformaty falkowej dla amortyzatorów z następującymi uszkodzeniami:

- 100% objętości płynu i 100% uszczelnienia tłoczka (nowy),
- 60% objętości płynu i 100% uszczelnienia tłoczka,
- 100% objętości płynu i 96% uszczelnienia tłoczka,
- 60% objętości płynu i 96% uszczelnienia tłoczka.

Jako że największy wpływ tłumienia na przyspieszenia drgań układu obserwować można w okolicach jego częstotliwości rezonansowych [2]. Analizowano sygnał drganiowy występujący po wyłączeniu wzbudnika przy przechodzeniu układu przez częstotliwości rezonansowe.

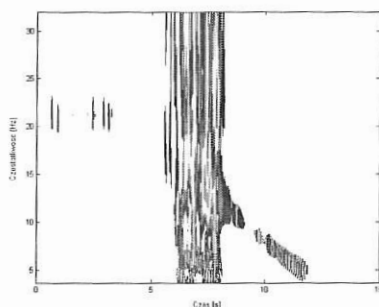
Aby polepszyć czytelność diagnostyczną rozkłady, czasowe współczynników falowych zaprezentowano po przekształceniu skali na częstotliwość.

Rozwijające się uszkodzenie amortyzatora powoduje zmiany rozkładów transformaty falkowej. Nie jest jednak możliwa jednoznaczna ocena stanu obiektu.



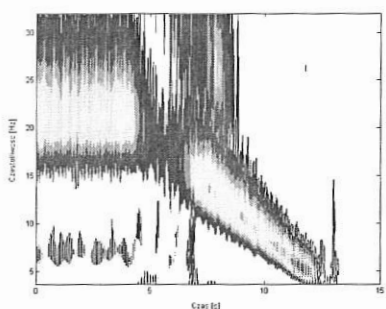
Rys. 2. Rozkład transformaty falkowej dla amortyzatora: 100% objętości płynu i 100% uszczelnienia tłoczka

Fig. 2. Wavelet transform distribution for shock absorber: 100% liquid volume and 100% plunger seal



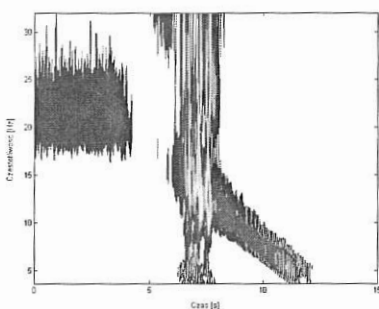
Rys. 3. Rozkład transformaty falkowej dla amortyzatora: 60% objętości płynu i 100% uszczelnienia tłoczka

Fig. 3. Wavelet transform distribution for shock absorber: 60% liquid volume and 100% plunger seal



Rys. 4. Rozkład transformaty falkowej dla amortyzatora: 100% objętości płynu i 96% uszczelnienia tłoczka

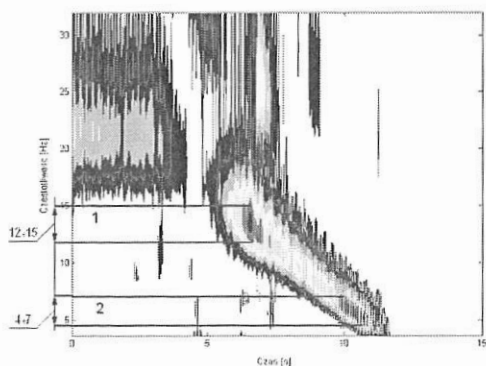
Fig. 4. Wavelet transform distribution for shock absorber: 100% liquid volume and 96% plunger seal



Rys. 5. Rozkład transformaty falkowej dla amortyzatora: 60% objętości płynu i 96% uszczelnienia tłoczka

Fig. 5. Wavelet transform distribution for shock absorber: 60% liquid volume and 96% plunger seal

ESTYMATOR FALKOWY

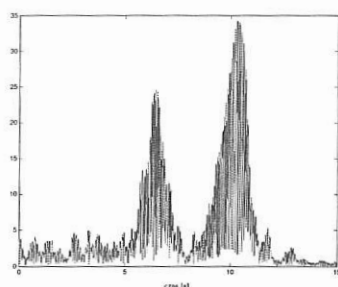


Rys. 6. Wycinane pasma częstotliwości
Fig. 6. Cutting out frequency band

Z uwagi na trudności w identyfikacji ilościowej uszkodzenia postanowiono wyszukać estymator punktowy.

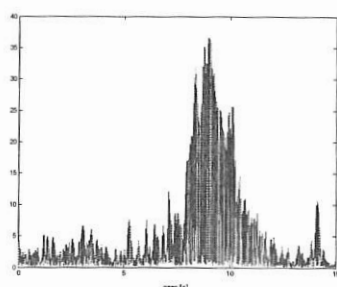
Uzyskane wyniki analizy falkowej umożliwiają wyznaczenie pasm występowania częstotliwości rezonansowych mas nieresorowanych i resorowanych (rys. 6).

Następnie uśredniano w tych pasmach wartości widm falkowych. Polegało to na sumowaniu kolejnych wierszy macierzy współczynników transformaty falkowej. Uśrednione widma falkowe analizowanych pasm częstotliwości dla przypadków uszkodzeń amortyzatorów przedstawiono na rysunkach 7 – 14.



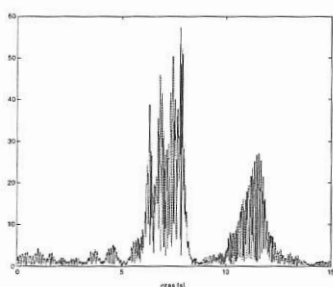
Rys. 7. Uśrednione widmo falkowe dla pasma częstotliwości 4÷7 Hz dla amortyzatora: 100% objętości płynu i 100% uszczelnienia tłoczka

Fig. 7. Averaging values of wavelet spectrum for frequency band 4-7 Hz for shock absorber: 100% liquid volume and 100% plunger seal



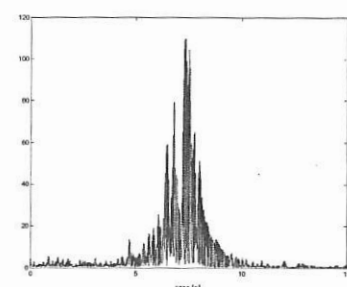
Rys. 8. Uśrednione widmo falkowe dla pasma częstotliwości 12÷15 Hz dla amortyzatora: 100% objętości płynu i 100% uszczelnienia tłoczka

Fig. 8. Averaging values of wavelet spectrum for frequency band 12-15 Hz for shock absorber: 100% liquid volume and 100% plunger seal



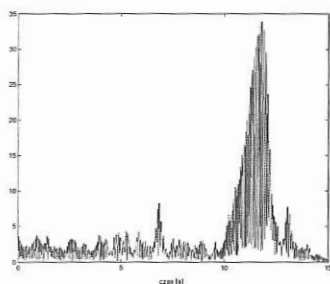
Rys. 9. Uśrednione widmo falkowe dla pasma częstotliwości 4÷7 Hz dla amortyzatora: 60% objętości płynu i 100% uszczelnienia tłoczka

Fig. 9. Averaging values of wavelet spectrum for frequency band 4-7 Hz for shock absorber: 60% liquid volume and 100% plunger seal



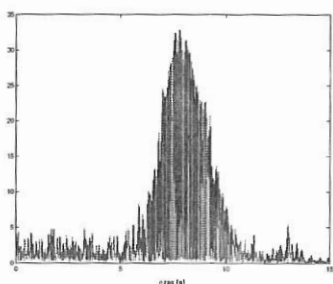
Rys. 10. Uśrednione widmo falkowe dla pasma częstotliwości 12÷15 Hz dla amortyzatora: 60% objętości płynu i 100% uszczelnienia tłoczka

Fig. 10. Averaging values of wavelet spectrum for frequency band 12-15 Hz for shock absorber: 60% liquid volume and 100% plunger seal



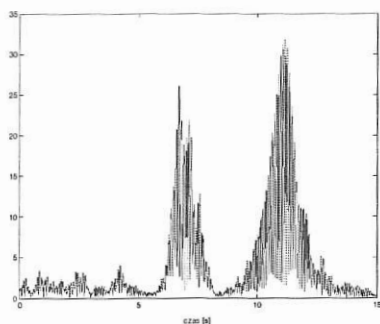
Rys. 11. Uśrednione widmo falkowe dla pasma częstotliwości 4÷7 Hz dla amortyzatora: 100% objętości płynu i 96% uszczelnienia tłoczka

Fig. 11. Averaging values of wavelet spectrum for frequency band 4-7 Hz for shock absorber: 100% liquid volume and 96% plunger seal



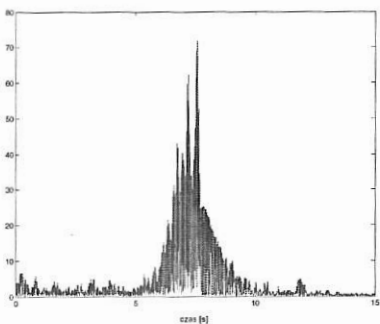
Rys. 12. Uśrednione widmo falkowe dla pasma częstotliwości 12÷15 Hz dla amortyzatora: 100% objętości płynu i 96% uszczelnienia tłoczka

Fig. 12. Averaging values of wavelet spectrum for frequency band 12-15 Hz for shock absorber: 100% liquid volume and 96% plunger seal



Rys. 13. Uśrednione widmo falkowe dla pasma częstotliwości 4÷7 Hz dla amortyzatora: 60% objętości płynu i 96% uszczelnienia tłoczka

Fig. 13. Averaging values of wavelet spectrum for frequency band 4-7 Hz for shock absorber: 60% liquid volume and 96% plunger seal



Rys. 14. Uśrednione widmo falkowe dla pasma częstotliwości 12÷15 Hz dla amortyzatora: 60% objętości płynu i 96% uszczelnienia tłoczka

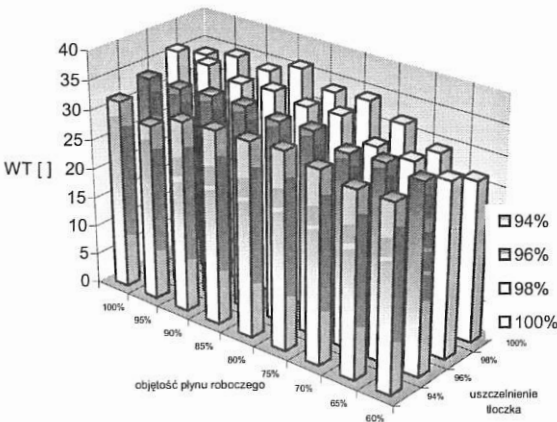
Fig. 14. Averaging values of wavelet spectrum for frequency band 12-15 Hz for shock absorber: 60% liquid volume and 96% plunger seal

Na wykresach widoczne są lokalne maksima funkcji, których wartości zmieniają się wraz ze wzrostem uszkodzeń.

Za estymator punktowy bazujący na transformacie falkowej przyjęto wartości maksymalnych uśrednionych widm falkowych.

Zestawienie uzyskanych tą metodą estymatorów dla zadanych uszkodzeń przedstawiają wykresy 15 i 16.

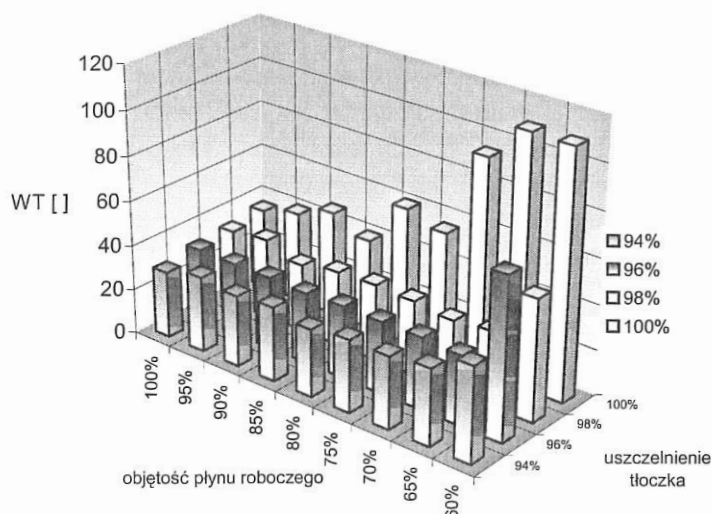
Estymator falkowy pasmo częstotliwości 4-7 Hz



Rys. 15. Zestawienie wartości maksymalnych uśrednionych widm falkowych dla pasma częstotliwości 4 – 7 Hz, dla zamodelowanych uszkodzeń amortyzatora

Fig. 15. Maximal averaging values of wavelet spectrum statement for frequency band 4-7 Hz for shock absorber simulation defects

Estymator falkowy pasmo częstotliwości 12-15 Hz



Rys. 16. Zestawienie wartości maksymalnych uśrednionych widm falkowych dla pasma częstotliwości 12 – 15 Hz, dla zamodelowanych uszkodzeń amortyzatora

Fig. 16. Maximal averaging values of wavelet spectrum statement for frequency band 12-15 Hz for shock absorber simulation defects

Wartości zaproponowanego estymatora wyznaczanego dla częstotliwości 4 -7 Hz wykazują trend spadkowy jego wartości wraz ze wzrostem ubytku płynu amortyzatorowego i uszczelnienia tłoczka. Tendencja ta nie jest zachowana w przypadku granicznego – 94% - uszczelnienia tłoczka.

W paśmie 12 – 15 Hz widoczny jest wyraźny wzrost wartości maksymalnych uśrednionych widm falkowych ze wzrostem wycieku płynu dla amortyzatora bez ubytku uszczelnienia tłoczka. Dla wartości 94%, 96%, i 98% uszczelnienia tłoczka wartości estymatora oscylują wokół stałej wartości jedynie przy granicznym – 40% - ubytku płynu jego wartość znacząco wzrasta. Analiza procentowego ubytku uszczelnienia tłoczka wykazała tendencję spadkową wartości maksymalnych uśrednionych widm falkowych wraz ze wzrostem tego uszkodzenia.

PODSUMOWANIE

Uzyskane wyniki analiz potwierdzają przydatność stosowania transformacji falkowej w diagnostyce amortyzatorów zabudowanych. W ocenie ilościowej uszkodzeń wykorzystano estymator punktowy (wartości maksymalne uśrednionych widm falkowych w wybranych pasmach rezonansowych).

Celowe jest dalsze prowadzenie badań nad wykorzystaniem analizy falkowej w diagnostyce amortyzatorów.

Literatura

1. Gardulski J.: Bezstanowiskowa metoda oceny stanu technicznego zawiesznień samochodów osobowych, Katowice-Radom 2003.
2. Gardulski J., Warczek J.: Zastosowanie transformaty falkowej do wyznaczania parametrów diagnostycznych elementów zawiesznień samochodowych. III MKDT, Poznań 2004
3. Batko W., Ziółko M.: Zastosowanie teorii falek w diagnostyce technicznej. Problemy inżynierii mechanicznej i robotyki. Kraków, 2002.
4. Żółtowski B., Cempel C.: Inżynieria Diagnostyki Maszyn, R.16 Barczewski Roman. Warszawa, Bydgoszcz, Radom 2004.
5. Jagielski K.: Badania dynamiczne zawiesznień. Praca magisterska pisana pod kierunkiem J. Gardulskiego, Katowice 2005.
6. Wojtaszczyk P.: Teoria falek. PWN, Warszawa 2000.
7. Zalewski A., Cegiela R.: Matlab – obliczenia numeryczne i ich zastosowanie, WN, Poznań 1996.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Zbigniew Dąbrowski