

COMPARISON OF ANALYSES METHODS - CONTINUOUS WAVELET TRANSFORM AND WIGNER-VILLE'A TRANSFORM IN VEHICLE SHOCK ABSORBER DIAGNOSTIC

Janusz Gardulski

Politechnika Śląska, Wydział Transportu
Katedra Budowy Pojazdów Samochodowych
tel. +048 32 6034164 fax: +048 32 6034118
e-mail: janusz.gardulski@polsl.pl

Abstract

The paper presents results experimental investigations, which the aim was settlement of usefulness of two methods of non-stationary signal analyses: continuous wavelet transform and Wigner-Ville'a transform. Usefulness of those methods in diagnostic of vehicle shock absorbers was compared. The new diagnostic estimator was used in investigations.

Damping elements are essential sets decisive of the drive safety of cars. Damping elements are most often hydraulic telescopic dampers. Tunings mechanical stimulant devices for vibrations in which an element enforcing is plate on which runs with wheel of investigated damper are in generally practical in Poland in research of built-up dampers in passenger cars. Used methods of multidimensional analyses are fitted for the identification of the single damage in the diagnostics of built-up dampers in the vehicle.

CWT distribution of relative vibration acceleration, diagram of W_{max} estimator values for oil volumes changes, cumulative diagram of W_{max} estimator values, WV distribution of relative vibration acceleration, diagram of W_{max} estimator values for oil volumes changes, cumulative diagram of estimator W_{max} values are presented in the paper.

Keywords: passenger cars suspension, hydraulic shock absorber, vibro-acoustic methods, non-stationary signals analysis

PORÓWNANIE PRZYDATNOŚCI METOD ANALIZ - CIĄGŁEJ TRANSFORMATY FALKOWEJ ORAZ WIGNERA VILLE'A W DIAGNOSTYCE AMORTYZATORÓW SAMOCHODÓW OSOBOWYCH

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań eksperymentalnych, których celem było ustalenie przydatności dwóch metod analizy sygnałów niestacjonarnych: metodę ciągłej transformaty falkowej i metodę transformaty Wignera-Ville'a. Porównano przydatność w/w metod do analizy uszkodzeń amortyzatorów teleskopowych samochodów osobowych. Do celów porównawczych wykorzystano nowy estymator diagnostyczny.

Istotnym zespołem decydującym o bezpieczeństwie jazdy samochodów są elementy tłumiące, którymi są najczęściej hydrauliczne amortyzatory teleskopowe. W Polsce powszechnie w badaniach amortyzatorów zabudowanych w samochodach osobowych stosuje się przestrajalne mechaniczne wzbudniki drgań, w których elementem wymuszającym jest płyta, na którą najeżdża samochód kołem z badanym amortyzatorem. Zastosowane metody analiz wielowymiarowych nadają się do identyfikacji pojedynczego uszkodzenia w diagnostyce amortyzatorów zabudowanych w pojeździe.

Rozkład współczynników transformaty falkowej względnych przyspieszeń drgań, wykres wartości estymatora W_{max} przy zmianie objętości płynu, wykres zbiorczy wartości estymatora W_{max} , rozkład współczynników WV sygnału względnych przyspieszeń drgań, wykres zbiorczy wartości estymatora W_{max} przy zmianie objętości płynu, wykres zbiorczy wartości estymatora W_{max} są prezentowane w artykule.

Słowa kluczowe: zawieszenia samochodów osobowych, amortyzatory hydrauliczne, badania wibroakustyczne, analiza sygnałów niestacjonarnych

1. Wprowadzenie

Istotnym zespołem decydującym o bezpieczeństwie jazdy samochodów są elementy tłumiące, którymi są najczęściej hydrauliczne amortyzatory teleskopowe. W Polsce powszechnie w badaniach amortyzatorów zabudowanych w samochodach osobowych stosuje się przestrajalne mechaniczne wzbudniki drgań, w których elementem wymuszającym jest płyta, na którą najeżdża samochód kołem z badanym amortyzatorem (metody Boge, EUSAMA). Cykl pobudzania w trakcie takich badań jest 3 etapowy. Etap pierwszy to rozpędzanie płyty, kiedy częstotliwość wymuszeń zmienia się w zakresie od 0 do ok. 21 Hz w czasie ok. 10 sek. W drugim etapie (trwającym ok. 20 sek.) płyta pobudza samochód ze stałą częstotliwością. W etapie trzecim po wyłączeniu układu napędowego płyty, następuje w czasie 10 sekund zanik drgań płyty wymuszającej. Jest to okres drgań swobodnych w trakcie, których następuje przejście przez rezonans mas nieresorowanych i resorowanych samochodu. Elementami sprężystymi we współczesnych samochodach osobowych są sprężyny śrubowe o charakterystykach nieliniowych, a elementami tłumiącymi amortyzatory teleskopowe o niesymetrycznych, silnie nieliniowych charakterystykach tłumienia. W efekcie badany na wzbudniku samochód osobowy można traktować jako drgający, nieliniowy, niestacjonarny układ mechaniczny. Do diagnozowania tego typu układów można stosować wielowymiarowe wibroakustyczne metody analiz niestacjonarnych sygnałów losowych, ukazujące obrazy przestrzenne zmian widm w funkcji czasu, wśród których można wyróżnić:

- transformatę ciągłej analizy falkowej,
- transformatę Wagnera – Ville’a.

Celem przeprowadzonych badań było określenie, która z w/w metod jest bardziej przydatna w diagnozowaniu amortyzatorów zabudowanych w pojeździe z objawami zużycia eksploatacyjnego (wyciek płynu oraz ubytku szczelności tłoczka).

Obiektem badań był samochód osobowy, którego przednie zawieszenie tworzy klasyczny układ kolumn McPhersona ze sprężynami śrubowymi, poprzecznymi wahaczami trójkątnymi i stabilizatorami przechyłów. W kolumnach są zabudowane dwururowe amortyzatory hydrauliczne. Częścią nośną zawieszenia przedniego jest trzyczęściowa rama pomocnicza wykonana ze spawanych wytłoczek z blachy stalowej. Zwrotnica wykonana jest jako złożony odlew połączony z piastą koła i zestawem amortyzującym.

Przyjęta metodyka badań była następująca. Samochód z wyłączonym silnikiem, na biegu luzem, ze zwolnionym hamulcem pomocniczym ustawiany był kołem z badanym amortyzatorem w środkowej części płyty najazdowej wzbudnika. Po ustawieniu samochodu włączano pełny 3 etapowy cykl pobudzania. Parametrami mierzonymi były przyspieszenia drgań elementów nieresorowanych (wahacza, koła) i resorowanych (nadwozia) do przetwarzania, których zastosowano przetworniki pojemnościowe przyspieszeń drgań. Miejscami mocowania przetworników były:

- przetwornika dolnego - wahacz w pobliżu mocowania obudowy amortyzatora,
- przetwornika górnego – na gnieździe mocowania trzpienia amortyzatora w nadwoziu.

Osie działania przetworników pokrywały się z kierunkiem działania siły tłumienia amortyzatora. W pomiarach wykorzystywano moduł pomiarowy HAD-1200. Jest to 16-bitowa karta komputerowa. Moduł wyposażony jest w 12-bitowy przetwornik A/C, oraz multiplexer analogowy, umożliwiający pomiary z wykorzystaniem maksymalnie 8 kanałów w trybie różnicowym, lub 16 kanałów przy pracy ze wspólną masą. Procedura pomiarowa polegała na rejestracji sygnału przyspieszeń drgań koła i nadwozia z częstotliwością próbkowania 500 [Hz]. Baza danych w postaci przebiegów czasowych przyspieszeń drgań została utworzona w pamięci masowej komputera.

W badanym samochodzie zabudowywano amortyzatory o zidentyfikowanej na stanowisku indykatorowy charakterystyce tłumienia - nowe oraz z zaprogramowanymi uszkodzeniami. Uszkodzeniami tymi były ubytki płynu amortyzatorowego symulujące wycieki eksploatacyjne

oraz straty uszczelnienia tłoka. Pierwszy rodzaj uszkodzenia amortyzatora modelowano stopniem jego wypełnienia płynem. W tym celu w specjalnie przygotowanych do badań amortyzatorach zmniejszano objętość płynu określoną w procentach do objętości nominalnej (100%) amortyzatorów nowych. Przebadano amortyzatory o objętości 100% do 60% przy 5% stopniowaniu (95%, 90, itd.). Drugi rodzaj uszkodzenia modelowano procentowym ubytkiem uszczelnienia tłoka (2%, 4%, 6%). Tak przygotowane amortyzatory po identyfikacji na stanowisku inductorowym charakterystyk tłumienia zabudowywane w zawieszeniu samochodu badawczego, które poddawane było wymuszeniom kinematycznym wzbudnika drgań. Dokonując pomiarów uzyskiwano zbiory przyspieszeń drgań mas nieresorowanych i resorowanych odpowiadających względnym ruchom tłoka amortyzatora. Wyniki pomiarów poddano wymienionym analizom wielowymiarowym. Porównanie przeprowadzono w oknach czasowo – częstotliwościowych odpowiadających rezonansowi mas nieresorowanych (zawieszenia) i mas resorowanych (nadwozia). Z pośród wielu estymatorów dla celów porównawczych zaproponowano nowy, będący sumą maksymalnych wartości współczynników transformat w pasmach rezonansowych elementów nieresorowanych i resorowanych zdefiniowany następująco:

$$W_{max} = W_z + W_n, \quad (1)$$

gdzie:

W_z – maksymalna wartość współczynników transformaty w paśmie częstotliwości rezonansowej mas nieresorowanych,

W_n – maksymalna wartość współczynników transformaty w paśmie częstotliwości rezonansowej mas resorowanych.

2. Zastosowane metody analizy sygnałów

2.1. Ciągła transformata falkowa sygnałów - CWT

Do analizy wybrano falkę Morleta opisaną zależnością:

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

gdzie: C – stała normalizująca.

Falka ta służy do konstrukcji rodziny falek analizujących zdefiniowanych:

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \cdot \psi\left(\frac{t-b}{a}\right), \quad (3)$$

gdzie:

b - jest przesunięciem czasowym - $b \in R$,

$a > 0$ - jest tzw. współczynnikiem zwięzania-rozszerzania odpowiada za częstotliwościowy i czasowy zakres analizy.

Współczynniki reprezentujące realizowany sygnał w dziedzinie czas - skala opisuje zależność:

$$WT(a,b) = (x(t) * \psi_{a,b}) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \cdot \psi_{a,b}(t) dt = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt, \quad (4)$$

Zależność ta jest równoważna splotowi sygnału analizowanego $x(t)$ z falką analizującą $\psi_{a,b}(t)$.

Transformata falkowa przy mniejszych skalach wyodrębnia składowe wysokoczęstotliwościowe analizowanego sygnału. Zwiększenie skali powoduje przesunięcie reprezentowanego przez falkę filtru środkowoprzepustowego w kierunku mniejszych

częstotliwości. Jednocześnie dla rosnącej skali, mamy zmniejszenie pasma, czyli zwiększenie rozdzielczości w dziedzinie częstotliwości. Częstotliwość środkowa ω_0 i szerokość pasma B_0 zależą od wybranej falki analizującej.

2.2. Transformata Wignera – Ville’a

Transformata ta pozwala także przekształcić przebieg czasowy sygnału na jego widmo czasowo-częstotliwościowe. Zaletą tej metody jest duża rozdzielczość i czułość na zmiany amplitudowe.

Widmo czasowo– częstotliwościowe Wignera – Ville’a można przedstawić w postaci:

$$WVD(\theta, \tau) = \int x\left(t + \frac{\tau}{2}\right)x^*\left(t - \frac{\tau}{2}\right)e^{-j2\pi\theta t} e^{-\left(\frac{\theta\tau}{\sigma}\right)^2} dt, \quad (5)$$

gdzie:

- $WVD(\theta, \tau)$ - pseudo przekształcenie Wignera-Ville’a,
- $x^*(t)$ - sygnał zespolony sprzężony z $x(t)$,
- τ - przesunięcie w dziedzinie czasu,
- θ - przesunięcie w dziedzinie częstotliwości.

Niekorzystne zjawisko przecieku widma zredukowano przez filtrację. Na podstawie doświadczeń analitycznych i wiadomości literaturowych wykorzystano do tego celu okno analizy, jako funkcję wagową Choi-Williams’a w postaci:

$$\phi(\theta, \tau) = \exp(-\theta^2 \tau^2 / \sigma^2), \quad (6)$$

gdzie: σ – parametr proporcjonalny do amplitudy przecieku widma.

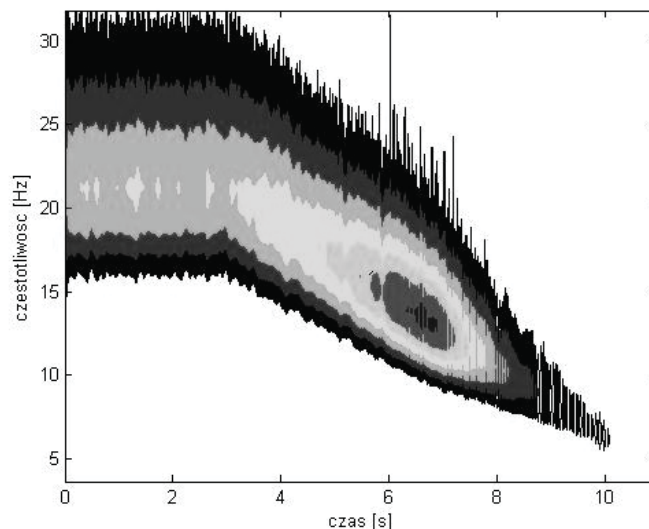
W wyniku doświadczeń do obliczeń przyjęto parametr tłumienia w oknie analizy Choi-Williams’a $\sigma=0,05$.

Potęgowanie w kwadracie sygnału poddanego transformacji (całkowanego) powoduje, że duża dynamika zmian amplitud sygnału zostaje jeszcze powiększona w jego widmie. Dlatego składniki o stosunkowo niewielkich wartościach amplitud są w widmie słabiej eksponowane, niż składowe o większej amplitudzie.

3. Wyniki analizy wielowymiarowej

3.1. Wyniki ciągłej transformaty falkowej

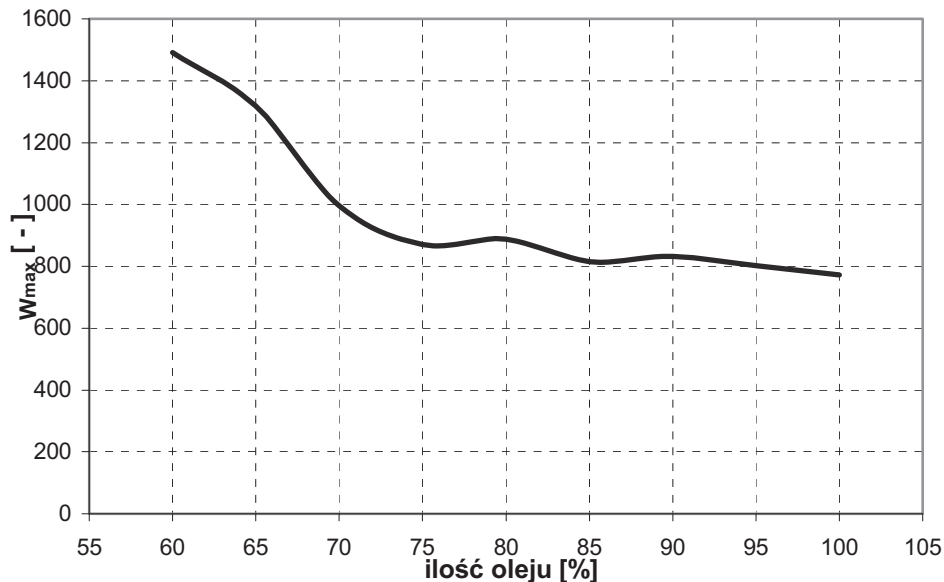
Ciągłą analizę falkową przeprowadzono w środowisku Matlab uzyskując wykresy przestrzenne rozkładu widma w funkcji czasu.



Rys. 1. Rozkład współczynników transformaty falkowej względnych przyspieszeń drgań
 Fig. 1. CWT distribution of relative vibration acceleration

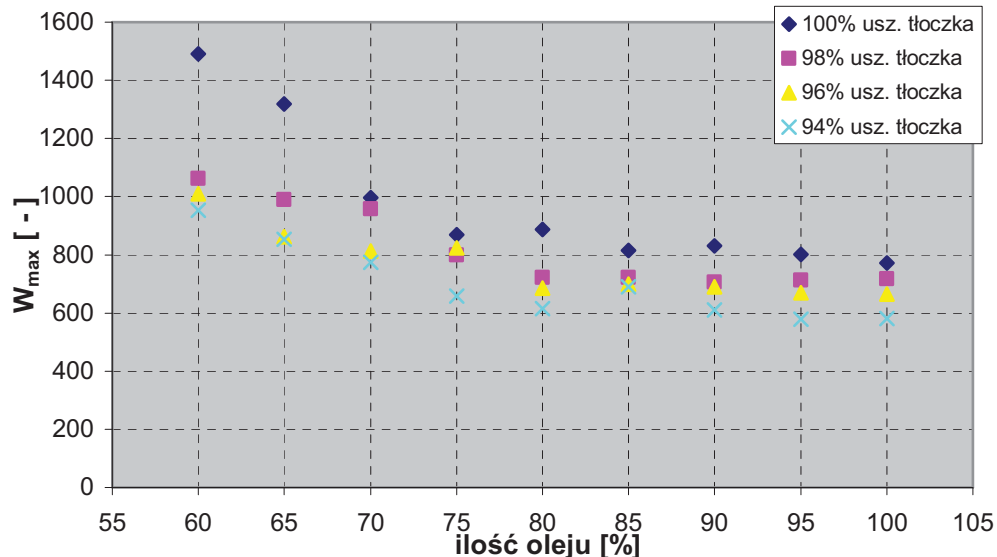
Przykładowe wyniki przedstawiono na rys. 1, 2, 3. Rys. 1 przedstawia wynik analizy falkowej CWT względnych przyspieszeń drgań mas resorowanych i nieresorowanych, które odpowiadają przyspieszeniom ruchu tłoka amortyzatora. Maksymalne wartości amplitud występują w oknie czasowym 6-7 s. przy częstotliwości około 13 Hz odpowiadającej częstotliwości rezonansowej zawieszenia.

Na rys. 2 przedstawiono rozkład wartości estymatora W_{max} w funkcji ubytku płynu amortyzatorowego.



Rys. 2. Wykres wartości estymatora W_{max} przy zmianie objętości płynu
Fig. 2. Diagram of W_{max} estimator values for oil volumes changes

Rysunek 3 jest wykresem zbiorczym uszkodzeń łącznych: ubytku płynu i procentowego ubytku uszczelnienia tłoczka amortyzatora.

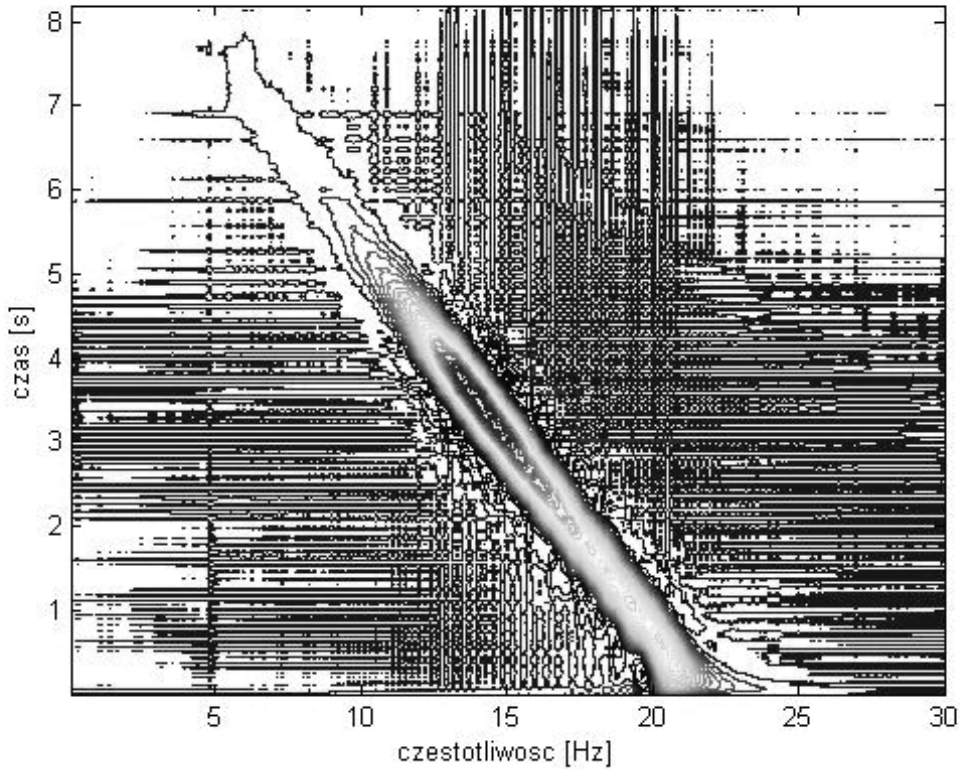


Rys. 3. Wykres zbiorczy wartości estymatora W_{max}
Fig. 3. Cumulative diagram of W_{max} estimator values

3.2. Wyniki transformaty Wignera-Ville'a

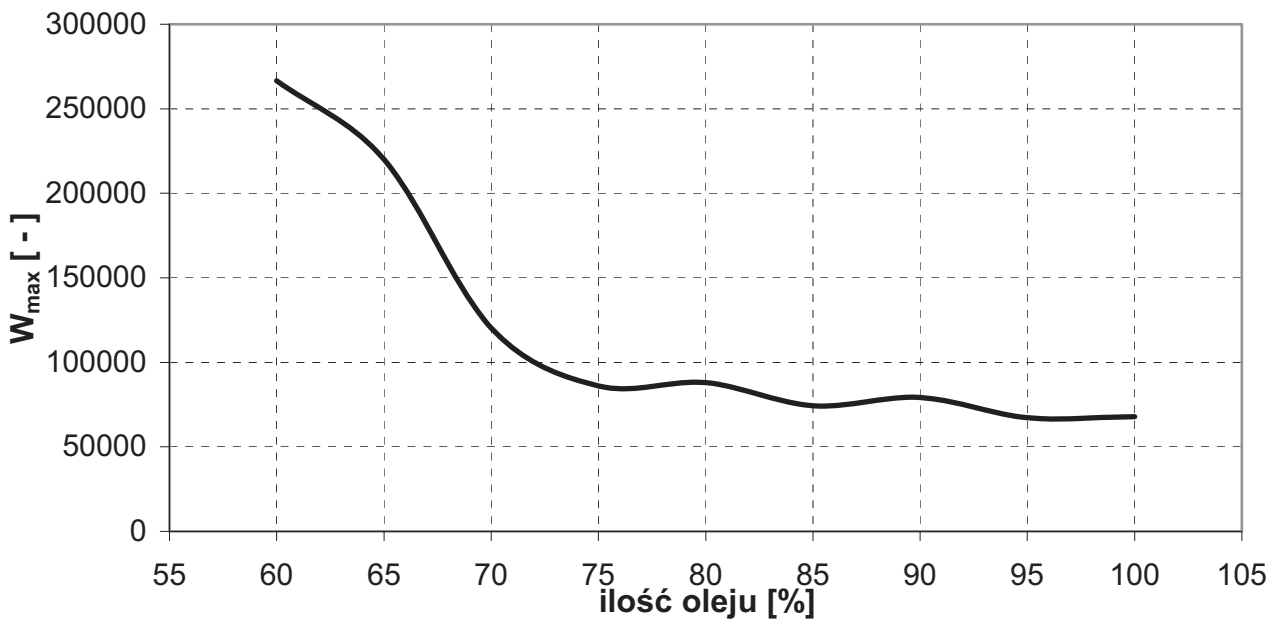
Wynik transformaty Wignera-Ville'a sygnału względnych przyspieszeń drgań przedstawiono w postaci rozkładu współczynników WVD na rysunku 4., zaś rozkład estymatora na rys. 5 i 6.

Wartości maksymalne występują w oknie czasowym 2,5-3,5 s przy częstotliwości rezonansowej zawieszenia (13 Hz).



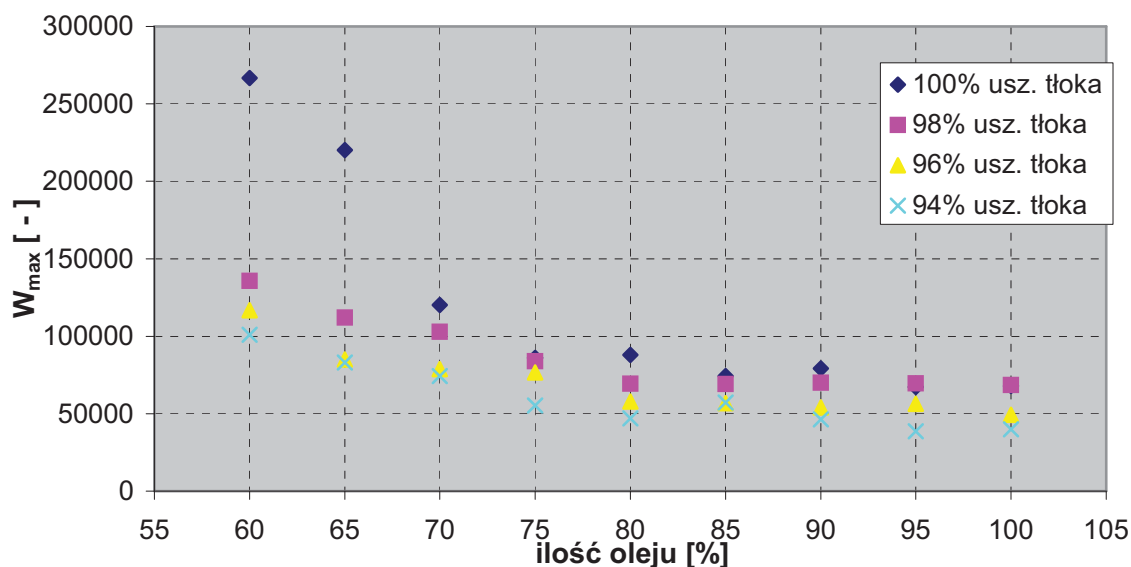
Rys. 4. Rozkład współczynników WV sygnału względnych przyspieszeń drgań
 Fig. 4. WV distribution of relative vibration acceleration

Zmiany wartości estymatora W_{max} w funkcji ubytku płynu amortyzatorowego przedstawia rysunek 5.



Rys. 5. Wykres zbiorczy wartości estymatora W_{max} przy zmianie objętości płynu
 Fig. 5. Diagram of W_{max} estimator values for oil volumes changes

Na rys. 6. przedstawiono wpływ ubytku płynu oraz procentowej wartości uszczelnienia tłoczka na wielkość estymatora.



Rys. 6. Wykres zbiorczy wartości estymatora W_{max}
Fig. 6. Cumulative diagram of W_{max} estimator values

4. Podsumowanie i wnioski

Zastosowane metody analiz wielowymiarowych nadają się w diagnostyce amortyzatorów zabudowanych w pojeździe do identyfikacji pojedynczego uszkodzenia – wycieku płynu amortyzatorowego. W zakresie od 0 do 20 % ubytku zmiany przyjętego estymatora są niewielkie. Dopiero powyżej 20% zmiany wartości estymatora rosną zwiększając jednoznaczność identyfikacji. W przypadku złożonego rodzaju uszkodzenia (ubytku płynu i straty uszczelnienia tłoczka) identyfikacja uszkodzeń jest utrudniona ze względu na pewne zakresy, dla których pokrywają się wartości przyjętego estymatora. Mniejsze przedziały niejednoznaczności występują przy analizie falkowej. Transformata Wagnera Ville'a opiera się na dwukrotnym przekształceniu Fouriera. Wymaga próbkowania sygnału ciągłego, z co najmniej dwukrotnie większą częstotliwością od kryterium Nyquista, aby uniknąć aliasingu. Wynika stąd wada tej metody, którą jest długi czas analizy oraz duże wymagania sprzętowe. W analizie falkowej ilość oscylacji falki jest stała, a zmianie częstotliwości towarzyszy proporcjonalna zmiana czasowego zasięgu falki. Analiza niestacjonarnych własności spektralnych sygnału wymaga posługiwania się oknami, które automatycznie zwiężają się przy wysokich częstotliwościach i ulegają automatycznemu rozszerzeniu przy analizie niskich częstotliwości. Zaletą CWT w porównaniu WVD jest krótki czas analizy. Dlatego bardziej nadaje się do diagnozowania uszkodzeń amortyzatorów zabudowanych w pojeździe.

Literatura

- [1] Batko, W., Krzyworzeka, P., *A Wavelet Analysis Approach to Runout Elimination in Bearings Monitoring*, Proc. 6ICSV, Copenhagen, 1999.
- [2] Batko, W., Ziółko, M., *Zastosowanie teorii falek w diagnostyce technicznej*, Wyd. WIMiR, Kraków, 2002.
- [3] Białasiewicz, J. T., *Falki i aproksymacje*. WNT, Warszawa, 2000.

- [4] Burdzik, R., *Automatyczne diagnozowanie stanu technicznego amortyzatorów zabudowanych w samochodach osobowych* – praca doktorska, Katowice, 2006.
- [5] Burdzik, R., Gardulski, J., Konieczny, Ł., *Wykorzystanie transformaty Wignera-Ville'a do identyfikacji ilościowej wycieku płynu amortyzatorowego*. Zeszyty Naukowe Pol. Śl. S. Transport z. 57, Gliwice, 2005.
- [6] Burdzik, R., Gardulski, J., Konieczny Ł., *Wykorzystanie STFT w identyfikacji stanu technicznego amortyzatorów badanych metodą drgań swobodnych*, Zeszyty Naukowe Pol. Śl. S. Transport z. 57, Gliwice, 2005.
- [7] Gardulski, J., *Bezstanowiskowa metoda oceny stanu technicznego zawiesznień samochodów osobowych*, Katowice-Radom, 2003.
- [8] Gardulski, J., Warczek, J., *Względne przyspieszenia drgań jako podstawa diagnostyki elementów zawiesznień pojazdów samochodowych*, V Krajowa Konferencja Diagnostyka Techniczna Urządzeń i Systemów, Ustroń, 2003.
- [9] Radkowski, S., *Wibroakustyczna diagnostyka uszkodzeń niskoenergetycznych*, Warszawa -Radom, 2002.
- [10] Reipell, J., Betzler, J., *Podwozia samochodów – podstawy konstrukcji*, WKiŁ Warszawa, 2001.