

## TRANSFORMATA WIGNERA-VILLE'A JAKO NARZĘDZIE DIAGNOSTYCZNE DO IDENTYFIKACJI USZKODZEŃ AMORTYZATORÓW SAMOCHODOWYCH

Janusz GARDULSKI, Rafał BURDZIK, Łukasz KONIECZNY

Politechnika Śląska, Wydział Transportu, Katedra Budowy Pojazdów Samochodowych  
40-019 Katowice ul. Krasińskiego 8 , email: burdzik@polsl.katowice.pl

### Streszczenie

W artykule przedstawiono zastosowanie transformaty Wignera-Ville'a jako narzędzia do identyfikowania ubytku płynu oraz uszczelnienia tłoczka w amortyzatorach samochodów osobowych. Analizowano sygnały drganiowe generowane przez masy nieresorowane i resorowane pobudzone do drgań harmonicznym wymuszeniem kinematycznym. Jako miarę diagnostyczną zaproponowano estymatory punktowe.

Słowa kluczowe: transformata Wignera-Ville'a, amortyzator samochodowy, diagnostyka

### WIGNER-VILLE DISTRIBUTION AS DIAGNOSTIC TOOL FOR SHOCK ABSORBERS DEFECTS IDENTIFICATION

#### Summary

The paper presents results of Wigner-Ville analysis as leak of shock absorber fluid and plunger seal loss detection method. This method is based on vibration signals. It have been suggest the point estimators as the diagnosis measure.

Keywords: Wigner-Ville distribution, car shock absorber, diagnostic

## 1. WPROWADZENIE

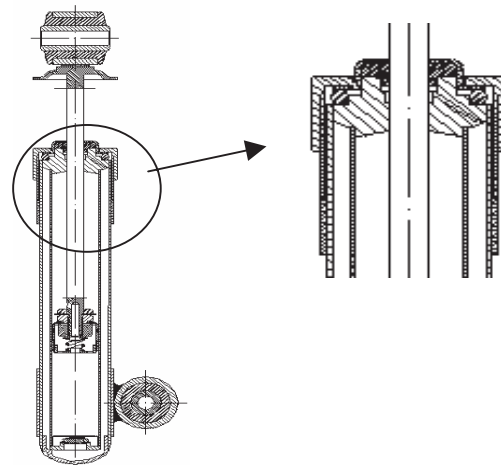
Prawidłowa praca zawiesznień pojazdów samochodowych wpływa bezpośrednio na bezpieczeństwo ruchu samochodowego oraz stan nawierzchni dróg. W trakcie badań okresowych prowadzonych w Stacjach Kontroli Pojazdów (SKP) szczególną uwagę zwraca się na stan techniczny zawiesznień. Amortyzatory, jako elementy odpowiedzialne za prawidłowe tłumienie drgań nadwozia, badane są w SKP metodą bezdemontażowa, wg kryteriów ustalonych przez Europejskie Stowarzyszenie Producentów Amortyzatorów (EUSAMA). Głównym mankamentem tej metody jest brak informacji o rodzaju powstającego uszkodzenia i stopniu jego zaawansowania w trakcie eksploatacji pojazdu. Najczęściej występującymi usterkami amortyzatorów są wycieki płynu i ubytek uszczelnienia tłoczka. Uszkodzenia te są trudno diagnozowalne pod względem ilościowym. Powyższe zagadnienia są przedmiotem przeprowadzonych badań.

Jako nośnik informacji diagnostycznej wykorzystano sygnały wibroakustyczne generowane przez masy pojazdu pobudzone do drgań.

## 2. METODA BADAŃ

W badaniach wykorzystano samochód marki Skoda Fabia, w którym zabudowywano amortyzatory z wcześniej zamodelowanymi

usterkami. Przyjęty zakres badań wymagał dokonania modyfikacji nierozbieralnych amortyzatorów fabrycznych na amortyzatory rozbieralne umożliwiające wprowadzenie zaprogramowanych uszkodzeń. Modyfikacja polegała na obcięciu osłony górnej amortyzatora, wykonaniu pasowanej tulei z gwintem zewnętrznym oraz nakrętki zamykającej amortyzator zawierającej oryginalne uszczelnienia (Rys. 1). Tak przygotowany materiał badawczy został poddany badaniom na stanowisku indykatorowym co pozwoliło wyznaczyć charakterystyki amortyzatorów o zidentyfikowanym stanie technicznym.

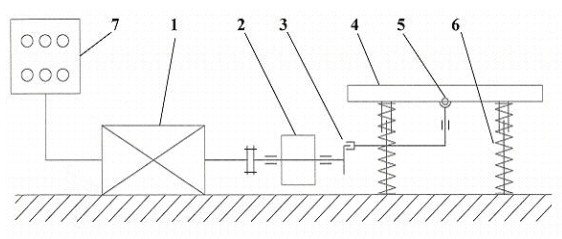


Rys. 1. Amortyzator po modyfikacji (rozbieralny)

Zamodelowano następujące uszkodzenia:

- ubytek płynu amortyzatorowego, od 0% (nowy) do 40% z 10% stopniowaniem.
- ubytek uszczelnienia tłoczka od 0% (nowy) do 6% z 2% stopniowaniem.

Amortyzatory o zidentyfikowanym stanie technicznym po zabudowaniu w pojeździe przebadano na stanowisku o wymuszeniu harmonicznym. Schemat kinematyczny stanowiska przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Schemat kinematyczny stanowiska o wymuszeniu harmonicznym:

1. silnik napędowy
2. masa wirująca
3. układ korbowy (mimośrodowy)
4. płyta wymuszająca
5. łącznik
6. łożyskowane kolumny prowadzące
7. przetwornik częstotliwości z układem sterującym

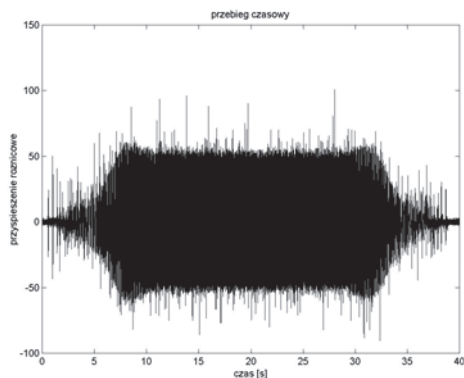
Do pomiarów wykorzystano pojemnościowe przetworniki przyspieszeń, które mocowano w wybranych punktach za pomocą magnesu:

- na gnieździe kolumny zawieszenia w kierunku działania siły tłumienia,
- na wahaczu dolnym - w pobliżu miejsca mocowania dolnej części amortyzatora,

Rejestrowano przyspieszenia drgań koła (masa nieresorowana) i nadwozia (masa resorowana).

### 3. METODA ANALIZY

Analizie poddano sygnały różnicowe przyspieszeń drgań masy nieresorowanej i resorowanej.



Rys. 3. Przykładowy sygnał różnicowy rejestrowanych przyspieszeń drgań

Przyspieszenia drgań analizowano w dziedzinie czasu i częstotliwości. Wykorzystano do tego celu transformatę Wignera-Ville'a (WVD) z funkcją wagową Choi-Williams'a. Matematyczny zapis wykorzystanego przekształcenia jest następujący:

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

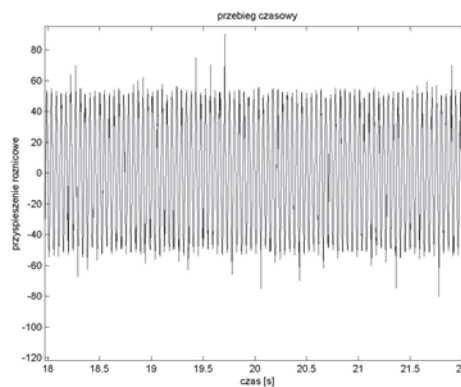
gdzie:

- $x^*(t)$  – sygnał zespolony sprzężony z  $x(t)$
- $\tau$  – przesunięcie w dziedzinie czasu
- $\theta$  – przesunięcie w dziedzinie częstotliwości
- $\sigma$  – parametr proporcjonalny do amplitudy przecieku widma

Zarejestrowane przebiegi sygnałów w czasie przedstawiono na płaszczyźnie czasowo-częstotliwościowej. Zaletą tej metody jest duża rozdzielczość w dziedzinie częstotliwości i czułość na zmiany amplitudowe.

Algorytm realizujący tę transformatę w środowisku Matlab wykorzystuje między innymi dwukrotne przekształcenie Fouriera, by uniknąć zjawiska aliasingu konieczne jest próbkowanie sygnału ciągłego z co najmniej dwukrotnie większą częstotliwością od kryterium Nyquista [1].

Do dalszej analizy wybrano przedział czasowy, który zawiera się w okresie pracy układu z wymuszeniem ze stałą częstotliwością (od 18 do 22 sekundy) Rys. 4.

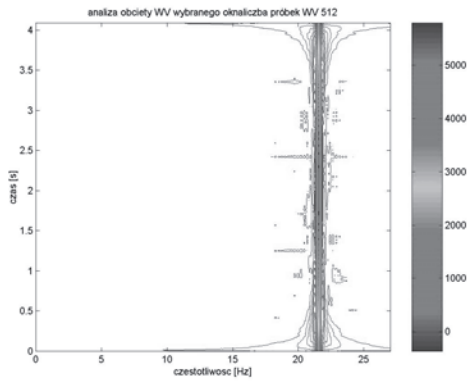


Rys. 4. Przykładowy przebieg czasowy analizowanego sygnału

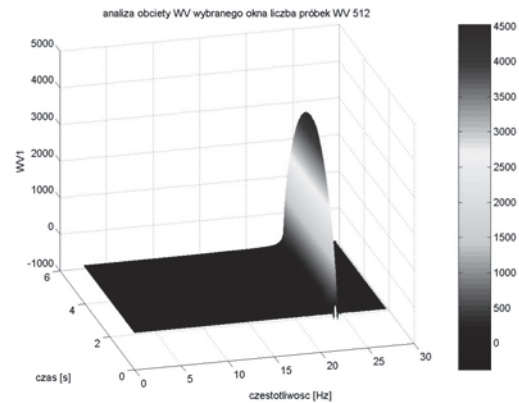
### 3. WYNIKI

Przykładowe wyniki analiz z wykorzystaniem transformaty Wignera-Ville'a przedstawiono na rysunkach: 5, 6, 7 i 8:

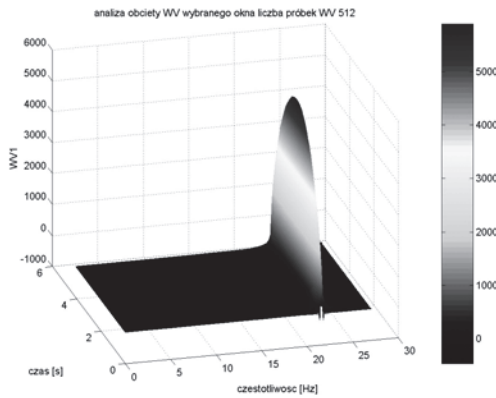
- rys. 5 i 7 to płaskie wykresy warstwicowe w układzie współrzędnych czas-częstotliwość z naniesionymi gęstościami mocy.
- rys. 6 i 8 wyniki w układzie przestrzennym (częstotliwość-czas-WV1).



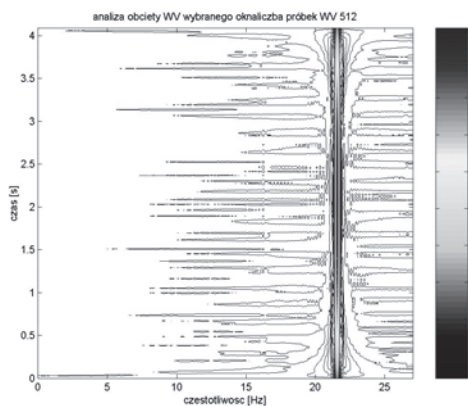
Rys. 5. Rozkład czasowo-częstotliwościowy dla amortyzatora z 20% ubytku płynu amortyzatorowego i 2% ubytkiem uszczelnienia tłoczka



Rys. 8. Przestrzenny rozkład czasowo-częstotliwościowy dla amortyzatora z 20% ubytku płynu amortyzatorowego i 4% ubytkiem uszczelnienia tłoczka



Rys. 6. Przestrzenny rozkład czasowo-częstotliwościowy dla amortyzatora z 20% ubytku płynu amortyzatorowego i 2% ubytkiem uszczelnienia tłoczka



Rys. 7. Rozkład czasowo-częstotliwościowy dla amortyzatora z 20% ubytku płynu amortyzatorowego i 4% ubytkiem uszczelnienia tłoczka

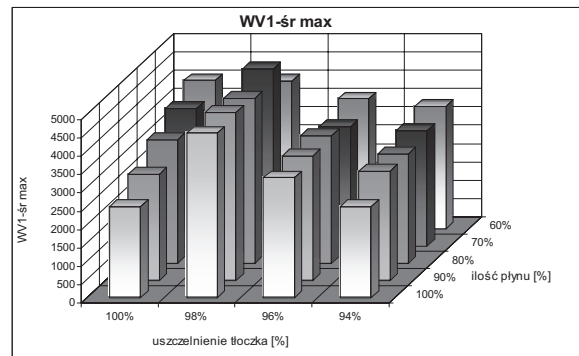
#### 4. ANALIZA WYNIKÓW

Wykorzystanie transformaty Wignera-Ville'a umożliwia jakościową ocenę w identyfikacji usterek amortyzatorów. Uzyskane wykresy nie pozwalają jednak na jednoznaczną ocenę ilościową. Dlatego do identyfikacji ilościowej zaproponowano dwa estymatory punktowe:

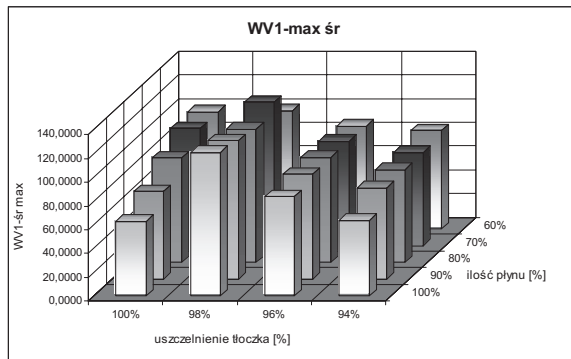
-  $WVI_{sr. max}$  wyznaczany w następujący sposób: w analizowanym przedziale czasowym uśredniono wartości WV w pasmach częstotliwościowych o szerokości  $\Delta f = 0,06$  Hz. Dla tak wyznaczonego rozkładu uśrednionych wartości wyznaczana jest maksimum, które nazwano  $WVI_{sr. max}$ .

-  $WVI_{max sr.}$  uzyskując go poprzez wyznaczenie maksymalnych wartości WV w pasmach częstotliwościowych o szerokości  $\Delta f = 0,06$  Hz w analizowanym przedziale czasowym. Dla tak otrzymanego rozkładu maksymalnych wartości wyznaczana jest średnia, którą oznaczono  $WVI_{max sr.}$

Poniżej przedstawiono wykresy wartości  $WVI_{sr. max}$  i  $WVI_{max sr.}$  dla amortyzatorów z różnymi stopniami napełnienia płynem i różnymi ubytkami uszczelnienia tłoczka.



Rys. 9. Rozkład estymatora  $WVI_{sr. max}$  dla różnych stopni napełnienia płynem i ubytków uszczelnień tłoczka amortyzatorów



Rys. 10. Rozkład estymatora  $WV1_{max\ \acute{s}r}$  dla różnych stopni napełnienia płynem i ubytków uszczelnień tłoczka amortyzatorów

## 5. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Przedstawione estymatory są czułe na zmiany ilości płynu amortyzatorowego i stopnia ubytku uszczelnienia tłoczka. Wartość obu estymatorów wzrasta wraz ze wzrostem ilości wycieku płynu. Analizowane miary nie pozwalają jednak na jednoznaczną identyfikację ilościową ubytku uszczelnienia tłoczka.

Estymator  $WV1_{śr.\ max}$  wykazał większą dynamikę zmian wraz ze wzrostem ubytkiem płynu i wzrostem ubytku uszczelnienia tłoczka. Jego wartość maleje wraz ze wzrostem stopnia ubytku uszczelnienia tłoczka. Dla amortyzatorów z brakiem ubytku uszczelnienia tłoczka wartości te są mniejsze od tych obliczonych dla 2% ubytku lecz potem ze wzrostem tego ubytku wartość estymatora stopniowo maleje.

Dalsze badania posłużą znalezieniu miary, która jednoznacznie określać będzie stopień uszczelnienia tłoczka.

## LITERATURA

- [1] Gardulski J.: Bezstanowiskowa metoda oceny stanu technicznego zawieszonych samochodów osobowych, ITE Katowice-Radom 2003.
- [2] Gardulski J., Burdzik R., Konieczny Ł.: Identyfikacja uszkodzeń amortyzatorów samochodowych przy wykorzystaniu transformaty Wignera-Ville'a, XXXII Ogólnopolskie Sympozjum Diagnostyka Maszyn Węgierska Górka 2005.
- [3] Gardulski J., Warczek J.: Analiza dwuwymiarowa przyspieszeń drgań pojazdu samochodowego w aspekcie diagnostyki układu zawieszenia, XXX Ogólnopolskie Jubileuszowe Sympozjum Diagnostyka Maszyn Węgierska Górka 2003.
- [4] Zalewski A., Cegięła R.: Matlab – obliczenia numeryczne i ich zastosowanie, WNT Poznań 1996.



Prof. n.z. dr hab. inż. Janusz Gardulski jest pracownikiem naukowym Katedry Budowy Pojazdów Samochodowych Wydziału Transportu Politechniki Śląskiej. Zainteresowania badawcze: diagnostyka wibroakustyczna, dynamika zawieszonych pojazdów samochodowych, modelowanie nieliniowych obiektów mechanicznych, minimalizacja hałasu i drgań w obiektach technicznych. Jest autorem i współautorem 3 monografii, książek i skryptów, ok. 70 artykułów opublikowanych w czasopiśmie i materiałach konferencyjnych. Członek PTPE, PTDT, oraz różnych sekcji Komitetu Budowy Maszyn i Komitetu Transportu PAN.



Mgr inż. Rafał Burdzik jest doktorantem w Katedrze Budowy Pojazdów Samochodowych Wydziału Transportu Politechniki Śląskiej. Zainteresowania: diagnostyka maszyn, cyfrowe przetwarzanie sygnałów, logistyka i spedycja.



Mgr inż. Łukasz Konieczny jest doktorantem w Katedrze Budowy Pojazdów Samochodowych Wydziału Transportu Politechniki Śląskiej. Zainteresowania: diagnostyka maszyn, cyfrowe przetwarzanie sygnałów, komputerowe wspomaganie projektowania.