

Janusz GARDULSKI, Rafał BURDZIK

## METODY DIAGNOZOWANIA STANU TECHNICZNEGO AMORTYZATORÓW ZABUDOWANYCH W SAMOCHODACH OSOBOWYCH

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono nową metodę diagnozowania amortyzatorów samochodów osobowych. Zaproponowano metodykę obliczania estymatorów diagnostycznych z przetworzonych za pomocą transformat STFT, CWT, WVD sygnałów drganiowych. Wyznaczone miary stanu technicznego amortyzatora wykazały czułość na analizowane uszkodzenia.

### METHODS OF BUILD IN CAR SHOCK ABSORBERS DIAGNOSIS

**Summary.** The paper presents new method of passenger cars shock-absorbers diagnosis. It were proposed technical condition estimators based on STFT, CWT, WVD analysis of vibration signals analytical algorithm. Determined shock-absorber technical condition measures show simulations defects sensitivity.

#### 1. WSTĘP

Jedną z najczęstszych przyczyn technicznych wypadków samochodowych jest nieprawidłowy stan zawieszenia pojazdu. Policyjne statystyki okoliczności powstania wypadków z przyczyn technicznych pokazują największy wzrost procentowego udziału spowodowany uszkodzeniem układu zawieszenia. W roku 1995 było to zaledwie 5,4% z ogółu wypadków spowodowanych złym stanem technicznym pojazdu, a w 1998 roku wskaźnik ten wynosił już 21,6% [2,3]. Wynika to ze zwiększonego udziału samochodów starszych w ruchu drogowym, ale także niedoskonałości metod kontrolnych zawiesznień.

Diagnostyka samochodowa powinna umożliwiać określenie stanu technicznego samochodu w celu ustalenia źródeł niedomagań, bez demontażu jego zespołów i podzespołów. Metody diagnozowania podzespołów samochodowych ulegają ciągłej ewolucji związanej z rozwojem nauki, metod i narzędzi analiz, rozwojem metod identyfikacji itp. Początkowo w diagnostyce pojazdów samochodowych stosowane były wyłącznie przyrządy mechaniczne, później optyczne, a następnie elektroniczne. Zmiany te wpłynęły na rozwój metod oceny stanu technicznego i pozyskiwania symptomów diagnostycznych.

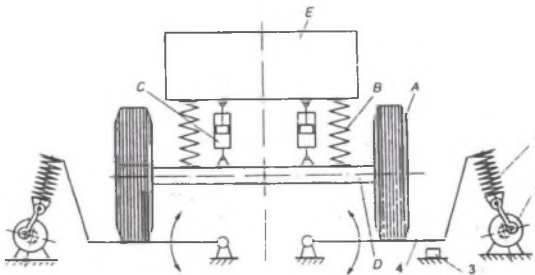
#### 2. METODY BADAŃ AMORTYZATORÓW W STACJACH KONTROLI POJAZDÓW

Badania amortyzatorów zabudowanych w pojeździe przeprowadza się, wykorzystując:

- metodę drgań swobodnych,
- metodę drgań wymuszonych.

Druga z tych metod znalazła większe zastosowanie na Stacjach Kontroli Pojazdów (SKP). Metoda ta polega na wymuszeniu drgań pionowych badanego koła powyżej częstotliwości drgań własnych elementów nieresorowanych i resorowanych pojazdu. Wpływ tłumienia układu na wartości rejestrowanych amplitud w paśmie rezonansu umożliwia ocenę stopnia tłumienia. Firma BOGE oraz Europejskie Stowarzyszenie Producentów Amortyzatorów (EUSAMA) w oparciu o metodę drgań wymuszonych opracowały własne urządzenia badawcze i metody oceny amortyzatorów.

Na stanowisku firmy BOGE rejestrowane są amplitudy drgań w funkcji czasu, które porównuje się z charakterystykami wzorcowymi dla danego modelu samochodu. Stosowanie jako miary dekrementu tłumienia zasadne jest tylko dla układów liniowych, co dyskwalifikuje tę metodę.



Rys. 1. Schemat urządzenia BOGE  
Fig. 1. BOGE equipment diagram



Rys. 2. Przykładowy wynik badań amortyzatora na urządzeniu BOGE

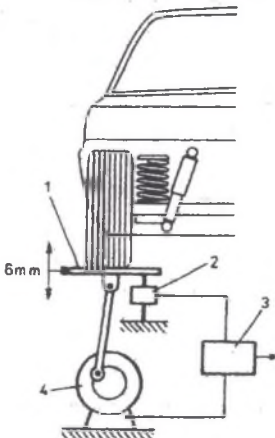
Fig. 2. BOGE testing results example

Na rys. 1 oznaczono: 1 - silnik, 2 - sprężyna o sztywności większej niż sprężyna resorowa zawieszenia, 3 - ultradźwiękowy przetwornik przemieszczeń, 4 - płyta najazdowa; A - badane koło, B - element resorujący, C - amortyzator, D - oś pojazdu, E - nadwozie pojazdu.

W metodzie EUSAMA wielkościami mierzonymi są siły nacisku koła jezdnego na płytę stanowiska, następnie wyznaczana jest wartość EUSAMA (WE) wg zależności:

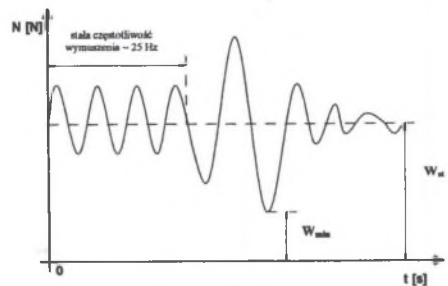
$$WE = \frac{W_{\min}}{W_{st}} \cdot 100\% \quad (1)$$

gdzie:  $W_{\min}$  – zmierzona minimalna siła nacisku badanego koła do podłoża,  
 $W_{st}$  – statyczna siła nacisku badanego koła do podłoża (spoczynkowa).



Rys. 3. Schemat stanowiska do badań amortyzatorów wg metody EUSAMA

Fig. 3. Diagram of EUSAMA equipment for shock absorbers testing



Rys. 4. Graficzna interpretacja współczynnika EUSAMA

Fig. 4. EUSAMA coefficient graphical interpretation

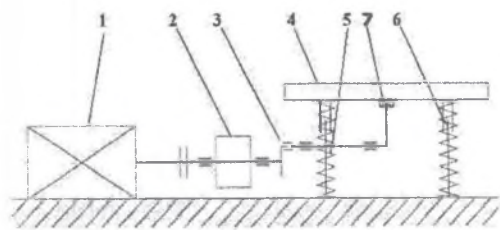
Oznaczenia na rysunku 3: 1- płyta najazdowa, 2 - tensometryczny układ pomiarowy, 3 - układ analizujący, 4 - silnik elektryczny.

Współczynnik EUSAMA charakteryzuje ogólny system oceny (bardzo dobry, dobry, dopuszczalny, zły – procentowe przedziały). Ponadto gdy wskaźnik  $WE \leq 40\%$ , należy celem identyfikacji dokonać badań amortyzatorów po wybudowaniu z pojazdu na stanowisku indykatorowym.

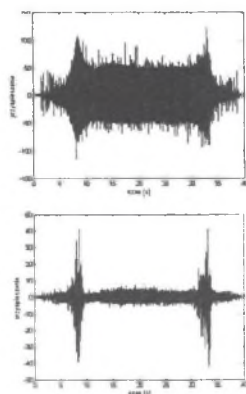
Reasumując, przedstawione wyżej metody nie spełniają założenia diagnostyki technicznej, jakim jest identyfikacja rodzaju uszkodzenia.

### 3. NOWA METODA DIAGNOZOWANIA AMORTYZATORÓW

Głównym założeniem badań mających na celu opracowanie nowej metody diagnozowania stanu technicznego amortyzatorów była możliwość badań bezdemontażowych na urządzeniach będących wyposażeniem SKP. Opracowana metoda wykorzystuje stanowisku o wymuszeniu kinematycznym. Rejestrowanymi wielkościami są przyspieszenia drgań elementów nieresorowanych i resorowanych, ponieważ są źródłem sygnałów o dużej zawartości informacji o stanie badanego obiektu.



Rys. 5. Schemat kinematyczny wzbudnika drgań:  
Fig. 5. Kinematic diagram of vibration inductor



Rys. 6. Przyspieszenia drgań elementów nieresorowanych

Fig. 6. Non-springing elements vibration acceleration

Rys. 7. Przyspieszenia drgań elementów resorowanych

Fig. 7. Springing elements vibration acceleration

Oznaczenia na schemacie wzbudnika drgań: 1 - silnik napędowy, 2 - masa wirująca, 3 - układ korbowy, 4 - płyta najazdowa, 5 - sprężyny dociskowe, 6 - pionowe kolumny prowadzące, 7 - prowadnice suwakowe.

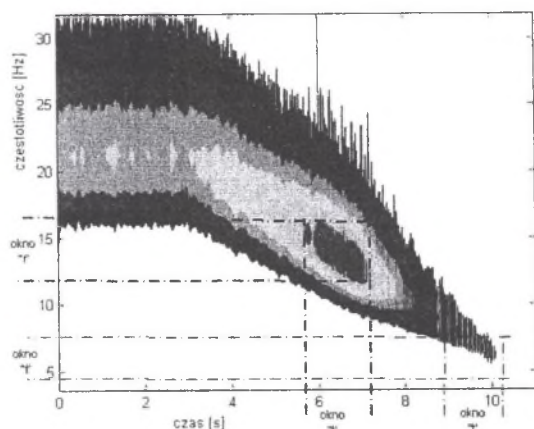
Jako sygnały diagnostyczne wykorzystano przyspieszenia drgań tłoczyska amortyzatora względem obudowy, wyznaczone jako różnica zarejestrowanych przyspieszeń drgań koła i nadwozia badanego pojazdu. Do dalszej analizy wybrano sygnał drganiowy zarejestrowany po wyłączeniu napędu wzbudnika. Niestacjonarny charakter względnych przyspieszeń drgań narzuca konieczność stosowania metod analiz sygnału, które umożliwią obserwację zmian sygnału w dziedzinach czasu i częstotliwości. Wykorzystano do tego celu następujące przekształcenia:

- krótkoczasową transformatę Fouriera (STFT),
- ciągłą transformatę falkową (CWT),
- transformatę Wignera-Ville'a (WVD).

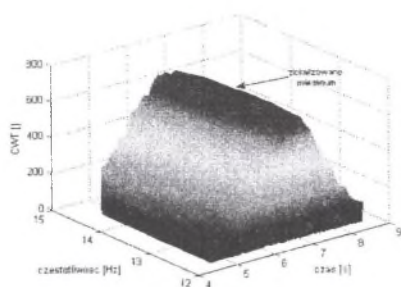
Wynikiem tych przekształceń są rozkłady sygnału w dziedzinach czas-częstotliwość, które wykorzystano do wyznaczenia częstotliwości rezonansowych mas nieresorowanych i resorowanych. Opracowano automatyczną programową pętlę wyszukującą wartości maksymalne wyznaczonych współczynników oraz ich położenie w dziedzinie czasu i częstotliwości. Następnie wyznaczano przebiegi uśrednionych współczynników

przekształceń w oknach czasowo-częstotliwościowych zlokalizowanych rezonansów mas resorowanych i nieresorowanych.

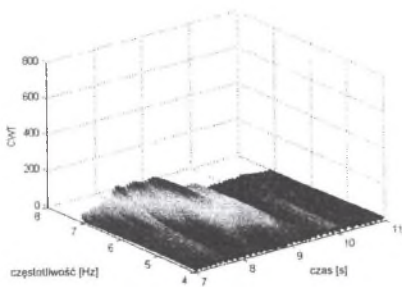
Przykładowe wyniki na podstawie przekształcenia CWT przedstawiono na rysunkach 8 - 12.



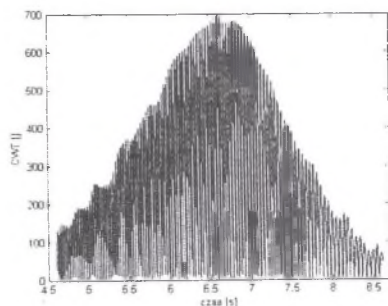
Rys. 8. Rozkład współczynników falkowych  
Fig. 8. CWT distribution



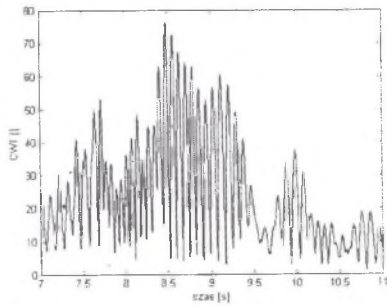
Rys. 9. Rezonans zawieszenia  
Fig. 9. Suspension resonance



Rys. 10. Rezonans nadwozia  
Fig. 10. Motor-car body resonance

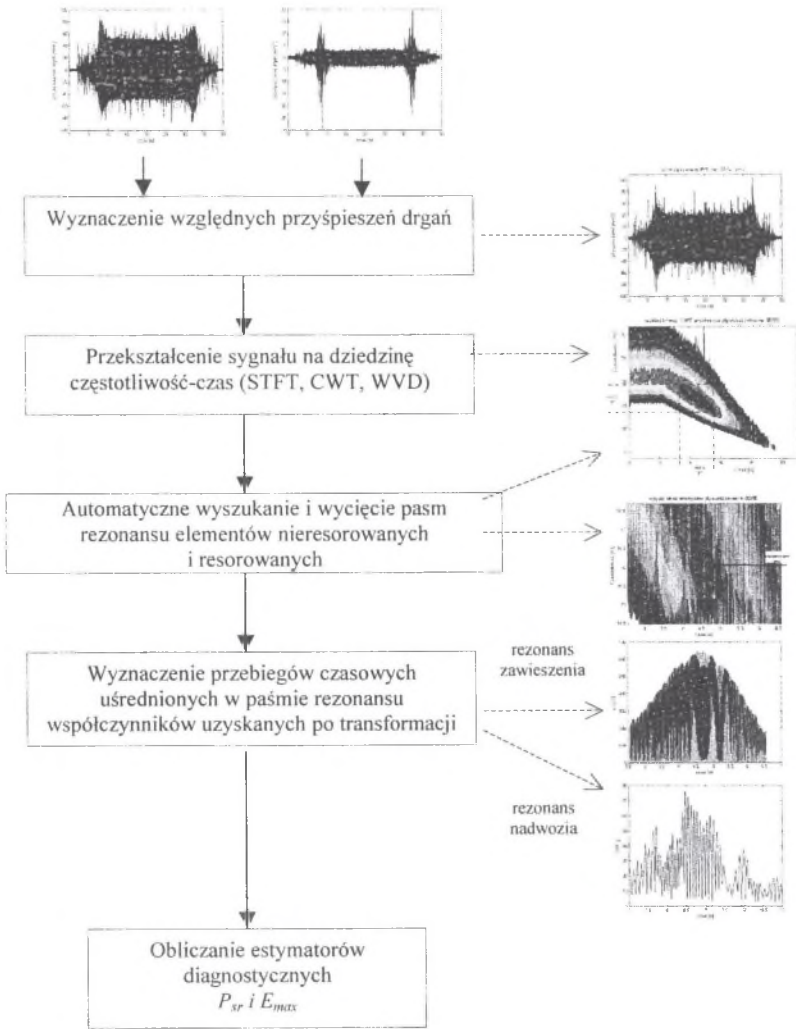


Rys. 11. Uśrednione współczynniki – rezonans zawieszenia  
Fig. 11. Averaging coefficients - suspension resonance



Rys. 12. Uśrednione współczynniki – rezonans nadwozia  
Fig. 12. Averaging coefficients - motor-car body resonance

Uzyskane w wyniku zastosowania przekształcenia sygnału rozkłady uśrednionych wartości współczynników transformat czasowo-częstotliwościowych pozwoliły na wyznaczenie estymatorów diagnostycznych, określających stan techniczny amortyzatorów. Metodę postępowania przedstawiono w postaci algorytmicznej na rysunku 13.



Rys. 13. Algorytm obliczeniowy estymatorów stanu technicznego amortyzatora na podstawie analizy wielowymiarowej sygnałów przyspieszeń drgań pojazdu

Fig. 13. Technical condition estimators based on multidimensional analysis of vibration acceleration signals analytical algorithm

W referacie przedstawiono rozkłady wartości estymatorów  $P_{sr}$  i  $E_{max}$  wyznaczanych ze wzorów:

$$P_{sr} = \frac{\int_0^T w_{sr}(t) dt}{P_0} \quad (2)$$

gdzie:

$w_{sr}(t)$  - rozkład czasowy uśrednionych wartości współczynników transformaty w paśmie częstotliwości rezonansowych zawieszania,  
 T - analizowany czas przejścia układu przez częstotliwości rezonansowe zawieszania,  
 t - czas próbkowania,

$P_0$  - pole jednostkowe ( $P_0=1\text{m}^2$ ).

$$E_{\max} = Wz_{\max} + Wn_{\max} \quad (3)$$

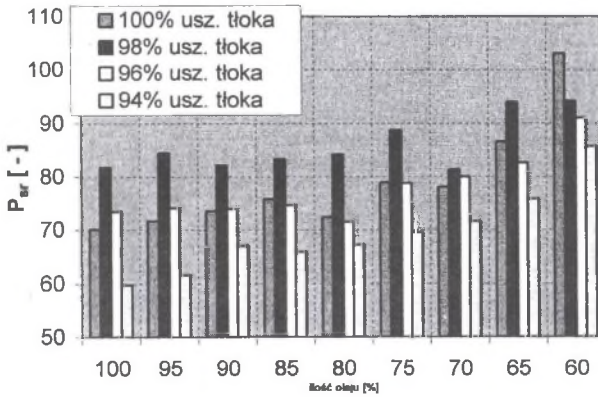
gdzie:

$Wz_{\max}$  - maksymalna wartość średnich współczynników transformaty w paśmie rezonansu zawieszenia (koła),

$Wn_{\max}$  - maksymalna wartość średnich współczynników transformaty w paśmie rezonansu nadwozia.

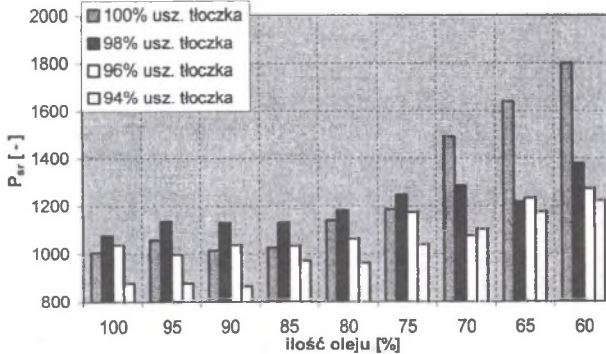
W trakcie czynnego eksperymentu diagnostycznego badano zawieszenia z zabudowanymi amortyzatorami o zidentyfikowanym stanie technicznym. Wprowadzano uszkodzenia, zmieniając ilość oleju amortyzatorowego i wycinając procentową część z powierzchni roboczej uszczelnienia tłoka.

Wyniki w postaci graficznej przedstawiają wartości wybranych estymatorów stanu technicznego amortyzatora dla analizowanych uszkodzeń określonych liczbą oleju amortyzatorowego i uszczelnienia tłoka, wyznaczone na podstawie przekształceń sygnału diagnostycznego za pomocą STFT, CWT i WVD.



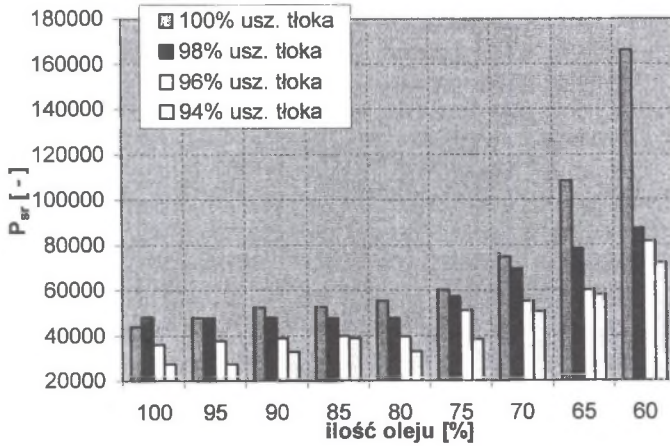
Rys. 14. Rozkład wartości estymatora  $P_{sr}$  (STFT)

Fig. 14.  $P_{sr}$  estimator distribution (STFT)

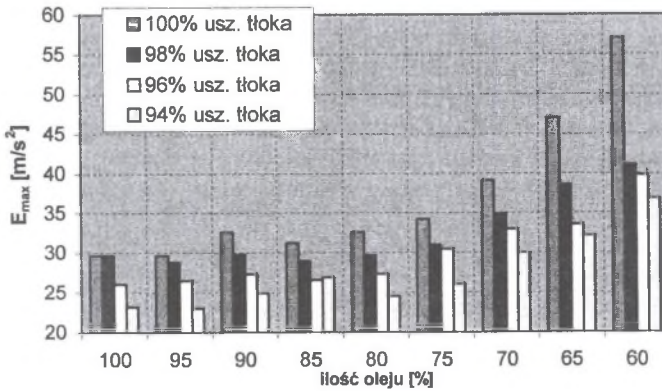


Rys. 15. Rozkład wartości estymatora  $P_{sr}$  (CWT)

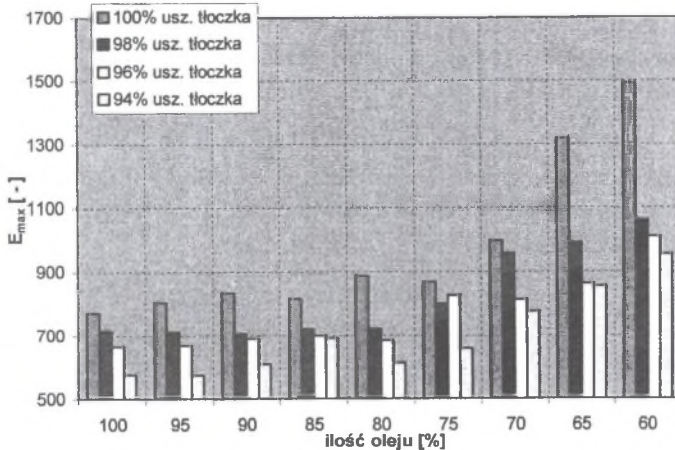
Fig. 15.  $P_{sr}$  estimator distribution (CWT)



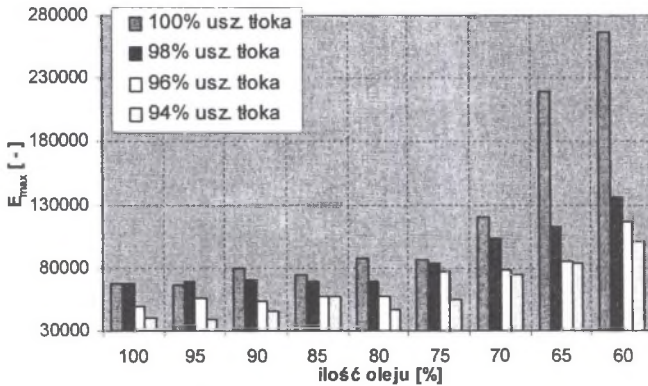
Rys. 16. Rozkład wartości estymatora  $P_{sr}$  (WVD)  
 Fig. 16.  $P_{sr}$  estymator distribution (WVD)



Rys. 17. Rozkład wartości estymatora  $E_{max}$  (STFT)  
 Fig. 17.  $E_{max}$  estymator distribution (STFT)



Rys. 18. Rozkład wartości estymatora  $E_{max}$  (CWT)  
 Fig. 18.  $E_{max}$  estymator distribution (CWT)



Rys. 19. Rozkład wartości estymatora  $E_{\max}$  (WVD)

Fig. 19.  $E_{\max}$  estimator distribution (WVD)

Zwiększający się wyciek oleju amortyzatorowego powoduje wzrost wartości obu estymatorów. Zmiany ilości płynu w amortyzatorze w zakresie 80 – 100% wartości nominalnej są trudno diagnozowalne, ponieważ wzrost wartości estymatorów jest nieznaczny. Większy stopień tego uszkodzenia powoduje dynamiczny wzrost wartości estymatorów, co ułatwia diagnozowanie stanu technicznego. Wzrost nieszczelności tłoka powoduje zmniejszenie wartości analizowanych miar stanu.

Porównanie czułości przedstawionych estymatorów diagnostycznych uzyskanych na podstawie przekształceń czasowo-częstotliwościowych wykazało, że większą czułość na zmiany stanu technicznego amortyzatora wykazały miary wyznaczane po analizach CWT i WVD.

#### 4. PODSUMOWANIE

Uzyskane wyniki analiz matematycznych potwierdzają możliwość zastosowania przedstawionej metody do diagnozowania stanu technicznego amortyzatorów. Zaproponowana metoda badań zawieszon bazuje na urządzeniach dostępnych na SKP, co ma istotne znaczenie aplikacyjne i nie wymaga dużych nakładów finansowych.

Przedstawiona metodyka pozyskiwania informacji diagnostycznej w wyniku przekształceń sygnałów drganiowych umożliwia opracowanie automatycznych systemów diagnozowania amortyzatorów samochodów osobowych. Konieczne jednak są dalsze badania w tym kierunku.

#### Literatura

1. Gardulski J., Burdzik R.: Metodyka wyznaczania diagnostycznych miar stanu technicznego amortyzatorów samochodowych, VI Krajowa Konferencja Diagnostyka Techniczna Urządzeń i Systemów, Ustroń 2006.
2. Wypadki drogowe w Polsce w 1995 r. Komenda Główna Policji. Biuro Ruchu Drogowego.
3. Dane statystyczne wypadków w 1998 r. Biuro Ruchu Drogowego KGP.
4. Batko W., Ziółko M.: Zastosowanie teorii falek w diagnostyce technicznej. Problemy inżynierii mechanicznej i robotyki. Kraków 2002.
5. Burdzik R., Gardulski J., Konieczny Ł.: Nowe metody diagnozowania amortyzatorów, VI Konferencja Naukowa Telematyka i Bezpieczeństwo Transportu, Katowice 2006.
6. Zalewski A., Cegiela R.: Matlab – obliczenia numeryczne i ich zastosowanie, WN, Poznań 1996.