

SOBCZAK Paweł, KOWALSKA Krystyna, SIERPIŃSKI Grzegorz

## **ANALIZA WYKORZYSTANIA DODATKOWYCH MIAR W WIBROAKUSTYCZNYM SYSTEMIE DIAGNOZOWANIA ZAWIESZEŃ SAMOCHODOWYCH OPARTYM NA PMD**

### *Streszczenie*

*W artykule przedstawiono analizę dodatkowych miar wibroakustycznych pod kątem możliwości zastosowania ich, jako dodatkowe wskaźniki stanu technicznego zawieszenia w opracowanej metodzie diagnostycznej opartej o analizę drgań mas pojazdu generowanych na wzbudniku podczas badań na stacji kontroli pojazdów.*

### **WSTĘP**

Stan techniczny środka transportu ma decydujący wpływ na komfort i bezpieczeństwo jazdy [1, 2, 3, 5], jest on również ściśle powiązany z możliwością skutecznego i sprawnego zarządzania usługami transportowymi realizowanymi za pomocą tego środka. W związku z powyższym niezmiernie ważne jest przeprowadzanie badań diagnostycznych umożliwiających prawidłowe określenie stanu technicznego samochodu, który natomiast wpływa na możliwość prawidłowego i efektywnego użytkowania pojazdu.

Jednym z głównych podzespołów pojazdu mającym bezpośredni wpływ na w/w elementy jest zawieszenie pojazdu. Współczesne samochody osobowe posiadają przeważnie zawieszenie niezależne, czyli takie, w którym każde z kół połączone jest niezależnie od pozostałych z nadwoziem lub ramą pojazdu. Zawieszenie zbudowane jest z elementów sprężystych, tłumiących oraz łączników metalowo-gumowych. Jako elementy sprężyste stosowane są głównie sprężyny śrubowe o nieliniowych charakterystykach, natomiast, jako elementy tłumiące stosowane są prawie wyłącznie amortyzatory o nieliniowych, niesymetrycznych charakterystykach tłumienia.

### **1. OBECNIE STOSOWANE METODY DIAGNOZOWANIA STANU TECHNICZNEGO ZAWIESZEŃ**

Podczas badań stanu technicznego pojazdu wykonywanych na stacjach kontroli pojazdów (SKP) wykonywane są badania podzespołów mających wpływ na bezpieczeństwo. Jednym z podzespołów poddawanych badaniu oprócz m.in. układu kierowniczego i układu hamulcowego jest układ zawieszenia.

W pierwszej fazie badania układu zawieszenia przeprowadzana jest kontrola organoleptyczna jego elementów, następnie przeprowadzana jest kontrola luzów w zawieszeniu z wykorzystaniem urządzeń popularnie nazywanych „szarpakami”. Po prawidłowym przejściu badań wstępnych przeprowadzana jest kontrola stanu technicznego amortyzatorów zabudowanych w pojeździe. Obecnie na SKP do kontroli stanu technicznego

amortyzatorów powszechnie stosowane są metody drgań wymuszonych, z których najpopularniejszą metodą stanowi metoda EUSAMA.

Jest to metoda opracowana przez Europejskie Stowarzyszenie Producentów Amortyzatorów polegająca na procentowym określeniu siły przylegania koła samochodu do płyty wymuszającej stanowiska i określana jest wg. zależności:

$$WE = \frac{\text{minimalna wartość nacisku pozornego koła na płytę stanowiska w trakcie wystąpienia rezonansu}}{\text{wartość statyczna nacisku koła na płytę stanowiska określana dla nieruchomej płyty}} [\%] \quad (1)$$

Oceny stanu technicznego amortyzatorów dokonuje się na podstawie odniesienia uzyskanego wyniku pomiaru do skali ocen przedstawionej w tabelicy 1:

**Tab. 1.** Skala ocen stosowana w metodzie EUSAMA

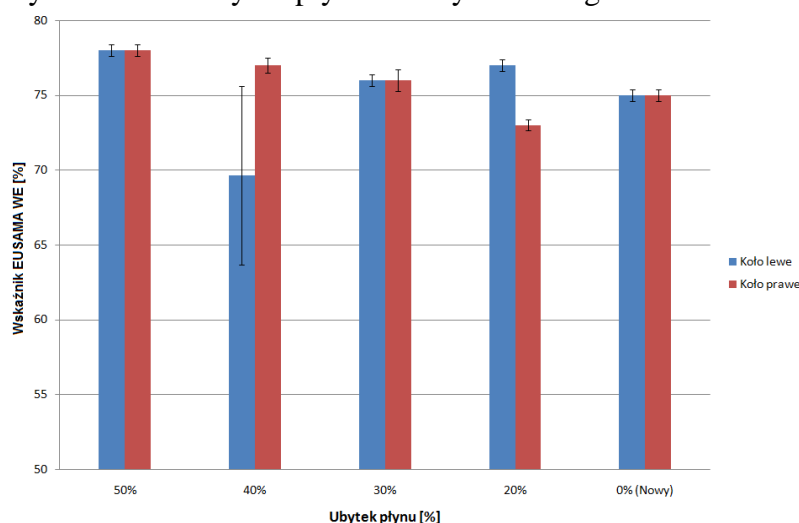
Wartość WE [%]	Ocena
60 ÷ 100	Bardzo dobry
40 ÷ 59	Dobry
20 ÷ 39	Dostateczny
0 ÷ 20	Zły

Źródło: [1, 2]

Metoda EUSAMA posiada szereg wad, do których należą:

- szkolny system oceny;
- duża szerokość przedziałów;
- brak identyfikacji uszkodzenia;
- niejednoznaczność uzyskanych wyników pomiarów dla oceny dostateczny (EUSAMA zaleca w tym przypadku wymontowanie amortyzatora i przebadanie na stanowisku indykatorowym).

Niejednoznaczność uzyskanych wyników pomiarów oraz brak identyfikacji uszkodzenia przedstawiono m.in. w pracy [4]. Na rys. 1. przedstawiono wartość wskaźnika EUSAMA uzyskaną dla różnych wartości ubytku płynu amortyzatorowego.



**Rys. 1.** Wartości wskaźnika EUSAMA w funkcji ubytku płynu uzyskane dla zawieszenia przedniego Fiata Seicento 900 - opracowanie własne na podstawie [4]

Źródło: [5]

Jak przedstawiono na rys. 1 dla zaprogramowanych uszkodzeń uzyskano wysoką, zbliżoną wartość wskaźnika EUSAMA, która określa stan techniczny amortyzatora jako bardzo dobry.

Powyższa wada spowodowała konieczność poszukiwania nowych lepszych metod diagnozowania, które umożliwiły by uzyskanie dokładniejszych i bardziej wiarygodnych wyników pomiarów.

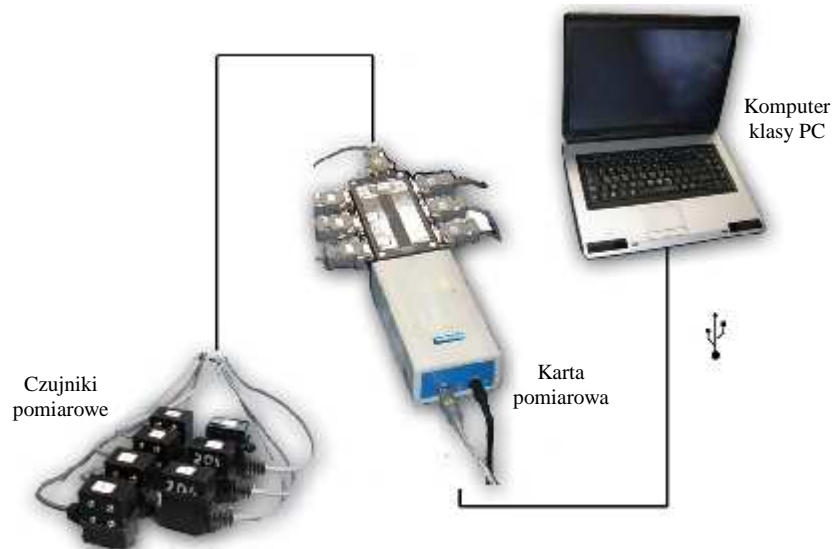
Obecnie bardzo szeroko rozwijane są metody wibroakustyczne diagnozowania stanu technicznego pojazdu oparte m.in. na analizie drgań zarejestrowanych podczas badania pojazdów na wzbudniku drgań stanowiska EUSAMA. Jedną z takich metod jest metoda opracowana przez Sobczak P. i opisana w [5] – metodę nazwano Procedurą Macierzowej Decymacji (PMD).

## 2. PRZEPROWADZONE BADANIA STANOWISKOWE

Miary i wskaźniki zaprezentowane w artykule pochodzą z analizy sygnałów zarejestrowanych i opisanych również w [3] m.in. przez Sobczak P. na stanowisku FWT-1 firmy Cartec, dokonującego pomiaru metodą EUSAMA. Stanowisko zabudowane jest na stacji kontroli pojazdów w Mysłowicach. Obiektem badań było zawieszenie przednie i tylne Fiata Seicento 900.

### 2.1. Miejsce i sposób rejestracji sygnałów wykorzystanych podczas analiz

W badaniach wykorzystano tor pomiarowy przyspieszeń drgań, który przedstawiono schematycznie na rys. 2.



**Rys. 2.** Układ pomiarowy przyspieszeń drgań

Źródło: [3, 5, 6]

W trakcie badań rejestrowano sygnały pochodzące z płyty pomiarowej stanowiska, mas nieresorowanych pojazdu oraz mas resorowanych pojazdu. Przykładowe miejsce przymocowania czujników mas resorowanych (nadwozia) i nieresorowanych (zawieszenia) pojazdu przedstawiono na rys. 3.



a) czujnik mas nieresorowanych



b) czujnik mas resorowanych

**Rys. 3.** Miejsce mocowania czujników pomiarowych na badanym pojeździe.

Badania przeprowadzono z wykorzystaniem amortyzatora o zmodyfikowanej konstrukcji z rozbieralnej na nierozbieralną, co umożliwiło programowanie ubytku płynu amortyzatorowego w zakresie  $50 \div 100$  % napełnienia nominalnego amortyzatora. Przykładowy proces napełniania amortyzatora przedstawiono na rys. 4.



**Rys. 4.** Napełnianie amortyzatora

## 2.2. Procedura Macierzowej Decymacji

Podczas badań rejestrowano całe przebiego czasowe jednak dalszej analizie poddawane były fragmenty sygnału w których zarejestrowany był sygnał odpowiadający fazie wybiegu stanowiska pomiarowego.

Sygnały drganiowe zarejestrowane podczas badania na stanowisku EUSAMA są sygnałami niestacjonarnymi, niestalonymi dlatego nie mogą być skutecznie analizowane za pomocą FFT bez uprzedniej odpowiedniej obróbki sygnału. Do obróbki sygnałów wykorzystano opracowany przez Sobczak P. algorytm – metodę Procedury Macierzowej Decymacji (PMD).

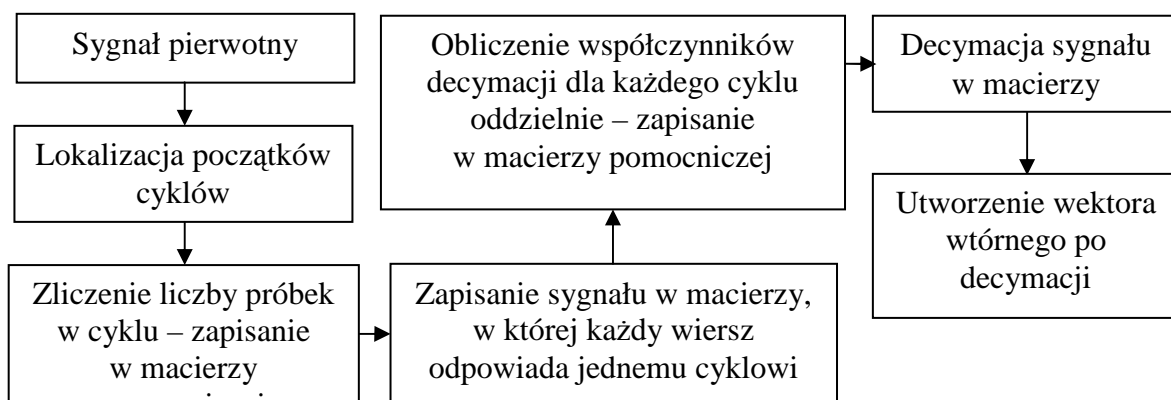
Algorytm dokonuje automatycznej konwersji sygnału pierwotnego o różnej liczbie próbek na okres, na sygnał wtórny o stałej liczbie próbek na okres. Liczba ta jest proporcjonalna do liczby próbek najkrótszego okresu sygnału pierwotnego. Konwersji sygnału dokonuje się wykorzystując decymację. Współczynnik decymacji dobierany jest indywidualnie do każdego okresu sygnału wg. wzoru [5]:

$$dec_i = c \frac{ok_i}{L_{\min}}, \text{ gdzie } dec_i \in C^+ \quad (2)$$

gdzie:

- $dec_i$  – współczynnik decymacji i-tego cyklu sygnału pierwotnego (wiersza utworzonej macierzy),
- $c$  – stała wartość (zwiększająca współczynnik decymacji),
- $ok_i$  – liczba próbek zawartych w i-tym cyklu sygnału pierwotnego,
- $L_{\min}$  – minimalna liczba próbek w sygnale (długość najkrótszego cyklu sygnału pierwotnego);

Automatyzm obróbki uzyskano dzięki automatycznej lokalizacji początku każdego okresu sygnału, którą jest przejście przez zero. Uzyskane informacje o początkach kolejnych okresów umożliwiły podział sygnału na okresy, zliczenie liczby próbek w każdym okresie, zapisanie sygnału w macierzy w której w każdym następnym wierszu zapisany jest kolejny okres sygnału oraz następnie dokonanie decymacji sygnału zapisanego w macierzy (stąd nazwa metody) i utworzenie sygnału wtórnego, który jest sygnałem quasi-stacjonarnym. Algorytm opracowanej metody PMD przedstawiono na rys. 5.



Rys. 5. Algorytm PMD

Źródło: [5]

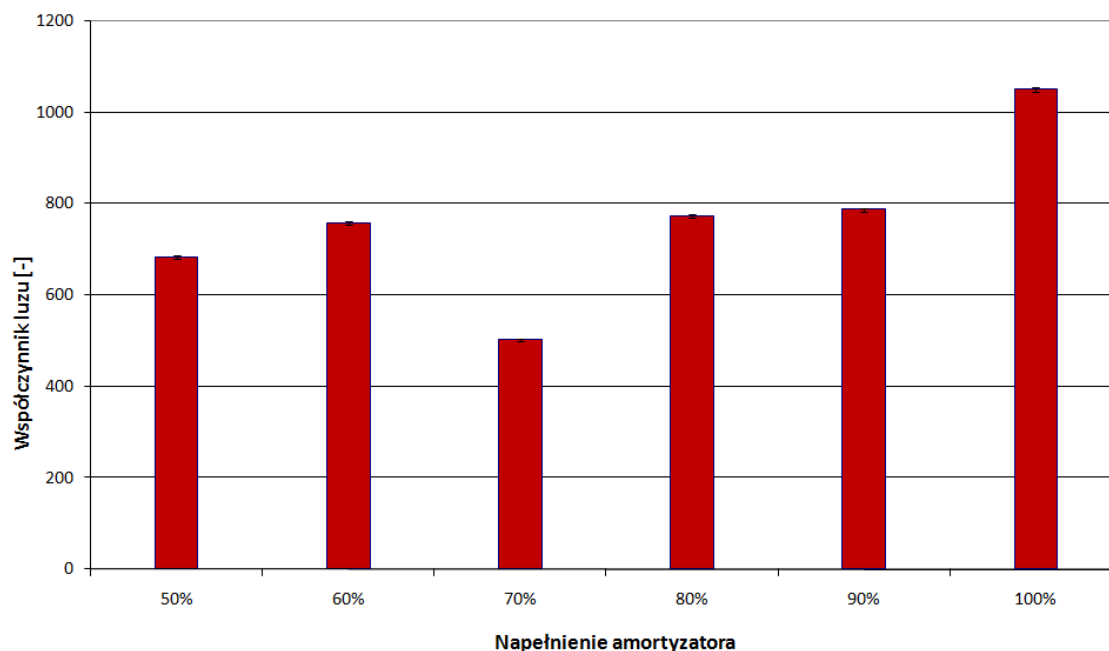
Skuteczność opracowanej metody PMD w analizie sygnałów niestacjonarnych niestalonych zweryfikowano już wcześniej na podstawie przeprowadzonych badań symulacyjnych oraz laboratoryjnych opisanych m.in. w [5, 7].

Następnie uzyskane sygnały wtórne poddano analizom wibroakustycznym, w wyniku których uzyskano szereg wskaźników charakteryzujących się wysoką wrażliwością diagnostyczną na stan techniczny zawieszenia pojazdu i zaimplementowano je w opracowanym przez Sobczak P. systemie wykorzystującym PMD.

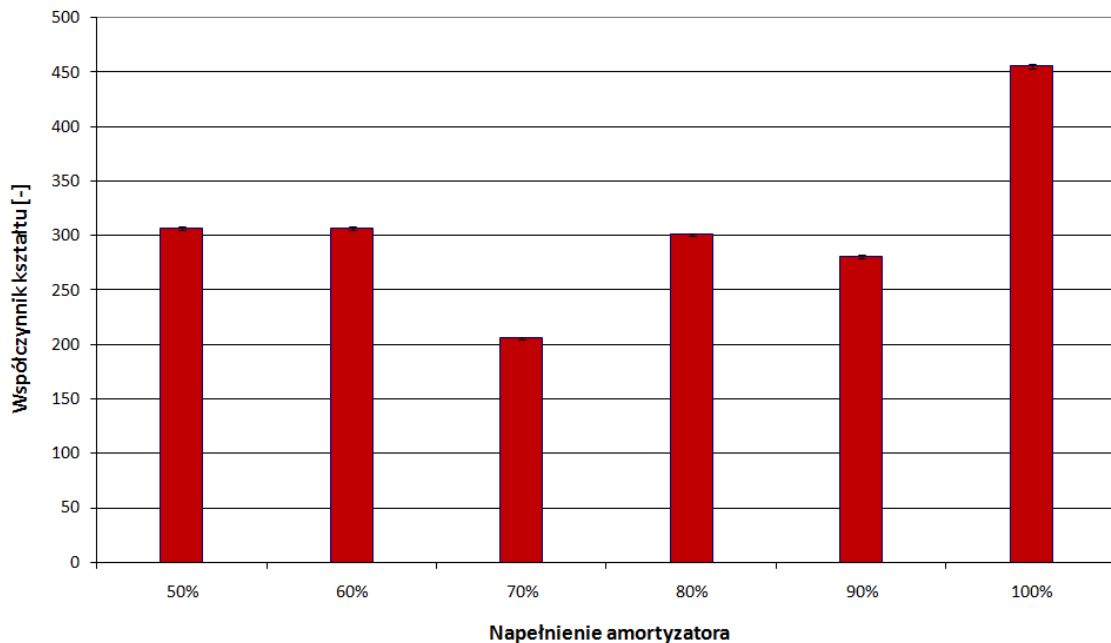
### 2.3. Uzyskane wskaźniki stanu technicznego

Obliczone przez Sobczak P. podczas badań opisanych w [3] wskaźniki zostały poddane przez autorów artykułu analizie pod kątem wykorzystania ich, jako dodatkowe miary mogące wspomóc system decyzji o stanie technicznym amortyzatora na podstawie przeprowadzonych analiz sygnałów (w [3] skupiono się na weryfikacji wskaźników już zaimplementowanych do systemu opisanego w [5], nie weryfikowano pozostałych wskaźników obliczonych podczas tamtych badań).

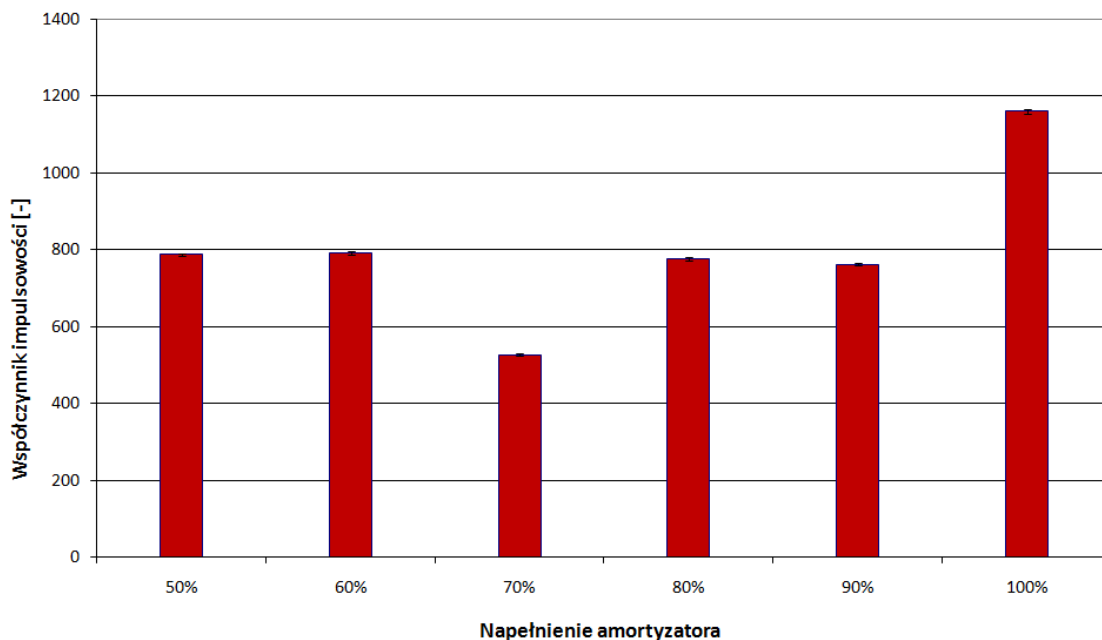
Poniżej na rysunkach 6 ÷ 8 umieszczono przykładowe wskaźniki uzyskane dla napełnień amortyzatora w zakresie 50% ÷ 100% dla zawieszenia przedniego.



**Rys. 6.** Współczynnik luzu obliczony dla sygnału przyspieszeń drgań nadwozia w fazie wybiegu stanowiska wymuszającego uzyskany dla pasma częstotliwości rezonansowej mas nieresorowanych w funkcji ubytku płynu amortyzatorowego, zawieszenie przednie Fiata Seicento 900 – sygnał po PMD

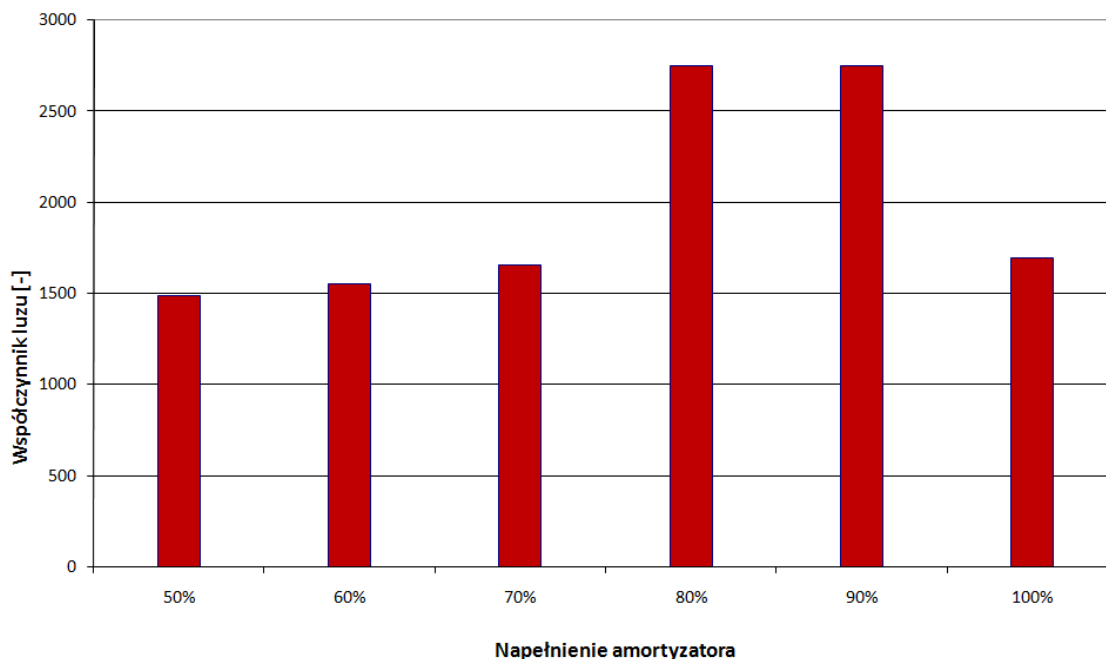


**Rys. 7.** Współczynnik kształtu obliczony dla sygnału przyspieszeń drgań nadwozia w fazie wybiegu stanowiska wymuszającego uzyskany dla pasma częstotliwości rezonansowej mas nieresorowanych w funkcji ubytku płynu amortyzatorowego, zawieszenie przednie Fiata Seicento 900 – sygnał po PMD

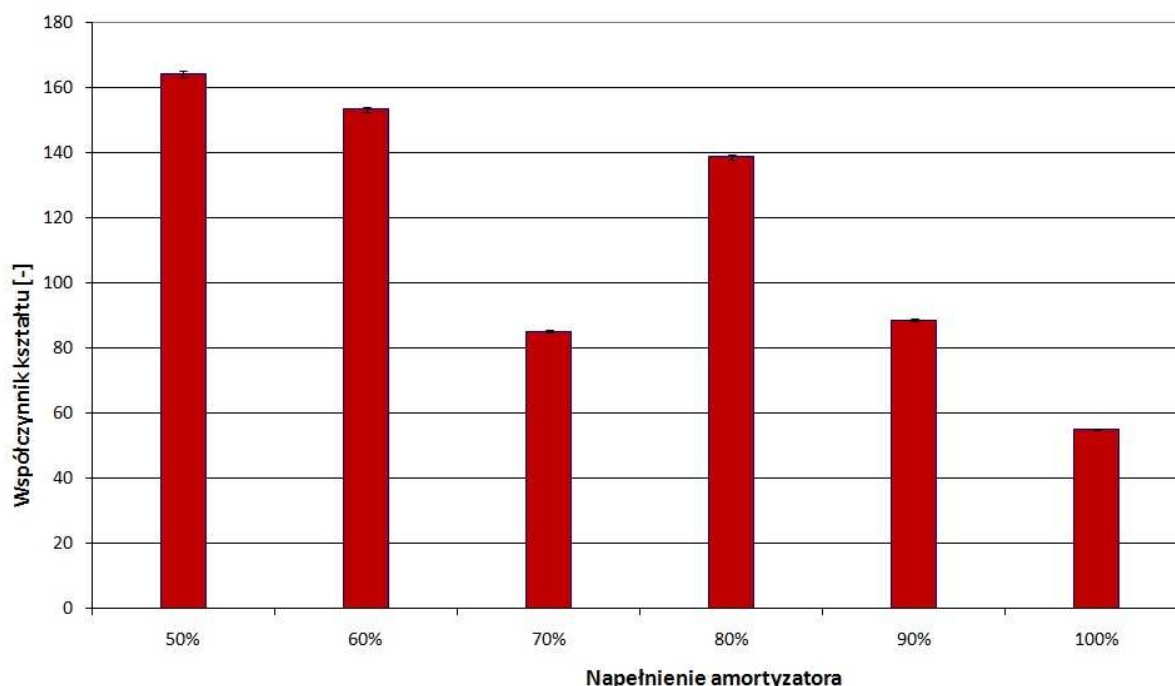


**Rys. 8.** Współczynnik impulsowości obliczony dla sygnału przyspieszeń drgań nadwozia w fazie wybiegu stanowiska wymuszającego uzyskany dla pasma częstotliwości rezonansowej mas nieresorowanych w funkcji ubytku płynu amortyzatorowego, zawieszenie przednie Fiata Seicento 900 – sygnał po PMD

Natomiast na rysunkach 9 ÷ 11 umieszczono przykładowe wskaźniki uzyskane dla napelnień amortyzatora w zakresie 50% ÷ 100% dla zawieszenia tylnego.

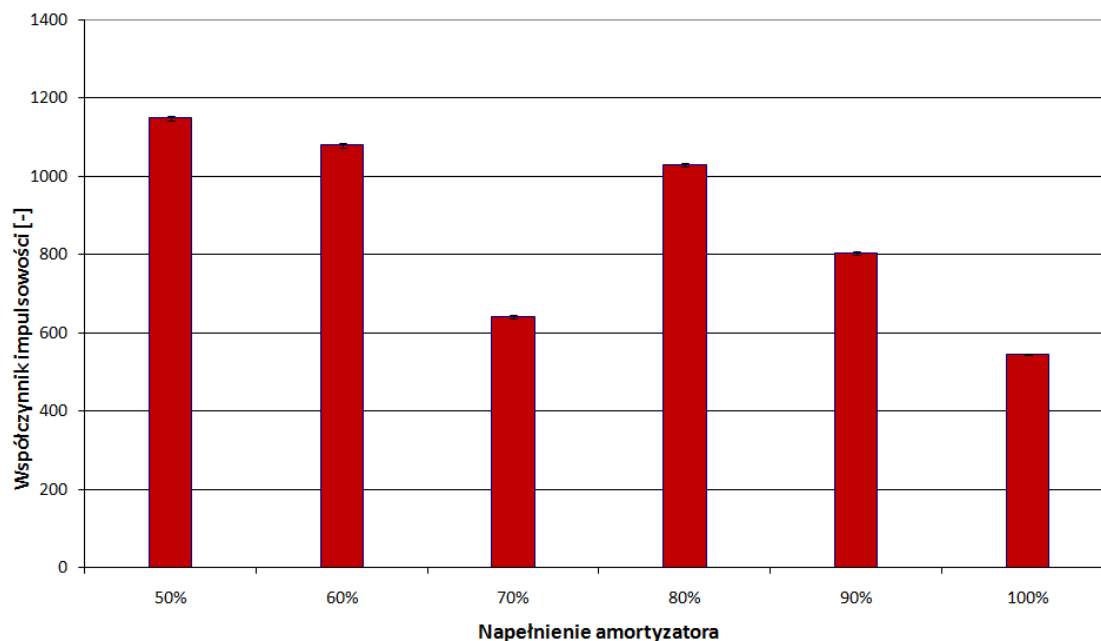


**Rys. 9.** Współczynnik luzu obliczony dla sygnału przyspieszeń drgań nadwozia w fazie wybiegu stanowiska wymuszającego uzyskany dla pasma częstotliwości rezonansowej mas nieresorowanych w funkcji ubytku płynu amortyzatorowego, zawieszenie tylne Fiata Seicento 900 – sygnał po PMD



**Rys. 10.** Współczynnik kształtu obliczony dla sygnału przyspieszeń drgań nadwozia w fazie wybiegu stanowiska wymuszającego uzyskany dla pasma częstotliwości rezonansowej mas nieresorowanych w funkcji ubytku płynu amortyzatorowego, zawieszenie tylne Fiata Seicento 900 – sygnał po PMD





**Rys. 11.** Współczynnik impulsowości obliczony dla sygnału przyspieszeń drgań nadwozia w fazie wybiegu stanowiska wymuszającego uzyskany dla pasma częstotliwości rezonansowej mas nieresorowanych w funkcji ubytku płynu amortyzatorowego, zawieszenie tylne Fiata Seicento 900 – sygnał po PMD

## 2.4. Analiza uzyskanych wskaźników stanu technicznego

Uzyskane wskaźniki stanu technicznego dla pojazdu badanego na stanowisku EUSAMA wykazują wrażliwość diagnostyczną, co stanowi kolejne potwierdzenie opracowanej metody PMD. Szczegółowa analiza uzyskanych współczynników (luzu, kształtu, impulsowości), które są miarami bezwymiarowymi pozwala stwierdzić, że uzyskane wyniki analiz nie są jednoznaczne.

Wrażliwość diagnostyczna wskaźników nie posiada wyraźnego trendu zmian. W wszystkich przedstawionych miarach występuje przełamanie trendu zmian na poziomie 70% napełnienia amortyzatora, które to napełnienie jest napełnieniem granicznym. Poniżej tego napełnienia występuje już ubytek płynu amortyzatorowego większy niż ilość płynu amortyzatorowego znajdującego się w komorze wyrównawczej, którego celem jest m.in. kompensacja zmian objętości płynu wynikających m.in. z rozszerzalności cieplnej cieczy.

## PODSUMOWANIE

Na podstawie przeprowadzonych analiz można stwierdzić, że miary wibroakustyczne przedstawione w artykule pomimo wykazanej wrażliwości diagnostycznej z uwagi na brak wyraźnego trendu nie powinny być traktowane, jako dodatkowe estymatory stanu technicznego amortyzatora.

Celem weryfikacji postawionego wniosku dotyczącego przedstawionych w artykule miar konieczne jest przeprowadzenie dalszych badań na większej grupie pojazdów i amortyzatorów.

## BIBLIOGRAFIA

1. Gardulski J., *Bezstanowiskowa metoda oceny stanu technicznego zawiesznień samochodów osobowych*, Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji, Katowice-Radom 2003.

2. Gardulski J., *Vibroacoustic information processing system used in diagnostics of shock absorbers in passenger cars*, Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji, Katowice-Radom 2009.
3. Gardulski J., Sobczak P., *Verification of the Procedure of Matrix Decimation (PMD) during the test on the harmonic extortion position in the vehicle inspection stations*, Journal of KONES Powertrain and Transport, Vol. 19, No. 4, Warszawa 2012;
4. Potyka D., *Wpływ ubytku płynu amortyzatorowego na wartość skuteczności tłumienia badaną metodą EUSAMA*, Projekt inżynierski. Katowice 2010.
5. Sobczak P., *Wibroakustyczny system diagnozowania hydraulicznych amortyzatorów teleskopowych samochodów osobowych – Rozprawa Doktorska*, Katowice 2012, Promotor: prof. dr hab. inż. Janusz Gardulski;
6. Sobczak P., *Współczesne możliwości tworzenia oprogramowania modułów akwizycji danych*, VI Studencka Sesja Naukowa, Katowice 2009
7. Sobczak P., Gardulski J., *Weryfikacja Procedury Macierzowej Decymacji z wykorzystaniem sygnałów testowych*, XXXIX Ogólnopolskie Sympozjum Diagnostyka Maszyn, Wisła 2012

## ANALYSIS OF THE USE OF ADDITIONAL MEASURES IN BASED ON PMD THE VIBROACOUSTIC DIAGNOSTIC SYSTEM OF CAR SUSPENSION

### *Abstract*

*This paper presents an analysis of additional vibroacoustic measures for the possibility of applying them as additional measures of the technical condition of the suspension in the developed diagnostic method based on vibration analysis of vehicle mass generated on the inductor during research in vehicle inspection stations.*

### **Autorzy:**

dr inż. **Paweł Sobczak** – Wyższa Szkoła Biznesu w Dąbrowie Górniczej, Wydział Zarządzania Informatyki i Nauk Społecznych, Katedra Logistyki i Transportu, ul. Cieplaka 1c, 41-300 Dąbrowa Górnicza, e-mail: psobczak@wsb.edu.pl

prof. dr hab. **Krystyna Kowalska** – Wyższa Szkoła Biznesu w Dąbrowie Górniczej, Wydział Zarządzania Informatyki i Nauk Społecznych, Katedra Logistyki i Transportu, ul. Cieplaka 1c, 41-300 Dąbrowa Górnicza

dr inż. **Grzegorz Sierpiński** – Wyższa Szkoła Biznesu w Dąbrowie Górniczej, Wydział Zarządzania Informatyki i Nauk Społecznych, Katedra Logistyki i Transportu, ul. Cieplaka 1c, 41-300 Dąbrowa Górnicza