

Paweł SOBCZAK

## **OCENA STANU TECHNICZNEGO HYDRAULICZNYCH AMORTYZATORÓW TELESKOPOWYCH NA PODSTAWIE ANALIZY SYGNAŁÓW DRGANIOWYCH Z WYKORZYSTANIEM PROCEDURY LINIOWEJ DECYMACJI ORAZ MACIERZY DECYMACJI**

**Streszczenie.** W artykule opisano, opracowany przez autora, algorytm obróbki sygnału drganiowego – Macierz Decymacji – oraz wstępne wyniki badań eksperymentalnych, których celem jest ocena stanu technicznego zawieszenia samochodu osobowego na podstawie analizy sygnałów drganiowych. Do wykonania algorytmu oraz analizy sygnałów drganiowych wykorzystano środowisko MATLAB. Na końcu artykułu przedstawiono wstępne wyniki badań.

## **TECHNICAL STATE ESTIMATION OF HYDRAULIC SHOCK ABSORBERS BASED ON ANALYSIS OF OSCILLATION SIGNALS WITH PLD AND DECIMATION MATRIX**

**Summary.** The article presents the Author algorithm of processing of signal designed – Decimation Matrix and tentative results of experimental research results. The main task of research is technical state estimation of passenger cars based on analysis of oscillation signals. The algorithm and analysis was implemented in MATLAB environment. Preliminary results of research are shown at the end of article.

### **1. WPROWADZENIE**

Ocena stanu technicznego zawieszenia oraz hydraulicznych amortyzatorów teleskopowych jest zagadnieniem ważnym, z punktu bezpieczeństwa i komfortu jazdy [1, 5, 8, 11, 12]. Zawiera się ona w diagnostyce technicznej, która wg [3, 7, 12, 13, 14] składa się z następujących elementów:

- a) oceny bieżącego stanu technicznego maszyny (części, podzespołu itp.),
- b) ustalenia przyczyny powstania obecnego stanu maszyny,
- c) prognozy na temat przyszłego stanu ocenianego elementu.

Bez prawidłowo przeprowadzonej oceny stanu faktycznego badanego elementu spełnienie dwóch ostatnich punktów jest znacznie utrudnione. Nieprawidłowa informacja uzyskana w podpunkcie a) może wręcz uniemożliwić postawienie pełnej diagnozy.

Do oceny stanu technicznego hydraulicznych amortyzatorów teleskopowych wykorzystywane są różne metody diagnostyczne. Część z nich polega na ocenie stanu technicznego amortyzatora wybudowanego z pojazdu i są to m.in. badania indykatorowe, opisane szerzej w pracach [1, 2, 5, 12]. Kolejną, popularniejszą grupę badań stanowią badania stanu technicznego zawieszenia, czyli badania przeprowadzane na amortyzatorach zabudowanych w pojeździe. Do badań tych zalicza się badania [1, 5, 8, 9, 11, 12]:

- a) metodą drgań wymuszonych,
- b) metodą drgań swobodnych,
- c) bezstanowiskowe.

Obecnie najbardziej rozpowszechnione są badania za pomocą metody drgań wymuszonych, stosowane przede wszystkim na Stacjach Kontroli Pojazdów (najczęściej tzw. metoda EUSAMA).

Oprócz metod drgań wymuszonych wykonywane są badania oparte na analizach częstotliwościowych i czasowo-częstotliwościowych. Analizowane sygnały są sygnałami niestacjonarnymi, więc wykorzystanie analizy częstotliwościowej, bez odpowiedniego przygotowania sygnału, nie pozwala na uzyskanie prawidłowej informacji diagnostycznej. Procedura zamiany sygnału drganiowego niestacjonarnego na quasi-stacjonarny umożliwia wykorzystanie klasycznej transformaty Fouriera (FFT) do analizy tego typu sygnałów [1, 4, 8].

## 2. METODA BADAŃ

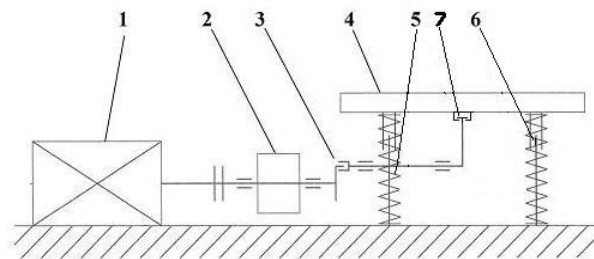
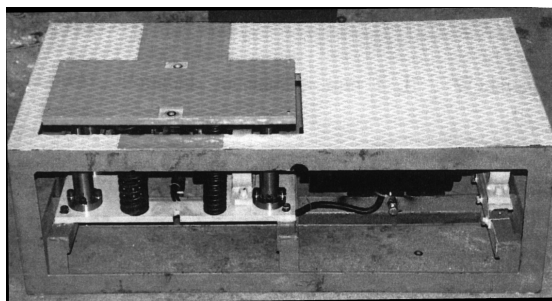
Zawieszenie pojazdu w uproszczeniu można przedstawić m.in. jako tzw. obiekt ćwiartkowy [6], czyli obiekt dwumasowy, składający się z masy resorowanej i nieresorowanej, połączonych ze sobą elementami sprężysto-tłumiącymi. Masy resorowane zastępują nadwozie pojazdu, natomiast masy nieresorowane zawieszenie. Każda z tych mas ma swoje charakterystyczne zakresy częstotliwości rezonansowych i są to odpowiednio:

- a)  $1 \div 6$  Hz – rezonans mas resorowanych,
- b)  $8 \div 18$  Hz – rezonans mas nieresorowanych.

Przeprowadzone badania polegały na zarejestrowaniu sygnałów drganiowych, pochodzących z pojazdów oraz płyty wymuszającej. Następnie, uzyskane sygnały drganiowe poddano obróbce – w opracowanym przez autora algorytmie – oraz analizie widmowej.

## 3. STANOWISKO BADAWCZE

Do badań wykorzystano stanowisko badawcze o wymuszeniu harmonicznym, szerzej opisane m.in. w [1, 5, 8, 9, 11, 12]. Widok oraz schemat kinematyczny stanowiska przedstawiono na rys. 1.



- 1 – silnik napędowy, power engine 2 – masa wirująca, oscillate mass 3 – układ korbowy, crank match 4 – płyta najazdowa, foray plate 5 – sprężyny dociskowe, clamp springs 6 – pionowe kolumny prowadzące, direct columns 7 – prowadnice suwakowe, stroke driver

Rys. 1. Zdjęcie oraz schemat kinematyczny stanowiska harmonicznego [1, 8]

Fig. 1. Picture and schema of harmonic test stand [1, 8]

#### 4. OBIEKT BADAŃ

Obiektem badań były zawieszenia następujących pojazdów:

- a) Fiat Punto – obiekt rzeczywisty,
- b) Fiat Seicento – model,
- c) Skoda Fabia – model.

Obiekty badań przedstawiono na rys. 2.



a) Fiat Punto – obiekt rzeczywisty, real object



b) Fiat Seicento – model zawieszenia,  
suspension model

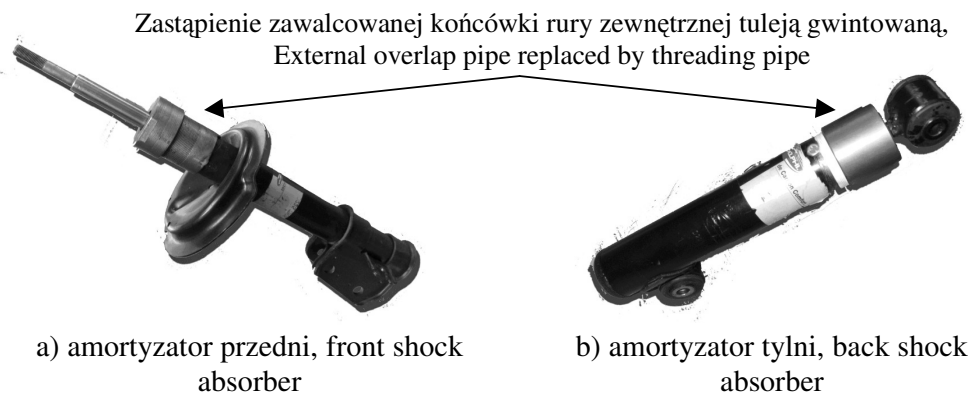


c) Skoda Fabia – model zawieszenia,  
suspension model

*Rys. 2. Obiekty badań*

*Fig. 2. Objects of research*

W pojazdach zamontowano zmodyfikowane amortyzatory o konstrukcji przerobionej z nierozbieralnej na rozbieralną. Przykład amortyzatora przerobionego na rozbieralny przedstawiono na rys. 3.



*Rys. 3. Przerobiona konstrukcja amortyzatora*

*Fig. 3. Modified construction of shock absorber*

Wprowadzona zmiana konstrukcyjna nie wpłynęła na charakterystyki pracy amortyzatorów. Umożliwiła natomiast programowanie uszkodzenia amortyzatora, którym był ubytek płynu ze skokiem co 10% fabrycznej pojemności nowego amortyzatora.

## 5. PRZEBIEG BADAŃ

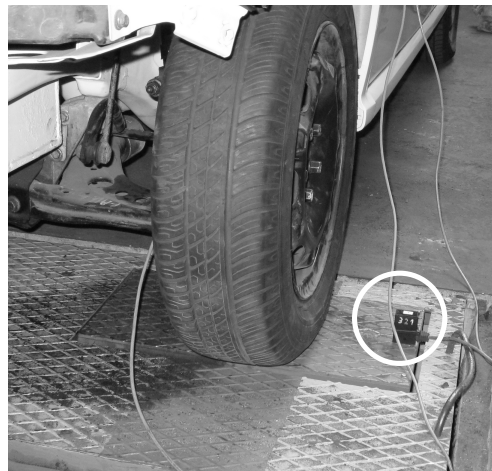
Podczas badań rejestrowano sygnały drganiowe mas nieresorowanych (zawieszenia), mas resorowanych (nadwozia) oraz sygnał drganiowy płyty stanowiska harmonicznego. Rozmieszczenie czujników pomiarowych przedstawiono na rys. 4.



czujnik mas resorowanych – górny kielich amortyzatora, sprung mass sensor – upper shock absorber socker



czujnik mas nieresorowanych – mocowanie na wahaczu, unsprung mass sensor – coaptation on control arm



czujnik płyty pomiarowej, foray plate sensor

Rys. 4. Rozmieszczenie czujników pomiarowych  
Fig. 4. Sensors placement

Przebieg rejestracji sygnału był następujący:

- 1) najazd badanym kołem na stanowisko,
- 2) włączenie stanowiska i liniowy przyrost częstotliwości wymuszenia do wartości granicznej, wynoszącej około 21,5 [Hz],
- 3) faza utrzymania pojazdu pod zadaniem wymuszeniem,

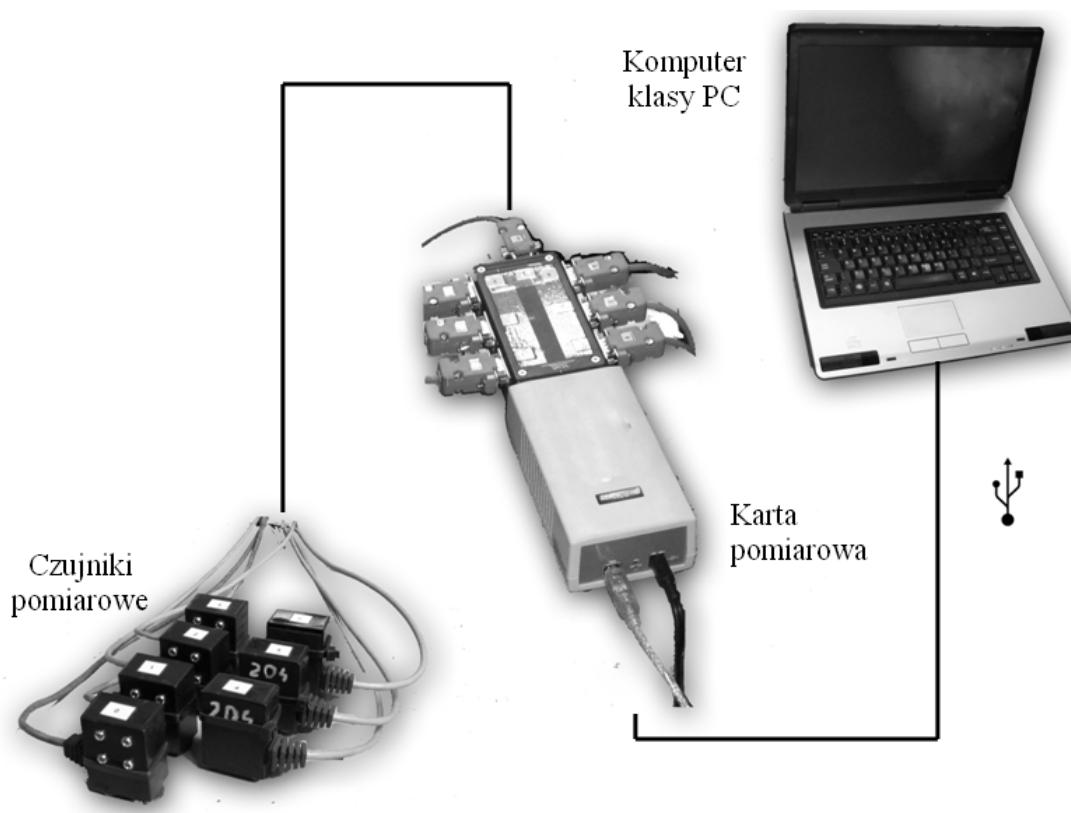
- 4) wyłączenie wzbudnika drgań i przejście pojazdu przez wszystkie częstotliwości rezonansowe.

Do rejestracji sygnałów wykorzystano tor pomiarowy, składający się z następujących elementów:

- a. Komputer przenośny klasy PC wraz z oprogramowaniem do akwizycji danych.
- b. Karta analogowo – cyfrowa.
- c. Czujniki przyspieszeń drgań.

Oprogramowanie do karty analogowo–cyfrowej wykonano samodzielnie. Sposób wykonania oprogramowania akwizycji danych opisano szerzej w [10].

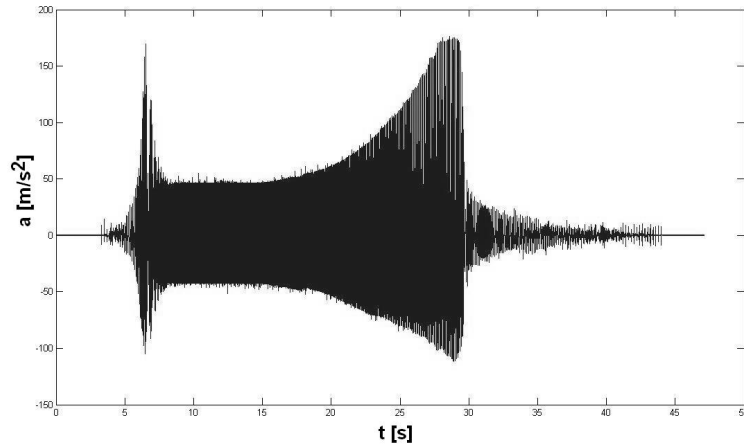
Tor pomiarowy, zastosowany podczas badań, przedstawiono schematycznie na rys. 5.



Rys. 5. Tor pomiarowy wykorzystany do rejestracji sygnałów[10]

Fig. 5. Measuring track [10]

W wyniku badań uzyskano sygnały przyspieszeń drgań. Przykładowy zarejestrowany sygnał przedstawiono na rys. 6.



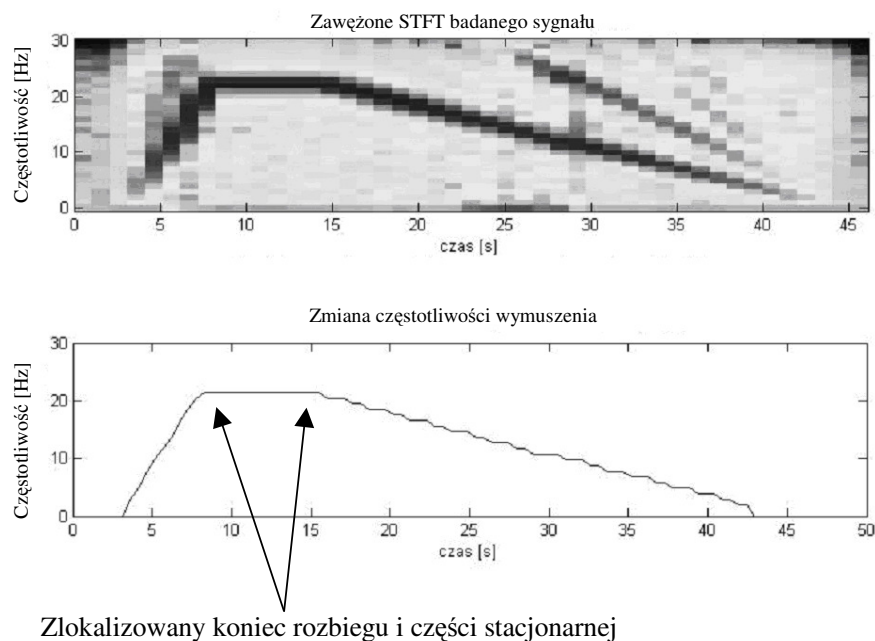
Rys. 6. Przykładowy zarejestrowany przebieg przyspieszeń drgań – Fiat Punto, napętnienie 50%  
 Fig. 6. Registered diagram of acceleration oscillation – Fiat Punto, filling ratio 50%

## 6. OBRÓBKA SYGNAŁÓW

### 6.1. Obróbka wstępna

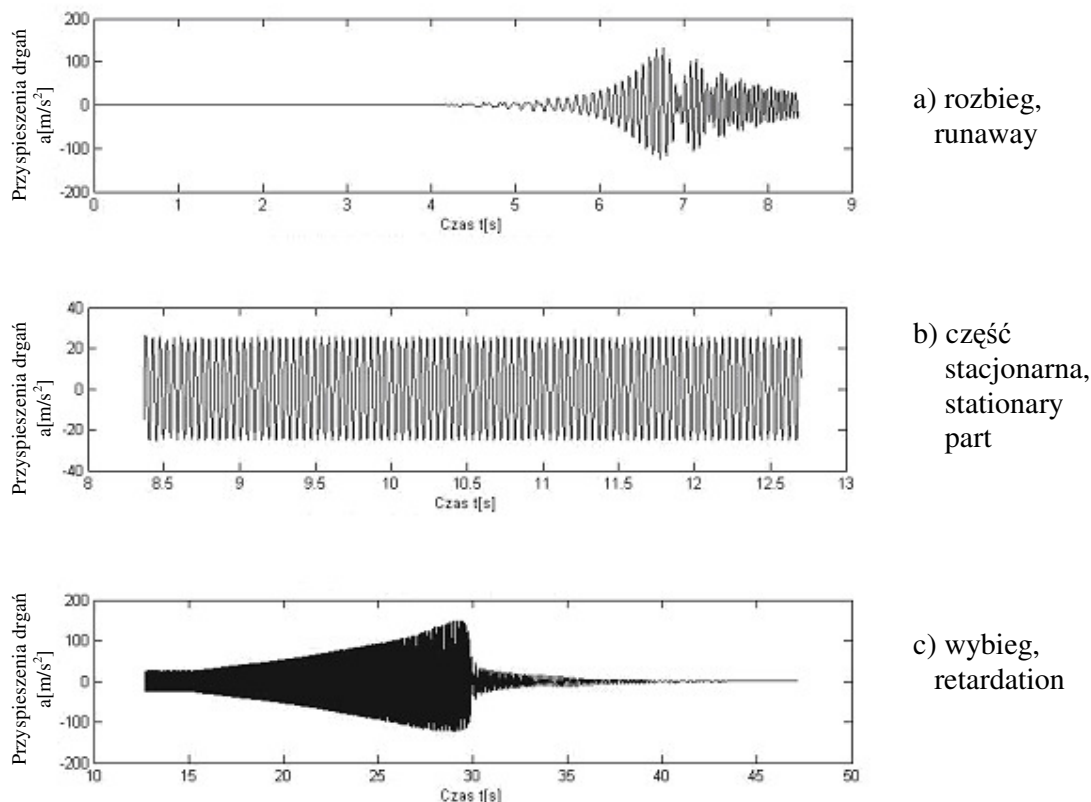
Uzyskane sygnały drganiowe zostały poddane obróbce w środowisku MATLAB. Podczas badań rejestrowano cały sygnał (rozbieg, część stacjonarną, wybieg), ale dalszej analizie poddano tylko wybieg.

W związku z powyższym opracowano – oparty na STFT – algorytm automatycznej lokalizacji końca rozbiegu i części stacjonarnej (rys. 7) oraz podziału, dzięki czemu uzyskano podział sygnału na rozbieg, część stacjonarną i wybieg (rys. 8).



Rys. 7. Automatyczna lokalizacja końca rozbiegu i części stacjonarnej  
 Fig. 7. Automatic localization of runaway and stationary part

Na rysunku 8 przedstawiono sygnał podzielony na poszczególne części.



Rys. 8. Przykładowy podział sygnału  
Fig. 8. Example of signal splitting

W kolejnym etapie algorytm automatycznie lokalizuje okresy, zlicza liczbę próbek na okres oraz wykonuje decymację.

## 6.2. Decymacja sygnału – Macierz Decymacji

Decymacja jest to proces zmniejszenia liczby próbek sygnału, co jest równoznaczne z obniżeniem częstotliwości próbkowania sygnału [1]. Proces polega na pobraniu z oryginalnego sygnału co  $n$ -tej próbki, a odrzuceniu pozostałych.

Decymacji sygnału dokonano w dwojaki sposób:

1. Za pomocą Procedury Liniowej Decymacji (PLD), opisaną szerzej m.in. w [1, 4, 8, 11].
2. Za pomocą „Macierzy Decymacji”, opracowanej przez autora.

Opracowana przez autora metoda Macierzy Decymacji polega na zapisaniu uzyskanego sygnału w macierzy, której każdy wiersz odpowiada jednemu okresowi. Ponieważ analizowany sygnał składa się z okresów o różnej długości, to utworzona macierz jest macierzą zawierającą puste miejsca. Na tak uzyskanej macierzy wykonano decymację o współczynniku dobranym indywidualnie dla każdego wiersza macierzy (cyklu sygnału):

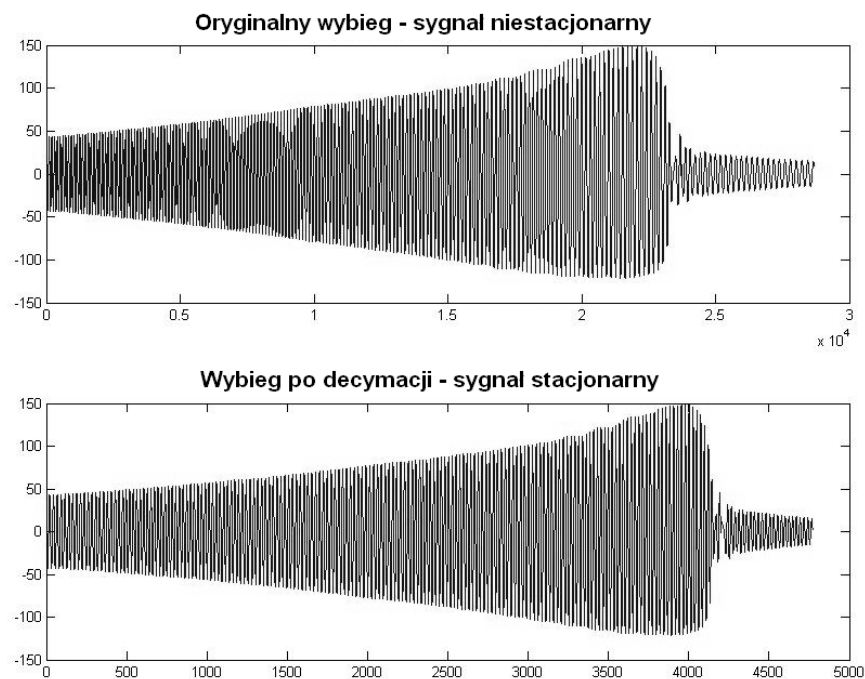
$$k_i = \frac{w_i}{n_{\min}} \quad k_i \in C_+, \quad (1)$$

gdzie:

- $k_i$  – współczynnik decymacji i-tego wiersza (okresu),
- $w_i$  – liczba próbek w i-tym wierszu (okresie),
- $n_{\min}$  – liczba próbek najkrótszego okresu.

Dzięki zmiennej – dynamicznej – decymacji, dopasowanej do długości każdego okresu, uzyskano stałą liczbę próbek na cykl, równą liczbie próbek najkrótszego okresu sygnału pierwotnego. Następnie dokonano zamiany macierzy na wektor (wiersze dołączano po kolei), dzięki czemu uzyskano stacjonarny sygnał wtórny.

Na rys. 9 przedstawiono sygnał przed i po decymacji metodą Macierzy Decymacji.



Rys. 9. Porównanie sygnału wybiegu przed i po decymacji

Fig. 9. Comparison of original and after decimation rotardation signal

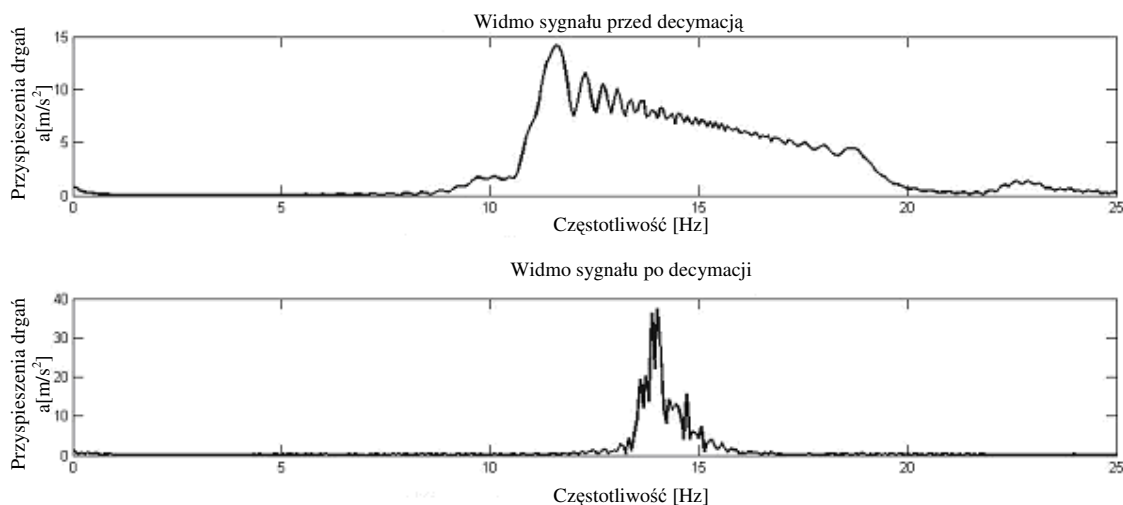
Zaprezentowana metoda Macierzy Decymacji jest integralną częścią opracowanego, automatycznego algorytmu analizy sygnału.

Na tak uzyskanym wtórnym sygnale drganiowym wykonano analizę FFT, wykorzystując opisany wyżej automatyczny algorytm.

## 7. WYNIKI ANALIZY

Za pomocą algorytmu wykonano wiele analiz sygnałów drganiowych, pochodzących z zawieszzeń z zaprogramowanymi usterkami. Przykład uzyskanego widma dla sygnału po decymacji w porównaniu dla widma przed decymacją przedstawiono na rys. 10.





Rys. 10. Porównanie widma przed i po decymacji metodą Macierzy Decymacji

Fig. 10. Comparison of spectrum of rotardation signal before and after Matrix Decimation

Zastosowana metoda obróbki sygnału pozwala na polepszenie selektywności widmowej sygnału drganiowego, co znacznie ułatwia uzyskanie informacji diagnostycznej o stanie badanego obiektu.

W wyniku analiz uzyskano wiele widm, w których wartości maksymalne występowały dla różnych częstotliwości i miały różną wartość w zależności od stanu technicznego badanego amortyzatora.

## 8. WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych, wstępnych badań wysunięto następujące wnioski:

1. Analiza sygnałów niestacjonarnych jest zagadnieniem trudnym i złożonym.
2. Zastosowanie klasycznej analizy widmowej nie pozwala na uzyskanie odpowiedniej informacji diagnostycznej dla analizowanego typu sygnałów.
3. Zaprezentowany algorytm z zaimplementowaną metodą Macierzy Decymacji pozwala na szybką, automatyczną obróbkę sygnału oraz umożliwia poprawę selektywności widmowej badanego sygnału.
4. Do uzyskania informacji diagnostycznej, wymagane jest przeprowadzenie dalszych badań.

## Bibliografia

1. Burdzik R.: Automatyczne diagnozowanie stanu technicznego amortyzatorów zabudowanych w samochodach osobowych, rozprawa doktorska, Katowice 2006.
2. Burdzik R., Konieczny Ł., Sobczak P.: Modyfikacja stanowiska pomiarowego do badań diagnostycznych amortyzatorów samochodowych, XXXVI Ogólnopolskie Sympozjum Diagnostyka Maszyn, Wisła 2009 (Płyta CD).
3. Cempel C.: Podstawy wibroakustycznej diagnostyki maszyn. WNT, Warszawa 1982.
4. Cioch W.: Sztuczne sieci neuronowe w diagnostyce zagrożeń eksploatacyjnych systemów technicznych, rozprawa doktorska, Kraków 2002.
5. Gardulski J.: Bezstanowiskowa metoda oceny stanu technicznego zawiesznień samochodów osobowych, Katowice-Radom 2003.

6. Gardulski J., Warczek J.: Badania symulacyjne układu mechanicznego z aktywnym tłumieniem drgań, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Transport, Katowice 2005.
7. Niziński S., Michalski R.: Diagnostyka obiektów technicznych. Wydawnictwo i Zakład Poligrafii Instytutu Technologii Eksploatacji, Radom 2002.
8. Sobczak P.: Badania modelowe zawiesznień samochodowych, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Transport, z. 64, Gliwice 2008.
9. Sobczak P.: Procedure of linear decimation in car suspension diagnosis, Transport Problems, vol. 4, issue 3, part 1, Gliwice 2009.
10. Sobczak P.: Współczesne możliwości tworzenia oprogramowania modułów akwizycji danych, VI Studencka Sesja Naukowa, Katowice 2009.
11. Sobczak P.: Zastosowanie procedury liniowej decymacji w diagnozowaniu zawiesznień samochodowych, XXXVI Ogólnopolskie Sympozjum Diagnostyka Maszyn, Wisła 2009 (Płyta CD).
12. Warczek J.: Sygnały drganiowe jako miary diagnostyczne amortyzatorów samochodów osobowych, rozprawa doktorska, Katowice 2004.
13. Żółtowski B., Ćwik Z.: Leksykon diagnostyki technicznej. Wydawnictwo Uczelniane ATR, Bydgoszcz 1996.
14. Żółtowski B.: Podstawy diagnostyki maszyn. Wydawnictwo Uczelniane ATR, Bydgoszcz 1996.

*Recenzent: Dr hab. inż. Ryszard Walentyński, prof. nzw. Pol. Śl.*

*Praca wykonana w ramach BW-479/RT2/2009*