

## DIAGNOSTYKA STANU TECHNICZNEGO AMORTYZATORA ZABUDOWANEGO W POJEŹDZIE SAMOCHODOWYM Z WYKORZYSTANIEM STFT

Janusz GARDULSKI, Łukasz KONIECZNY, Rafał BURDZIK

Katedra Budowy Pojazdów Samochodowych, Wydział Transportu, Politechnika Śląska  
40-019 Katowice, ul. Krasińskiego 8, fax./tel. 6034109 gardulski@polsl.katowice.pl

### Streszczenie

Referat przedstawia możliwości wykorzystania krótkoczasowej transformaty Fouriera (STFT) w diagnozowaniu stanu technicznego amortyzatora zabudowanego w samochodzie. Badania obejmowały usterki amortyzatora samochodu Skoda Fabia w postaci ubytku płynu amortyzatorowego oraz w postaci ubytku uszczelnienia tłoczka. Rejestrowanymi parametrami były przyspieszenia drgań mas: nieresorowanej i resorowanej pobudzanych do drgań wymuszeniem harmonicznym.

Słowa kluczowe: amortyzatory, diagnostyka

### THE DIAGNOSTICS SHOCK ABSORBERS BUILT IN CAR WITH STFT USED

#### Summary

The papers presents possibility used Short Time Fourier Transform (STFT) in diagnostics shock-absorber built in passenger car. Research range shock absorber built in Skoda Fabia passenger car with programmed fault form as loss through seal and as loss shock absorber fluid. Record was accelerations of chosen parts of vibration signals.

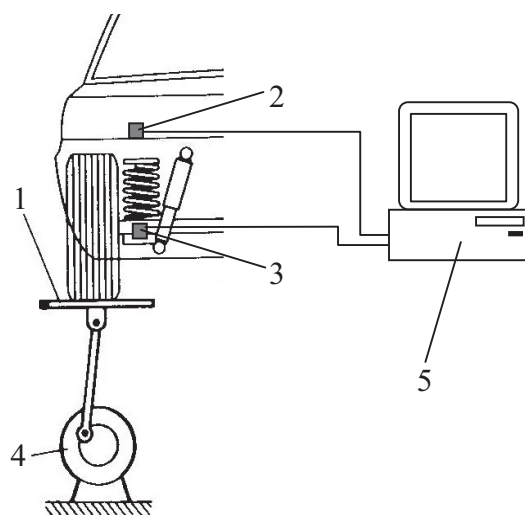
Keywords: shock-absorbers, diagnostics

## 1. WSTĘP

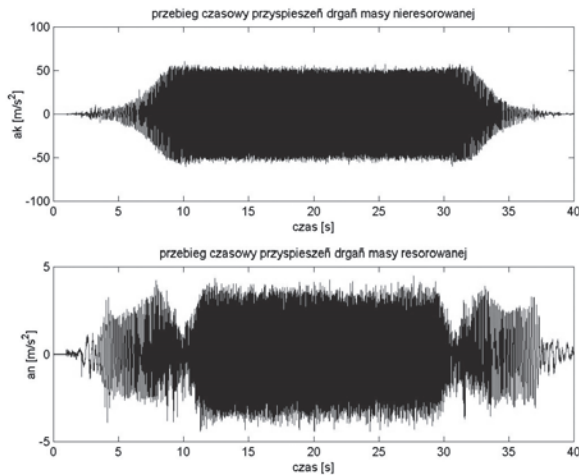
Diagnozowanie stanu technicznego amortyzatorów zabudowanych w zawieszeniach samochodowych jest zagadnieniem trudnym ze względu na złożoność układu zawieszenia zawierającego elementy sprężyste i tłumiące o nieliniowych charakterystykach. Powszechnie stosowane metody badań stanu amortyzatorów metodami drgań wymuszonych umożliwiają klasyfikację stanu technicznego amortyzatora, nie dostarczając informacji o rodzaju jego uszkodzenia.

## 2. METODA BADAŃ

Badania amortyzatorów zabudowanych w pojeździe przeprowadzono na stanowisku laboratoryjnym wyposażonym w wzbudnik drgań o ciągłej regulacji częstotliwości wymuszenia w zakresie  $0 \div 30$  [Hz]. Pomiar obejmował rozpędzanie, prace ze stałą częstotliwością wymuszenia oraz wygaszanie drgań. Rejestrowanymi parametrami były pionowe przyspieszenia drgań mas: resorowanej oraz nieresorowanej. Pojemnościowe czujniki przyspieszeń mocowane były w punkcie górnego mocowania amortyzatora oraz na wahaczu poprzecznym (rys1).



Rys.1. Schemat stanowiska badawczego.  
1 – płyta najazdowa, 2 – czujnik przyspieszeń drgań nadwozia, 3 – czujnik przyspieszeń drgań koła, 4 – silnik elektryczny, 5 – układ rejestrujący (komputer klasy PC)



Rys.2. Przebiegi czasowe drgań mas: nieresorowanej i resorowanej

Sygnaly z przetworników po zdyskretyzowaniu poddano dalszej obróbce wykorzystując środowisko obliczeniowe Matlab. Określano przyspieszenia względne obudowy i tłoczyska amortyzatora, jako różnice przyspieszeń nadwozia i koła. Uzyskane w ten sposób sygnały różnicowe poddane zostały krótkoczasowej transformacie Fouriera.

Obiektem badań był samochód marki Skoda Fabia. W zawieszeniu tego samochodu zmieniano amortyzatory z zaprogramowanymi usterekami. Jedną z tych usterek był kontrolowany wyciek oleju określany jako zawartość procentowa płynu względem wartości nominalnej (co 10% w zakresie od 100% do 60%). Drugą usterką był ubytek uszczelnienia tłoczka amortyzatora (przyjmujący wartości 2%, 4% oraz 6 % ubytku na obwodzie uszczelki tłoczka względem średnicy nominalnej). Przedstawione wyniki dotyczą badań amortyzatorów przednich w których zaprogramowano kombinacje wymienionych powyżej usterek.

## 2. METODA ANALIZY

Jedną z metod analizy sygnałów niestacjonarnych jest krótkoczasowa transformata Fouriera (STFT - Short Time Fourier Transform) której rezultatem jest trójwymiarowe odwzorowanie zachowania się procesu, przedstawiające amplitudę w funkcji czasu i częstotliwości.

W analizie sygnałów niestacjonarnych ma ona postać:

$$S(b, f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \cdot e^{-j2\pi ft} \cdot w(t-b) dt$$

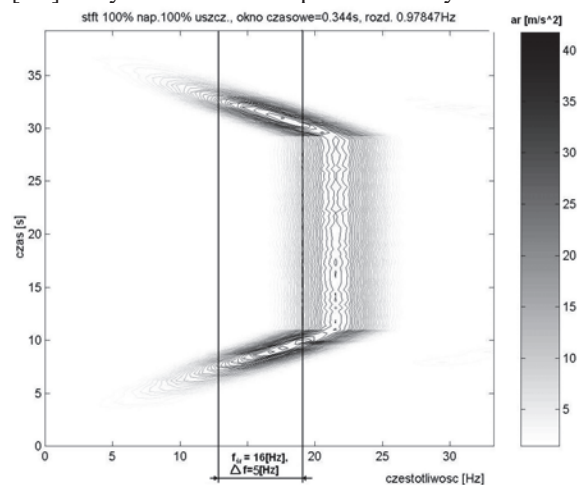
W metodzie tej przeprowadza się analizę częstotliwościową kolejnych fragmentów analizowanego sygnału mnożonego przez funkcje okna o stałej szerokości:  $w(t-b) = const$ . Kolejne fragmenty analizowane są niezależnie, wiążąc składowe widma z czasem. Wadą tej metody jest

stała szerokość okna lokalizującego. Ze względu na zależność pomiędzy szerokością okna a rozdzielczością częstotliwościową, przy zastosowaniu wąskiego okna czasowego, uzyskamy dobrą rozdzielczość czasową, jednak takie okno czasowe oznacza pogorszenie rozdzielczości częstotliwościowej. Tak więc dobór szerokości okna stanowi kompromis rozdzielczości w dziedzinach czasu i częstotliwości. Pewnym wyjściem umożliwiającym poprawę rozdzielczości częstotliwościowej w pojedynczej analizie FFT jest metoda uzupełniania zerami. Proces ten wymaga dodania do oryginalnego przebiegu próbek o zerowej wartości w celu zwiększenia całkowitej liczby próbek. Należy jednak rozważnie stosować to rozwiązanie, ponieważ obowiązuje przy nim prawo malejących zysków. Przy zastosowaniu okna prostokątnego występować będą przecieki widma. Zminimalizowanie ich uzyskuje się przez zastosowanie okien zmniejszających amplitudę (np. trójkątne, Hanninga, Hamminga itd.).

Zastosowanie tego typu okien pociąga za sobą stratę mocy sygnału ze względu na tłumienie na początku i na końcu zakresu objętego oknem. Metoda pozwalająca na minimalizację tego zjawiska to nakładanie się okien. Polega ona na poddaniu każdej próbki więcej niż jednej analizie FFT (np. dwukrotnie w przypadku okien nakładających się w 50% lub trzykrotnie w przypadku 75% nakładania się okien). W ten sposób próbki, które są całkowicie tłumione przez jedno okno, są wzmacniane przez następne okno.

Dla sygnałów różnicowych w analizie STFT zastosowano okno Hamminga o interwale czasowym  $\Delta t = 0,34$  s. Wycięte w ten sposób fragmenty czasowe wydłużono o 200% przez uzupełnienie ciągu wejściowego zerami i poddano analizie FFT. Okno czasowe przesuwano nakładając kolejne okna na siebie w 75%.

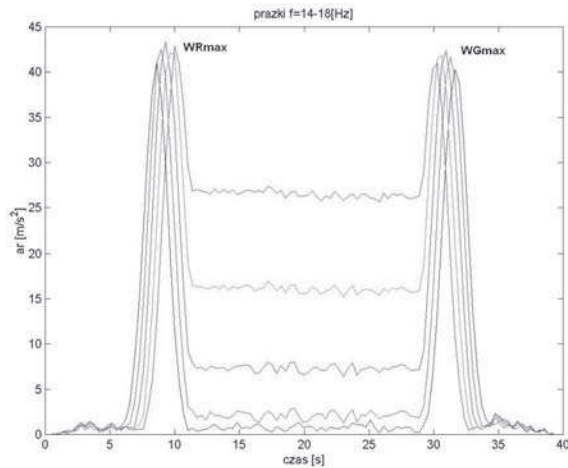
Uzyskano widma czasowo-częstotliwościowe o rozdzielczości częstotliwościowej rzędu 1 [Hz]. Przykładowe widmo przedstawia rys.2.



Rys.3. Przykładowe widmo STFT.

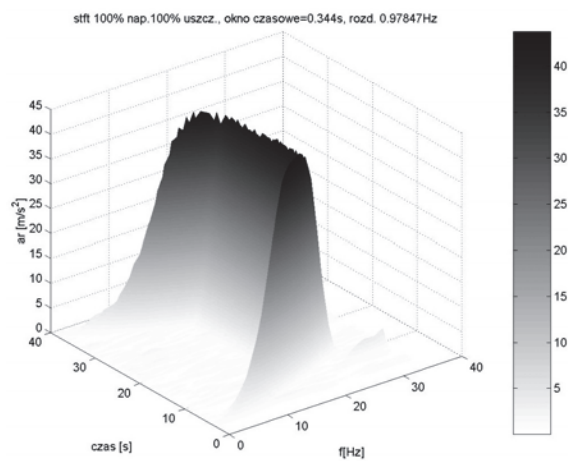
W widmie wyraźnie widoczne są maksymalne amplitudy dla częstotliwości

rezonansowej mas nieresorowanych (około 16 [Hz]). Określono średnie wartości maksymalnych przyspieszeń dla mas nieresorowanych (prążki od 14[Hz] do 18 [Hz]) przy rozpędzaniu ( $WR_{max}$ ) oraz przy wygaszaniu drgań ( $WG_{max}$ ) i przyjęto estymator amplitudowy  $W$  stanowiący średnią arytmetyczną  $WR_{max}$  i  $WG_{max}$ . Przekroje czasowe dla tych prążków przedstawia rys 4.

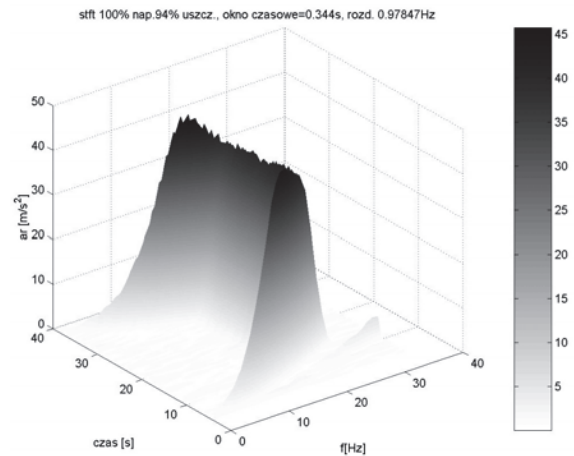


Rys.4. Przekroje czasowe dla prążków od 14[Hz] do 18 [Hz].

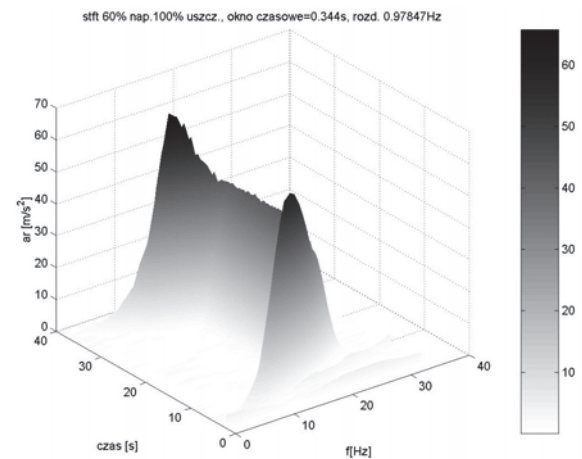
#### 4. WYNIKI BADAŃ



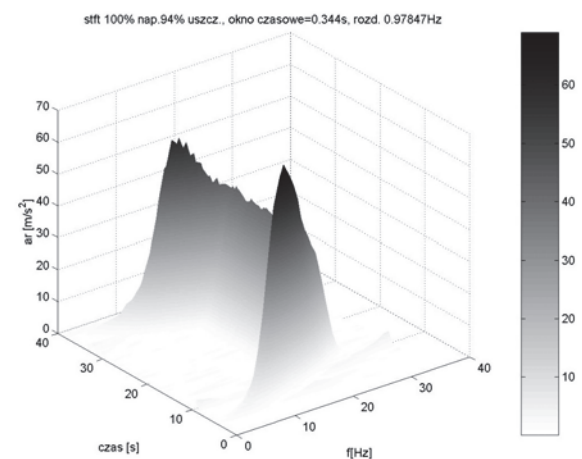
Rys.5. Widmo STFT dla amortyzatora bez usterek



Rys.6. Widmo STFT dla amortyzatora z 6% ubytkiem uszczelnienia

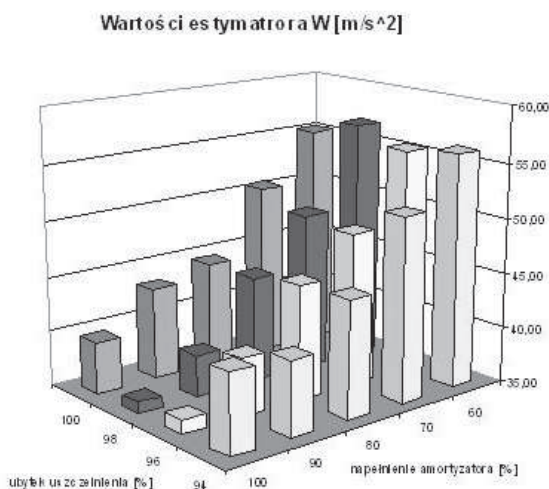


Rys.7. Widmo STFT dla amortyzatora z 60% napełnieniem płynem amortyzatorowym



Rys.8. Widmo STFT dla amortyzatora z 60% napełnieniem płynem amortyzatorowym oraz z 6% ubytkiem uszczelnienia

## 5. OPRACOWANIE WYNIKÓW BADAŃ



Rys.9. Zestawienie wartości estymatora  $W$  dla różnych kombinacji ubytku płynu amortyzatorowego oraz ubytku uszczelnienia.

Estymator  $W$  wskazuje wyraźną tendencję rosnącą w przypadku usterki w postaci ubytku płynu amortyzatorowego, niezależnie od stopnia uszkodzenia uszczelnienia stąd może być wykorzystany w diagnozowaniu tego rodzaju niesprawności amortyzatora:

- przy napełnieniu rzędu 80% wartości wskaźnika  $W$  wzrasta o około 10% w stosunku do wartości  $W$  dla amortyzatora sprawnego.

- przy napełnieniu rzędu 60% wartość wskaźnika  $W$  wzrasta o około 40% w stosunku do wartości  $W$  dla amortyzatora sprawnego.

W przypadku uszkodzenia amortyzatora zaprogramowanego w postaci ubytku uszczelnienia wybrany estymator nie wykazuje większych zmian przy tego rodzaju uszkodzeniu.

## LITERATURA

- [1] Gardulski J.: Bezstanowiskowa metoda oceny stanu technicznego zawiesznień samochodów osobowych. Radom 2003.
- [2] Gardulski J., Warczek J.: Zastosowanie krótkoczasowej transformaty Fouriera w diagnostyce zawiesznień pojazdów samochodowych. Zeszyty Naukowe Pol. Śl. S. Transport z. 44, nr 1562, 2002, str. 23-29.
- [3] Gardulski J., Konieczny Ł., Burdzik R.: Wykorzystanie STFT w diagnostyce stanu technicznego amortyzatora zabudowanego w pojeździe samochodowym. XXXII Ogólnopolskie Sympozjum „Diagnostyka Maszyn”, Węgierska Górka 2005.
- [4] Lyons R.: Wprowadzenie do cyfrowego przetwarzania sygnałów, WKiŁ Warszawa 1999.
- [5] Reipell J., Betzler J.: Podwozia samochodów – podstawy konstrukcji. WKiŁ Warszawa, 2001,

[6] Swami A., Mendel J. M., Nikias Ch. L.: Higher-Order Spectral Analysis Toolbox. User's Guide.

[7] Zalewski A., Cegięła R.: Matlab PWN Warszawa 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 zawiesznień 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. Łukasz Konieczny jest doktorantem w Katedrze Budowy Pojazdów Samochodowych Wydziału Transportu Politechniki Śląskiej. Zainteresowania: diagnostyka maszyn, cyfrowe przetwarzanie sygnałów, komputerowe wspomaganie projektowania.



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