

Janusz GARDULSKI, Łukasz KONIECZNY, Rafał BURDZIK

WYKORZYSTANIE STFT W IDENTYFIKACJI STANU TECHNICZNEGO AMORTYZATORÓW BADANYCH METODĄ DRGAŃ SWOBODNYCH

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki analiz wibroakustycznych sygnałów drganiowych generowanych przez zawieszenie samochodu osobowego pobudzone do drgań wymuszeniem impulsowym. Do analizy sygnału wykorzystano krótkoczasową transformatę Fouriera (Short Time Fourier Transform) z zastosowaniem okna Hamminga z 75% nakładaniem się okien. Badania obejmowały amortyzatory z zaprogramowanymi usterkami w postaci ubytku uszczelnienia tłoczka oraz ubytku płynu amortyzatorowego, które zostały zabudowane w samochodzie marki Skoda Fabia.

ANALYSIS OF STFT TAKE ADVANTAGE IN TECHNICAL CONDITION IDENTIFICATION IN FREE VIBRATION RESEARCHES METHOD OF SHOCK ABSORBER

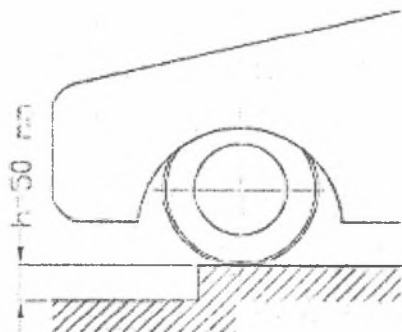
Summary. The paper presents the results of vibration signals analysis generate by car suspension stimulate to vibration impulse signal. Signal analysis used Short Time Fourier Transform with Hamming window superimpose to 75%. Research range shock absorber with programmed fault form as loss throng seal and as loss shock absorber fluid, built in Skoda Fabia passenger car.

1. WSTĘP

Określenie stanu technicznego amortyzatorów zabudowanych w zawieszeniu samochodu stanowi duży problem badawczy między innymi ze względu na nieliniowe charakterystyki elementów sprężystych i tłumiących zawieszenia. Powszechnie stosowane metody badań stanu amortyzatorów metodami drgań swobodnych oraz 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 badawczym, metodą drgań swobodnych. Pobudzenie do drgań mas nieresorowanych i resorowanych odbywa się poprzez wymuszenie impulsowe („spadek” koła samochodu z progu o wysokości 50 mm). Schemat stanowiska przedstawiony jest na rys 1.



Rys. 1. Stanowisko do badań metodą drgań swobodnych
Fig. 1. Test stand to researches method free vibration

Rejestrowanymi parametrami były pionowe przyspieszenia drgań mas nieresorowanej oraz resorowanej za pomocą pojemnościowych przetworników przyspieszeń mocowanych w punkcie górnego i dolnego połączenia amortyzatora z nadwoziem i wahaczem poprzecznym. Sygnały 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 transformacji Fouriera.

Obiektem badań było zawieszenie niezależne samochodu marki Skoda Fabia, w którym zabudowywano amortyzatory z zaprogramowanymi usterkami łącznymi. Były to: ubytek uszczelnienia tłoczka amortyzatora (nowy oraz z 2% ubytkiem na średnicy uszczelki tłoczka względem średnicy nominalnej) oraz ubytek płynu amortyzatorowego (wartości 10% i 20% ubytku). Przedstawione w pracy wyniki dotyczą badań amortyzatorów przednich.

3. METODA ANALIZY

Do analizy przyspieszeń różnicowych, ze względu na ich niestacjonarność, nie można stosować typowej analizy Fouriera. Jedną z możliwych do zastosowania metod analiz sygnałów niestacjonarnych jest analiza STFT (Short Time Fourier Transform), której rezultatem jest trójwymiarowe odwzorowanie zachowania się procesu, przedstawiające amplitudę w funkcji czasu i częstotliwości.

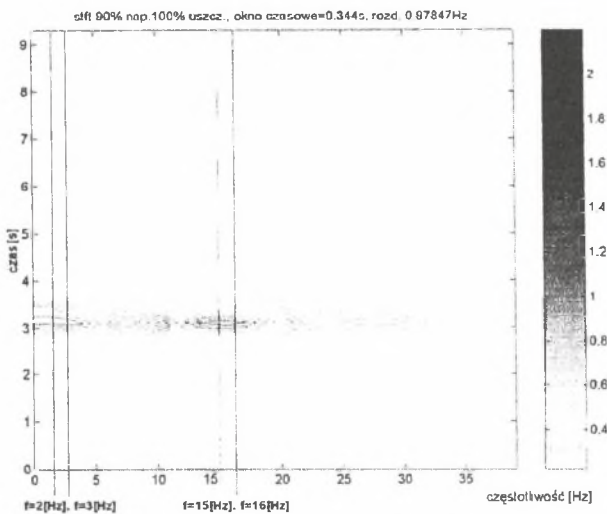
Krótkoczasowa transformata Fouriera zdefiniowana jest następująco:

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

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. 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. Przy zastosowaniu okna prostokątnego należy też podkreślić, że nieciągłe zmiany w przypadku stosowania tego okna są źródłem przecieku widma. Zminimalizowanie tego przecieku uzyskuje się przez

zastosowanie okien zmniejszających amplitudę (np. trójkątne, Hanninga, Hamminga itp.). Jednak zastosowanie tego typu okien pociąga za sobą stratę mocy sygnału ze względu na tłumienie na początku i na końcu zakresu objętego oknem. Metodą pozwalającą na minimalizację tego zjawiska jest 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.

W analizie 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.



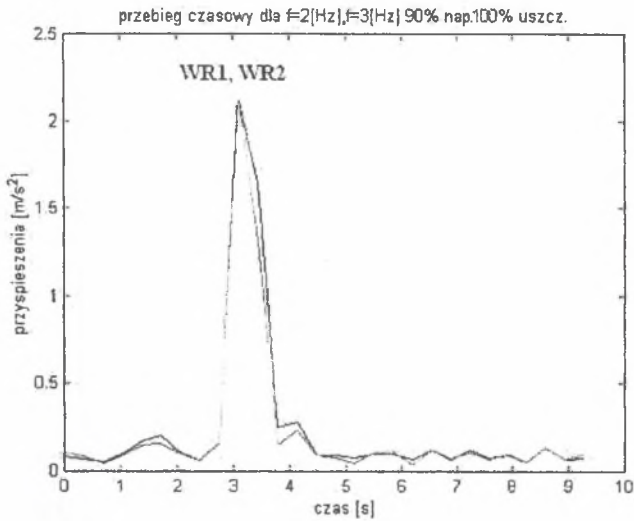
Rys. 2. Widmo STFT oraz wybrane prążki w dziedzinie częstotliwości
Fig. 2. Time-frequency structure and chooses streak in frequency domain

W widmie występują wyraźne maksymalne amplitudy dla częstotliwości rezonansowej mas resorowanych (około 3 Hz) oraz dla częstotliwości mas nieresorowanych (około 15 Hz). Jako estymatory amplitudowe określono średnią wartości maksymalnych przyspieszeń dla mas resorowanych WR (prążki 2 Hz -WR1 i 3 Hz -WR2) i dla mas nieresorowanych WN (prążki 15 Hz -WN1 i 16 Hz -WN2), oraz estymator W będący ilorazem WR/WN. Przekroje czasowe dla tych prążków przedstawiają rys 3 i 4.

$$WR = \frac{WR1 + WR2}{2}, \quad WN = \frac{WN1 + WN2}{2}, \quad W = \frac{WR}{WN}$$

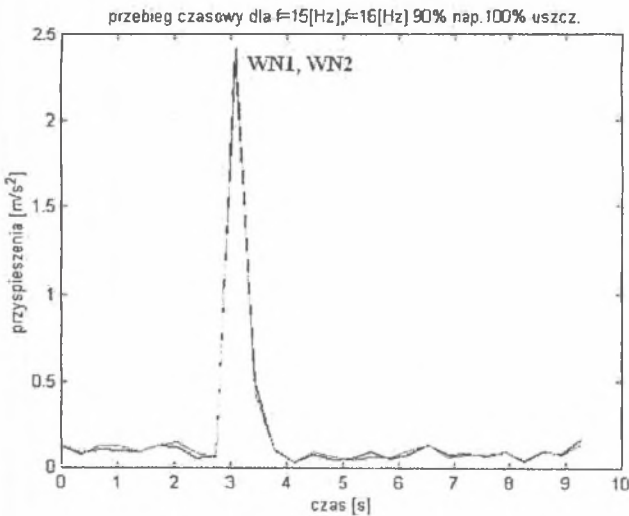
gdzie:

- WR1- max. wartość przyspieszeń dla prążka 2 Hz,
- WR2- max. wartość przyspieszeń dla prążka 3 Hz,
- WN1- max. wartość przyspieszeń dla prążka 15 Hz,
- WN2- max. wartość przyspieszeń dla prążka 16 Hz.



Rys. 3. Przekrój widma dla prążków 2 Hz i 3 Hz

Fig. 3. Section time-frequency structure from 2 Hz and 3 Hz

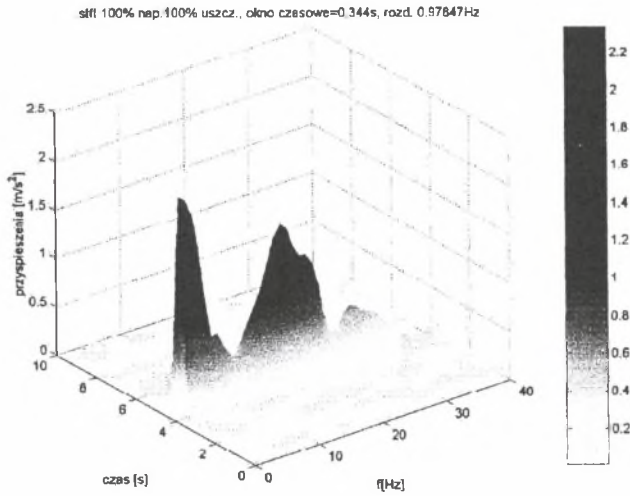


Rys. 4. Przekrój widma dla prążków 15 Hz i 16 Hz

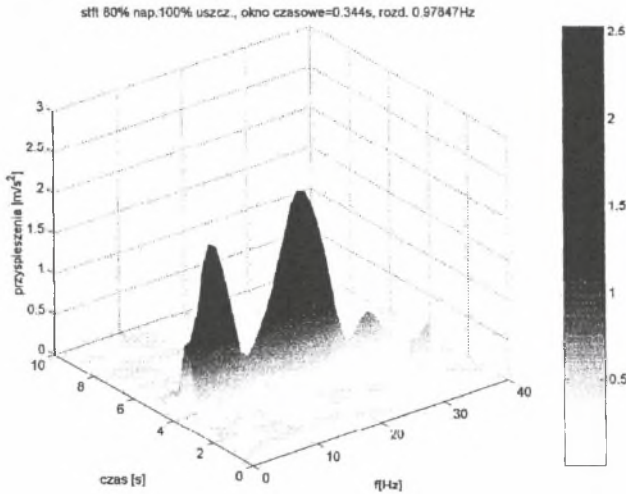
Fig. 4. Section time-frequency structure from 15 Hz and 16 Hz

4. WYNIKI BADAŃ

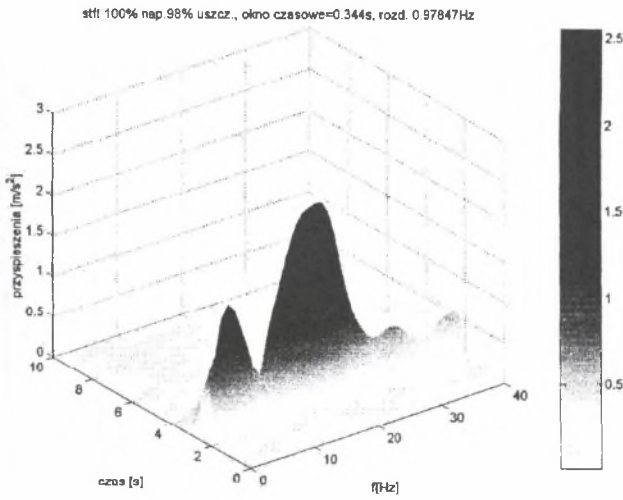
Na przykładowych rys. 5,6,7,8 przedstawiono wyniki analiz czasowo-częstotliwościowych uzyskanych dla przyspieszeń różnicowych w przypadku ubytku płynu amortyzatorowego oraz ubytku uszczelnienia tłoczka. Widoczny jest wzrost amplitud dla częstotliwości rezonansowych mas resorowanych oraz nieresorowanych dla zaprogramowanych usterek.



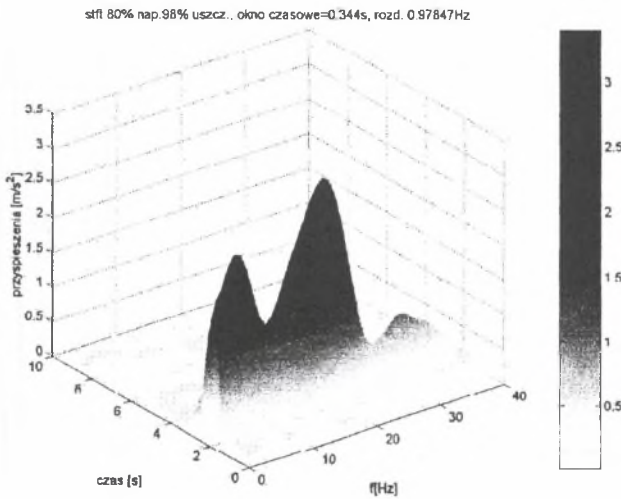
Rys. 5. Widmo STFT dla amortyzatora nowego
Fig. 5. Time-frequency structure from new shock absorber



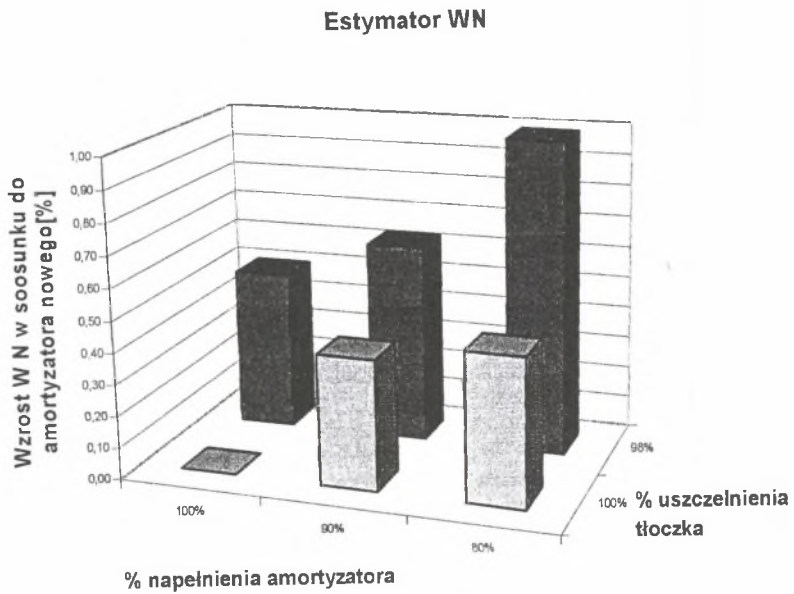
Rys. 6. Widmo STFT dla amortyzatora z 80% napełnieniem płynem amortyzatorowym
Fig. 6. Time-frequency structure from shock absorber to fill with 80% shock absorber fluid



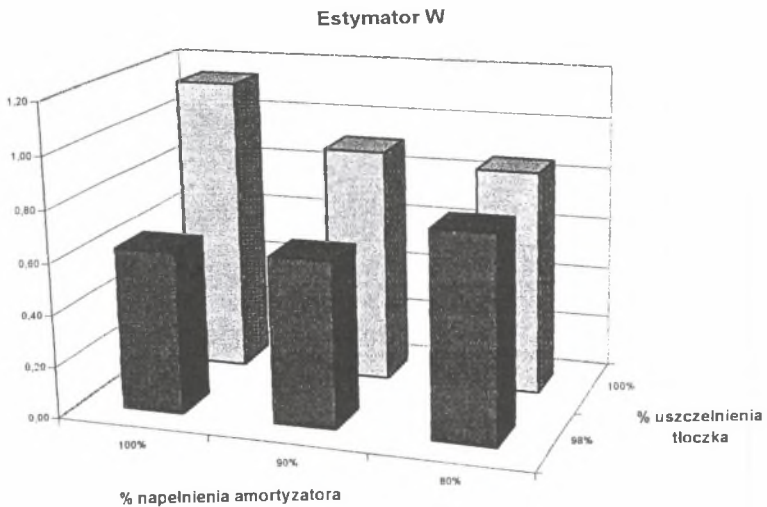
Rys. 7. Widmo STFT dla amortyzatora z 98% uszczelnieniem
 Fig. 7. Time-frequency structure from shock absorber with 98% through seal



Rys. 8. Widmo STFT dla amortyzatora z 80% napełnienie płynem amortyzatorowym oraz 98% uszczelnieniem
 Fig. 8. Time-frequency structure to fill with 80% shock absorber fluid and with 98% through seal



Rys. 9. Wzrost estymatora WN w [%] w stosunku do amortyzatora nowego
 Fig. 9. Growth index WN in [%] in relation to new shock absorber



Rys. 10. Zmiana wartości estymatora W
 Fig. 10. Change index W

5. WNIOSKI

W diagnostyce niesprawności łącznych amortyzatora zaprogramowanych jako ubytek płynu amortyzatorowego oraz ubytek uszczelnienia może być zastosowany estymator WN, dla którego:

- przy napełnieniu rzędu 90% i 80% oraz nieuszkodzonym uszczelnieniu tłoczka występuje wzrost wartości wskaźnika WN o około 40% w stosunku do wartości WN dla amortyzatora sprawnego,
- przy 2% ubytku uszczelnienia tłoczka wartość wskaźnika WN wzrasta wyraźnie, bo około 50% dla napełnienia 100% płynem oraz o 90% dla napełnienia 80% płynem amortyzatorowym.

Tak jednoznacznej tendencji nie wykazał estymator WR. Zaproponowano więc estymator bezwymiarowy W zdefiniowany jako iloraz WR/WN , dla którego:

- przy napełnieniu rzędu 90% i 80% oraz nieuszkodzonym uszczelnieniu tłoczka występuje spadek wartości estymatora W o około 20% w stosunku do wartości W dla amortyzatora sprawnego,
- przy 2% ubytku uszczelnienia tłoczka wartość estymatora W rośnie od około 50% dla napełnienia 100% płynem do 70% dla napełnienia 80% płynem amortyzatorowym.

Możliwość zastosowania tych estymatorów wymaga jednak badań na szerszą skalę z większą ilością uszkodzeń łącznych amortyzatorów.

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. ser. Transport z. 44, nr 1562, Gliwice 2002, s. 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., Cegiela R.: Matlab. PWN, Warszawa 1996.