

Łukasz KONIECZNY

## WYKORZYSTANIE EFEKTÓW NIELINIOWYCH W DIAGNOSTYCE WIBROAKUSTYCZNEJ ZAWIESZEŃ HYDROPNEUMATYCZNYCH

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono wyniki badań na stanowisku z kinematycznym wymuszeniem harmonicznym, przeprowadzonych dla zawieszenia hydropneumatycznego samochodu Citroen BX. Rejestrowano przyspieszenia wybranych elementów pojazdu dla różnych stanów technicznych zawieszenia hydropneumatycznego (wartości ciśnienia azotu w sferze). Przeprowadzono analizy FFT sygnałów przyspieszeń nadwozia dla stacjonarnej części wymuszenia i zestawiono widma dla różnych stanów technicznych zawieszenia hydropneumatycznego.

## NO-LINEAR EFFECT USED IN VIBROACOUSTIC DIAGNOSTIC OF HYDROPNEUMATIC SUSPENSION

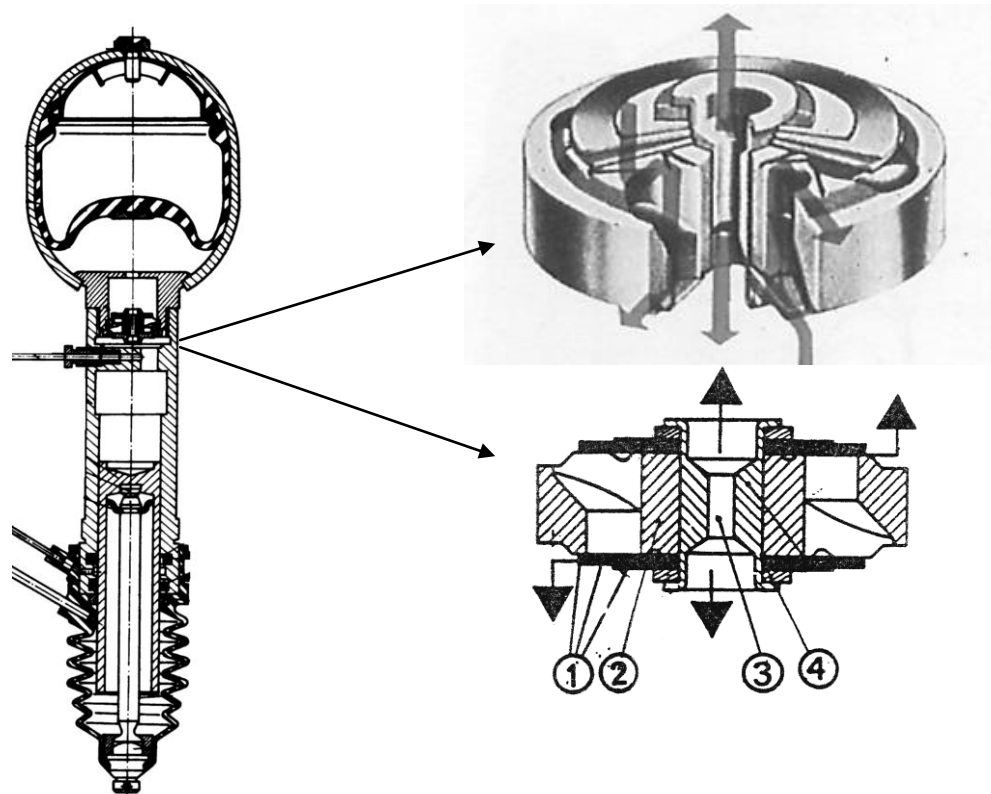
**Summary.** The paper presents results of researches made on kinematic extortion test stand of Citroen BX hydropneumatic suspension. The accelerations of chosen elements was measured for different technical conditions (value of nitrogen pressure in hydropneumatic sphere). There was Fast Fourier Transform of body accelerations made for stationary part of signal and the spectrums for different technical conditions of hydropneumatic suspension was compared.

### 1. WSTĘP

Zawieszenie hydropneumatyczne jest niekonwencjonalnym zawieszeniem pojazdów samochodowych, stosowanym w wybranych modelach samochodów marki Citroen, wykorzystującym sprężyny gazowe o stałej masie gazu. W zawieszeniach tych rolę sprężyny pełni wspomniana sprężyna gazowa o stałej masie gazu (stosowany jest azot ze względu na ograniczenie dyfuzji tegoż gazu przez materiał membrany), rolę amortyzatora pełni natomiast dławik który reguluje przepływ płynu hydraulicznego w siłowniku zawieszenia (rys. 1) [7]. Obecnie wykorzystuje się materiały bazujące na stopach żelaza, ale –uwzględniając tendencje do redukcji mas nieresorowanych oraz całego pojazdu w budowie elementów m.in. zawieszenia pojazdu zastosowanie mogą znaleźć nowoczesne materiały [8].

Dławik (rys.1) składa się z centralnego dławika 3, który umożliwia bezpośredni przepływ płynu z i do sfery hydropneumatycznej, powodując efekt tłumienia. Dodatkowe kanały są przymknięte sprężystymi przysłonami 1, rozmieszczonymi wokół centralnego otworu, i kształtują żądane charakterystyki tłumienia przy sprężaniu i rozprężaniu.

Do głównych zalet tego rodzaju rozwiązania zawieszenia należą utrzymanie stałego prześwitu pojazdu niezależnie od obciążenia statycznego oraz możliwość ręcznego regulowania prześwitu pojazdu, dostosowując go do zaistniałych warunków i potrzeb. Dodatkowo częstotliwość drgań własnych nadwozia z tego rodzaju zawieszeniem jest niższa niż w przypadku konwencjonalnych zawieszeń mechanicznych, co zapewnia wysoki komfort podróży.

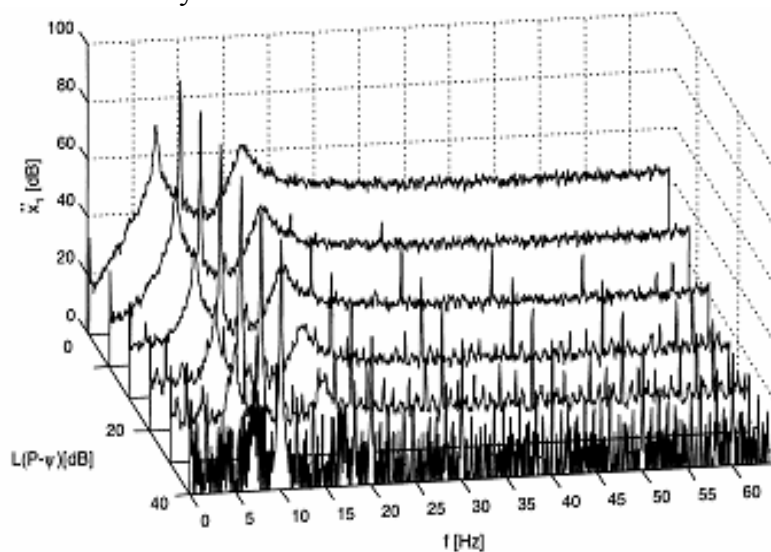


Rys. 1. Kolumna zawieszenia hydropneumatycznego i jej amortyzator (1 – przysłony, 2 – korpus amortyzatora, 3 – dławik centralny, 4 – podkładka) [7]

Fig.1. Hydro-pneumatic strut and its dumper (1 – diaphragms, 2 – dumper body, 3 – central hole, 4 – washer) [7]

## 2. METODA ANALIZY

Efekty słabo nieliniowe mogą służyć do identyfikacji nieliniowych parametrów charakterystyk modelu oraz pełnić rolę symptomów diagnostycznych. Na rys. 2 przedstawiono zaczerpnięty z literatury [1] rysunek, obrazujący wpływ szumu na czytelność badanych efektów nieliniowych.

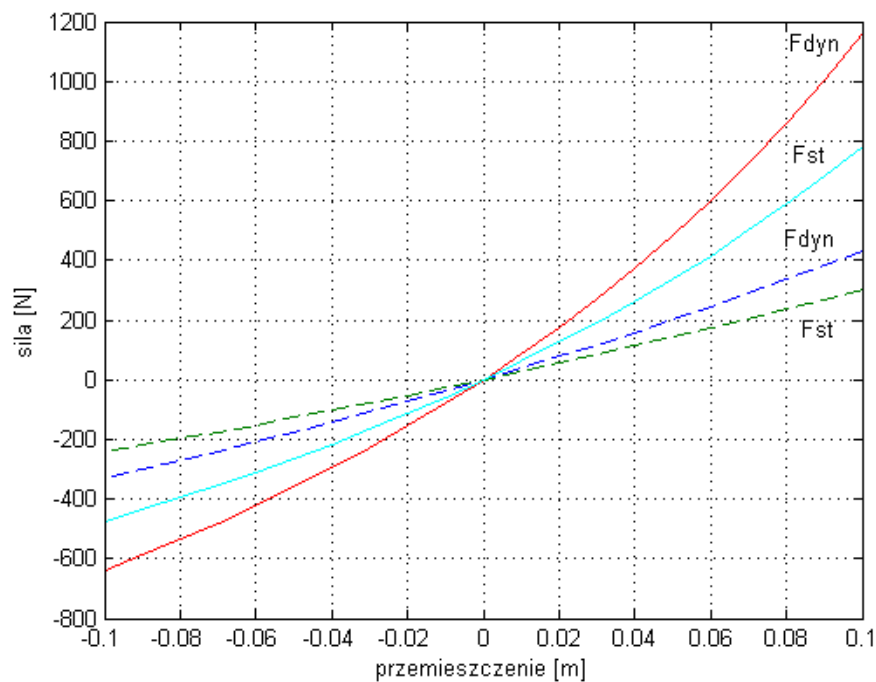


Rys.2. Wpływ udziału szumu w wymuszeniu na czytelność efektów nieliniowych [1]

Fig.2. Influence of noise in signal on readability of non-linear effects [1]

Autorzy [1, 3] stwierdzają, iż istnieje pewien zakres wielkości udziału szumu w wymuszeniu, dla którego jest możliwość wykorzystania efektów nieliniowych jako symptomów diagnostycznych lub kryteriów identyfikacji. Prawdopodobieństwo dokonania błędnej diagnozy, przy wykorzystaniu efektów nieliniowych jako zidentyfikowanych symptomów, jest bardzo małe. Wynika to z faktu, że istnieje znacząca różnica pomiędzy wysokimi poziomami amplitud przyspieszeń drgań o częstotliwościach rezonansów nieharmonicznych zarejestrowanymi przy małym udziale szumu, a niskimi poziomami tych samych amplitud, zarejestrowanymi przy dużym udziale szumu.

Efekty nieliniowe w rozważanym przypadku zawieszenia harmonicznego wynikają z zastosowania elementu sprężysto tłumiącego (kolumny hydropneumatycznej) o nieliniowej charakterystyce, przedstawionej na rys. 3, oraz ich zmian związanych ze zmianą stanu technicznego (zmiana ciśnienia w sferze). Zmiana stanu, tzn. obniżenie ciśnienia w sferze, pociąga za sobą zmniejszenie wartości sztywności sprężyny gazowej o stałej masie gazu [2, 4, 5, 6].



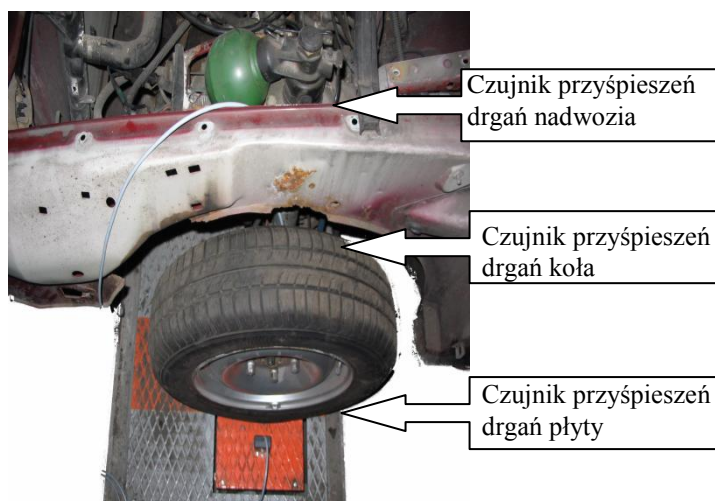
Rys. 3. Charakterystyki statyczna i dynamiczna sprężyny gazowej w funkcji przemieszczenia tłoczyska: linia ciągła  $-p_1=2,5$  MPa; linia przerywana  $-p_0=5,5$  MPa (badania własne)

Fig. 3. Static and dynamic characteristics of gas spring in function of rod displacement: continuous line  $-p_1=2,5$  MPa; dashed line  $-p_0=5,5$  MPa (own research)

Bazując na tych spostrzeżeniach, przeanalizowano wykorzystanie obserwacji amplitud dla częstotliwości harmonicznym w widmach przyspieszeń drgań nadwozia pojazdu z zawieszeniem hydropneumatycznym w różnym stanie technicznym.

Rejestrowanymi sygnałami były przyspieszenia drgań nadwozia pojazdu (rys. 4.). Pojazd pobudzano do drgań stosując mechaniczny wzbudnik drgań, który generował przemieszczenia sinusoidalne w zakresie częstotliwości 0-21,5 Hz o amplitudzie przemieszczeń 8 mm.

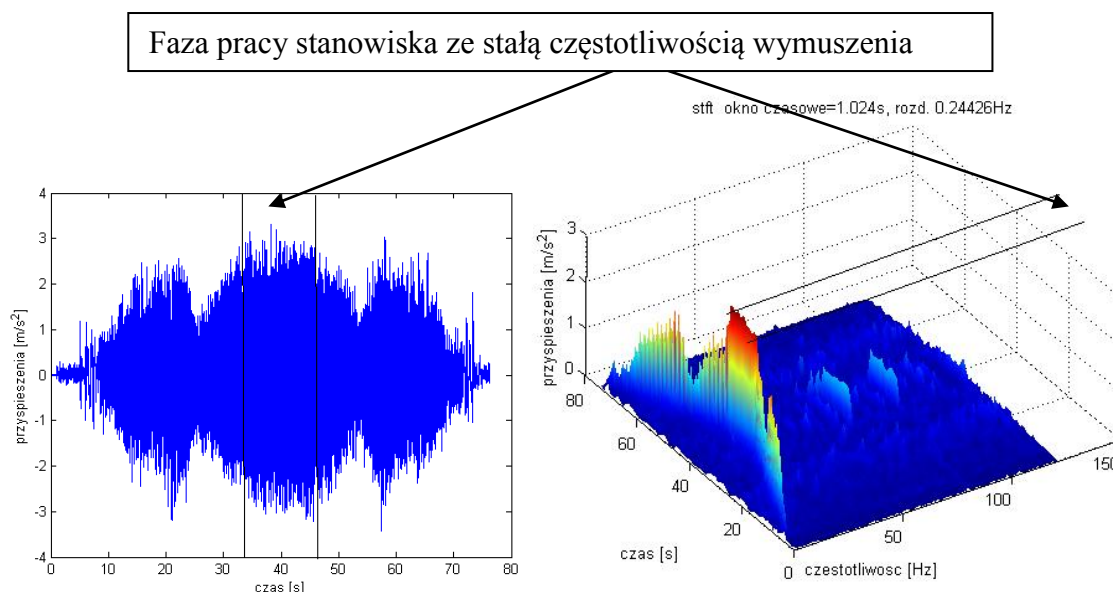
W artykule wykorzystano analizę FFT stacjonarnego fragmentu wymuszenia (częstotliwość 21,5 Hz). Procedurę FFT wykonano za pomocą algorytmu zaimplementowanego w środowisku Matlab.



Rys. 4. Widok pojazdu na stanowisku harmonicznym oraz miejsca mocowania czujników drgań  
Fig. 4. View of the car on test stand and mounting location of accelerometers

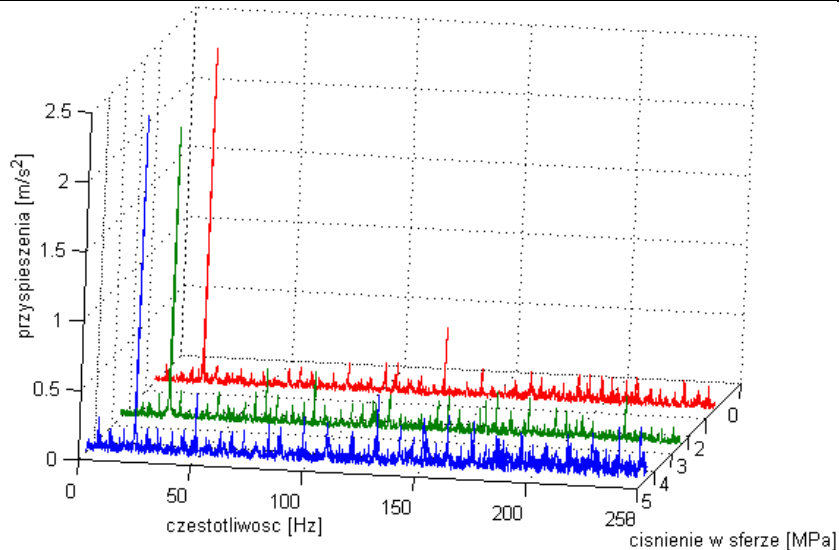
### 3. PRZYKŁADOWE WYNIKI BADAŃ

Badania przeprowadzono dla przedniej kolumny zawieszenia hydropneumatycznego samochodu Citroen BX, w której zabudowano sferę o ciśnieniu nominalnym 5,5 MPa oraz o zaniżonych wartościach ciśnień, tzn. 2,5 MPa oraz 1,5 MPa. Na rys. 5 przedstawiono przykładowy zarejestrowany w czasie próby przebieg czasowy przyspieszeń drgań nadwozia pojazdu oraz widmo STFT tegoż sygnału, obrazujące zmiany jego częstotliwości.



Rys. 5. Przykładowy przebieg czasowy drgań nadwozia i widmo STFT tego sygnału  
Fig. 5. Time realization of body accelerations and STFT spectrum of this signal

Dla stacjonarnej części przebiegu czasowego przyspieszeń drgań nadwozia wyznaczono widma FFT (rys. 6.) i dokonano ich porównania jakościowego dla różnych stanów technicznych zawieszeń hydropneumatycznych (ciśnień w sferze).



Rys. 6. Widma FFT przyspieszeń drgań nadwozia dla trzech zadanych wartości ciśnienia statycznego w sferze zawieszenia hydropneumatycznego

Fig. 6. FFT spectrums of body accelerations for three value of gas pressure in hydro-pneumatic sphere

#### 4. PODSUMOWANIE

Otrzymane wyniki badań stanowią obiecujące podstawy do dalszych prac nad wykorzystaniem efektów nieliniowych w diagnostyce stanu technicznego zawiesznień hydropneumatycznych, bazujących na analizach wibroakustycznych. Stwierdzono, że zmiany stanu technicznego powodują zmiany ilościowe w wartościach poszczególnych amplitud prążków dla wyższych częstotliwości harmonicznych. Dalsze analizy skupią się na poszukiwaniach estymatorów, wiążących zmiany wartości amplitud poszczególnych składowych częstotliwościowych ze stanem technicznym zawieszenia hydropneumatycznego.

#### Bibliografia

1. Batko W., Dąbrowski Z., Engel Z., Kiciński J., Weyna S.: Nowoczesne metody badania procesów wibroakustycznych. Biblioteka Problemów Eksploatacji, Radom 2005.
2. Burdzik R., Konieczny Ł.: The influence of oil leak in vehicle shock absorber on its dumping characteristics. Diagnostyka, nr 1(49), PTDT, 2009, s. 83-86.
3. Dąbrowski Z., Pankiewicz J.: Diagnosing a vehicle's suspension system on the basis of the non-linear effects of the dynamic response. Machine Dynamics Problems 2002, Vol.26, s.27-41
4. Konieczny Ł.: Wpływ zmian stanu technicznego zawieszenia hydropneumatycznego samochodu osobowego na jego charakterystyki dynamiczne. Rozprawa doktorska, Wydział Transportu Politechniki Śląskiej, Katowice 2006.
5. Konieczny Ł., Gardulski J.: Apply of simulation researches in diagnostic's of vehicle hydro-pneumatic suspension. Problemy Transportu, t. 2, z. 1, Gliwice 2007, s. 13-21.
6. Konieczny Ł., Gardulski J.: Wpływ obciążenia statycznego na tłumienie kolumny hydropneumatycznej. Diagnostyka, nr 4(40), PTDT, 2006, s. 33-36.
7. Potocki W.: Citroen BX. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 1996.
8. Wieczorek J., Łabaj J., Siwiec G., Oleksiak B.: Properties of polymer composites reinforced of silver particles. European Congress on Advanced Materials and Processes – Euromat 2011, Francja, Mountpellier 2011.