

---

# WYBRANE PROBLEMY INŻYNIERSKIE

NUMER 2

INSTYTUT AUTOMATYZACJI PROCESÓW TECHNOLOGICZNYCH  
I ZINTEGROWANYCH SYSTEMÓW WYTWARZANIA

---

Mariusz KOSOBUDZKI\*

Wyższa Szkoła Oficerska Wojsk Lądowych we Wrocławiu

\* mariusz.kosobudzki@poczta.onet.pl

## WYZNACZANIE CZĘSTOŚCI DRGAŃ SKRĘTNYCH USTROJU NOŚNEGO SAMOCHODU CIĘŻAROWO – OSOBOWEGO WYSOKIEJ MOBILNOŚCI NA PODSTAWIE DANYCH AKCELEROMETRYCZNYCH

**Streszczenie:** Dla ustroju nośnego wybranego samochodu ciężarowo – osobowego wysokiej mobilności (wojskowy odpowiednik samochodu terenowego) wykonano analizę sygnałów odpowiedzi, wykorzystując w tym celu zmierzone wartości przyspieszeń. Wykorzystano metodę Operating Deflection Shape (ODS) nazywaną również Running Mode [1]. Wyznaczony zbiór częstości poddano analizie, poszukując częstości drgań własnych skrętnych za pomocą metody Peak Picking.

### 1. Wstęp

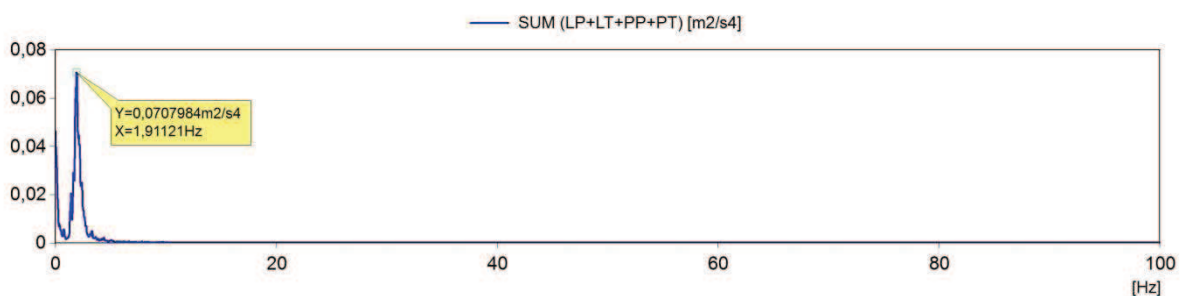
Analiza dynamiki złożonych obiektów mechanicznych jest prowadzona dzisiaj w środowisku wirtualnym z wykorzystaniem specjalnych programów komputerowych bazujących najczęściej na metodzie elementów skończonych [2]. Obiekty, dla których nie zbudowano wirtualnych modeli, mogą być poddawane analizie dynamiki z wykorzystaniem innych metod. Jedną z nich jest analiza widma dotycząca zmierzonych sygnałów akcelerometrycznych w poszukiwaniu charakterystycznych częstości rezonansowych. Ich występowanie wskazuje na obszary częstości, które nie powinny się pokrywać z częstościami wymuszenia. W ustroju nośnym pojazdu najgroźniejszymi drganiami rezonansowymi są te, w których postacią drgań jest skręcanie [3]. W związku z powyższym, w badaniach wykorzystano tylko cztery czujniki przyspieszeń zainstalowane na podłużnicach nad osiami jezdnyymi [4]. Badania prowadzono w wybranych warunkach ruchu; w terenie i po drodze twardej z nawierzchnią asfaltowo - brukowaną. Dla samochodów ciężarowo – osobowych wysokiej mobilności możliwość jazdy w terenie (po bezdrożu) jest uwzględniana na etapie konstruowania [5]. Taki typ drogi charakteryzuje się nierównościami rozłożonymi niesymetrycznie dla prawego i lewego śladu. Amplituda zmian wysokości nierówności jest znaczna (dochodzi nawet do  $0,40 \div 0,50$  m), co w konsekwencji prowadzi do znacznego skręcania ustroju nośnego.

## 2. Analiza widma sygnału akcelerometrycznego zmierzonego podczas ruchu pojazdu w terenie

Podczas jazdy prowadzono rejestrację sygnałów przyspieszeń mierzonych za pomocą czujników pojemnościowych z częstotliwością próbkowania 1,5 kHz (częstość Nyquista - 750 Hz), wykorzystując rejestrator wielokanałowy. Zmierzone sygnały poddano następnie filtracji dolnoprzepustowej dla szerokości pasma od 0 do 100 Hz, przyjmując, że wyższe częstotliwości nie wywołują znaczących przemieszczeń dla skręcania. W celu uniknięcia przecieków widma zastosowano metodę okienkowania z filtrem Hanninga oraz overlap na poziomie 67%. Dla tak wstępnie przygotowanych sygnałów zmierzonych przyspieszeń wyznaczono gęstości widmowe mocy (PSD) i zsumowano je (1), otrzymując jeden sygnał **SUM**, którego przebieg przedstawiono na rys. 1.

$$SUM = PP + PT + LP + LT \quad (1)$$

gdzie: PP, PT, LP, LT są odpowiednio PSD dla prawego przodu, prawego tyłu, lewego przodu i lewego tyłu ramy.

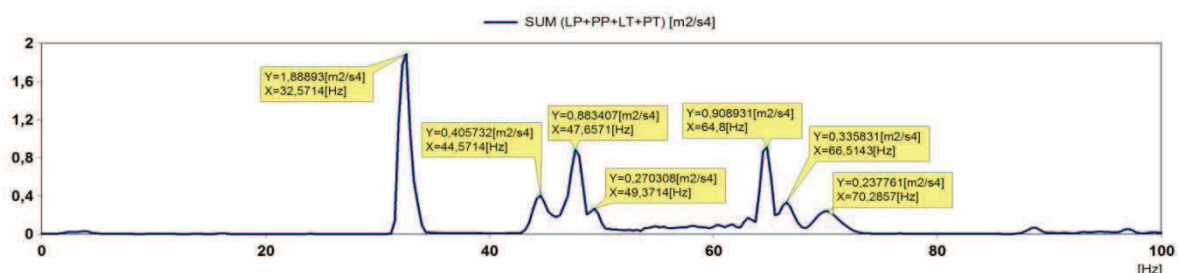


Rys. 1. Suma PSD przyspieszenia drgań ustroju nośnego (bezdrożnie)  
Fig. 1. Sum of PSD of acceleration the underframe (off-road)

Przedstawiony na rys. 1 przebieg gęstości widmowej mocy przyspieszeń drgań pokazuje tylko jeden pik dla częstotliwości ok. 1,91 Hz. Brak kolejnych pików może być spowodowany parametrami charakterystyki wymuszenia (jest ona wąskopasmowa), w której dominują drgania o niskich częstotliwościach (wyższe częstotliwości nie są reprezentowane w porównywalnym stopniu i tym samym nie wywołują drgań dla wyższych częstotliwości)[1].

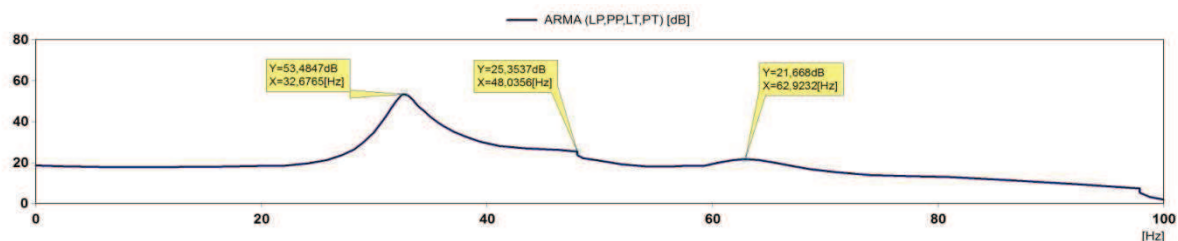
## 3. Analiza widma sygnału akcelerometrycznego zmierzonego podczas ruchu pojazdu po drodze twardej

W podobny sposób przeprowadzono analizę sygnałów odpowiedzi zmierzonych podczas ruchu pojazdu po drodze twardej z nawierzchnią asfaltową i brukową. Wyznaczony przebieg PSD przedstawiono na rys. 2. Na otrzymanej charakterystyce opisano wartości maksymalne wyznaczonego spektrum.



Rys. 2. Suma PSD przyspieszenia drgań ustroju nośnego (nawierzchnia asfaltowa i brukowa)  
Fig. 2. Sum of PSD of acceleration the underframe (asphalt and cobbled surface)

Na rys. 2 przy częstości ok. 2 Hz nie następuje wzrost PSD (por. rys. 1). Zauważalne piki występują dla wartości częstości 32,57; 44,57; 47,66; 49,37; 64,8; 70,29 [Hz]. Pozwala to przypuszczać, że w tym przypadku wymuszenie miało charakter szerokopasmowy. Dla sprawdzenia, czy w przedstawionym zbiorze częstości występują rezonanse dla drgań własnych, obliczono funkcję autoregresji sumy przyspieszeń LP, PP, LT i LT. Otrzymany przebieg został zobrazowany na rys. 3.

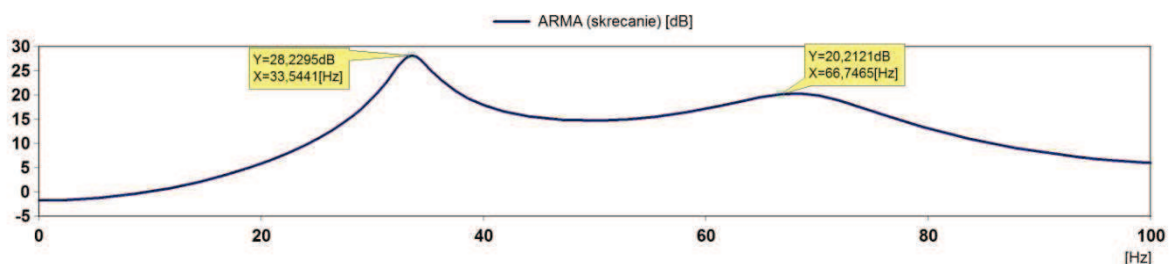


Rys. 3. Wykres funkcji Auto-Regressive Moving Average (nawierzchnia asfaltowa i brukowa)  
Fig. 3. Plot of Auto-Regressive Moving Average (asphalt and cobbled surface)

Na wykresie można zauważyć trzy charakterystyczne maksima dla częstości, które występują również na rys. 2. Wskazują one na wartości częstości, przy której występują drgania własne. W celu sprawdzenia, czy postacią drgań dla tych częstości jest skręcanie, wyznaczono funkcję skręcania  $S(t)$  i obliczono dla niej parametr ARMA. Wyniki przedstawiono na rys. 4.

$$S(t) = (PP(t)+LT(t))-(LP(t)+PT(t)) \quad (2)$$

gdzie: PP(t), PT(t), LP(t), LT(t) są odpowiednio przebiegami czasowymi dla prawego przodu, prawego tyłu, lewego przodu i lewego tyłu ramy.



Rys. 4. Wykres funkcji Auto-Regressive Moving Average (skręcanie)  
Fig. 4. Plot of Auto-Regressive Moving Average (torsional)

#### 4. Podsumowanie

Przedstawiony sposób analizy drgań ustroju nośnego samochodu ciężarowo – osobowego wysokiej mobilności pozwala wyznaczyć częstotliwości, przy których pojawiają się jego drgania rezonansowe. Przedstawiona analiza pokazuje znaczenie doboru parametrów wymuszenia dla jakości otrzymanych wyników. Wykazano, że dla ruchu pojazdu po bezdrożu (mała prędkość jazdy) zarejestrowane widmo odpowiedzi odzwierciedla głównie drgania wymuszone, które dominują w widmie (brak drgań własnych ramy). W ruchu pojazdu po drodze twardej (duże prędkości jazdy) wymuszenie jest szerokopasmowe i wywołuje drgania własne ustroju nośnego. W omawianym przypadku, częstotliwości drgań własnych skrętnych ustroju nośnego występowały przy częstotliwości 33,5 i 66,7 [Hz].

#### Literatura

1. Uhl T., Lisowski W.: Eksploatacyjna analiza modalna. Kraków: Katedra Robotyki i Dynamiki Maszyn AGH, 1999.
2. Rusiński E.: Zasady projektowania konstrukcji nośnych pojazdów samochodowych, Wrocław: Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2002.
3. Prochowski L.: Obciążenia dynamiczne układu nośnego pojazdu mechanicznego. Podstawy prognozowania, weryfikacja doświadczalna. Warszawa: Dodatek do biuletynu Nr 12(364) WAT, 1982.
4. Kosobudzki M., Kowalczyk M., Stańco M.: Akwizycja obciążeń dynamicznych działających na pojazd generowanych przez układ jezdny. "Transport Przemysłowy" 2007, nr 4(30), s. 24 - 30.
5. Kosobudzki M., Jamroziak K.: Budowa ustrojów nośnych i zawiesznień samochodów ciężarowo – osobowych wysokiej mobilności Sił Zbrojnych RP. "Zeszyty Naukowe WSOWL" 2009, nr 2(152).

#### **DETERMANING THE NATURAL TORSIONAL VIBRATIONS OF UNDERFRAME OF OFF-ROAD MILITARY VEHICLE WITH USE OF ACCELERATION DATA**

**Summary:** The analysis was conducted for underframe of off-road military vehicle making use of acceleration data as an output signal. The Operating Deflection Shape method was used. The natural torsional frequencies were pointed in the set of frequencies of output band with use of Peak Picking technique.