

Bogusław ŁAZARZ, Henryk MADEJ, Piotr CZECH

## WYKORZYSTANIE WSPÓŁCZYNNIKÓW HOELDERA W DIAGNOSTYCE PRZEKŁADNI ZĘBATYCH

**Streszczenie.** W opracowaniu przedstawiono wyniki eksperymentu mającego na celu zbadanie przydatności współczynników Hoeldera w diagnostyce przekładni zębatych.

### USING HOELDER EXPONENTS IN GEARBOX DIAGNOSIS

**Summary.** The work presents results of an experiment that employs the Hoelder exponents in the task of gearbox diagnosis.

#### 1. WPROWADZENIE

Przekładnie zębate są powszechnie stosowane w układach napędowych. W wielu ośrodkach na całym świecie prowadzone są prace w celu stworzenia odpowiednich narzędzi wspomagających procesy rozpoznawania uszkodzeń. Różnorodność rozwiązań konstrukcyjnych przekładni i układów napędowych sprawia, że pomimo istnienia różnych algorytmów analizy sygnałów diagnostycznych oraz reguł wnioskowania opracowanych na ich podstawie, mają one niewystarczający stopień pewności diagnozy. Wynika to z faktu, iż różne rodzaje uszkodzeń występujących w przekładniach mogą wywoływać podobne efekty w sygnale wibroakustycznym. Kolejnym problemem jest potrzeba wykrycia uszkodzeń już we wczesnej fazie ich wystąpienia. Szczęólnego znaczenia nabierają tutaj metody diagnostyki nieinwazyjnej, do których należą metody diagnostyki wibroakustycznej [2,4,5,6,7]. Wykorzystują one jako nośnik informacji sygnał drganiowy i akustyczny.

Do analizy sygnałów zawierających lokalne niestacjonarności o charakterze impulsowym szczególnie przydatne są metody umożliwiające jednoczesne przedstawienie sygnału w dziedzinie czasu i częstotliwości. Metody te charakteryzują się zmienną rozdzielczością umożliwiającą dobrą lokalizację składowych sygnału w obu dziedzinach jednocześnie. Jedną z takich metod jest ciągła analiza falkowa (continuous wavelet transform). Jest ona szeroko opisana w literaturze [1,5,6,7].

W opracowaniu przedstawiono wyniki zastosowania ciągłej transformaty falkowej i współczynników Hoeldera w zadaniu klasyfikacji stopnia uszkodzenia przekładni zębatej [2].

## 2. OPIS EKSPERYMENTU

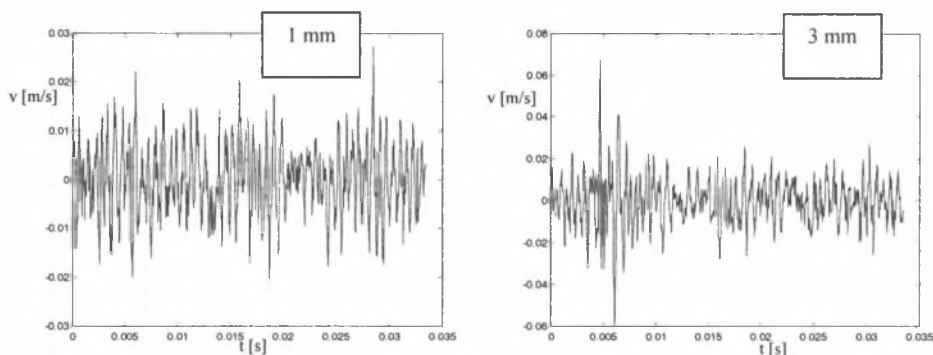
W eksperymencie za obiekt badań posłużyła przekładnia zębata o zębach prostych, pracująca w układzie mocy krążącej. Parametry przekładni przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1  
Parametry badanej przekładni zębatej

Parametr	Wartość
Liczba zębów zębniaka	16
Liczba zębów koła	24
Szerokość kół	20 mm
Moduł normalny	4,5 mm
Współczynnik korekcji zębniaka	0,86
Współczynnik korekcji koła	-0,5
Odległość osi kół	91,5 mm

Za sygnał testowy posłużyły drgania poprzeczne wału zębniaka, które zostały uśrednione synchronicznie oraz metodą TDE [3]. Dodatkowo sygnał drganiowy poddano filtracji uzyskując w ten sposób sygnał różnicowy [4].

Przykładowe sygnały czasowe dla przekładni z podcięciem zęba na długości 1 mm oraz 3 mm przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Drgania poprzeczne wału zębniaka

Fig. 1. Vibration time-history

Symptomy uszkodzenia zawarte w sygnale są trudne do zidentyfikowania na podstawie surowych danych pomiarowych. Do analizy zmierzonych sygnałów WA i identyfikacji na ich podstawie rodzaju i stopnia uszkodzenia zastosowano ciągłą analizę falkową (CWT) [1,5,6,7]. Charakteryzuje ją zależność matematyczna [1]:

$$CWT(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \psi \left( \frac{t-b}{a} \right) dt \quad (1)$$

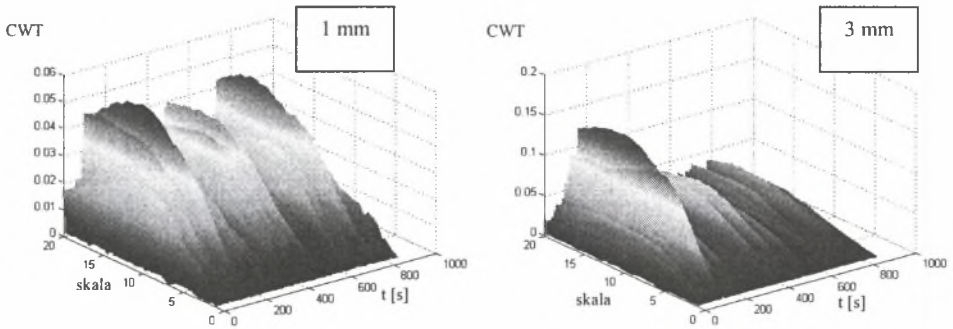
gdzie:

$a \in \mathbb{R}^+ - \{0\}$  - współczynnik skali,

$b \in \mathbb{R}$  - parametr przesunięcia w dziedzinie czasu.

Badanie niestacjonarnych własności widmowych sygnału wymaga stosowania okien, które zwężają się przy analizie wysokich częstotliwości i ulegają rozszerzeniu przy analizie niskich częstotliwości. Takie własności ma analiza CWT [1].

Przykładową charakterystykę CWT wyznaczoną z drgań poprzecznych wału zębniaka przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Ciągła transformata falkowa sygnału drganiowego

Fig. 2. Wavelet transform coefficients of vibration data

W sygnale drganiowym lokalne uszkodzenia zębów przekładni bardzo często ujawniają się jako chwilowe zaburzenia sygnału, maskowane dodatkowo przez szum. Metoda analizy sygnału, która ignoruje regularną część sygnału, skupiając się na jej przejściowej części, ma większy potencjał wyciągnięcia informacji diagnostycznej. Autorzy w [2] zauważają, iż duża część takich informacji zawarta jest w lokalnych maksimach modułów CWT. W celu zróżnicowania krzywych wyznaczonych na ich podstawie zastosowano następującą zależność:

$$|CWT(a, b)| = Cb^{h+\frac{1}{2}} \quad (2)$$

gdzie:

$C$  – stała,

$h$  – współczynnik Hoeldera.

Logarytmując zależność (2) uzyskujemy:

$$\log_2(|CWT(a, b)|) = \log_2(C) + (h + 0,5) \log_2(b) \quad (3)$$

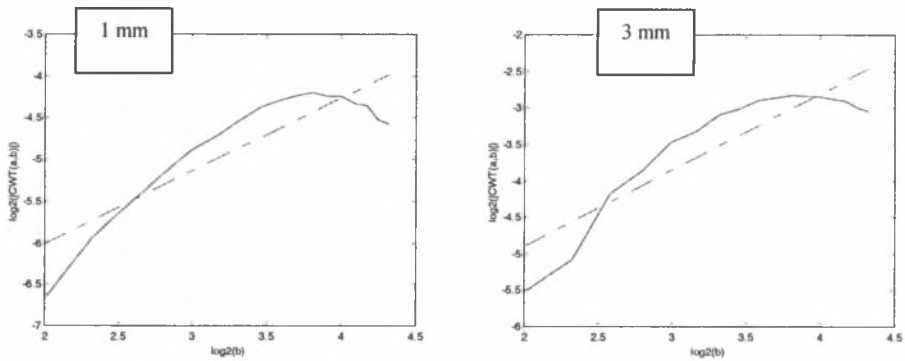
Można zauważyć, że  $\log_2(|CWT(a, b)|)$  jest liniową funkcją  $\log_2(b)$ . Nachylenie tej prostej jest charakteryzowane przez współczynnik Hoeldera [2].

### 3. PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono metodę klasyfikacji stopnia uszkodzeń kół zębatach przy użyciu współczynnika Hoeldera.

Zgodnie z [2], współczynnik Hoeldera dla danego typu uszkodzenia nie zależy od obciążenia i prędkości obrotowej wałów przekładni.

Na rysunku 3 przedstawiono wyznaczone proste opisane przez współczynniki Hoeldera dla drgań poprzecznych wału zębata z podcięciem stopy zęba na długości 1 mm oraz 3 mm.



Rys. 3. Krzywa lokalnych maksimów

Fig. 3. The local maxima parametric curve

### Literatura

1. Batko W., Ziółko M.: Zastosowanie teorii falek w diagnostyce technicznej. AGH, Kraków 2002.
2. Loutridis S., Trochidis A.: Classification of gear faults using Hoelder exponents. Mechanical Systems and Signal Processing, 18, 2004.
3. Łazarz B., Wojnar G.: Uśrednienie sygnału drganiowego przekładni zębataj z wykorzystaniem różnych metod estymacji opóźnienia czasowego. XXXI Ogólnopolskie Sympozjum Diagnostyka Maszyn. Węgierska Górka 2004.
4. Madej H., Czech P., Konieczny Ł.: Wykorzystanie dyskryminant bezwymiarowych w diagnostyce przekładni zębatach. Diagnostyka, vol. 28, 2003.
5. Peng Z. K., Chu F. L.: Application of the wavelet transform in machine condition monitoring and fault diagnostics. Mechanical Systems and Signal Processing 18, 2004.
6. Wilk A., Łazarz B., Madej H.: The application of wavelet analysis in the diagnosis of toothed wheels damages. Proceed. InterNoise 1999, USA.
7. Zheng H., Z. Li, X. Chen: Gear fault diagnosis based on continuous wavelet transform. Mechanical Systems and Signal Processing 16(2-3), 2002.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Zbigniew Dąbrowski