

**Henryk Madej**  
**Zbigniew Stanik**  
**Jan Warczek**  
**Politechnika Śląska**

## **DIAGNOZOWANIE ŁOŻYSKA ROLKI NAPINACZA PASKA ROZRZĄDU SILNIKA SPALINOWEGO PRZY WYKORZYSTANIU DRGAŃ**

### **STRESZCZENIE**

W artykule przedstawiono wyniki badań oraz ich analizę pod kątem przydatności do oceny stanu technicznego łożyska tocznego rolki napinacza sygnałów drganiowych. Przyspieszenia drgań zarejestrowane dla różnych stanów technicznych łożyska poddano analizie częstotliwościowej. Na tej podstawie określono pasmo, w którym wystąpiły drgania strukturalne pobudzone wymuszeniami związanymi ze stanem łożyska. W analizie drgań zastosowano filtr pasmowo-przepustowy o paśmie zgodnym z zidentyfikowanym rezonansem strukturalnym i w dalszej kolejności wyznaczono miary amplitudowe wrażliwe na zmiany stanu technicznego łożyska. Wyznaczone miary diagnostyczne umożliwiają diagnozowanie łożyska w trakcie jego eksploatacji.

#### Słowa kluczowe:

diagnostyka łożysk tocznych, osprzęt silnika spalinowego.

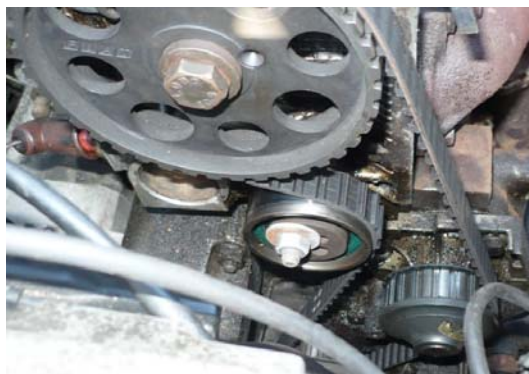
### **WSTĘP**

We wszystkich urządzeniach technicznych, w skład których wchodzi elementy wykonujące ruch obrotowy, można wyróżnić łożyska. W przypadku tłokowych silników spalinowych główne węzły kinematyczne biorące udział w procesie konwersacji energii chemicznej zawartej w paliwie na energię mechaniczną są najczęściej wykonywane w postaci łożysk ślizgowych. Jednakże w każdym silniku można wyróżnić całą gamę urządzeń pobocznych (osprzęt silnika), których prawidłowe funkcjonowanie determinuje stan techniczny całej jednostki napędowej. W grupie

osprzętu silnika często występują wirujące elementy, których łożyskowanie jest realizowane za pomocą łożysk tocznych. Przykładami takich rozwiązań są: pompy cieczy chłodzącej, alternatory, rolki napinające oraz prowadzące paski klinowe i rozrządu itp. W czasie normalnej eksploatacji następuje stopniowa degradacja łożysk prowadząca do rozwoju uszkodzeń. Awaryjne uszkodzenia łożysk tocznych osprzętu silnika prowadzą w prostej linii do jego unieruchomienia, a tym samym mogą być przyczyną powstawania poważnych awarii. W związku z powyższym oczywista staje się konieczność diagnozowania stanu łożysk zabudowanych w osprzęcie silnika. Z perspektywy ograniczenia czasochłonności i minimalizacji kosztów postawienia diagnozy najlepsze możliwości stwarza zastosowanie metod wibroakustycznych. Pozyskiwanie wiedzy na temat stanu technicznego danego urządzenia na podstawie informacji zawartej na przykład w dyssypatywnych procesach drganiowych pozwoliło autorom pracy przybliżyć się do rozwiązania problemu diagnostyki łożysk tocznych osprzętu silnika. W artykule przedstawiono wyniki badań oraz ich opracowanie pod kątem diagnozowania łożyska rolki napinacza paska zębatego napędu rozrządu.

### OBIEKT I METODA BADAŃ

Realizacja założonego celu pracy wymagała pozyskania materiału badawczego w postaci sygnałów drganiowych zarejestrowanych dla różnych stanów technicznych łożyska rolki napinacza paska rozrządu. W tym celu wykorzystano rzeczywisty silnik pojazdu samochodowego o zapłonie iskrowym o pojemności skokowej 1,2 [dm<sup>3</sup>] z wtryskiem wielopunktowym o mocy 55 [kW]. Wstępnie przygotowany do badań silnik przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Widok elementów napędu rozrządu po zdemontowaniu osłony



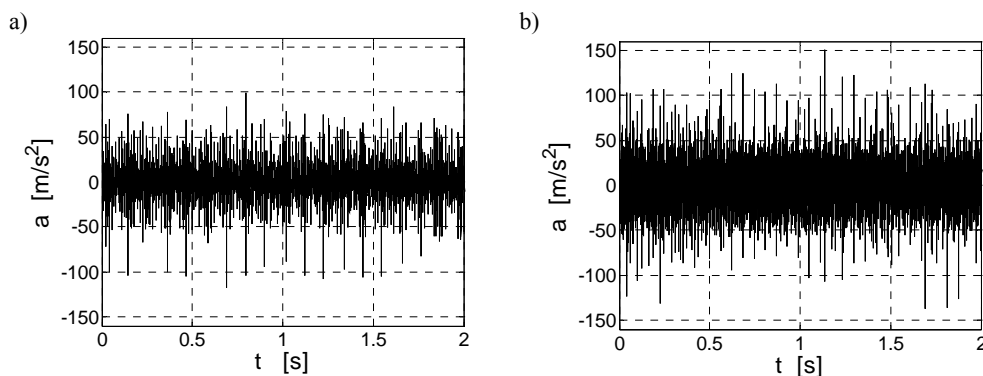
Rys. 2. Sposób umieszczenia czujnika piezoelektrycznego w kierunku równoległym do osi tulei cylindrowej

Do pomiaru przyspieszeń drgań wykorzystano przetwornik piezoelektryczny mocowany za pomocą magnesu w miejscu pokazanym na rysunku 2. W czasie badań rejestrowano drgania śruby mocowania rolki napinacza w dwóch prostopadłych kierunkach leżących w płaszczyźnie normalnej do osi wału korbowego. Rejestrację przyspieszeń drgań prowadzono po uzyskaniu stabilizacji temperatury silnika w warunkach pracy ustalonej przy następujących prędkościach obrotowych: 900, 1500 oraz 3000 [obr/min]. Założony zakres badań obejmował pomiary przyspieszeń drgań przy różnych obciążeniach łożyska rolki napinacza. Zmianę obciążenia promieniowego łożyska uzyskiwano poprzez regulację napięcia wstępnego paska zębatego. Ustalenie wybranej wartości naciągu paska było możliwe poprzez zastosowanie przyrządu do kontroli naciągu paska rozrządu typu PR-20.

Pomiary naciągu paska rozrządu przeprowadzono po stronie czynnej paska pomiędzy kołem zębatym wałka rozrządu a kołem zębatym pompy cieczy chłodzącej w połowie ich odległości. W ten sposób możliwe było przeprowadzenie prób dla trzech różnych wartości napięcia wstępnego paska — wartości nominalnej, zaniżonej oraz przewyższającej zalecenia fabryczne. W badaniach zastosowano klasyczny tor pomiarowy przetwornik — karta A/C — komputer PC, a zarejestrowane wyniki poddano dalszemu przetwarzaniu w środowisku obliczeniowym MatLab.

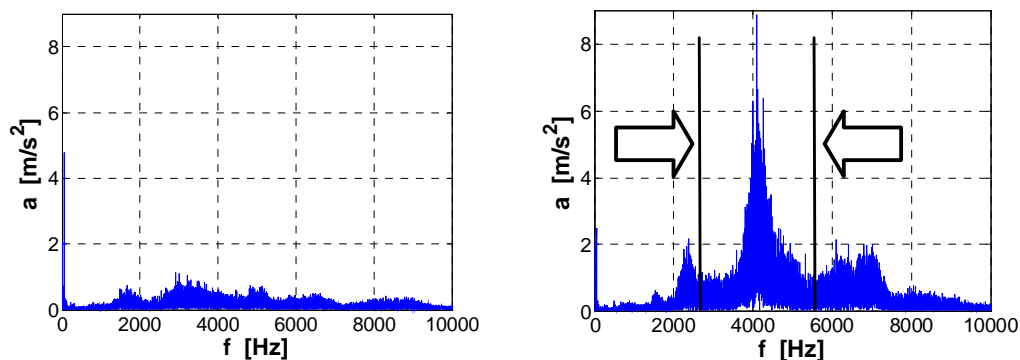
### WYNIKI BADAŃ ORAZ ICH ANALIZA

Przeprowadzone badania umożliwiły zgromadzenie bazy pomiarowej składającej się z przebiegów czasowych przyspieszeń drgań uzyskanych dla rolek napinacza pracujących przy różnych obciążeniach i prędkościach obrotowych. Przykładowe wyniki badań przedstawia rysunek 3.



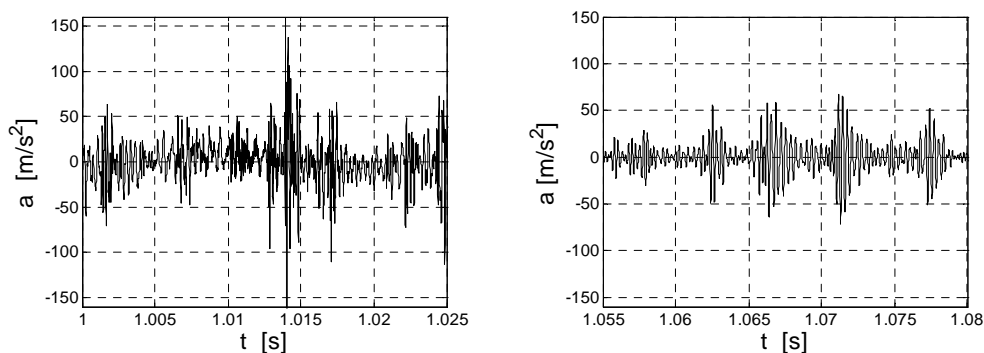
Rys. 3. Zarejestrowane przebiegi czasowe przyspieszeń drgań dla kierunku pionowego przy:  
a) zaniżonym obciążeniu i 900 [obr/min]; b) zawyżonym obciążeniu i 1500 [obr/min]

Ze względu na fakt, iż rolka napinacza w normalnych warunkach jest przytwierdzona do korpusu silnika, uzyskane sygnały drganiowe zawierają wysokoenergetyczne składowe, które pochodzą od pracy układu łożkowo-korbowego oraz pozostałych urządzeń wchodzących w skład jednostki napędowej. W takim przypadku wykorzystanie miar diagnostycznych bazujących na charakterystycznych częstotliwościach związanych z uszkodzeniami elementów łożyska było niemożliwe. Również analiza zmian energii sygnałów drganiowych w całym paśmie częstotliwości nie przyniosła pożądanych rezultatów. Przeprowadzona analiza częstotliwościowa pozwoliła jednak na określenie przedziałów częstotliwości, w których można zaobserwować drgania strukturalne rolki niezależne od zadanej prędkości obrotowej (rys. 4.).



Rys. 4. Widma częstotliwościowe uzyskane w tych samych warunkach dla:  
a) rolki nowej; b) rolki uszkodzonej

Kolejnym krokiem analizy wyników badań było przeprowadzenie filtracji pasmowo-przepustowej przy użyciu filtru FIR. Fragmenty przebiegów czasowych przyspieszeń drgań przed i po filtracji przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 5. Fragment sygnału drganiowego przed i po filtracji

Widoczny na rysunku 7b przebieg czasowy jest silnie zmodulowany, a okresy pomiędzy kolejnymi maksimami są powiązane z cyklami roboczymi silnika. Dla wyizolowanego przebiegu czasowego drgań wyznaczono szereg miar amplitudowych. Największą wrażliwość diagnostyczną, która wykazała cechy monotoniczności dla zmian stanów (obciążenia i technicznego) miały miara energii zawartej w sygnale oraz wartość amplitudy międzyszczytowej, zdefiniowane jako:

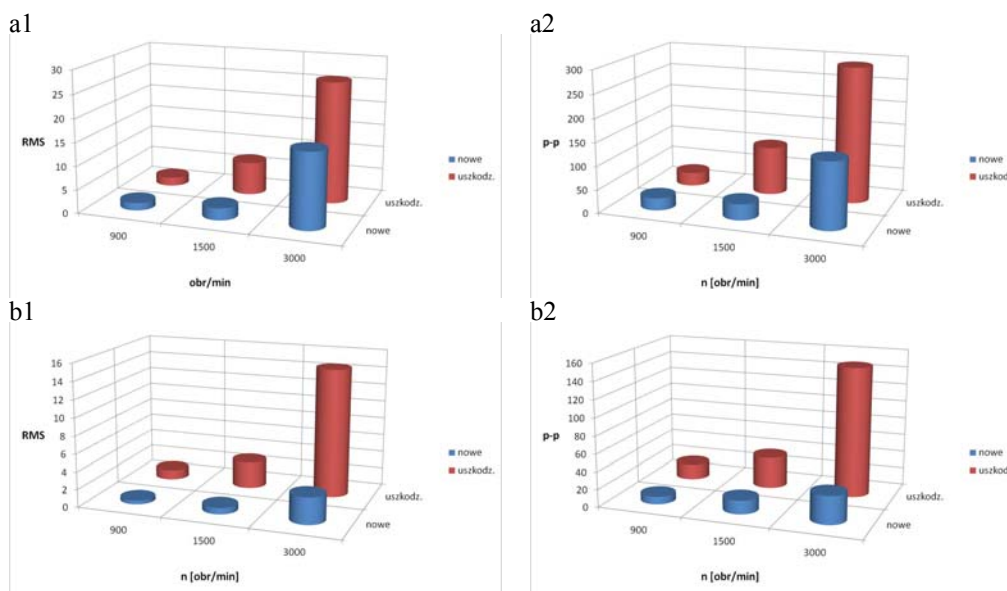
$$a_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T a^2(t) dt} \quad (1)$$

$$a_{p-p} = \frac{(\max a(t) - \min a(t))}{2} \quad (2)$$

gdzie:

$a(t)$  — sygnał przyspieszeń drgań.

Wyniki analizy amplitudowej przefiltrowanych sygnałów drganiowych dla nominalnego obciążenia promieniowego łożyska przy różnych prędkościach wirowania przedstawiono na rysunku 6.



Rys. 6. Wartości miar amplitudowych wyznaczone dla łożysk nowego i uszkodzonego uzyskane przy tych samych parametrach obciążenia: a1) wartość skuteczna — kierunek równoległy do osi cylindra; a2) wartość amplitudy międzyszczytowej — kierunek równoległy do osi cylindra oraz odpowiednio b1) i b2) —  $a_{RMS}$  i  $a_{p-p}$  w kierunku prostopadłym do osi cylindra

Jak można zaobserwować na wykresach, obie wskazane miary okazują się użyteczne w ocenie stanu łożyska rolki napinacza.

## PODSUMOWANIE

Wartości uzyskane dla łożyska nowego przy określonej prędkości obrotowej są zawsze mniejsze od tych, które wystąpiły w czasie badań rolek zużytych. Większa rozdzielczość diagnostyczna występuje dla prostopadłego do osi cylindra kierunku drgań. Zmiana prędkości obrotowej silnika, a tym samym rolki napinacza wpływa na wartości analizowanych miar i jest to zależność proporcjonalna. Przeprowadzone analizy wykazały również występowanie zależności pomiędzy obciążeniem promieniowym łożyska a położeniem rezonansu struktury mechanicznej na osi częstotliwości. Przesunięcie to jednakże nie wymuszało potrzeby zmiany położenia ani szerokości pasma analizowanych sygnałów. Określenie wartości granicznej danej miary musi być powiązane ze zdefiniowaniem prędkości obrotowej rolki, dla której miara została wyznaczona.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Cempel C., *Podstawy wibroakustycznej diagnostyki maszyn*, WNT, Warszawa 1982.
- [2] Filipczyk J., Madej H., *The typical faults of automotive engines and analysis for fault diagnosis possibility*, „Silniki Spalinowe”, 2009, nr SC1, s. 229–233.
- [3] Wojnar G., Łazarz B., Stanik Z., *Diagnostics of rolling bearing by vibration analysis*, „Diagnostyka”, 2006, nr 3, s. 7–11.
- [4] Yongxiang Z., Randall R. B., *Rolling element bearing fault diagnosis based on the combination of genetic algorithms and fast kurtogram*, ‘Journal of Mechanical System and Signal Processing’, 2009, No 23, pp. 1509–1517.

## DIAGNOSING BEARING TIMING BELT TENSIONER PULLEY IN COMBUSTION ENGINE WITH VIBRATIONS

### ABSTRACT

The article presents the results of the research conducted into diagnosis of bearing timing belt tensioner pulley. The investigation was conducted for new roller-bearings as well as damaged. The investigation determined amplitude measures sensitive to changes in the technical condition of the element tested.

Keywords:

rolling bearing diagnostics, combustion engine's fittings.

Recenzent prof. dr hab. inż. Zbigniew Dąbrowski