

Paweł FABIŚ

OPRACOWANIE METODY FILTRACJI SYGNAŁU DRGAŃ SILNIKA SPALINOWEGO

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki filtracji sygnału drganiowego zarejestrowanego dla silnika spalinowego zsynchronizowanego z prędkością obrotową wału korbowego. Filtr ten umożliwi identyfikację zjawisk wibroakustycznych występujących w cyklu pracy silnika spalinowego. Przydatność filtra została zweryfikowana w trakcie badań stanowiskowych.

COMPILATION OF SI ENGINE VIBRATION SIGNAL FILTRATION METHOD

Summary. The paper present results of SI engine vibration signal filtration method synchronized with RPM. Filter allow to identification of vibroacoustics phenomenas occurs during engine cycle working. Fitness for filter purpose was verified during bench research.

1. WPROWADZENIE

W artykule przedstawiono wyniki filtracji sygnału drganiowego silnika spalinowego przy użyciu metod czasowo – częstotliwościowych. Drgania bloku silnika jako suma wielu pobudzeń struktury skojarzone są m.in. z prędkością obrotową silnika i pojawianiem się uszkodzeń w wyniku normalnego zużycia. W przedstawionej pracy skupiono się przede wszystkim na uszkodzeniach złożenia tłok-cylinder. Określenie występowania uszkodzeń przeprowadzono w dziedzinie kąta obrotu wału korbowego a nie jak zazwyczaj stosuje się w dziedzinie czasu. Drgania struktury bloku silnika zarejestrowano dla trzech zasymulowanych luzów złożenia tłok-cylinder. Maszyny takie jak silnik spalinowy są trudne do diagnozowania tradycyjnymi metodami, dlatego w celu analizy sygnałów drganiowych wybrano transformatę falkową.

2. STANOWISKO BADAWCZE

Wyniki badań zostały zarejestrowane dla jednocylindrowego silnika ZS o pojemności 0.5 dm³ firmy Ruggerini. Dane techniczne obiektu badań przedstawiono w tablicy 1.

Program badań przewidywał rejestrację następujących parametrów:

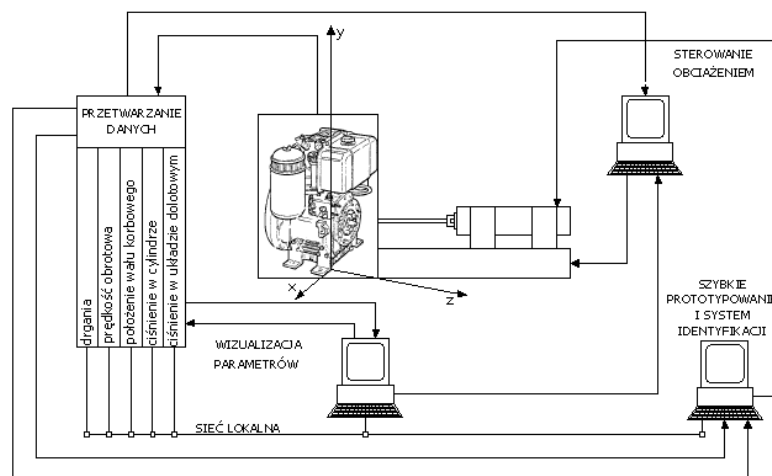
- ciśnienia w cylindrze,
- przyspieszeń drgań silnika w płaszczyźnie x i y (rys. 1),

- prędkości i położenie wału korbowego,
- momentu obrotowego silnika,
- podciśnienia w kolektorze ssącym.

Tablica 1
Parametry techniczne silnika

Parametry	Dane producenta
Pojemność [cm ³]	477
Skok tłoka [mm]	75
Średnica cylindra [mm]	90
Moc maksymalna [kW]	6,0
Prędkość obrotowa mocy maksymalnej [min ⁻¹]	3000
Maksymalny moment [Nm]	21
Prędkość obrotowa momentu maksymalnego [min ⁻¹]	2500

Ciśnienie wewnątrz cylindra było mierzone przy użyciu piezoelektrycznego przetwornika ciśnienia typu 6121 firmy KISTLER połączonego ze wzmacniaczem ładunku 5011 również firmy KISTLER.



Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego
Fig. 1. Schematic diagram of experimental setup

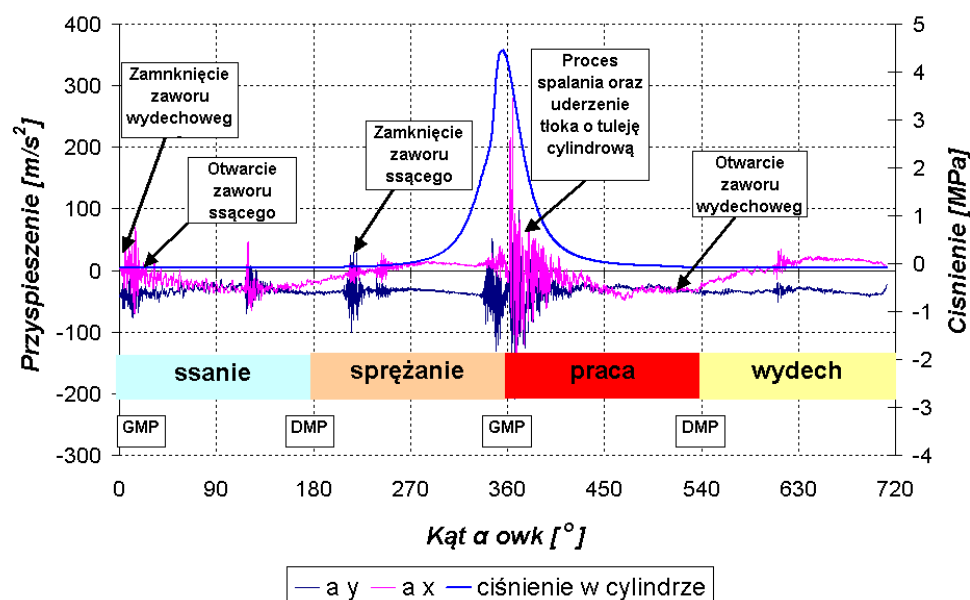
Położenie wału korbowego oraz jego prędkość obrotowa były mierzone za pomocą przetwornika KISTLERA typu 2613B. Drgania bloku silnika były mierzone przez czujniki ICP firmy PCB [8] podłączone do kondycjonera PA3000 firmy Roga Instruments.

3. WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

W trakcie pracy silnika spalinowego zachodzą różne procesy pobudzające strukturę bloku silnika do drgań. Proces spalania jest jednym z głównych czynników determinujących te

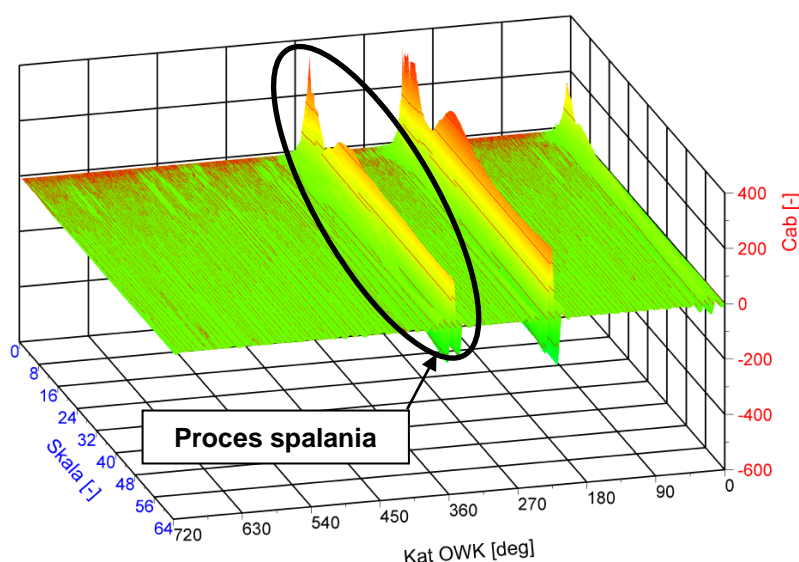
drzania. Różnorodność tych wymuszeń (rys. 2) utrudnia analizę procesu spalania i pociąga za sobą wykorzystanie metod przetwarzania sygnałów w dziedzinie częstotliwości i czasu lub częstotliwości i kąta OWK.

Z wykresu 2 można także odczytać, że fazy rozrządu badanego silnika pozbawione są współtwarci zaworu ssącego i wydechowego. Jest to cecha charakterystyczna dla tego silnika.



Rys. 2. Przebieg kątowy sygnałów zarejestrowanych dla badanego silnika
Fig. 2. Angle signal trace registered for examined engine

W niniejszym opracowaniu szczególną uwagę zwrócono na zjawiska zachodzące w trakcie procesu spalania (rys. 3), czyli w pobliżu GMP tłoka. Analizy pozostałych zjawisk będą przedmiotem kolejnych opracowań.



Rys. 3. Rozkład współczynników falkowych dla pełnego cyklu roboczego silnika
Fig. 3. Wavelet coefficient for full engine cycle

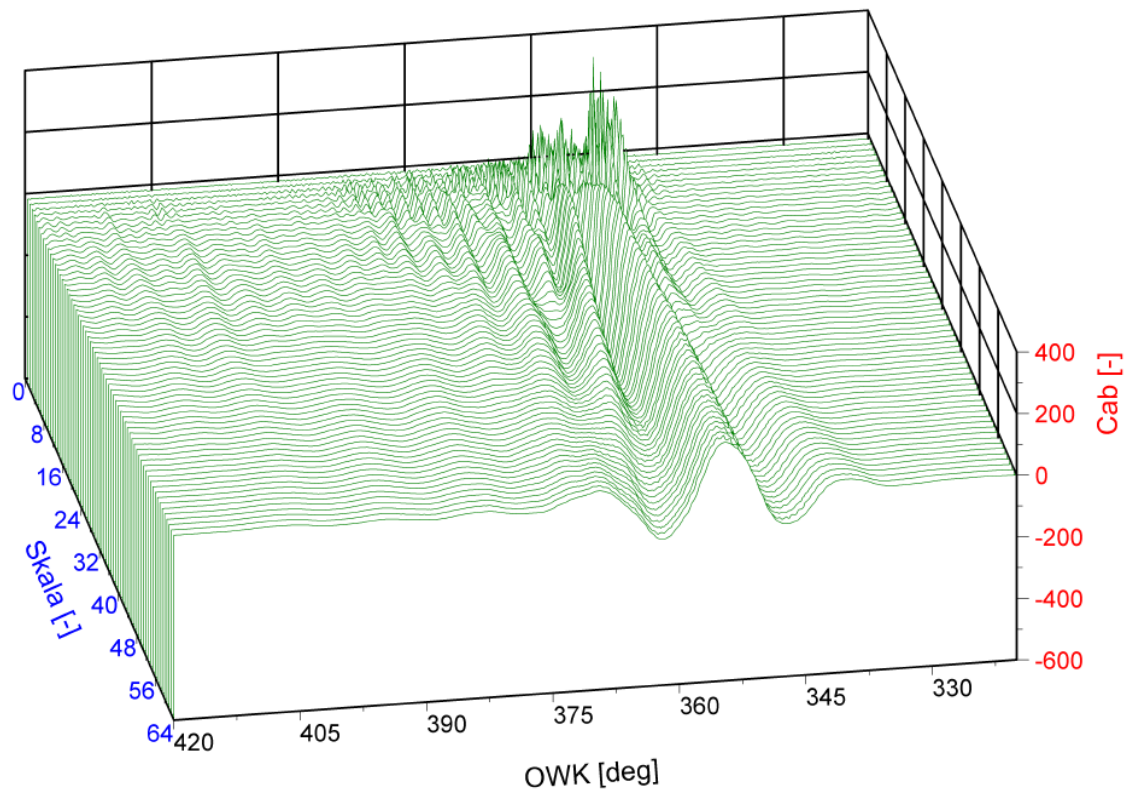
Na proces spalania nakładają się dwa zjawiska [5, 6]. Jedno to zjawisko mechaniczne polegające na przemieszczaniu poprzecznych tłoka z jednej strony tulei cylindrowej na drugą w trakcie przechodzenia przez GMP i zjawisko termodynamiczne związane ze spalaniem paliwa. Opracowana metoda filtracji sygnału pozwala na odseparowanie obu zjawisk i przeprowadzenie oceny zużycia złożenia tłok–cylinder.

Zużycie złożenia tłok–cylinder zasymulowano stosując trzy tłoki o trzech różnych średnicach zabudowywanych w tulei cylindrowej przeszlifowanej na drugi wymiar naprawy. Umożliwiło to uzyskanie trzech luzów:

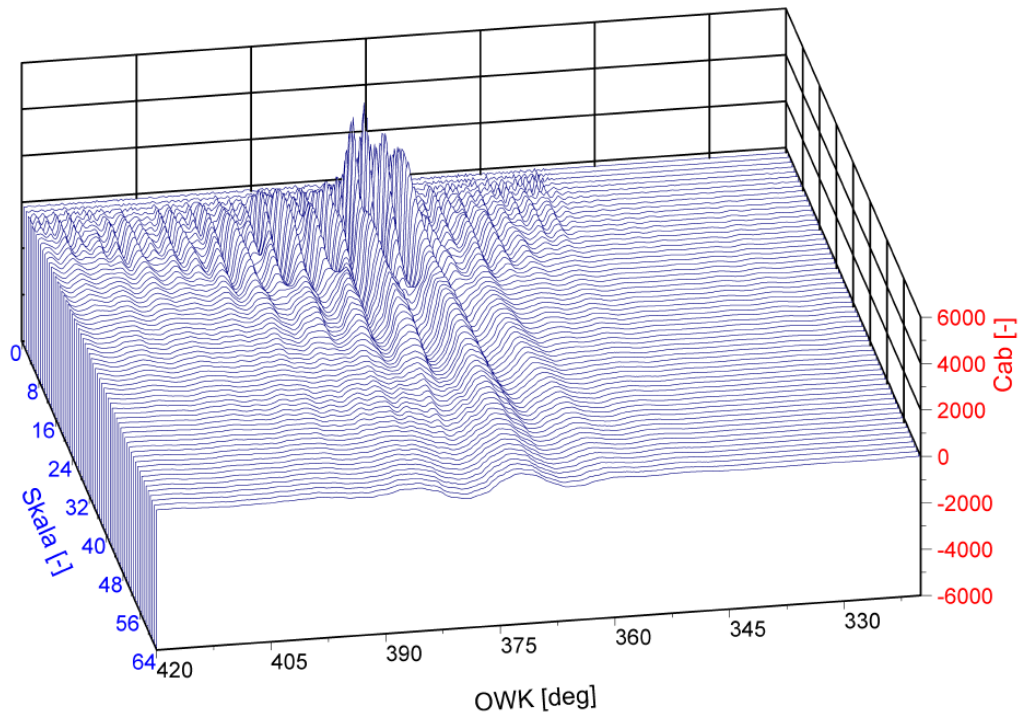
- luz nominalny,
- dwukrotny luz nominalny,
- czterokrotny luz nominalny.

Analizę przeprowadzono dla wybranego zakresu kąтового w przedziale 320 – 420° OWK. Wybrany zakres kątowy zawiera informację o obu zjawiskach.

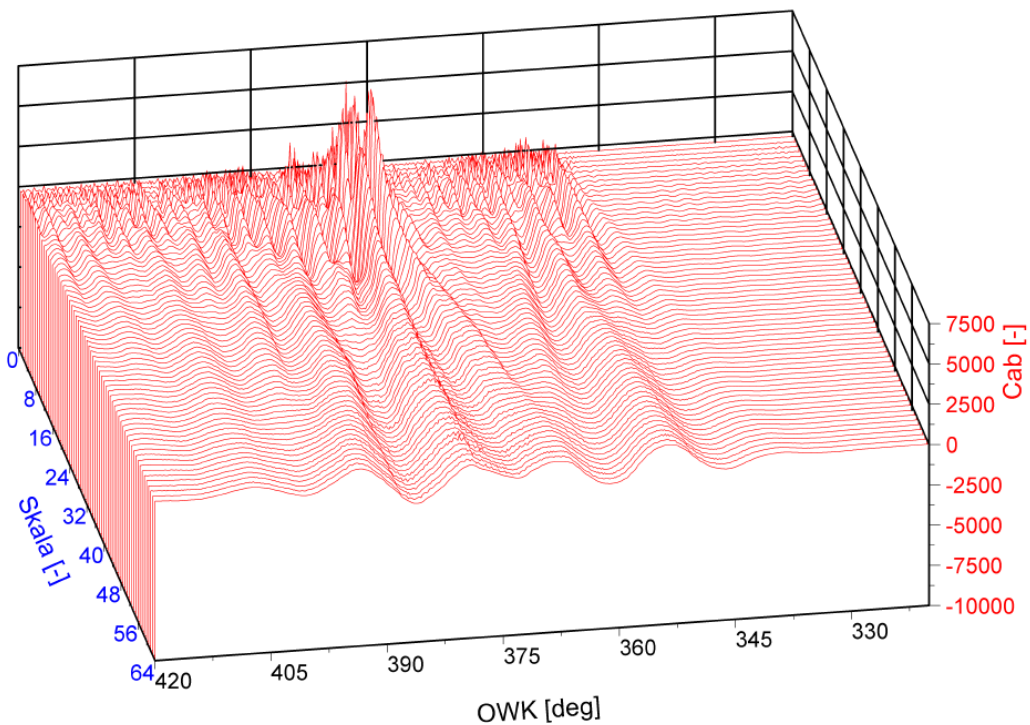
Ocenę zjawisk przeprowadzono przy użyciu Ciągłej Transformaty Falkowej (CWT) w dziedzinie skalowo - kątowej. Na rysunkach 4, 5 i 6 przedstawiono rozkłady współczynników falkowych C_{ab} dla trzech zasymulowanych luzów złożenia tłok – cylinder w wybranym zakresie kątowym.



Rys. 4. Rozkład współczynników falkowych dla luzu nominalnego
Fig. 4. CWT for nominal clearance



Rys. 5. Rozkład współczynników falkowych dla dwukrotnego luzu nominalnego
Fig. 5. CWT for two Times bigger nominal clearance



Rys. 6. Rozkład współczynników falkowych dla czterokrotnego luzu nominalnego
Fig. 6. CWT for four times bigger nominal clearance

Dla uzyskanych rozkładów CWT przeprowadzono obliczenia pochodnej współczynnika falkowego C_{ab} opisanego następującym równaniem:

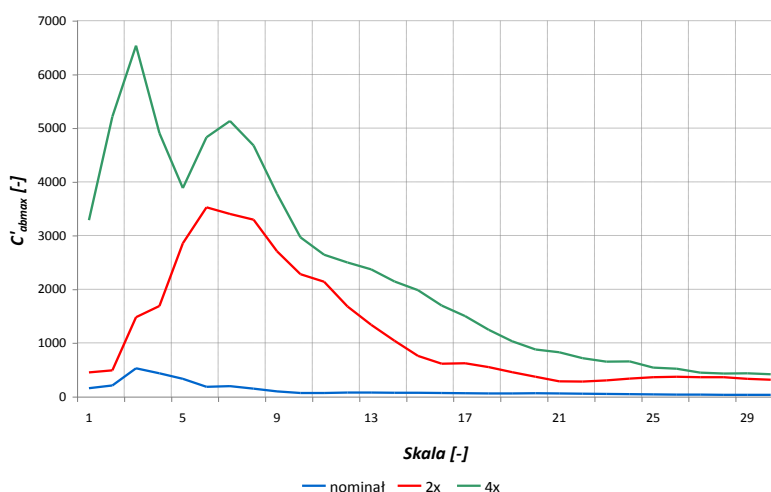
$$C'_{ab} = \frac{dC_{ab}}{d\alpha} \quad (1)$$

gdzie:

C_{ab} – współczynnik falkowy,

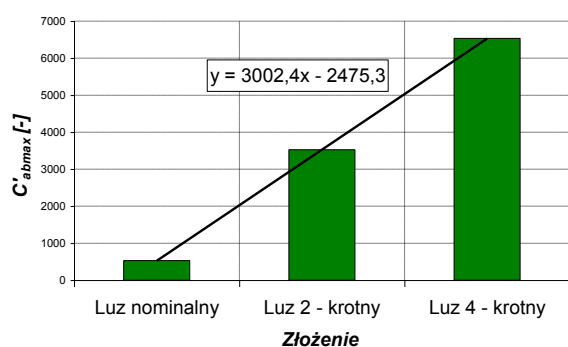
α – kąt OWK.

Pochodną współczynnika falkowego C'_{ab} obliczono w zakresie od 1 do 32 wartości skali. Wybrany zakres skali charakteryzuje się największą dynamiką przyrostów wartości współczynnika. Wzrost dynamiki zmian wartości współczynnika falkowego spowodowany jest zmianą wielkości luzu pomiędzy tłokiem i ścianką cylindra.



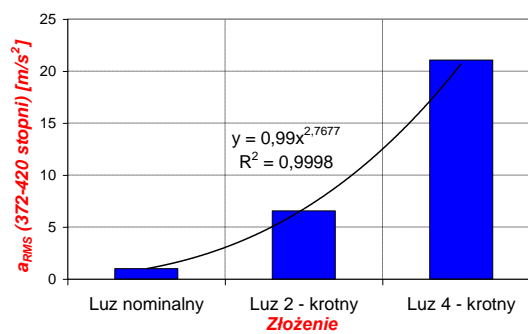
Rys. 7. Przyrost maksymalnej wartości współczynników falkowych C_{ab}

Fig. 7. Increase maximum value of wavelet coefficient C_{ab}



Rys. 8. Maksymalne wartości przyrostu współczynników falkowych C_{ab}

Fig. 8. Maximum value increase of wavelet coefficient C_{ab}



Rys. 9. Wartości skuteczne trzech złożów układu tłokowego dla wycinka uśrednionego sygnału

Fig. 9. RMS value for three pistons clearance

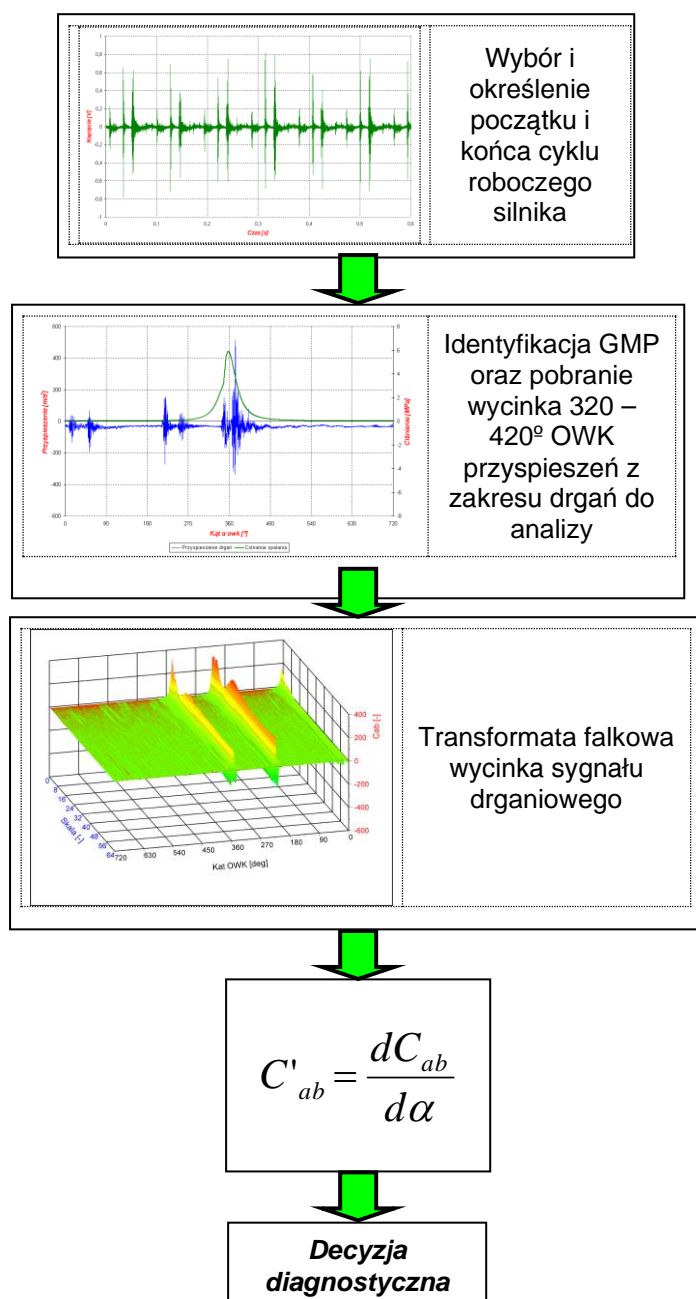
Dla uzyskanych wyników wyznaczono przyrosty maksymalne współczynnika C'_{ab} , które przedstawiono na rysunku 7. Na rysunku 8 i 9 przedstawiono jako porównanie maksymalne wartości przyrostów współczynnika falkowego oraz wielkości wartości skutecznych dla trzech zasymulowanych luzów złożenia tłok-cylinder [5]. Na podstawie przedstawionych wykresów można wnioskować, że przyrost współczynnika falkowego C'_{ab} jest precyzyjniejszą miarą określającą luz pomiędzy tłokiem i ścianką cylindra. Przyrost wartości

maksymalnej pochodnej współczynnika rośnie proporcjonalnie do zwiększanego luzu układu tłokowego.

Z powyższej analizy wynika, że pochodna współczynników falkowych jest wrażliwą miarą luzu tłoka. Duża wrażliwość tej miary pozwala na wykrywanie zmian luzu w układzie tłokowym już we wczesnych stadiach jego pojawiania się. W celu określenia przydatności w praktyce przedstawionej metody filtracji sygnału drganiowego celowe jest przeprowadzenie dalszych badań eksploatacyjnych.

Przedstawiona metoda filtracji sygnału drganiowego może być wykorzystana, jako komponent diagnostyczny zaimplementowany do pamięci urządzenia sterującego pracą silnika. Komponent ten określałby zużycie złożenia tłok–cylinder poprzez analizę wybranych przebiegów sygnałów drgań w cyklu roboczym silnika.

Algorytm komponentu diagnostycznego przedstawiono na rysunku 9.



Rys. 10. Algorytm filtracji sygnału drganiowego w dziedzinie kąta OWK
Fig. 10. Signal filtration algorithm vs CA

4. WNIOSKI

Przeprowadzone badania pozwoliły na opracowanie metody filtracji sygnału drganiowego w dziedzinie kątowej. Wykazały również, że zmiana luzu złożenia tłok – cylinder wpłynęła na zmianę poziomu drgań bloku silnika. Zmianę tę dobrze ilustruje pochodna współczynnika falkowego. Pochodna współczynników falkowych jest bardzo czułą miarą zmian stanu technicznego silnika spalinowego. Maksymalna wartość pochodnej współczynnika C_{ab} rośnie proporcjonalnie wraz z kolejnym zasymulowanym luzem.

Otrzymane wyniki obliczeń pozwalają na opracowanie algorytmu oceny zużycia złożenia tłok-cylinder pracującego w czasie rzeczywistym. Wyniki te mogą być pomocne w tworzeniu nieinwazyjnego systemu kontroli zjawisk mechanicznych, takich jak uderzenie tłoka ściankę cylindra oraz innych zjawisk (np. procesu spalania czy też uderzenia grzybka zaworu w jego gniazdo itd.).

Bibliografia

1. Li Z., Akishita S., Kato T.: Engine failure diagnosis with sound signal using wavelet transform. SAE Paper 970034, pp. 79-86, 1997.
2. Flekiewicz M., Madej H.: Estimation of IC engine combustion process using vibroacoustic techniques. Silesian University of Technology Papers. vol. 48, 2003.
3. Batko W., Ziółko M.: Zastosowanie teorii falek w diagnostyce technicznej. Monografie Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, Problemy Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, Kraków 2002.
4. Flekiewicz M., Flekiewicz B., Fabiś P.: Engine block vibration level as a tool for fuel recognition. SAE Paper 2007-01-2162, 2007.
5. Flekiewicz M., Flekiewicz B., Madej H., Fabiś P., Wojnar G.: Influence of piston slap on engine block vibration. SAE Paper 2007-01-2163, 2007.
6. König D., Böhme F.J.: Application of cyclostacionary and time-frequency signal analysis to car engine diagnosis. IEEE, 1994.
7. PCB Piezotronics Vibration Division – Product Catalog, USA, New York 2003.

Recenzent: Dr hab. inż. Sławomir Luft, prof. nzw. Politechniki Radomskiej

Praca wykonana w ramach BW-511/RT 2/2008