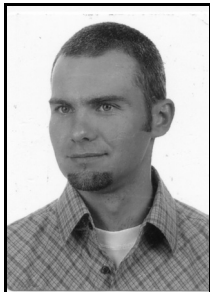


**Marek FIDALI**

POLITECHNIKA ŚLĄSKA, WYDZIAŁ MECHANICZNY TECHNOLOGICZNY, KATEDRA PODSTAW KONSTRUKCJI MASZYN,  
ul. Konarskiego 18a, 44-100 Gliwice

## Zastosowanie transformaty falkowej termogramów do identyfikacji zmian stanu maszyny

Dr inż. Marek FIDALI



Absolwent Wydziału Mechanicznego Technologicznego Politechniki Śląskiej. Od 2003 zatrudniony na stanowisku adiunkta w Katedrze Podstaw Konstrukcji Maszyn. Podstawowe zainteresowania i kierunki badań dotyczą metod diagnostyki technicznej, termowizji, metod przetwarzania i analizy sygnałów oraz obrazów, analizy modalnej, systemów pomiarowych a także wibro-akustyki.

e-mail: marek.fidali@polsl.pl

### Streszczenie

W artykule przedstawiono metodologię i przykład zastosowania transformaty falkowej termogramów do identyfikacji zmian stanu maszyny. Podstawą do wnioskowania o stanie maszyny są sygnały diagnostyczne uzyskane na podstawie obrazów szczegółów i aproksymacji powstałych po przekształceniu falkowym o odpowiednio dobranej funkcji bazowej oraz poziomie dekompozycji. Przykład przedstawiony w artykule wskazuje, że jest możliwa identyfikacja zmian stanu maszyny. Uzyskane wyniki pozwalają również stwierdzić, że sygnały diagnostyczne szczegółów i aproksymacji wzajemnie się uzupełniają dlatego powinny być rozpatrywane łącznie w procesie analizy.

**Słowa kluczowe:** diagnostyka maszyn, termografia, analiza obrazów, transformata falkowa.

### Application of Wavelets transform of thermograms to identification of machine state changes

#### Abstract

This paper presents an application of wavelet transform of thermograms to identifying a change in the machine state. Sequences of infrared images were recorded during an active diagnostic experiment. Identification of change in the machine state was made on the basis of analysis of diagnostic signals which were extracted from new images of details and approximation obtained as an effect of the wavelet transform. Obtaining the relevant diagnostic signals is connected with appropriate choice of the wavelet and decomposition level, as well as selection of relevant features of the images being the result of the wavelet decomposition. Selection of the wavelet type as well as the decomposition level were performed on the basis of preliminary experiments. In order to estimate the decomposed images and obtain the diagnostic signals, typical statistical features were considered. The results obtained for exemplary diagnostic signals show the usability of the proposed approach and allow the identification of the machine state change. It is concluded that the diagnostic signals extracted from images of approximation and details should be considered jointly for the effective machine state assessment because they complement each other from the machine state changes detection point of view. In order to find a class of relevant features of the new image obtained during the wavelet transform, additional research is necessary.

**Keywords:** machinery diagnostics, infrared thermography, image analysis, wavelet transform.

### 1. Wstęp

Diagnostyka termowizyjna jest jedną z metod diagnostyki technicznej, która znajduje zastosowanie w ocenie stanu technicznego różnych maszyn, urządzeń i procesów przemysłowych. Powszechny dostęp do szerokiej gamy urządzeń obrazowania w podczerwieni w znaczący sposób wpłynął na liczbę aplikacji urządzeń termowizyjnych w różnych dziedzinach przemysłu, nauki i techniki [7, 9]. Istotną zaletą stosowania kamer termowi-

zyjnych jest możliwość jednoczesnej obserwacji wielu punktów badanego obiektu, a także wielu obiektów jednocześnie, o ile znajdują się one w polu widzenia optyki termografu.

Poszerzenie asortymentu kompaktowych urządzeń obserwacyjnych i pomiarowych przeznaczonych do stosowania w warunkach przemysłowych stwarza możliwości ich zastosowania do ciągłego monitorowania i oceny stanu technicznego obiektów technicznych.

Zaletą ciągłego monitorowania i termodiagnostyki jest m.in. możliwość detekcji i identyfikacji niesprawności we wczesnym stadium ich występowania, prognozowanie horyzontu czasowego bezpiecznej i bezawaryjnej pracy a także stosowanie mechanizmów automatycznego wnioskowania o stanie technicznym obiektu. Realizacja wymienionych działań wymaga ciągłego pozyskiwania i analizy relewantnych informacji diagnostycznych zakodowanych w rejestrowanych obrazach termograficznych. Możliwe jest to m.in. dzięki stosowaniu odpowiednich metod przetwarzania, analizy i rozpoznawania obrazów termograficznych.

W Katedrze Podstaw Konstrukcji Maszyn prowadzone są badania mające na celu rozwój metod termowizyjnej diagnostyki maszyn, urządzeń i procesów z zastosowaniem metod przetwarzania i analizy obrazów [3, 4, 5, 6]. W trakcie realizacji badań zaproponowano sformalizowane podejście polegające na traktowaniu sekwencji obrazów termowizyjnych rejestrowanych w czasie obserwacji obiektu, jako wielowymiarowego sygnału termowizyjnego, i przekształcaniu go do zbioru relewantnych jednowymiarowych sygnałów diagnostycznych. Generowanie sygnału diagnostycznego odbywa się na podstawie cech każdego z obrazów w sekwencji, wyznaczonych poprzez zastosowanie wybranej metody analizy obrazu. Wartości cech uporządkowane w czasie stanowią sygnał diagnostyczny pozwalający na aktualną ocenę i prognozowanie stanu technicznego obserwowanego obiektu.

Ze względu na dużą liczbę metod analizy obrazów [8], mogących znaleźć zastosowanie do analizy obrazów termowizyjnych, konieczne jest wybór takich, które pozwolą na pozyskanie relewantnych cech obrazów termowizyjnych a zatem i relewantnych sygnałów diagnostycznych. Dotychczas przeprowadzone badania związane były z bezpośrednią analizą wstępnie przetworzonych termogramów, reprezentowanych w postaci obrazów cyfrowych opisanych dyskretną funkcją temperatury dwóch zmiennych,  $T(x,y)$ , gdzie  $x$  i  $y$  są współrzędnymi płaskiego układu współrzędnych, opisującymi rozdzielczość przestrzenną obrazu, a wartości funkcji  $T$  są wartościami temperatury. Analiza tak reprezentowanych obrazów pozwala na pozyskanie informacji pozwalających na identyfikację zmian stanu technicznego. Rzeczywiste obrazy termowizyjne mogą być również reprezentowane w postaci obrazów cyfrowych w dziedzinie np. transformacji Fouriera lub falkowej co związane jest z rozpatrywaniem obrazów często trudnych do interpretacji aczkolwiek mogących uwypuklać informację diagnostyczną trudno identyfikowalną na obrazie rzeczywistym. W artykule zaprezentowano przykład sposobu wyznaczenia sygnałów diagnostycznych z obrazów szczegółów i aproksymacji powstałych w wyniku transformaty falkowej. Wyznaczone sygnały diagnostyczne posłużyły do identyfikacji zmian stanu maszyny.

### 2. Zastosowanie transformaty falkowej w analizie obrazów

Transformacja falkowa (analiza falkowa) dzięki możliwości analize zmiany częstotliwości sygnału w funkcji czasu stała się popularnym narzędziem analizy sygnałów niestacjonarnych, przejściowych oraz różnego typu złożonych obrazów.

W odróżnieniu od transformacji Fouriera, transformacja falkowa nie powoduje utraty informacji o czasie, lecz umożliwia jedno-

czesne przedstawienie sygnałów w dziedzinie czasu i częstotliwości oraz prowadzi do aproksymacji sygnałów przez wyodrębnienie ich charakterystycznych elementów strukturalnych [1, 2].

Transformata falkowa jest przekształceniem podobnym do transformaty Fouriera pod tym względem, iż oba należą do przekształceń całkowitych. W odróżnieniu od transformacji Fouriera gdzie, jako jądro wykorzystuje się funkcje sinusoidalne, w przypadku transformaty falkowej jądrem jest falka. Falki to rodziny funkcji, z których każda jest wyprowadzona z funkcji podstawowej za pomocą przesunięcia i skalowania. Falki umożliwiają przedstawienie z określoną dokładnością dowolnej funkcji ciągłej poprzez sumę ważoną.

Falkowe równanie aproksymujące funkcję  $f(x)$  ma postać [2]:

$$f(x) = \sum_k \sum_j c_{j,k} \psi_{j,k}(x) \quad (1)$$

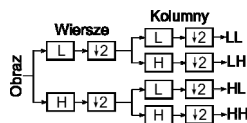
gdzie:  $\psi_{j,k}(x)$  - falka o skali  $j$  i przesunięciu  $k$  w stosunku do falki podstawowej,  $c_{j,k}$  - współczynniki falkowe wyznaczone w procesie aproksymacji,  $x$  - argument funkcji (zmienna niezależna np. czas).

Falka podstawowa może przybierać różne postacie. W trakcie analizy falkowej poszukiwane jest podobieństwo do wybranego typu falki, które opisywane jest przez współczynniki falkowe. Wybór falki dokonywany jest na podstawie wstępnej analizy rozpatrywanych danych a rodzaj wybranej falki decyduje o cechach, jakie zostaną wydobyte z analizowanych danych. W trakcie badań rozpatrywano falki z rodziny Haara (haar), Daubachies (db), Symlets (sym), Coiflets (coif) i biortogonalnych (bior).

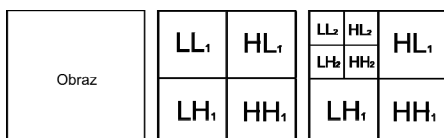
Reprezentacja falkowa sygnału może być uogólniona na dowolny wymiar. Znaczenie praktyczne w zastosowaniu falek do przetwarzania obrazów ma przypadek dwuwymiarowy bazujący na teorii analizy wielorozdzielczej [2].

Istotą analizy wielorozdzielczej obrazu (wg. algorytmu Mallata) jest dekompozycja obrazu na cztery obrazy składowe, przy czym każda składowa ma rozmiar równy jednej czwartej obrazu pierwotnego (czyli ma rozdzielczość liniowo dwa razy mniejszą niż dekomponowany obraz). Każda składowa może być następnie dekomponowana w ten sam sposób, przez co powstaje reprezentacja na wielu poziomach rozdzielczości. Realizacja dekompozycji polega na sekwencyjnym filtrowaniu górno i dolnoprzepustowym, osobno wzdłuż wierszy i osobno wzdłuż kolumn obrazu, przy jednoczesnym zmniejszaniu rozdzielczości (decymacji) z interwałem dwa (Rys. 1). W zależności od rodzaju i kolejności filtrów powstają następujące reprezentacje obrazu: zgrubna (aproksymacja) (LL- filtr dolnoprzepustowy dla wierszy i kolumn), pozioma (LH- dla wierszy filtr dolnoprzepustowy a górnoprzepustowy dla kolumn), pionowa (HL – odwrotnie niż LH) i diagonalna (HH – dwa razy filtr górnoprzepustowy).

Dekompozycja może być dalej kontynuowana, jedna ze strategii przyjmuje, że kolejna dekompozycja dotyczy komponentu zgrubnego z poprzedniej. Proces ten został przedstawiony schematycznie na rysunku 2.



Rys. 1. Przykład dekompozycji falkowej obrazu wg algorytmu Mallata  
Fig. 1. Example of wavelet decomposition of an image with use of Mallat's algorithm

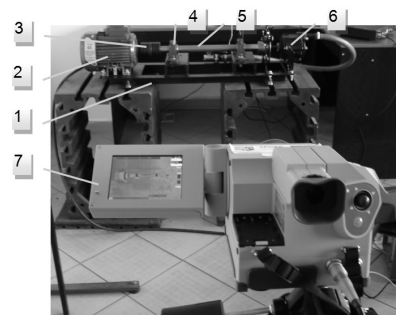


Rys. 2. Przykładowe wyniki dwupoziomowej dekompozycji falkowej obrazu  
Fig. 2. Exemplary results of two level wavelet transform

Powstająca w wyniku zastosowania takiego algorytmu wielorozdzielcza reprezentacja obrazu pozwala na pozyskanie obrazów o nowych i niedostępnych dla obrazu pierwotnego cechach. Ta zaleta transformaty falkowej pozwoliła na jej liczne zastosowania m.in. w analizie obrazów termowizyjnych rejestrowanych w czasie badań nieniszczących z zastosowaniem metod termografii impulsowej [11] lub termograficznych zobrażeń medycznych [10].

### 3. Analizowane obrazy

W celu zastosowania transformaty falkowej obrazów termowizyjnych do oceny zmian stanu technicznego maszyny przeprowadzono czynny eksperyment diagnostyczny na stanowisku badawczym (rys. 3) zlokalizowanym w Laboratorium Diagnostyki Technicznej Katedry Podstaw Konstrukcji Maszyn. Eksperyment polegał na kontrolowanym wprowadzaniu zmian stanu eksploatacyjnego maszyny wirnikowej podczas jej działania i jednoczesnej obserwacji zmian temperatur w czasie.



1-rama, 2-silnik, 3-sprzęgło, 4-zespoły łożysk tocznych, 5-wał, 6- pompa powietrza, 7-kamera termowizyjna

Rys. 3. Laboratoryjne stanowisko badawcze  
Fig. 3. Laboratory stand

Rozpatrywano następujące stany techniczne:

- S1 – obiekt sprawny – 240 obrazów
- S2 – 50% dławienie pompy powietrza – 120 obrazów
- S3 – 90% dławienie pompy powietrza – 120 obrazów
- S4 – 90% dławienie pompy powietrza z poluzowaną oprawą łożyskową nr 2 – 120 obrazów
- S5 – obciążanie hamulcem tarczowym – 120 obrazów
- S6 – uszkodzone łożysko w oprawie 2 – 120 obrazów

Obrazy termowizyjne rejestrowano w stałych odstępach czasu co 30 sekund, co pozwoliło na pozyskanie sekwencji, która składała się łącznie z 840 obrazów.

### 4. Sposób zastosowania analizy falkowej do obrazów termograficznych

Zastosowanie analizy falkowej dla potrzeb identyfikacji stanu technicznego maszyn poprzedzone zostało szeregiem operacji polegających na wstępnym przetwarzaniu zarejestrowanych obrazów, doborze parametrów przekształcenia falkowego oraz wyborze estymatorów obrazów powstałych po dekompozycji. Poniżej przedstawiono, krótką charakterystykę poszczególnych operacji oraz wnioski płynące z ich zastosowania.

#### 4.1. Wstępne przetwarzanie obrazów

Pierwszą operacją wstępnego przetwarzania była normalizacja obrazów. Operacja ta skaluje wartości poszczególnych pikseli (wartości temperatury poszczególnych obszarów) do zakresu (0-255) odpowiedniego dla obrazów cyfrowych reprezentowanych przez 256 odcieni szarości. Operacja taka zmienia wartości temperatur, jednak nie ma wpływu na wyniki analizy, ponieważ dla potrzeb identyfikacji zmian stanu technicznego istotne są względne różnice wartości pikseli w obrazie a nie bezwzględne wartości temperatur.

Drugą operacją wstępnego przetwarzania były wybór obszarów zainteresowania, które w później poddano transformacji falkowej. Dla potrzeb badań zdecydowano, że rozpatrywane będą obszary ROI1 i ROI2 przedstawiające podpory łożyskowe (rys. 4). W maszynie zamontowano zespoły łożyskowe tego samego typu. Obserwacja dwóch podpór tego samego typu miała na celu weryfikację przydatności zaproponowanej metodyki identyfikacji zmian stanu.



Rys. 4. Przykład obrazu termowizyjnego obserwowanej maszyny z zaznaczonymi obszarami zainteresowania (ROI)

Fig. 4. Exemplary thermographic image with selected regions of interest (ROIs)

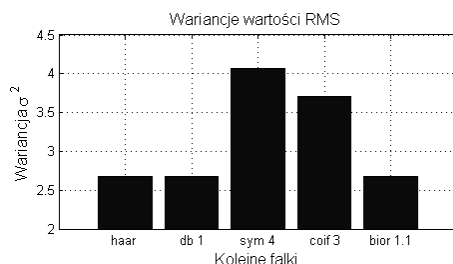
## 4.2. Wybór funkcji bazowej przekształcenia falkowego

Przeprowadzenie skutecznej i efektywnej analizy falkowej wymaga doboru odpowiedniej funkcji bazowej. Dla potrzeb badań, spośród wielu istniejących rodzin falkowych ograniczono się do najczęściej stosowanych w analizie obrazów falek takich jak (haar), (db2), (sym4), (coif3) i (bior4). Wyboru dokonano na podstawie wyników badań wstępnych polegających na analizie obrazów reprezentatywnych dla każdego z rozpatrywanych stanów maszyny. Obrazy reprezentatywne wyznaczano w ten sposób, że z sekwencji obrazów odpowiadającej danemu stanowi maszyny wybrano 10 obrazów reprezentantów i uśredniono ich wartości. Wynikiem takiego postępowania było 6 różnych obrazów reprezentujących stany maszyny S1 - S6.

Każdy z obrazów reprezentatywnych poddany został dyskretnemu przekształceniu falkowemu, z wykorzystaniem każdej z wybranych wcześniej falek.

Poziom dekompozycji na tym etapie został wybrany eksperymentalnie na podstawie wizualnej oceny obrazów na kolejnych poziomach dekompozycji. Na pierwszym poziomie zauważalny był dość duży szum. Poziom drugi dał zadowalające wyniki, natomiast na poziomie trzecim widać pogorszenie jakości obrazu. Dalsza procedura wyboru falki oparta była na wynikach analizy aproksymacji i szczegółów uzyskanych dla drugiego poziomu dekompozycji.

W wyniku transformacji falkowej otrzymano 30 obrazów dwupoziomowej dekompozycji. Dla nowych obrazów reprezentujących szczegóły poziome (LH), pionowe (HL) i diagonalne (HH) obrazu wyznaczono wartość skuteczną RMS. Wyznaczone wartości skuteczne uporządkowano ze względu na funkcję przekształcenia falkowego i obliczono wariancję.



Rys. 5. Porównanie wariancji wartości RMS obrazów szczegółów dla rozpatrywanych falek

Fig. 5. Comparison of variance of RMS values calculated for detail images obtained for different wavelets

Analiza wariancji posłużyła do wyboru falki, gdyż przyjęto założenie, że wysoka wariancja szczegółów obrazu powinna w najlepszym stopniu odzwierciedlać zmiany stanu maszyny.

Okazało się, że największą wariancją wartości skutecznej (RMS) obrazów charakteryzują się falki Symlet 4 i Coiflet 3 (rys. 5). Dla pozostałych falek wariancja ma wartość przeszło dwukrotnie mniejszą. Dodatkowa analiza wizualna otrzymanych wyników pozwoliła do dalszych badań wybrać falkę Symlet 4.

## 4.3. Wybór poziomu dekompozycji

Kolejnym krokiem, prowadzącym do zastosowania przekształcenia falkowego w ocenie stanu maszyny był wybór takiego poziomu dekompozycji, który będzie skutkował pozyskaniem nowych obrazów o największej zawartości informacyjnej pod kątem wrażliwości na zmiany stanu maszyny. Do wyboru poziomu dekompozycji posłużyły również wcześniej opisane obrazy reprezentatywne. Wybór poziomu dekompozycji dokonano na podstawie jakościowej wizualnej oceny porównawczej obrazów na kolejnych poziomach dekompozycji. Zaobserwowano, że wybór poziomu dekompozycji musi być kompromisem wynikającym z oceny obrazów po dekompozycji dla różnych stanów obiektu. Przyjęcie poziomu dekompozycji właściwego dla całej sekwencji reprezentującej różne stany, na podstawie tylko jednego stanu może doprowadzić do utraty istotnych informacji diagnostycznych. Zauważono, że obrazy na 4 i 5 poziomie dekompozycji nie nadawały się do dalszej analizy ze względu na niedostateczną jakość i zbyt małą rozdzielczość. Pierwszy poziom charakteryzował się dominacją znacznej ilości szumu, szczególnie w części reprezentującej szczegóły poziome (LH) i diagonalne (HH). Na kolejnym poziomie dekompozycji udział szumu był mniejszy i jego pozostałości widoczne były tylko w części reprezentowanej przez szczegóły diagonalne (HH). Po dokładnym przeanalizowaniu całej sekwencji dla potrzeb dalszych badań wybrano trzeci poziom rozwinięcia, gdyż okazał się być optymalnym ze względu na założone kryterium przydatności nowych obrazów do dalszej analizy.

## 4.4. Wyznaczenie sygnałów diagnostycznych

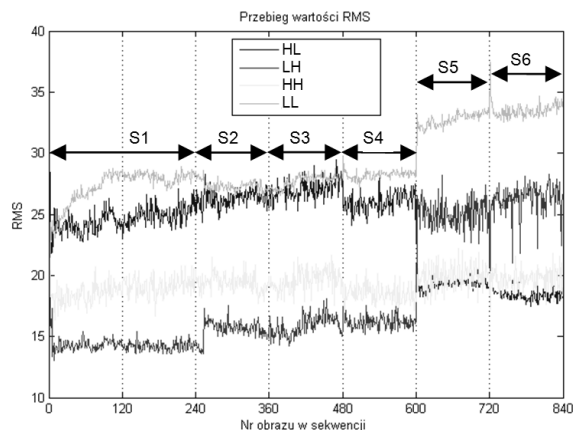
Efektom stosowania transformaty falkowej o odpowiednio dobranej funkcji bazowej i poziomie dekompozycji są obrazy niosące nowe informacje o stanie technicznym obserwowanego w podczerwieni obiektu. Aby umożliwić wyznaczenie sygnałów diagnostycznych obrazu po dekompozycji falkowej należy poddać analizie. Istnieje wiele możliwości analizy tego typu obrazów. Dostępne są metody statystyczne [5], metody topologiczne [3], możliwe jest zastosowanie przekształceń przestrzennych jak PCA [4] itp. Wybór odpowiedniej metody nie jest zadaniem łatwym gdyż wynika m.in. z własności i właściwości obserwowanego obiektu, charakteru informacji niesionej na obrazach czy też pożądanego efektu analizy. W artykule dla potrzeb przykładowego pokazania idei zastosowania transformaty falkowej do diagnozowania maszyn, do wyznaczania sygnałów diagnostycznych posłużono się prostymi metodami statystycznymi umożliwiającymi wyznaczenie takich cech jak wartość średnia, wariancja, odchylenie standardowe, wartość skuteczną. Zauważono, że każdy z przebiegów sygnału diagnostycznego w obrębie jednej cechy nadaje się do identyfikacji zmian stanu technicznego badanego obiektu gdyż zawarte w nich informacje wzajemnie się uzupełniają. Można zatem przyjąć, że najskuteczniej będzie prowadzić proces wnioskowania diagnostycznego rozpatrując jednocześnie wszystkie sygnały diagnostyczne szczegółów i aproksymacji. W dalszej części rozważań posłużono się sygnałami diagnostycznym wartości skutecznej (RMS).

## 5. Identyfikacja zmian stanu maszyny na podstawie obrazów w obszarach zainteresowania

Bazując na wcześniej wyznaczonych parametrach transformaty falkowej i przyjętych założeniach co do sygnałów diagnostycznych,

skupiono się na identyfikacji zmian stanu maszyny na podstawie analizy sygnałów diagnostycznych wyznaczonych dla wcześniej zdefiniowanych obszarów zainteresowania ROI1 i ROI2.

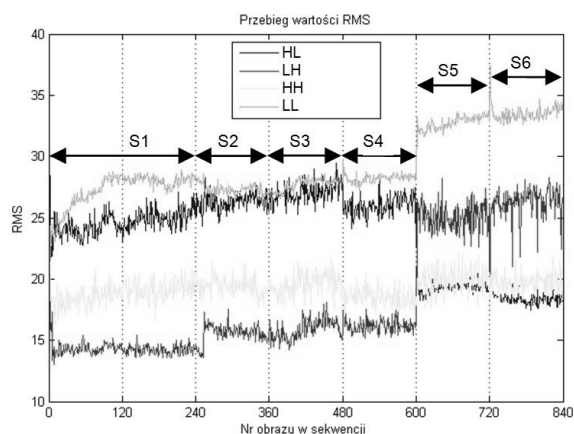
Obrazy reprezentowane przez wybrane obszary zainteresowania zostały poddane trójpoziomowej dekompozycji falką Symlet 4, w wyniku czego otrzymano dwie sekwencje obrazów dekompozycji składające się z aproksymacji i odpowiednich szczegółów. Sygnały diagnostyczne wartości skutecznej wyznaczone dla sekwencji nowych obrazów powstałych w wyniku transformaty falkowej przedstawiono na rys. 9 i rys. 10.



Rys. 9. Przebieg sygnałów diagnostycznych wartości RMS dla poszczególnych obrazów powstałych w wyniku dekompozycji falkowej termogramu reprezentowanego przez obszar ROI1

Fig. 9. Diagnostics signals of RMS values obtained for images being the result of wavelet transform for thermograms represented by ROI1

Ogólna analiza wykresów pozwala stwierdzić, że sygnały diagnostyczne wyznaczone dla obszaru ROI1 nie pozwalają jednoznacznie zidentyfikować wszystkich zmian stanu technicznego maszyn w przeciwieństwie do sygnałów wyznaczonych dla obszaru ROI2. Wynika to z faktu różnic w obciążeniu poszczególnych węzłów łożyskowych.



Rys. 10. Przebieg sygnałów diagnostycznych wartości RMS dla poszczególnych obrazów powstałych w wyniku dekompozycji falkowej termogramu reprezentowanego przez obszar ROI2

Fig. 10. Diagnostics signals of RMS values obtained for images being the result of wavelet transform for thermograms represented by ROI2

Zauważyć można, że sygnał diagnostyczny RMS dla obrazów szczegółów poziomych (LH) umożliwia wyraźną identyfikację zmiany stanu S1 do S2 dla obu rozpatrywanych obszarów. Sygnał ten jednak nie pozwala jednoznacznie zidentyfikować zmiany stanu S2 do S3. Przejścia ze stanu S3 do S4 najlepiej obrazuje przebieg sygnału diagnostycznego wyznaczony dla obrazów szczegółów pionowych (HL). Sygnał diagnostyczny wyznaczony na podstawie obrazów szczegółów diagonalnych (HH) charakteryzuje się wysoką wariancją i nie pozwala jednoznacznie identyfikować nieznacznych zmian stanu maszyny.

Aproksymacja (LL) daje ogólny pogląd o zmianach stanu technicznego szczególnie w odniesieniu do zjawisk, których czas trwania jest długi jak np. nagrzewanie maszyny, co widać dla obrazów od 1 do 120.

## 6. Podsumowanie i wnioski

W artykule przedstawiono wyniki badań dotyczących zastosowania transformaty falkowej obrazów termowizyjnych do wyznaczania sygnałów diagnostycznych i identyfikacji zmian stanu maszyny. Ze względu na specyfikę przekształcenia falkowego przed rozpoczęciem analizy konieczny jest dobór falki i poziomu dekompozycji. Zadanie doboru parametrów dekompozycji falkowej może być wykonane subiektywnie na podstawie wstępnych badań lub z zastosowaniem metod optymalizacji.

Kolejnym istotnym zagadnieniem jest wybór sposobu estymacji cech nowych obrazów powstałych po transformacji falkowej. Określenie cech relewantnych przekłada się w decydujący sposób na sygnały diagnostyczne a zatem i skuteczność diagnozowania.

W trakcie badań zaobserwowano, że sygnały diagnostyczne wyznaczone na podstawie obrazów aproksymacji i szczegółów niosą informacje o zmianach stanu i powinny być rozpatrywane łącznie, gdyż wzajemnie się uzupełniają.

Opracowanie łącznego sposobu analizy sygnałów diagnostycznych jak również zbioru cech relewantnych oraz automatycznego doboru parametrów przekształcenia falkowego jest przedmiotem dalszych badań autora.

## 7. Literatura

- [1] Augustyniak P.: Transformacje falkowe w zastosowaniach elektrodiagnostycznych. Uczelniane Wydawnictwo Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków 2003.
- [2] Białasiewicz J. T.: Falki i aproksymacje. Wydawnictwa Naukowo Techniczne, Warszawa 2004.
- [3] Fidali M., Bzymek A., Timofiejczuk A.: Zastosowanie analizy topologicznej obrazów termowizyjnych do oceny zmian stanu technicznego maszyny wirnikowej. Pomiary Automatyka Kon-trola 11/2009, vol. 55, s. 946-949.
- [4] Fidali M., Bzymek A.: Identification of changes of machine technical state on the basis of PCA of sequence of thermographic images. Diagnostyka, 1(49), 2009, s. 45-48.
- [5] Fidali M.: Ocena zmian stanu technicznego maszyny na podstawie statystycznych cech obrazów termograficznych. Diagnostyka, 4(40), 2006.
- [6] Fidali M.: An idea of continuous thermographic monitoring of machinery. QIRT 2008 Proceedings, 9th International Conference on Qualitative InfraRed Thermography, July 2-5, 2008 Kraków, 61-68.
- [7] Madura H.: Pomiary termowizyjne w praktyce. Praca zbiorowa. Agenda wydawnicza PAK, Warszawa 2004.
- [8] Malina W., Smiatacz M.: Cyfrowe przetwarzanie obrazów. Oficyna wydawnicza EXIT, Warszawa 2008.
- [9] Thomas R.A.: The thermography monitoring handbook. Coxmoor Publishing, Oxford, UK. 1999.
- [10] Więcek B., Jakubowska T., Wysocki M., Peszyński-Drews C., Ring E., Ammer K., Jung A., Murawski P., Zuber J., Zwolenik S., Plassmann P., Jones C., Jones B., Strzelecki M.: Przetwarzanie obrazów termograficznych w zastosowaniach medycznych. Zeszyty naukowe Instytut Elektroniki Politechniki Łódzkiej ELEKTRONIKA nr 9. Łódź 2005.
- [11] Ziopaja K., Różański L., Trafarski A.: Detekcja uszkodzeń przy zastosowaniu aktywnej termografii w podcierwieni i dwuwymiarowej dyskretnej transformacji falkowej. VII Krajowa Konferencja: Termografia i termometria w podcierwieni, Ustroń-Jaszowiec, 16-18 listopada 2006.