

Andrzej KOTYRA, Waldemar WÓJCİK
POLITECHNIKA LUBELSKA, KATEDRA ELEKTRONIKI

Wykorzystanie deskryptorów Fouriera w diagnostyce procesu spalania

Dr inż. Andrzej KOTYRA

Jest adiunktem w Katedrze Elektroniki Wydziału Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Lubelskiej. W 1991 r. ukończył studia na Wydziale Elektrycznym. Pracę doktorską obronił w 2002. W swojej pracy naukowej zajmuje się analizą danych pomiarowych oraz diagnostyką spalania pyłu węglowego.



e-mail: a.kotyra@pollub.pl

Dr hab. inż. Waldemar WÓJCİK

W 1975 r. ukończył studia na Wydziale Elektroniki Politechniki Wrocławskiej, doktorat obronił w Politechnice Lubelskiej w 1985r, a habilitację w Politechnice Lwowskiej (2001). W swojej pracy naukowej zajmuje się procesami cieplnymi, fizyką ciała stałego, sterowaniem procesów technologicznych, optoelektroniką, zastosowaniami algorytmów do analizy danych. Szczególnie dużo uwagi poświęca zastosowaniu techniki światłowodowej do monitorowania procesów cieplnych.



e-mail: waldemar.wojcik@pollub.pl

Streszczenie

W artykule przedstawiono wykorzystanie deskryptorów Fouriera opisujących kształt płomienia do określenia stabilności płomienia pyłowego. Badania wykonywane były na stanowisku laboratoryjnym, w czasie których zmieniano wydatki powietrza pierwotnego, wtórnego oraz pyłu węglowego doprowadzając do utraty stabilności płomienia.

Słowa kluczowe: przetwarzanie obrazu, deskryptory Fouriera, spalanie, pył węglowy.

Application of Fourier descriptors to combustion diagnostics

Abstract

The paper presents the application of Fourier descriptors of the flame shape to assessment of the pulverised coal flame stability. Experiments were made on a laboratory stand equipped with a scaled down 1:10 swirl burner, while flows of the primary, secondary air as well as coal were changed. It caused lack of the flame stability, which could be observed through the changing flame shape. Flame images were captured by a monochrome CCD camera, mounted in an inspection opening, as shown in Fig. 1. Since the flame was the only luminous object, determination of its area and edge was based on a pixel amplitude. The flame edge was transformed into Fourier descriptors and was a subject of investigation.

Keywords: image processing, Fourier descriptors, combustion, pulverised coal.

1. Wstęp

Konieczność ograniczenia emisji szkodliwych substancji spowodowała upowszechnianie nowych sposobów spalania pyłu węglowego, do których można zaliczyć m.in. spalanie strefowe. Ponadto istnieje zauważalna tendencja wykorzystywania paliw odnawialnych, spośród których jako przykład można wymienić mieszanki paliw i biomasy. Wspomniane czynniki negatywnie wpływają na stabilność płomienia oraz przyczyniają się do obniżenia efektywności procesu spalania. Koniecznym staje się zatem stosowanie układów monitorujących, które minimalizowałyby występowanie tych negatywnych zjawisk.

Jeżeli procesowi spalania towarzyszy płomień, to takie jego cechy jak np. kształt, rozkład jasności i częstotliwości migotania są odzwierciedleniem zachodzących procesów fizyko-chemicznych. Płomień jest pierwotnym i najszybszym źródłem informacji o zachodzącym procesie spalania. Spośród nieinwazyjnych metod badania płomienia, szeroko stosowane są metody optyczne [1]. Wśród nich można także wyróżnić metody wykorzystujące przetwarzanie obrazu [2, 3, 4].

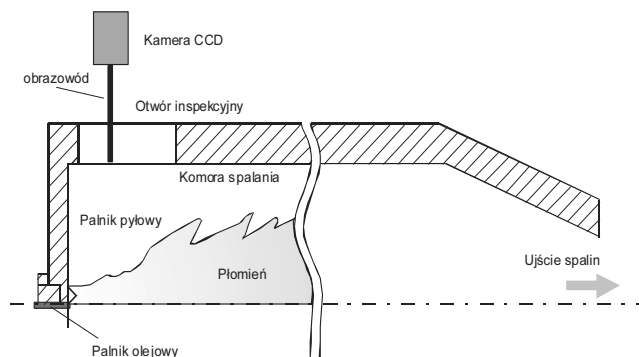
Wizyjne systemy przeznaczone do diagnostyki procesu spalania pozwalają na wyznaczenie większej ilości parametrów płomienia, niż byłoby to możliwe z użyciem tylko pojedynczego fotodetektoru. Spośród nich należy wymienić skład widmowy promieniowania emitowanego przez płomień, częstotliwości migotania płomienia, rozkład temperatury a także parametry geometryczne kształtu

płomienia (np. pole powierzchni, położenie środka ciężkości, momenty geometryczne, itp).

Deskryptory Fouriera są jednym ze sposobów opisu kształtu obiektów i wykorzystywane są do ich klasyfikacji [5]. W niniejszym artykule przedstawiono analizę kształtu płomienia pyłowego przy zmiennym przepływie powietrza pierwotnego, wtórnego oraz paliwa z wykorzystaniem deskryptorów Fouriera.

2. Stanowisko testowe

Testy spalania pyłu węglowego zostały przeprowadzone na stanowisku pomiarowym, którego głównym elementem jest cylindryczna komora spalania o długości 2,5m i średnicy ok. 0,7m. Wewnątrz komory spalania znajduje się wykonany w skali 1:10 model wirowego palnika pyłowego oraz palnik olejowy. Mieszanka paliwowa wraz z powietrzem pierwotnym dostarczana jest do palnika pyłoprzewodem. Komora spalania zaopatrzona jest w dwa podłużne otwory rozmieszczone po obu jej stronach, które umożliwiają obserwację płomienia. Kamery CCD usytuowano prostopadle do osi płomienia, w sposób umożliwiający rejestrację obrazu obszaru płomienia w pobliżu wylotu palnika, jak zostało to pokazane na rys. 1. Takie umiejscowienie kamery podyktowane zostało wynikami wcześniejszych badań, na podstawie których stwierdzono, że jest to najbardziej wrażliwy obszar płomienia na zmiany parametrów spalania, takich jak np. skład chemiczny, właściwości fizyczne paliwa, oraz przepływ i temperatura powietrza pierwotnego i wtórnego [6].

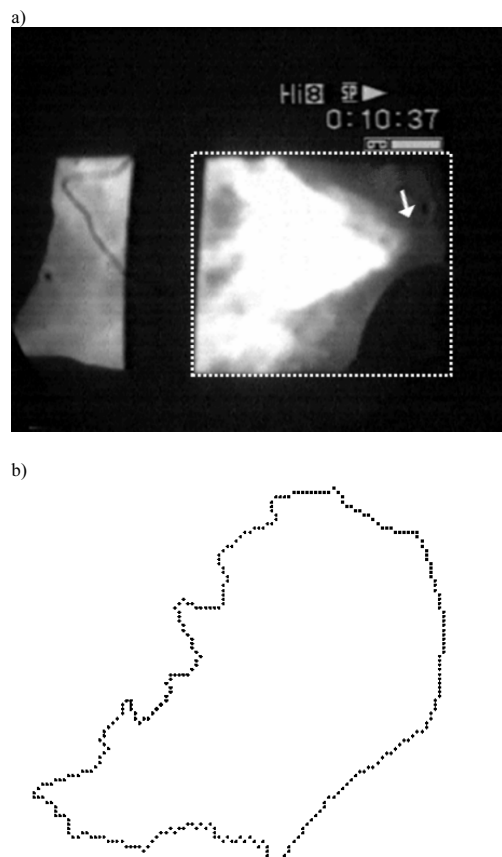


Rys. 1. Stanowisko testowe z zaznaczonym umiejscowieniem kamery względem palnika pyłowego

Fig. 1. Combustion chamber with camera mounting

Do celów rejestracji zastosowano monochromatyczną kamerę CCD. Ze względu na wysoką temperaturę panującą w pobliżu pracującego palnika i ograniczony rozmiar otworu wziernikowego, zastosowano obrazowód o długości 0,7m. Obraz został zarejestrowany w pamięci masowej komputera. Wielkość ramki obrazu wynosiła 352x288 punktów, przy 8 bitowej skali szarości. Ze wspomnianej ramki wyodrębniony został do dalszej analizy ob-

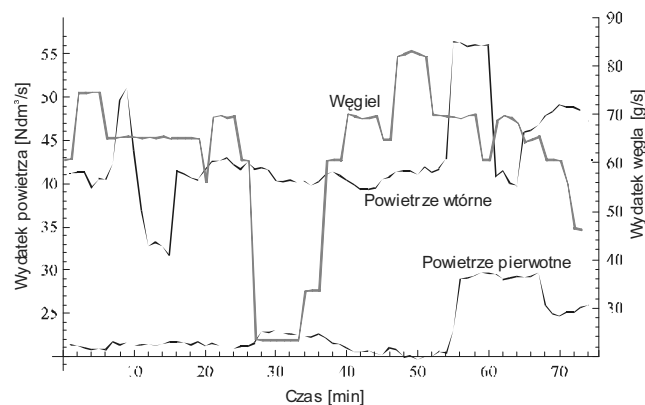
szar o rozmiarach 152x182 pikseli, jak zostało to przedstawione na rys. 2. Wylot palnika został na rysunku zaznaczony strzałką.



Rys. 2. a) Przykładowa ramka z wyodrębnionym obszarem zawierającym płomień. Strzałka wskazuje na wylot palnika. b) Wyizolowana z ramki krawędź obszaru płomienia

Fig. 2. a) An example frame recorded during combustion test with region of interest. An arrow depicts outlet of burner nozzle. b) An extracted edge of a flame

Testy spalania badanego paliwa były przeprowadzane według określonej kolejności. W pierwszej fazie, komora spalania była wygrzewana za pomocą pomocniczego palnika olejowego. Gdy temperatura w jej wnętrzu uzyskała odpowiedni poziom, włączano instalację dostarczającą pyłoprzewodem paliwo stałe, które było spalane jednocześnie z paliwem ciekłym. W takich warunkach, temperatura wewnątrz komory spalania w dalszym ciągu wzrastała do poziomu, kiedy możliwe było całkowite wyłączenie palnika olejowego.



Rys. 3. Zmiany wydatków powietrza i węgla podczas testu
Fig. 3. Variation of primary, secondary air and coal flows during a combustion test

W czasie testu zmieniano wydatki powietrza pierwotnego i wtórnego, jak pokazano na rys. 3. Doprowadzano w ten sposób do spalania niestabilnego, z całkowitym zgaśnięciem płomienia łącznie.

3. Wyznaczenie oraz opis krawędzi płomienia za pomocą deskryptorów Fouriera

Zmiany wydatków powietrza pierwotnego, wtórnego i pyłu węglowego wpływają na stabilność, jak również na kształt płomienia. Przy definiowaniu granic płomienia wykorzystano fakt braku innych niż płomień źródeł promieniowania. Jak to już było wspomniane wcześniej, ramka obrazu zapisywana była w 8-bitowej skali szarości, co odpowiada rozpiętości amplitudy w zakresie od 0 do 255. Promieniowanie emitowane przez płomień miało na tyle dużą wartość, że przy zastosowanym układzie optycznym, piksele odpowiadające obszarowi płomienia były nasycone. Odpowiadało to maksymalnej możliwej amplitudzie równej 255. Za obszar płomienia arbitralnie przyjęto wszystkie te piksele, których amplituda była większa od 200.

Aby był opis krawędzi płomienia za pomocą deskryptorów Fouriera był możliwy, zdefiniowano w taki sposób obszar płomienia powinien być jednorodny []. Jeżeli obszar płomienia składał się z oddzielnych części, zostały one łączone w pojedynczy obszar. Krawędź tak uzyskanego obszaru była zamknięta i mogła być przedmiotem analizy z użyciem deskryptorów Fouriera. Za punkt startowy krawędzi przyjęto lewy górny piksel oraz założono obieg po konturze zgodny z ruchem wskazówek zegara. Przyjmując, że krawędź płomienia o N pikselach reprezentuje zespolony wektor \mathbf{B} , zdefiniowany jako:

$$\mathbf{B} = \begin{pmatrix} x_1 + jy_1 \\ x_2 + jy_2 \\ \vdots \\ x_N + jy_N \end{pmatrix}, \quad (1)$$

gdzie:

x_i, y_i - oznaczają i -te współrzędne piksela krawędzi płomienia,

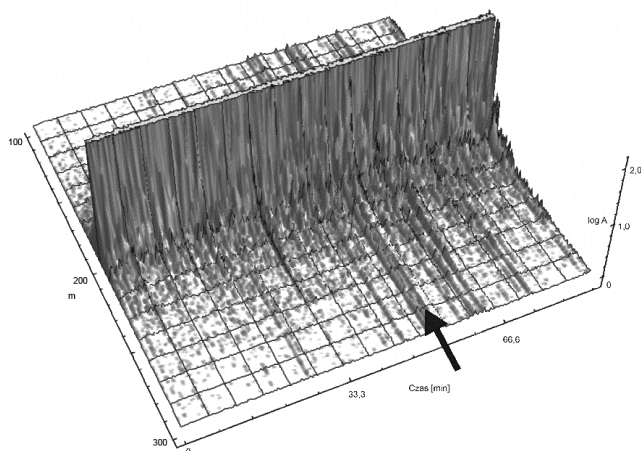
m -ty deskryptor Fouriera dany jest w postaci:

$$F_m = \sum_{k=0}^{N-1} \mathbf{B}_k e^{-\frac{j2\pi km}{N}}. \quad (2)$$

Przyjęto, że każda krawędź płomienia opisana jest przez 400 deskryptorów Fouriera. Deskryptor odpowiadający „zerowej częstotliwości”, odpowiada środkowi ciężkości konturu i wskazuje na jego przesunięcie w płaszczyźnie obrazu [5]. Pozostałe deskryptory opisują kształt konturu w sposób niezależny zarówno od jego położenia na płaszczyźnie, jak i rozmiaru. Ponieważ palnik przez cały czas pozostawał nieruchomy, informacja dotycząca fazy deskryptorów nie była pod uwagę. Analizowany był tylko moduł deskryptorów Fouriera:

$$A_m = |F_m| \quad (3)$$

Zmiana wartości amplitudy deskryptorów Fouriera w czasie zaprezentowane zostały na rys. 4, na którym deskryptory Fouriera rozmieszczone są zgodnie z konwencją funkcji Matlabu `fftshift`. Deskryptor odpowiadający środkowi ciężkości konturu na rys. 4 oznaczony jest jako F_{201} . Deskryptory odpowiadające niskim częstotliwościom rozmieszczone są wykresie symetrycznie wokół F_{201} .



Rys. 4. Zmiany modułu deskryptorów Fouriera w czasie typowego testu spalania. Strzałką zaznaczono zwiększenie wydatku węgla powodujące niestabilność płomienia

Fig. 4. Variation of Fourier descriptors of flame edge during a typical combustion test. The moment of increasing the pulverised coal flow is marked with an arrow

4. Wnioski

Z przeprowadzonych badań wynika, że największe wartości amplitudy deskryptorów Fouriera odpowiadają składowym wolnozmiennym, w całym zakresie zmian przepływów powietrza i węgla. Jak widać na rys. 3 i 4, zmiany składu mieszanki paliwo-powietrznej wpływają na kształt płomienia, co skutkuje zmianą amplitudy deskryptorów Fouriera. Wspomniane zmiany składu spalanego paliwa w silniejszym stopniu wpływają na amplitudę deskryptorów Fouriera odpowiadające składowym szybkozmiennym. Na podstawie przeprowadzonych testów można stwierdzić, że większe wartości A_m dają się zaobserwować głównie przy

zmianach wartości przepływu pyłu węglowego, które skutkują krótkotrwałą utratą stabilności płomienia, co na rys. 4 można zaobserwować w 46 min. testu. Wrażliwość poszczególnych parametrów na zmiany punktu pracy palnika zależy od rozmiarów i kształtu komory spalania oraz stosowanego palnika i sposobu umiejscowienia przetwornika wizyjnego.

Na uzyskane wyniki niewątpliwie wpływ ma ograniczenia, które narzucił sposób umiejscowienia obrazowodu, oraz jego apertura. Wyniki przeprowadzonych analiz pozwalają stwierdzić, że użycie deskryptorów Fouriera krawędzi obrazu płomienia jest przydatne w jakościowej ocenie procesu spalania paliw stałych.

5. Literatura

- [1] R.M. Fristrom: Flame structure and processes. Oxford University Press, London, 1995.
- [2] W.B. Baek, S.J Lee, S.Y Baeg, Ch.H,Cho. Flame image processing & analysis for optimal coal firing of thermal power plant, Proceedings. ISIE 2001, IEEE International Symposium on Industrial Electronic, vol.2, pp 928-931, 2001.
- [3] Lu G., Gilbert G., Yan Y: Vision based monitoring and characterization of combustion flames. Journal of Physics: Conference Series 15, pp.194-200, 2005.
- [4] W.Wójcik. A.Kotyra: Wykorzystanie obrazu płomienia do oceny stabilności spalania mieszanin pyłu węglowego i biomasy, Pomiar Automatyka Kontrola wydanie specjalne Nr 3 2005, pp.34-36, 2005.
- [5] I.Kunttu, L.Lepistö, J.Rauhamaa, A.Visa: Multiscale Fourier descriptors for defect image retrieval, Pattern Recognition Letters 27, pp 132-132, 2006.
- [6] W.Wójcik, A.Kotyra, T.Golec, K.Gromaszek: Vision based monitoring of coal flames, Przegląd Elektrotechniczny, nr 3/2008, pp 241-243.

Artykuł recenzowany

INFORMACJE

Książka Wydawnictwa PAK



rakteryzowano podstawowe założenia polityki krajów UE oraz strategii energetycznej Polski wobec OZE.

Na przełomie sierpnia i września 2007 roku ukazała się kolejna książka Wydawnictwa PAK autorstwa Tomasza Boczara pt.: Energia wiatrowa. Aktualne możliwości wykorzystania.

W niniejszej książce przedstawiono aktualne możliwości wykorzystania energii wiatru do produkcji energii elektrycznej na obszarze Europy, ze szczególnym uwzględnieniem potencjalnych zasobów i stopnia ich wykorzystania na terenie Polski, a także województwa opolskiego. Ponadto scharakteryzowano

Książka skierowana jest przede wszystkim do studentów oraz wykładowców prowadzących zajęcia dydaktyczne na kierunkach elektrycznych, jak również związanych z inżynierią i ochroną środowiska. Opisane zagadnienia mogą stanowić materiał dydaktyczny związany z aktualnymi możliwościami oraz przyszłymi kierunkami w pozyskiwaniu energii wiatru do produkcji energii elektrycznej.

Zamówienia prosimy składać na adresy PAK:

Wydawnictwo PAK
00-050 Warszawa, ul. Świętokrzyska 14A,
tel./fax: 022 827 25 40

Redakcja PAK
44-100 Gliwice, ul. Akademicka 10, p. 30b,
tel./fax: 032 237 19 45, e-mail: wydawnictwo@pak.info.pl