

Waldemar WÓJCIK, Sławomir CIĘSZCZYK, Piotr KISAŁA, Paweł KOMADA
POLITECHNIKA LUBELSKA, KATEDRA ELEKTRONIKI

Analiza widm emisyjnych procesów spalania jako zagadnienie odwrotne w pomiarach pośrednich

Dr hab. inż. Waldemar WÓJCIK

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



Dr inż. Sławomir CIĘSZCZYK

Ukończył studia na Wydziale Elektrycznym Politechniki Lubelskiej w 2001 r., odbywając jednocześnie na piątym roku podypłomowe studia z Telekomunikacji Światłowodowej. W roku tym został zatrudniony na stanowisku asystenta w Katedrze Elektroniki Politechniki Lubelskiej. Działalność naukowa S. Ciężczyka dotyczy czujników optycznych, spektroskopii FTIR, diagnostyki procesów i przetwarzania sygnałów pomiarowych.

e-mail: s.cieszczyk@pollub.pl



Mgr inż. Piotr KISAŁA

Ukończył studia na Wydziale Elektrycznym Politechniki Lubelskiej w 2002 r. Działalność naukowo-badawcza Piotra Kisały dotyczy zarówno telekomunikacyjnych jak i nitelekomunikacyjnych zastosowań światłowodów, zwłaszcza nad zastosowaniem światłowodowych siatek Bragga jako elementów filtrujących oraz czujników optycznych. Obecnie badania koncentrują się na pomiarach rozkładu naprężenia na bardzo małych powierzchniach rzędu kilku nanometrów.

e-mail: p.kisala@pollub.pl



Dr inż. Paweł KOMADA

Jest adiunktem w Katedrze Elektroniki Wydziału Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Lubelskiej. W 1999 r. ukończył studia na Wydziale Elektrycznym PL. Pracę doktorską obronił w 2007. W swojej pracy naukowej zajmuje się diagnostyką spalania pyłu węglowego ze szczególnym uwzględnieniem optycznych metod pomiaru stężeń gazów.

e-mail: p.komada@pollub.pl



Streszczenie

Artykuł przedstawia problem pomiarów *in situ* zawartości gazów oraz temperatury w procesach spalania. Pomiaru takie przeprowadzone być mogą z wykorzystaniem spektrometru FTIR o otwartej ścieżce pomiarowej. Analizę widm transmisyjnych oraz emisyjnych procesów o zmieniającej się temperaturze potraktować można jako rozwiązanie zagadnienia odwrotnego. Zagadnienie proste jest wtedy modelowaniem widm w zależności od temperatury oraz zawartości składników. Przedstawiono pomiary promieniowania procesu spalania oraz ich analizę ilościową z wykorzystaniem opisanej metody.

Słowa kluczowe: pomiary pośrednie, zagadnienie odwrotne, OP-FTIR, procesy spalania.

Flame emission spectrum analysis as an inverse problem in indirect measurements

Abstract

The paper presents a problem of in-situ measurements of gas concentration and temperature of combustion processes. Such measurements can be carried out by using an open path FTIR. The analysis of transmission and emission spectra of changeable temperature processes can be treated as an inverse problem. Modelling of the spectrum as a function of temperature and species concentration is then a direct problem. In this paper there are presented combustion process measurements and the quantitative analysis as an inverse problem is performed. In the introduction the need for investigations of the combustion process is discussed. Recently biomass gasification and combustion have been playing a significant role due to the environmental protection. What is important, the process should be analysed by an in-situ method. The access to some processes can be so difficult that only remote measurements are possible. In those cases an OP-FTIR spectrometer (Open Path Fourier Transform Infrared Spectrometer) can be used. The analysis of the classical FTIR spectrum is shown in Section 2. This method consists in using a set of calibration samples for preparing the calibration curve. Unknown concentration of species is determined with this curve. Calibration and measurements have to be carried out in the same temperature. Section 3 describes the problem of simultaneous analysis of concentration and temperature of gases based on infrared spectrum measurements. The inverse problem method is one of the solutions of this problem. The direct problem consists in modeling the spectrum modeling of known temperature and concentration. There are

two kinds of methods for modeling the synthetic spectrum of gases – physical (line by line) and statistical one. The spectra in Fig. 3 are calculated for the temperature profiles of Fig. 2. The misfit minimisation between the synthetic and measurement spectrum by means of an optimization method is called the inverse problem. Section 4 describes the measurements of the process infrared spectrum. The spectrum measurements based on the spectral gas models and the inverse problem are analysed. The FTIR spectra measured are shown in Figs. 7 and 9, whereas the adequate analyses are depicted in Figs. 6 and 8. The paper is summarised with some conclusions.

Keywords: indirect measurements, inverse problem, OP-FTIR, combustion processes.

1. Wprowadzenie

Określenie zawartości składników gazowych oraz ich temperatury dla różnych procesów fizyko-chemicznych jest zadaniem trudnym. Typowym sposobem wykonywania pomiaru jest wykorzystanie sond inwazyjnych oraz procedur analitycznych przeprowadzanych poza diagnozowanym obiektem. W wielu przypadkach zachodzi potrzeba określania zmian koncentracji składników. Inwazyjne procedury pomiarowe nie zawsze zastosować można do ciągłego monitoringu procesów. Wraz ze zwiększaniem się roli ochrony środowiska oraz trendem w wykorzystaniu odnawialnych źródeł energii, rośnie ilość procesów, w których spalaniu podlega biomasa. Badaniami procesów spalania biomasy lub też spalania z częściowym wykorzystaniem paliwa z biomasy zajmuje się wiele ośrodków naukowych oraz przemysłowych [1, 2]. Poza badaniami mającymi na celu właściwe prowadzenie procesów spalania biomasy pomiary zawartości gazów przeprowadza się w celu prognozowania rozprzestrzeniania się pożarów [3, 4]. Gazy powstające podczas termicznej degradacji biomasy mogą znacząco wpłynąć na powiększanie się obszaru pożaru. Aby właściwie modelować zachowanie się pożarów terenów leśnych oraz nieużytków należy znać ilość emitowanych gazów oraz zależność ich emisji od temperatury degradacji termicznej. Na szybkość procesu spalania oraz wielkość emisji gazów w znacznym stopniu wpływa temperatura.

Pomiar *in situ* zawartości składników oraz temperatury może być przeprowadzony z wykorzystaniem spektrometru FTIR (Fourier Transform Infrared Spectrometer) o otwartej ścieżce pomiarowej (open path, OP-FTIR) [1-6]. Typowy laboratoryjny spektrometr FTIR jest układem składającym się ze źródła promieniowania, kuwety z badaną zawartością oraz interferometru Michelsona wraz z detektorem. Jest to układ zamknięty, w którym badane mieszaniny umieszczone są w kuwecie. Na podstawie cech absorpcji promieniowania przez składniki znajdujące się w kuwecie określa się ich zawartość. Spektrometr OP-FTIR jest właściwie analizatorem widma. Można go wykorzystać na dwa sposoby: jako analizator naturalnego widma promieniowania procesu (pomiar pasywny) lub też umieszczając dodatkowe źródło promieniowania w taki sposób by badany proces znajdował się na linii pomiędzy owym źródłem a spektrometrem (pomiar aktywny). Technika pomiaru OP-FTIR posiada wiele zalet, z których najważniejsze to:

- bezinwazyjność pomiaru *in situ*,
- uniknięcie pobierania gazów, chłodzenia i umieszczania w zamkniętej kuwecie,
- jednoczesny pomiar całego zakresu widma,
- stosunkowo duża szybkość wykonywania pomiaru,
- prosty układ pomiarowy,
- możliwość identyfikacji wielu składników, w tym również aktywnie reagujących chemicznie.

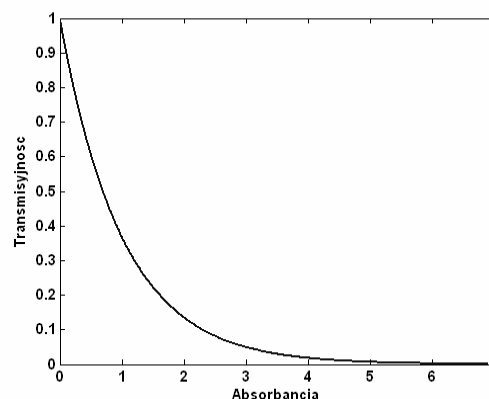
Określenie zawartości składników na podstawie pomiarów pasywnych (widma promieniowania) jest zadaniem skomplikowanym. A sama dokładność procedury zależy od wykorzystywanego algorytmu numerycznego. Główne zastosowania pomiarów pasywnych to skład spalin silników samolotowych, zanieczyszczeń atmosferycznych, gazów wulkanicznych, gazów z kominów instalacji przemysłowych, wycieków z instalacji gazowych oraz rurociągów. Podczas pomiarów metodą fourierowską rozważyć należy wartości dwu parametrów: rozdzielczość pomiaru oraz czas jego wykonania. Wysoka rozdzielczość pozwala określić cechy absorpcji poszczególnych składników, niestety dla konkretnego spektrometru wraz ze wzrostem rozdzielczości pomiaru zwiększa się czas akwizycji danych. Dodatkowo, aby zwiększyć stosunek sygnału do szumu stosuje się wielokrotny pomiar widma a następnie jego uśrednianie. W przypadku dużej dynamiki zmian zawartości składników oraz temperatury, metoda ta nie może być stosowana.

2. Analiza ilościowa pomiaru FTIR oraz jej ograniczenia

Analizę ilościową widm przeprowadza się z wykorzystaniem prawa Beera. Podstawowym założeniem takiej analizy jest liniowa zależność zawartości składnika oraz absorbancji. Liniowość ta nie zawsze jest gwarantowana. Jednym z powodów tego jest wpływ charakterystyki spektralnej spektrometru na pomiar. Nowoczesne instrumenty pomiarowe posiadają funkcję automatycznego wyznaczania liniowej krzywej kalibracyjnej, przy czym w większości liniowość udaje się zachować w zakresie dwóch jednostek absorbancji (rys. 1).

Dodatkowym ograniczeniem jest niewielka zależność zmian transmisyjności w funkcji absorbancji dla jej wartości powyżej dwóch jednostek (rys. 1).

Przed przystąpieniem do analizy próbek o nieznanym składzie należy wykonać procedurę kalibracji. Wykorzystuje się do tego próbki o znanym składzie zmieniającym się co najmniej w zakresie wykonywanych później analiz. Kalibracja wykonana musi być z taką samą rozdzielczością oraz z identycznymi wszystkimi parametrami pomiarowymi (apodyzacja, uzupełnianie zerami interferogramu, korekcja fazy interferogramu). Najlepiej było by gdyby próbki kalibracyjne zawierały pozostałe, aktualnie nie kalibrowane, składniki występujące w badanej mieszaninie o podobnej zawartości. Skład kalibrowanych próbek musi być znany z wysoką dokładnością. Analiza powinna być przeprowadzana w tej samej, albo przynajmniej zbliżonej temperaturze.



Rys. 1. Zależność transmisyjności od absorbancji
Fig. 1. Relationship between transmittance and absorbance

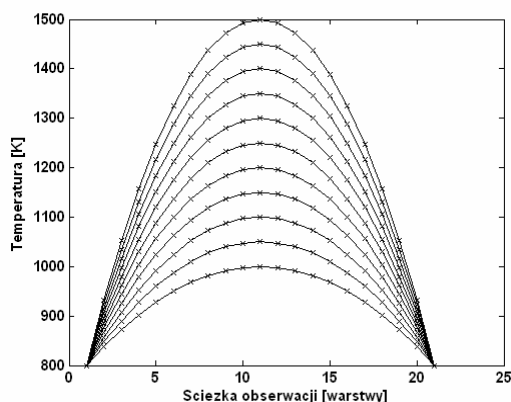
Ponieważ spektrometr FTIR mierzy widmo w pewnym zakresie długości fal na jego podstawie analizować można jednocześnie wiele komponentów. Najczęściej stosowaną tu procedurą analityczną jest regresja wielowymiarowa [4, 7, 8] (MLS – multiple least-squares method). W przypadkach nakładających się lub wysoce podobnych widm, stosuje się złożone metody regresji [7, 8], np. regresję cząstkową (PLS – partial least square), regresję głównych składowych (PCR – principal component regression), lokalnie ważoną regresję (LWR – locally weighted regression), czy też sieci neuronowe. Wzrost liczby składników mieszaniny, zarówno mierzonych, jak też tylko zakłócających pomiar, zwiększa stopień trudności zadania.

3. Ilościowa analiza widm jako zagadnienie odwrotne

Spektrometr OP-FTIR może mierzyć transmisyjność ścieżki pomiarowej lub widmo promieniowania procesu docierające do spektrometru. Wykorzystywać można również jednoczesny pomiar transmisyjności oraz radiancji spektralnej analizowanego procesu. Ze względu na występowanie jednoczesnej zmiany zawartości składników i temperatury przeprowadzenie kalibracji w sensie klasycznym nie jest możliwe w ogólnym przypadku. Stosowane są metody pośrednie kalibracji dla typowych parametrów procesu, np. dla średniej temperatury, dla kilku charakterystycznych wartości temperatury lub też dla typowych wartości temperatury oraz zawartości składników. Metoda ta (Synthetic Calibration/Classical Least Square retrievals – syntetyczna kalibracja / wyznaczanie niewiadomych klasyczną metodą najmniejszych kwadratów) stosowana była m.in. do badań dużej skali laboratoryjnych pożarów biomasy [4]. Pojawiają się tutaj niestety dwa problemy. Pierwszy to wspomniane wyznaczanie niewiadomych przy uśrednionych wartościach innych parametrów, np. zawartości składnika gazowego przy zakładanej średniej temperaturze. Drugi problem to wpływ zawartości składników na wartość transmisyjność. W pomiarach *in situ* eksperymentator nie ma wpływu na transmisyjność czy też emisyjność procesu. W pomiarach klasycznymi spektrometrami FTIR istnieje możliwość skracania lub wydłużania ścieżki pomiarowej poprzez wykorzystanie kuwety z wieloma odbiciami. Obiekt rzeczywisty cechują określone wartości transmisyjności oraz radiancji spektralnej determinowane przez zawartość składników i temperaturę. Może się więc okazać, że istnieje silna nieliniowość zależności zawartości składnika i absorbancji. Znalezienie ogólnej relacji pomiędzy widmem a zawartością składników i temperaturą nie jest więc możliwe. Stworzyć jednak można symulacyjne modele komputerowe transmisji oraz radiancji spektralnej w zależności od zawartości składników oraz temperatury. Przy czym modele takie opisywać mogą zarówno jednorodną ścieżkę pomiarową, jak też ścieżkę niehomogeniczną pod względem temperatury oraz koncentracji. Do celów obliczeniowych często zakłada się stałość temperatury

oraz koncentracji ścieżki pomiarowej. Upraszcza to znacznie modele numeryczne. Jest to szczególnie uzasadnione przy pomiarach, w których zainteresowani jesteście określeniem stosunku zawartości składników (np. CO/CO₂). Niejednorodność temperatury ścieżki pomiarowej w niewielkim stopniu wpływa na taki pomiar.

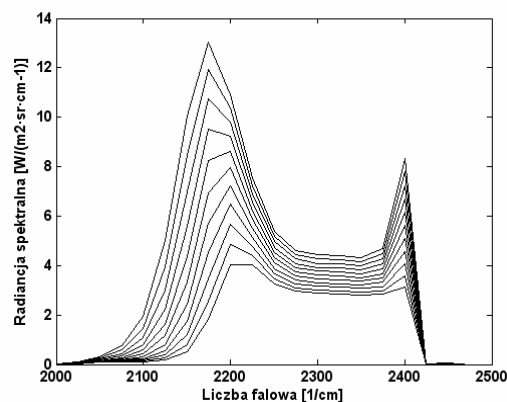
Modelowanie widm na podstawie zawartości składników oraz wartości temperatury określić możemy jako model wprost (forward model) lub też zagadnienie proste. Określenie składników oraz temperatury na podstawie widm emisyjnych i absorpcyjnych jest zagadnieniem odwrotnym. Analityczne rozwiązanie zagadnienia odwrotnego nie jest możliwe z kilku powodów. Pierwszym jest sposób obliczania zagadnienia prostego. Ponieważ wyznaczenie krzywych kalibracyjnych od temperatury oraz koncentracji w warunkach laboratoryjnych nie jest możliwe, stosowane są modele transmisyjności gazów, które podzielić można na fizyczne oraz statystyczne. Modele fizyczne, zwane również modelami linia po linii, wykorzystują teorie fizyczne opisujące molekuły. Każda cząsteczka gazu może się obracać oraz drgać w sposób określony przez teorię kwantową. Absorbowane oraz emitowane fotony przyjmują określone skwantowane poziomy wartości energii. W widmie objawia się to prążkami (liniami) rotacyjnymi, z których każda posiada określoną intensywność oraz kształt zależny od temperatury, ciśnienia i składu mieszaniny. Linie rotacyjne są bardzo wąskie i leżą blisko siebie tworząc tzw. pasma wibracyjne. Modele fizyczne dostępne są w postaci tabel parametrów zawierających dużą liczbę tych linii. Część parametrów szczególnie dla wysokich temperatur, określana jest za pomocą teorii z ewentualnym pomiarowym sprawdzeniem ich poprawności w wybranych przypadkach. Obliczanie transmitancji w zakresach spektralnych zawierających kilkaset, kilka tysięcy czy nawet kilkaset tysięcy linii, jest zadaniem wymagającym dużych nakładów obliczeniowych. Stąd też powstały statystyczne modele obliczeniowe transmitancji gazów. Ich rozwój związany jest z obliczeniami transportu ciepła w obiektach przemysłowych (kotłach, piecach), gdzie na wykorzystanie metod fizycznych nie pozwala bardzo długi czas obliczeń. Założeniem metod statystycznych jest sumowanie linii rotacyjnych w określonych pasmach, najczęściej o szerokości 25 cm⁻¹. Przy czym estymowane są statystyczne parametry linii, jej powierzchnia, intensywność, szerokość, tak by transmisyjność pasma i jego zmiany z koncentracją oraz temperaturą odpowiadały zmianom rzeczywistym. Jednym z bardziej popularnych modeli jest statystyczny model wąskopasmowy SNB (Statistical Narrow Band).



Rys. 2. Modelowane profile temperatury
Fig. 2. Temperature distribution profiles

Wykorzystując model SNB oraz równanie radiacyjnego transferu energii przeprowadzono symulację widma promieniowania dla ścieżki obserwacji składającej się z 20 warstw o grubości 10 cm i 10 % zawartości dwutlenku węgla. Dla 11 profili parabolicznych (rys. 2) o zmieniającej się temperaturze maksymalnej od 1000 K do 1500 K obliczono widmo promieniowania w zakresie średniej podczerwieni. Zmiany maksymalnej temperatury profilu ścieżki

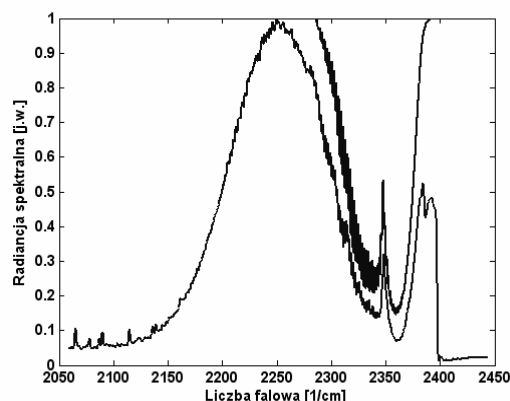
obserwacji wpływają na widmo promieniowania przedstawione na rys. 3, gdzie obserwować można szczególnie zwiększenie intensywności dla długości fal w zakresie 2150–2200 cm⁻¹.



Rys. 3. Radiancja spektralna odpowiadająca profilom temperatury z rys. 2
Fig. 3. Spectral radiance for temperature profiles of Fig 2

4. Pomiary i ich analiza

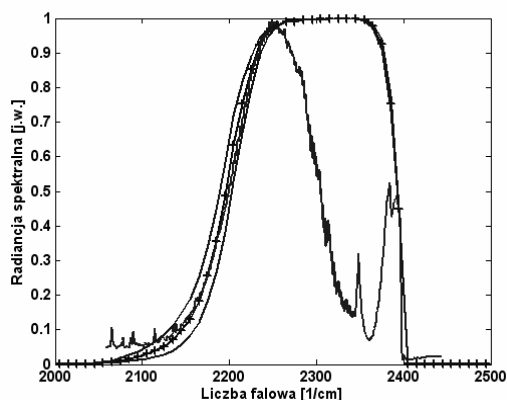
Pomiary widm promieniowania przeprowadzone zostały na stanowisku do spalania gazów ze zgazowywarki biomasy o mocy 0,5MW. Rysunki 4-7 przedstawiają widma promieniowania dwutlenku węgla zawartego w płomieniu dla pomiarów przeprowadzonych prostopadle do osi płomienia. Rys. 4 uwidacznia wpływ dwutlenku węgla znajdującego się w atmosferze pomiędzy badanym płomieniem a spektrometrem. Urządzenie pomiarowe musi być oddalone od gorącej strefy. Wykonano również pomiar absorpcji atmosferycznego dwutlenku węgla na tej samej odległości jak w przypadku pomiaru płomienia. Źródłem promieniowania były nagrzane elementy palnika. Zakres 2300–2400 cm⁻¹ jest zdominowany przez absorpcję zimnego CO₂ znajdującego się w powietrzu. Efekt ten można wyeliminować stosując sondę światłowodową przesyłającą promieniowanie z obiektu do spektrometru.



Rys. 4. Widmo promieniowania płomienia oraz absorpcja od powietrza atmosferycznego
Fig. 4. The flame emission spectrum and atmospheric air absorption

Do dalszej analizy przyjęto założenie stałości temperatury oraz koncentracji CO₂ na ścieżce obserwacji przez płomień. Z wykorzystaniem bazy danych Hitran [9] (metoda linia po linii) dopasowano widmo pomiarowe do widma symulacyjnego (rys. 5). Obliczona temperatura wyniosła 1300K, która jest bliska wartości uzyskanej w pomiarach termoparą. Dla lepszego zobrazowania wpływu temperatury na widmo pokazano na rys. 5 również dodatkowe dwa widma symulacyjne dla temperatury 1250K oraz 1350K. W podobny sposób wykonać można analizę dokładności

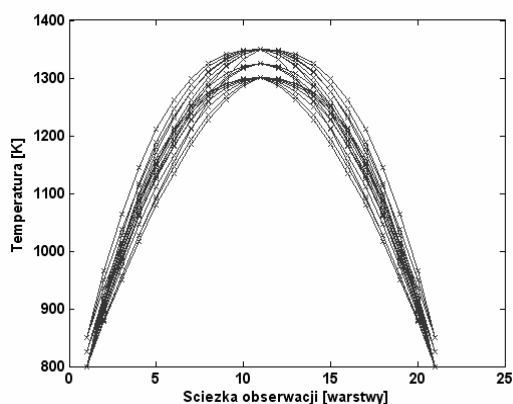
rozwiązywania zagadnienia odwrotnego jako zbioru rozwiązań spełniających pewne kryteria, np. położenie w określonym obszarze zmierzonego widma. Obszar taki odzwierciedla wtedy możliwe błędy pomiaru widma.



Rys. 5. Porównanie widma mierzonego oraz symulacyjnego dla pomiaru z boku płomienia

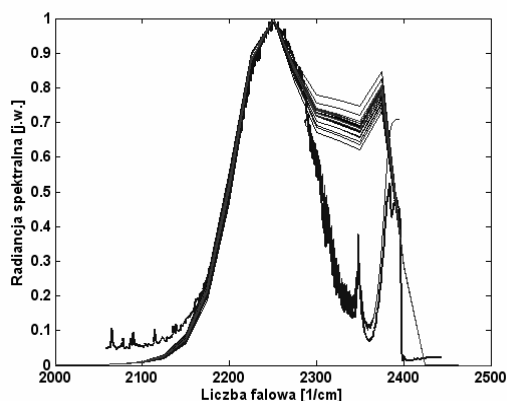
Fig. 5. Comparison of the observed flame emission with synthetic spectrum

Stosując założenie parabolicznego kształtu profilu temperatury oraz model SNB gazów, przedstawiono rodzinę temperaturowych profili parabolicznych (rys. 6), które mieszczą się w granicach 5 % ($2150\text{--}2275\text{ cm}^{-1}$) zmian widma mierzonego. Większe zmiany dopuszczone zostały dla zakresu widma $2275\text{--}2400\text{ cm}^{-1}$, który jest absorbowany przez powietrze atmosferyczne.



Rys. 6. Rodzina parabolicznych profili temperatury

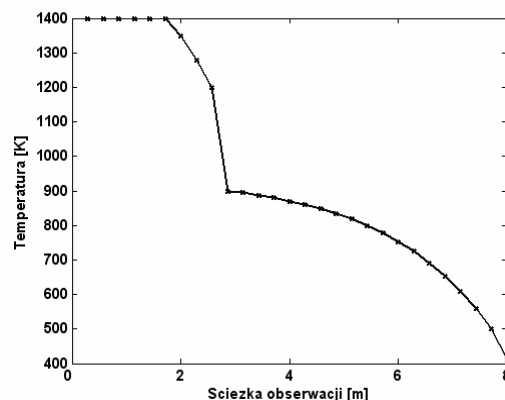
Fig. 6. Family of parabolic temperature profiles



Rys. 7. Porównanie widma mierzonego oraz symulacyjnego dla rodziny profili z rys. 6

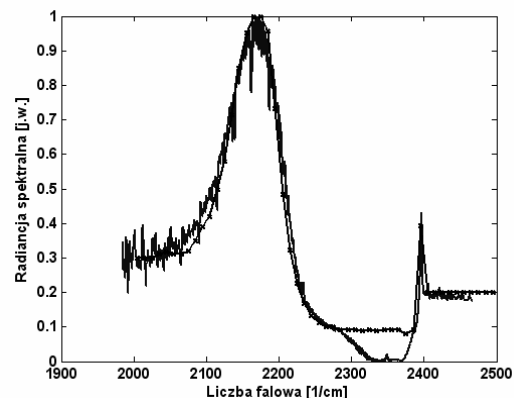
Fig. 7. Comparison of the observed flame emission with synthetic spectrum for the family of profiles of Fig. 6

Pomiary przeprowadzono również wzdłuż komory spalania dla ścieżki obserwacji wewnątrz obiektu o długości 8m. Spektrometr został dodatkowo oddalony od gorącego obiektu, stąd obserwować można absorpcję atmosferycznego CO_2 w zakresie $2300\text{--}2400\text{ cm}^{-1}$. W wyniku rozwiązania zagadnienia odwrotnego otrzymano profil temperatury przedstawiony na rys 8. Spektrometr znajdował się od strony wylotu spalin, a więc mniejszych temperatur. Pierwsze dwa metry ścieżki obserwacji jest to strefa płomienia o temperaturze 1400 K. Poza płomieniem następuje szybkie ochładzanie się spalin pomiędzy 2 a 3 metrem w wyniku silnego chłodzenia poprzez ściany boczne. Następnie spaliny podlegają stopniowemu ochłodzeniu na odcinku 3-8 metrów.



Rys. 8. Rozkład temperatury wyznaczony dla 8. metrowej ścieżki obserwacji wzdłuż komory spalania

Fig. 8. Temperature distribution for 8m long observation path



Rys. 9. Porównanie widma mierzonego i symulacyjnego dla profilu z rys. 8

Fig. 9. Comparison of the observed flame emission with synthetic spectrum for the profile of Fig. 8

5. Wnioski

W artykule zwrócono uwagę na potrzebę monitorowania różnorodnych procesów spalania metodami *in situ*. W ostatnim czasie ważną rolę odgrywa spalanie biomasy, a proces ten wymaga metod pomiarowych bezpośrednio analizujących zjawisko w miejscu jego zachodzenia. Na dostęp do procesu pozwalają spektrometry otwartej ścieżki pomiarowej, za pomocą których tworzyć można konfiguracje pomiarowe, zarówno aktywne, jak też pasywne. W niektórych obiektach możliwy jest jedynie pasywny pomiar widm emisyjnych. Do analizy takich widm zastosować można modele fizyczne lub statystyczne. Wykorzystując radiacyjne równanie transportu energii obliczać można widmo emisyjne dla znanych temperatur oraz koncentracji składników. Jest to zadanie bezpośrednie. Aby wyznaczyć parametry na podstawie zmierzonych widm emisyjnych rozwiązać należy zadanie odwrotne. Zagadnienie takie przedstawione zostało na przykładzie

pomiarów widm ze zgazowywarki biomasy. Wyznaczono rozkład temperatury przy pomiarach z boku płomienia oraz wzdłuż komory spalania.

6. Literatura

- [1] T. J. Christian at all: Comprehensive laboratory measurements of biomass-burning emissions: 2. First intercomparison of open-path FTIR, PTR-MS, and GC-MS/FID/ECD, *Journal of Geophysical Research*, vol. 109, 2004, D02311.
- [2] A. Weissinger, T. Fleckl, I. Obernberger: In situ FTIR spectroscopic investigations of species from biomass fuels in a laboratory-scale combustor: the release of nitrogenous species, *Combustion and Flame* 137, 2004, pp. 403-417.
- [3] A. J de Castro at all: Open-path Fourier transform infrared spectrometry characterization of low temperature combustion gases in biomass fuels, *Infrared Physics & Technology* 51, 2007, pp. 21-30.
- [4] R. J. Yokelson, D. W. Griffith, D. E. Ward: Open-path Fourier transform infrared studies of large-scale laboratory biomass fires, *Journal of Geophysical Research*, vol. 101, 1996, pp. 21,067-21,080.
- [5] E. Flores-Jardines at all: Investigation of temperature and gas concentration distribution in hot exhausts (airplanes and burners) by scanning imaging FTIR spectrometry, *SPIE* vol. 5979, 2005, pp. 365-376.
- [6] W. Wójcik, S. Cieszyzyk, P. Komada, P. Kisała: Pomiary widma procesów spalania do celów diagnostycznych w zakresie średniej podczerwieni, *Diagnostyka Procesów i Systemów, EXIT*, Warszawa 2007, str. 271-276.
- [7] P. R. Griffiths, J. A. de Haseth: *Fourier Transform Infrared Spectrometry*, A John Wiley & Sons, Inc., 2007, Hoboken, New Jersey.
- [8] J. Piotrowski, K. Kostyrko: *Wzorcowanie aparatury pomiarowej*, PWN, 2000, Warszawa.
- [9] L. S. Rothman at all: The HITRAN 2004 molecular spectroscopic database, *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer* 96, 2005, pp. 139-204.

Artykuł recenzowany

INFORMACJE

VIII Sympozjum nt. Niepewności Pomiaru

Świnoujście, 16 – 20 lutego 2009 r.

Pod patronatem
Prezesa Głównego Urzędu Miar

Organizator:

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
Wydział Elektryczny, Instytut Automatyki Przemysłowej
Zakład Metrologii

Sympozjum organizowane jest corocznie w połowie lutego. W latach 2002 – 07 odbywało się w Międzyzdrojach, a od ubiegłego roku – w Świnoujściu.

Podczas sympozjum prezentowane są prace o tematyce mieszczącej się w szeroko pojętej dziedzinie analizy dokładności pomiaru:

- **prace metrologów-praktyków**, dotyczące głównie zastosowania zalecanych przez przepisy międzynarodowe metod oceny niepewności pomiaru, bądź szerzej – oceny przedziału ufności w pomiarach różnych wielkości fizycznych i chemicznych,
- **prace metrologów-informatyków**, dotyczące systemów pomiarowych i oprogramowania do analizy dokładności pomiaru,
- **prace metrologów-teoretyków**, dotyczące definiowania podstawowych pojęć analizy dokładności, oceny dokładności w sytuacjach silnej nieliniowości i nieciągłości równania pomiaru

(np. wpływ kwantowania) oraz poszukiwań nowych miar niedokładności pomiaru (np. w obszarze logiki rozmytej).

Sympozjum jest **forum wymiany myśli i doświadczeń między metrologami-praktykami a metrologami-teoretykami**, działającymi w różnych obszarach techniki i teorii pomiaru. Dlatego **założeniem Sympozjum jest dążenie do nieograniczania czasu referowania i dyskusji**. Na referat i dyskusję przeznaczona się czas ok. 1 godz.

W sprawie bliższych informacji o Sympozjum i zgłoszeń uczestnictwa prosimy o kontakt elektroniczny na adresy:

smoskow@ps.pl lub *kubisa@ps.pl*

– nie później niż do dnia **5. lutego br.**

Opracowanie: Stefan Kubisa, Stanisław Moskowicz