



Badanie charakterystyk rozproszeniowych aerozoli z zastosowaniem optoelektronicznego czujnika dymu

MIROŚŁAWA SZOPA, ZYGMUNT MIERCZYK

Wojskowa Akademia Techniczna, Instytut Optoelektroniki,
00-908 Warszawa, ul. S. Kaliskiego 2

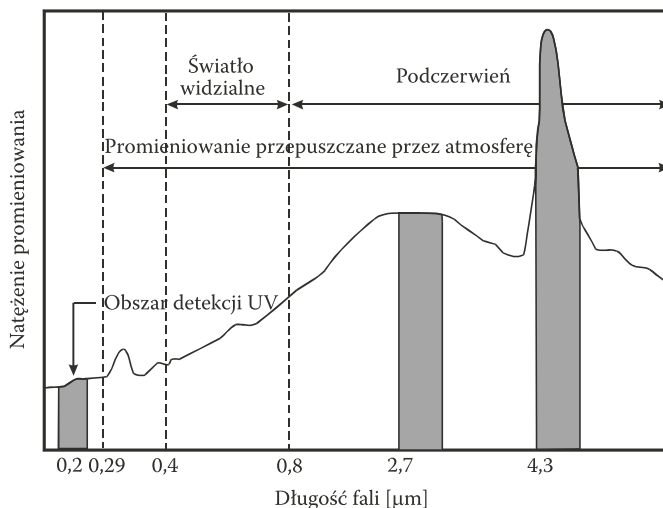
Streszczenie. W artykule przeprowadzono analizę teoretyczną charakterystyk rozproszeniowych aerozoli z zastosowaniem optoelektronicznego czujnika dymu z detekcją wielospektralną. Dzięki zastosowaniu trzech długości fal oraz trzech detektorów umieszczonych pod różnymi kątami względem padającego promieniowania, możliwa jest dziewięciokanałowa analiza rozpraszania promieniowania. Taka budowa czujnika umożliwia detekowanie cząstek dymu o rozmiarach z szerokiego zakresu $0,1 \div 10 \mu\text{m}$, co pozwala na wykrywanie dymów czarnych, białych oraz tzw. niewidocznych.

Słowa kluczowe: rozpraszanie promieniowania, optoelektroniczny czujnik dymu, detekcja wielospektralna

Symbole UKD: 541.182.2/.3.06

1. Wprowadzenie

Podstawę działania wszelkich czujników wykorzystywanych w systemach monitoringu zagrożeń pożarowych, stanowi analiza zjawisk i procesów fizykochemicznych, towarzyszących występowaniu pożarów. Najważniejszymi efektami fizycznymi są wydzielanie ciepła, powstawanie i rozprzestrzenianie się dymu oraz występowanie płomieni. Efektem chemicznym jest natomiast obecność niektórych gazów będących produktami spalania. Duża część energii wydzielanej podczas procesu spalania emitowana jest w postaci promieniowania optycznego (ok. 40%), dlatego czujniki optoelektroniczne są bardzo ważnym elementem systemów sygnalizacji pożaru. Na rysunku 1 przedstawiono charakterystyczne widmo emisji płomienia powstającego w wyniku spalania węglowodorów [1].



Rys. 1. Charakterystyka spektralna emisji płomienia powstającego w wyniku spalania węglowodorów

Optoelektroniczne czujniki systemów sygnalizacji pożarowej analizują cztery główne zakresy widmowe:

- 1) ultrafiolet (do 290 nm) — zakres umożliwiający wykrywanie sztucznych źródeł światła, w tym pożary, iskry, wybuchy;
- 2) widzialny (380-780 nm) — zakres pracy optoelektronicznych czujników dymu oraz urządzeń obserwacyjnych (kamery CCD, kamery niskiego poziomu oświetlenia, noktowizory), stosowanych w systemach telewizji dozorowej;
- 3) podczerwień IR I (0,9-3,0 μm) — analiza promieniowania ciepłego towarzyszącego procesowi spalania oraz pasma emisji cząsteczek H_2O (2,7 μm);
- 4) podczerwień IR II (3,9-4,5 μm) — analiza pasma emisji cząsteczek CO_2 (4,3 μm).

2. Charakterystyka pożarów oraz testów pożarowych

Charakterystyka efektów analizowanych przez czujniki zależy w głównej mierze od rodzaju występującego pożaru. Norma PN-EN 2:1998 wyróżnia 5 głównych grup pożarów, w zależności od rodzaju palącego się materiału.

Elementy systemów sygnalizacji pożarowej muszą spełniać wysokie wymagania stawiane przez odpowiednie normy i standardy. Istnieje pięć głównych standardów odnoszących się do optoelektronicznych czujników dymu: UL 217, UL 268, UL 268 A, FM 3230-3250 oraz EN 54-7:2000 + A1:2002. Norma EN 54 jest normą europejską posiadającą status Polskiej Normy. Badanie poprawności działania każdej czujki kontrolowane jest za pomocą testów pożarowych. Testy pożarowe symulują warunki

TABELA 1

Grupy pożarów wg normy PN-EN 2:1998

GRUPA POŻARU	RODZAJ POŻARU
A	Požary ciał stałych pochodzenia organicznego, podczas spalania których występuje zjawisko żarzenia się (np. drewno, papier, węgiel)
B	Požary cieczy palnych i ciał stałych topiących się podczas palenia (np. benzyna, nafta, rozpuszczalniki, alkohole)
C	Požary gazów (np. metan, gaz ziemny, acetylen)
D	Požary metali (np. sód, potas, magnez)
E	Požary z grup A, B, C i D występujące w obrębie urządzeń elektrycznych

oraz zjawiska występujące podczas pożarów. Istnieją cztery podstawowe testy pożarowe (TF), uściślone normą EN 54-7:2000, których charakterystykę przedstawiono w tabeli 2.

TABELA 2

Charakterystyka warunków pożarów testowych TF2-5, wg normy EN 54-7:2000

TF2	SZYBKIE TLENIE SIĘ (PIROLIZA) DREWNA
	10 belek suchego drewna bukowego (zawartość wilgoci \approx 5%), każda o wymiarach 75 mm \times 25 mm \times 20 mm ustawionych (stroną o szerokości 20 mm) na płycie grzewczej o średnicy 220 mm, o powierzchni składającej się z 8 współśrodkowych rowków o głębokości 2 mm i szerokości 5 mm, położonych w odległości 3 mm od siebie, przy czym rowek zewnętrzny powinien znajdować się w odległości 4 mm od krawędzi. Płyta grzewcza powinna mieć moc znamionową 2 kW, a temperatura płyty powinna być mierzona za pomocą czujnika przymocowanego do piątego rowka, licząc od krawędzi, z zabezpieczeniem zapewniającym dobry styk cieplny.
TF3	TLENIE — ŻARZENIE SIĘ BAWĘŁNY
	90 kawałków tkanego sznurka bawełnianego (bez żadnej powłoki ochronnej), o długości 80 cm każdy i o masie 3 g, przymocowane do pierścienia o średnicy 10 cm i zawieszony 1 m nad niepalną płytą. Dolny koniec każdego sznurka należy zapalić tak, aby się żarzyły. Ewentualne płomienie natychmiast muszą być zgaszone. Pomiar czasu badania należy rozpocząć w momencie gdy wszystkie sznurki zaczną się żarzyć.
TF4	PALENIE TWORZYWA SZTUCZNEGO (POLIURETANU)
	3 maty z miękkiej pianki poliuretanowej, o gęstości 20 kg m ⁻³ bez dodatków opóźniających zapalenie, o wymiarach 50 cm \times 50 cm \times 2 cm, ułożone jedna na drugiej na podstawie wykonanej z folii aluminiowej, o krawędziach podwiniętych do góry tak, aby utworzyć tacę. Do zapalenia powinna być użyta niewielka ilość czystego materiału łatwopalnego.
TF5	PŁOMIENIOWE SPALANIE CIECZY (n-HEPTANU)
	650 g mieszaniny n-heptanu (czystość \geq 99%) i około 3% objętościowo toluenu (czystość \geq 99%) spalana na kwadratowej stalowej tacy, o wymiarach 33 cm \times 33 cm \times 5 cm, zapalana za pomocą płomienia lub iskry.

Każdy pożar testowy powinien być usytuowany w środku komory badań pożarowych o wymiarach zgodnych z wymaganiami normy.

2. Charakterystyka rozpraszania

Optoelektroniczne czujniki dymu w swym działaniu wykorzystują efekt rozpraszania promieniowania elektromagnetycznego, zachodzącego na cząsteczkach dymu powstającego podczas pożaru. Dwa główne rodzaje rozpraszania w przypadku czujników dymu to rozpraszanie Rayleigha oraz Mie [2], do którego dochodzi w zależności od wartości tzw. parametru wielkości X [3, 4].

$$X = \frac{2\pi r}{\lambda},$$

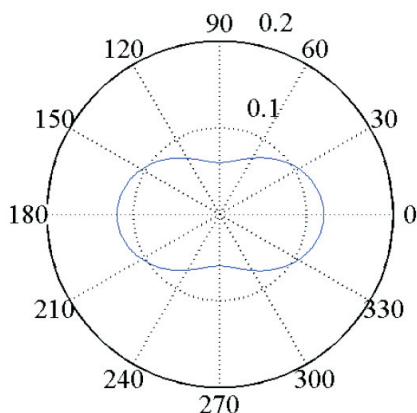
gdzie: r — promień cząstki rozpraszającej;
 λ — długość fali padającego promieniowania.

A) Rozpraszanie Rayleigha

Do efektu rozpraszania Rayleigha dochodzi, gdy promieniowanie pada na cząsteczkę o rozmiarze znacznie mniejszym od długości fali: $X \ll 1$. Natężenie promieniowania rozproszonego jest wprost proporcjonalne do szóstej potęgi promienia cząsteczki ($I \sim r^6$) oraz odwrotnie proporcjonalne do czwartej potęgi długości fali padającego promieniowania ($I \sim 1/\lambda^4$) [3, 4]. Rozkład kątowy rozproszonego promieniowania opisuje funkcja fazowa, która w tym przypadku ma postać:

$$P_{(\Theta)} = \frac{3}{4} (1 + \cos^2 \Theta),$$

gdzie Θ jest kątem rozpraszania.



Rys. 2. Kształt funkcji fazowej dla rozpraszania Rayleigha ($X = 0,1$)

Funkcja fazowa w przypadku rozpraszania Rayleigha posiada dwie osie symetrii. Istnieje pewna anizotropia funkcji, jednak odstępstwa od izotropowości są niewielkie.

B) Rozpraszanie Mie

Rozpraszanie Mie ma miejsce, gdy promieniowanie elektromagnetyczne oddziałuje z cząsteczką, dla której parametr wielkości $X \geq 1$ [2-4].

Teoria Mie opisuje metodę rozwiązywania równań Maxwella, sprowadzającą się do równania dla identycznych składowych pola elektrycznego i magnetycznego z warunkami brzegowymi na sferze. W przybliżeniu składowe pola rozproszonego, w strefie dalekiej przybierają postać:

$$\begin{bmatrix} E_l \\ E_r \end{bmatrix} = \frac{\exp(ikz - ikr)}{ikr} \cdot \begin{bmatrix} S_2(\Theta) & 0 \\ 0 & S_1(\Theta) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} E_l^0 \\ E_r^0 \end{bmatrix},$$

gdzie: E — składowe pola elektrycznego, rozproszonego na cząstce
 $(E_l$ — składowa równoległa do płaszczyzny odniesienia;
 E_r — składowa prostopadła do płaszczyzny odniesienia);
 E^0 — składowe pola elektrycznego fali padającej
 $(E_l^0$ — składowa równoległa do płaszczyzny odniesienia;
 E_r^0 — składowa prostopadła do płaszczyzny odniesienia);
 k — wektor falowy;
 r — odległość punktu od źródła promieniowania;
 z — współrzędna wzdłuż kierunku propagacji fali;
 $S_1(\Theta)$ i $S_2(\Theta)$ — funkcje amplitudowe, opisywane wzorami:

$$\begin{cases} S_1(\Theta) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2n+1}{n(n+1)} * [a_n \pi_n(\cos \Theta) + b_n \tau_n(\cos \Theta)] \\ S_2(\Theta) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2n+1}{n(n+1)} * [b_n \pi_n(\cos \Theta) + a_n \tau_n(\cos \Theta)], \end{cases}$$

gdzie: $\pi_n(\cos \Theta)$ i $\tau_n(\cos \Theta)$ — funkcje kątowe;
 a_n i b_n — zespolone współczynniki Mie.

Funkcje kątowe dane są wzorami:

$$\pi_n(\cos \Theta) = \frac{1}{\sin \Theta} P_n^1(\cos \Theta) \quad \tau_n(\cos \Theta) = \frac{d}{d\Theta} P_n^1(\cos \Theta),$$

gdzie P_n^1 jest stowarzyszonym wielomianem Legendre.

Natomiast zespolone współczynniki Mie a_n i b_n opisują wzory:

$$a_n = \frac{m\psi_n(mx)\psi_n'(x) - \psi_n(x)\psi_n'(mx)}{m\psi_n(mx)\xi_n'(x) - \xi_n(x)\psi_n'(mx)} \quad b_n = \frac{\psi_n(mx)\psi_n'(x) - m\psi_n(x)\psi_n'(mx)}{\psi_n(mx)\xi_n'(x) - m\xi_n(x)\psi_n'(mx)}$$

ψ i ξ to funkcje Ricatti-Besela, odpowiadające sferycznym funkcjom Bessela, natomiast ψ' i ξ' to pochodne funkcji ψ i ξ [2-4].

Przekrój czynny na rozpraszanie w teorii Mie wyraża się wzorem:

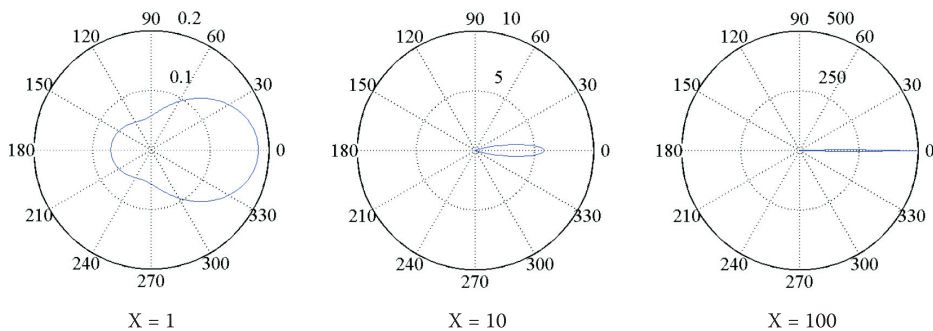
$$\sigma_s = \frac{2\pi}{k^2} \sum_{n=1}^{\infty} (2n+1)(|a_n|^2 + |b_n|^2).$$

Efektywny przekrój na rozpraszanie Mie opisywany jest charakterystycznymi oscylacjami o większej i mniejszej częstotliwości, zależnymi od zespolonego współczynnika refrakcji m :

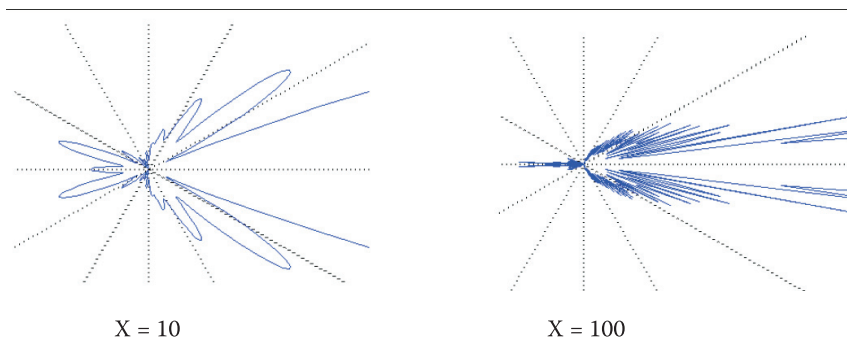
$$m = n - ik$$

gdzie: n — część rzeczywista współczynnika — opisująca oscylacje główne — określana jako stosunek prędkości światła w próżni i prędkości światła w ośrodku optycznym;
 k — część urojona współczynnika — odpowiedzialna za oscylacje o większej częstotliwości — związana ze zjawiskiem absorpcji.

Funkcja fazowa w przypadku rozpraszania Mie wykazuje silną anizotropię, przyjmując charakterystyczne, skomplikowane kształty, związane z wielkością parametru X . Na rysunkach 3 i 4 przedstawiono przykładowe wyniki obliczeń kształtu funkcji.



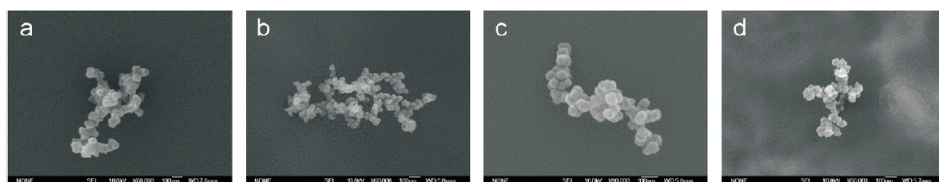
Rys. 3. Kształty funkcji fazowych dla rozpraszania Mie, obliczone dla parametru $X = 1$, $X = 10$ oraz $X = 100$



Rys. 4. Powiększenie kształtu funkcji fazowej dla rozpraszania Mie, obliczone dla parametru $X = 10$ oraz $X = 100$

3. Model rozpraszania na cząstkach niesferycznych

Teoria Rayleigha i Mie opisuje rozpraszanie promieniowania na cząstkach sferycznych. Drobne cząstki dymu („cząsteczki podstawowe”, „monomery”), powstające w czasie występowania pożarów, posiadają cechy cząstek sferycznych, jednak w miarę upływu czasu („starzenie się dymu”), w wyniku wielu procesów (głównie koagulacji), powstają cząstki o skomplikowanych, zdecydowanie niesferycznych kształtach [5-8]. Przykładowe kształty cząstek dymów przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 5. Zdjęcia SEM przykładowych cząstek dymu powstałych w czasie pożarów testowych: a) TF2; b) TF3; c) TF4; d) TF5 (wg [5])

W przypadku rozpraszania na cząstkach niesferycznych konieczne jest przyjęcie modelu, umożliwiającego dopasowanie danych eksperymentalnych do teorii. Jednym ze stosowanych w tym celu modeli jest model sferoidów [5, 8-11].

Sferoidy są figurami przestrzennymi, formowanymi poprzez rotację elipsy wokół własnej osi symetrii (mniejszej lub większej). Promień powstałych sferoidów obliczany jest ze wzoru [9]:

$$r_{(\Theta)} = a(\sin^2 \Theta + \frac{a^2}{b^2} * \cos^2 \Theta)^{-\frac{1}{2}},$$

gdzie: Θ — wyznaczony kąt obrotu osi konglomeratu;

- a — rozmiar aglomeratu w kierunku poziomym;
 b — rozmiar aglomeratu w kierunku pionowym.

Dla przedstawionych na rysunku 5 konglomeratów cząstek dymu, wyliczone zostały charakterystyczne rozmiary a i b oraz odpowiednie kąty obrotu, a następnie przeprowadzone zostały obliczenia kształtów odpowiadających im sferoidów. Obliczone parametry zamieszczone zostały w tabeli 3.

TABELA 3

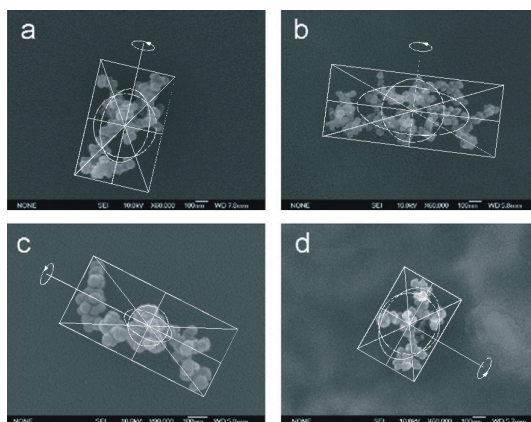
Parametry aglomeratów dymu oraz obliczonych dla nich sferoidów

	a [nm]	b [nm]	Θ [rad]	R_1 sferoidu [nm]	R_2 sferoidu [nm]
TF2	292	442	0,227	214	141
TF3	650	275	0,122	138	327
TF4	183	400	1,099	100	46
TF5	350	242	2,093	155	225

Dla tak określonych sferoidów, obliczone zostały promienie ekwiwalentne R_{eq} , tj. promienie cząstek sferycznych — kul, które efektywnie rozpraszają promieniowanie elektromagnetyczne w taki sposób, jak analizowane sferoidy. R_{eq} obliczane jest według wzoru:

$$R_{eq} = (a * b^2)^{\frac{1}{3}}.$$

Charakterystyki geometryczne obliczonych sferoidów oraz kul ekwiwalentnych przedstawia rysunek 6.



Rys. 6. Zdjęcia SEM cząstek dymu powstałych w czasie pożarów testowych z nałożonymi obliczonymi charakterystykami geometrycznymi sferoidów i kuli ekwiwalentnych: a) TF2; b) TF3; c) TF4; d) TF5

Obliczone wielkości sferoidów oraz kul ekwiwalentnych przedstawione są w tabeli 4.

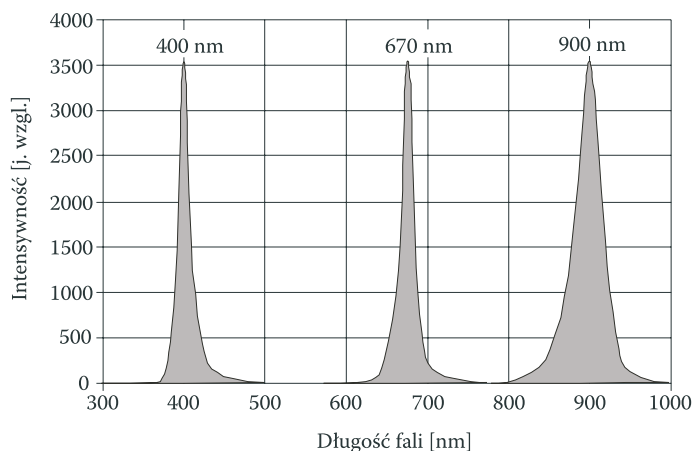
TABELA 4

Porównanie wielkości sferoidów oraz obliczone promienie ekwiwalentne

	R_1 sferoidu [nm]	R_2 sferoidu [nm]	R_{eq} [nm]
TF2	214	141	186
TF3	138	327	184
TF4	100	46	77
TF5	155	225	175

4. Charakterystyka optoelektronicznego czujnika dymu

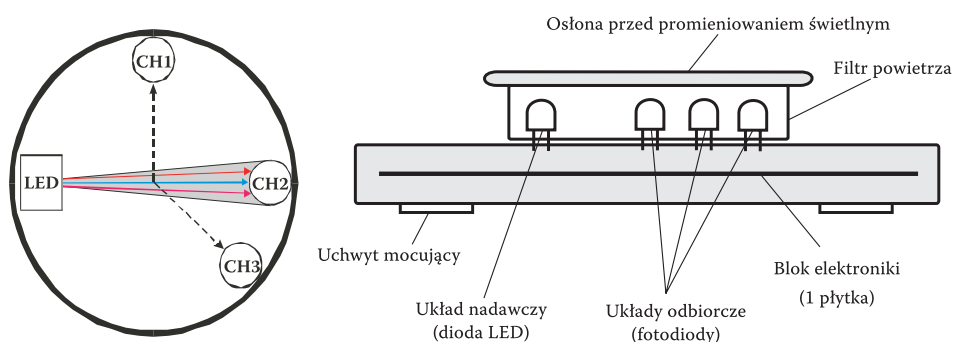
Opracowany w Wojskowej Akademii Technicznej czujnik dymu jest nowoczesnym, dziewięciokanałowym sensorem, służącym do wykrywania różnego rodzaju pożarów [12]. Trzy kanały pomiarowe to kanały emisyjne z generacją na długościach fal 400 (BLUE), 670 (RED) oraz 900 nm (IR). Źródłem promieniowania diagnostycznego jest trójkolorowa dioda LED, której widmo emisji przedstawiono na rysunku 7.



Rys. 7. Widmo emisji zastosowanej diody LED

Zastosowanie światła o długości fali 400 nm, pozwala na wykrywanie cząsteczek rozpraszających dymu o rozmiarach z zakresu 0,1-0,3 μm . Długość fali 900 nm pozwala natomiast wykrywać cząstki o rozmiarach 0,3-10 μm . Taki dobór długości fal, umożliwia reakcję czujnika zarówno na dymy białe, czarne, jak i „niewidzialne”, występujące przy spalaniu niektórych substancji organicznych (alkohole, estry itp.).

Pozostałe kanały to kanały detekcyjne. Dwa z nich tworzą kanały rozproszeniowe z fotodiodami odbiorczymi, umiejscowionymi pod kątem 90° (CH1) i 120° (CH3) względem źródła promieniowania. Trzecia fotodioda umieszczona jest pod kątem 180° (CH2) i stanowi kanał transmisyjny umożliwiając zarówno sprawdzanie mocy źródła światła, testowanie stopnia zapylenia komory pomiarowej, jak i kontrolowanie poprawności działania czujnika oraz ewentualnych uszkodzeń. Schemat budowy komory pomiarowej, na którym zaznaczone jest umiejscowienie kanałów detekcyjnych przedstawiono na rysunku 8.



Rys. 8. Schemat budowy komory pomiarowej (a) oraz konstrukcji mechanicznej czujnika (b)



Rys. 9. Zdjęcia komory dymnej (a) oraz kompletnego czujnika dymu (b) opracowanego w Wojskowej Akademii Technicznej

Czujnik przeszedł pozytywnie testy wykonane w Centrum Naukowo-Badawczym Ochrony Przeciwożarowej. Przykładowe wyniki otrzymane dla testu pożarowego TF2 zestawione zostały w tabeli 5. Uzyskane wyniki posłużyły do analizy kąтового rozkładu rozpraszania promieniowania.

Dzięki zadanemu rozmieszczeniu kanałów rozproszeniowych czujnika (CH1 i CH3), możliwa jest analiza rozmiaru cząstek rozpraszających, na podstawie różnic w rozpraszaniu pod kątem 60° i 90° . W tym celu wyliczony został parametr rozpraszania Y dla poszczególnych długości fali promieniowania padającego.

TABELA 5

Przykładowe wyniki uzyskane podczas testów pożarowych TF2

Sygnał kanału CH1 — rozproszenie pod kątem 90°	Sygnał kanału CH2 — rozproszenie pod kątem 60°	Sygnał kanału CH2 — kanał transmisyjny
BLUE — 45 mV RED — 50 mV IR — 35 mV	BLUE — 80 mV RED — 80 mV IR — 60 mV	BLUE — 20 mV

$$Y = \frac{I_{60}}{I_{90}},$$

gdzie: I_{60} — intensywność promieniowania rozproszonego pod kątem 60°;
 I_{90} — intensywność promieniowania rozproszonego pod kątem 90°.

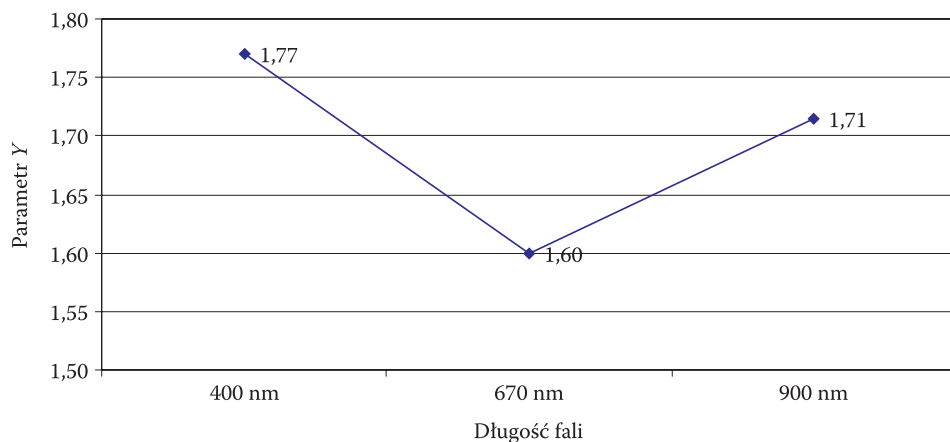
Dla przykładowego testu TF2 wartość parametru Y wyniosła:

1,77 dla długości fali 400 nm (BLUE);

1,60 dla długości fali 670 nm (RED);

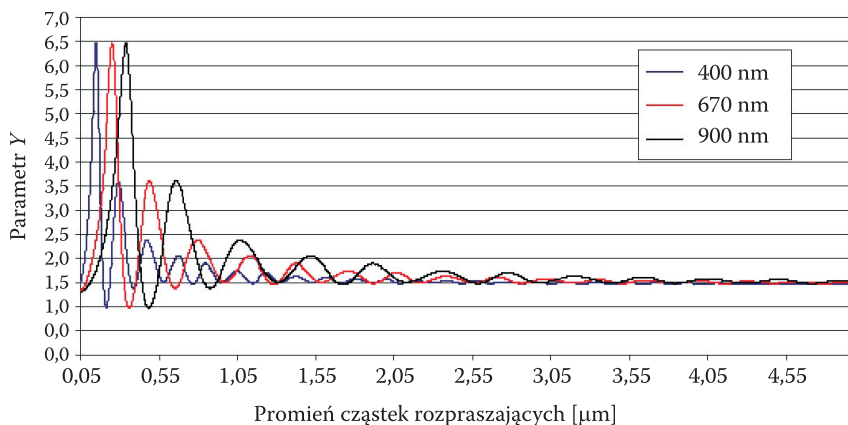
1,71 dla długości fali 900 nm (IR);

Wartości parametru Y dla danych testu pożarowego TF2, w funkcji długości fal przedstawiono na rysunku 10.

Rys. 10. Wartości parametru Y dla danych testu pożarowego TF2

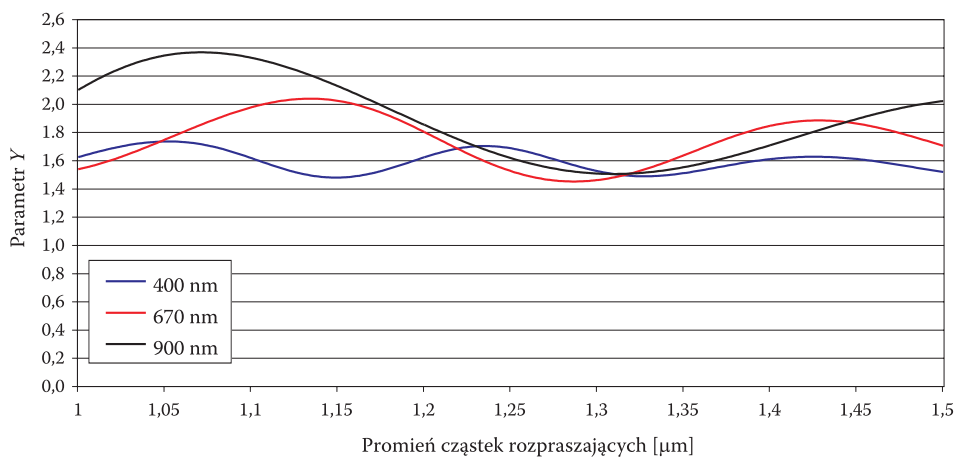
Na podstawie przeprowadzonej analizy rozpraszania wyznaczone zostały wartości stosunków intensywności promieniowania rozproszonego pod kątem 60° i 90°,

w funkcji rozmiaru promienia cząsteczek rozpraszających, dla trzech długości fal. Przyjęto współczynnik refrakcji $m = 1,57-0,56i$ (modelowy dla cząsteczek dymów) [13]. Uzyskane wyniki przedstawiono na rysunku 11.



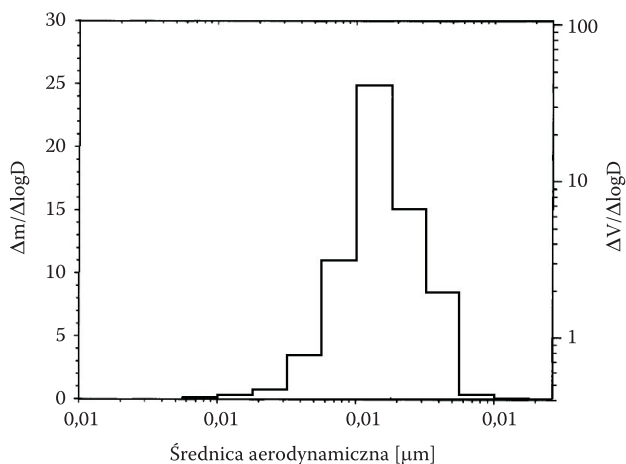
Rys. 11. Stosunek intensywności rozpraszania promieniowania pod kątem 60° i 90° dla trzech długości fal

Na rysunku 12 przedstawiono sposób dopasowania danych teoretycznych z wynikami eksperymentalnymi. Z porównania wartości parametru Y dla testu pożarowego TF2 oraz analizy teoretycznej rozpraszania wynika, że cząstki dymu w teście TF2 charakteryzują się promieniem równym ok. $1,23 \mu\text{m}$.



Rys. 12. Wartości parametru Y dla cząstek o promieniach z zakresu $1-1,5 \mu\text{m}$

Oszacowana wielkość cząstek rozpraszających jest zgodna z wynikami literaturowymi, dotyczącymi promieni cząstek dymu dla testu pożarowego TF2 [2, 14], których rozkład ilościowy przedstawiony jest na rysunku 13.



Rys. 13. Rozkład wielkości cząstek dymu dla testu pożarowego TF2 (wg [14])

5. Podsumowanie

Przeprowadzona analiza rozpraszania promieniowania elektromagnetycznego na cząstkach dymu powstającego w czasie różnych pożarów testowych pozwala na opracowanie metod obróbki sygnałów w układach pomiarowych wielospektralnych czujników pożarowych.

Opracowany w Wojskowej Akademii Technicznej czujnik dymu jest nowoczesnym sensorem, opartym w swym działaniu na rozpraszaniu promieniowania elektromagnetycznego na cząstkach dymu, powstających w czasie pożaru. Dzięki zastosowanym trzem długościom fal możliwa jest reakcja czujnika na cząstki dymu o rozmiarach z szerokiego zakresu $0,1 \div 10 \mu\text{m}$, co pozwala na wykrywanie dymów czarnych, białych oraz tzw. niewidocznych. Zastosowanie trzech kanałów odbiorczych, umieszczonych pod różnymi kątami względem padającego promieniowania, umożliwia analizę wielkości cząstek rozpraszających w zależności od różnic w rozpraszaniu pod kątem 60° i 90° .

Przeprowadzone analizy rozpraszania promieniowania cząstek dymu dla testu pożarowego TF2, przeprowadzonego w Centrum Naukowo-Badawczym Ochrony Przeciwpożarowej, pozwoliły na oszacowanie wielkości średniego promienia cząstek rozpraszających. Wartość ta wynosi około $1,23 \mu\text{m}$, co jest zgodne z wartościami podawanymi przez innych autorów.

LITERATURA

- [1] *A Guide to Selecting the Right Flame Detector*, katalog firmowy SCOTT/BACHARACH, Gas Detection Products, (źródło: <http://www.spedtrex-inc.com>).
- [2] D. W. WEINERT, T. G. CLEARY, G. W. MULHOLLAND, P. F. BEEVER, *Light Scattering Characteristics and Size Distribution of Smoke and Nuisance Aerosols*, Fire Safety Science-Proceedings of Seventh International Symposium, 2003, 209-220.
- [3] H. C. VAN DE HULST, *Light Scattering by Small Particles*, Wiley, New York, 1957.
- [4] D. W. HAHN, *Light Scattering Theory*, Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Florida, 2006.
- [5] Q. XIE, H. ZHANG, Y. WAN, Y. ZHANG, L. QIAO, *Characteristic of Light Scattering by Smoke Particles Based on Spheroid Models*, Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer, vol. 107, 2007, 72-82.
- [6] P. GWAZE, O. SCHMID, H. J. ANNEGARN, M. O. ABDREAE, J. HUTH, G. HEALS, *Comparison of Three Methods of Fractal Analyses Applied to Soot Aggregates from Wood Combustion*, Aerosol Science, vol. 37, 2006, 820-838.
- [7] P. J. DI NENNO, *Smoke Production and Properties*, Handbook of Fire Protection Engineering, National Fire Protection Association, 2nd Edition, Chapter 15, Section 2, 1990.
- [8] V. V. BERDNIK, V. A. LOIKO, *Sizing of Spheroidal and Cylindrical Particles in a Binary Mixture by Measurement of Scattered Light Intensity: Application of Neutral Work*, Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer, vol. 91, 2005, 1-10.
- [9] M. I. MISHCHENKO, L. D. TRAVIS, *Capabilities and Limitations of a Current Fortran Implementation of the T-Matrix Method for Randomly Oriented, Rotationally Symmetric Scatterers*, Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer, vol. 60, no. 3, 1998, 309-324.
- [10] T. W. CHEN, L. M. YANG, *Simple Formula for Small-Angle Light Scattering by a Spheroid*, Optics Communications, vol. 123, 1996, 437-442.
- [11] B. LU, W. ZHEN-SEN, *Light Scattering Property of Fractal Soot Particles*, School of Science, Xidian University, China, 2003.
- [12] Z. MIERCZYK, M. MAZIEJUK, *Wielokanałowy, optoelektroniczny czujnik dymu*, Elektronika, vol. 9, 2006, 59-62.
- [13] K. C. SMYTH, C. R. SHADDIX, *The Elusive History of $m = 1,57-0,56i$ for the Refractive Index of Soot*, Combustion and Flame, vol. 107, 1996, 314-320.
- [14] D. W. WEINERT, T. G. CLEARY, G. W. MULHOLLAND, P. F. BEEVER, *Size Distribution and Light Scattering Properties of Test Smokes*, Proceedings of the 12th International Conference on Automatic Fire Detection, 2001.

M. SZOPA, Z. MIERCZYK

**Investigations of scattering characteristics of aerosols
using optoelectronic smoke detector**

Abstract. The article presents theoretical analyses of aerosols scattering profile of optoelectronic multichannel smoke detector. Application of tree wavelengths and tree detectors, which were placed at various angles to direction of incident radiation, enables us nine-channel analyses of light scattering. Due to this construction of a sensor, the detection of smoke particles of the sizes from wide range of 0.1-10 μm is possible (detection of black smoke, white smoke and invisible one).

Keywords: scattering of radiation, optoelectronic smoke detector, multispectral detection

Universal Decimal Classification: 541.182.2/.3.06