

Tadeusz PAWLUK*
Włodzimierz PAPROTNY*
Grzegorz CZACHOR*

OCENA UZIARNIENIA PYŁÓW NA PODSTAWIE ICH OBRAZÓW DYFRAKCYJNYCH - KOMUNIKAT

Ustalenie składu ziarnowego stanowi jedno z trudniejszych zagadnień miernictwa pyłów. Miara trudności, jakie występują przy określaniu składu ziarnowego jest fakt, iż w chwili obecnej istnieje kilkadziesiąt metod i przyrządów do jego pomiaru. Wraz z rozwojem produkcji źródeł światła koherentnego oraz techniki mikrokomputerowej zaistniały możliwości zastosowania wyników oddziaływania światła laserowego z cząstkami pyłów do badań rozkładu ich wielkości. W pracy podano zarys metody pomiarowej oraz opis przyrządu do pomiaru składu ziarnowego, wykorzystującego zjawisko dyfrakcji Fraunhofera światła laserowego na cząstkach pyłu.

1. Metoda pomiaru

Jest rzeczą oczywistą, że efekty dyfrakcyjne, zachodzące na badanych cząstkach, decydują o ściśle określonym rozkładzie energii światła ugiętego, z którego wnioskujemy o rozmiarach obiektów ugięciowych (cząstek pyłu). Jeśli obraz dyfrakcyjny powstaje w równoległej wiązce światła i obserwujemy go w płaszczyźnie widma Fouriera obiektywu o ogniskowej f_{ob} (w płaszczyźnie ogniskowej), to rozkład natężenia światła, $I(r)$ dla N cząstek kulistych o średnicy D , zgodnie z teorią dyfrakcji Fraunhofera, może być w pierwszym przybliżeniu opisany funkcją:

$$I(r) = N I_0 \left[\frac{2 J_1(R)}{R} \right]^2, \quad (1)$$

gdzie J_1 jest funkcja Bessela pierwszego rzędu argumentu $R = \pi D r / \lambda f_{ob}$, gdzie λ jest długością fali światła laserowego, r - odległością od środka obrazu dyfrakcyjnego, a I_0 - natężeniem światła padającego. Funkcja ta przyjmuje maksimum dla $r=0$ oraz posiada szereg miejsc zerowych, z których pierwsze jest dla $r = 3,83 \lambda f_{ob} / \pi D$.

* Instytut Mineralnych Materiałów Budowlanych w Opolu

W przypadku pyłów polidispersyjnych, każda grupa cząstek o określonej średnicy wytwarza swój własny obraz dyfrakcyjny. Obrazy pochodzące od poszczególnych grup nakładają się na siebie, wskutek czego wypadkowy obraz nie składa się z wyraźnych minimumów i maksimumów, jak to ma miejsce w przypadku pyłów monodispersyjnych, lecz ma postać rozmytej plamy, w której natężenie światła opisuje całka po wszystkich grupach cząstek z funkcji (1). Należy dodać, że obraz ten zależy również od własności optycznych ośrodka, w którym zachodzi dyfrakcja, oraz od własności optycznych samego pyłu.

2. Opis przyrządu

Rys.1. przedstawia schemat przyrządu do wyznaczania składu ziarnowego pyłów, realizującego opisaną wyżej metodę pomiarową. Zastosowano

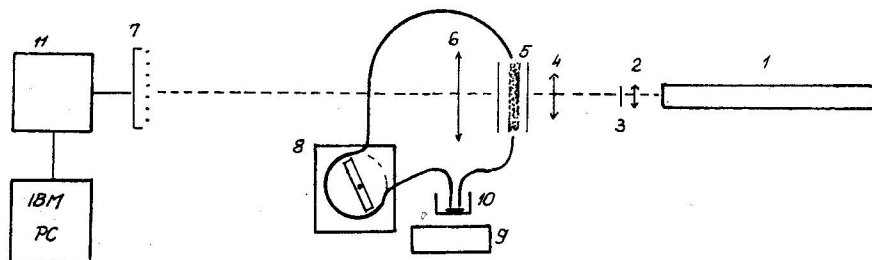


Fig.1. Scheme of the device for particle size distribution measurements

Rys.1. Schemat przyrządu do pomiaru składu ziarnowego

następujące oznaczenia: 1- laser He-Ne z zasilaczem, 2- obiektyw mikroskopowy, 3- filtr przestrzenny, 4- obiektyw lunety, 5- kuweta z zawiesiną pyłową, 6- obiektyw zbiorczy, 7- zespół detektorów światła, 8- pompka perystaltyczna, 9- mieszadło magnetyczne, 10- zlewka z zawiesiną, 11- interfejs szeregowy. Przyrząd ten został opracowany w Instytucie Mineralnych Materiałów Budowlanych w Opolu i jest produkowany pod nazwą Laserowy Analizator Uziarnienia. Pomiar polega na przepuszczeniu próbki badanego pyłu prostopadle do wiązki światła laserowego i pomiarze rozkładu natężenia światła w widmie dyfrakcyjnym. Skład ziarnowy wyliczany jest w sposób automatyczny przez komputer, a wynik obliczeń wyprowadzany na ekran monitora i na drukarkę. Na rys.2. przedstawiono przykładowe wyniki pomiaru rozkładu natężenia światła, uzyskane dla dwóch próbek o różnym składzie ziarnowym, a na rys.3. składy ziarnowe dla tych próbek.

3. Cechowanie przyrządu

Wyznaczanie składu ziarnowego przy pomocy opisanego przyrządu odbywa się na zasadzie porównania widma dyfrakcyjnego nieznannej próbki z widmami

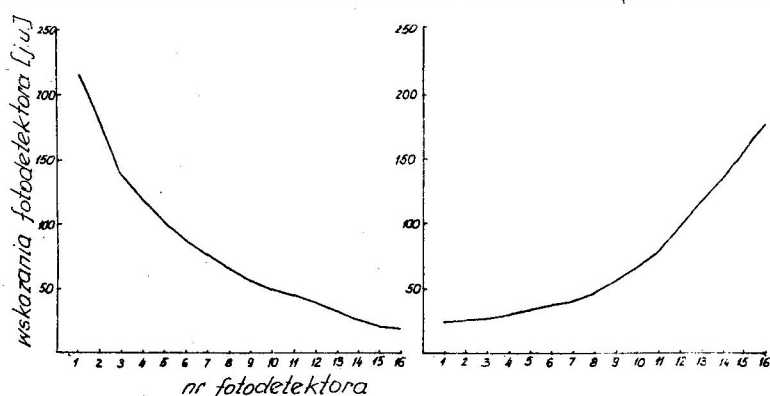


Fig.2. Photodetector graphs for two different samples of dust
Rys.2. Wykresy wskazań fotodetektorów dla dwóch różnych próbek pyłu

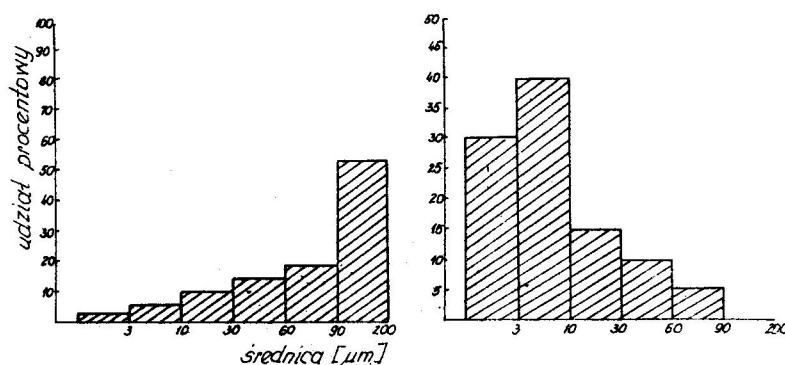


Fig.3. Particle size distributions for samples from Fig.2.
Rys.3. Składy ziarnowe próbek z rys.2.

próbek wzorcowych. Ma to na celu między innymi uniknięcie konieczności posiadania informacji o własnościach optycznych cieczy dyspergującej i badanego materiału. Procedura cechowania polega na pomiarze widm dyfrakcyjnych, wytwarzanych przez szereg próbek o znanym składzie ziarnowym (wzorców), tworzących zawiesinę w cieczy dyspergującej. Zastosowano równanie regresji postaci:

$$K_i = a_0 + \sum_{j=1}^n a_j I_j + \sum_{j=1}^n \sum_{k=j}^n a_{jk} I_j I_k, \quad (2)$$

gdzie K_i jest udziałem procentowym i -tej frakcji, a_0, a_j, a_{jk} - współczynnikami regresji, a I_j, I_k - mierzonymi natężeniami światła.

Po wycechowaniu przyrządu, nieznane próbki powinny być mierzone w tej samej cieczy. Wpływ cieczy dyspergującej na natężenie światła w obrazie dyfrakcyjnym obrazuje rys.4., na którym przedstawiono wyniki pomiaru natężenia światła dla tego samego materiału w dwóch różnych cieczach dyspergujących: alkoholu izopropylowym i wodzie.

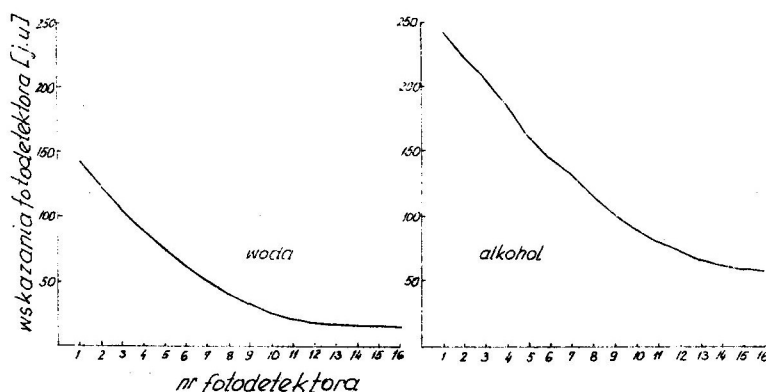


Fig. 4. Photodetector graphs for one sample dispersed in two different liquids

Rys.4. Wykresy wskazań fotodetektorów dla tej samej próbki w dwóch różnych cieczach dyspergujących

4. Zastosowanie przyrządu

Wykorzystanie dyfrakcji Fraunhofera do konstrukcji laserowego analizatora uziarnienia pozwoliło opracować przyrząd o korzystnych cechach metrologicznych. Podstawową zaletą jest krótki czas pomiaru (ok. 2min) przy zakresie pomiarowym do $200\mu\text{m}$, z podziałem na 6 frakcji, z możliwością tworzenia podzakresów (np.: do $40\mu\text{m}$, $60\mu\text{m}$, $90\mu\text{m}$). Przy tak krótkim czasie pomiaru możliwy staje się pomiar kilkudziesięciu próbek dziennie. Autorzy pracy badali uziarnienie szeregu materiałów występujących w przemyśle materiałów mineralnych, budowlanych, górnictwie, energetyce i chemii.

Badania zrealizowano w ramach projektu badawczego Nr 7 7153 91 02, finansowanego w roku 1992 przez Komitet Badań Naukowych.

Pawluk T., Paprotny Wł., Czachor G., 1992. Estimation of the Particle Size Distribution of Dust Using its Diffraction Patterns. Physicochemical Problems of Mineral Processing, 26, 65-68 (polish text)

Physical principle of the particle size distribution measurements using laser light diffraction effect is presented. Short description of the block diagram of the device basing on the aforesaid effect, its main technical parameters, measuring technique, calibration and possibility of industrial applications are given.