

PORÓWNANIE OPTYCZNO-ELEKTRONICZNYCH METOD POMIARU GRANULACJI

Stanisław Kamiński, Dorota Kamińska
KAMIKA Instruments

STRESZCZENIE

W niniejszej pracy opisano urządzenie laboratoryjne pod nazwą Infrared Particle Sizer, dalej zwane IPS, które może być stosowane do szybkich pomiarów granulacji w czasie procesu produkcyjnego. Metodę pomiaru wykorzystywaną w analizatorze IPS porównano z innymi metodami optyczno-elektronicznymi.

Przytoczone przykłady zastosowań prowadzą do wniosku, że urządzenie IPS ma dobre parametry techniczne i pozwala na rzeczywisty pomiar wielkości cząstek w szerokim zakresie ich wymiarów. Dotyczy to cząstek materiałów nieorganicznych i organicznych.

1. Wstęp

Wiele procesów technologicznych, w których produkt końcowy lub jego postać przejściowa występuje w postaci granulatu, proszków, ziaren itp. wymaga do otrzymania dobrej końcowej jakości produktu, kontroli uziarnienia. Najczęściej sprowadza się to do wykonania serii analiz i sporządzenia rozkładów ilościowo-wymiarowych. W niektórych przypadkach wystarczająca jest tylko analiza po procesie. Jednak dość często technolog chce ingerować w proces na bieżąco, to jest analizować uziarnienie w trybie „on line” z jednoczesnym oddziaływaniem regulacyjnym w przypadku wystąpienia nieprawidłowości. Takie pomiary wykonuje się w powietrzu lub w cieczy. Wykorzystanie cieczy jako nośnika ogranicza zastosowanie pomiarów do tych substancji, dla których wpływ cieczy pozostaje obojętny. W większości przypadków substancje występują w postaci „suchej” i pomiar ich w ośrodku powietrznym jest procesem naturalnym. Dlatego też te techniki pomiarowe, w których stosuje się ośrodek powietrzny w przestrzeni pomiarowej czujnika pomiarowego są predysponowane do zastosowań bezpośrednich typu „on line”. Są to coraz częściej techniki należące do metod optyczno-elektronicznych.

W niniejszej pracy opisano urządzenie laboratoryjne pod nazwą Infrared Particle Sizer, dalej zwane IPS, które może być stosowane do szybkich pomiarów granulacji w czasie procesu produkcyjnego. Metodę pomiaru wykorzystywaną w analizatorze IPS porównano z innymi metodami optyczno-elektronicznymi.

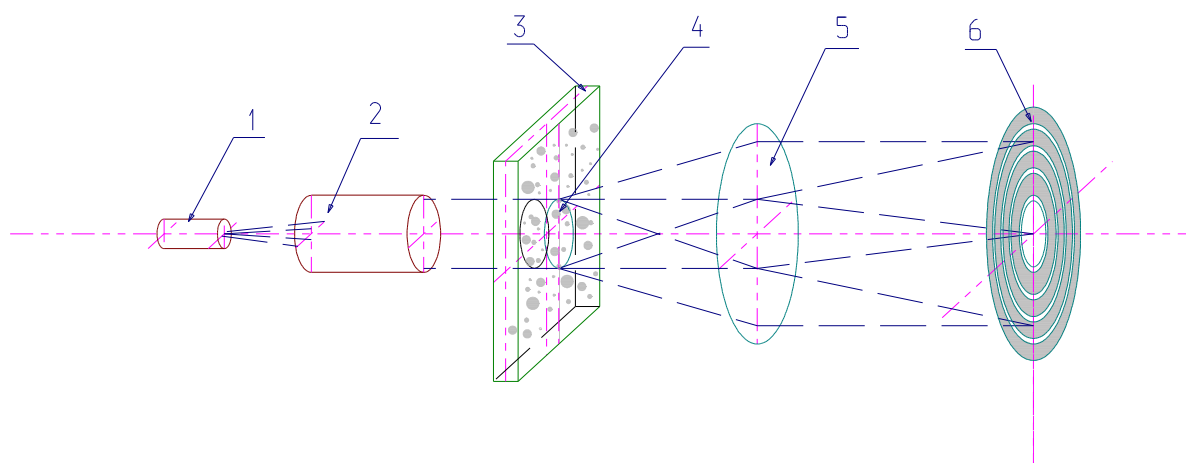
2. Zasady działania przyrządów optyczno-elektronicznych do pomiaru granulacji.

Optyczne metody pomiaru wielkości cząstek stałych można podzielić na metody, w których wykorzystuje się:

1. dyfrakcję Fraunhofera [1];

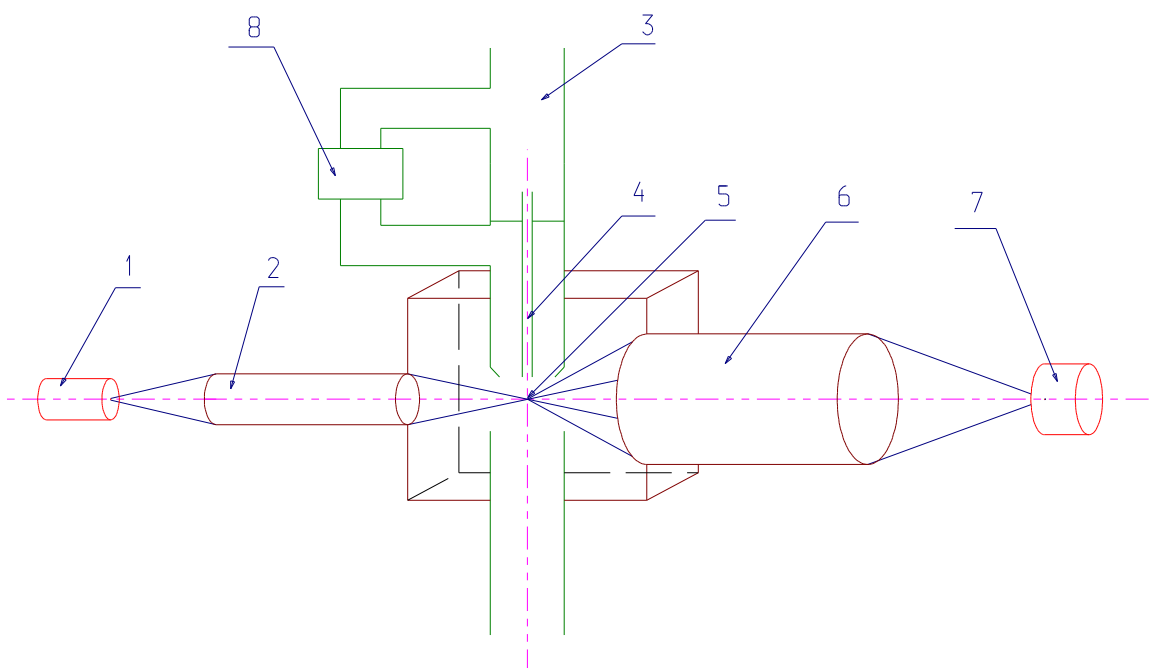
2. pomiar w ognisku optycznym [2];
3. pomiar w równoległej wiązce promieniowania w świetle przechodzącym [3];

- Ad. 1. Zasada pomiaru, w której wykorzystuje się dyfrakcję Fraunhofera (Rys. 1) polega na wykorzystywaniu załamania promieniowania laserowego na cząstkach i rejestracji kąta odchylenia tego promieniowania na ekranie wyposażonym w detektory. Natężenie oświetlenia dla poszczególnych kątów odchylenia świadczy o rozkładzie wielkości cząstek. Jest to dosyć prymitywna, analogowa metoda pomiaru, o małym zakresie dynamiki pomiaru.
- Ad. 2. Zasada pomiaru w ognisku optycznym (Rys. 2) polega na pomiarze rozproszenia światła lub pomiarze natężenia światła odbitego przez cząstki przechodzące przez miejsce gdzie znajdują się ogniska układów optycznych: oświetlającego i odbierającego promieniowanie. W tym wypadku pomiar odbywa się na małej powierzchni przestrzeni pomiarowej, z powodu określonych wymiarów ogniska optycznego. Całkowity wynik, odnoszący się do całego przekroju strumienia masy, jest mnożony od 200 do 500 razy, co może powodować duże błędy
- Ad. 3. Zasada pomiaru w równoległej wiązce promieniowania (Rys. 3) polega na utworzeniu dużych płaszczyzn pomiarowych o jednakowej czułości w każdym ich punkcie, ograniczonych tylko rozstawieniem i średnicą układów optycznych. Cząstka przechodząca przez płaszczyznę pomiarową wywołuje rozproszenie strumienia promieniowania proporcjonalne do wymiaru cząstki. Metoda pomiaru w równoległej wiązce promieniowania nie ma wad poprzednich metod i wykorzystywana jest w analizatorze IPS.



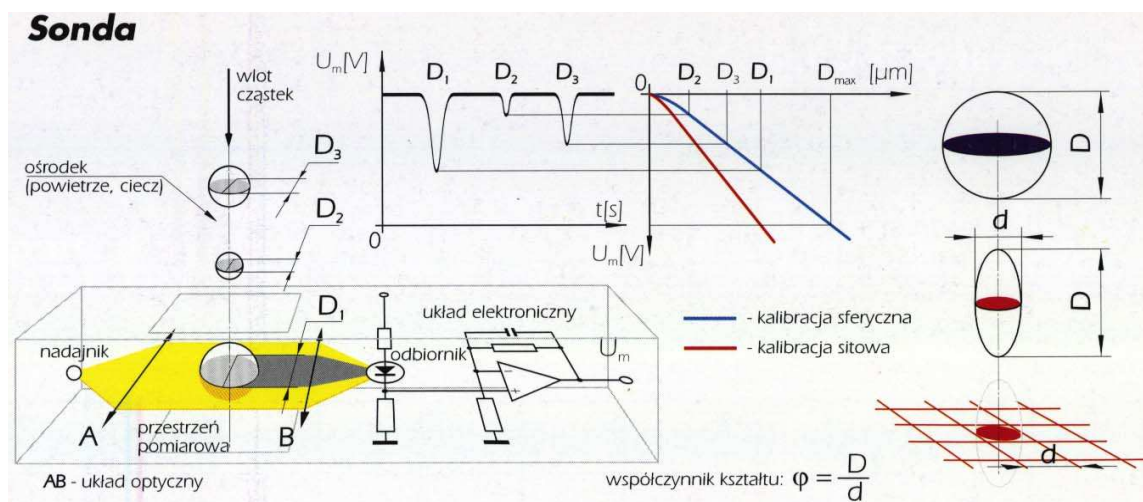
- 1 – dioda laserowa
- 2 – układ optyczny
- 3 – celka pomiarowa
- 4 – strefa pomiaru
- 5 – soczewka Fraunhofera
- 6 – zespół detektorów

Rysunek 1. Zasada pomiaru, w której wykorzystuje się dyfrakcję Fraunhofera



- 1 – dioda laserowa
- 2 – układ optyczny
- 3 – całkowity przepływ strumienia masy
- 4 – mierzony przepływ strumienia masy
- 5 – ognisko układów optycznych
- 6 – układ optyczny
- 7 – fotoelement
- 8 – filtr

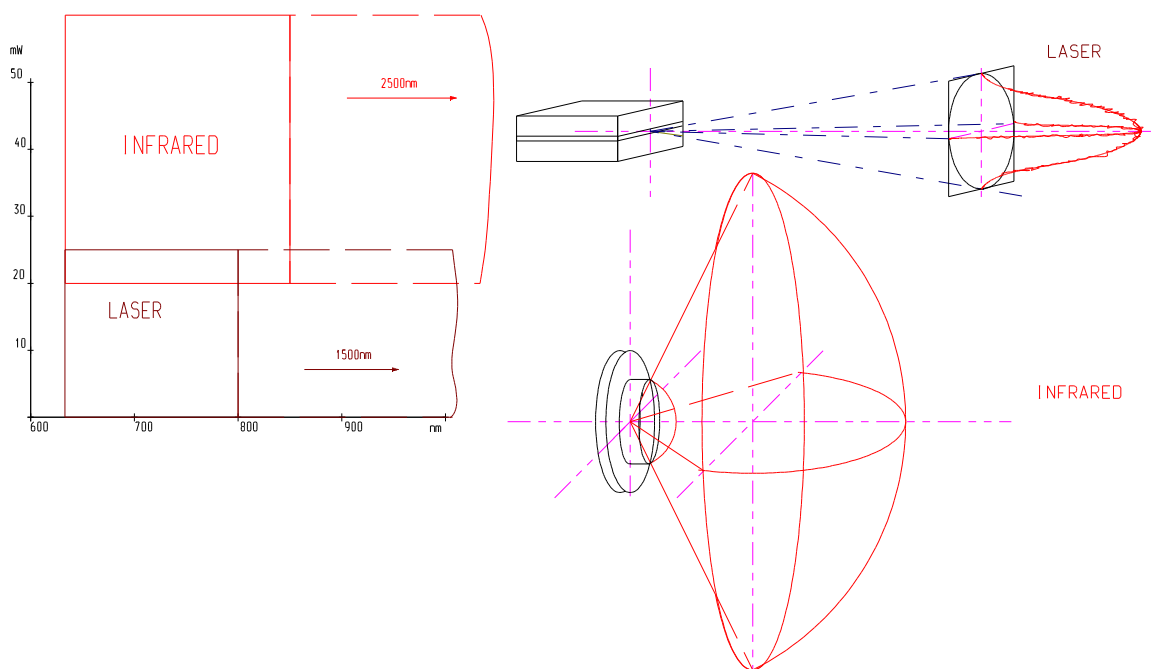
Rysunek 2. Zasada pomiaru w ognisku układu optycznego.



Rysunek 3. Zasada pomiaru w równoległej wiązce promieniowania podczerwonego

3. Wybór promienników

Z przeglądu dokonanego w poprzednim punkcie wynika, że ważnym elementem urządzeń do pomiaru granulacji materiałów jest źródło światła. Obecnie istnieje wiele różnych diod laserowych wytwarzających koherentny i skoncentrowany strumień promieniowania, ale nie wszystkie źródła promieniowania laserowego nadają się do zastosowania w optyce geometrycznej. Jest trudno uzyskać laserowy strumień promieniowania o jednakowym natężeniu w każdym jego punkcie. Diody laserowe o jednakowym natężeniu promieniowania są trudne do wykonania. Powyższych wad udało się uniknąć przy zastosowaniu diod emitujących promieniowanie podczerwone. Ze względu na hemisferyczny kształt warstwy promieniującej można uzyskać prawie jednorodny strumień promieniowania podczerwonego o dużym natężeniu. Porównując właściwości promieniowania (Rys. 4) emitowanego przez diody laserowe i podczerwone przeznaczonego do optyki geometrycznej można stwierdzić, że diody na bliską podczerwień mają podobną długość promieniowania ale prawie dwukrotnie większą moc optyczną niż diody laserowej korzystny przestrzennie rozkład promieniowania.



Rysunek 4. Porównanie właściwości promieniowania diod laserowych i podczerwonych

4. Konstrukcja przyrządów.

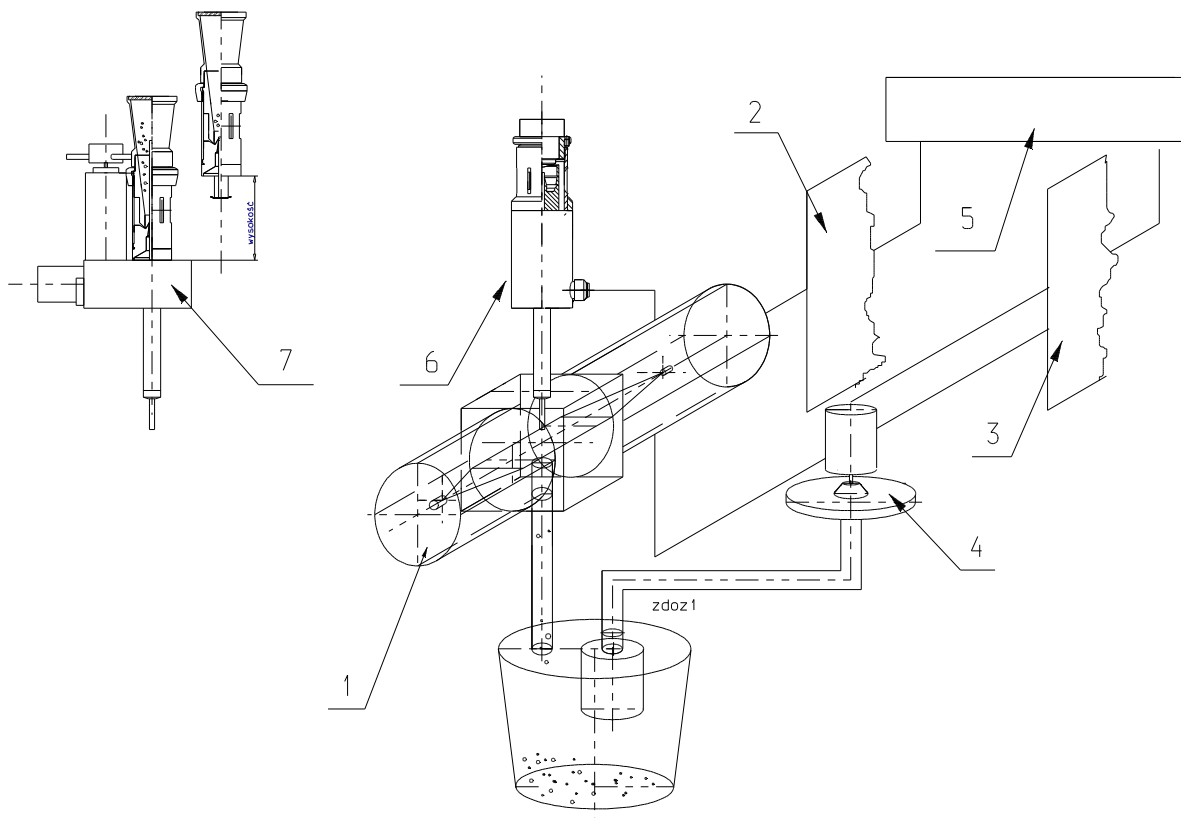
W przyrządzie, w którym wykorzystuje się dyfrakcję Fraunhofera, według zasady przedstawionej na Rys. 1., celka pomiarowa o grubości kilku milimetrów jest prześwietlana w swojej centralnej części promieniowaniem laserowym o średnicy kilku mm, które pada na oddalony ekran. Im większa jest odległość próbki od ekranu, tym większa jest dokładność pomiaru. Powoduje to wzrost gabarytów przyrządu. Cząstki o bardzo małym stężeniu w celce pomiarowej najczęściej zawieszane są w cieczy. Przy bardzo zróżnicowanym zbiorze cząstek, pojedyncze duże cząstki są pomijane w wynikowym rozkładzie wielkości cząstek. Przez to wyniki pomiarów są na ogół zaniżane.

W przyrządzie, w którym pomiar wykonuje się w ognisku optycznym (metoda przedstawiona na Rys. 2.), przestrzeń pomiarowa jest rzędu 1 mm^2 . Wymaga to bardzo precyzyjnego prowadzenia cząstek podczas pomiaru, ponieważ wyjście cząstki poza obszar ogniska powoduje błąd pomiaru. Dla zachowania czystości optyki, stosuje się równoległy przepływ „czystego” powietrza.

Przyrząd, w którym pomiar wykonuje się w równoległej wiązce promieniowania podczerwonego (Rys. 5) może mieć przestrzeń pomiarową o powierzchni od kilkunastu do kilku tysięcy mm^2 , w której można mierzyć cząstki od $0,5 \text{ }\mu\text{m}$. do 20 mm lub większe.

Podział konstrukcji przyrządów zależy tylko od sposobu dozowania. Dla małych cząstek do 2 mm stosuje się dozowanie aerodynamiczne za pomocą przepływu powietrza wymuszonego przez sprężarkę, powyżej 2 mm do 20 mm do dozowania wykorzystuje się rynny i siłę grawitacji. Istnieją wersje przyrządów do pomiaru cząstek stałych lub pęcherzy powietrza w cieczach. Ze względu na moc promieniowania podczerwonego i zastosowaną konstrukcję, zapotrzebowanie na moc elektryczną nie przekracza 30 W. Masa przyrządu, w którym pomiar zachodzi w równoległej wiązce promieniowania jest wielokrotnie mniejszy niż przyrządu, w

którym wykorzystuje się dyfrakcję Fraunhofera. Pomiar cząstek w przyrządzie z równoległą wiązką odbywa się przez pomiar pojedynczych cząstek. Przy precyzyjnym dozowaniu, które jest zintegrowane z pomiarem nie zachodzi koincydencja, która występuje przy dyfrakcji Fraunhofera ani błędy krawędziowe od ograniczonej powierzchni pomiarowej, jak występujące przy pomiarze w ognisku optycznym.

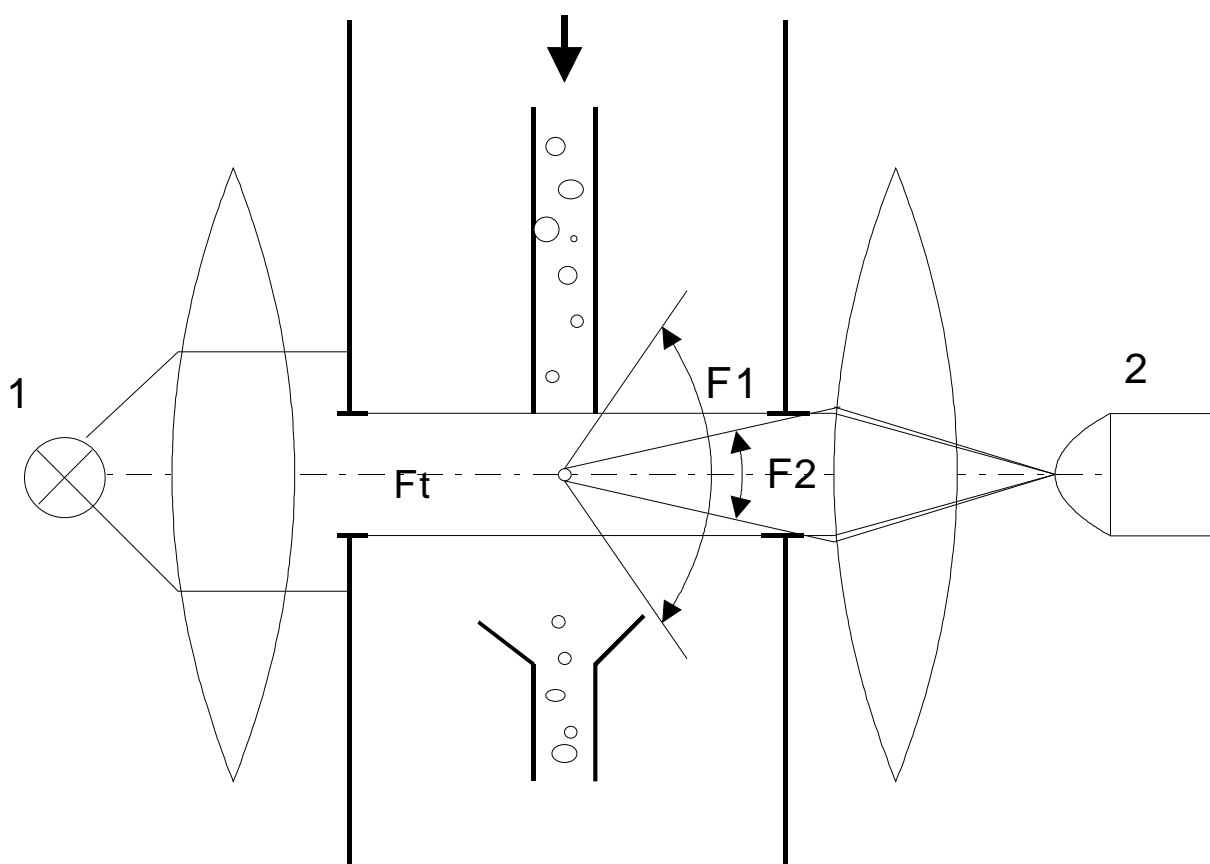


- 1 – czujnik pomiarowy
- 2 – karta pomiarowa
- 3 – karta sterująca
- 4 – sprężarka
- 5 – komputer
- 6 – dozownik ultradźwiękowy
- 7 – dozownik automatyczny

Rysunek 5. Konstrukcja przyrządów z pomiarem w równoległej wiązce promieniowania podczerwonego.

5. Zasada działania sondy IPS

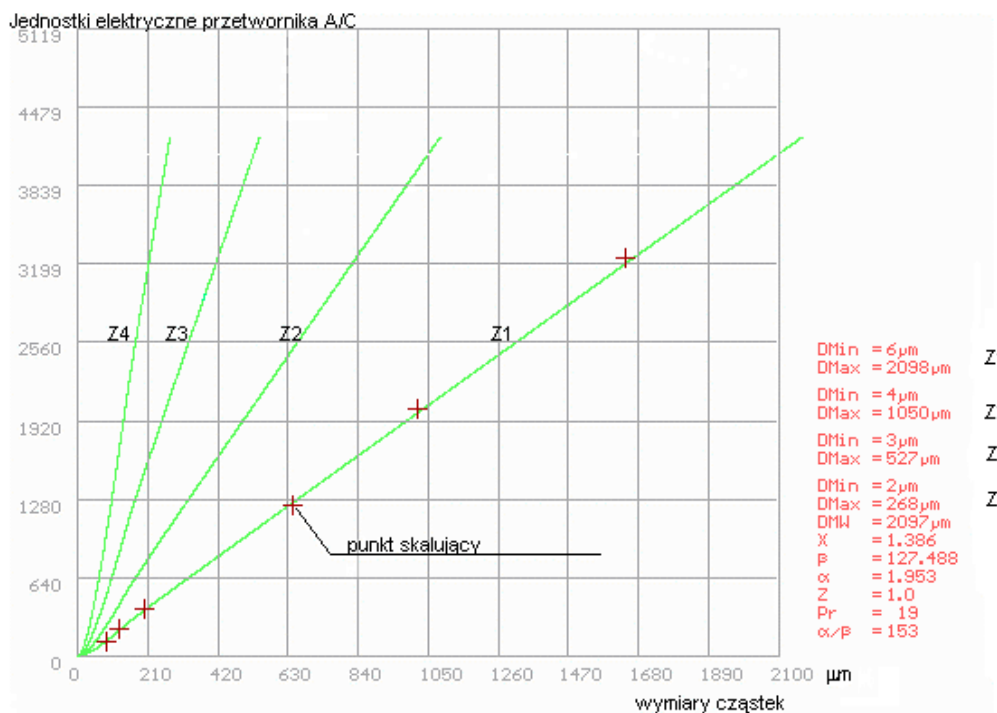
System pomiarowy IPS, przedstawiony na Rys. 6., funkcjonuje w oparciu o sondę, która zbudowana jest ze źródła energii świetlnej – fotodiody emitującej światło w zakresie bliskiej podczerwieni (1), układu soczewek i przesłon wyznaczających przestrzeń pomiarową oraz detektora fotodiodowego (2) z zespołem elektronicznym wstępnego przetwarzania sygnału. Przestrzeń pomiarowa ukształtowana jest przez zespół optyczny w taki sposób, że jej powierzchnia jest znaczna w stosunku do zakresu „średnic” mierzonych cząstek. Takie ukształtowanie oraz równomierna czułość w obszarze całej przestrzeni zapewnia całkowitą eliminację błędów krawędziowych i jednakowe wykrywanie każdej cząstki.



Rysunek 6. Schemat systemu pomiarowego IPS.

Całkowity strumień świetlny F_c , padający na detektor fotodiodowy, osłabiony przez cząstkę która znalazła się w obrębie przestrzeni pomiarowej wyraża się sumą: $F_c = (F_t - F_1) + F_2$ gdzie F_2 - część strumienia światła rozproszonego zawartego w F_1 przyjmowana przez detektor fotodiodowy; F_1 - strumień światła rozproszonego padającego na otoczenie przestrzeni pomiarowej (nie dochodząca do detektora fotodiodowego); F_t - strumień świetlny tła padającego na detektor fotodiodowy;

Ostatecznie wartość strumienia świetlnego dF , przypadającego na pojedynczą cząstkę, wyznaczającego użyteczny sygnał pomiarowy wyrazi się jako różnica $dF=F1-F2$. Znane jest równanie opisujące zależność pomiędzy średnicą cząstki a amplitudą impulsu elektrycznego przedstawionego na Rys. 3. Dokładne rozwiązanie tego równania przedstawione jest na Rys. 3, jako charakterystyka wymiarów cząstki D w funkcji amplitudy impulsu $D=f(U_m)$ wyznaczonych w jednostkach napięcia (woltach). Uwzględniając charakterystykę przetworzenia strumienia świetlnego na sygnał elektryczny w zespole elektronicznym uzyskuje się charakterystykę pomiarową w jednostkach fizycznych (mikrometrach), o nieliniowości w obszarze małych średnic analizowanych cząstek. W celu polepszenia rozdzielczości wymiarów fizycznych dla małych cząstek wyznacza się charakterystyki dla czterech podzakresów, jak na Rys. 7.



Rysunek 7. Charakterystyka pomiarowa IPS

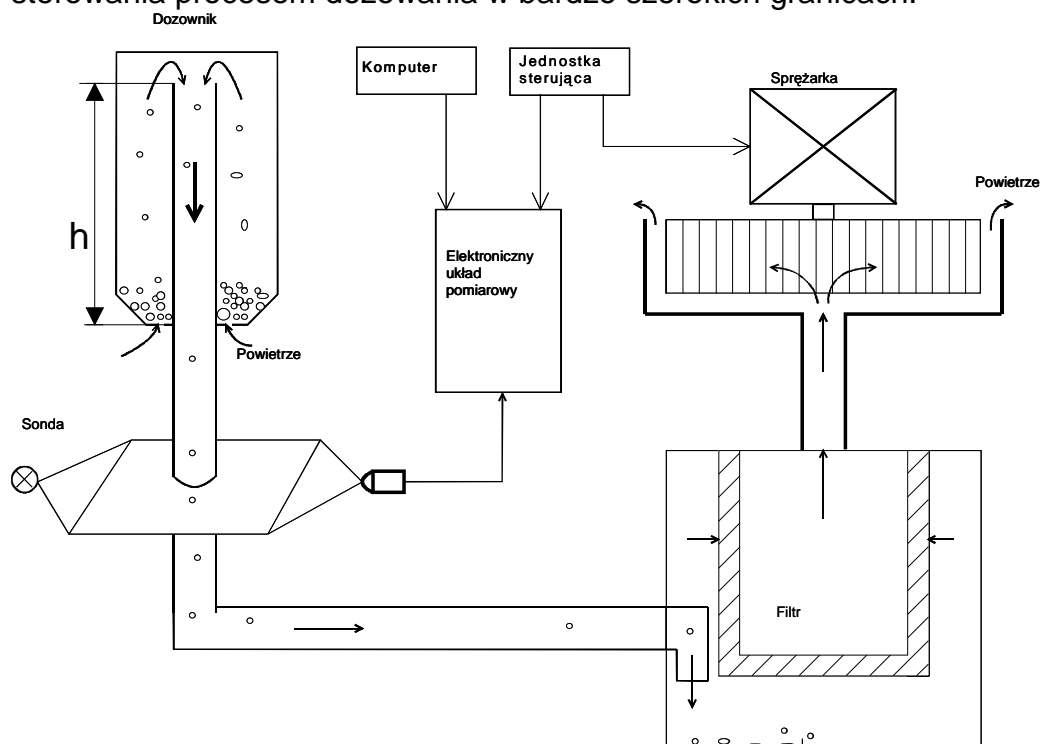
6. Dozowanie cząstek w aparaturze IPS.

Analiza cząstek ciał stałych o średnicach poniżej 50 μm nastrocza dużo problemów w sposobie ich dozowania. Dozowanie cząstek, zwłaszcza w ośrodku powietrznym jest wypadkową wielu czynników składających się na sam proces dozowania jak i właściwości fizyko-chemicznych dozowanego materiału. Rozwiązanie przyjęte w systemie IPS zakłada ciągłą kontrolę procesu dozowania w trakcie pomiaru poprzez utrzymywanie prawie stałego stężenia cząstek w przestrzeni pomiarowej.

Rys. 8 ilustruje schematycznie sposób dozowania w systemie IPS. Cząstki materiału poddawane analizie nasypuje się za pomocą specjalnego próbnika do pojemnika dozownika, który zostaje pobudzony do drgań poprzez współzależny układ wibracyjny mechaniczny lub ultradźwiękowy. Pojemnik dozownika włączony jest w obieg układu zasysania, którego wysokość wlotu h jest regulowana

automatycznie podczas dozowania. Cząstki z pojemnika zasysane są do otworu wlotowego i dalej w strumieniu powietrza przechodzą przez przestrzeń pomiarową sondy, a następnie opadają na dno zbiornika lub zatrzymują się na filtrze sprężarki. Sprężarka sterowana jest za pomocą specjalnego układu elektronicznego sprzężonego z torem pomiarowym. Istotną cechą tego typu dozowania jest jego pełna kontrola przez układ pomiarowy.

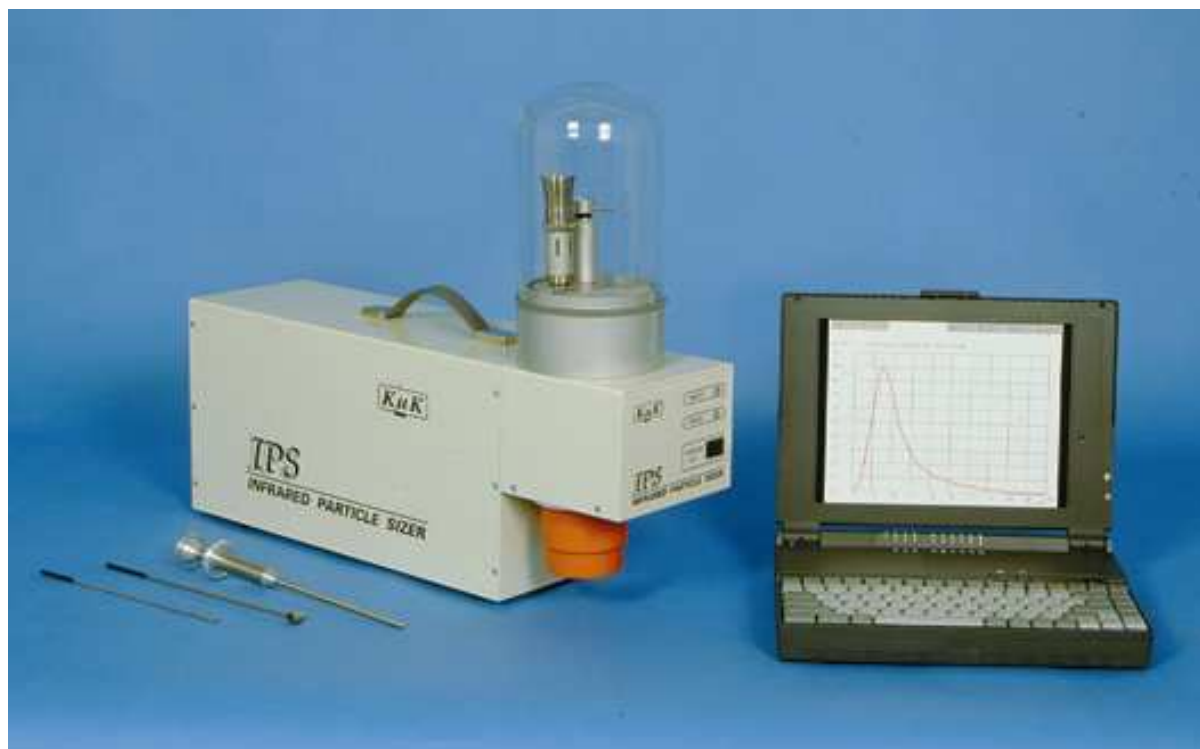
Liczba cząstek przechodzących przez przestrzeń pomiarową w jednostce czasu, zdefiniowana jako „stężenie cząstek” jest utrzymywana automatycznie na poziomie zapewniającym efektywny pomiar a zarazem minimalne błędy koincydencji. Rozwiązanie zastosowane w IPS charakteryzuje się tym, że istnieje możliwość sterowania procesem dozowania w bardzo szerokich granicach.



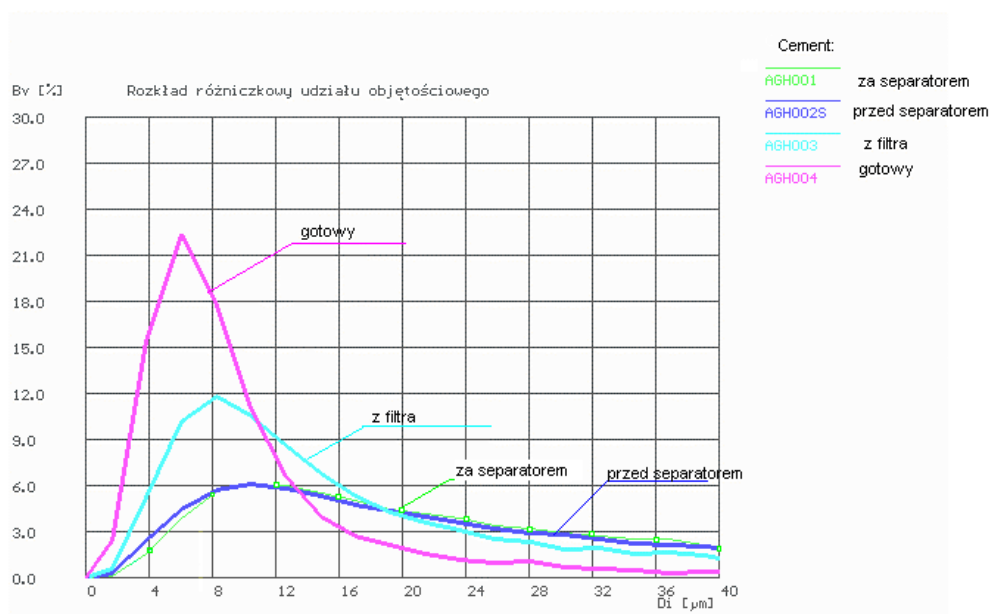
Rysunek 8. Schemat układu dozującego urządzenia IPS

7. Przykłady zastosowania urządzenia IPS do oceny procesów technologicznych.

Na Rys. 9 pokazano wygląd analizatora IPS (z dozownikiem automatycznym). Za pomocą tego urządzenia została dokonana ocena procesu technologicznego w jednej z cementowni w kraju. W tym celu pobrano i zmierzono próbki cementu: przed separatorem i za separatorem uziarnienia cementu, cement z filtrów i gotowy cement. Porównania pomiarów (Rys. 10) wykazują, że separator w tym procesie produkcyjnym był całkowicie źle ustawiony. Wyniki otrzymane dla cementu przed separatorem nie różnią się granulacją od wyników otrzymanych dla cementu za separatorem, co oznacza znaczną stratę energii oraz niewłaściwe prowadzenie procesu produkcyjnego rzutującego na jakość i koszt wytwarzanego produktu.



Rysunek 9. Analizator IPS A



Rysunek 10. Wyniki pomiarów wielkości cząstek w cementowni.

Innym przykładem zastosowania aparatury IPS w jednym z zakładów chemicznych było sprawdzenie wielkości ziaren na wyjściu z młyna. Substancja organiczna była mielona zbyt drobno, co powodowało dokuczliwe rozpylanie jej w powietrzu i dodatkowe straty energii przy mieleniu. Wielkości cząstek tej substancji nie można było mierzyć na sitach mechanicznych, ponieważ cząstki były za małe do pomiaru na sitach mechanicznych i łatwo się zbryłały. Analizator IPS tej wady nie ma i określenie rzeczywistych wymiarów cząstek pozwoliło na skrócenie czasu mielenia.

Przytoczone przykłady zastosowań prowadzą do wniosku, że urządzenie IPS ma dobre parametry techniczne i pozwala na rzeczywisty pomiar wielkości cząstek w szerokim zakresie ich wymiarów. Dotyczy to cząstek materiałów nieorganicznych i organicznych.

Literatura

- [1] J.R. Meyer-Arendt, „*Wstęp do optyki*”, PWN, Warszawa 1979, s 300-305
- [2] R.G. Knollenberg, D.L. Veal, „*Optical particle monitors, counters and spectrometers: performance characterization, comparison and use*”, PROCEEDINGS, Institute of Environmental Sciences, 2007, s. 751-771
- [3] www.kamika.pl, Analizator IPS U – urządzenie do określania cząstek stałych w powietrzu.

COMPARISON OF OPTICAL-ELECTRONIC MEASUREMENT METHODS OF GRANULATION

Stanisław Kamiński, Dorota Kamińska

ABSTRACT

In this article there is a laboratory instrument called Infrared Particles Sizer (IPS) described. The instrument can be applied to fast measurement of granulation, needed in production process. Measurement method that is used in IPS analyser is compared to other optical-electronic methods.

Mentioned examples of application allows to draw to conclusion, that IPS instrument has good technical parameters and gives actual results of particles sizes in wide measuring range. This matters organic and inorganic substances.