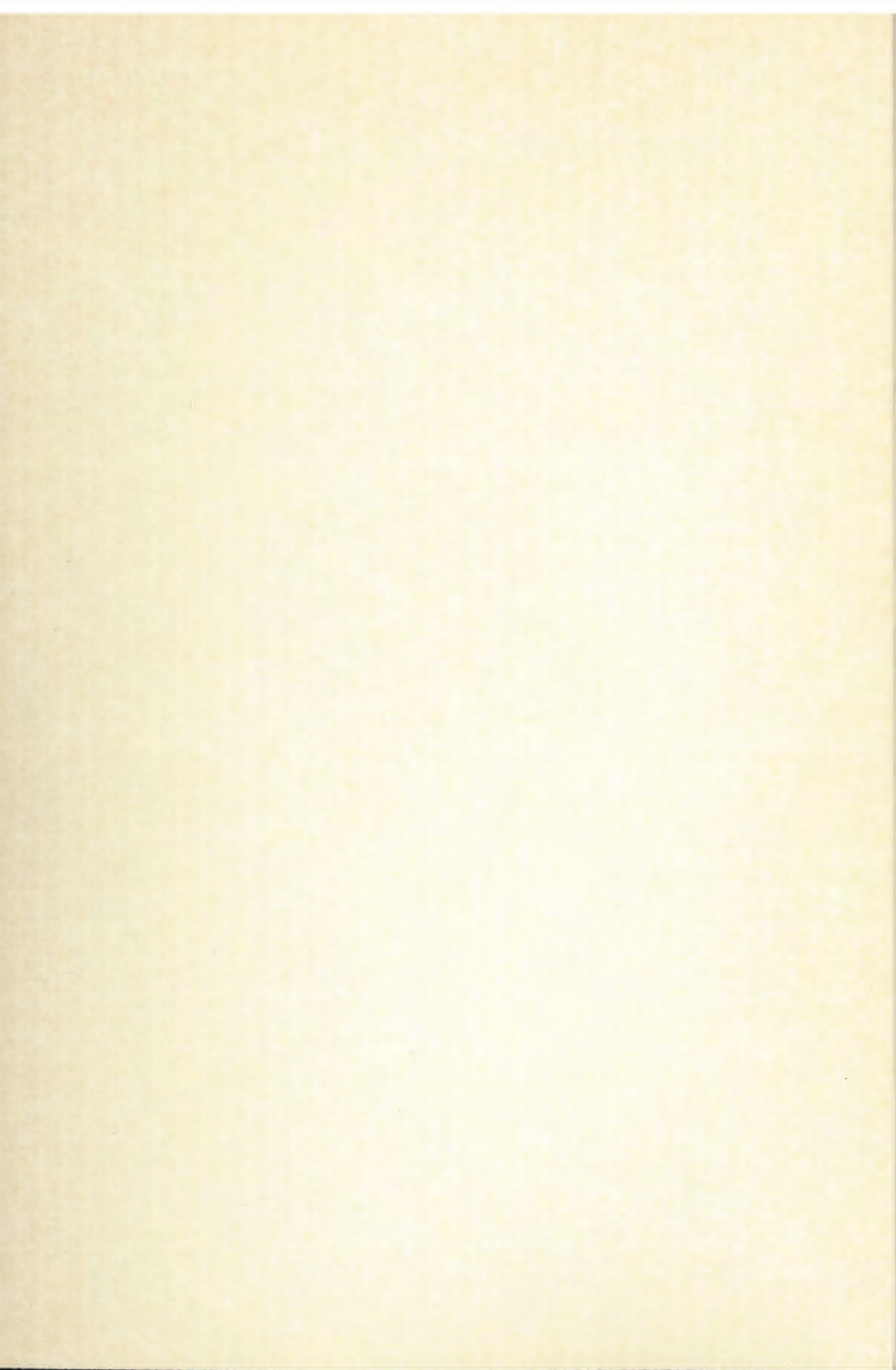




**POLSKA AKADEMIA NAUK**  
**Instytut Badań Systemowych**

**WSPOMAGANIE INFORMATYCZNE  
ROZWOJU  
SPOŁECZNO-GOSPODARCZEGO  
I OCHRONY ŚRODOWISKA**

**Redakcja:**  
**Jan Studziński**  
**Ludostław Drelichowski**  
**Olgierd Hryniewicz**





**WSPOMAGANIE INFORMATYCZNE  
ROZWOJU  
SPOŁECZNO-GOSPODARCZEGO  
I OCHRONY ŚRODOWISKA**

Polska Akademia Nauk Instytut Badań Systemowych

**Seria: BADANIA SYSTEMOWE**

**tom 36**

---

**Redaktor naukowy:**

**Prof. dr hab. Jakub Gutenbaum**

Warszawa 2004

**WSPOMAGANIE INFORMATYCZNE  
ROZWOJU  
SPOŁECZNO-GOSPODARCZEGO  
I OCHRONY ŚRODOWISKA**

Redakcja:

Jan Studziński  
Ludosław Drelichowski  
Olgierd Hryniewicz

**Książka wydana dzięki dotacji KOMITETU BADAŃ NAUKOWYCH**

Książka zawiera wybór artykułów poświęconych omówieniu aktualnego stanu badań w kraju w zakresie rozwoju modeli, technik i systemów zarządzania oraz ich zastosowań w różnych dziedzinach gospodarki narodowej. Wyodrębnioną grupę stanowią artykuły omawiające aplikacyjne wyniki projektów badawczych i celowych KBN.

Recenzenci artykułów:

Dr Lucyna Bogdan  
Prof. dr hab. inż. Olgierd Hryniewicz  
Dr Grażyna Petriczek  
Prof. dr hab. inż. Andrzej Straszak  
Dr inż. Jan Studziński



Senia 45187

Komputerowa edycja tekstu: Anna Gostyńska

© Instytut Badań Systemowych PAN, Warszawa 2004

**Wydawca: Instytut Badań Systemowych PAN**  
**ul. Newelska 6, 01-447 Warszawa**

Sekcja Informacji Naukowej i Wydawnictw IBS PAN  
tel. 836-68-22

Druk: Zakład Poligraficzny Urzędu Statystycznego w Bydgoszczy  
Nakład 110 egz.

**ISBN 83-85847-92-8**  
**ISSN 0208-8028**

# ANALIZA ZANIECZYSZCZEŃ W OPADACH ATMOSFERYCZNYCH\*

**Ewa Burszta-Adamiak, Janusz Łomotowski,  
Radosław Stodolak**

*Institut Budownictwa i Architektury Krajobrazu  
Akademii Rolniczej we Wrocławiu  
<lomot@ozi.ar.wroc.pl>*

*Knowledge about particles suspended in the air has attracted growing attention, but the assessment of air quality in Poland is limited to the most common pollutants. This group among other things includes measurements of particulate matter with equivalent diameter of less than 10  $\mu\text{m}$  (PM 10), Black Smoke (BS) and Total Suspended Particles (TSP). In case of precipitation are carried out chemical analyses only.*

*Add measurements of particulate matter in the air could be studies with using the laser diffraction particle size analyzer. This device enables determining the probability density function for the occurrence of particle's ranging in size from 0,02  $\mu\text{m}$  to 2000  $\mu\text{m}$ . In addition with laser granulometer it is possible to describe dynamics of decomposition and coagulation processes in the precipitation.*

*The results of investigations particle size and dynamics of processes in rainfall and snowfall which were originated from the Upper Silesia area in laser granulometer were presented in this article. These researches were conducted within the Grand KBN 3 PO4 GO51125 "Application of the laser diffraction particle size analyzer to monitoring the surface waters".*

**Keywords:** Granulometric analysis of participation, laser diffraction particle size analyzer, particulate matter, rainfall, snowfall.

## 1. Wstęp

Opady atmosferyczne są jednym z głównych czynników wpływających na stan czystości atmosfery. Powodują wymywanie z powietrza atmosferycznego zanieczyszczeń gazowych oraz pyłów pochodzących m.in. z przemysłu, rolnictwa (głównie w okresie wegetacyjnym), spalania paliw w piecach oraz w silnikach samochodowych.

W Polsce ocenę stopnia zanieczyszczenia powietrza dokonuje się na podstawie pomiarów wykonywanych przez Państwową Inspekcję Ochrony Środowiska (PIOS) w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska. Monitoring

---

\* Badania wykonano w ramach projektu badawczego KBN nr 3 PO4 GO51125.2

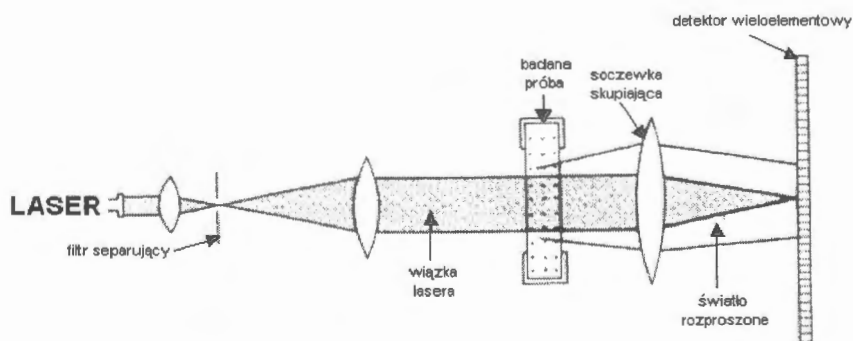
realizowany jest na trzech poziomach: krajowym, regionalnym i lokalnym. Prowadzone badania obejmują pomiary stężeń gazów znajdujących się w atmosferze, pyłu zawieszonego o średnicy równoważnej ziaren do  $10\ \mu\text{m}$  (PM10), pyłu zawieszonego ogółem (bez separacji frakcji TSP) oraz pyłu zawieszonego reflektometrycznego (*Black Smoke* BS). W przypadku oznaczeń zanieczyszczeń opadów atmosferycznych wykonuje się tylko analizy chemiczne.

Uzupełniającymi pomiarami pyłów w powietrzu atmosferycznym mogą być oznaczenia rozmiaru i objętości zawiesin w opadach mokrych i śniegu z użyciem granulometru laserowego. Badania z wykorzystaniem tego urządzenia są stosowane do identyfikacji pochodzenia pyłów w atmosferze (Butters, Wheatley, 1981), jak również w wielu innych dziedzinach nauki oraz dla potrzeb przemysłu farmaceutycznego, chemicznego i spożywczego.

Przeprowadzone badania miały na celu wykazanie przydatności granulometru laserowego do określenia rozkładu prawdopodobieństwa wielkości cząstek zawartych w opadzie i wykazanie możliwości wykorzystania tego przyrządu do badań dynamiki procesów zmienności składu granulometrycznego zawiesin zawartych w śniegu i deszczu.

## 2. Metodyka badań

Do pomiaru zawartości i rozmiaru cząstek zanieczyszczeń znajdujących się w opadzie oraz w celu scharakteryzowania przebiegu zachodzących zmian wielkości cząstek zawartych w opadzie użyto granulometru laserowego firmy Malvern Instruments Ltd. z zakresem pomiarowym  $0,02 + 2000\ \mu\text{m}$ . Schemat działania urządzenia przedstawiono na rys.1.



Rysunek 1. Schemat działania granulometru laserowego  
(Butters, Wheatley, 1981)

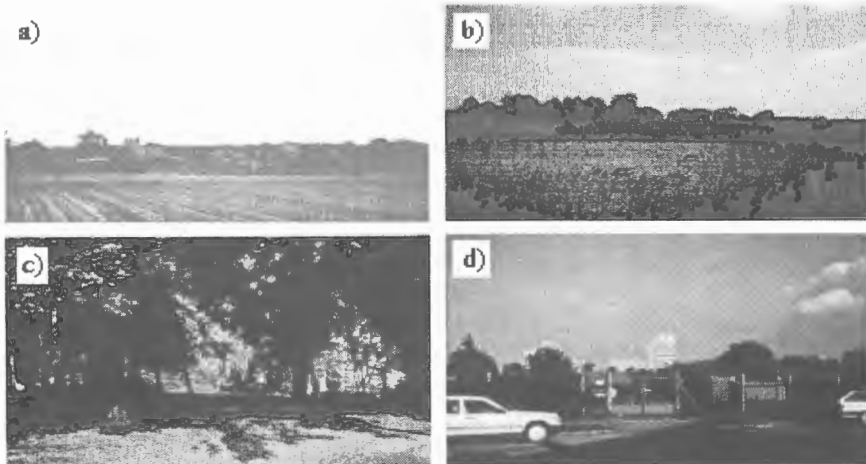


Zasada działania tego urządzenia opiera się na zjawisku dyfrakcji światła laserowego, nazywanym też małym kątowym rozpraszaniem światła laserowego (ang. LALS - *Low Angle Laser Scattering*). Opis matematyczny tego zjawiska jest zawarty w pracach (Butters, Wheatley, 1981; McCave, Syvitski, 1991). Światło lasera ulega rozproszeniu przez cząstki pozostające w zawiesinie, przy czym kąt załamania światła jest odwrotnie proporcjonalny do wielkości cząstek. Przy rozpatrywaniu cząstek sferycznych i dla małych kątów załamania zjawisko to można opisywać analogicznie do dyfrakcji światła przez szczelinę. Natężenie rozszczepionego światła  $I(\theta)$  opisuje następująca zależność (McCave, Syvitski, 1991)

$$I(\theta) = \frac{1}{\theta} \int_0^{\infty} r^2 n(r) J_1^2(kr\theta) dr \quad (1)$$

gdzie:  $\theta$  - kąt załamania się światła na cząstkach,  $r$  - średnica cząstki,  $n(r)$  - funkcja rozkładu wielkości cząstek,  $k = 2\pi / \lambda$ ,  $\lambda$  - długość fali światła lasera,  $J_1$  - funkcja Bessela pierwszego rodzaju.

Pomiar natężenia rozszczepionego światła za pomocą detektorów wieloelementowych pozwala na wyznaczenie funkcji rozkładu cząstek  $n(r)$  po przekształceniu równania (1).



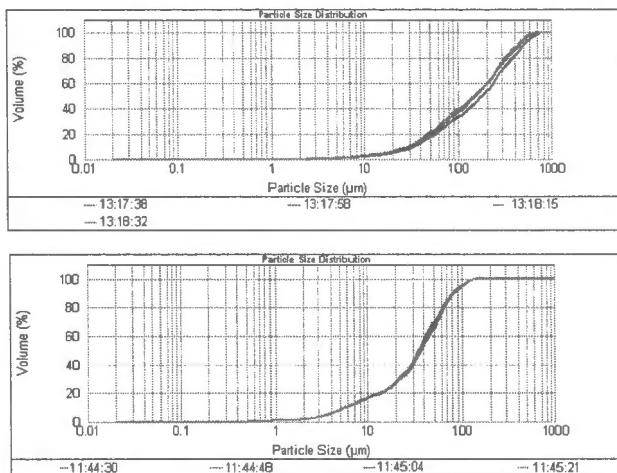
**Rysunek 2.** Miejsca poboru prób do badań składu granulometrycznego śniegu i deszczu a) teren prywatnej posesji w Kietrze, b) łąka w Kietrze, c) park w centrum Raciborza, d) teren koło zakładów chemicznych „Henkel” w Raciborzu

Próby opadów pobierano i badano przez okres trzech zimowo-wiosennych miesięcy 2004 roku. W tym czasie pobrano 37 prób, w tym 20 prób pochodzących z opadów śniegu. Pozostałe siedemnaście prób to opady deszczu.

Dwa stanowiska pomiarowe znajdowały się w Raciborzu. Jedno z nich było zlokalizowane na terenie położonym blisko zakładów chemicznych „Henkel”, a drugie w parku w centrum miasta. Dwa pozostałe stanowiska znajdowały się 20 km od Raciborza, w miejscowości Kietrz. Próby opadów pobierano tam z terenu otwartego, jakim była łąka i z terenu zabudowanego, na jednej z prywatnych posesji. Na rysunku 2 przedstawiono zdjęcia z miejsc, skąd były pobierane próby do badań.

### 3. Wyniki badań

Wybrane dystrybuanty częstości występowania cząstek w opadach śniegu i deszczu otrzymane przy użyciu granulometru laserowego przedstawiono na rys. 3 i 4. Analizowane próby opadu pochodzą z marca. Pierwsza z terenu prywatnej posesji w Kietrz, druga z Raciborza z terenu zlokalizowanego w pobliżu zakładów chemicznych „Henkel”. Ich charakterystyki rozkładu wielkości cząstek różnią się między sobą.

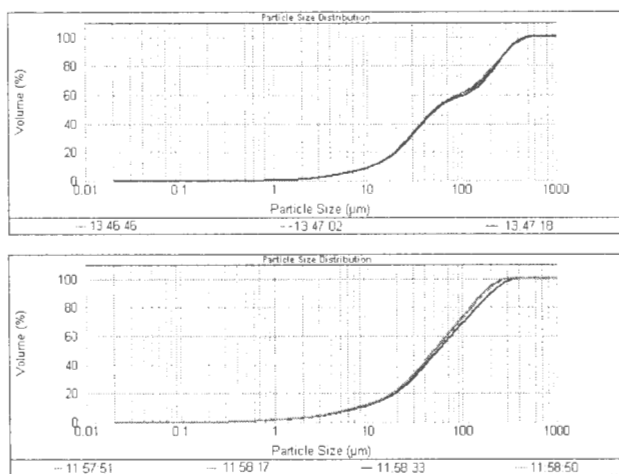


**Rysunek 3.** Dystrybuanty prawdopodobieństwa występowania cząstek o różnych wymiarach w próbce opadu śniegu pobranej 06.03.04 (po lewej) i w próbce opadu deszczu pobranej 19.03.04 (po prawej) w Kietrz na terenie prywatnej posesji

W próbach z Kietrza udział cząstek do 20 µm wynosi 6,18% w opadzie śniegu i odpowiednio 29,34% w opadzie deszczu. W próbce deszczu występują cząstki o wielkości od 0,4 µm do 200 µm, podczas gdy w próbce śniegu zakres ten

obejmuje cząstki o wielkości  $2,2 \div 796,2 \mu\text{m}$ . Największy udział procentowy próby stanowią cząstki o wymiarze  $44,7 \mu\text{m}$ , które wraz z mniejszymi stanowią 65,61% wszystkich cząstek w opadzie deszczu z dnia 19.03.04 r. i odpowiednio cząstki o wymiarze  $251,7 \mu\text{m}$ , które wraz z mniejszymi stanowią 69,74% w opadzie śniegu z dnia 06.03.04 r.

Pozostałe próby deszczu, pochodzące z Raciborza, charakteryzowały się rozkładem z przewagą cząstek o mniejszych wymiarach, mieszczących się w granicach od  $0,2 \mu\text{m}$  do  $0,39 \mu\text{m}$ . Cząstek o tak małych wymiarach nie zaobserwowano w opadzie śniegu. W próbie śniegu z dnia 01.03.04 r. stwierdzono cząstki o rozmiarze od  $447 \mu\text{m}$  do  $632 \mu\text{m}$ . Tak dużych cząstek nie stwierdzono w opadzie deszczu z dnia 19.03.04 r. Zakres wszystkich cząstek występujących w próbie deszczu obejmuje rozmiary od  $0,28 \mu\text{m}$  do  $399 \mu\text{m}$ , z których największy udział stanowią cząstki o wymiarze  $44,7 \mu\text{m}$ , a wraz z mniejszymi 49,12%. W opadzie śniegu zakres ten jest szerszy i mieści się w przedziale od  $0,71 \mu\text{m}$  do  $632 \mu\text{m}$ , w którym najwięcej jest cząstek o rozmiarze  $224 \mu\text{m}$ , stanowiących wraz z mniejszymi, aż 80% całej liczby cząstek znajdujących się w opadzie.

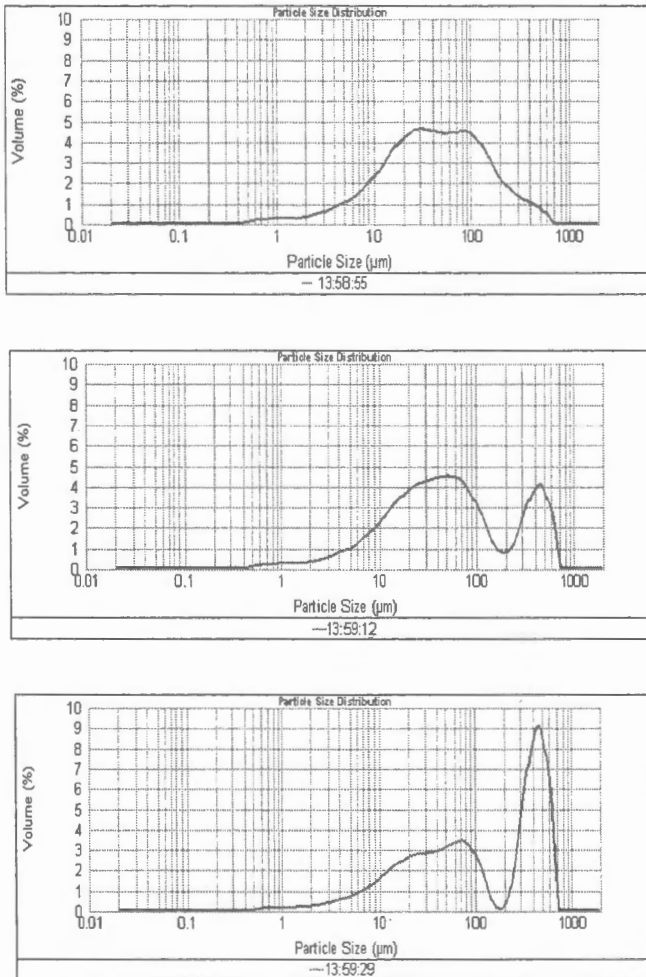


**Rysunek 4.** Dystrybuanty prawdopodobieństwa występowania cząstek o różnych wymiarach w próbie opadu śniegu pobranej 01.03.04 (po lewej) i w próbie opadu deszczu pobranej 19.03.04 (po prawej) z Raciborza na terenie położonym w pobliżu zakładów chemicznych „Henkel”

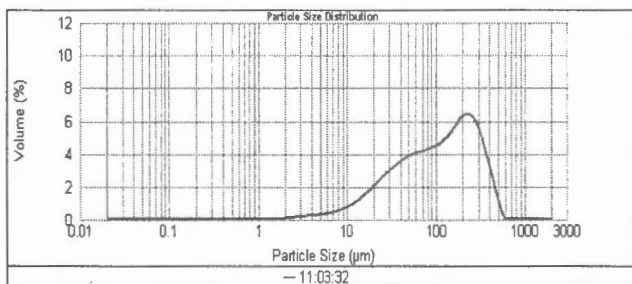
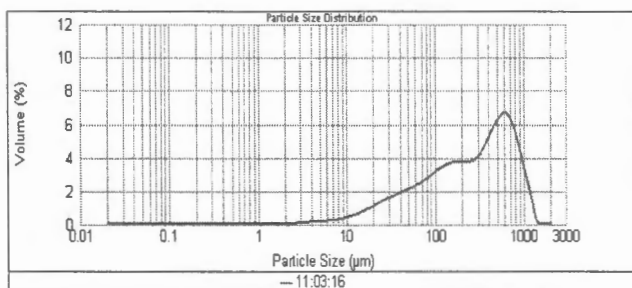
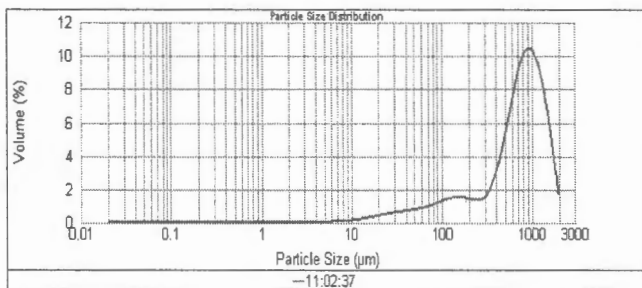
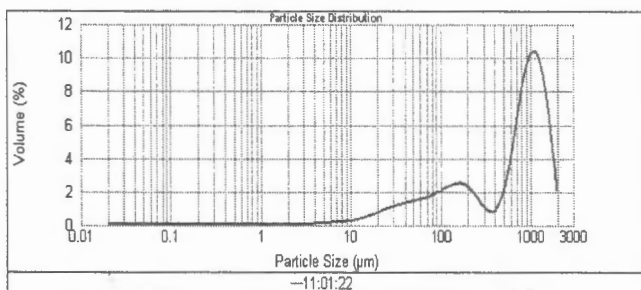
Jednorazowy pomiar w granulometrze laserowym trwa kilka sekund. Umożliwia to prowadzenie obserwacji składu granulometrycznego w ustalonych okresach i poznanie trwałości zawiesin oraz dynamiki procesów rozpadu lub łączenie się poszczególnych cząstek ze sobą. W czasie prowadzenia badań na granulometrze laserowym roztwór jest mieszany mieszadłem magnetycznym.

Przedstawione wyniki badań prowadzono przy 24 obrotach mieszadła na minutę. Mieszadło wywołuje dyssypację energii, co może mieć wpływ na strukturę i wielkość cząstek pozostających w stanie zawieszonym.

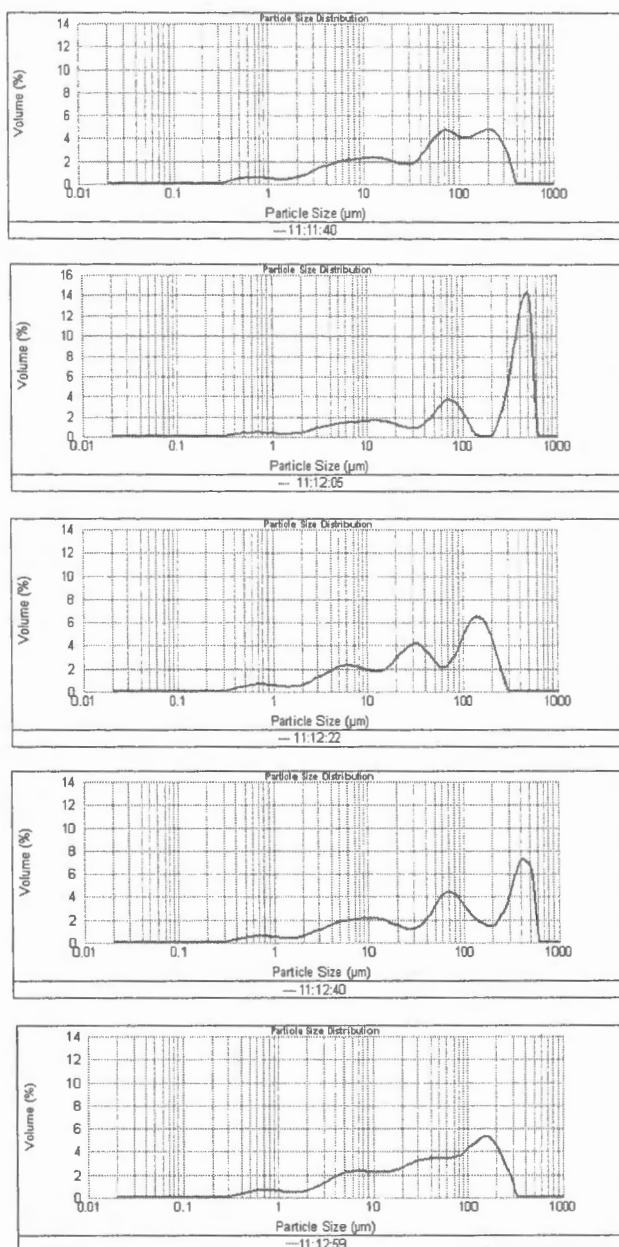
W badanych opadach zaobserwowano pod wpływem mieszania zachodzenie procesu flokulacji, czyli łączenie się drobnych cząstek w aglomeraty o większym wymiarze, proces rozpadu większych cząstek na mniejsze a także równoczesne zachodzenie obu tych zjawisk. Obrazują to przykłady przedstawiono na rys. 5-7.



**Rysunek 5.** Zmiany przebiegu dystrybuant prawdopodobieństwa występowania cząstek w procesie ich koagulacji w próbce opadu śniegu pobranej 23.02.04r. w Kietrzu z łąki



**Rysunek 6.** Zmiany przebiegu dystrybuant prawdopodobieństwa występowania cząstek w procesie ich rozpadu w próbie opadu deszczu pobranego 7.04.04r. w centrum Raciborza



**Rysunek 7.** Zmiany przebiegu dystrybucji prawdopodobieństwa występowania cząstek w procesie mieszanym koagulacji i rozpadu w próbie opadu deszczu pobranego 26.03.04 r. w Kietrze na prywatnej posesji

Wstępne wyniki badań potwierdziły duże walory poznawcze analizy granulometrycznej opadów atmosferycznych i celowość prowadzenia dalszych badań.

#### **4. Wnioski**

Przeprowadzone badania pozwalają na wysunięcie następujących wniosków:

1. Łatwość obsługi, szybkość wykonywania pomiaru oraz czytelność otrzymywanych wyników przemawiają za wykorzystaniem na szerszą skalę granulometru laserowego do określania wymiarów zawieszin znajdujących się w opadach atmosferycznych i naturalnych wodach powierzchniowych.
2. Granulometr laserowy może być wykorzystany do oceny trwałości zawieszin zawartych w wodach naturalnych oraz badań nad koagulacją wody.

#### **Literatura**

- Butters G., Wheatley A.L. (1981) *Experience with the Malvern ST 1800 Laser Diffraction Particle Sizer*. 4<sup>th</sup> Conf. Particle Size Analysis, Loughborough University of Technology, South Glamorgan (UK). 425-436.
- McCave I. N., Syvitski J.P.M. (1991) *Principles and methods of geological particle size analysis. Principles, methods and application of particle size analysis*. Cambridge University Press.
- Heinsohn R. J., Kabel R.L. (1999) *Sources and control of air pollution*. Prentice-Hall, Inc. New Jersey.

IBS PAN *Seria*

45187

Bibl. podręczna

**ISSN 0208-8028**

**ISBN 83-85847-92-8**

---

---

W celu uzyskania bliższych informacji i zakupu dodatkowych egzemplarzy  
prosimy o kontakt z Instytutem Badań Systemowych PAN  
ul. Newelska 6, 01-447 Warszawa  
tel. 837-35-78 w. 241 e-mail: [biblioteka@ibspan.waw.pl](mailto:biblioteka@ibspan.waw.pl)