

## BADANIE ROZKŁADU WIELKOŚCI CZĄSTEK ZAWIESIN W WODACH OPADOWYCH

Paweł Wiercik<sup>1\*</sup>, Żaneta Berger<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instytut Inżynierii Środowiska, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, pl. Grunwaldzki 24, 50-363 Wrocław

\* Autor do korespondencji: [pawel.wiercik@upwr.edu.pl](mailto:pawel.wiercik@upwr.edu.pl)

### STRESZCZENIE

Wody opadowe mogą zawierać różnego rodzaju zawiesiny pochodzące bezpośrednio z zanieczyszczonej atmosfery oraz splukiwane z powierzchni roślin, dachów, ulic. Zawiesiny te mogą występować w postaci stałej, rozpuszczonej lub koloidalnej. Informacje o kształcie, strukturze oraz wielkości i ilości cząstek zawiesin mają znaczenie między innymi przy doborze odpowiednich procesów oczyszczania wód. Celem przeprowadzonych badań było określenie przydatności informacji uzyskanych z granulometru laserowego firmy Malvern dla poznania struktury i wielkości cząstek tworzących polidispersyjną zawiesinę w wodach opadowych. Próbkę wód opadowych w postaci opadu bezpośredniego oraz spływów z dachu pobierano we wsi Szklarka Myślniewska w okresie od grudnia 2017 r. do kwietnia 2018 r. W ujęciu objętościowym w próbkach opadu bezpośredniego dominowały cząstki o średnicach 100–1000  $\mu\text{m}$ , natomiast w ujęciu ilościowym głównie o średnicach 1–10  $\mu\text{m}$ . Większa różnorodność występowała w zawiesinach ze spływów z dachu, co wynikało przede wszystkim z porywania zanieczyszczeń z powierzchni dachu i rynny przez wody opadowe. Zawiesiny we wszystkich próbkach charakteryzowały się różną budową przestrzenną, o czym świadczyły wartości optycznego wymiaru fraktalnego oraz różnymi właściwościami sorpcyjnymi i sedymentacyjnymi (wartości średnich średnic), co wynikało zarówno z rodzaju próbki oraz daty poboru.

**Słowa kluczowe:** wody opadowe, dyfrakcja laserowa, granulometr laserowy, zawiesina

## THE RESEARCH ON PARTICLE SIZE DISTRIBUTION IN SUSPENSION OCCURRING IN STORMWATER

### ABSTRACT

Stormwater can contain various types of suspensions coming directly from polluted atmosphere and running off from surfaces of plants, houses, streets. Those suspensions can be of solid, soluble or colloidal state. The information about shape, structure and size of particles forming suspensions may be of significance in terms of selecting appropriate treatment processes. The aim of conducted research was to determine usefulness of information obtained from Malvern laser granulometer to identify shape and size of particles forming polydisperse suspensions



SIEĆ NA RZECZ  
INNOWACJI W ROLNICTWIE  
I NA OBSZARACH WIEJSKICH



Krajowa Sieć  
Obszarów Wiejskich



Program  
Rozwoju  
Obszarów  
Wiejskich  
na lata 2014-2020

„Europejski Fundusz Rolny na rzecz Rozwoju Obszarów Wiejskich: Europa inwestująca w obszary wiejskie”.

Artykuł opracowany na zlecenie Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinowie.

Artykuł współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach II Schematu Pomocy Technicznej

„Krajowa Sieć Obszarów Wiejskich” Program Rozwoju Obszarów Wiejskich na lata 2014–2020.

Instytucja Zarządzająca Programem Rozwoju Obszarów Wiejskich na lata 2014–2020

– Minister Rolnictwa i Rozwoju Wsi.

in stormwater. Stormwater samples taken directly during rainfall and as a runoff from the roof were collected in Szklarka Myślniewska village from December 2017 to April 2018. In the volume distribution in all samples collected directly during rainfall, particles with diameters of 100–1000  $\mu\text{m}$  were predominant in suspensions, whereas in the number distribution particles of diameters of 1–10  $\mu\text{m}$ . The greater diversity of particles occurring in suspensions collected from roof runoffs resulted from pollutants getting into stormwater from the roof surface and drainpipe. Suspensions in all stormwater samples were characterized by different spatial structure, determined on the basis of optical fractal dimension values, and different sediment and sorptive properties (Mean Diameters values), depending on the sampling point and date.

**Keywords:** stormwater, laser diffraction, laser granulometer, suspension

## WPROWADZENIE

Wody opadowe stanowią część zasobów wodnych zapewniających odnawialność zarówno wód powierzchniowych, jak i wód podziemnych. Ze względu na to, iż odgrywają ważną rolę dla środowiska, powinno się je chronić przed dostaniem się do nich zanieczyszczeń [Królikowska i Królikowski 2012]. Zanieczyszczenia pochodzą bezpośrednio z atmosfery oraz są splukiwane z powierzchni roślin, dachów czy innych obiektów i mogą mieć postać gazów, pyłów i dymów. Mogą być to drobne cząstki obumarłych organizmów roślinnych lub zwierzęcych, rozdrobnione cząstki gleby lub substancje nierozpuszczalne. Zanieczyszczenia mogą występować w postaci cząstek stałych, rozpuszczonych lub koloidalnych. Wiedza o wielkości, ilości a także kształcie i właściwościach cząstek tworzących zawiesinę wód opadowych (m. in. ich zdolnościach sedymentacyjnych i sorpcyjnych) jest przydatna m.in. przy projektowaniu urządzeń służących do podczyszczania wód opadowych t.j. osadniki, czy separatory, a także zbiorników retencyjnych oraz systemów do infiltracji wód opadowych do gruntu [Burszta-Adamiak i in. 2012, Burszta-Adamiak i in. 2014]. Poznanie składu granulometrycznego zawiesin w opadach pozwala na oszacowanie intensywności zjawiska kolmatacji w gruntach o różnym uziarnieniu, a także dobranie odpowiedniej metody do ochrony powierzchni chłonnej przed wgłębną kolmatacją [Burszta-Adamiak i Łomotowski 2006].

Skład granulometryczny polidispersyjnej zawiesiny można uzyskać m.in. stosując metodę dyfrakcji laserowej, w której do analizy wykorzystuje się m.in. granulometrię laserową. W urządzeniach tego typu dokonuje się pomiaru wielkości rozpraszania światła przez cząstki tworzące zawiesinę. Analiza wielkości rozpraszania światła lasera pod różnym kątem w stosunku do kierunku osi optycznej wiązki światła

wychodzącego z lasera pozwala określić liczbę cząstek  $n_i$ , objętość  $v_i$  oraz powierzchnię  $s_i$  o średnicy zastępczej  $d_i$ . Oprogramowanie granulometru laserowego pozwala uzyskać informacje dotyczące nie tylko rozkładów wielkości cząstek, ale i warunków wyjściowych pomiaru, wartości średnic odpowiadających medianie i percentylozom na przyjętym poziomie procentowym a także wartości średnich średnic zbioru cząstek [Burszta-Adamiak i in. 2012, Wiercik i in. 2014].

Aby scharakteryzować zawiesiny polidispersyjne wprowadzono średnie średnice zbioru cząstek. Średnia średnica  $D(1,0)$ , będąca średnią arytmetyczną ze zbioru cząstek, wyliczana jest w odniesieniu do całkowitej ilości cząstek. Średnia średnica  $D(2,0)$  wyliczana jest na podstawie liczby cząstek i ich powierzchni, średnia średnica  $D(3,0)$  na podstawie liczby cząstek i ich objętości. Średnica  $D(3,2)$  obliczana jest ze stosunku objętości cząstek do ich powierzchni i informuje o zdolnościach sorpcyjnych i katalitycznych cząstek. Im niższa wartość tej średnicy, tym większe są te zdolności. Średnią średnicę  $D(4,3)$  oblicza się na podstawie momentu masy i objętości. Jej wartość informuje, gdzie w układzie zawiesiny skupiona jest główna masa cząstek, dlatego też cząstki o dużych średnicach decydują o jej wartości [Łomotowski i in. 2008, Wiercik 2011, Burszta-Adamiak i in. 2012]. Oprogramowanie granulometru laserowego umożliwia także identyfikację budowy przestrzennej cząstek na podstawie ich wymiarów fraktalnych, które mogą przyjmować wartości od 1 do 3. Przy niższych wartościach wymiaru fraktalnego kształt cząstek tworzących zawiesinę odpowiada bardziej wydłużonym odcinkom, a przy wyższych wartościach wzrasta powierzchnia zawiesin tworząc rozbudowane, przestrzenne struktury. Wymiar fraktalny umożliwia poznanie wnętrza agregatów, a także właściwości fizycznych jak np. porowatość, czy przepuszczalność [Kusnierz i Wiercik 2016, Łomotowski i in. 2008].

## METODYKA BADAŃ

Próbki wód opadowych pobierane były we wsi Szklarka Myślniewska, w miejscu zlokalizowanym przy jednym z gospodarstw z dala od drogi głównej, położonym przy działkach rolniczych i lesie. Spływ wody opadowej pobierano z dachu budynku pokrytego dachówką ceramiczną. Próbki wód opadowych pobierane były do plastikowych lub szklanych pojemników, następnie po zakończeniu opadu przewożone do Laboratorium Geotechnicznego Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, w którym był badany skład granulometryczny zawiesin. Miejsca poboru próbek wód opadowych przedstawiono na rysunku 1.

Skład granulometryczny zawiesin oznaczano na granulometrze laserowym Mastersizer 2000 firmy Malvern Ltd. o zakresie pomiarowym 0,02-2000  $\mu\text{m}$ . Badania prowadzono dla współczynnika refrakcji 1,544 dla zawiesin w wodach opadowych oraz 1,33 dla dyspersanta czyli wody, przy prędkości mieszania wynoszącej 1500 obrotów na minutę, zapewniającej rozpraszanie zawiesin w całej objętości cieczy w zlewce. Badania wykonano zgodnie z instrukcją urządzenia napisaną przez producenta [Malvern 1998, 1999].

Oprogramowanie granulometru pozwoliło na określenie optycznego wymiaru fraktalnego  $D_3$  oraz średnic średnic zbioru cząstek. Wymiar fraktalny badanej zawiesiny wyliczano z arkusza kalkulacyjnego programu Excel, udostępnionego przez producenta granulometru laserowego Mastersizer 2000.

## WYNIKI

W tabeli 1 zamieszczono wartości średnic minimalnych, maksymalnych, mediany oraz percentyli 10% i 90%, ustalonych na podstawie krzywych udziału procentowego cząstek o danych zakresach średnic w całkowitej objętości cząstek w badanych próbkach wód opadowych. Wartości średnic zastępczych cząstek zawiesiny (minimum i maksimum), jak również mediana czy percentyle 10% i 90% wykazują duże zróżnicowanie w zależności od miesiąca i miejsca poboru próbki. Najmniejsze identyfikowane cząstki zawiesiny miały rozmiary od 0,4  $\mu\text{m}$  do 7,96  $\mu\text{m}$  za wyjątkiem próbki spływu z grudnia 2017 r. (1095  $\mu\text{m}$ ). Największe cząstki w badanych próbkach posiadały średnicę około 317  $\mu\text{m}$  aż do granic oznaczalności granulometru.

Wszystkie wyniki badań objętościowego oraz ilościowego udziału cząstek o danych zakresach średnic zastępczych w zawiesinie przedstawiono w tabelach 2 i 3 a także na rysunkach 2-5. Największy udział procentowy w całkowitej objętości cząstek zawiesiny (około 50-90%) stanowiły cząstki o średnicach od 100  $\mu\text{m}$  do 1000  $\mu\text{m}$ . Jedynie w próbkach spływu z grudnia 2017 r. i stycznia 2018 r. rozkład objętościowy wyglądał nieco inaczej. W próbce grudniowej wszystkie identyfikowane cząstki posiadały średnice większe od 1000  $\mu\text{m}$ , a w próbce spływu ze stycznia 2018 r. rozkład wielkości cząstek kształtował się bardzo równomiernie w przedziale od 1 do 1000  $\mu\text{m}$ . Analizując dane za-



**Rys. 1.** Miejsca poboru próbek wód opadowych: po lewej pobór spływu z dachu, po prawej opadu bezpośredniego  
**Fig. 1.** Stormwater sampling points: on the left collection of roof runoff, on the right direct rainfall collection

**Tabela 1.** Zakres wielkości cząstek w całkowitej objętości zawiesin w próbkach wód opadowych**Table 1.** The range of particle size in the total volume of stormwater suspensions

Rodzaj próbki	Data analizy	Minimum	Percentyl 10%	Mediana	Percentyl 90%	Maksimum
Opad bezpośredni	12.2017	2,00	87,81	161,22	230,84	399,05
	01.2018	0,63	101,18	182,29	283,10	709,63
	03.2018	0,50	23,46	94,78	417,48	893,37
	04.2018	7,96	104,13	347,97	876,69	2000,00
Spływ z dachu	12.2017	1124,68	1375,98	1634,88	1891,06	2000,00
	01.2018	0,40	3,51	27,17	184,19	316,98
	03.2018	2,83	95,98	346,80	665,81	2000,00
	04.2018	0,56	25,54	126,64	410,12	893,37

**Tabela 2.** Wielkość cząstek ustalona na podstawie funkcji zmian objętości w próbkach opadu bezpośredniego oraz spływów z dachu**Table 2.** Particle sizes determined pursuant to the function of volume changes in rainfall and runoffs samples

Rodzaj próbki	Data analizy	0,02-0,1	0,1-1	1-10	10-100	100-1000	1000-2000
Opad bezpośredni	12.2017	0,00	0,00	2,13	9,80	88,07	0,00
	01.2018	0,00	0,07	2,11	7,58	90,24	0,00
	03.2018	0,00	0,09	2,76	48,66	48,49	0,00
	04.2018	0,00	0,00	0,07	9,40	82,93	7,59
Spływ z dachu	12.2017	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
	01.2018	0,00	2,10	22,09	40,61	35,20	0,00
	03.2018	0,00	0,00	0,67	9,73	88,06	1,54
	04.2018	0,00	0,50	3,51	37,41	58,58	0,00

**Tabela 3.** Wielkość cząstek ustalona na podstawie funkcji zmian ilości w próbkach opadu bezpośredniego oraz spływów z dachu**Table 3.** Particle sizes determined pursuant to the function of number changes in rainfall and runoffs samples

Rodzaj próbki	Data analizy	0,02-0,1	0,1-1	1-10	10-100	100-1000	1000-2000
Opad bezpośredni	12.2017	0,00	0,00	97,08	2,86	0,07	0,00
	01.2018	0,00	0,00	98,68	1,29	0,03	0,00
	03.2018	0,00	0,00	98,05	1,94	0,01	0,00
	04.2018	0,00	0,00	18,89	79,79	1,32	0,00
Spływ z dachu	12.2017	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
	01.2018	0,00	83,85	16,08	0,08	0,00	0,00
	03.2018	0,00	0,00	87,38	12,48	0,14	0,00
	04.2018	0,00	69,79	30,10	0,11	0,00	0,00

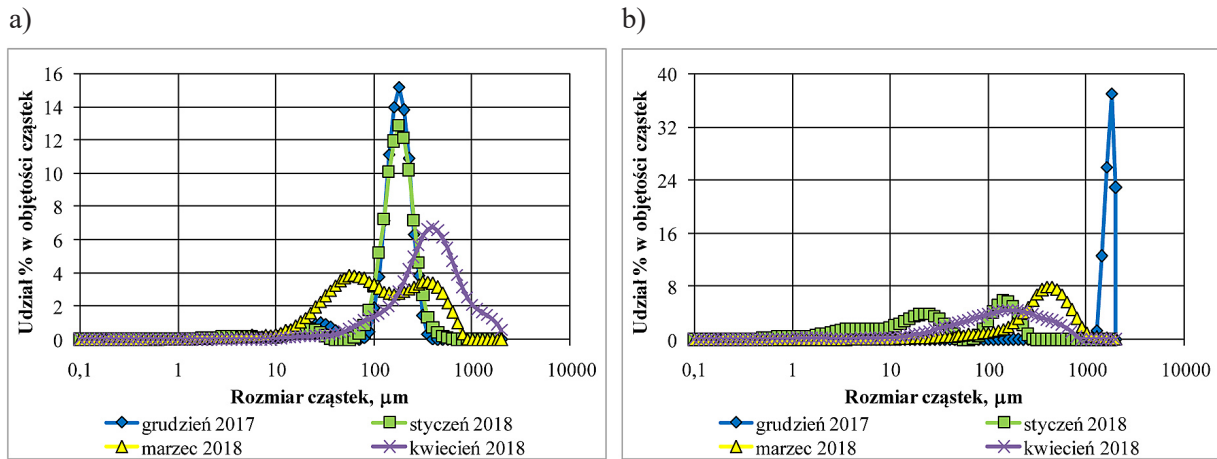
warte w tabeli 3 i na wykresach na rysunkach 3 i 5 w ujęciu ilościowym dominowały cząstki o średnicach zastępczych mniejszych od 10  $\mu\text{m}$  zarówno w próbkach pobieranych bezpośrednio, jak i w spływach z dachu. W przypadku próbki spływu z grudnia 2017 roku, wszystkie zidentyfikowane cząstki w ujęciu ilościowym posiadały średnicę większą od 1000  $\mu\text{m}$ .

Świadczy to o tym, że do wód opadowych przedostawały się w tym czasie większe ilości

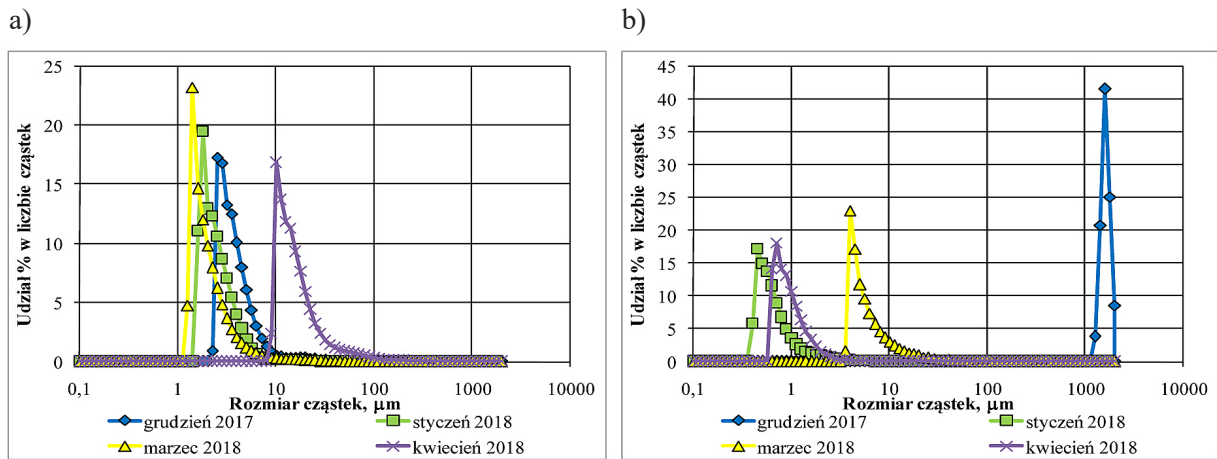
zanieczyszczeń z powierzchni dachu oraz rynny, które mogły pochodzić przede wszystkim z procesów spalania węgla.

W tabeli 4 przedstawiono wartości wybranych średnich średnic zbioru cząstek ustalonych na podstawie funkcji zmian objętości cząstek zawiesiny w próbkach wód opadowych oraz wartości optycznego wymiaru fraktalnego  $D_3$ .

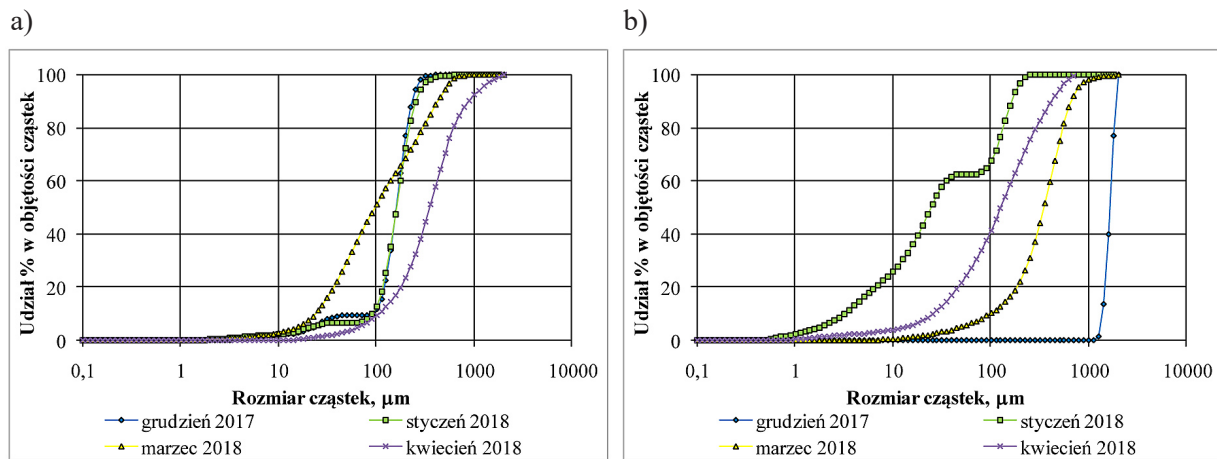
Analizując wartości średniej średnicy  $D(1,0)$  można stwierdzić, że średni wymiar wszyst-



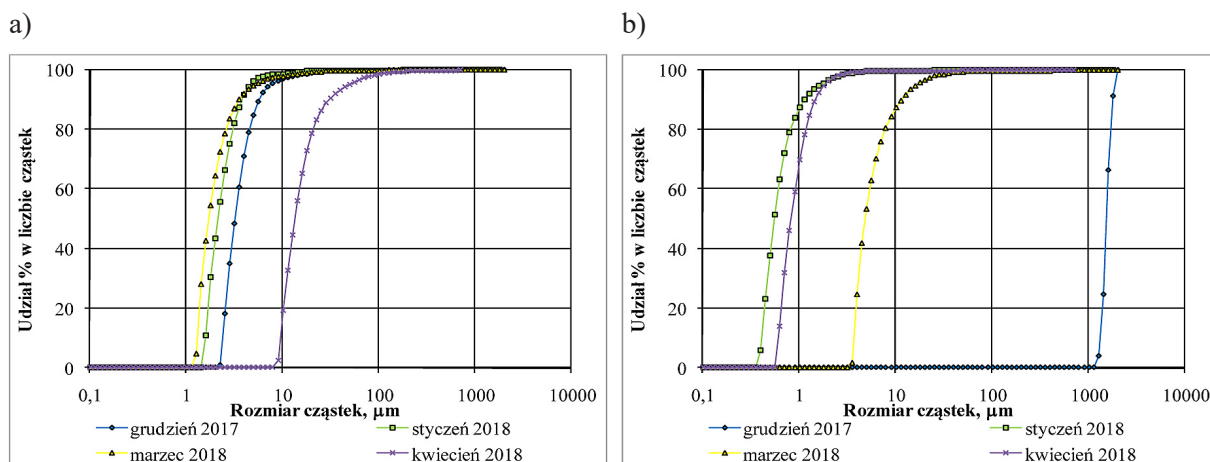
**Rys. 2.** Procentowy udział cząstek o średnicy  $d_i$  w całkowitej objętości cząstek zawiesiny  
 a) opadu bezpośredniego, b) spływów z dachu  
**Fig. 2.** Percentage share of particles of diameter  $d_i$  in the total volume of a) rainfall suspension,  
 b) roof runoffs suspension



**Rys. 3.** Procentowy udział cząstek o średnicy  $d_i$  w całkowitej ilości cząstek zawiesiny  
 a) opadu bezpośredniego, b) spływów z dachu  
**Fig. 3.** Percentage share of particles of diameter  $d_i$  in the total number of a) rainfall suspension,  
 b) roof runoffs suspension



**Rys. 4.** Dystrybuanta objętości cząstek w zawieszynie a) opadu bezpośredniego, b) spływów z dachu  
**Fig. 4.** Cumulative distribution of particles volume in a) rainfall suspension, b) roof runoffs suspension



**Rys. 5.** Dystrybuanta ilości cząstek w zawieszynie a) opadu bezpośredniego, b) spływów z dachu  
**Fig. 5.** Cumulative distribution of particles number in a) rainfall suspension, b) roof runoffs suspension

**Tabela 4.** Średnie średnice zbioru cząstek i wartości optycznego wymiaru fraktalnego  $D_3$   
**Table 4.** Mean Diameters and values of optical fractal dimension  $D_3$

Rodzaj próbki	Data analizy	D(1,0)	D(2,0)	D(3,0)	D(3,2)	D(4,3)	Wymiar fraktalny $D_3$
Opad bezpośredni	12.2017	4,09	6,43	14,54	74,30	158,39	1,83
	01.2018	1,42	2,38	7,28	68,24	186,53	1,67
	03.2018	1,17	2,29	6,03	41,74	165,29	2,10
	04.2018	19,72	32,16	58,91	197,70	435,27	2,06
Spływ z dachu	12.2017	1565,80	1576,89	1587,80	1609,86	1631,00	1,67
	01.2018	0,82	1,13	2,23	8,68	69,67	1,45
	03.2018	6,79	11,81	27,77	153,67	376,50	1,96
	04.2018	0,99	1,40	3,95	31,35	175,33	1,84

kich cząstek zawiesziny w analizowanych próbkach wód opadowych był mniejszy od 10  $\mu\text{m}$ , za wyjątkiem 2 próbek, z których szczególnie wyróżnia się próbka spływu z dachu z grudnia 2017 roku, dla której wartość tej średnicy wyniosła 1565,80  $\mu\text{m}$ . Nieco wyższe wartości przyjmowały średnie średnice D(2,0) i D(3,0), za wyjątkiem próbki spływu z grudnia 2017 roku i opadu bezpośredniego z kwietnia 2018 roku.

Największą powierzchnię czynną, a tym samym najwyższe zdolności sorpcyjne i katalityczne posiadały cząstki zawiesziny spływu z dachu pobranego w styczniu 2018 roku, przy czym główna masa cząstek koncentrowała się wokół średnicy o wartości bliskiej 70  $\mu\text{m}$  (najniższej wyliczonej średniej średnicy D(4,3) spośród wszystkich próbek). Cząstki zawiesziny w tej próbce charakteryzowały się najmniejszym wymiarem fraktalnym ( $D_3=1,45$ ), a więc luźną budową przestrzenną. Najmniejszą powierzchnię czynną, a tym samym najniższe zdolności sorpcyjne i katalityczne posiadały cząstki zawiesziny

spływu pobranego miesiąc wcześniej, w grudniu 2017 roku. W tej próbce oznaczono najwyższy wymiar średniej średnicy D(4,3), równy 1631  $\mu\text{m}$ . Najwyższy wymiar fraktalny posiadały cząstki zawiesziny w próbkach opadu bezpośredniego pobranych w marcu i kwietniu 2018 roku, odpowiednio 2,10 i 2,06. Oznacza to, że cząstki tworzące zawieszinę charakteryzowały się bardziej zwartą i rozbudowaną strukturą przestrzenną niż w przypadku pozostałych próbek, ale posiadały stosunkowo małą powierzchnię czynną, o czym świadczą wysokie wartości średniej średnicy D(3,2).

## WNIOSKI

Po przeprowadzonych badaniach można sformułować następujące wnioski:

1. Granulometr laserowy daje możliwość przeprowadzenia dokładnego badania rozkładu wielkości cząstek zawiesziny oraz pozwala poznać ich właściwości i budowę przestrzenną.

2. Największy udział procentowy w całkowitej objętości cząstek zawiesiny (około 50-90%) stanowiły cząstki o średnicach od 100  $\mu\text{m}$  do 1000  $\mu\text{m}$ , za wyjątkiem próbek spływu z dachu z grudnia 2017 r. i stycznia 2018 r. W próbce z grudnia 2017 r. wszystkie identyfikowane cząstki posiadały średnice większe od 1000  $\mu\text{m}$ , a w próbce spływu ze stycznia 2018 r. rozkład wielkości cząstek kształtował się bardzo równomiernie w przedziale od 1 do 1000  $\mu\text{m}$ .
3. W ujęciu ilościowym dominowały cząstki o średnicach zastępczych mniejszych od 10  $\mu\text{m}$  zarówno w próbkach pobieranych bezpośrednio, jak i w spływach z dachu, za wyjątkiem próbki spływu z grudnia 2017 roku, w której wszystkie identyfikowane cząstki posiadały średnicę większą od 1000  $\mu\text{m}$ .
4. Najmniejszą wartością średnicy  $D(3,2)$  i zarazem najmniejszym wymiarem fraktalnym ( $D_3=1,45$ ) charakteryzowały się cząstki zawiesin spływu z dachu pobranego w styczniu 2018 roku. Zawiesiny te charakteryzowały się luźną budową przestrzenną i największą powierzchnią czynną.
5. Wysoką wartością średnicy  $D(3,2)$  i najwyższym wymiarem fraktalnym (powyżej 2,0) charakteryzowały się cząstki zawiesin w próbkach opadu bezpośredniego pobranych w marcu i kwietniu 2018 r., co wskazuje na ich rozbudowaną strukturę przestrzenną, ale na najmniejszą powierzchnię czynną.

## BIBLIOGRAFIA

1. Burszta-Adamiak E., Łomotowski J. 2006. Odprowadzanie wód opadowych na terenach o rozproszonej zabudowie. *Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich*, 3/1, 141-153.
2. Burszta-Adamiak E., Kuśnierz M., Łomotowski J., Wiercik P. 2012. Badania składu granulometrycznego zawiesin zawartych w ściekach komunalnych i przemysłowych. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 3/III, 43-54.
3. Burszta-Adamiak E., Kuśnierz M., Domańska M., Wiercik P., Łomotowski J. 2014. Metody stosowane w badaniach zawiesin w wodach opadowych. *Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury*, z. 61 nr. 3/I., 23-32.
4. Królikowska J., Królikowski A. 2012. Wody opadowe odprowadzanie, zagospodarowanie, podzyszczenie i wykorzystanie. *Wyd. Seidel-Przywecki Sp. z o.o.*
5. Kuśnierz M., Wiercik P. 2016. Analysis of particle size and fractal dimensions of suspensions contained in raw sewage, treated sewage and activated sludge. *Archives of Environmental Protection*, 42, 67-76.
6. Łomotowski J., Burszta-Adamiak E., Kęszycka M., Jary Z. 2008. *Metody i techniki optyczne w badaniach zawiesin. Monografie Instytutu Badań Systemowych PAN*, t.58, Warszawa.
7. Malvern Instruments Ltd. 1998,1999. *Operators Guide. MAN0247. Issue 2.0. England.*
8. Wiercik P. 2011. *Badania nad oczyszczaniem popłuczyn powstających podczas płukania filtrów do odżelaziania i odmanganiania wody. Praca doktorska (Manuskrypt), Wydział Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Wrocław.*
9. Wiercik P., Domańska M., Burszta-Adamiak E., Kuśnierz M. 2014. *Możliwości wykorzystania badań składu granulometrycznego dla potrzeb technologicznych. Materiały konferencyjne XXIII Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej „Zaopatrzenie w wodę. Jakość i ochrona wód – WODA 2014”, Poznań-Toruń 2014, 921-931.*