

Ewa Szyprowska*, Halina Sawicka-Siarkiewicz**, Aleksandra Nechay*

**CHARAKTERYSTYKA OSADÓW POWSTAJACYCH W PROCESIE
OCZYSZCZANIA ŚCIEKÓW OPADOWYCH ZE ZLEWNI ULIC
MIEJSKICH AGLOMERACJI WARSZAWSKIEJ**

**CHARACTERISTICS OF SLUDGE ARISING FROM RAINWATER
TREATMENT FROM THE CATCHMENT OF WARSAW
AGGLOMERATION**

Słowa kluczowe: ulice miejskie, osady, osadniki, skład fizyczno-chemiczny osadów, substancje ropopochodne, wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne, analiza granulometryczna.

Keywords: city streets, sludge, settling, physical and chemical composition, petrochemical substances, polycyclic aromatic hydrocarbons, granulometric analysis.

Streszczenie

W wyniku procesów sedymentacji i flotacji w urządzeniach oczyszczających ścieki opadowe gromadzą się substancje ropopochodne oraz zaolejone osady. W niniejszym artykule podano wyniki badań dotyczące składu fizyczno-chemicznego i granulometrycznego osadów powstających w urządzeniach do oczyszczania ścieków opadowych odprowadzanych z ulic miejskich w Warszawie.

Summary

As a result of sedimentation and flotation processes in rainwater treatment facilities accumulate petrochemical substances and oily sludge. This paper presents the results of research on the physical and chemical composition and granulometric analysis of sludge formed in equipment for the rainwater treatment from the streets of the city of Warsaw.

* *Mgr Ewa Szyprowska, mgr inż. Aleksandra Nechay – Zakład Technologii Ścieków i Biologii Sanitarnej, Instytut Ochrony Środowiska - Państwowy Instytut Badawczy, ul. Kolektorska 4, 01-692 Warszawa; tel. 22 833 42 41 w. 62; e-mail: ewasz@ios.edu.pl*

** *Mgr inż. Halina Sawicka-Siarkiewicz – Zakład Systemów Ochrony Wód i Aprobant Technicznych, Instytut Ochrony Środowiska - Państwowy Instytut Badawczy, ul. Kolektorska 4, 01-692 Warszawa, tel.: 22 832 33 04; e-mail: halina.siarkiewicz@ios.edu.pl*

1. WPROWADZENIE

Od lat na warszawskich ulicach obserwujemy rosnące natężenie ruchu. Wzrost liczby pojazdów samochodowych oznacza zwiększenie obciążenia dróg, co prowadzi m.in. do wzrostu zanieczyszczeń środowiska. Pojazdy są źródłem zanieczyszczeń powstających w wyniku spalania benzyn, olejów napędowych, korozji pojazdów, ścierania opon, degradacji powierzchni dróg, stosowania soli, piasku do likwidacji gołoledzi. Ilość zanieczyszczeń na ulicach miejskich jest determinowana natężeniem ruchu, warunkami pogodowymi oraz warunkami utrzymania drogi. Również ciągi piesze, szczególnie w okresie zimowym (stosowanie piasku), są źródłem zanieczyszczeń. Głównymi wskaźnikami zanieczyszczeń spływów wód opadowych z ulic i jednocześnie wskaźnikami normowanymi są: zawiesiny ogólne oraz węglowodory ropopochodne [Dz. U. 2006, Nr 137, poz. 984, z późn. zmian.], a także metale ciężkie, takie jak związane z zawiesiną cynk i ołów oraz chlorki (wynik stosowania środków odładzających).

Systemy odwodnienia ulic miejskich najczęściej są wyposażone w urządzenia podczyszczające – osadniki i separatory substancji olejowych. W urządzeniach tych w wyniku procesów sedymentacji i flotacji gromadzą się zaolejone osady oraz substancje ropopochodne. W samej zawieszynie (osadach nagromadzonych w urządzeniach sedymentacyjno-flotacyjnych) znajduje się około 80–90% węglowodorów występujących w spływach opadowych z dróg. Pozostałe substancje olejowe wydzielają się na powierzchni cieczy [Sawicka-Siarkiewicz 2004, Sawicka-Siarkiewicz, Błaszczuk 2007].

Odpady te, zgodnie z rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 27 września 2001 r. w sprawie katalogu odpadów (Dz. U. Nr 112, poz. 1206) są zaliczane do niebezpiecznych.

W niniejszym artykule przedstawiono wyniki badań dotyczące składu fizyczno-chemicznego i granulometrycznego osadów (odpadów) powstających w urządzeniach do oczyszczania ścieków opadowych odprowadzanych z ulic zlokalizowanych na terenie aglomeracji warszawskiej. Badania wykonano w IOŚ-PIB w latach 2010-2011 [Szyprowska, Nechay 2010; Szyprowska, Sawicka-Siarkiewicz 2011]. Natomiast wcześniej, w roku 2009, podobną analizą objęto osady powstające w urządzeniach podczyszczających ścieki opadowe odprowadzane z terenów stacji benzynowych [Szyprowska, Nechay 2011].

Wyniki badań prowadzonych na różnego rodzaju zlewniach systemów odwodnienia powierzchni szczelnych są niezbędne do określenia kierunku utylizacji i zagospodarowania powstających odpadów w urządzeniach podczyszczających. Istniejące obecnie sposoby utylizacji nie pokrywają wciąż rosnących potrzeb w tym zakresie.

2. OBIEKTY BADAŃ

Przedmiotem badań IOŚ – PIB w latach 2010–2011 były osady gromadzone w urządzeniach podczyszczających ścieki opadowe pochodzące z odwodnienia następujących ulic w Warszawie: ulicy Wał Miedzeszyński (badania w 2010 r.), Trasy Siekierkowskiej (badania 2010 r.) oraz ulicy Rosoła (badania 2011 r.).

Spływy opadowe z badanych odcinków poszczególnych ulic kierowane są poprzez wpusty deszczowe do sieci kanalizacyjnej, a następnie do separatorów substancji olejowych zintegrowanych z osadnikiem, skąd następuje odpływ do odbiornika.

Ulica Wał Miedzeszyński – stanowisko badań nr 1. Stanowisko badań nr 1 jest zlokalizowane przy ulicy Wał Miedzeszyński w rejonie ulicy Skalnicowej. Ulica ta na tym odcinku ma 2 jezdnie po 2 pasy ruchu. Średnie dobowe natężenie ruchu – SDR, określone na podstawie pomiarów APR-ZDM w 2009 r., wynosiło 25 000 pojazdów na dobę.

Otoczenie ulicy charakteryzuje niska zabudowa jednorodzinna oraz tereny zielone.

Spływy opadowe z ulicy są odprowadzane wpustami deszczowymi do kanalizacji deszczowej z odprowadzeniem do układu podczyszczającego, w skład którego wchodzi komora przelewowa (rozdziálu ścieków), kierująca do separatora dopływ wymagający oczyszczania, a nadmiar, poprzez przelew burzowy bezpośrednio do odbiornika, którym jest Rów Miedzeszyński z ujściem do rzeki Wisły.

Urządzenie podczyszczające stanowi separator koalescencyjny substancji ropopochodnych, zintegrowany z osadnikiem firmy HAURATON Polska typu AQUIFIX-SKG, o przepustowości nominalnej $Q_n = 25$ l/s. Zbiornik separatora ma kształt leżącego walca o średnicy 1600 mm, długości 4050 mm, przy czym długość komory osadowej wynosi 1860 mm.

Długość odcinka ulicy odwadnianego do danego układu oczyszczania wynosi 650 m, obliczeniowa ilość ścieków opadowych odprowadzanych do separatora – 22 l/s, odpływ obliczeniowy (maksymalny) odprowadzany z danej zlewni do odbiornika – około 230 l/s (dane według projektu). Obciążenie hydrauliczne powierzchni komory osadowej w separatorze przy przepływie nominalnym jest rzędu $32 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$.

Próbki osadu pobrano w kwietniu 2010 r. z komory osadowej. Ostatnie czyszczenie separatora przed pobraniem próbek do badań miało miejsce w grudniu 2009 r. Stan techniczny urządzeń podczyszczających był zadowalający.

Ulica Wał Miedzeszyński – stanowisko badań nr 2. Stanowisko badań nr 2 jest zlokalizowane przy ulicy Wał Miedzeszyński w rejonie ulicy Chodzierskiej. Ulica na badanym odcinku ma 2 jezdnie po 2 pasy ruchu. Średnie dobowe natężenie ruchu (SDR) określone na podstawie pomiarów w 2009 r., wynosiło 25 000 pojazdów na dobę.

Ulica ta biegnie w terenie zabudowy niskiej jednorodzinnej oraz w rejonie terenów zielonych. Odwadniana jest wpustami deszczowymi do kanalizacji deszczowej z odprowadzeniem ścieków opadowych do układu podczyszczającego, w skład którego wchodzi komora przelewowa (rozdziálu ścieków) kierująca dopływ wymagający oczyszczania do

separatora, a jego nadmiar, poprzez przelew burzowy, bezpośrednio do odbiornika. Odbiornikiem ścieków opadowych jest Rów Miedzeszyński, z ujściem do rzeki Wisły.

Urządzenie podczyszczające stanowi separator koalescencyjny substancji ropopochodnych zintegrowany z osadnikiem firmy HAURATON Polska, typu AQUFIX-SKG. Przepustowość nominalna separatora $Q_n = 45$ l/s. Zbiornik separatora ma kształt leżącego walca, o średnicy 2000 mm, długość zbiornika wynosi 4650 mm, w tym długość komory osadowej – 2070 mm.

Odległość odwadnianego odcinka ulicy do danego układu oczyszczania wynosi 900 m, obliczeniowa ilość ścieków opadowych odprowadzanych do separatora – 37 l/s, a odpływ obliczeniowy (maksymalny) z danej zlewni wynosi około 495 l/s (dane zgodne z projektem). Obciążenie hydrauliczne powierzchni komory osadowej przy przepływie nominalnym wynosi $40 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$. Stan techniczny separatora – zadowalający.

Próbki osadu pobrano w kwietniu 2010 r., z komory osadowej. Warstwa osadu w czasie poboru próbki wynosiła 15 cm, a ostatnie czyszczenie miało miejsce w grudniu 2009 r.

Trasa Siekierkowska – stanowisko badań nr 3. Stanowisko badań nr 3 zlokalizowane jest przy Trasie Siekierkowskiej w lewobrzeżnej części miasta. Trasę Siekierkowską charakteryzują 2 jezdnie po 3 pasy ruchu, a średnie dobowe natężenie ruchu (SDR), określone na podstawie pomiarów APR-ZDM w 2009 r., wynosiło 100 000 pojazdów/d.

Trasa Siekierkowska biegnie na analizowanym odcinku w terenie zurbanizowanym. Na system odwodnienia składają się wpusty deszczowe (studzienki z osadnikiem) oraz kanalizacja deszczowa z odprowadzeniem ścieków opadowych do układu podczyszczającego – separatora lamelowego zintegrowanego z piaskownikiem SuperPek NS 30 firmy Oy-Labko (obecnie firma Wavin - Buk) o przepustowości nominalnej 30 l/s, maksymalnej (podawanej przez producenta) – 300 l/s. Separator ten o średnicy 2200 mm ma długość 5,5 m.

Długość odcinka, który jest odwadniany do stanowiska badań wynosi około 400 m, a obliczeniowa ilość ścieków opadowych odprowadzanych do separatora $Q_n = 22$ l/s (obliczona dla 15 (l/s)/ha, maksymalny obliczeniowy dopływ ścieków Q_{max} wynosi około 190 l/s (zgodnie z danymi projektowymi).

Obciążenie hydrauliczne komory osadnika przy przepływie nominalnym ścieków opadowych wynosi około $16,9 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$.

Odbiornikiem ścieków opadowych jest Łacha Siekierkowska w zlewni rzeki Wisły przez zbiornik osadowo-retencyjny.

Ostatnie czyszczenie separatora odbyło się w grudniu 2009 r. Stan techniczny urządzenia – średni.

Próbki osadu, którego grubość warstwy wynosiła 30 cm, pobrano z komory osadowej w kwietniu 2010 r.

Ulica Rosoła – stanowiska badań nr 4, 5, 6, 7, 8. Stanowiska poboru próbek są zlokalizowane wzdłuż ulicy Rosoła na odcinku o długości około 470 m od ulicy Ciszewskiego do ulicy Gandhi.

Ulicę Rosoła charakteryzują 2 jezdnie po 2 pasy ruchu, a określone na podstawie pomiarów APR – ZDM w 2010 r. średnie dobowe natężenie ruchu wynosiło 50 000 pojazdów/d.

Ulica biegnie w terenie zurbanizowanym, który charakteryzuje wysoka zabudowa wielorodzinna, objekty usługowe oraz przystanki autobusowe.

Spływy opadowe z ulicy są odprowadzane do kanalizacji miejskiej poprzez wpusty deszczowe i urządzenia podczyszczające – separatory AWAS SBK NG 15, o przepustowości nominalnej 15 l/s i pojemności komory osadnika 4830 l.

Separator wykonano w zbiorniku o średnicy 2 m, z przegrodą wewnętrzną. Urządzenia są na każdym stanowisku badań zlokalizowane w pasie dzielącym jezdnie (teren zieleni).

Obciążenie hydrauliczne komory osadnika dotyczące przepływu nominalnego wynosi około $27 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$.

Ostatnie czyszczenie separatorów miało miejsce w 2010 r., stan techniczny urządzeń oceniony w czasie poboru próbek – średni.

Próbki osadu pobierano w nocy z 9/10 maja 2011 na następujących pięciu stanowiskach.

- *Stanowisko badań nr 4.* Stanowisko to jest zlokalizowane przy ul. Rosoła, w rejonie ul. Ciszewskiego. Warstwa osadu w czasie poboru próbek – 10 cm.

- *Stanowisko badań nr 5.* Lokalizacja w pasie zieleni w odległości około 70 m od stanowiska nr 4. W czasie poboru próbki stwierdzono około 20-centymetrową warstwę osadu.

- *Stanowisko badań nr 6.* Lokalizacja stanowiska badań nr 6 w odległości około 50–70 m od stanowiska nr 5, naprzeciwko stacji paliw. Warstwa osadu w czasie poboru próbki miała grubość około 20 cm.

- *Stanowisko badań nr 7.* Lokalizacja w pasie zieleni dzielącej jezdnie ulicy Rosoła, w odległości około 50–70 m od stanowiska 6. Warstwa osadu w czasie poboru próbek miała grubość około 20–30 cm.

- *Stanowisko badań nr 8.* Lokalizacja stanowiska nr 8 w środku jezdni ulicy Rosoła róg Gandhi. Na stanowisku nr 8 próbki osadu pobrano z komory osadnika oraz z komory separatora. W komorze osadnika warstwa osadu miała grubość około 60 cm, w części separatora koalescencyjnego warstwa osadu była niewielka.

Wyniki wymienionych badań przedstawiono w tabelach od 1 do 3 i na rysunkach 5 i 6.

3. METODY BADAŃ

W badanych osadach gromadzonych w urządzeniach podczyszczających ścieki opadowe oznaczono pH, suchą masę i pozostałość po prażeniu. Skład substancji ropopochodnych ograniczono do oznaczenia ogólnej ilości węglowodorów, z której wyodrębniono 13 związków wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA). Ponadto oznaczono zawartość cynku i ołowiu oraz chlorki.

Badania fizyczno-chemiczne pobranych próbek osadów wykonano następującymi metodami określonymi w Polskich Normach oraz metodami akredytowanymi w laboratorium Instytutu Ochrony Środowiska - Państwowego Instytutu Badawczego:

- wartość pH – metodą elektrometryczną (PN-EN 12176:2004),
- suchą masę – metodą wagową (PN-EN 14346:2011),
- stratę po prażeniu – metodą wagową (PN-EN 15169:2011+Ap1:2012),
- pozostałość po prażeniu – metodą wagową (PN-EN 15169:2011+Ap1:2012),
- węglowodory (to głównie związki niepolarne o długim łańcuchu lub rozgałęzione alifatyczne alicykliczne wielopierścieniowe lub alkilowo podstawione węglowodory aromatyczne) – metodą grawimetryczną (PN-EN-14345:2008),
- WWA – wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne – metodą HPCL (BL-PB-14),
- cynk – po mineralizacji – metodą ICP-AES (BL-PB-11),
- ołów – po mineralizacji – metodą ICP-AES (BL-PB-11),
- chlorki – metodą miareczkową azotanem srebra w obecności chromianu jako wskaźnika (Metoda Mohra) (PN-ISO 9297:1994).

Analizę granulometryczną piasku wykonano metodą sitową (BN-65/6728-01).

Wyniki badań podano w tabelach 1, 2 i 3, a skład poszczególnych związków chemicznych wchodzących w skład WWA – w tabeli 4.

4. WYNIKI BADAŃ

4.1. Wyniki badań fizyczno-chemicznych próbek osadów ze stanowisk badawczych nr 1, 2 i 3 (Wał Miedzeszyński, Trasa Siekierkowska)

W tabeli 1 przedstawiono wyniki badań fizyczno-chemicznych osadów pobranych z komory osadników zintegrowanych z separatorem koalescencyjnym, zlokalizowanych w systemie odwodnienia ulicy Wał Miedzeszyński (stanowisko nr 1 i nr 2) oraz Trasy Siekierkowskiej (stanowisko nr 3).

Osady pobrane z komory osadników charakteryzowała zawartość suchej masy od 20,0 do 45,0% , przy czym zawartość pozostałości po prażeniu (substancje mineralne) wynosiła 73,1–79,5% s.m. Zawartość węglowodorów ropopochodnych zmieniała się od 3,2 do 5,3% s.m.

Suma wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) w badanym osadzie wynosiła 31,6–37,7 mg/kg s.m. Oznaczono również cynk i ołów, których zawartość wynosiła:

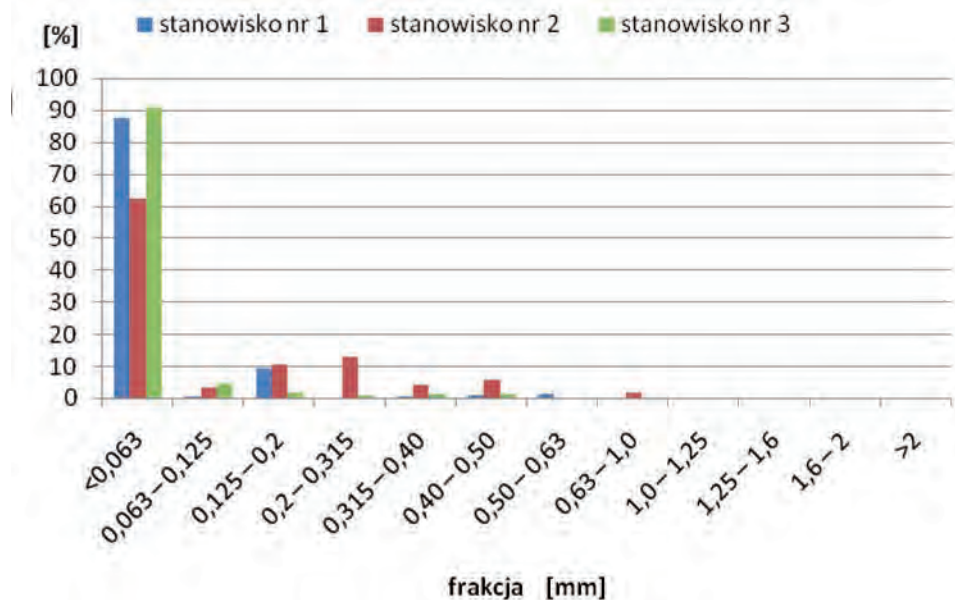
- 640,7 do 1142 mg Zn/kg s. m.,
- 58,8 do 116,4 mg Pb/kg s.m.

Ilość chlorków wynosiła 4,15 – 6,1% s.m.

Tabela 1. Fizyczno-chemiczne wyniki badań osadów pobranych z urządzeń do oczyszczania ścieków opadowych odprowadzanych ze zlewni ulicy Wał Miedzeszyński i Trasa Siekierkowska – stanowisko badań nr 1, 2 i 3

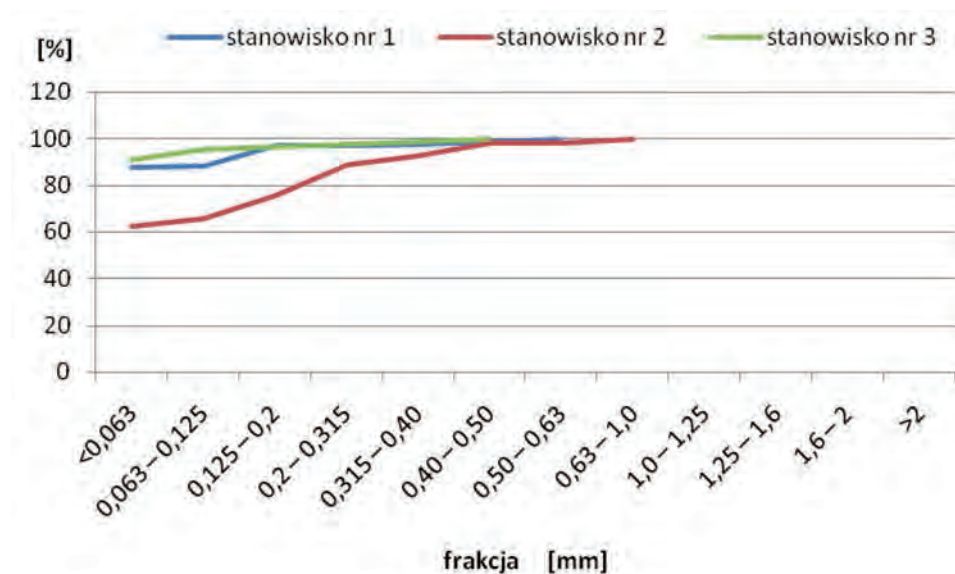
Table 1. Physical and chemical studies of sediment collected from the rainwater treatment facilities discharged from the catchment rainfall Miedzeszynski Street, Route Siekierkowska – research position 1, 2 and 3

Parametry badań		Jednostka	Wał Miedzeszyński		Trasa Siekierkowska
			stanowisko		
			nr 1	nr 2	nr 3
Wartość pH		‰	7,7	6,9	7,0
Sucha masa		%	20,0	33,7	45,0
Pozostałość po prażeniu		% s.m.	73,1	77,0	79,5
Strata po prażeniu		% s.m.	26,9	23,0	20,5
Węglowodory ropopochodne		% s.m.	5,3	3,4	3,2
WWA		mg/kg s.m.	–	37,7	31,6
Metale:					
● cynk		mg Zn/kg s.m.	–	640,7	1142
● ołów		mg Pb/kg s.m.	–	58,8	116,4
Chlorki		% s.m.	4,15	4,9	6,1
Średnica frakcji w osadach w mm	<0,063	%	87,6	62,2	90,9
	0,063 – 0,125		0,5	3,2	4,3
	0,125 – 0,2		9,1	10,3	1,6
	0,2 – 0,315		–	13,0	0,8
	0,315 – 0,40		0,6	3,9	1,2
	0,40 – 0,50		1,0	5,7	1,2
	0,50 – 0,63		1,1	–	–
	0,63 – 1,0		–	1,7	–
	1,0 – 1,25		–	–	–
	1,25 – 1,6		–	–	–
	1,6 – 2		–	–	–
	>2		–	–	–



Rys. 1. Udział procentowy poszczególnych frakcji w składzie granulometrycznym osadu ze stanowisk nr 1, nr 2 i nr 3

Fig. 1. The percentage of each fraction in the granulometric composition of the sediment from stations 1, 2 and 3



Rys. 2. Krzywa sumacji analizy sitowej osadu ze stanowisk nr 1, nr 2 i nr 3

Fig. 2. The curve of aggregation of sieve analysis of sediments from stations 1, 2 and 3

4.2. Wyniki badań fizyczno-chemicznych próbek osadów ze stanowisk badawczych nr 4 – nr 7 (ulica Rosoła)

Wyniki badań osadów pobranych z komory osadnika separatora na stanowiskach od nr 4 do nr 7 zestawiono w tabeli 2. Osady te charakteryzowała zawartość suchej masy od 38,5 do 69,1%, przy czym zawartość pozostałości po prażeniu (substancje mineralne) stanowiły 81,3 – 94,9% s.m.

Zawartość węglowodorów ropopochodnych wynosiła od 0,4 do 1,45% s.m., suma wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) w badanym osadzie – od 2,9 do 30,6 mg/kg s.m. Oznaczono również cynk i ołów, których zawartość wynosiła:

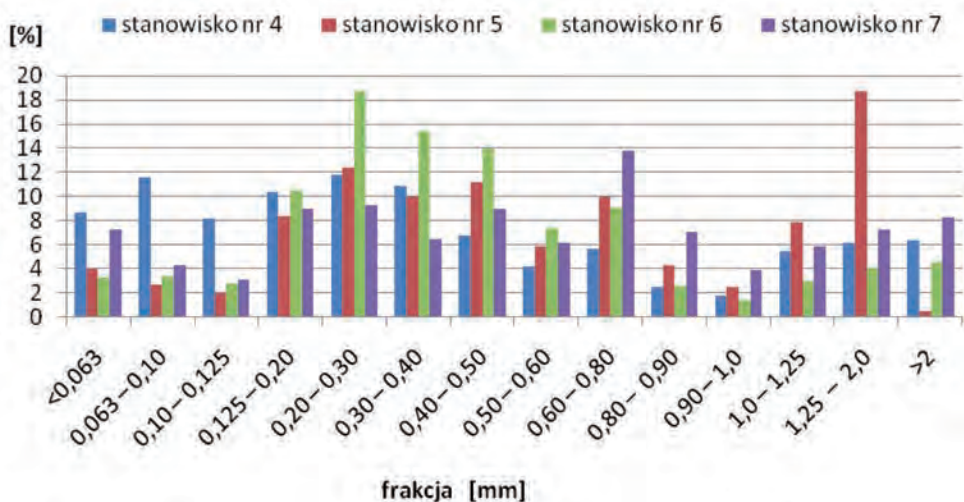
- 260,8 do 857,8 mg Zn/kg s.m.,
- 20,6 do 75,3 mg Pb/kg s.m.

Ilość chlorków w badanych osadach wynosiła od 0,39 do 1,63% s.m.

Tabela 2. Fizyczno-chemiczne wyniki badań osadów pobranych z urządzeń do oczyszczania ścieków opadowych odprowadzanych ze zlewni ulicy Rosoła – stanowiska badań od nr 4 do nr 7

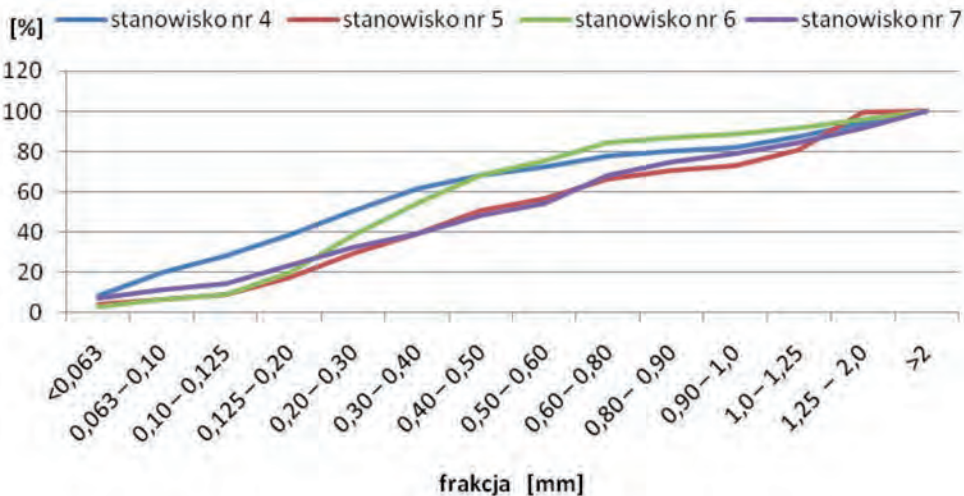
Table 2. Physical and chemical studies of sediment collected from the rainwater treatment facilities discharged from the catchment rainfall Rosoła Street – research position from 4 to 7

Parametry badań		Jednostki	Ulica Rosoła			
			stanowisko			
			nr 4	nr 5	nr 6	nr 7
Wartość pH		–	7,1	6,9	7,0	7,0
Sucha masa		%	38,5	69,1	44,4	38,8
Pozostałość po prażeniu		% s.m.	83,8	94,9	85,9	81,3
Strata po prażeniu		% s.m.	16,2	5,1	14,1	18,7
Węglowodory ropopochodne		% s.m.	1,45	0,73	0,4	1,25
WWA		mg/kg s.m.	22,41	12,4	2,9	30,5
Metale:						
• cynk		mg Pb/kg s.m.	75,3	53,4	20,6	61,7
• ołów		mg Zn/kg s.m.	857,8	723,6	260,3	767,9
Chlorki		% s.m.	0,44	0,39	0,82	1,63
Średnica frakcji w osadach w mm	<0,063	%	8,6	4,0	3,3	7,2
	0,063 – 0,10		11,6	2,7	3,4	4,3
	0,10 – 0,125		8,1	2,0	2,8	3,1
	0,125 – 0,20		10,4	8,3	10,5	8,9
	0,20 – 0,30		11,8	12,4	18,7	9,2
	0,30 – 0,40		10,9	9,9	15,4	6,4
	0,40 – 0,50		6,7	11,2	14,0	8,9
	0,50 – 0,60		4,2	5,8	7,3	6,1
	0,60 – 0,80		5,6	9,9	9,0	13,8
	0,80 – 0,90		2,5	4,3	2,6	7,0
	0,90 – 1,0		1,8	2,5	1,4	3,9
	1,0 – 1,25		5,4	7,8	3,0	5,8
	1,25 – 2,0		6,1	18,7	4,1	7,2
>2	6,3	0,5	4,5	8,2		



Rys. 3. Udział procentowy poszczególnych frakcji w składzie granulometrycznym osadu ze stanowisk od nr 4 do nr 7

Fig. 3. The percentage of each fraction in the granulometric composition of the sediment from stations 4 to 7



Rys. 4. Krzywa sumacji analizy sitowej osadu ze stanowisk od nr 4 do nr 7

Fig. 4. The curve of aggregation of sieve analysis of sediments from stations 4 to 7

4.3. Wyniki badań fizyczno-chemicznych próbek osadów ze stanowiska badawczego nr 8 (ulica Rosoła)

W tabeli 3 przedstawiono wyniki badań fizyczno-chemicznych próbek osadów pobranych ze stanowiska nr 8, w tym z komory osadnika oraz z komory separatora koalescencyjnego.

W próbce pobranej z komory osadnika zawartość pozostałości po prażeniu wynosiła 97,1% s.m., a zawartość węglowodorów ropopochodnych – 0,22 % s.m., przy czym zawartość WWA była na poziomie 3,7 mg/kg s.m. Ilość metali ciężkich, takich jak cynk i ołów, wynosiła odpowiednio:

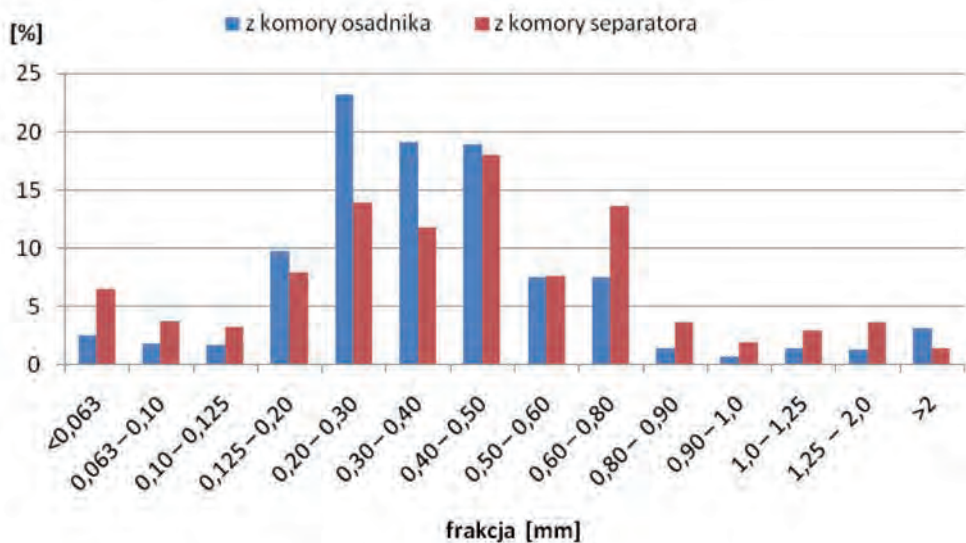
- 142,6 mg Zn/kg s.m.,
- 16,5 mg Pb/kg s.m.

Ilość chlorków wynosiła 0,23% s.m.

Tabela 3. Fizyczno-chemiczne wyniki badań osadów pobranych z urządzenia do oczyszczania ścieków opadowych odprowadzanych ze zlewni ulicy Rosoła – stanowisko badań nr 8

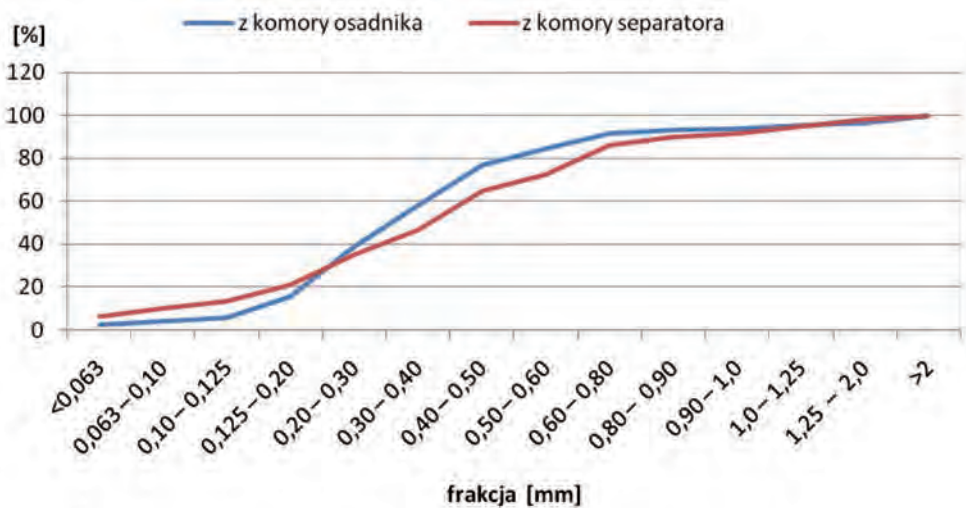
Table 3. Physical and chemical studies of sediment collected from the rainwater treatment facilities discharged from the catchment rainfall Rosoła Street – research position 8

Parametry badań	Jednostka	Ulica Rosoła stanowisko nr 8		
		komora osadnika	komora separatora	
Wartość pH	–	7,3	7,1	
Sucha masa	%	76,4	39,9	
Pozostałość po prażeniu	% s.m.	97,1	85,5	
Strata po prażeniu	% s.m.	2,9	14,5	
Węglowodory ropopochodne	% s.m.	0,22	1,23	
WWA	mg/kg s.m.	3,7	13,2	
Metale:				
• cynk	mg Pb/kg s.m.	16,5	50,6	
• ołów	mg Zn/kg s.m.	142,6	647,8	
Chlorki	% s.m.	0,23	1,44	
Średnica frakcji w osadach w mm:	<0,063		2,5	6,5
	0,063 – 0,10		1,8	3,8
	0,10 – 0,125		1,7	3,3
	0,125 – 0,20		9,8	7,9
	0,20 – 0,30		23,2	13,9
	0,30 – 0,40		19,1	11,8
	0,40 – 0,50		18,9	18,0
	0,50 – 0,60		7,5	7,6
	0,60 – 0,80		7,5	13,6
	0,80 – 0,90		1,4	3,7
	0,90 – 1,0		0,7	1,9
	1,0 – 1,25		1,4	2,9
	1,25 – 2,0		1,3	3,7
>2		3,2	1,4	



Rys. 5. Udział procentowy poszczególnych frakcji w składzie granulometrycznym osadu ze stanowiska nr 8

Fig. 5. The percentage of each fraction in the granulometric composition of the sediment from station 8



Rys. 6. Krzywa sumacji analizy sitowej osadu ze stanowiska nr 8

Fig. 6. The curve of aggregation of sieve analysis of sediments from station 8

W próbce pobranej z komory separatora zawartość pozostałości po prażeniu wynosiła 85,5% s.m., zawartość węglowodorów ropopochodnych – 1,23% s.m., przy czym zawartość WWA była na poziomie 13,2 mg/kg s.m. Ilość metali ciężkich wynosiła:

- 647,8 mg Zn/kg s.m.,
- 50,6 mg Pb/kg s.m.

Zawartość chlorków stanowiła 1,44% s.m.

W tabeli 4 przedstawiono związki chemiczne wchodzące w skład WWA, oznaczone w osadach pobranych na poszczególnych stanowiskach badań (od nr 1 do nr 8).

Tabela 4. Zawartość związków wchodzących w skład wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) oznaczonych w osadach – stanowiska badań nr 1– nr 8

Table 4. The content of compounds comprising in polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) found in sediments – the position of research 1–8

Związki wchodzące w skład WWA	Stanowisko								
	nr 1	nr 2	nr 3	nr 4	nr 5	nr 6	nr 7	nr 8	
								komora osadnika	komora separatora
mg/kg s.m.									
Fluoren	–	0,60	0,30	1,406	0,411	0,041	3,129	0,141	0,469
Fenantren	–	5,35	4,87	1,362	0,813	0,193	4,359	0,407	0,909
Antracen	–	0,37	0,35	0,411	0,184	0,054	3,602	0,108	0,197
Fluoranten	–	6,64	6,03	5,461	3,123	0,639	7,311	0,844	3,378
Piren	–	5,88	4,90	5,070	3,156	0,580	5,397	0,719	3,139
Benzo(a)antracen	–	3,39	2,58	1,161	0,542	0,140	0,917	0,175	0,612
Chryzen	–	3,17	2,86	1,016	0,524	0,163	0,737	0,163	0,620
Benzo(b)fluoranten	–	3,74	2,74	1,711	0,924	0,243	1,209	0,245	0,931
Benzo(k)fluoranten	–	1,41	1,15	0,889	0,464	0,135	0,592	0,150	0,513
Benzo(a)piren	–	1,73	1,46	1,297	0,739	0,237	1,002	0,250	0,818
Dibenzo(a,h)antracen	–	0,62	0,42	0,063	0,025	0,027	0,328	0,021	0,040
Benzo(g,h,i)perylene	–	2,67	2,13	1,361	0,839	0,231	1,129	0,233	0,882
Indeno(1,2,3-cd)piren	–	2,12	1,76	1,200	0,665	0,215	0,813	0,225	0,678
Suma WWA	–	37,69	31,55	22,408	12,409	2,898	30,525	3,681	13,186

4.4. Wyniki badań analizy granulometrycznej próbek osadów ze stanowisk badawczych nr 1 – nr 8

Analizę granulometryczną osadów pobranych z poszczególnych urządzeń na badanych stanowiskach wykonano po wymyciu chlorków, odtłuszczeniu eterem naftowym i wysuszeniu osadów w 105°C. Do badań granulometrycznych osadu zastosowano sита o średnicy oczek od 0,063 mm do 2 mm.

Wyniki analizy granulometrycznej próbek ze stanowisk nr 1, 2 i 3 przedstawiono w tabeli 1 oraz na rysunkach 1 i 2. Największy udział miały cząstki o średnicy < 0,063 mm i stanowiły one od 87,6 do 90,9%.

Wyniki analizy granulometrycznej próbek ze stanowisk od nr 4 do nr 7 przedstawiono w tabeli 2 oraz na rysunkach 3 i 4. Zawartość poszczególnych frakcji była zróżnicowana procentowo i wynosiła od 1,4 do 18,7%.

Wyniki analizy granulometrycznej osadu pobranego ze stanowiska nr 8 z komory osadnika i z komory separatora przedstawiono w tabeli 3 oraz na rysunkach 5 i 6. Analiza granulometryczna dla próbki ze stanowiska nr 8 z komory osadnika wykazała, że największy udział (23,2%) miały cząstki o średnicy 0,20 mm, a najmniejszy (0,7%) frakcja 0,9 mm. W próbce pobranej z komory separatora na stanowisku nr 8 największy udział miały cząstki o średnicy 0,40 mm (18,0%), a najmniejszy udział (1,4%) stanowiła frakcja >2 mm.

Udział procentowy poszczególnych frakcji przedstawiają krzywe sumacji na rysunkach 2, 4 i 6, odpowiednio dla stanowisk badań od nr 1 do nr 8.

W osadach ze spływów opadowych odprowadzanych z ulicy Wał Miedzeszyński i Trasy Siekierkowskiej występują frakcje wyłącznie poniżej 0,63 mm ze znaczną przewagą frakcji mniejszej niż 0,063 mm (od 62,2 do 90,9 %), natomiast osad w spływach opadowych z ulicy Rosoła zawiera wszystkie oznaczane frakcje (od > 2 mm do < 0,063 mm), bez wyraźnej dominacji jednej frakcji.

5. WNIOSKI

Wyniki przeprowadzonych badań osadów pobranych z urządzeń podczyszczających ścieki opadowe odprowadzane ze zlewni ulic miejskich w Warszawie wykazały zróżnicowany poziom stężeń zanieczyszczeń w badanych osadach.

Głównym składnikiem osadów są substancje mineralne, których zawartość wynosi od 73,1 do 97,1% s.m. Substancje organiczne stanowią w składzie osadów od 2,9% s.m. do 26,9% s.m., w tym węglowodory od 0,22% s.m. do 5,3% s.m. Zawartość wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) w węglowodorach wynosi od 2,9 mg/kg s.m. do 37,7 mg/kg s.m.

Przedstawione dane potwierdzają, że badane osady stanowią wynik sedymentacji zawieszin zawartych w ściekach opadowych i związanych z nimi substancji olejowych.

Przeprowadzone badania wykazały istotne różnice w składzie granulometrycznym osadów pobranych z urządzeń podczyszczających ścieki opadowe zlokalizowanych przy ulicach Wał Miedzeszyński i Trasa Siekierkowska, a osadów z urządzeń przy ul. Rosoła. Analiza czynników determinujących skład osadów (np. natężenie ruchu, stan nawierzchni ulic, zagospodarowanie terenu, skuteczność działania urządzeń podczyszczających) nie pozwala na określenie przyczyn zaobserwowanych różnic w wynikach analizy granulometrycznej.

Utylizowanie odpadów powstających w wyniku podczyszczania ścieków opadowych odprowadzanych z dróg, powinno przede wszystkim dotyczyć utylizacji osadów zaolejonych.

PIŚMIENNICTWO I AKTY PRAWNE

- BN-65/6728-01 Analiza granulometryczna piasku.
- PN-EN 12176:2004 Charakterystyka osadów ściekowych. Oznaczanie wartości pH.
- PN-EN 14345:2008 Charakteryzowanie odpadów. Oznaczanie zawartości węglowodorów metodą grawimetryczną.
- PN-EN 14346:2011 Charakteryzowanie odpadów. Obliczanie suchej masy na podstawie oznaczania suchej pozostałości lub zawartości wody.
- PN-EN 15169:2011+Ap1:2012 Charakteryzowanie odpadów. Oznaczanie straty przy prażenia odpadów, szlamów i osadów.
- PN-ISO 9297:1994 Jakość wody. Oznaczanie chlorków. Metoda miareczkowa azotanem srebra w obecności chromianu jako wskaźnika (Metoda Mohra).
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 r. w sprawie warunków, jakie należy spełniać przy wprowadzaniu ścieków do wód lub ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego** (Dz. U. 2006, nr 137, poz. 984 z późn. zm.; Dz. U. 2009, nr 27, poz. 169).
- SAWICKA-SIARKIEWICZ H. 2004. Ograniczanie zanieczyszczeń w spływach powierzchniowych z dróg. Ocena technologii i zasady wyboru. IOŚ. Warszawa.
- SAWICKA-SIARKIEWICZ H., BŁASZCZYK P. 2007. Urządzenia kanalizacyjne na terenach zurbanizowanych. Wymagania techniczne i ekologiczne. IOŚ. Warszawa.
- SZYPROWSKA E., NECHAY A. 2010. Badanie osadów powstających w procesie oczyszczania ścieków opadowych – Etap II. Maszyniopsis. IOŚ-PIB Warszawa.
- SZYPROWSKA E., SAWICKA-SIARKIEWICZ H. 2011. Badanie osadów powstających w procesie oczyszczania ścieków opadowych – Etap III. Maszyniopsis. IOŚ-PIB Warszawa.
- SZYPROWSKA E., NECHAY A. 2011. Charakterystyka osadów powstających w procesie oczyszczania ścieków opadowych ze zlewni stacji benzynowych aglomeracji warszawskiej. IOŚ-PIB. Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych nr 50: 33–42 Warszawa.