

Jakość osadów pochodzących z kanalizacji deszczowej oraz klasyfikacja osadów zdeponowanych w odbiornikach ścieków deszczowych na terenie zurbanizowanym – przegląd literatury

Mgr inż. Nicole Nawrot, dr hab. inż. Ewa Wojciechowska
Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska

Na terenach zurbanizowanych (miejskich i przemysłowych) system kanalizacyjny wyposażony jest w podstawowe elementy do podczyszczania ścieków deszczowych i separacji zanieczyszczeń [24]. Te elementy infrastruktury kanalizacyjnej to najczęściej osadniki wpustów deszczowych, a także separatory substancji ropopochodnych – w rejonach narażonych na przedostanie się tych substancji do środowiska (stacje benzynowe, parkingi, ruchliwe arterie komunikacyjne). Osady odkładają się również w sieci kanałów deszczowych, ale podczas nawalnych opadów czy intensywnych roztopów następuje ich samoistne oczyszczanie, gdyż pracują wówczas przy znacznym napełnieniu lub wręcz pełnym przekrojem (pod ciśnieniem) [13]. Odbiornikami ścieków pochodzących z systemu kanalizacji deszczowej są najczęściej potoki i rzeki na terenach miast oraz zbiorniki wodne – naturalne lub sztuczne. Zbiorniki retencyjne często są elementem towarzyszącym potokom. W Gdańsku i Radomiu pełnią funkcję przede wszystkim przeciwpowodziową [9, 10], natomiast w Kielcach rekreacyjną i małą retencję [11]. Do zbiorników wodnych (także retencyjnych) trafia bezpośredni spływ powierzchniowy z terenu zlewni oraz odpływ z systemu kanalizacji deszczowej – bezpośrednio lub pośrednio z wodami potoków. Elementem najczęściej analizowanym i kontrolowanym w procesie określenia szkodliwego wpływu na środowisko są stężenia zanieczyszczeń w ściekach deszczowych, dla których określono wartości dopuszczalne, stanowiące o możliwości odprowadzenia wód deszczowych do odbiornika – gruntowego lub wodnego [19]. Zanieczyszczenia ścieków deszczowych pochodzą przede wszystkim z produktów spalania paliw, pyłów atmosferycznych, ruchu ulicznego oraz w mniejszym stopniu na terenach miejskich ze stosowania nawozów sztucznych i środków ochrony roślin [13]. Z punktu widzenia ilościowej i jakościowej oceny osadów sedimentujących w obiektach kanalizacji deszczowej najważniejsza jest zawiesina zawarta w ściekach deszczowych. W ściekach deszczowych pochodzących z terenów zlewni zurbanizowanej dominuje zawiesina mineralna nad organiczną. Charakterystyka ścieków deszczowych w istotnym stopniu przekłada się na jakość osadów odkładanych w obiektach kanalizacji deszczowej, a także ma znaczący wpływ na jakość wód w odbiornikach systemu kanalizacji deszczowej. Monitoring i badanie składu osadów jest elementem często pomijanym, szczególnie dotyczy to osadów zdeponowanych w zbiornikach wodnych. Według Rozporządzenia Ministra Środowiska w sprawie katalogu odpadów osady z systemu kanalizacji deszczowej można traktować jako odpad o odpowiednim kodzie (130501 – 130518) [18] i po wydobyciu z osadników czy separatorów dostarczyć do zakładu utylizacji odpadów. Problem pojawia się w sytuacji, gdy osadów jest dużo, a w przypadku osadów zdeponowanych w zbiornikach retencyjnych jest to częsty przypadek. Zbiorniki retencyjne systematycznie podlegają bagrowaniu i oczyszczaniu z nagromadzonych osadów. W zależności od przyjętego modelu działania tego rodzaju prace

przeprowadza się średnio 1 raz na 4 lata (lub jeśli to konieczne częściej). W przypadku, gdy jest znaczna ilość osadów oraz ich jakość jest wątpliwa pod względem zawartości substancji toksycznych (np. metali ciężkich), niezbędne okazuje się wypracowanie struktury postępowania z tego rodzaju „odpadem”. W latach 1999-2003 w Szkocji [8] prowadzono badania w celu określenia ilości i jakości osadów zdeponowanych w zbiornikach retencyjnych w kontekście możliwości ich zagospodarowania. W Polsce brakuje konkretnych i sprecyzowanych regulacji prawnych oraz wytycznych oczyszczania i bezpiecznego zagospodarowania osadów ze zbiorników wodnych. Dostępne są natomiast klasyfikacje, które mogą być do tego celu przydatne. Są to między innymi kryteria geochemiczne opracowane przez Państwowy Instytut Geologiczny PIB [3] oraz klasyfikacja niemiecka LAWA z 1997 roku (Lander-Arbeitsgemeinschaft Wasser) [14]. Użyteczny okazuje się również zaproponowany przez Thomlinsona i innych [23] wskaźnik Pollution Load Index (PLI) (tł.: wskaźnik obciążenia zanieczyszczeniem). W obliczeniach wskaźników niezbędna jest znajomość tła geochemicznego danego pierwiastka w środowisku (np. określona dla warstwy litogenicznej gleby). W niniejszym artykule zebrano dostępne informacje i dane do osadów pochodzących z elementów kanalizacji deszczowej, osadów dennych zdeponowanych w zbiornikach retencyjnych oraz potoku miejskiego, do których doprowadzane są spływy powierzchniowe oraz ścieki deszczowe z terenu zlewni zurbanizowanej.

OCENY ILOŚCIOWE OSADÓW Z URZĄDZEŃ KANALIZACJI DESZCZOWEJ I ZBIORNIKÓW RETENCYJNYCH

W 1970 roku w Waszyngtonie uznano, że problem kontroli ilości osadów powinien być traktowany na takim samym poziomie istotności jak inne problemy środowiskowe [7]. Ilość osadów powstających w obiektach systemu kanalizacji deszczowej zależy od wielu czynników. Oszacowanie może być często obarczone istotnym błędem. Nagromadzanie osadów zależy od ich uwodnienia, składu granulometrycznego oraz efektów sedimentacji w urządzeniach. Przy projektowaniu elementów systemu kanalizacji deszczowej niezbędna jest ocena objętości powstających osadów w celu doboru odpowiedniej wielkości osadnika, a w odniesieniu do zbiorników retencyjnych można na tej podstawie określić częstotliwość usuwania nagromadzonych osadów dennych. Najskuteczniejszym sposobem oceny ilości powstających osadów jest, jak dotąd, prowadzenie obserwacji istniejących tego rodzaju urządzeń przez minimum rok. Dane przytoczone przez Królikowskiego i innych [13] określają oszacowaną ilość zawieszin usuwanych rocznie z powierzchni terenów o różnym sposobie zagospodarowania. Ilość zawieszin odprowadzanych z centrów miast w ciągu roku wynosi

minimum 490 kg/ha·rok, maksimum 4280 kg/ha·rok, średnio 1590 kg/ha·rok. W przypadku terenów przemysłowych wartości te kształtują się na poziomie minimum 450 kg/ha·rok, maksimum 1700 kg/ha·rok, średnio 720 kg/ha·rok. Dąbrowski [5] podaje ilość odprowadzonej zawiesiny z jednego hektara szczelnej powierzchni przez spływy deszczowe na terenach kilku zlewni od 347 do 2340 kg/ha·rok zawiesiny, przeciętnie 487 kg/ha·rok. Jednak ładunek zawiesiny odprowadzonej w ciągu roku w przeliczeniu na hektar powierzchni uszczelnionej nie przekłada się bezpośrednio na ilość powstających osadów w obiektach systemu kanalizacji deszczowej. Dla zbiorników retencyjnych w Szkocji roczny przyrost objętości osadów wyniósł od 197 do 717 m³/rok. Osady nagromadzały się początkowo w rejonie dopływów do zbiorników i w centralnej części [8].

KLASYFIKACJE OSADÓW

Kryteria geochemiczne opracowane przez Państwowy Instytut Geologiczny PIB

Propozycję klasyfikacji geochemicznej osadów wodnych przedstawiły Bojakowska i Sokołowska [3]. Klasyfikacja ta przedstawia trzy klasy czystości osadów – zgodnie z tabl. 1.

Tabl. 1. Klasyfikacja osadów na podstawie kryteriów geochemicznych osadów wodnych wyrażona w ppm (liczba części na milion, z ang. parts per million) [mg/kg] [3]

Metal	Tło geochemiczne	Klasa czystości		
		I	II	III
Cynk (Zn)	48	< 200	< 1000	< 2000
Ołów (Pb)	10	< 50	< 200	< 500
Miedź (Cu)	6	< 20	< 100	< 200
Nikiel (Ni)	5	< 30	< 50	< 100
Chrom (Cr)	5	< 20	< 100	< 500
Kadm (Cd)	< 0,5	< 1	< 5	< 20
Rtęć (Hg)	< 0,05	< 0,1	< 0,5	< 1,0

Klasyfikacja geochemiczna uwzględnia tła geochemiczne dla poszczególnych pierwiastków, które stanowią często próg detekcji stosowanych metod analitycznych.

Klasyfikacja LAWA z 1997 roku (Lander-Arbeitsgemeinschaft Wasser)

Klasyfikację niemiecką LAWA opracowano we współpracy członków komitetu LAWA z Federalną Agencją Ochrony Środowiska (Umweltbundesamt) w Niemczech w 1997 roku [14]. Klasyfikacja ta dzieli wody, osady dennie oraz zawiesiny na siedem klas czystości, w zależności od stopnia zanieczyszczenia tych składników ekosystemu wodnego metalami ciężkimi. Wartości progowe zawartości metali ciężkich dla poszczególnych klas w mg/kg przedstawiono w tabl. 2.

Pollution load index (PLI) – indeks zanieczyszczenia

Wskaźnik *Pollution Load Index (PLI)* pozwala na oszacowanie zanieczyszczenia danym metalem oraz konieczne zabiegi, jakie należy podjąć, aby zapobiec dalszemu zanieczyszczeniu. Wartość wskaźnika *PLI* oblicza się według wzoru 1 [23]:

$$PLI = (CF_1 \cdot CF_2 \cdot \dots \cdot CF_N)^{\frac{1}{N}} \quad [-] \quad (1)$$

gdzie:

N – oznacza liczbę analizowanych/ badanych metali,

CF_{1-N} – oznacza współczynnik zanieczyszczenia danym metalem (*Contamination Factor*) obliczany według wzoru 2 [21]:

$$CF = \frac{C_{m \text{ Sample}}}{C_{m \text{ Background}}} \quad [-] \quad (2)$$

gdzie:

$C_{m \text{ Sample}}$ – stężenie danego pierwiastka chemicznego w badanym środowisku [mg/kg],

$C_{m \text{ Background}}$ – stężenie danego pierwiastka w środowisku odniesienia (np. tło geochemiczne danego metalu) [mg/kg].

Wartość $PLI < 1$ oznacza doskonały stan środowiska, $PLI = 1$ oznacza początkowy etap występowania zanieczyszczenia, a $PLI > 1$ znaczne pogorszenie jakości badanej próbki

Tabl. 2. Stężenie poszczególnych metali ciężkich w mg/kg dla poszczególnych klas czystości osadów – klasyfikacja LAWA [14]

Metal	Klasa czystości						
	I	I-II	II*	II-III	III	III-IV	IV
Cynk (Zn)	≤ 100	≤ 150	≤ 200	≤ 400	≤ 800	≤ 1600	> 1600
Ołów (Pb)	≤ 25	≤ 50	≤ 100	≤ 200	≤ 400	≤ 800	> 800
Miedź (Cu)	≤ 20	≤ 40	≤ 60	≤ 120	≤ 240	≤ 480	> 480
Nikiel (Ni)	≤ 30	≤ 40	≤ 50	≤ 100	≤ 200	≤ 400	> 400
Chrom (Cr)	≤ 80	≤ 90	≤ 100	≤ 200	≤ 400	≤ 800	> 800
Kadm (Cd)	≤ 0,3	≤ 0,6	≤ 1,2	≤ 2,4	≤ 4,8	≤ 9,6	> 9,6
Rtęć (Hg)	≤ 0,2	≤ 0,4	≤ 0,8	≤ 1,6	≤ 3,2	≤ 6,4	> 6,4

Objaśnienia: Klasa I charakteryzuje osady niezanieczyszczone, bez ingerencji antropogenicznej. Klasa I-II określa osady niezanieczyszczone lub z bardzo niewielką ingerencją antropogeniczną. Klasa II osady umiarkowanie zanieczyszczone, stanowi odniesienie do pozostałych poziomów zanieczyszczenia. Klasa II-III – stanowi dwukrotność klasy II – określa umiarkowane do znacznego zanieczyszczenie osadów, klasa III – stanowi czterokrotność klasy II – określa znaczne zanieczyszczenie, klasa III-IV – stanowi ośmiokrotność klasy II – oznacza bardzo silne zanieczyszczenie, klasa IV – oznacza większe niż ośmiokrotne przekroczenie klasy II – oznacza najwyższe/marginalne zanieczyszczenie. Wartością porównawczą jest średnioroczna zawartość metali ciężkich wyrażona w mg/kg.

osadów. Dodatkowo Likuku i inni [15] w zależności od wartości wskaźnika *PLI* proponują następujące postępowanie z osadami:

- A) $PLI \geq 1$ – sugerowane jest natychmiastowe podjęcie interwencji w celu zapobieżenia dalszemu zanieczyszczeniu,
- B) $0,5 \leq PLI < 1$ – w celu kontroli poziomu zanieczyszczenia sugeruje się dodatkowe badania osadów,
- C) $PLI < 0,5$ – nie ma konieczności podejmowania interwencji.

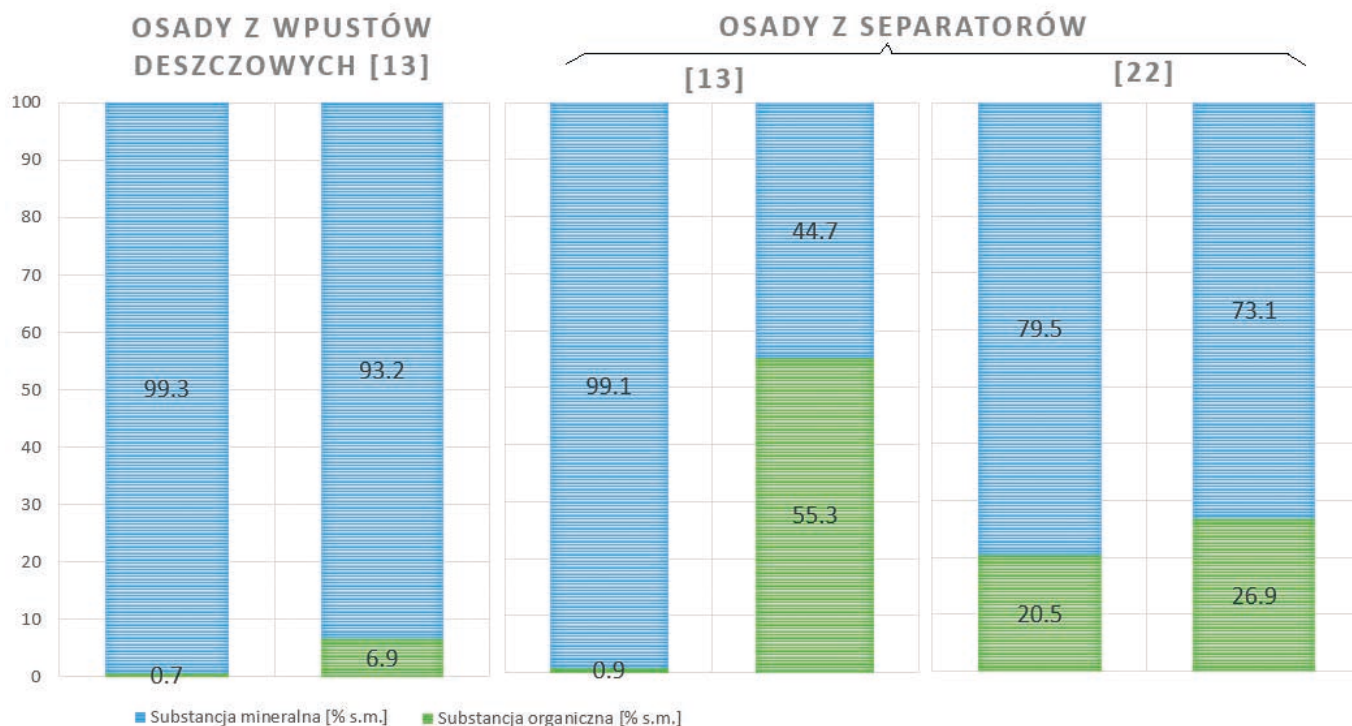
JAKOŚĆ OSADÓW Z URZĄDZEŃ KANALIZACJI DESZCZOWEJ, ZBIORNIKÓW RETENCYJNYCH I POTOKU MIEJSKIEGO NA PODSTAWIE DANYCH LITERATUROWYCH – CHARAKTERYSTYKA

Jedne z nielicznych danych na temat osadów odkładanych we wpustach deszczowych pochodzą z badań przeprowadzanych w Białymstoku [6, 13]. Badania osadów pochodzących z wpustów deszczowych na terenie Białegostoku [17] wykonano w kontekście ich ewentualnego wykorzystania do rekultywacji wyrobisk. Przeprowadzono badania z wpustów ulicznych w miejscach o znacznym natężeniu ruchu pojazdów. Analiza wykazała niską przydatność tych osadów do rekultywacji ze względu na znaczną zawartość metali ciężkich. Kolejne badania przeprowadzono w Katedrze Wodociągów i Kanalizacji Politechniki Białostockiej w latach 1996-1998 [13]. Wybrano cztery wpusty deszczowe o różnej ekspozycji na zanieczyszczenia antropogeniczne. Trzy z nich znajdowały się na ulicach o różnej intensywności ruchu pojazdów oraz jeden na ścieżce rowerowej. Wyniki opisała Grabarczyk w 1999 roku [6], oceniając, że osady z wpustów ulicznych wykazują wyższe stężenie

substancji pochodzenia antropogenicznego. Skład osadów wykazywał sezonową zmienność. Największe zanieczyszczenie osadów odnotowano po spływach roztopowych. Osady z wpustów deszczowych składają się w przeważającej części z substancji mineralnych [6, 13, 17]. Królikowski i inni na podstawie przeprowadzonych badań określili istotne statystyczne zależności pomiędzy stężeniem ołowiu, cynku, chromu i miedzi. Zawartość poszczególnych metali w osadach była wzajemnie powiązana (współczynniki korelacji w granicach $0,85 \div 0,97$) [13]. Wykazano, że ponad 68% sumy oznaczanych metali ciężkich stanowi cynk. W wyniku przeprowadzonej analizy wyróżniono podział wpustów na dwie grupy, które określono jako „nisko” lub „wysoko obciążone”. Zakresy wartości zanieczyszczeń przedstawiono w tabl. 3. Wpusty wysoko obciążone obsługiwały zlewnie obciążone znacznym ruchem pojazdów, centra miast, dzielnice o intensywniej zabudowie. Wpusty nisko obciążone były zlokalizowane w obrębie dzielnic o zabudowie jednorodzinnej, obsługiwały częściowo ciągi piesze i rowerowe oraz

Tabl. 3 Zakresy wybranych zanieczyszczeń dla wpustów „nisko” i „wysoko obciążonych” [13]

Wyszczególnienie	Jednostka	Zakres zaobserwowanych wartości	
		Wpusty wysoko obciążone	Wpusty nisko obciążone
Cynk (Zn)	mg/kg	30,0 ÷ 429,0	28,1 ÷ 167,0
Ołów (Pb)	mg/kg	0,02 ÷ 76,60	0,029 ÷ 32,5
Miedź (Cu)	mg/kg	2,60 ÷ 44,60	2,5 ÷ 22,2
Chrom (Cr)	mg/kg	4,10 ÷ 20,20	3,2 ÷ 9,4
Ropopochodne	g/kg	0,1 ÷ 17,5	0,021 ÷ 0,68



Rys. 1. Zawartość substancji mineralnej i organicznej w osadach pochodzących z wpustów deszczowych [13] oraz separatorów [13, 22]

ulice o niewielkim natężeniu ruchu pojazdów [13]. W badanych osadach stwierdzono podwyższone wartości przede wszystkim dla zawartości cynku – do 429 mg/kg.

Badania osadów z urządzeń podczyszczających ścieki deszczowe (separatorów) przeprowadzili jako jedni z pierwszych również naukowcy z Białegostoku [13]. Podobnie jak w przypadku osadów z wpustów deszczowych wśród metali ciężkich dominował cynk (stanowił blisko 70% sumy badanych metali). Na terenie aglomeracji warszawskiej w latach 2010-2011 badania dotyczące składu fizyczno-chemicznego i granulometrycznego osadów powstających w urządzeniach do oczyszczania ścieków opadowych z ulic przeprowadziły Szyprowska, Sawicka-Sarkiewicz i Nechay [22]. Do badań wytypowano kilka urządzeń zlokalizowanych przy ulicach o wysokim średnim dobowym natężeniu ruchu SDR powyżej 25 000 pojazdów na dobę. Szyprowska i inne [21, 22] potwierdziły założenie, że w samej zawieszynie (osadach nagromadzonych w urządzeniach sedymentacyjno-flotacyjnych) znajduje się około 80 ÷ 90% węglowodórów występujących w spływach opadowych z dróg. Zawartość substancji organicznej i mineralnej w osadach pochodzących z wpustów deszczowych i separatorów przedstawiono na rys. 1. We wpustach deszczowych dominują substancje mineralne nad organicznymi, natomiast w osadach pochodzących z separatorów w badaniach przeprowadzonych przez Królikowskiego i innych [13] uzyskano wyniki ilorazu $\frac{\text{zawiesina mineralna}}{\text{zawiesina organiczna}}$ wynoszące nawet 0,8:1.

Uwodnienie osadów kształtowało się na poziomie 16,6 ÷ 48,0% w przypadku osadów z wpustów deszczowych, a w przypadku osadów z separatorów 18,0 ÷ 75,7% [13]. Osady pochodzące z separatorów substancji ropopochodnych na trasie Siekierskiej w Warszawie charakteryzowały się większym uwodnieniem – od 55 do 80% [22].

Ocenę osadów pochodzących ze zbiornika oczyszczalni wód deszczowych zlokalizowanego na terenie zlewni „Jarząbek” (ul. Piekoszowska) w Kielcach przeprowadzili Bąk, Dąbek i inni [1]. Osady badano w kontekście zagrożenia dla środowiska oraz ewentualnej możliwości ich zagospodarowania. Osad miał lekko alkaliczny odczyn na poziomie pH = 7,21, a szaro-czarna barwa osadów wskazywała na znaczny udział substancji mineralnych pochodzących ze spływu z ulic i dróg. Zapach mocno gnilny. Osad wykazywał luźną konsystencję z tendencją do cementacji i kruszenia się. Skład granulometryczny osadów wykazał dużą zawartość frakcji pyłowo-łowej o średnicy ziaren poniżej 0,063 mm (65 ÷ 72%), która odpowiada za zdolności sorpcyjne zanieczyszczeń. Frakcja o średnicy ziaren poniżej 0,025 mm stanowiła 42%, pozostałe frakcje stanowiły piaski i szczątki organiczne. Osady wykazywały zróżnicowaną zawartość metali ciężkich. Duże dysproporcje między osadami dla prób pobranych na wlocie i wylocie ze zbiornika odnotowano dla cynku (wlot 70,8 mgZn/kg s.m., wylot 750,9 mgZn/kg s.m.). Stwierdzono obecność węglanów, która w połączeniu z lekko alkalicznym odczynem osadów sugeruje, że metale występują w formach trudno rozpuszczalnych związków, a tym samym słabo mobilnych w środowisku. W odniesieniu do klasyfikacji geochemicznej zawartość cynku na poziomie 750,9 mgZn/kg (pkt. 3.1.) wskazuje na przekroczenie I klasy czystości, natomiast zgodnie z klasyfikacją LAWA (pkt. 3.2.) – osady cechuje znaczne zanieczyszczenie.

Badania osadów potoku będącego odbiornikiem systemu kanalizacji deszczowej oraz spływów powierzchniowych przeprowadzone zostały w Warszawie przez Bojakowską, Lecha oraz Jaroszyńską w 2012 roku [2]. Potok Służewiecki przepływający przez tereny silnie zurbanizowane zbadano pod względem zawartości metali ciężkich w osadach dennych w 9 punktach pomiarowych zlokalizowanych na odcinku koryta otwartego od ul. Wirażowej do Al. Rzeczypospolitej. Spośród badanych metali ciężkich najwyższe były stężenia cynku – w zakresie od 44 do 458 mgZn/kg. Miedź była obecna w przedziale 5 do 72 mgCu/kg, czyli nieznacznie przekraczała II klasę czystości według LAWA (pkt. 3.2.). Najwyższe jej zawartości stwierdzono w osadach nagromadzających się poniżej wylotu kolektora kanalizacji deszczowej. Ołów występował w zakresach od 3 do 62 mgPb/kg, co również (według klasyfikacji opisanych w pkt. 3.1. oraz 3.2.) określa osady jako niezanieczyszczone do umiarkowanie zanieczyszczone. Odnotowano podwyższone zawartości kadmu prawie we wszystkich próbkach pomiarowych – powyżej 1 mgCd/kg.

W 2006 roku K.V.Heal i inni [8] scharakteryzowali jakość oraz ilość osadów zdeponowanych w czterech zbiornikach wodnych będących odbiornikami miejskiego spływu powierzchniowego w Dunfermline w Szkocji. Celem badań było określenie korelacji pomiędzy stężeniem metali ciężkich w osadach oraz przedstawienie zaleceń dotyczących projektowania i utrzymywania zbiorników retencyjnych. Najwyższe stężenia metali ciężkich odnotowano w przypadku niklu (63,6 – 89,3 mg/kg), co zgodnie z kryteriami geochemicznymi klasyfikuje osady w II klasie czystości. Podwyższone stężenie zaobserwowano również w przypadku chromu (118 mg/kg) w jednym z badanych stawów (Duloch Park) [8]. Zestawienie wybranych zawartości metali ciężkich dla osadów pochodzących ze zbiorników retencyjnych w Duloch Park przedstawiono w tabl. 4. Na podstawie tych wartości wykonano ocenę stopnia zanieczyszczenia przy pomocy wskaźnika *PLI* (według pkt. 3.3).

Tabl. 4. Zestawienie wybranych stężeń metali ciężkich w osadach pochodzących ze zbiorników retencyjnych w Szkocji [8]

Wyszczególnienie	Jednostka	Zaobserwowane wartości	
		minimalne	maksymalne
Cynk (Zn)	mg/kg	5,5	199,4
Ołów (Pb)	mg/kg	0	57,8
Miedź (Cu)	mg/kg	5,6	36,2
Kadm (Cd)	mg/kg	0	1,3

Przy założeniu wartości tła geochemicznego według danych z Atlasu Geochemicznego Europy dla górnej warstwy gleby w Dunfermline w Szkocji [12] na poziomie: Zn = 72 mgZn/kg, Pb = 32 mgPb/kg, Cu = 12 mgCu/kg, Cd = 0,12 mgCd/kg obliczono wartości wskaźników *CF* (*Contamination Factor*) – zgodnie z wzorem (2). Wartość *PLI* dla jednocześnie zaobserwowanych minimalnych zawartości wymienionych w tabl. 4 metali wynosi 0,19, natomiast dla maksymalnych – *PLI* = 3,58. Warto zauważyć, że zła jakość osadów według *PLI* jest oceniana już przy *PLI* > 1. W przypadku oceny osadów na maksymalną zawartość wymienionych metali przy pomocy klasyfikacji geo-

chemicznej oraz LAW (pkt. 3.1. oraz 3.2.) nie stwierdza się przekroczenia stanu umiarkowanego zanieczyszczenia osadów.

ANALIZA SPECJACYJNA METALI

Większa część metali ciężkich, które trafiają do wód, jest związana i transportowana z zawiesziną, której osadzanie prowadzi do powstawania osadów dennych w zbiornikach retencyjnych. Zanieczyszczenia w osadach mogą negatywnie oddziaływać na ekosystem wodny oraz pośrednio przez składniki biotopu i biocenozy na człowieka. Stężenie szkodliwych substancji w osadach jest wielokrotnie większe niż w wodzie, dlatego analiza chemiczna osadów pozwala na obserwację zmian składu nawet przy stosunkowo niewielkim stopniu zanieczyszczenia. Metale ciężkie nie są trwale unieruchomione w osadach dennych. Często wykazują się one podatnością na migrację z osadów dennych do toni wodnej, powodując wtórne zanieczyszczenie wód. Zjawisko to nazywa się mobilnością metali ciężkich i zależy od formy, w jakiej dany metal występuje i warunków fizykochemicznych towarzyszących przemianom. Jednym z czynników, które stanowią o formach specjacyjnych metali w osadach dennych jest stężenie jonów wodorowych (odczyn w pH), wartość potencjału redoks czy siła jonowa [14]. W glebach i osadach kwaśnych o pH do 5,5 dominują labilne formy jonowe, natomiast w glebach i osadach o odczynie obojętnym ($\text{pH} = 6,6 \div 7,2$) oraz zasadowym (pH powyżej 7,2) dominują mniej mobilne, trudniej rozpuszczalne formy hydroksylenkowe [14]. Zmiana warunków środowiskowych, zakwaszenie, zmiana potencjału redoks, stężeń ligandów nieorganicznych i organicznych powoduje zmianę mobilności i biodostępności metali [3]. Określeniem form występowania metali ciężkich i ich ilościowym oznaczeniem zajmuje się analiza specjacyjna, wykorzystująca metody ekstrakcji selektywnej oraz (częściej) ekstrakcji sekwencyjnej. Ekstrakcja sekwencyjna składa się z wielu etapów, w których materiał badawczy jest poddawany działaniu kolejnych - coraz bardziej aktywnych chemicznie od poprzedniego - ekstrahentów. Odpowiednio dobrany ekstrahent do każdego z etapów symuluje naturalne i antropogeniczne warunki wymywania. Pozwala wyekstrahować grupę połączeń metali o znanych właściwościach [3]. Badanie to pozwala wnioskować na temat pochodzenia pierwiastków śladowych, ich występowania, a także możliwości migracji w środowisku. W badaniach osadów dennych najczęściej stosowana jest procedura ekstrakcji zaproponowana przez Tessiera, Campbella i Bissona, której zastosowanie umożliwia wyekstrahowanie pięciu frakcji (I, II, III, IV i V). Za najbardziej mobilne uważa się metale występujące w dwóch pierwszych frakcjach (I i II), z których ich uwalnianie następuje pod wpływem zmiany pH oraz składu jonowego wody. Ważną cechą, która odróżnia metale ciężkie wśród innych toksycznych zanieczyszczeń jest fakt, że nie ulegają one biodegradacji, a jedynie biotransformacji [23].

PODSUMOWANIE

1. Jakość osadów jest ściśle powiązana ze stopniem zagospodarowania terenu, a także działalnością antropogeniczną. Znaczący wpływ na stan chemiczny osadów na terenach miejskich wywiera jakość powietrza atmosferycznego (pyły, produkty spalania paliw na cele energetyczne lub produkcji) oraz ruch samochodowy.

2. Metale ciężkie stanowią trwałe zanieczyszczenie, w podwyższonych ilościach są toksyczne dla środowiska. Niezbędny jest monitoring substancji szkodliwych w osadach kanalizacji deszczowej oraz w zbiornikach wodnych na terenie miast, przyjęcie kompleksowego sposobu oceny stopnia zanieczyszczenia, a także podjęcie prób unieszkodliwienia lub zatrzymania metali ciężkich w odpowiednio przystosowanych do tego miejscach (np. z wykorzystaniem roślin hydrofitowych).
3. Przy określeniu zawartości metali ciężkich w zbiornikach retencyjnych otwartych analiza specjacyjna pozwala określić ich mobilność i labilność oraz podatność na migrację z osadów do toni wodnej i odwrotnie.
4. Jakość osadów określona przy zastosowaniu różnych klasyfikacji i wskaźników oceny zanieczyszczenia może prowadzić w rezultacie do rozbieżnych wyników oceny wielkości skażenia. Wybór odpowiedniej metody powinien być poprzedzony dokładną analizą badanego terenu oraz określeniem naturalnych poziomów występowania metali ciężkich w środowisku glebowym/ osadowo-dennym potoków czy zbiorników.

LITERATURA

1. Bąk Ł., Dąbek Ł., Ozimina E., Sałata A.: Ocena jakości osadów pochodzących ze zbiornika otwartego miejskiej kanalizacji deszczowej w kontekście zagrożenia dla środowiska oraz możliwości ich zagospodarowania, Monografia PAN, nr 100, Lublin 2012.
2. Bojakowska I., Lech D., Jaroszyńska J.: Metale ciężkie w osadach Potoku Służewieckiego w Warszawie (Polska), *Górnictwo i Geologia*, tom 7, zeszyt 2, 2012.
3. Bojakowska I., Sokołowska G.: Geochemiczne klasy czystości osadów wodnych, *Przegląd Geologiczny*, vol 46, nr 1, 1998.
4. Bezak-Mazur E.: Specjacja w Ochronie i Inżynierii Środowiska, Komitet Inżynierii Środowiska PAN, Monografie, nr 20, Kielce 2004.
5. Dąbrowski W.: Parametry fizyczne zawieszin wód deszczowych jako podstawa do projektowania systemów podczyszczania, *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, nr 6, 2001.
6. Grabarczyk K.: Wpływ ścieków deszczowych na zawartość zanieczyszczeń w osadach zatrzymywanych w urządzeniach kanalizacji deszczowej systemu rozdzielczego, rozprawa doktorska, Politechnika Białostocka, Białystok 1999.
7. Guy H. P.: *Sediment Problems in Urban Areas*, Water in the Urban Environment, Washington (1970).
8. Heal K. V., Hepburn D. A., Lunn R. J.: *Sediment management in sustainable urban drainage system ponds*, Water Science & Technology, Glasgow (2006).
9. <http://www.gdme1.pl/>, Spółka Gdańskie Wody.
10. <http://www.life.radom.pl/>, Program LIFE Radom, „Adaptacja do zmian klimatu poprzez zrównoważoną gospodarkę wodą w przestrzeni miejskiej Radomia”.
11. <http://szmiiuw.kielce.com.pl/>, Świętokrzyski Zarząd Melioracji i Urządzeń Wodnych w Kielcach.
12. <http://weppi.gtk.fi/publ/foregsatlas/>

13. Królikowski A., Grabarczyk K., Gwoździej-Mazur J., Butarewicz A.: Osady powstające w obiektach systemu kanalizacji deszczowej, Monografia PAN, nr 35, Lublin 2005.
14. LAWA-Arbeitskreis „Zielvorgaben” in Zusammenarbeit mit LAWA-Arbeitskreis „Qualitative Hydrologie der Fließgewässer”, Beurteilung der Wasserbeschaffenheit von Fließgewässern in der Bundesrepublik Deutschland – Chemische Gewässergüteklassifikation, Berlin 1998.
15. Likuku A. S., Mmolawa K. B., Gaboutloeloe G. K.: Assessment of heavy metal enrichment and degree of contamination around the copper-nickel mine in the Selebi Phikwe Region, eastern Botswana, *Environment and Ecology Research* 1(2): 32-40, 2013.
16. Pawłowski J., Rozentel M., Drzewińska A., Neffe S.: Analiza specyjalna osadów dennych pobranych na terenie Kampinoskiego Parku Narodowego, *Biuletyn WAT*, vol. LXIII, nr 4, 2014.
17. Ptoszek B.: Badania nad toksycznością osadów pochodzących ze ścieków deszczowych na terenie miasta Białystok, materiały I Międzynarodowej Konferencji N-T pt. : „Problemy Gospodarki Osadowej w Oczyszczalniach Ścieków”, Częstochowa 1994.
18. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 grudnia 2014 r. w sprawie katalogu odpadów (Dz.U. 2014 poz. 1923).
19. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 18 listopada 2014r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego (Dz.U. 2014 poz. 1800).
20. Salata A., Bąk Ł.: Ocena ekotoksykologiczna osadów z kanalizacji deszczowej, *Proceedings of ECOpole*, 2015;9(1), 2015.
21. Szyprowska E., Nechay A.: Charakterystyka osadów powstających w procesie oczyszczania ścieków opadowych ze zlewni stacji benzynowych aglomeracji warszawskiej, *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*, nr 50, 2011.
22. Szyprowska E., Sawicka-Siarkiewicz H., Nechay A.: Charakterystyka osadów powstających w procesie oczyszczania ścieków opadowych ze zlewni ulic miejskich aglomeracji warszawskiej, *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*, nr 54, 2012.
23. Tomlinson D. L., Wilson J. G., Harris C. R., Jeffrey D. W.: Problem in the assessment of heavy metals levels in estuaries and the formation of a pollution index, *Helgolander Meeresuntersuchungen*, vol.33, 566-575, 1980.
24. Wojciechowska E., Gajewska M., Żurkowska N., Surówka M., Obar-ska-Pempkowiak H.: Zrównoważone systemy gospodarowania wodą deszczową, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2015.
25. Wojtkowska M., Niesiobędzka K., Krajewska E.: Metale ciężkie w wodzie i osadach dennych Jeziora Czerniakowskiego. [W:] B.Gworek (red.), *Obieg pierwiastków w przyrodzie*, monografia IOŚ, Warszawa, 194-197.
26. Yousef Y. A., L'Yu Lin, Win Lindeman, Hvitved-Jacobsen T.: Transport of heavy metals through accumulated sediments in wet ponds, *The Science of the Total Environment* 146/147, (1994), 485-491.