mgr inż. Nicole Nawrot[1)], dr hab. inż. Ewa Wojciechowska
Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska
Katedra Inżynierii Sanitarnej
[1)]nawrotnicole@wp.pl

OSADY POWSTAJĄCE W SYSTEMIE KANALIZACJI DESZCZOWEJ ZLEWNI ZURBANIZOWANEJ - PRZEGLĄD LITERATURY

Evaluation of the quality of sediments from the stormwater drainage system in urban area - literature review

Słowa kluczowe: kanalizacja deszczowa, osady, fitoremediacja, metale ciężkie
Keywords: stormwater drainage system, sediments, phytoremediation, heavy metals

Streszczenie:

Podstawowym zadaniem kanalizacji deszczowej jest bezpieczne odprowadzenie wód opadowych i roztopowych z terenu zlewni do odbiornika. Z przepływem ścieków deszczowych bezpośrednio związane jest tworzenie się osadów w całym systemie kanalizacyjnym. Oprócz zawiesiny do osadów trafiają również zaadsorbowane zanieczyszczenia z terenów spływu. Osady tworzą się przede wszystkim w tych elementach systemu kanalizacji deszczowej, w których warunki przepływu ścieków umożliwiają sedymentację zawiesiny – wpusty deszczowe, osadniki, separatory a także zbiorniki retencyjne. Skład osadów jest bezpośrednio związany z charakterem i sposobem zagospodarowania zlewni, pośrednio z zanieczyszczeniem powietrza atmosferycznego oraz własnościami opadu jako nośnika zanieczyszczeń. Niniejszy artykuł stanowić będzie przegląd literatury przedmiotu z zakresu charak-

terystyki osadów pochodzących z kanalizacji deszczowej systemu rozdzielczego, ze szczególnym uwzględnieniem metali ciężkich zdeponowanych w osadach na terenie zlewni zurbanizowanej oraz wybranych metod ich zagospodarowania. Przedstawiono metody mogące służyć do klasyfikacji osadów pochodzących z systemu kanalizacji deszczowej. Opisano metody przydatne do rekultywacji osadów z wykorzystaniem roślin – metody fitoremediacji, wraz z wynikami analizy specjacyjnej poszczególnych metali ciężkich.

Wprowadzenie

System rozdzielczy odprowadzania ścieków dominuje w większych aglomeracjach miejskich w Polsce [6]. Kanały deszczowe odprowadzają ścieki opadowe lub roztopowe powstające na terenie zlewni do odbiorników - rzek, jezior, zbiorników wodnych. System kanalizacyjny wyposażony jest w podstawowe elementy do podczyszczania ścieków deszczowych i separacji zanieczyszczeń [5], które powinny zostać zatrzymane przed wylotem ścieków deszczowych do odbiorników. Te elementy infrastruktury kanalizacyjnej to wpusty deszczowe, osadniki, separatory oraz zbiorniki retencyjne. Na obszarach zurbanizowanych ilość osadów powstających w tych urządzeniach jest różna i zazwyczaj trudna do oszacowania. Wynika to przede wszystkim z braku konieczności przeprowadzania monitoringu oraz badań osadów. Elementem najczęściej analizowanym i kontrolowanym są stężenia zanieczyszczeń w ściekach deszczowych, dla których określono wartości dopuszczalne, które stanowią o możliwości odprowadzenia wód deszczowych do odbiornika- gruntowego lub wodnego [26]. Źródłem zanieczyszczeń ścieków deszczowych zlewni zurbanizowanej jest najczęściej ruch uliczny (wycieki paliw i płynów samochodowych, zużywanie się opon, klocków hamulcowych, ścieranie się nawierzchni drogowej), pyły atmosferyczne, produkty spalania paliw oraz w mniejszym stopniu nawozy i środki ochrony roślin na terenach zielonych [1]. Istotna dla stężenia zanieczyszczeń w ściekach deszczowych jest pora roku. Najistotniejsza z punktu widzenia ilościowej i jakościowej oceny osadów sedymentujących w obiektach kanalizacji deszczowej jest zawiesina zawarta w ściekach deszczowych. Zawiesina pełni ważną funkcję w transportowaniu innych zanieczyszczeń. W ściekach deszczowych pochodzących ze zlewni zurbanizowanej (miejskiej i przemysłowej) dominuje zawiesina mineralna nad organiczną. Stanowi ona ok.80-99% zawiesiny ogólnej. Udział zawiesiny organicznej wzrasta nieco jesienią (koniec okresu wegetacyjnego drzew i krzewów – opadanie liści) oraz jest wyższy dla terenów zielonych i placów targowych. Charakterystyka ścieków deszczowych w znacznym stopniu przekłada się na jakość osadów odkładanych w obiektach kanalizacji deszczowej. Właściwości osadów zależą również od ilości i rozmieszczenia elementów systemu kanalizacji deszczowej, w których następuje sedymentacja zawiesin. Analizując doniesienia literaturowe na temat ścieków deszczowych (Królikowski i in. 2005) można zauważyć,

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

że większość badań koncentruje się na jakości ścieków deszczowych i metodach ich oczyszczania, natomiast znacznie mniej uwagi poświęca się problematyce związanej z ilością i jakością osadów powstających w systemie kanalizacyjnym. Mając świadomość występowania osadów w kanalizacji deszczowej należy wziąć pod uwagę fakt, że w celu utrzymania prawidłowej pracy systemu, osady należy cyklicznie usuwać i w sposób prawidłowy zagospodarować lub unieszkodliwiać. W tym celu niezbędna jest znajomość składu osadów, w tym zawartość związków mineralnych, organicznych oraz zanieczyszczeń pochodzenia antropogenicznego. Należy ocenić w jakim stopniu osady pochodzące z kanalizacji deszczowej są zanieczyszczone oraz czy stanowią zagrożenie dla środowiska i zdrowia ludzi. Niestety w Polsce nie ma dotychczas regulacji prawnych dotyczących jakości osadów pochodzących z kanalizacji deszczowej oraz wytycznych ich oczyszczania i bezpiecznego zagospodarowania. Niemniej jednak istnieje kilka klasyfikacji, które mogą być przydatne również w ocenie osadów pochodzących z obiektów kanalizacji deszczowej. Są to m.in. kryteria geochemiczne opracowane przez Państwowy Instytut Geologiczny PIB [8], kryteria ekotoksykologiczne PEC (Probable Effects Concentration) [7], klasyfikacja niemiecka LAWA z 1997r. (Lander-Arbeitsgemeinschaft Wasser) [25] oraz kryteria zgodne z Rozporządzeniami Ministra Środowiska [31,32,33]. W niniejszej pracy zebrano dostępne informacje i dane dla osadów pochodzących z kanalizacji deszczowej oraz osadów dennych zdeponowanych w zbiornikach retencyjnych, do których doprowadzane są spływy opadowe ze zlewni zurbanizowanej. Zestawiono spostrzeżenia z wyników badań przeprowadzanych w kraju i za granicą oraz korelacje pomiędzy poszczególnymi wskaźnikami zanieczyszczeń. Opisano metodę fitoremediacji z udziałem makrofitów akumulujących metale ciężkie, która może służyć do uzdatniania osadów. Podjęto temat analizy specjacyjnej metali ciężkich w osadach dennych, która jest niezbędna do oceny skali potencjalnego zagrożenia dla środowiska. Artykuł zawiera wskazówki dotyczące badań osadów pochodzących z systemu kanalizacji deszczowej, w tym ze zbiorników retencyjnych.

Oceny ilościowe osadów z urządzeń kanalizacji deszczowej i zbiorników retencyjnych

Ilość osadów powstających w obiektach systemu kanalizacji deszczowej zależy od wielu czynników. Oszacowanie ich ilości często może być obarczone istotnym błędem. Nagromadzanie osadów zależy od ich uwodnienia, składu granulometrycznego oraz efektów sedymentacji w urządzeniach. Przy projektowaniu elementów systemu kanalizacji deszczowej niezbędne jest oszacowanie 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 po-

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

wstających osadów jest jak dotąd prowadzenie obserwacji istniejących urządzeń tego typu przez minimum rok (Królikowski i in. 2005) [1]. Publikowane w literaturze dane są bardzo rozbieżne. Dane przytoczone przez Królikowskiego i in. [1] podają oszacowaną ilość zawiesin usuwanych rocznie z powierzchni terenów o różnym sposobie zagospodarowania. Ilość zawiesin odprowadzanych z centrów miast w ciągu roku wynosi minimum 490 [kg/ha·rok], maksimum 4280 [kg/ha·rok], średnio 1590 [kg/ha·rok]. Dla terenów przemysłowych wartości te kształtują się na poziomie minimum 450 [kg/ha·rok], maksimum 1700 [kg/ha·rok], średnio 720 [kg/ha·rok]. Dąbrowski [17] podaje ilość odprowadzonej zawiesiny z jednego hektara szczelnej powierzchni przez spływy deszczowe na terenach kilku zlewni od 347 do 2340 kg 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. W celu oceny jakości osadów pochodzących z obiektów kanalizacji deszczowej systemu rozdzielczego należy przeprowadzić badania właściwości fizykochemicznych osadów metodami akredytowanymi i podanymi w Polskich Normach. Badania poszczególnych właściwości wykonuje się zgodnie z:

- pH - metoda potencjometryczna - PN-EN 12176 : 2004 „Oznaczanie wartości pH. Charakterystyka osadów ściekowych”
- Barwa, zapach, konsystencja – metoda organoleptyczna, opisowa
- Uwodnienie - PN-EN 12880: 2004 „Charakterystyka osadów ściekowych. Oznaczenie suchej pozostałości i zawartości wody”
- Skład granulometryczny - PN-R-04032: 1998 „Gleby i utwory mineralne – Pobieranie próbek i oznaczanie składu granulometrycznego”
- Zawartość suchej masy [% s.m.] - suszenie w temperaturze 105ºC, ważenie, wg PN-78/C-04541. „Woda i ścieki. Oznaczanie suchej pozostałości, pozostałości po prażeniu, straty przy prażeniu oraz substancji rozpuszczonych, substancji rozpuszczonych mineralnych i substancji rozpuszczonych lotnych”
- Pozostałość po prażeniu [% s.m.] - prażenie suchej pozostałości w temperaturze 550ºC, ważenie, wg PN-78/C-04541. „Woda i ścieki. Oznaczanie suchej pozostałości, pozostałości po prażeniu, straty przy prażeniu oraz substancji rozpuszczonych, substancji rozpuszczonych mineralnych i substancji rozpuszczonych lotnych”
- Strata po prażeniu [% s.m.] – „strata po prażeniu = zawartość suchej masy – pozostałość po prażeniu”, wg PN-78/C-04541. „Woda i ścieki. Oznaczanie suchej pozostałości, pozostałości po prażeniu, straty przy prażeniu oraz substancji rozpuszczonych, substancji rozpuszczonych mineralnych i substancji rozpuszczonych lotnych”
- Azot ogólny Kjeldahla [% s.m., g/kg s.m.] - PN-EN 16169: 2012

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

- Fosfor ogólny [% s.m., g/kg s.m.] - PN-EN 13346: 2002, PN-EN 14672: 2006
- Zawartość metali ciężkich: ołów (Pb), cynk (Zn), kadm (Cd), rtęć (Hg), nikiel (Ni), miedź (Cu) i chrom (Cr) [mg/kg s.m.] - spektromeria absorpcji atomowej po mineralizacji w wodzie królewskiej lub stężonych kwasach ASA, PN-EN 13657: 2006
- Oznaczenie substancji ropopochodnych [mg/kg s.m.] - PN-EN 14039: 2008 „Charakterystyka odpadów. Oznaczenie zawartości węglowodorów w zakresie od C10 do C40 za pomocą chromatografii gazowej".

Klasyfikacje osadów

Na podstawie analizy doniesień literaturowych przedstawiono kilka kryteriów mogących służyć do klasyfikacji osadów pochodzących z systemu kanalizacji deszczowej. Klasyfikacje mogą być przydatne do oceny osadów dennych zbiorników retencyjnych, natomiast przy ocenie osadów z osadników separatorów i wpustów deszczowych mogą stanowić tło porównawcze.

Kryteria geochemiczne opracowane przez Państwowy Instytut Geologiczny PIB

Propozycję klasyfikacji geochemicznej osadów wodnych przedstawiły jako pierwsze Bojakowska i Sokołowska (1998) [8]. Klasyfikacja ta przedstawia trzy klasy czystości osadów. Do określenia wartości granicznej dla I klasy czystości osadów kierowano się zasadą, która jako zawartość anomalną pierwiastka w środowisku przyjmuje stężenie wyższe od sumy średniej zawartości tego pierwiastka i dwóch odchyleń standardowych określonych dla badanej populacji. Dodatkowo klasyfikacja geochemiczna uwzględnia tła geochemiczne dla poszczególnych pierwiastków, które stanowią często próg detekcji stosowanych metod analitycznych.

Tabela 1 Klasyfikacja osadów na podstawie kryteriów geochemicznych osadów wodnych w ppm [mg/kg] [8]

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

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Źródło 1: Bojakowska I., Sokołowska G., Geochemiczne klasy czystości osadów wodnych, Przegląd Geologiczny, vol 46, nr 1, 1998

Klasyfikacja ekotoksykologiczna

Badania ekotoksykologiczne pozwalają na ocenę wpływu zanieczyszczeń zawartych w osadach dennych (związków metali ciężkich, radionuklidów, hydrofobowych związków organicznych) na eliminację ważnych ekologicznie grup organizmów bentosowych. Klasyfikacje ekotoksykologiczne służą do szacowania narażenia biocenoz osadów dennych w zbiornikach wodnych w obecności substancji kumulujących się w osadach, które mogą również ulegać desorpcji do fazy wodnej. Na świecie opracowano liczne metody określenia standardów jakości (SQG – Sediment Quality Guidelines) [7], które stosuje się do oceny zagrożenia wywołanego obecnością związków organicznych i metali ciężkich w osadach dennych. Niektórymi ze wskaźników opartych na metodach empirycznych są wskaźniki ERL i ERM (Effects Range-Low, Effects Range-Median (Long i in.1995) [28]),TEL i PEL (Threshold Effects Level, Probable Effects Level (ANZECC 1997) [30]), SLC (Screening Level Concentration (MacDonald 1994) [29]). Stężenia poniżej których nie odnotowuje się szkodliwych ekologicznie efektów są ograniczone przez poziomy efektów progowych, czyli m.in. wskaźniki TEL, ERL oraz SLC. Wskaźniki PEL oraz ERM określają poziomy przeciętnych efektów, przy których występują negatywne oddziaływania na organizmy żywe. Przykładowe wartości opisanych wskaźników dla WWA zaprezentowano w tabeli poniżej.

Tabela 2 Wartości SQG dla wybranych wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych [7]

Związek chemiczny	SQG µkg				
	Poziom efektów progowych			Poziom przeciętnych efektów	
	SLC	TEL	ERL	PEL	ERM
Antracen	160	50	90	240	1100
Naftalen	410	30	160	390	2100
Benzo[a]piren	400	90	430	760	1600

Źródło 2: Kalinowski R., Załęska-Radziwiłł M., Wyznaczanie standardów jakości osadów dennych na podstawie badań ekotoksykologicznych, Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych, nr 40, 2009

Wartości progowe stężeń zanieczyszczeń uzyskiwane przy użyciu różnych metod znacznie się od siebie różnią, nawet wówczas gdy należą do tej samej klasy. Bezpiecznie zatem jest korzystać z najbardziej restrykcyjnych wartości, które są reprezentowane przez wskaźniki TEL oraz PEL.

Klasyfikacja LAWA z 1997r. (Lander-Arbeitsgemeinschaft Wasser)

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Została opracowana we współpracy z Federalną Agencją Ochrony Środowiska (Umweltbundesamt) w Niemczech w 1997r. [25]. Klasyfikacja ta dzieli wody, osady denne oraz zawiesiny na siedem klas czystości, w zależności od stopnia zanieczyszczenia tych składników ekosystemu wodnego metalami ciężkimi. 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 dla pozostałych poziomów zanieczyszczania. 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 bardzo silne zanieczyszczenie. Wartością porównawczą jest średnioroczna zawartość metali ciężkich wyrażona w mg/kg.

Tabela 3 Stężenie poszczególnych metali ciężkich w mg/kg dla poszczególnych klas czystości osadów – klasyfikacja LAWA [25]

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

Źródło 3: LAWA-Arbeitskreis „Zielvorgaben" in Zusammenarbeit mit LAWA-Arbeitskreis „Qualitative Hydrologie der Fließgewässer", Beurteilung der Wasserbeschaffenheit von Fließgewässern in der Bundesrepublik Deutschland – Chemische Gewässergűteklassifikation, Berlin 1998

Klasyfikacje według Rozporządzeń Ministra Środowiska

Dotychczas w Polsce - również jako tło porównawcze do oceny stopnia zanieczyszczenia osadów zdeponowanych w systemie kanalizacji deszczowej - stosowano trzy Rozporządzenia Ministra Środowiska. Pierwsze z nich to Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 16 kwietnia 2002r. w sprawie rodzajów oraz substancji, które powodują, że urobek jest zanieczyszczony (Dz.U. 2002 nr 55 poz. 498) [31] stanowiło podstawę do 2012 w programie oceny jakości osadów dennych i jezior „Monitoring osadów dennych rzek i jezior" nadzorowanym przez Departament Monitoringu w Głównym Inspektoracie Ochrony Środowiska. W styczniu 2013r. status aktu prawnego uznano za nieobowiązujący ze względu na uchyloną podstawę

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

prawną. Zgodnie z tym Rozporządzeniem wartości wskaźników zanieczyszczeń plasowały się według danych w Tabeli 4. Do września 2016 roku obowiązywało Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi (Dz.U. 2002 nr 165 poz. 1389) [32], które zostało uchylone na rzecz Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 1 września 2016r. w sprawie sposobu prowadzenia oceny zanieczyszczenia powierzchni ziemi (Dz.U. 2016 nr 0 poz.1395) [33]. W punkcie 2 paragrafu 3.1. Rozporządzenia zaznaczone jest, iż podane dopuszczalne wartości nie dotyczą gruntów pod wodami, czyli nie dotyczą bezpośrednio osadów dennych. Natomiast w punkcie 3 paragrafu 3.1. można odnaleźć w grupie gruntów II, w podpunktach e i f, informację, że obejmują grunty pod stawami (oznaczane jako „Wsr") oraz grunty pod rowami (oznaczane jako „W"). Niemniej jednak dość często korzysta się z wartości zamieszczonych w Rozporządzeniach w kontekście porównawczym. Należy dodać, iż podane tutaj wartości graniczne nie są wysoce restrykcyjne.

Tabela 4 Wartości graniczne stężeń zanieczyszczeń dla Rozporządzeń Ministra Środowiska według których podejmuje się klasyfikację osadów pochodzących z systemu kanalizacji deszczowej [31,32,33]

	RMŚ 16 IV 2002 (Dz.U. 2002 nr 55 poz. 498)	RMŚ 9 IX 2002 (Dz.U. 2002 nr 165 poz. 1389)	RMŚ 1 IX 2016 (Dz.U. 2016 nr 0 poz.1395) dla II grupy gruntów
Metale	Wartość graniczna [mg/kg s.m.]	Wartość graniczna [mg/kg s.m.]	Wartość graniczna [mg/kg s.m.]
Cynk (Zn)	≤1000	300-3000	300-1000
Ołów (Pb)	≤200	100-1000	100-500
Miedź (Cu)	≤150	150-1000	100-300
Nikiel (Ni)	≤75	100-500	100-300
Chrom (Cr)	≤200	150-800	150-500
Kadm (Cd)	≤7,5	4-20	2-5
Rtęć (Hg)	≤1	2-50	2-5
WWA	Wartość graniczna [mg/kg s.m.]	Wartość graniczna [mg/kg s.m.]	Wartość graniczna [mg/kg s.m.]
Antracen	-	0,1-40	0,2
Naftalen	-	0,1-40	0,1
Benzo[a] piren	≤1	0,03-40	0,1

Źródło 4: Rozporządzenia Ministra Środowiska [31,32,33]

Jakość osadów z urządzeń kanalizacji deszczowej i zbiorników retencyjnych na podstawie danych literaturowych

Elementy systemu kanalizacyjnego, w których powstają osady

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Początkowym elementem systemu kanalizacji deszczowej, w którym gromadzą się osady są wpusty deszczowe z osadnikami oraz urządzenia lokalne stosowane do podczyszczania ścieków opadowych – osadniki i separatory substancji ropopochodnych. Osady odkładają się także w różnym stopniu w sieci kanałów deszczowych, ale podczas nawalnych deszczów lub intensywnych roztopów następuje samoistne oczyszczanie kanałów, które wówczas pracują przy znacznym napełnieniu lub wręcz pełnym przekrojem (pod ciśnieniem) [1]. Nieco odmiennym elementem systemu kanalizacji deszczowej są zbiorniki retencyjne, których najważniejszą funkcją (np. w Gdańsku) jest ochrona przeciwpowodziowa. Osady w zbiornikach wodnych powstają wskutek nagromadzenia się substancji autochtonicznych oraz allochtonicznych. Substancje autochtoniczne to materia tworząca się z wytrąconych z wody substancji mineralnych i nierozłożonej materii organicznej, a substancje allochtoniczne to substancje docierające do zbiornika wodnego z otaczającej go zlewni (np. krzemionka, iły, gliny, glinokrzemiany). O ile osady pochodzące z lokalnych urządzeń do podczyszczania ścieków nie stanowią bezpośredniego zagrożenia dla człowieka, o tyle zbiorniki retencyjne są ogólnodostępne i często udostępnione do rybołówstwa (np. w Gdańsku 30 zbiorników jest udostępnionych wędkarzom). Biorąc pod uwagę fakt, że większość potencjalnie groźnych zanieczyszczeń (metale ciężkie) jest deponowana w osadach, istotne są dane dotyczące biodostępności metali ciężkich. W tym celu obok oznaczenia całkowitej ilości zawartości metali ciężkich w osadach często stosuje się analizę specjacyjną, która pozwala na ilościowe oznaczenie poszczególnych form chemicznych, w jakich metale są związane w osadzie dennym [19].

Charakterystyka osadów w świetle dotychczasowych badań

Jedne z niewielu informacji na temat osadów odkładanych we wpustach deszczowych pochodzą z badań przeprowadzanych w Białymstoku (Grabarczyk 1999 [9], Królikowski i in. 2005 [1]). Badania nad osadami pochodzącymi z wpustów deszczowych na terenie Białegostoku (Ptoszek 1994 [12]) 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 znaczne ilości metali ciężkich. Kolejne badania przeprowadzono w Katedrze Wodociągów i Kanalizacji Politechniki Białostockiej w latach 1996-1998 [1]. 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 obszarze ścieżki rowerowej. Wyniki opisała Grabarczyk w 1999r. [9], w których oceniła, że osady z wpustów ulicznych wykazują wyższe stężenie substancji pochodzenia antropogenicznego (np. czterokrotnie wyższa wartość węglowodorów w stosunku do wpustu znajdującego się na ścieżce rowerowej, analogiczne dysproporcje w stosunku do metali ciężkich). Skład osadów wykazywał sezonową

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

zmienność. Najbardziej zanieczyszczone osady odnotowano po spływach roztopowych. Osady z wpustów deszczowych składają się w przeważającej części z substancji mineralnych [1,9,12]. Największy udział substancji organicznej odnotowuje się we wpustach, które nagromadziły w dużej ilości liście i resztki roślinne. Najbardziej zaolejone osady pochodzą z wpustów obsługujących zlewnie dużych węzłów komunikacyjnych o znacznym natężeniu ruchu. Najwięcej azotu ogólnego Kjeldahla obserwuje się we wpustach usytuowanych na jezdniach ulic obciążonych wysokim natężeniem ruchu kołowego. W badaniach przeprowadzonych przez Królikowskiego i in. [1] wykazano, że ponad 68% sumy oznaczanych metali ciężkich stanowi cynk. W wyniku przeprowadzonej analizy wyróżniono podział na dwie grupy wpustów, które określono jako „nisko-" lub „wysoko obciążone". Wpusty wysoko obciążone obsługują zlewnie obciążone znacznym ruchem pojazdów, centra miast, dzielnice o intensywnej zabudowie. Wpusty nisko obciążone to wpusty zlokalizowane w obrębie dzielnic o zabudowie jednorodzinnej, obsługujące częściowo ciągi piesze i rowerowe oraz ulice o niewielkim natężeniu ruchu pojazdów [1].

Tabela 5 Zakresy ważniejszych zanieczyszczeń dla wpustów "nisko-" i "wysoko obciążonych" [1]

Wyszczególnienie	Jednostka	Zakres zaobserwowanych wartości wg Królikowskiego i in.	
		Wpusty wysoko obciążone	Wpusty nisko obciążone
SEEN	mg/kg	0,19-2,67	0,03-0,55
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

Źródło 5: Królikowski A., Grabarczyk K., Gwoździej-Mazur J., Butarewicz A., Osady powstające w obiektach systemu kanalizacji deszczowej, Monografia PAN, nr 35, Lublin 2005

W odniesieniu do przytoczonych klasyfikacji przekroczenie obserwuje się jedynie dla stężenia kadmu w osadach z wpustów opisanych przez Królikowskiego i in. [1]. Badania osadów z urządzeń podczyszczających ścieki deszczowe przeprowadzili jako jedni z pierwszych również badacze z Białegostoku [1]. Osady z tych urządzeń cechują się większym uwodnieniem w stosunku do osadów z wpustów. Wpływ na wartość azotu ogólnego Kiejdahla wywiera również charakter zlewni (źródłem związków azotu jest głównie emisja związana z komunikacją samochodową – spalanie benzyny i oleju opałowego). Podobnie jak dla osadów z wpustów deszczowych wśród metali ciężkich dominuje cynk (stanowi blisko 70% sumy badanych metali). Królikowski i in. w wyniku przeprowadzonych badań określili istotne statystyczne zależności pomiędzy stężeniem ołowiu, cynku, chromu i miedzi. Zawartość poszczególnych metali w osadach była wzajemnie ściśle powiązana (współczynniki korelacji w granicach 0,85-0,97) [1]. Na terenie aglomeracji war-

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

szawskiej 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 [10]. Do badań wytypowano kilka urządzeń zlokalizowanych przy ulicach o wysokim średnim dobowym natężeniu ruchu SDR powyżej 25000 pojazdów na dobę. We wszystkich próbkach uzyskano dominację zawiesiny mineralnej nad organiczną (73,1-97,1% s.m. stanowią substancje mineralne). Dla próbki osadu pobranego z separatora przy trasie Siekierkowskiej, która charakteryzuje się dwoma jezdniami (każda po trzy pasy ruchu) o SDR 100000 pojazdów na dobę obserwuje się przekroczenie stężenia cynku i ołowiu według klasyfikacji geochemicznej i LAWA. Szyprowska i in. potwierdziły założenie, że w samej zawiesinie (osadach nagromadzonych w urządzeniach sedymentacyjno- flotacyjnych) znajduje się około 80-90% węglowodorów występujących w spływach opadowych z dróg. Szyprowska i Nechay [11] przeprowadziły również badania osadów pochodzących z urządzeń do podczyszczania spływów z terenów stacji benzynowych. W procesach sedymentacji i flotacji w urządzeniach oczyszczających – separatorach substancji ropopochodnych – gromadzą się zaolejone osady, jako niepożądane produkty uboczne. Według klasyfikacji zawartej w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 29 grudnia 2014 w sprawie katalogu odpadów (Dz.U. 2014 poz.1923) [27] odpady stałe z osadników oraz separatorów są szczególnie niebezpieczne i oznaczone kodem 13 05 01* do 13 05 08* [27]. Porównując wartości uzyskane dla osadów z trasy Siekierkowskiej i osadów z separatora na terenie stacji benzynowej można stwierdzić podobny poziom zanieczyszczenia. Separatory na terenach stacji benzynowych, myjni samochodowych, parkingach podlegają obowiązkowi okresowego czyszczenia. Zajmują się tym specjalnie wykwalifikowane firmy, które na działalność muszą mieć pozwolenie Marszałka Województwa. Obowiązek odpowiedniego utrzymania separatorów leży po stronie właściciela obiektu. Osady z osadników z wpustów deszczowych są również okresowo usuwane. Odpowiednie utrzymanie elementów systemu kanalizacji deszczowej na terenie miasta leży po stronie przedsiębiorstwa obsługującego ten system. Osady z wpustów można zaliczyć do grupy odpadów 13 01 03* - szlamy z kolektorów [27]. Niemniej jednak w związku z brakiem konieczności przeprowadzania badań zanieczyszczeń osadów oraz z brakiem pełnienia odpowiedniej jakości kontroli często kwestie zagospodarowania lub utylizacji osadów są zaniedbywane.

Ocenę osadów pochodzących ze zbiornika oczyszczalni wód deszczowych zlokalizowanego na terenie zlewni -„Jarząbek" (ul. Piekoszowska) w Kielcach przeprowadzili Bąk, Dąbek i in. [13]. Osady badano w kontekście zagrożenia dla środowiska oraz ewentualnej możliwości ich zagospodarowania. Osad cechuje się lekko alkalicznym odczynem na poziomie pH=7,21, barwa pobranych osadów szaro-czarna wskazuje na znaczy udział substancji mineralnych pochodzących ze spływu z ulic i dróg. Zapach mocno gnilny. Osad wykazywał luźną konsystencję z

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

tendencją do cementacji i kruszenia się. Uwodnienie na poziomie 67% wskazuje na duże zdolności pochłaniania wilgoci. Skład granulometryczny osadów wykazał dużą zawartość frakcji pyłowo- iłowej o średnicy ziaren poniżej 0,063mm (65-72%), która odpowiada za zdolności sorpcyjne zanieczyszczeń. 42% stanowiła frakcja o średnicy ziaren poniżej 0,025mm, pozostałe frakcje stanowiły piaski i szczątki organiczne. Osady wykazały się zróżnicowaną zawartością 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.). Źródłem cynku są produkty ścierania nawierzchni ulic, tarcz hamulcowych i opon. Stwierdzono obecność węglanów, a ich obecność w połączeniu z lekko alkalicznym odczynem osadów sugeruje, że metale występują w formach trudno rozpuszczalnych związków, a tym samym słabo mobilnych w środowisku. Sałata i Bąk [14] wykonali również analizę osadów dwóch zbiorników w obrębie miasta Kielce – otwartego przy ul. Witosa oddanego do użytku w 2003 W_{IT} (zlewnia typowo zurbanizowana) oraz zamkniętego przy ul. Jesionowej oddanego do użytku w 2001r. J_{ES} (zlewnia o charakterze przemysłowym). Przeprowadzona analiza stężeń zanieczyszczeń w osadach tych zbiorników wykazała, że w odniesieniu do kryteriów geochemicznych w osadach zbiornika WIT przekroczone zostały wartości graniczne dla cynku, tym samym klasyfikując osady z tego zbiornika w grupie II. Dla osadów zbiornika JES nie zostały przekroczone wskaźniki zanieczyszczeń metali, dlatego ogólna ocena osadów plasuje się w II klasie kryteriów geochemicznych. Natomiast analiza ekotoksykologiczna wskaźnikiem PEL wykazała, że osady ze zbiorników WIT i JES są szkodliwe dla środowiska naturalnego i mają negatywny wpływ na organizmy żywe. Dla metali ciężkich zostały przekroczone wartości stężenia ołowiu i cynku. W 2012r. Bąk, Górski i in. przeprowadzili badania dla osadów dennych zbiornika Suchedniów [15] – zbiornik wodny zaporowy. Większa część obszaru zlewni to lasy (45%) i pola orne (18%). Udział terenów zabudowanych nie przekracza 5%. W latach 2009-2011r. w rejonach zbiornika wykonywano prace związane z budową drogi ekspresowej S7. W trakcie tych prac odnotowano znaczący wzrost objętości namułów deponowanych w czaszy zbiornika oraz pogorszenie jakości wody (duży udział zawiesiny mineralnej). Wyniki analizy badanych metali ciężkich wykazały duże zróżnicowanie przestrzenne w badanych osadach. Zgodnie z klasyfikacją geochemiczną osady zbiornika Suchedniów zakwalifikowano do klasy II ze względu na zawartość Cr, Cu, Ni, Zn, do klasy III ze względu na Pb oraz do klasy IV ze względu na zawartość Cd. Udział ołowiu i kadmu w ogólnym zanieczyszczeniu osadów dennych był największy. Dąbrowska (2009) [16] prowadziła badania dotyczące specjacji metali ciężkich w osadach dennych zbiornika Kozłowa Góra. Największe stężenie dla metali ciężkich stwierdzono dla cynku i na podstawie kryteriów geochemicznych sklasyfikowano osad jako zanieczyszczony. Dodatkowo wartość wskaźnika ekotoksykologicznego PEL dla kadmu (3,5mg/kg) została przekroczona w odniesieniu do dwóch prób, dla cynku

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

(315mg/kg) dla jednej próby oraz ołowiu (91mg/kg) w osadach ze wszystkich punktów pomiarowych. Osady zbiornika Kozłowa Góra charakteryzowały się małym udziałem frakcji wymiennej metali w całkowitej zawartości. We frakcji związków praktycznie nierozpuszczalnych stwierdzono największą zawartość cynku i chromu. Miedź występowała głównie we frakcji organiczno- siarczkowej, a ołów i nikiel w połączeniu z węglanami. Kadm dominował we frakcji uwodnionych tlenków żelaza i manganu lub we frakcji węglanowej w zależności od punktu poboru.

Analiza specjacyjna metali oraz korelacje między wybranymi zanieczyszczeniami

Specjacja metali ciężkich

Większa część metali ciężkich, które trafiają do wód jest związana i transportowana z zawiesiną, 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 metale wykazują się 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 [19]. W glebach i osadach kwaśnych o pH do 5,5 dominują labilne formy jonowe, natomiast w glebach i osadach o odczynie obojętnym (pH=6,6-7,2) oraz zasadowym (pH powyżej 7,2) dominują mniej mobilne, trudniej rozpuszczalne formy hydroksytlenkowe [19]. W tabeli poniżej zestawiono najważniejsze formy specjacyjne metali, które występują w ilościach śladowych w roztworze glebowym, w zależności od pH.

Tabela 6 Formy specjacyjne metali w roztworze glebowym w zależności od wartości ujemnego logarytmu stężenia jonów wodorowych [22]

Metal	pH=3,5-6,0	pH=6,0-8,5
Zn	Zn^{2+}, $ZnSO_4$, Zn-org	$ZnOH^+$, $Zn(OH)_3^-$, $ZnHCO_3^+$, Zn-org
Pb	Pb^{2+}, $PbSO_4$, Pb-org	$PbOH^+$, $Pb(OH)_4^{2-}$, $PbCO_3$, Pb-org
Cu	Cu^{2+}, $CuOH^+$, Cu-org	$CuOH^+$, $Cu(CO_3)_2^{2-}$, Cu-org
Ni	Ni^{2+}, $NiSO_4$, Ni-org	Ni^{2+}, $NiHCO_3^+$, Ni-org
Cr	Cr^{3+}, $CrOH^{2+}$	$Cr(OH)_4^-$, CrO_4^{2-}

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Cd	Cd^{2+}, $CdCl^{+}$, $CdSO_4$	Cd^{2+}, $CdOH^{+}$, $CdCl^{+}$, $CdSO_4$

Źródło 6: Hulanicki A., Współczesna chemia analityczna. Wybrane zagadnienia., Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2001

Zmiana warunków środowiskowych, zakwaszenie, zmiana potencjału redoks, stężeń ligandów nieorganicznych i organicznych powoduje zmianę mobilności i biodostępności metali [21]. 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 poddawany jest 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 [21]. 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 następujących frakcji:

- Frakcja I – metale wymienne
- Frakcja II – metale związane z węglanami
- Frakcja III – metale związane z uwodnionymi tlenkami żelaza i manganu
- Frakcja IV – metale związane z materią organiczną
- Frakcja V – metale pozostałe, trwale związane z minerałami.

Za najbardziej mobilne uważa się metale występujące w dwóch pierwszych frakcjach, z których ich uwalnianie następuje pod wpływem zmiany pH, składu jonowego wody. Ważną cechą, która odróżnia metale ciężkie wśród innych toksycznych zanieczyszczeń jest fakt, że nie ulegają one biodegradacji, a jedynie biotransformacji [18].

Korelacje między zanieczyszczeniami w systemie kanalizacji deszczowej

Badania osadów z wpustów deszczowych i osadników przeprowadzone w Białymstoku (Królikowski i in. 2005) wykazały, że jakość osadów w tych urządzeniach odzwierciedla charakter i sposób użytkowania odwadnianych zlewni. Na przykład, w osadach z wpustów zlokalizowanych na jezdniach stwierdza się wyższe stężenie substancji pochodzenia antropogenicznego – substancji ropopochodnych oraz metali ciężkich w porównaniu z osadami z wpustów poza pasem jezdnym. Skład osadów wykazuje sezonową zmienność – najbardziej zanieczyszczone są osady po spływach roztopowych. Współczynniki korelacji między składem ścieków dopływających do wpustów, a składem osadów plasują się w granicach od Kor=0,80 dla zawartości ołowiu w ściekach i ekstraktu eterowego w osadzie do Kor=0,95 dla oło-

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

wiu zawartego w ściekach i ołowiu w osadzie. Model analizy wielowymiarowej pozwolił na ocenę stwierdzenia, że skład osadów powstających w kanalizacji deszczowej zależy od rodzaju obiektu, w którym następuje odkładanie osadu (wpust, czy separator), wskaźników zanieczyszczeń dla dopływających ścieków opadowych (zawiesiny ogólnej, zawartości zawiesiny organicznej, ChZT, metali ciężkich, ekstraktu eterowego, azotu i fosforu ogólnego), zmian sezonowych (pory roku), które wpływają na skład ścieków opadowych oraz charakterystyki i cech zlewni (wpływ pojazdów mechanicznych) [1].

Fitoremediacja jako metoda zagospodarowania osadów

Osady nagromadzone we wpustach deszczowych, osadnikach czy separatorach muszą być systematycznie usuwane w celu utrzymania prawidłowej pracy systemu kanalizacji deszczowej. Podobnie postępuje się z osadami dennymi zdeponowanymi w zbiornikach retencyjnych. Co jakiś czas (zazwyczaj raz/ dwa razy do roku) przeprowadza się prace konserwacyjne, polegające na odmulaniu zbiorników i usuwaniu nagromadzonych osadów. Czynności te są stosunkowo łatwe do wykonania w porównaniu z kolejnym etapem prac, jakim jest zagospodarowanie i często niezbędne oczyszczanie wydobytych osadów, aby możliwe było ich ponowne wykorzystanie. Metody remediacji osadów prowadzone poza miejscem, w którym powstały to metody ex situ. Do najprostszych i najbardziej ekonomicznych metod, które można zastosować do oczyszczania osadów pochodzących z kanalizacji deszczowej należą metody fitoremediacji, czyli biologiczne metody oczyszczania prowadzone przy pomocy makrofitów wodnych. Technologie fitoremediacyjne przewidują stosowanie roślin do procesów usuwania, stabilizacji i/lub degradacji zanieczyszczeń [23]. Hydrofity mogą pobierać metale ciężkie w sposób aktywny lub bierny. Miedź i cynk należą do metali pobieranych aktywnie, natomiast kadm, ołów, molibden i nikiel należą do metali pobieranych biernie. Proces pobierania metali ciężkich w ilościach nadmiernych przez rośliny wynika często z braku bariery biologicznej [2]. Zawartość metali ciężkich w roślinach może być wielokrotnie wyższa niż w środowisku (Ozimek 1988). Gatunki wieloletnie wykazują wyższą zawartość metali ciężkich w porównaniu z roślinami jednorocznymi w tym samym środowisku. Pobieranie i przemieszczanie się metali ciężkich w roślinach zależy od procesów metabolicznych rośliny oraz od postaci i ruchliwości metalu. Szczególne znaczenie dla rozwoju roślin mają takie mikroelementy jak cynk, miedź, molibden i mangan [20]. Cynk charakteryzuje się dużą ruchliwością w roślinie, odznacza się również dużą podatnością do akumulacji w łodydze i liściach. Jest bardzo ważnym budulcem kompleksów ligandowych azotu, siarki i tlenu w roślinie, odpowiedzialny za tworzenie wiązań chylatowych znajdujących się między enzymem, a substratem. Na wzrost przyswajalności cynku przez hydrofity ma wpływ obniżenie odczynu. Przy zasadowym odczynie i wysokich zawartościach jonów fosforowych dochodzi

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

do unieruchomienia związków cynku. Optymalnym pH dla poboru cynku jest zakres pH=5,5-7,0. Niekorzystna dla roślin jest zarówno niska jak i wysoka koncentracja cynku w ekosystemie. Miedź ma istotne znaczenie dla prawidłowego wzrostu rośliny. Pierwiastek ten najczęściej gromadzi się w korzeniach i liściach. Pobierany w korzeniach często jest transportowany do stożków wzrostu [2,3]. W miarę zmniejszania pH osadów dochodzi do znacznie słabszego wiązania miedzi przez roślinę. Duże znaczenie w pobieraniu miedzi mają inne metale w środowisku. Wraz ze zmniejszeniem zawartości żelaza i cynku dochodzi do zwiększenia poboru miedzi [20]. Ołów jako biernie pobierany pierwiastek jest zazwyczaj zatrzymywany w organie, w którym został pobrany (zazwyczaj korzenie i kłącza) i jest wiązany w błonach komórkowych ze związkami białkowymi oraz tłuszczowymi, a także wytrącany w formie orto- i polifosforanów [2,3]. Parametrem, który określa biodostępność metali ciężkich dla roślin jest m.in. zawartość substancji organicznej. Gleby o wysokiej zawartości substancji organicznej są zdolne do silnego wiązania metali ciężkich. Inne badania [4, 24] pokazują, że dla ołowiu i kadmu substancja organiczna ma niewielki wpływ na ich przyswajanie przez rośliny.

Wśród metod fitoremediacji metali ciężkich z gleb można wyróżnić różne kategorie, takie jak:

- Fitoekstrakcja – technologia ta wykorzystuje potencjał roślin, tzw. hiperakumulatorów do absorbowania bardzo dużych zawartości metali ciężkich.
- Fitostabilizacja – związana jest z zatrzymywaniem metali ciężkich w glebie/ osadach, poprzez absorpcję i akumulację w korzeniach, adsorpcję na powierzchni korzeni lub precypitację w strefie ryzosfery.
- Fitowolatylizacja – polega na absorbowaniu jonów pierwiastków podgrup I, V i VI (np. rtęć, selen lub arsen) przez korzenie hydrofitów, a następnie przekształcanie ich w formy mniej toksyczne i uwalnianie do atmosfery [23].

Wnioski

Osady powstające w kanalizacji deszczowej powinny podlegać badaniom i klasyfikacji środowiskowej. Konieczne jest stworzenie przepisów odwołujących się konkretnie do tego rodzaju osadów. Priorytetem powinno być ustalenie dokładnych kierunków zagospodarowania osadów pochodzących z kanalizacji deszczowej. Najbardziej restrykcyjną z opisanych metod klasyfikacji okazują się kryteria ekotoksykologiczne określone wskaźnikami PEL oraz TEL. Przy określeniu zawartości metali ciężkich w zbiornikach retencyjnych nieodzownym elementem badań jest analiza specjacyjna, pozwalająca określić ich mobilność i labilność oraz podatność na migrację z osadów do toni wodnej i odwrotnie. Osady denne zdeponowane w zbiornikach retencyjnych są bardzo dobrym wskaźnikiem jakości wody i ekosystemu wodnego oraz zapisem działalności antropogenicznej.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Literatura

[1] Królikowski A., Grabarczyk K., Gwoździej-Mazur J., Butarewicz A., *Osady powstające w obiektach systemu kanalizacji deszczowej*, Monografia PAN, nr 35, Lublin 2005

[2] Obarska-Pempkowiak H., Gajewska M., Wojciechowska E., *Hydrofitowe oczyszczanie wód i ścieków*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2010

[3] Obarska-Pempkowiak H., *Oczyszczalnie hydrofitowe*, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2002

[4] Kabata-Pendias A., Pendias H., *Biogeochemia pierwiastków śladowych*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1993

[5] Wojciechowska E., Gajewska M., Żurkowska N., Surówka M., Obarska-Pempkowiak H., Zrównoważone systemy gospodarowania wodą deszczową, *Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej*, Gdańsk 2015

[6] Suligowski Z., Tuszyńska A., P*roblemy zagospodarowania wód opadowych w Polsce. Kanalizacja ogólnospławna*, [online], dostęp zdalny: http://retencja.pl

[7] Kalinowski R., Załęska-Radziwiłł M., *Wyznaczanie standardów jakości osadów dennych na podstawie badań ekotoksykologicznych*, Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych, nr 40, 2009

[8] Bojakowska I., Sokołowska G., *Geochemiczne klasy czystości osadów wodnych*, Przegląd Geologiczny, vol 46, nr 1, 1998

[9] Grabarczyk K., *Wpływ ścieków deszczowych na zawartość zanieczyszczeń w osadach zatrzymywanych w urządzeniach kanalizacji deszczowej systemu rozdzielczego,* rozprawa doktorska, Politechnika Białostocka, Białystok 1999

[10] Szyporowska 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

[11] 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

[12] 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

[13] Bąk Ł., Dąbek L., 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

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

[14] Sałata A., Bąk Ł., *Ocena ekotoksykologiczna osadów z kanalizacji deszczowej*, Proceedings of ECOpole, 2015;9(1), 2015

[15] Bąk Ł., Górski J., Rabajczyk A., Szwed M., *Zawartość związków metali ciężkich w osadach dennych zbiornika Suchedniów*, Proceedings of ECOpole, 2015

[16] Dąbrowska L., *Specjacja metali ciężkich w osadach dennych zbiornika Kozłowa Góra*, Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych, nr 49, 2011

[17] Dąbrowski W., *Parametry fizyczne zawiesin wód deszczowych jako podstawa do projektowania systemów podczyszczania*, Gaz, Woda i Technika Sanitarna, nr 6, 2001

[18] 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 s.194-197

[19] Pawłowski J., Rozental M., Drzewińska A., Neffe S., *Analiza specjacyjna osadów dennych pobranych na terenie Kampinoskiego Parku Narodowego*, *Biuletyn WAT*, vol. LXIII, nr 4, 2014

[20] Kosiorek M., *Znaczenie cynku, miedzi, molibdenu i manganu w uprawie roślin*, monografie Inżynieria Środowiska Młodym Okiem, tom 22, Białystok 2016

[21] Bezak-Mazur E., *Specjacja w Ochronie i Inżynierii Środowiska*, Komitet Inżynierii Środowiska PAN, Monografie, nr 20, Kielce 2004

[22] Hulanicki A., *Współczesna chemia analityczna*. Wybrane zagadnienia., Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2001

[23] Grobelak A., Kacprzak M., Fijałkowski K., *Fitoremediacja – niedoceniony potencjał roślin w oczyszczaniu środowiska*, JEcolHealth, vol.14, nr 6, 2010

[24] Ozimek T., *Rola makrofitów w krążeniu metali ciężkich w ekosystemach wodnych*, Wiadomości Ekologiczne, 35(1), 1988

[25] LAWA-Arbeitskreis „Zielvorgaben" in Zusammenarbeit mit LAWA-Arbeitskreis „Qualitative Hydrologie der Fließgewässer", *Beurteilung der Wasserbeschaffenheit von Fließgewässern in der Bundesrepublik Deutschland – Chemische Gewässergűteklassifikation*, Berlin 1998

[26] 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)

[27] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 grudnia 2014r. w sprawie katalogu odpadów (Dz.U. 2014 poz. 1923).

[28] Long E.R., Macdonald D.D, Smith S.l., Calder F.D., *Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in Marine and estuarine sediments*, Environmental Management 19(1): 81-97, 1995

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

[29] Macdonald D.D., *Approach to the assessment of sediment quality in Gflorida coastal waters*, vol.1 – Development and evaluation of the sediment quality assessment guidelines, Report prepared for the Florida Department of Environmental Protection, *Tallahasse*, FL : 1- 140, 1994

[30] Australian and New Zealand Environment and Conservation Council, ANZECC interim sediment quality guidelines, *ANZECC Report for the Environmental Research Institute of the Supervising Scientist*, Sydney, Australia 1997

[31] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 16 kwietnia 2002r. w sprawie rodzajów oraz substancji, które powodują, że urobek jest zanieczyszczony (Dz.U. 2002 nr 55 poz. 498)

[32] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi (Dz.U. 2002 nr 165 poz. 1389)

[33] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 września 2016r. w sprawie sposobu prowadzenia oceny zanieczyszczenia powierzchni ziemi (Dz.U. 2016 nr 0 poz.1395)

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl