

Grażyna SAKSON¹
Marek ZAWILSKI²
Ewa BADOWSKA³
Agnieszka BRZEZIŃSKA⁴

ZANIECZYSZCZENIE ŚCIEKÓW OPADOWYCH JAKO PODSTAWA WYBORU SPOSOBU ICH ZAGOSPODAROWANIA

W artykule została omówiona charakterystyka jakościowa spływów opadowych według danych krajowych i zagranicznych oraz efektywność urządzeń stosowanych do ich podczyszczania. Zostały przedstawione wyniki przeprowadzonych w Łodzi badań jakości ścieków opadowych odprowadzanych z powierzchni o różnym sposobie zagospodarowania i lokalizacji. Badania prowadzone były w cyklu wieloletnim i umożliwiły analizę jakościową spływów pochodzących z różnych zjawisk opadowych, o zmiennej intensywności, czasie trwania i pojawiających się po zróżnicowanych czasowo okresach pogody suchej, co w istotny sposób wpływa na ich stopień zanieczyszczenia. Tego typu dane umożliwiają wytypowanie powierzchni i zlewni, z których bezpośrednie odprowadzanie spływów opadowych do wód powierzchniowych lub do gruntu nie stanowi zagrożenia dla środowiska. Na podstawie przeprowadzonych badań i analiz sformułowano wskazówki dotyczące doboru rozwiązań w zakresie gospodarowania wodami opadowymi na obszarach zurbanizowanych w aspekcie zanieczyszczenia ścieków opadowych. Wybór odpowiednich rozwiązań w zakresie gospodarowania ściekami opadowymi na obszarach zurbanizowanych jest warunkiem skutecznej ochrony środowiska przed zanieczyszczeniami, ale również umożliwia optymalne wykorzystanie środków przewidzianych na ten cel.

Słowa kluczowe: ścieki deszczowe, oczyszczanie ścieków, metale ciężkie, węglowodory ropopochodne

¹ Autor do korespondencji: Grażyna Sakson, Politechnika Łódzka, Instytut Inżynierii Środowiska i Instalacji Budowlanych, 90-924 Łódź, Al. Politechniki 6, tel. 42 631 35 27, e-mail: grazyna.sakson-sysiak@p.lodz.pl;

² Marek Zawilski, j.w., tel. 42 631 39 49, e-mail: marek.zawilski@p.lodz.pl

³ Ewa Badowska, j.w., tel. 42 631 35 95, e-mail: ewa.badowska@p.lodz.pl

⁴ Agnieszka Brzezińska, j.w., tel. 42 631 35 94, e-mail: agnieszka.brzezinska@p.lodz.pl.

1. Wprowadzenie

Rozwój obszarów zurbanizowanych powoduje m.in. nasilanie się problemów z zagospodarowaniem spływów opadowych z powierzchni uszczelnionych. Przez wiele lat najczęściej stosowanym rozwiązaniem było jak najszybsze zebranie wód deszczowych z powierzchni dachów, ulic i chodników i odprowadzenie ich do wód powierzchniowych, z reguły bez oczyszczania. Podstawowym kryterium stosowanych rozwiązań było zapewnienie bezpieczeństwa funkcjonowania miasta, a aspekty ekologiczne nie były brane pod uwagę. Jednak, jak podają Borchardt i Sperling [2], już uszczelnienie powierzchni zlewni przekraczające 5% powoduje niekorzystne zmiany w odbiorniku, m.in. redukcję liczby organizmów żywych i ograniczenie bioróżnorodności. W zależności od uwarunkowań lokalnych takie zagrożenie może istnieć już przy uszczelnieniu powyżej 2%. W ostatnich latach coraz częściej odbiornikiem wód deszczowych jest również grunt. Zagospodarowanie wód opadowych w miejscu wystąpienia opadu jest zgodne z zasadami rozwoju zrównoważonego i w dużym stopniu przyczynia się do zachowania w jak największym stopniu naturalnego obiegu wody w środowisku, może jednak również stanowić zagrożenie dla jakości wód podziemnych, co powinno być uwzględniane przy wyborze sposobu zagospodarowania wód opadowych.

2. Charakterystyka ścieków opadowych

Ścieki opadowe mogą zawierać bardzo wiele zanieczyszczeń, zarówno organicznych, jak i nieorganicznych. Trafiają one do nich na etapie powstawania opadu w atmosferze (I faza), podczas spływu wód opadowych z powierzchni zlewni (II faza), wreszcie mogą być wyłukiwane z osadów zgromadzonych w przewodach kanalizacyjnych, którymi ścieki są transportowane (III faza). Zidentyfikowano ponad 650 substancji organicznych oraz 30 metali i śladowych związków nieorganicznych, które mogą być zawarte w ściekach opadowych [8]. Przy wykorzystaniu metody identyfikacji i oceny zagrożeń chemicznych (Chemical Hazard Identification and Assessment Tool CHIAT), wybrano te, które stanowią największe zagrożenie dla środowiska. Powstanie listy priorytetowych zanieczyszczeń ścieków opadowych obejmowało pięć etapów działań: ustalenie charakterystyki źródeł i obszarów oddziaływania zanieczyszczeń, identyfikację problemów i zagrożeń, ocenę zagrożeń i wreszcie ostateczny wybór substancji priorytetowych przez grupę ekspertów. Przy dokonywaniu wyboru uwzględniano m.in. zachowania substancji w środowisku (podatność na rozkład, zdolność do bioakumulacji, toksyczność), oddziaływanie na organizmy żywe (m.in. działanie rakotwórcze, mutagenne, zagrożenia dla reprodukcji, powodowanie zaburzeń gospodarki hormonalnej i alergii u ludzi), jak również ewentualne problemy techniczne i estetyczne (tendencje do wytrącania w postaci osadów, zapach, pie-

nienie, powodowanie przebarwień odzieży i armatury sanitarnej) [7, 8]. Utworzona lista zawiera 25 parametrów, podzielonych na 5 kategorii (Tabela 1).

Tabela 1. Lista wybranych priorytetowych zanieczyszczenia wód opadowych (parametrów wskaźnikowych) [na podstawie 8]

Table 1 . List of selected stormwater priority pollutants (indicator parameters) [based on 8]

Typ	Nazwa
Parametry podstawowe	BZT ₅ , ChZT, zawiesina ogólna, azot, fosfor, pH
Metale ciężkie	cynk, kadm, chrom(VI), miedź, nikiel, ołów, platyna
Policykliczne węglowodory aromatyczne	benzo[a]piren, naftalen, piren
Herbicydy	terbutylazyna, pendimetaliny, fenmedifam, glifosat
Różne związki organiczne	etoksylaty nonylofenolu i produkty degradacji, np. nonylofenol, pentachlorofenol, ftalan dwu-2-etyloheksylu, 2,4,4'-trichlorobifenyl (polichlorowany bifenyl 28), eter metylo-tert-butyłowy

Podstawowa analiza jakości ścieków opadowych najczęściej dokonywana jest na podstawie oznaczania zawartości zawiesin ogólnych i metali ciężkich. Badania 12 obecnych w ściekach opadowych metali wykazały, że większość z nich występuje we frakcjach mobilnych w środowisku, a ponadto charakterystyczne jest dla nich tzw. zjawisko pierwszej fali [11]. Wyższe stężenia metali obserwuje się zazwyczaj w spływach z terenów przemysłowych, niż mieszkaniowych.

Wdług aktualnie obowiązujących uregulowań prawnych w Polsce wymagania dotyczące jakości ścieków opadowych odprowadzanych do wód i do ziemi dotyczą jedynie spływów z zanieczyszczonej powierzchni szczelnej terenów przemysłowych, składowych, baz transportowych, portów, lotnisk, miast, budowli kolejowych, dróg zaliczanych do kategorii dróg krajowych, wojewódzkich i powiatowych klasy G, a także parkingów o powierzchni powyżej 0,1 ha. Wdług Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 roku w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego (Dz.U. Nr 137 poz. 984) nie powinny zawierać substancji zanieczyszczających w ilościach przekraczających 100 mg/l zawiesin ogólnych oraz 15 mg/l węglowodorów ropopochodnych. Rozporządzenie nie ustala wymagań w stosunku do innych wskaźników zanieczyszczeń, w tym metali ciężkich. Dopuszczalne stężenia metali ciężkich określone są jedynie dla ścieków przemysłowych. Wg Załącznika 1 do Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 28 stycznia 2009 r. zmieniającego rozporządzenie w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szcze-

gólnie szkodliwych dla środowiska wodnego (Dz.U. Nr 27 poz. 169) w zależności od rodzaju przemysłu najwyższe dopuszczalne stężenie kadmu wynosi od 0,05 do 0,4 mg/l, cynku 2 mg/l, a miedzi i ołowiu od 0,1 do 0,5 mg/l.

Charakterystykę ścieków opadowych w zakresie podstawowych parametrów wg badań polskich i zagranicznych przedstawiono w Tabelach 2 i 3.

Tabela 2. Stężenia podstawowych zanieczyszczeń w ściekach opadowych wg badań krajowych [na podstawie 1, 12, 14, 16]

Table 2. Stormwater concentration levels for principal pollutants (Polish research) [based on 1, 12, 14, 16]

Wskaźnik	Jednostka	Dachy [16]	Spływy z ulic (Częstochowa) [14]	Kolektor deszczowy (Kielce) [1]	Wyloty do rzek - spływy deszczowe i roztopowe (Białystok) [12]
Zawiesiny ogólne	mg/l	-	11-410	144-7432	48-1450
Cynk	µg/l	582-12357	-	91-858	247-1581*
Miedź	µg/l	12-240	3,37- 7,99	65-320	12-314*
Ołów	µg/l	76-2458	21-63	96-1405	30-580*
Kadm	µg/l	0,2-4,5	0,47-0,77	0-90	1-8*
Ekstrakt eterowy	mg/l	-	-	-	20-120

* spływy roztopowe

Tabela 3 . Stężenia podstawowych zanieczyszczeń w ściekach opadowych wg badań zagranicznych [na podstawie 3, 13, 23]

Table 3. Stormwater concentration levels for principal pollutants (foreign research) [based on 3, 13, 23]

Wskaźnik	Jednostka	[3]	[13]	[23]
Zawiesiny ogólne	mg/l	29-1535	11-874	11-2500
Cynk	µg/l	24-3563	130-520	30-11700
Miedź	µg/l	5,7-1143	30-220	6-500
Ołów	µg/l	7-2408	<10-129	4-404
Kadm	µg/l	0,46-30	-	-

3. Skuteczność oczyszczania ścieków opadowych

Oczyszczanie ścieków opadowych przed ich odprowadzeniem do odbiornika ukierunkowane jest najczęściej na usuwanie zawiesin ogólnych i związanych z nimi metali ciężkich oraz substancji ropopochodnych. W przypadku odprowadzania ścieków do wód powierzchniowych działanie urządzeń podczyszczających oparte jest przede wszystkim na wykorzystaniu metod fizycznych, głównie sedimentacji. W przypadku, gdy odbiornikiem jest grunt podstawowym sposobem zagospodarowania wód opadowych jest infiltracja powierzchniowa lub

podpowierzchniowa. Często wykorzystywane są urządzenia z bioretencją, w których rośliny umożliwiają zwiększenie efektywności oczyszczania ścieków i jednocześnie zapewniają wysokie walory estetyczne takich rozwiązań [9,20,22]. Skuteczność podstawowych metod oczyszczania spływów opadowych podawana w piśmiennictwie krajowym zawarta jest w Tabeli 4.

Tabela 4. Skuteczność usuwania zanieczyszczeń w urządzeniach stosowanych do oczyszczania ścieków opadowych (%) [na podstawie 4, 5, 6, 19]

Table 4. Efficiency of pollutants removal in stormwater treatment facilities (%) [based on 4, 5, 6, 19]

Rodzaj urządzenia	Zawiesiny ogólne	Metale ciężkie	Substancje ropopochodne
Rowy trawiaste	40-100	20-100	20-90
Powierzchnie porowate	90-100	60-100	-
Rowy infiltracyjne	80-100	70-100	80
Zbiorniki retencyjne	40-90	60-80	80
Osadniki, piaskowniki	60-80	-	60-80
Separatory substancji ropopochodnych	-	-	>95

Przy odprowadzaniu ścieków opadowych do wód powierzchniowych podstawowym parametrem określającym potencjalny negatywny wpływ na odbiornik jest stężenie zawiesin ogólnych [21], natomiast przy wprowadzaniu ścieków do gruntu analizowana jest głównie obecność metali ciężkich [10, 17, 18]. Możliwość zanieczyszczenia wód podziemnych przez metale ciężkie obecne w ściekach opadowych zależy m.in. od mobilności danego metalu i rodzaju gruntu. Niektóre metale ciężkie w przypadku stosowania infiltracji podpowierzchniowej mogą stwarzać umiarkowane zagrożenie zanieczyszczenia wód podziemnych, jednak w przypadku wcześniejszego podczyszczania ścieków przez sedymentacje zagrożenie to jest niskie [15].

W urządzeniach infiltracyjnych zanieczyszczenia zawarte w ściekach opadowych w znacznym stopniu usuwane są podczas przepływu przez ośrodek porowaty, m.in. w takich procesach jak filtracja, sorpcja, chemiczna i biologiczna transformacja. Zdaniem Grebela i wsp. [10] optymalizacja procesu eliminacji zanieczyszczeń może być dokonywana na 3 sposoby: wybór odpowiedniego materiału filtracyjnego, właściwych parametrów hydraulicznych procesu i warunków redox. Podstawowe właściwości materiałów stosowanych w infiltracji wód opadowych podano w Tabeli 5.

Tabela 5. Właściwości materiałów stosowanych w infiltracji wód opadowych [na podstawie 10]

Table 5. Potential stormwater infiltration media. Representative properties [based on 10]

Material	Powierzchnia właściwa (m ² /g)	Zdolność wymiany kationów (cmol/kg)	K _{h_sat} *d (cm/s)
Piasek	0,1	1	0,117
Kaolinit glina	5-20	1-15	1,4-2,3×10 ⁻⁵
Naturalne zeolity	30-180	2-100	0,125-0,214
Wapień	7	23	0,024
Tlenki żelaza	zmienna	zmienna	-
Tlenki manganu	zmienna	zmienna	-
Tlenki glinu	zmienna	zmienna	-
Granulowany węgiel aktywny	350-1000	240	0,025
Ściółka/kompost	11-26	11-70	0,0047

Skuteczność usuwania metali ciężkich jest na ogół wyższa w przypadku stosowania urządzeń z roślinnością. Przykłady uzyskiwanych efektów w badaniach laboratoryjnych i eksploatowanych urządzeniach przedstawiono w Tabeli 6.

Ze względu na duże zróżnicowanie parametrów ścieków opadowych i warunków lokalnych wybór sposobu oczyszczania ścieków powinien być dokonany w oparciu o możliwie szerokie badania jakości ścieków i skuteczności przyjmowanych rozwiązań w konkretnym przypadku. Dowodem mogą być rezultaty badań trzech eksploatowanych obiektów (filtru gruntowego, filtru pospiesznego piaskowego i osadnika lamelowego) zawarte w Tabeli 7. Efektywność filtru gruntowego była zbliżona do poziomu obserwowanego w innych obiektach tego typu (wg danych literaturowych), nie było tak jednak w przypadku pozostałych urządzeń [12].

Tabela 6. Efektywność usuwania zanieczyszczeń w urządzeniach z bioretencją na podstawie badań laboratoryjnych i terenowych [20]

Table 6. Pollutant removal efficiencies for laboratory and field bioretention studies [20]

Parametr	Badania laboratoryjne		Badania polowe	
	Mała skala	Duża skala	1	2
Pb	93–97%	93–97%	>95%	70%
Cu	91–97%	90–93%	97%	43%
Zn	93–98%	87–96%	>95%	64%
P	16–83%	0–81%	65%	87%
TKN	55–80%	37–68%	52%	67%
NH ₄ ⁺	<0 -83%	54 -86%	92%	N/A
NO ₃ ⁻	11–26%	<0-23%	16%	15%
TN	60–75%	<0-43%	49%	N/A

Tabela 7. Efektywność urządzeń do oczyszczania ścieków opadowych (%) [na podstawie 12]

Table 7. Removal rates of stormwater treatment facilities (%) [based on 12]

Wskaźnik	Filtr gruntowy	Filtr pospieszny piaskowy	Osadnik lamelowy
Zawiesiny ogólne.	70	75	34
BZT ₅	61	28	20
ChZT	63	36	18
Azot ogólny	58	38	15
Fosfor ogólny	44	53	29
Ołów	87	68	36
Cynk	93	78	23
Miedź	91	17	21
E.coli	68	-39	-46

4. Badania jakości ścieków opadowych w Łodzi

4.1. Metodyka badań

Badania prowadzone były w latach 2009-2013. Obejmowały analizę jakościową spływów pochodzących z różnych zjawisk opadowych, o zmiennej intensywności, czasie trwania i pojawiających się po zróżnicowanych czasowo okresach pogody suchej. Badane były spływy opadowe pochodzące z jednostkowych powierzchni takich jak dachy (przy różnych materiałach pokryć dachowych), ulice, chodniki, place manewrowe i parkingi, a także z wylotów kanalizacji deszczowej do łódzkich rzek. Oznaczano m.in.:

- zawiesiny ogólne - metodą z zastosowaniem filtracji przez sączi z włókna szklanego zgodnie z PN-EN 872: 2007;
- metale ciężkie (cynk, miedź, ołów i kadm) - metodą atomowej spektrometrii absorpcyjnej (ASA) z wykorzystaniem spektrometru SOLAAR M5 firmy Thermo Electron Corporation, po mineralizacji mokrej za pomocą kwasu azotowego w mineralizatorze mikrofalowym MARSXpress firmy CEM;
- węglowodory ropopochodne - metodą chromatografii gazowej (GC) zgodnie z PN-EN ISO 9377-2.

4.2. Uzyskane wyniki i ich omówienie

Wyniki przeprowadzonych badań zawierają Tabele 8 i 9. Przeprowadzone badania wykazały bardzo zróżnicowaną zawartość zawiesin w spływach opadowych. Była ona zależna nie tylko od miejsca poboru prób, ale również parametrów opadu i długości okresu pogody suchej przed opadem. Stężenia węglowodorów ropopochodnych w ściekach opadowych były bardzo niskie (znacznie poniżej wymagań dla ścieków opadowych kierowanych do wód i do ziemi). Znaczące stężenie węglowodorów ropopochodnych stwierdzono jeden raz w próbie pobranej z terenu pętli autobusowej – 7,25 mg/l.

Tabela 8. Stężenie zawiesin ogólnych i metali ciężkich w ściekach opadowych w Łodzi (badania własne)

Table 8. Concentrations of suspended solids and heavy metals in stormwater runoff in Łódź (own research)

Miejsce poboru prób	Zakres stężeń				
	Zawiesiny ogólne	Zn	Cu	Pb	Cd
	mg/l	µg/l			
Ulice i parkingi	74-3496	80-4180	28-297	<2 -130	<0.2-35.7
Wyloty kanałów deszczowych do rzek	58-561	41-1057	23-320	10-126	<0.2-0.75
Wylot z osadnika wód deszczowych	5-85	47-159	11-20	11-20	<0.2
Dachy	3-75	20-17200	<0,5-6013	1-35	<0.1-1.5
- bez elementów metalowych		53-1058	<0,5-133	1-108	<0,1-2,1
- z elementami metalowymi		522-31303	7-6993	1-60	<0,1-2,5
- j.w. po przepływie przez warstwę gruntu z roślinnością		30-2280	<0,5-850	2,5-29	<0,1-1,9

Tabela 9. Stężenie węglowodorów ropopochodnych w ściekach opadowych w Łodzi – badania własne

Tabela 9. Concentrations of petroleum hydrocarbons in stormwater runoff in Łódź (own research)

Miejsce poboru prób	Liczba prób	Stężenie węglowodorów ropopochodnych (mg/l)
Wloty do osadników wód deszczowych:		
- zlewnia mieszkaniowa	57	0,45-1,6
- zlewnia przemysłowa	50	0,55-1,65
Wpusty deszczowe:		
- ulice	20	0,15-3,15
- stacje paliw	20	0,30-4,90
- pętla autobusowa	20	0,40-7,25

Obserwowano niskie stężenia ołowiu i kadmu, a także miedzi – za wyjątkiem spływów opadowych z dachów miedzianych. Jedynym metalem występującym w wysokich stężeniach jest cynk – zwłaszcza w spływach z dachów z elementami ocynkowanymi, a niekiedy w spływach z dróg i parkingów, zwłaszcza w miejscach lokalizacji metalowych elementów infrastruktury i małej architektury (wiaty, ogrodzenia, ławki, latarnie). Bardzo wysokie były stężenia cynku i miedzi w spływach z dachów z elementami metalowym (dachówka ocynkowana, dachówka miedziana rynny ocynkowane). Obserwowano je głów-

nie w przypadku złego stanu powierzchni dachowych, przy opadach poprzedzonych dłuższym okresem pogody suchej. Przepływ przez warstwę gruntu pokrytą roślinnością (np. trawą) powodował jednak bardzo skuteczne zmniejszanie stężenia tych metali.

4.3. Wnioski z badań

Na podstawie przeprowadzonych badań i analiz można sformułować następujące zalecenia dotyczące doboru rozwiązań w zakresie gospodarowania wodami opadowymi na obszarach zurbanizowanych w aspekcie zanieczyszczenia ścieków opadowych:

1. Stosowanie jako zasady zagospodarowania wód opadowych w miejscu wystąpienia opadu. Lokalizacja urządzeń możliwie najbliżej miejsca wystąpienia opadu umożliwi ograniczenie przenikania zanieczyszczeń do ścieków w II i III fazie (splukiwanie zanieczyszczeń ze zlewni i wypłukiwanie osadów kanałowych).
2. Powszechne stosowanie infiltracji wód opadowych do gruntu, najlepiej w urządzeniach z odpowiednio dobraną roślinnością. Stosowanie tych urządzeń powinno być zalecane przy odprowadzaniu wód opadowych z dachów, parkingów i ulic o mniejszym natężeniu ruchu.
3. Stosowaniu osadników wód deszczowych lub urządzeń z roślinnością (np. wetlandów) na wylotach kanałów deszczowych, przede wszystkim w celu zatrzymywania zawieszin oraz powiązanych z nimi metali ciężkich.
4. Lokalizacja separatorów substancji ropopochodnych jedynie na wylotach, dla których potwierdzono badaniami taką konieczność.

Stosowanie tych zasad umożliwi optymalne wykorzystanie środków przewidzianych na zagospodarowanie wód opadowych w mieście

5. Podsumowanie

Dobór rozwiązań w zakresie gospodarowania wodami opadowymi na obszarach zurbanizowanych powinien być dokonywany na podstawie wymagań formalno – prawnych dotyczących wprowadzania ścieków do wód i do ziemi, a także do urządzeń kanalizacyjnych, a jednym z podstawowych kryteriów powinno być bezpieczeństwo funkcjonowania obiektu i całej jednostki osadniczej. Jednak zasady zrównoważonego gospodarowania wodami opadowymi rozumiane jako dążenie do utrzymania dobrej jakości wód i zachowania naturalnego obiegu wody w środowisku powinny odgrywać nie mniej istotną rolę. Zasadą powinno być staranne dobieranie urządzeń przy uwzględnieniu składu ścieków opadowych i wymagań odbiornika.

Przyjmowane rozwiązania techniczne powinny charakteryzować się niezawodnością działania, niezależnie od zmienności parametrów opadu i spływu oraz warunków eksploatacji.

Badania naukowe zostały wykonane w ramach realizacji Projektu „Innowacyjne środki i efektywne metody poprawy bezpieczeństwa i trwałości obiektów budowlanych i infrastruktury transportowej w strategii zrównoważonego rozwoju” współfinansowanego przez Unię Europejską z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka

Literatura

- [1] Bąk Ł., Górski J., Górka K., Szela B., Zawartość zawiesin i metali ciężkich w wybranych falach ścieków deszczowych w zlewni miejskiej, *Ochrona Środowiska*, 2, 2012, s. 49-52.
- [2] Borchardt D., Sperling F., Urban stormwater discharges ecological effects on receiving waters and consequences for technical measures, *Wat. Sci. Tech.*, vol. 36, No 8-9, 1997, pp.173-179.
- [3] Brombach H., Fuchs S., Datenpool gemessener Verschmutzungskonzentrationen von Trocken- und Regenwetterabflüssen in Misch- und Trennkansalisationen, Abschlussbericht Langfassung, ATV-DVWK, 2002.
- [4] Burszta-Adamiak E., Łomotowski J.: Odprowadzanie wód opadowych na terenach o rozproszonej zabudowie, *Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich* nr 3/1/2006, PAN, Oddział w Krakowie, s. 141–153.
- [5] Burszta-Adamiak E., Ryzyko zanieczyszczenia wód gruntowych w czasie eksploatacji systemów do infiltracji wód opadowych, *Forum Eksploatatora*, Nr 3, 2008, s. 39-42.
- [6] Dąbrowski W.: Oddziaływanie sieci kanalizacyjnych na środowisko, *Politechnika Krakowska*, Kraków, 2004.
- [7] Eriksson E., Baun A., Mikkelsen P.S. and Ledin A.: Selection of stormwater priority pollutants, 10th International Conference on Urban Drainage, Copenhagen/Denmark, 21-26 August 2005.
- [8] Eriksson E. Baun A., Scholes L., Ledin A., Ahlman S., Revitt M. Noutsopoulos C., Mikkelsen P.S., Selected stormwater priority pollutants — a European perspective, *Science of the Total Environment* 383, 2007, pp. 41–51.
- [9] Geiger W., Dreiseitl H., Nowe sposoby odprowadzania wód deszczowych. *Poradnik*, Wyd. Oficyna Wydawnicza Projprzem-EKO, Bydgoszcz, 1999.
- [10] Grebel J.E., Mohanty S.K., Torkelson A.A., Boehm A.B., Higgins C.P., Maxwell R.M., Nelson K.M., Sedlak D.L.: Engineered Infiltration Systems for Urban Stormwater Reclamation, *Environm. Engin. Science*, 30, 8, 2013, pp. 437-454.
- [11] Joshi U.M., Balasubramanian R., Characteristic and environmental mobility of trace elements in urban runoff, *Chemosphere*, 80, 2010, pp.310-318.
- [12] Królikowski A., Tuz P. K., Ocena stanu czystości wód małych rzek będących odbiornikami ścieków opadowych z terenu zurbanizowanego, *IV kongres Kanalizatorów polskich – Polkan 99*, Łódź, 1999, s. 269-281.

- [13] Langeveld J.G., Liefing H.J., Boogaard F.C., Uncertainties of stormwater characteristics and removal rates of stormwater treatment facilities: Implications for stormwater handling, *Water Research*, 46, 2012, pp. 6868-6880.
- [14] Ociepa E.: Ocena zanieczyszczenia ścieków deszczowych trafiających do systemów kanalizacyjnych, *Inżynieria i Ochrona Środowiska*, t. 14, nr 4, 2011, s. 357-364.
- [15] Pitt R., Clark S., Field R., Groundwater contamination potential from stormwater infiltration practices, *Urban Water*, 1, 1999, pp. 217-236.
- [16] Polkowska Ż., 2008: Opady i osady atmosferyczne: problemy i wyzwania -wydanie 609 z Zeszyty Naukowe Politechniki Gdańskiej, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk.
- [17] Rule K.L., Comber S.D.W., Ross D., Thornton A. , Makropoulos C.K., Rautiu R.: Diffuse sources of heavy metals entering an urban wastewater catchment, *Chemosphere*, 63, 2006, pp.64–72.
- [18] Sakson G., Olejnik D., 2013, Metale ciężkie w ściekach opadowych odprowadzanych ze zlewni miejskiej jako kryterium możliwości ich zagospodarowania, *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, nr 3, s. 135-13.
- [19] Sawicka-Siarkiewicz H., 2003. Ograniczenie zanieczyszczeń w spływach powierzchniowych z dróg. Ocena technologii i zasady wyboru. Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa.
- [20] US EPA: Low Impact Development (LID), A literature review, 2000, <http://water.epa.gov/polwaste/green/upload/lid.pdf> [dostęp: 20.03.2014r.]
- [21] Zawilski M., Sakson G., Ocena emisji zawieszin odprowadzanych kanalizacją deszczową z terenów zurbanizowanych, *Ochrona Środowiska*, vol. 35, Nr 2, 2013, s. 33-40.
- [22] Zawilski M., Brzezińska A., Sakson G., Minimalizacja oddziaływania systemów kanalizacyjnych na środowisko, I Ogólnopolska Konferencja Naukowo-Techniczna Infrastruktura komunalna a rozwój zrównoważony terenów zurbanizowanych INFRAEKO 2008, s.261-273.
- [23] Zgheib S., Moilleron R., Chebbo G., Priority pollutants in urban stormwater: Part 1 – Case of separate storm sewers, *Water Research*, 46, 2012, pp. 6683-6692.

STORMWATER POLLUTION AS THE BASIS OF CHOICE THE METHOD OF THEIR MANAGEMENT

Summary

In this paper the characteristics of rainfall runoff quality according to the Polish and foreign data and the effectiveness of the facilities used for stormwater pre-treatment is discussed. The results of studies conducted in Lodz on the stormwater quality discharged from surfaces of various land use and location are presented. Studies were conducted on a multiannual basis and enabled a qualitative analysis of runoff from various precipitation phenomena of variable intensity, duration and occurring after different time periods of dry weather, which significantly affect level of stormwater pollution. Such data allows recognizing of surfaces and catchments from which the direct discharge of stormwater into the surface waters or the ground poses no threat to the envi-

ronment. On the basis of research and analysis guidelines for the selection of solutions for the stormwater management in urban areas in terms of stormwater. The selection of suitable solutions for stormwater management in urban areas is a prerequisite for the effective protection of the environment against pollution , but also enables the optimal use of resources provided for this purpose.

Keywords: stormwater runoff, sawage treatment, heavy metals, petroleum hydrocarbons

DOI:10.7862/rb.2014.60

Przesłano do redakcji: lipiec 2014 r.

Przyjęto do druku: wrzesień 2014 r.