

Barbara Wiśniowska-Kielian, Marcin Niemiec, Monika Arasimowicz

PRZYDROŻNE ZBIORNIKI ŚCIEKÓW OPADOWYCH JAKO ELEMENT OCHRONY JAKOŚCI WÓD

Streszczenie. W pracy przedstawiono ocenę jakości ścieków opadowych z odwodnienia drogi krajowej nr 4 na odcinku Sułków - Lysokanie oraz wpływ zmiany intensywności ruchu na zawartość Zn i Pb w tych ściekach. Do badań pobrano próbki ścieków bezpośrednio spływających z drogi oraz gromadzonych w 16 zbiornikach retencyjnych, usytuowanych po obydwu jej stronach (w lipcu 2011 r. w czasie trwania opadu). Oznaczono parametry fizyko-chemiczne (pH, przewodnictwo elektrolityczne, ChZT oraz ogólną zawartość azotu i chlorków) oraz zawartość cynku i ołowiu. Wyniki porównano z uzyskanymi w latach 2007 i 2008 dla ścieków z tych samych obiektów. Stwierdzono znaczne zróżnicowanie parametrów fizyko-chemicznych oraz zawartości obydwu metali w ściekach dopływających do zbiorników oraz stagnujących w nich. Średnie stężenia metali w ściekach spływających z drogi i nagromadzonych w zbiornikach były podobne, ale wykazywały mniejszą zmienność i mniejsze maksymalne zawartości, zatem budując zbiorniki osiągnięto zamierzony cel, jakim jest retardacja degradacji zasobów wodnych.

Porównując ścieki zgromadzone w tych samych zbiornikach retencyjnych w latach 2007-2011 wykazano, że średnie stężenie Zn w ściekach opadowych z odwodniania drogi Nr 4 zmniejszyło się od 2007 r. od 1,2 do 4 razy, co należy uznać za pozytywny skutek zmniejszenia intensywności ruchu pojazdów, głównie ciężarowych, po dopuszczeniu do użytku w 2009 r. autostrady A4 na odcinku Kraków-Szarów. Stężenie Pb od 2008 r. nie zmieniło się znacząco, co może wynikać z tego, że nie zmieniło się znacząco nasilenie ruchu pojazdów, zwłaszcza samochodów osobowych, którymi poruszają się mieszkańcy tego terenu. Stężenie Zn w badanych ściekach opadowych spływających z drogi było skorelowane z wartością ChZT, a w przypadku zbiorników usytuowanych po południowej stronie drogi z wartościami pH i ChZT. Stężenie Pb w ściekach spływających z drogi do wszystkich zbiorników i położonych po północnej stronie było skorelowane z objętością zbiorników oraz powierzchnią szczelną i całkowitą zlewni. Zawartość Pb w ściekach dopływających do zbiorników położonych po stronie południowej drogi i zgromadzonych w nich była skorelowana z wartością ChZT, a w zgromadzonych w zbiornikach po północnej stronie zależała od wartości pH.

Słowa kluczowe: ścieki opadowe, zbiorniki retencyjne, Zn, Pb, jakość ścieków, retardacja

WSTĘP

Postępujący rozwój cywilizacji prowadzi do zwiększania powierzchni terenów zurbanizowanych silnie przekształconych antropogenicznie, w tym powierzchni utwardzonych, takich jak place, parkingi, drogi i autostrady [Paul, Meyer 2001]. Rozwój gospodarczy jest przyczyną powstawania gęstej sieci dróg, po których porusza się coraz więcej pojazdów, w tym samochodów. Budowa i eksploatacja dróg pociąga za sobą negatywne skutki dla środowiska, ponieważ emisja zanieczyszczeń do powietrza [Vicario 2012] oraz ścieki opadowe spływające z pasa drogowego mogą zawierać znaczne ilości

zanieczyszczeń, przez co stanowią zagrożenie dla naturalnych ekosystemów [Vaze, Chiew 2004]. Wanielista i Yousef [1993] przedstawili listę czynników warunkujących jakość spływów z autostrady, która obejmuje klimat, zagospodarowanie otaczających gruntów, średnie dzienne natężenie ruchu i jego rodzaj, zróżnicowanie materiałów użytych do utwardzania dróg, stan nawierzchni i jej naprawy, wielkość opadów, sposób utrzymania dróg, a także depozycję zanieczyszczeń z atmosfery. Barrett i in. [1995] badając spływ z autostrady w Austin w Teksasie nie potwierdzili jednoznacznie wpływu rodzaju nawierzchni, ale zawartość pyłu, objętość spływu po deszczu i sposób konserwacji nawierzchni były skorelowane z ładunkiem części stałych w ściekach opadowych.

Do najważniejszych substancji zanieczyszczających ścieki z dróg należą: zawiesiny mineralne, materia organiczna, rozpuszczone substancje stałe, w tym związki metali ciężkich i chlorki, substancje ropopochodne, a także tlenki azotu i inne [Barrett i in. 1995; Chin 2006; Khan i in. 2006].

Negatywny wpływ dróg na hydrosferę, prowadzący do degradacji zasobów wodnych, następuje na etapie budowy i eksploatacji drogi w wyniku spływów powierzchniowych, w tym odcieków z czyszczenia rowów odpływowych, substancji niebezpiecznych uwalnianych podczas wypadków drogowych, obniżenia zwierciadła wód gruntowych i podtopienia w wyniku niedrożności systemu drenażowego. Zagrożenia stanowią także odpady z działalności usługowej towarzyszącej drogom: z parkingów, barów, hoteli itp. Zawarte w nich substancje chemiczne powinny być usunięte przed odprowadzeniem do odbiornika [Eriksson i in. 2007].

Ustawa Prawo wodne [Obwieszczenie... 2005] definiuje wody opadowe z powierzchni zanieczyszczonych (miast, terenów przemysłowych, dróg i parkingów) ujęte w systemy kanalizacyjne jako ścieki, które nie mogą być odprowadzane do naturalnego odbiornika. Wprowadzenie ich do wód powierzchniowych lub ziemi wymaga podczyszczenia, tak by spełniały kryteria jakościowe zawarte w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 28 stycznia 2009 r. [Rozporządzenie... 2009].

Spływy z terenów zurbanizowanych stanowią obecnie największe zagrożenie dla jakości wód powierzchniowych i podziemnych [Lee i in. 1997; Suligowski 2008; Pétavy i in. 2009], dlatego powinny być oczyszczane [Tonto 2002]. Do podczyszczenia wód pochodzących z odwodnienia drogi wykorzystuje się zbiorniki retencyjno-sedymentacyjne, infiltracyjne, retencyjno-filtracyjne lub odparowujące [Kołodziejczyk i in. 2009]. Stanowi to element retardacji przekształcania naturalnego środowiska wodnego.

Celem pracy była ocena jakości ścieków opadowych z odwodnienia z drogi krajowej nr 4 na odcinku Sułków - Łysokanie, spływających do zbiorników retencyjnych oraz zmagazynowanych w nich, w oparciu o wybrane wskaźniki fizyko-chemiczne oraz zawartość cynku i ołowiu. Oceniono także zmiany zawartości Zn i Pb w tych ściekach w wyniku oddania do użytku autostrady A4 na odcinku Kraków - Szarów i zmiany nasilenia ruchu pojazdów na drodze nr 4.

MATERIAŁ I METODY

Materiałem do badań były ścieki opadowe z odwodnienia drogi krajowej nr 4 spływające do 16 zbiorników retencyjnych, usytuowanych po obydwu jej stronach między Wieliczką a Targowiskiem, na odcinku Sułków - Łysokanie (ryc. 1). Natężenie ruchu pojazdów silnikowych na tej drodze wynosi 16856 na dobę. W zbiornikach retencyjnych powinno nastąpić zmniejszenie stężeń zanieczyszczeń zawartych w ściekach opadowych

spluwających z drogi. Zbiorniki służą ponadto do przetrzymania ścieków i regulacji przepływu tych ścieków przed ich odprowadzeniem do odbiornika w przypadku, gdy odbiornik ma ograniczoną przepustowość. Zbiorniki są obiektami ziemnymi otwartymi lub zamkniętymi, o umocnionych ścianach i dnie, uszczelnionymi geomembraną, która zapobiega infiltracji ścieków do gruntu. Wlot do zbiornika i komora wylotowa są wykonane ze zbrojonego betonu i zaopatrzone w kratę, która oddziela grube zanieczyszczenia.



Rys. 1. Lokalizacja zbiorników retencyjnych wzdłuż drogi krajowej nr 4 na odcinku Sulków - Łysokanie [opracowanie w oparciu o mapę: www.zumi.pl]

Fig. 1. Location of retention reservoirs along the national road No. 4 in the section Sulków - Łysokanie [elaborated on the basis of map: www.zumi.pl]

Komora wylotowa posiada pływający przelew, służący do odprowadzenia zaolejonego ścieku do separatora koalescencyjnego, w którym następuje usunięcie substancji ropopochodnych do stężenia $<5 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ przed odprowadzeniem ścieku do odbiornika (ryc. 2).



Rys. 2. Dopływ ścieków opadowych z odwodnienia drogi krajowej nr 4 (na lewo) i odpływ oczyszczonych ścieków (na prawo) ze zbiornika retencyjnego nr 46 [fot. B. Wiśniowska-Kielian]

Fig. 2. Rain wastewater inflow from the national road No. 4 dewatering (left) and outflow of treated wastewater from reservoir No. 46 (on the right) [fot. B. Wiśniowska-Kielian]

Zbiorniki różnią się usytuowaniem i odległością od drogi, objętością oraz powierzchnią i zagospodarowaniem zlewni, z których zbierają spływy. Charakterystykę badanych zbiorników podano w tabeli 1.

Tabela 1. Charakterystyka badanych zbiorników retencyjno-sedymentacyjnych [Projekt... 2003]

Table 1. Characteristics of studied retention reservoir [Projekt... 2003]

Numer zbiornika Number of reservoir	Kilometr Kilometres	Strona drogi Side of road	Objętość zbiornika Reservoir volume [V] m ³	Powierzchnia zlewni / The catchment area		
				Całkowita / total [F]	Szczelna / tight [F ₁]	tereny zielone green areas [F ₂]
				ha		
21	438+833	Pd	176,9	6,26	0,29	5,97
22	438+992	Pn	86,2	2,85	0,18	2,67
31	440+558	Pd	80,4	1,75	0,21	1,54
33	440+643	Pd	93,0	3,24	0,39	2,85
35	441+978	Pd	243,1	20,38	1,08	19,3
36	442+328	Pn	98,0	1,31	0,62	0,69
37	442+358	Pn	127,9	4,47	0,39	4,08
40	444+107	Pn	186,6	8,56	0,58	7,98
41	444+134	Pn	101,6	3,00	0,36	2,64
44	445+377	Pn	121,5	2,21	0,14	2,07
45	445+431	Pn	194,8	5,53	0,36	5,17
49	445+826	Pd	148,7	10,77	0,36	10,41
52	446+503	Pn	451,0	55,21	1,41	53,8
53	446+585	Pd	384,7	38,45	1,45	37,0
54	448+874	Pd	234,8	8,36	0,67	7,69
55	448+936	Pd	218,0	10,44	0,53	9,91

Objaśnienia do tabel 1-3 / Explanations for Tables 1-3: Pd – strona południowa / south side; Pn – strona północna / north side

Do badań pobrano próbki ścieków opadowych spływających z powierzchni drogi krajowej nr 4 do 16 zbiorników retencyjnych zlokalizowanych po obydwu jej stronach na odcinku Sułków - Łysokanie oraz próbki ścieków zgromadzonych w tych zbiornikach. Próbki pobrano 17 lipca 2011 r., w chwili wystąpienia opadu deszczu.

Oznaczono następujące parametry badanych ścieków opadowych: pH i przewodnictwo elektrolityczne - metodą potencjometryczną [Elbanowska i in. 1999], ogólną zawartość azotu - metodą Kjeldahla [Dojlido 1999], zawartość chlorków - metodą argentometryczną Mohra [Namięnik, Jamróiewicz 1998], chemiczne zapotrzebowanie tlenu (ChZT_{Ct}) - metodą dichromianową z użyciem dichromianu(VI) potasu [Elbanowska i in. 1999] oraz zawartość cynku i ołowiu - metodą spektrometrii emisji atomowej z induktywnie wzbudzaną plazmą [Dojlido 1999].

Uzyskane wyniki opracowano statystycznie. Wyznaczono wartości minimalne i maksymalne oraz obliczono średnią arytmetyczną (\bar{x}), odchylenie standardowe (SD) i względne odchylenie standardowe (RSD %), a w przypadku metali ciężkich dodatkowo średnią geometryczną (\bar{x}_G) i medianę (Me). Oceniono również zależności korelacyjne między oznaczonymi parametrami. Zawartość obydwu metali porównano z wynikami z lat 2007 i 2008, aby ocenić skutki zmian nasilenia ruchu pojazdów na tej drodze w wyniku oddania do użytku 28 października 2009 r. autostrady A4 na odcinku Kraków - Szarów.

WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

Ścieki opadowe z odwodnienia drogi krajowej nr 4 na odcinku Sułków – Łysokanie, spływające z drogi do zbiorników retencyjnych oraz zgromadzone w nich, wykazywały znaczne zróżnicowanie badanych parametrów (tab. 2).

Tabela 2. Wartości parametrów jakościowych ścieków opadowych z odwodnienia drogi krajowej nr 4 na odcinku Sułków - Łysokanie

Table 2. Values of quality parameters of rain wastewaters from dewatering of national road No. 4 in the section Sułków - Łysokanie

Numer zbiornika Number of reservoir	pH		Przewodnictwo elektrolityczne Electrical conductivity		Ogólna zawartość N Total N content		Stężenie chlorków Chloride concentration		ChZT COD	
			[mS·cm ⁻¹]		[mg N·dm ⁻³]		[mg Cl ⁻ ·dm ⁻³]		[mg O ₂ ·dm ⁻³]	
	S	Z	S	Z	S	Z	S	Z	S	Z
21	8,72	8,71	0,87	0,53	3,31	7,96	490	168	2,73	2,58
22	9,07	8,77	1,07	0,75	2,75	3,16	1596	896	4,96	4,81
31	8,65	8,75	1,59	0,68	6,93	7,82	2884	994	3,35	3,31
33	8,62	8,00	1,27	0,88	6,31	5,42	609	308	2,04	3,04
35	8,79	8,67	2,17	0,94	6,38	6,52	4368	1246	4,58	4,27
36	8,7	8,57	1,32	0,73	3,29	3,02	1946	1946	6,42	5,42
37	9,19	9,08	1,02	0,79	3,36	2,68	1666	1246	5,42	5,19
40	8,76	8,70	2,50	1,66	3,09	6,73	6370	3962	5,19	5,04
41	8,63	8,58	1,62	1,39	3,43	2,95	3416	2968	4,58	4,11
44	8,93	8,73	2,71	2,27	4,26	4,00	6776	5390	7,04	5,35
45	8,82	8,85	0,73	0,86	4,39	4,87	756	1358	3,96	3,65
49	8,69	8,67	0,55	0,49	4,80	5,28	294	98	4,11	4,11
52	8,7	8,56	1,02	0,70	5,70	4,60	686	434	4,19	3,11
53	8,98	8,86	1,69	1,46	4,60	5,70	3346	2926	4,19	4,35
54	8,26	8,56	0,33	1,10	1,58	5,49	98	1344	5,96	5,65
55	7,92	8,62	0,93	0,91	7,69	5,01	1498	1316	6,73	4,81
Minimum	7,92	8,00	0,33	0,49	1,58	2,68	98,0	98	2,04	2,58
Maksimum	9,19	9,08	2,71	2,27	7,69	7,96	6776	5390	7,04	5,65
\bar{x}	8,71	8,67	1,34	1,01	4,49	5,08	2300	1662,5	4,72	4,30
SD	0,30	0,22	0,68	0,47	1,70	1,65	2085	1467,1	1,39	0,95
RSD [%]	3,4	2,6	50,6	46,6	37,9	32,6	90,7	88,2	29,6	22,0

Objaśnienia do tabel 2 i 3 / Explanations for Tables 2 i 3: S – ścieki opadowe spływające z drogi / rain wastewater flowing down the road; Z – ścieki opadowe zgromadzone w zbiorniku / rain wastewater collected in the reservoir; Minimum / Minimum; Maksimum / Maximum; \bar{x} - średnia arytmetyczna / arithmetic mean; SD – odchylenie standardowe / standard deviation; RSD – względne odchylenie standardowe / relative standard deviation

Wartości pH ścieków spływających z drogi mieściły się w zakresie od 7,92 do 9,19 (zbiorniki 55 i 37). Ścieki zgromadzone w zbiornikach miały zbliżony zakres wartości pH, od 8,00 do 9,08 (zbiorniki 33 i 37). Ścieki spływające z drogi oraz zgromadzone w zbiornikach położonych po jej południowej stronie (w zakresie: 7,92-8,98 i 8,00-8,86) miały niższe wartości pH i wykazywały większą zmienność niż z tych po północnej stronie (w zakresie: 8,63-9,19 i 8,56-9,08). Spływy z odwodnienia drogi miały odczyn zasadowy, charakterystyczny dla wód zanieczyszczonych ściekami, a wartość pH ścieków dopływających do wszystkich zbiorników zależała od ich ChZT ($r_{0,05} = -0,688$). Ponad 93% próbek spływów spełniało kryterium dopuszczalnej wartości pH według Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 28 stycznia 2009 r. [Rozporządzenie... 2009].

W przypadku ścieków dopływających do zbiorników, przewodnictwo elektrolityczne wahało się od 0,33 do 2,71 mS·cm⁻¹ (zbiorniki 44 i 54), średnio wynosiło 1,3 mS·cm⁻¹.

Średnie przewodnictwo ścieków pobranych ze zbiorników była mniejsza i wynosiła $1,0 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$, a wahała się od $0,49$ do $2,27 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ (zbiorniki 49 i 44). Ścieki dopływające do zbiorników położonych po południowej stronie drogi i zgromadzone w nich wykazywały mniejsze przewodnictwo (w zakresie: $0,33$ - $2,17$ i $0,49$ - $1,46 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$) niż z tych po północnej stronie (w zakresie: $0,73$ - $2,71$ i $0,70$ - $2,27 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$). Istotny wpływ na wartość przewodnictwa ścieków dopływających do zbiorników i retencjonowanych w nich miało stężenie chlorków (dla wszystkich $r_{0,001} = 0,962$ i $0,952$; dla położonych po południowej stronie drogi $r_{0,001} = 0,927$ i $0,911$ oraz dla położonych po północnej stronie $r_{0,001} = 0,989$ i $0,970$). Ponadto przewodnictwo ścieków zgromadzonych w zbiornikach po południowej stronie drogi korelowało z ich objętością ($r_{0,05} = 0,786$) oraz wielkością zlewni szczelnej i całkowitej ($r_{0,01} = 0,851$ i $r_{0,05} = 0,737$). Przewodność badanych wód opadowych miała na ogół duże wartości, charakterystyczne dla ścieków [Konduktometriy...].

Ogólna zawartość azotu w spływach z drogi wahała się od $1,58$ do $7,69 \text{ mg N}\cdot\text{dm}^{-3}$ (zbiorniki 54 i 55), średnio $4,49 \text{ mg N}\cdot\text{dm}^{-3}$. Ścieki zgromadzone w zbiornikach zawierały od $2,68$ do $7,96 \text{ mg N}\cdot\text{dm}^{-3}$ (zbiorniki 37 i 21), a średnia ogólna zawartość azotu wynosiła $5,08 \text{ mg N}\cdot\text{dm}^{-3}$ i wykazywała nieco mniejszą zmienność. Ścieki dopływające do zbiorników zlokalizowanych po południowej stronie drogi i pobrane z nich zawierały średnio więcej azotu ($5,20$ i $6,15 \text{ mg N}\cdot\text{dm}^{-3}$; zakresy odpowiednio: $1,58$ - $7,69$ i $5,01$ - $7,96 \text{ mg N}\cdot\text{dm}^{-3}$) niż tych położonych po północnej stronie ($3,78$ i $4,00 \text{ mg N}\cdot\text{dm}^{-3}$; zakresy odpowiednio: $2,75$ - $5,70$ i $2,68$ - $6,73 \text{ mg N}\cdot\text{dm}^{-3}$). Ogólna zawartość azotu w ściekach zgromadzonych we wszystkich zbiornikach wykazywała związek z wartością ChZT ($r_{0,05} = -0,504$). Istotny wpływ na ogólną zawartość azotu w ściekach dopływających do zbiorników położonych po północnej stronie drogi miała objętość ($r_{0,01} = 0,853$) oraz wielkość zlewni szczelnej ($r_{0,05} = 0,671$) i całkowitej zbiorników ($r_{0,01} = 0,802$). Ogólne zawartości azotu w obydwu rodzajach ścieków były od 4 do 19 razy mniejsze od wartości dopuszczalnej według Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 28 stycznia 2009 r. [Rozporządzenie... 2009].

Stężenie chlorków w ściekach opadowych spływających z drogi wyniosło od $98,0$ do $6776 \text{ mg Cl}\cdot\text{dm}^{-3}$ (zbiorniki 54 i 44), średnio $2300 \text{ mg Cl}\cdot\text{dm}^{-3}$. Ścieki zgromadzone w zbiornikach zawierały średnio mniej chlorków, $1663 \text{ mg Cl}\cdot\text{dm}^{-3}$, z zakresem $98,0$ do $5390 \text{ mg Cl}\cdot\text{dm}^{-3}$ (zbiorniki 49 i 44). Średnie stężenie chlorków w ściekach dopływających do zbiorników po południowej stronie drogi i pobranych z nich było mniejsze (1698 i $1050 \text{ mg Cl}\cdot\text{dm}^{-3}$; zakresy: $98,0$ - 4368 i $98,0$ - $2926 \text{ mg Cl}\cdot\text{dm}^{-3}$) niż tych po północnej stronie (2902 i $2275 \text{ mg Cl}\cdot\text{dm}^{-3}$; zakresy: 686 - 6776 i 434 - $5390 \text{ mg Cl}\cdot\text{dm}^{-3}$), ale wykazywało większą zmienność. Stężenie chlorków w ściekach zgromadzonych we wszystkich zbiornikach było skorelowane z ChZT ($r_{0,05} = 0,541$), a tych z południowej stronie drogi z objętością ($r_{0,01} = 0,836$) oraz wielkością zlewni szczelnej ($r_{0,01} = 0,849$) i całkowitej w zbiornikach ($r_{0,01} = 0,818$). W 62,5% badanych próbek ścieków stężenie chlorków przekraczało wartość dopuszczalną w ściekach odprowadzanych do odbiornika [Rozporządzenie... 2009]. Wskazuje to na zasolenie, które może być pozostałością chlorków stosowanych do zimowego utrzymania drogi [Eyles, Meriano 2010].

Chemiczne zapotrzebowanie tlenu (odzwierciedlające zawartość substancji organicznych oraz związków ulegających utlenianiu w wyniku przemian chemicznych) ścieków opadowych dopływających do zbiorników wahało się od $2,04$ do $7,04 \text{ mg O}_2\cdot\text{dm}^{-3}$ (zbiorniki 33 i 44), średnio wynosiło $4,72 \text{ mg O}_2\cdot\text{dm}^{-3}$. W przypadku ścieków pobranych ze zbiorników wykazywało mniejszą zmienność i wahało się w węższym zakresie; od $2,58$ do $5,65 \text{ mg O}_2\cdot\text{dm}^{-3}$ (zbiorniki 21 i 54), średnio wynosiło $4,30 \text{ mg O}_2\cdot\text{dm}^{-3}$. Wartości ChZT ścieków dopływających do zbiorników po południowej stronie drogi ($4,21 \text{ mg O}_2\cdot\text{dm}^{-3}$;

zakres: 2,04-6,73 mg O₂·dm⁻³) i pobranych z nich (4,02 mg O₂·dm⁻³; zakres: 2,58-5,65 mg O₂·dm⁻³) były mniejsze, ale wykazywały większą zmienność niż z tych położonych po północnej stronie (średnie: 5,22 i 4,59 mg O₂·dm⁻³; zakresy: 3,96-7,04 i 3,11-5,42 mg O₂·dm⁻³). ChZT ścieków zgromadzonych w zbiornikach usytuowanych po północnej stronie drogi było skorelowane z objętością ($r_{0,05} = 0,746$) oraz wielkością zlewni całkowitej zbiorników ($r_{0,05} = 0,710$). W przypadku obydwu rodzajów ścieków, ChZT było od 18 do 61 razy mniejsze od wartości dopuszczalnej w ściekach odprowadzanych do odbiornika według Rozporządzenia Ministra Środowiska [Rozporządzenie... 2009].

Zawartość cynku i ołowiu w obydwu rodzajach ścieków z odwodnienia drogi krajowej nr 4 była zróżnicowana (tab. 3).

Tabela 3. Zawartości Zn i Pb w ściekach opadowych z odwodnienia drogi krajowej nr 4 na odcinku Sułków - Łysokanie

Table 3. Zn and Pb content of rain wastewaters from dewatering of national road No. 4 in the section Sułków - Łysokanie

Numer zbiornika Number of reservoir	Strona drogi Side of the road	Zawartość / Content [mg·dm ⁻³]			
		Zn		Pb	
		S	Z	S	Z
21	Pd	0,0385	0,0265	0,0131	0,0116
22	Pn	0,0198	0,0421	0,0114	0,0102
31	Pd	0,0223	0,0513	0,0095	0,0155
33	Pd	0,0210	0,0383	0,0102	0,0109
35	Pd	0,0577	0,0361	0,0426	0,0227
36	Pn	0,0481	0,0554	0,0026	0,0090
37	Pn	0,0198	0,0311	0,0051	0,0034
40	Pn	0,0174	0,0236	0,0067	0,0067
41	Pn	0,0375	0,0950	0,0063	0,0131
44	Pn	0,1685	0,0266	0,0109	0,0065
45	Pn	0,0205	0,0167	0,0071	0,0068
49	Pd	0,0259	0,0604	0,0063	0,0276
52	Pn	0,0881	0,0384	0,0304	0,0105
53	Pd	0,0277	0,0405	0,0239	0,0187
54	Pd	n	0,0283	n	0,0352
55	Pd	0,1060	0,0932	0,0406	0,0168
Minimum		0,0174	0,0167	0,0026	0,0034
Maksimum		0,1685	0,0950	0,0426	0,0352
Mediana		0,0277	0,0384	0,0102	0,0112
\bar{x}		0,0479	0,0440	0,0151	0,0141
\bar{x}_G		0,0367	0,0394	0,0111	0,0119
SD		0,0426	0,0228	0,0130	0,0085
RSD [%]		94,7	51,9	91,5	60,4

Objaśnienia / Explanations: Me – Mediana / Median; \bar{x}_G – średnia geometryczna / geometric mean; n – poza granicą detekcji / beyond the limit of detection

Cynk

Stężenie cynku w ściekach opadowych dopływających do zbiorników mieściło się w granicach 0,0174 do 0,1685 mg Zn·dm⁻³ (zbiorniki 40 i 44), a średnia geometryczna wynosiła 0,0367 mg Zn·dm⁻³. Ścieki zgromadzone w zbiornikach zawierały od 0,0167 do 0,0950 mg Zn·dm⁻³ (zbiorniki 45 i 41), a średnia geometryczna wynosiła 0,0394 mg Zn·dm⁻³. Zawartość cynku w ściekach spływających z drogi wykazywała znacznie większą zmienność (RSD = 94,7%) niż w tych zgromadzonych w zbiornikach (RSD = 51,9%).

Ścieki opadowe dopływające do zbiorników położonych po południowej stronie drogi

zawierały od 0,0210 do 0,1060 mg Zn·dm⁻³ (zbiorniki 33 i 55), a średnia geometryczna wynosiła 0,0360 mg Zn·dm⁻³. Zawartość cynku wykazywała dużą zmienność (RSD = 82,0%). Ścieki zgromadzone w zbiornikach zawierały od 0,0265 do 0,0932 mg Zn·dm⁻³ (zbiorniki 21 i 55), a średnia geometryczna wynosiła 0,0432 mg Zn·dm⁻³. Zmienność stężenia cynku w tych ściekach była mniejsza niż w bezpośrednio spływających z drogi (RSD = 46,6%).

Ścieki opadowe dopływające do zbiorników położonych po północnej stronie drogi zawierały od 0,0174 do 0,1685 mg Zn·dm⁻³ (zbiorniki 40 i 44), a średnia geometryczna wynosiła 0,0373 mg Zn·dm⁻³. Zawartość cynku w spływach wykazywała dużą zmienność (RSD = 100,2%). Ścieki zgromadzone w zbiornikach zawierały od 0,0167 do 0,0950 mg Zn·dm⁻³ (zbiorniki 45 i 41), a średnia geometryczna wynosiła 0,0359 mg Zn·dm⁻³. Zmienność stężenia cynku w tych ściekach była mniejsza niż w bezpośrednio spływających z drogi (RSD = 60,5%).

W przypadku obydwu rodzajów ścieków maksymalne zawartości cynku były ponad 11 razy mniejsze od wartości dopuszczalnej w ściekach odprowadzanych do odbiornika, wynoszącej 2 mg·dm⁻³, według Rozporządzenia Ministra Środowiska [Rozporządzenie... 2009].

Stężenie Zn w badanych ściekach opadowych spływających z drogi do wszystkich zbiorników było skorelowane z wartością ich ChZT ($r_{0,05} = 0,605$), a w przypadku zbiorników usytuowanych po południowej stronie drogi z wartościami pH ($r_{0,01} = -0,806$) i ChZT ($r_{0,01} = 0,856$).

W przeprowadzonych wcześniej badaniach ścieków opadowych z odwodnienia drogi krajowej nr 4 na odcinku Sułków - Łysokanie, stężenie cynku w ściekach zgromadzonych w tych samych zbiornikach retencyjnych w maju 2007 r. mieściło się w przedziale 0,0312-0,4942 mg Zn·dm⁻³, w kwietniu 2008 r. w zakresie 0,0309-0,1775 mg Zn·dm⁻³, w czerwcu 2008 r. w przedziale 0,0119-0,5565 mg Zn·dm⁻³ [Niemiec, Wiśniowska-Kielian 2011], a w 2011 r. wahało się od 0,0167 do 0,0950 mg Zn·dm⁻³. Stężenia cynku w ściekach zgromadzonych w tych samych zbiornikach (średnie geometryczne wynosiły odpowiednio: 0,1144 mg Zn·dm⁻³, 0,0787 mg Zn·dm⁻³, 0,0822 mg Zn·dm⁻³ i 0,0375 mg Zn·dm⁻³) były zatem wyższe niż w 2011 r. i wykazywały na ogół większe zróżnicowanie (odpowiednio RSD = 84,2%, 51,9%, 102,8% i 56,6%). Zawartość cynku w ściekach opadowych w kolejnych terminach wykazywała tendencję malejącą i jego stężenie było około 2 razy, 1,2 razy i 4 razy niższe niż w ściekach pobranych w maju 2007 r. W porównaniu z zawartością Zn w ściekach opadowych pobranych w kwietniu i czerwcu 2008 r., przed oddaniem do użytku autostrady A4 na odcinku Kraków - Szarów, stężenie cynku zmniejszyło się odpowiednio około 2 i 3,5 krotnie.

Jak wynika z badań prowadzonych w różnych krajach, zawartość Zn zależy od natężenia ruchu pojazdów. Spływy z dróg i autostrad o dużym natężeniu ruchu zawierały średnio 0,172 mg Zn·dm⁻³ (Portugalia), 0,261 mg Zn·dm⁻³ (Kalifornia) i 0,410 mg Zn·dm⁻³ (Niemcy), a z odwodnienia dróg o natężeniu ruchu <30 000 pojazdów na dobę średnio 0,076 mg Zn·dm⁻³ [Kayhanian i in. 2007; Barbosa, Hvitved-Jacobsen 1999; Göbel i in. 2007]. Spływy z dróg w rejonie Genui zawierały 0,081 mg Zn·dm⁻³ [Gnecco i in. 2005], a w spływach z dróg ekspresowych nieopodal Lagos w Nigerii stężenie cynku było mniejsze i wynosiło 0,064 mg Zn·dm⁻³ [Chinwe i in. 2010]. Jeszcze większe zawartości cynku w ściekach deszczowych z ulic Paryża, sięgające 0,55 mg Zn·dm⁻³, notowali Gromaire-Mertz i in. [1999]. Zbliżone stężenia tego metalu stwierdzili Nordeidet i in. [2004] w spływach z autostrad w okolicach Oslo. Najwięcej cynku zawierają spływy z terenów, na których dachy budynków są wykonane z blachy ocynkowanej. Spływy z dachów domów osiedla w Genui zawierały ponad 5 razy więcej cynku niż spływy z autostrad we Włoszech [Gnecco i in. 2005], a ponad 12 razy więcej tego metalu zawierały spływy

z ocynkowanych dachów budynków niż spływy z głównych dróg w Niemczech [Göbel i in. 2007]. Gromaire-Mertz i in. [1999] stwierdzili, że w wodzie deszczowej spływającej z dachów kamienic Paryża stężenie cynku było wysokie i osiągało nawet 38 mg Zn-dm^{-3} .

Olów

Zawartość ołowiu w spływach z dróg dopływających do zbiorników wahała się od 0,0026 do 0,0426 mg Pb-dm^{-3} (zbiorniki 33 i 35) i wykazywała dużą zmienność (RSD = 91,5%) (tab. 3). Średnia geometryczna wynosiła 0,0111 mg Pb-dm^{-3} . Stężenie ołowiu w ściekach zgromadzonych w zbiornikach wykazywało mniejszą zmienność niż w spływach (RSD = 60,4%) i mieściło się w granicach 0,0034 do 0,0352 mg Pb-dm^{-3} (zbiorniki 54 i 37). Średnia geometryczna wynosiła 0,0119 mg Pb-dm^{-3} .

Ścieki opadowe dopływające do zbiorników położonych po południowej stronie drogi zawierały od 0,0063 do 0,0426 mg Pb-dm^{-3} (zbiorniki 49 i 35), przy dużej zmienności (RSD = 83,2%) (tab. 3). Średnia geometryczna stężenia wynosiła 0,0165 mg Pb-dm^{-3} . Stężenie ołowiu w ściekach zgromadzonych w zbiornikach wykazywało mniejszą zmienność niż w spływach (RSD = 41,7%) i mieściło się w granicach 0,0109 do 0,0352 mg Pb-dm^{-3} (zbiorniki 33 i 54). Średnia geometryczna wynosiła 0,0185 mg Pb-dm^{-3} .

Stężenie ołowiu w ściekach dopływających do zbiorników położonych po północnej stronie drogi wahało się od 0,0026 do 0,0304 mg Pb-dm^{-3} (zbiorniki 36 i 52) (tab. 3), a średnia geometryczna wynosiła 0,0079 mg Pb-dm^{-3} . Stężenie ołowiu w ściekach zgromadzonych w zbiornikach wykazywało mniejszą zmienność niż w spływach (odpowiednio RSD = 36,6% i 86,5%) i mieściło się w granicach 0,0034 do 0,0131 mg Pb-dm^{-3} (zbiorniki 37 i 41). Średnia geometryczna wynosiła 0,0077 mg Pb-dm^{-3} .

W przypadku obydwu rodzajów ścieków maksymalne zawartości ołowiu były ponad 11 razy mniejsze od wartości dopuszczalnej w ściekach odprowadzanych do odbiornika, wynoszącej 0,5 mg Pb-dm^{-3} , według Rozporządzenia Ministra Środowiska [Rozporządzenie... 2009].

Stężenie Pb w ściekach spływających z drogi do wszystkich zbiorników było skorelowane z ich objętością oraz powierzchnią szczelną i całkowitą zlewni (odpowiednio $r_{0,01} = 0,634$, $r_{0,01} = 0,612$ i $r_{0,05} = 0,589$). Zawartość Pb w ściekach dopływających do zbiorników zlokalizowanych po południowej stronie drogi i zgromadzonych w nich zależała od wartości ChZT (odpowiednio $r_{0,05} = 0,752$ i $r_{0,01} = 0,816$). Stężenie Pb w ściekach dopływających do zbiorników położonych po północnej stronie drogi była skorelowana z ich objętością oraz powierzchnią szczelną i całkowitą zlewni (odpowiednio $r_{0,01} = 0,880$, $r_{0,05} = 0,739$ i $r_{0,001} = 0,935$), a w zgromadzonych w tych zbiornikach z wartością pH ($r_{0,01} = 0,800$).

W poprzednich latach ścieki opadowe z odwodnienia drogi krajowej nr 4 na odcinku Sułków – Łysokanie, zgromadzone w tych samych zbiornikach retencyjnych, zawierały w maju 2007 r. od 0,0030 do 0,0220 mg Pb-dm^{-3} , w kwietniu 2008 r. 0,0021-0,1140 mg Pb-dm^{-3} , w czerwcu 2008 r. 0,0001-0,2980 mg Pb-dm^{-3} [Niemiec, Wiśniowska-Kielian 2011], a w 2011 r. stężenie ołowiu wahało się od 0,0034 do 0,0352 mg Pb-dm^{-3} . Zatem stężenie ołowiu w ściekach zgromadzonych w tych samych zbiornikach (średnie geometryczne wynosiły odpowiednio: 0,0060 mg Pb-dm^{-3} , 0,0118 mg Pb-dm^{-3} , 0,0094 mg Pb-dm^{-3} i 0,0110 mg Pb-dm^{-3}), w 2011 r. nie różniło się zasadniczo od notowanego w kwietniu i w czerwcu 2008 r., czyli przed oddaniem do użytku autostrady A4 na odcinku Kraków – Szarów. Stężenie ołowiu w ściekach było zróżnicowane w mniejszym stopniu niż w poprzednich terminach (odpowiednio RSD = 73,8%, 139,4%, 196,3% i 63,4%).

Podobne stężenie ołowiu stwierdzano w ściekach z ulic Paryża oraz z odwodnienia

parkingów [Gromaire-Mertz i in. 1999; Göbel i in. 2007]. Inni autorzy stwierdzili, że stężeniem ołowiu zależy między innymi od natężenia ruchu [Barbosa, Hvitved-Jacobsen 1999; Nordeidet i in. 2004; Gnecco i in. 2005; Kayhanian i in. 2007], a różnice mogą być około 3-krotne. Ta zależność w badaniach własnych nie potwierdziła się.

Średnie stężenia cynku i ołowiu w ściekach ze zbiorników oraz dopływających do nich porównano w oparciu o średnie geometryczne, obrazujące lepiej niż średnie arytmetyczne stan środowiska podlegającego antropopresji. Jednak zarówno średnie geometryczne, jak i arytmetyczne, zawartości cynku i ołowiu w ściekach spływających z drogi krajowej Nr 4 oraz w ściekach zgromadzonych w zbiornikach usytuowanych wzdłuż tej drogi były zbliżone, choć ich stężenia w poszczególnych punktach badawczych znacznie różniły się, na co wskazują wartości względnego odchylenia standardowego (patrz tab. 3). Przyczyną takiego zróżnicowania może być niejednakowy rozkład ilości wód spływających do poszczególnych zbiorników wynikający z wielkości i sposobu zagospodarowania ich zlewni. Pokrycie roślinnością powoduje, że tylko 5-15% wody opadowej spływa po powierzchni gruntu, zmniejszenie infiltracji wody do gruntu i znaczne pogorszenie jakości wody odpływającej z danego terenu obserwuje się, gdy udział terenu uszczelnionego wynosi ponad 10%, zaś na terenach miejskich odpływ powierzchniowy może sięgać nawet 60% [Bolund, Hunhammar 1999; Chin 2006]. Taką zależność wykazali Barrett i in. [1995], którzy stwierdzili, że im większy stosunek powierzchni zlewni utwardzonej do całkowitej powierzchni zlewni tym większe zanieczyszczenie spływu. W badaniach własnych nie potwierdzono takiej zależności, jednak wartości niektórych parametrów ścieków spływających z drogi do zbiorników położonych po jej północnej stronie, np.: wartość ChZT i ogólna zawartość azotu zależały od wielkości zlewni całkowitej i objętości zbiornika, a ogólna zawartość azotu zależała ponadto od wielkości zlewni szczelnej, natomiast ścieków spływających z drogi do zbiorników położonych po jej południowej stronie, np.: stężenie chlorków i przewodnictwo elektrolityczne zależały od objętości zbiornika oraz wielkości zlewni całkowitej i wielkości zlewni szczelnej. Zależności korelacyjne między tymi parametrami zostały omówione wcześniej.

Ścieki zgromadzone w zbiornikach zawierały mniej cynku niż ścieki z tych samych obiektów we wcześniejszych badaniach [Niemiec, Wiśniowska-Kielian 2011]. Przyczyną tego może być 2-krotne zmniejszenie natężenia ruchu pojazdów w związku z oddaniem do użytku odcinka autostrady A4 między Krakowem i Szarowem. Podwyższona zawartość cynku w obrębie pasa drogowego może być wynikiem spalania oleju napędowego, dlatego ograniczenie natężenia ruchu na tym odcinku drogi, głównie pojazdów ciężarowych wykorzystujących ten rodzaj paliwa, mogło skutkować zmniejszoną zawartością tego metalu w ściekach z jej odwodnienia. Należy też wziąć pod uwagę to, że w ciągu ostatnich kilku lat znacznie zwiększyła się liczba pojazdów samochodowych i ciągników. Tylko w latach 2008, 2009, 2010 i 2011 w stosunku do roku 2007 ich liczba zwiększyła się odpowiednio o 9,6%, 13,1%, 18,3% i 24,2%, samochodów osobowych odpowiednio o 10,2%, 13,1%, 18,2% i 24,2%, samochodów ciężarowych odpowiednio o 7,5%, 10,9%, 18,3% i 24,2%, a ciągników o 6,3%, 14,3%, 17,0% i 20,3% [Ochrona środowiska 2012].

Ball i in. [1998] stwierdzili zależność między zawartością metali ciężkich w spływach z dróg a natężeniem ruchu samochodowego. Takiej zależności nie obserwowano w przypadku ołowiu. Stężenie tego metalu było nawet wyższe od zanotowanego w badaniach obejmujących te same obiekty w 2007 r., a bardzo podobne do stwierdzonego w 2008 r. Przyczyny tego stanu należy być może upatrywać w tym, że nie zmieniło się znacząco nasilenie ruchu pojazdów, zwłaszcza samochodów osobowych, którymi poruszają się mieszkańcy tego terenu. Unia Europejska w celu ograniczenia zanieczyszczenia powietrza przez spaliny z silników o zapłonie iskrowym oraz z zapłonem iskrowym wprowadziła

Dyrektywy Rady 70/220/EWG [Dyrektywa... 1970] i 72/245/EWG [1972]. Po wielu nowelizacjach, Dyrektywa 98/70/WE określiła wymagania dotyczące benzyny i olejów napędowych [Dyrektywa... 1998], uwzględniając wcześniejsze zapisy dotyczące jakości paliw. Benzyny etylizowane, czyli benzyny z dodatkiem tetraetylołowiu, których spalanie było istotnym źródłem emisji ołowiu do środowiska, zostały zastąpione paliwami, do których zaprzestano dodawania tego związku. Od 15 stycznia 2005 r. w krajach Unii Europejskiej nie wolno sprzedawać etyliny. Stąd też mogą wynikać nieznaczne różnice zawartości ołowiu w spływach z drogi zanotowane w 2011 r. w stosunku do lat poprzednich. Ponadto ołów może dostawać się do ścieków opadowych z atmosfery, do której jest emitowany podczas spalania paliw stałych, a także z pyłami metalicznymi przez przemysł metalurgiczny [Tan i in. 2006; Li i in. 2011]. We wcześniejszych badaniach Wiśniowska-Kielian i Niemiec [2008] obserwowali zmniejszenie zawartości metali ciężkich w ściekach zmagazynowanych w zbiornikach w miarę oddalania się od miasta Krakowa. Takiej zależności nie potwierdzono w niniejszych badaniach. Metal ten mógł też pochodzić z soli stosowanych do zimowego utrzymania drogi, ponieważ mogą one zawierać około 5% metali śladowych jako zanieczyszczenia [Marsalek 2003, Novotny i in. 2008].



Ryc. 2. Zjazd z drogi nr 4 do zbiornika retencji ścieków opadowych oraz zbiornik porośnięty roślinnością [fot. B. Wiśniowska-Kielian]

Fig. 2. Exit from the road No. 4 to storm water retention reservoir and reservoir covered with vegetation [fot. B. Wiśniowska-Kielian]

W trakcie badań zaobserwowano, że zbiorniki ścieków opadowych są zasiedlane przez różne organizmy: roślinność wodną - głównie trzcinę pospolitą oraz m. in. żaby, mimo, że gromadzone w nich spływy z drogi zawierają zanieczyszczenia i są zasolone (ryc. 2). Może to być wskaźnikiem powolnego przystosowywania się niektórych gatunków flory i fauny do takiego środowiska wodnego, jakie tworzą ścieki opadowe stopniowo gromadzone w zbiornikach retencyjnych oraz wskazywać na ich względnie małą szkodliwość. Ponadto może to stanowić potwierdzenie celowości sytuowania zbiorników w pasie drogowym, zarówno dla poprawy jakości ścieków odprowadzanych do odbiornika jak i dla retardacji ograniczania różnorodności biologicznej organizmów zasiedlających naturalne środowiska wodne w pobliżu dróg.

WNIOSKI

1. Ścieki opadowe z odwodnienia drogi krajowej Nr 4 na odcinku Sułków - Łysokanie wykazywały duże zróżnicowanie parametrów fizyko-chemicznych, ale w większości

- spełniały kryteria jakościowe dla ścieków odprowadzanych do wód powierzchniowych.
2. Stężenia cynku i ołowiu w ściekach opadowych spływających z drogi oraz zgromadzonych w zbiornikach retencyjnych były małe i nawet ich maksymalne zawartości były 11 razy mniejsze od dopuszczalnych w ściekach odprowadzanych do odbiornika. Małe stężenia cynku i ołowiu w ściekach zmagazynowanych w zbiornikach mogą być spowodowane migracją tych metali do osadów, czemu sprzyja ich zasadowy odczyn.
 3. Oddanie do użytku odcinka autostrady Kraków – Szarów i zmniejszenie natężenia ruchu pojazdów, głównie ciężarowych, na badanym odcinku drogi nr 4 skutkowało od 1,2 do 4-krotnym obniżeniem średniego stężenia cynku w ściekach zgromadzonych w zbiornikach. Jednocześnie nie miało wpływu na zawartość ołowiu, co może wynikać z niezmiennego nasilenia ruchu, zwłaszcza samochodów osobowych mieszkańców tego terenu.
 4. Stężenie Zn w ściekach opadowych spływających z drogi było skorelowane z wartością ChZT, a w przypadku zbiorników usytuowanych po południowej stronie drogi z wartościami pH i ChZT. Stężenie Pb w ściekach spływających z drogi było skorelowane z powierzchnią szczelną i całkowitą zlewni oraz objętością zbiorników, w zbiornikach położonych po południowej stronie drogi z wartością ChZT, a w zbiornikach po północnej stronie z wartością pH.
 5. Ścieki zgromadzone w większości zbiorników nie powinny być odprowadzane do odbiornika ze względu na nadmierną zawartość chlorków, aby zapewnić retardację przekształcania naturalnego środowiska wodnego w pobliżu dróg.
 6. Zasiedlanie badanych zbiorników ścieków opadowych przez florę i faunę potwierdza celowość ich sytuowania w pasie drogowym, zarówno ze względu na poprawę jakości ścieków odprowadzanych do odbiornika, jak i spowolnienie ograniczania różnorodności biologicznej organizmów zasiedlających naturalne środowiska wodne w pobliżu dróg.

PIŚMIENNICTWO

- Ball J.E., Jenks R., Aubourg D. 1998. An assessment of the availability of pollutant constituents on road surfaces. *Sci. Total Environ.*, 209(2-3): 243-254.
- Barbosa A.E., Hvitved-Jacobsen T. 1999. Highway runoff and potential for removal of heavy metals in an infiltration pond in Portugal. *Sci. Total Environ.*, 235(1-3): 151-159.
- Barrett M.E., Zuber R.D., Collins E.R., III, Malina J.F., Jr., Charbeneau R.J., Ward G.H. 1995. A review and evaluation of literature pertaining to the quantity and control of pollution from highway runoff and construction. Center for Research in Water Resources Online Report No. 95-5, Bureau of Engineering Research, The University of Texas at Austin. [dokument elektroniczny: <http://www.ce.utexas.edu/centers/crwr/reports/online.html>, dostęp: 15.10.2012 r.]
- Bolund P., Hunhammar S. 1999. Ecosystem services in urban areas. *Ecological Economics*, 29: 293-301.
- Chin D.A. 2006. *Water-quality engineering in natural systems*. Wiley-Interscience, A John Wiley & Sons Inc., New Jersey, 610 s.
- Chinwe O.U., Obinna C.N., Akeem A., Alo B.I. 2010. Assessment of heavy metals in urban highway runoff from Ikorodu expressway Lagos, Nigeria. *J. Environ. Chem. Ecotoxicol.*, 2(3): 34-37.
- Dojlido J. 1999. *Fizyczno-chemiczne badanie wody i ścieków*. Wyd. Arkady, 556 s.
- Dyrektywa 98/70/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 13 października 1998 r. odnosząca się do jakości benzyny i olejów napędowych oraz zmieniająca dyrektywę Rady 93/12/EWG. *Dz. U. WE*, L 350/58, 1998.
- Dyrektywa Rady 70/220/EWG z dnia 20 marca 1970 r. w sprawie zbliżenia ustawodawstw Państw Członkowskich odnoszących się do działań, jakie mają być podjęte w celu ograniczenia

- zanieczyszczenia powietrza przez spaliny z silników o zapłonie iskrowym pojazdów silnikowych. Dz.U. L 76, 1970.
- Dyrektiva Rady 72/245/EWG z dnia 20 czerwca 1972 r. w sprawie zbliżenia ustawodawstw Państw Członkowskich odnoszących się do eliminowania zakłóceń radioelektrycznych wywoływanych przez silniki z zapłonem iskrowym stosowane w pojazdach silnikowych. Dz.U. L 152, 1972.
- Elbanowska H., Zerbe J., Siepak J. 1999. Fizyczno-chemiczne badania wód. Wyd. Nauk. UAM Poznań, 232 s.
- Eriksson E., Baun A., Scholes L., Ledin A., Ahlman S., Revitt M., Noutsopoulos C., Mikkelsen P.S. 2007. Selected stormwater priority pollutants: a European perspective. *Sci. Total Environ.*, 383(1-3): 41-51.
- Eyles N., Meriano M. 2010. Road-impacted sediment and water in a Lake Ontario watershed and lagoon, City of Pickering, Ontario, Canada: An example of urban basin analysis. *Sedimentary Geology*, 224: 15-28.
- Gnecco I., Berretta C., Lanza L.G., La Barbera P. 2005. Storm water pollution in the urban environment of Genoa, Italy. *Atmospheric Res.*, 77(1-4): 60-73.
- Göbel P., Dierkes C., Coldewey W.G. 2007. Storm water runoff concentration matrix for urban areas. *J. Contaminant Hydrol.*, 91(1-2): 26-42.
- Gromaire-Mertz M.C., Garnaud S., Gonzalez A., Chebbo G. 1999. Characterization of urban runoff pollution in Paris. *Water Sci. Technol.*, 39(2): 1-8.
- Kayhanian M., Suverkrupp C., Ruby A., Tsay K. 2007. Characterization and prediction of highway runoff constituent event mean concentration. *J. Environ. Manage.*, 82(2): 279-295.
- Khan S., Lau S.L., Kayhanian M., Stenstrom M.K. 2006. Oil and grease measurement in highway runoff - sampling time and event mean concentrations. *J. Environ. Eng.*, 132(3): 415-422.
- Kołodziejczyk U., Nadolna M., Węclewski S., Asani A., Staszczuk A., Szymańczyk A., Bohatkiewicz J., Drach M., Helman-Grubba M., Sładkowski W., Kielbasa K., Scheffs D. 2009. Ekologiczne zagadnienia odwodnienia pasa drogowego. Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad, Warszawa, 143 s.
- Konduktometri – przewodność elektrolityczna. [W:] *Laboratoryjna i terenowa aparatura pomiarowa, WTW Pomiarowy i Analityczny Sprzęt Techniczny Sp. z o. o., Wrocław*, s. 52 [online: <http://wtw.pl/katalog-plik/87>]
- Lee P.K., Touray J.C., Baillif P., Ildefonse J.P. 1997. Heavy metal contamination of settling particles in a retention pond along the A-71 motorway in Sologne, France. *Sci. Total Environ.*, 201(1): 1-15.
- Li H.B., Yu S., Li G.L., Deng H., Luo X.S. 2011. Contamination and source differentiation of Pb in park soils along urban-rural gradient in Shanghai. *Environ. Pollut.*, 159(12): 3536-3544.
- Marsalek J. 2003. Road salts in urban stormwater: an emerging issue in stormwater management in cold climates. *Water Sci. Technol.*, 48(9): 61-70.
- Namieśnik J., Jamrógiewicz Z. 1998. Fizykochemiczne metody kontroli zanieczyszczeń środowiska. WNT Warszawa, 464 s.
- Niemiec M., Wiśniowska-Kielian B. 2011. Assessment of heavy metal pollution of rainwaters flowing down the road No. 4 taken from retention reservoirs. *Ecol. Chem. Eng.*, 18(1): 13-18.
- Nordeidet B., Nordeide T., Åstebøl S. O., Hvitved-Jacobsen T. 2004. Prioritising and planning of urban stormwater treatment in the Alna watercourse in Oslo. *Sci. Total Environ.*, 334-335: 231-238.
- Novotny E.V., Murphy D., Stefan H.G. 2008. Increase of urban lake salinity by road deicing salt. *Sci. Total Environ.*, 406: 131-144.
- Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 18 listopada 2005 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy – Prawo wodne. Dz.U. Nr 239, 2005, poz. 2019.
- Ochrona środowiska 2012. Informacje i opracowania statystyczne. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa, 599 s.
- Paul M.J., Meyer J.L. 2001. Streams in the urban landscape. *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, 32: 333-365.
- Pétavy F., Ruban V., Conil P. 2009. Treatment of stormwater sediments: Efficiency of an attrition scrubber – laboratory and pilot-scale studies. *Chemical Engineering Journal*, 145(3): 475-482.

- Projekt wykonawczy odwodnienia drogi krajowej nr 4 Kraków-Targowisko. 2003. Transprojekt Kraków Sp. z o.o.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 28 stycznia 2009 r. zmieniające rozporządzenie 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. Nr 27, 2009, poz. 169.
- Suligowski Z. 2008. Alternatywa dla wód opadowych. Wodociągi i kanalizacja, 2008, 4: 54-55.
- Tan M.G., Zhang G.L., Li X.L., Zhang Y.X., Yue W.S., Chen J.M., Wang Y.S., Li A.G., Li Y., Zhang Y.M., Shan Z.C. 2006. Comprehensive study of lead pollution in Shanghai by multiple techniques. Anal. Chem., 78(23): 8044-8050.
- Tonto F. Why do we treat urban runoff? The drainage, The Stormceptor Industry Newsletter, Spring 2002 - Issue #11, s. 1,3,4. [dokument elektroniczny: <http://www.stormceptor.com/pdf/newsletters/StormNewsletterSpring2002.pdf>, dostęp: 10.10.2012 r.]
- Vaze J., Chiew F.H.S. 2004. Nutrient loads associated with different sediment sizes in urban stormwater and surface pollutants. J. Environ. Eng., 130(4): 391-396.
- Vicario L. 2012. Zanieczyszczenie powietrza i zagrożenie hałasem [dokument elektroniczny: http://www.europarl.europa.eu/ftu/pdf/pl/FTU_4.10.6.pdf, dostęp: 15.10.2012 r.]
- Wanielista M.P., Yousef Y.A. 1993. Stormwater Management. John Wiley & Sons, New York, New Jersey.
- Wiśniowska-Kielian B., Niemiec M. 2008. Zanieczyszczenie metalami ciężkimi wód spływających z dróg pobranych ze zbiorników odparowujących. Inżynieria Ekologiczna, 20: 57-63. www.zumi.pl [dostęp: 10.10.2012 r.]

ROADSIDE RESERVOIRS OF RAIN WASTEWATER AS AN ELEMENT OF WATERS QUALITY PROTECTION

Abstract. This paper presents an assessment of the quality of rain wastewater from the drainage of the national road No. 4 between Sułków - Łysokanie and the impact of changes in the intensity of traffic on their content of Zn and Pb. Material consisted of samples of sewage flowing out directly of the road and collected in 16 reservoirs, located on both its sides, taken in July 2011 during the precipitation. Physico-chemical parameters (pH, electrolytic conductivity, COD and total nitrogen and chloride) as well as zinc and lead were analysed. The results were compared with those obtained in 2007 and 2008 for wastewater of the same objects.

There were found significant differences of physico-chemical parameters and of both metals content in the wastewater flowing into reservoirs and stagnant in them. The average concentration of metals in the wastewater flowing out of the road and accumulated in the reservoirs were similar, but showed less variability and lower maximum levels, so build reservoirs reached the intended target of retardation of water resources degradation. Comparing the waste collected in the same reservoirs in 2007-2011 showed that the average Zn concentration in rain wastewater draining from the road No. 4 has decreased since 2007, from 1.2 to 4 times, which should be regarded as a positive effect of reducing the amount of traffic vehicles, mostly trucks, after being put into use in 2009, the A4 motorway between Kraków-Szarów. The concentration of Pb since 2008 has not changed significantly, which may result from the fact that has not changed significantly traffic intensity, especially cars, which are moving residents of the area. The Zn concentration in the studied rain wastewater flowing out of the road was correlated with the value of COD, and in the case of reservoirs located on the south side of the road with the values of pH and COD. Pb concentration in the effluent flowing out of the road into all reservoirs and located on the north side was correlated with the volume of reservoirs and sealed surface and total their catchment area. Pb content in the wastewater flowing into reservoirs located on the south side of the road and gathered them was correlated with the value of COD, and stored in reservoirs on the northern side depend on the pH value.

Keywords: rain wastewater, reservoirs, Zn, Pb, sewage quality, retardation