

Ewa BADOWSKA*

WYSTĘPOWANIE SUBSTANCJI ROPOPOCHODNYCH W ŚCIEKACH DESZCZOWYCH POCHODZĄCYCH Z WYBRANYCH ZLEWNI ZURBANIZOWANYCH

W treści artykułu przedstawiono wyniki badań oznaczania poziomu stężeń zanieczyszczeń trafiających do środowiska ze ściekami deszczowymi. Podstawę do wyboru punktów poboru stanowiło Rozporządzenie Ministra Środowiska [10], w którym określono wartość dopuszczalną (15 mg/dm^3) węglowodorów ropopochodnych w ściekach deszczowych i roztopowych odprowadzanych do środowiska z powierzchni zanieczyszczonych (na przykład z powierzchni przemysłowych, miast, dróg). Z obszaru Łodzi wytypowano trzy zlewnie różniące się sposobem zagospodarowania i użytkowania. W ten sposób dysponowano próbkami ze zlewni mieszkaniowej (zlewnia Liściasta), przemysłowej (zlewnia Dąbrowa) z systemu kanalizacji deszczowej oraz ze zlewni mieszkaniowej (zlewnia J-1) skanalizowanej w systemie kanalizacji ogólnospławnej. Dodatkowo wytypowano sześć zlewni drogowych na terenie Łodzi z podziałem na zlewnie zlokalizowane w: dzielnicy mieszkaniowej, przy stacji paliw albo zajezdni autobusowej. W każdym przypadku oznaczono również stężenie ChZT i zawiesin. Przedstawione wyniki obejmują dane z kilku zjawisk opadowych z uwzględnieniem czynników przypadkowych mogących wpływać na stężenie węglowodorów ropopochodnych w ściekach deszczowych (natężenie opadu, liczba dni pogody suchej poprzedzającej opad).

1. WSTĘP

Zanieczyszczenie środowiska, które ciągle wzrasta, stanowi obecnie poważny problem. W związku z tym, powszechnie zwraca się uwagę na wszelkiego rodzaju szkodliwe związki, które mogą potencjalnie negatywnie wpływać na środowisko. Wczesne rozpoznanie i kontrolowanie zagrażających środowisku czynników daje możliwości zminimalizowania ich niekorzystnego oddziaływania.

* Politechnika Łódzka, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska, Instytut Inżynierii Środowiska i Instalacji Budowlanych, Al. Politechniki 6, 90-924 Łódź.

Wody opadowe ulegają zanieczyszczeniu już w atmosferze, dalsze znaczne pogarszanie się ich jakości spowodowane jest splukiwaniem zanieczyszczeń z powierzchni uszczelnionych takich jak dachy, chodniki, parkingi, place i jezdnie. W zależności od rodzaju powierzchni wody opadowe zostają skażone w różnym stopniu. W czasie opadu trafiają do systemu kanalizacji deszczowej lub ogólnospławnej. W przypadku kanalizacji deszczowej ścieki kierowane są do różnego typu zbiorników retencyjno-sedymentacyjnych i do wód powierzchniowych, natomiast w przypadku sieci ogólnospławnej nadmiar ścieków odprowadzany jest przelewami burzowymi bezpośrednio do odbiornika. W Rozporządzeniu Ministra Środowiska [10], w którym mowa o zanieczyszczeniu wód opadowych i roztopowych, jednym z limitowanych wskaźników jest poziom zanieczyszczenia w postaci węglowodorów ropopochodnych. Ich ilość nie powinna przekraczać 15 mg/dm^3 w ściekach wprowadzanych do wód lub do ziemi z powierzchni zanieczyszczonych, do których zaliczone są na przykład powierzchnie terenów przemysłowych, składowych, baz transportowych, miast, dróg. Zgodnie z tymi zapisami wybrano obszary miejskie, z których w ściekach deszczowych i ogólnospławnych oznaczono stężenie węglowodorów ropopochodnych. Przeprowadzone badania miały na celu nie tylko wyznaczenie poziomu stężeń tych zanieczyszczeń, ale także określenie ewentualnego wpływu czynników przypadkowych, takich jak natężenie opadu oraz liczba dni pogody suchej przed opadem, na ilość oznaczanych węglowodorów ropopochodnych w ściekach.

1.2. CHARAKTERYSTYKA WYBRANYCH ZLEWNI

Z obszaru Łodzi wytypowano trzy zlewnie: dwie miejskie mieszkaniowe (Liściasta, Rogozińskiego) oraz przemysłowo-usługową (Dąbrowa). Z terenu zlewni Liściasta i Dąbrowa ścieki odprowadzane są systemem kanalizacji rozdzielczej, natomiast ze zlewni Rogozińskiego ścieki trafiają do systemu ogólnospławnego. Dodatkowo wyróżniono sześć zlewni drogowych na terenie miasta, zlokalizowanych typowo na terenie mieszkaniowym, przy stacji paliw oraz przy zajezdni autobusowej.

Zlewnia Liściasta zaklasyfikowana jako obszar mieszkaniowy obejmuje teren o powierzchni 11,9 ha. W rejonie tym dominują budynki jedno i wielorodzinne. Pozostałe zabudowania stanowią drobne punkty handlowo-usługowe. Ścieki deszczowe z terenu zlewni kierowane są do zbiornika retencyjno-sedymentacyjnego, a następnie do rzeki Sokołówki.

Zlewnia Dąbrowa uznana za zlewnię o charakterze przemysłowo-usługowym zajmuje obszar 340 ha. Kiedyś teren ten stanowił część przemysłową Łodzi, natomiast obecnie w związku z upadkiem niektórych gałęzi przemysłu nastąpiło częściowe przekształcenie tego rejonu na tereny usługowe. Obiekty charakterystyczne usytuowane na terenie zlewni to elektrociepłownia EC-4 posiadająca własną bocznice kolejową, a także magazyny i stacje rozładunkowe wielu firm. Ścieki deszczowe odprowadzane są do zbiornika retencyjno-sedymentacyjnego, a następnie do rzeki Olechówki.

Zlewnia Rogozińskiego zlokalizowana w pobliżu centrum miasta jest obszarem intensywnie zagospodarowanym. Większość zabudowy to budynki wielorodzinne. W rejonie tym znajdują się wszystkie niezbędne obiekty infrastruktury miejskiej (szkoły, przedszkola, ośrodki zdrowia). Cały obszar zajmuje powierzchnię około 211 ha. W trakcie długotrwałych lub intensywnych opadów nadmiar ścieków ogólnospławnych kierowany jest przelewem burzowym do rzeki Jasień.

2. ZAKRES ANALIZ

Podstawowym badaniem wskaźnikiem zanieczyszczeń był indeks oleju mineralnego, który określa stężenie węglowodorów ropopochodnych. Analizy zostały przeprowadzone zgodnie z normą PN-EN ISO 9377-2: Jakość wody. Oznaczanie indeksu oleju mineralnego [9]. Badania zrealizowano dzięki wykorzystaniu techniki chromatografii gazowej z detekcją płomieniowo-jonizacyjną (FID).

Pozostałe wykonane badania dotyczyły wyznaczenia w ściekach deszczowych stężenia ChZT i zawiesin.

W przypadku zlewni z systemem kanalizacji rozdzielczej ścieki pobierane były na dopływie do osadników, natomiast w przypadku kanalizacji ogólnospławnej analizowano ścieki z przelewu burzowego. W opisywanych przypadkach próbki pobierano wraz ze zmianą natężenia przepływu lub w określonym przedziale czasowym (zlewnia Dąbrowa). Dla zlewni drogowych ścieki pobierano po jednej próbie dla każdego zjawiska na dopływie do wpustów deszczowych.

3. PRZEDSTAWIENIE WYNIKÓW

3.1. ZLEWNIA LIŚCIASTA

Wyniki analiz dla zlewni Liściasta obejmują sześć zjawisk opadowych. Poszczególne opady charakteryzują się bardzo zróżnicowanym natężeniem, czasem trwania i liczbą dni pogody suchej poprzedzającej opad. Najkrótszy opad trwający 10 minut i jednocześnie najbardziej intensywny ($q_{\text{MAX}}=96,23 \text{ dm}^3/\text{s}\cdot\text{ha}$) wystąpił dnia 12.07.2012. Opad najdłuższy trwał ponad 10 h i wystąpił po najdłuższym 8 dniowym okresie pogody suchej. Opad najsłabszy charakteryzował się maksymalnym natężeniem wynoszącym jedynie $3,5 \text{ dm}^3/\text{s}\cdot\text{ha}$; z kolei dla jednego z opadów w ogóle nie wystąpił okres suchej pogody. Mimo tak dużego zróżnicowania czynników przypadkowych mogących wpływać na stężenie zanieczyszczeń w ściekach deszczowych stężenie węglowodorów ropopochodnych mieściło się dla większości próbek w zakresie od

0,45 mg/dm³ do 1,05 mg/dm³. Jedynie w jednej próbce oznaczono wartość indeksu oleju mineralnego równą 1,6 mg/dm³. W tym przypadku przyczyną mogło być zarówno duże natężenie opadu ($q_{\text{MAX}}=80,03 \text{ dm}^3/\text{s}\cdot\text{ha}$) oraz liczba dni pogody suchej wynosząca 2 doby.

W żadnym z analizowanych opadów nie wystąpiło zjawisko spływu pierwszej fali zanieczyszczeń oraz nie wychwycono podobieństwa pomiędzy zmianami stężenia ChZT i zawiesin, a stężenia węglowodorów ropopochodnych w czasie. Ładunki zanieczyszczeń ropopochodnych doprowadzone do zbiornika mieściły się w poszczególnych zjawiskach w zakresie od 0,01 kg do 0,41 kg.

3.2. ZLEWNIA DĄBROWA

Dla zlewni Dąbrowa przeanalizowano trzy zjawiska opadowe. Tylko jedno zjawisko przekroczyło natężenie opadu wynoszące 15 dm³/s·ha, jednakże stężenia węglowodorów ropopochodnych ze wszystkich opadów mieściły się w granicach od 0,55 mg/dm³ do 1,65 mg/dm³. Spływy z opisywanej zlewni charakteryzowały się zwiększonym stężeniem węglowodorów ropopochodnych i ChZT w końcowej fazie dopływu do osadnika, co spowodowane było dopływem ścieków z obszaru elektrociepłowni EC-4. W analizowanych spływach nie wystąpiło zjawisko pierwszej fali spływu zanieczyszczeń. Mimo wystąpienia niewielkich stężeń węglowodorów ropopochodnych maksymalny ładunek jaki został doprowadzony do zbiornika z jednego ze zjawisk opadowych wyniósł aż 22,22 kg.

3.3. ZLEWNIA ROGOZIŃSKIEGO

Dla obszaru zlewni Rogozińskiego (J-1) przeanalizowano dziewięć zjawisk opadowych aktywujących przelew burzowy. Jeden ze spływów zawierał wody roztopowe. Stężenia węglowodorów ropopochodnych mieściły się w zakresie od 0,25 mg/dm³ do 5,05 mg/dm³, przy czym w spływach roztopowych maksymalna wartość wyniosła 3,35 mg/dm³. Mimo iż w spływach roztopowych maksymalne stężenie nie osiągnęło wyższej wartości, niż w spływach opadowych, to bardzo istotne jest wystąpienie w znacznej części próbek ścieków roztopowych wyższych stężeń węglowodorów ropopochodnych, niż w spływach z samych opadów. W niektórych przypadkach wystąpiło podobieństwo między zmianami stężenia indeksu oleju mineralnego, a zmianami stężenia ChZT i zawiesin. Mimo tego nie można powiedzieć, aby istniała określona wspólna cecha spływu tych zanieczyszczeń. Okres bezdeszczowy dla danej zlewni ma znaczenie jedynie wtedy, kiedy jest bardzo krótki (kilkugodzinny). Wtedy stężenie węglowodorów ropopochodnych jest znacznie niższe i dla opadu spełniającego ten warunek było w zakresie od 0,25 mg/dm³ do 0,95 mg/dm³. Dla kilku opadów wystąpiło zjawisko spływu pierwszej fali zanieczyszczeń, jednakże generalnie prze-

ważał brak tego zjawiska. Ładunek odprowadzony do odbiornika był znacznie zróżnicowany, gdyż spływy z dwóch zjawisk wniosły do środowiska odpowiednio 17,20 kg i 17,88 kg, natomiast w większości ładunek był niewielki, a minimalnie wyniósł 0,28 kg.

3.4. ZLEWNIE DROGOWE

Badania spływów z nawierzchni drogowych obejmowały początkowy dopływ do wpustów deszczowych. Dla każdego z sześciu punktów poboru, w całym okresie prowadzenia badań, wykonano dziesięć próbek. Badania objęły również zjawisko roztopów. Poniższa tabela przedstawia maksymalne i minimalne wartości stężeń węglowodorów ropopochodnych dla każdej lokalizacji.

Tabela 1. Zestawienie minimalnych i maksymalnych stężeń węglowodorów ropopochodnych dla każdego miejsca poboru próbek.

Charakterystyka zlewni (lokalizacja)	Min. stężenie IOM (mg/dm ³)	Max. stężenie IOM (mg/dm ³)
mieszkańcowa 1	0,45	1,85
mieszkańcowa 2	0,15	3,15
przy stacji paliw 1	0,30	4,90
przy stacji paliw 2	0,45	1,90
przy zajezdni autobusowej 1	0,40	1,90
przy zajezdni autobusowej 2	0,85	7,25

Z przedstawionej tabeli 1 widać, że najwyższe stężenia węglowodorów ropopochodnych wystąpiły dla zlewni przy stacji paliw 1 i dla zlewni przy zajezdni autobusowej 2. W przypadku obu lokalizacji oprócz obiektów charakterystycznych takich jak stacja paliw i zajezdnia autobusowa znajdują się miejsca postoju pojazdów. Dodatkowo dla tych dwóch obszarów najwyższe stężenie węglowodorów ropopochodnych wystąpiło dla spływów roztopowych. Różnice w wartościach stężeń IOM dla dwóch punktów z zajezdnią autobusową wynikają z natężenia ruchu pojazdów.

W przypadku przeprowadzonych analiz ChZT i zawiesin nie wystąpiła zależność wiążąca wartości ich stężeń ze stężeniem węglowodorów ropopochodnych.

4. PODSUMOWANIE

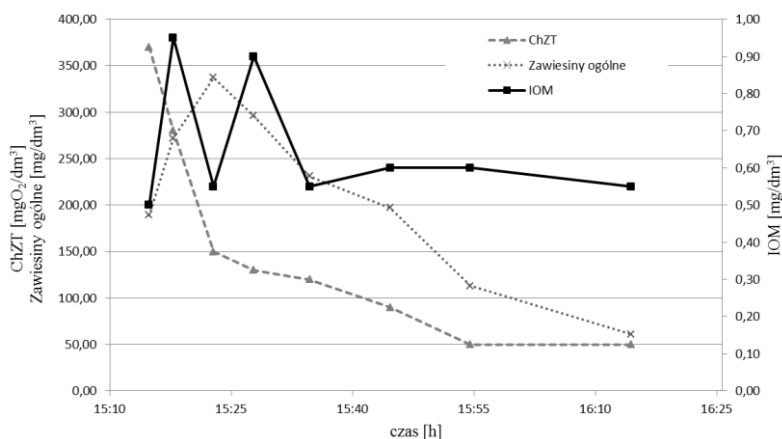
W żadnej próbce ścieków, bez względu na pochodzenie, nie wystąpiło stężenie węglowodorów ropopochodnych wyższe niż 15 mg/dm³, które jest wartością granic-

ną podaną w stosownym Rozporządzeniu Ministra Środowiska [10]. Najwyższe stężenie wystąpiło dla zlewni drogowej przy zajezdni autobusowej i wyniosło $7,25 \text{ mg/dm}^3$.

Zakresy wartości stężeń węglowodorów ropopochodnych z poszczególnych zlewni zawierają się w podobnych granicach. Należy jednak zwrócić uwagę na średni poziom tych zanieczyszczeń, gdyż w niektórych przypadkach wysokie stężenia występowały jednorazowo.

Bardzo istotne z punktu widzenia ochrony środowiska jest obliczanie rzeczywistego ładunku, zamiast podawania wartości stężeń zanieczyszczeń. W ten sposób można wykazać, że zlewnią, z której do środowiska trafiła znaczna ilość szkodliwych związków jest zlewnia Dąbrowa, na terenie której znajdują się zakłady przemysłowe i elektrociepłownia EC-4. Z kolei ze zlewni Liściasta do odbiornika trafiło niewiele zanieczyszczeń ropopochodnych, dlatego jest to zlewnia niewielka i najmniej zanieczyszczona.

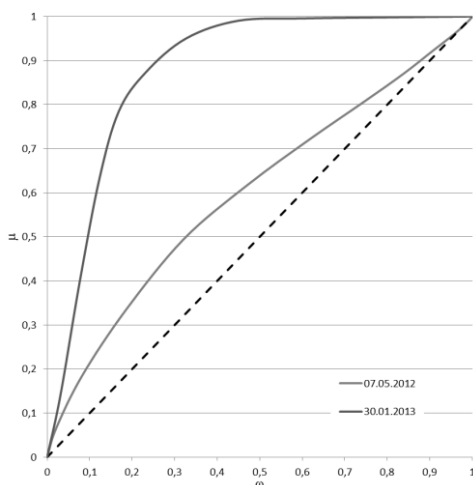
Mimo próby wyznaczenia ewentualnego występowania zależności między wartościami stężeń ChZT, zawiesin i IOM nie ustalono podobieństw w spłukiwaniu tych zanieczyszczeń z powierzchni zlewni. Poniższy wykres przedstawia zmiany stężenia ChZT, zawiesin ogólnych i IOM podczas dopływu do osadnika dnia 12.07.2012 z terenu zlewni Liściasta.



Rys. 1. Zmiany stężenia ChZT, zawiesin ogólnych i IOM w czasie dopływu do osadnika zlokalizowanego na terenie zlewni Liściasta dnia 12.07.2012

Pierwsza fala spływu zanieczyszczeń szeroko interpretowana oraz opisywana przez różnych autorów [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 11, 12] dotycząca zawartości zanieczyszczeń w początkowym spływie wód deszczowych w przypadku węglowodorów ropopochodnych z badanych zlewni występowała niezwykle rzadko. W przeprowadzonych analizach pierwsza fala spływu zanieczyszczeń wyznaczana była zgodnie z założeniami przedstawionymi w [13] i wystąpiła jedynie w kilku przypadkach dla zlewni

Rogozińskiego. Poniższy wykres przedstawia zjawisko pierwszej fali splywu dla zlewni J-1.



Rys. 2. Zjawisko pierwszej fali splywu zanieczyszczeń jako wskaźnika ropopochodnych, które wystąpiło w ściekach z przelewu burzowego ze zlewni J-1 w dniach 07.05.2012 i 30.01.2013

Na ilość zanieczyszczeń ropopochodnych w splywach wód deszczowych ma wpływ wiele czynników. Najważniejsze jest zagospodarowanie danego obszaru, jednak znaczenie mają również czynniki przypadkowe, takie jak natężenie opadu, liczba dni pogody suchej, a nawet natężenie opadu poprzedzającego.

W przypadku badań splywów z mniejszych zlewni istnieje możliwość wytypowania punktu największej emisji zanieczyszczeń ropopochodnych. W badaniach prowadzonych na większym obszarze występuje mieszanie się ścieków z czystych nawierzchni z tymi bardziej zanieczyszczonymi, co utrudnia wskazanie powierzchni o największym udziale w wartości indeksu oleju mineralnego.

W świetle uzyskanych wyników należy ponownie przeanalizować celowość stosowania separatorów ropopochodnych na kanalizacji deszczowej dla większości zlewni na obszarach miejskich.

LITERATURA

- [1] BACH P.M., MCCARTHY D.T., DELETIC A., *Redefining the stormwater first flush phenomenon*, Water Research, 2010, 44, 2487-2498.
- [2] BARCO J., PAPIRI S., STENSTROM M.K., *First flush in a combined sewer system*, Chemosphere, 2008, 71, 827-833.
- [3] BERTRAND-KRAJEWSKI J.L., CHEBBO G., SAGET A., *Distribution of pollutant mass vs volume in stormwater discharges and the first flush phenomenon*, Water Research, 1998, Vol. 32, 8, 2341-2356.

- [4] DELETIC A., *The first flush load of urban surface runoff*, Water Research, 1998, Vol. 32, 8, 2462-2470.
- [5] GUPTA K., SAUL A.J., *Specific relationships for the first flush load in combined sewer flows*, Water Research, 1996, Vol. 30, 5, 1244-1252.
- [6] LARSEN T., BROCH K., ANDERSEN M.R., *First flush effects in an urban catchment area in Aalborg*, Water Science and Technology, 1998, Vol. 37, 1, 251-257.
- [7] LEE H. i inni, *Seasonal first flush phenomenon of urban stormwater discharges*, Water Research, 2004, 38, 4153-4163.
- [8] LEE J.H. i inni, *First flush analysis of urban storm runoff*, The Science of the Total Environment, 2002, 293, 163-175.
- [9] POLSKA NORMA PN-EN ISO 9377-2, *Jakość wody. Oznaczanie indeksu oleju mineralnego, Część 2: Metoda z zastosowaniem ekstrakcji rozpuszczalnikiem i chromatografii gazowej*, Warszawa, 2003.
- [10] ROZPORZĄDZENIE MINISTRA ŚRODOWISKA Z DNIA 24 LIPCA 2006 R, *W sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego*, dz. Ustaw nr 137 poz. 984 z późn. zmianami.
- [11] SAGET A., CHEBBO G., BERTRAND-KRAJEWSKI J.L., *The first flush in sewer systems*, Water Science and Technology, 1996, Vol. 33, 9, 101-108.
- [12] SAGET A., CHEBBO G., DESBORDES M., *Urban discharges during wet weather: What volumes have to be treated*, Water Science and Technology, 1995, Vol. 32, 1, 225-232.
- [13] ZAWILSKI M., BRZEZIŃSKA A., *Występowanie zjawiska pierwszej fali w kanalizacji ogólnospławnej na przykładzie Łodzi*, Gaz, Woda i Technika Sanitarna, 2004, 12, 419-424.

THE OCCURANCE OF PETROLEUM SUBSTANCES IN STORMWATER FROM SELECTED DRAINAGE URBAN AREA

In the paper the results of the determination of the level of pollutants concentration directing into the environment with stormwater are presented. The basis for the selection of sampling sites was the Directive of the Minister of the Environment [2] which defines the limit value (15 mg/dm^3) of petroleum hydrocarbons in stormwater and snowmelt water which are carried into the environment from contaminated surface (for example industrial, residential and road areas). In the area of Lodz three different drainage areas were selected. The drainage areas differ regarding their land use. Therefore, samples from a residential catchment (Liściasta catchment), industrial (Dąbrowa catchment) from separate drainage systems and a residential catchment (J-1 catchment) from combined sewerage system were available. In addition, six drainage road areas in the city divided into drainage areas located in a residential area, at a petrol station and a bus depot were selected. In each case, the COD and total suspended solids concentration was also determined. The results include data from several rain events. Moreover, they take into consideration different factors affecting the concentration of petroleum hydrocarbons in the stormwater run-off (intensity of precipitation, length of dry weather period).

Taking everything into account the value of the concentration of the petroleum hydrocarbons in stormwater is on low level and it should be consider if the petroleum substances separators are necessary in some sewage systems.