

Agnieszka BRZEZIŃSKA¹

Marek ZAWILSKI²

Dawid BANDZIERZ³

Grażyna SAKSON⁴

WIELKOŚĆ EMISJI ZANIECZYSZCZEŃ Z PRZELEWÓW BURZOWYCH KANALIZACJI OGÓLNOSPŁAWNEJ NA PRZYKŁADZIE ŁODZI

Wyniki składu ścieków ogólnospławnych opuszczających wybrany do badań przelew burzowy J1 w Łodzi wykazały, że wielkość ładunku kierowanego do odbiornika jest ściśle powiązana nie tylko z charakterem opadu, ale także z porą dnia, w której następuje wzmożony dopływ ścieków do kanalizacji, stopniem zanieczyszczenia terenu zlewni oraz ilością zalegających w sieci osadów. Dzięki wykonanym analizom laboratoryjnym, wzbogaconym wynikami pochodzącymi z pomiarów on-line, określono wielkość ładunku zanieczyszczeń badanych wskaźników (ChZT, BZT₅, zawiesiny ogólne, zawiesiny mineralne, N-NH₄, P_{org}) w zależności od zjawiska opadowego powodującego aktywację przelewu. Wyniki badań posłużyły również do określenia występowania efektu pierwszej fali zanieczyszczeń w ściekach emitowanych przez przelew J1 do odbiornika. Stwierdzono, że w trakcie roku 2012 objętego badaniami na 11 przeanalizowanych zjawisk, aż w 8 przypadkach efekt ten został zauważony, zarówno dla wszystkich badanych wskaźników, jak i tylko dla niektórych zależnie od opadu. Mimo podejmowanych działań prawnych oraz inwestycji służących ograniczeniu emisji ładunku zanieczyszczeń do odbiorników stan polskich rzek nadal nie należy jeszcze do dobrych. W związku z tym konieczna jest ciągła kontrola emisji zanieczyszczeń z uwzględnieniem nowoczesnych metod jej pomiaru oraz wykorzystania otrzymywanych wyników do opracowywania danych do programów komputerowych umożliwiających realną ocenę tej emisji z systemu kanalizacji ogólnospławnej.

Słowa kluczowe: kanalizacja ogólnospławna, przelewy burzowe, emisja zanieczyszczeń, pierwsza fala zanieczyszczeń

¹ Autor do korespondencji: Agnieszka Brzezińska, Politechnika Łódzka, Instytut Inżynierii Środowiska i Instalacji Budowlanych, 90-924 Łódź, Al. Politechniki 6, tel. 42 6313594, agnieszka.brzezinska@p.lodz.pl

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

³ Dawid Bandzierz, j.w., tel. 42 631 35 95, e-mail: dawid.bandzierz@p.lodz.pl

⁴ Grażyna Sakson, j.w., tel. 42 631 35 27, e-mail: grazyna.sakson-sysiak@p.lodz.pl

1. Wprowadzenie

Jednym z podstawowych źródeł zanieczyszczenia odbiorników są nieoczyszczone ścieki pochodzące z przelewów burzowych kanalizacji ogólnospławnej. Mimo prawnego ograniczenia częstości funkcjonowania przelewów [12], według którego ilość wzbudzeń w ciągu roku dla każdego przelewu nie powinna przekraczać 10, działają one dużo więcej razy (niektóre w łódzkiej sieci nawet powyżej 50 razy). Powyższe rozporządzenie nie przedstawia jasno metodyki liczenia ilości wzbudzeń, a jedynie warunek ostateczny, co budzi słuszne pytanie, jak traktować kilkakrotne wzbudzenia przelewu w przypadku jednego opadu? Analiza funkcjonowania przelewów na tej sieci wymaga zatem szczegółowego i wielopłaszczyznowego podejścia do tematu, bowiem częstość ich działania i ładunki zanieczyszczeń kierowane do odbiorników są zależne od wielu powiązanych ze sobą czynników oraz od podejmowanych decyzji co do niezbędnej modernizacji systemu ogólnospławnego.

Obecnie stan polskich rzek nadal nie należy do zadowalających, co tym bardziej nakazuje w ramach modernizacji ogólnospławnego systemu kanalizacji zmniejszanie ładunku zanieczyszczeń do nich emitowanych. Podstawą dla tych działań powinny być dane pochodzące z monitoringu opadów oraz istniejących przelewów burzowych, a także wdrożony powinien być cyfrowy model kanalizacji ogólnospławnej. Po kalibracji, na bazie zebranych wcześniej danych będzie on bardzo przydatny w szacowaniu wielkości emisji zanieczyszczeń do środowiska wodnego.

2. Metodyka badań i poboru prób

Badaniami objęto przelew J1 umiejscowiony na sieci ogólnospławnej w południowej części Łodzi. Obsługuje on zlewnię o powierzchni 211 ha i zabudowie wielorodzinnej z niewielkim udziałem zakładów przemysłowych. W celu obserwacji zmian dynamiki spływu ścieków w kanalizacji i na przelewie burzowym zamontowano w komorze przelewu sondy on-line do pomiaru przede wszystkim ChZT (UVAS plus) oraz zawiesin ogólnych (SOLITAX Sc), okresowo również do pomiaru N-NH₄ (czujnik amonowy NH4Dsc) firmy Hach Lange (rys. 1). Pobory ścieków prowadzone były z zastosowaniem automatycznego samplera 6712 FR firmy TELEDYNE ISCO. Próby ścieków z przelewu burzowego pobierano proporcjonalnie do przepływu.

Stanowisko badawcze składało się z dwóch części: podziemnej i naziemnej. W części podziemnej w kanale zamontowano na specjalnie zaprojektowanym pływaku sondy oraz kosz ssawny służący do automatycznego poboru prób. W części naziemnej nad stanowiskiem badawczym posadowiono szafkę z samplermem oraz panelami odczytowymi z sond i przepływomierza. Dodatkowo w trakcie wybranych poborów badania rozszerzono o analizę laboratoryjną frak-

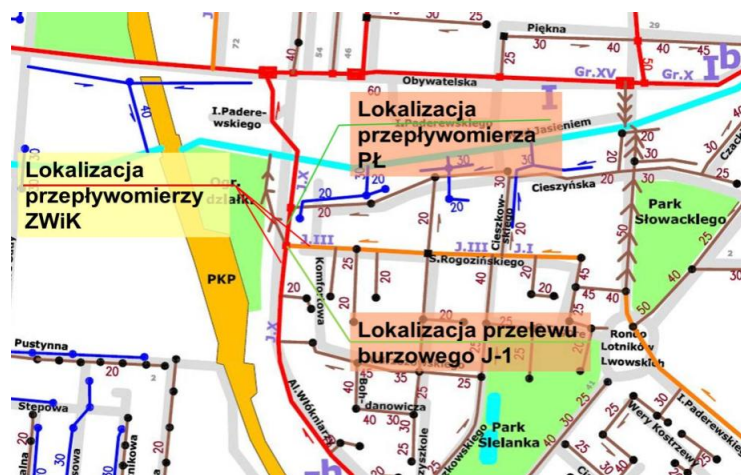
cji ChZT oraz zawiesin ogólnych i ponadto oznaczano pH, BZT₅ oraz fosfor ogólny. Badania laboratoryjne wykonano w oparciu o metody standardowe.

Monitorowano również ilość płynących ścieków za pomocą przepływomierzy umieszczonych w kanałach dopływowych do komory przelewu biegnących wzdłuż ulic Rogozińskiego i Al. Włókniarzy oraz w burzowcu. Pomiar natężenia przepływu w kanałach dopływających oraz w burzowcu następuje w oparciu o krzywą sprawności i wyznaczenie wysokości napełnienia w kanale. Dane są transmitowane w trybie rzeczywistym do ZWiK. Aby w pełni kontrolować ilości transportowanych tymi kanałami ścieków zamontowano dodatkowo przepływomierz firmy Nivus w kolektorze odprowadzającym ścieki do Grupowej Oczyszczalni Ścieków w Łodzi (własność Politechniki Łódzkiej), gdzie przepływ określany jest z wykorzystaniem pomiaru wysokości napełnienia i prędkości przepływu (rys. 2). Pozwoliło to na pełną kontrolę ilości ścieków podczas pogody suchej oraz w trakcie spływu opadowego, a także umożliwiło określenie ładunku badanych wskaźników zanieczyszczenia w trakcie pogody bezdeszczowej oraz podczas jego emisji bezpośrednio do odbiornika w trakcie aktywacji przelewu.



Rys. 1. Widok stanowiska pomiarowego: a) pływak z zamontowanymi sondami, b) szafka pomiarowa usytuowana nad przelewem burzowym z pobierakiem i panelem do odczytu pomiarów

Fig. 1. View of test bench: a) float with installed sensors, b) measuring cupboard located above the combined sewer overflow and samplers panel to read measurements



Rys. 2. Lokalizacja przelewu J1 oraz przepływomierzy w kanałach

Fig. 2. Location of overflow J1 and flowmeters in the sewers

Analiza ładunku zanieczyszczeń emitowanego do odbiornika z przelewu burzowego J1 oparta była na monitoringu opadów miejskiej sieci deszczowej, z której wybrano te, obsługujące badaną zlewnię. W tabeli przedstawiono charakterystykę opadów powodujących aktywację przelewu J-1 w 2012 roku. Zamieszczono w niej takie parametry, jak średnie i maksymalne natężenie (i_{sr} , i_{max}), sumaryczną wysokość opadu (H_{sum}) i czas jego trwania oraz okres pogody suchej pomiędzy kolejnymi opadami (T_s).

Tabela 1. Charakterystyka opadów powodujących aktywację przelewu J1 w 2012 roku (badania własne)

Table 1. Characteristics of rainfall causing the activation of J1 overflow in 2012 (own research)

| Przelew | Data | i_{sr} | $i_{max}^{\#}$ | Czas trwania | T_s | H_{sum} |
|------------|-------------|----------|----------------|--------------|-------|-----------|
| | | (mm/h) | (mm/h) | | | |
| J-1 | 31.03.2012* | 1.2 | 9.2 | 535 | 120 | 10.4 |
| | 21.04.2012 | 1.4 | 6.4 | 150 | 21 | 3.7 |
| | 07.05.2012 | 1.8 | 3.7 | 355 | 12 | 10.7 |
| | 14.06.2012 | 7.5 | 21.6 | 285 | 4 | 36.2 |
| | 21.06.2012 | 2.3 | 4.1 | 60 | 7 | 2.7 |
| | 14.07.2012 | 3.4 | 14.7 | 60 | 2 | 3.6 |
| | 26.07.2012 | 3.2 | 10.2 | 135 | 7 | 7.4 |
| | 07.08.2012 | 3.0 | 9.7 | 230 | 9 | 11.7 |
| | 09.08.2012 | 5.5 | 14.5 | 75 | 2 | 7.4 |
| | 20.08.2012 | 8.1 | 17.6 | 25 | 11 | 4.7 |
| 12.09.2012 | 5.21 | 14.8 | 60 | 22 | 5.6 | |

* - pierwszy opad po zimie

- pomiary w interwałach 5-minutowych

Dane zawarte w tab. 1 pokazują znaczne różnice charakterystyk opadów powodujących aktywację przelewu. Zauważa się opady o długim czasie trwania i stosunkowo niewielkim natężeniu maksymalnym (np. opad z dnia 07.05.2012) oraz opady o krótkim czasie trwania, ale o dużo większym natężeniu (opad z dnia 14.07.2012). Nie bez znaczenia dla wielkości zrzucanego ładunku (w tym objętości emitowanych przez przelew ścieków) jest wysokość opadu, która jak pokazuje tabela 1, wahała się od 2.7 do 36.2 mm.

3. Wyniki badań i ich dyskusja

3.1. Współzależność między parametrami opadów a aktywnością przelewów burzowych

Łódzki system kanalizacji ogólnospławnej został wyposażony, zgodnie jeszcze z ideą W. Lindleya, w kilkanaście przelewów burzowych. Do rzek miejskich trafiają obecnie ścieki z ok. 150 wylotów kanalizacji deszczowej oraz 18 przelewów burzowych kanalizacji ogólnospławnej. W zależności od strefy zasięgu i charakteru zjawiska opadowego może ich działać nawet kilka jednocześnie, co skutkuje emisją do środowiska wodnego znacznych ilości nieoczyszczonych ścieków.

Jak wspomniano wcześniej w ramach prowadzonych badań przeanalizowano funkcjonowanie przelewu J1. Przelew ten objęty został monitoringiem ilościowym przez ZWiK dopiero od roku 2011, w związku z tym możliwa była tylko dwuletnia jego obserwacja. Kryteriami branymi pod uwagę była częstość oraz objętość zrzucanych ścieków (tab. 2). Częstość działania przelewu liczono, przyjmując za jedno zjawisko przelewowe całą dobę obliczeniową, liczoną od momentu wystąpienia pierwszego przepływu w burzowcu, niezależnie od częstości działania w ciągu tej doby. Przyjęto również, że jeżeli doba (obliczeniowa liczona jako jedno działanie przelewu) jest na granicy miesiący, to dodawano całe takie zjawisko do miesiąca w którym przelew burzowy rozpoczął działanie.

Tabela 2. Wyniki analizy funkcjonowania przelewu burzowego J1 (badania własne)

Table 2. Results of the analysis of the overflow J1 functioning (own research)

| Rok | Roczna ilość zrzutów | Roczna objętość zrzutów [m ³] |
|------|----------------------|---|
| 2011 | 18 | 56 476 |
| 2012 | 20* | 56 100 |

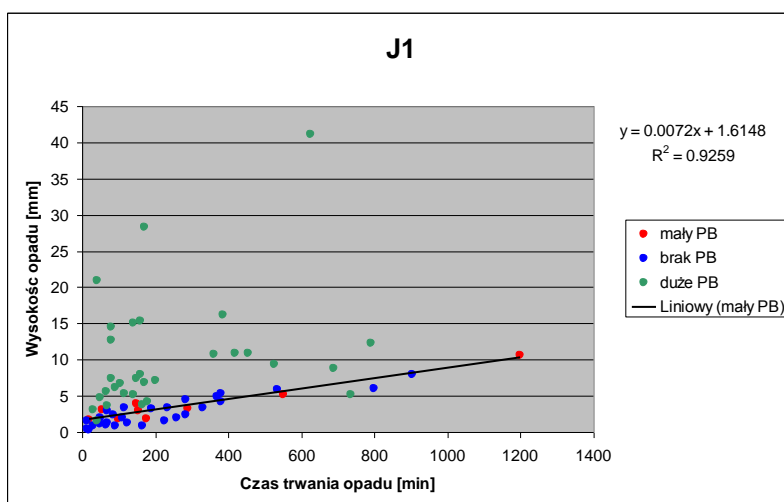
* - dane do października

Z zebranych danych pomiarowych wynika, iż w dwóch analizowanych latach częstość aktywacji przelewu w ciągu roku przekracza dopuszczalną przepisami wartość 10. Zakładając, że możliwe jest jeszcze działanie przelewu w końcu roku 2012, roczna ilość zrzutów jest ponad 100% większa od dopuszczalnej.

Częstość działania przelewów burzowych jest zależna od następujących czynników:

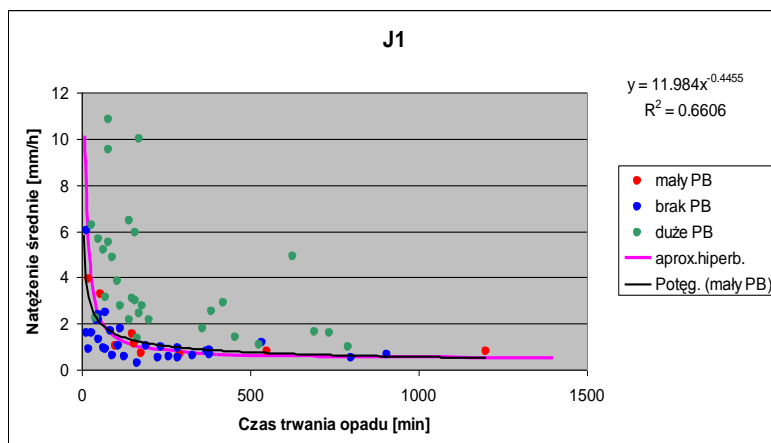
- charakterystyki opadu, w tym jego natężenia i czasu trwania,
- wielkości i kształtu, szczególnie rozciągłości zlewni uszczelnionej,
- położenia krawędzi przelewu nad dnem kolektora.

W przypadku konkretnej zlewni, ciężącej do przelewu burzowego, istnieje zależność między częstością i wielkością zrzutów przez przelew a parametrami opadu. Wartości wysokości opadu H_{op} oraz jego średniego natężenia określono dla fazy opadu, poprzedzającej zjawisko przelewu, a w przypadku jego nie wystąpienia – dla całego opadu, który wywołał falę spływu w kanalizacji ogólnospławnej i zwiększenie napęnienia w komorze przelewu bez jego aktywacji.



Rys. 3. Zależność między wysokością opadu i czasem jego trwania dla zrzutów przez przelew J1

Fig. 3. The relationship between the depth of precipitation and its duration for overflow J1 discharges



Rys. 4. Zależność między czasem trwania opadu i jego natężeniem średnim dla zrzutów przez przelew J1

Fig. 4. The relationship between the duration of precipitation and its average intensity for the J1 overflow discharges

Charakter zależności przedstawionej na rys. 3. można tłumaczyć w ten sposób, że wystąpienie zjawiska przelewu burzowego wymaga zgromadzenia w sieci kanalizacyjnej i na powierzchni zlewni odpowiedniej objętości ścieków deszczowych równoważnej ok. 1,6 mm wysokości opadu. Wpływ mają też właściwości danej zlewni i sieci kanalizacyjnej, powodujące powstawanie odpowiednio wysokiego natężenia przepływu w komorze przelewu. W ten sposób opady krótkotrwałe wymagają mniejszej wysokości opadu, ponieważ wynikowe natężenie opadu osiąga znaczne wartości. Z kolei wystąpienie przelewu burzowego jest możliwe dla opadu długotrwałego przy niższym jego natężeniu, ale odpowiednio większej wysokości, gdy zlewnia jest wypełniona wodą po długim zwilżaniu a natężenie przepływu w sieci kanalizacyjnej osiąga stopniowo wysoki poziom. W tym przypadku zwiększony przepływ w kanałach jest też wynikiem spływu wody ze zlewni nieuszczelnionej, przesyconej wodą oraz zwiększonego dopływu wód gruntowych.

3.2. Analiza wyników badań jakości ścieków

Często zwraca się uwagę na stężenie poszczególnych wskaźników zanieczyszczeń nie analizując ich ładunku jaki trafia do odbiornika. Należy zaznaczyć, że takie podejście do tematu jest często błędne, bowiem niekiedy niewielkie objętościowo przelewy mogą generować znaczne ładunki zanieczyszczeń, a przelewy działające długo mogą odpowiadać za wprowadzanie znacznie niższego ładunku lub ładunku zanieczyszczeń zbliżonego wartością do tego, wprowadzanego z krótko działającym przelewem. Dlatego też przy rozpatrywaniu

wpływu zrzutu zanieczyszczeń z przelewów burzowych na odbiorniki operowanie ładunkiem zanieczyszczeń należy uznać za najbardziej odpowiednie.

Stężenie oraz ładunki zanieczyszczeń w ściekach ogólnospławnych zależą od indywidualnych warunków pracy sieci kanalizacyjnych, sposobu zagospodarowania terenu, spadków kanałów, objętości retencyjnej systemu, stanu czystości atmosfery, częstotliwości czyszczenia ulic i wybierania osadów z wpustów deszczowych.

Przeprowadzona wcześniejsza analiza funkcjonowania łódzkich przelewów burzowych wykazała, że mogą one działać jednocześnie lub pojedynczo ze względu na nierównomierność przestrzenną opadu nad zlewnią, ale z reguły jednocześnie działa ich zawsze kilka. Dlatego ładunek przez nie zrzucany należy do znacznych, a jego odbiornikami są niewielkie łódzkie rzeki. Zwraca uwagę fakt, że polskie prawo nie odnosi częstości funkcjonowania przelewów do wielkości odbiornika. Wynika z tego, że zarówno niewielki odbiornik, jak i duża rzeka przyjmują podobny ładunek zanieczyszczeń, ale z zupełnie innymi konsekwencjami dla stanu jego czystości.

Wyniki badania składu ścieków ogólnospławnych opuszczających przelew burzowy J1 wykazały, że wielkość ładunku kierowanego do odbiornika jest ściśle powiązana nie tylko z charakterem opadu [12, 16, 5, 17, 4], okresem pogody suchej i powiązaniem z tym stopniem zanieczyszczenia terenu zlewni [2, 8, 10] oraz ilością zalegających w sieci osadów kanałowych [9, 1, 11], ale także z porą dnia, w której następuje wzmożony dopływ ścieków do kanalizacji.

W wytypowanym przelewie J-1 poddano analizie ścieki ogólnospławne z 11 zanotowanych jego wzbudzeń. Pozostałe zjawiska opadowe powodujące spływ powierzchniowy do kanalizacji nie powodowały aktywacji analizowanego przelewu, bądź jego aktywacja ograniczała się do około 3 pobranych samplerem prób ścieków, co z racji niewielkiej ich ilości nie podlegało analizie laboratoryjnej. Sondy rejestrowały natomiast wszystkie zmiany składu ścieków w kanalizacji zachodzące w następstwie występujących na tej zlewni opadów. Wyniki analiz własnych ładunku ścieków ogólnospławnych emitowanych do odbiornika z przelewu J-1 przedstawiono w tabeli 3.

Z wyników przedstawionych w tabeli 3 wynika, że na wielkość ładunku kierowanego przez przelew ma również wpływ objętość zrzutu. Opad z dnia 21.04.2012 był opadem nawalnym o charakterze burzy, pierwszym tak dużym po okresie zimy. Zauważa się zatem stosunkowo wysoki ładunek poszczególnych wskaźników zanieczyszczeń, co można tłumaczyć także dużą ilością zanieczyszczeń dostających się ze spływem powierzchniowym do kanalizacji. Nie bez znaczenia jest również czas trwania opadu. Analizy wykazały, że długotrwały opad (uwzględniając oczywiście jego intensywność), który miał miejsce w dniu 14.06.2012 roku, spowodował największy objętościowo w okresie badań zrzut zanieczyszczonych ścieków wynoszący aż 18 401 m³ oraz wygenerował najwyższy ładunek w okresie badań, mimo niższych niż zazwyczaj średnich

wartości stężenia poszczególnych wskaźników, co wskazuje na efekt rozcieńczenia.

Tabela 3. Ładunek zanieczyszczeń emitowany przez przelew J1 w trakcie badań (badania własne)

Table 3. Pollutants load emitted by J1 overflow during studies (own research)

| Data opadu | Objętość zrzutu [m ³] | Ładunek zanieczyszczeń [kg] | | | | | | |
|------------|-----------------------------------|-----------------------------|----------|------------------|------|---------------------|-----------------|-----------------|
| | | Zaw. og. | Zaw. min | BZT ₅ | ChZT | ChZT _{sol} | NH ₄ | P _{og} |
| 31.03.2012 | 60 | 39 | 13 | 17 | 48 | 9 | 0.7 | 0.28 |
| 21.04.2012 | 665 | 412 | 210 | 211 | 573 | 88 | 5 | n.o. |
| 07.05.2012 | 465 | 121 | 44 | 74 | 186 | 60 | 5.2 | 1.1 |
| 14.06.2012 | 18401 | 6199 | 3687 | 957 | 6143 | 1038 | 39 | 28 |
| 21.06.2012 | 92 | 54 | 26 | 24 | 53 | 12 | 0.8 | 0.3 |
| 14.07.2012 | 122 | 50 | 20 | 24 | 57 | 7.7 | 1 | 0.4 |
| 26.07.2012 | 274 | 178 | 55 | 103 | 279 | 40 | 3.6 | 1 |
| 07.08.2012 | 1027 | 230 | 115 | 103 | 262 | 101 | 1.4 | n.o. |
| 09.08.2012 | 751 | 379 | 242 | 99 | 250 | 53 | 1.3 | 1.2 |
| 22.08.2012 | 533 | 419 | 206 | n.o. | 482 | 72 | 4.9 | 1.1 |
| 12.09.2012 | 3091 | 1637 | 995 | 671 | 1560 | 185 | 15 | 4.8 |

W okresie badań zanotowano dwa opady w dniach 14.06.2012 i 12.09.2012 powodujące znaczne spływy ścieków do kanalizacji. Tak duże ilości ścieków opadowych z reguły powinny powodować efekt rozcieńczenia. Jednak porównując otrzymane w tych dniach wyniki stężenia poszczególnych wskaźników zanieczyszczeń w ściekach opuszczających przelew (np. dla zawiesin ogólnych zakres zmian w zjawisku wynosił odpowiednio do opadu 180-766 g/m³ i 318-664 g/m³) nie można jednoznacznie tego stwierdzić, bowiem zakres jego zmian niewiele odbiega od danych uzyskanych w innych dniach badań. Najprawdopodobniej wpływ na taki wynik mają osady kanałowe, które w trakcie gwałtownego i długotrwałego wzrostu przepływu zostały naruszone, a następnie transportowane z nurtem ścieków zarówno przez przelew do odbiornika, jak i dalej, kanałem w stronę oczyszczalni.

W trakcie całego okresu badań przelew J1 generował około 10 tys. kg ładunku zawiesin ogólnych i nieco większą ilość ładunku ChZT. Zakładając, że jednocześnie działa na całej łódzkiej sieci ogólnospławnej kilka przelewów ładunek ten ulega znacznemu zwiększeniu. Dla porównania w regionie Greater Vancouver w Kolumbii Brytyjskiej (Kanada) zlokalizowane są 52 przelewy burzowe, które w ogromnym stopniu przyczyniają się do pogorszenia jakości wód

okolicznych zbiorników wodnych. Przelewy te uruchamiają się średnio 100-150 razy w ciągu roku generując do środowiska wodnego np. od 70 -170 tys kg ładunku zawieszin ogólnych (w zależności od miejsca zrzutu) [7].

4. Pierwsza fala zanieczyszczeń

Dane uzyskane drogą analityczną oraz poprzez pomiar sondami analizowano również pod kątem występowania pierwszej fali zanieczyszczeń w ściekach opuszczających przelewy. Jest to zjawisko niepożądane biorąc pod uwagę jego wpływ na pracę oczyszczalni ścieków oraz bezpieczeństwo odbiornika wodnego. Pierwszą falę rozpatrywano dla ładunku zanieczyszczeń przyjmując definicję występowania około 80% ładunku w pierwszych 30% objętości spływu [6, 13, 14, 15, 3]. Następne porcje spływu transportują pozostały, znacznie mniejszy ładunek zanieczyszczeń.

Zjawisko to może występować dla wszystkich badanych wskaźników, ale też niekiedy ze względu na czynniki jakie je powodują, zaobserwować je można tylko na jednym. Zależy to w dużej mierze od:

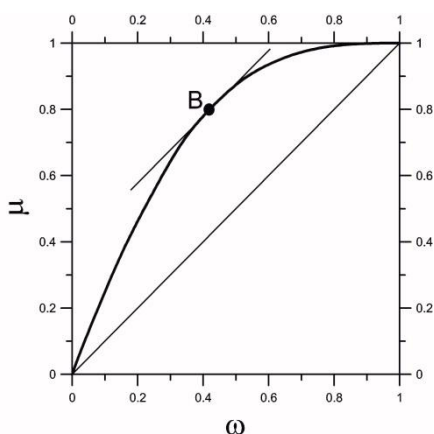
- dobowych wahań stężeń zanieczyszczeń występujących w ciągu doby w trakcie pogody suchej,
- wzrostu stężenia zanieczyszczeń w ściekach ogólnospławnych w trakcie spływu do kanalizacji ścieków opadowych, co powiązane jest z charakterem zjawiska,
- obecności i wymywania osadów kanałowych, których występowanie uzależnione jest od stanu technicznego systemu oraz jego charakterystyki,
- okresu pogody suchej pomiędzy opadami odzwierciedlającej wielkość nagromadzenia zanieczyszczeń na terenie zlewni.

Pierwszą falę można przedstawić wykorzystując krzywe sumowe ilości ścieków i ładunków zanieczyszczeń. Kształt krzywej sumowej (rys. 5) okazuje bezpośrednio, czy pierwsza fala zanieczyszczeń w ogóle może zaistnieć. Jeśli krzywa przebiega wypukłością ku górze, wtedy ładunek zanieczyszczeń narasta szybciej, niż objętość spływu i wówczas można stwierdzić występowanie tego fenomenu. Krzywa zbliżona do linii prostej (przekątnej) oznacza równomierny spływ ładunku, czyli spływ ścieków o wyrównanym stężeniu, a krzywa skierowana wypukłością w dół – efekt odwrotny, nazywany niekiedy „ostatnią falą zanieczyszczeń”, gdy stężone ścieki zaczynają dopływać pod koniec fali spływu, wywołanej opadem.

Na rys. 6 i 7 przedstawiono przykładowe przebiegi pierwszej fali w ściekach emitowanych tym przelewem do odbiornika dla dwóch różnych charakterem zjawisk opadowych. Na rys. 6 zauważa się, że efekt ten nie występuje jednocześnie dla wszystkich badanych wskaźników, jak na rys. 7, co potwierdza przedstawione powyżej stwierdzenie, że ma na to wpływ wiele czynników, z których powyżej przedstawiono najważniejsze. Jednym z decydujących o wystąpieniu

i przebiegu tego fenomenu jest charakter opadu (tab. 1). Opad z dnia 21.04.2012 roku był ponad 3-krotnie słabszy od opadu z dnia 14.06.2012 roku oraz około 10-krotnie mniejsza była jego sumaryczna wysokość. Stąd mimo jednego z pierwszych opadów po zimie, kiedy należy spodziewać się zdecydowanie wyższych stężeń wskaźników zanieczyszczeń, efekt pierwszej fali zaobserwowano dla BZT₅ i azotu amonowego oraz nieznacznie zaznaczył się on dla ChZT. Rys. 6 pokazuje także efekt ostatniej fali zanieczyszczeń, który wystąpił dla zawiesin ogólnych oraz mineralnych.

W przypadku drugiego tutaj analizowanego opadu (rys. 7) przedstawiony efekt występuje dla wszystkich badanych wskaźników.

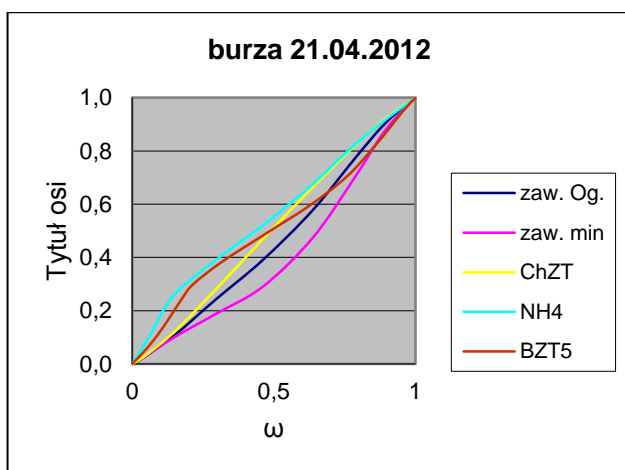


Rys. 5. Przykładowy schemat definiujący występowanie pierwszej fali zanieczyszczeń. Umowny koniec „pierwszej fali” wyznacza punkt B

Fig. 5: Example of the schema that defines the occurrence of the first flush. The contractual end of the "first flush" determined by the point B

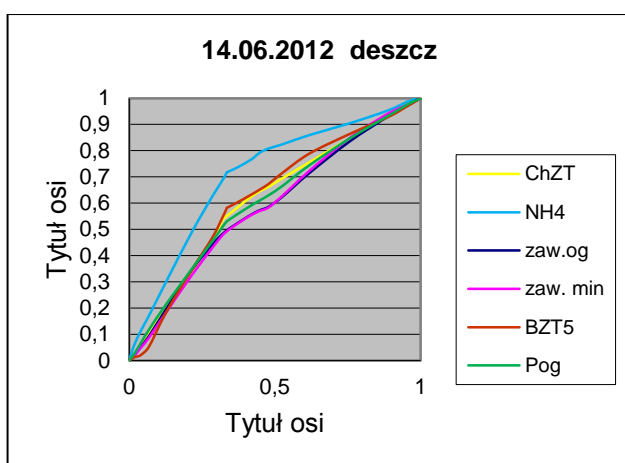
Wpływ na to miał zapewne bardzo silne natężenie zjawiska opadowego, co spowodowało wzruszenie i transport zalegających osadów kanałowych.

W okresie badań przelewu okazało się, że nie zawsze efekt ten jest widoczny na przelewie, a cały ładunek zanieczyszczeń zatrzymywany jest w kanalizacji i kierowany bezpośrednio do oczyszczalni. Najczęściej zauważano taki fakt w przypadku kanału dla ChZT i azotu amonowego, a w przypadku przelewu przede wszystkim dla zawiesin ogólnych i ChZT.



Rys. 6. Przykład występowania pierwszej fali zanieczyszczeń dla przelewu J1 z dnia 21.04.2012

Fig. 6. Example of the occurrence of the first flush of pollutants for J1 overflow of 21.04.2012



Rys. 7. Przykład występowania pierwszej fali zanieczyszczeń dla przelewu J1 z dnia 14.06.2012

Fig. 7. Example of the occurrence of the first flush of pollutants for J1 overflow of 14.06.2012

5. Wnioski

Rzetelna i rzeczywista ocena ładunku zanieczyszczeń kierowanego do odbiornika z przelewów burzowych kanalizacji ogólnospławnej jest trudna i wymaga wieloletnich obserwacji ich funkcjonowania. Dodatkowo dane o jakości ścieków emitowanych tą drogą uzupełnione powinny być dokładnymi pomiarami ich ilości oraz najlepiej jeszcze wynikami o charakterze zjawisk opadowych pochodzącymi z miejskiej sieci deszczomierzy, co udało się stworzyć w Łodzi.

Taka kompletna baza danych stanowi nieocenione źródło informacji oraz jest podstawą do opracowania szczegółowych danych wejściowych do programów komputerowych, w celu symulacji całkowitego ładunku zanieczyszczeń pochodzących z tego systemu. Jak pokazały pomiary opadów, aktywację przelewu J1 powodowały opady o zdecydowanie różnym charakterze. Jednak można stwierdzić, że podstawowe znaczenie ma w tym wypadku maksymalne natężenie oraz sumaryczna wysokość opadu.

W ciągu dwóch lat monitoringu częstości funkcjonowania tego obiektu okazało się, że jego aktywność jest około dwukrotnie wyższa niż dopuszczalna prawem, a ładunek kierowany do odbiornika w roku 2012 w zależności od zjawiska opadowego wahał się w przypadku związków organicznych wyrażonych w BZT₅ i ChZT odpowiednio od 17 do 957 kg oraz od 48 do 6143 kg, a w przypadku zawiesin ogólnych był w granicach 39-6199 kg. Takie ilości ładunku generuje tylko jeden z istniejących 18 przelewów na łódzkiej sieci. W większości przypadków jednak, w zależności od nierównomierności przestrzennej opadów, jednocześnie na sieci pracuje kilka takich obiektów powodując wprowadzenie do środowiska wodnego dużo wyższych ładunków zanieczyszczeń.

Prowadzone badania pozwoliły także na sprawdzenie występowania zjawiska pierwszej fali zanieczyszczeń w ściekach przedostających się bez oczyszczenia do odbiornika. W założeniu funkcjonowania kanalizacji ogólnospławnej najbardziej zanieczyszczone spływy powinny być transportowane do oczyszczalni, a przez przelewy do odbiornika powinny jedynie płynąć występujące w nadmiarze ścieki znacznie już rozcieńczone, teoretyczne o znikomym stopniu zanieczyszczenia jedynie minimalne obciążające rzekę. Jednak uzyskane wyniki wskazują, że na przelewie J1 występuje zjawisko pierwszej fali zanieczyszczeń, co świadczy o znacznym zanieczyszczeniu ścieków kierowanych do odbiornika podczas jego aktywacji. Zamieszczone przykładowe wykresy przedstawiające to zjawisko wskazują na fakt, że efekt ten może istnieć dla zarówno wszystkich badanych parametrów (14.06.2012) jak i tylko dla jednego lub dwóch. Wpływ na takie przebiegi ma kilka czynników, z czego podstawowe to:

- charakter zjawiska opadowego,
- napęlenie kanałów tuż przed wzmożonym dopływem ścieków opadowych,
- stan czystości kanałów, czyli obecność osadów kanałowych,
- okres pogody suchej pomiędzy opadami, odpowiedzialny za nagromadzenie zanieczyszczeń na powierzchni zlewni.

Biorąc pod uwagę powyższe wyniki analiz należy poważnie zastanowić się nad zmianą istniejącego podejścia dotyczącego oceny funkcjonowania przelewów burzowych kanalizacji ogólnospławnej z ilościowego na podejście uwzględniające określenie dopuszczającej wielkości emisji zanieczyszczeń na jednostkę powierzchni zlewni. Konsekwencją takiej zmiany będzie możliwość wzbudzenia się przelewu w ciągu roku mniej lub więcej niż 10 razy, a wynikać będzie to z emitowanego rocznego ładunku zanieczyszczeń. Analiza wy-

ników badań zwróciła również uwagę na konieczność monitorowania ładunków chwilowych ze względu na różną wrażliwość odbiorników na ich zanieczyszczenie.

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] Ashley, R., Crabtree, B., Fraser, A., Hvitved-Jacobsen T.: European research into sewer sediments and associated pollutants and processes, *Journal of Hydraulic Engineering-ASCE* 129, 4, 2003, 267-275
- [2] Bartkowska I.: Prognozowanie zanieczyszczeń spływów opadowych ze zlewni zurbanizowanych, Rozprawa doktorska, Politechnika Białostocka, 1994.
- [3] Deletić, A.: The first flush load of urban surface runoff, *Wat. Res.*, 32, 8, 1998, 2462-2470.
- [4] Duncan H.: Australian Runoff Quality. A draft copy, <http://www.arr.newcastle.edu.au/neweARQ>, ed. National Committee on Water Engineering Engineers, Australia, 2004.
- [5] Gromaire-Mertz M.,C., Gonzalez G.,A., Chebbo G.: Characterization of urban runoff pollution in Paris, *Wat. Sci. Tech.*, 34, 6, 1999, 1773-1780.
- [6] Gupta K., Saul. A.J.: Specific relationships for the first flush load in combined sewer flows, *Wat. Res.*, 30, 5, 1996a, 1244-1252.
- [7] Hall K.J., McCallum D. W., Lee K., Macdonald R, Characterization and aquatic impacts of combined sewer overflows in Greater Vancouver. *British Columbia., Water Science and Technology*, 38, 10, 1998, 9-14.
- [8] Kafi M., Gasperi J., Moilleron R., Gromairec M.C., Chebbo G.: Spatial variability of the characteristics of combined wet weather pollutant loads in Paris, *Water Research*, 42 (3), 2008, 539-549.
- [9] Krejci, V., Dauber, L., Novak, B., Gujer, W.: Contribution of different sources to pollutant loads in combined sewers. In: *Proceedings of the 4th International Conference on Urban Storm Drainage*, Lausanne, Swizerland, 34-39, 1987.
- [10] Li L., Shan B, Yin C.: Stormwater runoff pollution from an urban catchment with rainy climate in China, *Front. Environ. Sci. Eng.* 6 (5), 2012, 672-677.
- [11] Rossi, L., Krejci, V., Rauch, W., Kreikenbaum, S., Fankhauser, R.,Gujer, W.: Stochastic modelling of total suspended solids (TSS) in urban areas during rain events. *Water Research*, 39, 17, 2005, 4188-4196
- [12] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dn. 26 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.U. 2006 nr 137 poz. 984).

- [13] Saget, A., Chebbo, G., Bertrand-Krajewski, J. L.: The first flush in sewer systems, *Wat. Sci. Tech.*, 33, 9, 1996, 101–108.
- [14] Sansalone, J.J., Buchberger, S.G.: Partitioning and first flush of metals in urban roadway storm water., *J. Envir. Engrg.*, 123, 2, 1997, 134-143.
- [15] Skipworth P., Tait S., Saul A.: The first foul flash in combined sewers: an investigation of the causes, *Urban Water*, 2, 2000, 317-352.
- [16] Zawilski M.: Prognozowanie wielkości odpływu i ładunków zanieczyszczeń ścieków opadowych odprowadzanych z terenów zurbanizowanych, *Zeszyty Naukowe Politechniki Łódzkiej*, nr 792. 1997.
- [17] Zawilski M., Brzezińska A.: Characteristics of rainfalls necessary for design and upgrading of urban drainage systems. *Proc of the Int. Conf. on Urban Drainage Modelling, UDM'04, Dresden*, 643-650, 2004.

QUANTITY OF THE POLLUTANTS EMISSION FROM COMBINED SEWAGE SYSTEM ON THE EXAMPLE OF ŁÓDŹ

Summary

The results of the wastewater composition leaving the chosen J1 combined sewer overflow in Lodz showed that the volume of load directed to the receiver is closely related not only to the character of precipitation, but also to the time of day, in which there is increased inflow of wastewater into the sewerage system, the level of pollution of the catchment and amount of sediments present in the sewers. Due to the conducted laboratory analyzes, supplemented with other results from on-line measurements, the load size of examined indicators of pollution (COD, BOD5, suspended solids, mineral solids, N-NH₄, P_{tot}) depending on the rain event causing the activation of the overflow J1 was determined. The results were also used to determine the prevalence of the first flush effect of pollutants in wastewater emitted by J1 overflow to the receiver.

Therefore, a continuous control of the pollutants emission including modern methods of measurement and the use of the obtained results to develop data to computer programs enabling a realistic assessment of the emission from sewer system is necessary.

Keywords: combined sewerage system, combined sewer overflows, pollutants emission, first flush of pollution

DOI:10.7862/rb.2014.43

Przesłano do redakcji: lipiec 2014 r.

Przyjęto do druku: wrzesień 2014 r.