

EMISJA ZANIECZYSZCZEŃ Z PRZELEWÓW BURZOWYCH W ASPEKCIE WPŁYWU NA ODBIORNIK

Agnieszka Brzezińska¹

¹ Instytut Inżynierii Środowiska i Instalacji Budowlanych, Politechnika Łódzka, Al. Politechniki 6, 90-924 Łódź, e-mail: agnieszka.brzezinska@p.lodz.pl

STRESZCZENIE

Zwiększenie efektywności oczyszczania ścieków uwydatnia rolę przelewów burzowych w pogarszaniu jakości wód odbiornika, albowiem ładunki zanieczyszczeń przez nie odprowadzane, mają coraz większy udział we wszystkich ładunkach zrzuconych do odbiornika. W niniejszym artykule zawarto wyniki analiz jakości ścieków emitowanych do odbiornika z trzech badanych przelewów burzowych kanalizacji ogólnospławnej miasta Łodzi. Wykazały one dużą zmienność stężenia zanieczyszczeń kierowanych do odbiornika podczas opadów. Przedstawiono również możliwy wpływ nieoczyszczonych ścieków emitowanych tą drogą na odbiornik. Oprócz zanieczyszczenia odbiornika, przede wszystkim substancjami organicznymi i biogennymi, należy zwrócić szczególną uwagę na jego skażenie mikrobiologiczne, niebezpieczne dla ludzi, wykorzystujących rzeki jak miejsce rekreacji oraz dla zwierząt, korzystających z odbiorników wodnych jako źródła wody pitnej.

Słowa kluczowe: przelew burzowy, jakość ścieków ogólnospławnych, odbiornik

EMISSION OF POLLUTANTS FROM COMBINED SEWER OVERFLOWS IN THE ASPECT OF THEIR IMPACT ON A RECEIVER

ABSTRACT

Increased efficiency of wastewater treatment highlights the role of combined sewer overflows in deterioration the quality of water receiver because pollutant loads discharged by them have a growing share in entire load discharged into a receiver. The article contains the results of the wastewater quality analyzes emitted into the receiver from the three studied combined sewer overflows of the city of Lodz. The results demonstrated a large variations in the pollutant concentration directed to the receiver during rain events. The possible impact of untreated wastewater emitted to the receiver is also presented. Apart from the pollution of the receiver, mainly by organic and nutrient substances, the microbiological contamination which is dangerous for people using the river as a recreation area and for animals that use a water receiver as a source of drinking water, should be taken into particular attention.

Keywords: combined sewer overflow, quality of combined wastewater, receiver

WSTĘP

Przelewy burzowe przenoszą różnego rodzaju zanieczyszczenia z kanalizacji ogólnospławnej do wód powierzchniowych. Stężenia oraz ładunki zanieczyszczeń w ściekach ogólnospławnych zależą od indywidualnych warunków pracy sieci kanalizacyjnych, sposobu zagospodarowania terenu, spadków kanałów, objętości retencyjnej, stanu czystości atmosfery, częstotliwości czyszczenia ulic i wybierania osadów z wpustów deszczowych. Obciążenie odbiorników ilością za-

nieczyszczeń zależy także, a w zasadzie przede wszystkim, od rodzaju i charakteru zjawiska opadowego. Im zjawisko opadowe jest bardziej intensywne, tym większa istnieje możliwość emisji przelewem do odbiornika większych ładunków zanieczyszczeń. W niniejszym artykule podjęto próbę oceny składu nieoczyszczonych ścieków opuszczających przelewy burzowe kanalizacji ogólnospławnej oraz omówiono ich wpływ na odbiornik z uwzględnieniem charakteru i rodzaju oddziaływania. Wpływ przelewów burzowych na jakość wody w odbiornikach staje się coraz więk-

szy. Przeciżenia kanalizacji ogólnospławnej zdarzają się powszechnie i najczęściej spowodowane są wzrostem liczby ludności na skanalizowanym terenie, jak również podłączeniem nowych kanałów sanitarnych systemu rozdzielczego (np. z nowo wybudowanych osiedli mieszkaniowych na obrzeżach miasta) do istniejącej kanalizacji ogólnospławnej śródmieścia. Zwiększenie efektywności oczyszczania ścieków uwydatnia rolę przelewów burzowych w kształtowaniu jakości wód odbiornika, albowiem ładunki zanieczyszczeń przez nie odprowadzane, stanowią coraz większą część wszystkich ładunków zrzucanych do odbiornika.

JAKOŚĆ ŚCIEKÓW OGÓLNOŚPŁAWNYCH Z PRZELEWÓW BURZOWYCH

Badania prowadzone od wielu lat w krajach Europy i Ameryki Północnej (Francja, Dania, Niemcy, Anglia, Szwajcaria, Hiszpania, Słowacja, Stany Zjednoczone, Kanada), dotyczących analizy parametrów fizyczno-chemicznych ścieków oraz wielkości ładunków zanieczyszczeń, zrzucanych przez przelewy burzowe kanalizacji ogólnospławnej wykazały jak bardzo zróżnicowane są ścieki ogólnospławne trafiające do odbiorników i jak różnorodny (niestety negatywny) jest ich wpływ na odbiornik.

W regionie Greater Vancouver (Kanada) występują 52 przelewy burzowe, które w znacznym stopniu przyczyniają się do pogorszenia jakości wód okolicznych zbiorników wodnych. Przelewy te uruchamiają się średnio 100–150 razy w ciągu roku, najczęściej w miesiącach zimowych. Badania fizyczno-chemiczne tych ścieków prowadzone ponad 20 lat temu w mawianym rejonie pozwoliły na kreślenie ładunków zanieczyszczeń trafiających do rzek w ciągu roku (tab. 1)

Wartości ładunków trafiających do odbiorników przedstawione w tabeli 1 wskazują na

znaczne zanieczyszczenie rzek, szczególnie w obszarze Vancouver i Inner Harbor. Podobny ładunek zawiesin ogólnych trafił do zatoki Dorchester i wyniósł ok. 66 000 kg/rok (Eganhouse i Sherblom 2001).

Jak wykazały badania francuskie ścieków pobieranych podczas burzy bezpośrednio ze zbiornika retencyjnego umieszczonego na kanale burzowym (północno-zachodnia części miasta Nancy) np. średnie stężenie zawiesin ogólnych jest ponad 4-krotnie wyższe niż podczas deszczu (odpowiednio ok. 870 mg/l±287 i 183±52 mg/l) (El Samrani i in. 2008).

Podobne badania przeprowadzono w północno-wschodnim rejonie Hiszpanii, w mieście Santiago de Compostela, całkowicie skanalizowanym w systemie ogólnospławnym, gdzie notuje się najwyższe w Europie opady deszczu (1600 mm/rok). Odbiornikami ścieków z przelewów dla tego rejonu są rzeki Sar i Sarela. Skutkiem takiego zjawiska są ogromne ilości ścieków opadowych, płynących kanałami ogólnospławnymi, co w dalszej kolejności powoduje zrzucanie ogromnej ilości nieoczyszczonych ścieków do lokalnych rzek. W tabeli poniżej przedstawiono zakres zmian średnich wartości wybranych wskaźników zanieczyszczeń z 7 wzbudzeń przelewu objętego badaniami (Diaz-Fierros i in. 2002) (tab. 2).

Tabela 2. Średnie wartości stężenia wybranych wskaźników zanieczyszczeń w ściekach odprowadzanych do rzeki, podczas każdego z siedmiu zrzutów, z jednego przelewu burzowego w Santiago de Compostela (Diaz-Fierros i in. 2002).

Parametr	Jednostka	Zrzuty od 1 do 7
BZT ₅	g O ₂ /m ³	70 – 171
ChZT	g O ₂ /m ³	134 – 540
zaw.og.	g/m ³	160 – 411
TKN	g N/m ³	13,2 – 31,6
NH ₄ -N	g N/m ³	5,2 – 12,8
P _{og}	g P/m ³	0,5 – 4,6

Tabela 1. Wybrane ładunki zanieczyszczeń (kg/rok) zrzucane przez przelewy burzowe do rzeki Fraser i zatoki Burrard w regionie Greater Vancouver (Hall i in. 1998).

Dopływ	Obszar	BZT ₅	Zaw.og.	NH ₃	Cu	Pb	Zn
Rzeka Fraser	Vancouver	150 000	170 000	5 700	180	53	180
	New Westmin	91 000	110 000	3 800	110	31	110
Burrard Inlet	False Creek	41 000	100 000	1 400	120	35	180
	Outer Harbor	31 000	36 000	1 300	38	11	38
	Inner Harbor	930 000	1 300 000	51 000	1 300	270	1 200
	Central Harbor	63 000	71 000	2 400	78	23	77

Jak pokazuje powyższa tabela oraz treść artykułu (Diaz-Fierros i in. 2002) do odbiornika wyemitowane zostały ścieki o znacznych stężeniach badanych wskaźników zanieczyszczeń, w tym bardzo niebezpiecznego dla życia biologicznego azotu amonowego. Uwzględniając objętość zrzuconych ścieków, ładunek kierowany tą drogą do odbiornika jest uznawany za wysoki. Biorąc pod uwagę fakt, że ścieki z przelewów burzowych wprowadzają znaczny ładunek związków biogenych oraz organicznych, należy podkreślić, że sprzyja to przyspieszaniu procesu eutrofizacji.

Również w Słowacji przeprowadzono szereg badań jakości nieoczyszczonych ścieków wpływających do odbiornika w celu poznania niebezpieczeństw na jakie narażone jest środowisko wodne w trakcie uaktywniania się przelewów burzowych kanalizacji ogólnospławnej. Próby ścieków pobrano z kilku przelewów burzowych, zlokalizowanych w czterech różnych miastach tego kraju. Łącznie pobrano 127 próbek ścieków w trakcie trwania intensywnych opadów (tab. 3).

Tabela 3. Wartości stężenia wybranych wskaźników zanieczyszczeń jakości ścieków burzowych w Słowacji (Sztruhar i in. 2002)

Parametr	Jednostka	Przelewy burzowe (wartość średnia)
BZT ₅	g O ₂ /m ³	175
ChZT	g O ₂ /m ³	445
zaw.og.	g/m ³	430
N _{og}	g N/m ³	16,8
P _{og}	g P/m ³	2,63

Podobne badania prowadzone były także w Korei, gdzie obecnie główny nacisk położony jest na zarządzanie obszarowymi źródłami zanieczyszczenia odbiorników, które to stanowią około 68–75% w odniesieniu do ogólnego zanieczyszczenia wód. W tabeli 4 przedstawiono wyniki badań jakości ścieków pogody suchej (służących jako tło) oraz ścieków emitowanych przelewami burzowymi jako średnie wartości stężenia ze zjawiska (Kwon i in. 2015)

Jak wykazały dane literaturowe przedstawione powyżej, ścieki ogólnospławne kierowane przez przelewy burzowe do odbiorników poprzez wprowadzanie znacznych ładunków zanieczyszczeń mogą stać się poważnym zagrożeniem dla prawidłowego funkcjonowania odbiorników wodnych. Należy również zaznaczyć, że wyż-

sze ładunki zanieczyszczeń przedostają się do odbiorników z terenów silnie zurbanizowanych (Hall i in. 1998, Diaz-Fierros i in. 2002, Sztruhar i in. 2002). Oczywiście wpływ na to ma ilość i charakter zjawisk opadowych w danym rejonie.

Dodatkowym źródłem ładunku zanieczyszczeń emitowanego przelewami burzowymi w trakcie zjawisk opadowych do odbiornika są osady kanałowe. Ustalenie wielkości tego ładunku jest trudne i skomplikowane ze względu na szereg czynników na to wpływających, począwszy od projektu (średnice, prędkości i spadki kanałów odpowiedzialne za utrzymanie warunków do samooczyszczania się sieci) przez odpowiednią eksploatację systemu (czystość kanałów) oraz ewentualną mobilność istniejących już osadów w trakcie trwania spływu ścieków opadowych do kanalizacji ogólnospławnej. Badania prowadzone w Japonii wykazały, że regularne czyszczenie kanałów z tego typu zanieczyszczeń powoduje redukcję zanieczyszczeń w ściekach z przelewów burzowych o około 22% względem ścieków przedostających się do środowiska wodnego pochodzących z kanałów nieczyszczonych (Nagaiwa i in. 2007).

CHARAKTERYSTYKA BADANYCH PRZELEWÓW BURZOWYCH

Ze względu na występowanie na terenie Łodzi 18 działających przelewów burzowych kanalizacji ogólnospławnej zdecydowano się na przeprowadzenie wstępnych badań dotyczących jakości ścieków dwóch z nich, B1 i J4 obsługujących różne wielkości zlewni. Przelew J1 poddany został już szczegółowej analizie ze względu na zainstalowane tu sondy online służące do pomiaru jakości ścieków.

Przelew burzowy B1 odprowadza nadmiar ścieków do rzeki Bałutki. Przelew ten zlokalizowany jest w okolicy skrzyżowania ulic: Al. Włókniarzy i ul. Limanowskiego (rys. 1). Przelew B1 jest przelewem bocznym o długości krawędzi przelewowej równej $L=12,75$ m. Rzędna krawędzi przelewowej jest równa 195,05 m n.p.m. Ścieki przedostające się przez przelew odprowadzane są do rzeki Bałutki kanałem dzwonowym o wymiarach $4,00 \times 2,00$ m i długości 109,90 m. Przelew ten obsługuje zlewnię o powierzchni 690 ha.

Przelew J4 odprowadza nadmiar ścieków do rzeki Jasień, która w tym miejscu płynie już

Tabela 4. Zakres zmian średnich wartości stężenia [g/m^3] badanych wskaźników zanieczyszczenia w ściekach pochodzących z przelewów burzowych z badanych zjawisk (2 analizy w przypadku pogody suchej i 8 analiz dla zjawisk opadowych) (Kwon i in. 2015)

Parametr	Jednostka	Pogoda sucha	Pogoda mokra
BZT ₅	$\text{g O}_2/\text{m}^3$	89 – 117	114 – 130
ChZT	$\text{g O}_2/\text{m}^3$	127 – 166	204 – 242
zaw.og.	g/m^3	97 – 135	117 – 202
N _{og}	$\text{g N}/\text{m}^3$	10.9 – 12.6	14.3 – 18.2
P _{og}	$\text{g P}/\text{m}^3$	1.3 – 1.4	1.77 – 2.12

korytem otwartym (rys. 2). Przekrój poprzeczny komory przelewu burzowego zmienia się na jej długości. Na wlocie przekrój poprzeczny komory przelewowej przyjmuje kształt kanału dopływającego ($\text{Dz } 3,75 \times 3,90$, natomiast na końcu kształt kanału jajowego J VII $1,20 \times 2,00$).

J4 jest przelewem bocznym, którego krawędź znajduje się na lewej ścianie kolektora (patrząc w kierunku odpływu rys. 2). Krawędź przelewu ma długość 11,5 m, a jej rzędna na całej długości wynosi 183,78 m n.p.m. Wysokość krawędzi przelewowej posadowiona jest 0,98 m powyżej dna komory. Przelew ten obsługuje zlewnię o powierzchni 1 714 ha (rys. 3).

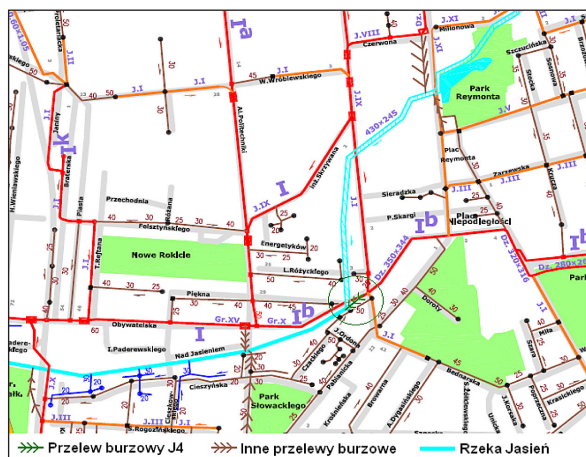
Najlepiej rozpoznana jest praca przelewu J1 oraz jakość ścieków emitowana tym obiektem ze względu na zainstalowane tu, oprócz przepływomierzy, sondy online do pomiaru zawiesin ogólnych oraz ChZT rozpuszczonego. Przelew ten umiejscowiony jest przy ul. Rogozińskiego i obsługuje zlewnię o powierzchni 211 ha (rys. 4). Obiekt ten jest również przelewem bocznym, a do jego komory dopływają 2 kolektory (J III ($0,80 \times 1,40\text{m}$) z ulicy Rogozińskiego i JX

($1,50 \times 2,30\text{ m}$) z alei Włóknarzy), które w niej łączą się w 1 kanał kierujący ścieki do oczyszczalni (J III - $0,80 \times 1,40\text{m}$) do kolektora I w ul. Obywatelskiej.

Według danych ZWiK w Łodzi pochodzących z pomiarów przepływów na tych przelewach wynika, że ich częstotliwość badanych przelewów dochodzi nawet do ponad 25 razy w roku i znacznie przewyższa dopuszczalną prawem ilość (Dz.U. 2014.1800).



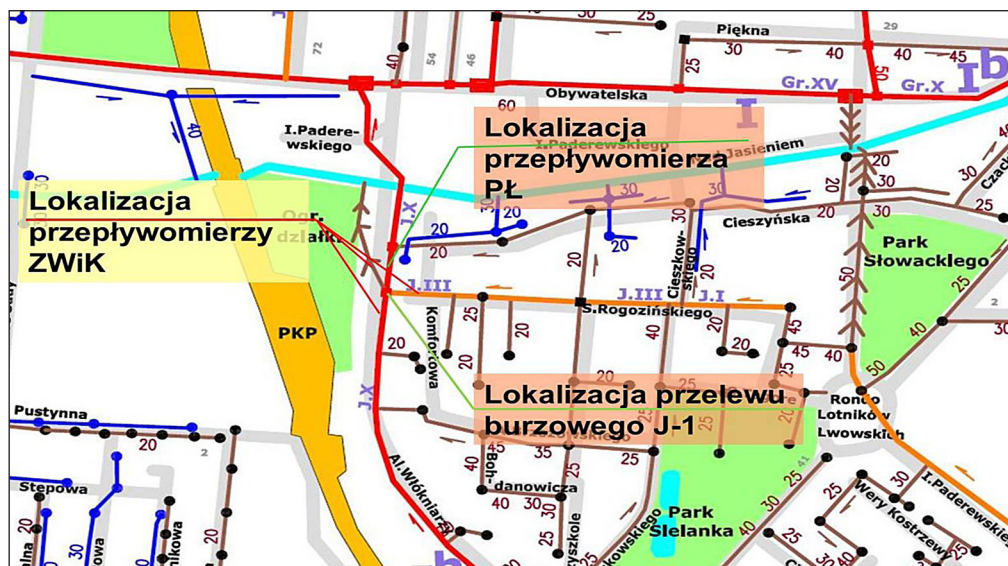
Rys. 1. Lokalizacja przelewu burzowego B1



Rys. 2. Fragment łódzkiej zlewni kanalizacyjnej z zaznaczonym przelewem J4



Rys. 3. Odpływ z komory przelewu J4 w kierunku oczyszczalni



Rys.4. Fragment łódzkiej zlewni kanalizacyjnej z zaznaczonym przelewem J1

ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

Badania własne jakości ścieków ogólnospławnych opuszczających wybrane przelewy burzowe w Łodzi potwierdziły ich różny skład w zależności od rodzaju zjawiska opadowego oraz wielkości i charakteru zagospodarowania zlewni. Badania opadów prowadzone w Berlinie w Niemczech wykazały silną zależność między charakterem opadu, a częstotliwością uaktywniania się przelewów burzowych ze wskazaniem wzrostu ich działania latem. Poza tym długość obserwacji opadów pozwala także na wyznaczenie krytycznej jego wysokości odpowiadającej za wzbudzenie przelewu (Schroeder i in. 2011). Stwierdzono także, że intensywność i czas trwania zjawisk opadowych ma ogromne znaczenie dla ilości zanieczyszczeń przedostających się sływem powierzchniowym do systemu kanalizacyjnego (Bartkowska 1994, Zawilski 1997, Gromaire-Mertz i wsp. 1999, Zawilski i Brzezińska 2004a, Duncan 2004). W tabeli 5 zamieszczono charakterystykę zjawisk opadowych odpowiedzialnych za wzbudzenie ich działania. W tabelach 6 i 7 przedstawiono natomiast wyniki badań jakości ścieków opuszczających badane przelewy burzowe.

Jak widać z tabel 6 i 7 zauważa się znaczne wahania stężeń poszczególnych wskaźników zanieczyszczeń zarówno w trakcie każdego zrzutu ścieków do odbiornika jak i między nimi. Burza, która wystąpiła w dniu 25.04.2011 r. była pierwszym zjawiskiem atmosferycznym po okresie zimy, które spowodowało aktywację przelewu

burzowego B1. Stąd znacznie wyższe stężenia wszystkich przedstawionych wskaźników względem późniejszych wyników obejmujących zjawiska powodujące działanie tego przelewu.

Tabela 5. Dane deszczy w dniach funkcjonowania przelewu burzowego B1, J4 i J1

Przelew	Data zjawiska	t_{op} [h]	h_{sum} [mm]	t_{sp} [d]
B1 [#]	25.04.2011	0.58	4,5	9*
	01.05.2011	1.25	11,8	5
	22.05.2011	1.08	10,2	21
	02.06.2011	2.83	4,3	10
J4 [#]	21.05.2011	2.00	6,0	1
	01.06.2011	6,42	20,5	4
	29.06.2011	4,58	4,4	5
	20.07.2011	1.00	19,7	6
J1	06.05.2015	9.2	12.0	1.6
	26.05.2015	8.0	9.4	0.6
	12.06.2015	2.2	12.3	2.8
	08.07.2015	brak danych opadowych		
	18.07.2015	14	3.2	4
	21.07.2015	10	2.4	3
	25.07.2015	525	12.5	4
	15.08.2015	110	21.5	15
	17-18.10.2015	1375	17.1	2
	15.11.2015	680	12.0	1
18.11.2015	610	7.0	3	
13.12.2015	370	5.9	1	

t_{op} – całkowity czas trwania opadu, h_{sum} – średnia sumaryczna wysokość opadu dla podanej zlewni, t_{sp} – czas suchej pogody przed opadem.

[#] dane opadów do badań wstępnych.

Tabela 6. Zakres zmian przepływu i stężeń wybranych wskaźników zanieczyszczeń w okresie badań wstępnych z przelewu burzowego kanalizacji ogólnospławnej B-1 i J-4 (badania własne)

Przelew	Data zjawiska	Q [m ³ /s]	Zaw. og.	Zaw. min.	BZT ₅	ChZT	N – NH ₄	P og
		zakres zmian	zakres zmian [g/m ³]					
B1	25.04.2011	0.42 – 2.94	656 – 3254	380–2254	110 – 477	518 – 1286	n.o.	2.9–14.2
	01.05.2011	0.58 – 7.42	156 – 986	66–650	64 – 162	200 – 800	2.2 – 4.1	n.o.
	22.05.2011	0.08 – 3.47	246 – 714	94 – 390	32 – 243	180 – 560	1.2 – 3.7	2.2 – 4.1
	02.06.2011	0.28 – 10.80	496 – 1018	280 – 572	60 – 320	429 – 1034	2.4 – 5.6	1.2 – 3.7
J – 4	21.05.2011	0.03 – 1.15	664 – 1412	468 – 911	120 – 350	300 – 840	1.3 – 3.0	2.4 – 5.6
	02.06.2011	0.27 – 13.19	402 – 728	142 – 532	51 – 281	160 – 700	1.7 – 3.9	1.3 – 3.0
	29.06.2011	0.14 – 0.39	390 – 504	172 – 290	150 – 230	333 – 728	1.7 – 3.0	1.7 – 3.9
	20.07.2011	0.14 – 0.39	392 – 554	268 – 390	25 – 140	100 – 40	0.2 – 1.2	1.7 – 3.0

Tabela 7. Zakres zmian przepływu i stężeń wybranych wskaźników zanieczyszczeń mierzonych online w roku 2015 z przelewu burzowego kanalizacji ogólnospławnej J1 (badania własne)

Data zjawiska	Q [m ³ /s]	Zawiesiny ogólne [mg/l]		ChZT sol [mg/l]	
	zakres zmian	zakres zmian	wartość średnia	zakres zmian	wartość średnia
06.05.2015	0.003–0.33	214–886	565	50–160	85
26.05.2015	0.009–0.10	550–1343	964	53–180	83
12.06.2015	0.003–2.94	371–5207	1966	3–145	20
08.07.2015	0.006–0.32	442–1005	624	4–115	15
18.07.2015	0.005–0.10	286–656	339	70–175	108
21.07.2015	0.011–2.17	299–800	494	64–145	92
25.07.2015	0.006–0.20	389–445	417	4–61	22
15.08.2015	0.003–0.35	136–576	207	33–335	126
18.10.2015*	0.003–1.70	235–740	287	72–327	129
14–15.11.2015	0.003–0.06	145–1262	334	68–370	182
18.11.2015	0.003–0.12	194–336	267	115–148	140
13.12.2015	0.003–0.08	239–483	407	66–338	168

* długotrwały opad powodujący w trakcie swojego trwania dwukrotną aktywację przelewu J1.

Świadczy to o znacznym nagromadzeniu zanieczyszczeń na terenie zlewni przez tak długi okres oraz możliwości wypłukania części osadów kanałowych zalegających po okresie zimy w kanałach. Podobnie można tłumaczyć jakość ścieków ogólnospławnych opuszczających przelew burzowy J4 w dniu 21.05.2011. Każde kolejne badania ścieków z tych przelewów wskazywały, że ścieki kierowane przelewem do odbiornika posiadają niższe stężenia zanieczyszczeń, co uzależnione jest między innymi od charakteru opadu wywołującego przelew oraz od okresu pogody suchej poprzedzającej opad. Analizując wyniki badań zawarte w tabeli 5 zauważa się przede wszystkim wysokie stężenia zawiesin oraz ChZT, co wywołuje długoterminowe działanie na odbiornik.

W przypadku przelewu J1 najwyższe stężenie zawiesin ogólnych uzyskano w dniu

12.06.2015 r. Również należy zwrócić uwagę na średnie stężenie tego wskaźnika, które wynosi 1966 mg/l i jest 4-krotnie wyższe niż to, obserwowane podczas pierwszego działania przelewu i 2-krotnie wyższe niż w kolejnym dniu działania przypadającym na 26.05.2015. Odwrotna sytuacja występuje w przypadku wskaźnika ChZT rozpuszczonego. W dniu 26.05.2015 r. zanotowano niższy zakres jego zmian oraz jego średnie stężenie niż w wielu innych dniach analiz. Wynika to najprawdopodobniej z faktu wystąpienia w krótkim czasie, poprzedzającym wzbudzenie przelewu, kilku opadów, które swoim charakterem nie były na tyle silne, aby uaktywnić przelew, ale pozwoliły w pewnym stopniu na splukiwanie zanieczyszczeń ze zlewni oraz czyszczenie kanałów. Stąd bardzo niewiele było zanieczyszczeń w formie rozpuszczonej w ściekach kierowanych do odbiornika.

Aktywacja przelewów burzowych w każdym z przypadków wprowadza do odbiornika wodnego zanieczyszczenia, które negatywnie wpływają na jego jakość. W zależności od ilości i ich rodzaju działanie na odbiornik może przebiegać w wielu płaszczyznach.

Wpływ ścieków ogólnospławnych z przelewów burzowych na odbiornik

Zrzuty ścieków z miejskiej kanalizacji mogą poważnie wpłynąć na warunki hydrauliczne, jak również chemiczne i ekologiczne jakości odbiornika. Może to spowodować degradację przede wszystkim małych i wrażliwych wód powierzchniowych. Zagroza to dobrej jakości ekologicznej odbiornika wymaganej przez Unię Europejską.

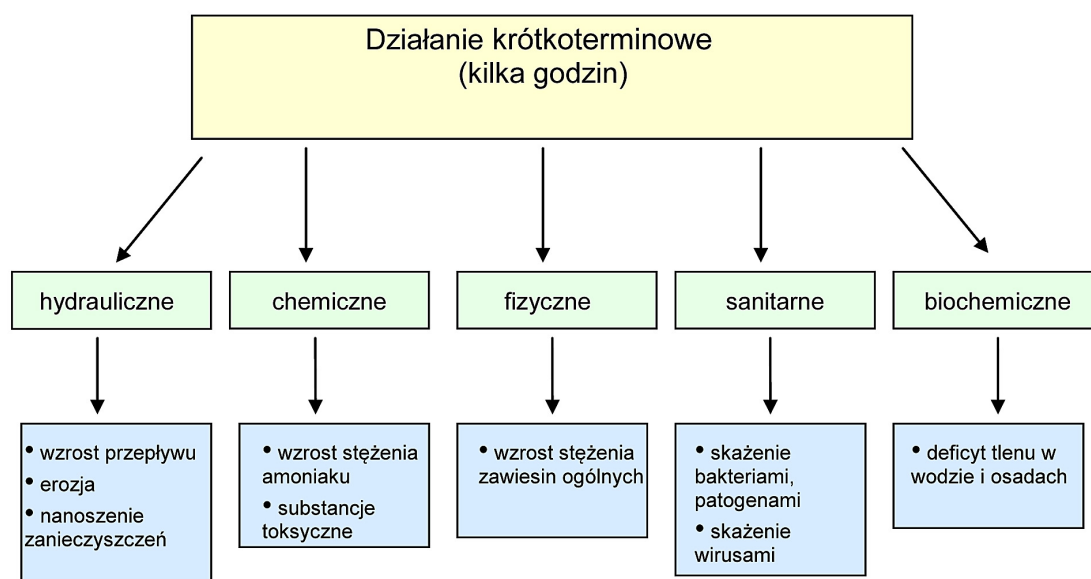
W zależności od lokalnych warunków poszczególnych odbiorników wodnych powinno być wzięte pod uwagę ograniczenie jednego lub więcej z następujących parametrów w celu osiągnięcia poprawy jakości odbiornika (Even i wsp. 2007):

- wzrost przepływu,
- stężenia zanieczyszczeń (azotu amonowego, BZT, zawiesin ogólnych, organicznych i nieorganicznych),
- rocznego ładunku (fosforu, metali ciężkich, zawiesin ogólnych).

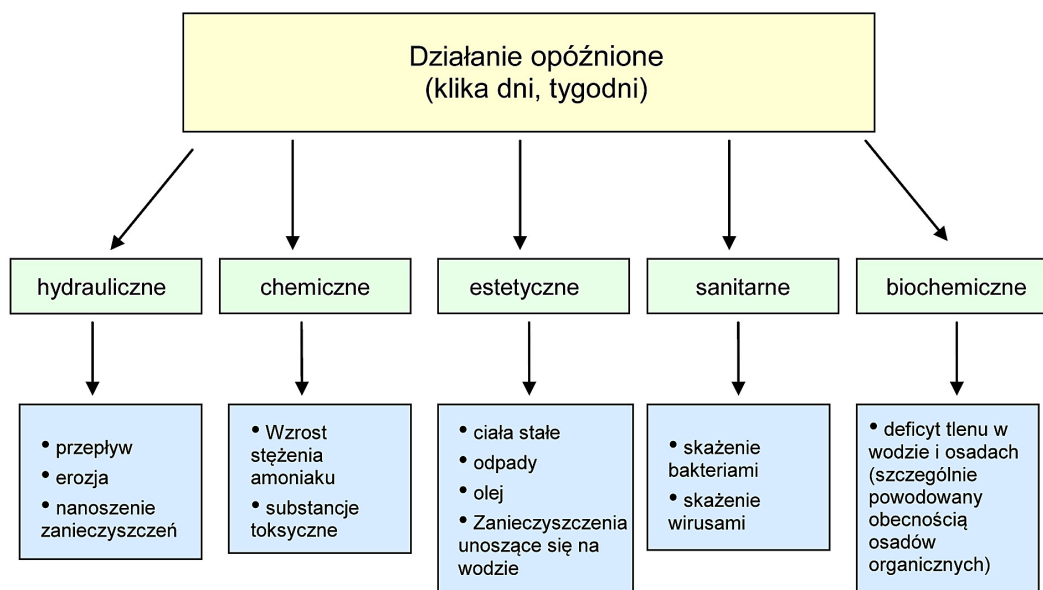
Poniżej przedstawiono w sposób graficzny potencjalne zagrożenia dla odbiornika powodowane zrzutami nieoczyszczonych ścieków z kanalizacji ogólnospławnej.

Jak pokazują rysunki 5, 6 i 7 działanie przelewów burzowych na środowisko wodne jest wielopłaszczyznowe i rozległe. Aby utrzymać poprawny stan chemiczny i ekologiczny odbiorników niemieckie przepisy np. opierają się na kryterium emisji rocznego ładunku ChZT (ATV 128, 1992), a nie jak jest np. w Polsce rozpatrują dopuszczalną ilość zrzutów w ciągu roku.

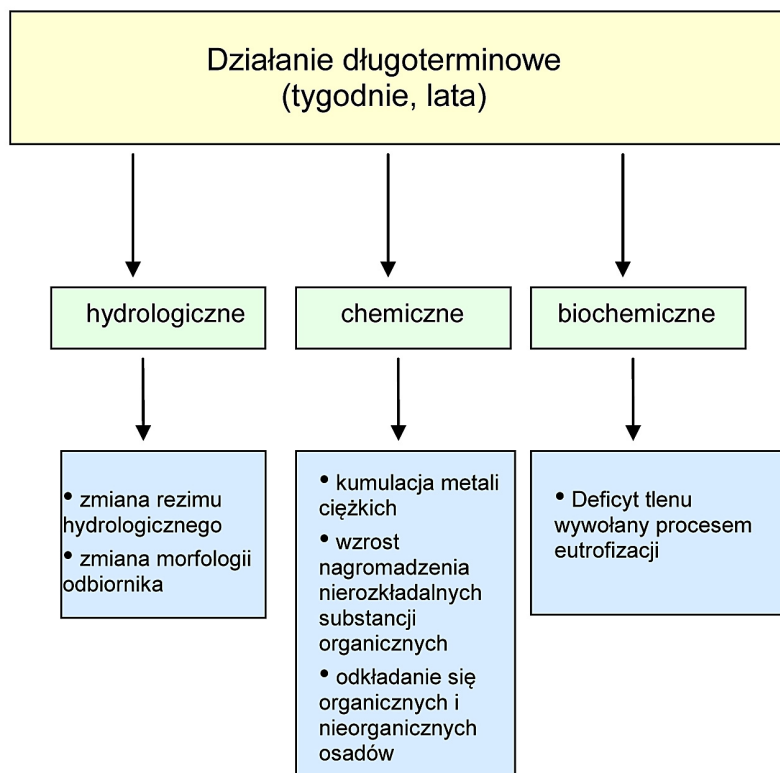
Znajdujące się w wodach w nadmiernych ilościach związki azotu i fosforu zaburzają równowagę w zbiorniku wodnym oraz umożliwiają i intensyfikują procesy wzrostu biomasy. Związki biogenne wskutek nagromadzenia się w wodach powierzchniowych powodują ich eutrofizację. Dawniej eutrofizacja zachodziła bardzo powoli. Obecnie, w związku z rozwojem agrotechniki, wzrostem populacji ludzkiej oraz silną urbanizacją, a co za tym idzie, nadmiernym obciążaniem odbiorników wodnych nieoczyszczonymi ściekami, eutrofizacja została gwałtownie przyspieszona. Jej wpływ na jakość wód naturalnych jest znaczny. Bujny rozwój glonów, przejawiający się w postaci zakwitów, nadaje wodzie nieprzyjemny smak i zapach. Woda staje się mętna i zabarwiona, a wydzielanie się olejków eterycznych i rozkład obumarłych roślin często nadaje wodzie właściwości toksyczne. Nadmierna eutrofizacja powoduje szkodliwe następstwa ekologiczne. Prowadzi ona bowiem do burzliwego rozwoju roślinności wodnej i zbyt intensywnej aktywności drobnoustrojów zużywających znaczne ilości tlenu. Skutkiem tego jest deficyt tlenowy i w następstwie zahamowanie rozkładu tlenowego materii organicznej, obniżenie produkcji biologicz-



Rys. 5. Krótkoterminowy wpływ zrzutu ścieków z przelewu kanalizacji ogólnospławnej na odbiornik



Rys. 6. Opóźniony wpływ zrzutu ścieków z przelewu kanalizacji ogólnospławnej na odbiornik



Rys. 7. Długoterminowy wpływ zrzutu ścieków z przelewu kanalizacji ogólnospławnej na odbiornik

nej i wyniszczenie wielu wrażliwych gatunków zwierząt żyjących w środowisku tlenowym, które ustępują miejsca gatunkom o mniejszych wymaganiach. W końcowej fazie następuje całkowity zanik fauny i śmierć zbiorników wodnych (Kaczor i Bugajski 2006).

Azot amonowy jest jednym z czynników wpływających w sposób szybki i bezpośredni na

życie biologiczne. Około 50–75% azotu ogólnego Kjeldahla stanowi najczęściej azot amonowy. Najwyższe stężenie tego wskaźnika w ściekach z przelewu burzowego zanotowano w Hiszpanii (12,8 mg NH₄-N/l) (Soonthornnonda i Christensen, 2008). Maksymalna zawartość azotu amonowego obecnego w rzece (tab. 8) równa 0,72 mg/dm³ (okres przedwiośnia), w porównaniu z jego

średnią zawartością (6,32 mg/dm³) w ściekach zrzucanych z badanych przelewów burzowych jest około 9 razy mniejsza.

Metale ciężkie to kolejny rodzaj zanieczyszczenia transportowanego ze ściekami ogólnospławnymi z przelewów do środowiska wodnego. Takie pierwiastki jak m. in. Fe, Mn, Cu, Zn, Mo, Ni są w ilościach fizjologicznych niezbędne do prawidłowego funkcjonowania organizmów, natomiast w wyższych (niefizjologicznych) stężeniach zwykle są toksyczne (Seidl i in. 1998). Metale takie jak Cd, Pb, Hg, Ag, Au o niezna-nej funkcji metabolicznej, nawet w niewielkich stężeniach wykazują właściwości toksyczne. Stężenia (wartości średnie) poszczególnych metali ciężkich w ściekach pochodzących z przelewów burzowych ze zlewni o różnym charakterze przedstawia tabela 9.

Pomimo tego, iż w pobranych próbach ścieków zrzucanych przez przelewy burzowe znajdujących się w literaturze występowały pewne ilości metali ciężkich, praktycznie we wszystkich przypadkach żadna wartość nie przekracza według polskiego prawa wartości dopuszczalnych, określonych dla ścieków odprowadzanych do wód po procesie oczyszczania. Mimo to należy monitorować ich wartości zarówno w ściekach kierowa-

nych do odbiorników jak i w samych odbiornikach ze względu na zdolność kumulacji zarówno w komórkach roślin jak i zwierząt oraz znaczną mobilność w przypadku spadku pH. Szczególnie niebezpieczne jest kumulowanie tych związków w komórkach, gdyż poprzez te organizmy nadmierne ilości metali mogą zostać włączane do łańcucha pokarmowego i jednocześnie do obiegu biologicznego.

Kolejnym z innych negatywnych oddziaływań przelewów burzowych na odbiornik jest nagły wzrost zapotrzebowania na tlen spowodowany wprowadzeniem znacznego ładunku związków organicznych. Nagły spadek tlenu w odbiorniku może spowodować np. śnięcie ryb i sprzyjać rozwojowi procesów gnilnych prowadzących do śmierci odbiornika. Minimalne jego stężenie w odbiorniku tolerowane w celu ochrony biocenozy i ryb powinno wynosić 2 mg/l nie dłużej niż 30 minut. Deficyt tlenu w odbiorniku powodowany zrzutem ścieków ogólnospławnych może utrzymywać się nawet do jednej doby po zrzucie. Ocenia się, że osady odkładające się na dnie rzeki po zrzucie z przelewu pobierają tlen w ilości od 0,15 do 2,75 g/m²d, co niestety może powodować w ciągu jednego, do dwóch dni deficyt tlenu w odbiorniku w wysokości 1,5–2,5 mg/dm³ (Ellis i Hvitved-Jacobsen 1996).

Zrzucane także znaczne ilości zawiesin do odbiornika podczas aktywacji przelewów burzowych na sieci ogólnospławnej mogą powodować mętność, co ma wpływ na organizmy wodne, przede wszystkim ryby, przez dezorientację ich systemu naprowadzania oraz wzrost szybkości oddychania. Ponadto potencjalnie szkodliwe substancje takie jak metale ciężkie i materia organiczna są adsorbowane na cząstkach stałych i osadzają się jako osady w odbiorniku (Rossi i wsp. 2005).

Tabela 8. Średnia zawartość azotu amonowego w rzece, z różnych pór roku (Zymon 2007)

Pora roku	Azot amonowy (mg/dm ³)	
	min.	max.
Zima	0,08	0,6
Przedwiośnie	0,05	0,72
Wiosna	0,04	0,25
Lato	0,03	0,41
Jesień	0,08	0,35

Tabela 9. Średnie wartości stężeń metali ciężkich w ściekach ogólnospławnych z przelewów burzowych w wybranych krajach

Parametr	Jednostka	Przelew burzowy (wartości średnie)				Dz.U. 2014. poz.1800
		Soonthornnonda i Christensen 2008 (wartość średnia i odch. stand.)	Diaz-Fierros i in. 2002	Hvitved-Jacobsen i in. 1994, Ellis i Hvitved-Jacobsen 1996	Sztruhar i in. 2004	
Cd	mg/l	0,0024 ± 0,0015	n.o.	0,001 – 0,0015	<0,02	–
Cr	mg/l	0,0153 ± 0,0021	n.o.	n.o.	<0,2	0,5
Cu	mg/l	0,0268 ± 0,0023	n.o.	0,03 – 0,04	<0,5	0,5
Pb	mg/l	0,0431 ± 0,0039	0,004 – 0,014	0,01 – 0,015	n.o.	0,5
Ni	mg/l	0,0099 ± 0,0015	n.o.	n.o.	<0,1	0,5
Zn	mg/l	0,103 ± 0,0052	0,045 – 0,123	0,3 – 0,5	0,57	2,0

Funkcjonowanie przelewów burzowych w systemie kanalizacji ogólnospławnej w dużym stopniu przyczynia się do pogorszenia stanu sanitarnego i czystości rzek, będących bezpośrednim odbiornikiem zrzucanych ścieków. Stanowi to wielkie zagrożenie dla jakości wód odbiornika, w szczególności dla wód będących zbiornikami rekreacyjno-kąpieliskowymi. Dużym problemem są obecne w zrzucanych ściekach ogromne ilości drobnoustrojów: bakterii, wirusów, grzybów i pierwotniaków, nazywanych florą allochtoniczną, czyli naniesioną (Smyła 2002). Znaczące wzrosty mikrobiologicznego zanieczyszczenia wody (mikroorganizmy jelitowe, patogeny) zostały już zauważone w rzekach poniżej dużych miast, jak na przykład, w Sekwanie poniżej Paryża (Servais i wsp. 2007) i w Tamizie poniżej Londonu (Tryland et al., 2002). Mediana stężenia *E. Coli* mierzona w ściekach z przelewów burzowych w Kanadzie był $1,5 \times 10^6/100$ ml (Madoux-Humery i in. 2013) Stężenie i rodzaj poszczególnych bakterii znajdujących się w ściekach zrzucanych z przelewów burzowych ma pośrednio wpływ na ludzkie zdrowie, bo stanowi jego potencjalne zagrożenie (poprzez picie nieuzdatnionej lub nieoczyszczonej wody albo na skutek kąpieli w zbiornikach wodnych, skażonych bakteriami). Patogeny występujące w wodach, jak na przykład pałeczki duru brzuszego *Salmonella*, *Escherichia Coli*, *Cryptosporidium*, *Giardia Lamblia*, powodują różne choroby, najczęściej o charakterze żołądkowo-jelitowym. Bakterie te mogą przyczyniać się również do zachorowań zwierząt hodowlanych, jak i dziko żyjących. Opublikowane badania wykazały negatywny wpływ przelewów na jakość mikrobiologiczną wód odbiornika (Reichenberg i wsp 2006; Passat i wsp 2011; Madoux-Humery i wsp. 2013).

PODSUMOWANIE

Aktywacja przelewów burzowych występujących na sieci ogólnospławnej niesie ze sobą znaczne zagrożenie dla środowiska, praktycznie w każdym rozpatrywanym aspekcie. Wyniki przedstawionych w artykule badań wykazały dużą zmienność stężeń zanieczyszczeń kierowanych do odbiornika, co oczywiście przekłada się na emitowany tą drogą ładunek. Oprócz zanieczyszczenia odbiornika przede wszystkim substancjami organicznymi i biogennymi należy zwrócić szczególną uwagę na jego skażenie mi-

krobiologiczne, mocno niebezpieczne dla ludzi, wykorzystujących rzeki jak miejsce rekreacji oraz zwierząt hodowlanych i dziko żyjących, korzystających z odbiorników wodnych jako źródła wody pitnej.

Najlepszym rozwiązaniem dla odbiorników, choć trudnym do spełnienia, jest całkowita likwidacja przelewów burzowych oraz kierowanie do odbiornika jedynie ścieków oczyszczonych. Ze względu jednak na występowanie kanalizacji ogólnospławnej i w wielu przypadkach braku możliwości jej zastąpienia lub nawet gruntownej modernizacji, problem funkcjonowania przelewów burzowych będzie nadal istniał. W związku z tym pozostaje fakt racjonalnej modernizacji przelewów burzowych w celu ograniczenia ich funkcjonowania. Konieczne jest zatem przechwytywanie i zagospodarowanie ścieków opadowych bezpośrednio na zlewni oraz budowa zbiorników retencyjnych na sieci jak również możliwość ciągłego monitoringu ilości i jakości płynących ścieków oraz tych, zrzucanych przez przelewy. Stanowi to podstawę do opracowania konkretnych rozwiązań projektowych mających na celu redukcję częstości działania przelewów.

LITERATURA

1. ATV A 128, 1992, „Richtlinien für die Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungsanlagen in Mischwasserkanälen“, ATV-Regelwerk Abwasser - Abfall, Arbeitsblatt, Band 223.
2. Bartkowska I., 1994, Prognozowanie zanieczyszczeń spływów opadowych ze zlewni zurbanizowanych, Rozprawa doktorska, Politechnika Białostocka.
3. Diaz-Fierros T., Puerta J., Suarez J., F. Diaz-Fierros V., 2002, Contaminant loads of CSOs at the wastewater treatment plant of a city in NW Spain, *Urban Water*, 4, 291–299
4. Duncan H., 1999, Urban Stormwater Quality: A Statistical Overview, Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology, Melbourne, Australia, Report 99/3.
5. Eganhouse R.P., Sherblom P.M., 2001, Anthropogenic organic contaminants in the effluent of a combined sewer overflow: impact on Boston Harbor, *Marine Environmental Research*, 51, 51–74
6. Ellis J. B., i Hvitved-Jacobsen T., 1996, Urban drainage impacts on receiving waters, *Journal of Hydraulic Research*, 34(6), 771–783
7. El Samrani AG, Lartiges BS, Villiéras F., 2008, Chemical coagulation of combined sewer over-

- flow: heavy metal removal and treatment optimization, *Water Res.*, 42, (4-5), 951–960.
8. Even S., Mouchel J.M., Servais P., Flipo N., Poulin M., Blane S., Chabanel M., Paffoni C., 2007, Modelling the impacts of combined sewer overflows on the river Seine water quality, *Science of the Total Environment*, 375, 140–151.
 9. Gromaire-Mertz M.,C., Gonzalez G.,A., Chebbo G., 1999, Characterization of urban runoff pollution in Paris, *Wat. Sci. Tech.*, 34, 6, 1773–1780.
 10. Hall K.J., McCallum D.W., Lee K., Macdonald R., 1998, Characterization and aquatic impacts of combined sewer overflows in Greater Vancouver. *British Columbia, Water, Science and Technology*, 38(10), 9–14.
 11. Hvitved-Jacobsen T., Johansen N.B., Yousef A., 1994, Treatment systems for urban and high-way run-off in Denmark, *The Science of the Total Environment*, 146/147, 499–506.
 12. Kaczor G., Bugajski P., 2006, Ładunki związków biogennych w ściekach odprowadzanych z przydomowych oczyszczalni jako zagrożenie wód powierzchniowych, *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, 11, 21–23.
 13. Kwon K., Lee S., Jung Y., Min K-S., 2015, Contaminant loads of CSOs at the urban area in Korea, *Desalination and Water Treatment*, 53, 3048–3053.
 14. Lau J., Butler D. and Schütze M., 2002, Is combined sewer overflow spill frequency/volume a good indicator of receiving water quality impact?, *Urban Water* 4, 2, 181–189.
 15. Madoux-Humery, A. S., Dorner, S., Sauvé, S., Aboufadel, K., Galarneau, M., Servais, P., 2013, Temporal variability of combined sewer overflow contaminants: evaluation of wastewater micropollutants as tracers of fecal contamination. *Water Research*, 55, 75–83.
 16. Nagaiwa A., Settsu K., Nakajima F., Furumai H., 2007, Identification of sewer pipes to be cleaned for reduction of CSO pollutant load, *Water Science and Technology*, 46, 25–31.
 17. Passerat, J., Ouattara, K. N., Mouchel, J. M., Rocher, V., & Servais, P., 2011, Impact of an intense combined sewer overflow event on the microbiological water quality of the Seine River. *Water Research*, 45, 893–903.
 18. Rossi L., Fankhauser R., Chèvre N., 2005, Water quality criteria for total suspended solids (TSS) in urban wet-weather discharges, 10th International Conference on Urban Drainage, Copenhagen/Denmark, 21-26 August.
 19. Rechenburg, A., Koch, C., Classen, T., & Kistemann, T., 2006, Impact of sewage treatment plants and combined sewer overflow basins on the microbiological quality of surface water. *Water Science and Technology*, 54(3), 95–99.
 20. Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska z dnia 18 listopada 2014 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. 2014.poz.1800).
 21. Seidl M., Huang V., Mouchel J. M., 1998, Toxicity of combined sewer overflows on river phytoplankton: the role of heavy metal, *Environmental Pollution*, 101, 107–116.
 22. Servais, P., Garcia-Armisen, T., George, I., & Billen, G., 2007, Fecal bacteria in the rivers of the Seine drainage network (France): sources, fate and modelling. *Science of the Total Environment*, 375, 152–167.
 23. Smyła A., Karpińska K., Bawor M., 2003, Zmiany liczebności bakterii mezofilnych w trakcie oczyszczania ścieków, *Zeszyty Naukowe WSP, Seria Chemia i Ochrona Środowiska*, z. VII, 159–170.
 24. Soonthornnonda P., Christensen E.R., 2008, Source apportionment of pollutants and flows of combined sewer wastewater, *Water Research*, 42, 1989–1998.
 25. Sztruhar D., Sokac M., Holiencin A., Markovic A., 2002, Comprehensive assessment of combined sewer overflows in Slovakia, *Urban Water*, 4, 237–243.
 26. Tryland, I., Surman, S., & Berg, J. D., 2002, Monitoring faecal contamination of the Thames estuary using semi-automated early warning system, *Water Science and Technology*, 46, 25–31.
 27. Zawilski M., Brzezińska A., 2004a, 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.
 28. Zawilski M., 1997, Prognozowanie wielkości odpływu i ładunków zanieczyszczeń ścieków opadowych odprowadzanych z terenów zurbanizowanych, *Zeszyty Naukowe Politechniki Łódzkiej*, nr 792.
 29. Zymon W., 2007, Usuwanie niskich stężeń azotu amonowego z wody, *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, 9, 32–36.