

Spis treści

1. Wprowadzenie.....	5
2. Aspekty prawne funkcjonowania przelewów burzowych.....	10
2.1. Wymagania dotyczące przelewów burzowych w wybranych krajach Europy.	10
2.2. Wymagania dotyczące przelewów burzowych w Polsce.	15
3. Skład ścieków z przelewów burzowych kanalizacji ogólnospławnej	18
3.1. Czynniki wpływające na skład ścieków emitowanych przelewami burzowymi.....	18
3.1.1. Opady.....	19
3.1.2. Osady kanałowe	20
3.2. Badania składu ścieków ogólnospławnych z przelewów burzowych prowadzone w świecie.....	21
3.3. Wpływ ścieków ogólnospławnych z przelewów burzowych na odbiornik.....	27
3.3.1. Amoniak.....	30
3.3.2. Substancje organiczne	30
3.3.3. Substancje biogenne.....	31
3.3.4. Zawiesiny ogólne	32
3.3.5. Metale ciężkie.....	32
3.3.6. Inne mikrozanieczyszczenia.....	34
3.3.7. Skażenie mikrobiologiczne	34
3.3.8. Względy estetyczne	36
4. Badania własne	38
4.1. Opis obiektów badań.....	38
4.2. Zakres i metodyka badań.....	41
4.2.1. Metodyka poboru próbek.	41
4.2.2. Metodyka prowadzenia badań składu ścieków ogólnospławnych emitowanych przelewami.....	43
4.3. Metody opracowania wyników badań.....	50
5. Wyniki badań i ich dyskusja	51
5.1. Metody szacowania częstości działania przelewów burzowych	51
5.2. Funkcjonowanie przelewów burzowych w latach 2010-2015	52
5.3. Dynamika zmian składu ścieków ogólnospławnych emitowanych przelewami burzowymi	55
5.3.1. Współzależność między parametrami opadów a aktywnością przelewów burzowych.....	55
5.3.2. Analiza wyników badań laboratoryjnych składu ścieków ogólnospławnych emitowanych przelewami B1, J4 i J1.....	60
5.3.3. Analiza składu ścieków z przelewu J1 z zastosowaniem sond on-line.....	73
5.4. Frakcjonowanie ChZT i zawiesin ogólnych.....	79

5.4.1. Frakcjonowanie ChZT i zawiesin ogólnych w ściekach ogólnospławnych.....	79
5.4.2. Frakcjonowanie ChZT i zawiesin ogólnych w ściekach emitowanych przelewami burzowymi.....	83
5.5. Udział ładunku ścieków pogody suchej w całkowitym ładunku zanieczyszczeń zrzuconych przelewem burzowym.....	88
6. Analiza zjawiska pierwszej fali zanieczyszczeń na przelewach burzowych	92
7. Celowość działań zmierzających do ograniczania częstości aktywacji przelewów burzowych	100
7.1. Działania w systemie kanalizacyjnym.....	101
7.1.1. Zbiorniki retencyjne	101
7.1.2. Regulacja wysokości krawędzi przelewu	101
7.1.3. System Real Time Control (RTC).....	103
7.2. Działania na zlewni	104
7.2.1. LID – (Low Impact Development).....	105
7.2.2. Dachy zielone.....	106
8. Model szacowania ładunku zanieczyszczeń emitowanego przez przelewy burzowe kanalizacji ogólnospławnej	108
9. Wykorzystanie opracowanego modelu do prognozowania ładunku zanieczyszczeń emitowanego przelewami burzowymi kanalizacji ogólnospławnej	119
10. Podsumowanie i wnioski	124
Literatura	130
Streszczenie	150
Summary	152

1. WPROWADZENIE

Postępujące zmiany klimatyczne, których symptomy obecnie obserwuje się na całym świecie, mogą mieć bezpośredni wpływ na odwodnienie miast. Na świecie obserwuje się liczne anomalie klimatyczne, które z czasem mogą spowodować wiele zauważalnych zmian np. w charakterystyce opadów. Takim objawem zmian klimatycznych może być zwiększona ilość intensywnych opadów obserwowanych w danym rejonie. Postępująca urbanizacja powiązana ze wzrostem uszczelnienia zlewni, a w związku z tym dociążanie istniejących systemów kanalizacyjnych, może powodować wiele problemów związanych z odprowadzaniem ścieków powstających na terenach zurbanizowanych. System kanalizacyjny działa skutecznie, minimalizując efekty zalania terenu, tylko wtedy, kiedy jest dobrze zaprojektowany i wydolny.

Przelewy burzowe są jednym z tych elementów systemu kanalizacyjnego, które mają znaczący wpływ na pogarszanie się stanu odbiorników. Dlatego badania powinny dotyczyć wielkości wprowadzanego przez przelewy burzowe ładunku zanieczyszczeń i jego wpływu na odbiornik. Niekiedy badania mają także na celu ocenę wpływu poszczególnych źródeł zanieczyszczeń na ostateczny skład emitowanych ścieków. Ze względu na priorytet ochrony wód powierzchniowych, kontrola zarówno ilości, jak i składu ścieków kierowanych do odbiornika stała się koniecznością, w szczególności w przypadku nieoczyszczonych ścieków z przelewów burzowych.

Istnieje wiele źródeł zanieczyszczeń, które mają swój udział w splywie powierzchniowym, a w konsekwencji w zrzutach ścieków podczas okresów pogody mokrej. Należą do nich między innymi zanieczyszczenia atmosferyczne, zanieczyszczenia zdeponowane na zlewni obszaru zurbanizowanego podczas pogody suchej, a następnie zmywane przez opad, a także osady kanałowe tworzące się w kanałach podczas okresu bezdeszczowego (Parent-Raoult i Boisson 2007). Wielu autorów uważa, że zanieczyszczenia wydostające się przez przelewy kanalizacji ogólnospławnej oraz pochodzące z wód opadowych mogą znacząco wpływać na środowisko ich odbiornika (Burton i Pitt 2002; Casadio i in. 2010; Chocat i in. 2007; Bi i in. 2014; Passerat i in. 2011). Między innymi z tego względu, należy wdrożyć metody dokładnego określania ilości i składu emitowanych ścieków. Ścieki ogólnospławne z przelewów mogą wносить zawiesiny ogólne, toksyczne zanieczyszczenia i bakterie, zwłaszcza patogeny w wysokich stężeniach. Ponadto duża ilość składników organicznych może powodować deficyt tlenu w wodach odbiornika (Walsh i in. 2005; Passerat i in. 2011; Holeton i in. 2011; Madoux-Humery i in. 2013). Potencjalne zagrożenia dla odbiornika spowodowane przez zrzuty nieoczyszczonych ścieków ogólnospławnych mogą być krótkotrwałe, opóźnione i długotrwałe, a oddziaływanie może mieć charakter hydrauliczny, chemiczny, sanitarny, biochemiczny i estetyczny.

Ze względu na zmieniający się w ostatnich latach charakter opadów (deszcze krótkotrwałe i ulewne) oraz stan sieci ogólnospławnej, która z reguły jest już siecią starą i projektowaną na inne warunki hydrauliczne, zdarza się, że działanie

przelewów burzowych jest dużo częstsze, niż dopuszczalne prawem. Konieczność wzmożonej ochrony stanu czystości wód odbiornika wymaga zatem, aby analiza wpływu ścieków pochodzących z przelewów na odbiornik uwzględniała obecnie wiele dotąd pomijanych czynników.

System kanalizacji ogólnospławnej był pierwszym systemem powstałym w celu szybkiego odprowadzenia ścieków powstających w rozwijających się miastach. Idea kanalizacji sięga już pierwszych starożytnych cywilizacji, gdzie plany miast obejmowały pierwsze na świecie znane miejskie systemy sanitarne (Indie – „Indus-Saraswati” – miasta Harappa i Mohendżo Daro 2800-2400 p.n.e.) (rys. 1). Były to rury, umieszczone pod kamiennymi płytami ulic, które odprowadzały ścieki z domów prywatnych wprost do rzeki (https://en.wikipedia.org/wiki/Indus_Valley_Civilisation).



Zdj. 1. Zdjęcia pierwszego w świecie miejskiego systemu kanalizacyjnego
Źródło: [www.google.pl/search?q=\"Indus-Saraswati\"+sewage+system](http://www.google.pl/search?q=\)

Wówczas termin „zanieczyszczenie odbiornika” w dzisiejszym jego rozumieniu najprawdopodobniej nie funkcjonował, a z racji minimalnej urbanizacji terenów ilość odprowadzanych ścieków w porównaniu z przepływem własnym rzek była znikoma.

W nowożytnej Europie rozwój systemu kanalizacyjnego datuje się dopiero na I połowę XIX wieku, kiedy to zaczął on być budowany w dużych miastach takich jak Paryż, Nowy Jork, Boston czy Londyn. W Niemczech pierwszy system kanalizacji pojawił się w Hamburgu w II połowie XIX wieku, a jego twórcą był angielski inżynier William Heerlein Lindley, który opracował również projekty między innymi dla Frankfurtu nad Menem, Pragi, Włocławka i Warszawy, a także Łodzi wpisując się do historii jako twórca nowożytnej kanalizacji (<http://bywajtu.pl/strony/historia-cywilizacji/notatka/kanalizacja/>). Z założenia, wszystkie rodzaje ścieków w sposób grawitacyjny odprowadzane były jednym systemem kanałów do najbliższego odbiornika, którym z reguły była rzeka lub morze. Z czasem nastąpił rozwój innych, niż ogólnospławnych systemów kanalizacyjnych, szczególnie w pełni rozdzielczych, ale nie wyeliminowały one jednak

całkowicie tego systemu z infrastruktury podziemnej. Obecnie całkowite zastąpienie systemu ogólnospławnego rozdzielczym jest mało prawdopodobne i stonkowo mało realne ze względu na jego usytuowanie z reguły w centrach miast, często zabytkowych, gdzie brak jest możliwości położenia drugiego kolektora dla wód opadowych. Zatem, zachodzi uzasadnione prawdopodobieństwo, że problem kierowania nieoczyszczonych ścieków do odbiorników nadal będzie istniał. Kanalizacja ogólnospławna wyposażona w przelewy burzowe, zapobiegając powodziom miejskim w czasie intensywnych opadów, odprowadza nadmiar nieoczyszczonych ścieków bezpośrednio do odbiornika wodnego (najczęściej rzeki), pogarszając tym samym, jak wyżej wspomniano, jego stan czystości. Współczesne akty prawne Unii Europejskiej (Dyrektywa Rady z dnia 21 maja 1991 r. dotycząca oczyszczania ścieków komunalnych, Ramowa Dyrektywa Wodna – Dyrektywa 2000/60/WE) dążą jednak do eliminacji zrzutów nieoczyszczonych ścieków, zmuszając kraje członkowskie do opracowywania i wdrażania metod zrównoważonego zarządzania wodami opadowymi oraz systemami kanalizacyjnymi za pośrednictwem swoich własnych aktów prawnych.

Systemy kanalizacji ogólnospławnej, które funkcjonują w świecie od ponad 150 lat są już obecnie systemami o niewystarczającej sprawności hydraulicznej w przyjmowaniu spływów powodowanych silnymi opadami lub intensywnymi roztopami, narażając miasta na niebezpieczeństwo powodzi (zdj. 2).



Zdj. 2. Konsekwencje burzy nad Łodzią w dniu 11.05.2018

Źródło: <https://dzienniklodzki.pl/burza-w-lodzi-1105-ulewa-nad-lodzi-11-maja-zalane-ulice-i-dworzec-lodz-fabryczna-zdjecia/ga/13168412/zd/28925758>

Do przeciążenia systemu ogólnospławnego, poza charakterem opadu, mogą doprowadzić inne czynniki, takie jak wzrost liczby mieszkańców na skanalizowanym terenie, czy podłączenie nowych kanałów sanitarnych systemu rozdzielczego (np. z nowo wybudowanych osiedli mieszkaniowych na obrzeżach miasta) do istniejącej kanalizacji ogólnospławnej śródmieścia. Stąd podczas opadów bądź roztopów przez przelewy burzowe trafiają do odbiorników różnego rodzaju zanieczyszczenia między innymi: zawiesiny, zanieczyszczenia organiczne, substancje biogenne, metale ciężkie, pestycydy i środki ochrony roślin, zanieczyszczenia pochodzące ze ścieków przemysłowych i inne. Dodatkowo należy wymienić bardzo niebezpieczne dla zdrowia mieszkańców skażenie bakteriologiczne odbiorników (Mardoux-Humery i in. 2013; Mardoux-Humery i in. 2016; Al Aukidy

i Verlicchi 2017). Skażenie takie może dotyczyć także zlewni podczas ewentualnych wylań z kanalizacji ogólnospławnej.

Polska leży w strefie klimatu umiarkowanego o cechach przejściowych wynikających z faktu napływu mas powietrza kontynentalnego nad wschodnią część kraju, a powietrza morskiego nad Polskę zachodnią, co powoduje dużą zmienność pogody. Średnia roczna suma opadów wynosi około 600 mm. Ich rozmieszczenie jest jednak bardzo nierównomierne i np. dla 2016 roku wahało się od 473 mm dla Gorzowa Wielkopolskiego do 1290 mm dla Zakopanego (Ochrona Środowiska 2017). Zachodzące zmiany klimatyczne powodują obecnie większe trudności w przewidywaniu występowania i częstości nietypowych i ekstremalnych zjawisk pogodowych (okresy suszy, intensywne opady itp.). Wiąże się to z częstszą aktywnością przelewów burzowych.

Na ogólną liczbę 222 miast w Polsce, w których funkcjonują systemy kanalizacji ogólnospławnej, jest około 150 systemów, w których sieć ogólnospławna stanowi ponad 10% ogólnej długości sieci (Błaszczuk i Szewczuk-Krownicka 2014). W oczyszczalni ścieków parametry procesu, jak i oczyszczonych ścieków, są starannie rejestrowane, ale nadal stosunkowo niewiele wiadomo o jakości ścieków emitowanych przez przelewy burzowe kanalizacji ogólnospławnej. Znaczna różnorodność zanieczyszczeń i ich ładunki kierowane do odbiornika powodują, że ich wpływ na te wody ma znaczenie. Pierwsze dowody na wpływ ścieków z przelewów burzowych na wody odbiornika zauważono już w latach 60. ubiegłego wieku, ale dopiero w latach 90. zauważono, że stanowi to poważny problem. Zwiększenie efektywności oczyszczania ścieków uwydatnia tym samym rolę przelewów burzowych w kształtowaniu jakości wód odbiornika. Ładunki zanieczyszczeń kierowane tą drogą stanowią coraz większą część wszystkich ładunków emitowanych do odbiornika z terenów zurbanizowanych. Najczęściej ocena oddziaływania przelewów burzowych dokonywana jest na podstawie krotności (częstości) ich działania i objętości zrzucanych ścieków, choć nie zawsze te parametry odzwierciedlają rzeczywisty wpływ zrzutów na odbiornik (Lau i in. 2002). Należy zatem rozważyć podejście, które nie zależy od objętości zrzucanych ścieków, a zależy od wielkości ładunku emitowanych zanieczyszczeń, biorąc również pod uwagę chłonność odbiornika.

Ze względu na rozwój technik pomiarowych dotyczących opadów, przepływów w sieci oraz implementowanie urządzeń pomiarowych on-line wybranych wskaźników zanieczyszczenia, monitorowanie funkcjonowania przelewów burzowych, a co za tym idzie szacowanie wielkości ładunku jaki trafia do odbiornika wraz z ich aktywnością, może być dużo dokładniejsze.

Biorąc pod uwagę powyższe problemy i uwarunkowania oraz fakt braku kompleksowych analiz w warunkach polskich, od 2010 roku rozpoczęto badania funkcjonowania wybranych łódzkich przelewów burzowych pod kątem oceny emisji zanieczyszczeń do środowiska wodnego. Celem pracy, jaki sobie założono w niniejszej monografii, jest poszerzenie wiedzy w tym temacie, prezentacja wyników dynamiki zmian ilości i składu ścieków oraz ocena wielkości ładunku

zanieczyszczeń emitowanego przez przelewy burzowe do łódzkich rzek miejskich. Niniejsza praca prezentuje oryginalne wyniki badań prowadzonych w latach 2010-2015 w skali rzeczywistej na łódzkiej sieci ogólnospławnej. Na wstępie przeprowadzono analizę aspektów prawnych w zakresie funkcjonowania przelewów burzowych, a następnie na podstawie wyników badań opracowano kilka zagadnień cząstkowych. Należą do nich między innymi:

- omówienie składu ścieków emitowanych przelewami burzowymi kanalizacji ogólnospławnej w oparciu o dane literaturowe oraz charakterystyka czynników wpływających na ich skład,
- analiza wpływu ścieków ogólnospławnych pochodzących z przelewów burzowych na odbiornik, z uwzględnieniem różnych rodzajów zanieczyszczeń przedostających się tą drogą do wód powierzchniowych,
- analiza funkcjonowania trzech badanych przelewów burzowych łódzkiej sieci kanalizacyjnej (oznaczonych jako B1, J4 i J1) pod kątem krotności ich działania i wielkości emitowanych ładunków zanieczyszczeń,
- badania dynamiki zmian składu ścieków ogólnospławnych, w tym: wyznaczenie współzależności między parametrami opadu a aktywnością przelewu, określenie wysokości opadu granicznego powodującego aktywację przelewu, analiza tzw. „pierwszej fali spływu zanieczyszczeń”, obserwacja zmian składu frakcyjnego wskaźników ChZT oraz zawiesin ogólnych w ściekach w trakcie aktywacji przelewów oraz określenie udziału ładunku ścieków pogody suchej w całkowitym ładunku zanieczyszczeń kierowanych do odbiornika w trakcie działania przelewu,
- propozycje koniecznych zmian zmierzających do ograniczenia aktywacji przelewów burzowych poprzez podjęcie działań bezpośrednio na zlewni, ograniczających objętość wód opadowych trafiających do kanalizacji, oraz modernizacji samego systemu kanalizacyjnego, co stanowi podstawę do minimalizacji ładunku zanieczyszczeń trafiającego do odbiornika.

Elementem zamykającym temat emisji zanieczyszczeń z przelewów burzowych kanalizacji ogólnospławnej jest opracowanie matematycznego modelu szacowania wielkości ładunku wybranych wskaźników zanieczyszczenia emitowanych do odbiornika podczas funkcjonowania tych obiektów.

Złożoność omawianego zagadnienia rodzi zatem konieczność kompleksowej analizy problemu, którą przedstawiono w niniejszym opracowaniu.