

Spis treści

1. Wprowadzenie.....	5
1.1. Zarys problematyki badawczej.....	5
1.2. Źródła i występowanie metali ciężkich w spływach opadowych z obszarów zurbanizowanych.....	7
1.3. Zawartość metali ciężkich w spływach opadowych w świetle badań zagranicznych i krajowych.....	11
1.4. Wymagania formalne dotyczące odprowadzania wód opadowych z obszarów zurbanizowanych i zawartości metali ciężkich w wodzie i ściekach w Polsce.....	15
2. Zakres i metodyka badań	17
2.1. Charakterystyka zlewni	17
2.2. Punkty poboru próbek do badań.....	21
2.3. Metodyka pomiarów.....	21
2.4. Inne wykorzystane dane	22
3. Zawartość metali ciężkich w spływach z powierzchni uszczelnionych.....	24
3.1. Zakres badań.....	24
3.2. Analiza wyników badań	27
3.2.1. Zawartość metali ciężkich w spływach z dachów i powierzchni komunikacyjnych	27
3.2.2. Wpływ parametrów opadów na zawartość metali ciężkich w spływach opadowych.....	36
3.3. Wnioski z przeprowadzonych badań.....	40
4. Emisja metali ciężkich z sieci kanalizacyjnej do wód powierzchniowych ...	42
4.1. Wprowadzenie.....	42
4.2. Metodyka badań	43
4.3. Analiza wyników badań	44
4.3.1. Charakterystyka zrzutów z wylotów kanalizacji deszczowej i przelewów burzowych.....	44
4.3.2. Ładunki metali ciężkich emitowanych do odbiorników wodnych	52
4.4. Wnioski z przeprowadzonych badań.....	55
5. Skuteczność usuwania metali ciężkich zawartych w odprowadzanych do gruntu spływach z dachów	57

5.1. Wprowadzenie	57
5.2. Zakres badań.....	58
5.3. Analiza wyników badań	60
5.4. Wnioski z przeprowadzonych badań.....	66
6. Modelowanie spłukiwania metali ciężkich ze zlewni zurbanizowanej	67
6.1. Wprowadzenie	67
6.2. Zakres badań.....	70
6.3. Analiza wyników badań	72
6.4. Możliwości wykorzystania modelowania w zrównoważonym gospodarowaniu wodami opadowymi na terenach zurbanizowanych... 81	
6.5. Wnioski z przeprowadzonych badań.....	83
7. Możliwości ograniczenia ładunków metali ciężkich odprowadzanych ze zlewni zurbanizowanej	84
7.1. Metody usuwania metali ciężkich z wód opadowych	84
7.2. Rozwiązania stosowane w zrównoważonym gospodarowaniu wodami opadowymi przyczyniające się do zmniejszenia emisji metali ciężkich.....	86
7.3. Inne sposoby umożliwiające zmniejszenie emisji metali ciężkich.....	92
7.4. Ocena możliwości ograniczenia emisji metali ciężkich z łódzkiej zlewni	92
8. Kierunki dalszych badań	96
9. Wnioski końcowe	97
10. Literatura	99
Streszczenie	120
Summary	121

1. WPROWADZENIE

1.1. Zarys problematyki badawczej

Intensywny rozwój terenów zurbanizowanych obserwowany w ostatnich dziesięcioleciach wiąże się z przekształcaniem charakteru zlewni odbiorników wodnych. Zwiększony udział powierzchni nieprzepuszczalnych prowadzi do zmian charakterystyki odpływu wód opadowych, a konsekwencją typowej dla środowiska miejskiego aktywności mieszkańców jest emisja znacznych ilości zanieczyszczeń, które trafiają wraz z tymi wodami do odbiorników i przyczyniają się do degradacji środowiska wodnego (Zgheib i in. 2012, Liu i in. 2015a). Według Borchardta i Sperlinga (1997) uszczelnienie powierzchni zlewni przekraczające zaledwie 5% powoduje niekorzystne zmiany w odbiorniku, m.in. redukcję liczby organizmów żywych i ograniczenie bioróżnorodności.

W spływach opadowych może znajdować się ponad 650 substancji organicznych oraz 30 metali i śladowych związków nieorganicznych (Eriksson i in. 2005, Eriksson i in. 2007). W większości są one gromadzone na powierzchni zlewni w okresie bezopadowym, a następnie splukiwane podczas opadu.

Wody opadowe trafiają do odbiorników wprost z wylotów kanalizacji deszczowej oraz w mieszaninie ścieków komunalnych z przelewów burzowych i oczyszczalni ścieków. Wymagania dotyczące jakości ścieków oczyszczonych odprowadzanych z oczyszczalni, które wciąż uznawane są za dominujące źródło zanieczyszczeń emitowanych do wód powierzchniowych z terenów zurbanizowanych, są precyzyjnie określone, a ich spełnianie ściśle kontrolowane. Sytuacja jest odmienna w przypadku kanalizacji deszczowej. Monitorowanie wylotów jest trudne ze względu na ich zwykle dużą liczbę na obszarze zurbanizowanym, nieregularność i nieprzewidywalność zjawisk opadowych, a także różnorodność zanieczyszczeń, które mogą być obecne w spływach opadowych. Znajdują się w nich między innymi metale ciężkie należące do priorytetowych zanieczyszczeń, które mogą toksycznie oddziaływać na zbiorniki wodne i zdrowie ludzi (Munch i in. 2006, Karlavičienė i in. 2009, Ma i in. 2017), a ich stężenie w różnych komponentach środowiska jest nadal wysokie, pomimo podejmowania różnorodnych działań w celu ograniczenia ich emisji. Wody opadowe charakteryzują się dużą łatwością przyswajania i transportu substancji, są więc z reguły dobrym wyznacznikiem składu chemicznego środowiska i umożliwiają śledzenie dróg migracji zanieczyszczeń pochodzących z różnych źródeł, w tym antropogenicznych (Polkowska 2008), dlatego ich monitorowanie może przyczynić się do skutecznej ochrony odbiorników wodnych.

Ocena wielkości ładunków substancji zanieczyszczających i ich wpływ na środowisko wodne wymaga szeroko zakrojonych i długotrwałych kampanii pomiarowych, ze względu na dużą zmienność czynników wpływających na poziom

emisji. Ponadto, jak zauważyli Borris i in. (2016a), zanieczyszczenie wód opadowych prawdopodobnie będzie podlegać zmianom w przyszłości, zarówno z powodu gwałtownie postępującej urbanizacji i zmian klimatycznych z jednej strony, jak i wzrastającej dbałości o stan środowiska z drugiej. Zarządzanie wodami opadowymi na obszarach zurbanizowanych jest ważnym problemem środowiskowym (Liu i in. 2015a, Becouze-Lareure i in. 2016), a prognozowanie stężeń i ładunków zanieczyszczeń emitowanych wraz z nimi do wód odbiorników jest uznawane za jedno z największych wyzwań dla hydrologii miejskiej w ciągu ostatnich 20 lat (Fletcher i in. 2013). Chociaż w tym czasie w spływach opadowych zidentyfikowano wiele nowych zanieczyszczeń, metale ciężkie są wciąż przedmiotem licznych badań (Gasperi i in. 2014, Becouze-Lareure i in. 2016, Kominiková i in. 2016, Borris i in. 2016b, Järveläinen i in. 2017, Xu i in. 2018, Devi i Bhattacharyya 2018). Na ogół jednak badania te obejmują pojedyncze zlewnie lub systemy kanalizacyjne, a w przypadku, gdy dotyczą rozwiązań technologicznych służących ograniczaniu stężeń tych zanieczyszczeń, często prowadzone są z wykorzystaniem ścieków syntetycznych. Koniecznym warunkiem skutecznej ochrony odbiornika jest natomiast identyfikacja wszystkich źródeł zanieczyszczeń na zlewni, a także ocena ich udziału w ładunku sumarycznym zanieczyszczeń emitowanych do odbiornika. Jest to podstawą wyboru efektywnych rozwiązań służących ochronie wód i optymalizacji wydatków na ten cel.

W niniejszej monografii podjęto próbę kompleksowej analizy wielkości emisji metali ciężkich w skali dużej rzeczywistej zlewni miejskiej wyposażonej w mieszany system kanalizacyjny – ogólnospławny i rozdzielczy. Przeprowadzone badania dotyczą identyfikacji powierzchni, z których odprowadzane są największe ilości metali i zagrożeń, jakie stwarzają typowe sposoby zagospodarowania wód opadowych na terenach zurbanizowanych, a także analizy stężeń i wielkości emitowanych ładunków metali do środowiska z podstawowych źródeł, jakimi są wyloty kanalizacji deszczowej, przelewy burzowe i odpływy z oczyszczalni ścieków. Oceniono przy tym możliwość analizowania i prognozowania tej emisji przy zastosowaniu narzędzi do modelowania systemów kanalizacyjnych.

Kształtowanie składu spływów opadowych trafiających do środowiska jest skutkiem szeregu procesów jednostkowych, niekiedy trudnych do przewidywania i ilościowej weryfikacji, zależnych od wielu czynników, w tym uwarunkowanych lokalnie. Z tego m.in. powodu celem pracy nie było stworzenie uniwersalnego modelu emisji metali ciężkich z terenów zurbanizowanych i definiowanie rozwiązań służących jej ograniczeniu odpowiednich dla każdej zlewni, a raczej identyfikacja uwarunkowań i możliwości predykcji i minimalizacji emisji jednych z podstawowych zanieczyszczeń spływów opadowych, jakimi są metale ciężkie. Jest to jeden z warunków optymalizacji gospodarowania wodami opadowymi w oparciu nie tylko o parametry ilościowe, ale również jakościowe i tworzenia zrównoważonych systemów odwodnień na obszarach zurbanizowanych.