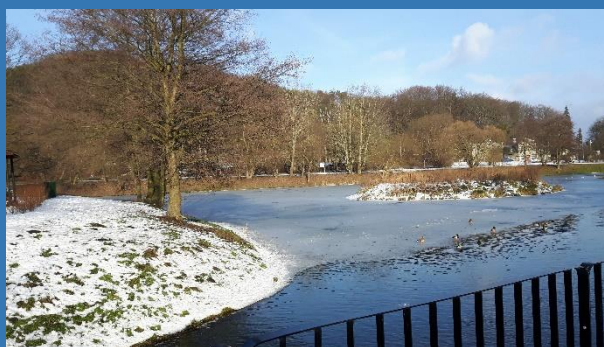
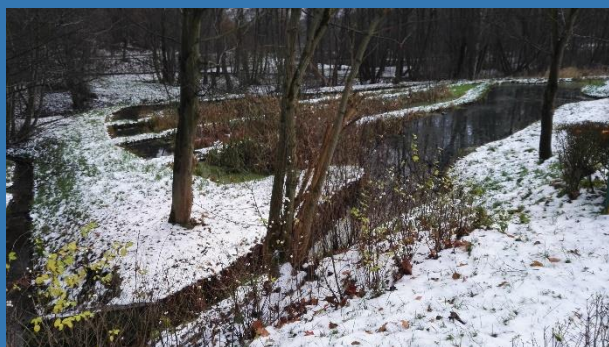


WOJCIECHOWSKA EWA
GAJEWSKA MAGDALENA
MATEJ-ŁUKOWICZ KAROLINA

SERIA OCHRONA I INŻYNIERIA ŚRODOWISKA

WYBRANE ASPEKTY ZRÓWNOWAŻONEGO GOSPODAROWANIA WODAMI OPADOWYMI NA TERENIE ZURBANIZOWANYM



GDAŃSK 2016
ISBN 978-83-60261-51-4

Redakcja:

Katedra Technologii Wody i Ścieków, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Politechnika Gdańska

Redaktor prowadzący serii OCHRONA I INŻYNIERIA ŚRODOWISKA:

dr hab. inż. Magdalena Gajewska

Recenzent

prof. dr hab. inż. Ziemowit Suligowski

Redakcja techniczna monografii:

mgr inż. Karolina Matej-Lukowicz

Wydawca:

Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska

Ul. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk

tel.: 58 347 15 09

Afiliacja autorów:

Ewa Wojciechowska¹, Magdalena Gajewska², Karolina Matej-Lukowicz³

¹ dr hab. inż. Ewa Wojciechowska,

Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Katedra Inżynierii Sanitarnej

² dr hab. inż. Magdalena Gajewska,

Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Katedra Technologii Wody i Ścieków

³ mgr inż. Karolina Matej-Lukowicz,

Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Katedra Inżynierii Sanitarnej

Monografia / Praca Naukowa: recenzowana w ramach procedury wydawniczej.

Redaktor wydania:

dr hab. inż. Ewa Wojciechowska,

dr hab. inż. Magdalena Gajewska,

WYDANIE I

ISBN 978-83-60261-51-4

Nakład: 100 egz.

Dostępny on-line w serwisie www.GEOMATYKA.eu

OD AUTOREK

Niniejsza monografia stanowi kontynuację tematyki podjętej w 2015 i przedstawianej w książce pt. „Zrównoważone systemy gospodarowania wodą deszczową” autorstwa Wojciechowska E., Gajewska M., Żurkowska N., Surówka M., Obarska-Pempkowiak H., Wydawnictwa Politechniki Gdańskiej. Zagadnienia związane z gospodarowaniem wodą w przestrzeni zurbanizowanej stanowią wyzwania XXI wieku, które muszą być spójne a zatem uzgadniane i planowane przez wiele zespołów interdyscyplinarnych. Z jednej strony woda jest integralną częścią przestrzeni miejskiej, bardzo mile widzianą przez jej mieszkańców. Z drugiej jednak strony postępującą urbanizacja i uszczelnianie powierzchni stwarzają realne zagrożenia podtapianiem części dzielnic i budynków, na które to mieszkańcy miast nie chcą się godzić. Na te i inne wyzwania nakładają się zmiany klimatu oraz udowodniony już niekorzystny wpływ tzw. „miejskiej wyspy ciepła” na komfort mieszkania i zdrowie ludzi. W książce przedstawiono rozwój i zmiany w podejściu do systemów dostarczania wody i odprowadzania ścieków. Scharakteryzowano najnowsze trendy oraz funkcje, jakie powinny spełniać nowoczesne systemy gospodarowania wodą. Przedstawiono przykłady rozwiązań zarówno z ostatnich lat, jak i tych historycznych. Pokazano w jaki sposób można adaptować istniejące rozwiązania do potrzeb i zapewniania różnorodnych funkcji.

SPIS TREŚCI

1. WSTĘP	5
2. ASPEKTY PRAWNE I FINANSOWE	8
2.1. WODY OPADOWE W ŚWIETLE AKTUALNYCH PRZEPISÓW	8
2.2. OPŁATY ZA ODPROWADZANIE WÓD OPADOWYCH DO SYSTEMÓW KANALIZACYJNYCH	10
2.2.1. Doświadczenia zagraniczne z wprowadzaniem opłat za wody opadowe	12
Stany Zjednoczone.....	12
Niemcy	13
2.2.2. Dotychczasowe doświadczenia polskie z wprowadzaniem opłat za wody opadowe	14
Poznań	14
Nysa	15
2.2.3. Zasady tworzenia taryf.....	16
2.3. PROJEKT USTAWY PRAWO WODNE Z DNIA 26 KWIETNIA 2016 R.– ZMIANY W ZAKRESIE WÓD OPADOWYCH I ROZTOPOWYCH.....	17
3. WPŁYW URBANIZACJI NA GOSPODAROWANIE WODĄ OPADOWĄ	19
4. ZAŁOŻENIA ZRÓWNOWAŻONEGO GOSPODAROWANIA WODĄ OPADOWĄ	29
Napowietrzanie (aeracja)	33
Filtracja	35
Intensyfikacja procesów oczyszczania poprzez zastosowanie roślin.....	35
5. PRZYKŁADY ZRÓWNOWAŻONEGO GOSPODAROWANIA WODĄ OPADOWĄ	40
5.1. PLAC POCZDAMSKI W BERLINIE	40
5.2. SZKOŁA SIDWELL FRIENDS, WASZYNGTON, STANY ZJEDNOCZONE	42
5.3. ELEMENTY ZRÓWNOWAŻONEGO ZAGOSPODAROWANIA WÓD OPADOWYCH NA TERENIE GDAŃSKA	44
5.4. ZBIORNIK RETENCYJNY NA POTOKU KARLIKOWSKIM UL. OKRZEI W SOPOCIE	48
5.5. SYSTEM HYDROFITOWY W OGRODZIE ZOOLOGICZNYM W GDAŃSKU OLIWIE	52
5.6. ODKRYJ POTOK – PROJEKT ZBIORNIKA RETENCYJNEGO NA POTOKU KRÓLEWSKIM NA TERENIE KAMPUSU POLITECHNIKI GDAŃSKIEJ	56
5.6.1. Charakterystyka Potoku Królewskiego.....	56
5.6.2. Projekt zbiornika retencyjnego na terenie kampusu Politechniki Gdańskiej.....	58
5.6.3. Proponowane rozwiązania mające na celu doczyszczanie wody Potoku Królewskiego oraz spływów opadowych z terenu kampusu dla projektowanego zbiornika retencyjnego na fragmencie kampusu Politechniki Gdańskiej.....	61

Wybrane aspekty zrównoważonego gospodarowania wodami opadowymi na terenie zurbanizowanym

Propozycje rozwiązań mających na celu intensyfikację procesów mechanicznego i biochemicznego podczyszczania wód Potoku Królewskiego doprowadzanych do projektowanego zbiornika na terenie kampusu Politechniki Gdańskiej.....	62
Propozycje rozwiązań mających na celu doczyszczanie wód opadowych spływających do projektowanego zbiornika z terenu kampusu Politechniki Gdańskiej.....	64
6. PODSUMOWANIE	69
7. LITERATURA.....	70
8. SPIS RYSUNKÓW	74
9. SPIS TABEL	77

1. WSTĘP

Jednym z wyzwań XXI wieku jest gwałtowna urbanizacja i niezwykle szybki przyrost liczby mieszkańców miast. Tempo wzrostu liczby ludności miejskiej - szczególnie w wielkich aglomeracjach, znacznie przewyższa tempo ogólnego wzrostu liczby ludności na świecie, znanego jako eksplozja demograficzna. Wzrost wielkości skupisk miejskich trwa nieprzerwanie od początku rewolucji przemysłowej. Na początku XIX wieku w miastach na całym świecie mieszkało około 30 milionów osób, czyli około 2,5% ówczesnej ludności. Na początku XX wieku liczba mieszkańców miast wzrosła do 2 miliardów. Według opublikowanego w 2004 roku raportu ONZ w roku 2000 ludność miast wynosiła 2,86 miliarda (*State of the World's Cities 2004/2005*). Wzrost liczby ludności jest coraz bardziej gwałtowny – szacuje się, że w roku 2030 około 60% ludności Ziemi będzie mieszkało w miastach. Szczególnie intensywnie rosną miasta największe oraz te, które położone są w krajach rozwijających się. W latach 1975 – 2003 liczba miast powyżej 10 milionów mieszkańców (tzw. metropolis) wzrosła z 5 do 20. W 2003 roku 15 największych miast świata znajdowało się w krajach rozwijających się i słabo rozwiniętych (w Indiach, Meksyku, Brazylii, Argentynie, na Filipinach, w Tajlandii, Indonezji, Bangladeszu, Pakistanie i Nigerii) (raport *Urban Environment*, 2005). Zdaniem wielu specjalistów w najbliższym czasie pojawią się aglomeracje liczące powyżej 30 milionów mieszkańców. Już dzisiaj obserwuje się tendencje do powstawania nowych zespołów urbanistycznych o cechach „megalopolis” m.in. w Chinach, Indiach, Egipcie, Brazylii. Dalsza ewolucja form osadniczych może doprowadzić do rozprzestrzeniania się aglomeracji, zrastania się w skupiska tworzące ogromne „megalopolis”. Obecnie na świecie istnieje ok. 30 takich struktur. Największym międzynarodowym korytarzem miejskim na świecie jest obszar obejmujący Tokio-Jokohamę, Osakę-Kobe, Seul, Pekin i Tianjin wraz z silnie zurbanizowanymi obszarami sąsiednimi. Długość tego korytarza wynosi 1500 km, a mieszka w nim 98 milionów ludzi w 112 miastach. Trzy „megalopolis” kształtują się w Europie: we Włoszech, na obszarze Doliny Padu z Mediolanem jako centrum, na terenie Niemiec „megalopolis reńskie” zamieszkałe przez około 30 milionów mieszkańców obejmujące obszar około 60 tysięcy km², wreszcie kolejne megalopolis w krajach Beneluxu (Bruksela – Antwerpia – Breda – Rotterdam – Utrecht – Amsterdam) (<http://www.agenda21.waw.pl>).

Szybki wzrost liczby ludności miast staje się powodem troski władz Unii Europejskiej. Aglomeracje miejskie charakteryzują się silnie przekształconym środowiskiem, zasadniczo różniącym się od terenów pozamiejskich. teren zurbanizowany odznacza się zmodyfikowanym klimatem, zanieczyszczeniem powietrza, wód powierzchniowych i podziemnych, degradacją warstwy glebowej oraz skażeniem organizmów żywych. W Nowej Karcie Ateńskiej (2003) przedstawiono „Wizję miast XXI wieku”, gdzie postuluje się nowy model miasta europejskiego. Zakłada się, że „...kompleksy przyrodnicze kontynentu europejskiego, będą skutecznie chronione przed ekspansją sieci obszarów zurbanizowanych”. Miasta przyszłości mają cechować się wzrostem dobrobytu i jakości życia ich mieszkańców, a zarazem harmonijnie łączyć środowisko zurbanizowane ze środowiskiem przyrodniczym. Z kolei w styczniu 2006 roku Komisja Europejska przyjęła „Strategię tematyczną dla środowiska miejskiego” (COM 2004/6), której najważniejszym celem jest poprawa jakości życia w dużych miastach. Środkiem

do realizacji tego celu ma być zintegrowane podejście do zarządzania środowiskiem, w tym promowanie zrównoważonego rozwoju obszarów zurbanizowanych oraz transportu miejskiego.

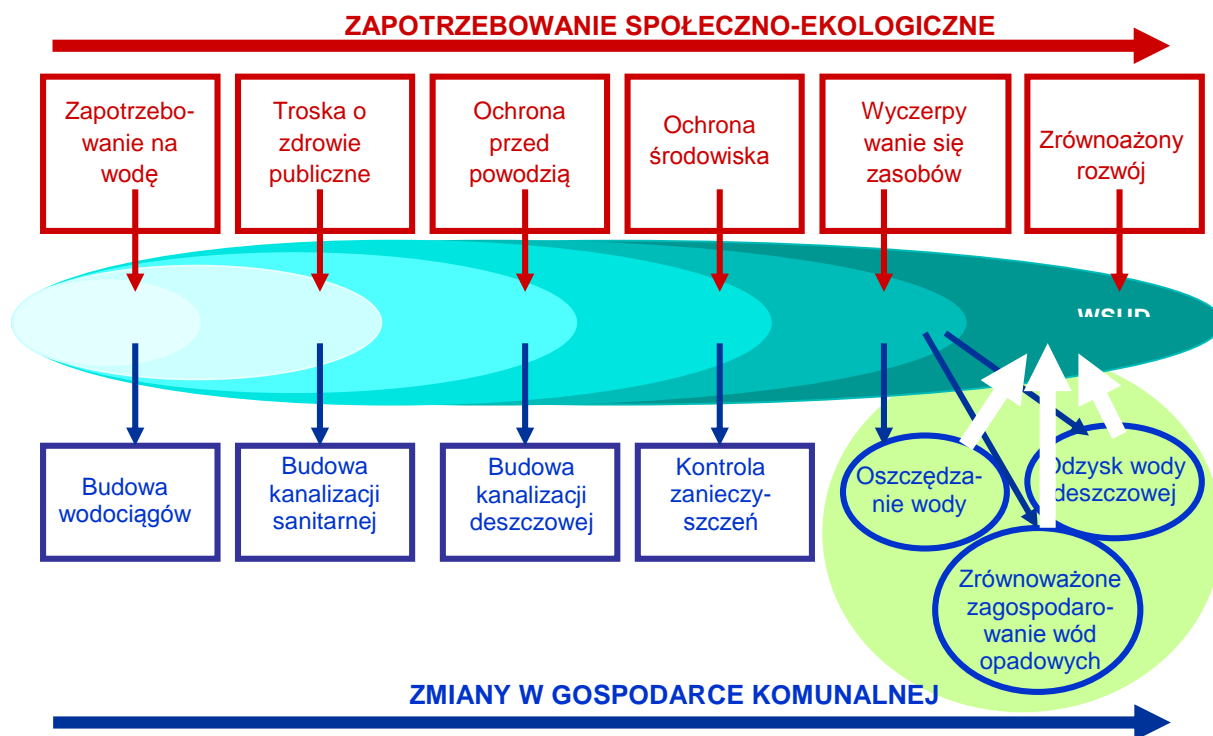
Rosnący odsetek ludności zamieszkującej miasta stawia nowe wyzwania w polityce i zarządzaniu terenami zurbanizowanymi, zwłaszcza w gospodarce komunalnej. Duże skupiska ludności dla swojego prawidłowego funkcjonowania wymagają dostaw wody, żywności i energii, sprawnej organizacji odbioru ścieków i odpadów, działań przeciwdziałających degradacji jakości powietrza, ograniczenia emisji hałasu. Tę listę działań uzupełniają działania związane z zagospodarowaniem wód opadowych, zmierzające do renaturalizacji obiegu wody w terenie zurbanizowanym poprzez ograniczenie spływu powierzchniowego, przywrócenie zasilania wód podziemnych oraz wzrost retencji wody opadowej. Takie działania pozwalają z jednej strony na ochronę terenów miejskich przed zalaniem i podtopieniami, a z drugiej strony pozwalają na łagodzenie skutków suszy.

Na Rys. 1 przedstawiono wykres, który obrazuje rozwój systemów wodno-kanalizacyjnych w miastach wraz z postępującą urbanizacją i zmianami społecznymi zachodzącymi w miastach na podstawie Brown i in. (2008). Zgodnie z ideą zaprezentowaną na wykresie, zmiany w gospodarce komunalnej są odpowiedzią na rozwijające się potrzeby społeczeństwa. Pierwszą potrzebą w tym zakresie było zaopatrzenie miasta w wodę zdatną do picia. Budowa wodociągów publicznych w XIX wieku położyła kres epidemiom np. cholery, spowodowanym złą jakością wody czerpanej z miejskich studni. Coraz bardziej powszechny dostęp do wodociągów publicznych skutkowało jednak powstawaniem coraz większych ilości ścieków. Z tego powodu, w trosce o zdrowie publiczne należało zorganizować odprowadzanie ścieków sanitarnych, co doprowadziło do budowy systemów kanalizacyjnych. Początkowo systemy kanalizacyjne były typu ogólnospławnego, jednak w miarę rozwoju miast zaczęto rozdzielać kanalizację sanitarną od kanalizacji deszczowej. Ta ostatnia miała za zadanie sprawne zebranie i odprowadzenie ścieków deszczowych do odbiornika. Podejściem dominującym w tym zakresie przez niemal cały wiek XX było jak najszybsze „pozbycie się” wody deszczowej z terenu miejskiego, niedopuszczenie do podtopień, wylań i powodzi dezorganizujących życie na obszarach miejskich.

Od połowy XX wieku obserwowano coraz szybszą degradację środowiska, spowodowaną odprowadzaniem nieoczyszczonych ścieków komunalnych wprost do odbiorników. Zaczęto zwracać uwagę na konieczność ochrony środowiska, zapewnienie oczyszczania biologicznego i usuwania związków biogennych oraz kontrolę stężeń zanieczyszczeń odprowadzanych do wód.

Wreszcie, u schyłku XX wieku, w miarę wyczerpywania się zasobów i popularyzacji zrównoważonego rozwoju, zaczęły pojawiać się nowe idee, takie jak oszczędzanie wody, odzysk wody deszczowej i zrównoważone zagospodarowanie wód opadowych. Zgodnie z założeniami polityki WSUD (z jęz. angielskiego *Water Sensitive Urban Design*) należy unikać kanalizowania wód opadowych, Wody opadowe powinny być, w miarę możliwości, pozostawiane w miejscu opadu w celu ich wsiąkania w głąb gruntu. W celu zabezpieczenia przed powodzią miejską powinno się wprowadzać rozwiązania sprzyjające retencji wód opadowych. Jednocześnie warto podkreślić, że przestrzeń oddana wodzie nie musi być przestrzenią straconą. Wiele rozwiązań spośród metod zrównoważonego gospodarowania wodą deszczową posiada potencjał, aby wkomponować się w przestrzeń miejską, podnosząc jej walory estetyczne i rekreacyjne, co sprawia, że miasto staje się bardziej przyjazne dla

mieszkańców oraz atrakcyjne dla turystów. Wprowadzenie zrównoważonych metod gospodarowania wodami opadowymi może stać się istotnym elementem rewitalizacji starszych dzielnic miejskich albo terenów przemysłowych. Na terenach charakteryzujących się niewielkimi zasobami wodnymi, „deszczówka” może zostać wykorzystana w gospodarstwach domowych nie tylko do podlewania zieleni, ale też do splukiwania toalet, a nawet do prania.



Rys. 1 Rozwój systemów wodno-kanalizacyjnych, opracowanie własne na podstawie Brown i in. (2008)

W niniejszej monografii przedstawiono aktualne aspekty prawne i finansowe dotyczące wód opadowych, a także omówiono ideę zrównoważonego zagospodarowania wód opadowych na terenach miejskich. W naszym kraju rozwiązania w tym zakresie zyskują coraz bardziej na popularności, czego dowodem są opisane w monografii przykłady rozwiązań, z których część pochodzi z terenu Trójmiasta.

2. ASPEKTY PRAWNE I FINANSOWE

2.1. Wody opadowe w świetle aktualnych przepisów

Wejście Polski do Unii Europejskiej w 2004 roku zapoczątkowało adaptację polskich rozwiązań legislacyjnych do prawa unijnego. W zakresie wód opadowych kluczowe znaczenie mają dwie dyrektywy unijne – tzw. Ramowa Dyrektywa Wodna i Dyrektywa Powodziowa (Wagner i in., 2014).

Ramowa Dyrektywa 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady Europy z dnia 23 października 2000 roku w sprawie ram działalności Wspólnoty w dziedzinie polityki wodnej, popularnie nazywana Ramową Dyrektywą Wodną, nakłada na państwa członkowskie obowiązek wprowadzania zrównoważonych rozwiązań w gospodarowaniu wodami opadowymi. Wdrożenie rozwiązań zrównoważonego gospodarowania wodą deszczową na terenie miast wymaga zintegrowania planowania i działań na kilku poziomach. Celem nadrzędnym powinno być przywrócenie równowagi w środowisku wodnym na terenie miejskim, uwzględniające zarówno obieg hydrologiczny jak i ochronę wód przed zanieczyszczeniem.

Dyrektywa Powodziowa (Dyrektywa 2007/60/WE) na nowo zdefiniowała pojęcie „bezpieczeństwa powodziowego”. Zgodnie z jej założeniami, nie chodzi o całkowitą ochronę przed powodzią, lecz zmniejszenie ryzyka powodziowego i odpowiednie zarządzanie ryzykiem. Wymaga to integracji działań z planowaniem przestrzennym (Januchta-Szostak, 2012), zwiększanie przestrzeni dla rzek i pozostawienie terenów zalewowych, wzrost retencji na terenie zlewni, podjęcie działań na rzecz zrównoważonego zagospodarowania terenów zlewni, w tym zlewni miejskich.

Zapisy w polskich aktach prawnych nawiązują do dyrektyw unijnych. Według obowiązującego obecnie Prawa wodnego (Dz.U. 2001 nr 115 poz. 1229) „ochrona wód polega na zapobieganiu niekorzystnym zmianom naturalnego przepływu wody albo naturalnych poziomów zwierciadła wody”, „gospodarowanie wodami powinno być zgodne z zasadą zrównoważonego rozwoju”, a także „wody deszczowe powinny być pozostawione w terenie, na którym prowadzona jest działalność inwestycyjna”. Jednak oprócz zapisów ogólnych brakuje bezpośrednich i szczegółowych odniesień do zagospodarowania wód opadowych, które pomogłyby zapobiegać niekorzystnym zmianom przepływu lub zwierciadła wody oraz wpisywałyby się w zasadę zrównoważonego rozwoju.

Dotychczasowe rozwiązania legislacyjne (Prawo wodne, Dz.U. 2001 nr 115 poz. 1229) klasyfikują wody opadowe lub roztopowe, ujęte w otwarte lub zamknięte systemy kanalizacyjne, pochodzące z powierzchni zanieczyszczonych, w szczególności z miast, terenów przemysłowych, handlowych, usługowych i składowych, baz transportowych oraz dróg i parkingów o trwałej nawierzchni jako ścieki. Zgodnie z innymi zapisami tej samej Ustawy, ścieków nie można wprowadzać m.in.:

- bezpośrednio do wód podziemnych,
- do wód powierzchniowych oraz do gruntu, jeżeli byłoby to sprzeczne z warunkami wynikającymi z istniejących form ochrony przyrody, utworzonych stref ochrony zwierząt łownych albo ostoi na

podstawie Ustawy z dnia 16 kwietnia 2004 r. o ochronie przyrody (Dz.U. 2004, nr 92, poz. 880), a także stref ochronnych oraz obszarów ochronnych ujęć wód,

- do wód powierzchniowych w obrębie kąpielisk, plaż publicznych nad wodami, w odległości mniejszej niż 1 km od ich granic oraz do ziemi w odległości mniejszej niż 1 km od granic kąpielisk i plaż publicznych nad wodami,
- do wód stojących,
- do jezior oraz ich dopływów, jeżeli czas dopływu ścieków do jeziora byłby krótszy niż 24 godziny.

Z kolei Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 18 listopada 2014 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego (Dz.U. 2014 poz. 1800) wprowadza obostrzenia dwóch parametrów jakościowych dla wód opadowych i roztopowych ujętych w szczelne, otwarte lub zamknięte systemy kanalizacyjne pochodzących z:

- zanieczyszczonej powierzchni szczelnej terenów przemysłowych, składowych, baz transportowych, portów, lotnisk, miast, budowli kolejowych, dróg zaliczanych do kategorii dróg krajowych, wojewódzkich i powiatowych klasy G, a także parkingów o powierzchni powyżej 0,1 ha, w ilości jaka powstaje z opadów o natężeniu co najmniej 15 l/s/ha,
- zanieczyszczonej powierzchni szczelnej obiektów magazynowania i dystrybucji paliw, w ilości, jaka powstaje z opadów o częstotliwości występowania jeden raz w roku i czasie trwania 15 minut, lecz w ilości nie mniejszej niż powstająca z opadów o natężeniu 77 l/s/ha.

Wody te, wprowadzane do wód lub gruntu nie powinny zawierać substancji zanieczyszczających w ilościach przekraczających 100 mg/l zawiesin ogólnych oraz 15 mg/l węglowodorów ropopochodnych. Regulowanie tylko tych dwóch parametrów budzi poważne wątpliwości. Liczne analizy i doniesienia literaturowe (Sawicka-Siarkiewicz, 2003, Królikowska i Królikowski, 2012) wskazują na znaczne zanieczyszczenie wód opadowych, a zwłaszcza roztopowych, odprowadzanych z terenów zurbanizowanych. Z tego względu celowe wydaje się limitowanie również innych rodzajów zanieczyszczeń, np. substancji organicznej (ChZT, BZT₅), azotu ogólnego, niektórych metali ciężkich (olów, kadm).

Wody deszczowe spływające np. z powierzchni dróg i autostrad nie muszą być oczyszczane w pełnej ilości, lecz w ilościach określonych w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2014 roku (Dz.U. 2014 poz. 1800) - nie ma obowiązku podczyszczania maksymalnego spływu deszczowego z dróg wyznaczonego według metod natężeń stałych lub granicznych. Prawo wymaga podczyszczania tylko jego części. Ta część spływu deszczowego, która wymaga podczyszczania zgodnie z Rozporządzeniem, nazywana jest przepływem nominalnym lub miarodajnym dla wyznaczania przepustowości urządzeń podczyszczających. Przepływy wód deszczowych większe od nominalnych mogą być odprowadzane do odbiorników bez podczyszczania, zaś urządzenia oczyszczające powinny być zabezpieczone przed natężeniem dopływu ścieków przekraczającym jego nominalną przepustowość. Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska (Dz.U. 2014 poz. 1800) wody opadowe z istniejących przelewów kanalizacji deszczowej mogą być wprowadzane do jezior i ich dopływów oraz

do innych zbiorników wodnych o ciągłym dopływie lub odpływie wód powierzchniowych, a także do wód znajdujących się w sztucznych zbiornikach wodnych usytuowanych na wodach płynących, jeżeli średnia roczna liczba zrzutów z poszczególnych przelewów nie jest większa niż pięć.

Podsumowując aktualne zapisy prawne dotyczące wód opadowych, można stwierdzić, że z jednej strony, zarówno Ustawa prawo wodne (Dz.U. 2001 nr 115 poz. 1229) jak i Rozporządzenie Ministra Środowiska *w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego* (Dz.U. 2014 poz. 1800) klasyfikują wody opadowe ujęte w otwarte lub zamknięte systemy kanalizacyjne i pochodzące z terenów zanieczyszczonych, w tym miast, jako ścieki. Z drugiej strony, w ściekach deszczowych normowane są tylko dwa parametry jakościowe, tj. zawiesina ogólna i substancje ropopochodne. Zatem prawo wykazuje tendencję do kanalizowania i traktowania jako ścieki wszystkich spływów z terenów zurbanizowanych, nie bacząc, że takie podejście nieuchronnie musi prowadzić do przeciążenia istniejących układów kanalizacji deszczowej oraz odbiorników. W chwili obecnej brakuje zapisów prawnych wspierających działania mające na celu zrównoważone zagospodarowanie wód opadowych. Zarówno Prawo wodne jak i Prawo ochrony środowiska (Dz.U. 2001 nr 62, poz. 627) nakreślają programy retencji dla zlewni, ale nie odnoszą się do działań lokalnych, zwłaszcza w miastach (Wagner i in., 2014). Spodziewana w najbliższym czasie nowelizacja Ustawy Prawo Wodne powinna przynieść nowe, bardziej szczegółowe zapisy dotyczące wód opadowych, jednak na razie jest ona dużą niewiadomą, a rozwiązania proponowane w Projekcie ustawy z dnia 26 kwietnia 2016 r. (<http://legislacja.rcl.gov.pl/projekt/>) budzą wiele wątpliwości.

2.2. Opłaty za odprowadzanie wód opadowych do systemów kanalizacyjnych

Jedną z oczekiwanych zmian w Prawie wodnym jest wprowadzenie obowiązkowej opłaty za odprowadzanie wody deszczowej (tzw. „podatek od deszczu”). W wywiadzie dla Gazety Prawnej z 10 maja 2016 r. wiceminister środowiska Mariusz Gajda stwierdził, że projekt Ustawy przewiduje maksymalną opłatę w wysokości kilku złotych rocznie za metr sześcienny odprowadzanej wody deszczowej. Na razie obowiązek wnoszenia takiej opłaty ma dotyczyć tylko terenów o gęstości zaludnienia przekraczającej 1000 osób na km² powierzchni, choć, jak zastrzegł wiceminister, być może potrzebna będzie weryfikacja tego kryterium. Wprowadzenie opłat ma stanowić instrument motywujący do inwestowania w rozwiązania służące rozsączeniu wód opadowych i ich wykorzystaniu. Wprowadzając opłaty za odprowadzanie wody deszczowej do kanalizacji Polska może wzorować się na doświadczeniach innych krajów, gdzie takie opłaty już funkcjonują. Od kilku lat niektóre miast w Polsce (m.in. Nysa, Poznań, Koszalin i inne) również wprowadzają opłaty za odprowadzanie ścieków deszczowych do kanalizacji, opierając się na dotychczasowych polskich rozwiązaniach prawnych, które dają podstawę do takiego działania samorządów.

Opłaty za odprowadzanie wód opadowych służą pokryciu kosztów za korzystanie z systemów kanalizacyjnych krytych i otwartych, związanych z eksploatacją, konserwacją i modernizacją kanałów. Należności te wynikają z zobowiązań nałożonych przez Parlament Europejski w Ramowej

Dyrektywie 2000/60 /WE w sprawie działalności Wspólnoty w dziedzinie polityki wodnej, ale również z zasad racjonalnej gospodarki zasobami wodnymi.

Oplaty za wody opadowe wprowadzone zostały w Polsce na podstawie Ustawy Prawo ochrony środowiska (Dz.U. 2001 nr 62 poz. 627) i Prawo wodne (Dz.U. 2001 nr 115 poz. 1229). W myśl tych ustaw, opłatą za korzystanie ze środowiska objęte jest między innymi wprowadzanie ścieków do wód lub do ziemi, przy czym wysokość należności jest zależna od wielkości, rodzaju i sposobu zagospodarowania terenu, skąd pochodzą wody opadowe. Jednak zarówno Prawo ochrony środowiska jak i Prawo wodne nie definiowały tej opłaty w odniesieniu do ścieków opadowych oraz nie wskazywały sposobu jej naliczania. Zapisy takie wprowadziło dopiero Rozporządzenie Ministra Budownictwa z dnia 28 czerwca 2006 roku w sprawie określania taryf, wzoru wniosku o zatwierdzenie taryf oraz warunków rozliczeń za zbiorowe zaopatrzenie w wodę i zbiorowe odprowadzanie ścieków, nazywane popularnie Ustawą Taryfową (Dz. U. 2006 nr 127 poz. 886). W Rozporządzeniu wprowadzono definicję ceny, jako wartości pieniężnej uiszczanej do przedsiębiorstwa wodociągowo-kanalizacyjnego za jednostkową objętość odprowadzonych ścieków lub za jednostkową powierzchnię o trwałej nawierzchni, skąd wody opadowe są odprowadzane do systemu kanalizacji deszczowej.

Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Budownictwa (Dz. U. 2006 nr 127 poz. 886) istnieją dwie możliwości naliczania opłat:

- od objętości odprowadzonych wód opadowych.
- od zanieczyszczonej powierzchni o trwałej nawierzchni, z której odprowadzane są wody opadowe i roztopowe.

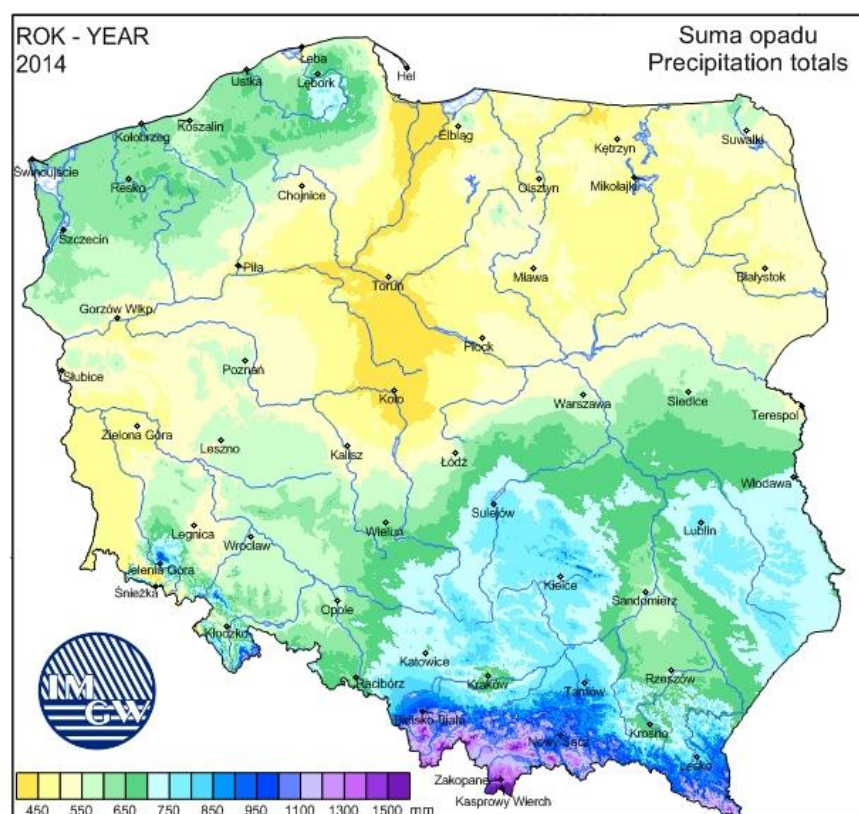
Oba systemy są podobne, a wyniki z naliczania opłat dwiema metodami powinny być zbliżone. Stawki taryfowe wyznaczają przedsiębiorstwa w porozumieniu z władzami lokalnymi.

W metodzie objętościowej należy określić objętość ścieków do odprowadzenia. Obliczenia opłaty za odprowadzenie wód opadowych wynikają z iloczynu jednostkowej ceny wyrażonej w zł/m³ i objętości odprowadzanej wody w m³. Może być ona wyznaczana na podstawie odczyt przepływomierza (metoda dokładniejsza) lub na podstawie danych terenowych i meteorologicznych, uwzględniając natężenie deszczu miarodajnego i współczynniki spływu (Weinerowska-Bords, 2010; Matej-Lukowicz i Wojciechowska, 2015).

Metoda powierzchniowa jest sposobem określania opłat w oparciu o iloraz przestrzeni wyrażony w m² oraz stawki wyrażonej w zł/m². Wielkość powierzchni obliczana jest z uwzględnieniem rodzaju i sposobu zagospodarowania przestrzeni. Określono więc metodykę wyznaczania 1 m² przeliczeniowego powierzchni, z której wody odprowadzane są do miejskiego systemu kanalizacji deszczowej.

Wybór sposobu naliczania opłaty wiąże się z koniecznością uchwalenia taryfikatora, który w sposób możliwie najprostszy umożliwi naliczenie opłaty. Mapa przedstawiona na Rys. 2 pokazuje sumy opadów w roku 2014. W Polsce występują obszary o zwiększonej wysokości rocznej opadu, a w związku z tym z większą ilością

wód opadowych i większymi opłatami. Jednak mimo próby analizy trudno ustalić, czy rozkład wielkości opadu jest proporcjonalny do wysokości opłat za odprowadzanie opadów. Obie metody wymagają informacji dotyczącej powierzchni szczelnej, którą można uzyskać na różne sposoby. Pierwszym i najprostszym jest badanie ankietowe klientów, zawierające pytania dotyczące powierzchni szczelnej poszczególnych działek. Drugim sposobem jest wykonanie pomiaru przez przedstawicieli lokalnych przedsiębiorstw wodociągowo-kanalizacyjnych. Trzecim - wykonanie fotografii lotniczych i wykorzystanie fotogrametrii do obliczenia powierzchni uszczelnionych. Każda z tych metod posiada wady i zalety, a w związku z tym należy wybrać rozwiązanie optymalne dla danego terenu.



Rys. 2 Sumy opadów w roku 2014 w Polsce . Źródło: <http://www.imgw.pl/klimat/>

2.2.1. Doświadczenia zagraniczne z wprowadzaniem opłat za wody opadowe

Opłaty za wody deszczowe zaczęto wprowadzać w latach 90. XX wieku, między innymi w Niemczech i Stanach Zjednoczonych.

Stany Zjednoczone

System opłat w Stanach Zjednoczonych bazuje na metodzie wyznaczania jednostkowych powierzchni szczelnych, z których wody deszczowe odprowadzane są do miejskiego kolektora deszczowego. Przykładem jest stan Minnesota, gdzie wprowadzono ESU (Equivalent Stormwater Unit), czyli równowartość obszaru 1530 stóp kwadratowych (142,1 m²) nieprzepuszczalnej powierzchni bezodpływowej (<http://www.ci.minneapolis.mn.us/>).

Wybrane aspekty zrównoważonego gospodarowania wodami opadowymi na terenie zurbanizowanym

Utworzono taryfy opłat w zależności od wysokości budynku. Istnieje możliwość obniżenia stawek poprzez dwa rodzaje działań: poprawienie jakości wody opadowej i zmniejszenie ilości wody opadowej odprowadzanej z terenu nieruchomości. W obu przypadkach miasto proponuje dofinansowanie do 50% inwestycji, przy czym dopłaty sumują się, jednak nie mogą przekroczyć 100%.

Z kolei w Richmond w stanie Virginia podstawą rozliczeń są fotografie lotnicze, według których wyznaczane są powierzchnie, które następnie przeliczane są na jednostki. ERU (Equivalent Residential Units) jest wskaźnikiem powierzchni niezamieszkanym równym 1425 stóp kwadratowych (132,40 m²). Natomiast w odniesieniu do budynków zamieszkanym wprowadzono inny system (SFR), zależny od powierzchni przedstawiony w Tab. 1.

Tab. 1 Wysokość opłat za wody deszczowe w zależności od powierzchni dla miasta Richmond w stanie Virginia, na podstawie <http://www.richmondgov.com/>

Ceny za dom mieszkalny (SFR)	Miesięczna opłata
SFR działki mniejszej lub równej 1000 stóp kwadratowych	\$ 2,083 miesięcznie (\$ 25 / rok)
SFR działki między 1000 - 2399 stóp kwadratowych	\$ 3.75 za miesiąc (45 \$ / rok)
SFR działek większa niż 2.400 stóp kwadratowych	\$ 5,833 miesięcznie (70 \$ / rok)

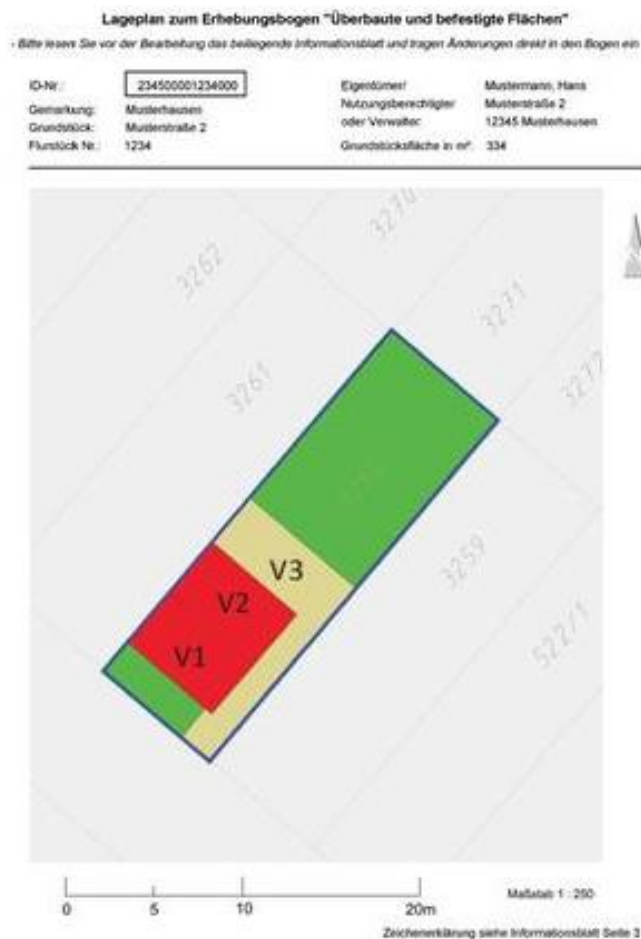
Miasto proponuje również dofinansowania i programy obniżające opłaty mieszkańcom w przypadku zmiany sposobu gospodarowania wodami opadowymi.

Niemcy

Określenie taryfy opłat za odprowadzanie wód opadowych w Niemczech realizowano było na kilka sposobów. Początkowo opłata była proporcjonalna do ceny za odprowadzanie ścieków sanitarnych, wyznaczonej na podstawie zużycia wody. Opłata była doliczana do rachunków za wodę. System ten był krytykowany i zaskarżany do lokalnych sądów administracyjnych przez płatników, którzy nie posiadali podłączenia do kanalizacji deszczowej, a zgodnie z obowiązującymi przepisami musieli wносить opłatę za ścieki deszczowe w cenie wody.

Zgodnie z nowym systemem, opłaty ustala się na podstawie wielkości powierzchni szczelnych, z których odpływ kierowany jest do sieci kanalizacyjnej. Już na etapie projektu wyznaczane są obszary utwardzone (w tym również dachy), (Rys. 3) oraz określany jest sposób odprowadzania wód opadowych. Wysokość opłaty ustala się poprzez pomnożenie powierzchni utwardzonych (według Rys. 3) z odpowiadającymi im współczynnikami spływu. Jest to rozwiązanie korzystne dla zabudowy wielorodzinnej, gdzie opłata za powierzchnię dzielona jest przez wszystkich użytkowników, podczas gdy w poprzednim systemie była proporcjonalna do zużycia wody przez wszystkich mieszkańców. Jednak taryfa ta jest nieopłacalna dla dużych posiadłości zamieszkiwanych przez niewielką liczbę osób. Znalaziono więc rozwiązanie w postaci opłaty za wody opadowe rzeczywiście odprowadzone do kanalizacji. Zadaniem dodatkowym wprowadzenia systemu było zmotywowanie płatników do zmniejszania odpływu ze swoich działek. Inwestorzy chętnie decydują się na alternatywne rozwiązania, takie jak stosowanie urządzeń do wsiąkania wód opadowych, ponieważ zwalniają one z podatku, podczas gdy tradycyjne rozwiązanie

(odprowadzenie całości wód opadowych z powierzchni działki do sieci kanalizacyjnej) wiąże się z uiszczeniem opłaty. Innym sposobem uzyskania częściowego zwolnienia z opłaty jest zastosowanie zbiornika na deszczówkę. Wówczas odlicza się od otrzymanej powierzchni (w każdej grupie współczynnika spływu) po 15 m² za każdy 1 m³ montowanego zbiornika (Okołowicz, 2016).



Rys. 3 Plan zagospodarowania działki: V1, V2 – dach, V3 – powierzchnia utwardzona, kolor zielony – tereny zielone, źródło: Okołowicz, 2016

2.2.2. Dotychczasowe doświadczenia polskie z wprowadzaniem opłat za wody opadowe

Miastami, które jako jedne z pierwszych wprowadziły w Polsce opłaty za odprowadzanie wód opadowych były m.in. Piła, Gniezno, Ostrów Wielkopolski, Opole. Poniżej omówiono sposoby naliczania opłat w – Poznaniu i Nysie, które stosują dwie różne metody opisane wcześniej – metodę objętościową oraz metodę powierzchniową.

Poznań

Odbiorców usług podzielono w Poznaniu na dwie grupy:

- odbiorcy odprowadzający ścieki opadowe i roztopowe z powierzchni zanieczyszczonych o trwałej nawierzchni w obrębie portów, lotnisk, terenów przemysłowych, handlowych, usługowych i

Wybrane aspekty zrównoważonego gospodarowania wodami opadowymi na terenie zurbanizowanym

składowych, baz transportowych oraz dróg i parkingów z wyłączeniem powierzchni dachów oraz powierzchni określonych w Grupie II;

- odbiorcy odprowadzający ścieki opadowe i roztopowe z powierzchni zanieczyszczonych o trwałej nawierzchni będących drogami, podjazdami i parkingami w obrębie osiedli mieszkaniowych lub w obrębie nieruchomości z zabudową mieszkalną lub sakralną.

Opłata naliczana jest jako iloczyn ceny za jednostkę objętościową wody opadowej oraz miary objętości. Wyznacza się ją na podstawie powierzchni zaliczonej do jednej z dwóch powyższych grup i wysokości opadów atmosferycznych dla tego terenu według danych IMGW.

Aktualny cennik przedstawiono w Tab. 2.

Tab. 2 Opłaty taryfowe za odprowadzenie ścieków opadowych i roztopowych za okres od dnia 1 I 2015 r. do dnia 31 XII 2015 r. w złotych netto, według <http://zdm.poznan.pl/>

Za ścieki opadowe i roztopowe	Ceny na 2015 r.
GRUPA I	5,72 zł/m ³
GRUPA II	5,10 zł/m ³

Uwzględniono również współczynnik spływu. Miasto Poznań opublikowało własną tabelę przeliczników opracowaną na podstawie zleconych badań. Zarząd Dróg Miejskich w trzech pierwszych miesiącach bieżącego roku zaliczkowo pobrał opłatę, natomiast w kolejnych miesiącach zmierzona zostanie rzeczywista wielkość opadów. Dodatkowo w taryfikatorze zwolniono z opłat powierzchnie dachów.

Nysa

W Nysie po raz pierwszy opłatę za odprowadzanie wód opadowych i roztopowych do kanalizacji deszczowej wprowadzono już w 2007 r. W tym celu niezbędne było zinventaryzowanie wszystkich potencjalnych płatników – zostały do nich wysłane ankiety z prośbą o podanie wielkości powierzchni utwardzonej, z których wody opadowe odprowadzane są do kanalizacji deszczowej. Lokalne przedsiębiorstwo wraz z samorządem podjęło decyzję o wybraniu sposobu rozliczania od powierzchni. Obecny taryfikator jest zgodny z wcześniejszym założeniem (Tab. 3).

Tab. 3 Taryfa za zbiorowe odprowadzanie ścieków opadowych i roztopowych w Nysie w 2016 r., według <http://www.wikakwa.pl/>

Taryfowa grupa odbiorców	Wyszczególnienie	Cena netto zł/m ² /rok
Zarządcy dróg, podmioty prowadzące działalność gospodarczą, podmioty	1) drogi i chodniki bitumiczne	0,65
	2) bruki kamienne, klinkierowe i betonowe	0,55
	3) bruki j.w. lecz bez zalanych spoin	0,45

Taryfowa grupa odbiorców	Wyszczególnienie	Cena netto zł/m ² /rok
instytucjonalne, wspólnoty i spółdzielnie mieszkaniowe	4) bruki inne j.w. bez zalanych spoin	0,35

Taryfa obowiązująca w Nysie nie uwzględnia zmienności opadów w czasie trwania roku, ani rzeczywistych wartości odpływu do kanałów miejskich. Współczynniki spływu nie występują wprost, jednak są uwzględnione w powyższej taryfie przez rozróżnienie pokryć terenowych.

Przykładowe stawki roczne według taryf obowiązujących w różnych miastach

Dla porównania dwóch sposobów naliczania opłat przeprowadzono symulację dla następującego przykładu:

- Powierzchnia odwadniana – 600 m²,
- Rodzaj zagospodarowania – klinkier,
- Rodzaj zabudowy – zabudowa mieszkalna jednorodzinna.

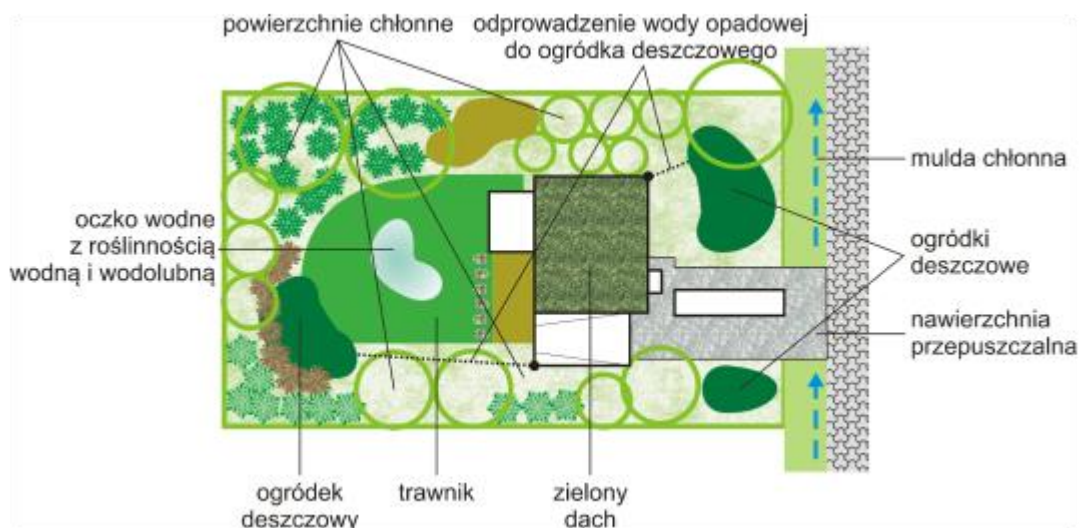
Dla powyższych założeń przeprowadzono obliczenia kilku polskich miast położonych w różnych częściach kraju i wyniki przedstawiono w Tab. 4.

Tab. 4 Roczne opłaty za odprowadzenie wód deszczowych w wybranych miastach Polski, opracowanie własne na podstawie danych z lokalnych przedsiębiorstw.

Lp	Miasto	Metoda	Opłata roczna [zł netto/rok]
1	Nysa	powierzchniowa	330,00
2	Poznań	objętościowa	1477,44
3	Pisz	powierzchniowa	162,00
4	Suwałki	objętościowa	774,72
5	Radom	powierzchniowa	552,00
6	Tarnobrzeg	objętościowa	1699,20

2.2.3. Zasady tworzenia taryf

Wprowadzanie opłat za odprowadzanie wód opadowych do kanalizacji od samego początku wzbudza sprzeciw mieszkańców, rozgoryczonych kolejnym podatkiem. W rzeczywistości dotychczas opłata ta była ukryta w ogólnych kosztach związanych z funkcjonowaniem całego systemu kanalizacyjnego. Było to subsydiowanie skośne, czyli przypisywanie kosztów przedsiębiorstwa wodociągowo-kanalizacyjnego do innych grup, niż jest w rzeczywistości (Matej-Lukowicz i Wojciechowska, 2015). Obecnie należność nałożona jest jedynie na tych, którzy rzeczywiście odprowadzają wody z własnego terenu do miejskich sieci. Zwolnieni z opłat są właściciele nieruchomości, którzy zagospodarowują te wody na własnym terenie (Rys. 4).



Rys. 4 Przykładowe rozwiązanie zagospodarowania wody deszczowej na terenie posesji, opracowanie własne

Podstawę opracowania taryfy przedstawiono w Rozporządzeniu Ministra Budownictwa z dnia 28 czerwca 2006 r. w sprawie określania taryf, wzoru wniosku o zatwierdzenie taryf oraz warunków rozliczeń za zbiorowe zaopatrzenie w wodę i zbiorowe odprowadzanie ścieków (Dz. U. 2006, nr 127, poz. 886) i jako składowe wymieniono konieczność uzyskania dochodów, ochronę odbiorców, eliminowania subsydiowania skrośnego, motywowanie do racjonalnego gospodarowania wodami. Po określeniu ogólnej kwoty potrzebnej na rok pracy przedsiębiorstwa wyznaczane są taryfy, które mogą być podzielone w zależności od nawierzchni lub być jednolite i zróżnicowane.

2.3. Projekt Ustawy Prawo Wodne z dnia 26 kwietnia 2016 r.– zmiany w zakresie wód opadowych i roztopowych

W najbliższym czasie nastąpić ma nowelizacja Ustawy Prawo Wodne, która ma przynieść wiele zmian, m.in. dotyczących wód opadowych i roztopowych. Według projektu Ustawy z dnia 26 kwietnia 2016 r., dostępnego na stronie internetowej (<http://legislacja.rcl.gov.pl/projekt/>) ważną zmianą jest ograniczenie pojęcia ścieki poprzez wyłączenie z jego zakresu punktu dotyczącego „wód opadowych i roztopowych, ujętych w otwarte lub zamknięte systemy kanalizacyjne, pochodzące z powierzchni zanieczyszczonych o trwałej nawierzchni, w szczególności z miast, portów, lotnisk, terenów przemysłowych, handlowych, usługowych i składowych, baz transportowych oraz dróg i parkingów”. W tym kontekście powstają wątpliwości dotyczące zasadności pobierania przez samorzady opłat za odprowadzenie ścieków opadowych lub roztopowych. W projekcie Ustawy nie przewidziano również żadnych przepisów przejściowych związanych ze zmianą definicji ścieków, co może spowodować znaczne trudności w gminach, które obecnie naliczają opłaty za odprowadzanie wód opadowych (Bujny i Maśliński, 2016). Z drugiej strony, projekt nowego Prawa Wodnego ustanawia opłatę za usługi wodne, polegające na odprowadzeniu do wód lub do ziemi wód opadowych lub roztopowych, ujętych w otwarte lub zamknięte systemy kanalizacji deszczowej, nie definiując jednak jakie rodzaje wód mieszczą się w tej kategorii. Może to doprowadzić do niejasności,

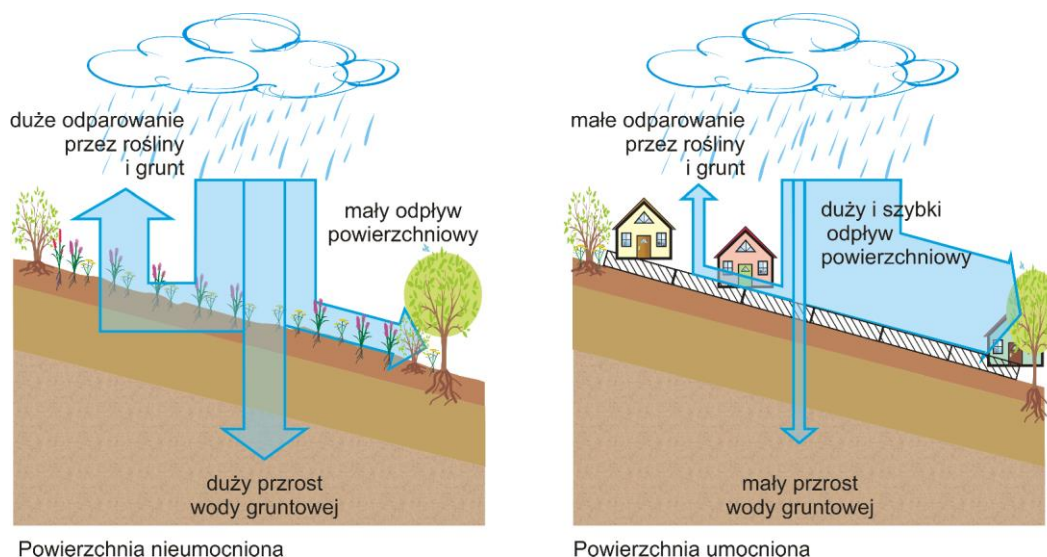
nadinterpretacji i w rezultacie sporów wymagających rozstrzygnięcia na drodze prawnej (Bujny i Maśliński, 2016). Ponadto, projekt Ustawy w żaden sposób nie odnosi się do kwestii możliwości pobierania opłat za odprowadzanie wody z dachów, co ma istotne znaczenie na terenach zurbanizowanych. Kolejny budzący wątpliwości zapis projektu nowego Prawa Wodnego, dotyczy obowiązku przekazywania do „Wód Polskich” wpływów z opłat za odprowadzanie wód opadowych. Jak podkreślają Bujny i Maśliński (2016) to przedsiębiorstwa wodociągowo-kanalizacyjne, czyli w praktyce gminy, ponoszą faktyczne koszty związane z odprowadzaniem wód opadowych i roztopowych, prawidłowym utrzymaniem i eksploatacją infrastruktury odwodnieniowej.

3. WPŁYW URBANIZACJI NA GOSPODAROWANIE WODĄ OPADOWĄ

Z topograficznego punktu widzenia, zlewnie zurbanizowane są terenami małymi. Jest to spowodowane ograniczonym rozmiarem aglomeracji miejskiej jak również istnieniem sztucznego systemu odprowadzania wód deszczowych, jakim jest kanalizacja deszczowa. Relatywnie niewielkie rozmiary zlewni sprawiają, że efekt transformacji opadu efektywnego w odpływ staje się zauważalny o wiele szybciej niż w przypadku zlewni naturalnych, a dynamika procesów jest często niezwykle gwałtowna. Istotny wpływ na dynamikę procesu transformacji opadu w odpływ ma modyfikacja ukształtowania i zagospodarowania powierzchni zlewni zurbanizowanej, a także rodzaj jej pokrycia. Zwiększająca się liczba mieszkańców aglomeracji miejskich wiąże się z rozwojem urbanizacji terenu, a co za tym idzie, ingerencją w naturalne warunki pokrycia, ukształtowania i zagospodarowania terenu. Istotne znaczenie w tych procesach ma likwidacja terenów zielonych, takich jak lasy i łąki, oraz lokalnych naturalnych zbiorników wodnych. Są one zastępowane zabudową mieszkaniową, przemysłową lub infrastrukturą komunikacyjną. W konsekwencji ograniczone zostaje parowanie, infiltracja, retencja, transpiracja, a co za tym idzie naturalny obieg wody zostaje zaburzony (Geiger i Dreiseitl, 1999; Weinerowska-Bords, 2010; Królikowska i Królikowski, 2012). Zmianie podlega udział poszczególnych procesów w cyklu hydrologicznym na terenie zurbanizowanym (Rys. 5). Na terenach zurbanizowanych następuje nałożenie się dwóch niekorzystnych procesów: wzrostu objętości wody biorącej udział w spływie powierzchniowym oraz zmniejszenia czasu koncentracji spływu. Reakcja zlewni na opad następuje szybko a spływ wód deszczowych jest bardzo gwałtowny. Powoduje to szybką kulminację odpływu, co w konsekwencji może prowadzić do powodzi miejskich powodujących znaczne straty materialne (Słyś, 2013, Wojciechowska i in., 2015). Wysokość kulminacji może być tym większa, im większe jest zróżnicowanie wysokości i deniwelacje terenu. Na dynamikę procesów warunkujących odpowiedź zlewni na opad ma również wpływ obecność sieci kanalizacji deszczowej, która powoduje skrócenie czasu dopływu do odbiornika. Efekt ten może być spotęgowany przez regulację naturalnych cieków wodnych przepływających przez tereny zurbanizowane .

W rezultacie, proces urbanizacji pociąga za sobą istotne konsekwencje dla zlewni miejskich, do których należą:

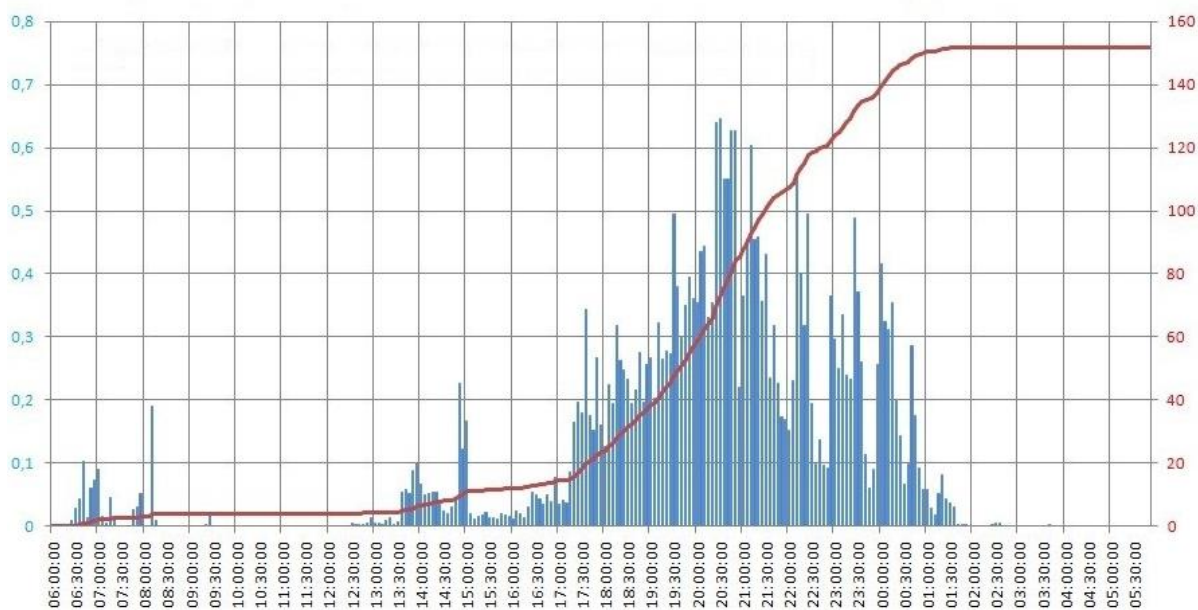
- wzrost objętości spływów deszczowych,
- skrócony czas koncentracji spływów deszczowych,
- wzrastające zagrożenie podtopieniami i powodziami,
- w okresach suszy zmniejszony przepływ w ciekach,
- rosnące zanieczyszczenie spływów opadowych,
- zmiana mikroklimatu na terenach miejskich.



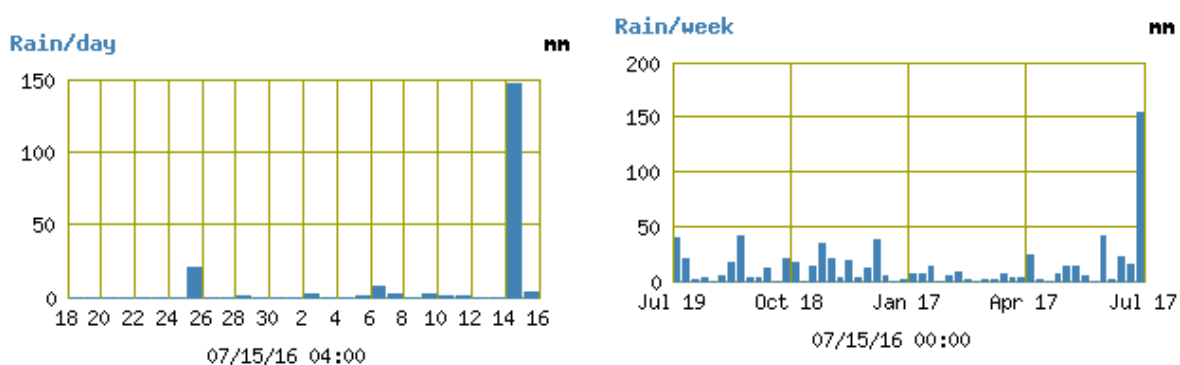
Rys. 5 Dynamika odpływu wód deszczowych na powierzchniach nieumocnionych oraz umocnionych, opracowanie własne

Do lat 90-tych XX wieku dominującym, a w zasadzie jedynym sposobem postępowania z wodą opadową na terenach zurbanizowanych, było szybkie usunięcie jej poza teren miasta. Wymagało to budowy kolektorów deszczowych o coraz większych średnicach. W sytuacji wzrastającej objętości spływów, odbiorniki wód deszczowych coraz częściej nie są w stanie przejąć zwiększonego dopływu z wylotów kanalizacji deszczowej. Dodatkowe zagrożenie stwarzają w tym aspekcie zmiany klimatyczne, prowadzące do zwiększenia częstotliwości gwałtownych zjawisk atmosferycznych, takich jak wichury i ulewne opady. Prognozowany wzrost temperatury w skali globalnej przyczyni się do intensyfikacji obiegu wody (Magnuszewski, 2013). Na terenie Polski obserwuje się w ostatnich latach spadek udziału opadów letnich w rocznej sumie opadów, jednak, jak zauważają Królikowska i Królikowski (2012) opady letnie występują wprawdzie rzadziej, ale charakteryzują się zwiększoną intensywnością, a często również czasem trwania, w porównaniu do analogicznych opadów w poprzednich dziesięcioleciach. Skutkiem są coraz częściej występujące wezbrania, lokalne podtopienia oraz powodzie. Szczególnie narażone na tego typu sytuacje są tereny zurbanizowane, a zwłaszcza duże aglomeracje miejskie, w których na przestrzeni ostatnich lat nastąpił znaczny wzrost intensywności zabudowy oraz szczelności pokrycia terenu. Charakterystycznym zjawiskiem w ostatnich latach stały się tzw. powodzie błyskawiczne, z jęz. angielskiego nazywane *flash flood* (FF), czyli nagle powodzie lokalne, dotykające przede wszystkim tereny miejskie. Zgodnie z definicją podaną przez Magnuszewskiego (2013) *flash flood* to reakcja zlewni na opad nawalny o dużej intensywności, powodująca podtopienia i zalania terenów zurbanizowanych. Duża intensywność opadu powodująca zjawisko *flash flood*, to zdaniem Ostrowskiego i in. (2012) opad o wysokości co najmniej 30 mm trwający maksymalnie 12 godzin. Na tle tej definicji, szczególnie groźnie wypadają intensywności nawalnych opadów lipcowych zanotowanych w Gdańsku w latach 2001 oraz 2016. W dniu 9 lipca 2001 r. zanotowano opad o wysokości 127 mm, natomiast w dniach 14-15 lipca 2016 r. wysokość opadu osiągnęła średnio 160 mm, przekraczając lokalnie (dla posterunku obserwacyjnego IBW PAN w Gdańsku Oliwie) 170 mm. Na Rys. 6 i Rys. 7

widoczne są zapisy automatycznej stacji meteorologicznej Politechniki Gdańskiej, pokazujące opad w dniach 14-15 lipca 2016 r. (Rys. 6) oraz ten sam opad na tle miesiąca i roku (Rys. 7) rejestrowanych dobowych wysokości opadu.



Rys. 6 Natężenie opadu [mm/min] oraz krzywa skumulowana opadu [mm] w dniach 14-15 lipca 2016 r.; źródło: http://www.klimat.ug.edu.pl/?page_id=5092



Rys. 7 Zapis automatycznej stacji meteorologicznej Politechniki Gdańskiej, zlokalizowanej przy Wydziale Inżynierii Lądowej i Środowiska PG, Gdańsk-Wrzeszcz, dla okresu 18.06 – 16.07.2016 oraz 19.07.2015 – 16.07.2016; źródło: <http://www.meteo.pg.gda.pl>

Natomiast w Tab. 5 przedstawiono wysokości opadu zanotowane na wybranych posterunkach rejestrujących opady w dniach 9 – 22 lipca 2001 roku w województwie pomorskim.

Tab. 5 Opady zanotowane na wybranych stacjach opadowych w dniu 09.07.2001 roku według danych IMiGW w Gdyni, według Brodnickiej (2013).

Posterunek pomiarowy	Wysokość opadu w dniu 9 lipca 2001 r. (mm)	Wysokość opadu w dniach 9 – 22 lipca 2001 r. (mm)
Gdańsk Port Północny	118,00	160,60

Posterunek pomiarowy	Wysokość opadu w dniu 9 lipca 2001 r. (mm)	Wysokość opadu w dniach 9 – 22 lipca 2001 r. (mm)
Słupsk	79,50	139,70
Ulinkowice	125,00	176,80
Gdańsk – Rębiechowo	127,70	207,60
Trąbki Wielkie	118,60	194,40
Miłoradz	118,60	215,40
Bąkowo	96,60	177,80
Goręczyno	105,20	168,00
Radostowo	122,20	232,70

Średnia roczna wysokość opadu z wielolecia dla miasta Gdańsk wynosi 580 mm (www.retencja.pl), zaś według danych IMGW, dla wielolecia 1981-2010 wyniosła 397,1 mm (<http://www.pogodynka.pl/polska/daneklimatyczne/>). Zatem opady, które wystąpiły w dniach 14-15 lipca 2016 r. stanowiły odpowiednio około 27,5% opadu rocznego lub nawet około 40% opadu rocznego. Według danych IMGW średnia miesięczna suma opadów dla lipca z wielolecia 1981-2010 wynosi w Gdańsku 60 mm. Wysokość opadu w dniach 14-15 lipca 2016 r. odpowiadała średniej miesięcznej sumie opadów z trzech miesięcy letnich (czerwiec, lipiec, sierpień).

Wystąpienie opadów o tak znacznej intensywności spowodowało znaczne szkody materialne. W lipcu 2001 roku, pomimo niższej zanotowanej wysokości opadu, straty były bardziej dotkliwe, niż w roku 2016. Wskutek przerwania wału Kanału Raduni nastąpiło wówczas zalanie dzielnic Orunia Dolna, Lipce i Święty Wojciech. W śródmieściu zalany został Dworzec Główny PKP i zniszczone torowisko kolejowe. Przerwanie wału zbiornika Srebrniki na potoku Strzyża spowodowało zalanie dzielnicy Wrzeszcz. Oprócz dotkliwych strat materialnych śmierć w wyniku powodzi poniosły 4 osoby. Bilans nagłej powodzi lokalnej (*flash flood*) z 14-15 lipca 2016 r. to wezbrania potoków i rzek, zalanie ulicy Słowackiego oraz skrzyżowania ul. Słowackiego i Al. Grunwaldzkiej przez potok Strzyża, zalanie węzła Kliniczna, zalanie okolic ulicy Pomorskiej przez Potok Oliwski, lokalne wylania i podtopienia piwnic i garaży podziemnych na terenie praktycznie całego miasta, rozmycia skarp i nasypów, m.in. Pomorskiej Kolei Metropolitalnej PKM, zalanie fragmentów ogrodu zoologicznego w Oliwie, duże utrudnienia komunikacyjne (Rys. 8-Rys. 10). W nocy z 14 na 15 lipca śmierć w następstwie powodzi poniosło 2 mieszkańców Gdańska. Należy podkreślić, że pomimo rekordowej wysokości opadu udało się uniknąć strat tak dużych jak 15 lat wcześniej, co było wynikiem podjętych przez władze miasta działań i inwestycji mających na celu zabezpieczenie Gdańska przed powodzią.



Rys. 8 Zalane skrzyżowanie Al. Grunwaldzkiej i ul. Słowackiego w Gdańsku, 15 lipca 2016 r.; źródło: <http://trojmiasto.wyborcza.pl/trojmiasto/5,127406,20402671.html>; fot. Dominik Werner.



Rys. 9 Skutki ulewy w dniach 14-15 lipca 2016 r. – zniszczony nasyp Pomorskiej Kolei Metropolitalnej, fot. Michał Jamroż, źródło: <http://trojmiasto.wyborcza.pl/trojmiasto/5,127406,20402671.html?i=1>



Rys. 10 Zalane okolice Potoku Oliwskiego w dzielnicy Żabianka, 15 lipca 2016 r. fot. K. Matej-Łukowicz

Wylania i podtopienia w wyniku nawałnych opadów stanowią nie tylko zagrożenie materialne oraz bezpośrednie zagrożenie zdrowia i życia mieszkańców, ale mają też istotne skutki ekologiczne. Zanieczyszczenia z terenu zlewni przedostają się do odbiorników powierzchniowych powodując ich zanieczyszczenie (Rys. 11, Rys. 12). Po gdańskiej powodzi w dniach 14-15 lipca 2016 r. gdański sanepid zmuszony była zamknąć kąpieliska w Jelitkowie oraz Brzeźnie ze względu na zły stan mikrobiologiczny wód.

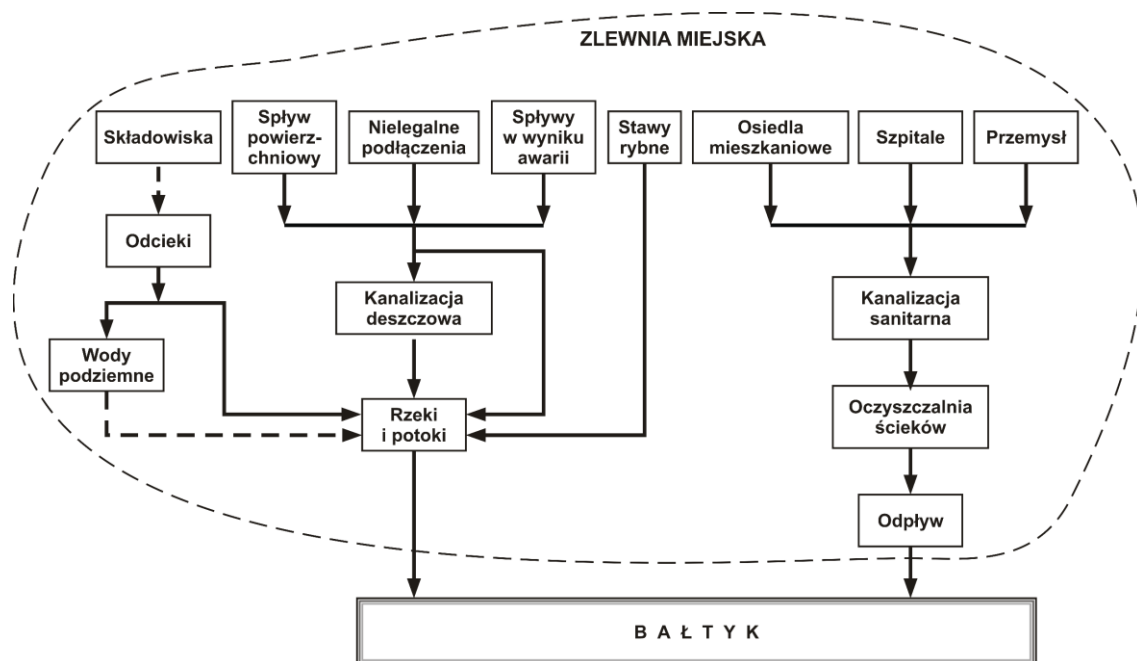


Rys. 11 Zakwit glonów na Motławie spowodowany dopływem zanieczyszczeń podczas opadów w dniach 14-15 lipca 2016 r., widok z Krowiego Mostu w Gdańsku, 17 lipca 2016 r., fot. E. Wojciechowska



Rys. 12 Zakwit glonów na Motławie w rejonie wpustu deszczowego po opadach nawalnych w dniach 14-15 lipca 2016 r., 17 lipca 2016 r., fot. E.Wojciechowska

Splywy opadowe z terenów zurbanizowanych są źródłem zanieczyszczeń nie tylko w przypadkach wylań i powodzi. Spływy opadowe splukują zanieczyszczenia z terenu zlewni i mogą w istotny sposób oddziaływać na jakość odbiorników (Królikowska i Królikowski, 2012). Jakość spływów opadowych zależy od charakterystyki zlewni (zlewnia miejska, podmiejska, wiejska), stosowanych środków ochrony roślin, gospodarki odpadami, pory roku, długości okresu pomiędzy kolejnymi opadami, natężenia opadu, rodzaju nawierzchni i sposobu jej oczyszczania oraz szeregu innych zmiennych. Stężenia zanieczyszczeń w ściekach deszczowych, szczególnie w najbardziej zanieczyszczonej „pierwszej fali” spływu są wprawdzie niższe niż w ściekach sanitarnych, jednak z uwagi na wysokie natężenie przepływu, ładunek zanieczyszczeń może być dość znaczący (Osmólska-Mróz, 1992, Królikowska i Królikowski, 2012). Jak podaje Kotowski (2011), roczny odpływ ścieków bytowo-gospodarczych jest około 8 razy większy od odpływu ścieków deszczowych. Jednak porównując wartości chwilowe, dla miarodajnego natężenia opadu $q=100 \text{ dm}^3/\text{s}\cdot\text{ha}$ przy współczynniku spływu 0,3, spływ wód opadowych z powierzchni 1 ha jest około 25-krotnie większy od natężenia przepływu ścieków sanitarnych (Kotowski, 2011). Rozpatrując zanieczyszczenia odprowadzane z terenu zlewni miejskich, należy zwrócić uwagę na ładunek odprowadzany przez kolektory deszczowe oraz potoki i rzeki będące odbiornikami kanalizacji deszczowej oraz spływów powierzchniowych, tym bardziej, że ścieki deszczowe na ogół nie są oczyszczane. Źródła zanieczyszczeń spływające z terenu zlewni zurbanizowanej pokazano schematycznie na Rys. 13.



Rys. 13 Źródła zanieczyszczeń pochodzące z terenu zlewni zurbanizowanej

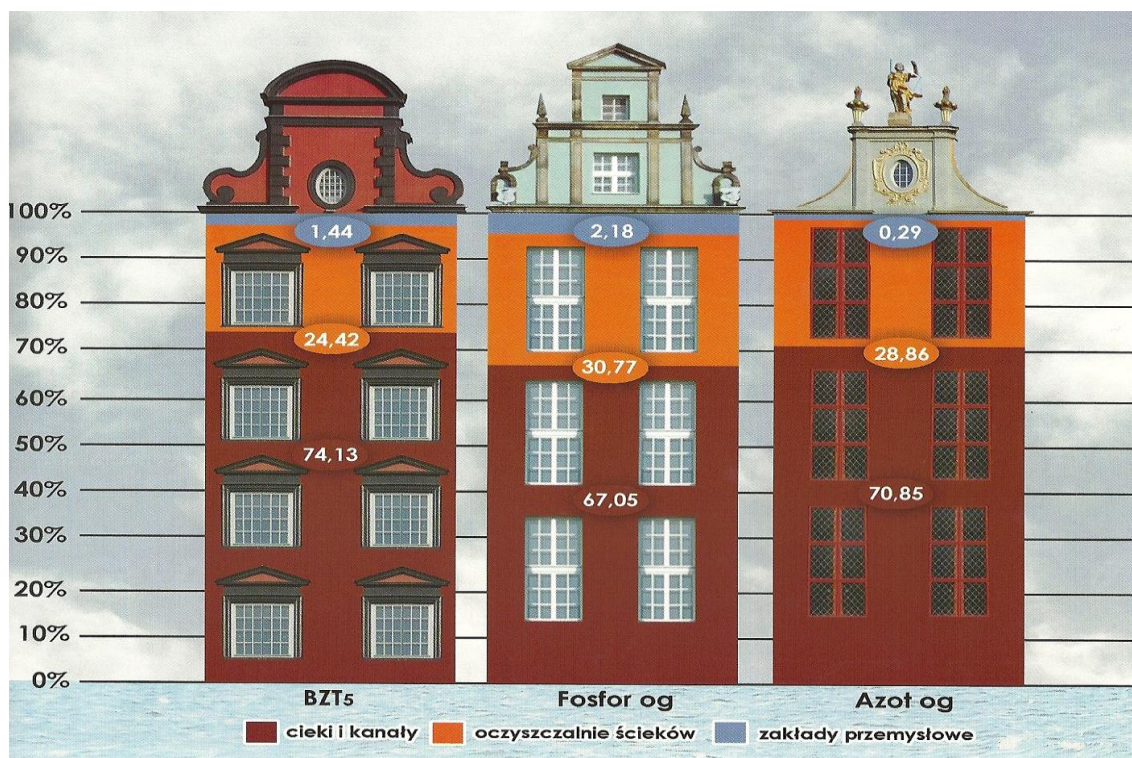
Zakresy zanieczyszczeń w ściekach opadowych podaje m.in. Praca zbiorowa pod red. Heidricha (2002) (Tab. 6).

Tab. 6 Zakresy wybranych zanieczyszczeń występujące w ściekach opadowych (Praca zbiorowa pod red. Z. Heidricha, 2002).

Rodzaj zanieczyszczenia	Min/Max	Zakres wartości średnich
pH	3,9 – 8,7	5 – 8
Zawiesina ogólna [mg/l]	5 – 40 000	80 – 17 000
BZT ₅ [mg O ₂ /l]	1 – 1100	7 – 83
ChZT [mg O ₂ /l]	5 – 3100	40 – 50
Chlorki [mg/l]	5 – 428	12
Azot ogólny [mg/l]	0,3 – 12,7	3 – 10
Ołów [mg/l]	0,9 – 12,6	–

Analizy ładunku zanieczyszczeń odprowadzanego do Morza Bałtyckiego z terenu Gminy Gdańsk, prowadzone na zlecenie Urzędu Miasta Gdańsk, m.in. w ramach projektu PURE, współfinansowanego ze środków Unii Europejskiej (Europejski Fundusz Rozwoju Regionalnego i Europejski Instrument Sąsiedztwa i Partnerstwa), wskazują że zanieczyszczenia wnoszone przez cieki i kanały mają najwyższy udział w ładunku BZT₅, azotu ogólnego i fosforu ogólnego w ogólnym ładunku zanieczyszczeń odprowadzanych z terenu Gminy Gdańsk do Zatoki Gdańskiej (Rys. 14). W 2009 roku w przypadku BZT₅ udział ten stanowił 74,1%, zaś dla fosforu ogólnego i azotu ogólnego wynosił odpowiednio 67% i około 71%. Zatem udział ładunku zanieczyszczeń wnoszonego przez cieki i kanały był wyraźnie większy, niż ładunek odprowadzany z oczyszczonymi ściekami komunalnymi z

oczyszczalni Wschód. Co więcej, w porównaniu do okresu 1995-2008, o 65,5% wzrósł ładunek azotu ogólnego odprowadzany przez ciek i kanały (Ładunek zanieczyszczeń odprowadzany do Morza Bałtyckiego, 2011).



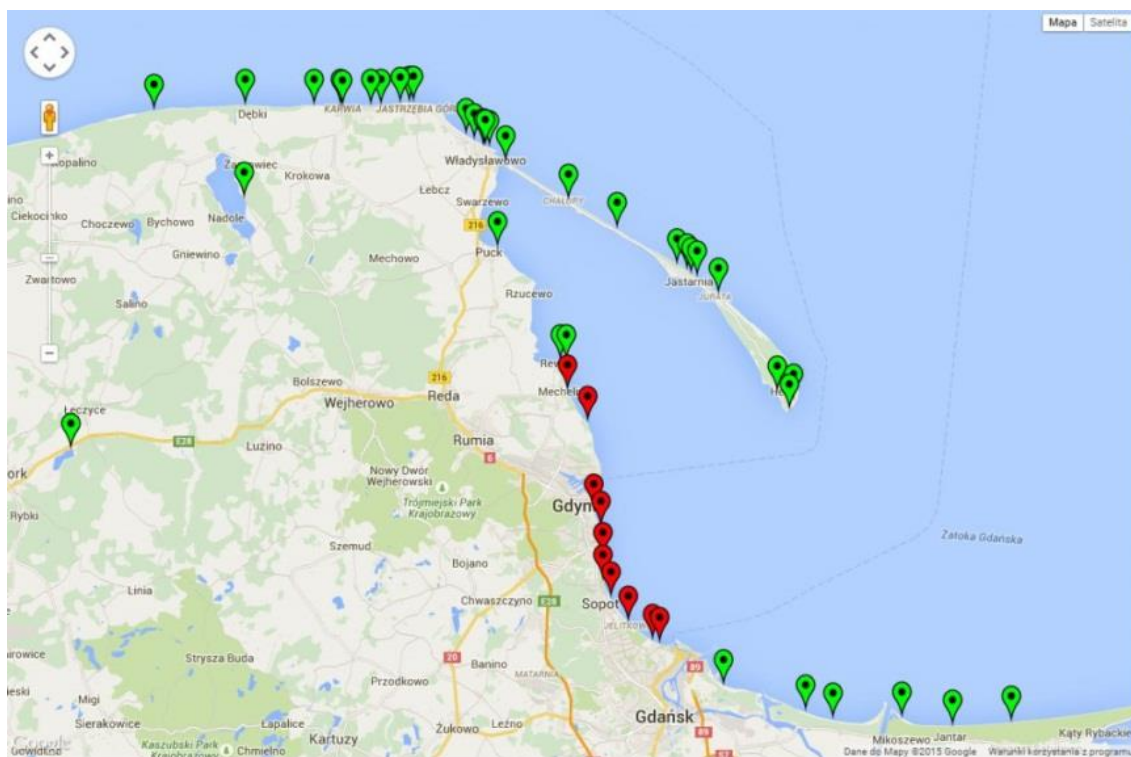
Rys. 14 Procentowy udział poszczególnych źródeł zanieczyszczeń w ogólnych ładunkach dopływających do Zatoki Gdańskiej z terenu Gminy Gdańsk, 2009 r., źródło: Ładunek zanieczyszczeń odprowadzany do Morza Bałtyckiego, 2011

Zatoka Gdańska pełni funkcje portową, rekreacyjną oraz wypoczynkową dla mieszkańców całego kraju oraz turystów zagranicznych. Jest miejscem doskonalenia umiejętności w sportach wodnych oraz kąpieliskiem. To przeznaczenie wymaga spełnienia rygorystycznych wytycznych jakości wody w kąpielisku, które zebrano w Rozporządzeniu Ministra Zdrowia z dnia 8 kwietnia 2011 r. w sprawie prowadzenia nadzoru nad jakością wody w kąpielisku oraz w miejscu do kąpeli (Dz.U. 2011 nr 86 poz. 478), Ustawie z dnia 18 lipca 2001 r. Prawo wodne (Dz.U. 2001 nr 115 poz. 1229) oraz Dyrektywie 2006/7/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 15 lutego 2006 r. dotyczącej zarządzania jakością wody w kąpieliskach i uchylającej dyrektywę 76/160/EWG.

Praktycznie każdego lata pojawiają się komunikaty dotyczące zakazu kąpeli na plażach trójmiejskich, najczęściej spowodowane masowym zakwitom sinic. Ich przyczyną jest zbyt duża ilość substancji odżywczych dopływających do wód morskich, głównie z lokalnych potoków. Nad jakością wód w kąpieliskach kontrolę pełni odpowiednia powiatowa stacja sanitarno-epidemiologiczna. Na Rys. 15 przedstawiono przykładową mapę obrazującą stan sanitarny kąpielisk nad Zatoką Gdańską w dniu 11 sierpnia 2015 r., gdzie na zielono oznaczono kąpieliska z wodą przydatną do kąpeli, natomiast na czerwono miejsca, gdzie zawieszono czerwone flagi oznaczające brak odpowiednich warunków do kąpeli (<https://sk.gis.gov.pl/index.php/strona/content/7>). Zamieszczona na Rys. 15 mapa obrazuje wyraźnie problem kąpielisk na terenie Trójmiasta, związany z

Wybrane aspekty zrównoważonego gospodarowania wodami opadowymi na terenie zurbanizowanym

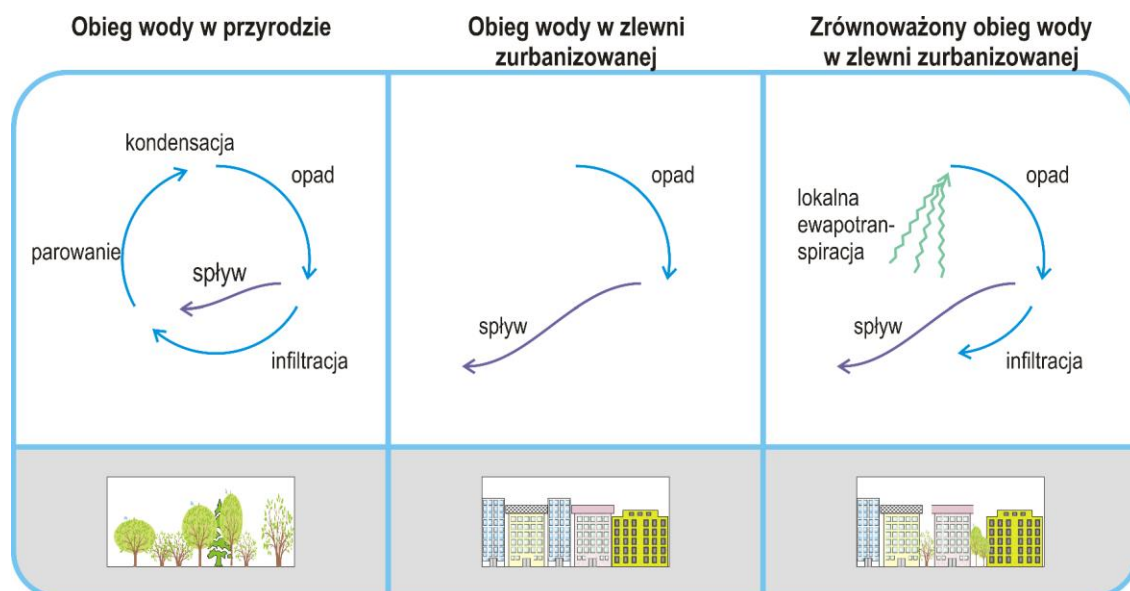
wnoszeniem przez miejskie potoki nadmiernego ładunku biogenów. Poważnym źródłem tych substancji w wodach potoków są nieoczyszczone spływy wód opadowych.



Rys. 15 Stan kąpielisk na terenie Zatoki Gdańskiej w dniu 11 sierpnia 2015 r. źródło: <http://sk.gis.gov.pl/>

4. ZAŁOŻENIA ZRÓWNOWAŻONEGO GOSPODAROWANIA WODĄ OPADOWĄ

Zmianę podejścia do zagadnienia wód deszczowych na terenach zurbanizowanych zapoczątkował drugi Światowy Kongres ONZ w Rio de Janeiro w 1992 roku, kiedy przyjęto zrównoważone podejście do zagospodarowania wód opadowych jako zasadę nadrzędną. W zależności od kraju, praktyki zrównoważonego gospodarowania wodą deszczową noszą różne nazwy, np. *Sustainable Urban Drainage Systems* (SUDS) lub *Water Sensitive Urban Design* (WSUD). Zrównoważone gospodarowanie w odniesieniu do wód opadowych polega na umożliwieniu wsiąkania (infiltracji) do gruntu lub na ich retencji oraz na oczyszczaniu zanieczyszczonych spływów opadowych. Dzięki infiltracji wód opadowych zmniejsza się spływ powierzchniowy, odpowiedzialny za powódzie oraz erozję gruntu, a także zasilane są zasoby wód podziemnych. Z kolei retencja wód opadowych powoduje wydłużenie czasu koncentracji spływów i zmniejszenie odpływu kulminacyjnego w czasie intensywnych zdarzeń opadowych. Obie metody prowadzą do przywrócenia naturalnych stosunków wodnych na terenie zlewni miejskich i zmniejszają ryzyko wystąpienia powodzi oraz podtopień, co schematycznie przedstawiono na Rys. 16.



Rys. 16 Idea zrównoważonego obiegu wody w terenie zurbanizowanym, opracowanie własne

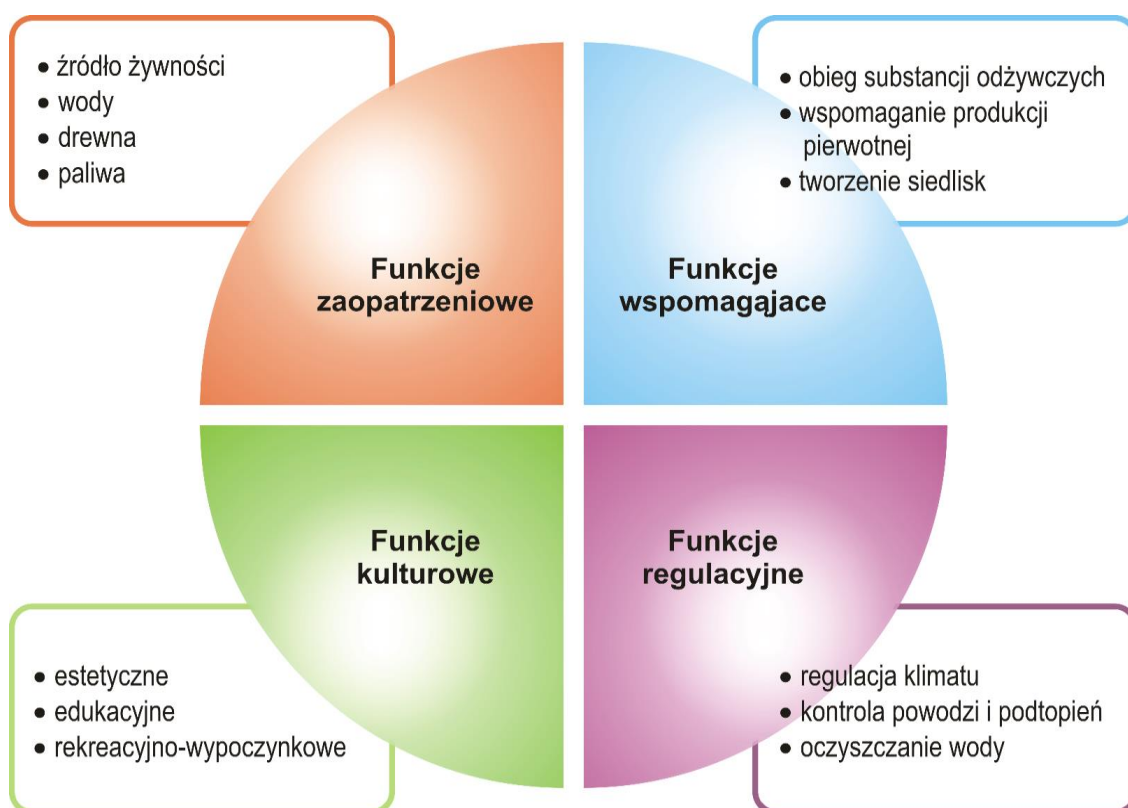
Zastosowanie metod zrównoważonego gospodarowania wodą deszczową przyczynia się także do wzrostu ewapotranspiracji i poprawia mikroklimat terenów zurbanizowanych, przeciwdziałając tzw. efektowi „miejskiej wyspy ciepła”. Odpowiednio zaprojektowane systemy mogą usuwać zanieczyszczenia obecne w spływach opadowych oraz posiadają walory estetyczne i rekreacyjne. Stwarzają również siedlisko dla wielu gatunków roślin i zwierząt, przyczyniając się do wzrostu bioróżnorodności.

Z projektowaniem zrównoważonych systemów zagospodarowania wód opadowych ściśle wiąże się pojęcie *ecosystem service*, tłumaczone na język polski jako „usługi ekosystemów” (Januchta-Szostak, 2012). Pojęcie to obejmuje zbiór funkcji użytkowych, które ekosystem zapewnia skupiskom ludzkim.

Zdrowe ekosystemy posiadają istotne funkcje użytkowe (tzw. *services*) dla skupisk ludzkich, do których zalicza się na przykład oczyszczanie wody na drodze filtracji, odnawianie zasobów wód podziemnych, kontrolę spływów opadowych i ograniczenie ryzyka podtopień podczas intensywnych opadów, poprawę jakości powietrza oraz recykling substancji odżywczych. Z drugiej strony systemy te dają możliwość rekreacji, obcowania z przyrodą, mają też znaczenie edukacyjne i poznawcze. Stąd wśród tzw. *ecosystem services* wyróżnia się cztery grupy funkcji użytkowych:

- zaopatrzeniowe (ang. *provisioning*) np. dostarczanie czystej wody, paliwa, pokarmu, drewna itd.;
- wspomagające (ang. *supporting*) – ta funkcja dotyczy wspomagania obiegu wody i substancji odżywczych, produkcji pierwotnej, tworzenia siedlisk, funkcje glebotwórcze, zapewnianie bioróżnorodności;
- regulacyjne (ang. *regulating*) – kontrola powodzi i podtopień, przeciwdziałanie zmianom klimatu i ich skutkom, oczyszczanie wody;
- kulturowe (ang. *cultural*) – estetyczne, rekreacyjne i edukacyjne.

Idea *ecosystem services* została przedstawiona na Rys. 17.



Rys. 17 Wyjaśnienie idei *ecosystem service*. Opracowanie własne, na podstawie http://healingearth.ijep.net/sites/default/files/styles/chapter_photo/public/images/Fig%209_Ecosystem%20Services.png?itok=H0Dt-vg1

Według Hoyer i in. (2011) pięć podstawowych funkcji, które należy uwzględnić przy zagospodarowaniu wód opadowych to:

- zrównoważone zagospodarowanie,
- estetyka,
- funkcjonalność,
- walory użytkowe,
- akceptacja społeczna.

Wyjaśnienie poszczególnych funkcji przedstawiono w Tab. 7.

Tab. 7 Zasady projektowania miast wrażliwych na wodę, na podstawie Hoyer i in. (2011)

Wymagania stawiane rozwiązaniom zrównoważonego zagospodarowania wody deszczowej	Funkcja
– zagospodarowanie wody deszczowej w mieście powinno przebiegać w sposób zbliżony do warunków naturalnych	zrównoważone zagospodarowanie wód deszczowych
– podniesienie estetyki krajobrazu miejskiego – wkomponowanie w otoczenie	estetyka
– użyteczność, w zależności od uwarunkowań i potrzeb lokalnych – na etapie projektowania należy uwzględnić konieczność zapewnienia odpowiedniej eksploatacji urządzeń – łatwa adaptacja się do zmiennych warunków	funkcjonalność
– stworzenie miejsc służących rekreacji i /lub ochronie przyrody i podtrzymaniu bioróżnorodności	walory użytkowe
– uwzględnienie potrzeb mieszkańców – zaangażowanie mieszkańców w proces planowania – koszty rozwiązań zrównoważonych powinny być zbliżone do rozwiązań konwencjonalnych	akceptacja społeczna

Do metod zrównoważonego zagospodarowania wód opadowych należą przede wszystkim systemy bioretencyjne, w tym rowy i muldy porośnięte roślinnością, obiekty hydrofitowe, dachy zielone, ogrody deszczowe itp. (Geiger i Dreiseitl, 1999; Słyś, 2008; Wojciechowska i in., 2015). Odpowiednio zaprojektowane systemy usuwają zanieczyszczenia obecne w spływach opadowych oraz posiadają walory estetyczne i rekreacyjne. Stwarzają również siedlisko dla wielu gatunków roślin i zwierząt, przyczyniając się do wzrostu bioróżnorodności, powodują wzrost ewapotranspiracji i poprawę mikroklimatu terenów zurbanizowanych, przeciwdziałając tzw. efektowi „miejskiej wyspy ciepła”.

Spośród wymienionych metod bioretencji, dużą zdolnością usuwania zanieczyszczeń charakteryzują się obiekty hydrofitowe. Jest to wynikiem specyficznych warunków umożliwiających rozwój mikroorganizmów i

hydrofitów (roślin wodnych i wodolubnych) zdolnych do funkcjonowania w warunkach tlenowych, beztlenowych i względnie beztlenowych. Ich współdziałanie przyczynia się do intensyfikacji reakcji utleniania i redukcji odpowiedzialnych za usuwanie i retencję zanieczyszczeń. Hydrofity posiadają wysoką zdolność do transpiracji, co sprawia, że w okresie letnim może nastąpić znaczne zmniejszenie wielkości odpływu z obiektu. Hydrofity za pośrednictwem korzeni pobierają wodę i substancje odżywcze z dopływających ścieków (spływów opadowych). Natomiast, dzięki specjalnej budowie łodygi, do strefy korzeniowej doprowadzane jest powietrze, co sprzyja tlenowym procesom biochemicznego rozkładu zanieczyszczeń. Procesy te są wspomagane przez procesy sorpcji, sedymentacji i asymilacji, a w systemach z podpowierzchniowym przepływem dodatkowo także przez filtrację (Kadlec i Wallace, 2009; Obarska-Pempkowiak i in., 2010).

Przedstawiony na Rys. 18 i Rys. 19 Plac del Campo w Sienie wybudowany został w XIII wieku i do dziś zachwyca nie tylko założeniem architektonicznym ale i sposobem w jaki spełnia wymogi zrównoważonego rozwoju oraz nowoczesnych strategii urbanistycznych. Według Gehl (2014) Plac del Campo spełnia wszystkie założenia nowoczesnej przestrzeni miejskiej, czyli zapewnia miejsce spotkań ludzi, w której chętnie spędzają wspólnie czas. Jednocześnie może być przykładem zrównoważonego gospodarowania wodą w przestrzeni zurbanizowanej. Odpowiednia konstrukcja i usytuowanie placu w mieście oraz ceglano – trawiasta nawierzchnia (półprzepuszczalna) umożliwia infiltrację podczas wody pochodzącej z niewielkich opadów atmosferycznych. Natomiast w czasie opadów nawaalnych plac stanowi retencję dla nadmiaru wody spływającej przyległymi uliczkami, która następnie stopniowo odpływa do kanalizacji.

Systemy bioretencyjne, w zależności od rodzaju i przeznaczenia, mogą wypełniać w zasadzie wszystkie funkcje zaliczane do tzw. ecosystem service. Na plan pierwszy wysuwają się funkcje regulacyjne, związane z kontrolą powodzi i podtopień, oddziaływaniem na mikroklimat oraz zapewnieniem odpowiedniej jakości wody. Ostatnie z wymienionych zadań wymaga zastosowania rozwiązań posiadających odpowiedni potencjał do usuwania zanieczyszczeń zawartych w spływach opadowych oraz ściekach pochodzących z kanalizacji deszczowej. Funkcję regulacyjną, w tym oczyszczającą systemów zrównoważonego gospodarowania wodą opadową, można wzmocnić i rozbudować wprowadzając rozwiązania powodujące intensyfikację naturalnych procesów oczyszczania. Do rozwiązań tych należą napowietrzanie (aeracja) wód opadowych, wprowadzenie rozwiązań umożliwiających filtrację i sedymentację, intensyfikacja procesów biochemicznych poprzez obsadzenie urządzeń roślinnością (przede wszystkim hydrofitową).



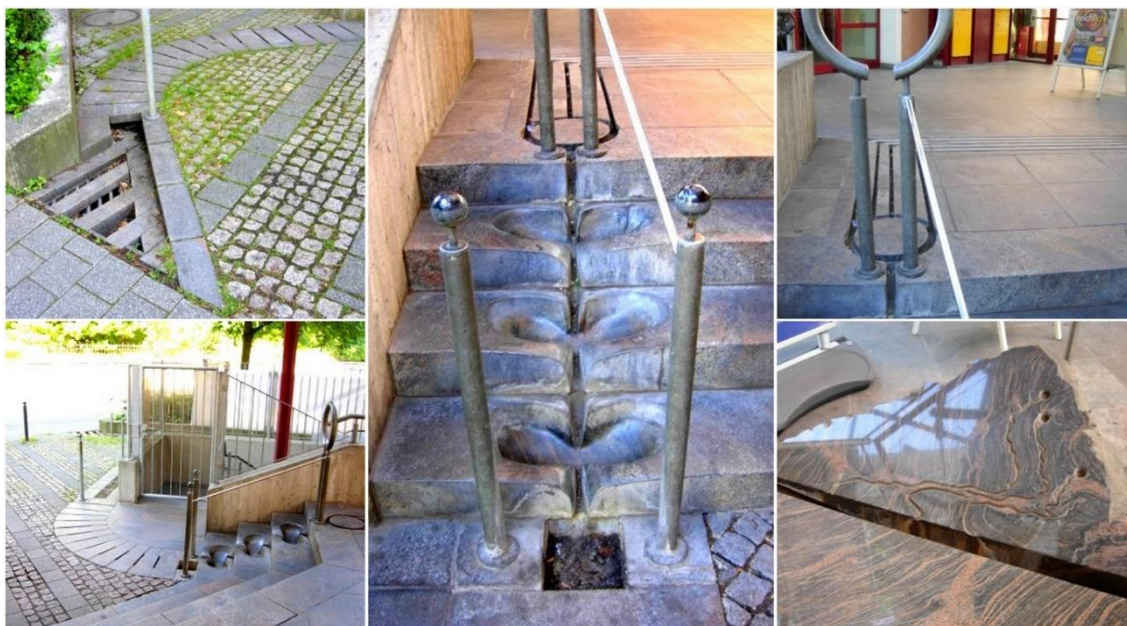
Rys. 18 Widok na Plac del Campo w Sienie, fot.: M. Gajewska



Rys. 19 Plac del Campo w Sienie oraz jego detale a) ceglano-trawiasta nawierzchnia placu, b) dekoracyjny wpust, fot.: M. Gajewska

Napowietrzanie (aeracja)

Ważnym elementem wspomagającym naturalne procesy oczyszczania jest odpowiednie natlenienie (aeracja) dopływających ścieków, intensyfikujące mineralizację zanieczyszczeń organicznych. Napowietrzanie można zrealizować w prosty sposób poprzez dopływ wody do zbiornika w formie kaskady lub tzw. wodnych schodów. Spływ wody w formie kaskady sprzyja nie tylko natlenianiu, ale również umożliwia naturalną dezynfekcję promieniowaniem UV.



Rys. 20 Schody w mieście Überlingen, Niemcy; Źródło: <http://architecture.mit.edu/class/city/projects.html?y=2012>

Dobrym przykładem może być rozwiązanie zapewniające napowietrzanie i cyrkulację w jednym, czyli cyrkulatory lub pływające fontanny napowietrzające. Przykłady takich rozwiązań pokazano na Rys. 21 i Rys. 22.



Rys. 21 Przykład napowietrzania w zbiorniku, Źródło: <http://fontanny.pomp.pl/aktualnosci/oferta-fontanna-firmy-korro-fontany-kasco>



Rys. 22 Przykłady gotowych rozwiązań do napowietrzania i cyrkulacji wody w zbiornikach Źródło: <http://fontanny.pomp.pl/aktualnosci/oferta-fontannowa-firmy-korro-fontany-kasco>

Filtracja

Filtracja jest metodą usuwania zanieczyszczeń stosowaną zarówno w technologii wody jak i technologii ścieków. Pozwala na usunięcie drobnej frakcji zawiesin. Podczas filtracji przez złoża piaskowe lub żwirowe na ziarnach złoża rozwija się błona biologiczna – mikroorganizmy zdolne do biodegradacji zanieczyszczeń organicznych oraz transformacji i usuwania związków azotu. Rozwinięta powierzchnia właściwa materiału złoża filtracyjnego umożliwia adsorpcję zanieczyszczeń na powierzchni ziaren złoża. Dobór odpowiednich materiałów i ich uziarnienia w materiale stanowiącym wypełnienie filtrów może zintensyfikować procesy oczyszczania wody zgromadzonej w zbiorniku. Do usuwania związków fosforu można stosować wypełnienia zawierające związki wapnia.

Podczas filtracji przez złoża piaskowe lub żwirowe na ziarnach złoża rozwija się błona biologiczna – mikroorganizmy zdolne do biodegradacji zanieczyszczeń organicznych oraz transformacji i usuwania związków azotu. Rozwinięta powierzchnia właściwa materiału złoża filtracyjnego umożliwia adsorpcję zanieczyszczeń na powierzchni ziaren złoża.

Intensyfikacja procesów oczyszczania poprzez zastosowanie roślin

Wymienione procesy powinny być wspomagane przez obecność roślin wodnych i wodolubnych. Rozwój odpowiednich gatunków roślin wspomaga procesy biologicznego rozkładu substancji organicznej oraz prowadzi do okresowej bioakumulacji azotu i fosforu w tkankach roślin. Jak wykazują badania w tkankach roślin może być okresowo retencjonowane od 5 do 10 % ładunku doprowadzanego do systemu azotu. Ilość bioakumulowanego azotu zależy zarówno od rodzaju roślin jak i od fazy ich wzrostu. Wiosną w fazie szybkiego wzrostu pobór z otoczenia związków biogenych jak i mikroelementów jest największy. Można tę wiedzę zastosować w praktyce i na przykład wiosną wykosić części nadziemne roślin tak aby usunąć nagromadzone w nich związki biogenne. W

Tab. 8 zestawiono jednostkowy pobór związków biogennych przez wybredne gatunki roślin wodnych i wodolubnych, które można zastawać do zasiedlenia zbiornika (Kadlec i Knight, 1996).

Tab. 8 Pobór związków biogennych przez wybrane gatunki roślin

Gatunek	Bioakumulacja [kg/ha rok]	
	Azot	Fosfor
Pąka szerokolistna - <i>Typha latifolia</i>	500 ÷ 2 630	75 ÷ 403
Sit - <i>Juncus</i>	800	110
Sitowie – <i>Scirpus</i>	125	18
Trzcina pospolita - <i>Phragmites australis</i>	225	35
Wąkrota zwyczajna- <i>Hydrocotylo vulgaris</i>	540 ÷ 3 200	130 ÷ 770
Rzęsa drobna- <i>Lemna minor</i>	350 ÷ 1 200	116 ÷ 450
Salwinia - <i>Salvinia</i>	350 ÷ 1 700	92 ÷ 450

Dodatkowo rośliny wodne i wodolubne poprawiają natlenienie wód przyczyniając się do poprawy ich jakości. Roślinność hydrofitowa, w tym najchętniej stosowana trzcina pospolita, zapewnia między innymi: odpowiednio rozbudowaną powierzchnię korzeni i kłączy oraz tlen do rozwoju mikroorganizmów. Brix (1989) przeprowadził badania potencjału przenoszenia i uwalniania tlenu przez trzcinę pospolitą. Wykazał m.in., że ilość tlenu przenieszonego z nadziemnych części roślin do części podziemnych wynosiła 2,08 g O₂ m²/d, oraz określił, że potrzeby respiracji podziemnych części roślin stanowiły 2,06 g O₂ m²/d. W ten sposób wykazano, że do strefy korzeniowej następuje uwalnianie zaledwie 0,02 g O₂ m²/d. Natomiast inni autorzy wykazali, że w sprzyjających warunkach bytowania trzcina może uwalniać nawet do 12 g O₂ m²/d (Armstrong i Armstrong, 1990).



Rys. 23 Naturalny obszar podmokły. Źródło: <http://www.melbournewater.com.au/>

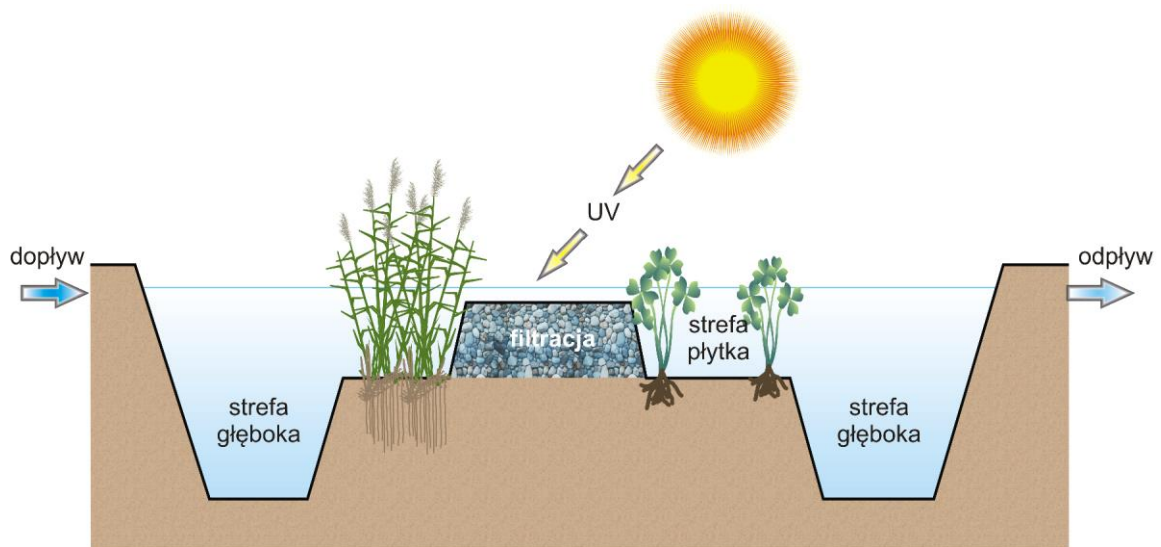
W przypadku systemów z retencją wody opadowej na powierzchni gruntu (zarówno typowo retencyjnych, jak i infiltracyjno-retencyjnych), duże znaczenie ma odpowiedni dobór roślinności (Edel, 2010; Burszta-Adamiak, 2011). Urządzenia obsadzone roślinami zapewniają o wiele skuteczniejsze usuwanie zanieczyszczeń z wody deszczowej (Słyś, 2013).

Edel (2010) podaje listę roślin, które można stosować do obsadzania urządzeń służących do zagospodarowania i oczyszczania wody deszczowej (Tab. 9).

. Wyróżnia przy tym cztery strefy:

- strefa 1 – obszar centralny urządzeń i ich brzegów, znajdujący się permanentnie pod wodą; można tu nasadzać rośliny tolerujące całkowite zanurzenie (rośliny wodne),
- strefa 2 – obszar stale lub okresowo znajdujący się poniżej zwierciadła wody; nasadza się tu rośliny wodolubne, tzw. roślinność szuwarowa,
- strefa 3 – obszar okresowo znajdujący się pod zwierciadłem wody,
- strefa 4 – obszar stale znajdujący się ponad zwierciadłem wody.

Naprzemienne stosowanie stref płytkiej i głębokiej wody sprzyja procesom sedymentacji, zapewnia możliwość dezynfekcji UV w strefie płytkiej oraz możliwość stosowania różnorodnych roślin : pływających, wynurzonych czy zanurzonych (Rys. 24).



WODA:

- sedymentacja
- parowanie
- rozcieńczanie
- tworzenie połączeń kompleksowych
- mikrobiologiczne utlenianie/redukcja
- strącanie
- adsorpcja

PODŁOŻE

GRUNTOWE:

- mikrobiologiczne utlenianie/redukcja
- wymiana jonowa
- strącanie
- adsorpcja i absorpcja
- chelatacja
- rozkład chemiczny (związki nieorganiczne)

HYDROFITY

- pobór i translokacja jonów
- adsorpcja
- rozkład związków organicznych
- filtracja

Rys. 24 Przekrój podłużny przez staw hydrofitowy, opracowanie własne.

Tab. 9 Gatunki roślin przeznaczonych do obsadzenia urządzeń do zagospodarowania wód deszczowych, na podstawie Edel (2010)

Strefa występowania	Gatunki roślin
Strefa 1	rześl hakowata, grążel żółty, grzebień biały, grzebieńczyk wodny, rdestnica kędzierzawa, jaskier wodny, przetacznik bobowniczek
Strefa 2	tatarak zwyczajny, żabieniec, roświta, turzyca błotna, turzyca sztywna, turzyca dzióbkowata, skrzyp bagienny, ponikło błotne, kosaciec żółty, jeżogłówka pojedyncza, jeżogłówka gałęzista, czyściec błotny, sit rozpięchły, sit siny, mozga trzcinowata, trzcina pospolita, rzepicha ziemnowodna, szczaw lancetowaty, strzałka wodna, turzyca pospolita, sitowie jeziorne, pałka wąskolistna, pałka szerokolistna, przetacznik bagienny
Strefa 3	olsza szara, dereń świdwa, topola biała, topola czarna, wierzba biała, wierzba uszata, wierzba krucha, wierzba purpurowa, wierzba witwa, podagrycznik pospolity, kaczeniec, pięćnik, tojeść zwyczajna, krwawnica pospolita, niezapominajka błotna, lepiężnik różowy, gwiazdnica gajowa, żywokost zwyczajny

W przypadku zbiorników retencyjnych możliwe jest zastosowanie pływających wysp obsadzonych roślinnością (Rys. 25, Rys. 26). Wyspy najczęściej zakotwione są na dnie zbiornika, mogą być również stosowane systemy mocowania do brzegów zbiornika. Zastosowanie wysp umożliwia wprowadzenie roślinności i intensyfikację procesów oczyszczania także w przypadku zbiorników betonowych, o stałej głębokości dna, w których nie pozostawiono miejsca dla rozwoju roślin (Rys. 26).



Rys. 25 Pływające wyspy z roślinnością wodną, zbiornik retencyjny w Parku Zdrojowym, Kudowa Zdrój, fot. E.Wojciechowska



Rys. 26 Widok na wyspy pływające na sztucznym zbiorniku, fot. A.Ostojski

Doboru roślinności należy dokonać z uwzględnieniem następujących aspektów i funkcji :

- intensyfikacji procesów oczyszczania (bioakumulacja, uwalnianie tlenu, tworzenie warunków dla procesów biochemicznych),
- łatwości w utrzymaniu – gatunki rosnące w pobliskim sąsiedztwie, nie wymagające co rocznego nasadzenia, łatwe do usuwania i wykaszania w celach konserwatorskich jak i w przypadku konieczności usuwania nadmiaru związków biogennych,
- estetycznych – dobór różnych wielkości roślin tak aby jedne nie zasłaniały drugich, różne odcienie zieleni, kształt i formy oraz czas kwitnienia pozwolą stworzyć unikalną kompozycję.

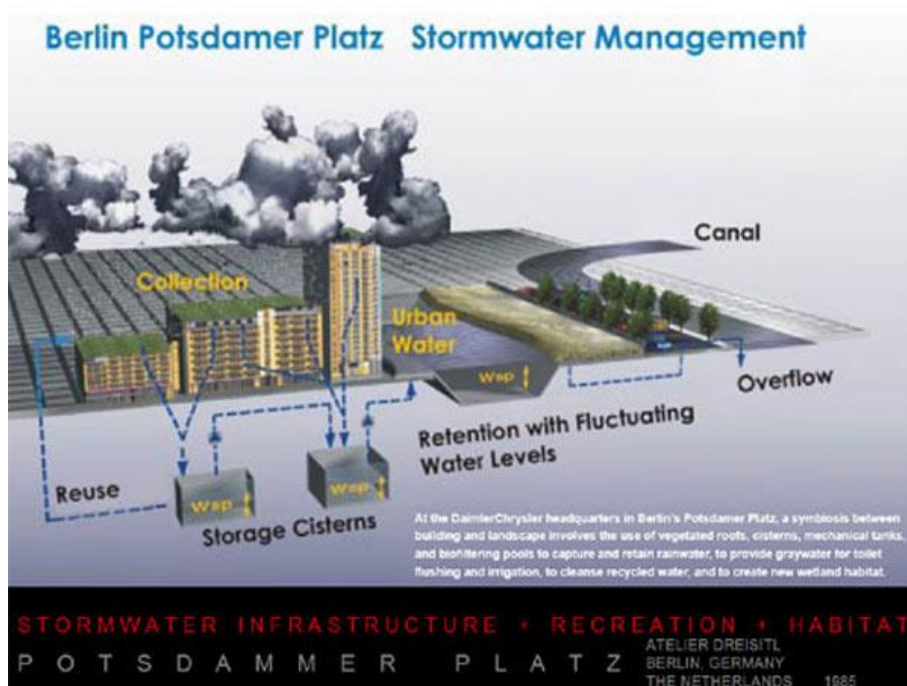
Zatem odpowiedni dobór roślin może zapewnić nie tylko podczyszczanie wody nagromadzonej w zbiorniku ale również poprawić jej natlenienie oraz funkcje estetyczne.

5. PRZYKŁADY ZRÓWNOWAŻONEGO GOSPODAROWANIA WODĄ OPADOWĄ

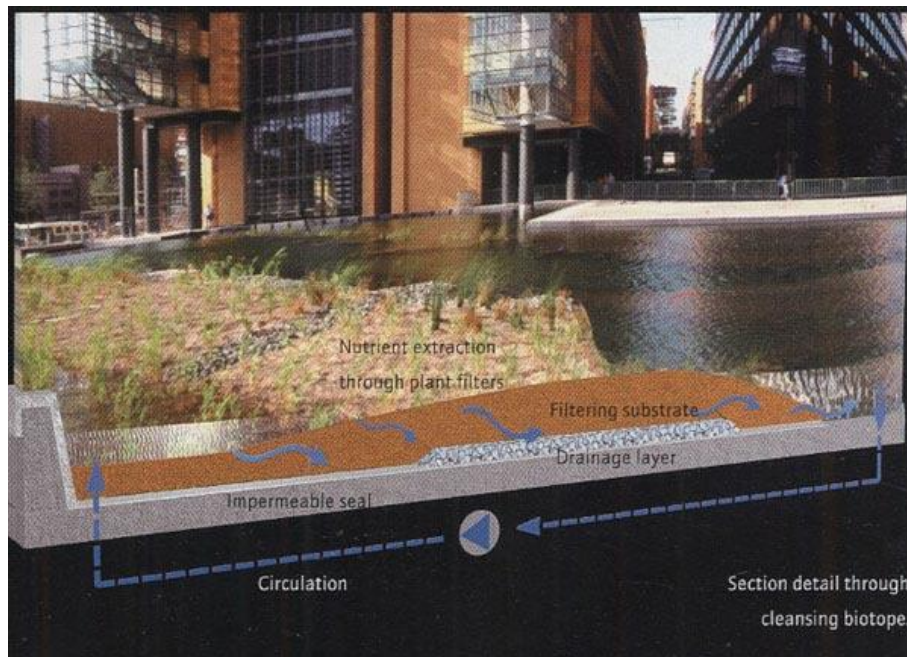
W ciągu ostatnich 20 lat systemy zrównoważonego gospodarowania wodą opadową wpisały się na stałe w krajobraz wielu miast i osiedli w Europie, USA, a także Azji i Australii. Ich podstawową funkcją pozostaje zmniejszenie przepływów kulminacyjnych w odbiornikach wód deszczowych, ale posiadają też niewątpliwe walory krajobrazowe, stanowiąc miejsce wypoczynku i rekreacji mieszkańców. Funkcje pełnione przez systemy zagospodarowania wód opadowych wpisują się w zasadę *ecosystem service*. W dalszych podrozdziałach przedstawiono przykłady *Water Sensitive Urban Design (WSUD)* – Projektowania miast wrażliwych na wodę.

5.1. Plac Poczdamski w Berlinie

Do najbardziej znanych przykładów WSUD należy Plac Poczdamski w Berlinie. Typowa zabudowa z lat 70-tych XX wieku została poddana rewitalizacji w latach 1997-98, według projektu biura architektonicznego Atelier Dreiseitl. Dachy budynków o łącznej powierzchni około 19 ha przekształcono w dachy zielone. Woda z dachów zielonych zbierana jest systemem drenażowym, a następnie odprowadzana jest do podziemnych zbiorników retencyjnych o pojemności ponad 3 miliony litrów. Zbiorniki zasilają sztuczne jezioro - Piano Lake położone przy Marlene Dietrich Platz (Rys. 27). Woda odpływająca z Piano Lake jest filtrowana przez złożo hydrofitowe (Rys. 28), a następnie odpływa do Landwehrkanal. Czas obiegu wody w systemie wynosi 3 dni. Jakość wody oczyszczanej w złożu hydrofitowym jest systematycznie monitorowana. Cały system został pięknie wkomponowany w przestrzeń miejską, stając się jednym ze znaków firmowych miasta (Rys. 29, Rys. 30).



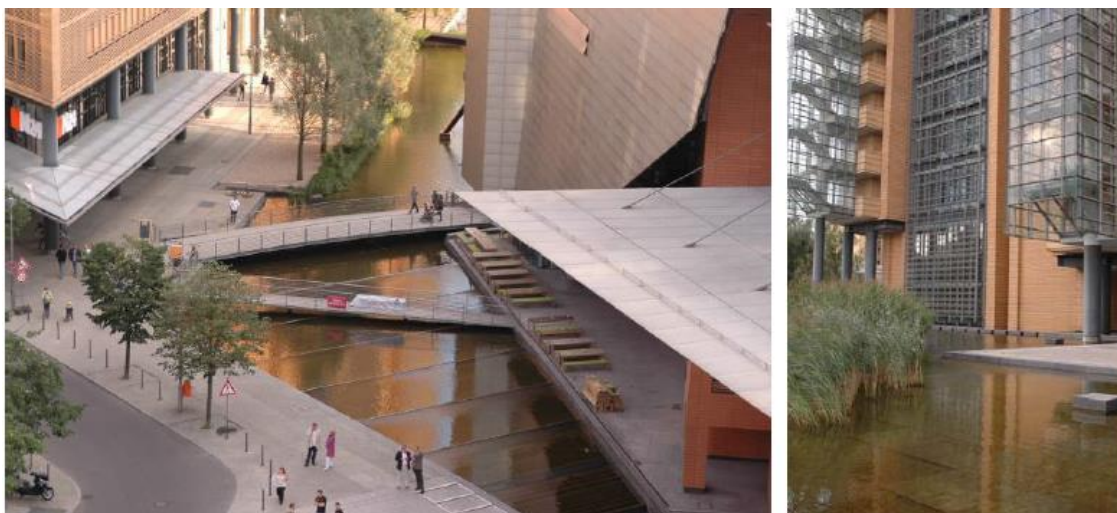
Rys. 27 Schemat systemu zagospodarowania wody opadowej na terenie Placu Poczdamskiego w Berlinie, © Atelier Dreiseitl



Rys. 28 Schemat filtra hydrofitowego do oczyszczania wody odpływającej z Piano Lake na Marlene Dietrich Platz w Berlinie, © Atelier Dreiseitl



Rys. 29 Jezioro Piano Lake na Marlene Dietrich Platz, Berlin, widoczna roślinność hydrofitowa porastająca zbiornik © J. Lee, Hoyer i in. (2011)



Rys. 30 Widok kaskady odprowadzającej wodę z podziemnych zbiorników do Piano Lake (po prawej); fragment Piano Lake z widoczną roślinnością hydrofitową (po lewej), © J. Lee, Hoyer i in. (2011)

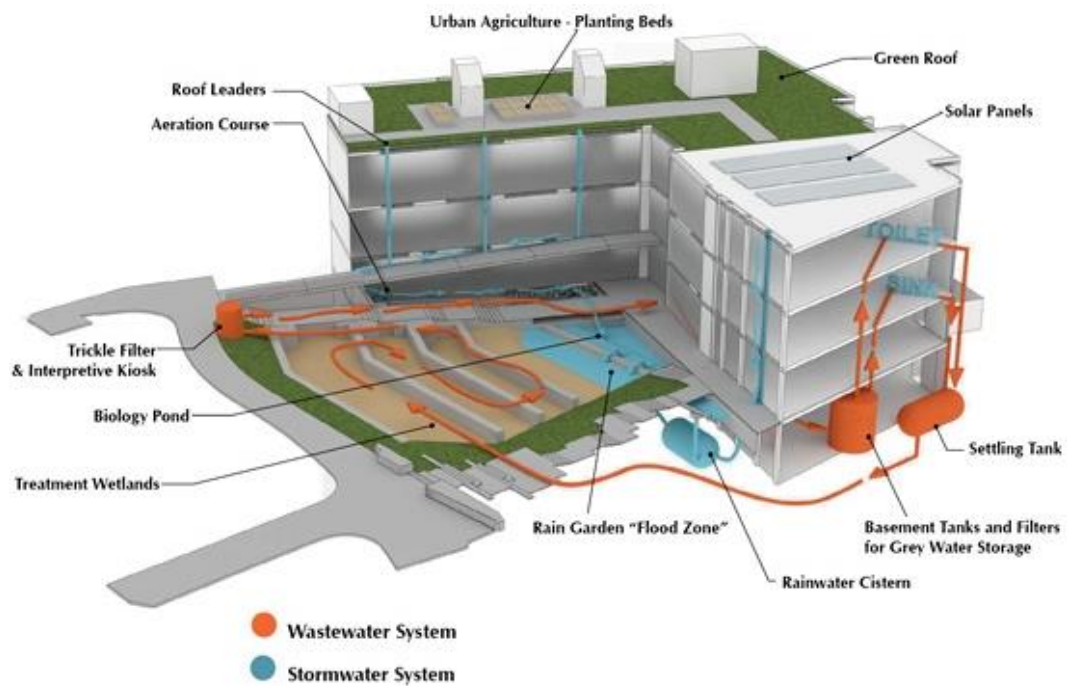
Przedstawione fotografie prezentują ciekawą architektonicznie aranżację uzyskaną w wyniku wyeksponowania wody deszczowej w ścisłym centrum Berlina, charakteryzującym się szczelną zabudową. Wprowadzenie do betonowego zbiornika roślinności hydrofitowej przyczyniło się do realizacji idei *ecosystem services*: oczyszczania wody, wzrostu bioróżnorodności i tworzenia warunków siedliskowych dla innych gatunków, poprawy mikroklimatu. Istotnym elementem systemu jest kaskada odprowadzająca wody z podziemnych zbiorników do Piano Lake, wykonana w postaci szerokich betonowych stopni (Rys. 30). Zastosowanie kaskady pozwala na natlenianie spływającej wody, co ma istotne znaczenie dla jej jakości. Płynąca warstwa wody spływającej kaskadą pozwala dodatkowo na dezynfekcję wody wskutek działania promieniowania UV.

5.2. Szkoła Sidwell Friends, Waszyngton, Stany Zjednoczone

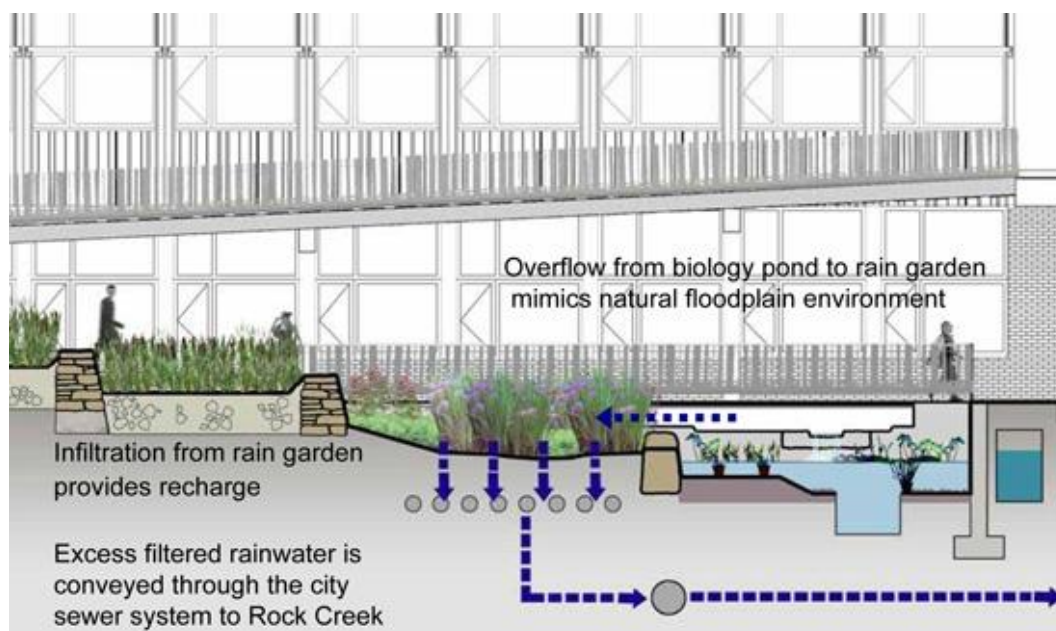
Przykładem systemu zbierania, retencji i oczyszczania wody opadowej na terenie placówki edukacyjnej jest obiekt działający na terenie prywatnej szkoły Sidwell Friends w Waszyngtonie. Na dziedzińcu szkoły znajduje się trzystopniowy system hydrofitowy służący do oczyszczania ścieków szarych powstających w budynku. Natomiast woda deszczowa zbierana z powierzchni dachów zielonych, gromadzona jest w podziemnym zbiorniku, a stamtąd przepompowywana jest do stawu retencyjnego porośniętego roślinnością, skąd następnie przelewa się do ogrodu deszczowego (ang. *rain garden*). Ogród deszczowy stanowi również strefę zalewową, która może być zatopiona w okresie bardziej intensywnych opadów (Rys. 31, Rys. 32). Woda przelewająca się do ogrodu deszczowego infiltrowuje do gruntu poprzez system drenażowy. Nadmiar wody kierowany jest do miejskiej sieci kanalizacyjnej (Rys. 33).



Rys. 31 System oczyszczania ścieków szarych oraz wody opadowej na dziedzińcu prywatnej szkoły Sidwell Friends w Waszyngtonie (1 – trzystopniowy system ziół hydrofitowych do oczyszczania ścieków szarych, 2 – ogród deszczowy, 3 – staw retencyjny); Źródło: <http://www.archdaily.com/32490/ad-interviews-kieran-timberlake>



Rys. 32 System do oczyszczania ścieków szarych (kolor pomarańczowy) oraz do zbierania i oczyszczania wody deszczowej na dziedzińcu szkoły Sidwell Friends w Waszyngtonie. Źródło: <http://www.solaripedia.com/images/large/3452.jpg>



Rys. 33 Schemat systemu do zbierania, retencjonowania i oczyszczania wody opadowej na terenie szkoły Sidwell Friends w Waszyngtonie; Źródło: <http://www.solaripedia.com/images/large/3456.jpg>

Wśród funkcji użytkowych (*ecosystem service*) systemu w szkole Sidwell Friends można wymienić nie tylko oczyszczanie i retencję wody deszczowej, czy funkcje estetyczne. Bardzo istotna jest w tym wypadku bez wątpienia funkcja edukacyjna, pozwalająca na promowanie rozwiązań zrównoważonych oraz pro-ekologicznych postaw społecznych. Wydaje się, że rozwiązania wprowadzane na terenie szkół czy też kampusów uniwersyteckich powinny spełniać funkcje edukacyjne, umożliwiając prowadzenie zajęć praktycznych i teoretycznych dla różnych kierunków. Systemy takie dają realną szansę realizacji projektów studenckich, ze szczególnym naciskiem na projekty grupowe i interdyscyplinarne pozwalające na zrozumienie znaczenia i wypracowanie właściwych ścieżek współpracy pomiędzy studentami różnych wydziałów i kierunków.

5.3. Elementy zrównoważonego zagospodarowania wód opadowych na terenie Gdańska

Gdańsk, położony w delcie Wisły, na skraju wysoczyzny Pojezierza Kaszubskiego, narażony jest na powodzie i podtopienia spowodowane wieloma uwarunkowaniami, do których należą:

- Położenie wysokościowe miasta względem morza – tereny położone poniżej poziomu morza zagrożone są zatopieniem;
- Zagrożenie spowodowane wysokim stanem Zatoki Gdańskiej podczas sztormów i wiatrów z kierunku północnego – wezbrania sztormowe, przenoszą się w kierunku łądu na rzeki Martwą Wisłę i Motławę. Jeśli równocześnie wystąpi wysoki stan Motławy i Raduni, może dojść do podpiętrzenia w strefie wałów cofkowych z możliwością ich przerwania;

Wybrane aspekty zrównoważonego gospodarowania wodami opadowymi na terenie zurbanizowanym

- Wskutek położenia miasta w delcie Wisły istnieje zagrożenie powodzią i zatopieniem (terytorium depresyjne) w przypadku przerwania gdańskiego Wału Wiślanego;
- Zróżnicowanie wysokościowe występujące na terenie miasta przekraczające 100 m, a nawet dochodzące do 150 m. W ostatnich latach postępuje urbanizacja górnej części miasta i uszczelnienie terenu w tym rejonie, co przekłada się na wzrost objętości spływów i szybką ich koncentrację. Potoki spływające z górnej części miasta mają bardzo duże spadki i praktycznie charakter cieków górskich. Stwarza to dość duże zagrożenie powodziowe dla dzielnic położonych na tzw. dolnym tarasie.
- Specyficzne warunki hydrologiczne polderów miejskich – przy dużych opadach nawałnych i rozlewnych powstają spływy do pompowni polderowych przekraczające ich wydajność, w następstwie czego występuje tak zwana powódź opadowa wewnątrz polderowa.

Na Rys. 34 pokazano mapę zagrożeń powodziowych Gdańska, na której zaznaczono tereny szczególnie narażone na różne typy powodzi.



Rys. 34 Zagrożenie powodziowe na terenie Gdańska, Gdańskie Melioracje Sp. z o.o.; Źródło: <http://www.gdmel.pl/gdanskie-melioracje>

Z uwagi na swoje unikatowe i skomplikowane położenie Gdańsk często doświadczał powodzi. W dawniejszych czasach największe zagrożenie stanowiła Wisła. Powodzie spowodowane przerwaniem wału na Wiśle wystąpiły m.in. w latach 1829, 1840 i 1888, przynosząc ogromne szkody. W znacznej mierze sytuacja ta uległa poprawie, a niebezpieczeństwo powodzi – ograniczeniu, w wyniku ukształtowania nowego koryta Wisły w

drugiej połowie XIX wieku. Po tragicznej w skutkach powodzi w marcu 1888 r. ówczesne władze miasta podjęły decyzję o wykonaniu Przekopu Wisły, który został otwarty w 1895 r. Od tego czasu nie wystąpiło większe zagrożenie powodziowe ze strony głównego koryta Wisły. Również wprowadzenie w XX wieku nowych metod lodolamania (lodolamacze rzeczne) niewątpliwie ograniczyło zagrożenie tzw. powodziami zatorowymi (Brodnicka, 2013).

W ostatnich latach największe zagrożenie stwarzają powodzie opadowe, spowodowane przez deszcze nawalne oraz gwałtowny spływ z terenów podlegających urbanizacji. Zdarzenia takie miały miejsce w lipcu 2001 r. oraz w lipcu 2016 r., które dokładniej opisano w Rozdziale 3. Szczególnie dotkliwe były skutki powodzi w 2001 roku, na którą miasto nie było przygotowane. Zniszczenia na terenie Gdańska wystąpiły głównie w zlewni Kanału Raduni oraz potoku Strzyża. Zły stan techniczny oraz niedostateczna przepustowość (spowodowana zamuleniem i zarośnięciem koryta) Kanału Raduni były przyczyną przerwania w pięciu miejscach prawego wału Kanału oraz zalania terenów dzielnic Święty Wojciech, Lipce i Orunia (Brodnicka, 2013). W ciągu kolejnych 15 lat, po tragicznym w skutkach wydarzeniu powodziowym z dnia 9 lipca 2001 r., miasto wydało 374 mln złotych na inwestycje związane z odprowadzaniem wód opadowych. Do najważniejszych działań należała rewitalizacja i przebudowa Kanału Raduni na odcinku 7,3 km, prowadzona w ramach projektu „Kompleksowa ochrona przeciwpowodziowa Żuław – Etap I” oraz budowa nowych zbiorników retencyjnych, których liczba wzrosła z 26 w 2001 roku do 49 w roku 2016. a ich łączna pojemność z przeszło 152 tysięcy m³ do prawie 679 tysięcy m³. Przebudowano również niektóre z istniejących zbiorników, na przykład zbiornik Kiełpinek, którego pojemność retencyjna została powiększona z niecałych 20 tysięcy m³ do 124 tysięcy m³. Wiele istniejących zbiorników poddano modernizacji, m.in. czyszczeniu, przebudowie budowli piętrzących i przelewów. Zbiorniki retencyjne budowane na potokach stanowią najważniejszy element ochrony przeciwpowodziowej Gdańska. Dzięki retencji w zbiornikach następuje opóźnienie spływu wód w okresie intensywnych opadów.

Gdańskie zbiorniki retencyjne stanowią nie tylko ważny element ochrony miasta przed powodzią. Podczas budowy nowych zbiorników i modernizacji już istniejących zwraca się uwagę na estetykę otoczenia. Wokół zbiorników budowane są ścieżki rowerowe, place zabaw dla dzieci, siłownie, ustawiane są ławki (Rys. 35-Rys. 37). Dzięki temu gęsto zabudowane dzielnice mieszkaniowe zyskują tereny służące rekreacji i aktywnemu wypoczynkowi. Gdańskie zbiorniki retencyjne stwarzają także warunki siedliskowe dla wielu gatunków roślin i zwierząt, co przyczynia się do wzrostu bioróżnorodności na terenie zurbanizowanym. W rezultacie system zbiorników retencyjnych na terenie Gdańska jest przykładem łączenia wielu usług ekosystemowych (ecosystem services) – poczynając od funkcji regulacyjnej, która była powodem ich budowy, poprzez funkcje kulturowe i wspomagające.



Rys. 35 Plac zabaw i siłownia przy zbiorniku retencyjnym nr 8 – Spacerowa, na Potoku Oliwskim w Gdańsku, fot.: K. Matej-Łukowicz



Rys. 36 Obszar rekreacyjny przy zbiorniku retencyjnym nr 3 – Pomorska, na Potoku Oliwskim w Gdańsku, fot.: K. Matej-Łukowicz



Rys. 37 Obszar rekreacyjny wokół zbiornika retencyjnego przy ul. Okrzei w Sopocie, fot.: M. Gajewska

Miasto Gdańsk planuje dalsze inwestycje w ramach projektu UE „Systemy gospodarowania wodami opadowymi na terenach miejskich”. Wartość inwestycji realizowanych w ramach projektu do roku 2020 ma wynieść 120 mln złotych. Przewiduje się budowę nowych odcinków kanalizacji deszczowej oraz budowę zbiorników retencyjnych Dolne Młyny, Jaśkowy Młyn i Jaśkowa Dolina w zlewni Strzyży, oraz zbiornika Strzelniczka II. Dodatkowo, jak stwierdzono w Raporcie dotyczącym ulewy z dn. 14-15 lipca (<http://www.gdansk.pl>), opady z 14 lipca wykazały potrzebę budowy dodatkowych dwóch zbiorników retencyjnych na terenie Trójmiejskiego Parku Krajobrazowego przy Potoku Strzyży i Potoku Rynarzewskim na odcinku leśnym, powyżej ogrodu zoologicznego. Oprócz środków inwestowanych w ramach projektu UE, miasto przewidziało w swoim budżecie 14,6 mln zł w roku 2016 oraz 20 mln złotych w roku 2017 na kolejne inwestycje związane z wodami opadowymi.

5.4. Zbiornik retencyjny na Potoku Karlikowskim ul. Okrzei w Sopocie

Miasto Sopot uważa za jedno z priorytetowych zadań zapewnienie odpowiedniej jakości plaż i kąpielisk morskich na swoim terenie. Jako źródło zanieczyszczeń wnoszące do wód Zatoki znaczące ilości substancji biogennych, a także zawiesin i materii organicznej, zidentyfikowano wyloty potoków oraz kolektorów ścieków deszczowych. Innym problemem związanym z wodami opadowymi na terenie miasta były wylania potoków w okresach intensywnych opadów, spowodowane brakiem zbiorników retencyjnych. W ramach projektu „Ochrona wód Zatoki Gdańskiej – budowa i modernizacja systemu odprowadzania wód opadowych w Sopocie – Etap I”, finansowanego ze środków Funduszu Spójności w ramach Programu Operacyjnego Infrastruktura i Środowisko, podjęto działania inwestycyjne zmierzające do uporządkowania sposobu odwodnienia terenu oraz uporządkowania systemu kanalizacji deszczowej w Sopocie (<http://www.miasto.sopot.pl>). W ramach trzech zadań projektu przewidziano wykonanie następujących obiektów:

Wybrane aspekty zrównoważonego gospodarowania wodami opadowymi na terenie zurbanizowanym

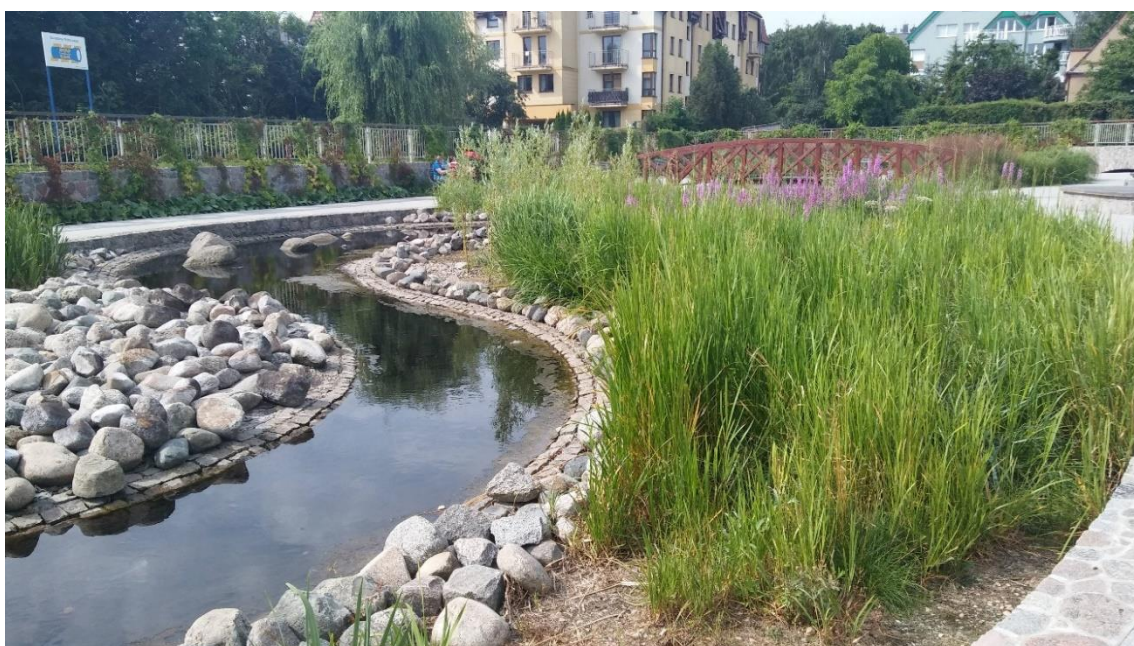
- wyprowadzenie wód potoków sopockich w głąb Zatoki Gdańskiej na odległość 345-375 m,
- budowa otwartego zbiornika retencyjnego na Potoku Karlikowskim o pojemności 325 m³ na w rejonie ulic Karlikowskiej i Okrzei (Rys. 38-Rys. 42),
- montaż urządzeń podczyszczających wody opadowe na kanałach deszczowych przed wylotami sopockich potoków (31 sztuk).

W opisie wyników projektu zamieszczonym na stronie Urzędu Miasta (<http://www.miasto.sopot.pl>) podano, że w wyniku realizacji projektu nastąpi poprawa jakości wód opadowych spływających do Zatoki Gdańskiej. Władze spodziewają się, że w rezultacie podjętych działań nastąpi 100-krotne obniżenie stężeń unoszonych zanieczyszczeń, co zmniejszy ich wpływ na stan jakości wód bezpośrednio przy brzegu. Umożliwi to funkcjonowanie kąpielisk wzdłuż brzegu morskiego, leżącego w granicach administracyjnych Sopotu, co pozytywnie wpłynie na zdrowie mieszkańców oraz podniesie walory turystyczne miasta.

Na uwagę zasługuje zrealizowany już zbiornik retencyjny na Potoku Karlikowskim, w rejonie ulic Okrzei i ul. Karlikowskiej. Oprócz funkcji retencyjnej, zbiornik posiada niewątpliwe walory estetyczne (Rys. 38-Rys. 42). Zamiast typowego zbiornika utworzono nieckę, przez którą przepływa Potok. W bezpośrednim sąsiedztwie koryta Potoku nasadzono różne gatunki roślin, z których część (np. trzcina) charakteryzuje się dużym potencjałem usuwania zanieczyszczeń, natomiast inne podnoszą estetykę miejsca. Rośliny zostały posadzone na groblach wykonanych z gruboziarnistego materiału, co umożliwia filtrację wód Potoku podczas wyższych stanów wody i sprzyja poprawie jakości wody. Wewnątrz niecki, w pobliżu koryta Potoku, powstał teren wypoczynkowo-rekreacyjny dla mieszkańców i turystów, ustawiono ławki, wykonano dekoracyjne drewniane mostki nad korytem Potoku. Natomiast podczas intensywnych opadów zagłębienie niecki (łącznie z istniejącymi ciągami pieszymi, terenami rekreacyjnymi i roślinnością) wypełnia się wodą. Dzięki w ten sposób utworzonej pojemności retencyjnej można uniknąć podtopienia ulic i sąsiednich terenów mieszkaniowych. Na Rys. 42 pokazano widok na zbiornik w dniu 15 lipca 2016 r., tuż po wystąpieniu rekordowego opadu o wysokości 160 mm.



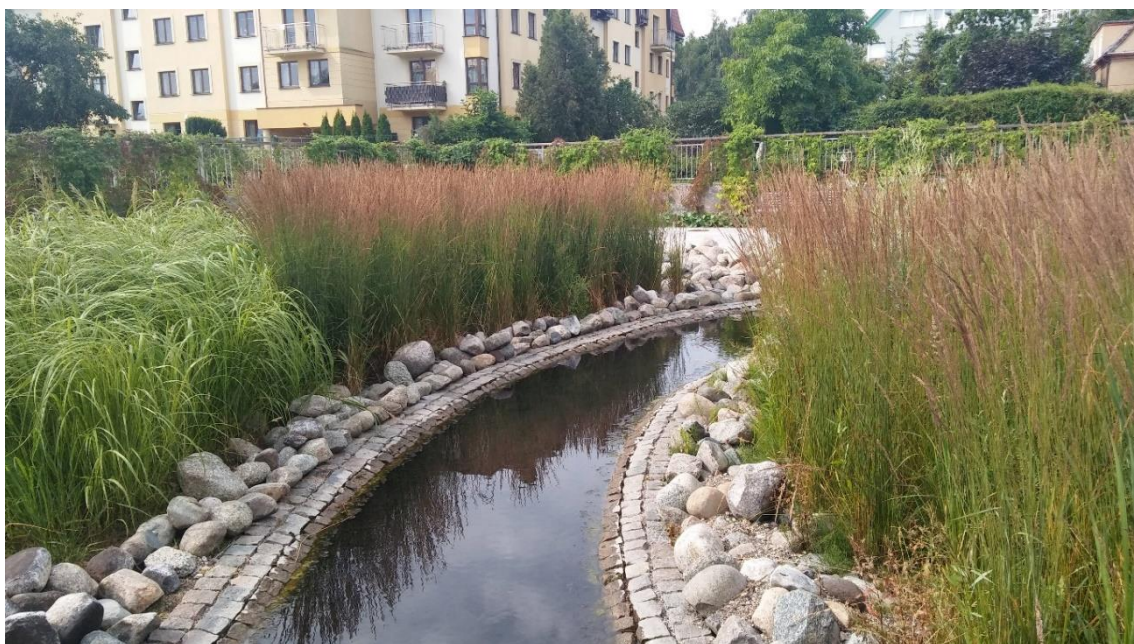
Rys. 38 Zbiornik na Potoku Karlikowskim w rejonie ul. Okrzei i ul. Karlikowskiej w Sopocie – koryto Potoku i nasadzenia roślinne wewnątrz niecki. Fot. E. Wojciechowska



Rys. 39 Zbiornik na Potoku Karlikowskim w rejonie ul. Okrzei i ul. Karlikowskiej w Sopocie – koryto Potoku i nasadzenia roślinne wewnątrz niecki. Fot. E. Wojciechowska



Rys. 40 Zbiornik na Potoku Karlikowskim w rejonie ul. Okrzei i ul. Karlikowskiej w Sopocie – brukowana rynna odprowadzająca wody z wpustu deszczowego do koryta Potoku. Fot. E.Wojciechowska



Rys. 41 Zbiornik na Potoku Karlikowskim w rejonie ul. Okrzei i ul. Karlikowskiej w Sopocie – nasadzenia hydrofitów wzdłuż koryta Potoku. Fot. E. Wojciechowska



Rys. 42 Niecka zbiornika wypełniona wodą po rekordowym opadzie w dn. 15 lipca 2016 r. Fot. E.Wojciechowska

5.5. System hydrofitowy w ogrodzie zoologicznym w Gdańsku Oliwie

Przykładem sposobu podczyszczania spływów powierzchniowych zasilających potoki w terenie miejskim jest system zastosowany w Miejskim Ogrodzie Zoologicznym w Gdańsku (ZOO). Jego zadaniem jest ochrona Potoku Rynarzewskiego – głównego dopływu Potoku Oliwskiego przed zanieczyszczeniami spływającymi z terenów wybiegów dla zwierząt (Rys. 43, Rys. 44).

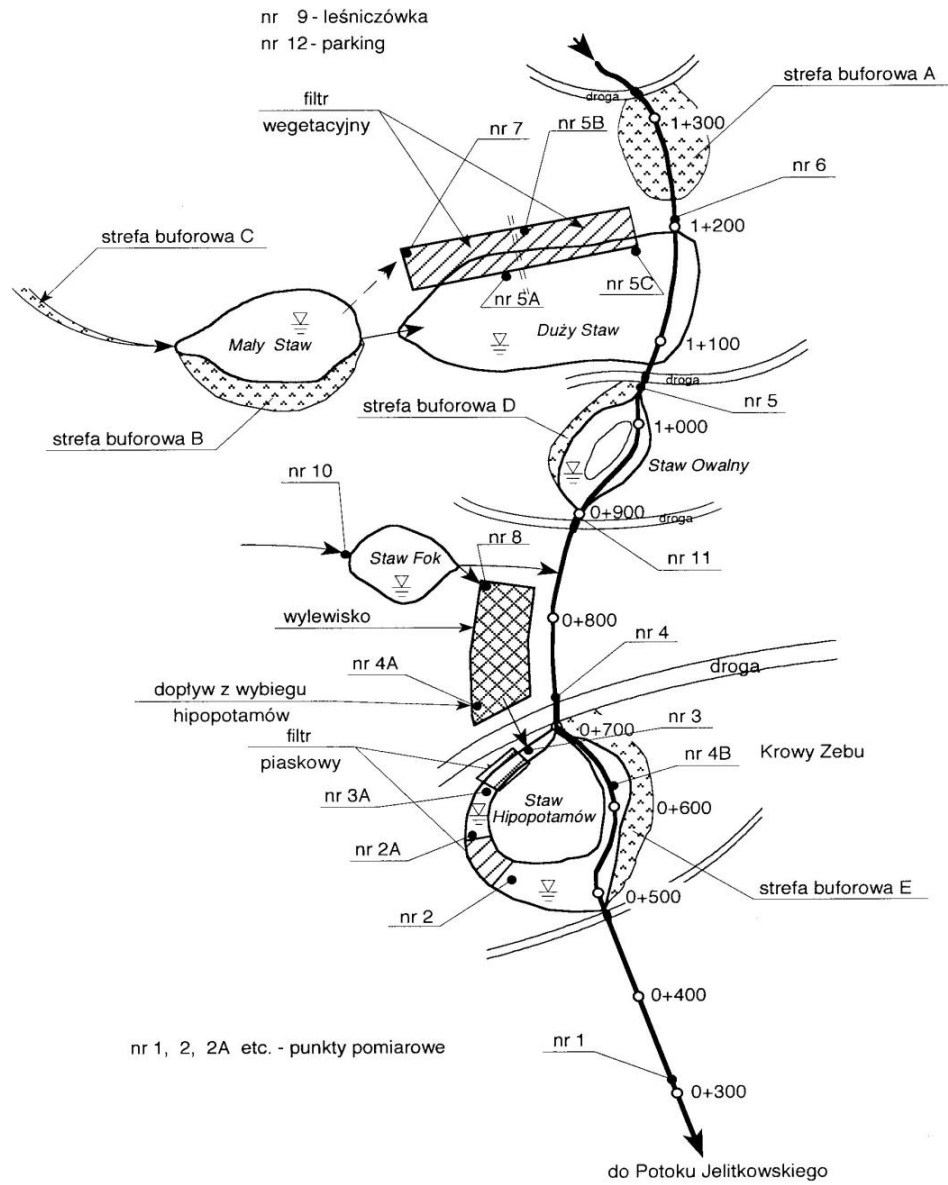


Rys. 43 Ogród zoologiczny w Gdańsku Oliwie – staw hipopotamów karłowatych i kapibar. Fot. K. Matej-Łukowicz.

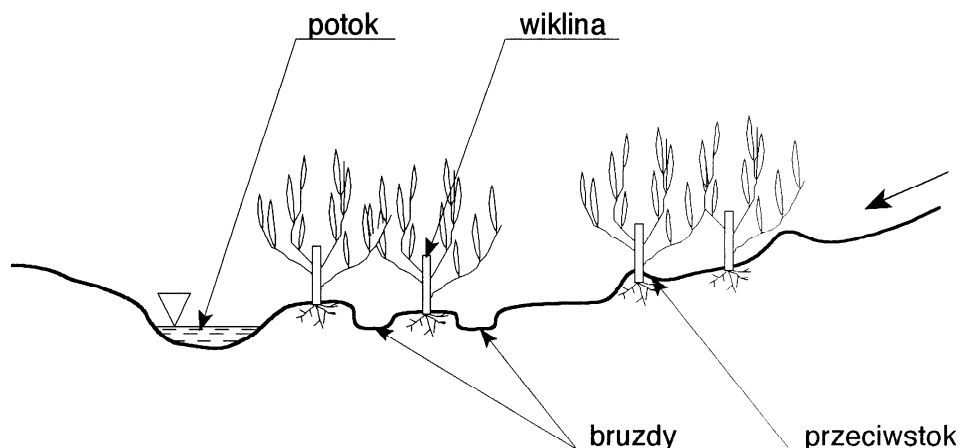


Rys. 44 Ogród zoologiczny w Gdańsku – staw pelikanów (VI 2016) Fot. K. Matej-Lukowicz.

W celu ochrony wód potoku zaprojektowano zespół urządzeń hydrofitowych składający się z dwóch filtrów piaskowych, filtra roślinnego, wylewisko o łącznej powierzchni 3100 m² oraz pięć stref buforowych obsadzonych wikliną, o łącznej powierzchni 6650 m². Strefy buforowe rozmieszczone na obrzeżach stawów oraz wzdłuż koryta potoku (Rys. 45). Projektując strefy buforowe zastosowano zmienny spadek – strefy uformowano stosując na przemian bruzdy i przeciwstoki, aby zwiększyć retencję spływających wód (Rys. 46) (Obarska-Pempkowiak (1996). Dzięki stworzeniu odpowiednich warunków umożliwiających rozwój hydrofitów osiągnięto zwiększoną intensywność procesów utleniania i redukcji, które przy wspomaganie procesami sorpcji, sedymentacji i asymilacji zapewniły dobrą skuteczność usuwania zanieczyszczeń ze ścieków (Obarska-Pempkowiak i KołECKA, 2007; Matej-Lukowicz i in., 2016) (Tab. 10).



Rys. 45 Schemat systemu hydrofitowego zastosowanego w ogrodzie zoologicznym w Gdańsku w celu ochrony wód Potoku Rynarzewskiego.



Rys. 46 Buforowa strefa wiklinowa wzdłuż koryta Potoku Rynarzewskiego – przekrój poprzeczny.

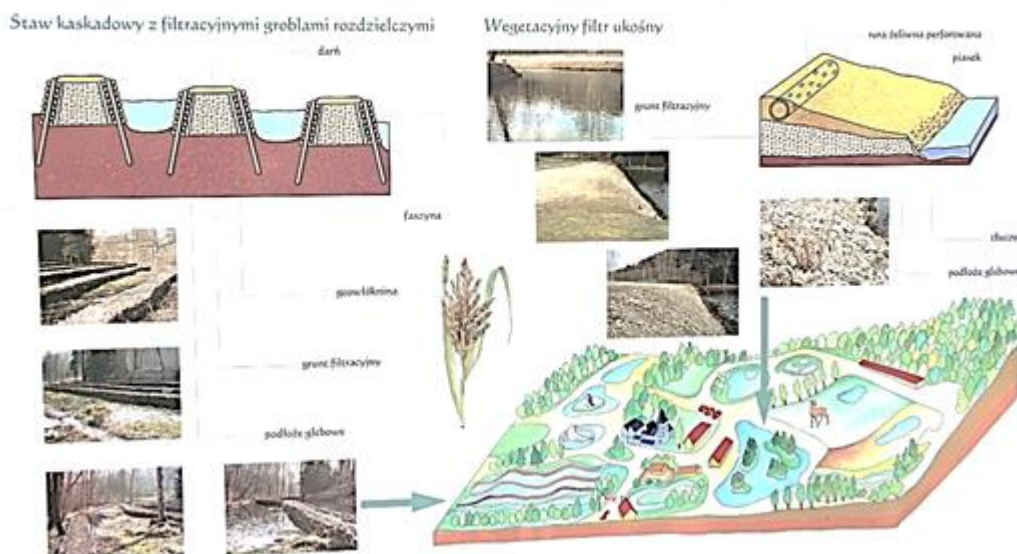
System hydrofitowy w gdańskim ZOO powstał w 1992 roku i jest nadal wykorzystywany, zapewniając dobrą jakość wód Potoku Rynarzewskiego (Matej-Lukowicz i in., 2016). Zastosowane urządzenia wkomponują się w teren ZOO, pozostając niewidoczne dla zwiedzających. O istnieniu systemu informuje specjalna tablica, umieszczona przy Alejce Słonia (Rys. 47).

Tab. 10 Średnie wartości stężeń zanieczyszczeń [mg/dm³] w wybranych punktach pomiarowych przed wybudowaniem obiektu (przed) oraz po dwuletniej eksploatacji (po) obiektów w Oliwie, według Obarska-Pempkowiak i in. (2010).

Parametr [mg/dm ³]	Dopływ do ZOO		Odpływ z Dużego Stawu		Odpływ ze Stawu Owального		Odpływ z ZOO	
	przed	po	przed	po	przed	po	przed	po
N _{og}	3,1	1,7	6,6	1,8	6,6	2,0	9,6	2,5
PO ₄ ³⁻	0,4	0,2	0,4	0,2	0,4	0,25	0,6	0,15
BZT ₅	-	2,8	3,2	3,0	3,1	3,4	3,5	2,8
ChZT _{Mn}	2,9	6,5	8,5	4,1	8,5	3,7	10,0	4,8
N-NH ₄ ⁺	0,0	0,1	0,5	0,2	0,5	0,2	1,6	0,1
N-NO ₃ ⁻	0,0	0,4	0,3	0,4	0,3	0,5	0,4	0,5
N-NO ₂ ⁻	0,0	0,0	ślad	0,0	ślad	0,02	ślad	0,02
N _{org}	3,1	1,2	5,6	1,2	5,6	1,4	8,0	1,9

FILTRY EKOLOGICZNE

zastosowane w oliwskim ogrodzie zoologicznym



Rys. 47 Tablica informująca o zastosowanym rozwiązaniu technologicznym na terenie ZOO w Gdańsku. Fot. M. Gajewska

5.6. Odkryj potok – projekt zbiornika retencyjnego na Potoku Królewskim na terenie kampusu Politechniki Gdańskiej

5.6.1. Charakterystyka Potoku Królewskiego

Zlewnia Potoku Królewskiego położona jest w całości w granicach administracyjnych Gdańska, na terenie dzielnic Piecki – Migowo, Suchanino, Wrzeszcz Górny, Wrzeszcz Dolny. Powierzchnia terenu zlewni Potoku Królewskiego obejmuje 2,996 km². Za początek Potoku Królewskiego, zgodnie z mapami kanalizacji deszczowej, uznaje się studzienkę rewizyjną zlokalizowaną przy zachodniej ścianie Gdańskiego Parku Naukowo-Technologicznego, w rejonie skrzyżowania ulic Rakoczego i Trzy Lipy (Gdańskie Melioracje, 2006). Potok Królewski ma długość 3,945 m i uchodzi do Potoku Strzyża w rejonie południowej części Wrzeszcza (Park nad Strzyżą). Potok Królewski posiada jeden dopływ lewobrzeżny – Potok Jaśkowy.

Użytkowanie terenu zlewni ma charakter silnie zróżnicowany. Występuje tu zabudowa mieszkaniowa niska, średnia oraz wysoka (blokowa), obiekty użyteczności publicznej, obiekty usługowo-handlowe, parkingi, obiekty sportowo-rekreacyjne (boisko, korty tenisowe), tereny zielone (lasy, parki, ogródki działkowe), domy studenckie oraz kampus Politechniki Gdańskiej i teren Wydziału Chemii Uniwersytetu Gdańskiego. Teren zlewni przecinają ruchliwe trasy komunikacyjne: Al. Grunwaldzka, ul. Rakoczego i ul. Sobieskiego, a w dolnej części zlewni biegną tory kolejowe. Teren zlewni Potoku przedstawiono na mapie (Rys. 48).

Rzeźba terenu na obszarze zlewni Potoku Królewskiego jest także zróżnicowana. W górnej i środkowej części zlewni jak i ciekowi spadek terenu ma kierunek prostopadły do koryta Potoku, natomiast w dolnej części zlewni

teren opada w kierunku ujścia do Potoku Strzyża. Najwyższy punkt na terenie zlewni to wierzchołek wzniesienia (90 m n.p.m.), natomiast najniższy punkt (5,4 m n.p.m.) mieści się w przekroju zamykającym – w miejscu ujścia Potoku Królewskiego do Potoku Strzyża.

Pod względem uszczelnienia terenu można wyróżnić zarówno tereny nieuszczelnione (zielone, rekreacyjne), uszczelnione w stopniu poniżej 65% (zabudowa jednorodzinna oraz zabudowa średnia) oraz tereny uszczelnione w stopniu powyżej 65% (ulice, parkingi, zabudowa mieszkaniowa wysoka, centra handlowo-usługowe). Układ zlewni jest typowy – w górnej części występuje większy udział terenów o lepszej przepuszczalności, natomiast dolna część zlewni charakteryzuje się większym uszczelnieniem. W połączeniu z dość znacznym spadkiem terenu zlewni oraz samego Potoku Królewskiego powoduje to szczególne narażenie dolnej części zlewni na lokalne podtopienia i zalania w przypadku wystąpienia zjawisk opadowych o znacznej intensywności.

W latach 70-tych XX wieku Potok Królewski został skanalizowany, co doprowadziło do gwałtownego uszczelnienia terenu zlewni oraz zachwiania równowagi hydrologicznej na omawianym terenie.

Na terenie zlewni znajdują się dwa zbiorniki retencyjne: zbiornik Wileńska I oraz zbiornik Uphagena, położony w rejonie ul. Uphagena i Al. Grunwaldzkiej we Wrzeszczu, będący miejscem połączenia Potoku Królewskiego oraz jego lewobrzeżnego dopływu – Potoku Jaśkowego). Dodatkowo w środkowym biegu Potoku, za ogródkami działkowymi, zlokalizowany jest piaskownik.

Zlewnia Potoku Królewskiego jest zlewnią niekontrolowaną. Rejestrowane w sposób ciągły są jedynie wysokości opadu atmosferycznego na terenie stacji meteorologicznej Politechniki Gdańskiej. Brak jest natomiast kontroli przepływu. Oznacza to, że wszelkie założenia dotyczące wielkości przepływu w Potoku mają charakter przybliżony. Przy ich wyznaczaniu można opierać się na relacjach pomiędzy stanami wody w zbiornikach Wileńska I i Uphagena a sporadycznie mierzonymi natężeniami przepływu poniżej tych zbiorników. W praktyce obserwuje się bardzo dużą rozpiętość (nierejestrowanych) przepływów Potoku w jego środkowym biegu, od wartości bardzo niskich, wręcz zaniku przepływu w okresach suchych, do przepływów powodujących podtopienia w okresach intensywnych opadów, które można obserwować w rejonie ulicy Sobieskiego wzdłuż trasy Potoku). Należy przy tym podkreślić, że przepływ Potoku jest stosunkowo niewielki, natomiast gwałtowne wzrosty przepływu podczas zjawisk opadowych spowodowane są znacznym nachyleniem zlewni, wysokim stopniem uszczelnienia powierzchni oraz brakiem odpowiedniej zabudowy hydrotechnicznej, w tym przede wszystkim zbiorników retencyjnych w środkowym biegu Potoku.

Koryto Potoku w jego górnym i środkowym biegu znajduje się w złym stanie technicznym, w wielu miejscach przepływ jest utrudniony wskutek naniesionego rumowiska, teren jest nieuporządkowany. W dolnym biegu, w rejonie zbiornika Uphagena oraz ujścia Potoku do Strzyży w ostatnich latach przeprowadzono prace porządkowe i modernizacyjne.

został projekt wykonawczy Odslonięcie skanalizowanego Potoku Królewskiego na fragmencie kampusu Politechniki Gdańskiej, zbiornik retencyjny i pawilon ekspozycyjny, zrealizowany przez Pracownię Projektową ARCHES Ewa Staniszevska. W ramach tego opracowania wykonano m.in. projekt hydrotechniczny zbiornika retencyjnego na Potoku Królewskim na terenie kampusu PG (Projekt hydrotechniczny odsłonięcia skanalizowanego Potoku Królewskiego na fragmencie kampusu Politechniki Gdańskiej, wykonany przez Pracownię Projektową Budownictwa Wodnego MEWPROJEKT). Na Rys. 49 i Rys. 50 przedstawiono projektowany zbiornik retencyjny na planie sytuacyjnym kampusu Politechniki Gdańskiej oraz plan zagospodarowania terenu wokół zbiornika, według Projektu wykonawczego (<http://www.odkryjpotok.pl/>).

Projektowany zbiornik retencyjny na terenie kampusu Politechniki Gdańskiej, zgodnie z *Projektem hydrotechnicznym*, ma być wykonany jako zbiornik betonowy, wykonany w technologii wanny żelbetowej, szczelny. Projektowana grubość płyty dennej 70 cm, ścian 25 cm. Ściany wyłożone kamieniem w sztywne gabionach, dno zasypane narzutem kamiennym. Całkowita pojemność stała zbiornika ma wynosić około 2500 m³. Powierzchnia 2082 m², głębokość średnia 1,20 m, kształt nieregularny. Zbiornik ma być zasilany wodami Potoku Królewskiego, który na terenie kampusu jest skanalizowany, w postaci dwóch równoległych rurociągów ϕ 1200 mm co kilkadziesiąt metrów połączonych betonowymi komorami rewizyjnymi. Zgodnie z *Projektem hydrotechnicznym*, zakłada się zasilanie zbiornika z wód Potoku Królewskiego na stałym poziomie 20 l/s za pomocą pompy, zarówno w okresie bezdeszczowym, jak i podczas wezbrań. Według Projektanta, przyjęty schemat pracy pozwoli na uniezależnienie dopływu wody do zbiornika od zmiennych przepływów w Potoku, a jednocześnie umożliwi utrzymanie stałego lustra wody w zbiorniku na rzędnej NPP=10,30 m npm, czyli znacznie wyższej od rzędnych lustra wody w Potoku w większości okresów. Zakłada się, że zbiornik nie będzie pełnił typowej funkcji retencyjnej, jednak umożliwi przejęcie i czasowe magazynowanie 30 cm warstwy wody. Oznacza to zapewnienie pojemności retencyjnej umożliwiającej przechwycenie spływu powierzchniowego z terenów bezpośrednio przyległych do zbiornika podczas deszczów nawalnych. Według *Projektu hydrotechnicznego* możliwe będzie bezpieczne retencjonowanie i zrzut spływu dla deszczu na poziomie 240 mm/15 min, choć należy zastrzec, że przedstawiona przez projektanta wielkość budzi poważne wątpliwości (*Wariantowa koncepcja...*, 2016). Przewiduje się, że nadmiar wód ze zbiornika będzie odprowadzany do istniejącego, skanalizowanego koryta Potoku Królewskiego.

W Projekcie przewidziano ciągły pobór zwrotny wody z Potoku w ilości 20 l/s. Oznacza to maksymalny pobór godzinowy 73 m³/h, średni dobowy 1728 m³/dobę oraz maksymalny roczny 630 720 m³/rok. Doprowadzenie wody z Potoku do zbiornika będzie składało się z ujęcia wody z Potoku, studzienki rewizyjnej, piaskownika z separatorem, komory pompowej i wylotu do zbiornika. Do oczyszczania wody Potoku przewidziano układ piaskownik/separator, który ma zostać wykonany z wykorzystaniem elementów prefabrykowanych żelbetowych osadnika wirowego dwukomorowego z wkładem lamelowym separującym substancje ropopochodne.



Rys. 49 Projektowany zbiornik retencyjny na Potoku Królewskim na planie sytuacyjnym kampusu Politechniki Gdańskiej, źródło: <http://www.odkryjpotok.pl/>



Rys. 50 Projekt zagospodarowania terenu wokół projektowanego zbiornika retencyjnego na Potoku Królewskim na fragmencie kampusu Politechniki Gdańskiej, źródło: <http://www.odkryjpotok.pl/>

5.6.3. *Proponowane rozwiązania mające na celu doczyszczanie wody Potoku Królewskiego oraz spływów opadowych z terenu kampusu dla projektowanego zbiornika retencyjnego na fragmencie kampusu Politechniki Gdańskiej*

W ramach dofinansowanego przez WFOŚiGW zadania „Opracowanie projektu odślonięcia skanalizowanego Potoku Królewskiego na fragmencie kampusu Politechniki Gdańskiej” powstało także opracowanie pt. „Wariantowa koncepcja usuwania zanieczyszczeń ze zbiornika na Potoku Królewskim w systemie w zależności od warunków hydraulicznych”, wykonane przez dr hab. inż. Magdalenę Gajewską i dr hab. inż. Ewę Wojciechowską z Wydziału Inżynierii Lądowej i Środowiska Politechniki Gdańskiej. W ramach opracowania omówiono zagadnienia związane z ekosystem service, funkcjonalnością ekologiczną i systemową oraz użytkowością proponowanego rozwiązania oraz przedstawiono koncepcję doczyszczania wód Potoku oraz spływów powierzchniowych z terenu kampusu Politechniki dopływających do projektowanego zbiornika.

W opracowaniu położono szczególny nacisk na konieczność zapewnienia odpowiedniej jakości wody z projektowanym zbiorniku na terenie kampusu, wskazując, że może on działać jako osadnik dla zanieczyszczeń spłukiwanych z wyżej położonej części zlewni Potoku Królewskiego. Z powodu generalnie niskich przepływów Potoku oraz stosunkowo dużej pojemności projektowanego zbiornika i jego dość dużej głębokości, w okresach bezdeszczowych będzie dochodziło do stagnacji wody. W okresach wiosennych i letnich, o dość wysokiej temperaturze powietrza, w sytuacji dopływu substancji odżywczych (substancje organiczne i biogenne) może dojść do masowego rozwoju glonów, czyli tzw. zakwitu wód. Problemy z jakością wody, w szczególności zakwity glonów mogą znacząco wpłynąć na estetykę zbiornika i jego otoczenia. Z tego powodu, w opracowaniu „*Wariantowa koncepcja...*” zaproponowano szereg rozwiązań mających na celu doczyszczanie zarówno wód pobieranych ze skanalizowanego Potoku Królewskiego, jak i spływów powierzchniowych z terenu kampusu przyległego do zbiornika.

Zaproponowany w *Projekcie hydrotechnicznym* układ oczyszczania wód pobieranych ze skanalizowanego koryta Potoku Królewskiego, składający się z osadnika wirowego oraz separatora z wkładem lamelowym, powinien zapewnić skuteczne usuwanie zawiesin oraz substancji ropopochodnych. Usunięcie zawiesiny przyczyni się do obniżenia stężeń innych zanieczyszczeń, np. substancji organicznej wyrażonej w BZT₅ oraz ChZT a także potencjalnie obecnych w wodach Potoku metali ciężkich, np. związków ołowiu. Jednakże, z uwagi na zamierzone korzystanie rekreacyjne ze zbiornika oraz jego znaczenie wizualne i użytkowe, należy dołożyć starań, aby jakość wody nie stanowiła przeszkody w jego wykorzystaniu. Należy przyjąć, że woda w zbiorniku powinna odpowiadać co najmniej II klasie czystości wód, według Rozporządzenia Ministra Środowiska z dn. 30 października 2014 r. w sprawie sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych oraz środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych (Dz.U. 2014 poz. 1482) (Tab. 11). Jest to woda o jakości przeznaczonej do kąpieli.

Tab. 11 Wybrane wskaźniki jakości wody w II klasie czystości, wg Rozp. Min. Środowiska z dn. 30.09.2014 w sprawie sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych oraz środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych (Dz.U. 2014 poz. 1482)

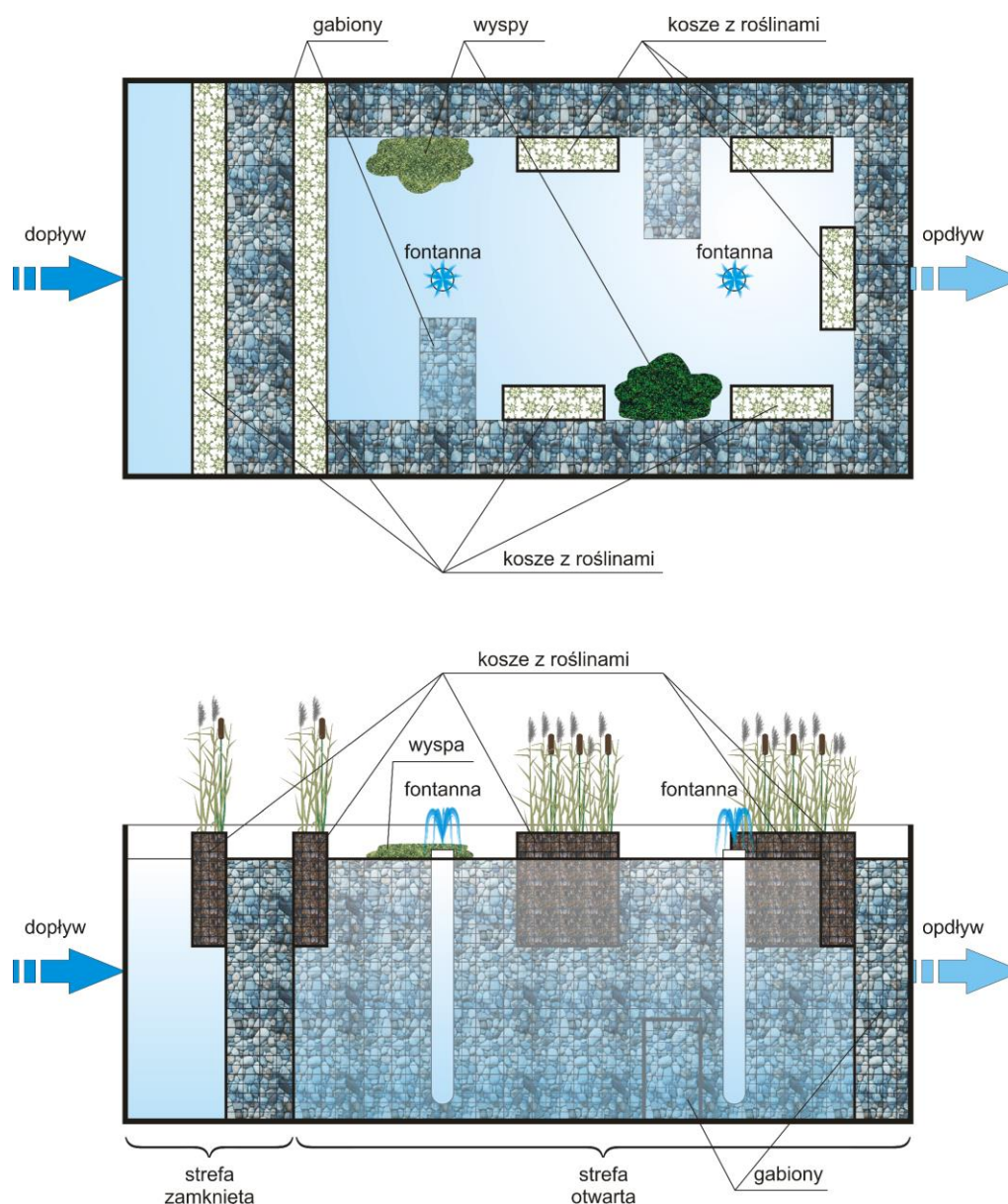
Wskaźnik	Jednostka	Wartość wymagana dla II klasy czystości wód
Tlen rozpuszczony	mg O ₂ /dm ³	≥ 5
Biochemiczne zapotrzebowanie tlenu (BZT ₅)	mg O ₂ /dm ³	≤ 6
Chemiczne zapotrzebowanie tlenu (ChZT)	mg O ₂ /dm ³	≤ 12
Zawiesina ogólna	mg/dm ³	≤ 50
Odczyn	-	6 - 9
Chlorki	mg Cl/dm ³	≤ 300
Azot amonowy	mg N-NH ₄ /dm ³	≤ 1,56
Azot ogólny	mg N/dm ³	≤ 10
Fosfor ogólny	mg P/dm ³	≤ 0,4

Z uwagi na sporadyczny charakter dotychczasowych analiz jakości wód Potoku Królewskiego, a także zróżnicowany charakter jego zlewni oraz znaczną zmienność natężenia przepływu, brak jest danych, aby w odpowiedni sposób zaprojektować urządzenia oczyszczające. Należy jednak dołożyć starań, aby usunąć przede wszystkim substancje organiczne (BZT₅ i ChZT), a także związki azotu i fosforu, które mogą być obecne w spływach z ogródków działkowych położonych na terenie zlewni Potoku Królewskiego. Jest to szczególnie istotne ze względu na ograniczoną wymianę wody w zbiorniku, co może prowadzić do zakwitu glonów oraz wystąpienia deficytów tlenowych. Aby przeciwdziałać temu zjawisku należałoby zapewnić aerację (natlenianie), filtrację oraz intensyfikację naturalnych procesów oczyszczania biochemicznego poprzez wprowadzenie roślin wodnych i wodolubnych. Wprowadzenie roślin przyczyni się zarazem do złagodzenia betonowego wizerunku zbiornika oraz spowoduje intensyfikację odprowadzania wody do atmosfery w wyniku ewapotranspiracji, co będzie miało pozytywny wpływ na mikroklimat w bezpośrednim otoczeniu zbiornika.

Propozycje rozwiązań mających na celu intensyfikację procesów mechanicznego i biochemicznego podczyszczania wód Potoku Królewskiego doprowadzanych do projektowanego zbiornika na terenie kampusu Politechniki Gdańskiej

Z uwagi na istniejący już projekt zbiornika, a w szczególności zaprojektowany kształt i stałą głębokość, liczba możliwych do zastosowania rozwiązań została znacznie ograniczona. Propozycje zmian zagospodarowania projektowanego zbiornika w kierunku intensyfikacji procesów mechanicznego i biochemicznego podczyszczania wód Potoku Królewskiego i wód opadowych przedstawiono schematycznie na Rys. 51.

Wybrane aspekty zrównoważonego gospodarowania wodami opadowymi na terenie zurbanizowanym



Rys. 51 Propozycje zmian w projektowanym zbiorniku mających na celu intensyfikację procesów mechanicznego i biochemicznego podczyszczania wód Potoku Królewskiego i spływów opadowych

Proces sedymentacji powinien zostać zintensyfikowany poprzez spowolnienie prędkości przepływu w wydzielonej części zbiornika, najlepiej aby była to część na wlocie do zbiornika tzw. blok doprowadzający albo „część zamknięta”. Wydzielenie tej strefy będzie zrealizowane poprzez ułożenie grobli z gabionów. Woda filtrując przez gabiony będzie ulegała spowolnieniu, co wymusi sedymentację zawieszin i zatrzymanie ich w pierwszej części zbiornika przed groblą (oddzielonej od pozostałych elementów). Ułatwi to jej ewentualne oczyszczanie i okresowe usuwanie nagromadzonych osadów. Dodatkowo filtracja przez groblę powinna zapewniać dalsze podczyszczanie wody, a w celu intensyfikacji tych biochemicznych procesów groblę z gabionów należy dodatkowo obsadzić roślinnością. Różne gatunki roślin można zasiedlić w specjalnych półkach, przymocowanych do gabionów, tak jak to pokazano na schemacie (Rys. 51). Ponieważ przewidziano stałą głębokość zbiornika 1,2 m odpowiadającą tzw.

strefie głębokiej, w której dezynfekcja naturalnymi promieniami UV będzie utrudniona, proponowane jest miejscowe wypłylenie poprzez zastosowanie gabionów rozłożonych niesymetrycznie w pozostałej części zbiornika. W celu poprawy oczyszczania w procesach biochemicznych wody w „otwartej części zbiornika” należy zainstalować 2-3 pół- pływające wyspy. Proponowane jest przymocowanie wysp do brzegów zbiornika, które będą w całości obłożone gabionami. Przykład takich pływających i pół-pływających wysp pokazano na Rys. 25, Rys. 26. Istotnym elementem proponowanych usprawnień jest wymuszenie cyrkulacji wody w „otwartej części zbiornika” połączone z jej maksymalną aeracją. Propozycje rozwiązań podano w Rozdziale 4, na Rys. 22, a schematycznie zaznaczono na Rys. 51. Istotne jest, aby wymusić obieg wody jedynie w części otwartej projektowanego zbiornika. Z uwagi na możliwość intensywnych wiatrów powstających w projektowanej przestrzeni architektonicznej, zaleca się rozwiązania nie powodujące zbyt dużego unosu wody w procesie aeracji tj. wysoko tryskających fontann.

Propozycje rozwiązań mających na celu doczyszczanie wód opadowych spływających do projektowanego zbiornika z terenu kampusu Politechniki Gdańskiej

Niezależnie od przedstawionej propozycji intensyfikacji procesów oczyszczania wód Potoku Królewskiego, należy zadbać o jakość wód opadowych spływających do zbiornika z bezpośredniego otoczenia. W projekcie przewidziano utwardzenie, a zatem uszczelnienie znacznej części terenu wokół projektowanego zbiornika. Zaplanowano również pola zieleni w postaci efektywnych wzniesień terenu obsadzonych trawą. Taki sposób zagospodarowania terenu będzie sprzyjać spływowi zanieczyszczeń do misy projektowanego zbiornika, co może spowodować pogorszenie jakości wody w zbiorniku. W spływach powierzchniowych wywołanych opadem, a w szczególności roztopami, stężenia zanieczyszczeń często mogą być równie wysokie, jak w ściekach bytowych (Królikowska i Królikowski, 2012). Wśród najbardziej istotnych zanieczyszczeń należy wymienić zawiesiny, które mogą być nośnikami innych zanieczyszczeń m.in. metali ciężkich czy trwałych związków organicznych. Dodatkowo w analizowanym przypadku z wodami opadowymi wymywane będą środki pielęgnacji (nawozy) powierzchni zielonych (trawników). Istnieje zatem zagrożenie, że wody opadowe staną się źródłem pierwiastków biogennych, które zostaną wraz z nimi wprowadzone do projektowanego zbiornika. Aby zapobiec tym niekorzystnym procesom należy zapewnić podczyszczanie wód opadowych przed ich wprowadzeniem do zbiornika. Spośród wielu możliwych do zastosowania rozwiązań wybrano te, które mogą znacznie poprawić jakość wód opadowych i jednocześnie nie powinny w istotny sposób zaburzyć przyjętej koncepcji architektonicznej. Propozycję rozwiązań spowolnienia spływu powierzchniowego z jednoczesnym podczyszczaniem przedstawiono schematycznie na Rys. 52.



Rys. 53 Przykład ogrodu deszczowego w Gdańsku, fot. M.Gajewska

Ogrody deszczowe należy rozmieścić tak, aby zebrać jak największą część spływu. Proponuje się rozmieszczenie ogrodów po obu stronach zbiornika, w taki sposób aby uniemożliwić bezpośredni dopływ spływów do misy. Nadmiar wody opadowej z ogrodów deszczowych może być odprowadzany do zbiornika za pomocą kaskad, które oprócz walorów estetycznych zapewnią dodatkowe natlenienie wody. Natomiast, aby umożliwić sprawne zbieranie i doprowadzanie wody opadowej do ogrodów deszczowych z powierzchni utwardzonej, należy wykonać ją z odpowiednim spadkiem. Zalecane jest również wykonanie spękań – szczelin, które zapewnią uprzywilejowaną drogę spływu w kierunku ogrodów deszczowych. Można również urozmaicić, w sposób estetyczny, drogę spływu wód stosując labirynty napowietrzające pokazane na Rys. 54.



Rys. 54 Przykład szczelin odprowadzających wodę (po lewej) oraz labirynty w utwardzonej powierzchni (po prawej) (fot. M. Gajewska)

Kolejnym, bardzo ważnym komponentem systemu doczyszczania wód opadowych jest zabezpieczenie spływu z powierzchni zielonych wyniesionych ponad poziom terenu. W celu urozmaicenia zaproponowano tu połączenie rowu opasującego wzniesienie, który będzie odprowadzać zebraną wodę do ogrodu ściekowego, a stamtąd kaskadą do projektowanego zbiornika (Rys. 52).

Analiza projektowanego zbiornika retencyjnego na terenie kampusu Politechniki Gdańskiej w aspekcie ecosystem service

Budowa zbiornika retencyjnego na Potoku Królewskim na terenie kampusu Politechniki Gdańskiej będzie miała różnorodne skutki w wielu aspektach: ekologicznym, regulacyjnym, społecznym, wizualnym. Bez wątpienia inwestycja ta w wielu wymiarach może być korzystna, ale niesie też ze sobą istotne zagrożenia, które należy rozpoznać, przeanalizować i ewentualnie wprowadzić działania zapobiegawcze i przeciwdziałające. W Tab. 12 przedstawiono zestawienie korzyści (czyli „mocnych stron”) oraz zagrożeń i problemów rozwiązania projektowego wraz z propozycją środków zaradczych. Zagadnienie rozpatrywano pod względem funkcji retencyjnych i regulacyjnych, jakości wody, estetyki, użyteczności oraz funkcjonalności ekologicznej i systemowej.

Tab. 12 Analiza rozwiązania projektowego zbiornika retencyjnego na Potoku Królewskim na terenie kampusu Politechniki Gdańskiej

Zadanie	Mocne strony	Zagrożenia i problemy	Propozycja środków zaradczych
Funkcje retencyjne i regulacja przepływów	<ul style="list-style-type: none"> ○ Regulacja środkowego biegu Potoku Królewskiego; ○ Retencja spływu powierzchniowego z części kampusu PG ○ Opóźnienie dopływu fali wezbraniowej do zbiornika Uphagena i zmniejszenie zagrożenia powodziowego w dolnym biegu Potoku 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Zmienność przepływów w Potoku Królewskim; ○ Mogą pojawić się trudności z zapewnieniem dopływu do zbiornika na poziomie 20 l/s; ○ Proponowane uzupełnianie poziomu wody w zbiorniku wodą wodociągową jest rozwiązaniem niekorzystnym z punktu widzenia ekonomicznego i ekologicznego (mieszanie wody czystszej z gorszą pod względem jakości wodą ze zbiornika). 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Budowę zbiornika na terenie kampusu PG powinna poprzedzić budowa 1 lub 2 zbiorników na odcinku Potoku Królewskiego pomiędzy zbiornikiem Wileńska i a terenem kampusu
Jakość wody		<ul style="list-style-type: none"> ○ Brak danych dot. jakości wody Potoku Królewskiego ○ Podwyższone stężenie substancji organicznych i biogennych na dopływie ○ Wystąpienie deficytów tlenowych ○ Stagnacja wody w zbiorniku i zakwity glonów ○ Zbiornik na terenie kampusu może działać jako osadnik dla zanieczyszczeń splukiwanych z wyżej położonej części zlewni Potoku Królewskiego 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Wprowadzanie systematycznych analiz jakości wody na dopływie i odpływie ze zbiornika ○ Wprowadzanie filtrów żwirowych i piaskowych, obsadzenie zbiornika i jego brzegów roślinnością ○ Aeracja wody dopływającej do zbiornika (np. kaskady) ○ Wymuszenie ruchu wody w zbiorniku, aeracja
Estetyka	<ul style="list-style-type: none"> ○ Obiekt atrakcyjny wizualnie 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Problemy z jakością wody, w szczególności zakwity glonów mogą znacząco wpłynąć na estetykę zbiornika i jego otoczenia 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Wprowadzenie dodatkowego oczyszczania, obsadzenie roślinnością, aeracja, wymuszenie ruchu wody w zbiorniku.

Zadanie	Mocne strony	Zagrożenia i problemy	Propozycja środków zaradczych
Użytkowość	<ul style="list-style-type: none"> ○ Miejsce rekreacji, funkcje edukacyjne, ○ Miejsce spotkań towarzyskich i nauki 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Głębokość zbiornika może stwarzać zagrożenie – teren kampusu jest w ciągu dnia otwarty, w pobliżu znajdują się domy studenckie i kluby studenckie, sklepy monopolowe itd. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Ograniczenie głębokości zbiornika (?)
Funkcjonalność ekologiczna i systemowa	<ul style="list-style-type: none"> ○ Wzrost bioróżnorodności ○ Poprawa mikroklimatu 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Warunkiem wzrostu bioróżnorodności jest wprowadzenie roślin i stworzenie dla nich odpowiednich warunków siedliskowych nie tylko na brzegach zbiornika, ale również w samym zbiorniku ○ Pojawienie się komarów ○ Zakwity glonów 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Konsultacja ze specjalistami od hodowli roślin ○ Wprowadzenie odpowiednich gatunków ryb (?) i/lub ograniczenie głębokości zbiornika ○ Przeciwdziałanie niedoborom tlenu i stagnacji wody w zbiorniku – natlenianie, wymuszenie obiegu wody

Na podstawie Tab. 12 można stwierdzić, że największe zagrożenie dla projektowanego zbiornika może stanowić zła jakość wody. Jest to zagadnienie niezwykle istotne z punktu widzenia estetycznego i środowiskowego. Zbiornik retencjonujący wodę złej jakości może stać się źródłem różnorodnych problemów i zagrożeń zamiast być wizytówką kampusu. Z tego względu należy koniecznie wprowadzić rozwiązania pozwalające na doczyszczanie wody dopływającej do zbiornika.

W Tab. 13 przedstawiono zestawienie funkcji *ecosystem service*, które będzie pełnił projektowany zbiornik retencyjny. Z zestawienia wynika, że zbiornik może przyczynić się do stworzenia zdrowego i użytecznego ekosystemu, pełniące różnorodne funkcje dla kampusu PG i jego użytkowników. Wydaje się celowe wzmocnienie funkcji edukacyjnej zbiornika, który może stać się obiektem doświadczalnym oraz poglądowym dla studentów różnych kierunków.

Tab. 13 Zestawienie funkcji *ecosystem service* dla planowanego zbiornika retencyjnego na Potoku Królewskim na terenie kampusu Politechniki Gdańskiej

Ecosystem service	
Funkcja wspomagająca	Wspomaganie obiegu wody (parowanie), tworzenie siedlisk; wspomaganie produkcji pierwotnej (fotosynteza) – w razie wprowadzenia roślin; bioróżnorodność (pod warunkiem obsadzenia roślinnością)
Funkcja regulacyjna	Kontrola powodzi i podtopień, poprawa mikroklimatu; oczyszczanie wody – pod warunkiem wprowadzenia odpowiednich rozwiązań
Funkcja zaopatrzeniowa	Nie występuje; potencjalnie wodę ze zbiornika można wykorzystywać do podlewania zieleni
Funkcja kulturowa	Estetyka, rekreacja, edukacja

6. PODSUMOWANIE

Szybka urbanizacja terenów podmiejskich, wzrost liczby ludności w miastach i postępująca degradacja środowiska miejskiego to zjawiska światowe, z którymi będą musiały się zmierzyć samorzady także w Polsce. W ostatnich latach wyraźnie rysuje się potrzeba uporządkowania kwestii prawnych związanych z wodami opadowymi oraz wprowadzenia nowych praktyk w zakresie gospodarowania tymi wodami. Praktycznie niemożliwe stało się odprowadzanie całości spływów opadowych za pomocą systemów kanalizacji deszczowej do odbiorników powierzchniowych. Przyrost powierzchni szczelnych w miastach powoduje zarówno wzrost objętości spływów jak i szybszą ich kulminację, co prowadzi do wylań, podtopień, a nawet powodzi. Niezbędne staje się działanie zgodne z założeniami WSUD czyli *Water Sensitive Urban Design*. Systemy zrównoważonego zagospodarowania wód deszczowych mogą z powodzeniem zastępować lub uzupełniać konwencjonalne systemy odprowadzania ścieków deszczowych. Upowszechnienie rozwiązań w tym zakresie pozwoli na osiągnięcie równowagi w środowisku wodnym i w bilansie wodnym w obszarach zurbanizowanych. Wśród podstawowych zasad przy kształtowaniu systemów zagospodarowania wód opadowych Januchta-Szostak (2012) wymienia:

- Zagospodarowanie wód opadowych w miejscu powstawania opadu, na powierzchni terenu, w celu redukcji odpływu powierzchniowego do poziomu sprzed urbanizacji.
- Wykorzystanie naturalnych właściwości gleby i materiału roślinnego do spowalniania i oczyszczania spływów wód deszczowych.
- Kształtowanie ekosystemów wodno-roślinnych w ścisłym powiązaniu z kompozycją przestrzenną i przeznaczeniem funkcjonalnym miejsca, w celu uzyskania wartości dodanej w postaci wizualnej i funkcjonalnej atrakcyjności miejsca, społecznej akceptacji, wzrostu świadomości ekologicznej mieszkańców.
- Konieczność planowania wielobranżowego i partycypacji mieszkańców.

Przy planowaniu i projektowaniu sposobów postępowania z wodami opadowymi należy wziąć pod uwagę tzw. usługi ekosystemu (z j. ang. *ecosystem service*). Projektowane systemy powinny zapewniać nie tylko funkcję regulacyjną, w tym zabezpieczenie przed powodzią, oczyszczanie wody i kontrola zmian klimatu, ale też wspomagające np. obieg wody, promujące bioróżnorodność, zaopatrzeniowe (np. źródło czystej wody) a także kulturowe, czyli estetyczne, rekreacyjne i edukacyjne. Przykłady rozwiązań spełniających wiele spośród tych funkcji przedstawiono w niniejszej monografii.

7. LITERATURA

1. Armstrong J., Armstrong W: Pathways and mechanisms of oxygen transport in *Phragmites australis*. The use of constructed wetlands. Water Pollution Control. Pergamon Press: Oxford 1990: 529–533.
2. Bavor, H.J., Davies, C.M., Sakadevan K. (2001). Stormwater treatment: do constructed wetlands yield improved pollutant management performance over a detention pond system? Wat. Sci. Tech. 44: 565-570.
3. Brix H.: Gas exchange through dead culms of Reed. *Phragmites australis* (cav.) trin. Ex steudel. Aquatic Botany 1989, 35: 81–98.
4. Brodnicka M. (2013). Rewitalizacja Kanału Raduni. Praca dyplomowa magisterska, niepublikowana. Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, maj 2013.
5. Brown R., Keath N., Wong T. (2008). Transitioning to Water Sensitive Cities: Historical, Current and Future Transition States. 11th International Conference on Urban Drainage, Edingurgh, Scotland, UK. <http://web.sbe.hw.ac.uk>.
6. Bujny J., Maśliński M. (2016). Wody opadowe oraz roztopowe – uwagi do projektu nowego Prawa wodnego. Wodociągi i Kanalizacja 7-8/2016: 22-23.
7. Burszta-Adamiak E. (2011). Zagospodarowanie spływów opadowych za pomocą systemów bioretencji. Rynek Instalacyjny 3/2011.
8. COM (2004) 6. Communication from The Commission. Towards Thematic Strategy of Urban Environment.
9. Dyrektywa 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2000 w sprawie ustanowienia ram wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej (Dz.U.UE L z dn. 22 grudnia 2000).
10. Dyrektywa 2007/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2007 r. w sprawie oceny ryzyka powodzi i zarządzania nim.
11. Dyrektywa 2006/7/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 15 lutego 2006 r. dotycząca zarządzania jakością wody w kąpieliskach i uchylająca dyrektywę 76/160/EWG.
12. Dziosa W. (2012). Charakterystyka hydrologiczna oraz hydrologiczny model zlewni Potoku Królewskiego. Praca dyplomowa magisterska. Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska. Materiał niepublikowany.
13. Edel R. (2010). Odwodnienie dróg. Wyd. Komunikacji i Łączności, Warszawa 2010.
14. EPA United States Environmental Protection Agency. Protecting Water Quality from Urban Runoff. EPA 841-F-03-003 http://www.epa.gov/npdes/pubs/nps_urban-facts_final.pdf
15. Gdańskie Melioracje. (2006, Czerwiec). Operat wodno - prawny dla zbiornika Wileńska na potoku Bystrzec II.
16. Geiger W., Dreiseitl H. (1999). Nowe sposoby odprowadzania wód deszczowych. Wyd. Projprzem-EKO, Bydgoszcz 1999.
17. Gehl J (2014) Miasta dla ludzi, wydawca RAM : 288
18. Heidrich Z. [red.] (2002). Gospodarka wodno-ściekowa. Wyd. Verlag Dashofer sp. z o.o., Warszawa.

19. Hoyer J., Dickhaut W., Kronawitter L., Weber B. (2011). Water Sensitive Urban Design. Principles and Inspiration for Sustainable Stormwater Management in the City of the Future Manual. Elaborated in the context of the research project SWITCH – Managing Water for the City of the Future. HafenCity Universität Hamburg 2011.
20. Januchta-Szostak A. (2012). Usługi ekosystemów wodnych w miastach. Zrównoważony Rozwój – Zastosowania, 3: 91-110.
21. Kadlec R.H., Knight, R.L Treatment wetlands. Lewis – CRC Press: Boca Raton. FL, USA, (1996).
22. Kadlec R.H., Wallace S.D. (2009). Treatment Wetlands. Second Edition. CRC Press, Taylor & Francis Group. Boca Raton, London, New York.
23. Kotowski A. (2011). Podstawy bezpiecznego wymiarowania odwodnień terenów. Wyd. Seidel-Przywecki, Warszawa.
24. Królikowska J., Królikowski A. (2012). Wody opadowe. Odprowadzanie, zagospodarowanie, podczyszczanie i wykorzystanie. Wyd. Seidel-Przywecki, Warszawa.
25. Ładunek zanieczyszczeń odprowadzany do Morza Bałtyckiego. Publikacja współfinansowana ze środków Unii Europejskiej (Europejski Fundusz Rozwoju Regionalnego i Europejski Instrument Sąsiedztwa i Partnerstwa. Gmina Miasto Gdańsk, maj 2011.
26. Magnuszewski A. (2013). Procesy korytowe rzek nizinnych a bezpieczeństwo powodziowe. Uniwersytet Warszawski. Wydział Geografii i Studiów Regionalnych, Warszawa.
27. Matej-Łukowicz K., Wojciechowska E. (2015). Wybrane aspekty zrównoważonego gospodarowania wodami opadowymi na terenie zurbanizowanym. Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu nr 411 (2015): 104-114.
28. Matej-Łukowicz K., Wojciechowska E., Obarska-Pempkowiak H., Gajewska M. (2016). Wybrane aspekty zrównoważonego gospodarowania wodami opadowymi na terenie zurbanizowanym. W: Dymaczewski Z., Jeż – Walkowiak J., Urbaniak A. (red.) Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód. Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych Oddział Wielkopolski, Poznań – Kudowa Zdrój, 2016: 433-444.
29. Nowa Karta Ateńska 2003. Wizja miasta XXI wieku. Europejska Rada Urbanistów, listopad 2003.
30. Obarska-Pempkowiak H. (1996). Eliminacja zanieczyszczeń ze źródeł punktowych i obszarowych na przykładzie Potoku Rynaszewskiego w Gdańsku, Praca zbiorowa red. Sozański M. Zaopatrzenie w wodę miast i wsi, Poznań 1996
31. Obarska-Pempkowiak H., Kolecka K. (2007). Doświadczenia związane z wykorzystaniem wikliny *Salix viminalis* w usuwaniu zanieczyszczeń z wód i ścieków, Rocznik Ochrona Środowiska, nr 2/2007.
32. Obarska-Pempkowiak H, Gajewska M., Wojciechowska E. (2010). Hydrofitowe oczyszczanie wód i ścieków. Wyd. Naukowe PWN, Warszawa.
33. Okołowicz P. (2016). Alternatywne rozwiązania zagospodarowania wody opadowej na terenie osiedla mieszkaniowego. Praca dyplomowa magisterska, niepublikowana. Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, czerwiec 2016.

34. Ostrowski J., Czarnecka H., Głowacka B., Krupa-Marchlewska J., Zaniewska M., Sasim M., Moskwiński T., Dobrowolski A. (2012). Nagłe powodzie lokalne (flash flood) w Polsce (1966-2000). W: Lorenc H. (red.) Klęski żywiołowe a bezpieczeństwo wewnętrzne kraju. IMGW, Warszawa.
35. Osmólska-Mróz B. (1992) Prognozowanie i ochrona jakości wód powierzchniowych na terenach miejskich. Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa.
36. Projekt hydrotechniczny odslonięcia skanalizowanego Potoku Królewskiego na fragmencie kampusu Politechniki Gdańskiej, wykonany przez Pracownię Projektową Budownictwa Wodnego MEWPROJEKT.
37. Projekt ustawy Prawo Wodne z 26 kwietnia 2016 r. <http://legislacja.rcl.gov.pl/projekt/>
38. Projekt wykonawczy *Odslonięcie skanalizowanego Potoku Królewskiego na fragmencie kampusu Politechniki Gdańskiej, zbiornik retencyjny i pawilon ekspozycyjny*, zrealizowany przez Pracownię projektową ARCHES Ewa Staniszevska.
39. Rozporządzenie Ministra Budownictwa z dnia 28 czerwca 2006 r. w sprawie określania taryf, wzoru wniosku o zatwierdzenie taryf oraz warunków rozliczeń za zbiorowe zaopatrzenie w wodę i zbiorowe odprowadzanie ścieków. Dz. U. 2006, nr 127, poz. 886 ze zm.
40. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dn. 30 października 2014 r. w sprawie sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych oraz środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych (Dz.U. 2014 poz. 1482).
41. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 8 kwietnia 2011 r. w sprawie prowadzenia nadzoru nad jakością wody w kąpielisku i miejscu wykorzystywanym do kąpieli (Dz.U. 2011 nr 86 poz. 478)
42. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 18 listopada 2014 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego (Dz.U. 2014 poz. 1800).
43. Sawicka-Siarkiewicz H. (2003). Ograniczenie zanieczyszczeń w spływach powierzchniowych z dróg. Ocena technologii i zasady wyboru. IOŚ, Warszawa.
44. Słyś D. (2008). Retencja i infiltracja wód deszczowych. Wyd. Politechnika Rzeszowska, Rzeszów.
45. Słyś D. (2013). Zrównoważone systemy odwadniania miast. Dolnośląskie Wyd. Edukacyjne, Wrocław.
46. State of the World's Cities 2004/2005. Globalisation and urban culture, UN HABITAT (<http://www.unhabitat.org>).
47. Urban Environment. The World Bank Group, 2005 r (web.worldbank.org)
48. Ustawa z 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska. Dz. U. 2001 nr 62 poz. 627 ze zm.
49. Ustawa z dnia 16 kwietnia 2004 r. o ochronie przyrody, Dz.U. 2004 nr 92 poz. 880 ze zm.
50. Ustawa z dnia 18 lipca 2001 r. Prawo wodne. Dz.U. 2001 nr 115 poz. 1229 ze zm.
51. Wagner I., Januchta-Szostak A., Waack-Zajac A. (2013). Narzędzia planowania i zarządzania strategicznego wodą w przestrzeni miejskiej. Zrównoważony Rozwój – Zastosowania, 5:17-30.

52. *Wariantowa koncepcja usuwania zanieczyszczeń ze zbiornika na Potoku Królewskim w systemie w zależności od warunków hydraulicznych* dr hab. inż. Magdalena Gajewska, dr hab. inż. Ewa Wojciechowska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska Politechnika Gdańska, kwiecień – maj 2016 r., maszynopis, 43 s.
53. Weinerowska-Bords K. (2010). Wpływ uproszczeń na obliczanie spływu deszczowego w zlewni zurbanizowanej. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk.
54. Wojciechowska E., Gajewska M., Żurkowska N., Surówka M., Obarska-Pempkowiak H. (2015). Zrównoważone systemy gospodarowania wodą deszczową. Wyd. Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2015

Strony internetowe:

1. <http://www.odkryjpotok.pl/>
2. <http://www.agenda21.waw.pl>
3. <http://www.meteo.pg.gda.pl>
4. <http://www.pogodynka.pl/polska/daneklimatyczne/>
5. <http://www.retencja.pl>
6. <http://trojmiasto.wyborcza.pl/trojmiasto/5,127406,20402671.html>
7. <http://trojmiasto.wyborcza.pl/trojmiasto/5,127406,20402671.html?i=1>
8. <https://sk.gis.gov.pl/index.php/strona/content/7>
9. http://healingearth.ijep.net/sites/default/files/styles/chapter_photo/public/images/Fig%209_Ecosystem%20Services.png?itok=H0Dt-vg1
10. <http://architecture.mit.edu/class/city/projects.html?y=2012>
11. <http://fontanny.pomp.pl/aktualnosci/oferta-fontannowa-firmy-korro-fontany-kasco>
12. <http://www.melbournewater.com.au/>
13. <http://legislacja.rcl.gov.pl/projekt/>
14. <http://www.archdaily.com/32490/ad-interviews-kieran-timberlake>
15. <http://www.solaripedia.com/images/large/3452.jpg>
16. <http://www.solaripedia.com/images/large/3456.jpg>
17. <http://www.gdmel.pl/gdanskie-melioracje>
18. <http://www.gdansk.pl>
19. <http://www.imgw.pl/klimat/>
20. <http://www.miasto.sopot.pl>
21. <http://www.ci.minneapolis.mn.us/>
22. <http://www.richmondgov.com/>
23. <http://www.wikakwa.pl/>
24. <http://zdm.poznan.pl/>
25. http://www.klimat.ug.edu.pl/?page_id=5092

8. SPIS RYSUNKÓW

Rys. 1	Rozwój systemów wodno-kanalizacyjnych, opracowanie własne na podstawie Brown i in. (2008)	7
Rys. 2	Sumy opadów w roku 2014 w Polsce . Źródło: http://www.imgw.pl/klimat/	12
Rys. 3	Plan zagospodarowania działki: V1, V2 – dach, V3 – powierzchnia utwardzona, kolor zielony – tereny zielone, źródło: Okołowicz, 2016	14
Rys. 4	Przykładowe rozwiązanie zagospodarowania wody deszczowej na terenie posesji, opracowanie własne	17
Rys. 5	Dynamika odpływu wód deszczowych na powierzchniach nieumocnionych oraz umocnionych, opracowanie własne	20
Rys. 6	Natężenie opadu [mm/min] oraz krzywa skumulowana opadu [mm] w dniach 14-15 lipca 2016 r.; źródło: http://www.klimat.ug.edu.pl/?page_id=5092	21
Rys. 7	Zapis automatycznej stacji meteorologicznej Politechniki Gdańskiej, zlokalizowanej przy Wydziale Inżynierii Lądowej i Środowiska PG, Gdańsk-Wrzeszcz, dla okresu 18.06 – 16.07.2016 oraz 19.07.2015 – 16.07.2016; źródło: http://www.meteo.pg.gda.pl	21
Rys. 8	Zalane skrzyżowanie Al. Grunwaldzkiej i ul. Słowackiego w Gdańsku, 15 lipca 2016 r.; źródło: http://trojmiasto.wyborcza.pl/trojmiasto/5,127406,20402671.html ; fot. Dominik Werner.	23
Rys. 9	Skutki ulewy w dniach 14-14 lipca 2016 r. – zniszczony nasyp Pomorskiej Kolei Metropolitalnej, fot. Michał Jamroz źródło: http://trojmiasto.wyborcza.pl/trojmiasto/5,127406,20402671.html?i=1	23
Rys. 10	Zalane okolice Potoku Oliwskiego w dzielnicy Żabianka, 15 lipca 2016 r. fot. K. Matej-Łukowicz	24
Rys. 11	Zakwit glonów na Motławie spowodowany dopływem zanieczyszczeń podczas opadów w dniach 14-15 lipca 2016 r., widok z Krowiego Mostu w Gdańsku, 17 lipca 2016 r., fot. E.Wojciechowska	24
Rys. 12	Zakwit glonów na Motławie w rejonie wpustu deszczowego po opadach nawalnych w dniach 14-15 lipca 2016 r., 17 lipca 2016 r., fot. E.Wojciechowska	25
Rys. 13	Źródła zanieczyszczeń pochodzące z terenu zlewni zurbanizowanej	26
Rys. 14	Procentowy udział poszczególnych źródeł zanieczyszczeń w ogólnych ładunkach dopływających do Zatoki Gdańskiej z terenu Gminy Gdańsk, 2009 r., źródło: <i>Ładunek zanieczyszczeń odprowadzany do Morza Bałtyckiego</i> , 2011	27
Rys. 15	Stan kąpielisk na terenie Zatoki Gdańskiej w dniu 11 sierpnia 2015 r. źródło: http://sk.gis.gov.pl/	28
Rys. 16	Idea zrównoważonego obiegu wody w terenie zurbanizowanym, opracowanie własne	29
Rys. 17	Wyjaśnienie idei ecosystem service. Opracowanie własne, na podstawie http://healingearth.ijep.net/sites/default/files/styles/chapter_photo/public/images/Fig%209_Ecosystem%20Services.png?itok=H0Dt-vg1	30
Rys. 18	Widok na Plac del Campo w Sienie, fot.: M. Gajewska	33

Rys. 19 Plac del Campo w Sienie oraz jego detale a) ceglano-trawiasta nawierzchnia placu, b) dekoracyjny wpust, fot.: M. Gajewska	33
Rys. 20 Schody w mieście Überlingen, Niemcy; Źródło: http://architecture.mit.edu/class/city/projects.html?y=2012	34
Rys. 21 Przykład napowietrzania w zbiorniku, Źródło: http://fontanny.pomp.pl/aktualnosci/oferta-fontannowa-firmy-korro-fontany-kasco	34
Rys. 22 Przykłady gotowych rozwiązań do napowietrzania i cyrkulacji wody w zbiornikach Źródło: http://fontanny.pomp.pl/aktualnosci/oferta-fontannowa-firmy-korro-fontany-kasco	35
Rys. 23 Naturalny obszar podmokły. Źródło: http://www.melbournewater.com.au/	36
Rys. 24 Przekrój podłużny przez staw hydrofitowy, opracowanie własne.	37
Rys. 25 Pływające wyspy z roślinnością wodną, zbiornik retencyjny w Parku Zdrojowym, Kudowa Zdrój, fot. E.Wojciechowska	38
Rys. 26 Widok na wyspy pływające na sztucznym zbiorniku, fot. A.Ostojski	39
Rys. 27 Schemat systemu zagospodarowania wody opadowej na terenie Placu Poczdamskiego w Berlinie, © Atelier Dreiseitl	40
Rys. 28 Schemat filtra hydrofitowego do oczyszczania wody odpływającej z Piano Lake na Marlene Dietrich Platz w Berlinie, © Atelier Dreiseitl	41
Rys. 29 Jezioro Piano Lake na Marlene Dietrich Platz, Berlin, widoczna roślinność hydrofitowa porastająca zbiornik © J. Lee, Hoyer i in. (2011)	41
Rys. 30 Widok kaskady odprowadzającej wodę z podziemnych zbiorników do Piano Lake (po prawej); fragment Piano Lake z widoczną roślinnością hydrofitową (po lewej), © J. Lee, Hoyer i in. (2011)	42
Rys. 31 System oczyszczania ścieków szarych oraz wody opadowej na dziedzińcu prywatnej szkoły Sidwell Friends w Waszyngtonie (1 – trzystopniowy system złożeń hydrofitowych do oczyszczania ścieków szarych, 2 – ogród deszczowy, 3 – staw retencyjny); Źródło: http://www.archdaily.com/32490/ad-interviews-kieran-timberlake	43
Rys. 32 System do oczyszczania ścieków szarych (kolor pomarańczowy) oraz do zbierania i oczyszczania wody deszczowej na dziedzińcu szkoły Sidwell Friends w Waszyngtonie. Źródło: http://www.solaripedia.com/images/large/3452.jpg	43
Rys. 33 Schemat systemu do zbierania, retencjonowania i oczyszczania wody opadowej na terenie szkoły Sidwell Friends w Waszyngtonie; Źródło: http://www.solaripedia.com/images/large/3456.jpg	44
Rys. 34 Zagrożenie powodziowe na terenie Gdańska, Gdańskie Melioracje Sp. z o.o.; Źródło: http://www.gdmel.pl/gdanskie-melioracje	45
Rys. 35 Plac zabaw i siłownia przy zbiorniku retencyjnym nr 8 – Spacerowa, na Potoku Oliwskim w Gdańsku, fot.: K. Matej-Lukowicz	47
Rys. 36 Obszar rekreacyjny przy zbiorniku retencyjnym nr 3 – Pomorska, na Potoku Oliwskim w Gdańsku, fot.: K. Matej-Lukowicz	47

Rys. 37 Obszar rekreacyjny wokół zbiornika retencyjnego przy ul. Okrzei w Sopocie, fot.: M. Gajewska	48
Rys. 38 Zbiornik na Potoku Karlikowskim w rejonie ul. Okrzei i ul. Karlikowskiej w Sopocie – koryto Potoku i nasadzenia roślinne wewnątrz niecki. Fot. E. Wojciechowska	50
Rys. 39 Zbiornik na Potoku Karlikowskim w rejonie ul. Okrzei i ul. Karlikowskiej w Sopocie – koryto Potoku i nasadzenia roślinne wewnątrz niecki. Fot. E. Wojciechowska	50
Rys. 40 Zbiornik na Potoku Karlikowskim w rejonie ul. Okrzei i ul. Karlikowskiej w Sopocie – brukowana rynna odprowadzająca wody z wpustu deszczowego do koryta Potoku. Fot. E. Wojciechowska	51
Rys. 41 Zbiornik na Potoku Karlikowskim w rejonie ul. Okrzei i ul. Karlikowskiej w Sopocie – nasadzenia hydrofitów wzdłuż koryta Potoku. Fot. E. Wojciechowska	51
Rys. 42 Niecka zbiornika wypełniona wodą po rekordowym opadzie w dn. 15 lipca 2016 r. Fot. E. Wojciechowska	52
Rys. 43 Ogród zoologiczny w Gdańsku Oliwie – staw hipopotamów karłowatych i kapibar. Fot. K. Matej-Łukowicz	52
Rys. 44 Ogród zoologiczny w Gdańsku – staw pelikanów (VI 2016) Fot. K. Matej-Łukowicz	53
Rys. 45 Schemat systemu hydrofitowego zastosowanego w ogrodzie zoologicznym w Gdańsku w celu ochrony wód Potoku Rynarzewskiego	54
Rys. 46 Buforowa strefa wiklinowa wzdłuż koryta Potoku Rynarzewskiego – przekrój poprzeczny	55
Rys. 47 Tablica informująca o zastosowanym rozwiązaniu technologicznym na terenie ZOO w Gdańsku. Fot. M. Gajewska	56
Rys. 48 Zlewnia Potoku Królewskiego na mapie Wody Gdańska , źródło: http://www.gdmel.pl/gdanskie-melioracje	58
Rys. 49 Projektowany zbiornik retencyjny na Potoku Królewskim na planie sytuacyjnym kampusu Politechniki Gdańskiej, źródło: http://www.odkryjpotok.pl/	60
Rys. 50 Projekt zagospodarowania terenu wokół projektowanego zbiornika retencyjnego na Potoku Królewskim na fragmencie kampusu Politechniki Gdańskiej, źródło: http://www.odkryjpotok.pl/	60
Rys. 51 Propozycje zmian w projektowanym zbiorniku mających na celu intensyfikację procesów mechanicznego i biochemicznego podczyszczania wód Potoku Królewskiego i spływów opadowych	63
Rys. 52 Propozycja podczyszczania wód opadowych przed odprowadzeniem do projektowanego zbiornika	65
Rys. 53 Przykład ogrodu deszczowego w Gdańsku, fot. M. Gajewska	66
Rys. 54 Przykład szczelin odprowadzających wodę (po lewej) oraz labirynty w utwardzonej powierzchni (po prawej) (fot. M. Gajewska)	66

9. SPIS TABEL

Tab. 1 Wysokość opłat za wody deszczowe w zależności od powierzchni dla miasta Richmond.....	13
Tab. 2 Opłaty taryfowe za odprowadzenie ścieków opadowych i roztopowych za okres od dnia	15
Tab. 3 Taryfa za zbiorowe odprowadzanie ścieków opadowych i roztopowych w Nysie w 2016 r., według http://www.wikakwa.pl/	15
Tab. 4 Roczne opłaty za odprowadzenie wód deszczowych w wybranych miastach Polski, opracowanie własne na podstawie danych z lokalnych przedsiębiorstw.	16
Tab. 5 Opady zanotowane na wybranych stacjach opadowych w dniu 09.07.2001 roku według danych IMiGW w Gdyni, według Brodnickiej (2013).	21
Tab. 6 Zakresy wybranych zanieczyszczeń występujące w ściekach opadowych (Praca zbiorowa pod red. Z. Heidricha, 2002).	26
Tab. 7 Zasady projektowania miast wrażliwych na wodę, na podstawie Hoyer i in. (2011)	31
Tab. 8 Pobór związków biogenych przez wybrane gatunki roślin.....	36
Tab. 9 Gatunki roślin przeznaczonych do obsadzenia urządzeń do zagospodarowania wód deszczowych, na podstawie Edel (2010).....	38
Tab. 10 Średnie wartości stężeń zanieczyszczeń [mg/dm ³] w wybranych punktach pomiarowych przed wybudowaniem obiektu (przed) oraz po dwuletniej eksploatacji (po) obiektów w Oliwie, według Obarska-Pempkowiak i in. (2010).	55
Tab. 11 Wybrane wskaźniki jakości wody w II klasie czystości, wg Rozp. Min. Środowiska z dn. 30.09.2014 w sprawie sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych oraz środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych (Dz.U. 2014 poz. 1482).....	62
Tab. 12 Analiza rozwiązania projektowego zbiornika retencyjnego na Potoku Królewskim na terenie kampusu Politechniki Gdańskiej.....	67
Tab. 13 Zestawienie funkcji ecosystem service dla planowanego zbiornika retencyjnego na Potoku Królewskim na terenie kampusu Politechniki Gdańskiej.....	68