

# Jak bezpiecznie zatrzymać wodę opadową w mieście? Narzędzia techniczne

*Iwona Wagner*

*Uniwersytet Łódzki*

*Europejskie Regionalne Centrum Ekohydrologii pod auspicjami UNESCO, PAN*

*Kinga Krauze*

*Europejskie Regionalne Centrum Ekohydrologii pod auspicjami UNESCO, PAN*

Obszar przemysłowy Dahlwitz-Hoppegarten, leżący na wschód od Berlina, przed 1990 rokiem miał powierzchnię 40 ha. Przy maksymalnych opadach odpływało z niego do strumienia Wernergraben 360 litrów wody na sekundę. Po roku 1990 teren miał zostać rozbudowany o kolejnych 120 ha. Według pozwolenia, całkowity odpływ z rozbudowanego terenu mógł wynieść tylko 400 l/s. Tak więc połączony obszar, czterokrotnie większy od pierwotnego, mógł odprowadzać zaledwie ok. 10% więcej wody. Cel ten udało się osiągnąć, dzięki zastosowaniu najlepszych praktyk w zagospodarowaniu wód opadowych. Dodatkowo poprawiła się jakość wody w rzece, teren przemysłowy zyskał na estetyce, a koszty zagospodarowania wód opadowych były o 25% niższe niż w systemie konwencjonalnym. Przez ostatnich 15–20 lat, zagospodarowanie wód opadowych w miejscu ich wystąpienia stało się standardową procedurą w miejskich zlewniach w Niemczech.

**Słowa kluczowe:** błękitna i zielona infrastruktura, zagospodarowanie wód opadowych, infiltracja, retencja

## Wprowadzenie: zagospodarowanie wód opadowych w miejscu ich wystąpienia

### Nowy sposób myślenia

Opad jest podstawowym źródłem wody w mieście i początkiem wielu pozytywnych procesów w jego przestrzeni. Oczyszcza powietrze, łagodzi mikroklimat, poprawia warunki życia mieszkańców. Dzięki niemu, w silnie zmienionym środowisku miasta, może funkcjonować zieleń i małe ekosystemy wodne, kształtujące zdrowe środowisko życia dla ludzi. Dobrze zaplanowane tereny zieleni zapobiegają z kolei powodziom i miejskiej suszy, stanowią przestrzeń dla bezpiecznego gromadzenia wody opadowej (Wagner i in. 2013).

Zarządzanie wodami opadowymi jest jednocześnie jednym z podstawowych wyzwań dla większości współczesnych miast, których zabudowa stale się zagęszcza. W konsekwencji mieszkańcy zostają pozbawieni terenów biologicznie czynnych — zieleni i wody. Nadmiar wody, na powierzchni szczególnie pokrytej „szarą” infrastrukturą (ulice, chodniki, parkingi, budynki, place miejskie, utwardzona i zdegradowana gleba), nie może wsiąkać. Podczas deszczu lub roztopów woda płynie po powierzchni gruntu, powodując paraliżujące miasto podtopienia i powodzie. W tradycyjnej gospodarce wodnej, zapobiegać im miały systemy kanalizacji ogólnospławnej i deszczowej. Jednak w praktyce często potęgują one problem. Podczas intensywnych opadów woda deszczowa nie nadąża odpływać przeciążonymi kolektorami deszczowymi i podtapia ulice. Może też tworzyć cofki, wybijając w innych częściach miasta. Jednak, nawet jeśli wodę uda się skutecznie odprowadzić z miasta, pojawiają się negatywne efekty, w postaci suszy miejskiej. Dochodzi do obniżania poziomu wód powierzchniowych i gruntowych, nasilania efektu miejskiej wyspy ciepła, pogarszania się funkcjonowania terenów zieleni i warunków życia ludzi (por. rozdział o związkach wody i zdrowia ludzkiego: Kuprys-Lipińska i in. w tym tomie).

Alternatywą dla gospodarki tradycyjnej jest zintegrowane zarządzanie wodami opadowymi (deszczowymi i roztopowymi), oparte o techniki zagospodarowania opadu w miejscu jego wystąpienia. Celem nie jest tu jak najszybsze odprowadzenie wody z miasta, lecz jej zatrzymanie (retencja) w miejscu, na które spada lub jego najbliższej okolicy. Woda jest następnie stopniowo uwalniana w okresie pogody suchej (lub po przejściu zagrożenia powodziowego), przede wszystkim poprzez parowanie i infiltrację, a w mniejszym stopniu przez odpływ powierzchniowy i do systemów kanalizacji. Potrzebna jest tu więc zmiana sposobu myślenia o mieście. Od przekonania o konieczności jego odwadniania (woda jako zagrożenie), w kierunku zrozumienia korzyści wynikających z kontrolowanego nawadniania miasta (woda jako zasób — element niezbędny dla kształtowania wysokiej jakości życia).

### Koncepcje i rozwiązania stosowane na świecie

Do światowej czołówki, jeżeli chodzi o wiedzę techniczną, wdrażanie, formułowanie wytycznych, narzędzi prawnych, organizacyjnych i ekonomicznych dla zagospodarowania wód opadowych w miejscu ich wystąpienia, należą Stany Zjednoczone, Kanada, Australia i Nowa Zelandia. Kraje te stosują najlepsze praktyki już od 50 lat. Stały się one, znacznie wcześniej niż Europa, w obliczu problemów wywoływanych przez intensywną urbanizację, powodzie i susze. W Europie największe doświadczenie posiadają Niemcy, kraje skandynawskie, Wielka Brytania i Francja.

Nowe sposoby zagospodarowania wód opadowych i roztopowych opisywane są przez różne koncepcje (ramka) i rozwiązania, które posiadają szereg cech wspólnych:

- uznanie znaczenia wody jako podstawy sprawnie funkcjonującego systemu przyrodniczego, zapewniającego szereg korzyści mieszkańcom miast (usługi ekosystemów);

- akceptacja obecności wody w mieście i zaplanowanie specjalnie przeznaczonej dla niej przestrzeni;
- stosowanie rozwiązań technicznych (konstrukcyjnych), wspomagających rozproszoną infiltrację i retencję wód opadowych w zlewni miejskiej oraz ich doczyszczanie;
- możliwość stosowania najlepszych praktyk w zagospodarowaniu wód opadowych indywidualnie lub w połączeniu z metodami tradycyjnymi (kanalizacją ogólnospławną lub deszczową);
- możliwość połączenia zagospodarowania wód opadowych z architekturą miejską i krajobrazu oraz z systemem przyrodniczym miasta.

Stosowanie najlepszych praktyk zapewnia szereg korzyści, takich jak:

- uniknięcie lub zminimalizowanie powodzi i suszy miejskiej i ich skutków;
- możliwość stworzenia zintegrowanego systemu infrastrukturalnego (szara, zielona i błękitna infrastruktura), który będzie elastyczny wobec zmiennych warunków (klimatycznych, rozwoju przestrzennego miasta, zmian demograficznych i gospodarczych);
- oczyszczanie wód opadowych i ograniczanie przemieszczania się zanieczyszczeń;
- zmniejszenie presji na odbiorniki wód — ograniczanie ilości zanieczyszczeń i stresu hydraulicznego, powodowanego przez systemy kanalizacji (zagospodarowanie opadu w miejscu jego wystąpienia obniża przepływ maksymalny, zmniejsza gwałtowność wezbrania, wydłuża czas jego trwania, podwyższa przepływ minimalny i poziom wód gruntowych);
- odciążenie i lepsze funkcjonowanie kanalizacji deszczowej i ogólnospławnej w warunkach ekstremalnych;
- obniżenie kosztów zarządzania wodami opadowymi i innych kosztów funkcjonowania miasta (np. nawadnianie terenów zielonych, obniżenie opłat za korzystanie ze środowiska, obniżenie strat powodziowych);
- zapewnianie korzyści społecznych, wynikających z usług ekosystemów oraz wielofunkcyjnej przestrzeni (zastosowanie rozwiązań zrównoważonych na określonym terenie po-

### Koncepcje zagospodarowania wód deszczowych i opadowych

**Zabudowa o niskim oddziaływaniu na środowisko** (*Low Impact Development, LID*). Koncepcja, która powstała w Stanach Zjednoczonych, polega na takim planowaniu przestrzennym nowych i rewitalizowanych terenów miejskich, które uwzględni specyfikę krajobrazu (np. ukształtowanie, budowę geologiczną, obecność ekosystemów wodnych i lądowych) jako ramy dla rozwoju przestrzeni miejskiej. Takie podejście ogranicza negatywny wpływ zabudowy na funkcjonowanie nowo zagospodarowanej i sąsiadujących przestrzeni oraz systemu przyrodniczego. Opad wykorzystywany jest w miejscu jego wystąpienia, w oparciu o retencję krajobrazową, wspomaganą rozwiązaniami technicznymi.

**Planowanie miasta ukierunkowane na wodę** (*Water Sensitive Urban Design, WSUD*). Jest to opracowany w Australii system interdyscyplinarnej współpracy pomiędzy specjalistami z zakresu gospodarki wodnej, architektury, planowania przestrzennego i ochrony środowiska. Dotyczy wszystkich elementów miejskiego cyklu wodnego (opad, zaopatrzenie w wodę, odprowadzanie ścieków, ekosystemy wodne) i łączy ich funkcjonalność z zasadami urbanistyki. Jego celem jest upodobnienie miejskiego obiegu wody (zwłaszcza wód opadowych) do obiegu naturalnego. Por. przykład Mordialloc Industrial Precinct wśród dobrych praktyk zamieszczonych na końcu poradnika.

**System zrównoważonego zagospodarowania wód opadowych** (*Sustainable Urban Drainage Systems, SUDS*). Obejmuje rozwiązania techniczne odprowadzające wody opadowe z miasta, które są jednak bardziej przyjazne środowisku niż tradycyjne rozwiązania inżynierskie. Połączenie wielu działań minimalizuje zanieczyszczenia i stres hydrauliczny rzek i jezior. Koncepcja powstała w Wielkiej Brytanii. Por. przykład SUDS for Schools Project wśród dobrych praktyk zamieszczonych na końcu poradnika.

**Najlepsze praktyki w zagospodarowaniu wód opadowych** (*Best Management Practices, BMPs*). Obejmują działania strukturalne, retencjonujące opad i usuwające zanieczyszczenia, oraz niestrukuralne, ograniczające odpływ powierzchniowy i powstawanie zanieczyszczeń. Rozwiązania techniczne, proponowane przez BMPs, są elementem wszystkich przedstawionych tu koncepcji, stąd często dla opisanego zrównoważonego zagospodarowania wód opadowych używa się określenia „najlepsze praktyki” lub BMPs.

zwala na jego wykorzystanie jako parku, terenu rekreacji, edukacji, a nawet boiska czy placu miejskiego. Zrenaturyzowana rzeka może mieć nie tylko większą pojemność retencyjną, ale stać się atrakcyjnym miejscem spędzania wolnego czasu).

## Zielona i błękitna infrastruktura, ekohydrologia

Komisja Europejska (KE 2013) określa zieloną infrastrukturę jako strategicznie zaplanowaną sieć obszarów przyrodniczych, zaprojektowaną i zarządzaną w sposób mający zapewnić szeroką gamę usług ekosystemów. Komisja wspomina również o błękitnej infrastrukturze, która dotyczy ekosystemów wodnych (rzek i ich dolin, jezior, sztucznych zbiorników lub terenów podmokłych). Oba połączone systemy — zielony i błękitny — są ważnym narzędziem w naturalnej retencji i oczyszczaniu wód opadowych. Zielona infrastruktura ma szczególne znaczenie w krajobrazie miasta (ekosystemach lądowych), gdzie służy poprawie warunków krążenia wody oraz wsparciu funkcjonowania „szarej” infrastruktury, w tym odciążeniu kanalizacji deszczowej i ogólnospławnej.

Zielona i błękitna infrastruktura ściśle współpracują ze sobą: roślinność jest biologicznym zbiornikiem wody, woda zaś jest niezbędna dla wzrostu roślinności. Dostrzeżenie takiej funkcjonalnej spójności wpisuje się w założenia koncepcji ekohydrologii (Zalewski 2011). Opiera się ona na zrozumieniu wzajemnych zależności pomiędzy procesami hydrologicznymi (takimi jak: opad, infiltracja, odpływ, intercepcja, parowanie, przepływ rzeczny, retencja wody) oraz ekologicznymi (takimi jak: biologiczne, fizyczne i chemiczne procesy obiegu materii, transpiracja, biodegradacja, produkcja pierwotna, denitryfikacja). W praktyce te zależności są wykorzystane do zarządzania środowiskiem, w tym środowiskiem miejskim (Wagner

i Breil 2013). Regulacja ekohydrologiczna wzmacnia i optymalizuje działanie zielonej i błękitnej infrastruktury, co ma znaczną wartość zwłaszcza w silnie zabudowanych terenach miejskich, gdzie chcemy uzyskać spodziewany efekt (np. wysoką retencję wody, wysoką wydajność oczyszczania) na niewielkim terenie. Przykładowo, dobór gatunków drzew o wyższym współczynniku transpiracji<sup>1</sup> może efektywniej łagodzić mikroklimat miasta. Działania ekohydrologiczne mogą być łączone z miejską infrastrukturą (hydro)techniczną. Takie połączenie umożliwia kontrolowanie parametrów hydrologicznych, np. prędkości i kierunku przepływu wody, które pomogą regulować, między innymi, przebieg procesu sedymentacji i tempo oczyszczania wody lub wzmocnią/ograniczą wzrost określonych gatunków roślin w ekosystemach wodnych.

Proponowane metody regulacji przepływu wody i materii (np. biogenów, czyli składników odżywczych, oraz zanieczyszczeń) w krajobrazie miejskim wspomagają funkcje tradycyjnie pełnione w miastach przez infrastrukturę szarą (np. oczyszczanie wody lub zapobieganie powodziom). Z tej perspektywy ekosystemy i ich usługi stają się ważnymi narzędziami w zarządzaniu miastem. Dodatkową zaletą jest obniżenie kosztów wdrożenia, utrzymania i funkcjonowania systemów miejskich, aktywnie wykorzystujących zieloną i błękitną infrastrukturę (EPA 2007; por. też rozdział o zintegrowanym zarządzaniu: Krauze i Wagner w tym tomie).

## Działania strukturalne

Działania strukturalne w zakresie najlepszych praktyk zagospodarowania wód opadowych obejmują rozwiązania konstrukcyjne, wspomagające rozproszoną infiltrację i retencję wód opadowych w zlewni miejskiej oraz ich doczyszczanie. W praktyce obejmują budowę urządzeń oraz działania inwestycyjne lub okołoinwestycyjne, takie jak: budowa, rozbudowa, przebudowa i adaptacja

<sup>1</sup> Ilość wyparowanej wody, której roślina potrzebuje do wyprodukowania określonej ilości biomasy.



infrastruktury szarej (np. zielone dachy, zmiana profilu ulic, doprojektowanie zieleni lub powierzchni przepuszczalnych).

Istnieje wiele klasyfikacji rozwiązań strukturalnych. W tym opracowaniu, posiłkując się klasyfikacją zaproponowaną przez projekt europejski DayWater i wytyczne Agencji Ochrony Środowiska Stanów Zjednoczonych, wyodrębniliśmy: powierzchnie przepuszczalne, pasy roślinności buforowej oraz urządzenia do infiltracji i retencji wód opadowych. Niektóre opracowania oddzielnie opisują systemy ich podczyszczania, znajdujące się tuż przy dopływie do odbiorników.

Dobór rozwiązań i urządzeń strukturalnych jest podyktowany przede wszystkim ilością odpływającej z danego terenu wody oraz możliwością jej retencjonowania. Zależą one od zagospodarowania i fizjografii zlewni i charakterystyki opadu. Zagospodarowanie zlewni dotyczy przede wszystkim gęstości zabudowy danego terenu i terenów przyległych, obecności i usytuowania terenów zieleni, przebiegu i obciążenia sieci kanalizacyjnej i obecności infrastruktury podziemnej. Fizjografia terenu to głównie jego nachylenie (decydujące o prędkości formowania się i wielkości spływu powierzchniowego), budowa geologiczna i warunki gruntowe (określające możliwość naturalnej infiltracji), obecność cieków i stosunki wodne oraz ogólne warunki klimatyczne. Charakterystyka opadu atmosferycznego, stanowiąca podstawę dla wymiarowania urządzeń strukturalnych, w praktyce inżynierskiej na ogół obejmuje intensywność i wysokość opadu. Właściwe oszacowanie wielkości opadu, który trafi do urządzeń retencjonujących lub infiltrujących wodę opadową, pozwala uniknąć podtopienia terenu. Dla bezpieczeństwa można zaprojektować przelewy awaryjne, które w przypadku wystąpienia takiego zagrożenia pozwolą bezpiecznie odprowadzić nadmiar wody do kanalizacji. Wymiarowanie kanalizacji i urządzeń strukturalnych w dobrych praktykach w zlew-

niach miejskich napotyka na wiele wyzwań. Są one, wraz z metodyką wymiarowania, szeroko opisane w dostępnej na rynku polskim literaturze (np. Edel 2010; Geiger i Dreiseitl 1999; Królikowska i Królikowski 2012). Opracowania te zawierają również szczegółowe opisy, wytyczne techniczne i warunki doboru przedstawionych poniżej rozwiązań strukturalnych.

W centrach miast można stosować takie rozwiązania, jak zielone dachy lub urządzenia do retencji podziemnej. Zgromadzoną wodę można następnie wykorzystywać np. do podlewania zieleni lub zasilania fontann miejskich. Infiltracja w obszarach ściśle zabudowanych napotyka na ogół na przeszkody techniczne (fundamenty budynków, infrastruktura podziemna) i może być stosowana w szczególnych obiektach (np. stadiony lub parki). Poza ścisłym centrum miast, a także na jego obrzeżach, można stosować urzą-

**Zagospodarowanie wód opadowych pozostawia wiele przestrzeni na wyobraźnię i kreatywność architektów i planistów oraz pozwala łączyć na wiele sposobów proponowane rozwiązania z elementami architektury i tkanką miejską. Najważniejszym warunkiem jest takie ich stosowanie, aby tworzona przestrzeń była bezpieczna dla wszystkich jej użytkowników.**

ządzenia infiltracyjne, które często są łączone z powierzchniami przepuszczalnymi, zielenią, a nawet z wysokimi drzewami. Mała retencja może być stosowana w parkach, łączona z zieleńcami miejskimi i małą architekturą. Znacznie więcej możliwości stwarzają obszary znajdujące się na obrzeżach miast. Tutaj można swobodnie stosować infiltrację i retencję powierzchniową, zarówno

w połączeniu z otwartą przestrzenią publiczną i obszarami rekreacji, jak i w przestrzeni prywatnej. W przypadku nowych inwestycji, zagospodarowanie opadu w miejscu jego wystąpienia pozwala zaoszczędzić na kosztach infrastruktury kanalizacyjnej. Poprawia także jakość i atrakcyjność tych obszarów. W praktyce, zagospodarowanie wód opadowych pozostawia wiele przestrzeni na wyobraźnię i kreatywność architektów i planistów oraz pozwala łączyć na wiele sposobów proponowane rozwiązania z elementami architektury i tkanką miejską. Najważniejszym warunkiem jest takie ich stosowanie, aby tworzona przestrzeń była bezpieczna dla wszystkich jej użytkowników.

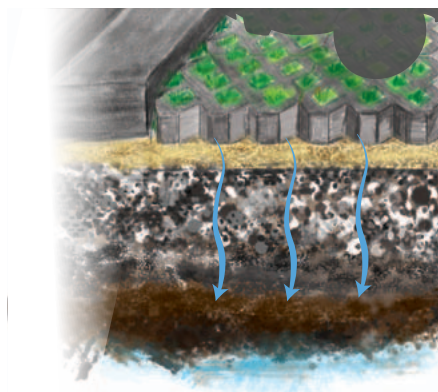
Poniżej znajdują się przykłady rozwiązań zrównoważonego zagospodarowania wód opadowych, które najefektywniej przyczyniają się do poprawy mikroklimatu i systemu przyrodniczego miasta.

## Powierzchnie przepuszczalne

### Przepuszczalne chodniki, asfalt i kraty trawnikowe

Najwięcej problemów z niekontrolowanym spływem powierzchniowym sprawiają duże i pozabawione roślinności powierzchnie, np. parkingi,

drogi, chodniki. Często nie da się wykorzystać tu zielonej infrastruktury. Do ich konstrukcji można jednak stosować materiały umożliwiające infiltrację wody, tj. przepuszczalne chodniki i asfalt. Zastosowanie betonowych kratownic lub wykonanych z tworzywa sztucznego ażurowych krat trawnikowych umożliwia dodatkowo wzrost trawy w wolnych przestrzeniach (rysunek 1). Powierzchnie przepuszczalne lokalizuje się na podłożu umożliwiającym dalsze wsiąkanie wody, np. na drenażu zbudowanym z naturalnego materiału (tłucznia, piasku, żwiru, kamieni) lub na skrzynkach infiltracyjnych.



Fot. Chesapeake Stormwater Network

**Rysunek 1.** Przepuszczalne powierzchnie — schemat przedstawiający betonowe kratownice porośnięte trawą na drenażu i woda przepływająca przez warstwę przepuszczalnego podłoża

## Pasy roślinności buforowej

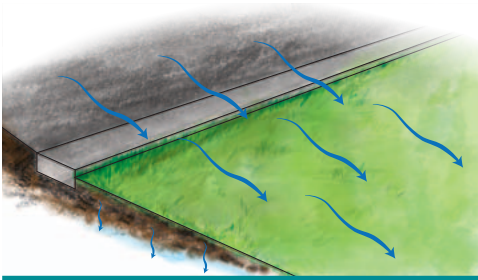
### Zielone dachy i ściany

Zwiększanie powierzchni biologicznie czynnej, polegające na zachowaniu lub powiększaniu powierzchni terenów zieleni (np. trawników, skwerów, zieleńców, zieleni przyulicznej i innych), jest ważnym działaniem dla odtworzenia cyklu wody w mieście. W strategię tę, zwłaszcza na terenach silnie zabudowanych, wpisują się obsadzane roślinami, na odpowiednio przygotowanych podłożach, zielone dachy i ściany (Kaźmierczak 2013). W zależności od konstrukcji i intensywności deszczu, zielone dachy mogą zatrzymać nawet całość spadającego na nie opadu. Inne korzyści to np. izolacja termiczna budynków, zwiększenie parowania, zwiększenie terenu biologicznie czynnego i bioróżnorodności,

wykorzystanie dachu jako dodatkowej przestrzeni dla mieszkańców. Zielone ściany również regulują temperaturę, poprawiają termoizolację i estetykę budynków, a ich roślinność może być zasilana wodą opadową.

### Trawiaste pasy buforowe

W terenach o luźniejszej zabudowie, zwłaszcza w sąsiedztwie dróg, dobrze sprawdzają się trawiaste pasy buforowe. Są to lekko nachylone i porośnięte trawą powierzchnie, stymulujące powolny, poziomy i boczny spływ wód opadowych z przyległych terenów (rysunek 2). Skuteczne usuwanie zawieszin stałych i związanych z nimi zanieczyszczeń sprawia, że pasy roślinności buforowej są często stosowane jako obszary podczyszczające i ochrona dla kolejnych rozwiązań (np. niecek).



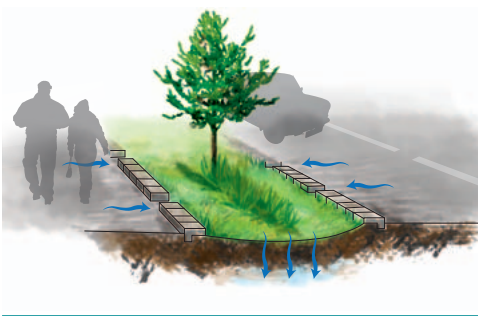
Fot. Clemson University

**Rysunek 2.** Trawiaste pasy buforowe wzdłuż ciągów komunikacyjnych — schemat i przykład zastosowania w połączeniu z niecką chłonną i mostkiem dla przechodniów w Aiken, Stany Zjednoczone

### Wyprofilowanie ulic i zielonej infrastruktury

Aby tereny zielone (i urządzenia infiltrujące) mogły przechwytywać wodę opadową z ulic i chodników, muszą być usytuowane poniżej ciągów komunikacyjnych.

Woda odpływa wówczas swobodnie przez obniżenie części krawężnika, które stanowi najprostszą formę odwodnienia ulicy (rysunek 3).



Fot. Kevin Robert Perry, City of Portland

**Rysunek 3.** Obniżenie krawężnika pozwala na odpływ wody z ulic i chodników. Na zdjęciu — woda odpływająca z ulicy NE Siskiyou w Portland, Oregon, Stany Zjednoczone

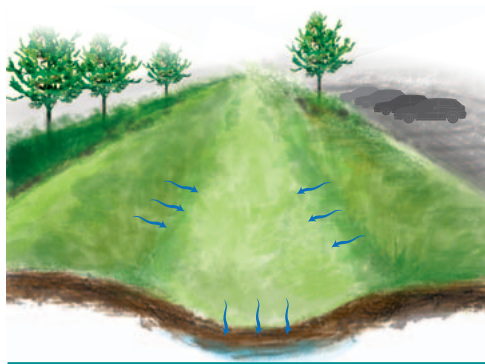
### Urządzenia do infiltracji wód opadowych

Urządzenia do infiltracji wód opadowych stosuje się w miejscach, w których podłoże charakteryzuje się wystarczającą przepuszczalnością, a zwiększenie udziału powierzchni biologicznie czynnych lub przepuszczalnych nie jest możliwe lub, mimo ich zastosowania, istnieje potrzeba zagospodarowania większej ilości wody. Woda dopływająca do takich urządzeń z zasady opuszcza je infiltrując do gruntu. Inne sposoby odprowadzania wody (np. odpływ do kanalizacji lub bezpośrednio do rzeki) pełnią funkcję przelewów awaryjnych, wykorzystywanych w przypadku przepełnienia.

#### Niecki chłonne

Porośnięte roślinnością obniżenia terenu, o wysokim wskaźniku przenikania wody do gleby i małej prędkości przepływu ( $<0,15$  m/s), to niecki chłonne. W idealnych warunkach powinno je cechować małe nachylenie oraz przepuszczalna gleba. Infiltrację można wspomóc przez dodatkowe warstwy infiltracyjne. Skuteczność usuwania zanieczyszczeń w nieckach chłonnych jest wysoka. Dlatego można je stosować jako urządzenia podczyszczające wodę, zanim zostanie ona skierowana do innych obszarów zielonej i błękitnej infrastruktury. Wprowadzenie progów piętrzących zwiększa zdolność retencji, sedimentację i infiltrację oraz obniża tempo odpływu wody. Niecki chłonne mogą być lokalizowane na terenach o różnym stopniu zabudowy (rysunek 4). Ich nieregularny kształt i zróżnicowana głębokość wspierają różnorodną roślinność.





Fot. <greenworkspc.com>

**Rysunek 4.** Niecka chłonna na terenie otwartym (schemat) i silnie zabudowanym (zdjęcie), która poza funkcją retencyjną stanowi główny element architektury krajobrazu na osiedlu w Portland

### Zbiorniki chłonne

Rozwiązanie o podobnej charakterystyce i działaniu jak niecka chłonna, lecz większe, głębsze i stosowane do odprowadzania większych powierzchni (powyżej 1 ha), to zbiornik chłonny (rysunek 5). Stosuje się je na obszarach o różnym stopniu zabudowy i przy

odwadnianiu dróg, przede wszystkim autostrad. Jeżeli pozwala na to jakość doprowadzonych do nich wód, mogą pełnić dodatkowe funkcje krajobrazowe i rekreacyjne. W zlewniach o znacznym udziale zawieszin, poddanie dopływającej wody wstępnej sedimentacji zapobiega kolmatacji ich dna w czasie eksploatacji.



Fot. <www.sudswales.com>

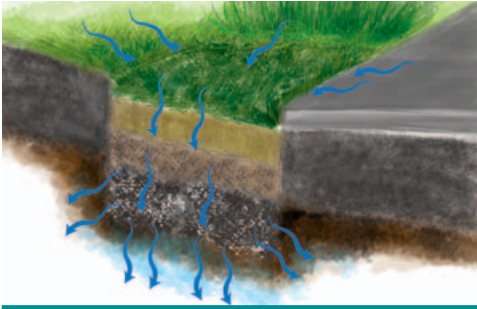
**Rysunek 5.** Zbiornik chłonny wykorzystywany w czasie pogody suchej jako teren rekreacyjny (schemat) i odbierający wodę z terenu ulic i parkingu

### Studnie chłonne

Na szczelnie zabudowanych terenach, gdzie nie ma możliwości zatrzymania wody na powierzchni, można ją infiltrować podpowierzchniowo. Na rynku jest wiele dostępnych, gotowych produktów z tworzyw sztucznych do podziemnej retencji i infiltracji. Alternatywą dla nich jest tzw. studnia chłonna, która może być wykonana mniejszym nakładem kosztów (rysunek 6). Jest to wypełniona materiałem infiltracyjnym i przykryta

głębą, kamieniami lub innym pokryciem studnia, odbierająca wody z okolicznych powierzchni uszczelnionych. Może zajmować powierzchnię dziesiątek metrów kwadratowych, jednakże najczęściej jest ona niewielka ( $< 4 \text{ m}^2$ ), a jej głębokość nie przekracza 2 m. Wyłożenie dna studni geowłókniną oddziela przyległą glebę od materiału wypełniającego i zapobiega osuwaniu się gleby. Infiltracja następuje przez dno lub dno i boki studni.





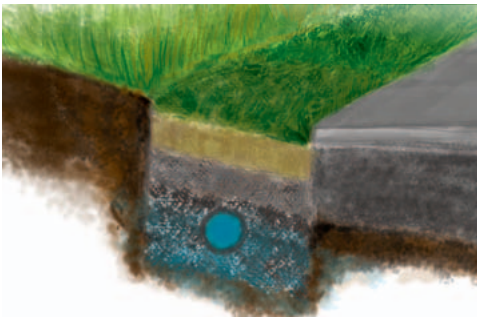
Fot. J. Coleby-Williams

**Rysunek 6.** Przekrój przez studnię chłonną (Burszta-Adamiak, 2011) i studnia chłonna w przydomowym ogrodzie w Bellis, Wynnum Queensland w Australii.

### Rowy chłonne i rowy trawiaste

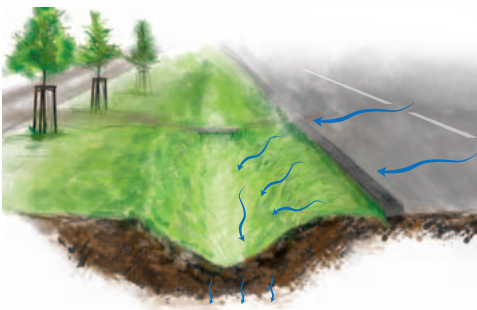
Liniowym urządzeniem infiltracyjnym (budowanym np. wzdłuż drogi) jest rów chłonny, czasem zwany rigolą (rysunek 7). Wypełnia go, jak i studnię chłonną, materiał infiltracyjny. Pokryty jest kamieniami, luźną kostką lub porośnięty roślinnością. Woda opadowa przesącza się do gleby lub perforowanej rury, a jej nadmiar może być kierowany do

tradycyjnego przelewu. Często stosowaną alternatywą dla tradycyjnego betonowego rowu odprowadzającego jest rów trawiasty — trójkątny w przekroju rów o łagodnych stokach (zwykle nachylenie 1:3 od strony drogi, 1:3–1:5 od strony zewnętrznej), w którym gromadzona woda opadowa jest częściowo infiltrowana, a częściowo powierzchniowo odprowadzana dalej (rysunek 8).



Fot. &lt;www.csc.temple.edu&gt;

**Rysunek 7.** Przekrój przez rów infiltracyjny (schemat) i rów infiltracyjny koło szpitala Einstein w East Norriton, w Pensylwanii, w Stanach aZjednoczonych



Fot. &lt;expo2010.freiburg.de&gt;

**Rysunek 8.** Rów trawiasty wzdłuż torów tramwajowych w centrum miasta, Fryburg, Niemcy

## Zadrzewione muldy i rigole

Rozwiązaniem, integrującym retencję podziemną z wysoką zielenią (np. przyuliczną), są zadrzewione muldy lub rigole. W obszarach silnie zabudowanych drzewa mogą również pobierać i odparowywać wodę bezpośrednio ze specjalnie do tego celu dostosowanych systemów retencji podziemnej. W każdym

z tych przypadków, pas zadrzewień jest połączony spójnym podziemnym systemem retencyjnym, infiltracyjnym lub retencyjno-infiltracyjnym, umożliwiającym przepływ zgromadzonej wody pomiędzy roślinami (rysunek 9). W razie intensywnych opadów, nadmiar deszczówki może być przechwytywany przez tradycyjne systemy kanalizacji.



Fot. SvR Design Company

**Rysunek 9.** Przykład zieleni przyulicznej połączonej z systemem infiltracyjnym, kaskada roślinności zasilana wodą z dachów, Maynard Avenue Green Street, Seattle, Waszyngton, Stany Zjednoczone

## Urządzenia do powierzchniowej retencji wód opadowych

Urządzenia do retencji to systemy czasowo lub stale wypełnione wodą, przetrzymujące nadmiar odpływu ze zlewni miejskich. Część wody może ulegać infiltracji i parowaniu, ale większość odpływa powierzchniowo lub systemami rur podziemnych do odbiornika.

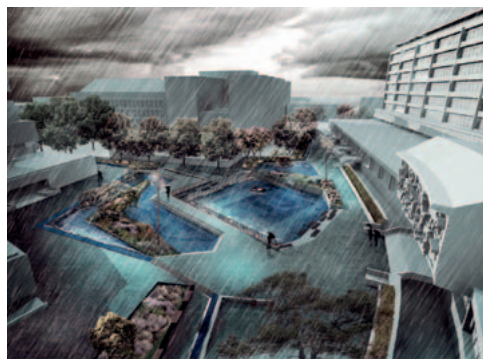
### Suche zbiorniki

Suche zbiorniki są wypełnione wodą tylko w okresie gwałtownych opadów. Woda, spływająca z dróg (na ogół autostrad) lub obszarów o gęstej zabudowie, jest retencjonowana do momentu, kiedy minie zagrożenie powodziowe, a następnie odprowadzana do odbiornika — ekosystemu wodnego lub kanalizacji. Wielkość, pojemność i charakter tych zbiorników są

różne — najbardziej wartościowe z punktu widzenia usług ekosystemów są te, które mają półnaturalny charakter i łączą elementy błękitnej i zielonej infrastruktury. Tereny, które powstają w ten sposób, oferują (poza pojemnością retencyjną) atrakcyjne i otwarte przestrzenie publiczne w okresach bezdeszczowych. Służą wówczas jako tereny zieleni do rekreacji i sportu — np. stadion w Liourat à Vitrolles we Francji. Mogą być również łączone z architekturą miejską. Ciekawym i odważnym przykładem jest plac wodny Benthemplein w Rotterdamie (rysunek 10). Jest on z powodzeniem wykorzystywany w czasie pogody suchej jako atrakcyjna przestrzeń publiczna, a w czasie opadu może pomieścić prawie 2 miliony litrów wody. Od czasu zbudowania w 2013 roku, jego maksymalna pojemność nie była jeszcze wykorzystana.



Fot. De Urbanisten



**Rysunek 10.** Suchy zbiornik — plac wodny Bentheplein w Rotterdamie w Holandii: zdjęcie w czasie pogody suchej i wizualizacja w czasie pogody mokrej

### Suche zbiorniki ze stałym przepływem

Odmianą suchych zbiorników są suche zbiorniki ze strefą stałego przepływu (rysunek 11), często lokalizowane na ciekach. Składają się z rozleglejszego, suchego, górnego poziomu, który jest zatapiany tylko w przypadku wystąpienia intensywnego opadu, oraz z koryta, w którym przez cały czas znajduje się woda

lub płytkie mokradło (0,2–0,5 m), stanowiące element estetyczny oraz ostoję bioróżnorodności. Wydajność usuwania stałych zawiesin i metali ciężkich jest w ich przypadku wysoka — porównywalna ze zbiornikami retencyjnymi i oczyszczalniami hydrobotanicznymi — i wzrasta, wraz z wydłużeniem czasu retencji.

Fot. I. Wagner



Fot. Center for Watershed Protection

**Rysunek 11.** Suche zbiorniki ze strefą stałego przepływu: zbiornik na rzece Sokółówce w Łodzi i w Virginii, w Stanach Zjednoczonych

### Zbiorniki retencyjne

Rozwiązaniami, które stosuje się bezpośrednio w korytach rzecznych lub ich sąsiedztwie, są zbiorniki retencyjne (rysunek 12). Przechwytują one wodę, która została już doprowadzona do rzeki w wyniku bezpośredniego spływu powierzchniowego oraz przez systemy kanalizacji deszczowej lub ogólnospławnej. Zbiorniki zwiększają pojemność retencyjną rzeki, łagodząc ekstremalne przepływy burzowe. Oczysz-

czanie wód opadowych zachodzi tu przede wszystkim w wyniku nasilonej sedymentacji. Nasadzenia roślinności mogą wspomagać biologiczne usuwanie zanieczyszczeń. Zbiorniki na ogół stanowią ważne elementy krajobrazu miasta, podnoszą jego wartość przyrodniczą oraz pełnią funkcje estetyczne, edukacyjne i rekreacyjne. Zachowanie krótkiego (poniżej 2 tygodni) czasu retencji pomaga uniknąć wzrostu sinic, które mogą w okresie lata tworzyć toksyczne zakwity.

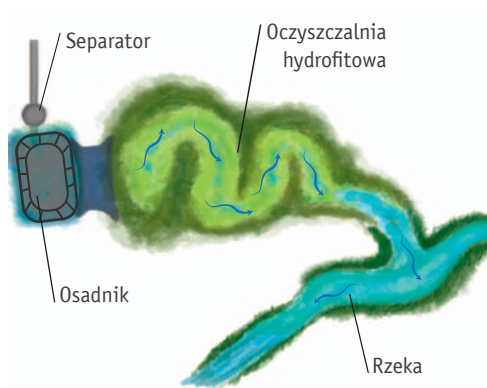


Fot. Barbara Gortat

**Rysunek 12.** Zbiornik retencyjny na rzece Sokołówce w Łodzi w roku jego konstrukcji (2006) i 6 lat później — już z ukształtowaną roślinnością

## Urządzenia hydrofitowe do oczyszczania wód opadowych

Oczyszczalnie hydrofitowe to konstrukcje wykorzystujące makrofity (np. pałka szerokolistna, pałka miniaturowa, tatarak zwyczajny, kosaciec żółty, oczeret jeziorny, trzcina pospolita) do oczyszczania wód deszczowych na granicy odbiornika (rzeki, zbiornika, jeziora). Ich działanie, zwłaszcza przy dopływie wód znacznie zanieczyszczonych (z ulic, parkingów, stacji obsługi samochodów), może być wspomagane urządzeniami podczyszczającymi w postaci separatorów i osadników. Pomaga to podtrzymać funkcje systemów biologicznych.



## Oczyszczalnie hydrofitowe

Być może najpopularniejszymi rozwiązaniami dla retencji i podczyszczania wód opadowych, bezpośrednio przed ich odpływem do ekosystemów wodnych, są oczyszczalnie hydrofitowe (rysunek 13). Są to porośnięte roślinnością systemy o wydłużonym czasie retencji, trwale i w różnym stopniu nasycone wodą. Większość miejskich oczyszczalni hydrofitowych dla ścieków opadowych to systemy poziomego przepływu powierzchniowego. Dzięki dużej pojemności i przepustowości, najlepiej sprawdzają się w warunkach gwałtownych miejskich przepływów. Rośliny naczyniowe (wynurzone i zanurzone) skutecznie usuwają zanieczyszczenia i zwiększają sedymentację.



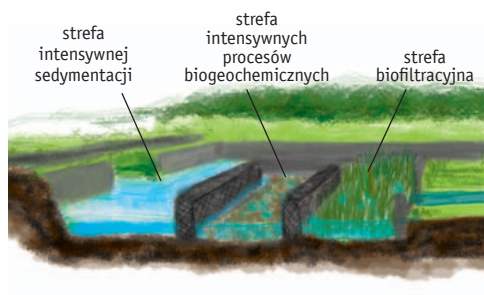
Fot. Kleinfelder

**Rysunek 13.** Przykładowy schemat oczyszczalni hydrofitowej dla wód opadowych. Na zdjęciu — duża oczyszczalnia hydrofitowa dla wód opadowych w Massachusetts w Stanach Zjednoczonych



### Sekwencyjne systemy sedimentacyjno-biofiltracyjne

Sekwencyjny system sedimentacyjno-biofiltracyjny (rysunek 14) jest odmianą oczyszczalni hydrofitowej, wykorzystującej regulację ekohydrologiczną. Stosuje się go na bezpośrednim dopływie wód opadowych do odbiornika lub na samym cieku<sup>2</sup>. Składa się z trzech stref: intensywnej sedimentacji (w któ-



rej kombinacja stałych i przenośnych konstrukcji modyfikuje hydrodynamikę komory i zwiększa sedimentację; intensywnych procesów biogeochemicznych (gdzie grube frakcje wapienia wychwytyją związki fosforu); i biofiltracyjnej (służącej usuwaniu związków biogenych z wykorzystaniem makrofitów). Strefy są oddzielone od siebie gabionami z grubego żwiru, które dodatkowo filtrują wodę.



Fot. Sebastian Szklarek

**Rysunek 14.** Sekwencyjny system sedimentacyjno-biofiltracyjny — schemat i jego pilotażowe wdrożenie na rzece Sokółwce w Łodzi

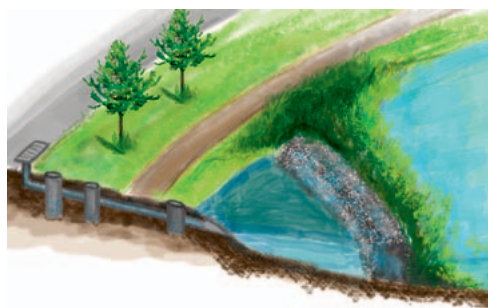
### Buforowe strefy roślinności przybrzeżnej z barierą biogeochemiczną

Systemy sedimentacyjno-biofiltracyjne mogą być łączone ze strefami roślinności buforowej na brzegach zbiorników wodnych<sup>3</sup> (rysunek 15). Usuwanie zanieczyszczeń zachodzi tu w wyniku intensywnej sedimentacji i asymilacji przez roślinność wodną i adsorpcję w barierach biogeochemicznych w postaci gabionów wypełnionych kamieniem dolomi-

towym lub wapiennym i osłoniętych od góry matą kokosową. Rozwiązanie to może być stosowane do podczyszczania wód opadowych doprowadzanych do rzek i zbiorników punktowymi wylotami kanalizacji deszczowej. To ostatnie jest jednak możliwe tylko wówczas, gdy odwadniana powierzchnia jest niewielka, a prędkość przepływu wody w czasie opadu nie jest na tyle wysoka, aby zniszczyć rosnącą w systemie roślinność. Wskazane jest również zastosowanie podziemnych separatorów i osadników przed wprowadzeniem wody do systemu.

<sup>2</sup> System taki został zrealizowany na rzece Sokółwce w Łodzi, w ramach projektu europejskiego SWICHT (6 FP EU, GOCE 018530) i POIG.01.01.02-10-106/09-04 „Innowacyjne środki i efektywne metody poprawy bezpieczeństwa i trwałości obiektów budowlanych i infrastruktury transportowej w strategii zrównoważonego rozwoju”, finansowanych z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka.

<sup>3</sup> Takie rozwiązanie zastosowano w projekcie „Ekohydrologiczna rekultywacja zbiorników rekreacyjnych Arturówek (Łódź) jako modelowe podejście do rekultywacji zbiorników miejskich” (EH-REK; LIFE08 ENV/PL/000517).



Fot. Tomasz Jurcza

**Rysunek 15.** Strefa buforowa z barierą biogeochemiczną do podczyszczania wód odprowadzanych bezpośrednio do zbiornika wodnego — schemat i przykład pilotażowego zastosowania na stawach w Arturówku w Łodzi

## Działania niestrukturalne

Wdrażanie rozwiązań z zakresu zrównoważonego zagospodarowania wód opadowych wymaga nie tylko podejmowania działań technicznych, ale również osadzenia ich w szerszym kontekście. Ten kontekst powstaje w wyniku szeregu działań niestrukturalnych (miękkich), które obejmują następujące obszary (EPA 2005):

- edukacja/świadomość — edukacja obywateli i kampanie informacyjne na temat alternatyw dla zagospodarowania wód opadowych;
- planowanie i zarządzanie — kontrola zanieczyszczeń emitowanych przez pojazdy, świadome projektowanie przestrzeni miejskiej, planowanie roślinności, zmniejszenie powierzchni nieprzepuszczalnych i odłączanie ich od kanalizacji deszczowej;
- obsługa i utrzymanie systemów kanalizacji deszczowej — sprzątnięcie ulic, czyszczenie studzienek i wpustów kanalizacyjnych, przepłukiwanie systemu kanalizacji, utrzymanie dróg i mostów, utrzymanie kanałów burzowych oraz rowów i cieków wodnych;
- zapobieganie wyciekom zanieczyszczeń i usuwanie ich skutków — kontrola wycieków oleju z samochodów i cystern, kontrola szczelności kanalizacji sanitarnej i szamb;
- kontrola składowania odpadów — znakowanie kanalizacji deszczowej, odbiór niebezpiecznych odpadów z gospodarstw domowych, odbiór i recykling zużytego oleju;

- kontrola nielegalnych przyłączy — zapobieganie nielegalnym przyłączeniom do kanalizacji deszczowej, ich wykrywanie i likwidacja;
- ponowne wykorzystanie wód opadowych — wykorzystanie wód opadowych do celów niekonsumpcyjnych (np. spłukiwania toalet, podlewanie zieleni miejskiej).

Doświadczenia z Krajowego Systemu Eliminacji Odpływu Zanieczyszczeń (*National Pollutant Discharge Elimination System*, NPDES) w Stanach Zjednoczonych wskazują, że działania niestrukturalne, które angażują i włączają wielu interesariuszy (społeczeństwo, szkoły, przedsiębiorców, decydentów, polityków, media, artystów), mogą być nawet bardziej skuteczne w rozwiązywaniu problemów wód opadowych niż działania strukturalne. Ich podstawą jest powszechne zrozumienie wyzwań związanych z tradycyjnym zagospodarowaniem wód opadowych w mieście, skutków podejmowanych decyzji i działań w przestrzeni miejskiej oraz potrzeby zmiany podejścia i wynikających z niego korzyści. Są one punktem wyjścia do stworzenia platformy współpracujących instytucji, wypracowania wytycznych, norm prawnych i procedur, a także budowania atmosfery odpowiedzialności za wspólne działania w obszarach publicznych (np. w planowaniu przestrzennym, architekturze, ochronie środowiska, planowaniu infrastruktury) i prywatnych (np. konieczność retencji odpływu wygenerowanego na terenie własnej posesji).

## Niestrukuralne działania planistyczne — wykorzystanie potencjału zielonej i błękitnej infrastruktury

Planowanie przestrzenne ma ogromne znaczenie dla tworzenia warunków sprzyjających zrównoważonemu zagospodarowaniu wód opadowych. Jednym z celów planistycznych powinno być funkcjonalne połączenie systemu błękitnej i zielonej infrastruktury i spójne wkomponowanie jej w zwartą zabudowę miejską, co jest często dużym wyzwaniem. Takie podejście jest jednak ważne dla zachowania wysokiego potencjału systemu przyrodniczego miasta, co przekłada się na jego zdolność dostarczania usług ekosystemów, w tym dla retencjonowania wód opadowych. Zapewnienie tego potencjału wymaga zintegrowanego sposobu myślenia o mieście i jego systemie przyrodniczym (por. rozdział o zintegrowanym zarządzaniu: Krauze i Wagner w tym tomie). Aby optymalnie wykorzystać potencjał przyrodniczy zielonej i błękitnej infrastruktury, należy zapewnić różnorodność jej form oraz ich przestrzenną łączność, zwiększając infiltrację wody na terenie miasta.

### Ograniczenie udziału powierzchni uszczelnionych

Ograniczenie udziału powierzchni uszczelnionych w przestrzeni miejskiej jest jednym z podstawowych działań dla zatrzymania wody w mieście. Może być realizowane na kilka sposobów. Podstawowym działaniem jest wyznaczenie i zabezpieczenie przed zabudową obszarów retencji, infiltracji i spływu powierzchniowego, naturalnie zatrzymujących wodę. Ze względu na ich, często, podmokły charakter, odstępianie od ich zabudowy ogranicza również ryzyko podtopienia i powodzi dla inwestycji. Szczegółnej i bezwzględnej ochronie powinny tu podlegać rzeki i doliny rzeczne, jako odbiorniki wód opadowych, oraz korytarze łączące system przyrodniczy miasta z jego otoczeniem.

Kolejnym krokiem jest określenie warunków zabudowy dla nowych inwestycji i terenów rewitalizowanych w poszczególnych strefach miasta. Istnieją tu dwie możliwości. Pierwsza wiąże się z określeniem sposobu zabudowy, ustalającym minimalną wielkość działki i gęstość zabudowy,

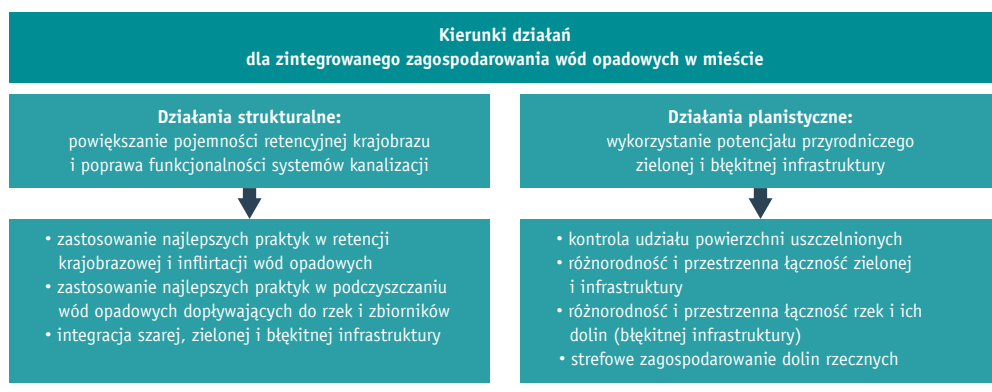
dozwolony maksymalny udział powierzchni nieprzepuszczalnej lub minimalny udział terenu biologicznie czynnego. Może również określać szczegółowe wymogi i wytyczne techniczne dotyczące najlepszych praktyk i materiałów stosowanych do utwardzania i budowy dużych nawierzchni (np. przepuszczalne nawierzchnie ulic, podjazdów, parkingów). Dobrą praktyką, zwiększającą lokalną retencję wody, jest wymóg zachowania zróżnicowanego ukształtowania terenu przy inwestycjach (np. zagłębień, zróżnicowanych spadków, nierówności zatrzymujących wodę), zamiast porośniętych trawą płaskich powierzchni.

Druga możliwość polega na wprowadzeniu wymogu zachowania określonej wielkości odpływu z terenu inwestycji po jej zakończeniu. Można założyć, że odpływ powinien pozostać niezmieniony w stosunku do odpływu występującego na danym terenie przed realizacją inwestycji. Można również oczekiwać osiągnięcia określonej wartości odpływu z powierzchni po zakończeniu budowy (np. współczynnik spływu 0,1 oznacza, że 90% wody pochodzącej z opadu zostanie zatrzymane na analizowanej powierzchni). Podobne rozwiązania stosuje się z powodzeniem w Niemczech, a ostatnio również w Polsce (Kraków).

### Zapewnienie różnorodności błękitnej i zielonej infrastruktury

Ochrona różnorodności i jakości błękitnej i zielonej infrastruktury to przede wszystkim zachowanie różnorodności jej elementów w krajobrazie miasta (rzeki, doliny rzeczne, zbiorniki wodne, naturalne i sztuczne obszary podmokłe, parki, skwery, sady, ogrody, ogródki działkowe, zazielenione cmentarze, pasy zieleni przyulicznej, użytki ekologiczne i inne). Dobrą praktyką jest stosowanie rodzimych gatunków i zgodnych z fizjografią terenu zbiorowisk roślinnych. Jest to praktyka stosowana w Polsce rzadko, mimo iż takie rozwiązania nie tylko podnoszą wartość przyrodniczą, ale i zdrowotną miasta. Tworzą również oryginalne i urokliwe elementy krajobrazu miasta i budują tożsamość przyrodniczą jego mieszkańców.

Dla błękitnej infrastruktury bardzo ważne jest podjęcie działań w kierunku zachowania istniejących ekosystemów wodnych i od wód zależnych (sprzyjających retencji wody) w możliwie niezmie-



**Rysunek 17.** Wykorzystanie błękitnej i zielonej infrastruktury dla zintegrowanego zagospodarowania wód opadowych w miastach

nionym stanie, wraz z ich zieloną otuliną (sprzyjającą poprawie jakości wody i stanu ekosystemów). Przykładem może być opracowana w Łodzi koncepcja strefowego zagospodarowania małych dolin rzecznych. Zakłada ona, że każda miejska rzeka powinna być otoczona trzema strefami:

I strefa — bezwzględnie chroni koryto rzeki i jej dolinę przed zabudową. Zakłada rekultywację rzek zdegradowanych, jeśli pozwalają na to możliwości techniczne. Te tereny są wykorzystywane do odprowadzania i doczyszczania wód opadowych i jako tereny rekreacyjne. Strefę I wyznaczono na krawędzi wody 100-letniej, uwzględniając przy tym zakres stref siedlisk przyrodniczych i korzyści ekologicznych, o ile są one wyznaczone w strefie wody 100-letniej i pozwala na to obecny stan zagospodarowania.

II strefa — obejmuje tereny czasowo podtapiane. Przewiduje możliwość zagospodarowania lekką infrastrukturą rekreacyjną (np. trawiaste boiska, miejsca piknikowe, ścieżki do biegania). Strefę wyznaczono w odległości 50–100 m od granicy strefy I, włączając obszary krajobrazu przyrodniczego i przyrodniczo-kulturowego, o ile są one połączone z wyznaczaną strefą w sposób ciągły.

III strefa — to strefa niskiej zabudowy o ściśle określonych parametrach, ze znacznym udziałem terenów biologicznie czynnych i retencją wody na terenie posesji. Strefę wyznaczono pomiędzy granicą strefy II a linią istniejącej zabudowy w dolinach rzek lub w ich sąsiedztwie oraz na podstawie

wytycznych dotyczących warunków przyrodniczych w dolinie i jej okolicy.

### Zapewnienie przestrzennej łączności systemu przyrodniczego miasta

Zapewnienie przestrzennej łączności obszarów systemu przyrodniczego miasta zwiększa ich odporność na działanie czynników zewnętrznych i wzmacnia ich potencjał do dostarczania usług ekosystemów. Jest to zadanie trudne w ciasno zabudowanej przestrzeni miejskiej, w której konkurencja i wysokie ceny gruntów często powodują przedkładanie inwestycji „twardych” nad tworzeniem terenów błękitnej i zielonej infrastruktury. Projektując system przyrodniczy miasta, należy jednak kierować się kilkoma regułami. Tereny zieleni powinny, w określonych warunkach, być jak największe, jak najbardziej zwarte i położone jak najbliżej siebie. Ich integracja z rozwiązaniami strukturalnymi najlepszych praktyk zarządzania wodą opadową będzie sprzyjała lepszemu funkcjonowaniu tych obszarów, ponieważ zapewnia lepszą dostępność wody dla roślinności. Jeżeli nie jest możliwe zapewnienie ciągłości zielonej infrastruktury, można ją rekompensować właściwie zaplanowaną zielenią przyuliczną (por. poprzedni poradnik z serii *Zrównoważony Rozwój — Zastosowania*), stworzeniem „zielonych wysp” (np. położonych blisko siebie zielonych dachów, skwerów) oraz zwiększeniem powierzchni przepuszczalnych lub upowszechnieniem rozwiązań strukturalnych dla retencji i infiltracji wody.



## Podsumowanie

Zrównoważone zagospodarowanie wód opadowych w mieście to podstawa funkcjonowania zielonej i błękitnej infrastruktury. Jego osiągnięcie jest możliwe w oparciu o integrację wielu obszarów działań, które wykorzystują zarówno rozwiązania strukturalne, jak i planistyczne (rysunek 17). Ich łączenie prowadzi do powiększania pojemności retencyjnej krajobrazu, również pod presją zmieniającego się klimatu i postępującej urbanizacji, odciążając

systemy kanalizacji deszczowej i redukując ryzyko podtopień, powodzi i suszy (w tym miejskiej wyspy ciepła) i ich następstw. Dostępność wody jest jednym z podstawowych czynników, które stanowią warunek dla poprawnego funkcjonowania ekosystemów miejskich. Zachowanie wysokiego potencjału przyrodniczego zielonej i błękitnej infrastruktury przekłada się także na zdolność dostarczania wielu usług ekosystemów, istotnych z punktu widzenia jakości życia mieszkańców miast i będących podstawą ich bezpieczeństwa ekologicznego.

## Studium przypadku: ekohydrologiczna rekultywacja zbiorników rekreacyjnych w Arturówku w Łodzi

Małe rzeki i zbiorniki wodne są nieodłącznym elementem krajobrazu Łodzi — miasta na wododziale Wisły i Odry. Taka lokalizacja i brak dużego odbiornika ścieków deszczowych powodują również, że miasto jest zmuszone do poważnego rozważania konieczności stosowania zrównoważonych rozwiązań w zagospodarowaniu wód opadowych i do wielofunkcyjnego wykorzystania przestrzeni (np. łączenia retencji wody z funkcjami rekreacyjnymi, krajobrazowymi i ochroną bioróżnorodności).

Trzy stawy w Arturówku na rzece Bzurze, wraz z otaczającym je kompleksem leśnym, to jeden z najcenniejszych i ogólnodostępnych obszarów rekreacji, a nawet wypoczynku wakacyjnego, dla mieszkańców miasta. Dużą atrakcją dla wypoczywających są wyznaczone kąpieliska. Dopływ wód opadowych i zasilanie wewnętrzne zbiorników w związki biogenne, z nagromadzonych przez lata osadów dennych, skutkowało niską jakością wody. Największym zagrożeniem były pojawiające się w gorące dni lata zakwity sinic, produkujących szkodliwe dla zdrowia ludzi toksyny. Intensywność zakwitu znacznie przekraczała wytyczne WHO dla wód rekreacyjnych. Taka sytuacja stanowiła zagrożenie dla zdrowia korzystających ze stawów ludzi i wielokrotnie skutkowało zamknięciem kąpieliska. Poprawa jakości wody i stanu ekologicznego stawów stała się warunkiem zachowania atrakcyjności obszaru, stworzenia bezpiecznej przestrzeni publicznej oraz odtworzenia dostarczanych przez ten ekosystem usług.

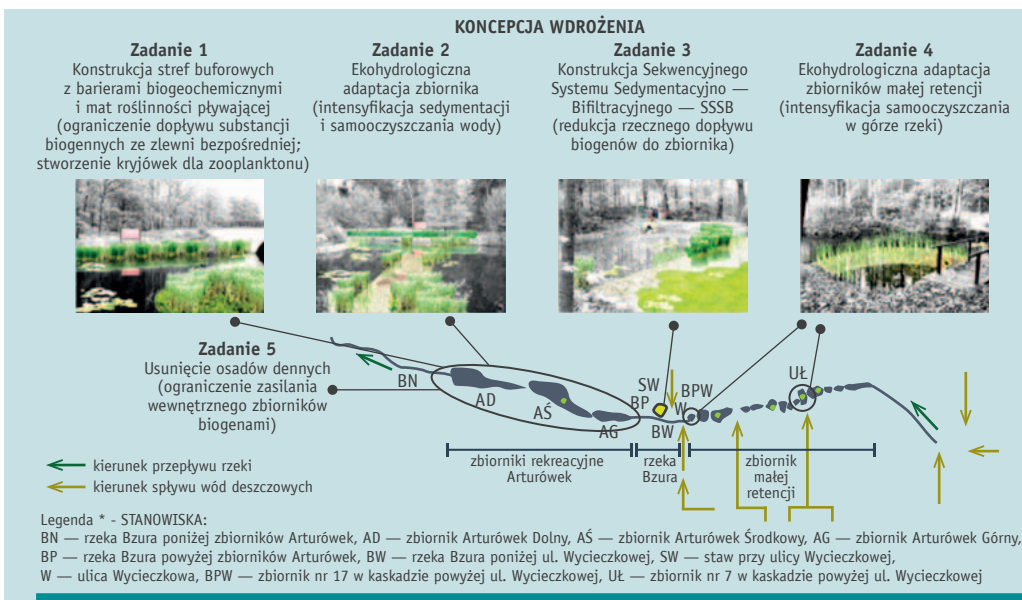
W ramach projektu ekohydrologicznej rekultywacji stawów w Arturówku<sup>4</sup>, opracowano analizę zagrożeń i szans dla rekultywowanego obszaru (Jurczak i in. 2012). Na tej podstawie określono plan działań dla poprawy jakości wody w stawach, w którym jednym z wyzwań było podczyszczenie dopływających do stawów wód opadowych. W tym celu zastosowano następujące rozwiązania (rysunek 16):

- Stawy w Arturówku zasilane są rzeką, na której znajduje się kaskada siedemnastu małych zbiorników zaporowych. Dwa z nich poddano adaptacji ekohydrologicznej — usunięto osady, obsadzono roślinnością przyspieszającą oczyszczanie wody oraz wykonano adaptację hydrotechniczną, wymuszającą przepływ wody przez strefy roślinne.
- Zaprojektowano i wybudowano system przechwytyjący zanieczyszczenia dopływające z ulicy do zbiorników w Arturówku. W wyniku nasilonej sedimentacji i asymilacji w strefach roślinnych transportowany ładunek zanieczyszczeń jest niższy o ponad 60%.
- Najwięcej osadów dopływających do stawów w Arturówku gromadziło się w górnej części pierwszego z nich. Górna część jego czaszy została więc również przekształcona w sekwencyjny system sedimentacyjno-biofiltracyjny.
- Do zbiorników w Arturówku punktowo dopływają wody opadowe odprowadzane bezpośrednio z niewielkich zlewni deszczowych (hotel, ośrodek sportu). W miejscu ich wlotu do zbiornika zastosowano opisane wcześniej w tym rozdziale buforowe strefy roślinności z barierą biogeochemiczną.
- W najniższej położonym stawie usunięto osady i umieszczono wyspy pływającej roślinności, dodatkowo doczyszczające wodę.

W pierwszym roku po zakończeniu inwestycji (2014), po raz pierwszy od wielu lat stężenia biogenów spadły dziesięciokrotnie, nie wystąpiły zakwity sinic, a woda jest tak przejrzysta, aż widać dno.

Nowatorstwo proponowanych rozwiązań wiąże się głównie z kompleksowym zastosowaniem wielu uzupełniających się rozwiązań wzdłuż całego systemu rzeki. Zastosowanie rozwiązań ekohydrologicznych pozwoliło osiągnąć znaczące

<sup>4</sup> Projekt „Ekohydrologiczna rekultywacja zbiorników rekreacyjnych Arturówek (Łódź) jako modelowe podejście do rekultywacji zbiorników miejskich” (EH-REK; LIFE08 ENV/PL/000517) jest realizowany przez Katedrę Ekologii Stosowanej Uniwersytetu Łódzkiego, we współpracy z Łódzką Spółką Infrastrukturalną oraz Urzędem Miasta Łodzi, reprezentowanym przez Miejski Ośrodek Sportu i Rekreacji. Projekt jest finansowany przez Komisję Europejską, Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej i współfinansowany przez Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Łodzi oraz stanowi wkład własny beneficjentów projektu.



**Rysunek 16.** Rozwiązania zastosowane w rekultywacji stawów w Arturówku

korzyści przy relatywnie niskich kosztach. Obszary przyrodnicze stały się podstawą dla stworzenia atrakcyjnej i bezpiecznej przestrzeni, przekładającej

się na cele strategiczne miasta, zawarte w Strategii Zintegrowanego Rozwoju Łodzi 2020+ i koncepcji Błękitno-Zielonej Sieci (Wagner i in. 2013).

## Literatura

- Burszta-Adamiak, E., 2011. Odprowadzanie wód opadowych systemami do podziemnej retencji i infiltracji. *Rynek Instalacyjny*, 5, s. 48–51.
- Edel, R., 2010. *Odwadnianie dróg*, Warszawa: Wydawnictwa Komunikacji i Łączności.
- EPA, 2005. *National management measures guidance to control nonpoint source pollution from urban areas*, Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency.
- EPA, 2007. *Reducing stormwater costs through Low Impact Development (LID) strategies and practices*, Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency.
- Geiger, W., Dreiseitl, H., 1999. *Nowe sposoby odprowadzania wód deszczowych. Poradnik retencjonowania i infiltracji wód deszczowych do gruntu na terenach zabudowanych*, Bydgoszcz: Oficyna Wydawnicza Projprzem-EKO.
- Jurczak, T., Wagner, I., Zalewski, M., 2012. *Ekohydrologiczna rekultywacja zbiorników rekreacyjnych Arturówek (Łódź) jako modelowe podejście do rekultywacji zbiorników miejskich (EH-REK). Analiza zagrożeń i szans (LIFE08 ENV/PL/000517)*, Łódź: Wydział Biologii i Ochrony Środowiska UŁ.
- Kaźmierczak, A., 2013. Innowacyjne metody wspierania tworzenia zielonej infrastruktury w miastach: współpraca władz lokalnych z inwestorami i właścicielami budynków. *Zrównoważony Rozwój — Zastosowania*, 4, s. 98–109.
- KE, 2013. *Zielona infrastruktura — zwiększanie kapitału naturalnego Europy (COM (2013)249)*, Bruksela: Komisja Europejska.
- Królikowska, J., Królikowski, A., 2012. *Wody opadowe. Odprowadzanie zagospodarowanie podczyszczanie*, Piaseczno: Wydawnictwo Seidel-Przywecki.
- Wagner, I., Breil, P., 2013. The role of ecohydrology in creating more resilient cities. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 13(2), s. 113–134.
- Wagner, I., Krauze, K., Zalewski, M., 2013. Błękitne aspekty zielonej infrastruktury. *Zrównoważony Rozwój — Zastosowania*, 4, s. 145–155.
- Zalewski, M., 2011. Ecohydrology for implementation of the EU Water Framework Directive. *Proceedings of the ICE — Water Management*, 164(8), s. 375–386.