



MARZENA SUCHOCKA

marzena\_suchocka@sggw.pl



MARTA SIEDLECKA

marta.siedlecka.ms@gmail.com

Szkoła Główna  
Gospodarstwa Wiejskiego  
w Warszawie

## Powierzchniowe systemy infiltracyjne z możliwością retencji wody jako metoda odwadniania nawierzchni dróg i ulic

System odwodnienia nawierzchni obejmuje zespół elementów usytuowanych w pasie drogi, służących do odprowadzenia wody z powierzchni jezdni, podbudowy, a także podłoża drogi. Problemy z odprowadzaniem wody zwiększają ryzyko degradacji nawierzchni jezdni i utwardzonych poboczy. Efektem tego są: powstająca duża ilość spękań, warstwy nawierzchni mogą mieć gorsze powiązanie, a konstrukcja nawierzchni

obniżoną nośność. Wymienione czynniki wpływają łącznie na obniżenie bezpieczeństwa użytkowników dróg i ulic oraz wiążą się ze zwiększeniem nakładów na amortyzację ciągów komunikacyjnych. Stan poboczy oraz elementów odwodnienia dróg, bezpośrednio wpływających na czas niezbędny do odprowadzenia wody z powierzchni jezdni i warstw konstrukcyjnych, w istotny sposób wpływają na postęp degradacji nawierzchni.

W dokumentach technicznych GDDKiA wyróżnia się następujące grupy urządzeń, stosowanych jako systemy odwodnienia dróg na terenach zabudowanych i niezabudowanych: powierzchniowe, wgłębne (filtracyjne) i podziemne (szczelne, kanalizacja).

Odwodnienie powierzchniowe dróg zapewniają następujące rozwiązania: rowy, rynny otwarte (ścieki), przepusty, zbiorniki retencyjne, zbiorniki odparowujące. Odwodnienie wgłębne dróg realizowane jest za pomocą drenów, sączków, warstw filtracyjnych, nasypów, studni chłonnych i zbiorników infiltracyjnych. Systemy podziemne to głównie rowy zakryte, rynny zamknięte oraz kanalizacja typu ulicznego obejmująca kanały o zamkniętych przekrojach, deszczowe studzienki wpustowe z kratką, studzienki rewizyjne i połączeniowe [5].

W okresie wiosennym i letnim mamy często do czynienia z występowaniem nagłych i gwałtownych opadów deszczu. Podtopienia i stagnowanie wody opadowej na chodnikach, ulicach i drogach stają się coraz częstszym zjawiskiem. W konwencjonalnej gospodarce wodą opadową zapobiegać temu miały kanalizacja burzowa i kanalizacja ogólnospławna. W praktyce okazuje się, że podczas intensywnych

opadów systemy te nie są przystosowane do odbioru tak ogromnych ilości wody w krótkim czasie.

Zasadnicze działania w kierunku zrównoważonego gospodarowania wodami opadowymi na terenie ciągów komunikacyjnych powinny polegać na ograniczeniu spływu powierzchniowego, a więc na zastosowaniu rozwiązań umożliwiających natychmiastowe przesiąkanie i infiltrację wód deszczowych w miejscu opadu atmosferycznego – nawierzchni przepuszczalnych. W rejonach, gdzie podłoże charakteryzuje się niewystarczającą przepuszczalnością, czyli gdy wody opadowej jest znacznie więcej niż podłoże takie jest w stanie przyjąć, a zwiększenie powierzchni biologicznie czynnej na danym terenie lub zastosowanie nawierzchni przepuszczalnych nie jest możliwe, należy rozważyć wykonanie instalacji umożliwiających oprócz infiltracji, również retencję wody na powierzchni terenu.

W dalszej części artykułu opisane zostały propozycje rozwiązań retencyjnych, w których wykorzystywana jest roślinność. Paleta rozwiązań jest szeroka i obejmuje m.in.:

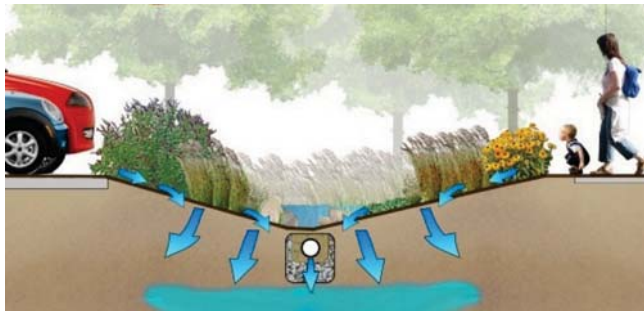
- rowy chłonne (żwirowe i roślinne),
- niecki infiltracyjno-retencyjne,
- ogrody deszczowe,
- wyspy środkowe,
- roślinne wypustki uliczne oraz boksy,
- zadrzewione muldy,
- suche zbiorniki,
- stawy retencyjne,
- mokre tereny dla wód opadowych tzw. sztuczne mokradła.

Urządzenia tego rodzaju w wielu przypadkach mogą funkcjonować samodzielnie, względnie stanowić część większego systemu zarządzania wodą opadową. W artykule opisane zostały wybrane przykłady rozwiązań z wykorzystaniem roślinności poprawiających retencję w sąsiedztwie dróg, która to roślinność pełni również dodatkowo inne funkcje, zapewniając szeroki wachlarz usług ekosystemów.

### Rowy chłonne żwirowe i roślinne

Rów chłonny, infiltracyjny (ang. infiltration trench) określa liniowe urządzenie odwadniające, towarzyszące trasom komunikacyjnym i terenom przemysłowym. Amerykańska organizacja na rzecz ochrony środowiska w mieście Nowy

Jork (GrowNYC) definiuje rowy chłonne (ang. dry swales) jako liniowe, zagłębione obszary retencji, zaprojektowane w celu zatrzymania wody i spowolnienia jej spływu, pozwalające na infiltrację wody opadowej w czasie od



Rys. 1. Schemat przepływu wody deszczowej przez rów wegetacyjny w środowisku zurbanizowanym [21]

24 do 48 godzin [28]. Konstrukcyjnie jest to zagłębienie terenu o przekroju prostokątnym wypełnione materiałem infiltracyjnym, który przykrywa się kamieniami lub warstwą gleby. Ścianki rowu czasami dodatkowo umacnia się faszyną. W warstwie infiltracyjnej, jeśli istnieje taka potrzeba, umieszcza się rurę perforowaną (rys. 1.). Woda opadowa, kierowana tu z przyległych terenów na skutek nachylenia nawierzchni, przesącza się bezpośrednio do podłoża glebowego lub do perforowanej rury, przez którą nadmiar wody kierowany jest do kolejnych elementów systemu, np. tradycyjnych przelewów. Na terenach, gdzie powstaje większa ilość zanieczyszczeń, należy zamontować również filtry [3], [7], [8]. Rowy chłonne mogą być używane wspólnie z roślinami bioretencyjnymi, mokradłem trawiastym czy innymi urządzeniami służącymi do obniżania poziomu zanieczyszczeń odprowadzanych z nieprzepuszczalnych powierzchni miejskich [9]. Odpowiednio zaprojektowany rów chłonny spowalniając i oczyszczając wodę znacznie przewyższa w działaniu tradycyjne rowy melioracyjne.

Oprócz rowów infiltracyjnych z nawierzchnią tłuczniową, wykonuje się rowy, których powierzchnię porasta trawa (ang. *bioswales*, *grassed swales*) lub roślinność wilgociolubna (ang. *vegetated swales*). Przydrożne rowy odwadniające są naturalnym elementem krajobrazowym na terenach wiejskich. Należy dążyć, aby również na terenach zurbanizowanych stały się częściej stosowaną alternatywą w przypadku tradycyjnych rowów betonowych (fot. 1.). Gromadzona w rowach woda opadowa jest w części natychmiast infiltrowana do podłoża, powierzchniowo odprowadzany jest jedynie jej nadmiar podczas ulew. Rów trawiasty w przekroju poprzecznym powinien być trapezowy lub paraboliczny i posiadać łagodne stoki – od strony obsługiwanego parkingu lub drogi nachylenie wynoszące 1:3, od strony zewnętrznej 1:3 do 1:5.



Fot. 1. Kamienny rów infiltracyjny wzdłuż trasy komunikacyjnej [36]



Fot. 2. Z lewej – Rów chłonny wzdłuż parkingu, proj. L. Capouya Landscape Architecture [32]; w środku – Rów trawiasty, Augustenborg, Malmö, Szwecja, fot. A. Vaxelaire [37]; z prawej – Przykład dekoracyjnego rowu wegetacyjnego w dzielnicy domów jednorodzinnych, proj. NACTO [33]

Rośliny przeznaczone do rowów wegetacyjnych powinny być wytrzymałe na skrajne warunki pogodowe, tj. susze i podtopienia, posiadać głęboki system korzeniowy tworzący gęstą darń i wytrzymałą część nadziemną, tak aby przetrzymać napór płynącej wody, akceptować pełne lub częściowe nastonecznienie, tolerować zanieczyszczenia i wyższy poziom zasolenia. W wyższych partiach rowów mogą być sadzone drzewa i krzewy (np. wierzby, tawuły), natomiast w niższych partiach – rośliny lubiące wilgotne stanowiska (np. astry, turzyce). Na odcinkach bardziej mokrych rowów na dnie sadi się tatarak, względnie knieć błotną.

Liniowa struktura rowów chłonnych sprzyja zastosowaniu ich w systemach gospodarowania wodami opadowymi w pobliżu autostrad, dróg miejskich, w okolicach parkingów i wzdłuż granic nieruchomości – stanowiąc odpływ rynnowy (fot. 2.). W krajobrazie miejskim jako element liniowy mogą w estetyczny sposób wyznaczać granice i oddzielać tereny o różnym przeznaczeniu. Rowy wegetacyjne mogą także pełnić ważną w ekosystemie rolę łącznika pomiędzy rozproszonymi terenami zieleni [7], [8].

## Powierzchnie bioretencyjne

Powierzchnie bioretencyjne (ang. *bioretention area*) to powierzchnie retencyjne i chłonne, wykonywane jako obniżenie terenu z zastosowaniem drenażu podziemnego, porośnięte roślinnością, znoszącą stałe lub okresowe zalewanie. Działanie tego rodzaju powierzchni polega na zagospodarowywaniu wód opadowych częściowo poprzez proces infiltracji, w trakcie którego woda przedostaje się do gruntu bezpośrednio podczas opadu lub po czasowej retencji, a częściowo poprzez roślinność. Woda wykorzystywana jest w procesach wzrostu i oddawana do atmosfery na drodze transpiracji.

Obszary bioretencyjne przyjmują wody opadowe z przylegających terenów praktycznie nieprzepuszczalnych takich jak: ciągi komunikacyjne, parkingi, a także z połaci dachowych, przyczyniając się do poprawy lokalnych warunków hydrologicznych. Stają się w wyniku tego powierzchniami ekokompensacji przyrodniczej na terenach zurbanizowa-

nych. Niektóre z tych obszarów, po intensywnym obsadzeniu roślinami hydrofitowymi, można wkomponować w miejsca nawet bardzo zanieczyszczone [6], [11], [18].

Pod pojęciem powierzchni bioretencyjnych kryje się szeroka i zróżnicowana grupa rozwiązań stosowanych na terenach osiedlowych i komunikacyjnych jako elementy większych systemów drenażu, względnie wykorzystywanych jako sposób zagospodarowania parków i ogrodów prywatnych. Niezależnie od miejsca występowania, powierzchnie obsadzone roślinnością dają wyraźnie dodatni efekt krajobrazowy – wpływają na uporządkowanie przestrzeni, pełnią funkcję estetyczną i podnoszą walory otoczenia. Do zalet należy zaliczyć możliwość zastosowania różnych gatunków roślin – drzew, krzewów, traw ozdobnych, kwitnących bylin, roślin wilgociolubnych [7], [8]. Bioretencja staje się obecnie najpowszechniejszym sposobem zarządzania wodą opadową w mieście. Najpopularniejsze rozwiązania w tej dziedzinie opisane zostały poniżej.

## Niecki infiltracyjno-retencyjne

Niecka chłonna to porośnięte roślinnością obniżenie terenu, na którym woda może być gromadzona czasowo, a następnie infiltrowana do podłoża. Ukształtowanie niecki powinno gwarantować równomierny rozdział wody przeznaczonej do wsiąkania, z uwzględnieniem porastającej ją roślinności i możliwości pobierania wody przez poszczególne gatunki. Idealną nieckę cechuje niewielkie nachylenie terenu pozwalające na małą prędkość przepływu ( $< 0,15$  m/s) oraz wysoki wskaźnik przenikania wody do gleby. Przepuszczalność podłoża można zwiększyć między innymi przez dodanie warstw infiltracyjnych. W procesie projektowania należy pamiętać o wprowadzaniu progów piętrzących, które obniżają prędkość odpływu wody oraz zwiększają zdolność retencji, sedymentacji i infiltracji [1], [7], [8].

Niecki chłonne wykazują zdolność do usuwania zanieczyszczeń, dlatego można je stosować również w celu podczyszczenia wody, która następnie zostanie skierowana do innych urządzeń i obszarów zielonej infrastruktury. Niecki można lokalizować zarówno na terenach otwartych, jak i w miejscach o wysokim stopniu zabudowy, gdzie jako



Fot. 3. Niecki chłonne retencjonujące i infiltrujące wodę deszczową w otoczeniu linii tramwajowej The Orange Line, Oregon, USA [27]

element architektury krajobrazu będą pełniły funkcję retencyjną, jak również dekoracyjną.

Do modelowych przykładów wykorzystania niecek chłonnych na obszarach zurbanizowanych należą rozwiązania zlokalizowane na terenie nowej inwestycji w stanie Oregon, w USA. 12 września 2016 r. pomiędzy miastami Portland i Milwaukie otwarta została dla pasażerów linia szybkiego tramwaju, nazwana *The Orange Line*. Poszczególne elementy projektu oraz cała inwestycja doskonale wpisują się w założenia zrównoważonego rozwoju. Połączone zostały względy ekonomiczne takie jak: ułatwiony transport, mniejsze koszty związane z gospodarką ściekami, walory krajobrazowe poprzez estetycznie dobrane kształty i materiały, a także rozwiązania przyjazne dla środowiska naturalnego tzn. pojazdy bezspalinowe, wykorzystanie wód opadowych, powierzchnie biologicznie czynne porośnięte roślinnością. Wzdłuż podanej trasy tramwajowej, pomiędzy torami i chodnikami pieszymi zbudowano sieć urządzeń umożliwiającą wykorzystywanie wody (fot. 3.). Kluczową rolę odgrywają niecki chłonne, gromadzące podczas deszczu wodę spływającą z sąsiadujących nawierzchni. Zróżnicowana głębokość niecek pozwoliła na posadzenie różnorodnych gatunków roślin – traw, turzyc, krzewów i drzew tolerujących wilgotne gleby i zalania [27].

## Wyspy środkowe

Niewielkie powierzchnie bioretencyjne można z łatwością wprowadzać także na obszarach silnie zurbanizowanych. Na dużych nieprzepuszczalnych nawierzchniach, takich jak parkingi i place, wykonuje się tzw. „wyspy środkowe” – roślinne instalacje przypominające swym wyglądem zielone wyspy na „betonowym oceanie”. Konstrukcyjnie są to zagłębienia terenu otoczone krawężnikiem, wypełnione mieszaną przepuszczalnego podłoża i obsadzone roślinnością. Podczas deszczu pełnią funkcję odbiornika wód opadowych, spływających z otaczających nieprzepuszczalnych nawierzchni. Na obszar retencyjny wysp środkowych woda kierowana jest dzięki zastosowanym niewielkim spadkom terenu, a także miejscowym obniżeniom krawężnika. Pomimo że wyspy środkowe zazwyczaj są samowystarczalnym



Fot. 4. Wyspa środkowa na terenie parkingu – widoczny przelew awaryjny, Blair County, Pennsylvania USA [ 40]

sposobem zagospodarowania wody opadowej, to w celu zapewnienia bezpieczeństwa pojazdów i ich użytkowników, wykonywane są przelewy awaryjne (fot. 4.) z odprowadzeniem nadmiaru wody do kanalizacji deszczowej [2], [22].

Gatunki sadzone na wyspach środkowych na terenie parkingu powinny charakteryzować się szczególnie wysoką tolerancją na stałe i płynne odpady ropopochodne oraz lotne związki organiczne wydobywające się z pojazdów. Preferowane są gatunki roślin odpornych na zmiany wilgotności podłoża i duże nasłonecznienie [22].

Przykładem wykonania są wyspy środkowe powstałe podczas modernizacji parkingu o powierzchni 0,6 ha, przeznaczonego dla zwiedzających ogród zoologiczny i park w mieście Atascadero. W części środkowej parkingu jak również na jego obrzeżach wykonano pasy bioretencyjne, gromadzące wodę podczas intensywnych opadów deszczu (fot. 5.) [23].

## Wypustka uliczna

Wzdłuż arterii miejskich, które zostały ograniczone krawężnikami, istnieje możliwość wykonania niewielkich insta-

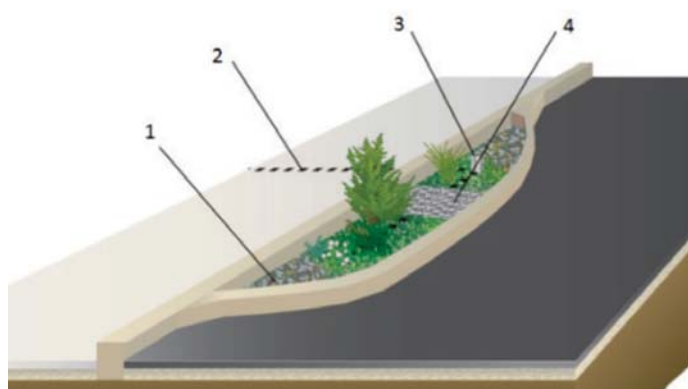


Fot. 5. Bioretencyjne wyspy środkowe na terenie parkingu, Atascadero, USA [23]



Fot. 6. Wypustki uliczne – przykłady, z prawej obszar bioretencyjny między krawężnikami podczas deszczu [20], [39]

lacji powierzchniowych, które w literaturze technicznej określane są angielskimi terminami: *street bump-out*, *bulb-out* (co można przetłumaczyć jako wypustka uliczna, ew. guz uliczny), a także *neckdown* lub *stormwater curb extension*, tj. specjalny do rozwiązań związanych z wodą opadową, poszerzony, wyokrąglony krawężnik).



Rys. 2. Schemat budowy *street bump-out*: 1) kamienie i głązy, 2) odpływ liniowy z chodnika, 3) rura przelewowa, 4) mieszanka żwiru i substratu ogrodniczego wraz z roślinnością [30]

Zasada wykonania polega na przesunięciu typowego krawężnika ulicznego w stronę jezdni, względnie ułożeniu dodatkowego krawężnika, uzyskując w ten sposób obszar pomiędzy jezdnią przeznaczoną do ruchu pojazdów, a chodnikiem dla pieszych (rys. 2.). Powstały niewielki obszar zostaje wypełniony mieszanką żwiru i podłoża ogrodniczego. Może zostać obsadzony dobranymi roślinami – głównie trawami i turzycami, gatunkami okrywowymi, niskimi krzewami – w zależności od lokalnych warunków. Woda deszczowa spływająca z nieprzepuszczalnej nawierzchni za pomocą rynny korytkowej (chodnik) lub miejscowego obniżenia fragmentu krawężnika (jezdni), trafia na tak przygotowany obszar bioretencyjny, gdzie zostaje pobrana przez roślinność, infiltrowana do podłoża oraz częściowo retencjonowana. Powierzchnia granicząca z ulicą może

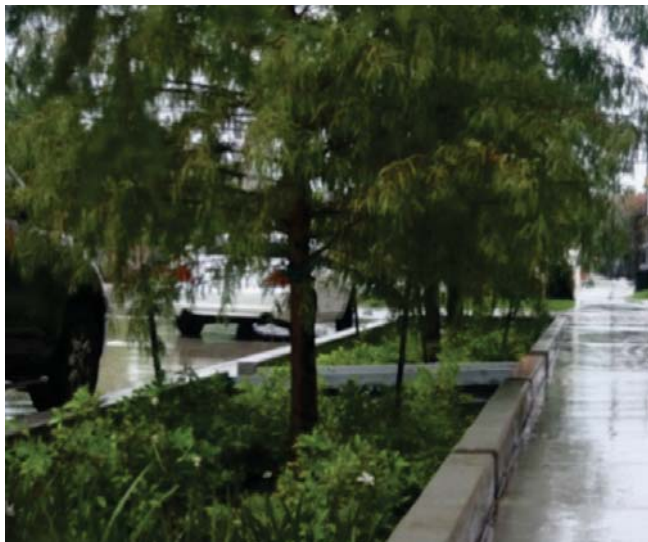
być dodatkowo obłożona kamieniami i głązami [10], [30]. W ten sposób „wypuklony krawężnik” zmniejsza zarówno prędkość przepływu, jak i ilość wody deszczowej, jaka dostaje się do kanalizacji burzowej oraz wpływa na poprawę jakości wody dzięki oczyszczaniu jej przez rośliny i proces filtracji. Wykonanie awaryjnej rury przelewowej umożliwia odprowadzanie nadmiaru wody do studzienek miejskich [10], [14], [39].

Opisywana instalacja może być lokalizowana na każdej ulicy posiadającej odpowiednią szerokość w taki sposób, aby nie utrudniała przemieszczania się pojazdów. Możliwe jest lokalizowanie również wzdłuż jezdni o dużym nachyleniu podłużnym. Obszar bioretencji może być zaprojektowany podobnie jak w przypadku ogrodu deszczowego lub rowu wegetacyjnego, wykorzystując zjawisko infiltracji i ewapotranspiracji. Uzyskiwany jest efekt w postaci poprawy estetyki ulic i usprawnienia zarządzania wodą. Uliczne „wypukłości” służą pewnemu uspokojeniu ruchu samochodowego i poprawiają bezpieczeństwo kierowców i pieszych, analogicznie jak ma to miejsce w przypadku progów zwalniających. Do istotnych zalet omawianego rozwiązania należy niski koszt, jak też krótki termin wykonania – z możliwością realizacji przy istniejących ulicach. W Polsce rozwiązanie to nie jest praktykowane. W krajowej literaturze technicznej próżno jest szukać polskiego odpowiednika nazwy dla tej instalacji. *Curb extension* spotkać możemy w Stanach Zjednoczonych, Niemczech, Holandii czy Belgii. Przykładem zastosowania jest ulica NE Siskiyou w Portland (Oregon, USA), w dzielnicy domów jednorodzinnych. Wzdłuż ulic wybudowano obszary bioretencji *bump-out* (fot. 6.) [4], [20], [34].

## Boks roślinny

Nasadzenia roślinne, ograniczone betonowymi elementami drogowymi, przypominającymi w swym kształcie i budowie skrzynie względnie pudełka (ang. *urban biofiltration planter boxes*), stanowią idealne rozwiązanie w przypadku

terenów o ograniczonej przestrzeni, jakie najczęściej występują w środowisku silnie zurbanizowanym. Mogą być umieszczone przy elewacjach budynków, wzdłuż chodników i jezdni, jak również wszędzie tam, gdzie istnieje nawet niewielka wąska otwarta przestrzeń do ich zlokalizowania.



Fot. 7. Kilkudziesięciometrowy ciąg nasadzeń w technologii *Bioretention planter boxes* wzdłuż ulicy Bagby w Houston (Teksas, USA) podczas deszczu; proj. Walter P. Moore [24]

Skrzynie z nasadzonymi roślinami należą do rozwiązań umożliwiających gromadzenie i filtrujących wodę deszczową. Wpływają w pewnym zakresie na spowolnienie i zmniejszenie spływu. Budowę wykonuje się zazwyczaj poniżej istniejącej powierzchni, względnie w przybliżeniu na tym samym poziomie. Boksy mogą mieć różne kształty i rozmiary, jednak najczęściej wykonywane są o kształcie prostokąta [10], [17], [30]. Wizualnie podobnym rozwiązaniem do „pudełek z roślinnością” są opisywane w kolejnym

podrozdziale zadrzewione muldy. Pierwsze z podanych rozwiązań charakteryzują się brakiem podziemnych połączeń między kolejnymi urządzeniami, jak również brakiem miejsc umożliwiających zapewnienie podziemnej retencji.

Na większą skalę skrzynie biofiltracyjne zostały wykonane w ramach realizowanej modernizacji ulicy Bagby w dzielnicy Midtown w Houston (Teksas, USA) (fot. 7.). Zaprojektowany ciąg nasadzeń poprawia estetykę jezdni oraz jest przyjazny dla środowiska. Między innymi dzięki temu rozwiązaniu modernizacja ulicy Bagby była jedną z pierwszych inwestycji w Teksasie, które otrzymały certyfikat „Greenroads”, nadawany przez Uniwersytet w Waszyngtonie [13].

W Nowym Jorku rozpoczęty został projekt wykonania ponad 250 boksów (pojemników) roślinnych, które mają na celu zmniejszyć ogromny spływ wody opadowej do kanalizacji. Szacuje się, że przeznaczone na ten cel nakłady finansowe zwrócą się już w drugim roku funkcjonowania. Obecnie koszty związane z modernizacją nowojorskiej kanalizacji, obsługującej zarówno spływ wód burzowych, jak i ścieków komunalnych, są bardzo wysokie (fot. 8.) [26], [31].

## Zadrzewione muldy

Zadrzewione muldy (ang. *stormwater tree trench*) należą do rozwiązań liniowych, stosowanych wzdłuż ulic na terenach o wysokim stopniu zabudowy. Łączą oddziaływanie roślinności takich jak: infiltracja, pobieranie, parowanie – z retencją wody opadowej występującą pod powierzchnią gruntu. Technicznie określając zadrzewiona mulda stanowi pas drzew, połączony z innymi muldami podziemnym systemem retencyjnym lub retencyjno-infiltracyjnym (rys. 3). Na powierzchni chodnika widoczne są jedynie pojedyncze drzewa posadzone w szeregu w misach zabezpieczonych kratownicami. Zdarzają się również takie rozwiązania, pod którymi widoczne jest podłoże lub trawnik. System zarządzania wodą znajduje się natomiast pod nawierzchnią chodnika. Składa się z równoległego rowu lub ciągu skrzyń wyłożonych przepuszczalną geowłókniną i wypełnionych mieszanką kamieni, żwiru i gleby urodzajnej (fot. 9.). Do podziemnych muld woda dostaje się za pomocą specjalnych wlotów burzowych, zlokalizowanych przy krawężnikach. Woda magazynowana jest w pustych przestrzeniach między kamieniami, skąd pobierana i transpirowana jest przez poszczególne drzewa, natomiast pozostała ilość wody powoli infiltruje przez dno muldy [7], [8], [12], [14].

W przypadku wystąpienia intensywnych opadów deszczu, gdy pojemność systemu zostanie przekroczona, nadmiar wody deszczowej może być przekazywany z muld do konwencjonalnego systemu kanalizacji. Rozwiązanie tego typu jest również ważne w kontek-



Fot. 8. Jeden z wielu boksów roślinnych zainstalowanych wzdłuż ulic Nowego Jorku, które rozładują ogromny spływ wód do kanalizacji burzowej [31]



Rys. 3. Schemat działania zadrzewionej muldy w linii chodnika dla pieszych [12]

ście wzrostu i rozwoju dużych drzew. Nie zostało bowiem dotychczas stwierdzone, czy konkretne egzemplarze czy gatunki drzew będą się dobrze czuły na stanowisku narażonym na zmienne warunki wodne tzn. częste zalewanie względnie długotrwałe susze, co cechuje typowe ogrody deszczowe. Niemniej warto zdecydować się na gatunki wilgociolubne i tolerujące czasowe zalewanie, takie jak m.in. wierzby (*Salix sp.*), olsze (*Alnus sp.*), jesiony (*Fraxinus sp.*), klony (*Acer sp.*), cypryśnik błotny (*Taxodium distichum*), dąb błotny (*Quercus palustris*), czeremchę pospolitą (*Pru-*



Fot. 9. Zadrzewiona mulda pod chodnikiem w centrum miasta – budowa [25]

*nus padus*), wiąz szypułkowy (*Ulmus laevis*) czy jaśminowce (*Philadelphus sp.*) [15].

Przykładem zadrzewionych muld, łączących w sobie funkcje dekoracyjne i gospodarowanie wodą deszczową, są znajdujące się przy „zielonej ulicy” Maynard w Seattle (Waszyngton, USA) (fot. 10.). Kaskady roślinne, obrzeżone niskim murkiem w kształcie okręgu, zasilane są wodą spływającą z pobliskich połaci dachowych i chodników [35].



Fot. 10. Mulda retencyjno-infiltracyjna w kształcie kaskad, Maynard w Seattle (Waszyngton, USA) [35]

Drzewa rosnące w muldach, ze względu na swoje gabaryty, przyczyniają się do oczyszczania wody deszczowej, ograniczają zagrożenie powodziowe oraz dzięki ewaporacji poprawiają mikroklimat miasta, również ograniczając niekorzystne oddziaływanie miejskich „wysp ciepła”. W miejscach, w których występuje ryzyko dużego zalania drzew, istnieje możliwość modyfikacji systemu [12], [35].

## Suche zbiorniki

Tereny zurbanizowane najbardziej narażone na powodzie i podtopienia stają się w okresie gwałtownych opadów. Dochodzi do wypełnienia przewodów kanalizacji burzowej i wskutek tego nie ma możliwości przyjęcia i odprowadzenia wystarczającej ilości wody spływającej z nieprzepuszczalnych nawierzchni. Remedium na taką sytuację mogą stać się suche zbiorniki – urządzenia służące czasowej retencji, wypełniające się wodą jedynie podczas bardzo dużych opadów.

Suche zbiorniki gromadzą wodę spływającą z obszarów o gęstej zabudowie lub autostrad do chwili, gdy minie

zagrożenie powodziowe. Po ustaniu zagrożenia jest ona odprowadzana do ekosystemu wodnego lub kanalizacji za pomocą systemu rur podziemnych lub powierzchniowo. Częściowo woda ulega również parowaniu i infiltracji. Pojemność i układ suchych zbiorników mogą być zróżnicowane. Z punktu widzenia ekosystemu, najbardziej zalecane są rozwiązania o charakterze półnaturalnym. Oznacza to, że powinny stanowić część zielonej infrastruktury a także miejsce użyteczności publicznej w okresie bezdeszczowym [7], [8], [16].

W Rotterdamie (Holandia) w 2013 roku powstał plac wodny Benthemplein, będący przykładem suchego zbiornika przeciwpowodziowego na terenie osiedla mieszkaniowego (fot. 11.). Podczas nadmiernych opadów może on pomieścić około 2 miliony litrów wody, spływającej z pobliskich obszarów. W czasie bezdeszczowych dni zbiornik pełni rolę otwartej przestrzeni publicznej, chętnie wykorzystywanej przez okolicznych mieszkańców [38].

Przykładem suchego zbiornika, służącego na co dzień jako miejsce sportu i rekreacji, jest fragment parku przy

szkole podstawowej w miejscowości Scharnhäuser (proj. Atekieur Dreiseitl) [29] (fot. 12.).

W miejscach, gdzie znajdują się ciekłe wodne, należy lokalizować suche zbiorniki ze strefą stałego przepływu. W wykonanym zagłębieniu stale znajduje się pewna ilość wody, względnie w postaci płytkiego zastoiska wody o głębokości 20–50 cm oraz ze zlokalizowanego wyżej, znacznie większego obszaru, zalewanego wodą jedynie w przypadku występowania intensywnych opadów. Suche zbiorniki ze stałym przepływem wody, oprócz właściwości infiltracyjno-retencyjnych, charakteryzują się wysoką wydajnością usuwania zawieszin i metali ciężkich, porównywaną z wynikami obserwowanymi w przypadku zbiorników retencyjnych i oczyszczalni hydrobotanicznych. Stale obecna woda w tego typu zbiornikach posiada walory dekoracyjne, krajobrazowe oraz stanowi ostoję dla wielu gatunków roślin i zwierząt. Zbiorniki ze stałym przepływem mogą być projektowane zarówno przy niewielkich rzekach (np. na rzece Sokołowiec w Łodzi), jak i w okolicy nieco większych cieków wodnych (np. w Virginii w USA) [16].



Fot. 11. Plac wodny Benthemplein, Rotterdam, Holandia – przykład suchego zbiornika przeciwpowodziowego [38]



Fot. 12. Fragment parku będący na co dzień suchym zbiornikiem, zapełniającym się wodą podczas intensywnych opadów deszczu [29]



## Podsumowanie i wnioski

Jak wynika z analizy zamieszczonej w artykule, zastosowanie zróżnicowanych sposobów zarządzania wodą opadową wykorzystujących roślinność w sąsiedztwie dróg, poza zwiększaniem stopnia małej retencji, może pełnić szereg dodatkowych funkcji, takich jak uspokojenie ruchu, oczyszczanie wody, zwiększenie bioróżnorodności czy regulacja mikroklimatu terenów zurbanizowanych. Opiswane sposoby wpływają również pozytywnie na poprawę wartości krajobrazowych. Nie wszystkie z tych rozwiązań są znane, dlatego wydaje się zasadne przybliżenie zalet oraz propagowanie ich zastosowania. Wiele z opisywanych metod, odpowiednio wprowadzanych do środowiska miejskiego, pozwala na rozwój infrastruktury z zachowaniem i wzbogaceniem środowiska przyrodniczego, a przez to poprawę komfortu życia mieszkańców.

Stosowanie opisanych rozwiązań napotyka na wiele barier w naszym kraju. Szczególnie istotnym zapisem w polskim prawie wodnym w kontekście zrównoważonego gospodarowania wodą opadową stanowi zakaz dokonywania zmian stanu wody na gruncie, kierunku jej spływu, a także kierunku jej odpływu ze źródeł. Zapis ten zakazuje również odprowadzania wody opadowej na grunty sąsiednie. W praktyce w niektórych przypadkach blokuje to możliwość lokalnego zagospodarowania wody opadowej, co byłoby korzystniejszym rozwiązaniem. Kolejny przykład dotyczy także wody spadającej na tereny dróg czy autostrad, która zamiast lokalnego zagospodarowania na zadrzewionych sąsiednich terenach musi, według prawa, zostać odprowadzona do rowów i kanalizacji.

Problemem utrudniającym wprowadzenie małej retencji na terenie miast jest również zróżnicowana interpretacja przepisu mówiącego o tym, że „W razie braku możliwości przyłączenia do sieci kanalizacji deszczowej lub ogólnospławnej, dopuszcza się odprowadzanie wód opadowych na własny teren nieutwardzony, do dołów chłonnych lub do zbiorników retencyjnych.”. Oznacza to, że gospodarowanie wodą z wykorzystaniem małej retencji dopuszczone jest jedynie w przypadku, w którym nie ma możliwości odprowadzenia wody opadowej do kanalizacji. Zawiłość przepisów w tym zakresie oraz długie terminy oczekiwania na pozwolenia wodnoprawne skutkuje brakiem zainteresowania tym tematem wśród inwestorów.

Uszczelnienie bardzo wielu powierzchni terenu, łącznie z budową szczelnych nawierzchni ulic na terenie miast i odprowadzanie wskutek tego wód opadowych do kanalizacji powoduje zwiększone koszty środowiskowe. Zaliczyć do nich trzeba również zjawiska takie jak podtopienia i powodzie, a z drugiej strony niedostateczną ilość wody niezbędną do rozwoju drzew. Obserwowane są znaczne straty w drzewostanie, co związane jest z utratą usług ekosystemów. Dochodzi do tego konieczność wykonania kosztownej rozbudowy infrastruktury, o takie inwestycje jak oczyszczalnie ścieków i sieci kanalizacyjne.

Odpowiedzią na zasygnalizowane problemy powinno być usystematyzowanie i wprowadzenie standardów rozwiązań wodnych możliwych do wykorzystania na terenach zurbanizowanych a także ujednoczenie ich nazewnictwa.

## Bibliografia

- [1] Burszta-Adamiak E., 2011, Zagospodarowanie spływów opadowych za pomocą systemów bioretencji. Rynek Instalacyjny 3/2011
- [2] Dziugozima A., 2009, Ogrody deszczowe, Problemy Ekologii vol. 13, nr 4/2009, s. 211-215
- [3] Edel R., 2010, Odwadnianie dróg, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa
- [4] Faha M., Kummer S., 2009, Green Street for Green Cities, American Nurseryman Magazine, 8, 2009
- [5] GDDKiA, 2008, Zarządzenie nr 5 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad, z dnia 22 lutego 2008 roku – System oceny stanu poboczy i odwodnienia dróg (SOPO)
- [6] Hinman C., 2005, Low Impact Development. Technical Guidance Manual for Pudget Sound, Pudget Sound Action Team, Washington State University Pierce county Extension, Washington
- [7] Kozłowska E., 2008a, Proekologiczne gospodarowanie wodą opadową w aspekcie architektury krajobrazu, Współczesne problemy architektury krajobrazu, Monografie LXVII, Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu
- [8] Kozłowska E., 2008b, Zrównoważone gospodarowanie wodą – moda czy konieczność, Architektura Krajobrazu 2/2008, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, s. 35-40
- [9] Kravcik M., Varga P., Hronsky J., Pajtinkova J., Kravcikova D., 2010, Zyskach chroniąc środowisko, Część I, Rozdz. II, Zatrzymaj wodę tam, gdzie żyjesz, Żywiecka Fundacja Rozwoju, Żywiec, s. 16-36
- [10] LaDuca A., Kosco J., 2014, Getting to Green: Paying for Green Infrastructure, Tetra Tech, EPA
- [11] Mahoney J.M., 2012, Green Infrastructure Maintenance Training – Presentation, The green infrastructure maintenance at Rosamond Gifford Zoo, Syracuse, NY, March 9
- [12] McCormick T. [red.], 2014, City of Philadelphia Green Streets Design Manual, [www.phillywatersheds.org](http://www.phillywatersheds.org)
- [13] Moore W.P., 2014, Midtown Redevelopment Bagby Street, Houston, Texas, [www.convergentwater.com](http://www.convergentwater.com)
- [14] Philadelphia Water Department, 2015, How Does It Work - Green Stormwater Infrastructure
- [15] Seneta W., Dolatowski J., 2006, Dendrologia, PWN, Warszawa
- [16] Wagner I., Krauze K., 2014, Jak bezpiecznie zatrzymać wodę opadową w mieście? Narzędzia techniczne [w:] Zrównoważony rozwój – zastosowania, Numer 5/2014, Woda w mieście, Fundacja Sendzimira, Kraków
- [17] Wang L., 2013, NYC DEP Unveils Plan to Add Stormwater-Filtering Green Infrastructure to Bed-Stuy Streets, NYC Department of Environmental Protection, Brooklyn
- [18] Wynkoop S.E. Jr. [red.], 1999, Low-Impact Development Design Strategies, An Integrated Design Approach, Department of Environmental Resources, Program and Planning Division, Prince George's County, Maryland
- [19] [www.amenityarchitects.com](http://www.amenityarchitects.com)
- [20] [www.asla.org](http://www.asla.org)
- [21] [www.blakesamper.wordpress.com](http://www.blakesamper.wordpress.com)
- [22] [www.bluegreenbldg.org](http://www.bluegreenbldg.org)
- [23] [www.centralcoastlidi.org](http://www.centralcoastlidi.org)
- [24] [www.convergentwater.com](http://www.convergentwater.com)
- [25] [www.dot.ca.gov](http://www.dot.ca.gov)
- [26] [www.epa.org](http://www.epa.org)
- [27] [www.greenworkspc.com](http://www.greenworkspc.com)
- [28] [www.grownyc.org](http://www.grownyc.org)
- [29] [www.landarchs.com](http://www.landarchs.com)
- [30] [www.melioradesign.net](http://www.melioradesign.net)
- [31] [www.mnn.com](http://www.mnn.com)
- [32] [www.monrovia.com/plant-catalog](http://www.monrovia.com/plant-catalog)
- [33] [www.nacto.org](http://www.nacto.org)
- [34] [www.saveitlancaster.com](http://www.saveitlancaster.com)
- [35] [www.slowottawa.ca](http://www.slowottawa.ca)
- [36] [www.snowrockwalls.com.au](http://www.snowrockwalls.com.au)
- [37] [www.urbangreenbluegrids.com](http://www.urbangreenbluegrids.com)
- [38] [www.urbanisten.nl](http://www.urbanisten.nl)
- [39] [www.waterworld.com](http://www.waterworld.com)
- [40] [www.archive.constantcontact.com](http://www.archive.constantcontact.com)