



WSPÓŁCZESNE PROBLEMY
ARCHITEKTURY KRAJOBRAZU

Ewa Kozłowska

PROEKOLOGICZNE GOSPODAROWANIE
WODĄ OPADOWĄ W ASPEKCIE
ARCHITEKTURY KRAJOBRAZU

Wrocław 2008 

Autor

Ewa Kozłowska

Opiniodawcy:

prof. zw. dr hab. Aleksander Böhm
prof. dr hab. inż. Edward Pierzgałski

Redaktor merytoryczny

dr hab. inż. Krzysztof Pulikowski, prof. nadzw.

Opracowanie redakcyjne

dr Ewa Jaworska

Korekta:

mgr Elżbieta Winiarska-Grabosz
Janina Szydłowska

Łamanie

Alina Gebel

Projekt okładki

Halina Sebzda

Monografie LXVII

© Copyright by Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Wrocław 2008

ISSN 1898–1151

ISBN 978–83–60574–50–8

WYDAWNICTWO UNIWERSYTETU PRZYRODNICZEGO WE WROCŁAWIU

Redaktor Naczelny – prof. dr hab. Andrzej Kotecki

ul. Sopotka 23, 50–344 Wrocław, tel. 071 328–12–77

e-mail: wyd@up.wroc.pl

Nakład 100 + 16 egz. Ark. wyd. 8,1. Ark.druk. 7,75

Druk i oprawa: Wydawnictwo Tekst Sp. z o.o.

ul. Kossaka 72, 85–307 Bydgoszcz

Spis treści

| | |
|--|----|
| Wstęp..... | 5 |
| 1. Cel, zakres pracy i metoda badań..... | 7 |
| 2. Przegląd piśmiennictwa..... | 9 |
| 3. Wody opadowe w krajobrazie naturalnym – kontekst przyrodniczy..... | 14 |
| 4. Wody opadowe w krajobrazie kulturowym – kontekst historyczny..... | 19 |
| 5. Przesłanki do tworzenia zrównoważonych systemów drenażu (ZSD)..... | 27 |
| 6. Zasady działania zrównoważonych systemów drenażu (ZSD)..... | 33 |
| 7. Elementy składowe zrównoważonych systemów drenażu (ZSD)..... | 41 |
| 7.1. Urządzenia odprowadzające i drenujące..... | 41 |
| 7.2. Urządzenia chłonne..... | 50 |
| 7.3. Urządzenia gromadzące i retencjonujące..... | 56 |
| 7.4. Urządzenia oczyszczające..... | 59 |
| 8. Kształtowanie krajobrazu w skali miasta – zastosowanie ZSD w Seattle..... | 63 |
| 8.1. Strategia działań..... | 63 |
| 8.2. Zrealizowane projekty..... | 65 |
| 9. Kształtowanie krajobrazu poprzez projekty zintegrowane..... | 69 |
| 9.1. Przykłady zagraniczne..... | 69 |
| 9.1.1. Regionalny Park Fairland, Prince Georges/Montgomery – Stany Zjednoczone..... | 69 |
| 9.1.2. Park osiedlowy Küppersbusch, Gelsenkirchen – Niemcy..... | 71 |
| 9.1.3. „Deszczowy ogród” przy Laboratorium Kontroli Zanieczysz- czeń, Portland – Stany Zjednoczone..... | 74 |
| 9.1.4. Plac Poczdamski, Berlin – Niemcy..... | 75 |
| 9.1.5. Osiedle Marzahn-Hellersdorf, Berlin – Niemcy..... | 78 |
| 9.1.6. Osiedle Kronsberg, Hanower – Niemcy..... | 79 |
| 9.1.7. Osiedle Augustenborg, Malmö – Szwecja..... | 82 |
| 9.1.8. Dzielnica Fornebu, Oslo – Norwegia..... | 85 |
| 9.1.9. „Ogrody deszczowe” w zlewni jeziora Crystal, Burnsville – Stany Zjednoczone..... | 86 |
| 9.1.10. Osiedle Bo01, Malmö – Szwecja..... | 88 |
| 9.1.11. Osiedle Millennium Village, Londyn – Wielka Brytania..... | 90 |
| 9.2. Przykłady polskie..... | 92 |

| | |
|---|-----|
| 9.2.1. RJR Tobacco-Poland, Piaseczno – Polska..... | 94 |
| 9.2.2. Osiedle Błękitne, Siechnice k.Wrocławia – Polska | 95 |
| 10. Wykorzystanie zrównoważonych systemów drenażu (ZSD) w architekturze krajobrazu..... | 99 |
| 10.1.Aspekt edukacyjny | 99 |
| 10.2.Aspekt prawny..... | 100 |
| 10.3.Aspekt projektowy..... | 102 |
| 10.4.Aspekt ekonomiczny | 105 |
| 10.5.Aspekt estetyczny | 106 |
| 10.6.Aspekt realizacyjny | 107 |
| 11. Podsumowanie i wnioski..... | 110 |
| 12. Piśmiennictwo | 112 |
| Słownik pojęć proekologicznego gospodarowania wodą opadową..... | 118 |

Wstęp

Związek wody z krajobrazem jest tak oczywisty, że nie wymaga komentarzy. Można go dostrzec bez względu na skalę rozpatrywania zagadnień, także w regionach silnie zurbanizowanych, gdzie naturalne warunki wodne ulegają znacznym zaburzeniom. Niekorzystną sytuację terenów miejskich pogarszają zachodzące w Europie zmiany makroklimatyczne, które objawiają się upalnym latem z rzadko występującymi obfitymi opadami. Te dwa antagonistyczne zjawiska: z jednej strony długotrwały brak wody w glebie, z drugiej – okresowe nadmiary wód opadowych, w tym podtopienia, zalania i powodzie, skłaniają do szukania rozwiązań, które mogłyby zneutralizować ich konsekwencje.

Najprostszym, tradycyjnym i zarazem skutecznym sposobem wyrównywania deficytu wody jest racjonalne **gospodarowanie zasobami wód opadowych** (rainwater harvesting), polegające na ich pozyskiwaniu, retencjonowaniu i wykorzystaniu dla określonych celów. W skali miasta, regionu czy kraju działania te określa się jako **zarządzanie zasobami wód opadowych** (stormwater management), ukierunkowane między innymi na zmniejszanie zagrożenia powodziowego¹. W obu przypadkach wykorzystuje się rozmaite **techniki i urządzenia gospodarowania wodą opadową** (rainwater harvesting techniques), łącząc je w spójny **zrównoważony system drenażu** (sustainable drainage system), który na potrzeby tej pracy będzie określany w skrócie jako **ZSD**.

Ograniczona podaż wody pitnej coraz częściej staje się barierą rozwoju różnych gałęzi gospodarki, zwłaszcza rolnictwa, komplikując i tak trudne problemy żywnościowe świata. Nie można więc dłużej tolerować faktu, że na terenach zurbanizowanych znaczną część wód opadowych odprowadza się w postaci ścieków bez żadnej próby ich wykorzystania. W systemie zrównoważonego drenażu wody te są albo odprowadzane na powierzchnie przepuszczalne, skąd infiltrują w głąb gruntu, albo retencjonowane z przeznaczeniem na różne potrzeby. Wiele, jeśli nie większość urządzeń stosowanych w tych systemach, ma dekoracyjny, naziemny charakter, który wpływa na krajobraz współczesnych wysoko rozwiniętych krajów. Zasadą działania przypominają funkcjonowanie naturalnej zlewni, z jej bogactwem potoków, zbiorników wodnych, terenów bagiennych i okresowo zalewanych.

Od początku lat 90. XX w. systemy te stosuje się dość powszechnie w RFN, Wielkiej Brytanii, krajach skandynawskich, Stanach Zjednoczonych, Japonii, Australii i Kanadzie. Działają tam silne ośrodki, w których powstają plany i strategie proekologicznego gospodarowania zasobami wód opadowych. Z reguły towarzyszy im silne zaplecze naukowe na lokalnych uczelniach, co znajduje swe odzwierciedlenie w dużej

¹ W literaturze anglojęzycznej terminy: rainwater i stormwater stosowane są zamiennie. Wszystkie istotne pojęcia związane z proekologicznym gospodarowaniem wodą opadową zostały objaśnione w Słowniku pojęć proekologicznego gospodarowania wodą opadową (*załącznik*).

liczbie publikacji. Jednocześnie powstaje nowa specjalność w zakresie architektury krajobrazu, w Polsce prawie w ogóle nie znana ani w sensie teoretycznym, ani praktycznym.

Niniejsza monografia jest efektem kilkuletnich badań, analiz i obserwacji autorki – rozwoju zrównoważonych systemów drenażu na świecie i w Polsce. Praca oparta jest w dużej mierze na rozprawie doktorskiej, obronionej w 2007 r. na Wydziale Architektury Politechniki Krakowskiej.

1. Cel, zakres pracy i metoda badań

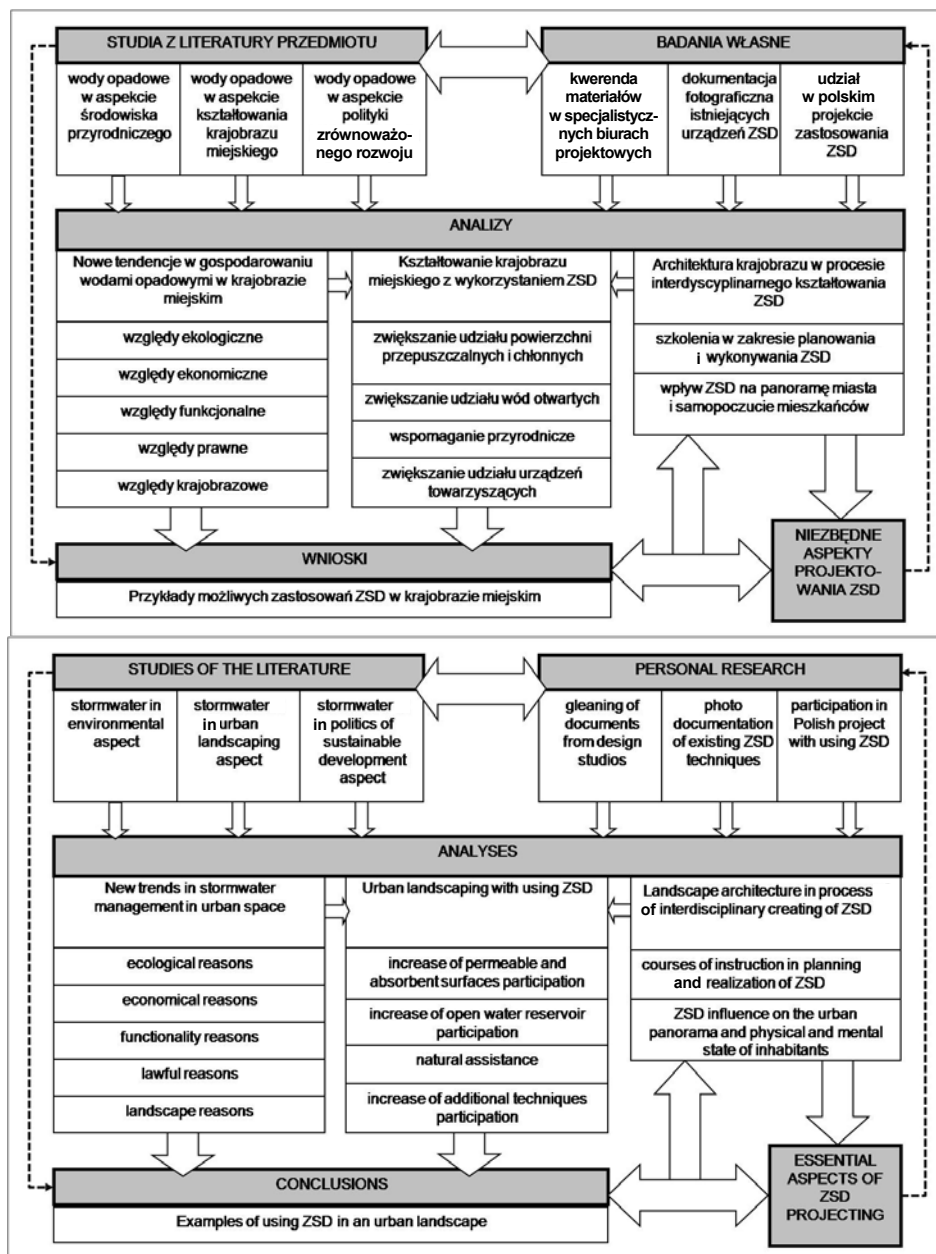
Coraz więcej argumentów przemawia za przyjęciem tezy, że w warunkach zrównoważonego rozwoju na kształtowanie krajobrazu miasta coraz większy wpływ wywierają proekologiczne metody gospodarowania wodą opadową z zastosowaniem ZSD. W tym kierunku poszerza się zakres prac i instrumentów stosowanych przez urbanistów, architektów, a zwłaszcza architektów krajobrazu, których w krajach wysoko rozwiniętych wspomagają odpowiednie mechanizmy prawne, ekonomiczne i edukacyjne. Celowe jest więc zgromadzenie i usystematyzowanie danych na temat zrównoważonych systemów drenażu, pod kątem ich stosowania w architekturze krajobrazu oraz nauczania w ramach tej specjalności.

Ograniczenie zakresu badań do środowiska miejskiego wynika z faktu, że właśnie w tych warunkach występują największe zaburzenia odpływu, co pociąga za sobą konieczność działań naprawczych. Przykłady wybrane do analiz pochodzą z Wielkiej Brytanii, Niemiec, Skandynawii i Stanów Zjednoczonych, z rejonów zbliżonych klimatycznie do Polski. Wszystkie dotyczą okresu od roku 1992 – czyli po uzgodnieniach Agendy 21 – gdyż przyjęty wówczas kierunek zrównoważonego rozwoju zobligował społeczność międzynarodową do intensywnych poszukiwań również w dziedzinie gospodarowania zasobami wodnymi.

Metodykę pracy obrazuje rysunek 1.

Pierwsza część badań własnych polegała na zebraniu dokumentacji dotyczącej zrealizowanych projektów z zakresu architektury krajobrazu, w których zastosowano ZSD. Materiały dokumentacyjne gromadzone były poprzez badania terenowe, polegające na wykonaniu dokumentacji fotograficznej wybranych rozwiązań o charakterze typowym. Autorka rozpoczęła także badania sondażowe, polegające na rozesłaniu ankiety za pomocą Internetu do specjalistycznych biur projektowych w Polsce, Niemczech, Anglii i Stanach Zjednoczonych. Pytania dotyczyły między innymi roli architekta krajobrazu w zintegrowanym procesie projektowym. Niewielkie zainteresowanie ze strony respondentów nie pozwala na wyciągnięcie wiążących wniosków; niemniej, uzyskane odpowiedzi wskazywały na profesjonalne bazy danych jako wiarygodne źródła informacji.

Swego rodzaju weryfikacją rozważań teoretycznych stały się doświadczenia wynikające z udziału autorki w realizacji systemu zrównoważonego drenażu, który jako pierwszy na Dolnym Śląsku uzyskał pozwolenie na budowę (Siechnice, osiedle Błękitne). Problemy związane z uzgadnianiem i wykonaniem tego prototypowego projektu nie tylko rzuciły dodatkowe światło na prezentowane wcześniej zagadnienia, ale przybliżyły je do warunków polskich.



Rys. 1. Metoda pracy – ideogram.
Fig. 1. Research method – ideogram

2. Przegląd piśmiennictwa

Piśmiennictwo przedmiotu obejmuje przede wszystkim pozycje zagraniczne, wydane po 1992 roku. Choć pojawienie się nowego ekologicznego paradygmatu w nauce datuje się już na lata 60. ubiegłego wieku [Capra 1994, Drapella-Hermansdorfer 1998], to w zakresie zastosowań praktycznych zwrot nastąpił dopiero po Szczycie Ziemi w Rio de Janeiro, w myśl zaleceń wspomnianej Agendy 21. Powstałych później realizacji, opracowań teoretycznych oraz instrukcji związanych z wykorzystaniem wód opadowych jest (poza Polską) tak wiele, że można je omówić, stosując jedynie pewne uogólnienia. Podpowiedzią może być kanon współczesnych rozwiązań urbanistyczno-krajobrazowych, które w ocenie fińskiego architekta krajobrazu Jukka Jormoli wywarły największy wpływ na rozwój teorii i praktyki w zakresie współczesnych technik gospodarowania wodą opadową [Jormola 2004]. W zestawieniu Jormoli znalazły się tak znane przedsięwzięcia, jak:

- osiedle mieszkaniowe Kronsberg, wybudowane w związku z wystawą EXPO 2000 (Hanower, Niemcy);
- kompleks usługowo-handlowy Potsdamer Platz w centrum miasta (Berlin, Niemcy);
- kampus uniwersytecki z odtworzoną siecią strumieni oraz tarasów zalewowych (Helsinki, Finlandia);
- zespół mieszkaniowy z rozbudowanym systemem gospodarowania wodą opadową na przydomowych terenach zieleni (Oulu, Finlandia);
- miejskie strategie zarządzania zasobami wód opadowych (Edynburg, Dundee, Szkocja; Sztokholm, Szwecja).

Zgodnie z tendencjami zarysowanymi w krajach skandynawskich Jormola akcentuje potrzebę ochrony i przywracania naturalnych układów wodnych w środowisku miejskim. Zwraca szczególną uwagę na **sztuczne ekosystemy bagienne** (constructed wetlands), które pełnią rolę odbiornika wód opadowych, urządzenia oczyszczającego i jednocześnie regulatora systemu hydrologicznego na terenie danej zlewni¹, wpisując się w krajobraz miejski jako nowy typ terenu zieleni. Do wzorcowych działań Jormola zalicza:

- program przywracania i renaturyzacji strumieni w krajobrazie miejskim (Zurich, Szwajcaria);
- odtwarzanie ekosystemów bagiennych jako siedlisk dla ptactwa wodnego (New Jersey, Stany Zjednoczone);

¹ Ekosystemy bagienne są chronione już od 1970 r. według programu odtwarzania naturalnych siedlisk ptactwa wodnego. W wielu stanach Ameryki istnieją wymagania dotyczące nowej zabudowy, która musi przewidywać teren pod pierwotnie istniejący ekosystem bagienny lub teren zalewowy. Developer musi wykonać lub odtworzyć część naturalnego siedliska odpowiadającego systemowi danej zlewni [Jormola 2004].

- tworzenie sztucznych ekosystemów bagiennych jako odbiorników wód opadowych (Nowy Jork, Stany Zjednoczone; Halmstadt, Szwecja), często w połączeniu z funkcją rekreacyjną (Tokio, Japonia).

Większość z nich została opisana w publikacjach o charakterze monograficznym oraz umieszczona w międzynarodowych bazach danych jako przykłady **dobrych praktyk** (BMP). Kanon Jormoli wskazuje jedynie na przedsięwzięcia eksperymentalne i najbardziej nagłośnione. Trzeba jednak zaznaczyć, że proekologiczne zarządzanie zasobami wód opadowych staje się powoli standardem również w Wielkiej Brytanii i Norwegii. W literaturze można spotkać także mniej znaczące przykłady z Belgii, Francji i Holandii oraz Australii i Kanady.

Nieco inny zestaw obiektów wzorcowych prezentuje Herbert Dreiseitl w książce „Planning, Building and Designing with Waterscape”. Jego własne projekty kształtowania krajobrazu z wykorzystaniem ZSD zostały zrealizowane w takich miastach jak: Zurich, Berlin, Londyn, Nowy Jork, Szanghaj, Düsseldorf, Portland, Montpellier, Tyrol, Amsterdam czy Oslo. Wśród nich największy rozgłos zdobyła aranżacja systemu wodnego w rejonie Potsdamer Platz w Berlinie. Dreiseitl jest także współautorem jedynego, przetłumaczonego na język polski podręcznika poświęconego tej problematyce [Geiger i Dreiseitl 1999] oraz organizatorem cieszących się zainteresowaniem seminariów, połączonej ze zwiedzaniem wybranych konkretnych przedsięwzięć w takich krajach jak: Holandia, Niemcy, Szwajcaria, Austria, Szwecja, Włochy, Izrael i Wielka Brytania².

Jedną z ostatnich przeglądowych publikacji dotyczących proekologicznego gospodarowania zasobami wód opadowych jest raport końcowy „Stormwater Source Control Design Guidelines 2005”. Przedstawia on zasady zarządzania w kontekście wieloletnich badań i doświadczeń z całego świata. Wyszczególnia też główne ośrodki, w których realizuje się te zasady, uwarunkowane polityką państwa, określonymi standardami i silnym zapleczem naukowym.

Wspomniane realizacje projektów wiążą się często z działalnością rządowych lub pozarządowych organizacji, zajmujących się polityką proekologiczną. Inicjują one i wspierają badania naukowe w tym zakresie, a także prowadzą działalność wydawniczą i promocyjną. Do bardziej zasłużonych na polu upowszechniania systemów zrównoważonego drenażu należą organizacje takie jak:

- CIRIA (Construction Industry Research and Information Association) – niezależne stowarzyszenie brytyjskie założone w 1960 roku. CIRIA przeprowadza rocznie około 40 projektów oraz publikuje liczne instrukcje i przewodniki. Na uwagę zasługuje w szczególności „Interim Code of Practice for SUDS” – podstawowy dokument regulujący zagadnienia realizacji zrównoważonego drenażu na obszarze Wielkiej Brytanii. Towarzyszą mu instrukcje dla poszczególnych krain (Anglii, Walii, Szkocji i Północnej Irlandii)³ oraz podręczniki dobrych praktyk⁴. Ponadto dwa razy w roku CIRIA wydaje biuletyn „Sustainable Drainage News”.

² Obszerne sprawozdanie z seminarium zamieściła architekt krajobrazu Judy van Gelderen w „The Winston Churchill Memorial Trust of Australia: Creative Ways of Recycling Water”, Churchill Fellowship, 2000.

³ „Sustainable urban drainage systems – design manual for England and Wales” (C522); „Sustainable urban drainage systems – design manual for Scotland and Northern Ireland” (C521).

- US EPA (United States Environmental Protection Agency)⁵ – organizacja zrzeszająca 18 tysięcy członków na terenie Stanów Zjednoczonych. W ramach EPA został powołany Stormwater Trust, który steruje programem zarządzania wodami opadowymi na obszarach miast – Urban Stormwater Program. Trust prowadzi szkolenia w tym zakresie oraz wydaje instrukcje pod hasłem „Managing Urban Stormwater”. W kontekście architektury krajobrazu na szczególną uwagę zasługuje pozycja „Source Control: Water Sensitive Urban Design”.
- IRC (International Rain Center) – organizacja międzynarodowa, z bardzo operatywną sekcją PPRU (People Promoting Rainwater Utilization), adresującą swoją działalność do krajów azjatyckich oraz arabskich. Od 1995 roku wydaje periodyk „Rainwater and You”.
- fbr (Fachvereinigung Betriebs und Regenwassernutzung e.V.) – niemieckie federalne zjednoczenie osób, firm, stowarzyszeń i instytucji, które w swojej działalności zajmują się zagospodarowaniem wody deszczowej i komunalnej. Celem fbr jest ekonomiczna gospodarka wodna, tzn. oszczędzanie wody pitnej i redukcja ścieków, wykorzystanie deszczówki przy zachowaniu wymogów środowiska oraz integracja środowisk tym zainteresowanych. fbr wydaje czasopismo „fbr-Wasserspiegel”, a także przewodnik branżowy „fbr-Branchenfuehrer”.
- VATTEN (Swedish Organization for Water) – szwedzka organizacja wydająca czasopismo „Vatten”.
- SIWI (Stockholm International Water Institute) – szwedzki instytut, który poprzez międzynarodową działalność stara się przełamać światowy kryzys wodny. SIWI wydaje kwartalnik w języku angielskim „Stockholm Water Front”, zajmujący się zagadnieniami związanymi z zasobami wodnymi oraz przedstawiający osiągnięcia instytutu na tym polu. Co roku SIWI wydaje także raport z ostatnio prowadzonej działalności, dotyczącej określonego zagadnienia wodnego. Wszystkie raporty dostępne są w Katalogu Publikacji SIWI (SIWI Publications Catalogue).

Ze względu na społeczny wymiar działań wszelkie dane dotyczące technik gospodarowania wodą opadową z wykorzystaniem ZSD dostępne są w Internecie. Jest to powszechny, szybki, interaktywny sposób kontaktu i dzielenia się doświadczeniami oraz wiedzą w tym zakresie. Do najważniejszych źródeł informacji profesjonalnej należą:

- przewodniki: „Texas Guide to Rainwater Harvesting” (1997) czy „City of Tucson Water Harvesting Guidance Manual” (2003) – skierowane głównie do firm zajmujących się projektowaniem i urządzaniem terenu;
- czasopisma: „Stormwater”, „The Journal for Surface Water Quality Professionals”⁶;
- bazy danych: International Stormwater Best Management Practices (BMP) Database⁷, North Carolina Green Building Technology Database⁸, UK SUDS Database⁹.

⁴ „Sustainable urban drainage systems – best practice manual” (C523); „Infiltration drainage – manual of good practice” (R156) oraz „Review of the design and management of constructed wetlands” (R180), który podejmuje temat sztucznych ekosystemów bagiennych i naturyzacji zlewni położonych na obszarach miast.

⁵ Istnieją odpowiedniki EPA w innych krajach, jak szkocka SEPA – Scottish Environment Protection Agency.

⁶ [www.forester.net]

⁷ [www.bmpdatabase.org]

⁸ [www.ncgreenbuilding.org]

⁹ [www.suds-sites.net]

Wiele publikacji prezentuje głównie techniczny aspekt infiltracji, retencjonowania oraz utylizacji wód opadowych. Architektów krajobrazu zajmujących się zrównoważonymi systemami drenażu i dzielących się swoimi doświadczeniami na łamach prasy fachowej jest stosunkowo mało. Należą do nich m.in. Mario Schmidt – bliski współpracownik Dreisetla oraz Klaus W. König – autor licznych publikacji [1996, 2000]. Wśród twórców amerykańskich znaczne zasługi na tym polu mają Daniel Winterbottom [2001] i Patricia W. Waterfall [1998]. W skali międzynarodowej wysoko ceniony jest też autor encyklopedii poświęconej obecności wody deszczowej w kulturze i gospodarce – Kikuo Morimoto, popularyzujący sposoby retencjonowania wody deszczowej w krajach azjatyckich, gdzie panuje głód. W kontekście kształtowania krajobrazu jedną z ważniejszych publikacji jest artykuł Christera Göranssona na temat estetycznej strony planowania systemów gospodarowania wodą opadową w mieście, na przykładzie Szwecji [1998].

W polskiej literaturze przedmiotu zagadnienia kształtowania ZSD w kontekście architektury krajobrazu prawie nie istnieją. Najważniejsza publikacja w tym zakresie to przetłumaczony z języka niemieckiego podręcznik Wolfganga Geigera i Herberta Dreisetla „Nowe sposoby odprowadzania wód deszczowych. Poradnik Retencjonowania i infiltracji wód deszczowych do gruntu na terenach zabudowanych”, wydany w 1999 r. Zawarte w nim niemieckie dyrektywy i akty prawne uświadamiają, czego brakuje w polskiej rzeczywistości. Inne tłumaczenia: „Woda deszczowa dla domu i ogrodu” [Losch 1998] i „Sami budujemy systemy pozyskiwania wody deszczowej” [Seitz 1999] są poradnikami dla amatorów. Przystępnie opisują proste sposoby wykorzystania wody opadowej na użytek gospodarstwa domowego, wskazując na ekologiczny i ekonomiczny aspekt sprawy. Pozycją, która może być rozpatrywana w zakresie kształtowania zrównoważonych systemów wodnych, jest „Inżynieria ekologiczna w budownictwie wodnym i ziemnym” [Begemann i Schiechl 1999]. Książka zawiera informacje dotyczące ekologicznych sposobów odnawiania oraz konserwacji koryt rzecznych i strumieni, co jest istotnym elementem zrównoważonej ochrony zlewni. Pokazane w niej przykłady mogą posłużyć jako inspiracje do budowy systemów ZSD, bazujących na naturalnych zależnościach występujących w sieci rzecznej.

Nowe sposoby odprowadzania wody opadowej nie są jednak w Polsce tematem całkowicie obcym. Znane jako „nowoczesne sposoby infiltracji wód opadowych” zostały zapoczątkowane przez Nowakowską-Błaszczuk¹⁰. Wraz z zespołem naukowców z Politechniki Warszawskiej przeprowadziła ona w latach 1987–1991 badania nad jakością spływu wód deszczowych z różnych nawierzchni miejskich oraz filtratu spływu opadu przez złożę gruntowe i trawiaste na podłożu humusowym [Nowakowska-Błaszczuk 2004]. Dzięki badaniom udowodniono, że znaczna część spływu wód opadowych nie jest zanieczyszczona i może być infiltrowana wprost do gruntu¹¹. Był to przełom w podejściu do odprowadzania wód opadowych w Polsce.

Mimo kolejnych badań, seminariów i prac projektowych, pokazujących wymiar ekologiczny i ekonomiczny infiltracji wód opadowych na terenach zurbanizowanych, temat ten w Polsce nie zyskał na popularności. Proponowana idea infiltracji odbiega

¹⁰ Centralny Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Budownictwa Inżynierskiego „Hydrobudowa”.

¹¹ Podobne badania przeprowadzono w tym samym czasie na Uniwersytecie w Karlsruhe w Niemczech, dochodząc do tych samych wniosków [Nowakowska-Błaszczuk 2004].

jeszcze znacznie od zintegrowanych działań na rzecz zasobów wodnych, jakie stosowane są na Zachodzie. Opracowania krajowe, pojawiające się głównie w specjalistycznej prasie w postaci artykułów popularnonaukowych, dotyczą bowiem nowych sposobów odprowadzania wód opadowych, ale w bardzo wąskim zakresie. Są to najczęściej doraźne instrukcje wykonania nawierzchni przepuszczalnej, zainstalowania cysterny czy budowy stawu retencyjnego w mieście. Nieco szerszy wymiar mają publikacje z dziedziny inżynierii ekologicznej. Artykuły w kontekście odprowadzania wody czy ścieków coraz częściej poruszają temat konieczności infiltracji wód opadowych do gruntu za pomocą urządzeń infiltrujących. Jest to związane również z faktem pojawienia się na krajowym rynku zagranicznych firm oferujących proste systemy urządzeń infiltracyjnych, jak choćby skrzynek czy komór filtracyjnych [Suligowski i Gudelis-Taraszkiewicz 2003]. Jednak w tym przypadku aspekt kształtowania krajobrazu praktycznie nie istnieje.

Wśród polskich architektów krajobrazu temat gospodarowania wodą opadową podejmowany jest przez Wolskiego z SGGW, jednak nie wszystkie jego projekty systemów odzyskiwania wód opadowych doczekały się realizacji. Powodem niepowodzenia było w tym przypadku prawdopodobnie niezrozumienie idei przez inwestora.

W temacie wód opadowych w Polsce wciąż brakuje szerszego spojrzenia, ujmującego zrównoważone systemy drenażu w aspekcie ochrony zasobów wodnych miasta, regionu czy kraju oraz miejsce ZSD w kształtowaniu krajobrazu. Zintegrowane podejście, angażujące przede wszystkim organy ustawodawcze i administracyjne, ludzi nauki i firmy wykonawcze, to warunek zbliżenia się do standardów zachodnioeuropejskich – ekologicznych, ekonomicznych i krajobrazowych. W tym kontekście gospodarowanie wodą opadową to nie tylko idea, ale również niezbędny aspekt warsztatu architekta krajobrazu.

3. Wody opadowe w krajobrazie naturalnym – kontekst przyrodniczy

Woda – *materia prima*, z której wyłoniło się życie – to bez wątpienia jedna z najbardziej wyjątkowych substancji, z jaką człowiek ma styczność, życiodajna, ale i niszczyielska – sprawczyni wielu kataklizmów wynikających zarówno z jej braku (susza), jak i nadmiaru (powódź). Woda to także siła krajobrazotwórcza, obecna w przyrodzie w postaci rzeźbiących powierzchnię Ziemi sływów opadowych, potoków i rzek, powodujących powstawanie naturalnych form krajobrazowych. Procesy zachodzące w przyrodzie pod wpływem opadów mogą zatem inspirować kształtowanie proekologicznych, zrównoważonych systemów дренаżu. Wyodrębnienie wymienionych etapów cyklu hydrologicznego tworzy płaszczyznę odniesienia do dalszych poszukiwań, a zwłaszcza do zdefiniowania proekologicznych metod gospodarowania wodą opadową.

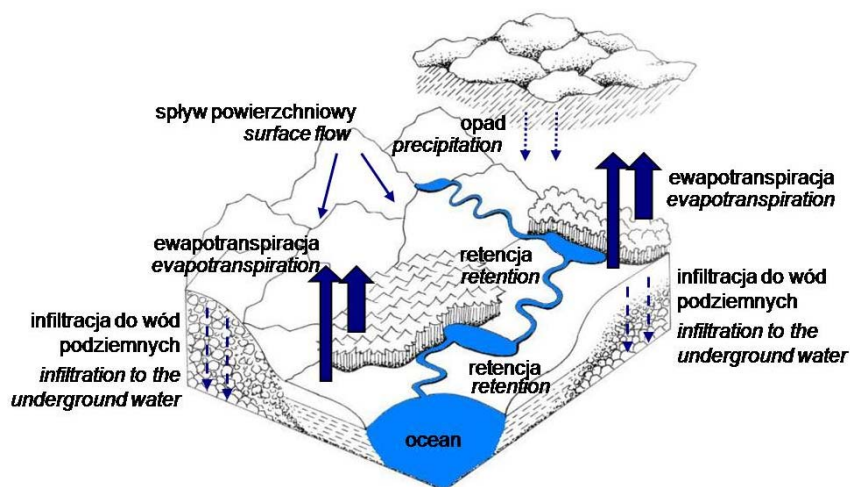
Zasoby wodne świata szacuje się na 1,386 mld km³ wody, z czego aż 95% stanowią oceaniczne wody słone, a tylko 2,5% wody słodkie zdatne do picia [Jankowski 2003]. Są one cały czas w ruchu: przedostają się z jednego ogniwa w drugie, a przy tym zachowują prawo masy, czyli się bilansują¹.

Obieg wód, zwany też **cyklem hydrologicznym**, można określić jako swego rodzaju transformację opadu w odpływ [Chelmiński 2002]. Krążenie wód odbywa się w hydrosferze. Najniższa warstwa atmosfery – troposfera – wpływa na kształt pogody, dzięki niewielkiej zawartości pary wodnej, rzędu 15 000 km³. Zasoby te muszą odnawiać się mniej więcej 30 razy w ciągu roku, gdyż suma rocznych opadów na świecie waha się w granicach 500 000 km³ [Kronika Ziemi 1992].

Głównym czynnikiem wprawiającym wodę w ruch jest energia Słońca. Dzięki niej zachodzi parowanie: unoszone do góry cząstki wody tworzą chmury, z których następuje opad. Część wody opadowej ulega infiltracji, czyli przenika w głąb gruntu przez powierzchnie przepuszczalne, a następnie przedostaje się sływem podpowierzchniowym do odbiorników powierzchniowych (rzek, jezior) lub do głębszych warstw litosfery, gdzie zasila wody podziemne (rys. 2). Pozostała część zostaje przechwycona zanim dotrze do gruntu. Następuje wtedy intercepcja, tj. proces zatrzymania a później częściowego odparowania wody przez szatę roślinną lub inne elementy pokrycia terenu, jak

¹ Pojęcie zasobów wodnych zostało tu użyte w sensie potocznym dla określenia ogólnej ilości wód na Ziemi. W literaturze specjalistycznej odróżnia się *zasoby wodne* (całość wód powierzchniowych i podziemnych możliwych do wykorzystania na danym terenie) od *zapasów wodnych* (ogólne ilości wody na Ziemi, w kraju, w regionie itp.). Wartości te są rozpatrywane zarówno w wymiarze objętościowym, jak i w jednostkach objętości na jednostkę czasu dla poszczególnych powierzchni, np. kontynentów, zlewisk, zlewni etc. [Mikulski 1998].

dachy, drogi czy place [Knapp 1986, Wolski 2002]. Knapp [1986] porównuje nawet spływ powierzchniowy do przedostawania się wody przez zespół połączonych zbiorników retencyjnych tworzących kaskadę, z których każdy, mając ograniczoną zdolność magazynowania wody, przekazuje jej nadwyżkę do następnego.



Rys. 2. Procesy zachodzące w cyklu hydrologicznym
Fig. 2. Processes occurring in the hydrological cycle

Poza wodą odparowaną w procesie ewaporacji do atmosfery trafiają także pewne ilości wody gruntowej, pobieranej i przetwarzanej przez rośliny. Ten proces, zwany transpiracją, w analizach cyklu hydrologicznego uwzględnia się czasem wraz z parowaniem, traktując je łącznie jako ewapotranspirację. Szacuje się, że na obszarze Polski niedobór wody występuje na 38% powierzchni kraju i z roku na rok wciąż się zwiększa². Jest on skutkiem między innymi likwidacji wielu naturalnych ogniw retencyjnych, jak lasy, wilgotne łąki i obszary podmokłe, dla których w procesie antropogenizacji krajobrazu nie znaleziono alternatywy odpowiednich rozwiązań technicznych.

Z wielkością i częstotliwością opadów wiąże się szereg zjawisk klimatycznych, a także charakter szaty roślinnej. W Polsce średnia roczna suma opadów wynosi 600 mm, co pomnożone przez powierzchnię kraju daje objętość 187 km³ opadu rocznie [Kundzewicz 2000]. Można też obliczyć, że na obszar Warszawy spada rocznie ponad 3 km³ wód opadowych, na obszar Krakowa – blisko 2 km³, a we Wrocławiu – około 1,8 km³. Wartości te ilustrują skalę problemu, który w tradycyjnej urbanistyce był postrzegany głównie w kategoriach urządzeń i sieci odprowadzających.

Zasadnicze znaczenie dla kształtowania się zasobów wodnych danego obszaru ma rozdział wód na powierzchni terenu w momencie opadu. Zasobność obszaru zależy bowiem od ilości wody, która spłynie, wsiąknie w grunt lub zasili różnego rodzaju zbiorniki retencyjne [Chełmicki 2002].

² Ministerstwo Środowiska: Strategia Obszarów Wodno-błotnych w Polsce. Warszawa 2004.

Opad na odkrytą powierzchnię powoduje w pierwszej kolejności infiltrację w głąb profilu glebowego oraz podniesienie zwierciadła wody gruntowej. Gdy opad trwa zbyt długo, strefa nasycenia wypełnia się, a następujący spływ powierzchniowy zasila rzekę szybciej i intensywniej niż spływ podpowierzchniowy [Knapp 1986].

Wielkość odpływu zależy w dużej mierze od proporcji między infiltracją a spływem powierzchniowym. Odpływ z terenów zabudowanych (a więc w dużej mierze nieprzepuszczalnych) jest większy niż na obszarach leśnych. W lasach bowiem, gdzie ściółka retencjonuje wodę – część powierzchniowej fazy odpływu zostaje przeniesiona w kierunku odpływu pokrywowego i podziemnego. W tym procesie duże znaczenie ma również skład gatunkowy pokrycia, gdyż rzutuje on na zdolności retencyjne podłoża [Chełmicki 2002].

Żłobiąc koryta w dnach jarów, wąwozów czy dolin woda spływa pod własnym ciężarem w stronę najniższej położonych połaci terenu, docelowo zaś – w stronę najbliższego morza, oceanu, czasem jeziora. Po drodze mniejsze cieki łączą się w potoki, te zaś w dopływy zasilające rzekę główną w granicach dorzecza. W ten sposób tworzy się układ sieciowy. Sieć hydrograficzna jest więc naturalnym systemem odprowadzania wód stale zasilanych i odnawianych przez opady.

Wiele naturalnych form krajobrazowych powstaje pod wpływem erozji. Deszcze powodują dwa rodzaje erozji:

- powierzchniową, związaną ze spłukiwaniem jedynie wierzchniej warstwy podłoża, co powoduje zmiany w kształcie zbocza, a także przekształcenia gleb na zboczu i u jego podnóża;
- liniową, w tym: żłobinową (umiarkowane rozmywanie stoków) i wąwozową (intensywne rozmywanie stoków).

Procesy te mogą zachodzić już przy 2- procentowym nachyleniu terenu [Ciepielowski 1999, Wolski 2002].

Wąwozy, zjawiska krasowe, żłobione łańcuchy górskie – tworzą często niepowtarzalne formy rzeźby terenu. Wpisują się one zarówno w krajobraz otwarty, jak i zurbanizowany, stając się wyróżnikami tożsamości miasta, jak słynne wapienne mogoty³ w dolinie rzeki Li w prowincji Guilin w Chinach czy strome skarpy potoków w Oslo. Jednocześnie procesy erozyjne, nasilane pod wpływem czynników antropogenicznych, były i są zagrożeniem dla środowiska naturalnego, powodując degradację gleby oraz zmianę stosunków wodnych⁴. Gleba staje się bardziej podatna na zmywanie, co ogranicza infiltrację i zasilanie wód gruntowych, w konsekwencji pogarsza zaś warunki wzrostu roślin, przyczyniając się do pustyńnienia terenów⁵. Obok procesów wulkanicznych,

³ Mogoty – wapienne wzgórza ostańcowe powstałe w wyniku procesów krasowych (www.wikipedia.org).

⁴ Szacuje się, że w wyniku wadliwej gospodarki rolno-leśnej zniszczono ponad 2 miliardy hektarów ziem uprawnych (około 15% powierzchni kontynentów). Odkąd człowiek rozpoczął walkę z głodem i zaczął przekształcać coraz więcej terenów otwartych w pola uprawne, obszary pustynne zwiększyły się o miliard hektarów [Adamowicz 2005].

⁵ Na obszarach uprzemysłowionych procesy erozyjne nasilają się dodatkowo na skutek skażeń powietrza i związanych z nimi kwaśnych deszczów. Wywołują one nie tylko mechaniczne uszkodzenia powierzchni, na które spadają, ale też wchodzi z nimi w reakcje chemiczne. W krajobrazie ujawnia się to w postaci niszczących elementów architektonicznych (zwłaszcza zabytkowej rzeźby i detali kamieniarskich) oraz słabej kondycji zieleni.

zjawisk termicznych i erozji wietrznej woda, zwłaszcza opadowa, jest zatem istotnym czynnikiem kształtującym krajobraz ziemski [Bloom 1980].

Cyrkulacja wody w środowisku naturalnym odbywa się w znacznej mierze dzięki naturalnym zbiornikom retencyjnym i chłonnym. Są nimi nie tylko duże akweny wodne, ale także ogromne połacie lasów i tereny podmokłe. Rośliny spowalniają bowiem i ograniczają spływ powierzchniowy, chłonąc wilgoć z gleby i wiążąc ją we własnych tkankach, ułatwiając wsiąkanie i uzupełnianie niedoborów wód gruntowych lub odprowadzając wodę z powrotem do atmosfery. Bilans wodny zależy zatem w dużej mierze od pokrycia terenu (fot. 1).



Fot. 1. Przykład ekosystemu bagiennego (fot. K. Sobczak)
Phot. 1. Example of marsh ecosystem

Istotną rolę retencyjną odgrywają lasy, szczególnie ich właściwości chłonne, docenione po wielu wiekach postępującej urbanizacji oraz wylesiania i osuszania terenów na cele rolnicze. Woda opadowa, która spadła na tereny leśne, przestaje być retencjonowana w glebie dopiero po maksymalnym wypełnieniu ściółki, skąd infiltruje w głębsze pokłady⁶. Odpływ podpowierzchniowy jest zatem spowolniony, co w sposób korzystny stabilizuje poziom wody w rzece odwadniającej [Chełmicki 2002]. Inną ważną cechą lasów są ich właściwości glebochronne, w kontekście omówionej wcześniej ochrony przed erozją wodną.

⁶ Warstwa gleb leśnych o miąższości 1 m jest w stanie zmagazynować 2300 m³ wody na obszarze 1 ha [Chełmicki 2002 za: Fabijanowski, Jaworski 2002].

Szczególną grupą roślin wspomagających cyrkulację wody w przyrodzie są rośliny bagienne, u których transpiracja jest przeciętnie trzy razy większa niż parowanie wolnej powierzchni wody⁷. Zbiorowiska roślinne na terenach podmokłych, współtworząc naturalne zbiorniki retencyjne, wpływają na kształtowanie się warunków hydrologicznych i klimatycznych danego rejonu. Wywierają też korzystny wpływ na jakość wody, przez złożone procesy jej oczyszczania i uzdatniania, zachodzące dzięki określonym gatunkom roślin [Kornaś, Medwecka-Kornaś 2002].

Rola szaty roślinnej w usprawnieniu cyrkulacji wody zależy zatem od chłonnych właściwości roślin, głównie hydro- i higrofitów, znoszących warunki stałego uwilgotnienia. Istotna jest również transpiracja, której wielkość zależy od wieku i gatunku rośliny, a tym samym jej budowy. Rośliny o wąskich, cienkich liściach mają zmniejszoną transpirację w stosunku do tych o liściach szerokich i grubych. Szybkość oddawania wody uwarunkowana jest także barwą rośliny – liście o srebrzystym nalocie odbijają promienie słoneczne, co znacznie ogranicza proces parowania. Rośliny silnie transpirujące doskonale wykorzystują nadmiar wody opadowej, przyczyniając się tym samym do zwiększenia wilgotności atmosfery w warunkach lokalnych⁸. Ocenia się, że ok. 10% wilgoci atmosferycznej pochodzi z procesu transpiracji, co wskazuje na jej znaczący udział w cyklu hydrologicznym⁹.

Cykl hydrologiczny obejmuje wszystkie fazy krążenia wody w jej zamkniętym obiegu w przyrodzie. Proporcje rozdziału wód pomiędzy poszczególnymi fazami kształtowały się przez miliony lat procesów ewolucyjnych, osiągając pewien stan równowagi. Do głównych faz cyklu hydrologicznego, związanych z naturalnym rozdysponowaniem wód opadowych, należą:

- splywu powierzchniowego (odprowadzania wody do odbiorników powierzchniowych: rzek, jezior i oceanów),
- infiltracji i splywu podpowierzchniowego (zasilania roślin oraz wód gruntowych),
- retencji i bioretencji/intercepcji (magazynowania wód),
- ewapotranspiracji (odprowadzania wody do atmosfery).

Wszystkie te fazy pozostają w ścisłym związku z takimi aspektami krajobrazu jak:

- rzeźba terenu,
- właściwości podłoża (przepuszczalność dla wody, podatność na procesy erozyjne),
- pokrycie terenu (w naturze – szata roślinna).

Cykl hydrologiczny, a zwłaszcza proporcje rozdziału wód, stanowią układ odniesienia dla działań gospodarczych, rozumianych jako proekologiczna gospodarka zasobami wód opadowych. Ich celem jest zaspokajanie potrzeb człowieka z jednoczesnym uwzględnieniem specyficznych potrzeb przyrody.

⁷ [<http://www.icpnet.pl/~spnr20/publikacje/refHNiechwiadowicz.html>]

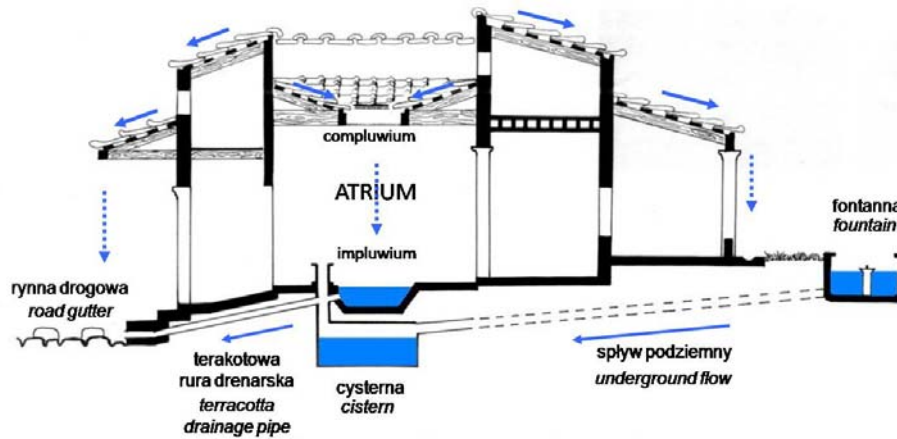
⁸ Wśród drzew liściastych największy współczynnik transpiracji ma brzoza. W średnim wieku ma ona w koronie ok. 200 tys. liści, które w okresie letnim w ciągu dnia wyparowują 60–70 kg wody, a w ciągu okresu wegetacyjnego (od maja do października) ok. 10 ton wody [<http://gimnwmon.webpark.pl/geogr8.html>].

⁹ [<http://ga.water.usgs.gov>].

4. Wody opadowe w krajobrazie kulturowym – kontekst historyczny

Kształtując swoje otoczenie, człowiek zawsze usiłował przejąć kontrolę nad naturalnymi procesami, wykorzystując je lub ukierunkowując zgodnie z własnymi potrzebami. Jednak bez względu na stopień przekształcenia krajobraz kulturowy podlega stale zewnętrznym czynnikom przyrodniczym. W historii architektury, urbanistyki, a zwłaszcza szeroko pojętej historii osadnictwa przewijają się dwa wątki związane z wodą opadową:

- ochrona przed deszczem i jego skutkami,
- retencjonowanie wody opadowej w celach bytowych lub gospodarczych (rys. 3).



Rys. 3. Schemat przepływu wody deszczowej w rzymskim domostwie (opracowanie własne na podst. zbiorów British Museum w Londynie)

Fig. 3. Scheme of the rainflow in the Roman homestead (prepared by author on the base: the collection of The British Museum in London)

Związek między tradycyjnymi formami budynków a warunkami klimatycznymi i lokalnym budulcem zaczęto dostrzegać już pod koniec XIX wieku¹. Badania prowadzone na styku etnologii i architektury dowiodły, że w rejonach intensywnych opadów (głównie śniegowych) zabudowę cechują wysokie strome dachy, mocno wysunięty okap oraz podłoga parteru położona powyżej poziomu terenu, np. na palach lub na

¹ Przedstawiciele tzw. determinizmu geograficznego.

wysokim cokole [Ciołek 1964, Drapella-Hermansdorfer 1998]. Opady w istotny sposób kształtują wygląd zewnętrzny obiektów architektonicznych. Ponadto, w zwartych zespołach zabudowy – miejskiej, pałacowej lub świątynnej – dość wcześnie pojawiły się rynny. Ich końce, w formie ozdobnych rzygaczy, wysuwano najczęściej poza lico budynku, aby zapobiec omywaniu ścian przez strumień wody. W innych przypadkach kierowano wodę do pionowych rur, prowadzących do podziemnych cystern, rynien drogowych lub na powierzchnie chłonne.

Od najdawniejszych czasów strugi deszczu wzmacniały koloryt elementów kamiennych i barwnych mozaik lub wywoływały kaskady, będące częścią monumentalnej architektury. Jednymi z najwcześniejszych znanych form tego typu są rzygacze w kształcie lwów, pochodzące ze świątyni Horusa w Edfu z III wieku p.n.e. [Niemczyk 2002]. W domach rzymskich spotyka się przykłady rzygaczy skierowanych do wnętrza *atrium*, z których woda tryskająca podczas deszczu trafiała wprost do znajdującego się w centralnym punkcie *impluvium*. Pewnej malowniczości dodawało jej światło, sączące się z otworu w dachu (*compluvium*).

Znaczna część wody z rynien trafiała na ulice i place, gdzie mieszała się z nieczystościami, ułatwiając ich odprowadzenie systemem rynien-rynsztoków poza granice miasta². Jednocześnie jej spływy i zastoiska rozmywały w różnych miejscach gruntową nawierzchnię, co utrudniało poruszanie się ludzi i pojazdów. W większych i bardziej zamożnych miastach budowano więc drogi z szeroko rozstawionych kamieni, które umożliwiały przesiąkanie wody i odprowadzanie jej podziemnym systemem drenażu. Wybrukowanym przestrzeniom publicznym nadawano też odpowiedni profil, aby ukierunkować spływ wody do kanałów ulicznych i dalej do rzek lub różnego typu zbiorników. Jako przykład można tu przytoczyć ozdobne posadzki barokowych placów Rzymu czy Wenecji, gdzie związki z architekturą krajobrazu są szczególnie czytelne. Innym rozwiązaniem, stosowanym dawniej w USA i w Rosji, było wyniesienie chodników na drewniane pomosty umieszczone ponad błotnistą powierzchnią drogi.

Zagadnienia te należy postrzegać nie tylko w kategoriach niedogodności komunikacyjnych lub ochrony budynków przed wilgocią, ale przede wszystkim jako problem sanitarny. Jeszcze nie tak dawno najbliższe otoczenie budynków było silnie zanieczyszczone ludzkimi fekaliami oraz nawozem, pochodzącym od zwierząt domowych, a podobne sytuacje utrzymują się nadal w krajach słabiej rozwiniętych. Od zamierzchłych czasów deszcze spłukiwały ten brud do rzek, potoków i fos miejskich, dzięki mniej lub bardziej skomplikowanym technikom odprowadzania wody opadowej.

Największym mankamentem rozwiązań wodno-kanalizacyjnych w miastach antycznych było łączenie funkcji odbiornika wód opadowych z odprowadzaniem ścieków. Otwarte koryta powodowały, że kontakt ludności ze ściekami był nieunikniony, ponadto kanały uchodziły do rzek, z których czerpano wodę do picia. Różne odmiany tego systemu stosowano na obszarach zurbanizowanych. Stopniowo pomniejszych ciekich zaczęto zabudowywać jako sporadycznie rozmieszczone, niepowiązane ze sobą murowane kanały, a bardziej spójne systemy kanalizacji miejskiej pojawiły się dopiero w drugiej

² Pierwotnie rynsztoki uliczne służyły przede wszystkim do odprowadzania wód opadowych. Z czasem zaczęto wylewać do nich także nieczystości (www.wynalazki.mt.com.pl).

połowie XIX wieku³. Zarówno wody opadowe, jak i ścieki odprowadzono podziemnymi kanałami do oczyszczalni położonej poza miastem i dalej na pola irygacyjne (FR/R001 2004; www.wynalazki.mt.com.pl).

Początkowo systemy kanalizacyjne miały charakter ogólnospławny, łączyły zatem ścieki sanitarne z odprowadzaniem wody opadowej, co powodowało przeciążenia oczyszczalni. Z czasem zaczęto stosować kanalizację rozdzielczą. W tym systemie kolektor sanitarny przenosi fekalia do oczyszczalni, drugi zaś – burzowy – odprowadzał wody opadowe bezpośrednio do rzek. Rozwiązania tego typu są obecnie rozpowszechnione, chociaż i one mają liczne wady takie jak:

- zanieczyszczanie rzek zrzutami z kanalizacji burzowej;
- wylewy i podtopienia spowodowane okresowymi przeciążeniami systemu;
- przyspieszanie wezbrań powodziowych na skutek dużych ilości wód odprowadzanych w czasie ulewnych lub długotrwałych deszczów.

Działania te przyniosły radykalną poprawę stanu sanitarnego, ale miały też niekorzystne skutki uboczne, w tym skanalizowanie wielu cieków powierzchniowych, które praktycznie znikły w krajobrazie wielu współczesnych miast. Jednocześnie, w miarę zabudowywania coraz większych powierzchni terenu, człowiek stopniowo ograniczał możliwości wsiąkania wody opadowej. Wzrastała zatem wielkość spływu, który zarówno w skali pojedynczych obiektów, jak i zespołów osadniczych starano się ukierunkować albo na tereny chłonne, do sztucznych zbiorników, lub do wód powierzchniowych.

Krajobraz osadniczy – jego rzeźbę – można zatem postrzegać jako świadomie wymodelowaną zlewnię, gdzie rynny oraz pochyłości dachów, dróg i przestrzeni publicznych pełnią rolę analogiczną do naturalnych cieków, dolin i stoków. W tym układzie odpowiednikiem systemu kanalizacji burzowej jest spływ podpowierzchniowy, zaś rola architektury oraz architektury krajobrazu sprowadza się do nadania odpowiedniej formy naziemnym urządzeniom odprowadzającym i przechwytyującym wodę opadową.

W wielu rejonach świata przechwytywanie wód opadowych staje się koniecznym warunkiem przetrwania. Istniały miejsca na Ziemi, gdzie dostępność wody warunkowała życie kulturalne i polityczne do tego stopnia, że cywilizacje powstałe w tych rejonach można nazwać hydraulicznymi [Niemczyk 2002]. Problem niedostatku wody rozwiązywano za pomocą studni oraz rozmaitych systemów retencyjnych. Badania archeologiczne naprowadzają zarówno na ślady ogromnych rezerwarów, które zaopatrywały w wodę całe miasta (fot. 2), jak i niewielkich zbiorników w obrębie pojedynczych domostw.

Najstarsze przydomowe cysterny, pochodzące sprzed pięciu tysięcy lat, odkryto w Palestynie oraz w Jordanii. Liczne znaleziska z terenu Azji Mniejszej świadczą o tym, że ten sposób gromadzenia wody rozpowszechnił się co najmniej dwa tysiące lat przed naszą erą. W Hesban (Jordania) na przykład napotkano zespół składający się z przynajmniej jednej, a najprawdopodobniej wielu cystern oraz komór przelewowych, służących do przepływu wody (XII w. p.n.e.). W Negev cysterny kopano nawet w podłożu lessowym, wykładając je kamieniami zapewniającymi stabilność ścian [Wählin 1995].

³ Pierwszy nowoczesny system kanalizacji ściekowej powstał w Londynie, zbudowany pod kierunkiem Johna Bazalgette'a, w latach 1858–1875 (FR/R0011 2004).



Fot. 2. Arabska cysterna z XIII w. w Casa de Veletas, Caceres – Extermadura (fot. A. Drapella-Hermansdorfer)

Phot. 2. The Arabic cistern from XIII century in Casa de Veletas, Caceres – Extermadura

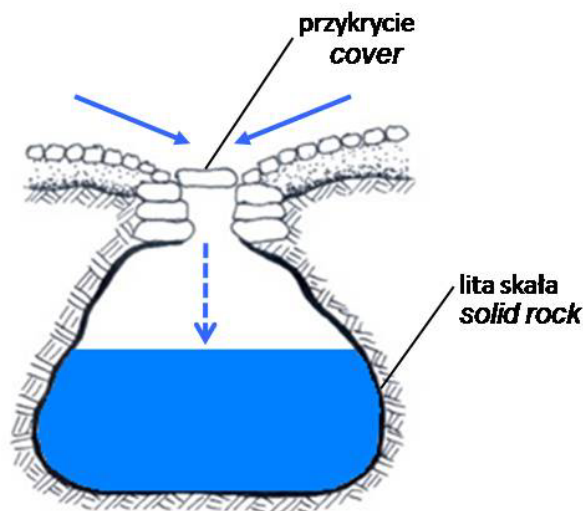
Konstrukcja i sposoby użytkowania cystern zmieniały się w czasie i przestrzeni, jednak zawsze składały się z basenu sedymentacyjnego do separowania mułu oraz warstwy piasku, poprzedzającej bezpośredni wlot do komory gromadzącej. Kształty cystern były różne: przypominały śliwkę, butelkę lub dzwon. Różniły się też pojemnością. Rezerwar w Madaba mógł pomieścić ok. 42 750 m³, pojedyncze cysterny dzwonkowate z Jeruzalem mogły zaś pomieścić do 2 700 m³ wody. Największe budowano głównie poza obrębem murów obronnych, skąd prowadzono wodę ukrytymi kanałami do miasta [Boulton 1959].

Podziemne cysterny odkryto także w osadach ommajadzkich, w Libii oraz czternastowiecznym Tunisie⁴. Najważniejsze z nich znajdowały się w Cytadeli Ammana, w miejscu starożytnej osady Rabbath-Ammon. We wspomnianej już Jordanii do gromadzenia wody wykorzystywano zespoły zbiorników kamiennych. Najbardziej znane są rezerwuary przy grobowcu króla Nabateana w mieście Petra, gdzie woda deszczowa spływała kanałami powierzchniowymi do ogromnych cystern wyłobionych w skałach. Poszczególne komory napełniały się po kolei – w systemie przelewowym, a ich wysokie położenie miało zapobiegać zanieczyszczeniu wody [CSBE 2004]. Na ogół zasoby wód podziemnych (studnie) i otwartych (rzeki, jeziora) były uznawane za dobro

⁴ Omajjadzi (Umajjadzi) – dynastia 14 kalifów, panująca w arabskim państwie muzułmańskim w latach 661–750. Interesujące rozwiązania zastosowano w tym czasie w Bagdadzie (VIII w. n.e), gdzie miasto zostało podzielone na bloki i kwatery, do których doprowadzano wodę siecią pilnie strzeżonych akweduktów. Ulice, place i ogrody były regularnie czyszczone i nawadniane, a odpowiedzialność za stan sanitarny spoczywała na specjalnych nadzorcach (FR/R0011 2004). Ten zewnętrzny system współpracował z rozwiązaniami pozyskiwania wody deszczowej w obrębie domów, gdzie deszczówkę (przez rury spustowe ukryte w kolumnach) sprowadzano do podziemnych cystern, podobnie jak to miało miejsce w Egipcie, na przykład w Marina el Alamein [Malkiewicz 2002].

publiczne, podczas gdy cysterny służyły zazwyczaj do gromadzenia wody deszczowej z powierzchni dachów na cele prywatne.

Problemy wodne występowały także w innych rejonach świata, gdzie rozwiązywano je w podobny sposób. Przykładem może być cywilizacja Majów, która do XII wieku rozkwitała na terenach dzisiejszego południowego Meksyku, Gwatemali, Salwadoru, Belize oraz Hondurasu. Od lutego do maja panuje tam suchy sezon, charakteryzujący się niebywałym upałem. Przez pozostałą część roku gromadzono więc na ten okres zapasy wody opadowej, wykorzystując w tym celu cysterny oraz naturalne sadzawki krasowe, tzw. cenotes (w języku Majów tzonot), które często pełniły też role symboliczno-kultowe (rys. 4). Ten system umożliwiał rozwój miast nawet w znacznej odległości od rzek [[Niemczyk 2002, Stierlin 2001].

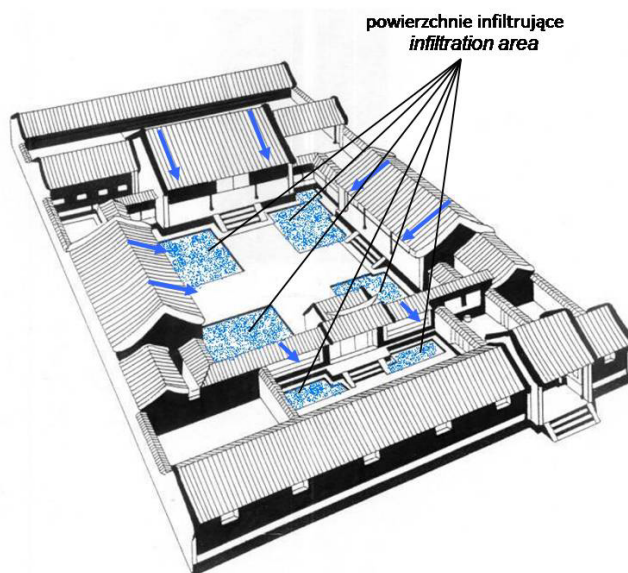


Rys. 4. Schemat budowy cysterny Majów
Fig. 4. Scheme of the Maya cistern construction

Cysterny, podobnie jak beczki umieszczone u wylotów rur spustowych, nie miały wpływu na kształtowanie krajobrazu miasta, a jedynie na sposób jego funkcjonowania. Inaczej było z otwartymi zbiornikami retencyjnymi, które pojawiały się w postaci stawów lub basenów zarówno w miastach, jak i na wsiach. Podczas gdy staw wiejski miał znaczenie przede wszystkim hodowlane lub przeciwpożarowe, sadzawki i baseny miejskie ożywiały lokalną scenę oraz poprawiały klimat.

Nie zawsze istniały możliwości lub przesłanki ku temu, by retencjonować wodę deszczową dla celów bytowych. W takich sytuacjach zazwyczaj próbowano ją odprowadzić do zbiorników o charakterze dekoracyjnym lub na powierzchnie przepuszczalne. W tradycji śródziemnomorskiej na przykład spotyka się często dachy nachylone w kierunku *atrium* lub wewnętrznego ogrodu (*perystyl*), gdzie zwykle znajdował się

basen⁵. Domy chińskie, o dynamicznych formach dachów, wznoszono z reguły wokół wewnętrznych dziedzińców i ogrodów (rys. 5). W odróżnieniu od śródziemnomorskich układów atrialnych były one na tyle obszerne i słoneczne, by umożliwić szybkie odparowanie wilgoci⁶. Te otwarte powierzchnie, mieszczące się w środku zabudowy, opasywano często ziemnymi wałami, stanowiącymi wysoki cokół dla budynków⁷. Styl ten pojawił się również w Japonii, gdzie wały ziemne zastąpiono drewnianymi pomostami (fot. 3), umożliwiając przewietrzanie pomieszczeń od spodu [Drapella-Hermansdorfer 2001].



Rys. 5. Układ domu chińskiego z nisko położonym dziedzińcem, zasilanym wodą z dachów

Fig. 5. Arrangement of the Chinese house with low situated courtyard collecting rainwater from roofs

Ścieżki oraz tarasy wokół rezydencji i świątyń wykładano płytami, kamykami lub żwirem. Ułożone na sypkim podłożu miały one charakter półprzepuszczalny i tylko w czasie ulewnych deszczów nadmiar wód sphywał do zewnętrznych rynien opaskowych albo na tereny zieleni. W Chinach i Japonii pojawiły się ścieżki ogrodowe z luźno leżących płyt kamiennych, po których – jak po głazach w potoku – poruszano się wśród wilgotnych mchów i roślin okrywowych [Drapella-Hermansdorfer 2001].

⁵ Wodę z dachów odprowadzano często jednocześnie do podziemnych cystem i tylko jej nadmiar trafiał do ozdobnych sadzawek [Drapella-Hermansdorfer 2001].

⁶ W obiektach reprezentacyjnych nadmiar wody sphywał do ozdobnych kanałów i stawów, w innych sytuacjach, na przykład domów drążonych w skale lessowej, często spotyka się studnie zlokalizowane w środku podwórka [Drapella-Hermansdorfer 2001].

⁷ Główne budynki sadowiono na równoległych „tamach” wzdłuż osi północ-południe. Boczne skrzydła wznoszono również na wałach, łącząc je z budynkami głównymi pod kątem prostym. Stwarzało to zadaszony ciąg okalający wewnętrzne podwórko-polder, okresowo zalewany przez wodę deszczową [Drapella-Hermansdorfer 2001].

Sztucznym modelowaniem zlewni zajmowali się też twórcy ogrodów od początków rozwoju tej sztuki. Ogrodowe baseny, kanały wodne, jak również przepływające obok potoki nie tylko pełniły ważne funkcje dekoracyjne, lecz w razie potrzeby przejmowały nadmiar spływu powierzchniowego⁸. Pojawiały się one również w ogrodach, często w cieniu pergoli lub szpaleru drzew, który chronił wodę przed odparowaniem [Drapella-Hermansdorfer 2001].



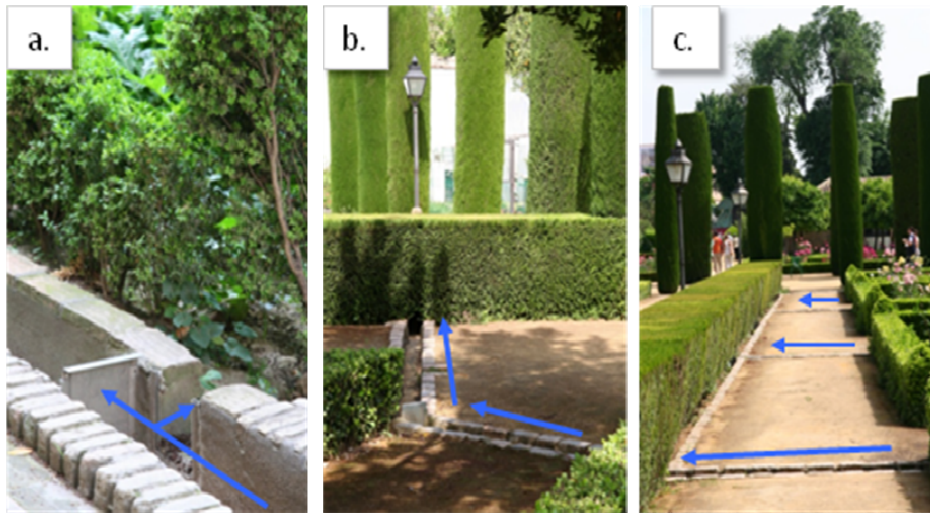
Fot. 3. Drewniane pomosty do poruszania się w domu japońskim, Kyoto (fot. M. Walerzak)
Phot. 3. Wooden platforms for moving in Japanese house, Kyoto

Zanim spływ opadowy trafił do urządzeń gromadzących, nawadniał w ogrodach uprawy i kwatery ozdobne. W Hiszpanii można spotkać rynny, które mają ruchome klapki sterujące kierunkiem spływu. Rynny łączyły się w rozległe systemy, rozprowadzające wodę po całym ogrodzie (fot. 4).

Od początku dziejów cywilizacji gospodarowanie lub – inaczej mówiąc – zarządzanie zasobami wód opadowych sprowadza się do kilku podstawowych działań:

- odprowadzania do odbiorników naturalnych (potok, rzeka) systemem otwartym lub zamkniętym (kanalizowanie);
- odprowadzania z dachów i innych powierzchni nieprzepuszczalnych i gromadzenia w zbiornikach otwartych lub zamkniętych (retencjonowanie z wykorzystaniem na cele bytowe i gospodarcze);
- spowalniania odpływu i odprowadzania wód na powierzchnie chłonne, a w konsekwencji – zasilania roślin i wód gruntowych.

⁸ Formy sadzawek były zdeterminowane przez lokalne warunki oraz sposób ich wykorzystania. Te, o niewielkim zagłębieniu, zbierały wodę deszczową; głębsze sięgały często poziomu wód gruntowych jako rodzaj ozdobnej studni.



Fot. 4. Rynny nawadniające uprawy, Cordoba: a – klapka regulująca kierunek splywu, b – odprowadzanie wody na tereny zieleni, c – układ systemu rynien (fot. A. Drapella-Hermansdorfer)

Phot. 4. Gutters for cultivations irrigating, Cordoba: a – little flap regulating flow direction, b – water carrying to the green area, c – system of road gutters

Zasady rządzące gospodarką wodną na terenach zurbanizowanych sprowadzają się więc do tych samych działań, jakie samoistnie występują w naturze. Aspekt odprowadzania i rozprowadzania wód opadowych na powierzchnie chłonne musiały zawsze uwzględniać: architektura, układ budynków oraz sposób zagospodarowania terenu. Gromadzenie wód opadowych było i jest warunkiem rozwoju osadnictwa w rejonach ubogich w wodę, zwłaszcza w strefach o ciepłym i suchym klimacie. Wszystkie te działania znajdują swe odzwierciedlenie w krajobrazie ludzkich osad, modelowanych w sposób mniej lub bardziej świadomy jako sztuczne zlewnie, którym woda nadaje określoną spójność, logikę i urodę.

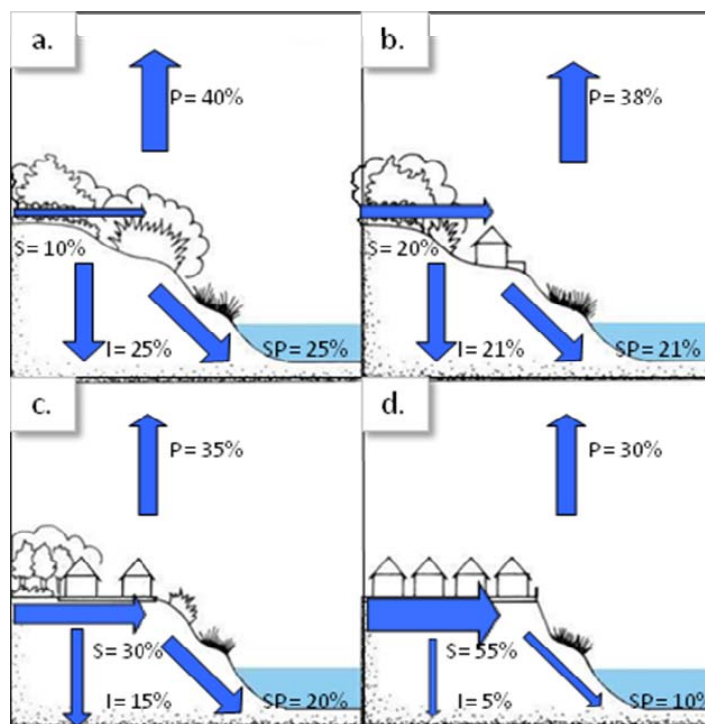
W miarę rozwoju urbanizacji, systemów wodno-kanalizacyjnych i wzrostu intensywności zabudowy – wody opadowe przestały być traktowane jako zasoby wody czystej. Unosząc ładunek różnorodnych zanieczyszczeń zmywanych z nieprzepuszczalnych powierzchni terenu, były przez długi czas odprowadzane wraz z fekaliami w systemie kanalizacji ogólnospławnej. Problemu nie rozwiązało też wprowadzenie systemu kanalizacji rozdzielczej, gdzie są one nadal traktowane jak ścieki. Wobec narastających problemów wodnych konieczna stała się kolejna zmiana podejścia do wód opadowych, która w pewnym sensie oznacza powrót do tradycji.

5. Przesłanki do tworzenia zrównoważonych systemów drenażu (ZSD)

Przez całe wieki człowiek bardzo oszczędnie gospodarował wodą, wykorzystując jej wszystkie dostępne źródła, w tym także opady. Jednocześnie fragmenty krajobrazu kulturowego były na tyle małe i rzadko rozsiane, że nie powodowały zakłóceń w cyklu hydrologicznym. W ciągu ostatnich dwustu lat sytuacja zmieniła się jednak radykalnie. Zwiększyła się wielkość populacji zamieszkujących miasta i powierzchnia obszarów zurbanizowanych, a konsumpcyjny model życia stał się zaprzeczeniem zasad oszczędnej gospodarki zasobami przyrody. Wodę opadową zaczęto traktować jak ścieki, a uszczelnienie dużych części zlewni przez zabudowę, przy jednoczesnym stosowaniu kanalizacji burzowej, zakłóciło naturalny obieg wody. Przedmiotem kolejnych analiz jest zatem ustalenie charakteru zagrożeń oraz możliwych działań naprawczych w odniesieniu do gospodarki wodą opadową.

Jednocześnie ze wzrastającą liczbą ludności i poprawą jakości życia zwiększa się zapotrzebowanie na wodę. W ciągu ostatnich 300 lat popyt ten w skali świata wzrósł 35-krotnie i obecnie wynosi 3,8 tys. km³ wody na rok. Choć roczny przepływ wody słodkiej w rzekach sięga 40 tys. km³, to wciąż istnieją miejsca, gdzie występuje jej niedobór, także na obrzeżach wielkich metropolii, na dzikich osiedlach pozbawionych wodociągów i kanalizacji [Kundzewicz 2000 za Jones 1999]. W zamożnych społeczeństwach rozrzutność gospodarowania wodą stała się zjawiskiem nagminnym. Na zaspokojenie własnych potrzeb przeciętny mieszkaniec krajów wysoko rozwiniętych zużywa dziennie minimum 50 litrów wody o najwyższych parametrach czystości, z czego tylko 10% służy zaspokajaniu pragnienia [Kundzewicz 2000 za Gleick 1998]. Rzeczywisty pobór jest o wiele większy, gdyż dodatkowe ilości służą do nawadniania trawników czy napełniania basenów. Antropogeniczne zmiany w cyrkulacji wód powodowane są przez stale rosnący pobór wody, zanieczyszczenia, osuszanie terenów połączone z likwidacją powierzchni retencyjnych, regulacją rzek, a także wylesianie oraz urbanizację połączoną z uszczelnianiem powierzchni i ograniczeniem infiltracji (rys. 6) [Jankowski 2003, Kundzewicz 2000].

Na terenach zurbanizowanych zaburzenia zachodzą we wszystkich fazach cyklu hydrologicznego. Badania z obszaru St. Louis wykazały, że opady w mieście są wyższe o ok. 25% (w nocy aż o 58%) niż na obszarach podmiejskich. Chłodne i wilgotne powietrze z terenów otwartych w zderzeniu z miejską wyspą ciepła ulega bowiem konwergencji i zostaje wyniesione do góry, gdzie tworzą się chmury burzowe [Chelmiński 2001].



Rys. 6. Zmiany w bilansie wodnym w zależności od udziału powierzchni nieprzepuszczalnych, gdzie – P – parowanie, S – spływ powierzchniowy, SP – spływ podpowierzchniowy, I – infiltracja głęboka: a – naturalne pokrycie; b – 10–20% pow. nieprzepuszczalnej; c – 35–50% pow. nieprzepuszczalnej; d – 75–100% pow. nieprzepuszczalnej [opracowanie własne na podst. Wynkoop 1999]

Fig. 6. Modification of the water balance depending on the participation of impervious surfaces, where: P – evaporation, S – surface flow, SP – underground flow, I – deep infiltration: a – natural overgrowth; b – 10–20% of impermeable surface; c – 35–50% of impermeable surface; d – 75–100% of impermeable surface [prepared by author on the base: Wynkoop 1999]

Głównym skutkiem opadów w mieście jest spływ powierzchniowy, spowodowany znacznym udziałem powierzchni nieprzepuszczalnych. W tych warunkach opady w większości nie zasilają wód podziemnych, nie są też retencjonowane ani należycie wykorzystane przez rośliny, jak to dzieje się w środowisku naturalnym. Geiger i Dreiseitl [1999] podają, że aż 90–100% wody opadowej w mieście spływa do kanalizacji burzowej, a następnie do powierzchniowego odbiornika, którym jest najczęściej rzeka. Pociąga to za sobą podwójne negatywne skutki. Z jednej strony obniża się zwierciadło wód gruntowych i następuje ubożenie szaty roślinnej, z drugiej zaś – wzrasta zagrożenie powodziowe.

W uszczelnionej zlewni rzeka wykazuje krótszy czas reakcji opad-odpływ, gdyż woda nie może wsiąkać w grunt, zaś uregulowane koryta cieków mają na ogół mniejszy przepływ podstawowy w porównaniu z rzeką naturalną. W tym kontekście, na terenach zurbanizowanych fala powodziowa charakteryzuje się bardzo krótkim czasem koncentracji, wyraźnym maksimum natężenia przepływu oraz zwiększeniem objętości. Zastosowanie kanalizacji deszczowej i systemu drenażu dodatkowo przyspiesza odpływ i zasilanie rzek, przy znacznym zmniejszeniu infiltracji w grunt. Dowodzą tego badania z obszaru Harlow (Anglia), gdzie w ciągu 15 lat rozwoju miasta (a tym samym zmian w użytkowaniu zlewni) czas pomiędzy początkiem fali wezbraniowej a przepływem kulminacyjnym zmniejszył się z 5 godz. do 1,5 godz. [Szponar 2003].

Mimo wspomnianych mankamentów – w krajach wysoko rozwiniętych aż do początku lat 90. minionego wieku problem wód opadowych postrzegano niemal wyłącznie w kategoriach ich sprawnego odprowadzania do kanalizacji. Pierwsze próby renaturyzacji zlewni zaczęto podejmować dopiero po II Konferencji ONZ pt. „Środowisko i rozwój” (Rio de Janeiro, 1992), uznanej za początek ery ekologicznej w polityce i gospodarce. Za główny kierunek działań, w skali zarówno lokalnej, jak i globalnej, przyjęto wówczas zrównoważony rozwój (ang. sustainable development). Jest on definiowany jako rozwój postępujący w sposób, który nie przyczynia się do destrukcji zasobów przyrody, przy jednoczesnym zaspokojeniu potrzeb bytowych obecnych oraz przyszłych pokoleń¹.

Założenia te znalazły swe rozwinięcie w dokumentach przyjętych podczas Szczytu w Rio. Jeden z rozdziałów „Programu Działań na XXI wiek” (ang. Agenda 21) został w całości poświęcony zarządzaniu zasobami wody słodkiej, z jednoczesnym wskazaniem na proces pustynnienia i susz występujących w wielu częściach świata². Dotyczy on przede wszystkim regionów o suchym klimacie i małych zasobach wodnych, ale także terenów zurbanizowanych. Uznanie wody za czynnik deficytowy miało na celu promowanie technologii wodoszczędnych oraz tworzenie regionalnych programów wodnych i sanitarnych [Kozłowski 2000]. Zgodnie z zasadą: „myśl globalnie, działaj lokalnie” państwa uczestniczące w Szczycie zostały zobowiązane do opracowania narodowych strategii zrównoważonego rozwoju.

Strategie i programy należą do narzędzi planistycznych o szerokim zastosowaniu w zakresie ochrony wód. Strategia rozwoju ma na celu ukazanie długofalowej orientacji (kierunku, tendencji rozwojowej), a także wyznaczenie kierunków rozwoju w perspektywie 10–15 lat. Program zaś to lista zadań (lub działań) z określonym harmonogramem oraz sposobem ich realizacji. Są one z reguły ukierunkowane na konkretny przedmiot (lub sferę) działania. Po Szczycie Ziemi w Rio w skali globalnej zarysowały się dwa podstawowe typy programów, związanych z gospodarowaniem zasobami wód opadowych.

¹ W języku polskim pojęcie sustainable development tłumaczone jest w różny sposób. W literaturze spotykamy się z takimi jego odpowiednikami, jak: rozwój trwały, stabilny, samopodtrzymujący się lub ekorozwój. Ten ostatni wynika niejako z mody na używanie przedrostka „eko-” dla wszystkich działań przyjaznych środowisku naturalnemu, choć niekoniecznie związanych z ekologią [Kundzewicz 2000]. Jest to jednak mylne tłumaczenie. W konwencji z Rio nie ma wyraźnych przesłanek do przyrodniczego rozumienia rozwoju zrównoważonego [Piontek 1998].

² Głównym założeniem stała się konieczność rozszerzenia dostępu do wody. Dostęp do wody można tu rozumieć nie tylko jako zaopatrzenie w wodę pitną, ale także jako możliwość korzystania z niej przez wszystkie organizmy żywe, w tym także rośliny.

Pierwszy z nich dotyczy krajów o suchym klimacie. Są to najczęściej programy gromadzenia i wykorzystania wody deszczowej, rozpowszechniane w krajach borykających się z problemami wodnymi, jak Tajlandia, Indonezja, Filipiny, Bangladesz czy Chiny.

Drugi typ programów ma na celu kompleksową ochronę i niejako renaturyzację zlewni ze wszystkimi jej elementami: ciekami, starorzeczami, siedliskami wodno-błotnymi oraz terenami zalewowymi. Dotyczą one także zurbanizowanych części zlewni, stosownie do lokalnych potrzeb i możliwości.

Przykładem takiego programu jest LID (Low Impact Development), promowany szeroko w Stanach Zjednoczonych. Jego celem nadrzędnym jest ochrona bądź odtwarzanie krajobrazu funkcjonalnego w sensie hydrologicznym. Strategiczne cele LID obejmują:

- redukcję zagrożeń dla środowiska przyrodniczego (tj. zanikanie wód powierzchniowych, obniżanie się poziomu wód gruntowych, powstawanie wezbrań powodziowych);
- utrzymanie stałej proporcji spływu do wsiąkania (tj. zbliżonej do warunków naturalnych);
- wprowadzenie zintegrowanych metod zarządzania zasobami wód opadowych;
- permanentną edukację ekologiczną.

W praktyce prowadzi to do koordynacji wielu różnorodnych działań (rys. 7). Aktywizacja społeczności lokalnej oraz powszechność inicjatyw podejmowanych przez właścicieli poszczególnych posesji i zarządców terenu są tu niemal równie ważne, jak kompleksowe działania władz na różnych szczeblach zarządzania. Tworzenie partnerstwa na rzecz zrównoważonego rozwoju jest zadaniem trudnym, ale istotnym. Jeśli bowiem mówimy o odnośzeniu globalnych skutków, to będą one w dużej mierze następstwem działań indywidualnych, wynikających ze świadomości ekologicznej mieszkańców. Działania te w większości polegają na:

- odprowadzaniu wody opadowej nie do systemu kanalizacji, lecz do zbiorników retencyjnych (w celu ich dalszego wykorzystania) albo na powierzchnie chłonne, w tym także o charakterze roślinnym (w celu podniesienia poziomu wód gruntowych, zwiększenia ewapotranspiracji oraz bioróżnorodności);
- likwidacji oraz zamianie powierzchni nieprzepuszczalnych na przepuszczalne dla wody, w czym mieści się na przykład stosowanie zielonych dachów;
- poprawianiu chłonnych właściwości gruntu (np. przez stosowanie filtrów glebowych);
- przywracaniu lub tworzeniu sieci drobnych cieków, zbiorników powierzchniowych oraz obszarów podmokłych (spowalnianie spływu do rzek, zwiększanie zasobów retencjonowanych);
- przywracaniu nabrzeżnych pasów zieleni oraz terenów zalewowych (zwiększanie ewapotranspiracji);
- stosowaniu nasadzeń odpornych na suszę³;
- wykorzystywaniu wód opadowych na cele bytowe lub gospodarcze (często w połączeniu z wodą szarą).

³ W Tucson w Arizonie zamiast trawników zaleca się sadzenie rodzimych gatunków sukulentów, które nie potrzebują dużych ilości wody. W innych stanach powstał program „gotówka za trawnik” (ang. cash-for-grass), zgodnie z którym mieszkańcy ograniczający powierzchnie trawnikowe otrzymują pewne ulgi fiskalne [Kundzewicz 2000].

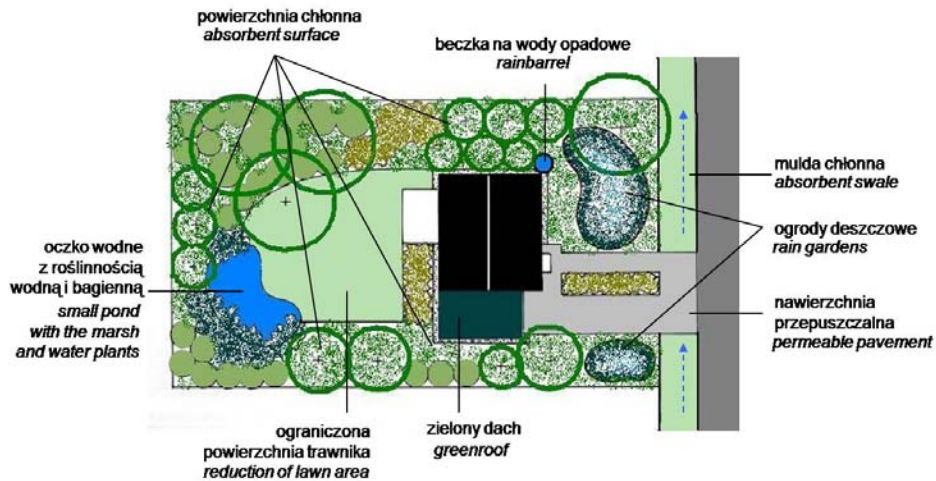


Rys. 7. Zasady planowania zgodnie z praktyką LID – schemat [opracowanie własne wg Wynkoop 1999]

Fig. 7. Principles of planning according to the LID practice [prepared by author on the base: Wynkoop 1999]

W przeciwieństwie do programów retencjonowania wód w suchych rejonach świata, realizacja programów w typie LID wywiera znaczny wpływ na krajobraz. Zapoczątkowały one również rozwój nowych rozwiązań w zakresie infrastruktury, określanych jako zrównoważone systemy drenażu (od ang. SUDS – sustainable urban drainage system). Są to w większości urządzenia naziemne, zazwyczaj skojarzone z odpowiednio dobraną pokrywą roślinną. Nie tylko poprawiają lokalne warunki hydrologiczne, zwiększają bioróżnorodność, ale też – odpowiednio utrzymane – podnoszą estetyczne walory otoczenia (rys. 8).

Współczesne problemy gospodarowania wodą dotyczą nie tylko rejonów suchych, jak zwykle się uważać, ale także miejsc silnie przekształconych przez człowieka. Zrównoważone zasady gospodarowania odnoszą się przede wszystkim do poprawy bilansu wodnego oraz zmniejszenia zużycia wody o najwyższej jakości. Alternatywą w tym przypadku mogą być wody opadowe. Działania o charakterze proekologicznym powinny zatem zmierzać do retencjonowania tych zasobów i dalszego ich wykorzystania w różnych dziedzinach życia. Nie chodzi jednak wyłącznie o zaspokajanie potrzeb bytowych (jak cele spożywcze, utrzymanie czystości, splukiwanie toalet) lub gospodarczych (jak pielęgnacja zieleni). Generalna zasada sprowadza się do zagospodarowania wody w miejscu opadu, bez odprowadzania jej do kanalizacji burzowej, a tą drogą do rzek, w których wzrasta w ten sposób zagrożenie powodziowe.



Rys. 8. Zagospodarowanie ogrodu przydomowego wg zasad LID – z uwzględnieniem gospodarowania wodą opadową [opracowanie własne na podst. Hinman 2005]

Fig. 8. Developing of the garden according to LID rules – using rainwater management [prepared by author on the base: Hinman 2005]

Odchodząc od tradycyjnych systemów odprowadzania wód deszczowych na rzecz tzw. zrównoważonego drenażu, zaczyna się odtwarzać lub tworzyć *quasi* naturalne sieci hydrograficzne, przywracając ich obecność w krajobrazie współczesnych miast. Działania te łączą się z wymianą powierzchni nieprzepuszczalnych na przepuszczalne, a także z wydłużeniem czasu oraz ograniczeniem wielkości odpływu. Nowe realizacje wiążą się w sposób oczywisty z nowatorskim sposobem kształtowania krajobrazu, zwłaszcza na obszarach zurbanizowanych.

6. Zasady działania zrównoważonych systemów drenażu (ZSD)

Próby przeciwdziałania zaburzeniom cyklu hydrologicznego dały początek nowym technikom gospodarowania wodą opadową. Część z nich zmierza wyłącznie do jej retencjonowania na potrzeby bytowe i nie powoduje zmian w krajobrazie, co wynika z charakteru zbiorników zazwyczaj ukrytych pod ziemią lub w obrębie budynków. Inne techniki, do których należą zrównoważone systemy drenażu, w twórczy sposób naśladują zasady panujące w naturze, czyli w cyklu hydrologicznym. Geiger i Dreiseitl [1999] udowadniają między innymi, że najbardziej wydajne jest funkcjonowanie systemów opartych na zamkniętym obiegu w małym obszarze – na kształt naturalnych zlewni. Działanie takich systemów polega według autorów na:

- zatrzymaniu na miejscu wszystkich odpływów, których stopień zanieczyszczenia nie wymaga odprowadzania do kanalizacji;
- wykorzystaniu tych odpływów;
- rozsączeniu nadmiernych odpływów w gruncie;
- unikaniu wymieszania względnie czystych wód deszczowych ze ściekami.

W ZSD spływy prowadzone są najczęściej otwartymi urządzeniami, a nie wprowadzane do podziemnej kanalizacji, jak w systemach tradycyjnych. Zmienił się także odbiór wód opadowych – są to przede wszystkim obniżenia bioretencyjne, tereny zieleni, pasáže roślinne i powierzchnie chłonne, z których infiltrująca w głąb gruntu woda zasila zasoby podziemne, a przez to w sposób pośredni (i bezpieczny) ciekły wodne. ZSD wykorzystują 4 podstawowe zasady, do których należą:

- zwiększanie udziału powierzchni przepuszczalnych i chłonnych – infiltracja;
- zwiększanie udziału wód otwartych – retencja;
- przyrodnicze wspomaganie systemów gospodarowania wodą opadową – transpiracja;
- zwiększanie udziału urządzeń towarzyszących – uzdatnianie.

Pierwszym podstawowym działaniem w zakresie proekologicznego gospodarowania zasobami wód opadowych jest stworzenie warunków bezpośredniego wsiąkania wody w miejscu opadu. Wody opadowe należy w jak największej ilości wprowadzać do gruntu lub na tereny chłonne, np. zieleni miejskiej.

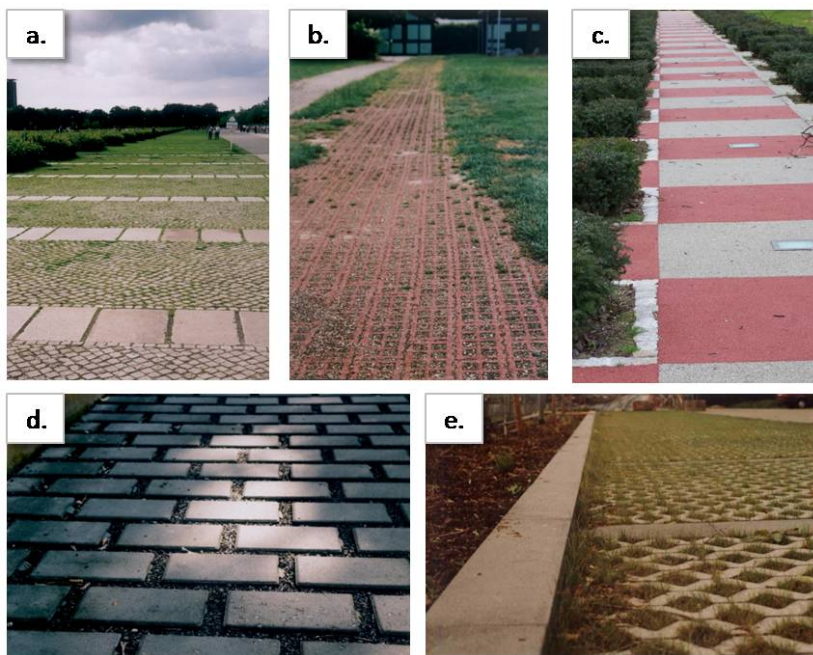
Jednym ze sposobów tworzenia miejsc bezpośredniej infiltracji jest stosowanie nawierzchni całkowicie lub półprzepuszczalnych, pokrywających chodniki, parkingi i place. Do nawierzchni całkowicie przepuszczalnych należą:

- nawierzchnie żwirowe;
- nawierzchnie grysowe.

Nawierzchnie półprzepuszczalne to:

- kraty metalowe – układane na gruncie i obsiewane trawą;
- ażurowe płyty betonowe, przez które może przebijać trawa;
- kostka betonowa o ściętych narożach;
- nawierzchnia terraway – materiał mineralny o porowatej strukturze (żwir lub grys) związany niewielką ilością żywicy epoksydowej¹.

Pokrycia półprzepuszczalne dla wody mogą tworzyć różne, ażurowe materiały budowlane lub kombinacje materiałów przepuszczających ze szczelnymi (fot. 5). Do nawierzchni przepuszczalnych należy również pokrycie trawnikiem – jest to jednocześnie sposób na zwiększenie udziału biologicznie czynnych powierzchni.



Fot. 5. Różne rodzaje nawierzchni przepuszczalnej: a – luźno ułożona kostka przerastająca trawą, b – cegła dziurawka ułożona na sztorc, c – terraway, d – luźno ułożona cegła, e – ażurowe płyty betonowe (fot. E. Kozłowska)

Phot 5. Types of permeable pavements: a – brick overgrowing with grass, b – airbrick arranged vertically, c – terraway, d – loosely arranged brick, e – openwork concrete flagstones

Innym sposobem zagospodarowania terenu z uwzględnieniem infiltracji wód opadowych są wszelkiego typu powierzchnie chłonne, czyli takie, które umożliwiają wsiąkanie, a następnie wykorzystanie zgromadzonych wód poprzez rośliny (fot. 6). Do powierzchni chłonnych należą: parki, zieleńce, ogródki działkowe, a także zielone dachy, coraz częściej spotykane w krajobrazie miejskim. Woda gromadzona na dachach nie ma

¹ www.erbis.pl

wprawdzie możliwości infiltracji w grunt, ale jest wykorzystywana przez rośliny i w procesie transpiracji oddana do atmosfery. Nie tylko nie staje się ściekiem, lecz uczestniczy w przyrodniczej kompensacji ubytków przestrzeni biologicznie czynnych, zajętych pod zabudowę.



Fot. 6. Zwiększenie udziału powierzchni chłonnej dla wód opadowych w zwartej zabudowie, Oslo (fot. A. Drapella-Hermansdorfer)

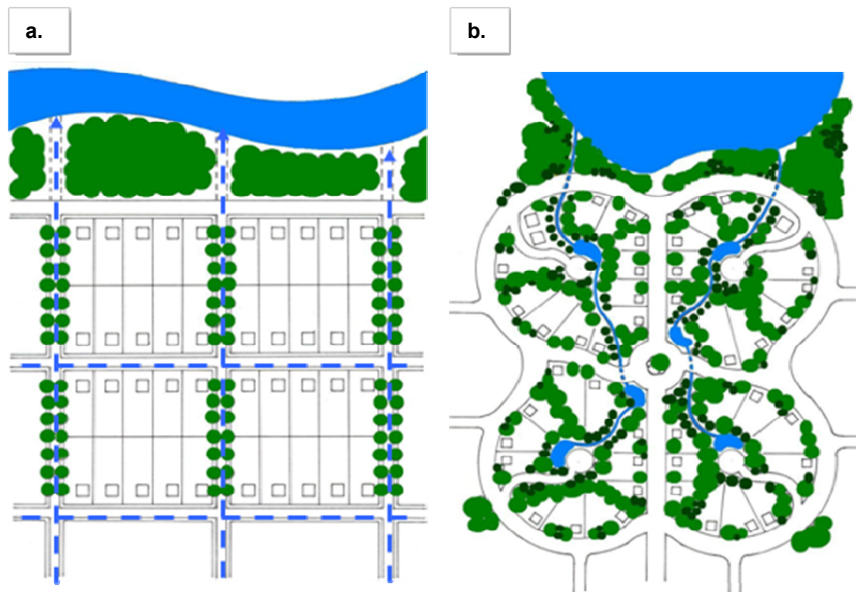
Phot. 6. Increase of the participation of the absorbent surface for stormwater in high-housing, Oslo

Do powierzchni chłonnych zalicza się również powierzchnie bioretencyjne, które w znaczący sposób magazynują i wykorzystują nadmiar wody spływającej z powierzchni nieprzepuszczalnych. Infiltracja w głąb gruntu ogranicza spływy powierzchniowe, zasilając jednocześnie wody gruntowe. W konsekwencji następuje polepszenie warunków glebowych, na czym korzystają przede wszystkim rośliny.

Kolejnym działaniem w zakresie ZSD jest zatrzymywanie wody w zbiornikach powierzchniowych, a następnie umożliwienie powolnego jej wsiąkania w głąb gruntu przy jednocześnie wysokim wskaźniku parowania do atmosfery. Zwiększenie udziału wód otwartych w krajobrazie oddziałuje korzystnie na cały ekosystem miejski.

Wody opadowe z dachów i nawierzchni nieprzepuszczalnych ujmowane są w ozdobne suche potoki lub rynny, następnie prowadzone do sieci niewielkich zbiorników retencyjnych. W tym układzie stają się elementem zagospodarowania parków, zielców i placów, ale także terenów mieszkaniowych. Mogą mieć różną formę i wielkość, zazwyczaj jednak wymagają sporej powierzchni, dlatego często wykonuje się je w warunkach luźnej zabudowy (rys. 9).

Systemy kanałów i zbiorników, interesująco wkomponowane w krajobraz, stają się elementem dynamicznym towarzyszącym architekturze. Są również siedliskiem fauny i flory, wzbogacając ekosystem miejski. Najważniejsze jest jednak to, że woda retencjonowana w półnaturalnych zbiornikach zasila źródła podziemne, a parowanie z ich powierzchni zwiększa wilgotność powietrza (fot. 7).



Rys. 9. Kształtowanie krajobrazu osiedla, wynikające ze sposobu odprowadzania wód opadowych: a – tradycyjne ze sływem podziemnym; b – zrównoważone ze sływem powierzchniowym [opracowanie własne wg Hinman 2005]
 Fig. 9. Landscaping of housing-estate depending on a carrying rainwater method: a – traditional underground flow, b – sustainable open surface flow [prepared by author on the base: Hinman 2005]



Fot. 7. Zastosowanie stawów retencyjnych w różnych typach terenu: a – Park Brandenburg, Berlin; b – teren przemysłowy, Kunersdorf (fot. E. Kozłowska)
 Phot. 7. The use of retention ponds in different types of space: a – Brandenburg Park, b – industrial area, Kunersdorf

Wszystkie komponenty środowiska miejskiego pozostają we wzajemnej zależności, znajdując się jednocześnie pod wpływem czynników zewnętrznych. W tak pojmowanym ekosystemie miejskim istotne znaczenie ma zachowanie względnej równowagi przyrodniczej [Ostrowski 2001].

Z tego względu w projektowaniu ZSD przywiązuje się dużą wagę do udziału innych składników środowiska, między innymi roślin². Przystosowując się do zmiennych warunków wilgotnościowych, wspomagają one działanie ZSD. Są to w większości gatunki znoszące stałe lub okresowe zalewanie, które sprawnie przechwytyują nadmiar wody, wykorzystują ją we własnych procesach życiowych, a następnie oddają do atmosfery w procesie transpiracji. Chodzi tu przede wszystkim o zachowanie ciągłości obiegu wody w ekosystemie miejskim, do czego przyczyniają się gatunki chłonne i silnie transpirujące.

Niebagatelne znaczenie ma tu roślinność o właściwościach oczyszczających. Wody opadowe z dachów oraz chodników i placów nie wymagają oczyszczania za pomocą urządzeń technicznych, a jednak niosą ze sobą pewien ładunek zanieczyszczeń, pochodzących w dużej mierze z powietrza. Naturalnym filtrem dla nich może być gleba, jednak wspomaganie procesu oczyszczania poprzez roślinność jest jak najbardziej wskazane, ponieważ podnosi jakość wody, zanim zostanie ona wprowadzona do dalszego obiegu lub wtórnie wykorzystana przez człowieka.

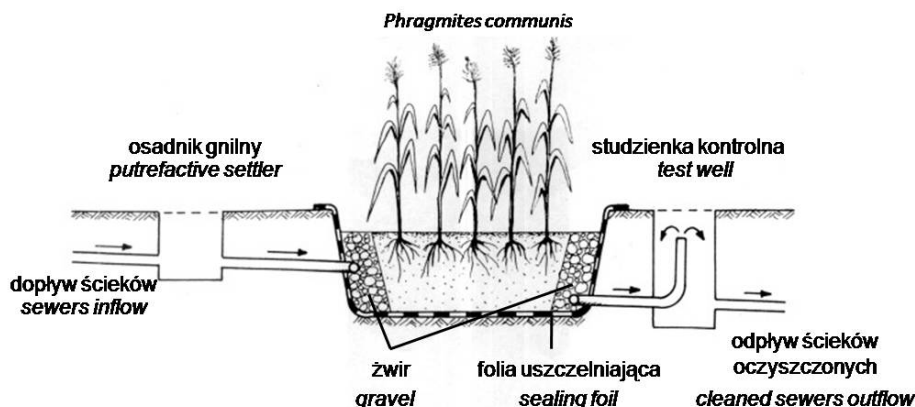
Oczyszczanie biologiczne to specyficzna właściwość ekosystemów bagiennych³. W drodze procesów fizycznych, chemicznych i biologicznych zachodzi w nich rozkład substancji zanieczyszczających na związki proste, z łatwością przyswajane przez rośliny (ok. 10–15%) i drobnoustroje (to właśnie one są odpowiedzialne za proces oczyszczania). Niektóre gatunki mają też zdolność pobierania metali ciężkich z podłoża i wbudowywania ich w swoje tkanki⁴. Oczyszczalnie biologiczne z wykorzystaniem na przykład trzciny pospolitej (*Phragmites communis*) są więc coraz powszechniej stosowane zarówno przez użytkowników zinstytucjonalizowanych⁵, jak i prywatnych. Poletka trzcinowe pełnią tu jednocześnie funkcję odbiornika ścieków i powierzchni retencyjnej dla wód opadowych (rys. 10). W obszarach zwartej zabudowy, gdzie otwarte poletka lub stawy ozdobne nie mają racji bytu, zaczyna się je wprowadzać do obiektów przeszklonych, tzw. living machines. Ich zaletą jest możliwość niemal dowolnej lokalizacji w obrębie budynków.

² Środowisko zurbanizowane – czy też ekosystem miejski – ma swoisty charakter. Jednostką dominującą jest człowiek, który w sposób bezpośredni lub pośredni przyczynia się do zmian zachodzących w tym środowisku. Przyroda w mieście również kształtowana jest ręką człowieka i ma znaczenie przede wszystkim dla jakości życia oraz wyglądu i klimatu terenów zabudowanych [Ostrowski 2001].

³ Oczyszczające i uzdrawiające właściwości ekosystemów bagiennych obserwowano już w starożytnych Chinach i Egipcie. Wykorzystywano je do utylizacji nieczystości. W Europie Zachodniej pierwsze doświadczenia z wykorzystaniem ekosystemów bagiennych w inżynierii sanitarnej sięgają ok. 100 lat (www.otzo.most.org.pl/publikacje/hydro/helman.htm).

⁴ Metoda tego typu oczyszczania nosi w Polsce nazwę hydrofitowej lub hydrobotanicznej [www.otzo.most.org.pl/publikacje/hydro/helman.htm; Ryszkowski, Bałazy 1995].

⁵ Jako drugi stopień oczyszczania ścieków [<http://proekologia.pl/content.php?article.436.2>].



Rys. 10. Schemat budowy typowej oczyszczalni roślinnej
 Fig. 10. Scheme of biological sewage treatment plant construction

W architekturze krajobrazu miejskich terenów retencyjnych uwzględnia się też inne typy roślin ekosystemu bagiennego: pływające, kwitnące lub o interesującym pokroju. Bierze się pod uwagę ich kolor, zapach itp., a przede wszystkim odpowiednie warunki klimatyczne, zależne od szerokości geograficznej.

Podobna zasada kieruje doбором gatunkowym roślin w przypadku terenów silnie zantropogenizowanych, gdzie trudno jest odtworzyć naturalne zasoby wodne. Wykorzystywane są wtedy gatunki, które wytworzyły odrębną gospodarkę wodną i potrafią ograniczać straty wody w warunkach niesprzyjających. Kształtowanie krajobrazu pod kątem jego potrzeb wodnych określa się mianem xeriscapingu i praktykuje głównie w Stanach Zjednoczonych. Xeriscaping jest wykorzystywany także w zarządzaniu wodami opadowymi, ponieważ ucieka się do tych samych zasad, których celem jest ochrona zasobów wodnych⁶.

Jak wspomniano wcześniej, generalnym celem ZSD jest przywracanie równowagi przyrodniczej na danym terenie poprzez powrót do pierwotnych proporcji rozdziału wód. Wspomaganie roślinne stosuje się więc, uwzględniając specyfikę danego miejsca, jako poprzez odpowiednio dobrane obsadzenia zbiorników stałych i powierzchni okresowo zalewanych, pasy zieleni towarzyszącej ciekom wodnym, wielopiętrowe zadrzewienia, dobrze zasilane wodami opadowymi, a także zbiorowiska roślin, które potrafią ograniczać straty wody w warunkach niesprzyjających. Powierzchnie biologicznie czynne są zatem istotnym elementem przywracania naturalnych (czyli zdrowych i przyjaznych dla człowieka) warunków klimatycznych (fot. 8).

W projektowaniu ZSD wykorzystuje się różnego typu elementy inżynierskie o funkcji odprowadzającej, drenującej, gromadzącej i retencjonującej czy oczyszczającej. Wiele z nich łączy funkcje użytkowe z pięknem formy, wpisując się korzystnie w krajobraz miasta i jego architekturę (fot. 9). Czasami są to proste rozwiązania, innym razem wymyślne konstrukcje wykorzystujące właściwości przepływającej przez nie

⁶ Szerzej o xeriscapingu w Słowniku pojęć proekologicznego gospodarowania wodą opadową (załącznik).

wody. Przykładem mogą być suche potoki (fot. 10) lub rynsztoki o wijących się formach, ale też ciekawe wloty studzienek, fontanny czy ściany wodne. Wszystkie te urządzenia służą wykorzystaniu spływu wód opadowych, które nie mogą infiltrować bezpośrednio do gruntu w miejscu opadu.



Fot. 8. Powierzchnie biologicznie czynne w nowoczesnej zabudowie, Berlin: a – zielen niska; b – zielen średnia (fot. E. Kozłowska)

Phot. 8. Bioretention area at modern building development, Berlin: a – low green, b – medium green



Fot. 9. Urządzenia towarzyszące: a – rzeźba wodna, Lukau (fot. M. Zienowicz); b – kanał wodny dla spływów burzowych, Chiny (fot. A. Drapella-Hermansdorfer); c – zabawy wodne, Hamburg (fot. E. Kozłowska)

Phot. 9. Accompanying water techniques: a – water sculpture, Lukau, b – water channel for stormwater, China, c – „water games”, Hamburg

Współczesne metody zmierzające do poprawy stosunków wodnych na terenach zurbanizowanych wykorzystują zrównoważone systemy drenażu (ZSD). Ich następstwem jest powstanie nowego nurtu kształtowania krajobrazu zgodnie z zasadami hydrologicznymi, przy użyciu specjalnych para-naturalnych urządzeń i technik gospodarowania wodą opadową.



Fot. 10. Kamienny strumień wkomponowany w schody terenowe, tereny wystawowe – Rostock (fot. A. Drapella-Hermansdorfer)

Phot. 10. Dry stone stream in composition with stairs, showgrounds in Rostock

Systemy te naśladują zależności zachodzące w naturalnej zlewni, przywracając zachwiane proporcje między procesami retencji, infiltracji, transpiracji i oczyszczania za pomocą roślin. Ich budowa wykorzystuje spadki terenu oraz pozytywne działanie biologicznie czynnych powierzchni (funkcja chłonna, transpirująca i nawilżająca powietrze). Ich obecność w krajobrazie miasta jest zauważalna i akceptowana zarówno ze względów estetycznych (zwiększanie udziału wód otwartych oraz zieleni), zdrowotnych (poprawa warunków klimatycznych), jak i przyrodniczych.

7. Elementy składowe zrównoważonych systemów drenażu (ZSD)

Rozdział ten przedstawia urządzenia zrównoważonych systemów drenażu, wskazując na ich funkcję, a zwłaszcza istotne miejsce w kształtowaniu krajobrazu miejskiego. Analiza wykazuje, że przedstawione elementy składowe ZSD mają znaczenie dla poprawy bilansu wodnego, są proste w wykonaniu, a jednocześnie dają znakomite efekty krajobrazowe. Urządzenia zostały podzielone na:

- odprowadzające i drenujące,
- chłonne,
- gromadzące i retencjonujące,
- oczyszczające.

Większość wyszczególnionych urządzeń ma charakter otwarty, często z wykorzystaniem roślinności o roli podstawowej lub uzupełniającej.

7.1. Urządzenia odprowadzające i drenujące

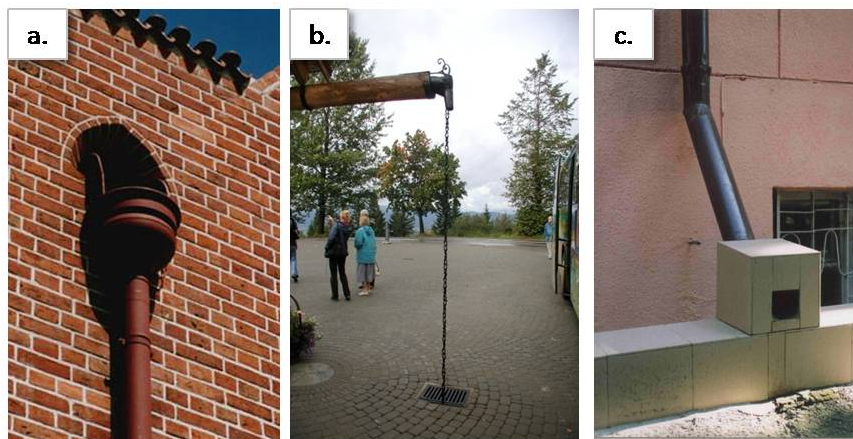
Odprowadzanie czy też rozprowadzanie wód opadowych na miejsce wsiąkania może się odbywać pod ziemią lub na powierzchni. Podziemne urządzenia odprowadzające stosuje się zwykle tam, gdzie jest zbyt mało powierzchni dla urządzeń płaszczyznowych¹ lub też rodzaj gruntu nie pozwala na szybką infiltrację wody. Odprowadzanie może następować do odbiornika wód opadowych lub samo w sobie stanowić sposób na drenowanie wód w głąb gruntu.

W nowoczesnych systemach, takich jak ZSD, coraz częściej stosuje się otwarty sposób rozprowadzania wód opadowych, poprzez modelowanie terenu, po którym spływa woda. Równomierne rozprowadzanie nie powoduje erozji i jednocześnie niepożądanego gromadzenia się wody.

Rura spustowa – zamknięty element liniowy prowadzenia wody z dachu. Woda opadowa z rur spustowych płynie do urządzeń gromadzących lub jest rozprowadzana po terenie za pomocą drenażu. Jeżeli ma być gromadzona i wykorzystana, w dolnej części rury spustowej należy umieścić filtr oddzielający grube zanieczyszczenia. W sensie funkcjonalnym rury spustowe stanowią element pośredni pomiędzy spływem z dachu a rozprowadzaniem po terenie.

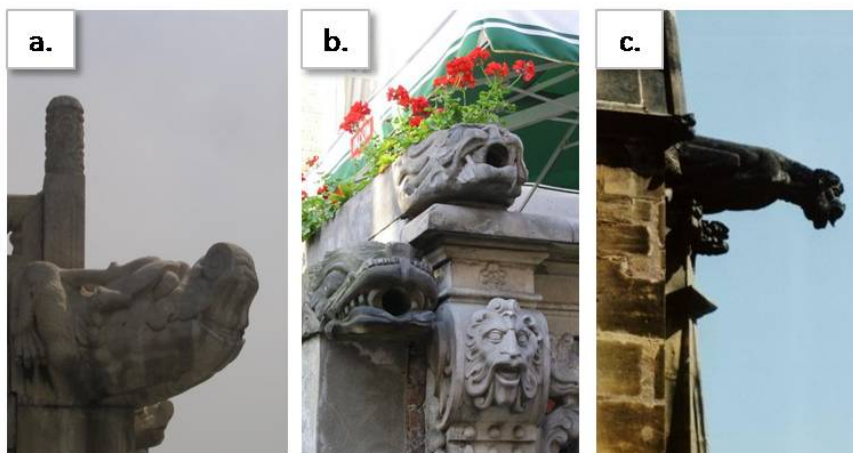
¹ Urządzenia płaszczyznowe posiadają dużą płaszczyznę spływu w porównaniu z urządzeniami liniowymi, w których woda porusza się wąskim strumieniem.

Efekt krajobrazowy – rury spustowe to także element elewacji. Ciekawie rozwiązany i odpowiednio wkomponowany w architekturę jest niewątpliwie ozdobą budynku. W ZSD rury spustowe stanowią integralny element systemu, zwłaszcza na terenach osiedlowych, gdzie odwadniają wiele budynków. Niekiedy rozwiązane są w sposób niekonwencjonalny, np. jako łańcuchy odprowadzające, na których możemy obserwować ruch wody (fot. 11).



Fot. 11 a, b, c. Przykłady urządzeń do odpływu deszczówki z budynku (fot. E. Kozłowska – a, c; M. Czechowicz – b)

Phot. 11. Examples of rainwater outflow techniques



Fot. 12. Zabytkowe formy rzygaczy: a – Chiny (fot. A. Drapella-Hermansdorfer), b – Polska (fot. M. Zienowicz), c – Czechy (fot. E. Kozłowska)

Phot. 12. Antique forms of gargoyles: a – China, b – Poland, c – Czech Republic

Rzygacz (gargulec, plwacz) – stosowane niegdyś ozdobne zakończenie rynny, o fantazyjnych formach zwierząt lub maskaronów, z których woda tryskała daleko poza lico muru [Pavsnier i in. 1992]. Obecnie można spotkać dawne formy rzygaczy na starych kościołach i zabytkowych budynkach, a niekiedy formy współczesne, które dodają uroku rynnom i rurom spustowym (fot. 12).

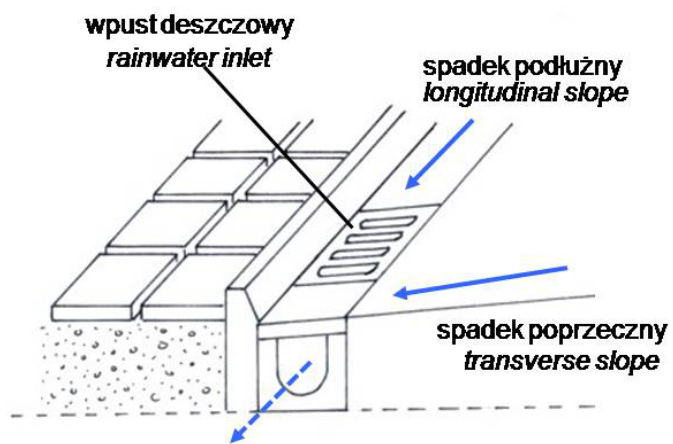
Efekt krajobrazowy – funkcja rzygaczy jest raczej typowo estetyczna i nie ma wpływu na odzyskiwanie wody opadowej. Mimo to są wykorzystywane w zrównoważonych systemach drenażu właśnie dla efektu wizualnego. Zazwyczaj powiązane z architekturą odwadniają dachy lub balkony. Coraz częściej pojawiają się też w urządzeniach zabaw wodnych i fontann, nadając im indywidualny charakter.



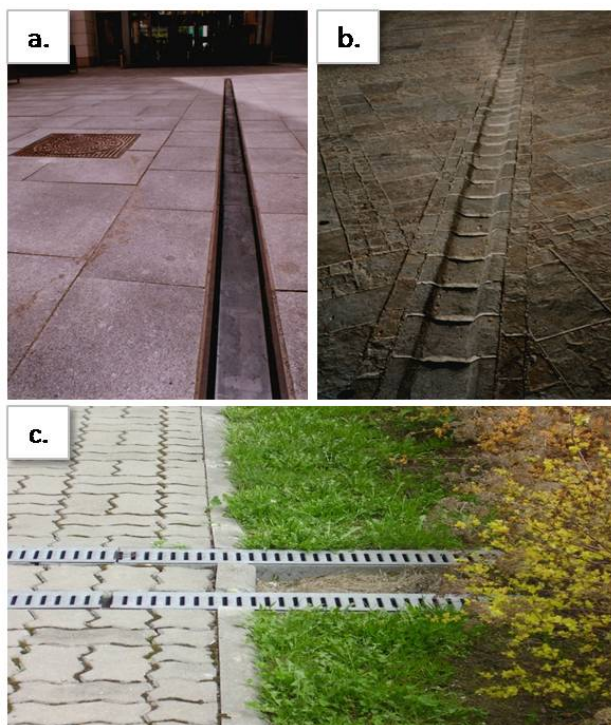
Fot. 13. Typowy rynsztok wykonany z bruku, Lwów (fot. E. Kozłowska)
Phot. 13. Typical gutter constructed from stones, Lviv

Rynsztok – tradycyjny element liniowy ulicy, był jej integralną częścią i służył pierwotnie do zbierania wód opadowych, a później także do odprowadzania nieczystości spływających z terenów miasta. Początkowo rynsztoki prowadziły spływy bezpośrednio do rzek, przyczyniając się do ich zanieczyszczenia (fot. 13). Po wprowadzeniu kanalizacji rozdzielczej (oddzielenie spływów burzowych od ścieków) zamieniono je na podobne w formie i bardziej nowoczesne rynny drogowe i muldy, które dzisiaj wykorzystywane są w systemach ZSD.

Efekt krajobrazowy – rynsztoki budowano z tych samych materiałów co ulice, czyli najczęściej z kamieni brukowych, ale o wydłużonych kształtach. Dlatego rynsztoki po obu stronach jezdni były niejako ozdobnym zakończeniem, krawędzią, służącą jednocześnie do zbierania wody.



Rys. 11. Schemat budowy rynny drogowej zwykłej [opracowanie własne na podst. Edel 2002]
 Fig. 11. Scheme of a road gutter construction [prepared by author on the base: Edel 2002]

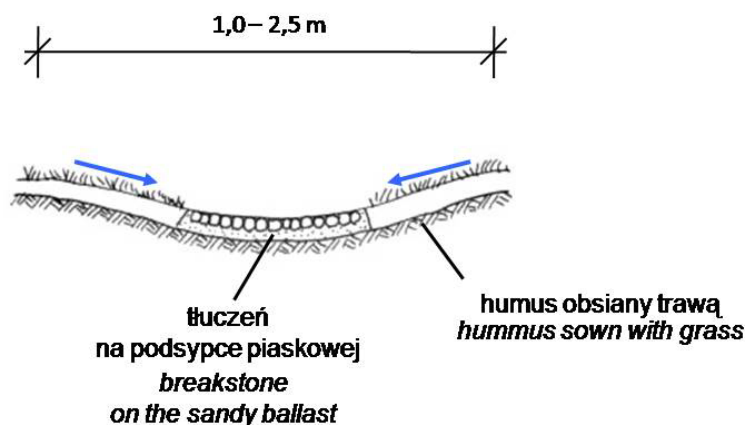


Fot. 14. Różne rodzaje rynien drogowych: a – szczelinowa, b – kamienna, c – skrzynkowa
 (fot. E. Kozłowska – a, c; . E. Burszta-Adamiak – b)
 Phot. 14. Types of road gutters: a – crevice gutter, b – stone gutter, c – box gutter

Rynna drogowa – element liniowy ulicy (rys. 11). W zależności od sposobu prowadzenia wody wyróżnia się rynny drogowe otwarte lub zamknięte [Edel 2002]. Wody płynące rynnami trafiają najczęściej do kanalizacji burzowej lub w miejsce oczyszczania (w przypadku urządzeń zbierających spływy z dróg jezdnych). Jedynie wody z dachów mogą być odprowadzane na powierzchnie wsiąkania.

Efekt krajobrazowy – w systemach ZSD rynny drogowe stosowane są powszechnie, także do odwadniania placów, będąc często elementem nawierzchni. Zarówno sama rynna, jak i związany z nią wpust deszczowy są rozwiązane w sposób ozdobny. Otwarte kanały rynnowe – składowa krajobrazu – stają się elementem dynamicznym nawierzchni podczas spływu wody (fot. 14).

Mulda przydrożna – element liniowy odprowadzania wody opadowej, stosowany wzdłuż jezdni (umocnionej lub nieumocnionej). Muldy stanowią płynne przejście pomiędzy pasem drogi a pasem pobocza, dlatego ze względów bezpieczeństwa należy je stosować częściej niż rynny drogowe (rys. 12). Funkcją muldy może być odprowadzanie lub jednocześnie odprowadzanie i infiltrowanie². Ze względu na pokrycie wyróżniamy muldy: trawiaste, brukowane, z gładkim umocnieniem dna, z porowatym umocnieniem dna [Edel 2002].



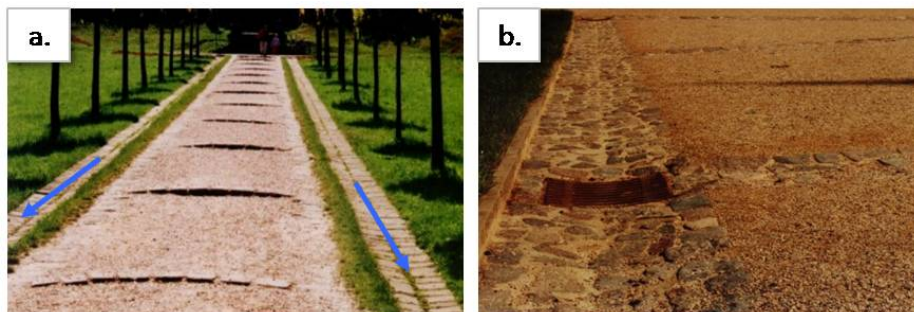
Rys. 12. Schemat budowy muldy z porowatym umocnieniem dna
Fig. 12. Scheme of swale construction with porous strengthened bottom

Efekt krajobrazowy – w systemach ZSD muldy stosowane są częściej niż rynny drogowe, zwłaszcza muldy trawiaste. Są rozwiązaniem nie tylko technicznym, ale przede wszystkim bardziej naturalnym elementem krajobrazowym (rys. 15).

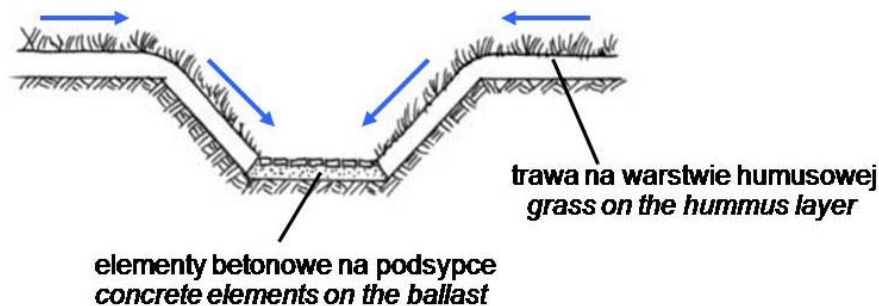
Rów przydrożny – element liniowy, funkcjonujący na takiej samej zasadzie co mulda, z tą różnicą, że jego przepustowość hydrauliczna jest większa. Zalecenia do stosowania rowów przydrożnych dotyczą w głównej mierze tras komunikacyjnych o dużym natężeniu ruchu (autostrady, drogi ekspresowe). Tak jak muldy – rowy mogą

² Muldy o pokryciu przepuszczalnym powinny być stosowane jedynie przy ciągach komunikacyjnych o małym natężeniu ruchu kołowego, gdyż spływ z ruchliwych ulic może być mocno zanieczyszczony.

być pokryte materiałem przepuszczalnym lub nieprzepuszczalnym. Dzielimy je także ze względu na kształt przekroju: trójkątny, trapezowy, opływowy (rys. 13) [Edel 2002]. W systemach ZSD najczęściej stosowane są rowy o pokryciu naturalnym (darń), często z zastosowaniem dodatkowej warstwy drenującej na jego dnie. Są to tzw. rowy infiltracyjne, stosowane do drenowania warstw podłoża gruntowego.



Fot. 15. Muldy odprowadzające wodę w ciągu komunikacyjnym: a – po obu stronach drogi; b – w połączeniu z nawierzchnią żwirową (fot. E. Kozłowska)
 Phot. 15. Swales carrying water on the street: a – on both sides of the road, b – in combination with gravel surface



Rys. 13. Schemat budowy rowu przydrożnego o przekroju trapezowym z umocnionym dnem
 Fig. 13. Scheme of roadside ditch construction with trapezium diameter and strengthened bottom

Efekt krajobrazowy – rowy przydrożne, będąc elementem liniowym, wyznaczają w krajobrazie linię graniczną, oddzielając tereny o różnym przeznaczeniu. Dodatkowo obsadzone roślinnością (te o naturalnym pokryciu) mogą pełnić jednocześnie funkcję zielonego łącznika odległych terenów zieleni, stając się estetycznym elementem krajobrazu (fot. 16).



Fot. 16. Rów przydrożny pomiędzy drogą a zabudową (fot. E. Kozłowska)
Phot. 16. Roadside ditch between the road and the building development

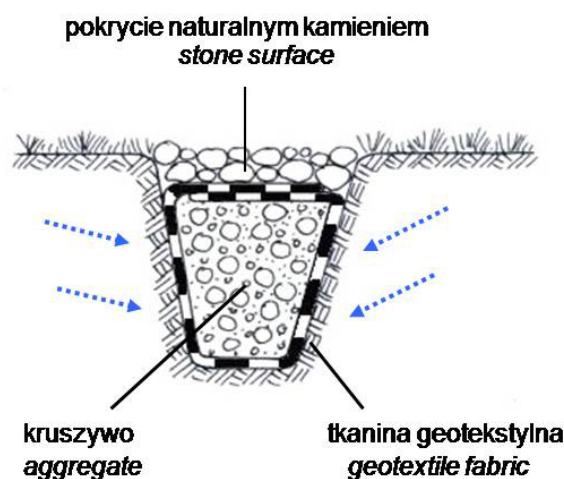


Fot. 17. Suchy potok odprowadzający wodę do miejsca retencji, Krauschwitz (fot. E. Kozłowska)
Phot. 17. Dry stone stream carrying water to the place of retention, Krauschwitz

Suchy potok – charakterystyczny dla ZSD wijący się rów o małej głębokości i niewielkim spadku, wypełniony materiałem kamiennym. Jest to element liniowy odprowadzania nadmiaru wody z przelewów stawów, rynien, fontann. Niekiedy stosuje się go w układzie kaskadowym, aby nadać szybszy i bardziej interesujący bieg spływowi. W trakcie opadów suchy potok zamienia się w strumień płynącej wody, stając się ciekawym elementem przestrzeni. Porowate, przepuszczalne dno umożliwia infiltrację wody opadowej do gruntu, bez niebezpieczeństwa zastoisk czy niepożądanego erozji dennej rowu. Prosta konstrukcja rowu powoduje, że jest to jedno z podstawowych urządzeń odprowadzających stosowanych w zrównoważonych systemach drenażu.

Efekt krajobrazowy – podczas gdy rowy obsadzone darnią w okresach bezdeszczowych mogą być przesuszone, pożółkłe i nieestetyczne, potok wyłożony kamieniami daje lepszy efekt wizualny, będąc jednocześnie naturalnym elementem krajobrazu (fot. 17). Suche potoki naśladują kształtem i budową naturalne potoki górskie. Użycie kamienia – naturalnego materiału wykorzystywanego w architekturze budynków – powoduje, że suche potoki dobrze komponują się na terenach zurbanizowanych, będąc postrzegane jako nowatorskie rozwiązanie³.

Drenaż francuski – służy do szybkiego odprowadzania wody w głąb gruntu (rozszczania). Najprostszym typem drenażu jest rów o niewielkim spadku, wypełniony materiałem skalnym. Drenaż dodatkowo owinięty geowłókniną powoduje zwiększenie właściwości hydraulicznych urządzenia. Wody opadowe doprowadza się do drenażu systemem powierzchniowym lub podziemnym (rys. 14) [Edel 2002].



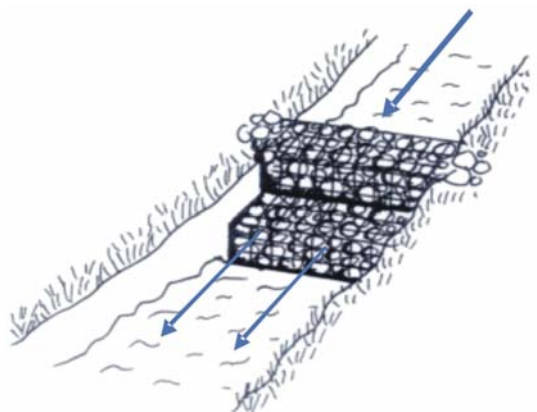
Rys. 14. Schemat budowy drenażu francuskiego [opracowanie własne na podst. Edel 2002]
Fig. 14. Scheme of French drainage construction [prepared by author on the base: Edel 2002]

³ Jest to pomysł zaczerpnięty z ogrodów japońskich, w których popularny jest motyw kamiennych rzek czy potoków wijących się wśród zieleni.

Efekt krajobrazowy – w systemach ZSD bardzo często stosuje się ten typ drenowania jako urządzenie krajobrazowe otwarte, ponieważ jest to jednocześnie estetyczny element krajobrazu (fot. 18). Materiał skalny powoduje, że drenaż wygląda jak mały strumień wodny, nie jest też zarastany przez chwasty.



Fot. 18. Wykonanie drenażu francuskiego (fot. E. Kozłowska)
Phot. 18. Realization of French drainage



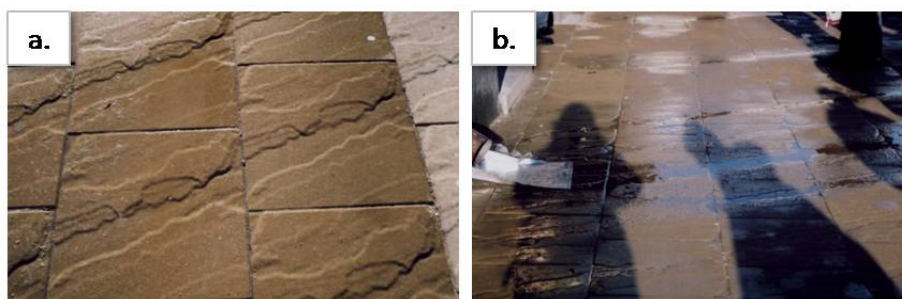
Rys. 15. Schemat budowy gabionu w korycie strumienia
Fig. 15. Scheme of gabion construction in the channel of stream

Gabion (kosz sząncowy) – kosz druciany, złożony z dwóch do sześciu komór wypełnionych materiałem skalnym. Jest to urządzenie przepuszczalne dla wody, a w zależności od formy (podłużna, szeroka itp.) spełniające także rolę wału, muru oporowego, tamy lub struktury porowatej. W systemach ZSD gabiony stosowane są zazwyczaj w ciekach wodnych, także tych odprowadzających spływy opadowe. Gabion nie

powoduje zatrzymanie, a jedynie spowolnienie spływu, przy jednoczesnej ochronie koryta przed erozją, dzięki porowatemu materiałowi (rys. 15). Kosze szańcowe wykonuje się w poprzek strumienia na kształt niewielkich tam, ograniczających spływ [Philips 2003].

Efekt krajobrazowy – zbudowany z naturalnych materiałów gabion łatwo wpisuje się zarówno w naturalny, jak i stworzony przez człowieka krajobraz. Nie stwarza on bariery nie do przebycia dla ewentualnej fauny, a jednocześnie wyznacza podział linii koryta, co jest dodatkowym urozmaiceniem.

Nawierzchnia odprowadzająca – element odprowadzający. Specyficzny układ i struktura nawierzchni pomagają w sprawnym odprowadzaniu wody opadowej. Ten sposób odprowadzania nazwany płaszczyznowym wskazany jest do zastosowania zwłaszcza na terenach komunikacyjnych – przeciwdziała tworzeniu się kałuż (fot. 19).



Fot. 19. Nawierzchnia o strukturze pozwalającej na tworzenie strug wody i odprowadzanie ich do rynny drogowej, Lublin: a – widok struktury; b – funkcjonowanie (fot. E. Kozłowska)
Phot. 19. Structure of the pavement causing stream formation and carrying it to the road gutter

Efekt krajobrazowy – nawierzchnia tworzy oryginalną mozaikę w krajobrazie miejskim (możliwość stosowania różnych wzorów i kolorów). Podczas spływu wody uwydatniają się jej walory, a zwłaszcza kolor i struktura⁴.

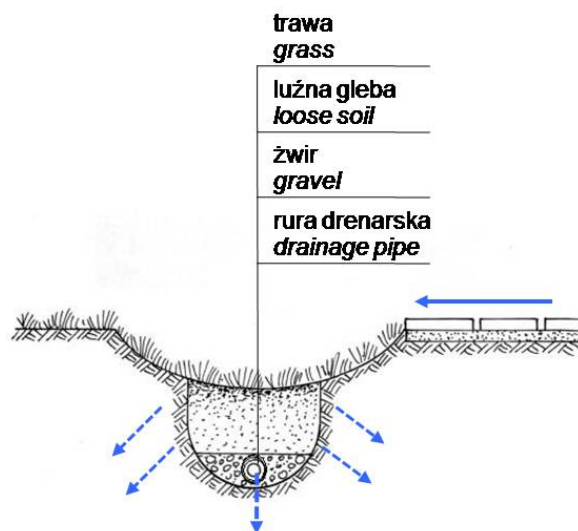
7.2. Urządzenia chłonne

Urządzenia chłonne służą do przechwytywania wód opadowych, a następnie szybkiego wprowadzenia ich na dalsze etapy cyklu hydrologicznego. Stosuje się je tylko w przypadkach, gdy właściwości fizyczne, chemiczne i biologiczne wody pozwalają na bezpośrednie jej wsiąkanie do gruntu [Edel 2002]. Funkcję chłonną mogą mieć zamknięte urządzenia inżynierskie, infiltrujące wodę do gruntu, ale też otwarte urządzenia krajobrazowe, w których woda przechwytywana jest przez rośliny. W obydwu typach urządzeń używa się elementów drenarskich, wspomagających proces infiltracji wód.

⁴ Działanie nawierzchni jako żyjącej pod wpływem wody mozaiki występowało już w starożytności, o czym była mowa w rozdz. 4.

W zrównoważonych systemach drenażu stosuje się przede wszystkim otwarte urządzenia krajobrazowe, które spełniają funkcję chłonną dzięki zastosowaniu roślin. Urządzenia te są nie tylko estetycznym elementem zagospodarowania przestrzeni, mają również istotny wpływ na poprawę klimatu miejsca. Dzięki zastosowaniu roślinności część wody ulatania się do atmosfery w procesie transpiracji, zwiększając wilgotność powietrza.

Mulda (niecka) chłonna – element liniowy infiltracji wód opadowych, stosowany zazwyczaj na terenach komunikacyjnych. Mulda jest porośnięta trawą i posiada łagodnie wyprofilowany spadek do środka. Wewnątrz dna muldy ułożony jest drenaż, powodujący szybkie odprowadzanie wody w głąb gruntu (rys. 16) [Philips 2003]⁵.



Rys. 16. Schemat budowy muldy chłonnej [opracowanie własne na podst. Edel 2002]

Fig. 16. Scheme of the absorbent swale construction [prepared by author on the base: Edel 2002]

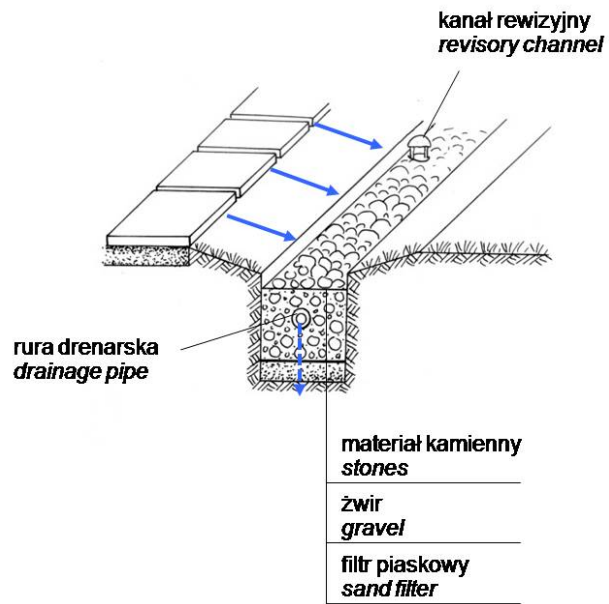
Efekt krajobrazowy – jest to jedno z najczęściej stosowanych urządzeń krajobrazowych ZSD ze względu na proste wykonanie, a jednocześnie wydajną pracę i szybki efekt krajobrazowy. Muldy nie wymagają dużo miejsca, a zdecydowanie poprawiają wygląd ulicy.

Rów chłonny (infiltracyjny) – rów o przekroju prostokątnym, wyłożony kamieniami o funkcji retencjonującej i infiltrującej dla wód opadowych (rys. 17). Ścianki rowu mogą być umocnione faszyną, a dno przykryte materiałem filtracyjnym i ażurowym tak, by woda mogła swobodnie przez nie przenikać [Edel 2002]⁶. Działa na zasadzie suchego potoku, z tą różnicą, że jest to typowo inżynierska konstrukcja, bez konieczności stosowania artystycznego zamysłu. Rowy chłonne są często stosowane w ramach ZSD, towarzysząc trasom komunikacyjnym lub terenom przemysłowym⁷.

⁵ W Niemczech stosuje się specjalne systemy muld: Rigolen Mulden lub Innodrain®.

⁶ Często stosuje się rowy infiltracyjne pod powierzchnią drogi zamiast ciągu drenarskiego – w przypadku gdy spływy są częste i duże [Edel 2002].

⁷ Stormwater Management. Volume Two: Stormwater Technical Handbook 1997.



Rys. 17. Schemat budowy rowu chłonnego [opracowanie własne na podst. Edel 2002]
 Fig. 17. Scheme of the infiltration trench construction [prepared by author on the base: Edel 2002]



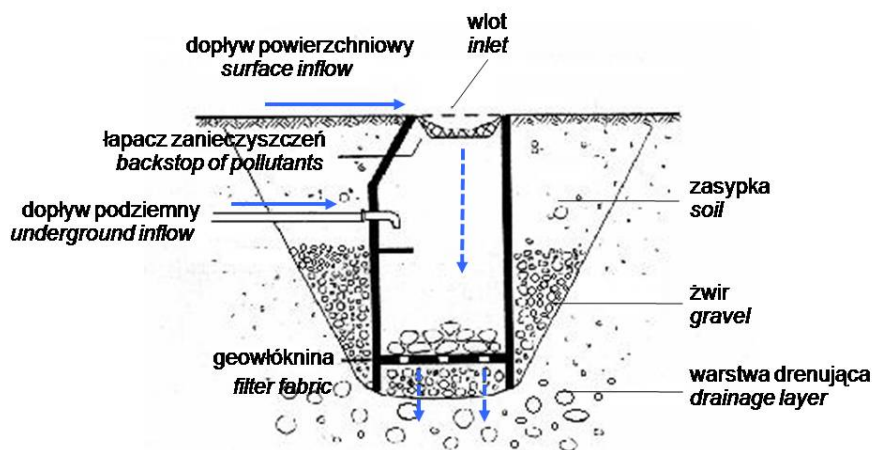
Fot. 20. Przykład dołu chłonnego, Kustrin Kietz (fot. E. Kozłowska)
 Phot. 20. Example of absorbent hole, Kustrin Kietz

Efekt krajobrazowy – rów chłonny w krajobrazie podkreśla kierunki tras komunikacyjnych i jest czytelny jako krawędź drogi lub placu. W powiązaniu z innymi elementami krajobrazu – małą architekturą, infrastrukturą – porządkuje przestrzeń w układzie liniowym.

Dół chłonny – spełnia tę samą funkcję co rów chłonny. Nie jest to jednak element liniowy. Doły chłonne przyjmują formy owalne i wymagają większej powierzchni, ponieważ funkcjonują czasowo jako zbiorniki dla wód opadowych. Wielkości dołów mogą być różne w zależności od ilości wody, którą mają przyjąć (fot. 20).

Efekt krajobrazowy – dół chłonny to suchy zbiornik, będący często urozmaicheniem otwartej, płaskiej przestrzeni. Zastosowanie kamieni do wyłożenia dołu zapobiega erozji i zachwaszczaniu, dzięki czemu zagłębienie pozostaje elementem estetycznym. W okresach deszczowych dół wypełnia się wodą.

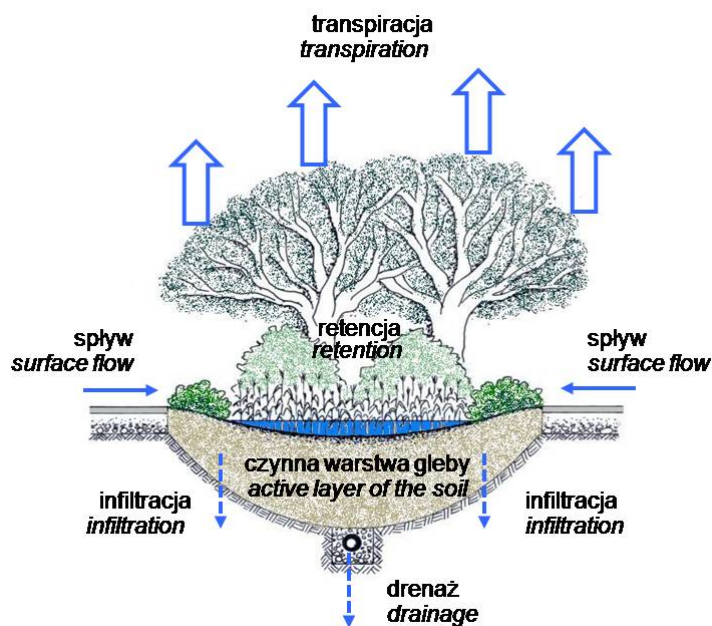
Studnia chłonna – urządzenie techniczne wspomagające infiltrację wody do gruntu. Jest to betonowa studnia z przepuszczalnym dnem, wypełniona grubym materiałem (czasem także z przepuszczalnymi ścianami), zdolna do gromadzenia wody opadowej i odprowadzania jej w głąb gruntu. Woda do studni doprowadzana jest bezpośrednio z terenu poprzez spływ grawitacyjny (studnia umieszczona jest w obniżeniu) lub dzięki urządzeniom doprowadzającym (rys. 18). Studnie chłonne stosuje się tam, gdzie nie ma wystarczającej ilości miejsca dla urządzeń powierzchniowych [Geiger, Dreiseitl 1999].



Rys. 18. Schemat budowy studni chłonnej (opracowanie własne na podst Geiger, Dreiseitl 1999)
Fig. 18. Scheme of the soakway construction (prepared by author on the base: Geiger, Dreiseitl 1999)

Efekt krajobrazowy – studnie są elementami podziemnymi gromadzenia i infiltracji wody, dlatego mają niewielki wpływ na efekt krajobrazowy. Często jednak stosuje się ozdobne przykrycia wpustów do studni. Są to owalne formy nadstawek lub klap, albo po prostu dekoracyjne kamienie, po których spływa woda.

Powierzchnia bioretencyjna – obniżenie terenu porośnięte roślinnością znoszącą stałe lub okresowe zalewanie. Funkcją powierzchni bioretencyjnej jest przyjmowanie spływów wód opadowych z przylegających terenów (najczęściej komunikacyjnych). Spływająca woda infiltrowuje w głąb gruntu, a w wypadku nadmiaru może czasowo utrzymywać się na powierzchni. Dzięki roślinności część wody jest szybko wykorzystana i oddana do atmosfery w procesie transpiracji (rys. 19). Powierzchnie bioretencyjne to jeden z najczęściej stosowanych sposobów zagospodarowania wód opadowych, będący jednocześnie powierzchnią ekokompensacyjną w zabudowie miejskiej [Wynkoop 1999, Hinman 2005].

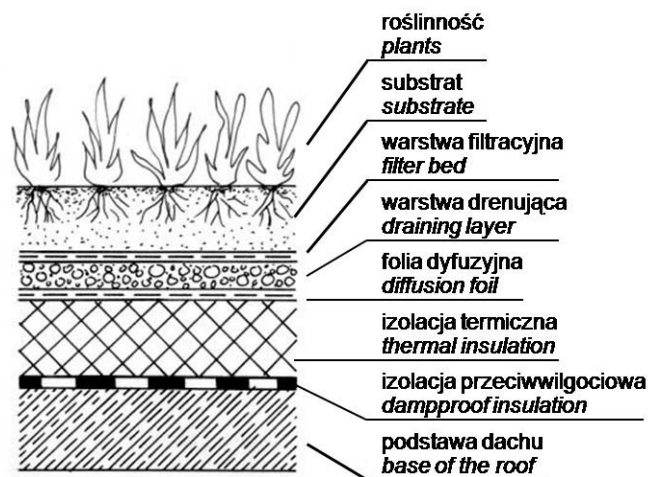


Rys. 19. Schemat budowy i funkcjonowanie powierzchni bioretencyjnej
Fig. 19. Scheme of bioretention area construction and working

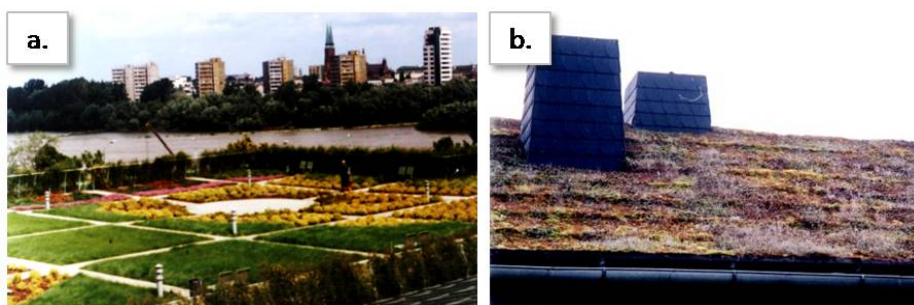
Efekt krajobrazowy – urządzenie wykorzystywane w praktykach LID – na terenach komunikacyjnych i osiedlowych jako rozwiązanie zespołowe lub jako sposób zagospodarowania indywidualnego ogrodu⁸. Powierzchnie bioretencyjne to bardzo prosty sposób zatrzymania spływu wód opadowych, będący rozwiązaniem czysto krajobrazowym. Jest to element o wyraźnej funkcji estetycznej, który wpływa często na uporządkowanie przestrzeni i powiązania terenów zieleni w mieście. Możliwości stosowania różnych gatunków roślin na powierzchniach bioretencyjnych – kwitnących bylin, traw ozdobnych, drzew i krzewów – powodują, że w praktyce ZSD jest to najczęściej stosowane rozwiązanie – odbiornik wód opadowych.

⁸ Powierzchnią bioretencyjną jest także „deszczowy ogród”, stosowany w małych ogrodach przydomowych [Kosmala 2003].

Zielony dach – dach porośnięty roślinnością to coraz bardziej popularny sposób na ekokompensację przyrodniczą na terenach zabudowanych. Funkcją zielonego dachu jest nie tylko umilenie środowiska pracy lub życia człowieka oraz stworzenie warunków życia dla roślin i zwierząt (owady, ptaki). W zrównoważonych systemach drenażu zielone dachy mają również istotną rolę. Są powierzchniami chłonnymi dla wód opadowych, którą retencjonują za pomocą roślin, a następnie oddają w procesie transpiracji do atmosfery⁹. Biorą zatem czynny udział w poprawie warunków klimatycznych miasta, a szerzej bilansu wodnego terenów zurbanizowanych (rys. 20).



Rys. 20. Schemat budowy zielonego dachu
Fig. 20. Scheme of green roof construction



Fot. 21. Przykłady zielonych dachów: a – dach BUW, Warszawa; b – z zastosowaniem roślinności kserotermicznej, Żmigród (fot. E. Kozłowska)
Phot. 21. Examples of green roofs: a – roof on the Warsaw University Library, b – using xerothermic plants, Żmigród

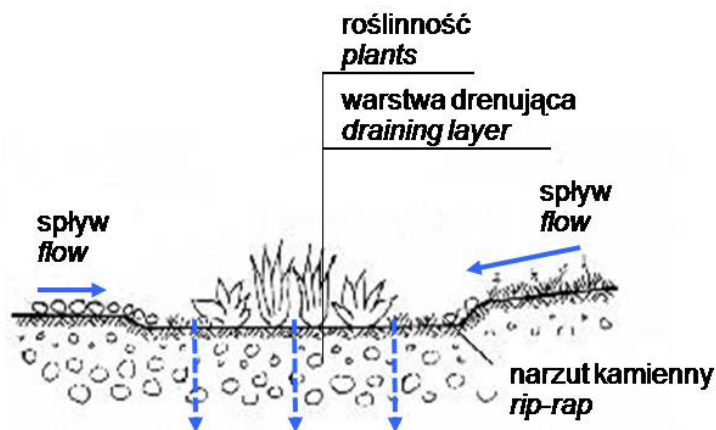
⁹ O udziale zielonych dachów w procesie retencjonowania wód opadowych pisała też Drożdżał [praca doktorska Drożdżał 2004].

Efekt krajobrazowy – zielone dachy to jedne z ważniejszych elementów nie tylko ZSD, ale także zieleni miejskiej. Mogą być stosowane zarówno w skali mikro na garażach, komórkach itp., jak też w skali makro na dachach wieżowców (fot. 21). Nowoczesne technologie pozwalają bowiem na sadzenie nie tylko traw i bylin, ale też drzew i krzewów na coraz większych powierzchniach. Uzyskane w ten sposób nowe przestrzenie zielone są cenne zwłaszcza w warunkach intensywnej, zwartej zabudowy.

7.3. Urządzenia gromadzące i retencjonujące

Na terenach zurbanizowanych wody opadowe z powierzchni nieprzepuszczalnych należy odprowadzać w miejsce gromadzenia. Gromadzenie wód opadowych jest połączone zazwyczaj z retencją lub retencją i infiltracją do gruntu. Może nastąpić w zamkniętych urządzeniach lub dużych otwartych zbiornikach retencyjnych. I w tym przypadku projektanci skłaniają się raczej do rozwiązań otwartych, aby uwydatnić walory wody. Urządzenia gromadzące i retencjonujące są najczęściej elementem estetycznym zagospodarowania terenu w mieście.

Niecka retencyjna – niewielkich rozmiarów obniżenie terenowe obsiane trawą lub niską roślinnością, służące zazwyczaj jako przelew dla stawów retencyjnych lub samodzielne urządzenie krajobrazowe do gromadzenia wody opadowej (rys. 21).



Rys. 21. Przekrój przez typową nieckę retencyjną
Fig. 21. Cut in two through the simple retention basin

Efekt krajobrazowy – jest to jeden z najczęściej stosowanych elementów ZSD ze względu na proste wykonanie i naturalne walory krajobrazowe. Niecka retencyjna łatwo wpisuje się w tereny zieleni, ponieważ jest to jedynie sposób wyprofilowania powierzchni gruntu (fot. 22). Niekiedy nieckę może porastać roślinność ozdobna, co dodatkowo podkreśla jej naturalny charakter.



Fot. 22. Niecka retencyjna w Parku IGA, Rostock (fot. A. Drapella-Hermansdorfer)
 Phot. 22. Retention basin in the IGA Park, Rostock

Mikroniecka – element kształtowania terenu w sposób umożliwiający zatrzymanie spływu wody poprzez jej gromadzenie. Podobna do niecki retencyjnej, ale często mniejsza i płytsza, stosowana w ZSD jako rozwiązanie zespołowe. Sposób wykonania mikroniecki jest bardzo prosty, ponieważ polega na odpowiednim wyprofilowaniu fragmentu terenu i obsadzeniu go trawą [Philips 2003].

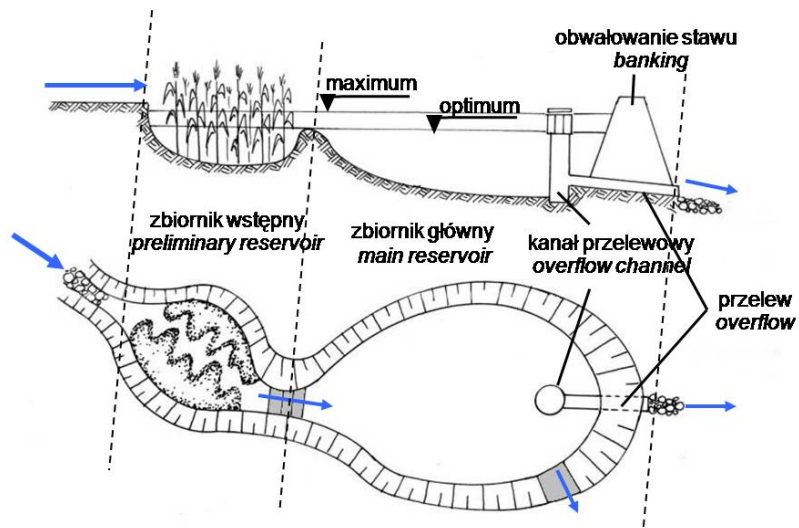
Efekt krajobrazowy – system mikroniecek obsadzonych trawą doskonale wtapia się w otoczenie. W okresach bezdeszczowych jest to jedynie fragment połażdanego terenu. Dopiero spływająca woda pokazuje działanie systemu.

Staw retencyjny – staw wypełniony wodą, będący odbiornikiem dla wód opadowych spływających z terenu lub urządzeń odprowadzających. Skala stawu zależy od ilości przyjmowanych spływów (rys. 22). W systemach odzyskiwania wód opadowych (wykorzystanie) przelewy ze stawu trafiają do podziemnych cystern. Po oczyszczeniu mogą być użyte do celów gospodarczych.

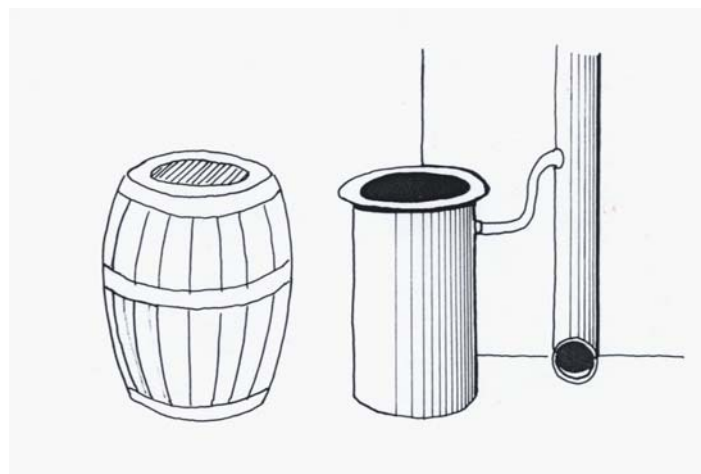
Efekt krajobrazowy – w zrównoważonych systemach drenażu stawy retencyjne są jednymi z najważniejszych urządzeń krajobrazowych – obsadzone wodolubną roślinnością przyciągają owady, ptaki i zwierzęta, tworząc *quasi* naturalne środowisko wodne, mając jednocześnie wpływ na klimat miejsca. Są najczęściej terenem rekreacyjno-wypoczynkowym dla osiedli lub parków miejskich.

Gromadzenie z wykorzystaniem – wody opadowe możemy gromadzić w celu ponownego ich wykorzystania. Praktyki takie od dawna stosowane są przez prywatnych użytkowników, którzy wodą opadową nawadniają swoje ogródki. Urządzeniami gromadzącymi są w tym przypadku beczki i cysterny (rys. 23), służące do gromadzenia spływów z dachów i nawierzchni nieprzepuszczalnych [Losch 1998, Seitz 1999].

Efekt krajobrazowy – beczki i cysterny (zwłaszcza podziemne) nie mają charakteru krajobrazowego, ale są istotnymi składnikami ZSD. Gromadzenie wód opadowych wiąże się często z zastosowaniem instalacji do wykorzystania deszczówki na potrzeby gospodarstwa, w celu zaoszczędzenia wody pitnej (fot. 23).



Rys. 22. Schemat budowy stawu retencyjnego [opracowanie własne na podst. Edel 2002]
 Fig. 22. Scheme of retention pond construction [prepared by author on the base: Edel 2002]



Rys. 23. Przykład beczek na wody opadowe
 Fig. 23. Example of rainbarrels



Fot. 23. Amatorski system gromadzenia wody z dachu (fot. E. Kozłowska)
Phot. 23. Amateur system of rainwater collecting

7.4. Urządzenia oczyszczające

Stopień zanieczyszczenia wód opadowych jest zależny nie tylko od rodzaju terenu i warunków klimatycznych, ale także od czasu trwania oraz natężenia opadu. W początkowej fazie intensywnego opadu na terenach miejskich stężenie zanieczyszczeń w spływającej wodzie jest zdecydowanie wyższe niż w fazie późniejszej. Wody opadowe splukują wszystko to, co nagromadziło się w okresie suszy: papiery, niedopałki papierosów, resztki jedzenia, ale także zanieczyszczenia organiczne z roślinności naturalnej. Osobną grupę zanieczyszczeń stanowią te z terenów komunikacyjnych, zwłaszcza tras intensywnie użytkowanych. Są to nie tylko szkodliwe pierwiastki pochodzące ze spalin samochodowych, ale też resztki opon, plamy oleju, kawałki metali itp. Zanieczyszczenia bakteriologiczne i organiczne pochodzą głównie z odchodów zwierzęcych [Geiger, Dreiseitl 1999].

Stosowanie odpowiedniego rodzaju urządzeń oczyszczających jest zatem konieczne w pierwszej fazie spływu, która zazwyczaj trwa krótko, ale jest intensywna. W większości przypadków podczyszczona woda może być infiltrowana już bezpośrednio do gruntu [Geiger, Dreiseitl 1999]¹⁰.

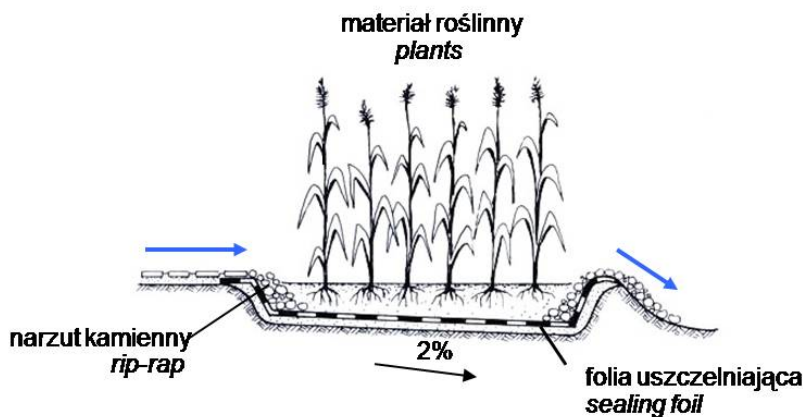
Według Poradnika „Nowe sposoby odprowadzania wód deszczowych” przyjmuje się stopień zanieczyszczenia odpływu wód deszczowych:

¹⁰ Podczyszczanie wód opadowych może być mechaniczne i opierać się o procesy sedymentacji, filtracji, oddzielania lekkich płynów i zawiesin lub biologiczne poprzez procesy rozkładu w ożywionej warstwie gleby albo warstwie osadu przy dnie zbiornika do wsiąkania, często przy udziale roślinności [Geiger, Dreiseitl 1999].

- wody mało zanieczyszczone – dla terenów zabudowy mieszkaniowej, ulic dzielnic mieszkaniowych, dróg rowerowych, ścieżek pieszych, powierzchni zielonych;
- wody normalnie zanieczyszczone – dla obszarów mieszanej zabudowy mieszkaniowej i przemysłowej, placów postojowych i dróg komunikacyjnych;
- wody silnie zanieczyszczone – wody spływające z autostrad i silnie użytkowanych dróg krajowych, nie zadaszonych placów do przeładunku i składowania substancji szkodliwych i trujących.

W przypadku urządzeń inżynierskich do zorganizowanego podczyszczania stosuje się konstrukcje zamknięte, natomiast urządzenia krajobrazowe jak pasaże roślinne, stawy sedymentacyjne czy sztuczne ekosystemy bagienne stają się elementem estetycznym zagospodarowania terenu.

Pasaż roślinny – niewielkie poletko o uszczelnionym dnie, obsadzone roślinnością – najczęściej trzciną. Pasaże służą jako przelewy dla odbiorników wód opadowych lub samodzielne urządzenia do ich odbioru. Trafiająca do pasażu woda spływowa zawiera niekiedy dużą ilość zanieczyszczeń wmywanych przez deszcz z powietrza i powierzchni terenu. W pasażu woda zostaje oczyszczona przez rośliny do jakości pozwalającej na wprowadzenie jej do gruntu (rys. 24).



Rys. 24. Schemat budowy pasażu roślinnego [opracowanie własne na podst. Geiger, Dreiseitl 1999]

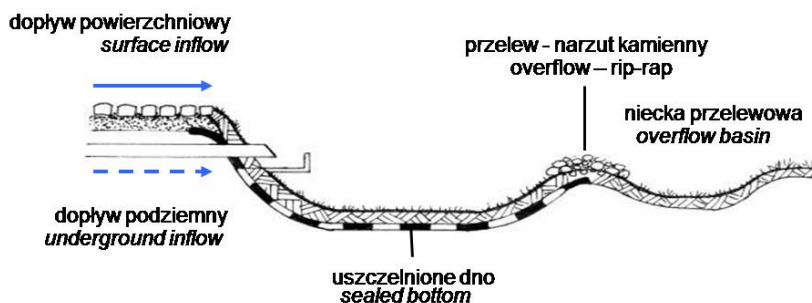
Fig. 24. Scheme of „plant passage” construction [prepared by author on the base: Geiger, Dreiseitl 1999]

Efekt krajobrazowy – pasaż może przybierać różne formy, dzięki czemu łatwo dostosować go do otaczającego układu roślinnego. Zastosowanie trzciny lub innych roślin, także kwitnących (np. *Iris sibirica*), powoduje, że pasaż jest elementem naturalnym i jednocześnie estetycznym w krajobrazie miejskim.

Staw sedymentacyjny – zbiornik wodny o uszczelnionym dnie, służący do gromadzenia i oczyszczania spływów opadowych (rys. 25). Oczyszczanie zachodzi dzięki procesowi sedymentacji, może być wspomagane także przez roślinność stawu. Przelewy wody ze stawu prowadzone są do miejsc wsiąkania. W ZSD stawy sedymentacyjne

stosowane są częściej niż urządzenia mechanicznego oczyszczania wody, na terenach osiedlowych i parkowych, ale też jako druga faza oczyszczania wód z terenów przemysłowych. Jedynym wymogiem jest duża powierzchnia.

Efekt krajobrazowy – staw oprócz funkcji oczyszczającej spełnia rolę zbiornika wodnego, często o naturalnym wyglądzie. Tak jak stawy retencyjne jest zatem urządzeniem sprzyjającym rekreacji i wypoczynkowi, tworząc jednocześnie siedlisko dla roślin i zwierząt.



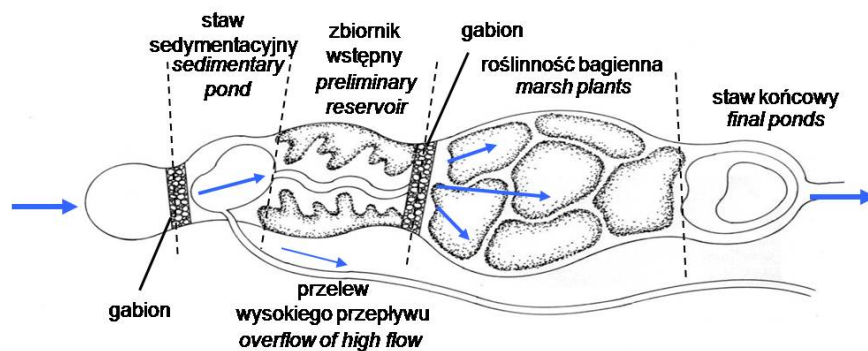
Rys. 25. Schemat budowy stawu sedymentacyjnego [opracowanie własne na podst. Geiger, Dreiseitl 1999]

Fig. 25. Scheme of sedimentary pond construction [prepared by author on the base: Geiger, Dreiseitl 1999]

Sztuczny ekosystem bagienny (sztuczne mokradła) – stworzony przez człowieka teren podmokły obsadzony roślinnością znoszącą okresowe lub stałe zalewanie. Sztuczne mokradła służą do odbioru spływów wód opadowych, które dzięki określonej roślinności zostają oczyszczone, a następnie mogą infiltrować do gruntu. Wykonuje się je na wzór naturalnych ekosystemów bagiennych, których działanie oczyszczające jest znane i stosowane od ponad stu lat (rys. 26)¹¹. W ZSD sztuczne mokradła wykonywane są zazwyczaj w celu ogólnej poprawy właściwości retencyjnych terenu. Konieczność wykorzystania dużej powierzchni powoduje, że projektuje się je dla terenów podmiejskich, o niskim stopniu zabudowy, a najlepiej jako płynne przejście pomiędzy krajobrazem zurbanizowanym i naturalnym.

Efekt krajobrazowy – jedno z ważniejszych urządzeń ZSD ze względu na funkcję (retencja i oczyszczanie wody), ale też z powodu charakteru. Tereny bagienne mają postać naturalnego, często wielopiętrowego, założenia roślinnego. Sprawiają wrażenie dzikiej przestrzeni, a dzięki temu są siedliskiem wielu gatunków owadów, ptaków i zwierząt. Bez zbytej ingerencji człowieka stają się samowystarczalnym ekosystemem, funkcjonującym według zasad naturalnej przyrody.

¹¹Oczyszczające i uzdrawiające właściwości ekosystemów bagiennych człowiek odkrył już w starożytności. Pierwsze doświadczenia z wykorzystaniem tej metody oczyszczania przeprowadzono prawdopodobnie w Europie Zachodniej ponad 100 lat temu, w latach 60. XX w. powstała w Niemczech jedna z pierwszych oczyszczalni [www.icpnet.pl/~spnr20/publikacje/refHNiechwiadowicz.htm, www.otzo.most.org.pl/publikacje/hydro/helman.htm].



Rys. 26. Schemat konstrukcji sztucznych mokradeł [opracowanie własne na podst. Constructed Wetland Systems 2002]

Fig. 26. Scheme of artificial bog construction [prepared by author on the base: Constructed Wetland Systems 2002]

Zrównoważone systemy drenażu opierają się o szereg urządzeń gospodarowania wodą opadową. Domeną tych urządzeń jest nie tylko ich funkcja – odprowadzająca, gromadząca, retencjonująca czy oczyszczająca – ale przede wszystkim charakter krajobrazowy. To wyróżnia je od tradycyjnej infrastruktury miejskiej i powoduje, że coraz chętniej stosuje się je przy modernizacji terenów zurbanizowanych. Nie są bowiem ukryte pod ziemią, jak rozwiązania konwencjonalne, ale otwarte i uwidatnione, a dzięki dopełnieniu roślinnością łatwo wpisują się w otoczenie. Naśladując naturalne formy krajobrazowe – w funkcji i wyglądzie – urządzenia ZSD stają się przeciwwagą dla statycznej architektury, wpływając na funkcjonowanie całego ekosystemu miejskiego.

8. Kształtowanie krajobrazu w skali miasta – zastosowanie ZSD w Seattle¹

Gospodarowanie wodą opadową stało się standardowym działaniem do tego stopnia, że stosuje się je w obrębie całego miasta, wykorzystując zintegrowaną pracę systemów urządzeń. Wprowadzane programy lub strategie dostosowane są do światowych zaleceń na rzecz zrównoważonego rozwoju, ale przede wszystkim warunków i możliwości lokalnych danego miasta.

Urządzenia ZSD w ramach przedsięwzięć programowych i strategicznych stosuje się obecnie w większych miastach Stanów Zjednoczonych i Skandynawii. Dla zobrazowania działań wybrano Seattle, leżące w strefie klimatu umiarkowanego, o dużej wysokości opadów rocznych, wynoszącej ok. 1000 mm. Jest to przykład wzorcowy, prezentujący obszerną dokumentację techniczną w Internecie, co stanowi dobry materiał edukacyjny dla innych miast.

8.1. Strategia działań

Amerykańskie miasto Seattle leży nad Zatoką Puget Sound. Wzrastająca populacja spowodowała zwiększenie udziału powierzchni nieprzepuszczalnych – ulic, placów, osiedli, supermarketów. To z kolei przyczyniło się do zwiększenia spływu wód opadowych, kierowanych do pobliskich cieków wodnych i dalej do zatoki. Skutkiem tej sytuacji stały się nie tylko powodzie, ale też wzrastające zanieczyszczenia wód powierzchniowych zlewni Puget Sound. Miasto zdecydowało się na wprowadzenie programu Natural Drainage System (NDS), którego idea stała się zmniejszenie spływów wód opadowych do odbiorników powierzchniowych oraz poprawienie ich jakości. Działania te, w szerszym kontekście, są częścią zintegrowanej ochrony naturalnego siedliska wodnego, jakim jest Zatoka Puget Sound.

Pomysłodawcą projektu NSD było przedsiębiorstwo użyteczności publicznej Seattle Public Utilities (SPU), mające spore osiągnięcia na polu wdrażania innowacyjnych technologii. Przy współpracy innych instytucji publicznych stworzono nowoczesne systemy gospodarowania wodą opadową na powierzchni ok. 217,56 km² (powierzchnia miasta). Prace rozpoczęły się w 2002 r. i dążą do realizacji nadrzędnych celów programu NDS, którymi są:

¹ Wszystkie informacje zawarte w rozdziale pochodzą z internetowej bazy danych Seattle Public Utilities: [www.seattle.gov/util/About_SPU/Drainage_&_Sewer_System/Natural_Drainage_System/index.asp].



Fot. 24 a, b, c, d, e, f. Przykładowe rozwiązania Natural Drainage System w ciągu komunikacyjnym, Seattle (fot. R. Szcześniak)
 Phot. 24. Model solutions for the Natural Drainage System in Seattle

- wspomaganie ochrony przeciwpowodziowej,
- ochrona wód powierzchniowych przed zanieczyszczeniami powodowanymi przez spływy opadowe,
- nadanie nowego wyglądu ulicom i ciągom pieszym,
- wzięcie odpowiedzialności za zarządzanie całym środowiskiem,
- wspomaganie miasta w dostosowywaniu się do lokalnych, stanowych i narodowych standardów środowiskowych.

Założenia programowe mają w efekcie końcowym doprowadzić do:

- infiltracji wód opadowych do gruntu,
- opóźnienia odpływu wód opadowych,
- oczyszczania spływów z wykorzystaniem gleby i roślin,
- redukcji powierzchni nieprzepuszczalnych,
- zwiększenia udziału powierzchni pokrytych drzewami,
- wzrostu bezpieczeństwa tras pieszych.

Program NDS polega na modernizacji fragmentów miasta zgodnie z zasadami ekologicznego gospodarowania wodą. Wykorzystane są urządzenia takie jak: niecki retencyjne, powierzchnie bioretencyjne, kaskady wodne oraz niewielkie stawy bagienne. Ten sposób zagospodarowania ma naśladować zależności panujące w naturze, a zwłaszcza funkcjonowanie hydrologiczne z różnego typu elementami przechwytywania i retencjonowania wód, zanim trafią do odbiornika powierzchniowego (fot. 24). Bazując na aktualnych tendencjach, dąży się do zdecentralizowanego oczyszczania spływów (inaczej niż w tradycyjnej kanalizacji burzowej) i przywrócenia ich środowisku naturalnemu.

8.2. Zrealizowane projekty

Programem Natural Drainage System objęte zostały wybrane tereny leżące w pobliżu naturalnych cieków. Przy modernizacji nie zastosowano technik uniwersalnych. NDS składa się z wielu projektów, z których każdy obejmuje inny fragment terenu i jest dostosowany do warunków środowiskowych, interesów społecznych oraz lokalnych możliwości technicznych. Projekty obejmują przede wszystkim tereny komunikacyjne, na których następują największe spływy opadowe. Najważniejsze z nich to:

- projekt Broadview Green Grid (tab. 1),
- projekt High Point (tab. 2),
- projekt Pinehurst Green Grid (tab. 3),
- projekt 110th Cascade (tab. 4),
- project Street Edge Alternatives (SEA Project) (tab. 5).

SPU podjęło także współpracę z Centrum Zarządzania Zasobami Wodnymi Terenów Zurbanizowanych Uniwersytetu Waszyngton (Center for Urban Water Resources Management) w celu monitoringu wykonanych systemów. Po dwuletnich obserwacjach uzyskano dane dotyczące dwóch założeń, ukazujące korzyści z zastosowania nowatorskiego sposobu drenażu [Horner i in. 2002]:

- projekt SEA zabezpiecza do 98% odpływu wód opadowych na 0,93 ha powierzchni,
- spływ opadowy do zlewni Pipers Creek z terenu miasta zmniejszył się o 20%.

Wybrane projekty zostały szczegółowo scharakteryzowane w dalszej części rozdziału w zestawieniach tabelarycznych.

Tabela 1
Table 1

Charakterystyka projektu Broadview Green Grid
Characterization of Broadview Green Grid project

| | | | |
|------------------------|---|-----------------------------------|--|
| Nazwa: | Broadview Green Grid Project | Zlewnia: | Pipers Creek |
| Rozpoczęcie projektu: | Sierpień 2003 r. | Powierzchnia odwadnianego terenu: | 12,95 ha |
| Wykonanie: | Seattle Public Utilities (SPU) | Współpraca: | Seattle Department of Transport (SDOT) |
| Cele | <ul style="list-style-type: none"> • retencja i oczyszczanie spływu, • zwiększenie udziału powierzchni przepuszczalnych (zieleń), • nadanie nowego wyglądu ciągom komunikacyjnym. | | |
| Zastosowane metody | Modernizacja infrastruktury i zagospodarowania ciągów komunikacyjnych. | | |
| Zastosowane urządzenia | <ul style="list-style-type: none"> • niecki retencyjne, • małe stawy bagienne, • kaskady wodne. | | |
| Korzyści | <ul style="list-style-type: none"> • znaczne opóźnienie odpływu wód opadowych do zlewni Pipers Creek, a dzięki temu utrzymanie w miesiącach letnich stałego poziomu wody w cieku, • zmniejszenie spływu, a dzięki jego infiltracji poprzez urządzenia roślinne obniżenie poziomu zanieczyszczeń trafiających do Zatoki Puget Sound. | | |

Tabela 2
Table 2

Charakterystyka projektu High Point
Characterization of High Point project

| | | | |
|------------------------|--|-----------------------------------|---------------------------------|
| Nazwa: | High Point Project | Zlewnia: | Longfellow Creek |
| Rozpoczęcie projektu: | Czerwiec 2003 r. | Powierzchnia odwadnianego terenu: | 52,20 ha |
| Wykonanie: | Seattle Public Utilities (SPU) | Współpraca: | Seattle Housing Authority (SHA) |
| Cele | <ul style="list-style-type: none"> • retencja i oczyszczanie spływu, • podniesienie jakości spływu trafiającego do Longfellow Creek, • pośrednio – ochrona łososia kizucz, • nadanie nowego wyglądu ciągom komunikacyjnym. | | |
| Zastosowane metody | Modernizacja infrastruktury i zagospodarowania ciągów komunikacyjnych | | |
| Zastosowane urządzenia | <ul style="list-style-type: none"> • niecki retencyjne porośnięte trawą, • niecki retencyjne porośnięte roślinnością. | | |
| Korzyści | <ul style="list-style-type: none"> • dzięki wyścielaniu niecek specjalnym podłożem i zastosowaniu odpowiednich gatunków roślin spływy są szybko pochłaniane i oczyszczane, zanim infiltrują do gruntu. | | |

Tabela 3
Table 3

Charakterystyka projektu Pinehurst Green Grid
Characterization of Pinehurst Green Grid project

| | | | |
|------------------------|--|-----------------------------------|----------------|
| Nazwa: | Pinehurst Green Grid Project | Zlewnia: | Thornton Creek |
| Rozpoczęcie projektu: | 2005 r. | Powierzchnia odwadnianego terenu: | brak danych |
| Wykonanie: | Seattle Public Utilities (SPU) | Współpraca: | – |
| Cel | <ul style="list-style-type: none"> • zmniejszenie ilości wód spływowych do cieku Thornton Creek, poprawa jakości wody ze spływów opadowych. | | |
| Zastosowane metody | Modernizacja infrastruktury osiedla i ciągów komunikacyjnych. | | |
| Zastosowane urządzenia | <ul style="list-style-type: none"> • niecki retencyjne z aktywną warstwą gleby, • obniżenia bioretencyjne, • nawierzchnie przepuszczalne. | | |
| Korzyści | <ul style="list-style-type: none"> • redukcja spływu powierzchniowego na ciągach jezdnych i pieszych, • poprawa jakości wody spływającej do Thornton Creek, • nadanie nowego wyglądu ciągom komunikacyjnym. | | |

Tabela 4
Table 4

Charakterystyka projektu 110th Cascade
Characterization of 110th Cascade project

| | | | |
|------------------------|--|-----------------------------------|--|
| Nazwa: | 110 th Cascade Project | Zlewnia: | Pipers Creek |
| Rozpoczęcie projektu: | 2002 r. | Powierzchnia odwadnianego terenu: | 8,5 ha |
| Wykonanie: | Seattle Public Utilities (SPU) | Współpraca: | Seattle Department of Transport (SDOT) |
| Cel | <ul style="list-style-type: none"> • spowolnienie i zmniejszenie ilości spływu do cieku Pipers Creek | | |
| Zastosowane metody | Modernizacja urządzeń drenujących – zastąpienie ich nowym systemem odwadniającym. | | |
| Zastosowane urządzenia | <ul style="list-style-type: none"> • system następujących po sobie obniżen z przelewami w układzie kaskadowym, z zastosowaniem roślinności; podczas obfitych opadów system zmienia się w kaskadę wodną. | | |
| Korzyści | <ul style="list-style-type: none"> • opóźnienie odpływu wód opadowych do zlewni Pipers Creek, a tym samym zmniejszenie zagrożenia powodziowego, • obniżenie poziomu zanieczyszczeń niesionych wraz ze spływem do cieku, • nadanie nowego wyglądu ciągom komunikacyjnym. | | |

Tabela 5
Table 5

Charakterystyka projektu Street Edge Alternatives (SEA Project)
Characterization of Street Edge Alternatives project (SEA Project)

| | | | |
|------------------------|---|-----------------------------------|--------------|
| Nazwa: | Street Edge Alternatives Project (SEA Streets) | Zlewnia: | Pipers Creek |
| Rozpoczęcie projektu: | brak danych | Powierzchnia odwadnianego terenu: | brak danych |
| Wykonanie: | Seattle Public Utilities (SPU) | Współpraca: | – |
| Cel | <ul style="list-style-type: none"> • nadanie nowego, zrównoważonego wyglądu ciągom komunikacyjnym | | |
| Zastosowane metody | Modernizacja systemu drenażu poprzez zmniejszenie udziału powierzchni nieprzepuszczalnych i zastosowanie roślinności w ramach NDS. | | |
| Zastosowane urządzenia | <ul style="list-style-type: none"> • nawierzchnie przepuszczalne, • niecki retencyjne obsadzone roślinnością, • obniżenia bioretencyjne. | | |
| Korzyści | <ul style="list-style-type: none"> • uzyskanie zwiększonej powierzchni odbioru spływu i odciążenie cieku Pipers Creek, • uzyskanie nowego wyglądu ulic. | | |

Przykład miasta Seattle pokazuje, jak wygląda wdrażanie projektu gospodarowania wodą opadową. Działania polegają w dużym stopniu na współpracy rządu i instytucji wykonawczych. Jednocześnie powodzenie projektu wiąże się z zaangażowaniem i edukacją ekologiczną – zarówno propagatorów, jak i lokalnej społeczności miasta.

Wprowadzane za pomocą strategii i programów projekty ZSD są różne, zależnie od charakteru inwestowanego obszaru. Podczas modernizacji teren zyskuje nową funkcję, ale i wygląd dzięki krajobrazowej naturze stosowanych urządzeń. W efekcie końcowym zmienia się również oblicze miasta.

9. Kształtowanie krajobrazu poprzez projekty zintegrowane

Zrównoważone systemy drenażu stosuje się nie tylko w kontekście infrastruktury miejskiej terenów komunikacyjnych, ale także na terenach rekreacji i wypoczynku oraz terenach przemysłowych. W wielu krajach ZSD są składową procesy projektowego, a jednocześnie standardem w zakresie budownictwa. Projektanci mierzą się z tematem zarówno nowoczesnych założeń, jak i modernizacją starych, szukając rozwiązań zrównoważonych i estetycznych. Efektem tego są coraz to nowsze, ciekawsze założenia krajobrazowe z wykorzystaniem ZSD, realizowane jako projekty zintegrowane.

9.1. Przykłady zagraniczne

W badaniach poddano analizie istniejące i funkcjonujące obiekty, wykonane w strefie klimatycznej, zbliżonej do warunków polskich (klimat umiarkowany). Karty obiektu przedstawiają założenia z zastosowaniem ZSD w krajobrazie – od małej skali terenów komunikacyjnych i ogrodów, poprzez tereny osiedlowe, aż po założenia parkowe. Do badań w pierwszej kolejności wybrane zostały najbardziej znane przykłady gospodarowania wodą opadową na terenach zurbanizowanych. W dalszej kolejności doboru kierowano się typem krajobrazu oraz różnorodnością zastosowanych w projekcie form ZSD. Przykłady zagraniczne obejmują karty 11 obiektów zrealizowanych w latach 1994–2006 i ułożone są począwszy od założeń najstarszych aż do najbardziej współczesnych, co pokazuje rozwój technik i stylów krajobrazowych w rozwiązaniach ZSD.

9.1.1. Regionalny Park Fairland, Prince Georges/Montgomery – Stany Zjednoczone¹

Autor: EPA, Maryland Department of the Environment, Maryland National Capital Parks, Planning Commission, Prince George's County Department of Environmental Resources

Powierzchnia: ≈ 27,2 ha (zarządzanie wodą opadową)

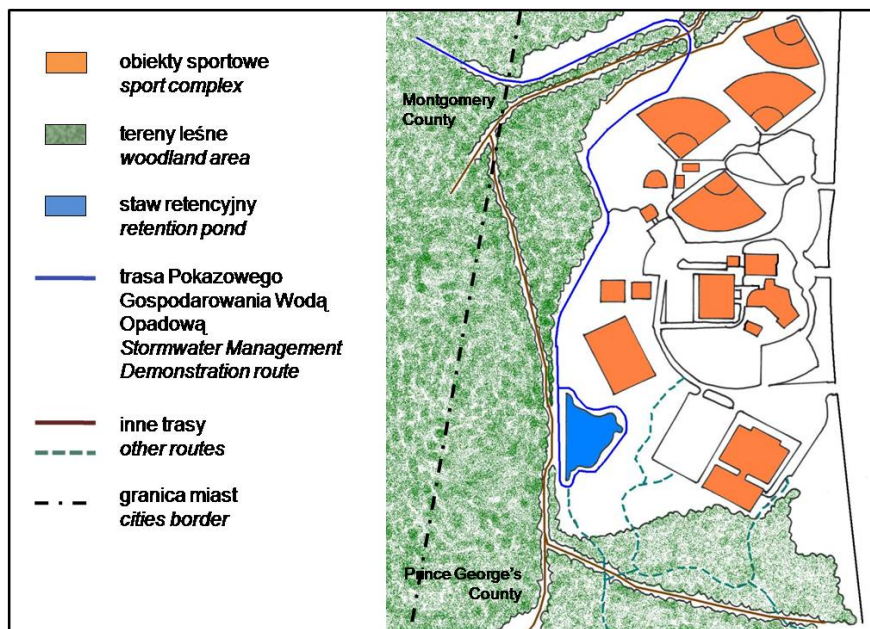
Wykonanie: 1987–1992

Typ przedsięwzięcia: modernizacja

Typ krajobrazu: park, tereny rekreacyjno-wypoczynkowe

¹ Wszystkie informacje na podst.: [www.anacostia.net/...; www.mde.state.md.us/...] (szczegółowy adres zawarty w bibliografii).

Charakterystyka: Regionalny Park Fairland leży w zlewni potoku Little Paint Branch, pomiędzy dwoma miastami: Prince Georges County i Montgomery. Ze 190,6 ha powierzchni rekreacyjnej parku wydzielono teren Pokazowego Gospodarowania Wodą Opadową (Stormwater Management Demonstration Area). Teren objął dawne wyrobiska, powstałe w wyniku wydobywania piasku i żwiru w latach 70 (rys. 27).



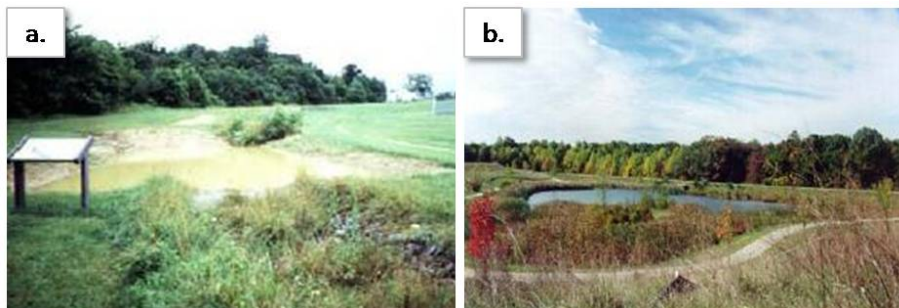
Rys. 27. Trasa Pokazowego Gospodarowania Wodą Opadową w Regionalnym Parku Fairland
Fig. 27. Stormwater Management Demonstration route in the Fairland Regional Park

Przedsięwzięcie zostało podjęte przez lokalne i stanowe władze przy współpracy z EPA. Pokazowe Gospodarowanie Wodą Opadową jest częścią strategii obejmującej stan Maryland², mającej na celu renaturyzację i ochronę Zatoki Chesapeake i jej dopływów. Założenie zostało wykonane jednocześnie w celach edukacyjnych, aby przybliżyć zagadnienie zrównoważonej kontroli zanieczyszczeń wód powierzchniowych poprzez umiejętne gospodarowanie wodą opadową.

Najważniejszymi urządzeniami zastosowanymi w części pokazowej są: duży staw sedimentacyjny, płytkie mokradła oraz miejsca bioretencji. Oprócz tego występują tu różnego typu zapory i wały ziemne oraz elementy przeciwoerozyjne na zboczach, a także nawierzchnie nieprzepuszczalne, urządzenia filtrujące i drenujące. Wszystkie składowe ZSD opisane są na specjalnych tablicach informacyjnych, z wyjaśnieniem budowy i funkcji. Funkcja ta nie ogranicza się jedynie do kontroli zanieczyszczeń, a tym samym ochrony zasobów wodnych, ale również do utrzymania i ochrony ekosystemów, ze szczególnym uwzględnieniem rzadkich gatunków roślin, zwierząt i ryb.

² Do którego należą miasta Prince Georges County i Montgomery.

Efekt krajobrazowy: do Pokazowego Gospodarowania Wodą Opadową zostały wybrane elementy budową naśladujące naturalne formy terenowe. Ich umiejscowienie w obrębie parku podkreśla jeszcze ten przyrodniczy charakter. Urządzenia są w pełni zintegrowane z otaczającym krajobrazem, spełniając jednocześnie funkcje przyrodnicze (fot. 25).



Fot. 25 a, b. Urządzenia gospodarowania wodą opadową w Regionalnym Parku Fairland (fot. Courtesy of the Maryland Department of the Environment)

Phot. 25 a, b. Stormwater management techniques in the Fairland Regional Park

9.1.2. Park osiedlowy Küppersbusch, Gelsenkirchen – Niemcy³

Autor: Szyszkowitz-Kowalski, Graz

Powierzchnia: 7,5 ha

Wykonanie: 1994–1996

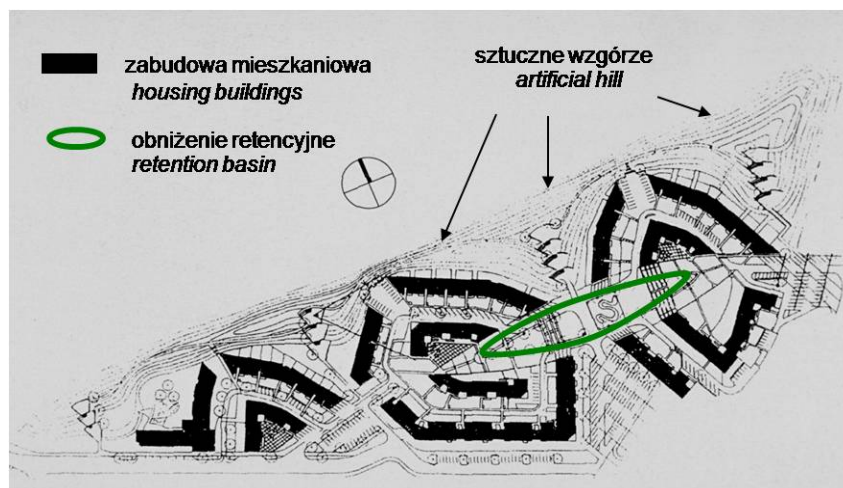
Typ przedsięwzięcia: nowa inwestycja

Typ krajobrazu: tereny osiedlowe

Charakterystyka: projekt osiedla został wykonany w ramach wystawy IBA Emscher Park, której głównym celem było objęcie rewitalizacją terenów zagłębia Ruhry. Teren inwestycji był mocno zdegradowany, ponieważ przez wiele lat należał do istniejącej w Gelsenkirchen fabryki pieców i wyposażenia kuchni. Pozostałością po dawnych czasach było również sztucznie usypane wzgórze, rozciągające się wzdłuż osiedla.

Jedną z innowacji zastosowaną w założeniu Küppersbusch jest proekologiczne gospodarowanie wodą opadową. Osiedle podzielono na 3 enklawy o kształtach organicznych w różnym rozmiarze. Każda enklawa posiada centrum o określonej funkcji. Dwie większe enklawy spięte są przez wspólny element, jakim jest teren zieleni w kształcie obniżenia retencyjnego – niecki porośniętej trawą. Niecka została przystosowana do odbioru wód opadowych, spływających z osiedla systemem rynien i rur spustowych. Wody opadowe, zanim trafią do obniżenia, prowadzone są rynną zawieszoną na wysokich słupach, wyglądającą jak akwedukt. Rynna otacza obniżenie retencyjne, powtarzając jego łódkowaty kształt (rys. 28).

³ Wszystkie informacje na podst.: [[www.findarticles.com/...](http://www.findarticles.com/); [www.gelsenkirchen.de/...](http://www.gelsenkirchen.de/)] (szczegółowy adres zawarty w bibliografii).



Rys. 28. Plan osiedla Küppersbusch, Gelsenkirchen (opracowanie własne na podst. fot. A. Drapella-Hermansdorfer)

Fig. 28. Plan of the Küppersbusch housing-estate, Gelsenkirchen (prepared by author on the base: photo by A. Drapella-Hermansdorfer)

W zamierzeniu autorów pokazanie spływu wody ma przywołać pamięć o minionych rzekach z czasów przedindustrialnych. Wywyższenie wody jest zaś symbolem czystości i przeciwstawienia się zanieczyszczeniom.

Efekt krajobrazowy: jest to jeden z ciekawszych przykładów, pokazujący estetyczne rozwiązanie rynien i rur spustowych jako pośredniego ogniwa między architekturą a terenem odbioru wody. Zawieszane w górze rynny podkreślają układ całego wnętrza, będąc jego elementem ozdobnym (fot. 26).

Obniżenie retencyjne poprzecinane jest betonowymi murkami na kształt progów w rzece. Powoduje to zmniejszenie prędkości spływu w czasie ulewnego deszczu, a także zabezpieczenie przed wymywaniem dna, będąc jednocześnie urozmaiceniem powierzchni niecki i integralnym elementem zielonego wnętrza.

Łódkowaty teren zieleni powiązany jest ze sztucznym wzgórzem, otaczającym osiedle od strony północnej. W sposób estetyczny zostały rozwiązane nie tylko schody prowadzące na wzgórze, ale także spływ wody ze wzgórza w kierunku obniżenia.



Fot. 26 a, b, c. Układ akweduktów okalających nieckę, Küppersbusch (fot. A. Drapella-Hermansdorfer)
Phot. 26 a, b, c. Arrangement of aqueducts surrounding retention basin, Küppersbusch

9.1.3. „Deszczowy ogród” przy Laboratorium Kontroli Zanieczyszczeń, Portland – Stany Zjednoczone⁴

Autor: Robert Murase and Associates

Powierzchnia: ≈ 2,4 ha

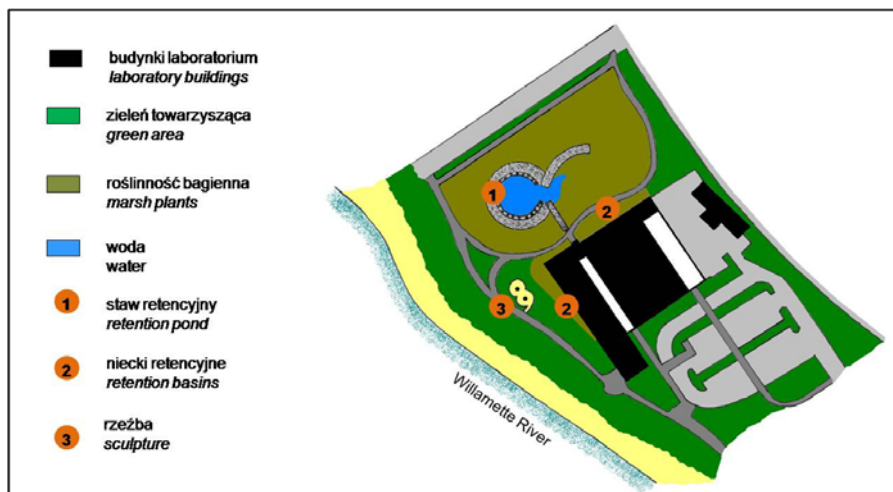
Wykonanie: 1997

Typ przedsięwzięcia: nowe założenie

Typ krajobrazu: teren przemysłowy

Charakterystyka: głównym założeniem projektowym „ogrodu deszczowego” jest podczyszczenie wód opadowych, spływających z terenu laboratorium oraz pobliskiego osiedla o powierzchni 20,2 ha, zanim trafią do cieku Willamette River. W zamyśle projektantów ogrodu gospodarowanie wodami opadowymi miało stać się elementem otwartym, zwracającym uwagę i uświadamiającym społeczności jego rolę. Nadrzędnym celem zaś było polepszenie jakości wód w Willamette River i jednocześnie wpływ na lepsze funkcjonowanie otaczającego ekosystemu.

Urządzeniami „ogrodu deszczowego” są liczne niecki, porośnięte wodolubną roślinnością, opasujące budynki i parking przy wjeździe na teren laboratorium. Woda przepływa przez nie, by na końcu trafić do zbiorczego stawu. Przelew ze stawu prowadzi do Willamette River. Na drodze spływu znajdują się również elementy drenujące oraz miejsca oczyszczania wody za pomocą specjalnych gatunków roślin (rys. 29).



Rys. 29. Schemat układu „deszczowego ogrodu” przy Laboratorium Kontroli Zanieczyszczeń, Portland

Fig. 29. Scheme of rain garden at Portland Stormwater Pollution Control Laboratory

Efekt krajobrazowy: w „ogrodzie deszczowym” woda jest widoczna na każdym etapie jej rozprowadzania. System został skomponowany z urządzeń inżynierskich i krajobrazowych, wspomaganych roślinnością. Całość ma indywidualny, artystyczny charakter.

⁴ Wszystkie informacje na podst.: [www.djc.com/...; www.clr.utoronto.ca/...] (szczegółowy adres zawarty w bibliografii).

Elementem głównym jest staw o powierzchni $\approx 0,84 \text{ m}^2$. Rysunek stawu układa się w miękkie linie łuków i kół, które są tworzone zarówno przez linię brzegową, jak i elementy stałe: betonowe koryta wypełnione kamieniami czy kamienną ścianę na przeciwnym brzegu stawu. Motyw koła został powtórzony także w rzeźbie, która naśladuje spadające do basenu krople i tworzone przez nie koła na wodzie. Temat wodny jest zatem czytelny nie tylko w urządzeniach systemu.

9.1.4. Plac Poczdamski, Berlin – Niemcy⁵

Autor: Herbert Dreiseitl we współpracy z Renzo Piano, Christophem Kohlbeckerem oraz Rogerem Woodwardem

Powierzchnia: 1,2 ha (zagospodarowanie wodą)

Wykonanie: 1997–1998

Typ przedsięwzięcia: modernizacja

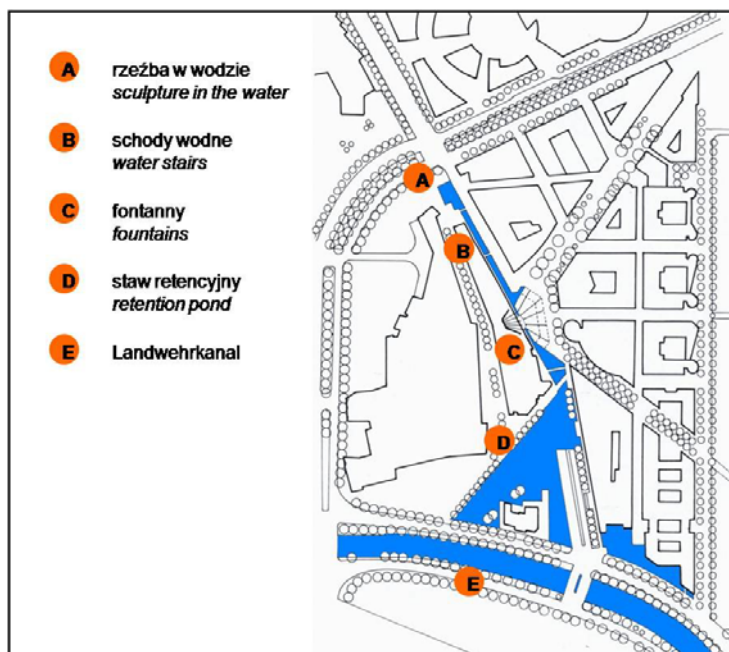
Typ krajobrazu: tereny usługowo-mieszaniowe

Charakterystyka: system wodny Placu Poczdamskiego opiera się na wodach deszczowych (rys. 30). Są one wykorzystane do nawadniania powierzchni zazielenionych (jak zielone dachy), splukiwania toalet oraz w systemie przeciwpożarowym. Po przepłynięciu przez budynki wody deszczowe są oczyszczane i gromadzone w podziemnych cysternach, z których nadmiar odprowadzany jest do stawu retencyjnego, a następnie do pobliskiego kanału wodnego (Landwehrkanal) (rys. 31).

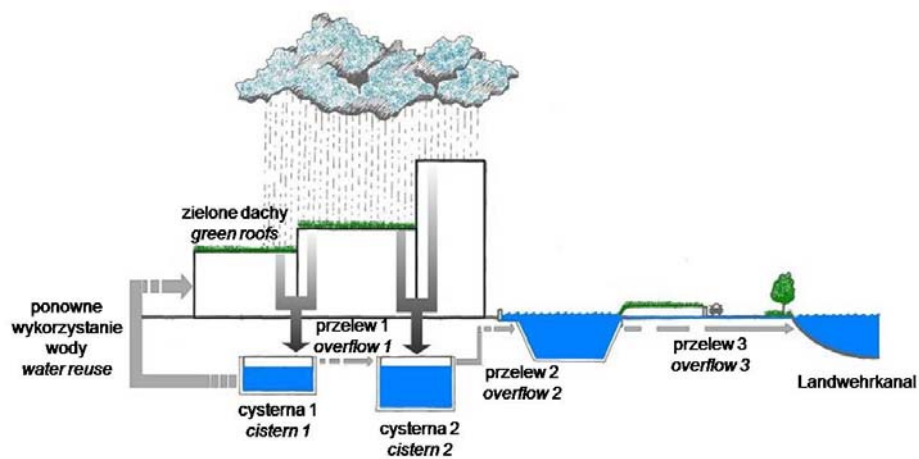
Jedną z faz realizacji kompleksu było przeprowadzenie symulacji komputerowej przepływu wód, niezbędnej dla przewidzenia możliwości absorpcyjnych Landwehrkanal, przy założeniu zrzutów dużych ilości wody 3 razy do roku. Analiza ruchu wody pomogła również wyznaczyć geometrię głównego zbiornika wodnego oraz lokalizację punktów wlotu i wylotu wody. W efekcie powstało 5 podziemnych cystern o łącznej pojemności 2600 m^3 , z możliwością spuszczenia jednorazowo 900 m^3 na wypadek deszczy nawalnych. Dodatkowym buforem jest zbiornik główny, którego powierzchnia przewiduje rezerwę 15 cm pomiędzy normalnym a maksymalnym stanem wody, co daje ok. 1300 m^3 zapasu pojemności. Na dnie cystern osadzane są większe cząstki (zanieczyszczenia), a nadmiar wody, poprzez przelew znajdujący się powyżej poziomu mętności, trafia do otwartego zbiornika głównego, gdzie następuje oczyszczanie biologiczne dzięki występowaniu roślin wodnych. Elementem zagospodarowania są również fontanny, kaskady wodne, schody wodne, mniejsze zbiorniki.

Efekt krajobrazowy: ogromny staw retencyjny jest najbardziej czytelnym elementem założenia, skupiającym wokół siebie tereny wypoczynkowe. Gładka tafla wody odbija tu obraz otaczających ją budynków, tworząc dla nich znakomitą przestrzeń ekspozycyjną. Niemniej atrakcyjnie rozwiązano system kanałów doprowadzających wodę z dalej położonych ulic i podwórek. Zielone dachy, suche potoki, fontanny, kaskady oraz staw wraz z fauną i florą w nim występującą stanowią przeciwwagę dla zimnej architektury w stylu hi-tech. Zieleń – najczęściej formy strzyżone lub o zdecydowanym pokroju w układach geometrycznych – mimo wszystko tworzy klimat przyjazny dla wypoczynku (fot. 27, 28).

⁵ Wszystkie informacje na podst.: [Dreiseitl, Grau, Ludwig 2001, [www.djc.com/...](http://www.djc.com/), [www.virginia.edu/...](http://www.virginia.edu/)] (szczegółowy adres zawarty w bibliografii).



Rys. 30. Układ wodny na Placu Poczdamskim
 Fig. 30. Water arrangement on the Potsdam Square

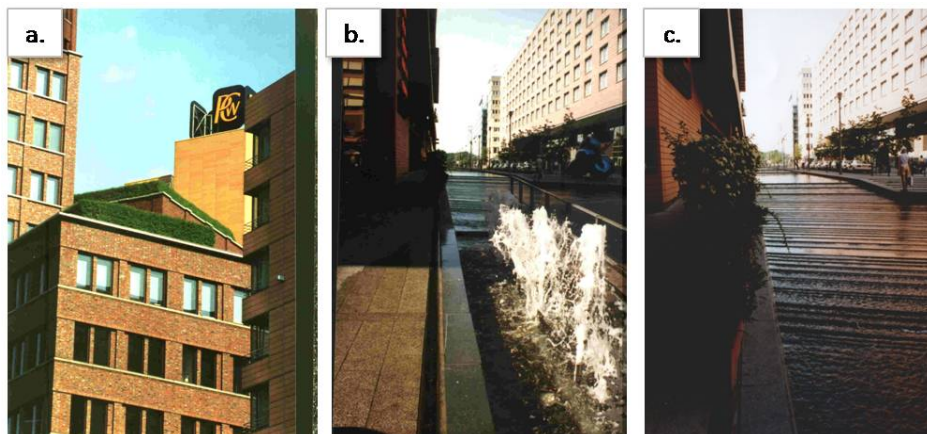


Rys. 31. Schemat gospodarowania wodą opadową na Placu Poczdamskim [opracowanie własne na podstawie Dreiseitl, Grau, Ludwig 2001]
 Fig. 31. Scheme of stormwater management on the Potsdam Square [prepared by author on the base: Dreiseitl, Grau, Ludwig 2001]



Fot. 27. Plac Poczdamski: a – staw retencyjny; b – miejska plaża nad stawem; c – ryby w stawie; d – rzeźba w kanale wodnym; e – przelew dla nadmiaru wody; f – zwiększanie udziału powierzchni retencyjnej na placu (fot. a, c, d, e, f – E. Kozłowska; b – A. Drapella-Hermansdorfer)

Phot. 27. Potsdam Square: a – retention pond; b – urban beach on the pond; c – fish in the pond; d – sculpture in the water channel; e – overflow for high level of water; f – increasing of participation of retention area on the square



Fot. 28. Elementy zrównoważonego systemu drenażu na Placu Poczdamskim: a – zielone dachy; b – kanał wodny dla wód opadowych; c – schody wodne (fot. E. Kozłowska)
 Phot. 28. Sustainable drainage system elements on the Potsdam Square: a – green roofs; b – water channel for rainwater; c – water stairs

9.1.5. Osiedle Marzahn-Hellersdorf, Berlin – Niemcy⁶

Autor: kooperacja wielu przedsiębiorstw

Powierzchnia: brak danych

Wykonanie: koniec lat 90. XX w.

Typ przedsięwzięcia: modernizacja

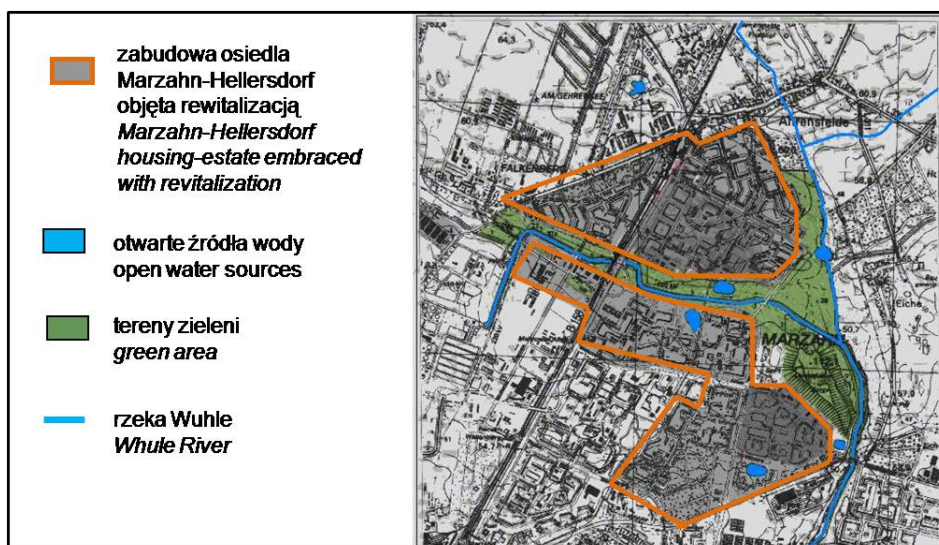
Typ krajobrazu: tereny mieszkaniowe

Charakterystyka: północno-wschodnia dzielnica Berlina Marzahn-Hellersdorf charakteryzuje się wysoką zabudową z tzw. wielkiej płyty, powstałą w latach 80. minionego wieku. Poddzielnice Marzahn i Hellersdorf rozcina rzeka Whule – prawy dopływ Szprewy. Whule oraz Neue Whule wraz z rozlewiskami i rozszerzenia w postaci niewielkich zbiorników tworzą naturalny ekosystem wodny w środku miasta – miejsce rekreacji i wypoczynku (rys. 32).

W związku z zaleceniami Agencji 21 wiele osiedli berlińskich zaczęło modernizować zgodnie z zasadami zrównoważonego rozwoju. Jednym z aspektów modernizacji Marzahn-Hellersdorf stało się proekologiczne gospodarowanie wodą, polegające na recyklingu ścieków oraz odzyskiwaniu wód opadowych. Do tej pory spływy opadowe były oczyszczane w oczyszczalni, a następnie zrzucane do Whule względnie do Neue Whule. Nowa koncepcja zakłada przede wszystkim decentralizację urządzeń oczyszczających oraz odbiornika wód opadowych i umożliwienie wsiąkania w wielu miejscach wprost do gruntu. Zastosowane rozwiązania, takie jak niecki retencyjne czy sztuczne mokradła, mają na celu zmniejszenie ilości zrzutów wód opadowych bezpośrednio do rzeki oraz ich oczyszczenie. Gospodarowanie wodą opadową na terenie Marzahn-

⁶ Wszystkie informacje na podst.: [<http://home.arcor.de/...>] (szczegółowy adres zawarty w bibliografii).

-Hellersdorf jest powiązane z procesem renaturyzacji i ochrony siedliska wodnego doliny Whule. Zasilanie wód podziemnych będzie mieć bowiem wpływ na utrzymanie przyrzecznych obszarów bagiennych, które stopniowo zaczęły wysychać.



Rys. 32. Widok układu doliny rzeki Whule w powiązaniu z osiedlem Marzahn-Hellersdorf, objętym rewitalizacją

Fig. 32. Arrangement of the Whule river valley in connection with Marzahn-Hellersdorf housing-estate subjecting to revitalization

Opisana koncepcja ma charakter długoplanowy. Już teraz uwzględniono znajdujące się na osiedlach podwórka i tereny zieleni jako obszary z możliwością zastosowania gospodarki wodnej. W planach nowo powstających osiedli przewidziano miejsce na powierzchnie chłonne, jak choćby zielone dachy.

Przykładowe rozwiązania pokazane są na podstawie wybranego fragmentu Marzahn.

Efekt krajobrazowy: dziki charakter doliny Whule był inspiracją do zastosowania naturalnych form urządzeń gospodarowania wodą opadową. Wpisują się one w krajobraz doliny rzecznej, będąc nie tylko osiedlowym terenem zieleni, ale też miejscem bytowania ptaków.

9.1.6. Osiedle Kronsberg, Hanower – Niemcy⁷

Autor: współpraca regionalnych, lokalnych i narodowych przedstawicieli władz z sektorem publiczno-prywatnym. Architekci krajobrazu: Büro Kienast, Vogt & Partner, Büro Irene Lohaus und Peter Carl, Atelier Herbert Dreiseitl.

Powierzchnia: ≈ 260 ha

⁷ Wszystkie informacje na podst.: [www.sibart.org/..., www.oekosiedlungen.de, www.eaue.de] (szczegółowy adres zawarty w bibliografii).

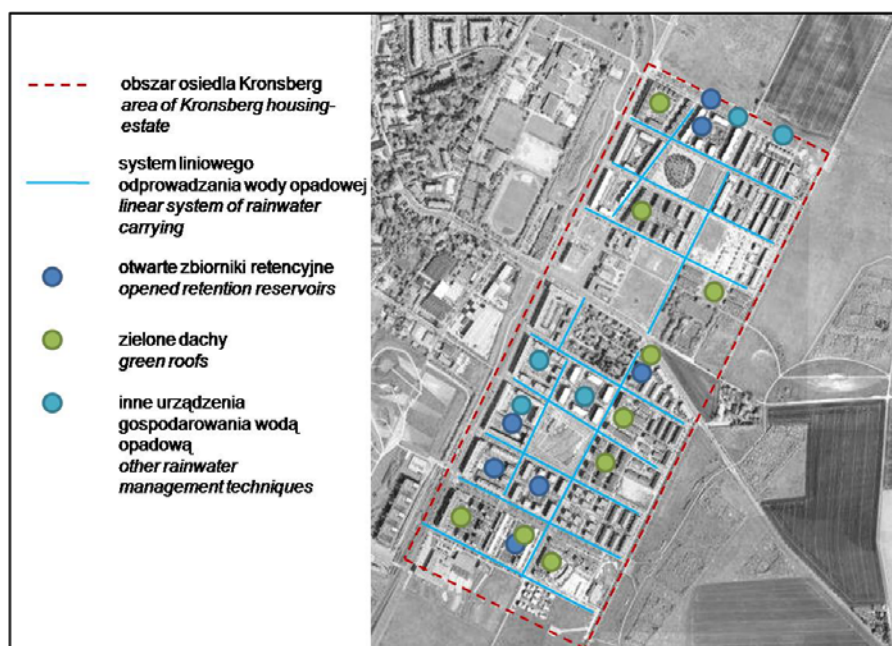
Wykonanie: 1997–2000, w ramach Światowej Wystawy EXPO 2000

Typ przedsięwzięcia: nowa inwestycja

Typ krajobrazu: tereny usługowo-mieszkaniowe

Charakterystyka: przedsięwzięcie opatrzone motto „Człowiek – Przyroda – Technika”, ilustrowało możliwie w pełnym stopniu zasady postulowane przez lokalną Agendę 21.

Wśród nowych technologii zastosowanych na terenie osiedla ważne miejsce zajmuje proekologiczny system gospodarowania wodą opadową (rys. 33). Zastosowano tu jeden z pierwszych złożonych systemów drenażu, pokazujący, że nawet przy gęstej zabudowie bilans wodny terenu może być zbliżony do naturalnego. Intencją projektantów było zbieranie wód opadowych z powierzchni dachów, ulic i placów, a następnie prowadzenie ich po terenie otwartą siecią kanałów do miejsc swobodnego wsiąkania lub zbiorników wodnych. Gospodarowanie wodą opadową na osiedlu naśladuje niejako naturalny cykl hydrologiczny. Elementami składowymi są tu rowy infiltracyjne, kanały wodne, powierzchnie retencyjne i zbiorniki na wody opadowe oraz zielone dachy wspomagające retencję (fot. 29). Jest to jeden z przykładów zastosowania Rigolen-Mulden na szeroką skalę. Otwartość systemu oraz jego złożoność (różne elementy techniczne, wodne i roślinne) powodują również wpływ na klimat miejsca, ponieważ woda przedostaje się nie tylko do gruntu, ale także do atmosfery w procesie ewapotranspiracji, poprawiając wilgotność powietrza.



Rys. 33. Układ osiedla Kronsberg z systemem gospodarowania wodą opadową
Fig. 33. Arrangement of Kronsberg housing-estate with rainwater management system



Fot. 29. Urządzenia gospodarowania wodą opadową, Kronsberg: a – muldy chłonne; b – zielone dachy (fot. A. Drapella-Hermansdorfer)

Phot. 29. Rainwater management techniques, Kronsberg: a – absorbent swales; b – green roofs



Fot. 30. Urządzenia gospodarowania wodą opadową na osiedlu Kronsberg: a – rów infiltracyjny; b – staw retencyjny; c – kaskadowy dopływ do stawu retencyjnego; d – element odprowadzania wód opadowych; e – mulda chłonna; f – rów infiltracyjny (fot. ze strony: www.oekosiedlungen.de)

Phot. 30. Rainwater management techniques in the Kronsberg housing-estate: a – infiltration trench; b – retention pond; c – cascade inflow to the retention pond; d – carrying rainwater element; e – absorbent swale; f – drainage ditch

Efekt krajobrazowy: oprócz ekologicznych i ekonomicznych aspektów koncepcji wodnej osiedla autorzy uwzględnili także jej wymiar estetyczny i krajobrazowy. Obecność wody jest czytelna w planie zabudowy dzięki takim elementom jak otwarte kanały wzdłuż ulic, półnaturalne zbiorniki wodne i niecki retencyjne, a także fontanny, elementy rzeźb i urządzenia zabaw wodnych. System wodny wpisany jest w układ przestrzenny nie tylko w powiązaniu z architekturą, ale przede wszystkim z zielenią, z którą tworzy jedną całość w postaci zintegrowanego założenia krajobrazowego w nowoczesnym stylu (fot. 30).

9.1.7. Osiedle Augustenborg, Malmö – Szwecja⁸

Autor: MKB Housing Company, City of Malmö

Powierzchnia: brak danych

Wykonanie: 1998–2002

Typ przedsięwzięcia: rewitalizacja

Typ krajobrazu: tereny osiedlowe

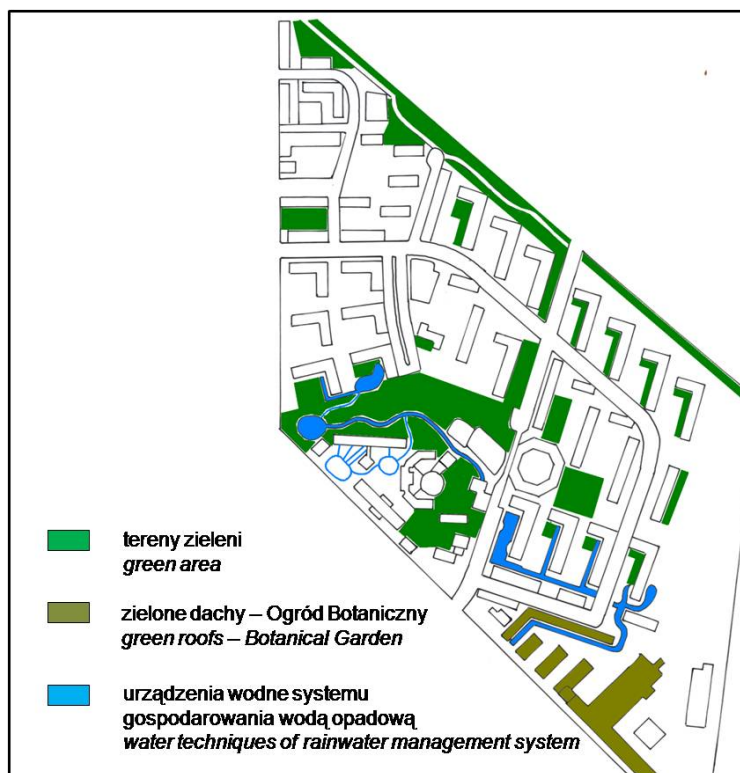
Charakterystyka: Augustenborg to osiedle wybudowane w latach 40. XX w. jako jedno z najnowocześniejszych na tamte czasy w Europie. W latach 90. osiedle zostało objęte programem rewitalizacji, w którym pierwszorzędną rolę odgrywają tendencje proekologiczne promujące zrównoważony rozwój.

Jednym z założeń był proekologiczny system dla wód opadowych jako odpowiedź na powtarzające się zalania i powodzie na terenie osiedla (rys. 34). Kluczem do rozwiązania stało się lokalne rozprowadzanie wód opadowych po terenie, dzięki któremu zmniejszył się spływ powierzchniowy i przeciążenie kanalizacji ściekowej.

Autorem systemu wodnego jest entuzjasta-amator Morten Ovesen, który zaproponował sposób odprowadzania za pomocą otwartych kanałów. Spływy z dachów łapano są przez mniejsze kanały, które prowadzą wodę do większych kanałów zbiorczych. Na ich dnie umieszczone są niewielkie wypukłe „łzy”. Nie tylko dodają one uroku płynącej wodzie, ale sprawiają, że na dnie kanału nie gromadzą się drobne zanieczyszczenia, a woda porusza się nawet przy minimalnym spadku.

W systemie wodnym Augustenborg zaprojektowano dwie fazy. W pierwszej fazie wody z opadów zatrzymane są w jednym ze stawów oraz tymczasowym przelewem dla wód powodziowych, określanym jako duży teren bagienny. Druga obejmuje spływy z powierzchni nieprzepuszczalnych, prowadzone półnaturalnymi strumieniami do drugiego stawu retencyjnego i terenu bagiennego w parku osiedlowym. W efekcie końcowym opóźnia się lub zatrzymuje w terenie ok. 70% spływu wód opadowych.

⁸ Wszystkie informacje na podst.: [www.ekostaden.com/...](http://www.ekostaden.com/) (szczegółowy adres zawarty w bibliografii).



Rys. 34. Schemat osiedla Augustenborg z wyszczególnieniem układu wodnego, Malmö
 Fig. 34. Scheme of Augustenborg housing-estate with water arrangement, Malmö

Część wód zostaje przechwycona na zielonych dachach zespołu połączonych ze sobą budynków, które wspólnie tworzą ogród botaniczny o pow. 9500 m². Jako siedlisko licznych gatunków roślin i zwierząt jest on w stanie zatrzymać 70% deszczu, który na niego spadnie.

Efekt krajobrazowy: osiedle przecinają liczne kanały wodne, które tworzą sieć odwadniającą na kształt układu cieków w naturalnej zlewni. Staw stał się głównym elementem terenów wypoczynkowych dla mieszkańców i miejscem życia dla roślin i zwierząt siedliska wodnego. Wprowadzenie otwartej wody ożywiło starą architekturę osiedla, a prosta forma kanałów w delikatny sposób podkreśliła jego układ kompozycyjny. Poprzez nawiązanie do natury system nadał również spójność całemu założeniu. Dodatkowym walorem stały się elementy roślinności wodnej oraz zielone dachy jako unikatowy, ważny wyróżnik krajobrazowy (fot. 31).



Fot. 31. Urządzenia zrównoważonego systemu drenażu na osiedlu Augustenborg: a, c – staw retencyjny; b – kanał wodny; d – odprowadzanie z rury spustowej; e, f – Ogród Botaniczny na dachu (fot. A. Drapella-Hermansdorfer – a-d, www.greenroof.se – e-f)

Phot. 31. Sustainable drainage system techniques in the Augustenborg housing-estate: a, c – retention pond; b – water channel; d – water carrying from rainwater pipe; e, f – Botanical Garden on the roof

9.1.8. Dzielnica Fornebu, Oslo – Norwegia⁹

Autor: The Norwegian Directorate of Public Construction and Property, Oslo Municipality

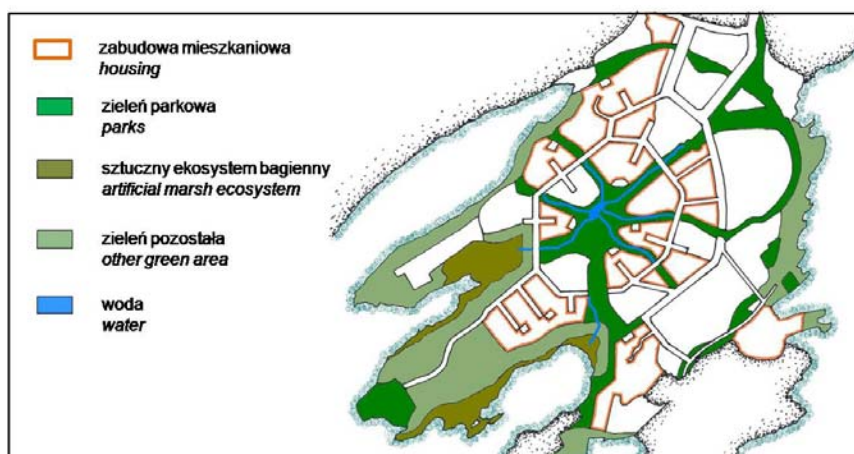
Powierzchnia: 310 ha

Wykonanie: 1998–2003

Typ przedsięwzięcia: nowa inwestycja

Typ krajobrazu: tereny mieszkaniowo-usługowe z terenem przemysłowym

Charakterystyka: jest to założenie wybudowane na terenie dawnego lotniska Fornebu (część Oslo), które przeznaczono pod zabudowę osiedlową oraz przemysłową. W kompozycji przestrzennej wzięto pod uwagę aspekty zrównoważonego gospodarowania wodą opadową. Tereny nowej zabudowy układają się w pierścień wokół centralnie położonego parku wypoczynkowego (rys. 35). Zabudowa wewnątrz pierścienia podzielona jest na obszary. W każdym z nich odprowadza się wodę do własnego stawu odstożnikowego, skąd przedostaje się ona systemem przelewowym do dużego zbiornika retencyjnego, położonego na terenie parku. Trzecim, ostatnim odbiornikiem wód są tereny bagienne, znajdujące się już poza obszarem osiedla. Tu woda poddana oczyszczaniu za pomocą roślin – wsiąka w podłoże, zasilając wody gruntowe. Tereny bagienne są zatem głównym odbiorcą wód spływających z osiedla. Spełniają także rolę terenu chronionego ze względu na obecność rzadkich gatunków roślin i ptaków.



Rys. 35. Schemat pierścieniowego układu założenia Fornebu, Oslo
Fig. 35. Scheme of segmented structure of Fornebu housing-estate, Oslo

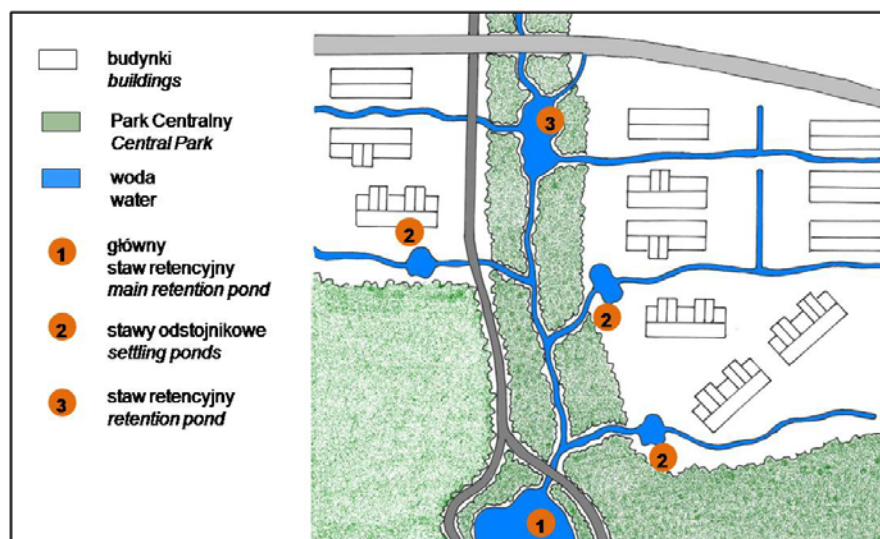
Gospodarowanie wodą opadową w Fornebu ma na celu zabezpieczenie jej jako źródła wody dla środowiska naturalnego oraz elementu rekreacji mieszkańców osiedla.

Efekt krajobrazowy: układ osiedla wynika z jego funkcji chroniącej zasoby wód opadowych, co zostało wykorzystane i podkreślone w krajobrazie. Spływy uszczelnio-

⁹ Wszystkie informacje na podst. [Ástebøl, Hvitved-Jacobsen 2001, [www.statsbygg.no/...](http://www.statsbygg.no/)] (szczegółowy adres zawarty w bibliografii).

nych terenów zabudowanych prowadzone są do stawów odstożnikowych rynnami, kanałami, podłużnymi nieckami i rowami (rys. 36). Ich budowa nawiązuje do wyglądu naturalnych cieków wodnych – są kręte, o niewielkim spadku, często wyłożone kamieniami lub podkreślone roślinnością wodolubną. Roślinność jest elementem dopełniającym, a jej naturalny układ w krajobrazie osiedla tworzy doskonałe powiązanie z przylegającymi terenami bagiennymi.

Zastosowany układ przelewowy naśladuje funkcjonowanie naturalnej zlewni, gdzie woda retencjonuje na poszczególnych etapach, zanim dotrze do głównego odbiornika.



Rys. 36. Schemat fragmentu układu wodnego Fornebu z systemem stawów odstożnikowych, Oslo
Fig. 36. Scheme of fragment of water arrangement in Fornebu with clarification plant ponds system, Oslo

9.1.9. „Ogrody deszczowe” w zlewni jeziora Crystal, Burnsville – Stany Zjednoczone¹⁰

Autor: Barr Engineering Company z udziałem Leslie Yetka

Powierzchnia: brak danych

Wykonanie: 2002–2003

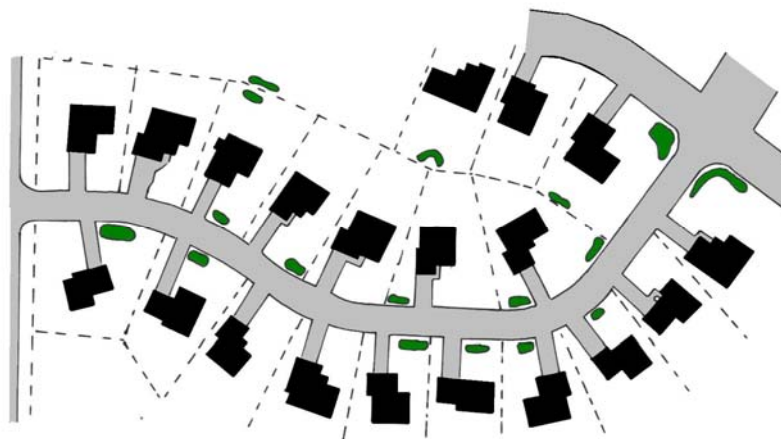
Typ przedsięwzięcia: modernizacja

Typ krajobrazu: tereny osiedlowe

Charakterystyka: powodem zastosowania systemu „ogrodów deszczowych” w Burnsville była chęć zmniejszenia zagrożenia powodziowego, a także – zanieczyszczenia jeziora Crystal przez spływy burzowe. Zauważono bowiem, że 85% zanieczyszczeń rzek i jezior Minnesoty – w tym jeziora Crystal – pochodzi z kanalizacji deszczowej, przy czym pierwsza faza jest najmocniej zanieczyszczona – niesie ze sobą śmieci

¹⁰ Wszystkie informacje na podst.: [www.landandwater.com/...] (szczegółowy adres zawarty w bibliografii).

i substancje ropopochodne z nieprzepuszczalnych powierzchni dróg, placów, chodników. Miasto nie miało możliwości stworzenia zbiorczego stawu retencyjnego dla wód opadowych, więc zaczęto się zastanawiać nad innymi sposobami ograniczenia spływów. Po przeanalizowaniu budżetu, pożądanych korzyści i możliwych sposobów poprawy sytuacji miasta zdecydowano się na wprowadzenie systemu „ogrodów deszczowych”. Dla zmierzenia efektywności działania ogrodów (filtracja wód opadowych i zasilanie wód podziemnych) wykonano projekty dla dwóch osiedli. Jeden z nich przewidywał urządzenie ciągu ogrodów wzdłuż jednej ulicy jako poligonu doświadczalnego (rys. 37).



Rys. 37. Układ „ogrodów deszczowych” w obrębie ulicy, Burnsville
Fig. 37. Arrangement of rain gardens in street structure, Burnsville

W projekcie tym zadeklarowało swój udział 85% mieszkańców wybranej ulicy. Łącznie urządzono tam 17 ogrodów na 14 parcelach, w tym 13 na froncie domu, a 4 za domem. Przed wykonaniem projektu przeprowadzono badania nad ilością zanieczyszczeń prowadzonych z tej części osiedla do jeziora Crystal, aby po zakończeniu móc ocenić efektywność systemu.

Układ i skład gatunkowy roślin został dopasowany do naturalnych warunków środowiskowych – rodzaju i jakości gleby, nasłonecznienia – oraz warunków prawa lokalnego. Architekt krajobrazu opracował 3 warianty podstawowe: ogród bylinowy, naturalistyczny oraz krzewiasty. Mieszkańcy mieli możliwość wyboru określonego typu lub ich kombinacji. Większość wybrała kombinację bylin i krzewów.

Po pewnym czasie funkcjonowania „ogrodów deszczowych” wykonano ponowne badania. Wykazały one, że spływ z modelowego osiedla do jeziora Crystal zmniejszył się nawet o 90% w stosunku do spływu z ulic nie objętych projektem. Obecnie wciąż prowadzone są obserwacje „ogrodów deszczowych” i ich wpływu na jakość wód powierzchniowych.

Efekt krajobrazowy: „ogrody deszczowe” Burnsville bazują na prostym założeniu kompozycyjnym. Zbudowano je w obniżeniu, przystosowując tym samym do gromadzenia większej ilości wody w czasie opadów. Część ścian niecki została umocniona, inne zabezpieczone przed erozją. Wody płynące ulicami przedostają się do „ogrodów deszczowych”

w określonych miejscach przez specjalnie wyprofilowany krawężnik. Wspólnie tworzą pewien rytm rozwiązań ozdobnych, podnoszących walory estetyczne wzdłuż ulicy.

System „ogrodów deszczowych” okazał się rozwiązaniem prostym, ekologicznym i korzystnym dla zasobów wodnych. Stał się też wyróżnikiem krajobrazowym osiedla, zaś w skali poszczególnych działek – wizytówką ich gospodarzy. Każda posesja posiada inną kombinację roślinną, ale cały system jest czytelny jako jednolite zagospodarowanie przedogródków.

9.1.10. Osiedle Bo01, Malmö – Szwecja¹¹

Autor: zespół architektów i developerów pod kierownictwem City of Malmö (ok. 80 dużych i małych firm)

Powierzchnia: 25 ha (na 160 ha Zachodniego Wybrzeża)

Wykonanie: 2001–2006

Typ przedsięwzięcia: nowa inwestycja

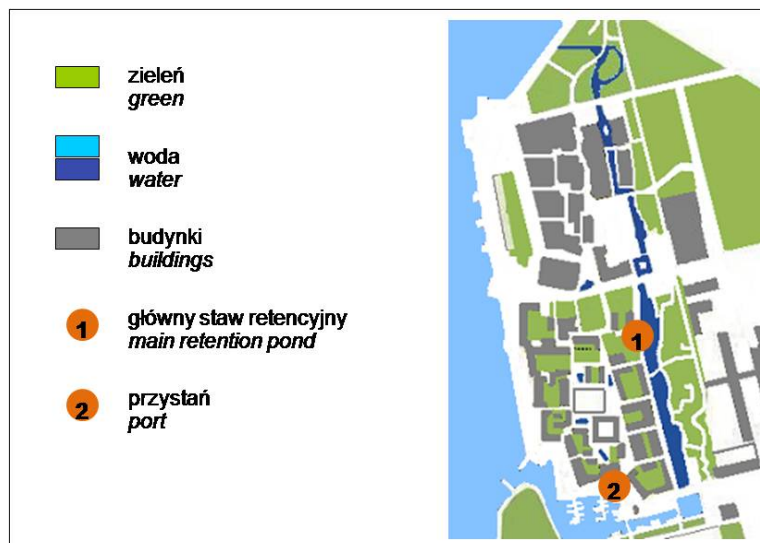
Typ krajobrazu: tereny usługowo-mieszaniowe

Charakterystyka: Bo01 to osiedle, do którego podstawowych założeń należy zrównoważona zabudowa, funkcjonująca w oparciu o ekologiczne materiały i technologie, recycling materiałów wtórnych oraz odnawialne źródła energii. Jedną z zasad proekologicznego funkcjonowania osiedla jest gospodarka wodna wykorzystująca wody opadowe.

Roczna suma opadów występujących w tej części Szwecji osiąga wartości 700–800 mm. Koncepcja wodna polega przede wszystkim na zmniejszeniu spływów burzowych i powierzchniowych, a przez to odciążeniu kanalizacji i odbiornika ścieków. W pierwszej kolejności wody opadowe są absorbowane przez licznie występujące „zielone dachy”, które tworzą jednocześnie miejsca wypoczynkowe dla mieszkańców. Niewykorzystane spływy prowadzone są otwartymi kanałami do głównego odbiorcy – dużego stawu retencyjnego. Na całym osiedlu licznie występują małe i większe powierzchnie retencyjne w postaci obniżen terenu lub zbiorników z wodą, obsadzonych wodolubną roślinnością. Ma to ogromne znaczenie dla poprawy klimatu osiedla, a tym samym wpływa na zasoby wodne tego terenu.

Efekt krajobrazowy: główny zbiornik retencyjny leży poza zwartą zabudową, chociaż rozciąga się wzdłuż całego założenia, równoległe do nabrzeża po drugiej stronie osiedla (rys. 38). Został on obsadzony roślinnością wodolubną, z ciekawymi detalami architektonicznymi w postaci mostków, platform, ławek i rzeźb – podkreślającymi estetyczny charakter całości. Kanały, prowadzące wodę opadową do stawu, mają ozdobny charakter, tak jak obniżenia roślinne i mniejsze zbiorniki wpisane w układ kompozycyjny podwórek oraz ulic. System wodny jest tu integralną częścią osiedla. Jego oprawa architektoniczna (rynny, mostki, przelewy) powtarza materiały charakterystyczne dla otoczenia, a odpowiednio dobrane gatunki roślin – również w innych częściach osiedla – współtworzą klimat nadwodnej enklawy. Elementy wodne są niejako podstawą tego założenia leżącego nad zatoką morską (fot. 32, 33).

¹¹ Wszystkie informacje na podst.: [www.ekostaden.com/...; www.malmo.se; www.cmhc-schl.gc.ca/...; www.eaue.de/...] (szczegółowy adres zawarty w bibliografii).

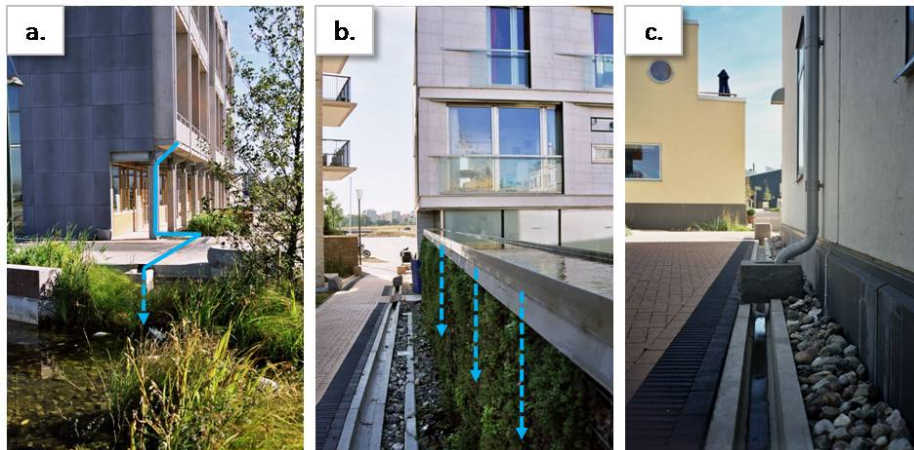


Rys. 38. Układ osiedla Bo01, Malmö (opracowanie własne na podstawie ulotki)
 Fig. 38. Arrangement of Bo01 housing-estate, Malmö (prepared by author on the base of handbill)



Fot. 32. Urządzenia zrównoważonego systemu drenażu na osiedlu Bo01: a – mały zbiornik retencyjny; b-c – staw retencyjny; d – zbiornik retencyjny zbierający wodę z dachu (fot. A. Drapella-Hermansdorfer)

Phot. 32. Sustainable drainage system techniques in the Bo01 housing-estate: a – little retention pond; b-c retention pond; d – retention reservoir for rainwater from roof



Fot. 33. Elementy systemu gospodarowania wodą opadową, osiedle Bo01: a – powierzchnia retencyjna; b – przegroda z mchów nawadniana wodą z rynny; c – odprowadzanie wody z dachu (fot. A. Drapella-Hermansdorfer)

Phot. 33. Stormwater management system elements, housing-estate Bo01: a – retention surface; b – barrier from mosses irrigated by water from gutter; c – water carrying

9.1.11. Osiedle Millennium Village, Londyn – Wielka Brytania¹²

Autor: Erskine & Tovatt z udziałem EPR Architects (I Etap) i Proctor and Matthews (II Etap)

Powierzchnia: 25 ha (I i II Etap)

Wykonanie: 1999–2007

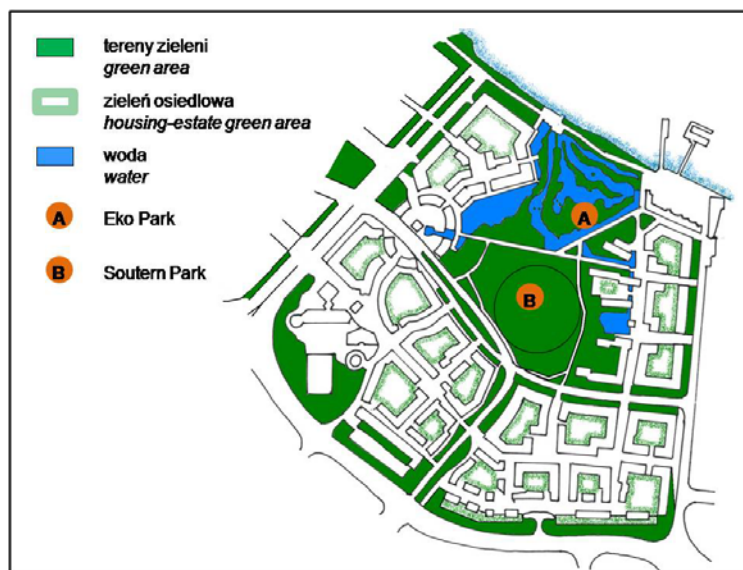
Typ przedsięwzięcia: nowa inwestycja

Typ krajobrazu: tereny usługowo-mieszaniowe

Charakterystyka: jest to nowoczesne osiedle we wschodniej dzielnicy Londynu, planowane jako modelowe założenie bazujące na zasadach zrównoważonego rozwoju (rys. 39). Osiedle powstawało na kilku etapach.

Jednym z założeń projektu jest zrównoważone gospodarowanie wodą, rozpatrywane w bardzo szerokim kontekście. Zaplanowano system drenażu dla wód opadowych, dający korzyści środowisku naturalnemu. Oprócz tego część opadów gromadzona jest w podziemnych zbiornikach, a następnie użyta do spłukiwania toalet w celu zaoszczędzenia wody najwyższej jakości. Innym działaniem jest odzyskiwanie wód z mycia czy prania, oczyszczenie ich i ponowne użycie w gospodarstwie domowym. Wody oczyszczane są dzięki oczyszczalni roślinnej, którą jest ogromny staw retencyjny na terenie osiedla.

¹² Wszystkie informacje na podst.: [www.est.org.uk/...; www.greenwichpeninsula.co.uk/...; www.users.tpg.com.au] (szczegółowy adres zawarty w bibliografii).



Rys. 39. Plan osiedla Greenwich Millenium Village, Londyn
 Fig. 39. Plan of the Greenwich Millenium Village housing-estate, London



Fot. 34. Elementy Eko Parku na osiedlu Millenium Village: a, b – staw retencyjny; c – obserwatorium ptaków; d – drewniane pomosty do poruszania się nad stawem (fot. a, b, c – A. Drapella-Hermansdorfer, d – M. Zienowicz)
 Phot. 34. Eko Park elements in the Millenium Village housing-estate: a-b – retention pond; c – bird observatory; d – wooden platforms for moving over the pond

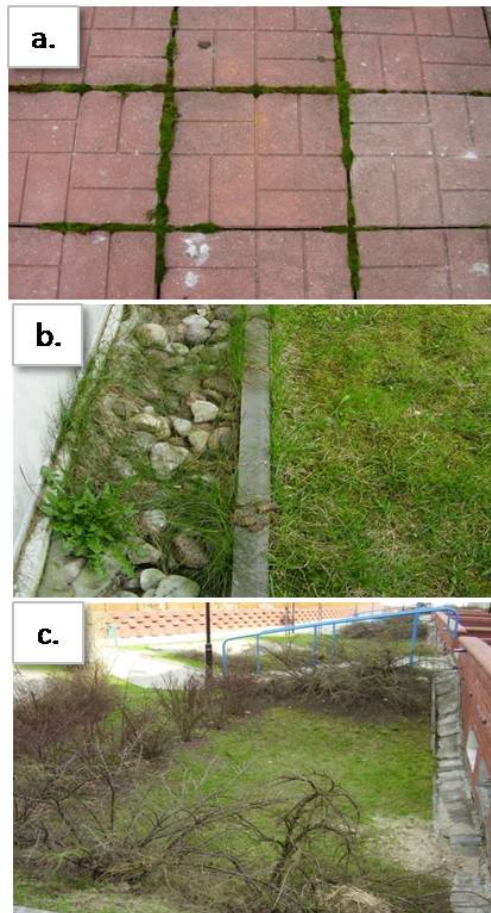
Efekt krajobrazowy: system gospodarowania wodą opadową został zintegrowany z założeniem całego osiedla. Zbudowany jest z elementów prowadzących wody opadowe – kanałów, niecek, rowów – oraz elementów gromadzących, z których największe znaczenie krajobrazowe ma staw retencyjny (fot. 34). Staw ma miętko, swobodnie ukształtowane brzegi zarośnięte trzcina, dzięki czemu stał się bogatym siedliskiem roślin i ptactwa wodnego, udostępnianym jako Eco-Park. Można go podziwiać z okien pobliskich domów, z pozycji przechodnia (ścieżkami są drewniane podesty), a także z altan dydaktycznych, z których można obserwować ptaki. Cały teren przechodzi płynnie w Southern Park, tworząc duży, naturalistyczny teren rekreacyjno-wypoczynkowy.

9.2. Przykłady polskie

Gospodarowanie wodą opadową na terenach zurbanizowanych ma w Polsce jeszcze krótką historię. Brak jest podejścia strategicznego, a pojedyncze urządzenia stosowane są jak dotąd w małym zakresie bez większego wpływu na zasoby wodne. Trudno zatem mówić o zrównoważonych systemach drenażu, ich funkcjonowaniu, wpływie na środowisko i życie człowieka. Istnieje jednak parę przykładów przybliżających naukę polską do zagadnienia zarządzania zasobami wód opadowych.

W latach 90. XX w. zaczęto wprowadzać pierwsze systemy odprowadzania wód opadowych [Nowakowska-Błaszczuk 2004]. Nie były to jednak rozwiązania krajobrazowe, ale inżynierskie, kładące nacisk przede wszystkim na efekt środowiskowy. Wprowadzony na osiedlu Wilga VII w Warszawie system infiltracyjny był na owe czasy rozwiązaniem nowatorskim, mimo to nie miał większego wpływu na zmianę podejścia organów ustawodawczych i administracyjnych do zrównoważonego gospodarowania wodą opadową w mieście. Nie zyskał też szerszego zainteresowania inwestorów i społeczeństwa. Po latach widać, że niedostatek wiedzy i doświadczenia na temat ZSD spowodował brak odpowiedniej kontroli systemu, a przez to zaprzepaszczenie idei gospodarowania wodą opadową (fot. 35).

Przybliżenie do zagadnień ZSD dały kolejne przykłady odzyskiwania wód opadowych, w których zastosowano retencjonowanie w stawach obsadzonych roślinnością [Wolski 1997]. Także obecnie coraz silniej zaznacza się tendencja wykonywania stawów retencyjnych w nowych założeniach mieszkaniowych – brakuje w niej jednak głębszej filozofii i skonkretyzowania celu, jakim powinna być poprawa stosunków wodnych terenów zurbanizowanych. Przykładem może być zespół mieszkaniowy Marina Mokotów w Warszawie. Zaprojektowany tam ogromny staw retencyjny ma służyć retencjonowaniu wód opadowych, jednak w tak dużym założeniu brak innych elementów systemu, pozwalających na odzyskiwanie tych wód z nawierzchni nieprzepuszczalnych i dachów domów oraz wykorzystanie ich do nawadniania terenów zieleni. Podobnie jest na osiedlu Bolero, które ma wiele elementów sprzyjających gospodarowaniu wodą opadową – obniżenia roślinne, kanały wodne, otwarte rury spustowe. Jak wynika z relacji zarządcy, układ wodny ma jednak obieg zamknięty wody, zasilany jedynie przez wodę wodociągową (fot. 36).



Fot. 35 a, b, c: Negatywne skutki nieprawidłowego funkcjonowania urządzeń infiltracyjnych na osiedlu Wilga VII w Warszawie (fot. E. Kozłowska)

Phot. 35 a, b, c: Negative results of faulty exploitation of the infiltration system in the Wilga VII housing-estate in Warsaw

Karty obiektów polskich zawierają 2 przykłady zasługujące na szczególną uwagę. Są to jedne z pierwszych, kompleksowo rozwiązanych systemów dla wód opadowych, budową i funkcją zbliżone do rozwiązań zagranicznych. Istotny jest przy tym udział architekta krajobrazu w przedsięwzięciach, a dzięki temu krajobrazowy charakter założeń.



Fot. 36. Zbiornik wodny na osiedlu Bolero, Warszawa (fot. E. Kozłowska)
Phot. 36. Water reservoir in the Bolero housing-estate in Warsaw

9.2.1. RJR Tobacco-Poland, Piaseczno – Polska¹³

Autor: Przemysław Wolski, SGGW

Powierzchnia: brak danych

Wykonanie: 1992

Typ przedsięwzięcia: modernizacja

Typ krajobrazu: tereny przemysłowe

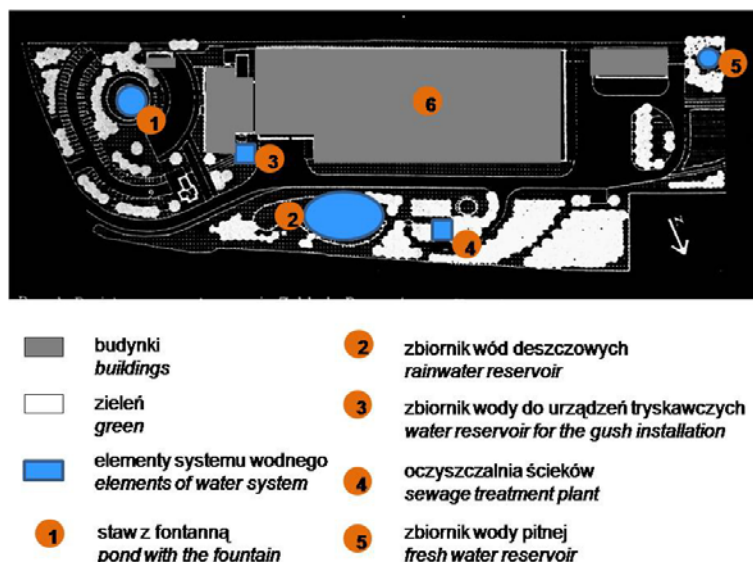
Charakterystyka: system gospodarowania wodą na terenie zakładów tytoniowych RJR TOBACCO-POLAND składa się z urządzeń doprowadzających, oczyszczających i retencjonujących. Jego funkcją jest odzyskiwanie wód pościekowych, opadowych i drenażowych (rys. 40).

Ścieki przemysłowe i bytowe oraz wody opadowe pierwszej fali, jako mocno zanieczyszczone, trafiają do oczyszczalni biologicznej. Następnie gromadzone są w stawie stabilizacyjnym, do którego spływają również wody drenażowe i opadowe drugiej fali. Zbiornik stabilizacyjny służy do podczyszczania i retencjonowania zgromadzonych wód, które w efekcie końcowym są wykorzystane do nawadniania terenów zieleni i zmywania nawierzchni. Część wody ze stawu stabilizacyjnego zasila również fontannę, która rozpyla ją w powietrzu. Niewykorzystane nadmiary wód odprowadzane są do pobliskiego rowu melioracyjnego.

Efekt krajobrazowy: jest to jeden z pierwszych w Polsce przykładów zintegrowanego podejścia do gospodarowania wodą (w tym wodą opadową) na terenie zurbanizowanym.

¹³ Wszystkie informacje na podst.: [Wolski 1997].

Udział w projekcie architekta krajobrazu spowodował, że proponowany system stał się nie tylko rozwiązaniem inżynierskim, ale też krajobrazowym. System odzyskiwania wód zawiera typowe dla ZSD urządzenia typu staw retencyjny czy biologiczna oczyszczalnia ścieków, w których ogromne znaczenie ma roślinność. Dodatkowym walorem jest zbiornik z fontanną, przystosowany do odbioru nadwyżki wody. Jest to element typowo estetyczny, jakie nie często spotyka się w zagospodarowaniu terenów przemysłowych.



Rys. 40. Plan zagospodarowania terenu zakładów RJR TOBACCO (opracowanie własne na podst. [Wolski 1997])

Fig. 40. Plan of RJR TOBACCO development (prepared by author on the base: [Wolski 1997])

9.2.2. Osiedle Błękitne, Siechnice k. Wrocławia – Polska¹⁴

Autor: Alina Drapella-Hermansdorfer, Paweł Ogielski, Ryszard Majewicz, Ewa Kozłowska, Piotr Świętek

Powierzchnia: 1,5 ha

Wykonanie: 2004

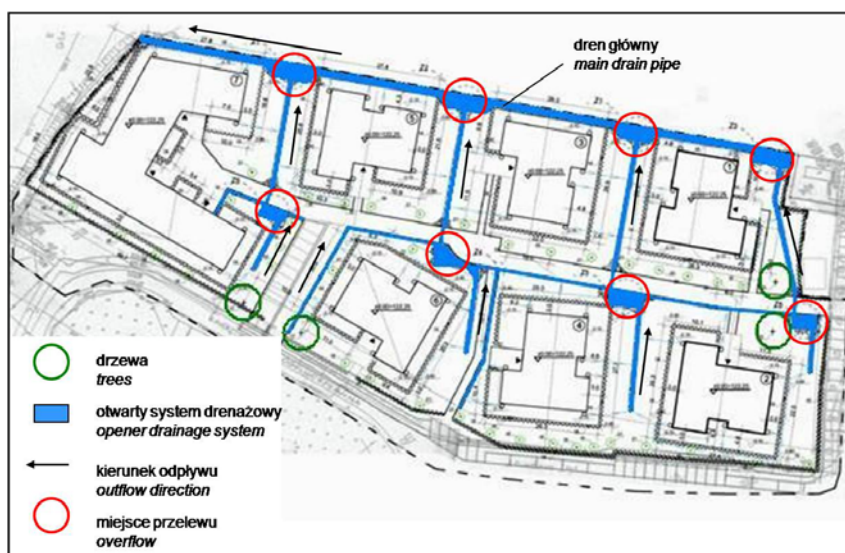
Typ przedsięwzięcia: nowa inwestycja

Typ krajobrazu: tereny osiedlowe

Charakterystyka (założenia projektowe): jedną z przyczyn zastosowania ZSD na osiedlu Błękitne była powódź z 1997 r., której skutki dotknęły także Siechnice. Przy projektowaniu systemu inspiracją dla autorów stały się światowe przykłady zrównoważonych działań w zakresie gospodarowania wodą opadową, a zwłaszcza amerykański program LID oraz brytyjski system SUDS.

¹⁴ Wszystkie informacje na podst. danych własnych, inwentaryzacji oraz literatury [Drapella-Hermansdorfer i in. 2004].

Błękitne to zespół sześciu budynków mieszkalnych o czterech kondygnacjach, rozciągający się na wąskiej działce o powierzchni 1,5 ha¹⁵. Od południa działka graniczy z lokalną drogą dojazdową, a od północy z kanałem odwadniającym, tzw. Kocim Rowem, który w założeniach jest głównym odbiorcą nadmiaru wód opadowych dla osiedla. Układ osiedla został zaprojektowany tak, aby móc wydzielić strefy z różnymi typami odpływów deszczowych. Wody z głównej drogi dojazdowej oraz parkingów (mocno zanieczyszczonej) są odprowadzane w sposób tradycyjny, niezależny od rozwiązań reszty osiedla. Pozostały obszar został podzielony na wododziały wewnętrzne, których granicami są osie odbiorników wód, położone w najniższych częściach zlewni. Budynki mieszkalne leżą zaś w częściach najwyższych (rys. 41).



Rys. 41. Układ zrównoważonego drenażu na terenie osiedla Błękitne, Siechnice (opracowanie własne na podst. materiałów projektowych)

Fig. 41. Arrangement of sustainable drainage system in the Błękitne housing-estate, Siechnice

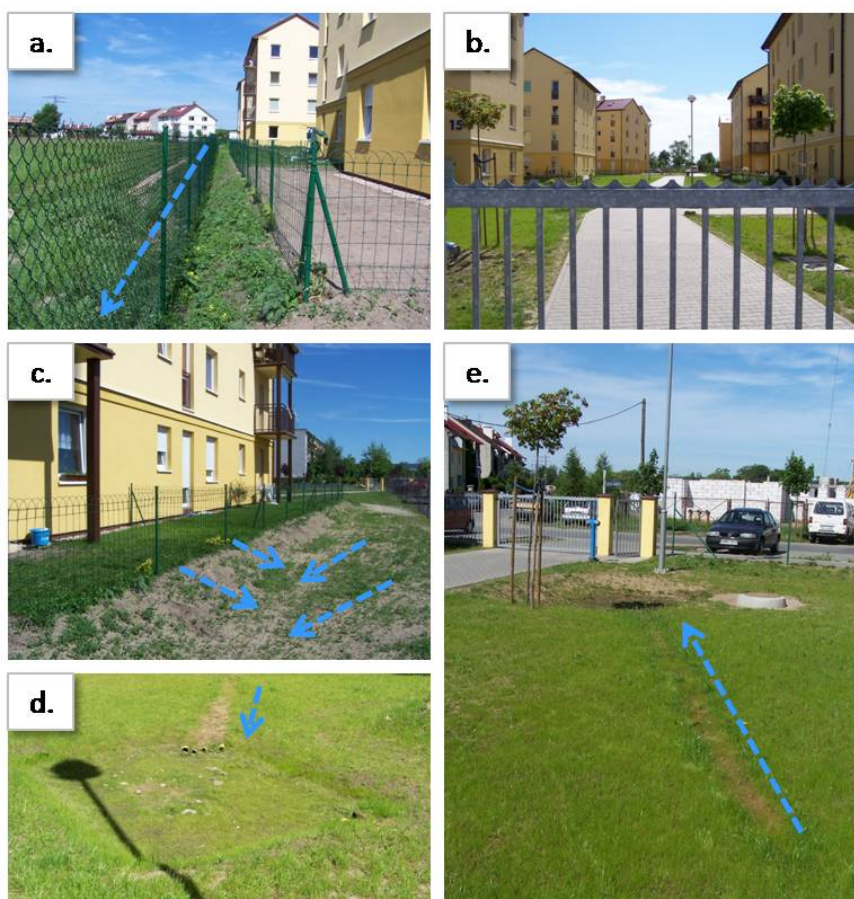
Wody opadowe spływają z dachów rynnami i rurami spustowymi, a następnie trafiają do odbiorników, którymi w założeniach miały być połączone ze sobą obniżenia terenowe w postaci niecek i pasaży roślinnych oraz płytkie rowy o łagodnym nachyleniu skarp¹⁶. Zaplanowano też łączenie się ze sobą systemem przelewowym urządzeń odprowadzających w obrębie poszczególnych wododziałów, co jest niezbędnym rozwiązaniem w przypadku deszczów nawalnych. Po wschodniej stronie osiedla zaplanowano dren główny jako odbiorcę wód ze wszystkich wododziałów. Dren główny łączy się

¹⁵ Projekt przewidywał siedem budynków, jednak zrealizowano tylko sześć.

¹⁶ Niezależnie od projektanta w wielu miejscach zrealizowano jednak odprowadzanie podpowierzchniowe.

z Kocim Rowem i ma odprowadzać jedynie nadmiar wód opadowych podczas deszczów nawalnych lub długotrwałych i intensywne, ale dopiero po wypełnieniu się lokalnego zbiornika wód podziemnych.

Efekt krajobrazowy (wykonanie): gospodarowanie wodą opadową na osiedlu Błękitne przypomina funkcjonowanie naturalnej zlewni – systemu zbiorników przelewowych, dzięki którym zmniejsza się ilość wody na kolejnych etapach przepływu. Podstawą systemu jest infiltracja jak największej ilości wody do gruntu lub zatrzymanie jej na powierzchniach chłonnych (terenach zieleni), a dopiero potem odprowadzenie jej do wód powierzchniowych (rys. 37).



Fot. 37. Osiedle Błękitne w Siechnicach: a – przebieg drenu głównego; b – widok ogólny na osiedle; c – mulda chłonna; d – niecka retencyjna z doprowadzaniem wody opadowej; e – kierunek spływu wody do niecki (fot. E. Kozłowska)

Phot. 37. Błękitne housing-estate, Siechnice: a – main drainage pipe direct; b – general view of the housing; c – absorbent swale; d – retention basin with rainwater inflow; e – water flow direct to the basin

Z przyczyn niezależnych od projektantów, niektóre urządzenia otwarte zamieniono na podziemne. Zachowany został jednak podział na mikrozewnie i układ odbiorników wód – pośrednich i głównych. Pomimo niezgodności projektowych analiza systemu wykazała, że funkcjonuje on zgodnie z założeniami, co jest najistotniejszym elementem przedsięwzięcia.

Jak pokazują zaprezentowane zagraniczne i polskie przykłady, proekologiczne systemy gospodarowania wodą opadową to rozwiązania indywidualne, dopasowane do charakteru miejsca i możliwości inwestycyjnych. Bezspornie wpływają one na krajobraz, nadając mu zrównoważone cechy i przywracając naturalne funkcjonowanie. Różnorodność rozwiązań zależnych od warunków terenowych, kierunków działania oraz preferencji wykonawców i użytkowników – daje ogromne możliwości w tworzeniu nowych koncepcji, a tym samym rozwoju dziedziny, jaką jest gospodarowanie wodą opadową.

Proces kształtowania ZSD w krajobrazie miasta uwarunkowany jest wieloma czynnikami, w tym edukacyjnym i prawnym. W Polsce nie zostały one jednak dopracowane w stopniu pozwalającym na projektowanie proekologicznych urządzeń i systemów. Tylko kompleksowe podejście do gospodarowania wodą opadową może przyczynić się do osiągnięcia głównego celu, jakim jest poprawa stosunków wodnych na terenach zurbanizowanych.

10. Wykorzystanie zrównoważonych systemów drenażu (ZSD) w architekturze krajobrazu

Zagadnienie planowania ZSD stało się na świecie odrębną dziedziną wiedzy i praktyki, a tym samym ważnym elementem kształtowania przestrzeni, w której żyje człowiek – od małego ogrodu poprzez przestrzeń publiczną aż do założeń wielkoprzestrzennych. Istotną rolę w kształtowaniu ZSD pełni architektura krajobrazu, ponieważ jako dziedzina z pogranicza wielu dyscyplin łączy wiedzę techniczną z przyrodniczą, kulturową i społeczną, szukając jednocześnie indywidualnych, estetycznych rozwiązań. Praktyka pokazuje, że w Polsce proces wdrażania ZSD jest jeszcze bardzo trudny, głównie z powodu niewiedzy dotyczącej korzyści, jakie przynoszą te systemy w zastosowaniach praktycznych.

10.1. Aspekt edukacyjny

Jednocześnie z wyodrębnieniem się proekologicznego gospodarowania wodą opadową jako nowej dyscypliny w zakresie zrównoważonego zarządzania środowiskiem zaistniała potrzeba szkolenia specjalistów w tym zakresie. Pierwsze ZSD powstawały w wyniku współpracy interdyscyplinarnej, choć niekiedy łączono je głównie z branżą inżynierską (urządzenia techniczne). Obecnie na wielu światowych uczelniach tworzy się odrębne kursy dla inżynierów, architektów i architektów krajobrazu, kształcące w specjalności gospodarowania zasobami wodnymi lub w jeszcze węższym pojęciu: gospodarowania spływami wód opadowych.

Jednym z nich jest prowadzony w Anglii na Uniwersytecie Aberty Dundee kurs wykonywania Zrównoważonego Drenażu Miejskiego SUDS¹. Należy on do tzw. grupy CPD (Continuing Professional Development), czyli szkoleń poszerzających wiedzę w ramach „kształcenia ustawicznego”. Jego zadaniem jest zapoznanie uczestników z funkcjonowaniem SUDS oraz upowszechnianie wiedzy na temat przydatności tego typu technologii. Uczestnicy uczą się projektować proekologiczne systemy drenażu, nabierając jednocześnie umiejętności współpracy z profesjonalistami innych branż. Kurs kończy się otrzymaniem certyfikatu, który uprawnia do wykonywania SUDS².

¹ Kurs jest akredytowany przez CIWEM (The Chartered Institution of Water and Environmental Management).

² Informacje na podst. UK SUDS Database [www.suds-sites.net].

Wzrost znaczenia gospodarowania wodą opadową w procesie projektowym oraz potrzeba uzupełniania wiedzy z tej dziedziny spowodowały pojawienie się doszkalających kursów internetowych. Wiele z nich rekomendują pozarządowe organizacje lub stowarzyszenia zajmujące się badaniami naturalnych zasobów środowiska, w tym zasobów wodnych. Informacje przekazywane są w systemie *e-learning* przez prezentacje, seminaria oraz dokumenty elektroniczne³. Podobnie jak w systemie tradycyjnym kurs daje możliwość uzyskania licencji odpowiednio punktowanej w systemie edukacji permanentnej⁴.

Aspekt edukacyjny uwzględnia się również w realizacjach ZSD. Na wielu osiedlach pojawiają się beczki do gromadzenia wód opadowych (Messestadt Riem, Monachium), tablice wyjaśniające działanie poszczególnych elementów drenażu (Regionalny Park Fairland, Prince Georges County; Plac Poczdamski, Berlin; Millennium Village, Londyn) i tym podobne elementy małej architektury, które mają przekonać społeczeństwo do oszczędzania wody pitnej.

W Polsce brakuje informacji dotyczących zrównoważonego gospodarowania wodą opadową. Nieliczne artykuły o stosowaniu ZSD pojawiają się w specjalistycznych mediach technicznych, lecz nie mają przełożenia praktycznego. Brakuje nie tylko edukacji zwykłych obywateli oraz projektantów, ale przede wszystkim organów ustawodawczych. Edukacja w zakresie ZSD powinna objąć w pierwszej kolejności państwowe i lokalne gremia decyzyjne oraz ustawodawcze. Od nich bowiem będzie zależeć ustanawianie prawa dotyczącego proekologicznych systemów drenażu, a tym samym wprowadzenia wymogów stosowania tych systemów, co da korzystny efekt dla środowiska. Na dalszym etapie edukacji nie bez znaczenia będą akcje społeczne promujące gospodarowanie wodą opadową na podobieństwo istniejących akcji np. zbierania śmieci, segregowania odpadów itp. Akcje powinny uzmysławiać obywatelom pozytywną rolę wody opadowej dla terenów zabudowanych oraz pokazywać proste możliwości budowy systemów jej odzyskiwania.

10.2. Aspekt prawny

Planowanie zrównoważonych systemów drenażu powinno być uwarunkowane nie tylko ideą i potrzebą, ale przede wszystkim przepisami prawa. Po 1992 r. nastąpił zwrot w postrzeganiu zależności człowiek-środowisko, a tym samym w polityce ustawodawczej państw członkowskich ONZ, które podpisały Agendę 21. To z kolei pociągnęło za sobą zmiany w sferze działań projektowych i wykonawczych, mniej lub bardziej związanych z kształtowaniem krajobrazu. W wielu krajach zachodnich, dzięki regulacjom prawnym, aspekt zrównoważonego gospodarowania wodą opadową uwzględniany jest już na etapie projektowym.

³ Zajęcia prowadzone bezpośrednio przez Internet.

⁴ Kursy takie powstają np. w Stanach Zjednoczonych. Funkcjonuje tam system polegający na poszerzaniu zakresu wiedzy zawodowej za pomocą różnych źródeł akredytowanych, niekoniecznie uczelni wyższych. Każdy kurs daje odpowiedni kredyt PDH (Professional Development Hours), zależny od jego poziomu. [<http://www.nspe.org/lc1-cpc.asp>; <http://www.sae.org/events/training/pdh/>]

W polskim prawie⁵ brak jednoznacznej definicji zasobów wodnych, a termin ten stosuje się głównie w stosunku do zasobów wód powierzchniowych i podziemnych jako najważniejszych źródeł wody pitnej dla człowieka⁶. Pojęcie wód opadowych pojawia się sporadycznie, przy czym przez wiele lat nie występował żaden zapis umożliwiający samodzielne nimi zarządzanie, ponieważ są sklasyfikowane jako ścieki (Dz.U. 2001 Nr 62 poz. 627; Dz.U. 2001 Nr 115 poz. 1229).

Będące ściekami wody opadowe wymagają oczyszczenia, a zatem odprowadza się je systemem kanalizacji. Według ustawy o zbiorowym zaopatrzeniu w wodę i zbiorowym odprowadzaniu ścieków z 2001 r. wody opadowe należy oddzielać od innych ścieków i odprowadzać odrębnym systemem kanalizacji (Dz.U. z 2001 r., Nr 72, poz. 747, Art. 9). Rozdzielenie kanalizacji deszczowej od sanitarnej to jeden z pierwszych kroków w kierunku proekologicznego gospodarowania zasobami wód opadowych w Polsce. Następnym etapem jest prawo właściciela działki budowlanej do zagospodarowania wód opadowych na własnym terenie, jeśli nie ma możliwości przyłączenia do kanalizacji deszczowej (Dz.U. 2002 Nr 75, poz. 690, § 28.2.).

Tak jak w innych krajach można także w Polsce gromadzić wody opadowe w celu ponownego wykorzystania (Dz.U. 2002 Nr 75, poz. 690, § 126. w Warszawie 3). Dopuszcza się również możliwość budowy otwartych systemów kanalizacyjnych dla wód opadowych, co praktykuje się od dawna w krajach zachodnich (Dz.U. 2006 Nr 137 poz. 984, § 19.1).

W polskim prawie istnieje zapis umożliwiający odprowadzanie wód opadowych z niektórych powierzchni (np. dachów budynków) bez oczyszczenia, czyli bezpośrednio do gruntu, co jest pierwszą, podstawową zasadą przy kreowaniu ZSD. Jednak mimo wielu korzystnych zapisów, umożliwiających odrębne traktowanie wód opadowych, w Polsce nadal są one uznawane za ścieki, a zagadnienie gospodarowania wodą opadową w ogóle nie istnieje. Nie funkcjonuje także w świadomości ustawodawców i wykonawców, co powoduje nieumiejętne interpretowanie przepisów, a to z kolei ogranicza możliwości działań praktycznych. Chodzi tu głównie o budowę całych systemów odprowadzania i gromadzenia wód opadowych (ale nie kanalizacji deszczowej), w których urządzenia techniczne pełnią jednocześnie funkcje ozdobne w krajobrazie. Niekiedy są one projektowane i konstruowane w indywidualny sposób, wynikający z koncepcji zagospodarowania terenu. Chociaż ich budowa i funkcjonowanie muszą być uwarunkowane przepisami prawa, to jednak często trudno znaleźć ich odpowiedniki w przepisach polskich.

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dn. 20 kwietnia 2007 r. określa obiekty nazywane budowlami hydrotechnicznymi (Dz.U. 2007 Nr 86 poz. 579 § 3). Definicja ta nie obejmuje jednak urządzeń typowo krajobrazowych, np. niecek, obniżeń itp. oraz rozwiązań indywidualnych, powstałych w wyniku profilowania terenu bez użycia urządzeń technicznych. Kwalifikowanie ich jako budowli wodnych stwarza często paradoksalne sytuacje praktyczne. Powodem nieporozumień są utrwalone schematy myślenia i nieznanomość zagadnień związanych z ZSD, co rzutuje na braki zarówno w polskiej terminologii, jak i w polskim ustawodawstwie⁷.

⁵ Mowa o Prawie Wodnym i Prawie Ochrony Środowiska.

⁶ Dotyczy to także wód morskich, warunkujących rybołówstwo i żeglugę.

⁷ Tak było w przypadku pozwolenia wodno-prawnego, dotyczącego projektu osiedla w Siechnicach.

W działaniach projektowych na rzecz poprawy stosunków wodnych można się teoretycznie posługiwać pojęciem melioracji wodnych (Dz.U. 2001 Nr 115 poz. 1229, Art. 70.1.). W praktyce jednak, w myśl zapisu, „regulacja stosunków wodnych” obejmuje tereny przeznaczone pod uprawę. W ustawie nie ma odniesienia do regulacji stosunków wodnych na terenach zurbanizowanych, a przecież właśnie one powinny być przedmiotem specjalnej troski ze względu na wyższy stopień degradacji. Jeśli stosować „polepszenie” gleby, to także ze względu na prawidłowe jej funkcjonowanie, np. odpowiednią przepuszczalność dla wody, co byłoby uzasadnione dla antropogenicznych gleb środowiska miejskiego.

Niezrozumienie wagi zagadnień związanych z gospodarowaniem wodami opadowymi wśród ustawodawców oraz brak odpowiednich przepisów w zakresie konstruowania urządzeń krajobrazowych ograniczają możliwości realizacji ZSD na terenach polskich. Dostosowanie prawa dla wykonywania ZSD powinno zacząć się od prawidłowej definicji wód opadowych i sposobu postępowania z nimi w zależności od stopnia zanieczyszczenia. Nacisk powinien być kładziony na pozytywną stronę wód opadowych, a nie zepchnięcie ich do roli ścieku. Należałoby również wprowadzić nowe definicje „urządzeń wodnych”, do których zaliczają się urządzenia krajobrazowe – w zależności od udziału elementów naturalnych, a nie tylko technicznych. Wszelkie normy dotyczące budowy, jakości i sposobu działania urządzeń ułatwiłyby stosowanie autorskich rozwiązań nietypowych.

10.3. Aspekt projektowy

Przed przystąpieniem do budowy ZSD należy wykonać zestawienie podstawowych danych, tj. średniej sumy opadów dla danego obszaru, a także częstotliwości występowania deszczów oraz deszczów nawalnych⁸. Następnie przeprowadza się wstępne wymiarowanie pojedynczych urządzeń oraz ich pracy w układzie zespolonym.

W tym układzie dość skomplikowany jest proces projektowania urządzeń infiltrujących, ponieważ ich funkcjonowanie zależy od warunków środowiska, a jednocześnie ma na nie istotny wpływ⁹. Przy budowie urządzeń infiltrujących bierze się pod uwagę parametry takie jak:

- powierzchnia spływu,
- dostępna powierzchnia wsiąkania,
- powierzchnia infiltracji,
- współczynnik filtracji,
- natężenie i czas trwania opadu,
- wysokość całkowita spiętrzenia wody,
- średnica urządzenia [Burszta-Adamiak 2005].

W Polsce brakuje instrukcji do projektowania urządzeń tego typu. Większość projektów wykonuje się w oparciu o wytyczną ATV-A 138 Budowa i wymiarowanie

⁸ Średnia suma opadów w Polsce wynosi 600 mm w skali roku [Losch 1998, Kundzewicz 2000, Chełmicki 2002].

⁹ Urządzenia infiltrujące istotnie wpływają na bilans wodny terenu.

urządzeń do scentralizowanego wsiąkania w grunt wód opadowych bez szkodliwych zanieczyszczeń [Burszta-Adamiak 2005]. Wymiarowanie obiektów infiltracji wód opadowych wymaga dostępu do dokładnych danych statystycznych na temat opadów uwzględniających warunki lokalne, jak to ma miejsce np. w Niemczech¹⁰. Przy projektowaniu urządzeń należy pamiętać, że dno urządzenia rozsączającego powinno być położone co najmniej 1 m od najwyższego poziomu zwierciadła wody gruntowej [Suligowski, Gudelis-Taraszkiewicz 2003], a minimalne odległości od budynków wynoszą:

- 2 m dla budynków z izolacją przeciwwilgociową,
- 5 m dla budynków bez izolacji.

Aby określić działanie ZSD, stosuje się obliczenia symulacyjne. Służą do tego powszechnie dostępne, komercyjne programy, w których przeprowadza się symulację długookresową, uwzględniającą częstotliwość przeciążenia hydraulicznego urządzeń oraz dane z wieloletnich obserwacji opadów¹¹. Do programów symulacyjnych należą:

- RS 138 – Wymiarowanie obiektów do rozsączania wód opadowych wraz z modułem dodatkowym RS 138-LZ Sprawdzanie obiektów do rozsączania wód opadowych w językowej wersji niemieckiej,
- R-Win SUDS (Sustainable Urban Drainage System) – w wersji niemieckiej i angielskiej,
- TRINTSIM (Trough-Infiltration-Trench-System) – w wersji angielskiej,
- MURI138 – Wymiarowanie urządzeń do zagospodarowania wód opadowych – w wersji niemieckiej [Burszta-Adamiak 2005].

Budowa urządzeń gromadzących na potrzeby gospodarstwa domowego

W przypadku wymiarowania urządzeń gromadzących z pomocą przychodzą powszechnie dostępne poradniki z serii: Zrób to sam oraz Sami budujemy..., co świadczy o tym, że proces ich projektowania jest dość łatwy i możliwy do stosowania przez prywatnych użytkowników działek. Opracowania dotyczą samodzielnego wykonania systemów gromadzenia i wykorzystania wody opadowej w gospodarstwie. Chodzi tu głównie o zbieranie wody z dachów, a następnie gromadzenie jej w beczkach lub podziemnych cysternach. Obliczanie pojemności zbiornika zależy przede wszystkim od:

- wielkości i częstotliwości opadów atmosferycznych,
- powierzchni przechwytywanej deszcz.

Najczęściej wykorzystywaną powierzchnią przechwytyującą jest dach. Dla uproszczenia przyjmuje się tu powierzchnię rzutu poziomego w m², doliczając wysięgi okapów. Należy uwzględnić także właściwości dachu, tj. jego pokrycie. Będzie ono mieć wpływ na wielkość parowania, a także na jakość wody spływającej (wiele materiałów pokryciowych zawiera szkodliwe cząstki, które wchodzi w reakcję z wodą, a następnie są wymywane¹²). Od pokrycia dachu oraz jego kształtu zależy też współczynnik

¹⁰ W Polsce nie zostały dotąd opracowane wystarczające dane o opadach, niezbędne dla współczesnych technik projektowania urządzeń infiltracyjnych, a deszcz miarodajny określa się na podstawie wzoru Błaszczyka [Licznar, Łomotowski 2004, Burszta-Adamiak 2005].

¹¹ W Polsce stosowanie tego typu programów jest jeszcze ograniczone, również dlatego, że wymagają one wprowadzenia danych o opadach z długiego okresu obserwacji [Burszta-Adamiak 2005].

¹² Gromadzona woda z zawartością szkodliwych związków nie nadaje się np. do podlewania warzyw.

splywu, niezbędny do obliczenia całkowitego przychodu deszczówki. Współczynnik splywu (tab. 6) określa ilość wody splywającej z dachu, ponieważ wiadomo, że z całkowitej ilości opadu część wody odparowuje do atmosfery [Losch 1998].

Tabela 6
Table 6

Wartość współczynnika splywu w zależności od pokrycia i kształtu dachu [wg Losch 1998]
Flow factor value depending on covering and shape of roof

| Pokrycie Roofing Rodzaj dachu Roof type | Bitum Bitumen | Tworzywo sztuczne Plastics | Błacha metalowa Metal sheet | Dachówka cementowa Concrete tile | Dachówka ceramiczna Ceramic tile | Warstwa żwirowa Gravel layer | Warstwa zielona Green layer |
|--|------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| Stromy Steep | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,75 | 0,75 | – | 0,25 |
| Płaski Flat | 0,7 | 0,7 | 0,7 | – | – | 0,3 | 0,25 |

Ilość wody gromadzonej zależy też od sprawności filtra, montowanego przed wpływem do urządzenia¹³. Przychód deszczówki dla beczki/cysterny na potrzeby pojedynczego gospodarstwa domowego można obliczyć wg wzoru [za Losch 1998]:

$$V = H \times A \times s \times f$$

gdzie:

H – wysokość opadów w [l/m²],

A – powierzchnia dachu w [m²],

s – współczynnik splywu,

f – sprawność filtra.

Dzieląc całkowity przychód deszczówki w ciągu roku przez 365, otrzymamy przeciętny przychód deszczówki na dzień¹⁴.

Kolejnym krokiem jest określenie rodzaju i wielkości zapotrzebowania na wodę opadową, co zależy od jej zużycia. Jeśli wykorzystujemy ją do podlewania ogrodu, zużycie będzie zależało od wielkości działki oraz wymagań roślinności. Należy do tego doliczyć również gromadzenie wody na wypadek suszy (zapasy). Ryzyko dni bezdeszczowych przez okres dłuższy niż 14 dni dla Europy Środkowej jest dość małe, dlatego z reguły planuje się zapas na co najmniej 2 tygodnie [Losch 1998]. Po ustaleniu wielkości przychodu i zapotrzebowania otrzymuje się dwie wartości, dla których dolicza się racjonalną wielkość zapasu. Dane te umożliwiają dokonanie wyboru zbiornika o określonych parametrach. Najlepiej wybrać rozwiązanie optymalne, biorąc pod uwagę, że zbyt duży zapas wody stojącej może ulegać zanieczyszczeniu (rozwój glonów etc.).

¹³ Filtry bez przelewu mają współczynnik 1, natomiast filtry samoczyszczące 0,85 – 0,9 [Losch 1998].

¹⁴ W obliczeniach dotyczących urządzeń całego systemu gospodarowania wodą opadową należy obliczyć wielkości wody dla pojedynczych ekstremalnych zdarzeń opadowych.

10.4. Aspekt ekonomiczny

Poparcie społeczeństwa dla proekologicznego gospodarowania wodą opadową będzie rosło w miarę zmniejszania się kosztów budowy i eksploatacji ZSD. Doświadczenia innych krajów europejskich dowodzą, że zrównoważone systemy drenażu są znacznie tańsze od tradycyjnych. Oszczędność następuje nie tylko na etapie budowy systemu, ale przede wszystkim na etapie eksploatacji. Stosowanie ZSD powoduje również zmniejszenie nakładów na ochronę przed powodzią, której zagrożenie wzrasta jednocześnie ze zwiększaniem się powierzchni nieprzepuszczalnych w danej zlewni i niską wydolnością kanalizacji burzowej. Aspekt ekonomiczny to zatem kolejna zaleta ZSD.

Przykładem może być stosowany w Niemczech Mulden-Rigolen-System (MR-System)¹⁵ jako alternatywa dla odprowadzania wód opadowych. Jest to system zbudowany z lokalnie rozmieszczonych niecek infiltrujących, połączonych poprzez zawory dławiące ze zdecentralizowanym systemem gospodarowania wodami opadowymi. System zastosowano m.in. na osiedlu Kronsberg w Hanowerze.

Koncepcja MR-system opiera się na 3 podstawowych zasadach gospodarowania wodą opadową:

- zwiększeniu infiltracji;
- opóźnieniu odpływu poprzez retencjonowanie;
- drenowaniu z zaworem dławiącym [Goździk 2004].

Poszczególne elementy systemu powinny być powiązane ze sobą tak, by zwiększały pojemność wodną gleby w danym miejscu. Infiltracja musi zachodzić także przez aktywną warstwę gleby. Budowa nowoczesnego systemu jest tańsza od kanalizacji konwencjonalnej nawet o 38% (tab. 7 i 8) [Goździk 2004].

Tabela 7
Table 7

Porównanie nakładów na wykonanie różnych systemów gospodarowania wodą opadową w zależności od typu krajobrazu [wg Goździk 2004 – prezentacja]
Comparing the expenditure on the realization of different types of stormwater management system depending on the landscape type [Goździk 2004 – presentation]

| Rodzaj systemu Type of system | Kanalizacja tradycyjna Traditional sewage system [€/m ²] | MR-System €/m ² |
|------------------------------------|--|-------------------------------|
| Wariant Variant | | |
| Koszty całkowite All-in costs | 20 | 17 |
| Tereny publiczne Common lands | 17 | 5 |
| Tereny prywatne Private grounds | 3 | 12 |

¹⁵ ang. Trough-Infiltration-Trench-System (TRINT-System).

Tabela 8
Table 8

Porównanie kosztów całkowitych i jednostkowych wykonania różnych systemów gospodarowania wodą opadową [wg Goździk 2004 – prezentacja]
Comparing all-in costs and individual costs of the realization of stormwater management systems [Goździk 2004 – presentation]

| Rodzaj systemu Type of system | Kanalizacja tradycyjna Traditional sewage system | Innodrain® ¹⁶ |
|--|---|--------------------------|
| Koszty całkowite All-in costs | 200.000 € | 125.000 € |
| Koszty jednostkowe Individual costs | ok. 300 € / m | ok. 190 € / m |

10.5. Aspekt estetyczny

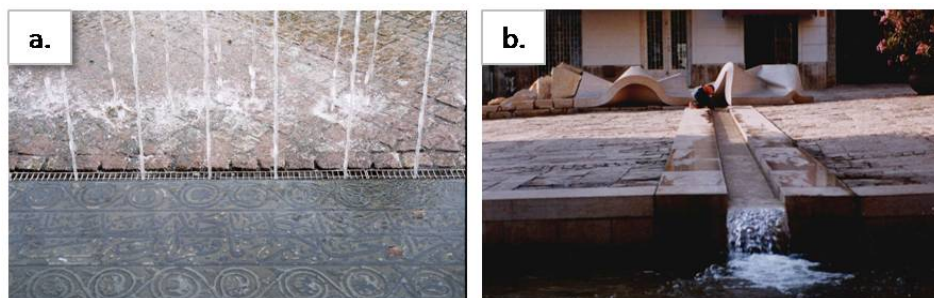
„Posługiwanie się” wodami opadowymi staje się nowym wyzwaniem w kreowaniu przestrzeni miejskiej. Łącząc uzdolnienia twórcze z wiedzą techniczną oraz znajomością zagadnień przyrodniczych i społecznych, architekt krajobrazu zyskuje niewykorzystywane dotąd środki oddziaływania na środowisko, w tym jego wygląd zewnętrzny oraz szatę roślinną. W swych rozwiązaniach plastycznych zrównoważone systemy drenażu nawiązują często do piękna natury: jej meandrujących potoków, kaskad, kurtyn wodnych, rozległych luster wody lub swoistego uroku terenów podmokłych.

Przykładem na poparcie tych twierdzeń są realizacje przytoczone w rozdziale dziwiątym, a zwłaszcza dokonania wspomnianego wielokrotnie Herberta Dreiseitla. W 1980 roku założył on Atelier Dreiseitl, zajmujące się kreowaniem przestrzeni w powiązaniu z elementami wodnymi, ze szczególnym traktowaniem wód opadowych. W jego ujęciu woda jest pełnym energii łącznikiem pomiędzy sztuką a środowiskiem naturalnym. Może pojawiać się w przedsięwzięciach o różnej skali – począwszy od małego ogrodu po wielkie założenia krajobrazowe – spinając w całość architekturę, zieleni i przestrzenie publiczne. Projekty Dreiseitla charakteryzuje znakomite wykorzystanie zarówno praktycznych, jak i estetycznych właściwości wody, dlatego tak licznie występują w nich stawy, strumienie, progi wodne czy fontanny.

Woda deszczowa jest idealnym tworzywem dla kreowania przestrzeni, przede wszystkim ze względu na swoją dynamikę i niezależność, pojawia się bowiem i znika. Ubrana w odpowiednie ramy, w tym przypadku urządzenia ZSD, może stać się niepowtarzalnym elementem wzbogacającym krajobraz (fot. 38, 39). Budowa urządzeń może nadawać płynącym strugom deszczu odpowiedni kierunek, zmniejszać bądź zwiększać siłę płynącej fali, rozpraszać, skupiać, przelewać, rozlewać... W zależności od rodzaju materiału, po którym porusza się woda (szkło, kamień, ceramika, drewno) i przy dodat-

¹⁶ Innodrain® funkcjonuje podobnie jak MR-Sytem, stosuje się go jednak tam, gdzie brak miejsca na zbiorniki i rowy retencyjne. Najczęściej wbudowuje się go w jezdnie jako gotowy element konstrukcyjny [Goździk 2004 – prezentacja].

kowym udziale efektów świetlnych (naturalnych bądź sztucznych) – założenia wodne mogą tworzyć niepowtarzalny nastrój wewnątrz urbanistycznych, wpływając jednocześnie na polepszenie warunków klimatycznych, a tym samym samopoczucie mieszkańców.



Fot. 38. Rozwiązania estetyczne z wykorzystaniem wody: a – tryskająca nawierzchnia; b – kanał wodny w nawierzchni (fot. A. Drapella-Hermansdorfer – a, E. Burszta-Adamiak – b)
Phot. 38. Aesthetical solutions with using water: a – gush in the pavement; b – water channel in composition with pavement



Fot. 39. Ozdobny rzygacz jako źródło wody parkowego strumienia, Lednice (fot. K. Sobczak)
Phot. 39. Decorative gargoyle as a source of stream in park, Lednice

10.6. Aspekt realizacyjny

Prawidłowy przebieg realizacji z zastosowaniem ZSD zależy od wielu wymienionych czynników. W warunkach polskich nie zaistniały one jeszcze w stopniu wystarczającym, aby wyjść poza sferę rozwiązań incydentalnych, często zresztą skazanych potem na niepowodzenie ze względu na zaniedbania w czasie eksploatacji.

Bariera edukacyjna powoduje powstawanie różnego typu wątpliwości u inwestorów oraz użytkowników. Wśród mieszkańców posesji wyposażonych w ZSD z reguły największą obawę budzi potencjalna obecność komarów. Stawy, niecki, ciek wodne, kanały, a generalnie wszystkie urządzenia gromadzące wodę – kojarzą się zwykle z plagą

tychże owadów. Należy jednak pamiętać, że głównym zadaniem ZSD jest umożliwienie wsiąkania wód opadowych do gruntu (poprzez elementy infiltrujące i drenujące), i że wszelkie urządzenia, którymi płynie woda lub gdzie jest czasowo zatrzymana, są tylko elementami pośrednimi. Przepustowość urządzenia drenującego zakłada pozbycie się wody w ciągu maksymalnie 5 dni, podczas gdy komary do rozmnożenia się potrzebują co najmniej 6 dni, a proces dojrzewania i wylęgania z jaj trwa o wiele dłużej [Philips 2003]. Nie jest zatem prawdą, że woda w urządzeniach retencjonujących stoi nieustannie i umożliwia wylęg komarów. W przypadku stawów i innych szczelnych zbiorników wodnych na pomoc przychodzi roślinność oczyszczająca i „broń biologiczna” w postaci naturalnego drapieży¹⁷. Wrogiem dorosłych komarów są żaby i nietoperze¹⁸, natomiast larwy i poczwarki owadów stanowią pokarm dla wielu gatunków ryb, jak choćby propoczykowca, różanki, ryb z rodzaju gambuzja, jaziów i innych¹⁹. Stworzenie *quasi* naturalnych warunków funkcjonowania krajobrazu, ze wszystkimi zależnościami występującymi w ekosystemach, to jedno z zadań priorytetowych w proekologicznym gospodarowaniu wodą opadową, a zatem i w tym przypadku nie powinno być obawy o wzrost populacji niechcianych insektów.

Inna często pojawiająca się wątpliwość dotyczy bezpieczeństwa dzieci przebywających w sąsiedztwie ZSD. Obawy te można stosunkowo łatwo odeprzeć argumentem, że stawy retencyjne wykonywane w ramach ZSD mają bardzo małą głębokość. Ich głównym zadaniem jest odbiór wód opadowych, te zaś zasilają staw okresowo. Poza tym poziom wody kontroluje się poprzez system przelewów. Nadmiar wód zostaje od razu skierowany do pobliskich niecek, w których następuje ich infiltracja. Ponadto bezpieczeństwo dzieci najmniejszych zależy przede wszystkim od pilnujących je opiekunów. Doświadczenia innych krajów w kształtowaniu zrównoważonych systemów drenażu pokazują, że obawa o najmłodszych jest nieuzasadniona, nie zanotowano bowiem żadnego nieszczęśliwego przypadku utonięcia w stawie retencyjnym.

Trudności realizacyjne w przeważającej części przypadków wynikają z ograniczeń prawnych. Nie odpowiada ono na współczesne tendencje i światowe zalecenia dotyczące gospodarowania wodą opadową, czego dowodem jest założenie w Siechnicach pod Wrocławiem.

Osiedle Błękitne jest jednym z pierwszych w Polsce przykładów zastosowania zintegrowanego podejścia do gospodarowania wodą opadową. Projekt wykonany został przez wrocławski zespół, składający się z architektów, melioranta oraz architekta krajobrazu, odpowiedzialnego za dobór zieleni i powiązanie jej z urządzeniami zrównoważonego systemu drenażu²⁰. System gospodarowania wodą opadową został opracowany już na etapie projektowym, równoległe z koncepcją układu budynków i istniejących urządzeń melioracyjnych (Koci Rów).

Projekt osiedla w Siechnicach prawdopodobnie jako pierwsze założenie tego typu uzyskał w Polsce pozwolenie wodno-prawne, niezbędne do uzyskania pozwolenia

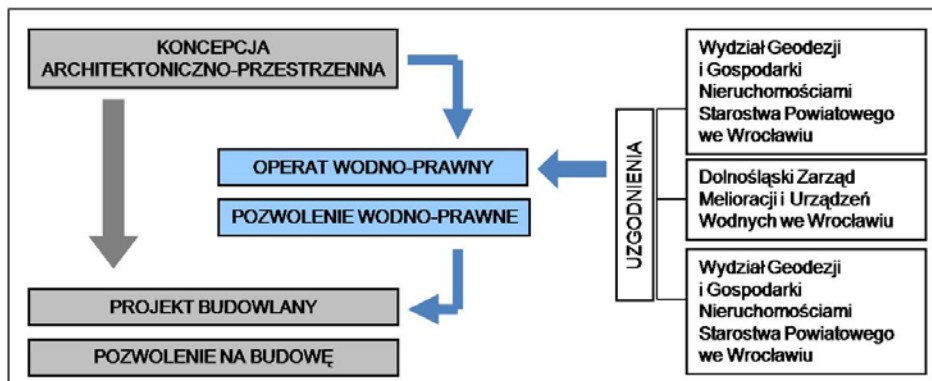
¹⁷ Na składanie jaj komary preferują przede wszystkim zbiorniki o wodach silnie zanieczyszczonych [Szwedler, Sobkowiak 1998].

¹⁸ Jeden nietoperz potrafi zjeść w ciągu nocy ok. 3000 komarów [www.salamandra.org.pl].

¹⁹ Rodzaju gambuzja używa się w wielu krajach do walki z komarami przenoszącymi malarię [http://encyklopedia.pwn.pl].

²⁰ Dobór gatunkowy spełnia także wymogi „bezpiecznej zieleni” (ang. security design), co było drugim założeniem osiedla. Ze względu na odrębną tematykę wątek ten nie będzie poruszony w pracy.

budowlanego (rys. 42). Wykonany przy współpracy meliorantów operat wodno-prawny zawiera szczegółowy opis systemu – jego budowę, wymiarowanie, cel stosowania oraz wpływ na inwestycję i tereny otaczające. Proces zatwierdzania operatu okazał się jednak dość trudny ze względu na ograniczenia prawne oraz niezrozumienie zagadnienia gospodarowania wodą opadową²¹. Brakowało nawet nazewnictwa dla składowych systemu oraz definicji niektórych urządzeń o funkcji wodochłonnej.



Rys. 42. Różnice w procesie zatwierdzania projektu według postępowania tradycyjnego i wzbogaconego o elementy proekologicznego gospodarowania wodą opadową [opracowanie własne na podst. Drapella-Hermansdorfer i in. 2004]

Fig. 42. Differences in process of project approval in traditional way and complementary with proecological stormwater management elements [on the base: Drapella-Hermansdorfer 2004]

Po uzyskaniu niezbędnych dokumentów przystąpiono do realizacji obiektu. Również i na tym etapie pojawiły się pewne problemy – tym razem wynikające głównie z braku doświadczenia wykonawców. Przykładowo, urodzajną warstwę gleby nasypiano na ubite podłoże (co nie da wymaganej wodochłonności gruntu), a przyłącza sieci telekomunikacyjnej wykonano w środku projektowanego zbiornika przelewowego.

Pomimo trudności i koniecznych działań interwencyjnych osiedle zostało ukończone, stając się pierwszym na Dolnym Śląsku przykładem ZSD. Autorzy mają nadzieję, że osiedle Błękitne będzie również obiektem badań naukowych z zakresu melioracji wodnych, hydrologii i inżynierii środowiska. Kolejny etap zakłada bowiem udowodnienie ekonomicznych zalet systemu oraz korzyści przyrodniczych wynikających z jego funkcjonowania.

²¹ Zatwierdzanie operatu wodno-prawnego dla tej inwestycji trwało ok. 8 miesięcy.

11. Podsumowanie i wnioski

We wstępie do niniejszej monografii postawiono tezę, że w warunkach zrównoważonego rozwoju na kształtowanie krajobrazu miasta coraz większy wpływ wywierają proekologiczne metody gospodarowania wodą opadową z zastosowaniem ZSD. Na poparcie tej tezy przytoczono przykłady licznych elementów tzw. małej architektury, które obok funkcji ozdobnej pełnią jednocześnie rolę urządzeń do rozprowadzania, gromadzenia lub rozsączania wód opadowych. Wzbogacają one pejzaż współczesnych obszarów osadniczych oraz przyczyniają się w sposób pośredni do poprawy stanu i zróżnicowania ich szaty roślinnej.

Zrównoważone systemy drenażu mogą być wykorzystane na obszarach o różnych typach użytkowania zarówno reprezentacyjnych, jak i kameralnych. Przedstawione zostały przykłady jednego rozwiązania kompleksowego, obejmującego całe miasto oraz 11 mniejszych, zintegrowanych założeń krajobrazowych, zrealizowanych z uwzględnieniem ZSD w okresie ostatnich dwudziestu lat. Dotyczą one terenów:

- mieszkaniowych, nowo budowanych (osiedla: Küppersbusch w Gelsenkirchen, Kronsberg w Hanowerze, Fornebu w Oslo, Bo01 w Malmö, Millenium Village w Londynie);
- mieszkaniowych, zrewitalizowanych (osiedla: Marzahn w Berlinie oraz Augustenborg w Malmö);
- użyteczności publicznej (Plac Poczdamski w Berlinie);
- przemysłowych (Deszczowy ogród w Portland);
- zieleni przyulicznej (Seattle, osiedle mieszkaniowe w Brunsville);
- zieleni parkowej (Park Fairland w Prince George's County/Montgomery).

Analiza wybranych przykładów pokazuje, że bez względu na skalę założenia stosuje się podobne typy urządzeń krajobrazowych, dopasowując je do indywidualnego charakteru miejsca.

W przypadku nowo budowanych osiedli daje się zauważyć, że układ zabudowy zaczyna być podporządkowany ogólnym założeniom krajobrazowym w większym stopniu, niż to się zdarza w zespołach formowanych w oparciu o tradycyjne przesłanki. Pojawiają się:

- zróżnicowania rzeźby terenu, odpowiadające ukształtowaniu sztucznej zlewni,
- meandrujące potoki,
- duże akwenty jako główne elementy kompozycji przestrzennej,
- większe skupiska zieleni ozdobnej: wodnej, błotnej, wodolubnej itp.

Elementami charakterystycznymi dla nowo powstających założeń są stawy retencyjne i – coraz częściej – tereny podmokłe, pełniące rolę oczyszczalni nie tylko dla wód

opadowych, ale też dla wody szarej. Wprowadzanie ZSD w nowym budownictwie wiąże się bowiem z kompleksowym, zrównoważonym podejściem do gospodarki wodnej.

W terenach rewitalizowanych swoboda działań architekta krajobrazu jest ograniczona przez istniejącą strukturę i układ zabudowy, w tym lokalizację wolnych przestrzeni. W tych założeniach wykorzystuje się przede wszystkim elementy odprowadzające, najczęściej związane z układem komunikacyjnym, niecki retencyjne lub inne powierzchnie chłonne. Często na przykład wprowadza się zielone dachy, jak to ma miejsce na osiedlu Augustenborg. Standardem stają się otwarte kanały wodne, kaskady oraz niewielkie zbiorniki. Wyraźna jest także dbałość o detal, którym w przypadku ZSD są rynny i rury spustowe, wpusty studzienek, ozdobne rzygacze, kaskady czy rzeźby towarzyszące urządzeniom wodnym.

Elementy wchodzące w skład ZSD dzielą się na:

- urządzenia podziemne, manifestujące się w krajobrazie poprzez ukształtowanie terenu (muldy, niecki retencyjne) oraz szatę roślinną (pasaże roślinne, ogrody deszczowe, sztuczne mokradła);
- urządzenia naziemne, manifestujące się w krajobrazie jako *quasi* naturalna sieć wód otwartych (suche potoki, kanały, stawy, itp.);
- fragmenty istniejącej sieci wód otwartych (końcowe odcinki ZSD – odbiorniki wód).

Przedstawione przykłady pokazują, że w wydaniu współczesnym tradycyjne formy i systemy gospodarowania wodą opadową zyskują nowe oblicze dzięki nowoczesnym technologiom. Jednocześnie naśladują w działaniu systemy naturalne, znajdując swoje miejsce w przyrodzie poprzez wpływ na prawidłowe funkcjonowanie ekosystemów. Zaznaczają swoją obecność w przyjaznych człowiekowi „organicznym” kształtowaniu krajobrazu, wykorzystaniu naturalnych materiałów, a przede wszystkim specyficznym doborze gatunkowym roślin. W tym kontekście ZSD stają się częścią architektury krajobrazu, mieszcząc się jednocześnie na pograniczu innych dyscyplin, a zwłaszcza melioracji.

Potwierdzeniem tej tezy jest osiedle Błękitne w Siechnicach, gdzie realizacja ZSD została oparta na wiedzy i praktyce z zakresu obu wymienionych dziedzin. Jego roczna eksploatacja wskazuje również na to, że zrównoważone systemy drenażu mogą sprawnie funkcjonować w naszych warunkach klimatycznych, prawnych i ekonomicznych. Pozostaje zatem mieć nadzieję, że zarówno pojawiające się realizacje związane z proekologicznym gospodarowaniem wodą opadową, jak i niniejsze opracowanie przyczynią się do popularyzacji wiedzy o ZSD i ich upowszechnienia w polskim krajobrazie.

12. Piśmiennictwo

- Adamowicz K., 2005. Erozja wodna. Publikacja portalu „Proekologia” /<http://proekologia.pl/content.php?article.438.1/>.
- Åstebøl S.O., Hvitved-Jacobsen T., 2001. Sustainable Stormwater Management at Fornebu – from airport to an industrial and residential area of the city of Oslo, Norway. Department of Environment Engineering, Alborg University, Alborg.
- Begemann W., Schiechl H. M., 1999. Inżynieria ekologiczna w budownictwie wodnym i ziemnym. Wydawnictwo Arkady, Warszawa.
- Bloom A.L., 1980. Powierzchnia Ziemi. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Boulton W. H., 1959. Wieczność piramid i tragedia Pompei. Wiedza Powszechna, Warszawa.
- Böhm A., Zachariasz A., 1997. Architektura Krajobrazu i Sztuka Ogrodowa. Ilustrowany słownik angielsko-polski. Ośrodek Ochrony Zabytkowego Krajobrazu, Warszawa.
- Burszta-Adamiak E., 2005. Badania nad zastosowaniem geowłóknin do przeciwdziałania kolmatacji w procesie infiltracji. Praca doktorska, 36–41.
- Capra F., 1994. Tao fizyki: w poszukiwaniu podobieństw między fizyką współczesną a mistycyzmem Wschodu. „Nomos”, Kraków.
- Ceburat K., 2003. Ocena wpływu zabudowy na środowisko w programie nauczania studentów Wydziału Architektury. Materiały do ćwiczeń, Zakład Kształtowania Środowiska Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.
- Chelmiński W., 2001. Woda. Zasoby, degradacja, ochrona. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Ciepielowski A., 1999. Podstawy gospodarowania wodą. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- Ciołek G., 1964. Zarys ochrony i kształtowania krajobrazu. Arkady, Warszawa.
- CSBE The Center for the Study of the Built Environment, 2004. Water-Conserving Gardens: A User’s Manual. Jordan.
- Drapella-Hermansdorfer A., 1998. Idea jedności w architekturze. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.
- Drapella-Hermansdorfer A., 2001. Woda w sztuce ogrodów, [w:] Drapella-Hermansdorfer A. (red.) „Architektura Krajobrazu. Studia i prezentacje”, Akademia Rolnicza, Wrocław.
- Drapella-Hermansdorfer A. (red.), 2003. Wrocławskie Zielone Wyspy. Projekt zarządzania zasobami środowiska miejskiego. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.

- Drapella-Hermansdorfer A., Ogielski P., Majewicz R., 2004. Zintegrowany system retencjonowania wód opadowych w osiedlu Błękitne w Siechnicach koło Wrocławia, [w:] Zesz. Nauk. AR Wroc. Nr 502, Inż. Środ. XIII, Wrocław.
- Dreiseitl H., Grau D., Ludwig K.H.C., 2001. Planning. Building and Designing with Waterscape. Birkhäuser, Basel.
- Drożdżał E., 2004. Skuteczność działania zielonego dachu jako obiektu służącego retencji wód deszczowych na obszarach zurbanizowanych. Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Środowiska, Kraków.
- Edel R., 2002. Odwodnienia dróg. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa.
- FR/R0011, 2004. Urban Drainage & the Water Environment: a Sustainable Future? Foundation for Water Research, Marlow.
- Geiger W., Dreiseitl H., 1999. Nowe sposoby odprowadzania wód deszczowych. Poradnik retencjonowania i infiltracji wód deszczowych do gruntu na terenach zabudowanych. Oficyna wydawnicza Projprzem-EKO, Bydgoszcz.
- Gleick P.H., 1998. The World's Water 1998–1999: The Biennial Guide to Freshwater, Island Press, Washington.
- Görransson C., 1998. Aesthetic aspects of stormwater management in an urban environment [in:] Rowney A.C., Stahre P., Roesner L.A. (eds), Sustaining urban water resources in the 21st century. Proceedings of ASCE Conference, Malmö.
- Goździk M., 2004. MR-System jako nowoczesny sposób odprowadzania wód opadowych z terenów zurbanizowanych, [w:] Zesz. Nauk. AR Wroc. Nr 502, Inż. Środ. XIII, Wrocław.
- Hinman C., 2005. Low Impact Development. Technical Guidance Manual for Puget Sound. Puget Sound Action Team, Washington State University Pierce county Extension, Washington.
- Horner R.R., Lim H., Burges S.J., 2002: Hydrologic Monitoring of the Seattle Ultra-Urban Stormwater Management Projects. Water Resources Series Technical Report No. 170, September 2002. Department of Civil and Environmental Engineering, University of Washington.
- Jankowski A.T., 2003. Rola wody w krajobrazie, [w:] Myga-Piątek U. (red.), Woda w przestrzeni przyrodniczej i kulturowej. Prace Komisji Krajobrazu Kulturowego PTG nr 2, Sosnowiec.
- Jones J.A.A., 1999. Climate change and sustainable water resources: placing the threat of global warming in perspective, Hydrol. Sci. Journal. 44(4), 541–557.
- Jormola J., 2004. Restoration of urban streams in connection with stormwater management, [in:] Expert Symposium Future Trends & Challenges of Urban Ecosystem Management, Salzburg.
- Knapp B.J., 1986. Elementy geograficzne hydrologii. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Kornaś J., Medwecka-Kornaś A., 2002. Geografia roślin. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Kosmała M., 2003. Ogrody deszczowe czyli ogrody retencjonujące wody opadowe – moda czy konieczność, [w:] Myga-Piątek U. (red.) Woda w przestrzeni przyrodniczej i kulturowej, Prace Komisji Krajobrazu Kulturowego PTG nr 2, Sosnowiec.
- Kozłowski S., 2000. Ekorozwój. Wyzwanie XXI wieku. PWN, Warszawa.

- König K.W., 1996. Regenwasser in der Architektur. Ökologische Konzepte. Ökobuch-Verlag, Freiburg.
- König K.W., 2000. Regenwassernutzung von A-Z – Anwenderhandbuch für Planer, Handwerker und Bauherren. MALLBETON-Verlag.
- Kronika Ziemi. Wydawnictwo Kronika, Warszawa 1992.
- Kundzewicz Z.W., 2000. Gdyby mała wody miarka... Zasoby wodne dla trwałego rozwoju. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Losch H-A., 1998. Woda deszczowa dla domu i ogrodu. Wydawnictwo Arkady, Warszawa.
- Łabno G., 2006. Ekologia. Słownik encyklopedyczny. Wydawnictwo EUROPA, Kraków.
- Malkiewicz K., 2002. Nowości z Marina el Alamein. „Pryzmat” nr 159(2002).
- Mikulski Z., 1998. Gospodarka wodna. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Ministerstwo Środowiska: Strategia Obszarów Wodno-błotnych w Polsce. Warszawa 2004.
- Niemczyk E., 2002. Cztery żywioły w architekturze. Ossolineum, Wrocław-Warszawa-Kraków.
- Nowakowska-Błaszczuk A., 2004. Projektowanie systemów infiltracyjnych (cz. 1). Wnioski z doświadczeń projektowych. Rynek instalacyjny, nr 11, 43–48.
- Ostrowski W., 2001. Wprowadzenia do historii budowy miast. Ludzie i środowisko. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
- Pavsner N., Fleming J., Honour H., 1992. Encyklopedia architektury. Wydawnictwa Artystyczne i Filmowe, Warszawa.
- Phillips A.A., 2003. City of Tucson Water Harvesting Guidance Manual. Department of Transportation, Stormwater Section, Tucson, Arizona.
- Piontek F., 1998. Środowisko przyrodnicze w strategii wzrostu gospodarczego i w rozwoju zrównoważonym, [w:] Poskrobko B. (red.) Sterowanie ekorozwojem, t. 1, Teoretyczne aspekty ekorozwoju. Wydawnictwo Politechniki Białostockiej, Białystok.
- Poskrobko B., 1997. Teoretyczne aspekty ekorozwoju, „Ekonomia i Środowisko”, nr 1(10).
- Ryszkowski L., Bałazy S., 1995. Zasady ekopolityki w rozwoju obszarów miejskich. Mat. z sesji wyjazdowej Rady Ekologicznej. Zakład Badań Środ. Rol. i Leś. PAN, Poznań.
- Seitz W., 1999. Sami budujemy systemy pozyskiwania wody deszczowej. Seria „Sam to zrobię”. Pagina, Wrocław.
- Stierlin H., 2001. The Maya: Palaces and Pyramids of the Rainforest, Taschen.
- Stormwater Management. Volume Two: Stormwater Technical Handbook. MA Department of Environmental Protection, MA Office of Coastal Zone Management, 1997.
- Stormwater Source Control Design Guidelines 2005. Final Report of Greater Regional Vancouver District, British Columbia, 2005.
- Suligowski Z., Gudelis-Taraszkiewicz K., 2003. Infiltracja do gruntu – alternatywa dla tradycyjnej kanalizacji wód opadowych. Przegląd komunalny, nr 5, 76–77.
- Sumień T., 1998. Idea zrównoważonego rozwoju w nowym systemie standardów urbanistycznych. Człowiek i Środowisko, t. 22, nr 1–2.
- Szponar A., 2003. Fizjografia urbanistyczna. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.

- Szwedler I., Sobkowiak M., 1998. Spotkania z przyrodą. Rośliny. t. 1, MULTICO Oficyna Wydawnicza, Warszawa.
- Szwedler I., Sobkowiak M., 1998. Spotkania z przyrodą. Zwierzęta, t. 2, MULTICO Oficyna Wydawnicza, Warszawa.
- van Gelderen J., 2000. The Winston Churchill Memorial Trust of Australia: Creative Ways of Recycling Water. Churchill Fellowship.
- Waterfall P., 1998. Harvesting Rainwater for Landscape Use. Arizona Department for Water Resources. Tucson, Arizona.
- Wählin L., 1995. The Family Cistern: 3 000 Years of Household Water Collection in Jordan, The third Nordic conference on Middle Eastern Studies: Ethnic encounter and culture change, Joensuu, Finland.
- Winterbottom D., 2001. Rainwater Harvesting for Landscape Architects. Landscape Architecture.
- Wolski P., 1997. Rozwiązania środowiskowe na terenach zakładów przemysłowych na przykładzie zakładu tytoniowego firmy RJR Tobacco-Poland, [w:] Richling A., Lechnio J., Malinowska E. (red.), Zastosowanie ekologii krajobrazu w ekorozwoju, materiały konferencji Zakładu Geoekologii Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego oraz Polskiej Agencji Ekologii Krajobrazu, Warszawa.
- Wolski P., 2002. Przyrodnicze podstawy kształtowania krajobrazu. Słownik pojęć. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- Wynkoop, Jr S.E. (red.), 1999. Low-Impact Development Design Strategies. An Integrated Design Approach. Department of Environmental Resources. Program and Planning Division, Prince George's County, Maryland.

Akta prawne:

- Prawo Wodne: Dz.U. 2001 Nr 115 poz. 1229 z dnia 18 lipca 2001 r.
- Prawo Ochrony Środowiska: Dz.U. 2001 Nr 62 poz. 627 z dnia 27 kwietnia 2001 r.
- Ustawa o Ochronie Przyrody: Dz.U. 04.92.880 z dnia 30 kwietnia 2004 r.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska, w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle hydrotechniczne i ich usytuowanie z dnia 20 kwietnia 2007 r.: Dz.U. 2007 Nr 86 poz. 579 § 3.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 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. 2006 Nr 137 poz. 984 § 19.1.
- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie: Dz.U. 2002 Nr 75, poz. 690, § 28.2; Dz.U. 2002 Nr 75, poz. 690, § 126. 3.

Prezentacje:

Low Impact Development. An innovative ecosystem-based approach to land development and stormwater management (www.psat.wa.gov/Programs/LID.htm).

MR-System jako nowoczesny sposób odprowadzania wód opadowych z terenów zurbanizowanych (w ramach konferencji naukowej – „Mała retencja”, zorganizowanej na Akademii Rolniczej we Wrocławiu w 2004 r.).

Strony internetowe:

<http://encyklopedia.pwn.pl>

<http://ga.water.usgs.gov>

<http://gimnwmn.webpark.pl/geogr8.html>

<http://home.arcor.de/limnologie.RHB/studie.RHB.htm>

<http://proekologia.pl/content.php?article.436.2>

www.anacostia.net/download/The_tour_Revised_compress2.pdf

www.bmpdatabase.org

www.cabq.gov/waterconservation/xeric.html

www.ciria.org/suds

www.clr.utoronto.ca/cgi-bin/clrdb/VIRTUALLIB/CLIP/clipadd?DB.REPORT=full&DB.RECORD=168

www.cmhc-schl.gc.ca/en/inpr/bude/himu/inbu/upload/Bo01-Sustainable-Housing-Development.pdf

www.djc.com/news/ae/11151114.html

www.djc.com/news/en/11167821.html

www.eaue.de/winuwd/187.htm

www.eaue.de/winuwd/190.htm

www.ekostaden.com/pdf/aug_echoes_of_tomorrow.pdf

www.ekostaden.com/pdf/augustenborgeco_eng_2000_1.pdf

www.ekostaden.com/pdf/vhfolder_malmostat_0308.eng.pdf

www.erbis.pl

www.fao.org

www.findarticles.com/p/articles/mi_m3575/is_n1214_v203/ai_20901447/pg_2

www.forester.net

www.gelsenkirchen.de/English/tourism/Portrait_of_the_city/City_Guide/The_Open_Factory_Trail.asp

www.greenwichpeninsula.co.uk/media/GP2002.pdf

www.icpnet.pl/~spnr20/publikacje/refHNiechwiadowicz.html

www.landandwater.com/features/vol48no5/vol48no5_2.html

www.malmo.se

www.mde.state.md.us/assets/document/FAIRLAND%20PARK%20STORMWATER%20DEMONSTRATION%20FACILITY%202005.PDF

www.mde.state.md.us/assets/document/General/mdesep.pdf

www.ncgreenbuilding.org

www.nspe.org/lc1-cpc.asp

www.oekosiedlungen.de
www.otzo.most.org.pl/publikacje/hydro/helman.htm
www.psat.wa.gov/Programs/LID.htm
www.sae.org/events/training/pdh/
www.salamandra.org.pl
www.seattle.gov/util/About_SPU/Drainage_&_Sewer_System/Natural_Drainage_System/index.asp
www.sibart.org/pdf/water_kronsberg.pdf
www.statsbygg.no/prosjekter/fornebu2/temamiljo/Sustainable_Fornebu/pdf
www.suds-sites.net
www.users.tpg.com.au
www.virginia.edu/topnews/releases2003/german-jan-17-2003.html
www.wikipedia.org
www.wynalazki.mt.com.pl

SŁOWNIK POJĘĆ PROEKOLOGICZNEGO GOSPODAROWANIA WODĄ OPADOWĄ

Słownik obejmuje zakresem pojęcia związane z gospodarowaniem wodą opadową. Definicje pojęć zostały sformułowane po kątem przydatności dla architektów krajobrazu.

✓ **Bilans wodny** (ang. water balance) – jest to zestawienie ilościowe dopływu i odpływu wody w odniesieniu do określonej powierzchni zlewni w danym czasie. Po stronie strat mamy: transpirację, parowanie z powierzchni oraz wnętrza gleby, spływ powierzchniowy i podziemny. Ogólnie bilans wodny wynosi: H (opad) = O (odpływ) + P (parowanie) + ΔR , gdzie ΔR to różnica między ilością wody zatrzymaną w zlewni na początku okresu bilansowania a ilością wody pozostałą w zlewni po okresie bilansowania. Założeniem bilansu wodnego jest, że całkowita ilość wody dostarczona wraz z opadami jest równa stratom wodnym danego obszaru. Nierównowaga powoduje zaś zaburzenie w funkcjonowaniu środowiska. Oszacowanie bilansu wodnego potrzebne jest w celu ustalenia zasobów wodnych lub sposobów regulacji stosunków wodnych danego terenu [Wolski 2002, Łabno 2006].

✓ **Biologicznie czynne powierzchnie** – uwarunkowane przez prawo powierzchnie pokryte lub możliwe do zagospodarowania roślinnością trwałą na gruncie rodzimym. Mogą to być powierzchnie użytkowane rolniczo, trawiaste, a także powierzchnie wodne. Na powierzchniach tych zachodzą określone procesy przyrodnicze, np. wymiana gazowa, krążenie wody, procesy glebowe itp. Mianem biologicznie czynnych powierzchni określa się zazwyczaj tereny zieleni w mieście, które dzięki przyrodniczemu funkcjonowaniu mają wpływ na klimat oraz stanowią równowagę dla powierzchni zabudowanych.

✓ **Bioróżnorodność** zob. → **różnorodność biologiczna**.

BMPs – Best Management Practices – „dobra praktyka”, zbiór wskazówek ustalonych do prowadzenia działań bądź kreowania jakichkolwiek przedsięwzięć [Philips 2003].

✓ **Chłonna powierzchnia** (ang. absorbent landscape or absorbent surface) – powierzchnia terenu w mieście zdolna przyjąć wody opadowe. Wody opadowe na powierzchniach chłonnych są czasowo zatrzymane (retencja), przesączone są do gruntu (infiltracja) i zasilające wody gruntowe lub odtranspirowane przez rośliny do atmosfery. Powierzchnie chłonne to najczęściej tereny zieleni w mieście takie jak: trawniki, parki, zieleńce, ale także zielone dachy, powierzchnie bioretencyjne oraz lasy i obszary podmokłe. Powierzchnie chłonne spełniają rolę ekokompensacyjną (→ **ekokompensacja**) na terenach zurbanizowanych.

✓ **Cykl hydrologiczny (obieg wód)** (ang. hydrologic cycle) – krążenie wody w przyrodzie, zachodzące głównie dzięki sile ciężkości (spływ) i energii Słońca (parowanie). Woda porusza się pomiędzy atmosferą, hydrosferą i litosferą. W czasie opadów atmosferycznych część wody ulega parowaniu. Reszta wody wsiąka bezpośrednio w grunt, jest wykorzystana przez rośliny i w procesie transpiracji oddana do atmosfery lub spływa po powierzchni do odbiorników (rzek, jezior, mórz, oceanów itp.). Wsiąkające

wody wędrują pod powierzchnią Ziemi, zasilając wody podziemne, spływają do odbiorników bądź wypływają na powierzchnię jako źródła, by znów spłynąć do odbiornika głównego. Wyłączając wody juvenile (związane w skałach), ilość wody w cyklu hydrologicznym jest stała i wciąż się bilansuje (→ **bilans wodny**) [Wolski 2002].

✓ **Dobra praktyka** zob. → **BMPs**.

✓ **Ekokompensacja (kompensacja przyrodnicza)** (ang. ecological assesment) [Böhm, Zachariasz 1997] – zwana również kompensacją ekologiczną czy kompensacją przyrodniczą to taki sposób inwestowania na danym terenie, który nie obniża jego wartości przyrodniczej, a wręcz przeciwnie – podnosi ją [Cebzat 2003]. Obowiązek ekokompensacji został zaproponowany w Paneuropejskiej Strategii Różnorodności Biologicznej i Krajobrazowej (Pan-European Strategy Biodiversity and Landscape, Sofia) w 1995 roku. Zgodnie z zasadą kompensacji wartość środowiska po inwestycji nie może być niższa od wartości zastanej. W pozwoleniu na budowę określa się zakres obowiązków inwestora. Jeśli nie zostają one spełnione, obiekt nie może zostać oddany do użytku. Celem działania metody ekokompensacji jest przede wszystkim ochrona terenów o znacznej wartości przyrodniczej [Cebzat 2003, Łabno 2006].

✓ **Ekorozwój** (ang. ecodevelopment) [Böhm, Zachariasz 1997] definiowany jest na dwa sposoby:

- 1) z naciskiem na wymiar ekologiczny – jako współczesna forma zintegrowanej ochrony środowiska;
- 2) z naciskiem na wymiar cywilizacyjny – jako nowy sposób organizacji i prowadzenia działalności gospodarczej i sterowania pozagospodarczą aktywnością społeczeństwa.

Ekorozwój często niesłusznie utożsamia się ze → **zrównoważonym rozwojem** [Piontek 1998]¹. „Ekorozwój jest to taki sposób prowadzenia działalności gospodarczej, kształtowania i wykorzystania potencjału środowiska i taka organizacja życia społecznego, które zapewniają dynamiczny rozwój jakościowo nowych procesów produkcyjnych i systemów zarządzania, trwałości użytkowania zasobów przyrodniczych oraz poprawę (w pierwszym okresie) i zachowanie (w okresie późniejszym) wysokiej jakości życia” [Poskrobko, 1997].

✓ **Ekosystem miejski (miejski system ekologiczny)** (ang. urban ecosystem) – termin wyodrębniony z nauki o ekologii człowieka. Można go rozumieć jako zależności panujące pomiędzy dwoma najważniejszymi składnikami tego ekosystemu: ludźmi i środowiskiem miejskim, a przede wszystkim ich wpływ na strukturę i krajobraz miasta. Zależności w ekosystemie miejskim układają się w specyficzny sposób, ponieważ człowiek ma wyraźnie dominującą rolę. Jednakowoż miasto jest częścią wielkiego ekosystemu, którym jest cała biosfera, dlatego do ekosystemu miejskiego należy zaliczyć także obszary poza granicami zabudowy, ale z nią związane jak: lasy, parki leśne, tereny kąpieliskowe i sportowe poza zabudowę. Specyfiką ekosystemu miejskiego jest jego

¹ [Piontek 1998] uważa, że zrównoważony rozwój niesłusznie utożsamia się z ekologią (czy też ekorozwojem). W Konwencji z Rio nie ma bowiem wyraźnych przesłanek do przyrodniczego rozumienia rozwoju zrównoważonego. Kundzewicz (2000) przekonuje, że przedrostek eko- jest nadużywany i stosowany dla wszelkich działań sprzyjających środowisku, co nie do końca ma związek z samą ekologią, która jest nauką badającą relacje między żywymi organizmami a środowiskiem.

funkcjonowanie – człowiek żywność, wodę i energię wytwarza sam, a zasoby przyrody mają rolę przede wszystkim w poprawie jakości warunków życia w mieście. Jeżeli traktujemy miasto jako ekosystem, konsekwentnie musimy uwzględniać w planie urbanistycznym oprócz człowieka (i tego, co wytwarza) także rośliny i zwierzęta [Ostrowski 2001, Łabno 2006].

✓ **Elementy architektoniczne** (związane z wodami opadowymi) – to obiekty inżynierskie, małej architektury i różnego typu detale architektoniczne, wykorzystujące przepływ wód opadowych. Są to m.in.: beczki, cysterny, fontanny, kaskady, progi wodne, rury spustowe, rynny, rynsztoki, rzygacze, studnie chłonne. Kształtowane w sposób finezyjny mogą być elementem estetycznym przestrzeni miejskiej, a nie tylko urządzeniem technicznym.

✓ **Elementy krajobrazowe** (związane z wodami opadowymi) – to obiekty powstałe najczęściej poprzez modelowanie terenu i obsadzenie roślinnością, wykorzystujące przepływ bądź gromadzące wody opadowe. Są to m.in.: muldy, niecki retencyjne, pasáže roślinne, rowy przydrożne, stawy retencyjne, zielone dachy. Tak jak → **elementy architektoniczne**, ukształtowane w ciekawy sposób, dopasowane kompozycyjnie elementy krajobrazowe mogą stać się ozdobą przestrzeni miejskiej.

✓ **Gospodarowanie zasobami wód opadowych (zarządzanie zasobami wód opadowych)** (ang. stormwater management, SWM) [Drapella-Hermansdorfer 2003]² – rozumiane dosłownie jako zarządzanie spływami wód opadowych (deszczu, śniegu), tak by zmniejszyć ich negatywne skutki w mieście, a tym samym zachować równowagę w → **bilansie wodnym** terenów zurbanizowanych. W praktyce gospodarowanie zasobami wód opadowych opiera się na działaniach mających na celu przede wszystkim umożliwienie:

- wsiąkania jak największej ilości wód w miejscu opadu (przepuszczalne powierzchnie i powierzchnie bioretencyjne),
- odprowadzania wód opadowych w miejsca wsiąkania poprzez pojedyncze → **urządzenia gospodarowania wodą opadową** lub → **systemy urządzeń gospodarowania wodą opadową**,
- gromadzenia wód opadowych za pomocą specjalnych → **urządzeń gospodarowania wodą opadową**,
- oczyszczania wód opadowych,
- wykorzystania wód opadowych.

Zarządzanie zasobami wód opadowych to część → **zrównoważonej ochrony zlewni** i polega często na kreowaniu → **zrównoważonego drenażu miejskiego**, sprzyjającego nie tylko → **pozyskiwaniu wód opadowych** i ich ochronie bądź wykorzystaniu, ale przede wszystkim zminimalizowaniu zagrożenia powodziowego i problemu zanieczyszczeń na terenach zurbanizowanych. Wszystkie te działania są wprowadzane poprzez plany/programy gospodarowania wodą opadową za pomocą narzędzi gospodarowania wodą opadową, zgodnych z zasadami polityki → **zrównoważonego rozwoju** miast.

² Tłumaczone także jako zagospodarowanie wód opadowych.

- ✓ **Kompensacja przyrodnicza → ekokompensacja.**
- ✓ **Mała retencja** – czasowe zatrzymanie wody z opadów atmosferycznych w małych zbiornikach wodnych, ciekach, glebie, szacie roślinnej. Proces małej retencji jest ważną składową bilansu wodnego, także na terenach zurbanizowanych, gdzie formami małej retencji mogą być stawy retencyjne, oczka wodne, zagłębienia, niecki retencyjne, powierzchnie bioretencyjne, zielone dachy.
- ✓ **Miejski system ekologiczny** zob. → **ekosystem miejski.**
- ✓ **Obieg wód** zob. → **cykl hydrologiczny.**
- ✓ **Pozyskiwanie wody** (ang. water harvesting) – w szerokim znaczeniu oznacza gromadzenie spływu wody w celu spożytkowania. Spływ może być pozyskiwany z powierzchni dachowych, powierzchni gruntów podczas okresowych i krótkotrwałych spływów wody [Philips 2003]. Techniki gromadzenia wody, które pozyskują wody opadowe z dachów i powierzchni gruntów nazywa się → pozyskiwaniem wód deszczowych.
- ✓ **Pozyskiwanie wód deszczowych** (opadowych) (ang. rainwater harvesting) – systemy złożone, służące do gromadzenia całego odpływu pochodzącego z opadu, a następnie umożliwiające jego wykorzystanie [Philips 2003].
- ✓ **Różnorodność biologiczna** (bioróżnorodność) (ang. biodiversity) – według ustawy o Ochronie Przyrody (Dz. U.04.92.880 z dnia 30 kwietnia 2004 r.) to „różnicowanie żywych organizmów występujących w ekosystemach, w obrębie gatunku i między gatunkami, oraz zróżnicowanie ekosystemów” [Wolski 2002]³. Określenia różnorodności biologicznej używa się w odniesieniu do: 1) różnorodności gatunkowej, 2) różnorodności ekologicznej (typy zgrupowań gatunków roślin i zwierząt), 3) różnorodności genetycznej. Bioróżnorodność kształtuje biosferę i zapewnia prawidłowe funkcjonowanie przyrody, wpływa także na warunki bytowania człowieka [Łabno 2006].
- ✓ **Służebność ekologiczna (służebność krajobrazowa)** (ang. *conservation easement*) – legalne porozumienie pomiędzy właścicielami gruntów a powiernikami ziemskimi lub agencjami rządowymi, chroniące całkowicie potencjał środowiskowy terenu, ograniczające prawa właściciela do podejmowania na jego terenie działań zagrażających temu potencjałowi w imię interesu społecznego [Böhm, Zachariasz 1997].
- ✓ **Służebność krajobrazowa** zob. → **służebność ekologiczna.**
- ✓ **Systemy urządzeń gospodarowania wodą opadową** (ang. systems of rainwater harvesting techniques) – zespoły współdziałających ze sobą → **elementów architektonicznych** i → **elementów krajobrazowych**, o funkcji rozpraszającej i gromadzącej wody opadowe, a także oczyszczającej i niekiedy wykorzystującej, mające ścisły związek z krajobrazem, w którym występują.
- ✓ **Trwały rozwój** zob. → **zrównoważony rozwój.**

³ Podlega ochronie także na mocy ustawy ONZ z 1992 r.

✓ **Urządzenia gospodarowania wodą opadową** (ang. rainwater harvesting techniques) [Philips 2003] – przez urządzenia w tej pracy rozumiane są → **elementy architektoniczne** oraz → **elementy krajobrazowe** związane z wodami opadowymi.

✓ **Eriscaping** (ang.) – sposób kształtowania krajobrazu w sposób oszczędzający wodę wymyślony w 1981 r. w Stanach Zjednoczonych. Xeriscape to słowo powstałe z kombinacji greckiego słowa „xeros” oznaczającego suszę oraz słowa „scape” pochodzącego z wyrażenia landscape.

Podstawowe zasady xeriscapingu to:

- Odpowiednia roślinność – użycie gatunków odpowiednich do siedliska lub dobrze adaptujących się do nowych warunków. Preferuje się gatunki sucholubne, nie wymagające stałego nawadniania. Najwięcej wody zużywają ogromne powierzchnie trawnikowe, należy zatem zrezygnować z nich lub zastosować na tych powierzchniach inne gatunki, znoszące warunki okresowej suszy.
- Odpowiedni układ – zaleca się grupowanie roślin według ich potrzeb wodnych. Rośliny znoszące suszę powinny być zgrupowane w oddzielnej strefie, a duże powierzchnie zadarnione zdecydowanie oddzielone od reszty. Należy stworzyć takie warunki, gdzie poszczególne gatunki nie będą musiały konkurować ze sobą o wodę.
- Określona wydajność wodna – należy uwzględnić potrzeby wodne roślin jak i warunki hydrologiczne terenu (częstotliwość i ilość opadów, poziom wód gruntowych, sorpcyjne właściwości gleby itp.).
- Ściółkowanie – w celu utrzymania odpowiednich warunków temperaturowych i wilgotnościowych w glebie. Ściółkowanie chroni glebę przed nadmiernym parowaniem (ewaporacja), rozwojem chwastów oraz szybką erozją, powodując jednocześnie jej chłodzenie.
- Polepszenie warunków glebowych – należy dokonać zabiegów aeracyjnych, poprawiających właściwości gleby, a głównie jej zdolności absorpcyjne, aby teren zaprojektowany zgodnie z xeriscaping rzeczywiście funkcjonował na rzecz zasobów wodnych.

Stosowanie zasad bezwodnego kształtowania krajobrazu oszczędza wodę pitną, czas który zazwyczaj poświęcamy na pielęgnację ogrodu oraz pieniądze które płacimy za wodę zużytą. Stosowanie roślin nie wymagających stałego podlewania daje również możliwości wykorzystania wody opadowej w okresach deszczowych.

Pojęcie xeriscapingu jest mylone często z innym terminem tzw. → **zero-scapingiem** czyli z prawie całkowitą rezygnacją z użycia roślin w zagospodarowaniu terenu. Choć obydwa sposoby zużywają mniej wody niż tradycyjne kształtowanie przestrzeni, jednak zdecydowanie różnią się w wyglądzie i funkcjonowaniu⁴.

✓ **Zarządzanie zasobami wód opadowych** zob. → **gospodarowanie zasobami wód opadowych**.

✓ **Zero-scaping** – sposób kształtowania krajobrazu, polegający na kreowaniu tekstury krajobrazu przy użyciu materiału skalnego i roślin niewymagających, np. kaktusów

⁴ [www.cabq.gov/waterconservation/xeric.html]

czy juk. Zero-scaping stosuje się w celu ograniczenia zapotrzebowania na wodę zagospodarowywanego terenu, często w rejonach klimatu suchego⁵.

✓ **Zlewisko** zob. → **zlewnia**.

✓ **Zlewnia (zlewisko)** (ang. catchment or watershed or drainage area) – powierzchnia łądu i wód, odwadniana do jednego, wspólnego odbiornika, którym jest najczęściej rzeka, jezioro.

✓ **Zrównoważony rozwój (trwały rozwój)** (ang. sustainable development) – „rozwój, który zaspokaja aktualne potrzeby, bez pozbawiania na to szans przyszłych generacji” [według raportu pt.: „Our Common Future” Światowej Komisji Środowiska i Rozwoju tj. Komisja p. Brundland, powołanej przez ONZ w 1987 r.]

Koncepcję zrównoważonego rozwoju uznano za najwyższą zasadę, uwzględniającą 5 wymiarów [Sumień 1998]:

- 1) ekologiczny – eksploatawanie czy ochrona;
- 2) ekonomiczny – możliwie jak najmniejsze nakłady;
- 3) polityczno-organizacyjny – ramy i środki instytucjonalnych organizacji społecznych;
- 4) dobrobyt – obowiązek zaspokajania podstawowych potrzeb;
- 5) technologiczny – stosunek do nauki i technologii.

Aby osiągnąć zrównoważenie rozwoju miast, niezbędna jest koordynacja wysiłków w różnych sektorach, na różnych poziomach administracyjnych. Rozwój zrównoważony musi zapewniać m.in. zastąpienie nieograniczonych przepływów, w których zasoby przyrodnicze są zamieniane w odpady w zamkniętym obiegu [Sumień 1998]. Trwały rozwój nie może być uniwersalnym środkiem dla wszystkich działań, ale indywidualną strategią w określonym miejscu działania, uwzględniającą także oddziaływanie i ewentualne skutki dla globalnych zasobów środowiska [Kundzewicz 2000].

✓ **Zrównoważony system drenażu miejskiego SUDS** (ang. sustainable urban drainage system) – wprowadzony w Wielkiej Brytanii zrównoważony sposób gospodarowania wodą opadową na terenach miejskich. Decyzje podjęte w ramach SUDS przewidują długotrwałe czynniki środowiskowe i społeczne funkcjonowania systemu. Koncepcja SUDS odnosi się do poprawienia jakości spływów deszczowych i zmniejszenia ich uciążliwości dla środowiska miejskiego, przy jednoczesnym zwiększeniu korzyści dla środowiska przyrodniczego. SUDS, w odróżnieniu od tradycyjnych metod drenażu, wykorzystuje urządzenia do powierzchniowego odprowadzania wód opadowych. Podstawowe założenie systemu to:

- zarządzanie szybkością odpływu z terenów uszczelnionych, co zmniejszy zagrożenie powodziowe;
- ochrona i utrzymanie dobrej jakości wody;
- stworzenie siedlisk dla występowania w ciekach miejskich zróżnicowanej fauny i flory;
- utrzymanie naturalnego poziomu wód gruntowych⁶

⁵ [www.cabq.gov/waterconservation/xeric.html]

⁶ [www.ciria.org/suds]