

Anna Januchta-Szostak*

BŁĘKITNO-ZIELONA INFRASTRUKTURA JAKO NARZĘDZIE ADAPTACJI MIAST DO ZMIAN KLIMATU I ZAGOSPODAROWANIA WÓD OPADOWYCH

1. ZAGROŻENIA I PROBLEMY KLIMATYCZNE MIAST

Gwałtowny rozwój przestrzenny miast w XIX i XX wieku spowodował radykalne zmiany środowiska, struktur hydrograficznych i warunków obiegu wody w zlewniach miejskich. A rola wody – niewrażliwego składnika ekosystemów i determinanty rozwoju cywilizacji i kultury – została zredukowana do funkcji gospodarczych i technologicznych.

W skali globalnej zakres antropogennych przekształceń środowiska, wywołanych procesami urbanizacji i industrializacji (zob. ilustracja 1), rabunkową eksploatacją zasobów naturalnych i emisją gazów cieplarnianych, spowodował globalne skutki ekologiczne i klimatyczne, które zdeterminowały warunki życia na Ziemi w epoce Antropocenu¹. W XXI wieku zagrożenia związane ze zmianami klimatycznymi (zdiagnozowane w raportach IPCC²), niedoborem wody (susze) lub jej nadmiarem (powodzie), zanieczyszczeniem i degradacją ekosystemów stają się kluczowym problemem ludzkości i wyzwaniem dla urbanistyki³, zwłaszcza że skala problemów rośnie wraz ze wzrostem populacji zamieszkującej obszary zurbanizowane⁴.

Miasta są środowiskiem szczególnie wrażliwym na zmiany klimatyczne, a równocześnie poziom urbanizacji wpływa na lokalne różnice klimatyczne.

* Dr hab. inż. arch. Anna Januchta-Szostak, prof. PP,
Instytut Architektury i Planowania Przestrzennego, Wydział Architektury Politechniki Poznańskiej.
Adres e-mail: anna.januchta-szostak@put.poznan.pl. ORCID ID: 0000-0001-7411-9280.

1 W. Steffen, J. Grinevald, P.J. Crutzen, J. McNeill, *The Anthropocene. Conceptual and Historical Perspectives*, „Philosophical Transactions of The Royal Society. A Mathematical Physical and Engineering Sciences” 2011, No. 369, s. 842–867.

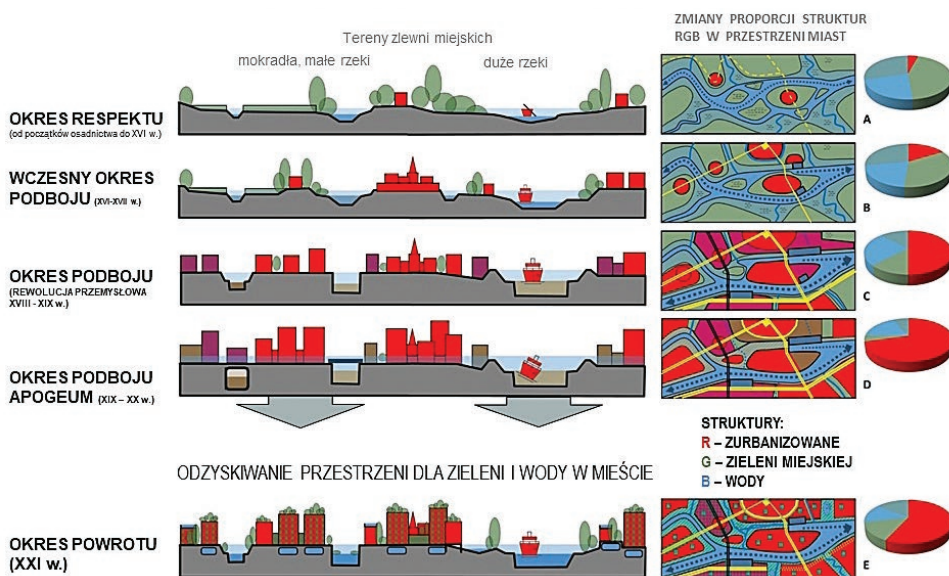
2 PCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (Międzypaństwowy Zespół ds. Zmian Klimatu) – międzyrządowe, naukowe ciało doradcze utworzone w 1988 na wniosek ONZ. Więcej na ten temat zob. <https://www.ipcc.ch/> (dostęp: 15.05.2019).

3 Zob. A. Januchta-Szostak, *Miasta przyjazne rzekom*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2019, passim.

4 Według prognoz ONZ w 2050 roku 68% ludności świata będzie mieszkać w miastach, a znaczna część stworzy populacje megamiast, czyli struktur osadniczych liczących ponad 10 mln mieszkańców. Według raportu ONZ z 2018 r. dotyczącego Gospodarki Wodnej na Świecie, jeśli konsumpcja wody pozostanie na obecnym poziomie, to w 2025 roku dwie trzecie ludzkości będzie żyło w sytuacji stresu wodnego, to jest na obszarach objętych deficytem wody.

Według Janiny Lewińskiej⁵ klimat miast cechują, między innymi:

- wzrost sum opadów atmosferycznych – średnio o 10–30%, szczególnie w cieplej porze roku,
- występowanie opadów o dużym natężeniu, w tym burz (wzrost od 10 do 47% w porównaniu do terenów otwartych) i gradu (wzrost do 90%),
- wzrost opadów w centrach miast i po stronie zawietrznej,
- rzadsze opady śniegu (średnio 70%) w stosunku do obszarów pozamiejskich oraz krótsze zaleganie pokrywy śnieżnej (do 50% częstotliwości).



Ilustracja 1. Zarys historycznych przekształceń struktur RGB w zlewni miejskiej

Źródło: schemat na podstawie: A. Januchta-Szostak, *Miasta przyjazne rzekom*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2019, s. 193.

Czynnikiem sprzyjającym intensyfikacji opadów w mieście jest większa zawartość pyłów w powietrzu, które stają się aktywnymi jądrami kondensacji pary wodnej. Nagrzanie miasta powoduje powstawanie silnych prądów wstępujących, a co za tym idzie chmur konwekcyjnych, którym towarzyszą zjawiska burzowe i opady ulewne⁶. Charakterystyczne dla obszarów silnie zurbanizowanych jest zjawisko miejskiej wyspy ciepła, to jest różnicy temperatur pomiędzy miastem a terenami zewnętrznymi. Natężenie wyspy

5 J. Lewińska, *Klimat miasta – zasoby, zagrożenia, kształtowanie*, Instytut Gospodarki Przestrzennej i Komunalnej, Oddział w Krakowie, Kraków 2000, s. 65.

6 Tamże, s. 64–66.

ciepła może osiągnąć nawet 12°C⁷. Nakładanie się na siebie negatywnego oddziaływania ocieplenia globalnego i lokalnego wzrostu temperatur w obszarach miejskich wpływa na znaczące obniżenie komfortu cieplnego w miastach. A globalne i lokalne wzrosty intensywności opadów powodują problemy z zagospodarowaniem wód opadowych.

Klimat Polski charakteryzuje się znaczną roczną i dobową zmiennością pogody, a wielkość opadów związana jest z rzeźbą i ekspozycją terenu. W Polsce, według danych IMGW, najwyższe roczne sumy opadów występują w górach i na wyżynach (1100–1200 mm) oraz na obszarach nadmorskich, podczas gdy na obszarach centralnych suma opadów wynosi zaledwie 500–600 mm. W pasie nizin centralnej Polski wartości te są najniższe: 450–550 mm. W centralnych regionach Polski, w szczególności w Wielkopolsce, odwodnienie gruntów przyjmuje katastrofalną skalę. Wielkopolska należy do pierwszej kategorii w hierarchii potrzeb obszarowych małej retencji, co oznacza największe w skali kraju zapotrzebowanie na implementację rozwiązań umożliwiających zatrzymywanie, infiltrację i wykorzystywanie wód deszczowych⁸.

Roczne sumy opadów w Polsce nie wykazują istotnych tendencji zmian, ale zmienia się ich rozkład⁹, wskutek czego występują dłuższe okresy bezopadowe, przerywane gwałtownymi ulewami, które powodują przeciążenia zbiorczych systemów kanalizacyjnych, a w efekcie podtopienia i powodzie miejskie¹⁰. Zaobserwowano również wzrost częstotliwości występowania suszy i fal upałów oraz burz i huraganowych wiatrów.

Niedobór zieleni i znaczny udział powierzchni uszczelnionych sprawiają, że skutki ekstremalnych zjawisk hydrometeorologicznych są w miastach odczuwalne szybciej i z większą intensywnością niż na terenach otwartych. Trzy główne typy zagrożeń na obszarach zurbanizowanych obejmują: intensyfikację miejskiej wyspy ciepła, silne ulewy zagrażające podtopieniami oraz susze pogłębiające deficyt wody w miastach. Zagrożeniem pośrednim dla infrastruktury miejskiej są powodzie powodujące podtopienia, osuwiska oraz zniszczenia budynków i infrastruktury¹¹.

Raport Komitetu Badań nad Zagrożeniami Związanymi z Wodą przy Prezydium Polskiej Akademii Nauk (2014)¹² potwierdza, że problemy z nadmiarem, niedoborem i złą jakością wody w Polsce są nie tylko efektem zmian klimatycznych, ale przede wszystkim błędów w planowaniu przestrzennym i przestarzałych metod gospodaro-

7 Oke 1997. Cyt. za: J. Lewińska, *Klimat miasta...*, s. 46.

8 P. Kowalczak, *Hierarchia potrzeb obszarowych małej retencji w dorzeczu Warty*, Wydawnictwo Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa 2001, *passim*.

9 W Polsce w miesiącach ciepłych występuje średnio 70 dni z opadami ponad 30 mm, które zagrażają lokalnymi podtopieniami, czyli prawie 40% dni w półroczu ciepłym jest potencjalnie zagrożonych wystąpieniem opadów powyżej 30 mm/dobę. Średnio mamy 58 dni z opadami groźnymi powodziowo, czyli powyżej 50 mm na dobę, (w tym średnio 16 dni z opadami zaliczanymi do poziomu powodziowego i 5 do poziomu katastrofalnego – powyżej 70 mm na dobę). Średnio 24% dni w miesiącach letnich ma opady deszczu grożące powodzią (powyżej 50 mm/dobę), a w roku 2010 było to ponad 32% dni. Zob. *Klęski żywiołowe a bezpieczeństwo wewnętrzne kraju*, red. H. Lorenc, Wydawnictwo Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa 2012, s. 39.

10 R.J. Romanowicz, E. Nachlik, A. Januchta-Szostak, L. Starkel, Z.W. Kundzewicz, A. Byczkowski, P. Kowalczak, J. Żelaziński, L. Radczuk, P. Kowalik, K. Szamalek, *Zagrożenia związane z nadmiarem wody. Raport Komitetu Badań nad Zagrożeniami Związanymi z Wodą przy Prezydium PAN*, „Kwartalnik NAUKA” 2014, nr 1, s. 123–148.

11 *Strategiczny plan adaptacji dla sektorów i obszarów wrażliwych na zmiany klimatu do roku 2020 z perspektywą do roku 2030*, Ministerstwo Środowiska, Warszawa 2013, s. 31–32.

12 *Raport Komitetu Badań nad Zagrożeniami Związanymi z Wodą przy Prezydium PAN*, „Kwartalnik NAUKA” 2014, nr 1, *passim*.

wania wodą w zlewniach. Zarówno przepisy prawa, jak i rozwiązania przestrzenne, organizacyjne i infrastrukturalne nastawione są na odprowadzanie, czyli szybkie odprowadzanie wód opadowych i roztopowych do odbiorników, a nie ich retencję na miejscu zaistnienia opadów. Miejskie systemy odwodnień nie są w stanie przyjmować wzrastających objętości wód spływających z terenów uszczelnionych, co powoduje lokalne podtopienia (czasowe zalewanie ulic i budynków), a nierzadko powodzie błyskawiczne, na skutek gwałtownych wezbrań w małych ciekach. Z drugiej strony skuteczne odprowadzanie miast i brak możliwości infiltracji w wyniku uszczelniania gruntów miejskich jest powodem suszy glebowej i pogarszania się warunków wegetacyjnych w miastach. Powszechną praktyką, nie tylko w polskich miastach, jest „oczyszczanie” z zieleni działek budowlanych i osuszanie terenów podmokłych¹³, a struktury zieleni w miastach są pod nieustanną presją inwestycyjną.

2. SKUTKI USZCZELNIENIA MIAST

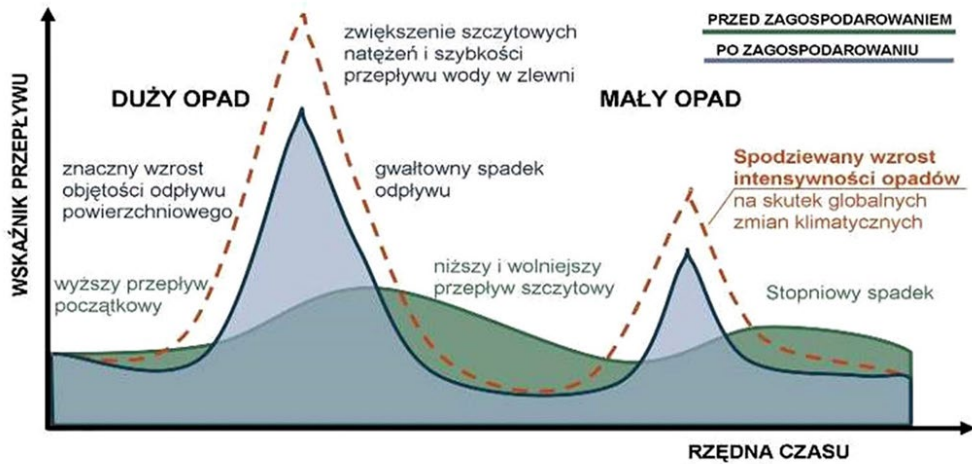
Proces urbanizacji doprowadził do redukcji terenów zieleni w miastach i pokrycia dużych obszarów zabudowy i komunikacji materiałami nieprzepuszczalnymi¹⁴ (zob. ilustracja 1), co spowodowało znaczne zwiększenie wielkości i szybkości odpływu powierzchniowego, a w konsekwencji szereg niekorzystnych zmian bilansu wodnego, środowiska przyrodniczego i mikroklimatu miast. Związek pomiędzy poziomem uszczelnienia powierzchni a skalą problemów hydraulicznych i środowiskowych został dowiedziony i szeroko omówiony przez wielu badaczy¹⁵. Nadmierne uszczelnienie w powiązaniu z zasadą szybkiego odprowadzania wód opadowych skutkuje zwiększaniem zagrożeń powodziowych, ale również pogorszeniem lokalnych warunków klimatycznych, a co za tym idzie – jakości życia w miastach. Odprowadzanie zanieczyszczonych wód opadowych do rzek i strumieni powoduje degradację środowiska naturalnego wód płynących na znacznych odcinkach poniżej wylotów kanałów burzowych¹⁶.

13 Tylko w latach 2009–2016 na skutek antropopresji w Europie zniknęło 45% obszarów wodno-błotnych – zob. S. Hu, Z. Niu, Y. Chen, L. Li, H. Zhang, *Global wetlands. Potential distribution, wetland loss, and status*, „Science of the Total Environment” 2017, No. 586, s. 319–327.

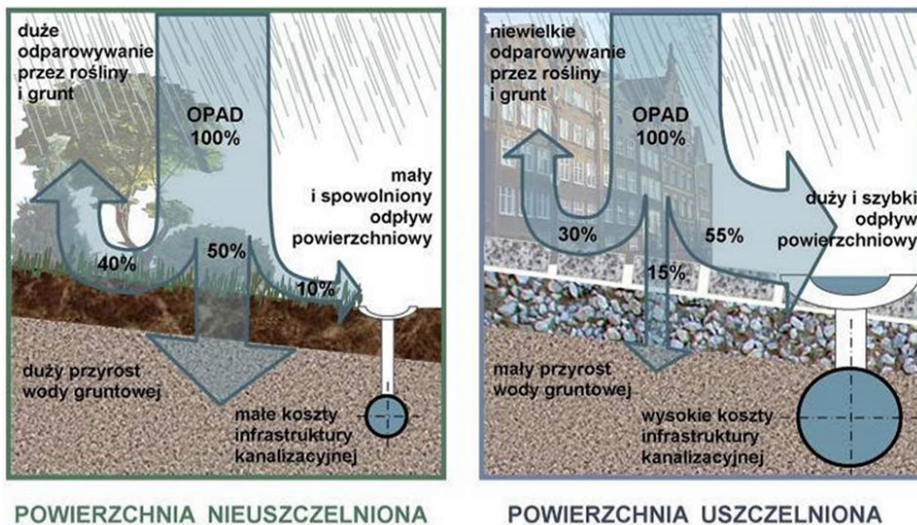
14 Pod pojęciem powierzchni nieprzepuszczalnej (uszczelnionej) rozumie się powierzchnię, która uniemożliwia lub opóźnia wprowadzenie wód opadowych do gruntu w porównaniu z powierzchnią występującą w warunkach naturalnych, przed zagospodarowaniem działki – zob. E. Burszta-Adamiak, *Opłaty za wody opadowe – doświadczenia polskie i zagraniczne*, [w:] *Problemy zagospodarowania wód opadowych*, red. J. Łomotowski, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Wydawnictwo Seidel-Przywecki, Wrocław 2008, s. 116–123.

15 Zob. między innymi: W. Geiger, H. Dreiseitl, *Nowe sposoby odprowadzania wód deszczowych. Poradnik*, tłum. J. Brzeski, Oficyna Wydawnicza Projprzem-EKO, Bydgoszcz 1999, s. 334; *Handbook of Water Sensitive Planning and Design*, ed. by R.L. France, Lewis Publishers, CRC Press, Boca Raton 2002, s. 699.

16 Zob. *Center for Watershed Protection*, <http://www.cwp.org/> (dostęp: 25.05.2019).



Ilustracja 2. Schemat zmian natężenia przepływu w zlewni naturalnej (przed zagospodarowaniem) i zurbanizowanej (po zagospodarowaniu) na podstawie hydrogramów przepływu w zlewni zurbanizowanej
 Źródło: A. Januchta-Szostak, *Woda w miejskiej przestrzeni publicznej. Modelowe formy zagospodarowania wód opadowych i powierzchniowych*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2011, s. 84.



Ilustracja 3. Obieg wody na powierzchniach nieuszczelnionych i uszczelnionych
 Źródło: A. Januchta-Szostak, *Woda w miejskiej przestrzeni publicznej. Modelowe formy zagospodarowania wód opadowych i powierzchniowych*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2011, s. 84.

Porównanie zmian natężenia przepływu w zlewni naturalnej i zurbanizowanej (zob. ilustracje 2 i 3) obrazuje hydrauliczne skutki uszczelnienia gruntów miejskich. Deszcz padający na nawierzchnię naturalną wsiąka w grunt i dopiero po jego nasyceniu wypełnia zagłębienia terenu i spływa na niżej położone tereny. Korony drzew zatrzymują od kilkunastu do kilkudziesięciu procent opadu rocznego w zależności od gatunku drzew i rodzaju opadu¹⁷. Coraz częściej występujące gwałtowne i obfite opady (opad dobowy powyżej 40 mm) powodują wzrost szczytowych natężeń przepływu w uszczelnionych miejskich zlewniach, przeciążenia systemów kanalizacji i powodzie miejskie.

Bezpośrednim skutkiem nadmiernego uszczelniania terenów miejskich i niedoboru zieleni jest:

- wzrost natężenia miejskich wysp ciepła, zagrożenia związane z falami upałów,
- ograniczenie możliwości infiltracji wód opadowych do gruntu, co prowadzi do obniżenia poziomu wód gruntowych, zmian struktury gruntów i pogorszenia warunków wegetacyjnych w miastach,
- znaczny wzrost objętości i prędkości odpływu powierzchniowego, który jest przyczyną przeciążeń zbiorczych systemów kanalizacji, podtopień, erozji i osuwisk,
- duże zmiany dynamiki przepływu, szczególnie w obrębie małych cieków (gwałtowne wezbrania i głębokie niżówki, aż do zaniku w okresach suszy),
- zanieczyszczenie wód płynących i stojących na skutek bezpośredniego odprowadzania opadów z silnie zanieczyszczonych powierzchni (szczególnie uciążliwe są zrzuty burzowe nieczyszczonych ścieków bytowych z systemów kanalizacji ogólnospławnej),
- degradacja ekosystemów wodnych i od wody zależnych,
- powodzie miejskie.

Do długofalowych skutków pośrednio wywołanych uszczelnieniem powierzchni miast zaliczyć można:

- zanieczyszczenie środowiska,
- wzrost zagrożenia powodziowego,
- pogorszenie warunków życia w miastach,
- wzrost zużycia energii i kosztów funkcjonowania miasta.

¹⁷ Przykładowo ilości opadów zatrzymywane przez sklepienie leśne wynoszą: w drzewostanach sosnowych 18–36%, świerkowych 12–53%, bukowych 8–30%. Zob. *Uniwersytet Jagielloński bez granic. Pogoda i klimat. Różnorodność jednorodności*, <https://open.uj.edu.pl/mod/page/view.php?id=70> (dostęp: 11.12.2020).

Problemy związane z zagospodarowaniem wód opadowych są potęgowane przez globalne i lokalne zmiany klimatu, których efektem jest wzrost częstotliwości występowania i natężenia deszczy nawalnych.

3. ADAPTACJA DO ZMIAN KLIMATU

W 2009 roku Komisja Europejska opublikowała Białą Księgę: *Adaptacja do zmian klimatu: europejskie ramy działania*¹⁸, w której podkreślono znaczenie strategii zarządzania zasobami i ekosystemami, a zwłaszcza wodami i gruntami, w celu wykorzystania potencjału naturalnego w zakresie adaptacji do zmian klimatu. W 2013 roku uchwalono Strategię UE w sprawie adaptacji do zmian klimatu¹⁹, która kładzie szczególny nacisk na przygotowanie do ekstremalnych zjawisk pogodowych oraz redukcję towarzyszących im kosztów społecznych i ekonomicznych, w tym na uwzględnienie kwestii adaptacji w planowaniu rozwoju miast. Powstała również platforma Climate – ADAPT²⁰, umożliwiająca popularyzację wiedzy na temat zagrożeń, możliwości przeciwdziałania oraz upowszechnianie wyników badań i dobrych praktyk adaptacyjnych wśród państw członkowskich UE.

Na zlecenie Ministerstwa Środowiska w 2013 roku opracowano *Strategiczny Plan adaptacji dla sektorów i obszarów wrażliwych na zmiany klimatu do roku 2020 (SPA 2020)*²¹. „Został on przygotowany z myślą o zapewnieniu warunków stabilnego rozwoju społeczno-gospodarczego w obliczu ryzyk, jakie niosą ze sobą zmiany klimatu, ale również z myślą o wykorzystaniu pozytywnego wpływu, jaki działania adaptacyjne mogą mieć nie tylko na stan polskiego środowiska, ale również wzrost gospodarczy”²². Najpoważniejsze problemy spowodowane zmianami klimatu obejmują:

- nadmiar wody (powodzie),
- niedobór wody i susze,
- fale gorąca,
- przerwanie ciągłości dostaw energii, żywności i wody z otoczenia miast,
- rozprzestrzenianie się chorób i epidemie wywołane ekspansją wektorów chorób.

18 Rezolucja Parlamentu Europejskiego z dnia 6 maja 2010 roku w sprawie Białej Księgi zatytułowanej *Adaptacja do zmian klimatu: europejskie ramy działania* [2009/2152 (INI)], <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/ALL/?uri=CELEX%3A52010IP0154> (dostęp: 11.12.2020).

19 Komunikat Komisji Do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów, *Strategia UE w zakresie przystosowania się do zmiany klimatu*, Bruksela, 16.04.2013 [COM(2013) 216 final], <https://eur-lex.europa.eu/procedure/EN/202557> (dostęp: 11.12.2020).

20 Europejska platforma adaptacji do zmian klimatu jest inicjatywą Komisji Europejskiej powołaną w celu ułatwienia dostępu i wymiany informacji na temat prognozowanych zmian klimatu w Europie, obecnej i przyszłej wrażliwości regionów i sektorów, narodowych i transnarodowych strategii adaptacyjnych, przykładów praktyk i potencjalnych opcji adaptacji; narzędzi wspierających planowanie adaptacji. Zob. *Climate ADAPT*, <https://climate-adapt.eea.europa.eu/> (dostęp: 24.05.2019).

21 *Strategiczny plan adaptacji dla sektorów i obszarów...*, passim.

22 Tamże, s. 5.

Plan SPA 2020 wskazuje na konieczność modyfikacji miejskiej polityki przestrzennej w celu zapewnienia zrównoważonego rozwoju regionalnego i lokalnego z uwzględnieniem zmian klimatu (cel 4, kierunek działań 4.2) oraz stymulowanie innowacji (cel 5) i kształtowanie postaw społecznych sprzyjających działaniom adaptacyjnym (cel 6). Do kluczowych zadań, oprócz dostosowania narzędzi planistycznych, zaliczono między innymi zwiększenie powierzchni zieleni i wody, rewitalizację przyrodniczą i mikroretencję w miastach, czyli rozwój błękitno-zielonej infrastruktury (BZI).

Na początku 2019 roku opracowano plany adaptacji do zmian klimatu dla 44 dużych miast Polski (powyżej 100 tys. mieszkańców)²³. Celem projektu była ocena wrażliwości i podatności miast na zmiany klimatu. W planach wskazano sektory najbardziej wrażliwe na zmiany klimatu, wśród których czołowe pozycje zajmują: zdrowie publiczne, gospodarka wodna, transport i energetyka, ale również konkretne obszary miast, w tym: historyczne centra, tereny intensywnej zabudowy mieszkaniowej, turystyki i rekreacji oraz ekosystemy miejskie²⁴. Podatność miast na zmiany klimatu jest zależna od wrażliwości poszczególnych sektorów i obszarów oraz ich potencjału adaptacyjnego. W planach dokonano wielowymiarowej oceny²⁵ potencjału adaptacyjnego miast, który bezpośrednio wpływa na skalę niekorzystnych konsekwencji zjawisk klimatycznych w mieście, wyznaczono cele strategiczne i działania, które należy podjąć dla łagodzenia zmian klimatu i zmniejszenia podatności w poszczególnych sektorach. Głównym narzędziem adaptacji miast jest wprowadzanie i wzmacnianie błękitno-zielonej infrastruktury.

4. GENEZA I ZNACZENIE BŁĘKITNO-ZIEŁONEJ INFRASTRUKTURY

Rola zieleni w planowaniu i zagospodarowaniu miast została dostrzeżona już na przełomie XIX i XX wieku, ale dopiero w okresie „zielonego przełomu” lat 70. i 80. XX wieku²⁶, pod presją alarmujących raportów środowiskowych²⁷, wypuklono ekologiczny wymiar przestrzeni miejskiej. Ważnym stymulatorem zmian był rozwój ekologii i etyki środowiskowej. Utracone w wyniku degradacji walory środowiska naturalnego zostały zauważone i ekonomicznie docenione jako usługi lub

23 Plany opracowano w ramach projektu realizowanego przez Ministerstwo Środowiska i Instytut Ochrony Środowiska. Zob. *Wczujmy się w klimat!*, <http://44mpa.pl/miejskie-plany-adaptacji/> (dostęp: 8.03.2019).

24 Zob. *Zielona infrastruktura*, <http://zielonainfrastruktura.pl/wrazliwosc-miast-na-zmiany-klimatu/> (dostęp: 24.05.2019).

25 Ocena potencjału adaptacyjnego obejmowała: zasoby finansowe, zasoby ludzkie, zasoby instytucjonalne, infrastrukturę i zasoby wiedzy. Zob. *Plany adaptacji do zmian klimatu 44 miast polski. Publikacja podsumowująca*, Ministerstwo Środowiska, Warszawa 2018, www.44mpa.pl (dostęp: 24.05.2019).

26 Już w 1969 roku Ian L. McHarg w książce *Design with Nature* określił podstawy metodyczne oceny oddziaływania na środowisko i zapoczątkował nurt zielonej urbanistyki, rozwinięty później przez Timothy'ego Beatleya (2000).

27 Raport Sithu U Thanta *The problems of human environment* przedstawiony na sesji Zgromadzenia Ogólnego ONZ uświadomił opinii publicznej globalne zagrożenia środowiska naturalnego i zaktywizował ruchy proekologiczne.

świadczenia ekosystemów²⁸ dostarczane przez miejski kapitał naturalny, a rozwój inżynierii ekologicznej²⁹ stworzył narzędzia projektowania zrównoważonych systemów z uwzględnieniem ekologicznych podstaw integrujących potrzeby społeczeństwa i środowiska naturalnego dla obopólnych korzyści.

W obliczu poważnych problemów hydro-meteorologicznych dostrzeżono również znaczenie struktur zieleni dla zrównoważonej, miejskiej gospodarki wodnej, tworząc podstawy urbanistyki uwrażliwionej na wodę – WSUD (Water Sensitive Urban Design)³⁰ oraz idei LID (Low Impact Development). Już w 1979 roku autorzy publikacji *Water and the Landscape* (redakcja Grady Clay)³¹ przytaczali przykłady zrównoważonego gospodarowania wodą deszczową w USA, metody planowania urbanistycznego, uwzględniające możliwości retencji wody dzięki zastosowaniu przepuszczalnych nawierzchni, stawów retencyjnych czy meandrujących strumieni, a także ekologiczne podejście do zagospodarowania terenów zalewowych i zarządzania ryzykiem powodzi. Wolfgang Geiger i współautorzy opracowali podręcznik odprowadzania wód opadowych w obszarach zurbanizowanych³². Opisane w nim metody „zrównoważonego drenażu” znalazły zastosowanie w licznych realizacjach nowych osiedli, np. Hameau de la Fontaine w Echallens (Szwajcaria, 1981–1984); Schüngelberg w Gelsenkirchen (Niemcy); ogrody mieszkalne – dolina Backum w Herten (Niemcy, 1995–1998).

Na podstawie doświadczeń z budowy osiedli w latach 1991–1994 w Niemczech, Holandii, Danii, Szwajcarii i Austrii w oparciu o zasady zrównoważonego rozwoju (Habitat II) powstał w 1996 roku program budowy nowych osiedli zgodnie z wymogami środowiska, poszanowaniem zasobów naturalnych oraz dobrych warunków życia i wzrostu ekonomicznego³³. Jego główne założenia w zakresie gospodarowania wodą obejmowały, między innymi:

- traktowanie terenów otwartych jako integralnej części zespołów mieszkaniowych, a wody jako elementu kreatywnego planowania,
- budowę zbiorników retencyjnych pełniących również funkcje krajobrazowe, mikroklimatyczne i rekreacyjne,
- wykorzystanie opadów atmosferycznych w inżynierii sanitarnej,
- rozdzielenie wód odprowadzanych z powierzchni czystych (dachy, place,

28 R. Costanza, R. d'Arge, R. de Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R.V. O'Neill, J. Paruelo, R.G. Raskin, P. Sutton, M. van den Belt, *The value of the world's ecosystem services and natural capital*, „Nature” 1997, Vol. 387, No. 5, s. 253–260; M. Pedersen-Zari, *Ecosystem services analysis for the design of regenerative built environments*, „Building Research & Information” 2012, Vol. 40, No. 1, s. 54–64.

29 H. Odum, *Environment, power, and society*, Wiley-Interscience, London 1971, passim.

30 *Handbook of Water Sensitive Planning and Design*, ed. by R.L. France, Lewis Publishers, CRC Press, Boca Raton 2002, passim.

31 *Water and the Landscape. A Landscape Architecture Book*, ed. by G. Clay, McGraw-Hill, London–New York 1979, passim.

32 W. Geiger, H. Dreiseitl, *Nowe sposoby odprowadzania wód deszczowych...*, passim.

33 *Facing the Challenge, European Academy of the Urban Environment*, EA–UE, Berlin 1996, passim.

chodniki) od wód zanieczyszczonych substancjami ropopochodnymi z dróg i parkingów,

- użytkowanie deszczówki do irygacji ogrodów, prania, splukiwania toalet.

Osiągnięcia w zakresie inżynierii środowiskowej i sanitarnej legły u podstaw koncepcji zrównoważonych systemów drenażu miejskiego, tzw. SuDS (Sustainable Urban Drainage Systems), których głównym celem jest zagospodarowanie wody w miejscu powstania opadu i ochrona ekosystemów wodnych. Systemy te obejmują zarówno przestrzenie publiczne osiedli i miast, jak i tereny prywatne. Polityka oszczędzania wody możliwa jest dzięki lokalnym strategiom i regulacjom prawnym, wysokiej świadomości ekologicznej mieszkańców oraz motywacji ekonomicznej, która wyraża się, między innymi w zróżnicowaniu opłat za odprowadzanie wód opadowych³⁴.

Zarządzanie naturą za pomocą narzędzi inżynierii ekologicznej opiera się na stosunkowo niewielkich ingerencjach człowieka, które umożliwiają uzyskanie znacznego efektu ekologicznego, wynikającego ze stymulacji naturalnych procesów przyrodniczych. Możliwości świadomego wykorzystania przyrody dla uzyskania korzyści środowiskowych, gospodarczych i społecznych dostrzeżono również w miastach, co stało się podłożem rozwoju zielonej infrastruktury.

Zielona infrastruktura (ZI) została zdefiniowana jako „strategicznie zaplanowana sieć obszarów naturalnych, półnaturalnych z innymi cechami środowiskowymi, zaprojektowana i zarządzana w sposób mający zapewnić szeroką gamę usług ekosystemowych. Obejmuje ona obszary zielone (niebieskie w przypadku ekosystemów wodnych) oraz inne cechy fizyczne obszarów lądowych (w tym przybrzeżnych) oraz morskich. Na lądzie zielona infrastruktura jest obecna na obszarach wiejskich i w środowisku miejskim”³⁵.

Strategia *Zielona infrastruktura – zwiększanie kapitału naturalnego Europy*³⁶ zachęca do ochrony, odbudowy, tworzenia i ulepszanie zielonej infrastruktury, która jest sprawdzonym narzędziem zapewniającym korzyści środowiskowe, ekonomiczne i społeczne dzięki naturalnym rozwiązaniom i pomaga zmniejszyć zależność od „szarej” infrastruktury, która często jest droższa w budowie i utrzymaniu.

Koncepcja zielonej infrastruktury bazuje na podejściu uwzględniającym:

1. integrację,
2. wielofunkcyjność,
3. spójność i powiązania,
4. hierarchiczność (rozwiązania wieloskalowe),
5. dywersyfikację (wieloobiektywność)³⁷.

34 A. Januchta-Szostak, *Woda w miejskiej przestrzeni publicznej...*, s. 165–166.

35 Komunikat Komisji Do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów, *Zielona infrastruktura – zwiększanie kapitału naturalnego Europy* [COM/2013/0249 final], <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/?uri=celex%3A52013DC0249> (dostęp: 11.12.2020), s. 3.

36 Tamże, s. 3.

37 R. Hansen, S. Pauleit, *From Multifunctionality to Multiple Ecosystem Services? A Conceptual Framework for Multifunctionality in Green Infrastructure Planning for Urban Areas*, „AMBIO” 2014, Vol. 43, s. 517.

Barbara Szulczewska³⁸, analizując różne sposoby definiowania ZI podkreśla zasadę hierarchicznego kształtowania sieci ekologicznych i zróżnicowanie elementów tworzących ZI w zależności od skali: od kontynentalnej poprzez regionalną i lokalną aż do skali miejsca.

Trzon ZI w skali miast stanowią układy zieleni (przede wszystkim parki i lasy komunalne oraz użytki ekologiczne i obszary chronione) oraz systemy hydrograficzne (doliny rzek i strumieni, zbiorniki wodne, tereny zalewowe, mokradła itp.), które stanowią często kanwę miejskich korytarzy ekologicznych. System uzupełniają:

- mniejsze połączenia i pasy zieleni urządzonej, takie jak skwery, zieleńce, parki kieszonkowe, cmentarze z wysokim drzewostanem, ogrody działkowe, aleje, kępy drzew i krzewów, stanowiące siedliska wielu gatunków zwierząt,
- ekodukty i zielone mosty umożliwiające łączenie korytarzami ważnych struktur zieleni i migrację różnych gatunków zwierząt,
- niska zieleń (często związana z infrastrukturą), jak: przepuszczalne nawierzchnie parkingów, zielone torowiska czy łąki kwietne, które w odróżnieniu od trawników zapewniają znaczny wzrost bioróżnorodności,
- elementy służące powierzchniowemu zagospodarowaniu wód opadowych (niebiesko-zielona infrastruktura), jak rowy bioretencyjne, mikromokradła, zbiorniki i niecki retencyjno-infiltracyjne czy ogrody deszczowe,
- zielona architektura, a zwłaszcza zielone dachy i pionowe ogrody.

Pojęcie „błękitno-zielonej infrastruktury” (BZI) obejmuje te same komponenty, ale kładzie nacisk na równoważność i współzależność struktur zieleni i wody. Koncepcje błękitno-zielonych sieci miejskich (*blue-green grids*)³⁹ nastawione są na ochronę, planowanie i projektowanie struktur zieleni i wody w powiązaniu z kształtowaniem krajobrazu miasta i systemu wielofunkcyjnych przestrzeni publicznych, ale ich cele obejmują również zwiększanie bioróżnorodności, zarządzanie wpływami burzowymi i adaptację do zmian klimatu.

Idea „miast zwartych”⁴⁰, w których każdy metr kwadratowy jest przedmiotem presji inwestycyjnej musi uwzględniać założenia „miast zielonych”, dające podstawy kształtowania systemów przyrodniczych⁴¹, świadczących różnorodne usługi ekosystemowe niezbędne dla życia ludzi, jakości środowiska i adaptacji do zmian klimatu, a uzasadnienie ekonomiczne musi uwzględniać koszty i korzyści środowiskowe

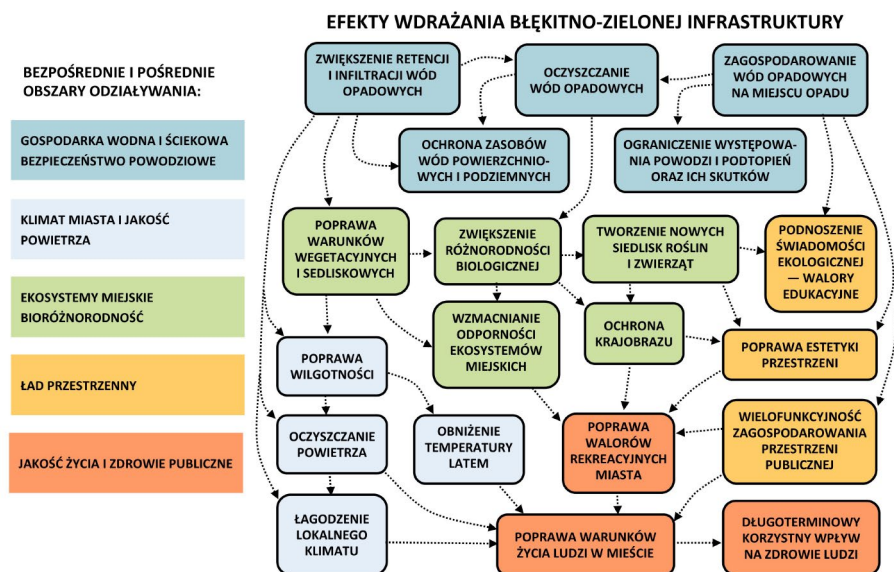
38 B. Szulczewska, *Zielona infrastruktura – czy koniec historii? Green Infrastructure – the End of History?*, Komitet Przestrzennego Zagospodarowania Kraju Polskiej Akademii Nauk, Warszawa 2018, s. 48–59.

39 H. Pötz, P. Bleuzé, *Urban green-blue grids for sustainable and dynamic cities*, Coop For Life, Delft 2012, passim.

40 Koncepcja „miasta zwartego” (*compact city*) wyrosła z opozycji wobec zjawiska „rozlewania się miast” (*urban sprawl*) i opiera się na redukcji śladu ekologicznego – zob. *Green Paper on the Urban Environment. Communication from the Commission to the Council And Parliament*, EC, Brussels 1990, <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/0e4b169c-91b8-4de0-9fed-cad286a4efb7/language-en> (dostęp: 11.12.2020).

41 Zob. więcej na ten temat: B. Szulczewska, *Teoria ekosystemu w koncepcjach rozwoju miast*, Wydawnictwo Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego, Warszawa 2002, s. 80.

w długiej perspektywie czasowej. W warunkach konkurencji o przestrzeń na terenach zurbanizowanych niezwykle istotne jest jej wielofunkcyjne zagospodarowanie i zwiększanie przestrzeni dla zieleni i wody nie tylko bez ograniczania jej użyteczności przez ludzi, ale z pożytkiem dla estetyki miasta, walorów rekreacyjnych i edukacji ekologicznej mieszkańców. Zieleń ma bowiem kluczowe znaczenie dla poprawy klimatu miast, ograniczenia stężeń CO₂ oraz problemów ilościowych i jakościowych w gospodarce wodnej, a także dla jakości życia i zdrowia mieszkańców, jakości powietrza i różnorodności biologicznej (zob. ilustracja 4). Uwzględnianie wszystkich tych atutów pozwala na ograniczanie kosztów i daje efekt synergii w zagospodarowaniu przestrzeni miejskiej.



Ilustracja 4. Efekt synergii we wdrażaniu błękitno-zielonej infrastruktury

Źródło: oprac. A. Januchta-Szostak.

5. WARTOŚĆ ZIELENI I JEJ ROLA W PROCESACH ADAPTACJI DO ZMIAN KLIMATU

Usługi świadczone przez ekosystemy przynoszą materialne i niematerialne korzyści, które mogą być wyrażone w wartościach monetarnych. Według wstępnej klasyfikacji usług ekosystemów – określonej w raporcie MEA⁴² – można zidentyfikować cztery główne typy usług ekosystemów:

42 W.V. Reid, H.A. Mooney, A. Cropper, D. Capistrano, *Millennium Ecosystem Assessment, Ecosystems and Human Well-being. Synthesis*, Island Press, Washington 2005, s. VI.

1. dostarczające/produkcyjne (np. żywność, woda, surowce, środki medyczne),
2. regulujące (np. regulacja cykli ekologicznych i ekstremów klimatycznych, jakości powietrza i wody, zapobieganie powodziom i erozji gleby),
3. podtrzymujące (np. cykle żywnościowe, utrzymywanie różnorodności biologicznej, rozkład materii, funkcje glebotwórcze),
4. kulturowe (np. regeneracja sił i rekreacja, sztuka, duchowość, nauka i edukacja itp.).

Błękitno-zielona infrastruktura dostarcza korzyści zawartych w każdym z wyżej wymienionych typów usług ekosystemowych, a jej znaczenie jest obecnie uwzględniane w strategiach rozwoju wielu dużych miast, np. Londynu, Singapuru czy Kopenhagi.

Strategia Środowiskowa Londynu⁴³ zakłada, że stolica Wielkiej Brytanii stanie się pierwszym na świecie miejskim parkiem narodowym – miastem, w którym ponad połowa powierzchni ma być pokryta zielenią, środowisko naturalne objęte ochroną, a sieć zielonej infrastruktury będzie stanowiła podstawę gospodarki cyrkularnej i przyniesie korzyści wszystkim mieszkańcom. Szczególne znaczenie mają duże drzewa. Usługi ekosystemowe 8 mln londyńskich drzew zostały wycenione na 133 mln funtów rocznie⁴⁴. Obliczono, że każdego roku drzewa usuwają z powietrza 2241 ton zanieczyszczeń: 13% cząstek PM10 i 14% NO₂ emitowanego przez transport drogowy (wartość usługi: 126 mln funtów). Pochłaniają ponad 2,3 mln ton węgla (wartość usługi: 147 mln funtów), dziesięciokrotnie zmniejszają ilości wody wpływającej do kanalizacji, co pomaga zmniejszyć ryzyko lokalnych podtopień i powodzi i ograniczyć straty. Wspierają też różnorodność biologiczną z szeroką gamą gatunków priorytetowych, takich jak nietoperze, ptaki (np. płomykówka), motyle i inne owady⁴⁵.

W Nowym Jorku ponad 584 tysiące drzew przyulicznych dostarczyło rocznych korzyści na łączną kwotę 121,9 mln dolarów, z czego najwięcej, bo aż 43,2% stanowiły korzyści estetyczne i społeczne, 29,4% – korzyści w ograniczaniu i spowalnianiu spływów wód opadowych, a 27,3% – korzyści energetyczne (oszczędność energii, a przez to unikanie emisji CO₂ i innych zanieczyszczeń oraz zużycia wody uzdatnionej w zakładach energetycznych)⁴⁶.

Badania rocznych oszczędności energii w wyniku klimatycznego oddziaływania drzew oraz innych usług ekosystemowych wykazały⁴⁷, że jedno drzewo przyuliczne pozwala zaoszczędzić rocznie od 18 do 76 kWh energii elektrycznej i od 30 do 85 m³ gazu ziemnego. Ponadto, w wyniku sekwestracji oraz unikania spalania umożliwia zmniejszenie emisji netto od 45 do 154 kg CO₂, oczyszcza powietrze

43 *London Environment Strategy. Greater London Authority* (2018),

<https://www.london.gov.uk/what-we-do/environment/london-environment-strategy> (dostęp: 11.12.2020).

44 Tamże, s. 137.

45 Tamże, s. 133–139.

46 Zob. np. H.B. Szczepanowska, *Wycena wartości drzew na terenach zurbanizowanych*, Instytut Gospodarki Przestrzennej i Mieszkalnictwa, Warszawa 2007.

47 Tamże.

z 0,9 do 1,3 kg zanieczyszczeń gazowych i pyłowych oraz retencjonuje od 2,0 do 5,7 m³ wód opadowych i spływających z nimi zanieczyszczeń. Według różnych badań wartość monetarna rocznych usług ekosystemowych (łącznie z korzyściami społecznymi), wynosi średnio na jedno drzewo w USA 209 dolarów, a w Warszawie 167 zł rocznie⁴⁸.

Pozytywny wpływ drzew na łagodzenie efektów zjawiska miejskiej wyspy ciepła wiąże się z zacienianiem i wentylowaniem miast. Mikrocyrkulacja wspomagana jest ruchem powietrza na skutek różnic temperatur powierzchni chłodzących (zieleń, woda) i kumulujących ciepło (budowle, nawierzchnie utwardzone). Różnice te wykorzystuje się do tworzenia korytarzy przewietrzających w miastach.

Zapobieganie problemom wynikającym z ekstremalnych opadów (podtopienia, powódzie miejskie, osuwiska) polega na możliwości przechwytywania oraz spowolnienia spływów burzowych. „Duże drzewo ma możliwości magazynowania wody w obrębie korony średnio w granicach 228 do 455 litrów, w zależności od jego budowy, wielkości i rodzaju ulistnienia, oraz warunków klimatycznych, w tym częstotliwości, gwałtowności i okresów opadów. Nasycenie wodą powierzchni drzewa następuje na ogół wówczas, gdy opady osiągną od 25 do 50 mm⁴⁹. Woda zatrzymywana jest nie tylko na ulistnieniu korony drzewa, ale również w jego biomasie oraz gromadzona w obrębie bryły korzeniowej (retencja glebowa zależna od rodzaju podłoża). Podczas okresów suszy drzewa korzystają z tych zapasów, odparowując wodę i zwiększając wilgotność powietrza w miastach.

W Polsce w latach 2015–2018 na skutek zmian prawnych wycięto tysiące miejskich drzew⁵⁰. Tymczasem drzewa stanowią główny i trwały składnik ZI, świadczą różnorodne usługi ekosystemowe na rzecz miasta i jego mieszkańców. Średnia wartość jednego drzewa w Warszawie wynosi ponad 8,6 tys. zł⁵¹, ale cały miejski drzewostan, a zwłaszcza starodrzew powinien być traktowany jako publiczne aktywa o dużej wartości. Stanowi bowiem spuściznę, w której skumulowane są wielopokoleniowe nakłady społeczne i wartość dodana sił przyrody.

48 Tamże.

49 Q. Xiao, E.G. McPherson, J.R. Simpson, S.L. Ustin, M.E. Grismer, *A new approach for modelling tree rainfall interception*, „Journal Geophysical Research. Atmospheres” 2000, Vol. 105, No. D23, 173–188.

50 Raport Najwyższej Izby Kontroli (NIK) z kwietnia 2019 roku dowodzi, że „większość skontrolowanych organów administracji publicznej nie realizowała prawidłowo zadań dotyczących usuwania drzew i krzewów [...] na sytuację wpływ mogła mieć pięciokrotna, na przestrzeni lat 2015–2018, zmiana przepisów ustawy o ochronie przyrody regulująca, między innymi zasady wycinki drzew i krzewów”. W okresie od stycznia do czerwca 2017 roku wprowadzono nowelizację tej ustawy (tzw. lex Szyszko), która zwalniała osoby fizyczne z uzyskania zezwolenia na usunięcie drzew i krzewów na cele niezwiązane z prowadzeniem działalności gospodarczej. Skutkiem tej nowelizacji było masowe wycinanie drzew na działkach prywatnych – zob. *Drzewo w gąszczu przepisów*, <https://www.nik.gov.pl/aktualnosci/drzewa-w-gaszczu-przepisow.html> (dostęp: 11.12.2020).

51 H.B. Szczepanowska, M. Sitarski, *Drzewa zielony kapitał miast. Jak zwiększyć efektywność pracy drzew?*, Instytut Gospodarki Przestrzennej i Mieszkalnictwa, Warszawa 2015, s. 28.

6. METODY ZRÓWNOWAŻONEGO ZAGOSPODAROWANIA WÓD OPADOWYCH W MIASTACH (SuDS/TRIO)⁵²

W odróżnieniu od tradycyjnych systemów kanalizacji deszczowej, wykorzystujących podziemną infrastrukturę odwodnieniową, alternatywne metody nastawione są na wykorzystanie potencjału błękitno-zielonej infrastruktury (BZI) i zagospodarowanie wód w miejscu powstania opadu. Zrównoważone systemy drenażu miejskiego (tzw. SuDS) umożliwiają integrację korzyści środowiskowych, przestrzennych, społecznych i gospodarczych poprzez:

- poprawę mikroklimatu i bilansu wodnego w mieście,
- usprawnienie działania systemów kanalizacji deszczowej, dzięki redukcji objętości i szybkości odpływu powierzchniowego,
- redukcję zagrożeń powodziowych, ekologicznych i sanitarnych,
- ochronę środowiska naturalnego i poprawę jakości ekosystemów miejskich,
- zwiększenie gospodarczego wykorzystania wód deszczowych i ograniczenie zużycia wody pitnej (redukcja „ślądu wodnego”),
- wykorzystanie elementów służących retencji i rozsączaniu wód deszczowych, również do innych, społecznych i kompozycyjnych funkcji, w tym podnoszenia jakości miejskich przestrzeni publicznych,
- poprawę rozwiązań architektonicznych, zarówno w zakresie projektowania budynków, jak i małej architektury.

Problemy hydrauliczne w zagospodarowaniu wód opadowych w miastach wynikają, przede wszystkim z przeciążenia systemów kanalizacyjnych w okresach szczytowych natężeń przepływu, czyli podczas deszczów nawalnych. Znaczne ilości wody z powierzchni uszczelnionych spływają wówczas w krótkim czasie do kanalizacji, powodując jej niewydolność. Już samo odprowadzanie opadów ze zwłoką czasową może zmniejszyć natężenia szczytowe, choć nie poprawia bilansu wodnego zlewni. Wykorzystanie naturalnych właściwości zieleni i przesiąkliwego gruntu i umożliwia zapobieganie tym problemom.

Przekształcenia istniejących, podziemnych systemów kanalizacji deszczowej są kosztowne i powinny zmierzać nie tyle do zwiększania ich przepustowości, co poprawy elastyczności układów i odciążania sieci poprzez budowę zbiorników retencyjnych lub retencyjno-rozsączających oraz zagospodarowania wód deszczowych na miejscu zaistnienia opadu.

52 Zob. A. Januchta-Szostak, *Woda w miejskiej przestrzeni publicznej...*, s. 160–224.

Proces zagospodarowania wód opadowych w systemach TRIO (SuDS)⁵³ można podzielić na trzy zasadnicze etapy:

1. zbieranie i transportowanie,
2. gromadzenie (retencja),
3. rozdysonowanie wody poprzez: powtórne wykorzystanie, wsiąkanie (infiltrację) i parowanie.

Procesy oczyszczania wody mogą występować na każdym z trzech wymienionych etapów. Istnieje szereg kombinacji elementów systemu umożliwiających łączenie poszczególnych funkcji, np. zbiorniki retencyjno-infiltracyjne zatrzymują spływ wody i umożliwiają jej powolne przesiąkanie do gruntu, a stawy sedymentacyjne i pasaże roślinne, prócz retencji, biorą udział w mechanicznym i biologicznym oczyszczaniu wody.

Kluczowe komponenty SuDS, zalecane przez brytyjski Departament Środowiska, Żywności i Spraw Rolnych (Defra), obejmują przede wszystkim elementy BZI (zob. tabela 1).

Tabela 1. Główne komponenty systemów SUDS (wg CIRIA 2004)⁵⁴

Komponent	Charakterystyka
Środki zapobiegawcze (<i>preventative measures</i>)	Pierwszy etap zrównoważonego podejścia, mający na celu zapobieganie lub redukcję problemów jakościowych i ilościowych związanych z odpływem powierzchniowym obejmuje, m.in. prowadzenie gospodarstwa domowego w sposób umożliwiający oszczędzanie wody pitnej (zapobieganie wyciekom, marnotrawstwu) i zbieranie wody deszczowej (cysterne, zielone dachy itp.)
Przepuszczalne nawierzchnie (<i>permeable surfaces</i>)	Nawierzchnie umożliwiające przesiąkanie wody do głębszych warstw gruntu
Zielone dachy (<i>green roofs</i>)	Linearne elementy do odprowadzania wody, obejmujące rowy wypełnione materiałem przesiąkliwym, często z rurą perforowaną drenarską pod dnem rowu, służą do magazynowania i transportu wody, ale mogą również umożliwiać wsiąkanie
Kanały filtracyjne (<i>filter drains</i>)	Obszary o łagodnym spadku, pokryte roślinnością, służące do odprowadzania spływów z terenów uszczelnionych i oczyszczania wody z zawieszin i innych zanieczyszczeń

53 Funkcjonujący w języku angielskim akronim SuDS (*Sustainable Urban Drainage Systems*) – oznaczający w dosłownym tłumaczeniu „zrównoważone, miejskie systemy drenażu” – nie jest w pełni adekwatny dla określenia zróżnicowanych funkcji tych systemów. W języku polskim słowo „drenaż” oznacza bowiem „system rur odpływowych służący do osuszania gleby, regulowania stopnia jej wilgotności”, tymczasem przeznaczenie tych systemów jest zgoła odmienne. W książce *Woda w miejskiej przestrzeni publicznej...* (2011) zaproponowałam nazwę systemy TRIO, która odzwierciedla cztery główne procesy technologiczne: (T) transportowanie, (R) retencję, (I) infiltrację i (O) oczyszczanie wód opadowych.

54 *Interim Code of Practice for Sustainable Drainage Systems*, National SUDS Working Group, United Kingdom 2004, s. 16, www.ciria.org/suds/icop.htm (dostęp: 10.07.2010) – tłum. A. Januchta-Szostak.

Tabela 1. Główne komponenty systemów SUDS (wg CIRIA 2004)⁵⁴

Komponent	Charakterystyka
Pasy filtracyjne (<i>filter strip</i>)	Obszary o łagodnym spadku, pokryte roślinnością, służące do odprowadzania spływów z terenów uszczelnionych i oczyszczania wody z zawiesin i innych zanieczyszczeń
Rowy bioretencyjne (<i>swales, bio-swales</i>)	Płytkie kanały pokryte roślinnością o znaczeniu filtracyjnym, służące do odprowadzania, retencji i infiltracji wody
Zbiorniki, stawy i mokradła (<i>basins, ponds and wetlands</i>)	Obszary, które mogą być zagospodarowane dla zmagazynowania odpływu powierzchniowego
Urządzenia infiltracyjne (<i>infiltration devices</i>)	Struktury podziemne wspomagające wsiąkanie wód z powierzchni do gruntu, stosowane np. w rowach, nieckach i ścieżkach infiltracyjnych
Obszary bioretencyjne (<i>bioretention areas</i>)	Obszary pokryte roślinnością, przeznaczone do magazynowania i podczyszczania wody przed odprowadzeniem ich systemem drenów lub infiltracją do gruntu
Filtry (<i>filters</i>)	Urządzenia techniczne, np. filtry piaskowe, służące do usuwania zanieczyszczeń z wód opadowych
Rury i akcesoria (<i>pipes and accessories</i>)	System orurowania wraz z akcesoriami, zwykle układany pod ziemią, służący do transportu wody w miejsca odpowiednie do ich dalszego zagospodarowania (te techniki należy brać pod uwagę, gdy nie ma możliwości zastosowania systemów powierzchniowych)

Źródło: A. Januchta-Szostak, *Woda w miejskiej przestrzeni publicznej. Modelowe formy zagospodarowania wód opadowych i powierzchniowych*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2011, s. 181.

6.1. MOŻLIWOŚCI WDRAŻANIA SYSTEMÓW TRIO W RÓŻNYCH TYPAH PRZESTRZENI MIEJSKIEJ

Możliwości wdrażania BZI w różnych typach przestrzeni miejskiej różnią się w zależności od poziomu zainwestowania, stopnia uszczelnienia i struktury hydrogeologicznej gruntów, ukształtowania terenu, poziomu potencjalnego zanieczyszczenia, charakteru i funkcji zabudowy czy struktury własności gruntów⁵⁵. Specyfika rejonów silnie zurbanizowanych (np. śródmiejskich) wymaga niekiedy zastosowania różnych kombinacji układów „szarej” i błękitno-zielonej infrastruktury. Infrastrukturę techniczną, zwłaszcza podziemną, trzeba jednak traktować jako rozwiązanie uzupełniające, stosowane w sytuacjach, w których istniejące zagospodarowanie uniemożliwia zastosowanie BZI. Szara infrastruktura nie zawsze pozwala na infiltrację i parowanie wody, nie posiada też walorów estetycznych, społecznych i biologicznych. W tabeli 2 podsumowano możliwości i ograniczenia wdrażania systemów TRIO w różnych typach zabudowy.

55 Zob. A. Januchta-Szostak, *Woda w miejskiej przestrzeni publicznej...*, s. 175–180.

Tabela 2. Możliwości wykorzystania elementów systemu zagospodarowania wód opadowych w różnych typach przestrzeni miejskiej

Typ przestrzeni miejskiej / typ zabudowy	Wartość współczynnika spływu pow. Ψ^{56}	Korzyści w zakresie poprawy jakości przestrzeni publicznych i retencji wody	Możliwości wdrażania systemów TRIO	
			Na terenach publicznych	Na terenach prywatnych
Historyczne centra miast/ zabudowa kwartałowa – bardzo gęsta	0,7 ÷ 0,9	<p>Poprawa estetyki reprezentacyjnych przestrzeni publicznych</p> <p>Integracja mieszkańców rekreacja</p> <p>Eliminacja spływu w.o. do kanalizacji ogólnospławnej</p> <p>Poprawa warunków wegetacyjnych roślin (zasilenie wód gruntowych)</p> <p>Zwiększenie powierzchni zieleni, poprawa mikroklimatu</p>	<p>Ozdobne kompozycje wodne z recykulacją na placach</p> <p>Retencja w zbiornikach podziemnych (zalecana) i otwartych (ograniczona)</p> <p>Infiltracja za pomocą elementów podziemnych (skrzynki rozsączające, rury drenarskie, rigole)</p> <p>Wykorzystanie gospodarcze wody do celów ppoż., nawadniania zieleni i splukiwania ulic</p>	<p>Ograniczone możliwości zastosowania zielonych dachów w historycznych śródmieściach ze względu na ograniczenia konserwatorskie, cysterny podziemne, systemy recykulacji</p> <p>Wykorzystanie gospodarcze w obrębie budynków i kwartałów zabudowy do splukiwania toalet i nawadniania</p>
Przestrzeń śródmiejska/ zabudowa kwartałowa wzdłuż ulic – zwarta	0,5 ÷ 0,7	<p>Poprawa estetyki przestrzeni publicznej oraz możliwości integracji i rekreacji mieszkańców</p> <p>Zwiększanie powierzchni zieleni, ograniczenie odpływu powierzchni</p>	<p>jw.</p> <p>Wykorzystanie wszelkich powierzchni zieleni publicznej (skwery) do retencji i infiltracji oraz wprowadzania elementów małej architektury wodnej i wodnych placów zabaw</p>	<p>Zielone dachy i fasady</p> <p>Retencja, infiltracja i oczyszczanie biologiczne w przestrzeni sąsiedzkiej</p> <p>Wykorzystanie gospodarcze w.o. do splukiwania toalet i nawadniania</p>
Przestrzeń osiedli mieszkaniowych w zabudowie jednorodzinnej / zabudowa wzdłuż ulic, wolnostojąca i szeregowa, luźna	0,3 ÷ 0,5 0,2 ÷ 0,3	<p>Potrzeba integracyjnych przestrzeni wspólnych i placów zabaw</p> <p>Ograniczenie odpływu powierzchniowego</p> <p>Zwiększenie powierzchni zieleni publicznej</p> <p>Uspokojenie ruchu kołowego</p>	<p>Wykorzystanie elementów wodnych dla integracji mieszkańców</p> <p>Zastosowanie małych elementów architektury wodnej i wodnych placów zabaw, ogrodów deszczowych, przyulicznych zatok retencyjno-infiltracyjnych do spowalniania ruchu</p> <p>Niewielkie możliwości tworzenia systemów krajobrazowych w istniejących osiedlach</p>	<p>Maksymalne zagospodarowanie wody na terenach działek</p> <p>Retencja i infiltracja w prywatnych ogrodach</p> <p>Zielone dachy</p> <p>Wykorzystanie wód opadowych do splukiwania toalet i nawadniania</p>

56 Wartości współczynników spływu – zob. D. Słyś, *Retencja i infiltracja wód deszczowych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2008, s. 25, tab. 4.5.

Tabela 2. Możliwości wykorzystania elementów systemu zagospodarowania wód opadowych w różnych typach przestrzeni miejskiej

Typ przestrzeni miejskiej / typ zabudowy	Wartość współczynnika spływu pow. Ψ	Korzyści w zakresie poprawy jakości przestrzeni publicznych i retencji wody	Możliwości wdrażania systemów TRIO	
			Na terenach publicznych	Na terenach prywatnych
Przestrzeń osiedli wielorodzinnych/ zabudowa blokowa, luźna	0,2 ÷ 0,5	Indywidualizacja przestrzeni Wykorzystanie elementów wodnych dla integracji mieszkańców, ograniczenie spływu w.o.	Duże możliwości retencji, infiltracji i oczyszczania biologicznego w przestrzeni publicznej z zastosowaniem systemów krajobrazowych, małych elementów architektury wodnej i wodnych placów	Zielone dachy i fasady Retencja, infiltracja przez perforowane powierzchnie parkingów Wykorzystanie gospodarce w.o. do nawadniania zieleni osiedlowej
Przestrzeń obiektów wielkopowierzchniowych/ zabudowa przemysłowa handlowa	0,5 ÷ 0,7	Eliminacja spływu zanieczyszczonych w.o. Poprawa atrakcyjności wizualnej i funkcjonalnej	Niewielkie obszary publiczne, głównie związane z systemem komunikacji – filtracyjne i sedymentacyjne elementy wodne do oczyszczania spływów z powierzchni komunikacji i neutralizacji zanieczyszczeń przemysłowych	Zielone dachy i fasady Retencja, infiltracja przez perforowane powierzchnie parkingów Elementy filtracyjne i sedymentacyjne Wykorzystanie gospodarce – jw. oraz w układach dekoracyjno-rekreacyjnych
Przestrzeń parkowa/ rekreacyjna, pomocnicza	0,0 ÷ 0,1	Poprawa atrakcyjności i bezpieczeństwa w parkach Podnoszenie bioróżnorodności	Główne obszary aplikacji funkcji retencyjno-infiltracyjnych Możliwość tworzenia zrównoważonych biotopów o dużych walorach krajobrazowych, społecznych i przyrodniczych	

Źródło: A. Januchta-Szostak, *Woda w miejskiej przestrzeni publicznej. Modelowe formy zagospodarowania wód opadowych i powierzchniowych*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2011, s. 257.

Zwarte obszary śródmiejskie, a zwłaszcza historyczne centra miast, są szczególnie trudnym terenem wdrażania BZI ze względu na gęstość zabudowy, wysoki udział procentowy powierzchni uszczelnionych i ograniczenia konserwatorskie (np. zakazy stosowania zielonych dachów i ścian). Z tego względu w obszarach tych należy dążyć do maksymalnego zatrzymywania i wykorzystywania wody na terenach prywatnych działek, natomiast w przestrzeniach publicznych stosować atrakcyjne elementy małej architektury wodnej zasilane z podziemnych zbiorników retencyjnych poprzez systemy filtracji i recyrkulacji. Elementy te, odpowiednio zakomponowane, mogą służyć do strefowania obszarów publicznych (np. w rejonie placu M. Dietrich i Potsdamer Platz w Berlinie), eksponowania reprezentacyjnej architektury i sztuki (np. Kiasma w Helsinkach czy plac przed ratuszem w Hattersheim), integracji i zabawy (np. interaktywne tarasy wodne na placu między ratuszem a kościołem w Hannoversch Münden).

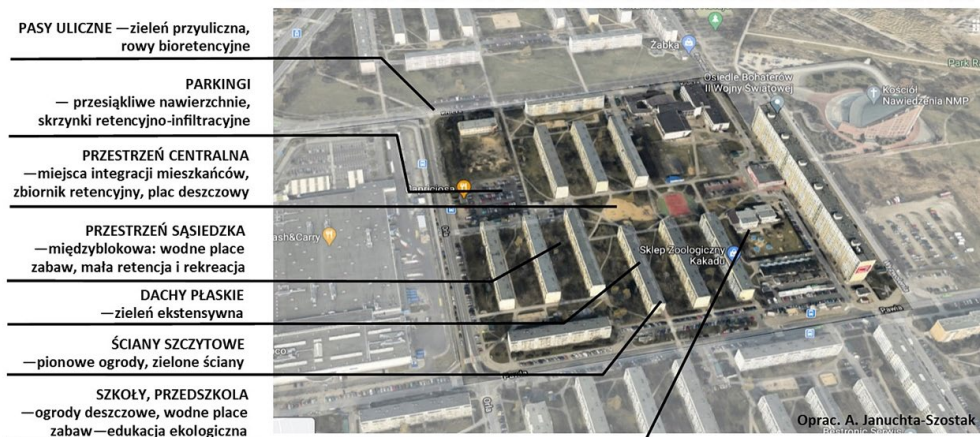
Ze względu na poziom natężenia miejskiej wyspy ciepła w śródmieściach szczególnie ważna jest obecność dużych drzew, które mogą być zasilane wodą deszczową z podziemnych komór retencyjno-infiltracyjnych, zlokalizowanych w sąsiedztwie brył korzeniowych. Decyzje usuwania drzew z rynków i placów staromiejskich w imię „prawdy historycznej” należy uznać za błędne.

Zupełnie odmienną specyfikę mają tereny wielorodzinnych, modernistycznych osiedli mieszkaniowych w zabudowie blokowej. Znaczny potencjał terenów biologicznie czynnych (często powyżej 70%) umożliwia wprowadzenie powierzchniowych systemów mikroretencji (zob. ilustracja 5), na przykład otwartych zbiorników wodnych, rowów i niecek chłonnych a nawet zieleni na płaskich dachach, pionowych ogrodów czy wodnych placów zabaw, które mogą nie tylko poprawić mikroklimat, ale również być środkiem zaradczym na problem monotonii i unifikacji wewnątrz międzyblokowych oraz miejscem integracji i rekreacji mieszkańców (przykładem są osiedla niemieckie, na przykład os. Kronsberg w Hanowerze czy os. Küppersbusch w Gelsenkirchen). W praktyce na polskich „blokowiskach” większość terenów otwartych wykorzystywana jest w charakterze miejsc parkingowych, a wody opadowe odprowadzane są wprost do zbiorczych systemów kanalizacji.

METODA BADAWCZO-PROJEKTOWA



ANALIZA POTENCJAŁU RETENCJI WÓD OPADOWYCH NA OS. BOHATERÓW II WŚ



Ilustracja 5. Analiza potencjału retencji wód opadowych na osiedlu Bohaterów II Wojny Światowej w Poznaniu

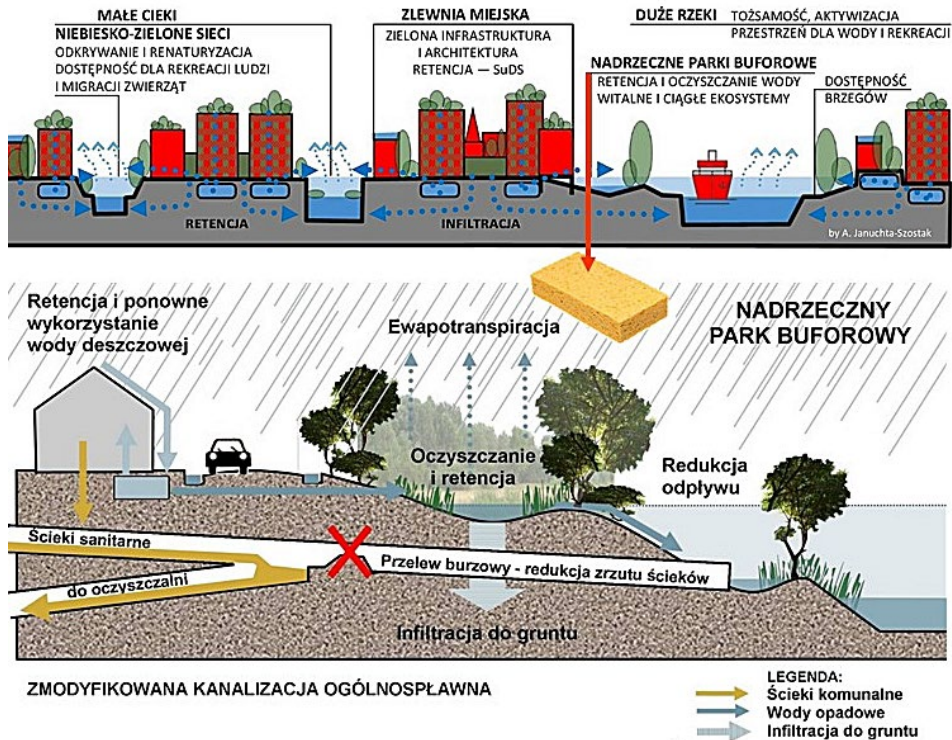
Źródło: oprac. A. Januchta-Szostak.

Osiedla jednorodzinne oferują możliwości zagospodarowania i wykorzystywania wody w obrębie prywatnych domów i ogrodów. Potrzebne są jednak narzędzia prawne i ekonomiczne, skłaniające właścicieli posesji do oszczędzania wody i korzystania z deszczówki. Problemem osiedli jednorodzinnych w Polsce jest niedobór przestrzeni wspólnych. Monotonne, szczelnie zabudowane ulice nie stwarzają możliwości do integracji mieszkańców i zabaw dzieci. Na terenach nowo projektowanych osiedli najniżej położone miejsca warto przeznaczać na wodne place zabaw, które będą jednocześnie obszarami retencji i rekreacji (np. os. Arkadien Asperg i Scharnhausener Park koło Stuttgartu). Przyuliczne rowy i zatoki bioretencyjne umożliwiają zbieranie i oczyszczanie wody z ulic, a zarazem służą spowalnianiu ruchu kołowego i poprawie bezpieczeństwa w miejscach zamieszkania (np. „zielone ulice” w Portland).

Wielkopowierzchniowym centrom handlu i biznesu towarzyszą znaczne powierzchnie uszczelnionych parkingów. W Europie coraz powszechniej stosowane są przesiąkliwe nawierzchnie lub skrzynki retencyjno-rozsączające pod miejscami parkowania samochodów, a odpływy z nawierzchni komunikacyjnych są oczyszczane w separatorach i zbiornikach sedymentacyjnych, nieckach filtracyjnych i trzcinowych mokradłach. Wiele firm, budując swój ekologiczny wizerunek, inwestuje w ekoparki technologiczne z zastosowaniem zielonych dachów i ekspozycją wykorzystania wody deszczowej (np. Maybach-Center COE w Sindelfingen czy Centrum Technologiczne McLarena w Londynie). Wysokiej klasy architektura w połączeniu z zielenią i retencyjnymi zbiornikami wodnymi ma przyciągać klientów i świadczyć o wadze, jaką firma przywiązuje do ekologii i estetyki. Zastosowanie BZI w rozwiązaniach eksponujących w atrakcyjny i czytelny sposób możliwości retencji, infiltracji i oczyszczania wód opadowych, pozwala wykorzystać obiekty komercyjne i przemysłowe dla edukacji ekologicznej mieszkańców (np. Turbinenplatz przy Technoparku w przemysłowej dzielnicy Zürich-West).

Publiczne parki miejskie stanowią główne obszary aplikacji mikroretencji w miastach i dają możliwość tworzenia zrównoważonych biotopów o dużych walorach krajobrazowych, społecznych i przyrodniczych. Tereny te są równocześnie ważnymi ogniwami w systemie korytarzy ekologicznych i miejscami rekreacji mieszkańców. Wiele miast (np. Londyn, Singapur) odtwarza struktury powiązań pomiędzy terenami zieleni miejskiej zarówno w celach retencji wód opadowych, jak i zwiększania bioróżnorodności oraz kształtowania struktur rekreacyjnych.

Szczególną rolę pełnią parki nadrzeczne (np. Sponge Park nad kanałem Gowanus w Nowym Jorku), stanowiące strefę buforową pomiędzy obszarami zurbanizowanymi (zob. ilustracja 6), z których odprowadzane są zanieczyszczone spływy opadowe, a odbiornikami tych wód – rzekami i jeziorami. Naturalne procesy przyrodnicze: retencji, infiltracji, parowania i biologicznego oczyszczania wody powinny być nie tylko wykorzystywane, ale również eksponowane na trasach ścieżek edukacyjnych (np. Houtan Park w Szanghaju).



Ilustracja 6. Model „miasta-gąbki” umożliwia poprawę zdolności retencyjnej zlewni i adaptację miast do zmiany klimatu

Źródło: A. Januchta-Szostak, *Miasta przyjazne rzekom*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2019, s. 197.

6.2. PROCESY TECHNOLOGICZNE W SYSTEMACH TRIO: TRANSPORT, RETENCJA, INFILTRACJA, OCZYSZCZANIE

Systemy powierzchniowego zagospodarowania wód opadowych (TRIO) zbudowane są z elementów „szarej” i błękitno-zielonej infrastruktury. W książce *Woda w miejskiej przestrzeni publicznej*⁵⁷ omówione zostały poszczególne rodzaje urządzeń w podziale na ich podstawowe funkcje technologiczne, czyli:

- urządzenia do zbierania i transportowania wód opadowych,
- urządzenia do retencji (gromadzenia) wody deszczowej,
- urządzenia do infiltracji (wsiąkania) wód opadowych do gruntu,
- urządzenia do oczyszczania wód deszczowych.

57 A. Januchta-Szostak, *Woda w miejskiej przestrzeni publicznej...*, s. 182–220.

Tradycyjne, podziemne systemy kanalizacji deszczowej służą przede wszystkim odprowadzaniu wód do odbiorników, a ścieki z kanalizacji ogólnospławnej trafiają do oczyszczalni⁵⁸. W systemach zrównoważonych **transport** wód opadowych należy ograniczyć do niezbędnego minimum, zapewniając kaskadowy system magazynowania i przelewy awaryjne.

Komponenty BZI pełnią zwykle kilka funkcji technologicznych równocześnie. Ich podstawowym przeznaczeniem w systemach SuDS/TRIO jest **retencja**, czyli proces czasowego zatrzymania wody deszczowej na danym obszarze, który ma na celu spowolnienie lub redukcję odpływu oraz poprawę bilansu wodnego zlewni. Magazynowanie wody odbywa się w zbiornikach, ciekach, mokradłach (retencja powierzchniowa), a także w gruncie (r. gruntowa) lub w zbiornikach podziemnych (r. podziemna). Zgromadzona deszczówka może być odparowana, rozsączana w gruncie (infiltracja), ponownie wykorzystana lub odprowadzona z opóźnieniem do odbiornika lub oczyszczalni.

Infiltracja, czyli wsiąkanie wód do gruntu, jest najprostszym i najkorzystniejszym z ekologicznego punku widzenia sposobem zagospodarowania wód deszczowych. Umożliwia bowiem zasilenie wód gruntowych i poprawę warunków vegetacyjnych zieleni miejskiej. Parametry hydrogeologiczne gruntu⁵⁹, takie jak: wodochłonność, wodoprzepuszczalność, porowatość, szczelinowatość, odsączalność, w znacznym stopniu determinują możliwości zastosowania urządzeń infiltracyjnych, ich rodzaje i wymiary. Infiltracja wód opadowych może odbywać się bezpośrednio z powierzchni terenu lub poprzez podziemne urządzenia rozsączające, w zależności od lokalnych warunków gruntowo-wodnych oraz stopnia uszczelnienia terenu. Utrudnieniem może być wysoki poziom wód gruntowych lub słabo przepuszczalne podłoże.

Grunt i roślinność są naturalnymi filtrami umożliwiającymi procesy **oczyszczania** wód opadowych. Rodzaj zastosowanych rozwiązań zależy, przede wszystkim od stopnia i rodzaju zanieczyszczeń, funkcji i możliwości powierzchniowych terenu, typu podłoża oraz przeznaczenia wody oczyszczonej. Większość wód z terenów, które nie są silnie zanieczyszczone może być rozsączana w gruncie. Spływy z powierzchni komunikacyjnych i magazynowych powinny być podczyszczane przy użyciu separatorów piasku i płynów lekkich. Natomiast w przypadku ponownego wykorzystywania wody deszczowej np. w dekoracyjnych kompozycjach wodnych należy doprowadzić do uzyskania wysokich parametrów jakościowych wody. W tym celu stosuje się połączone metody wstępnego oczyszczania mechanicznego, sedymentacji i oczyszczania biologicznego w sztucznych mokradłach, złożach bądź pasach lub pasażach filtracyjnych.

58 W przypadku deszczy nawalnych zdarzają się zrzuty nieoczyszczonych ścieków do odbiorników (zob. ilustracja 6).

59 Najlepszym współczynnikiem filtracji k (określającym wodoprzepuszczalność gruntu) charakteryzują się rumosze, żwiry i pospółki oraz gruboziarniste piaski, słabą przepuszczalność mają piaski pylaste i gliniaste, a ropy, zwarte gliny i skały ilaste należą do gruntów nieprzepuszczalnych – zob. D. Słyś, *Retencja i infiltracja wód deszczowych...*, s. 20–25.

6.3. WYBRANE KOMPONENTY BZI SŁUŻĄCE ZAGOSPODAROWANIU WÓD OPADOWYCH

Oprócz funkcji technologicznych związanych z zagospodarowaniem wód opadowych, powierzchniowe systemy TRIO odgrywają szczególnie ważną rolę w kształtowaniu krajobrazu miasta, dzięki wprowadzaniu zieleni oraz okresowych lub stałych, otwartych powierzchni wodnych, które pełnią funkcje:

- kompozycyjne – powierzchnie wodne stanowią przedpole ekspozycji architektury i zieleni; jako formy liniowe (kanały, strumienie) mogą być elementem prowadzącym lub zatrzymującym; formy pionowe (kaskady, wodospady, wodotryski) wprowadzają dynamikę, a w powiązaniu z zielenią kształtują elementy posadzki, ścian, stropu i „umeblowania” wnętrza krajobrazowych,
- rekreacyjne – umożliwiają regenerację sił dzięki możliwości kontaktu z naturą i oddziaływaniu na wszystkie zmysły, są miejscem czynnego i/lub biernego wypoczynku, a nawet uprawiania sportów wodnych (duże zbiorniki retencyjne),
- integracyjne – sprzyjają kontaktom międzyludzkim, tworzeniu miejsc spotkań i zabaw w seminaturalnym otoczeniu,
- edukacyjne – pozwalają na obserwację życia zwierząt i roślin wodnych, tworzenie wodnych ogrodów i ścieżek edukacyjnych, a tym samym zrozumienia procesów przyrodniczych,
- ekologiczne – usprawniają ekosystem miejski dzięki funkcjom biocenotycznym,
- mikroklimatyczne – poprawiają wilgotność i jonizację powietrza, poprzez parowanie, obniżają temperaturę, przyczyniając się do redukcji wysp ciepła w miastach.

Do najczęściej stosowanych komponentów BZI w miastach należą: zielone dachy i fasady, zbiorniki retencyjne, niecki infiltracyjne, sztuczne mokradła i rowy bioretencyjne.

Zielone dachy i ściany

Obok terenów komunikacji, dachy stanowią główną powierzchnię zbierania opadów, zwłaszcza w centrach dużych miast, powierzchnie dachowe stanowią około 40–50% całkowitej powierzchni obszarów nieprzepuszczalnych. W wielu krajach, między innymi w Niemczech, Szwajcarii, USA, Japonii i Kanadzie zielone dachy i ściany zajmują znaczące miejsce w planowaniu zagospodarowania przestrzeni miejskich. Przewodzą w tym zakresie Niemcy, którzy od lat 70. budują najwięcej zielonych dachów na świecie⁶⁰. Badania niemieckie⁶¹ potwierdzają wysoką skuteczność reten-

60 A. Stec, D. Słyś, *Zielone dachy i ściany*, Wydawnictwo i Handel Książkami KaBe, Krosno 2018, s.12.

61 Zob. G. Mann, E. Szajda, *Dachy zielone, jako element ekologicznego gospodarowania wodą opadową*, [w:] *Problemy zagospodarowania wód opadowych*, red. J. Łomotowski, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Wydawnictwo Seidel-Przywecki, Wrocław 2008, s. 37–48.

cyjną zielonych dachów i wykazują, że grubość warstwy i rodzaj podłoża (substratu), a także wielkość i skład gatunkowy roślin mają istotne znaczenie dla pojemności wodnej układu, wielkości odpływu oraz efektywności ekologicznej dachów zielonych. Opracowane przez niemieckie stowarzyszenie FLL (Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau)⁶² wytyczne do projektowania, wykonywania i pielęgnacji zielonych dachów, uznawane i stosowane na całym świecie, zawierają, między innymi system oceny wartości ekologicznej dachów zielonych. Wynik zależy od punktacji podstawowej za typ zielonego dachu, grubość warstw stanowiących przestrzeń do rozwoju korzeni i cechy roślinności oraz punktacji dodatkowej odnoszącej się do pojemności wodnej dachu i liczby gatunków roślin. Wytyczne określają również wartość współczynnika spływu oraz średnią roczną retencyjność w zależności od grubości warstw substratu glebowego oraz kąta nachylenia dachu (zob. tabela 3)⁶³.

Tabela 3. Współczynnik spływu Ψ (C) oraz roczny wskaźnik spływu wg FLL (2008)⁶⁴

Grubość warstw dachu zielonego	Współczynniki spływu Ψ (C)		Roczny wskaźnik spływu (stopień uszczelnienia gruntu)
	Nachylenie dachu < 5%	Nachylenie dachu > 5%	
> 2–4 cm	C = 0,7	C = 0,8	0,60
> 4–6 cm	C = 0,6	C = 0,7	0,55
> 6–10 cm	C = 0,5	C = 0,6	0,50
> 10–15 cm	C = 0,4	C = 0,5	0,45
> 15–20 cm	C = 0,3	-	0,40
> 20–25 cm	C = 0,2	-	0,30
> 50 cm	C = 0,1	-	0,10

Źródło: A. Januchta-Szostak, *Woda w miejskiej przestrzeni publicznej. Modelowe formy zagospodarowania wód opadowych i powierzchniowych*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2011, s. 192.

Wartości rocznych wskaźników spływu (zob. tabela 3) dowodzą, że zastosowanie dachów zielonych o grubości substratu powyżej 50 cm jest równoznaczne z dziesięcioprocentowym uszczelnieniem gruntu, a zatem niemal całkowicie niweluje negatywny wpływ zabudowy na wielkość odpływu. W Polsce Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać bu-

62 *Richtlinien für die Planung, Ausführung und Pflege von Dachbegrünungen*, FLL (Hrsg.), Selbstverlag, Troisdorf 1995 (aktualizacja 2008).

63 G. Mann, E. Szajda, *Dachy zielone...*, s. 39.

64 Tamże.

dynki i ich usytuowanie określa teren biologicznie czynny jako „teren o nawierzchni urządzonej w sposób zapewniający naturalną vegetację roślin i retencję wód opadowych, a także 50% powierzchni tarasów i stropodachów z taką nawierzchnią oraz innych powierzchni zapewniających naturalną vegetację roślin, o powierzchni nie mniejszej niż 10 m². Nie uwzględnia jednak grubości substratu oraz pokrywy roślinnej⁶⁵. Skutkiem czego inwestorzy często przekraczają minimalny udział terenów biologicznie czynnych na działkach budowlanych⁶⁶, rekompensując niedobory za pomocą ekstensywnych dachów zielonych. Nierzadko zabudowa podziemna zajmuje 100% terenu działki, co uniemożliwia infiltrację wód do gruntu.

Dachy zielone można zakładać na budynkach nowoprojektowanych oraz istniejących, które spełniają odpowiednie wymagania konstrukcyjne. Pod względem technicznym budowane są jako dachy odwrócone, w których izolacja przeciwwilgociowa znajduje się w dolnej strefie układu warstw (zob. ilustracja 7), dzięki czemu woda deszczowa może być zmagazynowana w warstwie drenującej oraz warstwie substratu glebowego znajdującego się powyżej, a następnie wykorzystana i odparowana przez roślinność pokrywającą dach.

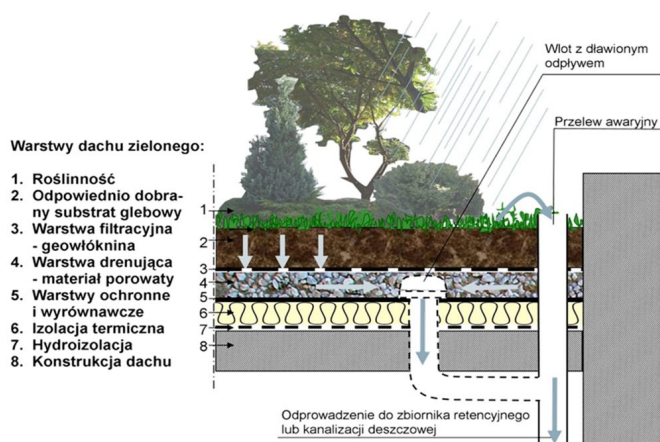
Najprostszy podział dachów zielonych, w oparciu o ciężar (kg/m²), rodzaj i grubość substratu oraz rodzaj zieleni, obejmuje⁶⁷:

- dachy krajobrazowe o wysokiej strukturze i grubości warstw (42–100 cm) oraz znacznym ciężarze (530–1.300 kg/m²), umożliwiające kształtowanie krajobrazu dachowego i nasadzenia różnych gatunków krzewów, bylin i drzew,
- dachy zazielenione intensywne (ogrody dachowe), o grubości warstw 26–47 cm i ciężarze 320–680 kg/m², umożliwiające różnorodne nasadzenia,
- dachy zazielenione ekstensywnie (ekonomiczne), o cienkiej warstwie substratu glebowego (ok. 5–15 cm) i ciężarze 50–250 kg/m²,
- dachy podpiętrzone – bezsubstratowe, ale z możliwością zatrzymywania wody (ciężar w zależności od wysokości podpiętrzenia), dachowe zbiorniki wodne,
- dachy bagienne – porośnięte szuwarem. Dachy takie mogą służyć do oczyszczenia i retencji wód opadowych, a nawet ścieków.

65 Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie z dnia 12 kwietnia 2002 roku (Dz.U. Nr 75, poz. 690), to jest z dnia 17 lipca 2015 roku (Dz.U. z 2015 r., poz. 1422, z późniejszymi zmianami).

66 Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Infrastruktury, jeżeli obszar przeznaczony jest pod zabudowę wielorodzinną lub mają powstać budynki opieki zdrowotnej (z wyjątkiem przychodni) oraz oświaty i wychowania, to „co najmniej 25% powierzchni działki należy urządzić jako powierzchnię terenu biologicznie czynnego, jeżeli inny procent nie wynika z ustaleń miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego” – zob. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 roku...

67 Zob. A. Stec, D. Słyś, *Zielone dachy i ściany...*, s. 21–28; *Dachy zielone Optigrün*, <https://www.optigruen.pl/> (dostęp: 2.06.2019).



Ilustracja 7. Schemat warstw zielonego dachu odwróconego

Źródło: A. Januchta-Szostak, *Woda w miejskiej przestrzeni publicznej. Modelowe formy zagospodarowania wód opadowych i powierzchniowych*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2011, s. 193.

Coraz częściej również w Polsce spotyka się ogrody i place zabaw zakładane na dachach garaży podziemnych w zespołach mieszkalnych i hotelowych, stanowiące atrakcyjne tereny rekreacyjne w śródmieściach (zob. ilustracja 8). Szczególnie cenne ze względów ekohydrologicznych i klimatycznych są ogrody dachowe (dachy zazielenione intensywnie) i dachy krajobrazowe, ale wszystkie typy zielonych dachów, dzięki pokryciu zróżnicowaną szatą roślinną, powiększają deficytową przestrzeń zieleni i bioróżnorodność w miastach (zob. ilustracje 9, 10).



Ilustracja 8. Business Garden w Warszawie. Proj. JSK Architektci

Źródło: fot. A. Januchta-Szostak (2016).



Ilustracje 9, 10. Biblioteka Uniwersytetu Warszawskiego. Proj. arch. M. Budzyński, Z. Badowski, A. Kowalewski; proj. zieleni: I. Bajerska (2001)

Źródło: fot. M. Nowakowska-Wacek (2016).

Nie tylko dachy, ale również **zielone ściany ogrodów pionowych** (np. projekty Patricka Blanca: CaixaForum w Madrycie czy Halles w Awinionie) zatrzymują spływającą wodę i poprawiają mikroklimat przestrzeni publicznych. Powierzchnia zewnętrznych ścian budynków jest z reguły kilkukrotnie większa niż powierzchnia dachu, a zatem zastosowanie pnączy i nasadzeń w specjalnych kieszeniach z substratem glebowym umożliwi stworzenie dodatkowej izolacji przeciwwilgociowej, a także zmagazynowanie i stopniowe odparowywanie wody. Ponadto zieleń na powierzchniach pionowych w znacznie większym stopniu partycypuje w poprawie walorów estetycznych przestrzeni publicznej niż zieleń dachowa.

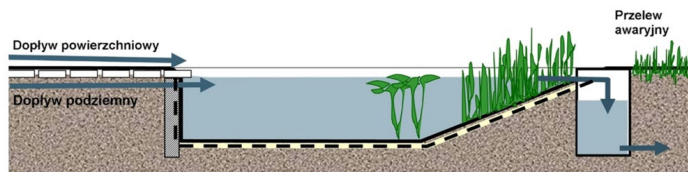
Zbiorniki retencyjne

Otwarte, naturalne lub sztuczne zbiorniki retencyjne wraz z towarzyszącą im zielenią przybrzeżną stanowią cenny, choć powierzchniochłonny element krajobrazu miejskiego. Szczelne zbiorniki o stałym poziomie wody nie dają jednak możliwości retencionowania gwałtownych spływów opadowych i ich oczyszczania, dlatego często projektuje się połączone systemy, składających się ze zbiorników podziemnych⁶⁸, powierzchniowych szczelnych i infiltracyjnych, stawów sedymentacyjnych i biotopów bagiennych (podczyszczanie wody) oraz niecek lub rowów, umożliwiających zagospodarowanie nadmiaru wód opadowych.

Zbiorniki mogą być budowane jako jedno- lub wielokomorowe (zob. ilustracje 11–13), na gruncie lub na dachach budynków. Często pełnią również inne funkcje: przeciwpożarowe, ozdobne i rekreacyjne, a ponadto uzupełniają lokalne ekosystemy.

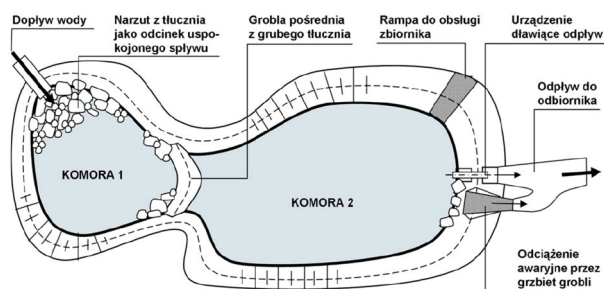
68 Zbiorniki podziemne nie są widoczne w krajobrazie miasta, ale pełnią szereg istotnych funkcji technologicznych i hydraulicznych. Zastępują również zbiorniki powierzchniowe w miejscach, gdzie deficyt terenu nie pozwala na ich budowę. Zmagazynowana w nich woda, zabezpieczona przed działaniem promieni słonecznych, zachowuje pożądane właściwości fizyko-chemiczne, dzięki czemu może być wykorzystywana dla celów gospodarczych lub wprowadzona do wtórnego obiegu w dekoracyjnych, powierzchniowych kompozycjach wodnych.

Wodę do zbiornika doprowadza się kanałem powierzchniowym lub powierzchniowym, wykonanym jako koryto lub mulda umocniona narzutem kamiennym lub betonem. Przelew awaryjny, który zabezpiecza zbiornik przed przepełnieniem powinien mieć umocnione krawędzie. Zróznicowanie nachylenia brzegów zapewnia dostępność, a równocześnie pozwala na zmiany poziomu lustra wody (zob. ilustracja 13).



Ilustracja 11. Schemat przekroju jednokomorowego, szczelnego zbiornika retencyjnego

Źródło: A. Januchta-Szostak, *Woda w miejskiej przestrzeni publicznej. Modelowe formy zagospodarowania wód opadowych i powierzchniowych*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2011, s. 200.



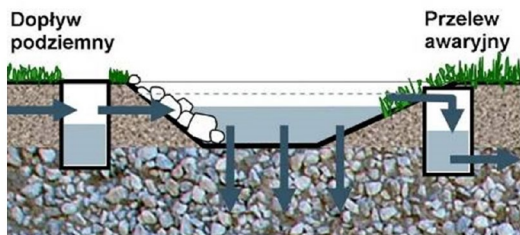
Ilustracja 12. Schemat rzutu dwukomorowego, otwartego zbiornika do retencji wód opadowych

Źródło: oprac. A. Januchta-Szostak na podstawie: W. Geiger, H. Dreiseitl, *Nowe sposoby odprowadzania wód deszczowych. Poradnik*, tłum. J. Brzeski, Oficyna Wydawnicza Projprzem-EKO, Bydgoszcz 1999, s. 182.



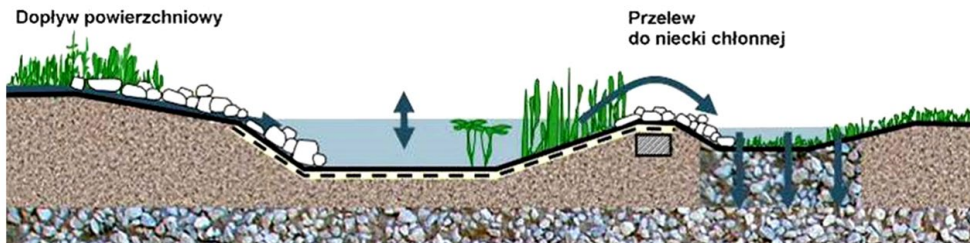
Ilustracja 13. Wielokomorowy zbiornik retencyjny na osiedlu Marina Mokotów w Warszawie, stanowiący główną atrakcję osiedla i miejsce rekreacji mieszkańców. Proj. APA Kuryłowicz & Associates

Źródło: fot. A. Januchta-Szostak.



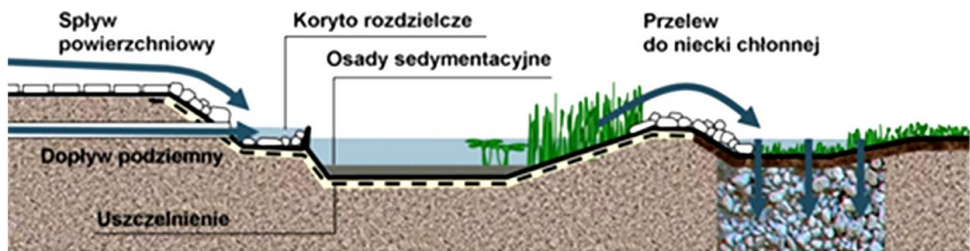
Ilustracja 14. Schemat przekroju prostego zbiornika infiltracyjnego z dopływem podziemnym i przelewem awaryjnym

Źródło: oprac. A. Januchta-Szostak.



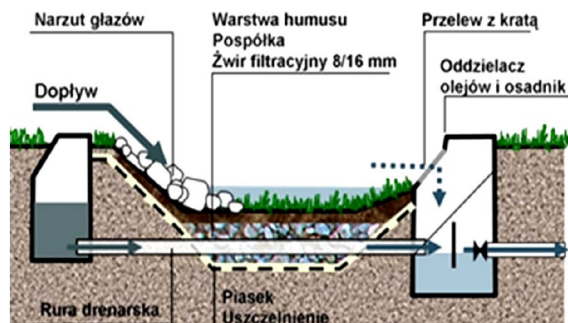
Ilustracja 15. Schemat przekroju zbiornika retencyjno-infiltracyjnego z uszczelnionym dnem i przelewem do niecki chłonnej

Źródło: A. Januchta-Szostak, *Woda w miejskiej przestrzeni publicznej. Modelowe formy zagospodarowania wód opadowych i powierzchniowych*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2011, s. 211.



Ilustracja 16. Przekrój przez staw sedymentacyjny

Źródło: oprac. A. Januchta-Szostak na podstawie: W. Geiger, H. Dreiseitl, *Nowe sposoby odprowadzania wód deszczowych. Poradnik*, tłum. J. Brzeski, Oficyna Wydawnicza Projprzem-EKO, Bydgoszcz 1999, s. 212.



Ilustracja 17. Przekrój zbiornika retencyjno-filtracyjnego

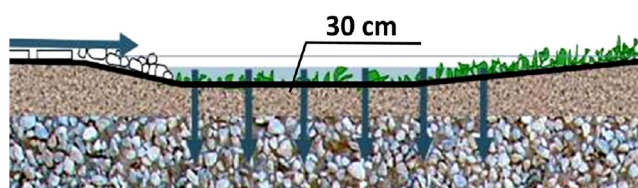
Źródło: oprac. A. Januchta-Szostak na podstawie: W. Geiger, H. Dreiseitl, *Nowe sposoby odprowadzania wód deszczowych. Poradnik*, tłum. J. Brzeski, Oficyna Wydawnicza Projprzem-EKO, Bydgoszcz 1999, s. 172.

Zbiorniki retencyjno-infiltracyjne (zob. ilustracja 14) pozwalają na rozsącanie w gruncie wód opadowych z dużych powierzchni. Zwykle tworzone są jako stawy o głębokości nieprzekraczającej 1 m i łagodnych skarpach (1:2) obsadzonych roślinnością. Filtrację wody wspomagają zbiorniki filtracyjne (zob. ilustracja 17) i biotopy roślinne na warstwie torfu (ok. 20 cm)⁶⁹. Aby utrzymać minimalny stały poziom wody umożliwiający vegetację roślinności wodnej błotnej, wykonuje się zbiorniki z dnem uszczelnionym np. bentonitem, w których infiltracja do gruntu możliwa jest powyżej określonego poziomu wody. Dla odbioru wód z powierzchni zanieczyszczonych wykonuje się dodatkowy osadnik z filtrem gruntowym na dopływie do zbiornika.

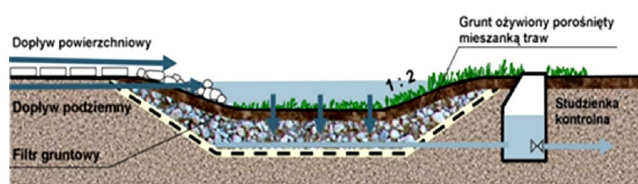
Niecki i rowy chłonne

Niecka infiltracyjna to płytkie zagłębienie terenu (zwykle trawiaste, o gł. ok. 30 cm – zob. ilustracja 18) służące do krótkotrwałej retencji i infiltracji wody deszczowej do gruntu. Niecki przez większość czasu pozostają suche (zob. ilustracje 18–20). Powinny być zatem zagospodarowane w sposób wielofunkcyjny i tak zlokalizowane, by ich zalanie nie powodowało dyskomfortu w użytkowaniu terenu, a wręcz przeciwnie – tworzyło nowe atrakcyjne aranżacje nawierzchni suchych i mokrych o różnym układzie i dostępności, w zależności od poziomu wody. W okresach bezdeszczowych niecki mogą pełnić funkcje wgłębników z miejscami do siedzenia, placów gier i zabaw lub dekoracyjnych trawników miejskich.

Niecki chłonne wykonuje się pojedynczo lub w układach połączonych kaskadowo (zob. ilustracja 20), umożliwiających stopniowe wypełnianie kolejnych zagłębień i powolną infiltrację. Jest to szczególnie ważne na gruntach o słabej przepuszczalności. W takich sytuacjach tworzy się również układy mieszane z infiltracją powierzchniową i podziemną.



Ilustracja 18. Schemat przekroju niecki infiltracyjnej
Źródło: oprac. A. Januchta-Szostak



Ilustracja 19. Schemat przekroju niecki filtracyjnej
Źródło: oprac. A. Januchta-Szostak na podstawie: D. Słyś, *Retencja i infiltracja wód deszczowych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2008, s. 95.

⁶⁹ D. Słyś, *Retencja i infiltracja wód deszczowych...*, s. 72–79; W. Geiger, H. Dreiseitl, *Nowe sposoby odprowadzania wód deszczowych...*, s. 120–124.

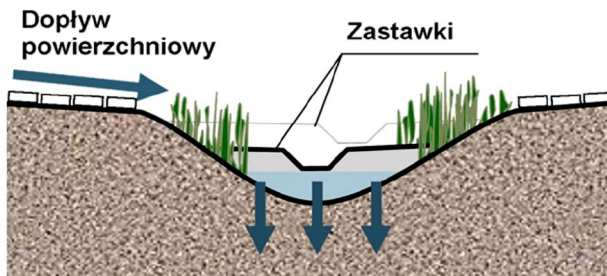


Ilustracja 20. Szereg trawiastych niecek chłonnych urozmaica ciąg spacerowy w Scharnhauser Park, Osfildern

Źródło: fot. A. Januchta-Szostak.

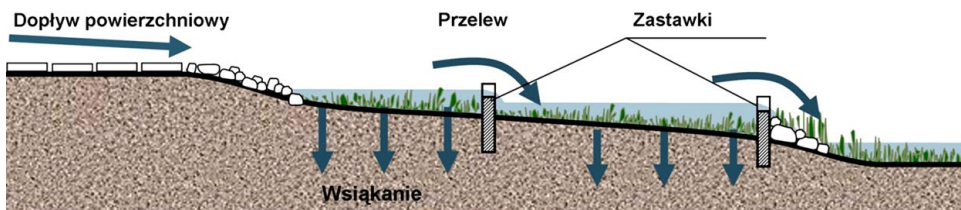
Niecki filtracyjne (zob. ilustracja 19) są uszczelnione względem podłoża, nie dają więc możliwości wsiąkania do gruntu, ale służą głównie oczyszczaniu spływów opadowych. Cechują się dużą zdolnością neutralizacji zanieczyszczeń rozpuszczonych w wodzie, dzięki jej filtrowaniu przez ożywione warstwy gruntu. Przefiltrowana woda odprowadzana jest do studzienki kontrolnej. Zaletą niecek jest możliwość kontroli procesu wsiąkania, a także ich niewielka, bezpieczna głębokość (ok. 30 cm) pozwalająca na rekreacyjne wykorzystanie terenu w okresach suchych.

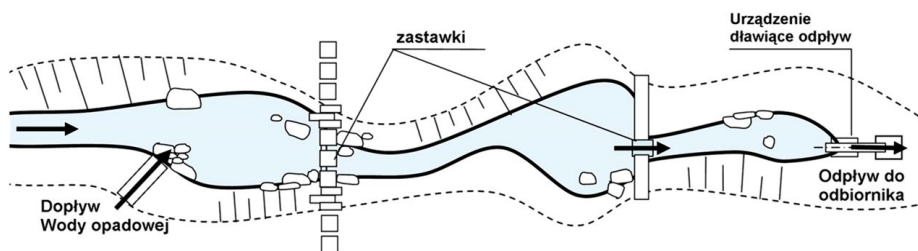
Rowy chłonne (retencyjno-infiltracyjne – zob. ilustracje 21, 22) są zagłębieniami liniowymi umożliwiającymi transport i wsiąkanie wody. Spowolnieniu transportu poziomego i zwiększeniu retencji wody służą przegrody i zastawki. W kaskadowych układach przelewowych zachodzą procesy sedymentacji i parowania, a przy obsadzeniu brzegów roślinnością (rowy bioretencyjne) – również oczyszczanie biologiczne i ewapotranspiracja. Meandrowanie wydłuża cieki, spowalnia spływ, zwiększa pojemność retencyjną i różnorodność biologiczną, a także walory krajobrazowe rowów.



Ilustracja 21. Schematy przekroju przez rów chłonny z zastawkami, przekrój poprzeczny (po lewej), przekrój podłużny (poniżej)

Źródło: A. Januchta-Szostak, *Woda w miejskiej przestrzeni publicznej. Modelowe formy zagospodarowania wód opadowych i powierzchniowych*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2011, s. 207.





Ilustracja 22. Schemat rzutu rowu chłonnego z zastawkami

Źródło: A. Januchta-Szostak, *Woda w miejskiej przestrzeni publicznej. Modelowe formy zagospodarowania wód opadowych i powierzchniowych*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2011, s. 207.

Sztuczne mokradła i pasaże roślinne

Mokradła (*wetlands*) stanowią naturalne gąbki magazynujące opady, oczyszczające wodę i pełniące ważne funkcje biocenotyczne. Pod wpływem antropopresji większość naturalnych mokradeł została osuszona, a w miastach zniknęły niemal doszczętnie. Tymczasem, biotopy bagienne są najbardziej efektywną formą wykorzystania naturalnych procesów samooczyszczania się wody, dzięki dużej masie roślinnej i różnorodności biologicznej. Obecnie tworzy się sztuczne mokradła (*constructed wetlands*) umożliwiające nie tylko zwiększanie pojemności retencyjnej i oczyszczanie wody, ale również kontakt z żywym i zróżnicowanym środowiskiem przyrodniczym (np. Houtan Park w Szanghaju, Qunli Stormwater Wetland Park, Harbin, Heilongjiang w Chinach – zob. ilustracja 23).

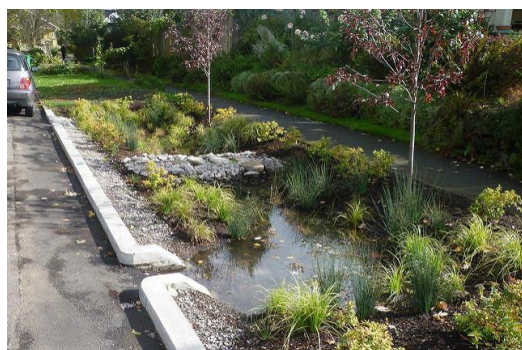
Mokradła takie mogą mieć różną skalę: od wielohektarowych parków bagiennych (np. Qunli Stormwater Park – 34,2 ha) po kieszonkowe biotopy przyuliczne (np. mokradła w Portland – zob. ilustracja 24). Zatoki przyuliczne (tzw. *pocket wetlands*) służące do krótkotrwałej retencji, infiltracji i podczyszczania wody, budowane są w połączonych układach szeregowych wzdłuż ulic i skutecznie odciążają zbiorcze systemy kanalizacyjne. Obsadzone roślinnością zatoki spowalniają odpływ wody, a zarazem tworzą estetyczną barierę między strefą ruchu pieszego a drogą. W Polsce wdrażanie takich rozwiązań wiąże się z koniecznością ograniczenia lub całkowitego zaprzestania stosowania soli w zimowym utrzymaniu dróg.

Podobny (choć bardziej ozdobny) charakter mają pasaże roślinne, które oczyszczają wodę deszczową spływającą z niewielkich powierzchni dzięki filtrom gruntowym i odpowiednio dobranym kompozycjom roślinnym (np. pasaż roślinny zbierający wodę z dachu biblioteki Uniwersytetu Warszawskiego – zob. ilustracje 9, 10). Najwyższą skutecznością oczyszczania charakteryzują się biotopy trzcinowe, które można łączyć z innymi gatunkami roślin dekoracyjnych o pędach wzniesionych (np. kosaćce, pałka wodna, jeżogłówka, oczeret jeziorny itp.) lub płożących, o dekoracyjnych kwiatach lub liściach (np. knieć błotna, czermień błotna, niezapominajka czy okrężnica błotna). Wykorzystanie filtracji mechanicznej oraz procesów biologicznych w warstwie ożywionego gruntu, a także zdolności roślin do neutralizacji zanieczyszczeń zapewnia bardzo dużą sprawność oczyszczania, a odpowiednia kompozycja i dobór roślinności wodnej i bagiennnej – wysokie walory estetyczne. Pasaże mogą być kształtowane w sposób przypominający formy naturalne lub w zgeometryzowanych kanałach i nieckach.



Ilustracja 23. Qunli Stormwater Wetland Park w Harbin, Heilongjiang (Chiny). Proj. Turenscape 2010

Źródło: <https://www.archdaily.com/446025/qunli-stormwater-wetland-park-turenscape> (dostęp: 3.06.2019).



Ilustracja 24. Widok zatok retencyjnych wzdłuż „zielonych ulic” w Portland

Źródło: C. Profita, *Audit Flags Problems With Portland's Environmental Agency*, <https://www.opb.org/news/article/portland-oregon-environmental-agency-audit-green-streets/> (dostęp: 12.12.2020).

7. PODSUMOWANIE

Skutki zmian klimatycznych będą narastać, nawet jeśli uda się powstrzymać wzrost emisji CO₂⁷⁰. Miasta muszą zatem podjąć działania adaptacyjne we wszystkich obszarach funkcjonalnych, organizacyjnych i przestrzennych. Rola błękitno-zielonej infrastruktury jest szczególnie ważna. Umożliwia bowiem nie tylko łagodzenie problemów związanych ze zjawiskiem miejskich wysp ciepła i powodzią oraz poprawę warunków życia mieszkańców, ale także przyczynia się do zmniejszania emisji gazów cieplarnianych i zwiększania absorpcji CO₂. Zalesianie jest najbardziej powszechną i skuteczną metodą usuwania dwutlenku węgla (Carbon Dioxide Removal, CDR), a odzyskiwanie przestrzeni dla zieleni i wody – jednym z najważniejszych celów urbanistyki XXI wieku. Przedstawione w artykule wybrane komponenty BZI służące zagospodarowaniu wód opadowych w systemach SuDS/TRIO powinny stać się powszechnie stosowanym narzędziem kształtowania zrównoważonej przestrzeni miejskiej.

70 Opublikowany 6 października 2018 roku piąty raport IPCC (The Intergovernmental Panel on Climate Change) zawiera alarmujący komunikat o konieczności zatrzymania globalnego ocieplenia na poziomie 1,5°C, co będzie wymagać szybkich, dalekosiężnych i bezprecedensowych zmian we wszystkich dziedzinach życia społecznego. Zob. *Nauka o klimacie dla sceptycznych*, <https://naukaoklimacie.pl/aktualnosci/ocieplenie-o-1-5-stopnia-specjalny-raport-ipcc-308> (dostęp: 4.06.2019).

LITERATURA

1. *Adaptacja do zmian klimatu: europejskie ramy działania*, Rezolucja Parlamentu Europejskiego z dnia 6 maja 2010 roku w sprawie Białej Księgi zatytułowanej *Adaptacja do zmian klimatu: europejskie ramy działania* [2009/2152 (INI)], <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/ALL/?uri=CELEX%3A52010IP0154> (dostęp: 11.12.2020).
2. Burszta-Adamiak E., *Opłaty za wody opadowe – doświadczenia polskie i zagraniczne*, [w:] *Problemy zagospodarowania wód opadowych*, red. J. Łomotowski, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Wydawnictwo Seidel-Przywecki, Wrocław 2008, s. 116–123.
3. CIRIA Project RP697 – *SUDS – updated guidance on technical design and construction*, CIRIA and HR Wallingford, April 2004, http://www.ciria.com/suds/pdf/rp697_research_briefing_note_v2.pdf (dostęp: 21.11.2020).
4. Costanza R., d'Arge R., Groot de R., Farber S., Grasso M., Hannon B., Limburg K., Naeem S., O'Neill R.V., Paruelo J., Raskin R.G., Sutton P., Belt van den M., *The value of the world's ecosystem services and natural capital*, „Nature” 1997, Vol. 387, No. 5, s. 253–260.
5. *Facing the Challenge, European Academy of the Urban Environment*, EA–UE, Berlin 1996.
6. Geiger W., Dreiseitl H., *Nowe sposoby odprowadzania wód deszczowych. Poradnik*, tłum. J. Brzeski, Oficyna Wydawnicza Projprzem-EKO, Bydgoszcz 1999.
7. *Green Paper on the Urban Environment, Communication from the Commission to the Council And Parliament*, EC, Brussels 1990, <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/0e4b169c-91b8-4de0-9fed-ead286a4efb7/language-en> (dostęp: 11.12.2020).
8. *Handbook of Water Sensitive Planning and Design*, ed. by R.L. France, Lewis Publishers, CRC Press, Boca Raton 2002.
9. Hansen R., Pauleit S., *From Multifunctionality to Multiple Ecosystem Services? A Conceptual Framework for Multifunctionality in Green Infrastructure Planning for Urban Areas*, „AMBIO” 2014, No. 43(4), s. 516–529.
10. Hu S., Niu Z., Chen Y., Li L., Zhang H., *Global wetlands. Potential distribution, wetland loss, and status*, „Science of the Total Environment” 2017, No. 586, s. 319–327.
11. Januchta-Szostak A., *Miasta przyjazne rzekom*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2019.
12. Januchta-Szostak A., *Usługi ekosystemów wodnych w miastach*, [w:] *Zrównoważony Rozwój – Zastosowania*, t. 3, *Przyroda w mieście*, red. T. Bergier, J. Kronenberg, Wydawnictwo Fundacja Sendzimira, Kraków 2012, s. 91–110.
13. Januchta-Szostak A., *Woda w miejskiej przestrzeni publicznej. Modelowe formy zagospodarowania wód opadowych i powierzchniowych*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2011.
14. *Klęski żywiołowe a bezpieczeństwo wewnętrzne kraju*, red. H. Lorenc, Wydawnictwo Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa 2012.

15. Komunikat Komisji Do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów, *Strategia UE w zakresie przystosowania się do zmiany klimatu*, Bruksela, 16.04.2013 [COM(2013) 216 final], <https://eur-lex.europa.eu/procedure/EN/202557> (dostęp: 11.12.2020).
16. Komunikat Komisji Do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów, *Zielona infrastruktura – zwiększanie kapitału naturalnego Europy* [COM/2013/0249 final], <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/?uri=celex%3A52013DC0249> (dostęp: 11.12.2020).
17. Kowalczak P., *Hierarchia potrzeb obszarowych małej retencji w dorzeczu Warty*, Wydawnictwo Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa 2001.
18. Lewińska J., *Klimat miasta – zasoby, zagrożenia, kształtowanie*, Instytut Gospodarki Przestrzennej i Komunalnej, Oddział w Krakowie, Kraków 2000.
19. *London Environment Strategy. Greater London Authority* (2018), <https://www.london.gov.uk/what-we-do/environment/london-environment-strategy> (dostęp: 11.12.2020).
20. Mann G., Szajda E., *Dachy zielone, jako element ekologicznego gospodarowania wodą opadową*, [w:] *Problemy zagospodarowania wód opadowych*, red. J. Łomotowski, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Wydawnictwo Seidel-Przywecki, Wrocław 2008, s. 37–48.
21. Odum H., *Environment, power, and society*, Wiley-Interscience, London 1971.
22. Pedersen-Zari M., *Ecosystem services analysis for the design of regenerative built environments*, „Building Research & Information” 2012, Vol. 40, No. 1, s. 54–64.
23. *Plany adaptacji do zmian klimatu 44 miast polski. Publikacja podsumowująca*, Ministerstwo Środowiska, Warszawa 2018, www.44mpa.pl (dostęp: 24.05.2019).
24. Pötz H., Bleuzé P., *Urban green-blue grids for sustainable and dynamic cities*, Coop For Life, Delft 2012.
25. Przewoźniak M., *Kwalifikacja systemów przyrodniczych miast. Teoria i zastosowania w zarządzaniu obszarami zurbanizowanymi*, [w:] *System przyrodniczy w zarządzaniu rozwojem obszarów metropolitalnych*, red. T. Markowski, D. Drzazga, Studia Komitetu Przestrzennego Zagospodarowania Kraju PAN, Warszawa 2009, s. 35–50.
26. Raport Komitetu Badań nad Zagrożeniami Związanymi z Wodą przy Prezydium PAN, „Kwartalnik NAUKA” 2014, nr 1 (numer specjalny).
27. Reid W.V., Mooney H.A., Cropper A., Capistrano D., *Millennium Ecosystem Assessment, Ecosystems and Human Well-being*. Synthesis, Island Press, Washington 2005.
28. *Richtlinien für die Planung, Ausführung und Pflege von Dachbegrünungen*, FLL (Hrsg.), Selbstverlag, Troisdorf 1995 (aktualizacja 2008).
29. Romanowicz R.J., Nachlik E., Januchta-Szostak A., Starkel L., Kundzewicz Z.W., Byczkowski A., Kowalczak P., Żelaziński J., Radczuk L., Kowalik P., Szamałek K., *Zagrożenia związane z nadmiarem wody. Raport Komitetu Badań nad Zagrożeniami Związanymi z Wodą przy Prezydium PAN*, „Kwartalnik NAUKA” 2014, nr 1, s. 123–148.
30. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie z dnia 12 kwietnia 2002 roku (Dz.U. Nr 75, poz. 690), to jest z dnia 17 lipca 2015 roku (Dz.U. z 2015 r., poz. 1422, z późniejszymi zmianami).
31. Słyś D., *Retencja i infiltracja wód deszczowych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rze-

- szowskiej, Rzeszów 2008.
32. Stec A., Słyś D., *Zielone dachy i ściany*, Wydawnictwo i Handel Książkami KaBe, Krośno 2018.
 33. Steffen W., Grinevald J., Crutzen P.J., McNeill J., *The Anthropocene. Conceptual and Historical Perspectives*, „Philosophical Transactions of The Royal Society. A Mathematical Physical and Engineering Sciences” 2011, No. 369, s. 842–867.
 34. Stovin V., Vesuviano G., Kasmin H., *The hydrological performance of a green roof test bed under UK climatic conditions*, „Journal of Hydrology” 2012, Vol. 414, s. 148–161.
 35. *Strategiczny plan adaptacji dla sektorów i obszarów wrażliwych na zmiany klimatu do roku 2020 z perspektywą do roku 2030*, Ministerstwo Środowiska, Warszawa 2013.
 36. SUDS – *Sustainable Urban Drainage Systems*, CIRIA, www.ciria.org/suds (dostęp: 25.05.2019).
 37. Szajda-Birnfeld E., Pływaczyk A., Skarżyński D., *Zielone dachy. Zrównoważona gospodarka wodna na terenach zurbanizowanych*, Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, Wrocław 2012.
 38. Szczepanowska H.B., *Wycena wartości drzew na terenach zurbanizowanych*, Instytut Gospodarki Przestrzennej i Mieszkalnictwa, Warszawa 2007.
 39. Szczepanowska H.B., Sitarski M., *Drzewa zielony kapitał miast. Jak zwiększyć efektywność pracy drzew?*, Instytut Gospodarki Przestrzennej i Mieszkalnictwa, Warszawa 2015.
 40. Szulczewska B., *Teoria ekosystemu w koncepcjach rozwoju miast*, Wydawnictwo Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego, Warszawa 2002.
 41. Szulczewska B., *Zielona infrastruktura – czy koniec historii? Green Infrastructure – the End of History?*, Komitet Przestrzennego Zagospodarowania Kraju Polskiej Akademii Nauk, Warszawa 2018.
 42. *Water and the Landscape. A Landscape Architecture Book*, ed. by G. Clay, McGraw-Hill, London–New York 1979.
 43. *Woda w mieście. Usługi ekosystemów dla zrównoważonej gospodarki wodnej*, red. T. Bergier, J. Kronenberg, I. Wagner, Fundacja Sendzimira, Kraków 2014, <http://www.sendzimir.org.pl/magazyn5> (dostęp: 20.11.2020).
 44. Xiao Q., McPherson E.G., Simpson J.R., Ustin S.L., Grismer M.E., *A new approach for modelling tree rainfall interception*, „Journal Geophysical Research. Atmospheres” 2000, Vol. 105, No. D23, 173–188.

STRESZCZENIE

Zagrożenia dla miast i ich mieszkańców wynikające ze zmian klimatu wymagają działań łagodzących i adaptacyjnych. Miejskie strategie adaptacji (MPA) kładą szczególny nacisk na rolę błękitno-zielonej infrastruktury (BZI), która jest wielofunkcyjnym narzędziem kształtowania przestrzeni zurbanizowanej. Nie tylko umożliwia redukcję problemów związanych ze zjawiskiem miejskich wysp ciepła i powodzią miejską, ale również poprawę estetyki miasta, walorów rekreacyjnych i edukacji ekologicznej mieszkańców. W artykule przedstawiono genezę i rolę BZI oraz wybrane komponenty systemów zrównoważonego zagospodarowania wód opadowych SuDS/TRIO.

Słowa kluczowe: adaptacja do zmian klimatu, błękitno-zielona infrastruktura (BZI), SuDS/TRIO, wody opadowe, wyspy ciepła

SUMMARY

BLUE-GREEN INFRASTRUCTURE AS A TOOL FOR URBAN ADAPTATION TO CLIMATE CHANGE AND RAINWATER MANAGEMENT

Threats to cities and their inhabitants resulting from climate change require mitigation and adaptation measures. Urban adaptation strategies (UAS) place particular emphasis on elements of blue-green infrastructure (BGI), which is a multi-functional tool for shaping urban space. BGI not only helps to reduce the problems associated with the phenomenon of heat islands and urban floods, but also improves the city's aesthetics, recreational values and environmental education of its residents. The paper presents the origin and role of BGI and selected components of sustainable urban drainage systems (SuDS / TRIO).

Keywords: adaptation to climate change, blue-green infrastructure (BGI), SuDS / TRIO, rainwater, heat islands