

# EKOHYDROLOGIA MIEJSKA

Czyli błękitno-zielone aspekty  
adaptacji miast do zmian klimatu.

**Iwona Wagner**

Katedra UNESCO Ekohydrologii  
i Ekologii Stosowanej,  
Wydział Biologii i Ochrony Środowiska,  
Uniwersytet Łódzki  
Europejskie Regionalne Centrum Ekohydrologii,  
Polska Akademia Nauk w Łodzi

**D**zisiejszy świat to świat zurbanizowany. W 2008 roku po raz pierwszy w historii liczba mieszkańców miast przekroczyła 50 proc. populacji ludności świata. Obecnie odsetek ten wno-

si powyżej 55 proc. (w Unii Europejskiej 72 proc.), a w 2050 roku być może osiągnie ponad 68 proc. prawie 10-miliardowej wówczas populacji ludzkiej. Być może – ponieważ postępujące zmiany klimatu mogą zasadniczo zmienić ten scenariusz, nakładając na dynamiczny rozwój ludzkiej populacji poważne ograniczenia związane z możliwością rozwoju w niestabilnych warunkach klimatycznych. Dlatego też miasta, które są nie tylko obszarami o dużym zagęszczeniu ludności, lecz także nagromadzenia infrastruktury i kapitału, intensywnego rozwoju gospodarczego, kulturowego i społecznego, są jednymi z kluczowych „obszarów wrażliwych” wymagających adaptacji do zmian klimatu<sup>1</sup>. W Polsce wszystkie miasta powyżej 100 tys. mieszkańców<sup>2</sup>, a także niektóre



VIKTOR GLADKOV/SHUTTERSTOCK.COM

potencjału tkwiącego w środowisku czy też „kapitale naturalnym”. Dzięki powiązaniu pomiędzy kapitałem naturalnym a „usługami ekosystemowymi” mieszkańcy miast mogą czerpać z procesów naturalnych wiele korzyści. Są to np. lokalna regulacja mikroklimatu, stabilizacja lokalnego obiegu wody czy samooczyszczanie wody w rzekach miejskich.

Żeby tak się stało, w przestrzeni miasta są potrzebne sprawnie funkcjonujące (czyli niezdegradowane, integralne i odporne na stres) ekosystemy. Niestety, sama idea rozwoju miast oznaczała znaczne przekształcenia krajobrazu, powodujące zmiany w strukturze i funkcjonowaniu pierwotnego systemu przyrodniczego. Tereny naturalne zostały pomniejszone, podzielone na fragmenty i w ogromnej większości zastąpione zabudową, a zachodzące w środowisku procesy (w tym „usługi ekosystemowe”) trwale utracone lub zastępowane infrastrukturą komunalną na potrzeby mieszkańców miast. W rezultacie w dzisiejszych miastach jakość środowiska przyrodniczego (kapitał naturalny) jest często niska, negatywnie wpływając na zdrowie, komfort i warunki życia mieszkańców (kapitał społeczny) oraz podnosząc koszty funkcjonowania miasta (kapitał ekonomiczny). Na te warunki brzegowe nakładają się coraz silniej odczuwane skutki zmian klimatu, które nie tylko nasilają negatywne konsekwencje urbanizacji, lecz także osłabiają środowisko przyrodnicze, stanowiące główny czynnik adaptacyjny postępującej zmiany.

Adaptując miasta do zmian klimatu, samorządy coraz częściej posiłkują się wiedzą i praktyką z dziedziny ekohydrologii miejskiej, której celem jest podnoszenie poziomu odporności systemu przyrodniczego miasta na stres antropogeniczny (wywołany działaniami człowieka), a docelowo – poprawa jakości życia w miastach. Podstawowa zasada ekohydrologii, zakładająca wzajemną regulację procesów hydrologicznych i biologicznych, ma poprawiać stan środowiska i optymalizować procesy korzystne z punktu widzenia konkretnych „usług ekosystemowych”.

## Woda w przestrzeni miasta

Miasta są mozaiką obszarów przekształconych przez człowieka i ekosystemów o różnej jakości, obejmując teoretyczny gradient (kontinuum nasilenia) urbanizacji od obszarów zdominowanych przez „szarą infrastrukturę” (np. centra miast), do obszarów półnaturalnych (np. lasy podmiejskie). Uszczelnione powierzchnie tej mozaiki (budynki, drogi, chodniki, ulice, place) zasadniczo zmieniają cykl hydrologiczny w lokalnym krajobrazie, co zostało opisane już w latach 60. XX wieku wraz z powstaniem i rozwojem nowej dziedziny nauki – hydrologii miejskiej. Woda opadowa nie wsiąka tam, gdzie spada w postaci deszczu, tak jak to się dzieje w krajobrazie naturalnym, lecz spływa po betonowej powierzchni,



**dr hab.**  
**Iwona Wagner**

Jest pracownikiem naukowym Katedry UNESCO Ekohydrologii i Ekologii Stosowanej Uniwersytetu Łódzkiego i Europejskiego Regionalnego Centrum Ekohydrologii PAN. Zajmuje się ekohydrologią terenów miejskich, zagospodarowaniem wód opadowych i zastosowaniem błękitno-zielonej infrastruktury w adaptacji miast do zmian klimatu.

[iwona.wagner@biol.uni.lodz.pl](mailto:iwona.wagner@biol.uni.lodz.pl)

z mniejszych miast<sup>3</sup> przyjęły już kompleksowe strategie przystosowawcze i szczegółowe plany działania dotyczące adaptacji do zmian klimatu.

Miasta są niezwykle złożonymi i przestrzennie zróżnicowanymi systemami społeczno-ekologicznymi, a więc również ich adaptacja do zmian klimatu jest złożonym wyzwaniem. Obejmuje ona wiele kierunków działań wprowadzających zmiany we wrażliwych sektorach gospodarki, a także w administracji, służbach miejskich, a nawet systemie społecznym. Jednak punktem wyjścia do wszystkich działań adaptacyjnych jest próba łagodzenia utrudniających funkcjonowanie miasta skutków ekstremalnych warunków klimatycznych, takich jak fale upałów, susze czy powodzie miejskie. To, w sposób ekonomicznie efektywny, może być osiągnięte wyłącznie przez wykorzystanie

<sup>1</sup> COM (2013) 216 final. Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. Strategia UE w zakresie przystosowania się do zmiany klimatu, <https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2013/PL/1-2013-216-PL-F1-1.Pdf>

<sup>2</sup> Projekt „Wczujmy się w klimat!”, <http://44mpa.pl/>

<sup>3</sup> Na przykład projekt adaptacji do zmian klimatu małych i średnich miast Polski CLIMCITIES, [www.climcities.ios.gov.pl/projekt](http://www.climcities.ios.gov.pl/projekt)

a następnie siecią kanalizacyjną wprost do odborników lub oczyszczalni ścieków. W skrajnych przypadkach (przy uszczelnieniu sięgającym 75–100 proc.) odpływa w ten sposób nawet 95 proc. opadu. Gwałtowny spływ wody prowadzi do podtopień i tzw. błyskawicznych powodzi miejskich (ang. *flash floods*), stanowiących problem większości dużych miast. Intensywny opad potrafi w ciągu kilkunastu minut sparaliżować komunikację i spowodować straty materialne i zdrowotne, a nawet zagrożenie życia. Rozwiązaniem, które miało chronić mieszkańców, jest kanalizacja deszczowa lub ogólnospławna. Niestety, projektowane często ponad 100 lat temu systemy dzisiaj nie zawsze spełniają swoje zadanie. Większość z nich była przewidziana na mniejsze opady i mniej uszczelnioną zlewnię. Postępujące zmiany klimatu mogą tę sytuację pogarszać. O ile szczegółowe projekcje opadów są obarczone niepewnością i różnią się w zależności od scenariusza emisji CO<sub>2</sub> i modelu klimatycznego, to ze znacznym prawdopodobieństwem można stwierdzić, że wystąpienie intensywnych opadów, a więc i błyskawicznych powodzi miejskich, będzie w przyszłości coraz częstsze.

Scenariusze klimatyczne są zgodne co do kierunku zmian temperatur – będą one wzrastać, a fale ciepła i fale upałów będą występować częściej i utrzymywać się dłużej.

Ostatecznie jednak konwencjonalne systemy kanalizacji spełniają swoją funkcję i woda po kilku godzinach lub dniach zostaje odprowadzona poza teren miasta, co nasila kolejne niekorzystne zjawiska. Pozbawione wody miasta szybko się nagrzewają i borykają ze zjawiskiem tzw. miejskiej wyspy ciepła. Temperatura w centrum miasta jest wyższa niż na przedmieściach – różnica sięga na ogół kilku stopni Celsjusza, jednak okresowo może osiągać nawet kilkanaście stopni. Ograniczona ilość zieleni dodatkowo nasila ten efekt, jako że transpiracja roślin naturalnie obniża i stabilizuje temperaturę, a także zwiększa wilgotność powietrza. Przesuszone i przegrzane miasto przekłada się na znaczący wzrost zachorowań na dolegliwości, takie jak: astma i alergie wziewne, choroby układu krążenia, udary cieplne i inne. Dodatkowo życie w takim miejscu może obniżać samopoczucie, nasilać problemy zdrowotne, a nawet prowadzić do przedwczesnej śmierci, szczególnie

u osób z tzw. grup szczególnie wrażliwych – obciążonych przewlekłymi chorobami naczyń krwionośnych, serca i układu oddechowego, dzieci, osób starszych, wykluczonych społecznie i żyjących samotnie. Scenariusze klimatyczne są w dużym stopniu zgodne co do kierunku zmian temperatur – będą one wzrastać, a fale ciepła (okresy z temperaturą maksymalną powietrza powyżej 25 st. C) i fale upałów (okresy z temperaturą maksymalną powietrza powyżej 30 st. C) będą występować częściej i utrzymywać się dłużej. Częściej będą również występować szczególnie niebezpieczne dla zdrowia „noce tropikalne”, podczas których temperatura nie spada poniżej 20 st. C. Nakładające się na siebie efekty miejskiej wyspy ciepła i zmian klimatu mogą powodować, że w ciągu dnia temperatura w miastach Europy może przekraczać 40–50 st. C, uniemożliwiając przebywanie i funkcjonowanie mieszkańców w ich przestrzeni. Pierwszym sygnałem ostrzegawczym były fale upałów, które przeszły przez Europę w 2003 roku i spowodowały według różnych szacunków od 30 do nawet 70 tys. przedwczesnych zgonów. Straty ekonomiczne zaś oszacowano na ponad 13 mld euro.

## Małe rzeki miejskie

Wody odpływające z miasta szczególnie silnie oddziałują na małe rzeki miejskie. Nieproporcjonalnie duża ilość wody dostająca się systemami kanalizacji do rzeki w krótkim czasie powoduje, że wzbierają one bardzo gwałtownie – przepływy maksymalne mogą być nawet o rząd wielkości większe niż w warunkach naturalnych. Dodatkowo do rzek dopływa dużo zanieczyszczeń, takich jak zawiesiny, metale ciężkie, dioksyny, substancje ropopochodne, nutrieny (głównie związki azotu i fosforu, intensyfikujące wzrost glonów i roślin wodnych), chlorki i in. Ładunki tych zanieczyszczeń są na ogół skutecznie redukowane za pomocą separatorów i osadników na odpływach kanalizacji. Jednak badania prowadzone na łódzkich rzekach pokazały, że nawet przy stężeniach mieszczących się w ustawowych normach dopływająca do rzek mieszanina zanieczyszczeń może negatywnie oddziaływać na wszystkie poziomy troficzne ekosystemów, co destabilizuje jego funkcjonowanie i osłabia zdolności rzek do samooczyszczania, czyli metabolicznego przetworzenia dopływających do niej zanieczyszczeń.

Najwięcej zanieczyszczeń dopływa do rzek w pierwszej fazie opadów (tzw. efekt pierwszej fali), zwłaszcza tych gwałtownych. Zanieczyszczeń jest tym więcej, im dłuższy był okres bezdeszczowy między opadami, kiedy zanieczyszczenia gromadzą się na powierzchni w mieście. Bardziej toksyczny efekt obserwuje się również zimą, kiedy zwiększa się liczba źródeł zanieczyszczeń (np. tzw. niska emisja, chlorki z substancji odładzających) i wydłuża czas depozycji zanieczyszczeń (zalegający śnieg). Biorąc pod uwagę,



DR SEBASTIAN SZKLAŃSKI

Silnie zdegradowana mała rzeka miejska:  
 A) przecięzona wodą opadową odprowadzaną z powierzchni miasta, chwilę po ulewnym opadzie (15 l/m<sup>2</sup> w ciągu 15 minut),  
 B) z prawie pustym korytem po odpłynięciu wody opadowej, 12 godzin później.  
 Rzeka Karolewka w Łodzi

że zmiany klimatu zwiększają prawdopodobieństwo występowania opadów ekstremalnych, w przyszłości można spodziewać się wzrostu niekorzystnego oddziaływania miast na rzeki. Reakcja rzeki na takie wymuszenia będzie zależeć od jej stanu – rzeka w stanie bliskim naturalnemu może skuteczniej metabolizować zanieczyszczenie. Jeżeli struktura biologiczna cieków jest zdegradowana – należy spodziewać się, że zanieczyszczenie będzie utrzymywać się długo i płynąć w dół biegu rzeki, zanieczyszczając kolejne wody. Należy przy tym pamiętać, że samooczyszczanie wody jest stosunkowo słabe w okresie zimowym z uwagi na obniżony metabolizm organizmów rzecznych. Łatwo jest wtedy przekroczyć pojemność asymilacyjną ekosystemu, a dopływający ładunek zanieczyszczeń może być większy niż zdolność do jego przetworzenia zgodnie z kinetyką procesów bioasymilacyjnych. Może wówczas dojść do degradacji ekosystemu.

## Przystosowanie miast do zmian klimatu

Adaptacja miast do zmian klimatu polega na próbach odwrócenia degradacji środowiska spowodowanej przez urbanizację i lokalnym odtworzeniu procesów naturalnych i usług ekosystemowych. Ekohydrologia miejska posługuje się w tym celu rozwiązaniami

z obszaru błękitno-zielonej infrastruktury (BZI). Błękitno-zielona infrastruktura w miastach to kapitał naturalny miast, wynikający z obecności terenów zieleni (np. lasów miejskich, rolniczych terenów miejskich, parków, skwerów, zieleni przyulicznej i in.) i zasobów wody (cieków, rowów, zbiorników, terenów podmokłych i in.). BZI obejmuje również sztuczne ekosystemy stworzone przez człowieka i elementy, które mają charakter infrastrukturalny, np. zielone dachy, zielone ściany, zielone przystanki autobusowe i meble miejskie, sztuczne obszary infiltracji, retencji i oczyszczania wód opadowych – o ile wykorzystują one tzw. rozwiązania bliskie naturze (ang. *nature based solutions* – NBS).

## Działania adaptacyjne w przestrzeni zabudowanej

Ponieważ miasta są mozaiką ekosystemów i obszarów zabudowanych, w różnych obszarach miasta oczekiwania i rodzaj rozwiązań stosowanych w adaptacji są inne. W obszarach najbardziej zabudowanych, np. centrach miast, najważniejsze są regulacja temperatury, łagodzenie suszy i zapobieganie powodziom miejskim. Ze względu na zagęszczenie zabudowy zapobieganie podtopieniom jest na ogół rozwiązywane przy użyciu szarej infrastruktury, podczas gdy rozwiązania ekohydrologii miejskiej oraz infrastruktura BZI i NBS

Chcesz wiedzieć  
więcej?

Zalewski M., *Ecology, biotechnology and engineering for cost efficiency in reaching the sustainability of biogeosphere*, „*Ecology & Hydrobiology*” 2014, 1.

Wagner I., Breil P., *The role of ecohydrology in creating more resilient cities*, „*Ecology & Hydrobiology*” 2013, 13.

Krauze K., Wagner I., *From classical water-ecosystem theories to Nature Based-Solutions – contextualizing Nature-Based Solutions for sustainable city*, „*STOTEN*” 2019, t. 655.

Szklarek S., Stolarska M., Wagner I., Mankiewicz-Boczek J., *The microbiotest battery as an important component in the assessment of snowmelt toxicity in urban watercourses – preliminary studies*, „*Environment Monitoring and Assessment*”, 2015, 187.

Wagner I., Zalewski M., *Błękitno-Zielona Sieć – poprawa jakości życia w miastach w obliczu zmian klimatu*, „*Panorama. Dwutygodnik Polskiej Akademii Nauk*” 4/2013.

Szklarek S., Wagner I., Jurczak T., Zalewski M., *Sequential Sedimentation-Biofiltration System for the purification of a small urban river (the Sokolowka, Lodz) supplied by stormwater*, „*Journal of Environmental Management*” 2018, t. 205.

Jurczak T., Wagner I., Kaczkowski Z., Szklarek S., Zalewski M., *Hybrid system for the purification of street stormwater runoff supplying urban recreation reservoirs*, „*Ecological Engineering*” 2018, t. 110.

pełnią funkcje wspomagające i mogą być stosunkowo kosztowne (np. zielone dachy). Rozwiązania takie są również kluczowe w regulacji temperatury. Można przytoczyć wiele godnych naśladowania i odważnych przykładów miast Europy Zachodniej (np. Wiednia, Kopenhagi, Aarhus w Danii), które przebudowują całe ulice, wprowadzając zamiast betonu zieleni i wodę, tworzące przyjazne i przechwytyjące wodę przestrzenie parkowe. Wraz ze spadkiem gęstości zabudowy wzrastają odporność miast na stres antropogeniczny, ich potencjał adaptacyjny i zdolność podtrzymywania własnych funkcji ekosystemowych w rozwiązaniach BZI i NBS. Obszary o średnim stopniu zabudowy (np. osiedla z dużą ilością zieleni) są odporniejsze i tańsze w utrzymaniu, a system przyrodniczy ma wymierny i bezpośredni wpływ na jakość życia i bezpieczeństwo ekologiczne mieszkańców (np. komfort w przestrzeni mieszkalnej i pozytywny wpływ na zdrowie). W obszarach o najmniejszym przekształceniu (np. przedmieścia, lasy miejskie) systemy przyrodnicze znajdują się pod mniejszym oddziaływaniem miasta, co poprawia ich kondycję. Dodatkowo stanowią one cenne obszary dodatkowej retencji wody, np. w rzekach dopływających do miast.

## Działania adaptacyjne małych rzek miejskich

Rzeki miejskie są potencjalnie bardzo cennym elementem wspomagającym adaptację, gdyż stanowią osnowę systemu przyrodniczego miasta (np. Błękitno-Zielona Sieć w Łodzi), przy okazji generując wiele innych korzyści (np. przestrzeń spacerową). Jednak presja urbanizacyjna i decyzje prowadzące do ich degradacji znacznie pomniejszyły tę rolę. Opisane powyżej rozwiązania BZI, zwiększające lokalną retencję wód opadowych, oddziałują korzystnie na funkcjonowanie rzek, stabilizując liczbę, jakość i gwałtowność zasilających je spływów powierzchniowych. Równie ważne jest doczyszczanie wód opadowych dopływających do rzek, co także można realizować przez procesy naturalne. Przykładem jest opracowany w Łodzi doczyszczający wody opadowe sekwencyjny system sedymentacyjno-biofiltracyjny (SSSB), który wykorzystuje sedymentację, wychwytywanie jonów fosforanowych w reakcjach biogeochemicznych oraz takie procesy biologiczne jak pochłanianie (asymilację) nadmiaru nutrientów przez roślinność, denitryfikację (usuwanie związków azotu zgromadzonych w ekosystemie do atmosfery w wyniku procesów mikrobiologicznych) i dekompozycję (rozkład materii organicznej). System może być również uzupełniony o separatory i osadniki, tworząc system hybrydowy, czyli łączący rozwiązania techniczne z rozwiązaniami opartymi na przyrodzie. Wysoko wydajne separatory skutecznie ograniczają stężenie zawieszin

i substancji ropopochodnych, podczas gdy subtelniejsze w działaniu, za to skuteczniejsze przy niskich stężeniach zanieczyszczeń rozwiązania oparte na NBS redukują rozpuszczone formy nutrientów<sup>4</sup>.

Kolejnym krokiem dla poprawy funkcjonowania rzek w obszarach miejskich, przy równoczesnej adaptacji miast do zmian klimatu, jest podjęcie działań zmierzających do retencji wody opadowej w korytach i półnaturalnych (zrehabilitowanych) dolinach rzecznych, by ograniczać zagrożenie powodziowe. Można to osiągnąć przez poszerzenie (często „odzyskiwanie”) doliny lub budowę suchych zbiorników (polderów), które wypełniają się wodą tylko w okresach intensywnych opadów, zabezpieczając miasta przed podtopieniem. Dodatkowo można zwiększyć retencyjność przez rehabilitację koryta rzecznej i przywrócenie mu naturalnej struktury trójwymiarowej (zróznicowanie przekroju poprzecznego, podłużnego i meandryzacja). Zwiększa się wówczas również różnorodność habitatów, czyli fizycznych siedlisk stanowiących podstawę kształtowania biologicznej struktury ekosystemów, prowadzącej do wzmocnienia ich bioróżnorodności i bioproduktywności, oraz zdolności metabolicznych do samooczyszczania. Takie działania są zaplanowane m.in. w Radomiu, w projekcie LIFE<sup>5</sup>.

## Adaptacja a mitygacja

Średnia temperatura powierzchni Ziemi jest obecnie wyższa o 1,1 st. C w stosunku do okresu przedindustrialnego i rośnie niebezpiecznie szybciej, niż zakładano jeszcze cztery lata temu, podczas podpisywania porozumienia paryskiego, zbliżając się do granicy 1,5 st. C. Granicy, po której przekroczeniu zapewne nie da się uniknąć katastrofalnych skutków globalnego ocieplenia. Podejmowanie działań adaptacyjnych ograniczających ekstremalne skutki zmian klimatycznych jest więc konieczne, a możliwości takie stwarza błękitno-zielona infrastruktura, rozwiązania zbliżone do natury i ekohydrologia miejska. Jednakże skuteczność działań adaptacyjnych zależy od jakości systemu przyrodniczego miasta, a przede wszystkim od powstrzymania wzrostu temperatury globalnej i wynikających z niej zaburzeń klimatu. Trudno jest odpowiedzieć na pytanie, gdzie leży granica skuteczności działań adaptacyjnych i czy jest to zaproponowana w raporcie IPCC granica wzrostu temperatury globalnej do 1,5 st. C. Przecież już teraz, przy wroście temperatury o „zaledwie” 1,1 st. C, działania adaptacyjne często nie wystarczają. Ostatni raport Międzynarodowego Zespołu ds. Zmian Klimatu<sup>6</sup> wskazuje, że poza działaniami adaptacyjnymi konieczne jest podjęcie natychmiastowych działań mitygacyjnych, ograniczających w możliwie najkrótszym czasie emisję gazów cieplarnianych do atmosfery i negatywny wpływ człowieka na klimat.

<sup>4</sup> Projekt LIFE EH-REK: Ekohydrologiczna rekultywacja zbiorników rekreacyjnych Arturówek (Łódź) jako modelowe podejście do rekultywacji zbiorników miejskich (LIFE08 ENV/PL/000517).

<sup>5</sup> Projekt LIFE\_RADOMKLIMA\_PL: Adaptacja do zmian klimatu poprzez zrównoważoną gospodarkę wodą w przestrzeni miejskiej Radomia (LIFE14 CCA/PL/000101).

<sup>6</sup> IPCC. 2018. Global Warming of 1.5 st. C. Intergovernmental Panel on Climate Change.