

# Woda jako podstawa jakości życia w miastach przyszłości<sup>1</sup>

*Maciej Zalewski*

*Uniwersytet Łódzki*

*Europejskie Regionalne Centrum Ekohydrologii pod auspicjami UNESCO, PAN*

Według raportu UN HABITAT, w 2008 roku po raz pierwszy w historii ponad połowa ludzkości mieszkała w miastach, a w Unii Europejskiej w miastach mieszka już 3/4 ludności. Postępująca urbanizacja stwarza nowe wyzwania w zakresie jakości życia w miastach oraz zdrowia i bezpieczeństwa ekologicznego mieszkańców. Pod znakiem zapytania staje też wydajność tradycyjnych inżynierskich systemów w gospodarce wodno-ściekowej. W tym kontekście konieczne staje się stosowanie innowacyjnych rozwiązań w zarządzaniu wodą i środowiskiem, w oparciu o zintegrowanie wiedzy inżynierskiej ze zrozumieniem procesów biologicznych i hydrologicznych. Takie podejście proponuje ekohydrologia.

**Słowa kluczowe:** ekohydrologia, urbanizacja, woda w mieście, Międzynarodowy Program Hydrologiczny UNESCO, błękitno-zielona infrastruktura

<sup>1</sup> Niniejszy rozdział zawiera syntezę zagadnień, które zostały szerzej opisane w artykułach: (Zalewski 2013, 2014).

## Wprowadzenie

Podstawowym pytaniem, na które powinna odpowiedzieć ludzkość w XXI wieku, kiedy tempo eksploatacji zasobów środowiska przekracza regeneracyjny potencjał biosfery, brzmi: jaka jest przyszłość życia i cywilizacji? Pierwszym krokiem w kierunku sformułowania odpowiedzi, jest określenie głównych zagrożeń dla środowiska przyrodniczego. Są to:

- zmiana i degradacja podstawowych procesów ekologicznych, niezbędnych do podtrzymania życia na Ziemi, np. obiegu wody i składników odżywczych, takich jak azot, fosfor, węgiel;
- degradacja biosfery przez wylesianie, urbanizację i transport;
- emisja zanieczyszczeń;
- nadmierne zużycie wszystkich rodzajów zasobów środowiska.

Drugim krokiem, a zarazem warunkiem koniecznym dla przyszłości życia i cywilizacji oraz prawdziwej poprawy dobrostanu człowieka, jest zrozumienie złożoności interakcji pomiędzy systemami abiotycznymi (środowiskiem fizycznym), biotycznymi i społeczno-ekonomicznymi. Konieczne jest opracowanie nowego paradygmatu i nowych rozwiązań w oparciu o naukę interdyscyplinarną. Proces ten zapoczątkowało sprawozdanie Komisji Brundtland (WCED 1987). Kolejnym etapem było stworzenie teoretycznych podstaw dla integracji hydrologii i ekologii — ekohydrologii (Zalewski i in. 1997; Zalewski 2011) w ramach Międzynarodowego Programu Hydrologicznego UNESCO. Przypięczętowaniem tego procesu było przyjęcie Deklaracji Columbus (EcoSummit... 2012), w której za podstawowy cel uznano harmonizację potrzeb człowieka ze zdolnością środowiska do absorbowania stresu i regeneracji.

## Woda a jakość życia

Woda determinuje jakość środowiska, a także możliwości rozwoju gospodarczego i społecznego, co znalazło odzwierciedlenie w między-

rodowych zobowiązaniach, takich jak Milenijne Cele Rozwoju ONZ i deklaracja „The Future We Want”, przyjęta podczas konferencji Rio+20 w 2012 r. Zagadnienia te zostały również odzwierciedlone w sześciu priorytetowych tematach VIII fazy Międzynarodowego Programu Hydrologicznego UNESCO (UNESCO IHP), największego międzyrządowego programu hydrologicznego na świecie, na lata 2014–2021. Jeden z nich (temat 4: Woda i osiedla ludzkie przyszłości) w całości odnosi się bezpośrednio do miast (UNESCO 2012). Kolejny temat, poświęcony zagadnieniom ekohydrologii (temat 5: Ekohydrologia i inżynieria ekologiczna dla zrównoważonego świata), również przewiduje obszar priorytetowy dotyczący ekohydrologii terenów miejskich. Ta zajmuje się szeroko pojętymi aspektami i interakcjami pomiędzy zieloną i błękitną infrastrukturą, dla poprawy funkcjonalności środowiska miejskiego i dostarczania usług ekosystemowych jego mieszkańcom.

**Kluczowe jest zrozumienie złożoności interakcji pomiędzy systemami abiotycznymi (środowiskiem fizycznym), biotycznymi i społeczno-ekonomicznymi.**

W swoim najnowszym dokumencie, UNESCO IHP dyskutuje globalne cele dotyczące wody w zaproponowanych przez ONZ Celach Rozwoju Zrównoważonego po roku 2015. W zakresie wody zaproponowano następujące cele:

zmniejszenie zanieczyszczenia wody z głównych źródeł na poziomie krajowym o 30% poprzez zwiększenie zbierania i oczyszczania ścieków w miastach do co najmniej 80%; zwiększenie oczyszczania ścieków przemysłowych do co najmniej 95%; zmniejszenie zanieczyszczenia ze źródeł rozproszonych o 30% i podejmowanie działań na rzecz ograniczenia zanieczyszczeń u źródła do roku 2030 (UNESCO 2014). Tak wysoki priorytet dla zagadnień związanych z wodą w miastach wynika stąd, że już ponad połowa globalnej społeczności mieszka na obszarach zurbanizowanych, a tempo urbanizacji nigdy wcześniej nie było tak wysokie. Miasta to główni emitenci zanieczyszczeń do wód. Z drugiej strony, to właśnie woda i zieleń w dużym stopniu określają jakość życia. Są najważniejszymi elementami ekohydrologicznej gospodarki wodnej, która poprawia stan środowiska przyrodniczego i bezpieczeństwo ekologiczne mieszkańców miast.



Rysunek 1. Strategia UNESCO IHP VIII na lata 2014–2021

## Podjęcie sektorowe a podejście systemowe

Zrównoważona i bezpieczna przyszłość cywilizacji wymaga dostępu do wody i żywności, których produkcja zależy od stanu i funkcjonowania biosfery. Konieczne jest więc zrozumienie, dlaczego w niektórych częściach biosfery coraz bardziej brakuje wody? Dlaczego wody słodkie są często zanieczyszczone? Jak odwrócić te trendy? Tym bardziej, że ich bezpośrednią konsekwencją jest spadek liczby naturalnych siedlisk, bioróżnorodności i produktywności biologicznej.

W wielu przypadkach niekorzystne zjawiska są wynikiem podejścia sektorowego, ograniczonej komunikacji pomiędzy różnymi użytkownikami i decydentami oraz braku wymiany wiedzy między specjalistami z różnych dyscyplin. Szczególnym wyzwaniem jest brak dialogu między naukowcami zajmującymi się problemami środowiskowymi i inżynierami. Prowadzi to do nadmiernego wykorzystania technologii w środowisku oraz związanych z tym wysokich kosztów. Skutkuje to rosnącą degradacją śro-

dowiska, wbrew oczekiwanym celom działania. Ponadto, aktualne programy badawcze i edukacyjne, dotyczące środowiska, zbyt często kładą niewystarczający nacisk na integralność procesów ekologicznych kształtowanych przez ewolucję, a zwłaszcza zakresu i skutków ich modyfikacji przez ludzi i wiedzy o tym, jak cofnąć te zmiany. Powierzchnowe monitorowanie stanu środowiska nie pozwala pogłębiać wiedzy, która ma znaczenie dla opracowywania nowych metod i rozwiązań systemowych dla zrównoważonego zarządzania środowiskiem (Zalewski 2011).

Nowe, oparte o ekohydrologię wykorzystanie i kształtowanie wody i zieleni w przestrzeni miejskiej, można przeciwstawić mechanistycznemu podejściu do zarządzania zasobami wodnymi. W obliczu globalnych zmian klimatu podejście mechanistyczne powoduje zwiększanie kosztów oraz wzrost zagrożeń. Osiągnięcie zrównoważonego i przyjaznego mieszkańcom błękitno-zielonego miasta wymaga nowej perspektywy. Mechanistyczno-deterministyczne<sup>1</sup> podejście należy zastąpić podejściem systemowo-ewolucyjnym<sup>2</sup>, zdefiniowanym w sześciu priorytetowych tematach UNESCO IHP (rysunek 1).

<sup>1</sup> Podejście mechanistyczno-deterministyczne zakłada osiągnięcie jednego określonego celu w ograniczeniu zagrożeń związanych z zarządzaniem środowiskiem, bez uwzględniania interakcji między środowiskiem a infrastrukturą.

<sup>2</sup> Podejście systemowo-ewolucyjne jest podejściem całościowym, zakładającym osiągnięcie więcej niż jednego celu w oparciu o zrozumienie długoterminowych procesów ekologicznych oraz interakcji między różnymi elementami środowiska, społeczeństwa i infrastruktury.

Barierą dla zrównoważonego rozwoju jest często niedocenienie jego lokalnego wymiaru. Znaczenie i wysoką skuteczność lokalnych systemów gospodarczych podkreślała w swoich badaniach m.in. noblistka, Elinor Ostrom. Wskazywała, że każda społeczność żyjąca w określonych warunkach środowiska musi wypracować własny sposób zrównoważonego wykorzystania zasobów naturalnych i zrównoważonego współistnienia z ekosystemami.

**Każda społeczność, żyjąca w określonych warunkach środowiska, musi wypracować własny sposób, zrównoważonego wykorzystania zasobów naturalnych i zrównoważonego współistnienia z ekosystemami.**

Struktura ekosystemów i ich potencjał w dostarczaniu człowiekowi usług są wynikiem określonej geomorfologii, klimatu i historycznie określonych wzorców kulturowych i intensywności użytkowania. Utrzymanie mechanistyczno-deterministycznego podejścia sektorowego może w ciągu kilku dekad spowodować pogorszenie funkcjonowania biosfery. Jednocześnie zdolność produkcyjna, absorpcyjna i regeneracyjna środowiska maleje, co może prowadzić do lokalnych, regionalnych i globalnych konfliktów.

## Wyzwania związane z wodą w mieście

Opisane powyżej problemy dotyczą szczególnie miast, ponieważ to w nich występuje degradacja krajobrazu i biosfery. Z tego z kolei wynikają zmiany w obiegu wody i materii. Ponadto miasto jest obszarem sprzecznych dążeń i priorytetów różnych grup interesariuszy.

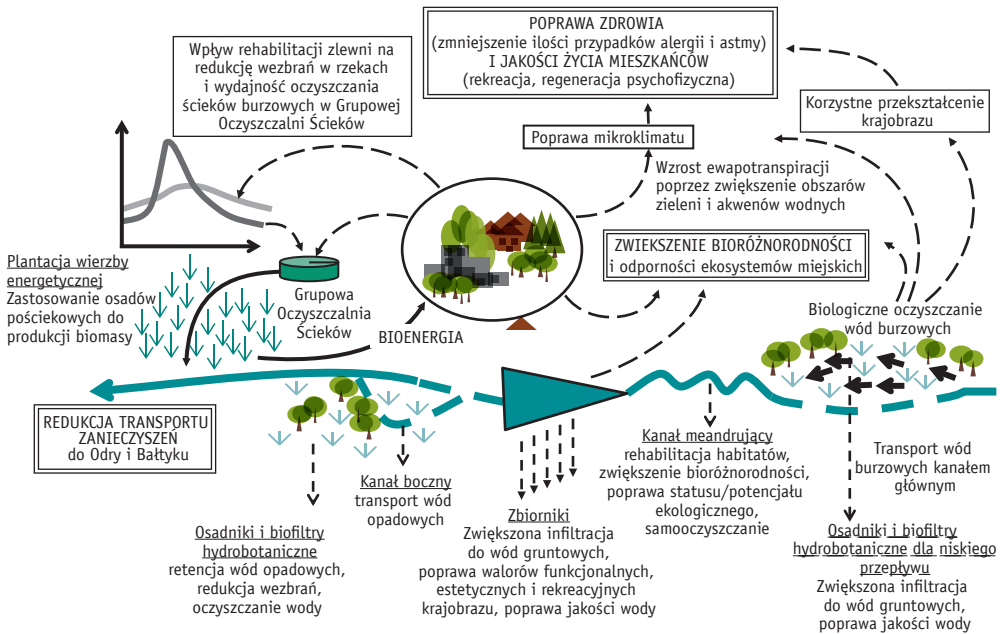
Jednym z najważniejszych (choć często pomijanym przez decydentów i praktyków) skutków mechanistycznego podejścia do zarządzania wodą w mieście jest przyspieszenie odpływu wody. Skutkuje to wzrostem prędkości i wielkości spływu powierzchniowego, powodując podtopienia i powodzie oraz przepływy ekstremalne w rzekach. Zmniejszona retencja wody i wydłużające się okresy suszy uniemożliwiają funkcjonowanie zielonej infrastruktury w miastach. Zmniejszają także przepływy minimalne w rzekach, zagrażając utrzymaniu życia biologicznego. Dodatkowo, powszechna regulacja koryt degraduje struktury i funkcje biologiczne rzek oraz obniża ich potencjał samooczyszczania się. Nadmierne wy-

korzystanie technologii w krajobrazie i powszechna praktyka odprowadzania wód opadowych do rzek zwiększa koszty zarządzania zasobami wodnymi i zmniejsza zasilanie wód podziemnych (Wagner i Zalewski 2009). Wzrasta zanieczyszczenie powietrza i powstają miejskie wyspy ciepła, co ma negatywne skutki na ludzkie zdrowie (por. rozdział o związkach wody i zdrowia ludzkiego: Kupryś-Lipińska i in. w tym tomie). Procesy te doprowadzają do utraty funkcji i usług ekosystemów oraz zmniejszają odporność na zmiany klimatyczne.

Przyspieszenie i nasilenie spływu powierzchniowego w zlewniach miejskich skutkuje zwiększonym eksportem zanieczyszczeń. Dostają się one do rzek bezpośrednio poprzez zwiększony spływ powierzchniowy, jak i pośrednio, poprzez: odpływy kanalizacji deszczowej odbierającej wody z obszarów często znacznie przekraczających fizyczny zasięg naturalnej zlewni i pojemność cieków; odpływy z przelewów burzowych kanalizacji ogólnospławnej, dodatkowo zanieczyszczające cieki ścieków komunalnych; oraz nielegalne zrzuty zanieczyszczeń punktowych. Pogorszenie jakości wody uniemożliwia bezpieczne korzystanie ze środowiska przez społeczeństwo i zachowanie bioróżnorodności.

Negatywny wpływ stresu hydrologicznego i zanieczyszczeń jest potęgowany przez powszechne w miastach interwencje w fizyczną strukturę ekosystemów dolin i koryt rzecznych. Obejmują one zabudowę i regulację hydrotechniczną rzek, polegającą na regulacji, prostowaniu i zabudowie koryt przy pomocy płyt betonowych oraz na ujmowaniu ich w podziemne kanały. Zmieniany lub zwężany jest także przekrój poprzeczny rzeki, pozbawia się rzekę łączności z doliną i terenami podmokłymi, itp. Równie szkodliwa jest zabudowa dolin w celu mieszkalnym, przemysłowym lub drogowym. Uproszczenie siedlisk wpływa negatywnie na bioróżnorodność, transport osadów i wymianę jonów z osadami dennymi, które to procesy są kluczowe dla zdolności rzek do samooczyszczania. Jeśli ulegają one zaburzeniu, to obniża się potencjał rzek w tym zakresie.

Opisane procesy ekologiczne oznaczają znacznie więcej niż tylko obniżenie estetyki krajobrazu.



**Rysunek 2.** Koncepcja rehabilitacji rzeki miejskiej, z wykorzystaniem ekohydrologii i rozwiązań systemowych, jako podstawa odtworzenia cyklu obiegu wody i biogenów, usług ekosystemów i obniżenia kosztów funkcjonowania miasta. Działania te zrealizowano w ramach projektów badawczo-wdrożeniowych, będących efektem współpracy instytucji naukowych i Urzędu Miasta Łodzi

W wymiarze społecznym, zapobieganie im przekłada się na szereg korzyści składających się na budowanie bezpiecznej i atrakcyjnej przestrzeni miejskiej. Odwrócenie degradacji systemu przyrodniczego może zapewnić szereg usług ekosystemów, takich jak: zapobieganie powodziom i suszom, regulowanie jakości powietrza i wody, korzystny wpływ na zdrowie mieszkańców, wysoka jakość przestrzeni publicznych, bezpieczna przestrzeń rekreacyjno-użytkowa, obniżenie kosztów funkcjonowania miasta.

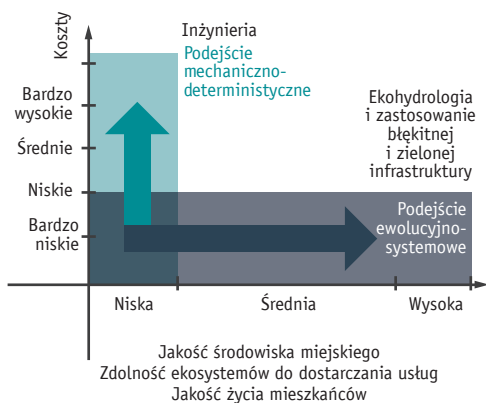
## Rozwiązania

### Myślenie ukierunkowane na procesy

Rosnąca świadomość na temat potrzeby ochrony środowiska sięga epoki przemysłowej i była odpowiedzią na intensywną eksploatację zasobów naturalnych i postęp w naukach biologicznych w XVIII i XIX w. Doprowadziło to do degradacji ekosystemów. Dlatego procesom tym towarzyszył wzrost zrozumienia uwarunkowań i dynamiki sukcesji eko-

logicznej. Jednak w XXI wieku ekologia rekonstrukcyjna nie wystarczy, żeby zatrzymać proces degradacji środowiska. Dwie kluczowe przyczyny to demografia i gospodarka. Warto pamiętać, że konsekwencje wpływu człowieka na biosferę, w połączeniu ze wzrostem populacji ludzkiej, globalnymi zmianami klimatu i mechanizmami ekonomicznymi, które wymuszają lawinową konsumpcję, generują coraz większe zapotrzebowanie na usługi ekosystemów, powodując rosnącą presję na środowisko. Powszechnie używany miernik produktu krajowego brutto (PKB) stał się „mylną miarą krajowego sukcesu”, ponieważ skupia się na konsumpcji i finansach, ale nie uwzględnia zasobów naturalnych, ludzkiego dobrobytu, stabilności i równości (Costanza i in. 2014).

Negatywne zmiany w miastach można odwrócić, zmieniając paradygmat zarządzania wodami. Jeśli będą właściwie zagospodarowane — staną się cennym zasobem poprawiającym warunki życia i zdrowia mieszkańców, zwłaszcza w dobie nasilających się zmian klimatu. Warunkiem takiej polityki jest celowa i bezpieczna retencja krajobrazowa wód opadowych



**Rysunek 3.** Zwiększenie efektywności działań na rzecz poprawy jakości środowiska i jakości życia i zmniejszenie ich kosztów dzięki integracji inżynierii, ekohydrologii i biotechnologii

w obszarze miejskim (Wagner i Zalewski 2009) oraz ich oczyszczanie. Nauka proponuje tu szereg rozwiązań. Jednym z nich jest projektowanie ekosystemów przynoszących korzyści zarówno dla przyrody, jak i ludzi, proponowane przez inżynierię ekologiczną (Mitsch 1996, Mitsch i Jorgensen 2004). Można np. wykorzystać tereny podmokłe jako narzędzia zmniejszenia odpływu zanieczyszczeń z obszarów zurbanizowanych. Kolejne to ekohydrologia i proponowane przez nią rozwiązania systemowe.

### Ekohydrologia dla poprawy jakości życia w miastach

Ekohydrologia jest zintegrowaną, transdyscyplinarną nauką ukierunkowaną na rozwiązywanie problemów, w której kluczowym słowem jest *regulacja* procesów ekologicznych i hydrologicznych. Obejmuje ona nie tylko hydrologię i ekologię, ale także geofizykę, geologię, biologię molekularną, genetykę, techniki geoinformacyjne, modelowanie matematyczne, badania społeczno-ekonomiczne i prawne. Ekohydrologia to nauka transdyscyplinarna, badająca powiązania pomiędzy procesami hydrologicznymi (np. cykl wody w krajobrazie miasta, przepływ w rzekach, czas retencji w zbiorniku) a biologicznymi (np. transpiracja, parowanie, infiltracja do wód gruntowych, transformacja biogenów w biomasę, wzrost roślinności, biofiltracja). Wiedzę

tę wykorzystuje się we wzajemnej regulacji powyższych procesów, m.in. dla poprawy funkcjonowania środowiska (w tym zielonej i błękitnej infrastruktury miejskiej).

Skuteczne zarządzanie wodą i dynamiką obiegu składników odżywczych musi odbywać się poprzez harmonizację tradycyjnych rozwiązań hydrotechnicznych z kształtowaniem krajobrazu pod kątem regulacji procesów z biotechnologiami ekosystemowymi, których istotą jest wykorzystanie organizmów do przekształcania materii. Przykładem takiego rozwiązania jest konstrukcja barier denitryfikacyjnych, wykorzystujących bakterie, które zmniejszają transfer azotanów do ekosystemów wodnych przez przekształcanie ich w formę gazową. Ważne jest również włączenie do praktyki wiedzy ekologicznej, np. dotyczącej możliwości zastosowania mikrobiologii i analizy genetycznej w celu wykorzystania zdolności mikroorganizmów wodnych do mineralizacji materii organicznej i biodegradacji innych zanieczyszczeń, np. tworzenie ekotonowych stref buforowych.

Działania takie wymagają opracowania i testowania rozwiązań w zakresie nowych biotechnologii ekosystemowych. Przykładem są badania nad ekohydrologią terenów zurbanizowanych. W ramach działań badawczo-rozwojowych w Łodzi powstała koncepcja renaturyzacji rzeki, kaskada zbiorników wodnych skonstruowanych w oparciu o koncepcję ekohydrologii oraz sekwencyjny system sedymentacyjno-biofiltracyjny dla doczyszczania wód deszczowych (Wagner i Zalewski 2009). Zaproponowany system działa jako rozwiązanie systemowe — poszukujące wielu rozwiązań w wyniku zharmonizowania zielonej i błękitnej infrastruktury z systemem funkcjonalnym i społecznym miasta (rysunek 2).

### Podsumowanie

Rozwiązania oparte o integrację najnowszych osiągnięć w dziedzinie inżynierii, zintegrowane z błękitną i zieloną infrastrukturą i zastosowaniem ekohydrologii, podnoszą skuteczność działań naprawczych na obszarach miejskich i jednocześnie obniżają ich koszty (rysunek 3). Warto podkreślić, że tę strategię działań w gospodarce wodnej po raz pierwszy zaproponowali Statzner i Sperling (1993).

Takie działanie przyspiesza także osiągnięcie wymogów dyrektyw unijnych (np. Ramowej Dyrektywy Wodnej), co może zmniejszyć zagrożenie nałożenia na Polskę wysokiej kary finansowej za ich niedotrzymanie. Ponadto, coraz bardziej powszechny i wyższy poziom edukacji i świadomości społeczeństwa zwiększa oczekiwania co do jakości życia. A ta w coraz większym stopniu zależy od zdrowego środowiska, bliskości terenów zieleni i zbiorników wodnych w mieście. Ich obecność redukuje koszty funkcjonowania miasta i jego infrastruktury. Zmniejsza też liczbę czynników wywołujących astmę i alergie oraz stwarza możliwości regeneracji psychofizycznej. Błękitno-zielona infrastruktura jest także nośnikiem coraz wyżej cenionych wartości estetycznych i kulturowych dla mieszkańców. W wielu miastach na świecie inżynierowie, planiści i miejscy architekci krajobrazu postrzegają doliny rzeczne i tereny zieleni jako oś, wokół której funkcjonalnie zorganizowane są przestrzenie zurbanizowane.

Według Romera (2006) postęp, rozwój i innowacje zależą w połowie od nowych technologii,

a w połowie od idei i rozwiązań systemowych. W celu osiągnięcia zrównoważonego rozwoju naszej planety, należy rozwinąć podejście holistyczne i transdyscyplinarne do zarządzania środowiskiem. Trzeba przejść od podejścia mechanistyczno-deterministycznego do ewolucyjno-systemowego, z uwzględnieniem myślenia zorientowanego na wykorzystanie procesów dla trwałego użytkowania zasobów. Optymalizacja pożytku dla społeczeństwa jest kluczowa (Zalewski 2013). Jednak priorytetem pozostaje obniżenie zużycia energii oraz zasobów naturalnych, wykorzystywanych do ulepszeń technologicznych lub innych realizowanych działań. Z metodologicznego punktu widzenia należy przejść od redukcjonizmu i specjalizacji intelektualnej do integracyjnego, interakcyjnego, zapobiegawczego i adaptacyjnego podejścia opartego na etyce. Taka zmiana paradygmatu na różnych poziomach powinna zmniejszyć obserwowaną ostatnio tendencję do nadmiernego zużycia i nadmiernego wykorzystywania inżynierii w środowisku i prowadzić do harmonizacji potrzeb społecznych ze zdolnością absorpcyjną i regeneracyjną środowiska.

## Literatura

- Costanza, R., Kubiszewski, I., Giovannini, E. i in., 2014. Time to leave GDP behind. *Nature*, 505, s. 283–285.
- EcoSummit 2012 Scientific Committee, 2013. Harmonization of societal needs with the ecosphere in the Anthropocene Era. *Ecohydrology and Hydrobiology*, 13, s. 6–7.
- Mitsch, W., 1996. Ecological engineering. A new paradigm for engineers and ecologist. In: Schulze, P.C. (Ed.), *Engineering within ecological constraints*, National Academy Press, Washington, D.C.
- Mitsch, W., Jorgensen, S.E., 2004. *Ecological engineering and ecosystem restoration*, New York: Wiley.
- Romer, D., 2006. *Advanced macroeconomics*, California: McGraw-Hill Irwin.
- Statzner, B., Sperling, F., 1993. Potential contribution of system-specific knowledge (SSK) to stream management decisions: ecological and economic aspects. *Freshwater Biology*, 29, s. 313–342.
- UNESCO, 2012. *Water security: responses to local, regional, and global challenges. Strategy plan*, Paris: UNESCO IHP.
- UNESCO, 2014. *Water in the post-2015 development agenda and sustainable development goals*, Paris: UNESCO IHP.
- Wagner, I., Zalewski, M. 2009. Ecohydrology as a basis for the sustainable city strategic planning – focus on Lodz, Poland. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 8, s. 209–217.
- WCED (World Commission on Environment and Development), 1987. *Our common future*, Oxford: Oxford University Press.
- Zalewski, M., 2011. Ecohydrology for implementation of the UE water framework directive. *Proceedings of the Institution of Civil Engineering Water Management*, 164, s. 375–385.
- Zalewski, M., 2013. Ecohydrology: process-oriented thinking towards sustainable river basins. *Ecohydrology and Hydrobiology*, 13, s. 97–103.
- Zalewski, M., 2014. Ecohydrology, biotechnology and engineering for cost efficiency in reaching the sustainability of biogeosphere. *Ecohydrology and Hydrobiology*, 14, s. 14–20.