

Ekohydrologia jako podejście systemowe dla zrównoważonego użytkowania zasobów wodnych oraz przyrodniczych w krajobrazie rolniczym

Maciej Zalewski

*Międzynarodowe Centrum Ekologii PAN
Katedra Ekologii Stosowanej, Uniwersytet Łódzki
ul S. Banacha 12/16, 90-237 Łódź*

Słowa kluczowe: ekohydrologia, krajobraz rolniczy, zlewnia rzeczna, regulacja procesów

Wstęp

Powierzchnia ziemi zawsze podlegała zmianom będącym wynikiem działania czynników abiotycznych oraz ewolucji biologicznej. Jednak w XXI wieku według danych NASA zbliżamy się do stanu, gdy już prawie 80% powierzchni kuli ziemskiej podlega modyfikacji i degradacji spowodowanej przez człowieka. Obecnie, po raz pierwszy w historii ziemi, człowiek w większym stopniu od procesów naturalnych staje się odpowiedzialny za kształtowanie zjawisk przyrodniczych zachodzących w skali globu [12], stąd w nomenklaturze geofizycznej obecna era geologiczna określana została terminem Anthropocen.

Czynnikiem, który drastycznie modyfikuje ewolucyjnie wykształconą strukturę ekosystemów, a często również degraduje procesy ekologiczne, takie jak krążenie wody i substancji biogennych w krajobrazie, przepływ energii przez ekosystemy, jest rolnictwo. Ze względu na charakter zmian w strukturze i procesach zachodzących w ekosystemach postępująca w skali globalnej redukcja potencjału produkcyjnego i ekologicznego powinna być minimalizowana, a nawet zgodnie z postulatami konferencji w Johannesburgu odwrócona. Stąd, szczególnie w rolnictwie, ze względu na kompleksowość oddziaływania na procesy ekologiczne zachodzące od mikroskali (mechanizmy biochemiczne i fizjologiczne) do makroskali (krajobraz), konieczne jest przejście od sektorowego do systemowego podejścia w kształtowaniu i użytkowaniu,

w sposób trwały i zrównoważony, obszarów rolniczych. Aby zrealizować ten cel zgodnie ze strategią ONZ (Millennium Goals), w stosunkowo krótkim okresie konieczne jest zdefiniowanie hipotezy lub kompleksowej koncepcji. Punktem wyjścia powinno być rozpatrywanie procesu degradacji biosfery w trzech wymiarach. Pierwszy to nadmierne zużycie energii, materiałów i emisja zanieczyszczeń do środowiska. Drugi, nie mniej istotny, który do tej pory praktycznie nie istniał w percepcji społeczeństw, natomiast obecnie stanowi przedmiot dynamicznie rozwijających się badań, to degradacje ukształtowanych w toku ewolucji globu cykli biogeochemicznych, wśród których podstawowym jest krążenie wody w biosferze oraz powiązane z nim krążenie biopierwiastków (węgiel, azot, fosfor), a także zanieczyszczeń chemicznych [9, 17]. Obydwie grupy procesów determinują zakres i tempo trzeciego, w największym stopniu nieodwracalnego, jakim jest zmniejszanie się bioróżnorodności.

Nie ulega wątpliwości, że w świetle powyższych faktów fundamentalnym zadaniem stojącym przed naukami o środowisku staje się kompleksowe zrozumienie interakcji i mechanizmów regulujących sprzężenia zwrotne pomiędzy procesami abiotycznymi oraz biotycznymi [15, 31]. Szczególnie dotyczy to najbardziej dynamicznego czynnika abiotycznego, niezbędnego człowiekowi do życia, ale również decydującego o strukturze i funkcjonowaniu biocenoz/agrocenoz, jednocześnie stabilizowanego, a nawet regulowanego przez biocenozę, którym jest woda [29]. Zrozumienie to powinno być na tyle dogłębne, aby umożliwiło kształtowanie krajobrazu rolniczego i regulację procesów ekologicznych, w tym krążenia wody, nie tylko pod kątem optymalnej produkcji żywności, ale również osiągnięcia „dobrego stanu ekologicznego” ekosystemów wodnych, gdyż są one czynnikiem oraz wskaźnikiem zrównoważonego i trwałego użytkowania zasobów przyrodniczych.

Na początku lat dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku świadomość postępującej degradacji zasobów wody na świecie, znalazła wyraz w jednej z głównych konkluzji międzynarodowej konferencji w Dublinie (1992), gdzie wskazano na konieczność sformułowania nowych koncepcji i nowych rozwiązań w gospodarce wodnej dla osiągnięcia zrównoważonego użytkowania. Instytucją, która podjęła powyższe wyzwanie była UNESCO ustanawiając Międzynarodowy Program Hydrologiczny (IHP).

Powstało wówczas pytanie, jak zintegrować dwie dotąd odrębne ze względu na aparat badawczy dyscypliny: silnie zmatematyzowaną hydrologię zajmującą się procesami makroskalowymi oraz ekologię, w której przeważało podejście opisowe zogniskowane na organizmie i populacji, jednak uwzględniające w coraz większym zakresie interakcje w obrębie biocenoz (np. teoria biomanipulacji). Kluczem do integracji powinno być sformułowanie hipotezy lub zespołu hipotez, których weryfikacja byłaby uznana przez uczonych reprezentujących obydwie działy nauki za ważną i konieczną dla postępu. Hipotezy takie sformułowano podczas pierwszego spotkania powołanej przez UNESCO IHP grupy ekspertów [34]. Jednak, aby przejść do testujących i integrujących badań empirycznych, należało zdefiniować podstawowe zasady nowej dziedziny nauki.

Ekohydrologia – nauka integrująca

Jako punkt wyjścia do sformułowania hipotez integrujących hydrologię i ekologię, przyjęto opublikowaną w dokumencie FAO w 1985 roku przez Zalewskiego i Naimana [31], koncepcję „AB Regulatory Continuum”: czynniki abiotyczne są nadrzędne w stosunku do biotycznych, jednak w sytuacji, gdy są stabilne, to biotyczne odgrywają decydującą rolę w regulacji systemu („hierarchia czynników abiotycznych i biotycznych regulujących dynamikę zespołów ryb zmienia się wzdłuż biegu rzek, w gradiencie stref klimatycznych”).

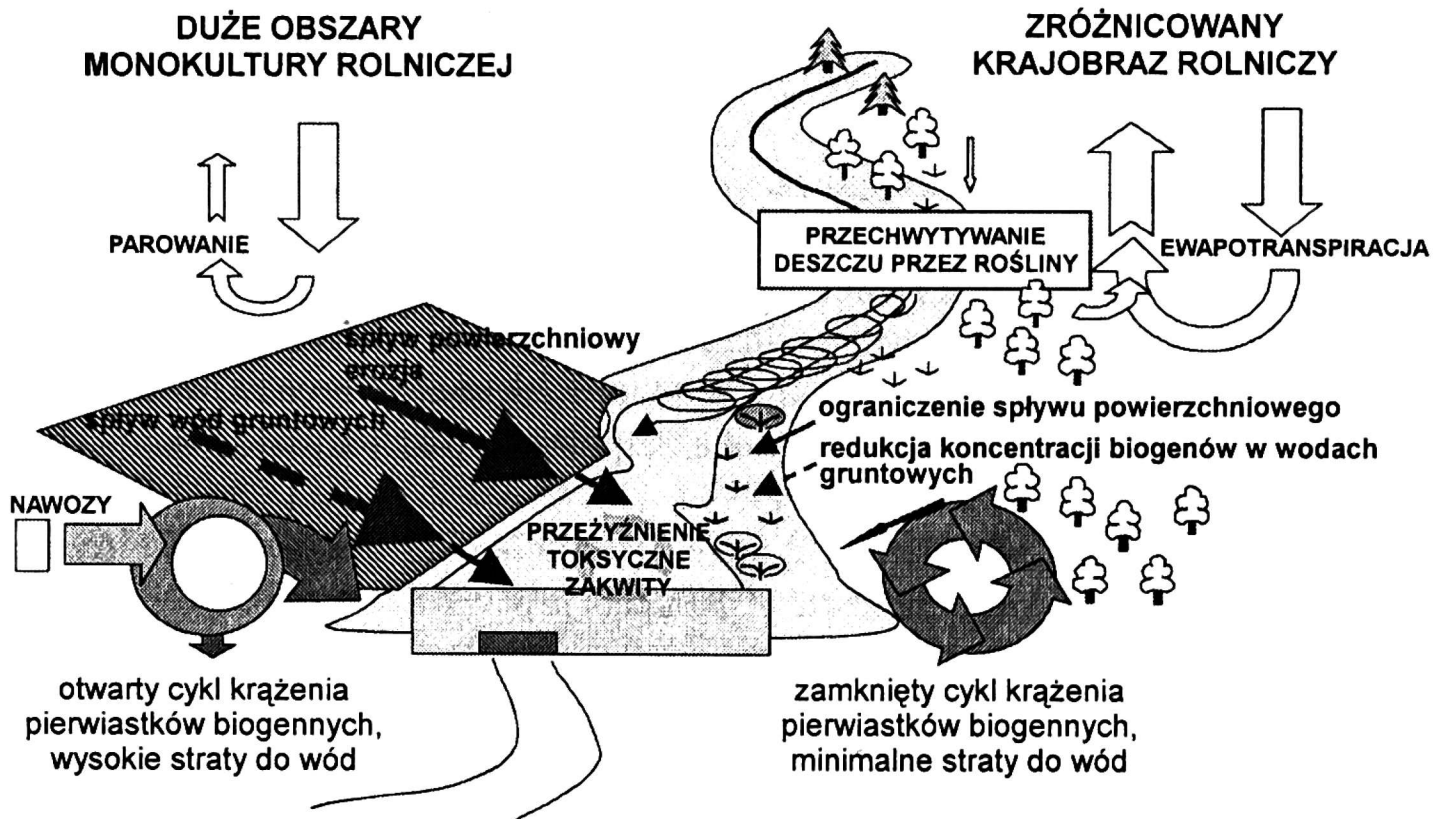
Kluczowym pytaniem jest: jak zmienia się hierarchia mechanizmów regulujących dynamikę zespołów organizmów? Koncepcja ta wskazuje zmieniającą się hierarchię czynników abiotycznych (temperatura, hydrologia) i biotycznych (konkurencja, drapieżnictwo) wraz ze zmianą charakterystyki hydrologicznej rzeki.

Istotną inspirację pochodzącą z empirii do sformułowania zasad ekohydrologii dostarczyły badania prowadzone na Zbiorniku Sulejowskim w latach osiemdziesiątych. Wykazały one, że można wykorzystać procesy hydrologiczne do precyzyjnej regulacji struktury biologicznej ekosystemu i poprawy jakości wody [35]. Nie mniej ważne były badania nad znaczeniem stref ekotonowych (roślinność nadbrzeżna) dla poprawy jakości wody oraz gospodarowania zasobami krajobrazu [16, 20], a także nad kształtowaniem sztucznych środowisk podmokłych (constructed wetlands), np. Mitsch, Gosselink [14]. Wyniki tych badań, jak też wiele innych omówionych przez Zalewskiego i Robartsa [33], przyczyniły się do sformułowania zasadniczych hipotez oraz zasad ekohydrologii, które brzmią:

Procesy hydrologiczne mogą być wykorzystane do regulacji procesów biologicznych i *vice versa* kształtowanie struktury oraz przebieg procesów biologicznych mogą być zastosowane do regulacji procesów hydrologicznych, szczególnie odnośnie jakości wody. Obydwa rodzaje regulacji powinny być zharmonizowane z istniejącą infrastrukturą hydrotechniczną w skali dorzecza.

W jaki sposób od hipotez przejść do sformułowania zasad stanowiących ramy dla dalszych interdyscyplinarnych badań? Do czasu rozpoczęcia wdrażania Ramowej Dyrektywy Wodnej Unii Europejskiej gospodarka wodna zorientowana była na eliminację zagrożeń powodowanych przez powodzie, susze oraz tzw. punktowe źródła zanieczyszczeń, co wiązało się z ogniskowaniem uwagi na ilościowych aspektach, do rozwiązywania których wystarczająca była klasyczna hydrologia oparta na mechanistycznej wizji świata, wywodzącej się z filozofii LaMetrie.

W dokumentach agend ONZ, takich jak UNESCO, UNEP, a także Komisji Europejskiej przyjęto, że jakość wody jest kluczowym czynnikiem dla zaspokojenia potrzeb ludzkości i osiągnięcia zrównoważonego rozwoju oraz że zależy ona od stanu ekosystemów. Znalazło to odzwierciedlenie w strategicznych dokumentach jako sformułowanie „ecosystem approach”.



Rysunek 1. Dwa kluczowe pola ekohydrologii: 1 – regulacja procesów hydrologicznych i biologicznych w dolinach rzecznych, zbiornikach zaporowych pod kątem poprawy jakości wody oraz restytucji bioróżnorodności [30 zmienione] oraz 2 – kształtowanie różnorodnego krajobrazu rolniczego dla odtwarzania prawidłowego krążenia wody i pierwiastków biogenych w skali zlewni [np. 2, 18, 11]

Podstawowe pytanie, od którego należałoby rozpocząć analizę interakcji pomiędzy dynamiką zasobów wody, a strukturą i dynamiką biocenoz brzmi: jak wpływa na strukturę biocenoz destabilizacja cyklu hydrologicznego, będąca rezultatem urbanizacji, wycinania lasów, niewłaściwej melioracji, regulacji rzek, a także postępujących zmian klimatu? Skoro czynniki abiotyczne są nadrzędne w stosunku do biologicznych, to cykl krążenia wody, a także związana z nim funkcjonalnie struktura przestrzenna biocenoz w dorzeczu i będące jej rezultatem procesy biologiczne i ich antropogeniczne zniekształcenia powinny być punktem wyjścia do systemowego rozwiązywania istniejących problemów (rys. 1). Stąd pierwsza zasada hydrologiczna brzmi: **Dorzecze jest układem odniesienia dla zintegrowanej analizy ilościowej procesów hydrologicznych oraz biologicznych.**

Druga zasada nawiązuje nie tylko do wizji rozwoju nauki w XXI wieku, sformułowanej przez ICSU, według której nauka powinna integrować różne dyscypliny, a także, w większym niż dotychczas stopniu, powinna brać udziału w rozwiązywaniu problemów.

Wspomniane już wyniki badań prowadzonych w latach osiemdziesiątych na Zbiorniku Sulejowskim wskazywały, że poprzez regulowanie interakcji biologicznych procesami hydrologicznymi można zwiększać odporność ekosystemów na negatywne oddziaływania człowieka. Stąd druga zasada stwierdza, że „**poznanie interakcji między hydrologią i ekologią w skali dorzecza powinno być wykorzystane do zwiększania odporności ekosystemów na działalność człowieka.**”

Trzecia zasada określa sposób, w jaki należy osiągnąć cel ekohydrologii zdefiniowany w pierwszej i drugiej zasadzie, odnosząc problemy do fundamentalnego założenia ekohydrologii, jakim jest dwukierunkowa regulacja procesów: hydrologicznych przez biologiczne oraz biologicznych przez hydrologiczne. Regulując procesy biologiczne poprzez kontrole hydrologicznych, np. zmiany poziomu wody są narzędziem do kontroli rozmnażania ryb planktonożernych, których liczebność utrzymana na niskim poziomie umożliwia intensywną biofiltrację glonów przez duże zagęszczenie skorupiaków planktonowych *Daphnia*, przez co nie dopuszcza do powstania zakwitów. Opisany mechanizm jest na tyle trwały, że nawet po 20 latach pomimo starzenia ekologicznego zbiornika (kumulacja zanieczyszczeń nanoszonych przez rzekę), nadal działa skutecznie. Jedynym czynnikiem mogącym ograniczyć jego pozytywne oddziaływanie na ekosystem jest intensywna fala powodziowa, która może nawet w ciągu kilku dni „wynieść” ze zbiornika całą finezyjnie ukształtowaną strukturę piramidy troficznej, w której filtratory skutecznie kontrolują zagęszczenie fitoplanktonu.

O ile opisana metoda ogranicza symptomy eutrofizacji, to inną metodą ograniczającą jej przyczyny, jest kształtowanie struktury roślinności w dolinie zalewowej rzeki, pod kątem zwiększenia sedymentacji oraz retencji fosforu w biomacie roślin. Rozwiązanie takie jest w trakcie wdrażania we fragmencie doliny Pilicy powyżej Zbiornika Sulejowskiego, gdzie z powierzchni 24 ha rocznie z biomasą roślin w postaci siana zredukowano pulę fosforu o ok. 150 kg. Natomiast po wprowadzeniu wybranych gatunków wierzby na obszary, których eksploatacja była ograniczona ze względu na wysoki poziom wód gruntowych i częste zalewanie, można zwiększyć ilość usuwanego fosforu do ponad 350 kg. Warto podkreślić że 1 kg fosforu tworzy w zbiorniku około 2 ton glonów (<http://www.biol.uni.lodz.pl/demosite/pilica/>).

Z powyższych przykładów wynika, że ekohydrologia obejmuje dwa elementy. Pierwszym są ekosystemy wodne – rzeka, dolina, strefy ekotonowe, zbiornik zaporowy [28], obszary ujściowe [27], drugim – dynamika wody w krajobrazie zlewni [2, 18, 19].

W krajobrazie rolniczym monokultury gatunków roślin uprawnych mniej efektywnie absorbują substancje biogenne (P, N) i zanieczyszczenia, przez co w mniejszym stopniu ograniczają ich spływ do najniższych punktów krajobrazu, w których usytuowane są ekosystemy wodne. Różnorodne zespoły roślin dzięki konkurencji o biogeny skuteczniej obniżają koncentracje fosforu i azotu w wodach gruntowych [21]. W konsekwencji zmniejszają ładunki przeżyźniające wody śródlądowe i przybrzeżne mórz, ograniczając odpływ substancji biogennych z ekosystemów lądowych. Stąd konieczne jest nie tylko tworzenie warunków do retencjonowania wody w krajobrazie rolniczym [8, 10, 13], ale także kształtowanie struktury przestrzennej pól uprawnych, użytków zielonych oraz płatów naturalnej roślinności, które stabilizują zasoby wody w zlewniach [11], szczególnie w okresie narastającej niestabilności klimatu. Działania takie przyczynią się nie tylko do ograniczenia odpływu biogenów ze

zlewni rolniczej, ale również do utrzymania charakteru zbiorowisk roślinnych charakterystycznych dla danego obszaru.

Dodatkowymi instrumentami kontroli procesów hydrologicznych i biologicznych, które wymagają intensywnych badań są systemy melioracyjne, które obecnie często odwadniając nadmiernie obszary dolin rzecznych powodują zahamowanie produkcji traw, murszenie torfów i uwalnianie pierwiastków biogennych do rzek i Bałtyku. Odpowiednie modyfikacje tych systemów powinny stabilizować warunki hydrologiczne tak, aby nadmiar wody był odprowadzany, natomiast wody gruntowe utrzymywane na poziomie zapobiegającym murszeniu torfów [10], a także pozwalającym na optymalizację produkcji biomasy traw i wierzby energetycznej. Zróżnicowana przestrzennie struktura roślinności dolin rzecznych eksploatowana sekwencyjnie (różne stadia wzrostu) wpływałaby pozytywnie na restytucje bioróżnorodności.

Omówione powyżej przykładowe rozwiązania powinny być organizowane w systemy w skali dorzecza dla osiągnięcia synergistycznych oddziaływań między poszczególnymi działaniami. Ponadto systemy lub podsystemy powinny być komplementarne w stosunku do warunków socjoekonomicznych regionu [30, 32].

Przykładem takiego podsystemu w dolinie Pilicy jest Przedbórz – 8 tysięczne miasto, w którym nieefektywną oczyszczalnię ścieków zintegrowano z systemem biofiltrującym wykorzystującym gatunki wierzb o różnej tolerancji wysokiego poziomu wód gruntowych. W konsekwencji nadmiar fosforu pochodzący z niedoczyszczonych ścieków i przeżyźniająca Pilicę i Zbiornik Sulejowski przekształcony zostaje w biomasę i bioenergię. Ta z kolei może służyć do ogrzewania budynków publicznych ograniczając emisję dwutlenku węgla do atmosfery, ale również może być wykorzystana do przetwarzania odpadowych plastików na analog ropy naftowej – parafiny. W ten sposób nie tylko poprawiony zostaje stan zasobów wodnych środowiska, tworząc warunki do rozwoju rekreacji, ale przez integrację z procesami socjoekonomicznymi i gospodarką odpadową tworzony jest system ochrony środowiska, generujący nie tylko zysk ekonomiczny, ale również miejsca pracy.

Konkretne rozwiązania w gospodarce zasobami środowiska oraz wodą, dla których punktem wyjścia jest koncepcja ekohydrologii, są obecnie nie tylko przedmiotem publikacji naukowych [1, 3, 4, 5, 6, 7, 22, 23, 24, 25], ale także w wielu krajach znajdują się w fazie zaawansowanego opracowania oraz realizacji w ramach Międzynarodowego Programu Hydrologicznego UNESCO m.in. w Argentynie, Brazylii; Francji, Indonezji, Niemczech, Polsce, Portugalii, Tanzanii i wielu innych. W Afryce Centralnej zasoby wody transgranicznej rzeki Mara płynącej przez Kenię i Tanzanię decydują o produktywności rezerwatu Serengeti. W Kenii powstał projekt wykorzystania znacznej części wody płynącej rzeką do nawodnień pastwisk i pól. Jednak według badań prowadzonych przez Gereta i in. [4] liczebność unikalnych populacji migrujących ssaków kopytnych jest ściśle uzależniona od produkcji roślinnej, a ta z kolei od ilości wody zasilającej obszar Serengeti. Stąd pobór znacznych ilości wody z rzeki Mara mógłby ograniczyć produkcję roślinną do tego stopnia, że w latach

suchych nastąpiłaby nawet 50% redukcja liczebności migrujących populacji zwierząt. Model matematyczny opracowany przez Wolanskiego [26] umożliwia optymalizację procesu uwzględniając potrzebę rozwoju gospodarki pasterskiej w Kenii i eliminując zagrożenia dla zasobów przyrodniczych unikalnego obszaru Afryki, jakim jest Serengeti.

Ze względu na kompleksowość interakcji, zróżnicowanie skal przestrzennych i czasowych oddziałujących na siebie procesów, we wszystkich omówionych przykładach niezbędnym narzędziem do testowania interdyscyplinarnych hipotez oraz wdrażania powyższego podejścia systemowego do praktyki jest modelowanie matematyczne.

Podsumowanie

Skoro przyszło nam żyć w okresie Antropocenu, w którym człowiek i jego działania stały się głównym czynnikiem kształtującym środowisko przyrodnicze Ziemi, konieczny jest przełom w pojmowaniu ochrony środowiska. Świadome, oparte na interdyscyplinarnej wiedzy, wykorzystanie własności ekosystemów, jako narzędzi gospodarowania zasobami przyrodniczymi biogeosfery w celu zwiększania pojemności środowiska, staje się koniecznością. Sterowanie układami przyrodniczymi w warunkach wciąż wzrastającej populacji w skali globu, a przede wszystkim zaspokojenia wzrastających aspiracji jest warunkiem osiągnięcia zrównoważonego rozwoju.

Dopiero w ostatniej dekadzie ekologia osiągnęła poziom zdolności wyjaśniania zjawisk umożliwiający jej integrację z hydrologią. Kształtowanie systemów ochrony środowiska, które nie tylko poprawiają stan zasobów przyrodniczych, ale tworzą pozytywne socjoekonomiczne sprzężenia zwrotne, jest możliwe, gdy opiera się na integracji szerokiego zakresu nauk takich, jak nauki o ziemi, nauki biologiczne, matematyczne (modele procesów), aż po socjoekonomię. Poprawa stanu środowiska w skali lokalnej, regionalnej i globalnej powinna być oparta na integracji nauk. Punktem wyjścia dla takiej integracji powinna być identyfikacja i kwantyfikacja kluczowych procesów, określenie hierarchii czynników regulujących oraz testowanie modeli opisanych procesów przez etapowe adaptacyjne wdrażanie od skali eksperymentalnej (badania pilotowe) do makroskali.

Ramowa Dyrektywa Wodna Unii Europejskiej zobowiązuje Polskę do osiągnięcia „dobrego stanu ekologicznego wód” do 2015 roku. Stały postęp w redukcji zanieczyszczeń ze źródeł punktowych, dzięki postępującej budowie oczyszczalni ścieków, powoduje, że zanieczyszczenia obszarowe z terenów rolnych stają się coraz bardziej istotnym czynnikiem ograniczającym postęp. Ze względu na kompleksowość procesów zachodzących w skali krajobrazu modyfikowanego przez różnorodne czynniki antropogeniczne tylko rozwijanie podejścia systemowego, którego przykładem jest ekohydrologia, jest warunkiem osiągnięcia skuteczności i efektywności ekonomicznej.

-
- [1] Agostinho A.A., Thomaz S.M., Gomes L.C. 2004. Threats for biodiversity in the floodplain of the Upper Paraná River: effects of hydrological regulation by dams. *Ecohydrology & Hydrobiology* 4: 267–280.
- [2] Baird A.J., Wilby R.L. (red.) 1999. Eco-hydrology. Plants and Water in Terrestrial and Aquatic Environments. Routledge, London, UK.
- [3] Chicharo M.A., Chicharo L.M., Galvao H., Barbosa A. Marques M.H., Andrade J.P., Esteves E., Miguel C., Gouveia I. 2001. Status of the Guadiana Estuary (south Portugal) during 1996–1998: An ecohydrological approach. *Aquatic Ecosystem Health and Management* 4: 73–89
- [4] Gereta E., Wolanski E., Borner M., Serneels S. 2002. Use of an ecohydrological model to predict the impact on the Serengeti ecosystem of deforestation, irrigation and the proposed Amala weir water diversion project in Kenya. *Ecohydrology & Hydrobiology* 2(1–4): 127–134.
- [5] Harper D., Mavuti K. 2004. Lake Naivasha, Kenya: Ecohydrology to guide the management of a tropical protected area. *Ecohydrology & Hydrobiology* 4: 287–305
- [6] Hehanussa P. E. 2002. Ecohydrology, a low cost-high technology opportunity for Asian countries. Proceedings of the Final Conference of the First Phase of the IHP-V Project 2.3/2.4 on Ecohydrology „The Application of Ecohydrology to Water Resources Development & Management” Venice, Italy, 16–18 September 2001, *Ecohydrology & Hydrobiology* 2(1–4): 89–92.
- [7] Hillbricht-Ilkowska A. 2002. Nutrient input and retention in shallow lakes affected by annual variation in weather conditions: studies from a river-lake cascade in the Masurian Lakeland (Poland). Proceedings of the Final Conference of the First Phase of the IHP-V Project 2.3/2.4 on Ecohydrology „The Application of Ecohydrology to Water Resources Development & Management” Venice, Italy, 16–18 September 2001, *Ecohydrology Hydrobiology* 2(1–4): 165–174.
- [8] Jorgensen S.E., Mioduszewski W., Zdanowicz A., Thornton J.A., Bocian J. 2002. Application of Phytotechnologies and freshwater ecosystem management. 69–111. W: Zalewski (red.) Guidelines for the Integrated Management of the Watershed- Phytotechnology and Ecohydrology. UNEP- IETC, Freshwater Management Series 5.
- [9] Kabata-Pendias A., Pendias H. 1999. Biogeochemia pierwiastków śladowych. Wyd. Naukowe PWN, Warszawa.
- [10] Kaca E., Łojewski S., Chyłek E. 2001. Działalność badawczo-rozwojowa i wdrożeniowa w zakresie kształtowania przestrzennego obszarów wiejskich – sformułowanie problemu i kierunki badań. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie* 1(1): 11–31.
- [11] Kędziora A., Olejnik J., Kapuściński J. 1989. Impact of landscape structure on heat and water balance. *Ecology International Buletin USA* 17: 1–17.
- [12] Meybeck M. 2003. Global analysis of river systems: from Earth system controls to Anthropocene syndromes. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London [B]* 358(1440): 1935–1955.
- [13] Mioduszewski W. Ochrona i kształtowanie zasobów wodnych w krajobrazie rolniczym. Wydawnictwo IMUZ, Falenty: 1–126
- [14] Mitsch W.J., Gosselink J.G. 1993. Wetlands. 2nd ed. New York. Van Nostrand Reinhold.

- [15] Mitsch W.J. 1993. Ecological Engineering – a co-operative role with planetary life-support system. *Environ. Sci. Technol.* 27: 438–445.
- [16] Naiman R.J., Decamps H., Fournier F. 1989. The role of land/inland water ecotones in landscape management and restoration a proposal for collaborative research. MAB Digest 4, UNESCO, Paris.
- [17] Pawłowski A. (red.) 2004. Filozoficzne, społeczne i ekonomiczne uwarunkowania zrównoważonego rozwoju. Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN. 26, Lublin: 262 ss.
- [18] Rodriguez-Iturbe I. 2000. Ecohydrology: a hydrological perspective of climate-soil-vegetation dynamics. *Water Resour.* 36: 3–9.
- [19] Ryszkowski L., Kędziora A. 1987. Impact of agricultural landscape structure on energy flow and matter cycling. *Landscape Ecology* 1(2): 85–94.
- [20] Schiemer F., Zalewski M., Thorpe J. (red). 1995. The Importance of Aquatic-Terrestrial Ecotones for Freshwater Fish. Developments in Hydrobiology, *Hydrobiologia*. 105. Kluwer Academic Publishers.
- [21] Tilman D. 1998. Mechanisms of plant competition. *Plant Ecology* – 2nd edition, M.J. Crawley red., Blackwell Scientific Publications, Oxford: 239–261 ss.
- [22] Timchenko V. 2004. Application of the Ecohydrology Theory in Ukraine. *Ecohydrology & Hydrobiology* 4: 327–336.
- [23] Trepel M., Kluge W. 2002. Ecohydrological characterisation of a degenerated valley peatland in Northern Germany for use in restoration. *J. Nat. Conserv.* 10: 155–169.
- [24] Querner E., Ślesicka A., Mioduszeński W. 2004. Ecohydrological system analysis of the Lower Biebrza Basin. *Ecohydrology & Hydrobiology* 4: 307–313.
- [25] Wagner-Lotkowska I., Bocian J., Pypaert P., Santiago-Fandino V., Zalewski M. 2004. Environment and economy. Dual benefit of ecohydrology and phytotechnology in water resources management: Pilica River Demonstration Project under the auspices of UNESCO and UNEP. *Ecohydrology & Hydrobiology* 4: 345.
- [26] Wolanski E. 2004. The Serengeti: an example of successful development through conservation made possible by North-South Partnership. *Mededelingen der Zittingen Bulletin des Seances* 50(3): 261–269.
- [27] Wolanski E., Boorman L.A., Chicharo L., Langlois-Saliou E., Lara R., Plater A.J., Uncles R.J., Zalewski M. 2005. Ecohydrology as a new tool for sustainable management of estuaries and coastal waters. *Wetlands Ecology and Management* 12(4): 235–276
- [28] Zalewski M. 2000. Ecohydrology. The scientific background to use ecosystem properties as management tools toward sustainability of water resources. Guest Editorial. *Ecological Engineering* 16: 1–8.
- [29] Zalewski M. 2002. Ecohydrology – the use of ecological and hydrological processes for sustainable management of water resources. *Hydrological Sciences Journal* 47: 825–834.
- [30] Zalewski M. (red.) 2002. Guidelines for the Integrated Management of the Watershed-Phytotechnology and Ecohydrology. UNEP-IETC, Freshwater Management Series 5: 188 ss.
- [31] Zalewski M., Naiman R.J. 1985. The regulation of riverine fish communities by a continuum of abioti-biotic factors. W: Alabaster J.S. (red.) *Habitat Modification and Freshwater Fisheries*. 3–9. FAO/UN/Butterworths Scientific, London.
- [32] Zalewski M., Wagner-Lotkowska I. (red). Integrated watershed management – ecohydrology and phytotechnology – Manual. UNESCO IHP, UNEP IETC: 246 ss.

- [33] Zalewski M., Robarts R. 2003. Ecohydrology – a new paradigm for integrated water resources management. *SIL News* 40, Sep. 2003: 1–5.
- [34] Zalewski M., Janauer G.A., Jolankai G. 1997. Ecohydrology. A new paradigm for the sustainable use of aquatic resources. UNESCO IHP Technical Document in Hydrology 7. IHP – V Projects 2.3/2.4, UNESCO Paris: 58 ss.
- [35] Zalewski M., Bis B., Łapińska M., Frankiewicz P., Puchalski W. 1998. The importance of the riparian ecotone and river hydraulics for sustainable basin-scale restoration scenarios. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 8: 287–307.

Ecohydrology – system approach for sustainable use of water and natural resources in agricultural landscape

Key words: ecohydrology, agricultural landscape, river basin, process regulation

Summary

One of the major factors in progressive degradation of water resources in the global scale has been the conversion of semi-natural landscape into intensively used agricultural landscape. As far as the freshwater ecosystems appear in depressions of the landscape, all anthropogenic processes are reflected in water resources quality and biodiversity of freshwater ecosystems. Due to high complexity of various anthropogenic factors which appear in anthropogenic landscape, to reverse the degradation of freshwater resources a system approach – Ecohydrology – has been proposed. This new integrative science focused on the problem solving has been based on three hypotheses:

1. (H1) Biota structure and dynamics may be regulated by biological processes;
2. (H2) By shaping biota structure and by regulating biota dynamics it is possible to improve the water quality to moderate hydrological variability; and
3. (H3) Two types of regulatory actions (H1, H2) may be harmonized with existing hydrotechnical solutions.

This scientific concept has been recently developed and implemented in the framework of the UNESCO International Hydrological Programme and UNEP-IETC in Europe, Africa, South America and Asia.