

Wojciech Puchalski

Katedra Biologii Środowiskowej, Politechnika Koszalińska

CHARAKTERYSTYKA I ZRÓŻNICOWANIE FUNKCJONALNE STARORZECZY W DOLINACH DUŻYCH RZEK NIZINNYCH

THE CHARACTERISTICS AND FUNCTIONAL DIVERSITY OF OXBOW LAKES IN LARGE LOWLAND RIVER FLOODPLAINS

Słowa kluczowe: starorzecza, doliny rzeczne, osady denne, pierwiastki biogenne, roślinność wodna, wezbrania rzek, pułapki biogeochemiczne.

Streszczenie: Starorzecza stanowią istotny element krajobrazu dolin rzek nizinnych. Na przykładzie starorzeczy doliny dolnej Wisły omówiono charakterystykę i wybrane aspekty funkcji biogeochemicznych ich ekosystemów, związanych z metabolizmem osadów dennych i funkcjami roślinności wodnej. Czynnikiem różnicującym starorzecza jest ich podatność na perturbacje związane z wezbraniem rzek oraz struktura (różnorodność) roślinności. Zróżnicowanie strukturalne przekłada się na zróżnicowanie zdolności retencyjnych w stosunku do ładunków związków biogennych, gdzie najkorzystniejsze cechy posiadają osady denne starorzeczy zalewanych wodami wezbraniowymi. Poszczególne gatunki roślin uzależnione są od specyficznych warunków środowiska, zmieniając często w przeciwstawnym sposobie parametry funkcjonowania ekosystemów. W zagospodarowaniu dolin rzecznych należy dążyć do wykorzystania starorzeczy jako sprawnej pułapki biogeochemicznej oraz stabilizującego i łączącego komponentu krajobrazu doliny rzeki, pod warunkiem zachowania dynamiki wezbrań.

Key words: oxbow lakes, riverine floodplains, bottom sediments, nutrients, aquatic vegetation, floods, biogeochemical traps

Summary: Oxbow lakes constitute an important element of the landscape of lowland river floodplains. The structural characteristics and chosen aspects of biogeochemical functions are described for oxbow ecosystems in the lower Vistula floodplain, considering metabolic properties of bottom sediments and functions of aquatic vegetation. Typology of oxbow lakes, based mainly on their susceptibility to flood disturbances and on vegetation structure and diversity is proposed. Patterns of structural diversity imply the variability of retentive properties for external nutrient loads, where sediments of periodically flooded lakes reveal the most desirable properties. Particular plant species, constrained by specific environmental variables, transform functions of their ecosystems in contrasting ways. Oxbow lakes may perform a role of effective biogeochemical traps as well as may increase the stability and connectivity functions of riverine landscapes. Such optimising of floodplain management demands at least partial restoration of flood dynamics for maintaining non-degraded functions of oxbow

lakes. Functional assessment of vegetation and sediment analyses may help in establishing the most desirable restoration measures.

WSTĘP

Starorzecza stanowią ważny element struktury krajobrazu obszarów zalewowych dolin rzek nizinnych. Są wytworem dynamiki koryta rzecznego, pozostałością dawnych meandrów lub roztokowych ramion koryta, które pozostają okresowo, częściowo lub całkowicie odcięte od głównego koryta rzeki. W bogatej literaturze dotyczącej dolin rzecznych podkreśla się ich znaczenie w kształtowaniu różnorodności krajobrazowej i biocenotycznej. Stanowią siedlisko wielu rzadkich i chronionych gatunków roślin, spośród których występowanie salwinii pływającej (*Salvinia natans*) i kotewki (*Trapa natans*) na terenie Polski jest w większości ograniczone do tego typu zbiorników wodnych. Dla wielu gatunków ryb rzecznych stanowią strefy zimowania, tarła i rozwoju narybku [Jungwirth i in., 2000], podobnie jak siedlisko życia i migracji ptaków wodnych. Program Natura 2000 przewiduje objęcie starorzeczy ochroną jako siedlisk przyrodniczych o znaczeniu europejskim.

Ward i in. [1998] podkreślają, że zróżnicowanie środowiskowe ekosystemów wodnych doliny rzecznej wynika z połączenia dwóch charakterystyk:

1. nieciągłości strukturalnej, wynikającej ze zróżnicowania geomorfologicznych procesów kształtowania struktury doliny, oraz
2. łączności, realizowanej poprzez przepływ i wymianę wód powierzchniowych i podziemnych (hyporeicznych) w skali doliny w okresach niżówkowych i zalewów wód rzecznych w okresach wezbrań.

Znaczenie wezbrań nie ogranicza się tylko do wymiany wód powierzchniowych, określanej jako pulsy zalewowe [*flood pulses*, Tockner i in., 2000]; równie ważne są pulsy przepływowe (*flow pulses*), polegające na zwiększonej intensywności przepływu wód podziemnych w okresach wezbrań, co nie musi być związane z powierzchniowym połączeniem starorzeczy z korytem rzeki.

Często postulowana jest retencyjna rola starorzeczy w odniesieniu do substancji (w tym głównie pierwiastków biogennych) przenoszonych zarówno wzdłuż doliny rzecznej, jak też dopływających poprzez wody podziemne i spływy powierzchniowe z obszarów wysoczyznowych, a także położonych w samej dolinie, niekiedy również intensywnie użytkowanych rolniczo. Warunki troficzne, kształtowane przez te ładunki zewnętrzne, decydują o rozwoju specyficznych biocenoz wodnych, ważnych z przyrodniczego i gospodarczego punktu widzenia. Z drugiej strony, poprzez swe retencyjne właściwości starorzecza mogą pełnić istotną rolę w ochronie jakości wód rzeki. Choć zróżnicowanie chemiczne wód starorzeczy było niekiedy przedmiotem badań, niewiele jest danych opisujących procesy kształtowania składu chemicznego i jakości wód.

W polskiej literaturze dobrze rozpoznane zostało znaczenie biogeochemiczne przekształconych torfowisk [Kruk, 2000] oraz kaskady zbiorników zaporowych na małej rzece [Gołdyn, 2000]. Biogeochemiczne funkcje innych ekosystemów wodnych dolin rzecznych nie doczekały się jeszcze kompleksowego opracowania. Próby

określenia znaczenia procesów biogeochemicznych dla roślinności wodnej, jak również – odwrotnie – modyfikacje tych procesów zachodzące przy udziale roślinności w starorzeczach są celem niniejszej pracy.

Zabiegi gospodarki przestrzennej i regulacji rzek wpłynęły w poważnym stopniu na funkcjonowanie starorzeczy. Wiele z nich zanikło, utraciło połączenie z wyprostowanym korytem, zostało odciętych wałami przeciwpowodziowymi od zalewów wezbraniowych, zahamowane zostały procesy powstawania i odtwarzania starorzeczy. Zlewniowe ładunki materii stanowią zagrożenie jakości wody. Z drugiej strony obecnie zauważa się tendencję do przywracania naturalności dolin rzecznych i ich rekultywacji, połączonej często z próbami odtwarzania starorzeczy i restytucji populacji roślin w przeszłości w nich występujących. W zmienionych warunkach hydrologicznych i troficznych nie zawsze te próby zostają uwieńczone sukcesem. Rozpoznanie procesów ekologicznych, ich uwarunkowań i możliwości kierowania nimi może stać się podstawą do skutecznej optymalizacji kształtowania krajobrazu dolin dużych rzek nizinnych, w których procesy biotyczne pełnią znacznie większą rolę w odniesieniu do procesów abiotycznych (hydrologicznych).

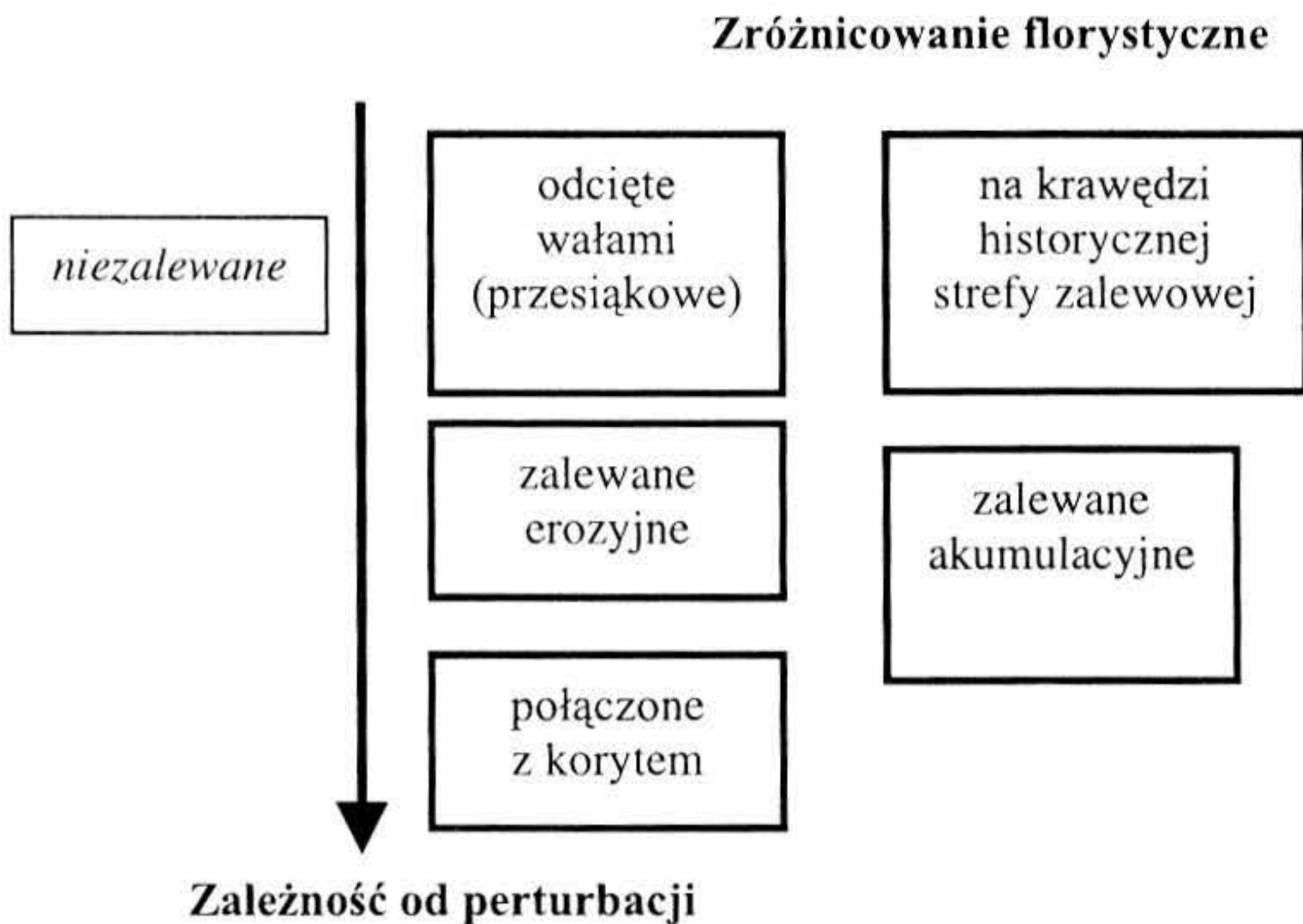
TEREN I METODY BADAŃ

Badaniami objęto prawą stronę odcinka doliny dolnej Wisły między Bydgoszczą a Chełmnem. Na odcinku tym znajdują się liczne starorzecza, tworzące często połączone ze sobą okresowo ciągi odpowiadające dawnemu układowi roztokowych koryt rzeki. Niektóre z nich są zbiornikami sztucznymi, powstałymi w wyniku dawnych prac hydrotechnicznych [Gorączko, 2001]. Istniejące obecnie starorzecza są różnicowane pod względem ich morfologii, sytuacji hydrogeologicznej (przepuszczalności utworów doliny warunkującej kontakt z wodami hyporeicznymi), otoczenia, podatności na zalewanie wodami wezbraniowymi (część starorzeczy odcięta od wezbrań wałami przeciwpowodziowymi), roślinności, osadów dennych i charakterystyki chemicznej wody. Kilkanaście z nich zostało wybranych jako obiekty badań. Dla każdego z nich określono wyżej wymienione aspekty różnicowania, a także kilkakrotnie w ciągu roku przeprowadzono pomiary metabolizmu osadów dennych i zakumulowanej w nich grubocząsteczkowej martwej materii organicznej. Badania te, przeprowadzone na próbach osadu w laboratorium przy zachowaniu warunków fizycznych zbliżonych do naturalnych, obejmowały tempo respiracji oraz pochłaniania lub uwalniania jonów fosforanowych, amonowych, azotanowych i azotynowych w różnych stężeniach wyjściowych tych jonów w roztworze. Wyniki przeliczano na jednostkę masy osadu w jednostce czasu (doba). Dla poszczególnych starorzeczy uwzględniono różnicowanie osadów w zależności od różnicowania płatów zbiorowisk roślinnych.

ZRÓŻNICOWANIE MORFOLOGICZNO-STRUKTURALNE STARORZECZY

Podstawowymi czynnikami różnicującymi fizjonomię starorzeczy okazało się różnicowanie gatunkowe wodnej roślinności wynurzanej i zanurzonej oraz

częstotliwość zalewania przez wody wezbraniowe. Wyróżniono kilka typów starorzeczy:



Na krawędzi doliny istnieją stare, nieprzekształcone starorzecza, często w otoczeniu leśnym lub z torfowiskowymi okrajkami, zasilane przez źródiska lub wysięki podskarpowe. Charakteryzują się one szczególnym bogactwem florystycznym. Różnorodność gatunkowa roślinności okazała się znacznie mniejsza (niekiedy tylko 2-3 gatunki roślin wynurzonych z dominacją jednego z nich) w starorzeczach, które zostały odcięte wałami przeciwpowodziowymi od zalewów przez wody wezbraniowe. Wśród starorzeczy międzywała wyróżniono: erozyjne – wąskie rynny ze stromymi brzegami, charakteryzujące się szybkim przepływem wód wezbraniowych i gruboziarnistymi osadami mineralnymi, umożliwiającymi wymianę wód powierzchniowych i podziemnych, akumulacyjne – rozległe, płytkie, często ze złożoną linią brzegową, wypełniające się osadami ilastymi i organicznymi oraz połączone z korytem, o zmieniającym się często wraz ze zmianami stanów wód w rzece zwierciadle wody, w których następuje sedymentacja zawiesiny niesionej przez nurt rzeki.

Metabolizm osadów dennych

Na powyżej opisane zróżnicowanie starorzeczy, decydujące o charakterze odkładanych w nich osadów dennych, w zróżnicowaniu ich metabolizmu nakładają się warunki lokalne związane z głębokością, strefami wymiany z wodami podziemnymi i płatami roślinności. Większość osadów ma charakter heterotroficzny, konsumpcja tlenu latem zawiera się w przedziale od 5 do 35 mgO₂ g⁻¹ d⁻¹. Najniższe wartości są charakterystyczne dla starych, torfowiskowych zbiorników krawędziowych, najwyższe stwierdzono w również niezalewanych starorzeczach odciętych wałami

przeciwpowodziowymi. Wysoka konsumpcja tlenu prowadzi następnie po jego zużyciu do uwalniania zredukowanych form żelaza, a niekiedy również siarkowodoru. W strefie międzywał obserwuje się wartości pośrednie, nieco niższe w starorzeczach erozyjnych mogą być związane z produkcją tlenu przez glony denne.

Osady starorzeczy torfowiskowych charakteryzują się również minimalnymi wartościami tempa pochłaniania jonów fosforanowych i amonowych, niewiele wzrastającymi nawet w znacznie podwyższonych ich stężeniach w wodzie. Wskazuje to na niskie tempo obiegu pierwiastków biogennych w tych ekosystemach i ich niskie zdolności retencyjne wobec ładunków allochtonicznych. Osady starorzeczy międzywał wykazują znaczne choć zróżnicowane właściwości retencjonowania azotanów i fosforanów, wielokrotnie wzrastające (do ponad $1,5 \text{ mgP g}^{-1} \text{ d}^{-1}$ przy stężeniu $0,5 \text{ mgP l}^{-1}$) w warunkach wysokiego stężenia tych jonów. Przy braku azotu amonowego w wodzie jest on uwalniany z osadów, jego ładunki zewnętrzne są intensywnie pochłaniane.

Z punktu widzenia jakości wody najbardziej niekorzystne właściwości wykazują organiczne osady ze starorzeczy poza wałami, nieodnawiane przez wezbrania. W normalnych warunkach następuje w nich uwalnianie do roztworu wszystkich badanych jonów. Wprawdzie wysokie stężenia nutrientów zmieniają kierunek metabolizmu na ich pochłanianie przez osady, to jednak w warunkach dopływu azotanów następuje ich częściowa redukcja połączona ze szczególnie wysokimi wartościami produkcji toksycznych azotynów.

W tych starorzeczach wzrost aktywności mikrobiologicznej osadów (określany na podstawie ich metabolizmu tlenowego) nie powoduje istotnego wzrostu zdolności absorpcji fosforanów z ładunków zewnętrznych. Odwrotnie, osady ze starorzeczy erozyjnych okazują się najbardziej sprawną biologiczną pułapką dla fosforanów z ładunków zewnętrznych dostających się do starorzecza.

Roślinność wodna starorzeczy a martwa materia organiczna

Stabilne, jednorodne warunki środowiska w odciętych wałami starorzeczach przesiąkowych i brak limitacji chemicznej poprzez konkurencyjne wykluczanie prowadzą do dominacji jednego z gatunków roślin wynurzonych; jest to zwykle kropidło wodne (*Oenanthe aquatica*) lub manna mielec (*Glyceria maxima*). Problemem środowiskowym jest tu bardzo wysokie tempo respiracji osadów, prowadzące do nadmiernego obniżania potencjału redox. Oba gatunki przyjmują odmienną strategię: dla występowania manny czynnikiem stabilizującym jest intensywna wymiana wód podziemnych, kropidło poprzez swe korzenie natlenia skolmatowane osady, ograniczając redukcję i przechodzenie do roztworu związków żelaza. W konsekwencji następuje zmiana terminu uwalniania rozpuszczonych związków mineralnych z dekompozycji martwej materii organicznej tych roślin. W przypadku manny wczesną wiosną następuje dodatkowe pochłanianie nutrientów (co zapobiega powstawaniu zakwitów fitoplanktonu), a ich uwalnianie następuje w czasie maksymalnego zapotrzebowania przez rośliny rozwijające się na wiosnę. Dekompozycja kropidła następuje już późnym latem, co prowadzi niekiedy do deficytów tlenowych i masowego rozwoju bakterioplanktonu w zbiorniku.

Wiosenna dekompozycja martwych szczątków roślin, zakumulowanych przez wody wezbraniowe w starorzeczach międzywala, okazuje się kluczowym czynnikiem umożliwiającym kiełkowanie zarodników i wzrost salwinii. Roślina ta nie występuje na niezalewanych obszarach doliny. W porównaniu z innymi konkurującymi gatunkami roślin wodnych charakteryzuje się niższym tempem pochłaniania związków biogenych z wody; których wewnętrzny ładunek z dekomponujących się szczątków roślin pozwala na możliwość ich pobierania z wody, a rozpuszczone substancje organiczne wspomagają rozwój bakterii aktywnych w transformacji azotu.

Implikacje praktyczne w ochronie i rekultywacji dolin rzecznych

Wysokie zdolności retencyjne osadów dennych starorzeczy (średnio kilkakrotnie wyższe od zalewanych gleb ekosystemów lądowych doliny) mogą być wykorzystane do ochrony wód rzeki przed dostającymi się do doliny zanieczyszczeniami ze źródeł obszarowych i rozproszonych. Warunkiem jest zachowanie integralności i ciągłości systemów starorzeczy i dopuszczanie ich okresowych perturbacji, pełniących rolę odnawiającą.

Starorzecza pozbawione kontaktu z wodami wezbraniowymi przez odcięcie ich wałami powodziowymi od współczesnej doliny rzecznej wykazują wszelkie cechy zdegradowanego ekosystemu: niska różnorodność biologiczna, zła jakość wody, brak lub ograniczone zdolności retencji zewnętrznych ładunków nutrientów. Najbardziej niekorzystna sytuacja występuje, gdy dodatkowo, przez akumulację nieprzepuszczalnych osadów, nastąpi również ograniczenie połączenia z wodami podziemnymi, pogarszającymi swą jakość przez obniżenie potencjału redox. Rozwiązaniem optymalizacji funkcji krajobrazowych może być przywrócenie przynajmniej okresowego przepłukiwania odciętych starorzeczy, co można uwzględnić szczególnie w projektach polderów przeciwpowodziowych w dolinach dużych rzek. Sieć cieków odprowadzających wodę powinna uwzględniać istniejące lub odtwarzane starorzecza, poprawiając w ten sposób funkcje ekologiczne i gospodarcze doliny rzecznej.

Biogeochemiczne rozpoznanie funkcji starorzeczy może być podstawą do optymalizacji ich funkcji i określenia potencjalnych zagrożeń. Roślinność może mieć tu znaczenie jako pułapka dla nieabsorbowanego w zadowalający sposób latem jonu amonowego. Ponadto występowanie poszczególnych gatunków okazuje się wskaźnikiem funkcji pełnionych przez ekosystem starorzecza. Poznanie funkcjonalnych cech dominujących gatunków roślin może pozwolić na ocenę ekologiczną całego systemu bez konieczności kosztownych i czasochłonnych badań biogeochemicznych. Taka ocena funkcjonalna ekosystemu pozwala również na wskazanie ekosystemów niskoenergetycznych, o niskim tempie metabolizmu i retencyjności, a równocześnie o wysokich walorach przyrodniczych i bioróżnorodności, dla których wzrost ładunków zewnętrznych nutrientów może okazać się szczególnie niebezpieczny. Pozwala to na uwzględnienie właściwych metod ich ochrony (zachowanie otaczających zbiorowisk leśnych lub łąkowych, ochrona zasobów i jakości wód podziemnych w zlewni), np. w ramach planów ochrony obszarów Natura 2000.

LITERATURA

- BORNETTE G., AMOROS C., LAMOUREUX N., 1998: Aquatic plant diversity in riverine wetlands: the role of connectivity. *Freshwater Biology* 39, 267-283.
- GOLDYŃ R., 2000: Zmiany biologicznych i fizyczno-chemicznych cech jakości wody rzecznej pod wpływem jej piętrzenia we wstępnych nizinnych zbiornikach zaporowych. Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań, ss. 185.
- GORĄCZKO M., 2001: The hydrography of oxbows in Fordon Valley in Bydgoszcz. *Limnological Review* 1, 109-116.
- JUNGWIRTH M., MUHAR S., SCHMUTZ S., 2000: Fundamentals of fish ecological integrity and their relation to the extended serial discontinuity concept. *Hydrobiologia* 422/423, 85-97.
- KRUK M., 2000: Biogeochemical functioning of hydrologically modified peatlands and its effect in eutrophication of freshwaters. *Pol. J. Ecol.* 48, 2, 103-161.
- TOCKNER K., MALARD F., WARD J.V., 2000: An extension of the flood pulse concept. *Hydrol. Process.* 14, 2861-2883.
- WARD J.V., BRETSCHKO G., BRUNKE M., DANIELOPOL D., GIBERT J., GONSER T., HILDREW A.G., 1998: The boundaries of river systems: the metazoan perspective. *Freshwater Biology* 40, 531-569.