

PIOTR KŁOSIŃSKI 

E-mail: klosinski.piotr@umk.pl

Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, Wydział Nauk Biologicznych i Weterynaryjnych,
Katedra Ekologii i Biogeografii, Lwowska 1, 87-100 Toruń

Nicolaus Copernicus University in Toruń, Faculty of Biological and Veterinary Sciences
Department of Ecology and Biogeography, Lwowska 1, 87-100, Toruń, Poland

Działania ochronne w zlewni jako metoda ochrony ekosystemów wodnych

Protective actions in the catchment area as a method of conserving aquatic ecosystems

DOI: <https://doi.org/10.12775/KOSMOS.2025.005>

Abstrakt

Działania ochronne w zlewni chronią ekosystemy wodne poprzez redukcję zewnętrznych ładunków zanieczyszczeń stymulujących proces eutrofizacji i wspierają wysiłki rekultywacyjne. Działania te mogą przyczynić się m.in. do polepszenia jakości wody, stworzenia odpowiednich warunków do życia dla hydrobiontów, wykorzystania wód do spożycia i rekreacji, ochrony zasobów wodnych w ujęciu ilościowym, poprawy walorów estetycznych ekosystemów wodnych. W pracy omówiono najważniejsze czynniki zlewniowe kształtujące funkcjonowanie ekosystemów wodnych, takie jak: nachylenie terenu, erozja, sposób zagospodarowania zlewni, fekalia zwierząt hodowlanych i warunki geologiczno-glebowe. Na podstawie literatury przedstawiono przyjazne środowisku sposoby kształtowania zlewni, takie jak: zabiegi uwzględniające stopień nachylenia terenu, ograniczanie erozji, właściwe praktyki rolnicze, wetlandy, mała retencja wodna i biotechnologie ekohydrologiczne. Praca podkreśla znaczenie zlewni we wspomaganiu rekultywacji zdegradowanych ekosystemów wodnych.

Słowa kluczowe: zlewnia, rekultywacja, ekosystemy wodne, eutrofizacja, ochrona wód

Abstract

Protective actions in the catchment area conserve aquatic ecosystems by reducing external pollutants loads stimulating the eutrophication process and support restoration efforts. These actions contribute to improving water quality, creating appropriate living conditions for hydrobionts, using water for consumption and recreation, protecting water resources quantitatively, and improving the aesthetic values of aquatic ecosystems. The paper discusses the most important catchment factors that shape the functioning of aquatic ecosystems, such as land slope, erosion, land use, farm animals faeces and geological and soil conditions. Based on the literature, are presented environmentally friendly methods of shaping catchment, such as treatments taking into account the degree of land slope, erosion reduction, appropriate agricultural practices, wetlands, small water retention and ecohydrological biotechnologies. The work highlights the importance of catchment in supporting the restoration of degraded aquatic ecosystems.

Keywords: catchment, restoration, aquatic ecosystems, eutrophication, water protection

WPROWADZENIE

Ze względu na kompleksowe podejście do ochrony i rekultywacji wód należy holistycznie traktować ekosystem wodny i jego zlewnię (Wiśniewski, 2000b; Zalewski, 2000). Przed przystąpieniem do zabiegów rekultywacyjnych w samym ekosystemie wodnym należy przeprowadzić rozpoznanie zlewni oraz odciąć punktowe źródła zanieczyszczeń (Jóźwiakowski, 2003). Z uwagi na istotne znaczenie procesu eutrofizacji na funkcjonowanie ekosystemu wodnego, głównym przedmiotem działań ochronnych w zlewni jest ochrona wód przed dopływem ładunków biogenów, głównie związków azotu i fosforu ze zlewni (Bajkiewicz-Grabowska, 2015). Eutrofizacja to wzrost trofii, czyli żyzności wód, głównie wzrost stężeń związków fosforu i azotu (Farley, 2012; Kajak, 2001), powszechnie określanych jako biogeny. Z reguły to proces o charakterze naturalnym przebiegający w powolnym tempie (Sedyaw i in., 2024). Został on jednak przyspieszony dziesiątki i setki razy w wyniku antropopresji – zrzutu ścieków komunalnych i przemysłowych, wycinki lasów, intensyfikacji rolnictwa, w tym nawożenia mineralnego (Kajak, 2001; Łopata, 2013, 2015). Eutrofizacja powoduje początkowo umiarkowany wzrost produkcji biologicznej. Jednakże po przekroczeniu pewnej krytycznej granicy następuje wiele negatywnych skutków takich jak: rozwój fitoplanktonu – pogorszenie warunków świetlnych, deficyty tlenowe, występowanie gazów dekompozycyjnych (siarkowodór, metan,

amoniak), wysokie tempo sedymentacji (wypływanie), pogorszenie parametrów fizyko-chemicznych wody, zmniejszenie różnorodności biologicznej, brak optymalnych warunków tarła ryb, pojawienie się toksycznych zakwitów sinic, zanik makrofitów czy wydzielanie fosforu z osadów dennych (Sedyaw i in., 2024; Sonarghare i in., 2020). Problem ten zasługuje na szczególną uwagę, zwłaszcza gdy wody powierzchniowe są źródłem wody pitnej. Ramowa Dyrektywa Wodna oraz Prawo Wodne podkreślają konieczność wzmożonej ochrony wód wykorzystywanych do celów komunalnych oraz ograniczenia eutrofizacji wód powierzchniowych (Durkowski i Pawlik-Dobrowolski, 2004).

Rekultywacja wód to przywracanie zdegradowanym ekosystemom wodnym przez działalność człowieka, cech zbliżonych do naturalnych lub sprzed zadziałania czynnika degradującego, w celu podniesienia ich walorów przyrodniczych, gospodarczych i rekreacyjnych (Clewell i Aronson, 2013; Siuda i Chróst, 2015). Degradacja jest niekorzystną odpowiedzią w funkcjonowaniu ekosystemu na skutek zaistniałego zanieczyszczenia pogarszającego jakość wód (Giziński i Falkowska, 2003; Wiśniewski, 2000a). Zanieczyszczenie to każde działanie, każda ingerencja w istniejący układ przyrodniczy, która zaburza jego równowagę (Giziński i Falkowska, 2003). Prawnie, zanieczyszczenie definiuje się jako emisję, która jest szkodliwa dla zdrowia ludzi lub stanu środowiska, powoduje szkodę w dobrach materialnych, pogarsza

walory estetyczne środowiska lub koliduje z innymi, uzasadnionymi sposobami korzystania ze środowiska. Z kolei samo słowo emisja oznacza wprowadzane bezpośrednio lub pośrednio, w wyniku działalności człowieka, do powietrza, wody, gleby lub ziemi (i) substancje, (ii) energie, takie jak: ciepło, hałas, wibracje lub pola elektromagnetyczne. Tym samym emisja jest akceptowalnym wpływem na środowisko, z kolei zanieczyszczenie to niedopuszczalny sposób oddziaływania na środowisko (Wierzbowski i Rakoczy, 2007). Powinno się zatem podejmować wszelkie działania ograniczające wpływ człowieka na powierzchniowe ekosystemy wodne przynajmniej do tolerowanego zakresu (Bajkiewicz-Grabowska, 2015).

Podstawowym obszarem, z którego zanieczyszczenia przedostają się do wód powierzchniowych, jest zlewnia (Smith, 2003; Withers i in., 2014). Zlewnia to obszar, z którego wszystkie wody opadowe, spływają zgodnie ze spadkiem terenu do rzeki, jeziora, bagna, mokradła lub innego odbiornika (Wagener i in., 2004). Zlewnia jest zatem systemem przestrzennym, w skład którego wchodzi takie elementy, jak: sieć rzeczna, jeziora, wody gruntowe, szata roślinna, gleby, rzeźba, podłoże geologiczne oraz obiekty antropogeniczne, np. budynki, drogi. W obrębie zlewni zachodzą procesy wzajemnie ze sobą powiązane. Pozwala to traktować zlewnię jako dynamiczny system fizyczny, w którym zachodzi obieg wody obejmujący opad, ewapotranspirację, spływ powierzchniowy i podpowierzchniowy, infiltrację oraz odpływ (Pociask-Karteczka, 2003). Funkcjonowanie układu zbiornik/ciek-zlewnia opiera się na permanentnym, ciągłym transporcie różnych form materii ze zlewni i ich akumulacji w zbiorniku/cieku (Bajkiewicz-Grabowska, 2015; Wiśniewski, 2000a). W związku z tym, jakość wód powierzchniowych jest determinowana w głównej mierze od charakteru obszaru lądowego. Problem ten jest tym bardziej istotny, że w wyniku działalności człowieka nastąpiło uszczelnienie powierzchni zlewni, co utrudnia naturalny obieg wody i materii i tym samym ułatwia spływ powierzchniowy (Jurczak i in., 2013). Powszechnie źródła zanieczyszczeń dzieli się

ze względu na sposób ich dopływu na: punktowe, obszarowe, rozproszone oraz liniowe (Kajak, 2001). Źródła punktowe (zorganizowane) to ujścia rur, rowów, kanałów, potoków – z fabryk, zakładów przemysłowych, osiedli (kanalizacja), ferm itd. Ładunki obszarowe dopływają z całej powierzchni zlewni po powierzchni ziemi i pod ziemią, na całej linii brzegowej, a także niewielkimi, często okresowymi ciekami zbierającymi wody z obszaru zlewni bezpośredniej. Do ładunków rozproszonych (niepunktowych) zalicza się zanieczyszczenie wód powodowane przez ptaki wodne oraz rekreację. Z kolei źródła liniowe to te pochodzące z dróg wzdłuż wód powierzchniowych. W literaturze przedmiotu wskazuje się także na źródła atmosferyczne, wówczas obszar, z którego pochodzą różnego typu zanieczyszczenia określa się nazwą zwizewni (Giziński i Falkowska, 2003).

Poprzez działania ochronne w zlewni zamierzone jest osiągnięcie następujących celów na rzecz ekosystemów wodnych: ograniczenie dopływu zanieczyszczeń do ekosystemów wodnych, polepszanie kategorii jakości wody, stworzenie odpowiednich warunków do życia dla organizmów wodnych, umożliwienie wykorzystania wód do spożycia i rekreacji, eliminacja negatywnych skutków degradacji występujących w zbiornikach oraz ciekach, ochrona zasobów wodnych w ujęciu ilościowym, ułatwienie zjawiska samooczyszczania się wód, obniżenie kosztów uzdatniania wody pobieranej z jezior i zbiorników zaporowych do celów komunalnych i przemysłowych, poprawa walorów estetycznych ekosystemów wodnych.

Celem niniejszej pracy jest przedstawienie wpływu zlewni na ekosystemy wodne, w tym określenie najważniejszych czynników zlewniowych i zewnętrznych źródeł biogenów, kształtujących funkcjonowanie środowisk wodnych oraz zaproponowanie przyjaznych środowisku sposobów kształtowania obszaru zlewni jako skutecznych narzędzi w ograniczaniu translokacji zanieczyszczeń, głównie biogenów do wód powierzchniowych.

CZYNNIKI ZLEWNIOWE KSZTAŁTUJĄCE FUNKCJONOWANIE EKOSYSTEMÓW WODNYCH

O wielkości i tempie migracji zanieczyszczeń z obszaru zlewni do wody decyduje cały kompleks czynników fizjograficznych i antropogenicznych oddziałujących jednocześnie (Wiśniewski, 2000a). Wśród tych czynników wyróżnia się: cechy geometryczne, morfometryczne, geomorfologiczne, hydrograficzne, geologiczno-glebowe oraz sposób użytkowania powierzchni zlewni (Małecki, 2004).

Nachylenie terenu

Stopień nachylenia terenu ma ogromne znaczenie dla spływu gruntowego i powierzchniowego (Kajak, 1979; Young i in., 1996). Nachylenie zlewni wpływa na dynamikę i wielkość odpływu: im większe nachylenie, tym szybszy jest spływ powierzchniowy, mniej wody wsiąka i mniej paruje (Pociask-Karteczka, 2003).

Erozja wodna, wietrzna, uprawowa

Erozja polega na niszczeniu i wymywaniu/wywiewaniu wierzchniej, a często i głębszych warstw gleby przy jednoczesnym zmniejszaniu ich zdolności sorpcyjnych oraz w konsekwencji na przemieszczaniu biogenów zawartych w glebie do wód otwartych (Duer i in., 2004; Kajak, 2001). Prócz erozji wodnej i wietrznej należy zwrócić też uwagę na erozję uprawową. Jej przykładem jest zagęszczenie gleby przez mechaniczne ugniatanie ciężkim sprzętem (Arvidsson i in., 2001; Carman, 1994; van den Akker i in., 2003).

Sposób zagospodarowania zlewni

Zlewnie o stosunkowo dużym udziale obszarów leśnych są obszarami o dużej zdolności retencjonowania wody jak i substancji biogenych (Chelmski, 2001; Kajak, 1979; Wiatkowski, 2016). Im mniejszy udział lasów, a większa ilość gruntów ornych, tym potencjalnie podatność na degradację wód powierzchniowych jest większa (Szyper, 2000). Wzrost udziału użytków rolnych w zlewniach jest istotną przyczyną zwielokrotnienia tempa translokacji substancji biogenych z łądu do wód (Keeler i Polasky, 2014; Soszka,

2009). W przypadku pól nawożonych, to właśnie w warstwach powierzchniowych znajduje się największe stężenie zanieczyszczeń pochodzenia rolniczego występujące głównie w formie azotanów i fosforanów (Izydorczyk i in., 2015; Kajak, 1979), które przedostają się z obszarów pól do wód powierzchniowych drogą filtracji lub spływem powierzchniowym (Bydałek i in., 2015). Należy podkreślić, że bezpośrednią przyczyną zanieczyszczenia wód nie jest wcale stosowanie nawozów mineralnych i naturalnych, ale niewłaściwe praktyki rolnicze (Duer i in., 2004). Główne zagrożenia ze strony rolnictwa dla wód to: wzrost nawożenia mineralnego, intensyfikacja nawodnień zwiększająca ilość substancji rozpuszczonych i wynoszonych z gleby przez wodę, likwidacja różnicowań terenu takich jak zagłębienia i zbiorników śródpolnych, zakrzewień, zadrzewień, miedzi, stanowiących zaporę dla zanieczyszczeń transportowanych do wód, wielkoobszarowe monokultury pozbawione okrywy roślinnej, osuszanie bagien i nieużytków przyspieszające tempo mineralizacji materii organicznej oraz uwalnianie uprzednio związanych substancji (Kajak, 2001).

Warto też zwrócić uwagę na inne możliwe pokrycia terenu zlewni jak np. jeziora miejskie, położone w przestrzeniach miejskich, szczególnie wyeksponowanych na dopływ biogenów ze zlewni (Naselli-Flores, 2008).

Fekalia zwierząt hodowlanych

Istotną rolę w zanieczyszczaniu wód stanowią fermy wielkoprzemysłowe (Duer i in., 2004). Duże zagęszczenie zwierząt na takich fermach generuje poważne problemy z utylizacją ścieków. Gleby na fermach jak w ich bezpośrednim sąsiedztwie są często zdegradowane (m.in. posiadają zmniejszone zdolności sorpcyjne), co stanowi zagrożenie przed nadmiernym spływem nutrientów zawartych w fekaliami do wód, zarówno spływem powierzchniowym jak i podpowierzchniowym (Kajak, 1979). Nawozy naturalne, w szczególności gnojowica, będąca płynnym, wysoce skoncentrowanym nawozem, o wysokiej zawartości składników mineralnych oraz zanieczyszczonym mikrobiologicznie stanowią istotne zagrożenie w tym aspekcie (Kajak, 1979).

Warunki geologiczno-glebowe

Gleby mające w swojej strukturze utwory nieprzepuszczalne tj. warstwy gliny (Pociask-Karteczka, 2003) charakteryzują się dużymi zdolnościami sorpcyjnymi dzięki zawartości żelaza wykazującego duże powinowactwo do fosforu. Stąd, ze względu na stosunkowo wysoką pojemność wymiany jonowej gleb gliniastych zachodzi w nich największa redukcja fosforanów (Allred i in., 2007). Z kolei najbardziej podatne na erozję są obszary o glebach wysoko przepuszczalnych, z jednorodnym układem gleb piaszczystych (Duer i in., 2004; Pociask-Karteczka, 2003).

DZIAŁANIA OCHRONNE W ZLEWNI

Prawo wodne (2017) jako źródło informacji dotyczących ochrony wód

Zawarte są w nim m.in. takie aspekty jak kwestia oczyszczania ścieków komunalnych, czy ochrona ujęć wody oraz zbiorników wód śródlądowych (Duer i in., 2004).

Zabiegi uwzględniające stopień nachylenia terenu

Grunty o nachyleniu powyżej 10-20% powinny być trwale zadarnione lub zalesione (Duer i in., 2004). Zaleca się również wydzielanie tzw. pól wstęgowych. Uniesiony materiał osadza się zwykle na niższej wstędze, chronionej roślinnością (Duszyński, 2007). Według Kajaka (1979), przy nachyleniu 10 stopni, erozji podlega warstwa gleby o miąższości 1 mm co może odpowiadać ok. 10 t ha⁻¹ w ciągu roku.

Ograniczanie erozji

Ochrona gleb przed erozją stanowi jednocześnie ochronę wód (Duer i in., 2004). W celu redukcji erozji z terenów rolniczych należy prowadzić poziomy kierunek orki i siewu względem zbiorników oraz cieków, ponieważ kierunek pionowy mógłby ułatwiać odpływ biogenów do otwartych wód (Mioduszeński, 2016). Oprócz tego, erozję można w znacznym stopniu ograniczyć stosując tzw. płodozmiany przeciwerozyjne, w skład których powinny wchodzić rośliny motylkowe i ich mieszanki z trawami oraz

roślinami ozimymi (Duer i in., 2004). Z kolei do najskuteczniejszych zabiegów zapobiegających erozji zalicza się: zakładanie i pielęgnowanie śródpolnych pasów zadrzewień i zakrzewień oraz stałe utrzymywanie gleby pod okrywą roślinną, zwłaszcza w okresie wczesnej wiosny materiałami mulczującymi (międzyplonami i resztkami poźniwnymi) (Kuś, 2016). Aby przeciwdziałać erozji uprawowej zaleca się stosowanie w ciągnikach rolniczych opon szerokich oraz niskociśnieniowych, aby zredukować nacisk jednostkowy na glebę (Botta i in., 2002; Canillas i Salokhe, 2001).

Właściwe praktyki rolnicze jako element ochrony wód

Kodeks Dobrej Praktyki Rolniczej zawiera zbiór przyjaznych środowisku praktyk rolniczych, których stosowanie ma zapewnić zrównoważony rozwój w sferze produkcji rolniczej (Duer i in. 2004) przy jednoczesnym ograniczeniu zanieczyszczenia wód, zwłaszcza azotanami (Kania, 2006; Keeler i Polasky, 2014). Kodeks podkreśla, że uprawa przedplonów, śródpłonów i poplonów wiążących nadmiar azotu z gleby to istotny element w przeciwdziałaniu wymywania azotu do wód (Duer i in., 2004). Obecnie pola uprawne są mało urozmaicone, pozbawione naturalnej szaty roślinnej, dominuje w nich monokultura, co tylko ułatwia stosunkowo dużą erozję i translokację biogenów (Rey-Romero i in., 2022). Brakuje miejsc przejściowych między poszczególnymi strefami, w których mogłyby zatrzymywać się substancje wypłukiwane z użytków rolnych. Znacznie korzystniejsze są tzw. małe poletka, na których przeważa zróżnicowanie upraw oraz większa liczba elementów, oddzielających od siebie pola, np. zadrzewienia, zakrzewienia. Wówczas spływ biogenów z takiego obszaru do wód podlega znacznemu utrudnieniu i wydłużeniu.

Warto też podkreślić, że Kodeks zawiera także sposoby gospodarowania odzwierzęcymi nawozami naturalnymi oraz technologie niskoemisyjnej hodowli zwierząt z jednoczesnym uwzględnieniem metod ograniczania emisji amoniaku.

Wetlandy

Konwencja Ramsarska podkreśla międzynarodowe znaczenie obszarów podmokłych i definiuje je jako obszary naturalne, do których zalicza się bagna, torfowiska oraz naturalne lub sztuczne, stałe lub tymczasowe obszary stojącej lub płynącej wody słodkiej, słonawej lub słonej, w tym obszary wypełnione wodą morską (Lundin, 2012). Jednakże wetlandy to przede wszystkim miejsca kumulacji zanieczyszczeń. Z tego względu obszary te są czasami nazywane „nerkami natury” (Herschey i Gergov, 2012; Reddy i DeLaune, 2008). Wykorzystanie buforujących właściwości ekosystemów bagiennych mogą być pomocne w doczyszczaniu wód spływu powierzchniowego, dzięki procesom sedymentacyjnym i sorpcyjnym (Dierberg i DeBusk, 2008; Lundin, 2012). Należy zatem podkreślić korzystne znaczenie bagien z punktu widzenia ochrony wód przed eutrofizacją w wyniku akumulacji pierwiastków biogenicznych na obszarze zlewni.

Mała retencja wodna

Ważna z punktu widzenia ochrony wód jest również tzw. mała retencja wodna, czyli działania techniczne i nietechniczne, zmierzające do wydłużenia czasu obiegu wody w obszarze zlewni, w szczególności magazynowanie wody w zbiornikach, w dolinach rzecznych, na obszarach mokradłowych oraz w korytach rzek i rowach melioracyjnych wyposażonych w urządzenia piętrzące (Tyszewski, 2008). Małą retencję wodną należy traktować jako przedsięwzięcie kompleksowe, którego celem jest nie tylko poprawa bilansu wodnego zlewni, zabezpieczenie potrzeb wodnych czy ochrona przeciwpowodziowa, ale również ochrona wód powierzchniowych przed zanieczyszczeniem.

Biotechnologie ekohydrologiczne

Biotechnologie ekohydrologiczne stanowią efekt integracji rozwiązań hydrotechnicznych z procesami hydrologicznymi i biologicznymi (Zalewski, 2000). Zastosowanie biotechnologii ekohydrologicznych w zlewni może przyczynić się do zredukowania zasilania ekosystemów wodnych w biogeny i inne zanieczyszczenia (Izy-

dorczyk i in., 2015) poprzez zwiększenie ich retencji w zlewni (Shoji i in., 2001). Biotechnologie te są najczęściej stosowane w przypadku zanieczyszczeń punktowych oraz obszarowych. Przykładami biotechnologii ekohydrologicznych w zlewni są: strefy buforowe (strefy ekotonowe), wysokoefektywne strefy ekotonowe, sekwencyjne systemy sedymentacyjno-biofiltracyjne, podziemne systemy separatorów i osadników (Izydorczyk i in., 2015; Jurczak i in., 2013).

Strefy buforowe (strefy ekotonowe) są istotne z takiego punktu widzenia, że rośliny jako producenci pierwotni to pierwszy poziom w strukturze troficznej ekosystemu, który kontroluje przepływ energii oraz obieg biogenów i ich dostępność dla wyższych poziomów. Dlatego w przypadku ograniczania transportu zanieczyszczeń obszarowych z ekosystemów lądowych do wodnych istotny jest wpływ szaty roślinnej. Strefy buforowe znajdujące się na styku lądu i wody są ostatnią barierą utrudniającą ekspansję zanieczyszczeń obszarowych z lądu do wód (Mioduszeński, 2016). Rośliny ekotonowe poprzez akumulację biogenów w swoich tkankach spełniają rolę zarówno filtra biologicznego jak i mechanicznego (Bydalek i in., 2015; Frątczak i in., 2015; Izydorczyk i in., 2015).

Skuteczność wysokoefektywnych stref ekotonowych wynika z zastosowania barier denitryfikacyjnych (Cameron i Schipper, 2010) i geochemicznych (Izydorczyk i in., 2013). Przy usuwaniu azotanów dominującym mechanizmem są procesy biologiczne, a podczas usuwania fosforanów są to procesy fizyczne lub chemiczne. Bariery denitryfikacyjne intensyfikują proces denitryfikacji, zaś bariery geochemiczne bogate w materiał mineralny o dużej zawartości tlenku żelaza (Groenenberg i in., 2013) zwiększają wydajność sorpcji fosforu w zlewni. Bariery te zbudowane są z łatwo biodegradowalnego węgla organicznego, np. trocin drzewnych, słomy, rozdrobnionych odpadów ogrodowych (gałęzie, liście), kory drzew, resztek pożywnych itp. (Izydorczyk i in., 2015), katalizującego procesy usuwania azotanów i fosforanów (Bydalek i in., 2015).

Sekwencyjne systemy sedymentacyjno-biofiltracyjne mogą być stosowane w zlewni rolniczej oraz miejskiej w celu podczyszczenia wód

odpływających z systemów melioracyjnych w rejonach intensywnej gospodarki rolniczej oraz wód opadowych przed odprowadzeniem do cieków i zbiorników wodnych (Frątczak i in., 2015, Izydoreczek i in., 2015). Wykorzystywane są w nich następujące po sobie procesy sedymentacji, filtracji, adsorpcji, strącania i biofiltracji (Obarska-Pempkowiak, 2008, 2010). W przypadku zlewni miejskich powinno stosować się także podziemne systemy separatorów i osadników w celu eliminacji substancji ropopochodnych i zawiesin (Jurczak i in., 2013).

PODSUMOWANIE

Jedną z metod wspomagających rekultywację wód powierzchniowych, w szczególności jezior i cieków są działania ochronne w zlewni redukujące ładunek zewnętrzny biogenów (głównie azotu i fosforu). Oddziaływanie na zlewnię ma na celu zapobiegnięcie lub osłabienie negatywnych zjawisk związanych z eutrofizacją wód powierzchniowych. Można to uzyskać za pomocą likwidacji źródeł zanieczyszczeń punktowych, obszarowych, rozproszonych, liniowych, atmosferycznych, jak również poprzez odpowiednie zabiegi agrotechniczne czy właściwe zagospodarowanie terenu zlewni z wykorzystaniem szeregu nowoczesnych rozwiązań środowiskowych. Zadania przeprowadzone w zlewni mają na celu zwiększenie czasu retencji biogenów na obszarze lądowym a wszystko to w celu ochrony wód przed ich dopływem, zwłaszcza w postaci zanieczyszczeń przekraczających normy. Z punktu widzenia ochrony wód powierzchniowych, zabiegi z zakresu działań ochronnych w zlewni odtwarzające mozaikowatość i urozmaicenie krajobrazu są bezsprzecznie korzystne i potrzebne.

OŚWIADCZENIE AUTORA

Deklaruję 100% wkład w powstanie artykułu oraz brak konfliktu interesów.

BIBLIOGRAFIA

- Allred B. J., Bigam J. M., Brown G. O., 2007. The impact of clay mineralogy on nitrate mobility under unsaturated flow conditions. *Vadose Zone Journal* 6 (2), 221–232. <https://doi.org/10.2136/vzj2006.0064>
- Arvidsson J., Trautner A., van den Akker J. J. H., Schjønning P., 2001. Subsoil compaction by heavy sugarbeet harvesters in southern Sweden. II. Soil displacement during wheeling and model computations of compaction. *Soil and Tillage Research* 60 (1–2), 78–89. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(01\)00168-4](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(01)00168-4)
- Bajkiewicz-Grabowska E., 2015. Jak ograniczenie presji środowiskowych do poziomu tolerancji jeziora wpływa na wskaźniki stanu trofii jego wód, w: Wiśniewski R. (Red.), *Ochrona i rekultywacja jezior*. Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych Oddział Toruń, Toruń, s. 9–17.
- Botta G. F., Jorajuria D., Draghi L. M., 2002. Influence of the axle load, tyre size and configuration on the competition of a freshly tilled clayey soil. *Journal of Terramechanics* 39 (1), 47–54. [https://doi.org/10.1016/S0022-4898\(02\)00003-4](https://doi.org/10.1016/S0022-4898(02)00003-4)
- Bydalek F., Frątczak W., Cichowicz E., Gross R., Kazimierczak K. i in., 2015. Redukcja dopływu zanieczyszczeń obszarowych z terenów zlewni zbiorników wodnych przy użyciu sieci stref ekotonowych – przykład Zbiornika Sulejowskiego, w: Wiśniewski R. (Red.), *Ochrona i rekultywacja jezior*. Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych Oddział Toruń, Toruń, s. 107–124.
- Cameron S. G., Schipper L. A., 2010. Nitrate removal and hydraulic performance of organic carbon for use in denitrification beds. *Ecological Engineering* 36 (11), 1588–1595. <https://doi.org/10.1016/j.ecoeng.2010.03.010>
- Canillas E. C., Salokhe V. M., 2001. Regression analysis of some factors influencing soil compaction. *Soil and Tillage Research* 61 (3–4), 167–178. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(01\)00206-9](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(01)00206-9)

- Carman K., 1994. Tractor forward velocity and tire load effect on soil compaction. *Journal of Terramechanics* 31 (1), 11–20.
- Chelmiński W., 2001. *Woda. Zasoby, degradacja, ochrona*. PWN, Warszawa.
- Clewell A. F., Aronson J., 2013. *Ecological restoration: principles, values, and structure of an emerging profession*. Island Press, Washington, DC. <https://doi.org/10.5822/978-1-59726-323-8>
- Dierberg F. E., DeBusk T. A., 2008. Particulate phosphorus transformations in south Florida stormwater treatment areas used for Everglades protection. *Ecological Engineering* 34 (2), 100–115.
- Duer I., Fotyma M., Madej A. (Red.), 2004. *Kodeks Dobrej Praktyki Rolniczej*. Fundacja Programów Pomocy dla Rolnictwa, Warszawa.
- Durkowski T., Pawlik-Dobrowolski J. (Red.), 2004. *Dopływ zanieczyszczeń do jeziora Miedwie z jego bezpośredniej zlewni oraz możliwość ich ograniczenia*. IMUZ, Falenty-Szczecin.
- Duszyński R., 2007. Ekologiczne techniki ochrony brzegów i rewitalizacji rzek. *Inżynieria Morska i Geotechnika* 6, 341–351.
- Farley M., 2012. Eutrophication in Fresh Waters: An International Review, w: Bengtsson, L., Herschy, R.W., Fairbridge, R.W. (Red.), *Encyclopedia of Lakes and Reservoirs. Encyclopedia of Earth Sciences Series*. Springer, Dordrecht, s. 258–270. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4410-6_79
- Frątczak W., Izydorczyk K., Łapińska M., Szewart M., Zalewski M., 2015. *Ekotony dla redukcji zanieczyszczeń obszarowych – Raport laika*. ERCE PAN, RZGW w Warszawie.
- Groenenberg J. E., Chardon W. J., Koopmans G. F., 2013. Reducing phosphorus loading of Surface water using iron-coated sand. *Journal of Environmental Quality* 42 (1), 250–259. <https://doi.org/10.2134/jeq2012.0344>
- Giziński A., Falkowska E., 2003. *Hydrobiologia stosowana: ochrona wód powierzchniowych*. WSHE, Włocławek.
- Hersch R. W., Gergov G., 2012. Wetland Areas and Lakes in Bulgaria, w: Bengtsson L., Herschy R. W., Fairbridge R. W. (Red.), *Encyclopedia of Lakes and Reservoirs*. Springer, Dordrecht, s. 888–901. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4410-6>
- Izydorczyk K., Michalska-Hejduk D., Frątczak W., Bednarek A., Łapińska M. i in., 2015. *Strefy buforowe i biotechnologie ekohydrologiczne w ograniczaniu zanieczyszczeń obszarowych*. Europejskie Regionalne Centrum Ekohydrologii Polskiej Akademii Nauk, Łódź.
- Józwiakowski K., 2003. Zmiany skuteczności usuwania zanieczyszczeń w gruntowo-roślinnej oczyszczalni ścieków w latach 1995–2000. *Inżynieria Rolnicza* 3 (45), 93–107.
- Jurczak T., Kaczowski Z., Wojtal-Frankiewicz A., Oleksińska Z., Zalewski M., 2013. Ekohydrologiczna rekultywacja zbiorników Arturówek (Łódź) jako modelowe podejście do rekultywacji zbiorników miejskich, w: Wiśniewski R. (Red.), *Ochrona i rekultywacja jezior*. Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych Oddział Toruń, Toruń, s. 81–97.
- Kajak Z., 1979. *Eutrofizacja jezior*. PWN, Warszawa.
- Kajak Z., 2001. *Hydrobiologia-limnologia. Ekosystemy wód śródlądowych*. PWN, Warszawa.
- Kania J., 2006. Programy rolno-środowiskowe i zasady dobrej praktyki rolniczej jako możliwości optymalnego gospodarowania i ochrony dolin rzecznych. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich* 4 (1), 77–99.
- Keeler B., Polasky S., 2014. Land-use change and costs to rural households: a case study in groundwater nitrate contamination. *Environmental Research Letters* 9 (7), 1–10. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/7/074002>
- Kuś J., 2016. Rola warunków siedliskowych i agrotechniki w poprawie gospodarki wodnej roślin, w: Dembek W., Kuś J., Wiatkowski M., Żurek G. (Red.), *Innowacyjne metody gospodarowania zasobami wody w rolnictwie*. Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinowie. Brwinów, s. 147–164.
- Lundin L., 2012. Wetlands: classification, distribution, function, w: Bengtsson L., Herschy R. W., Fairbridge R. W. (Red.), *Encyclopedia of Lakes and Reservoirs*. Springer, Dordrecht, s. 914–916. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4410-6>

- Łopata M., 2013. Rekultywacja jezior – metody, uwarunkowania, etapy działań, w: Domagała J., Czerniawski R., Pilecka-Rapacz M. (Red.), *Antropopresja na ekosystemy wodne a ochrona przyrody i aktywizacja rybactwa*. Uniwersytet Szczeciński, Barlinek, s. 61–83.
- Łopata M., Wiśniewski G., Czerniawski R., Czerniejewski P., Brzozowska R. i in., 2015. Rekultywacja Jeziora Klasztornego Górnego w Strzelcach Krajeńskich metodą inaktywacji fosforu i biomanipulacji, w: Wiśniewski R. (Red.), *Ochrona i rekultywacja jezior*. Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych Oddział Toruń, Toruń, s. 85–92.
- Małecki A., 2004. Zmienność jakości wód rzeki Obrzycy na ujęciu w Sadowej, w: Wiśniewski R., Jankowski J. (Red.), *Ochrona i rekultywacja jezior: materiały konferencyjne*. Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych Oddział Toruń, Grudziądz.
- Mioduszeński W., 2016. Innowacyjne metody tworzenia małej retencji, w: Dembek W., Kuś J., Wiatkowski M., Żurek G. (Red.), *Innowacyjne metody gospodarowania zasobami wody w rolnictwie*. Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinowie. Brwinów, s. 11–26.
- Naselli-Flores L., 2008. Urban lakes: ecosystems at risk, worthy of the best care, w: Sengupta M., Dalwani R. (Red.), *Proceedings of Taal2007: The 12th World Lake Conference*, s. 1333–1337.
- Obarska-Pempkowiak H., Gajewska M., Arendacz M., 2008. Oczyszczanie wód opadowych w obiektach hydrofitowych. *Gaz, Woda, Technika Sanitarna* 9, 56–59.
- Obarska – Pempkowiak H., Gajewska M., Wojciechowska E., 2010. *Hydrofitowe oczyszczanie wód i ścieków*. PWN, Warszawa.
- Pociask-Karteczka J. (Red.), 2003. *Zlewnia. Właściwości i procesy*. Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków.
- Reddy K. R., DeLaune R. D., 2008. *Biogeochemistry of Wetlands. Science and Applications*. CRC Press, Boca Raton. <https://doi.org/10.1201/9780203491454>
- Rey-Romero D. C., Domínguez I., Oviedo-Ocaña E. R., 2022. Effect of agricultural activities on surface water quality from páramo ecosystems. *Environmental Science and Pollution Research* 29 (55), 83169–83190. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-21709-6>
- Sedyaaw P., Bhatkar V. R., Sawant A. N., 2024. A review on effects of eutrophication in aquatic ecosystem. *International Journal of Development Research* 14, 65362–65369.
- Shoji S., Delgado J., Mosier A., Miura Y., 2001. Use of controlled release fertilizers and nitrification inhibitors to increase nitrogen use efficiency and to conserve air and water quality. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 32, 1051–1070. <https://doi.org/10.1081/CSS-100104103>
- Siuda W., Chróst R. J., 2015. Hydrobiotechnologia – biologiczne podstawy, aktualny stan wiedzy i perspektywy rozwoju. *Technologia Wody* 5, 31–41.
- Smith V. H., 2003. Eutrophication of freshwater and coastal marine ecosystems a global problem. *Environmental Science and Pollution Research* 10 (2), 126–139. <https://doi.org/10.1065/espr2002.12.142>
- Sonarghare P. C., Masram S. C., Sonparote U. R., Khaparde K. P., Kharkate S. K., 2020. Causes and Effects of Eutrophication on Aquatic Life (A Review). *International Journal for Environmental Rehabilitation and Conservation* XI (SP2), 213–218.
- Soszka H., 2009. Problemy metodyczne związane z oceną stopnia eutrofizacji jezior na potrzeby wyznaczania stref wrażliwych na azotany. *Woda–Środowisko–Obszary Wiejskie* 9, z. 1 (25), 151–159.
- Szyper H., 2000. Rola zlewni w dostarczaniu związków biogenych do wybranych jezior położonych w parkach narodowych, w: Giziński A., Burak S. (Red.), *Ochrona i rekultywacja jezior: materiały konferencyjne*. Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych Oddział Toruń, Polski Klub Ekologiczny Okręg Pomorsko-Kujawski. Przysiek, s. 79–88.
- Tyszewski S. (Red.), 2008. *Program małej retencji dla Województwa Mazowieckiego*. Tom I.

- Przyrodnicze uwarunkowania oraz możliwości retencjonowania wód powierzchniowych na obszarze województwa mazowieckiego. Przedsiębiorstwo Geologiczne POLGEOL S.A., Warszawa.
- Van den Akker J. J. H., Arvidsson J., Horn R., 2003. Introduction to special issue on experiences with the impact and prevention of soil compaction in the European Union. *Soil and Tillage Research* 73 (1–2), 1–8. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(03\)00094-1](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(03)00094-1)
- Wagener, T., Wheeler, H. S., and Gupta, H. V., 2004. *Rainfall-runoff modelling in gauged and ungauged catchments*. Imperial College Press, London.
- Wiatkowski M., 2016. Przegląd wybranych problemów gospodarki wodnej na obszarze zlewni rzek, w: Dembek W., Kuś J., Wiatkowski M., Żurek G. (Red.), *Innowacyjne metody gospodarowania zasobami wody w rolnictwie*. Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinowie. Brwinów, s. 27–59.
- Wierzbowski B., Rakoczy B., 2007. *Podstawy prawa ochrony środowiska*. LexisNexis, Warszawa.
- Wiśniewski G., 2000a. Zlewnia rzeki Maruszy – główne źródła biogenów Jeziora Rudnickiego Wielkiego w Grudziądzu, w: Giziński A., Burak S. (Red.), *Ochrona i rekultywacja jezior*. Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych Oddział Toruń, Polski Klub Ekologiczny Okręg Pomorsko-Kujawski, Przysiek, s. 101–112.
- Wiśniewski R., 2000b. Metody rekultywacji zbiorników wodnych – stan obecny i perspektywy, w: Giziński A., Burak S. (Red.), *Ochrona i rekultywacja jezior*. Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych Oddział Toruń, Polski Klub Ekologiczny Okręg Pomorsko-Kujawski, Przysiek, s. 21–39.
- Withers P. J., Neal C., Jarvie H. P., & Doody D. G., 2014. Agriculture and Eutrophication: Where Do We Go from Here? *Sustainability* 6 (9), 5853–5875. <https://doi.org/10.3390/su6095853>
- Young W. J., Marston F. M., Davis R. J., 1996. Nutrient exports and land use in Australian catchments. *Journal of Environmental Management* 47 (2), 165–183.
- Zalewski M., 2000. Ecohydrology – the scientific background to use ecosystem properties as management tools toward sustainability of water resources. *Ecological Engineering* 16 (1), 1–8. [https://doi.org/10.1016/S0925-8574\(00\)00071-9](https://doi.org/10.1016/S0925-8574(00)00071-9)