

## **Zbiorniki małej retencji – problemy funkcjonowania**

### **Wstęp**

Do przedsięwzięć technicznych małej retencji zaliczane są w Polsce zbiorniki o pojemności do 5 mln m<sup>3</sup>. Należą do nich obiekty różnego typu i wielkości – od niewielkich oczek wodnych po podpiętrzenia cieków z wykształconymi zalewami, niekiedy dość rozległymi. Do obiektów technicznych małej retencji zalicza się także podpiętrzenia jazami i zastawkami, zazwyczaj o niewielkiej objętości wód spiętrzonych. W niniejszym opracowaniu są one pomijane.

Większość niewielkich oczek wodnych zlokalizowana jest na terenach rolniczych, w tym głównie w obrębie zabudowy wiejskiej lub w jej bliskim sąsiedztwie. Część z nich wykonana lub zaadaptowana została w celu ujmowania wody na cele przeciwpożarowe, część wykorzystywana jest do hodowli ryb lub na cele rekreacyjne, a wiele utraciło swe pierwotne funkcje i nie gospodaruje się na nich. Na niektórych obszarach znaczny udział stanowią stawy specjalnie urządzone do hodowli ryb, retencjonujące sumarycznie znaczne objętości wody – jak np. w dorzeczu Baryczy. Funkcje zbiorników małej retencji pełnią także zalane wodą odkrytki po eksploatacji kruszyw naturalnych lub innych surowców mineralnych, niekiedy specjalnie rekultywowane w tym kierunku. W grupie zbiorników tworzących stawy lub oczka wodne występują zarówno zasilane wodami podziemnymi, spływami z pól i odciekami melioracyjnymi, jak też ciekami – zwykle poprzez rowy i urządzenia doprowadzające wodę.

W okresie ostatnich kilkudziesięciu lat (głównie od lat 70. ubiegłego wieku) wykonane zostały także dość liczne podpiętrzenia cieków. Większość z nich przyjmuje wody z terenów zagospodarowanych w przewadze rolniczo. Zbiorniki te, niekiedy o sporej powierzchni, są zwykle płytkie i przez większą część roku termicznie niestratyfikowane. Jakość wód niektórych z nich jest przynajmniej w ostatniej dekadzie badana przez służby ochrony środowiska, w związku z czym pojawiły się informacje odnośnie skutków przyjmowania przez te zbiorniki zanieczyszczeń dostarczanych głównie za pośrednictwem cieków. Zbiorniki te cechują się zwykle szybką wymianą wody, a wiele z nich ujawnia symptomy gwałtownie przebiegającej eutrofizacji.

W przedstawianym opracowaniu w szczególności zwrócona zostanie uwaga na zbiorniki małej retencji, powstałe w wyniku podpiętrzenia wód cieków niewielkiej lub co najwyżej średniej wielkości. Podkreślanym tu problemem jest ich szczególne zagrożenie eutrofizacją, niejednokrotnie szybkie wypełnianie osadami dennymi oraz często obserwowana niemożność utrzymania funkcji, dla których zostały zbudowane.

### **Problem zanieczyszczenia środowiska wodnego na terenach rolniczych**

Dotychczasowe badania wykazują, że głównym czynnikiem limitującym rozwój biomasy w środowisku słodkowodnym jest fosfor. Leaf i Chatterjee (1999) przytaczają oszacowania wskazujące, iż głównym źródłem fosforu jest rolnictwo (50%) oraz ścieki miejskie (41%). Wśród rolniczych źródeł za najbardziej istotne uważają żywy inwentarz (34% dostawy fosforu), natomiast w mniejszym stopniu nawozy (16%). Aktualnie obserwowane tendencje wskazują na zmniejszenie się zanieczyszczenia rzek i jezior w Europie – co jest skutkiem rozwoju bardziej zaawansowanych technologii oczyszczania ścieków, wprowadzania środków czyszczących pozbawionych fosforanów oraz zmniejszenia zużycia nawozów fosforowych w rolnictwie (EEA 2003a, 2003b).

Zagrożenie eutrofizacją środowiska wodnego ze strony rolnictwa przybiera na sile w miarę wzrostu intensywności produkcji rolnej, a zwłaszcza funkcjonowania gospodarstw hodowlanych. Lijklema (1995) przedstawia porównanie bilansu NPK dla gospodarstwa mlecznego w Holandii oraz terenu rolniczego w Rwandzie. Przy intensywnej hodowli bydła mlecznego głównym źródłem fosforu jest importowana pasza, azotu – nawozy mineralne i importowane pasze, potasu – importowane pasze. Import pasz oraz stosowanie dużych ilości nawozów mineralnych nie występuje w ekstensywnym

rolnictwie Rwandy. Skutkiem tego bilans NPK na gruntach holenderskiego gospodarstwa hodowlanego ujawnia nadmiar tych elementów, co powoduje ich wyflukiwanie z gleb, a tylko częściową ich akumulację w glebie lub straty niektórych z nich do atmosfery. Natomiast w ekstensywnie użytkowanych rolniczo gruntach Rwandy występuje zjawisko uszczuplenia zawartości tych składników w glebach.

Na rosnącą konsumpcję protein zwierzęcych, jako przyczynę wysokiego zużycia azotu i fosforu w rolnictwie wskazuje Forsberg (1998). Stwierdza on, że intensywna produkcja zwierzęca daje efekt zbliżony w swej strukturze do oddziaływania obszarów miejskich. Zbyt wiele zwierząt lub ludzi bytuje bowiem na małej powierzchni, przy czym zużywana żywność jest produkowana na znacznie większym obszarze (koncentracja skutków). Autor ten przytacza także oszacowania wskazujące, iż tylko 10-15% azotu użytego w uprawie roślin pozostaje w żywności przeznaczonej do spożycia.

Zanieczyszczenia przekazywane do środowiska wodnego z terenów rolniczych są różnorodnego typu, jednak większość z nich cechuje się wysokimi zawartościami biogenów o silnym oddziaływaniu eutrofizującym. Wśród zrzucanych w Polsce zanieczyszczeń szczególnie uciążliwymi są te zawarte w ściekach bytowo - gospodarczych. Zrzucają one często w stanie surowym do różnego rodzaju odbiorników na terenach wsi i miasteczek nie wyposażonych w systemy oczyszczania ścieków. Obserwuje się zatem zrzuty dokonywane do rowów przydrożnych, rowów meliorujących tereny podmokłe lub wprost do cieków, niekiedy także do lokalnych zbiorników wód stojących. Czasami zidentyfikować udaje się wyloty kanalizacji deszczowych zrzucające ścieki silnie zanieczyszczone, co wskazuje na istnienie przyłączy odprowadzających ścieki bytowo - gospodarcze. Kanalizacja taka w rzeczywistości pracuje wówczas jako ogólnospławna. W przeszłości wiele systemów rozdzielczej kanalizacji deszczowej ewoluowało wskutek tego ku systemom ogólnospławnym.

Nadal częstym zjawiskiem na terenach osadnictwa wiejskiego jest kierowanie do gruntu i do odbiorników powierzchniowych odcieków z przym nawozowych, a rzadziej – także odcieków kiszonkowych, zwykle przenikających do gruntu. W licznych osiedlach wiejskich objętych systemami zbiorowego zaopatrzenia w wodę pitną studnie gospodarskie utraciły swe pierwotne funkcje. Są wówczas często nieprawidłowo zabezpieczone przed przenikaniem zanieczyszczeń do wód podziemnych. Rejestrowane bywają przypadki wykorzystywania takich studni jako odbiorniki ścieków sanitarnych, bytowo - gospodarczych lub deszczowych z terenu posesji. Liczne studnie kopane są likwidowane poprzez zasypanie odpadami stałymi. Z dokumentacji terenowych wynika, że obiektami takimi (ich zabezpieczeniem, funkcjonowaniem i sposobem likwidacji) nie interesuje się żaden urząd. Nie stwierdziłem także, aby podejmowane były jakiekolwiek akcje uświadamiające rolników o szczególnej szkodliwości nieprawidłowego wykorzystywania lub likwidacji studni gospodarczych. Odnotowałem przypadek, kiedy rolnik wręcz chwalił się swą pomysłowością w wykorzystaniu niepotrzebnej mu studni jako odbiornika ścieków sanitarnych. Odnotowałem także przypadek zanieczyszczenia fekaliami użytkowanej na cele pitne studni gospodarskiej – zanieczyszczenie spowodowane było pęknięciem rury kanalizacji sanitarnej, z pojawieniem się w studni i w domowej instalacji nawet fragmentów tasiemca. Regularnie stwierdza się w studniach kopanych rozkładające się drobne ssaki (głównie krety i gryzonie) oraz ślimaki. Odnotowywałem przypadki topienia zwierząt w studniach przydomowych, w tym także użytkowanych.

Podczas wykonywania terenowych prac dokumentacyjnych często stykałem się w ostatnich latach z procederem opróżniania przydomowych zbiorników ścieków (szamba) do rowów przydrożnych. Z wywiadów przeprowadzanych z operatorami sprzętu asenizacyjnego wynika także nadal częste występowanie celowych rozszczelnień zbiorników ściekowych. Odnotowywałem także ewidentne ślady zrzucania ścieków z wozów asenizacyjnych do lokalnych cieków, rowów, odkrywek poeksploatacyjnych lub pozbywania się ich na terenach leśnych. Częstym zjawiskiem jest porzucanie odpadów stałych w ciekach, rowach melioracyjnych, na terenach leśnych, w obrębie podmokłości traktowanych jako nieużytki oraz w odkrywkach poeksploatacyjnych. Odpady stałe często bywają także stosowane do formowania nasypów (w większości po rozbiórce obiektów budowlanych, ale zwykle domieszkowane są innymi rodzajami odpadów).

Stan sanitarny w obrębie zabudowy wiejskiej uległ w ostatniej dekadzie wyraźnej poprawie, jednak nadal jest to istotne źródło zanieczyszczenia wód powierzchniowych i gruntowych – często niedoceniane co do swego znaczenia. Niemal nie spotyka się prawidłowo wykonanych odwodnień na terenach posesji wiejskich, zatem zanieczyszczenia spłukiwane są przez wody opadowe bezpośrednio do rowów lub cieków, niekiedy także przenikają do studni (zwłaszcza z otworem na poziomie gruntu, z niewystarczającymi zabezpieczeniami). W obrębie wielu posesji stwierdzałem gromadzenie odpadów na podłożu nieuszczelnionym, często na zapleczu zabudowy – od strony otwartej przestrzeni, w tym w bliskim sąsiedztwie rowów lub cieków.

Powszechnie podkreślanym w opracowaniach jest występowanie na terenach rolniczo użytkowanych zjawisk związanych z agrochemicznym zanieczyszczeniem środowiska wodnego (środki nawozowe i ochrony roślin). Dotyczy to zarówno przenikania zanieczyszczeń do wód powierzchniowych za pośrednictwem spływu powierzchniowego, jak też zanieczyszczeniem wód podziemnych substancjami migrującymi wraz z wodami infiltrującymi. Wysokie stężenia substancji pochodzenia nawozowego (związki azotu, fosforu, niekiedy także potas) stwierdzałem podczas badań wód podziemnych pierwszego horyzontu w studniach kopanych – azotany nawet do kilkuset  $\text{mg}/\text{dm}^3$ , fosforany do kilku  $\text{mg}/\text{dm}^3$ , potas do powyżej 200  $\text{mg}/\text{dm}^3$ . Zawartość tych substancji w ciekach nie obciążanych ściekami jest regularnie o rzędy wielkości niższa – nawet, jeżeli odwadniają tereny gruntów uprawnych. Zanieczyszczenie płytkich wód podziemnych poza obszarami zabudowy rolniczej jest znacznie słabiej rozpoznane, ze względu na trudności z dostępem do zwierciadła wody (brak ujęć wody). Niemniej jednak wyniki badań wskazują na szczególną koncentrację zanieczyszczonych wód podziemnych w obrębie terenów zabudowanych. Wiązać to można ze szczególnie intensywnym oddziaływaniem gospodarujących tam ludzi, powszechnym występowaniem spływu powierzchniowego w obrębie posesji oraz wyraźnie niższym zużyciem substancji nutrientalnych przez roślinność, która nie pokrywa tam całej powierzchni terenu.

Liczne wiejskie jednostki osadnicze zlokalizowane są nad ciekami niewielkimi, w tym także płynącymi okresowo. Do częstych należy zaliczyć zjawisko podtrzymywania w nich przepływu wyłącznie przez zrzucane ścieki. Regularnie dotyczy to rowów przydrożnych, gdzie zwykle dochodzi do infiltracji ścieków w podłoże. Systemy niewielkich cieków niżowych terenów Polski cechują się, poza terenami podmokłymi, częstym zanikiem lub silnym zmniejszeniem przepływu w półroczu letnim i przy dłuższym utrzymaniu się niskich temperatur w zimie. Stopień rozcieńczenia ścieków w przepływie jest wówczas niski lub rozcieńczenie ich wcale nie występuje. W takich warunkach możliwości naturalnego samooczyszczania są silnie zmniejszone lub żadne. Natomiast podejrzewać należy istotne samooczyszczanie w odbiornikach zlokalizowanych w obrębie podmokłych den dolin, gdzie zwykle przepływ nie zanika, a jednocześnie w korytach występuje silne zarastanie roślinnością. Incydentalnie lub okresowo ciekі terenów wiejskich mogą być zanieczyszczane odciekami drenarskimi.

Przedstawiony obraz zagrożeń dla środowiska wodnego terenów wiejskich wskazuje na jego wysoką istotność w kształtowaniu jakości wód cieków większych, zasilanych z takich obszarów. Stan rozpoznania badawczego tych zagrożeń jest w Polsce niewystarczający. Dlatego bardziej szczegółowa ich charakterystyka dotyczyć może jedynie niewielkich obszarów, gdzie z różnych przyczyn takie badania wykonywano. Ich przykładem były wykonywane przez Instytut Geografii i Rozwoju Regionalnego U. Wr. na obszarze części Pojezierza Leszczyńskiego, przy okazji ćwiczeń terenowych ze studentami. Natomiast identyfikacji stanu potencjalnych zagrożeń na terenach wiejskich dokonać mogłem przede wszystkim dzięki uczestnictwu w dokumentowaniu terenowym arkuszy Mapy hydrograficznej w skali 1:50 000, wykonywanej dla Dolnego Śląska.

Przemiany struktury gospodarczej Polski w ostatnich kilkunastu latach spowodowały likwidację licznych przedsiębiorstw (w tym o profilu rolniczym), których działalność prowadziła do zanieczyszczenia środowiska wodnego. Wskutek tego oraz postępu w rozwoju inwestycji proekologicznych jakość wód uległa pewnej poprawie. Nadal jednak liczne wiejskie jednostki osadnicze nie są wyposażone w systemy kanalizacji oraz oczyszczalnie ścieków. Z tego powodu udział terenów rolniczych w zanieczyszczaniu środowiska wodnego wydaje się relatywnie wzrastać. Identyfikowane są tereny, z których odpływ w ciekach wykazuje znaczne obciążenie zanieczyszczeniami związkami biogennymi, zwłaszcza azotu. Na tej podstawie wydawane są przez dyrektorów RZGW rozporządzenia wprowadzające program działań mających na celu ograniczenie odpływu azotu ze źródeł rolniczych. Na ocenę ich skuteczności należy jednak jeszcze poczekać.

## Funkcjonowanie zbiorników małej retencji w warunkach silnego zanieczyszczenia wody

Większość małych zbiorników typu oczek wodnych wykazuje makroskopowe cechy silnej eutrofizacji. W okresie letnim ujawniają one zwykle intensywny zakwit glonów, silne zmniejszenie przezroczystości wody, zarastanie roślinnością wodną oraz szybki postęp zamulania. Trzeba jednak stwierdzić, że badań szczegółowych w tym zakresie jest wielki niedostatek i wnioskowanie może mieć wskutek tego jedynie charakter ogólny. Przykładem badań nad jakością wody tego rodzaju zbiorników są wykonane na terenie miasta Nowa Sól (WIOŚ 2004b). Istnieje natomiast więcej obserwacji monitoringowych dotyczących zbiorników zaporowych typu małej retencji. Należy jednak mieć na względzie, iż ilość małych zbiorników typu oczek wodnych jest o rzędy większa, dlatego badania nad nimi powinny być prowadzone intensywniej. Na obszarze USA małych zbiorników zidentyfikowano aż 2,6 mln, przy czym stanowią one 20% powierzchni wód stagnujących (Smith i in. 2002).

Zbiorniki zaporowe małej retencji pełnią różnorodne funkcje. Podstawowa, retencjonowanie wody i wyrównywanie przepływów, jest szczególnie ważną w obszarach deficytu wody – jak np. na terenach Wielkopolski, zwłaszcza południowej jej części. Ich znaczenie przeciwpowodziowe jest ograniczone do redukcji wezbrań krótkotrwałych i w obrębie niedużych zlewni. W odniesieniu do większych zlewni wyrównawcze znaczenie takich zbiorników z pewnością istnieje, jest jednak ograniczane możliwościami skoordynowanego sterowania retencją ich większych zespołów. Niektóre ze zbiorników małej retencji przypisaną mają funkcję retencjonowania wody na potrzeby zaopatrzenia w wodę przemysłową i pitną.

W większości przypadków po wybudowaniu zaporowego zbiornika małej retencji wzrasta znaczenie rekreacyjne terenów sąsiadujących. Aktywizacja turystyczno - rekreacyjna jest często jednym z celów budowy takich zbiorników. Pełne wykorzystanie powstałego zalewu jest jednak ograniczane, jeżeli jakość wody nie spełnia np. wymogów przepisów dopuszczających urządzanie i funkcjonowanie kąpielisk. Samo jednak istnienie takiego zbiornika powoduje wzrost zainteresowania działalnością usługową dla wypoczynku i rekreacji. Różne formy rekreacji rozwijają się także w oparciu o zbiorniki powstające w dawnych odkrywkach poeksploatacyjnych. Powstają tam niekiedy kąpieliska urządzone lub zwyczajowo wykorzystywane przez ludność, w innych przypadkach powstały akwen bywa wykorzystywany jako komercyjne łowisko wędkarskie.

Powstaniu zbiornika małej retencji towarzyszą też istotne zmiany w krajobrazie oraz w funkcjonowaniu biosfery. Pozytywne efekty występują zwłaszcza wtedy, gdy wykorzystywanie rekreacyjne terenów przyległych do akwenu jest prawidłowe i nie osiąga zbytniego natężenia. Najczęściej jednak dochodzi do mniej lub bardziej intensywnego rozwoju obiektów zakłócających harmonię krajobrazowo - architektoniczną. Nierzadkimi są obiekty architektonicznie substandardowe. Rozwojowi obiektów architektonicznie substandardowych towarzyszy zwykle niedorozwój infrastrukturalny – w tym zwłaszcza infrastruktury wodno - ściekowej. Dlatego często wskazuje się na zagrożenie dla jakości wód takich zbiorników ze strony powstających obiektów rekreacyjno - wypoczynkowych. Na ogół funkcje tego rodzaju w znacznej mierze ograniczają się do wypoczynku w dniach wolnych od pracy. Na wypoczynek taki istnieje duże zapotrzebowanie zwłaszcza wśród ludności mniejszych miejscowości. Znaczenie takich akwenów ma zatem pod tym względem charakter przede wszystkim lokalny. Zła jakość wody w powstałym zalewie oddziaływać może wówczas negatywnie, ze względu na zagrożenia zdrowotne dla wypoczywających.

Ekologiczne znaczenie obiektów małej retencji jest bardzo zróżnicowane. Zwykle wzrasta po pojawieniu się nadbrzeżnej roślinności szuwarowej, co następuje zwykle w okresie kilku lat po powstaniu zalewu – o ile wahania zwierciadła wody nie są zbyt znaczne i gdy nie przeciwdziała temu zarządzający akwenem. W odniesieniu do licznych gatunków związanych ze środowiskiem wodnym szczególne znaczenie mają wyspy oraz płytkie zatoki nieobjęte intensywnym zagospodarowaniem. Często podkreśla się także duże ekologiczne znaczenie roślinności terenów nadbrzeżnych.

Funkcje ekologiczne zbiorników małej retencji ujawniają się także w przypadku obiektów położonych w obrębie większych miast – np. zbiornik Piaski - Szczygliczka w obrębie miasta Ostrów Wielkopolski stał się miejscem masowego pojawiania się ptactwa wodnego. Znaczenie ekologiczne zbiornika nie zanika w zupełności nawet wtedy, gdy zalew pojawia się tylko okresowo. Przykładem jest Zbiornik Małomicki na terenie Lubina. Wskutek oddziaływania leja depresyjnego związanego z istniejącymi w okolicy ujęciami wody podziemnej, zalew występuje jedynie śladowo lub okresowo. Niemniej jednak, sam wzrost udziału siedlisk podmokłych oraz wyłączenie terenu z innych form

gospodarowania umożliwi rozwój fauny płazów, silnie zagrożonej wskutek braku siedlisk godowych. Ekologiczne funkcje zbiorników małej retencji związane są także z zachodzącymi w nich procesami redukcji stężeń biogenów oraz substancji szkodliwych dla biosfery wodnej. Znaczenie tych zjawisk dla kształtowania prawidłowych cech jakości wody w odbiornikach odpływu ze zbiorników małej retencji może być jednak zarówno pozytywne, jak i negatywne.

W zbiornikach małej retencji na podpiętrzonych ciekach procesy ich eutrofizacji przebiegają nieco odmiennie, niż w jeziorach naturalnych, zwłaszcza bezodpływowych. Spowodowane to jest głównie szybką wymianą wody oraz niewielką głębokością, a przez to szybkim zanikaniem stratyfikacji termiczno - gęstościowej wody. Większość tego rodzaju zalewów powstaje ponadto w dnach dolin, co daje w rezultacie specyficzne charakterystyki geometryczne zbiornika: przede wszystkim jest on zwykle silnie wydłużony. W tak ukształtowanym zbiorniku zmienność parametrów jakości wody w profilu podłużnym jest w znacznej mierze pod wpływem zmiennych stężeń zanieczyszczeń wprowadzanych przez zasilającą rzekę. Zatem interpretacja uzyskanych wyników ulega komplikacji, z powodu konieczności uwzględniania dynamiki ruchu wody w osi zbiornika. W takim przypadku powinny być badane elementy składu chemicznego cechujące się znaczną zmiennością stężenia w przepływie zasilającym – ale nie zmieniane w stopniu istotnym wskutek oddziaływania procesów limnicznych. Fale wyższych i niższych stężeń takiego elementu powinny wówczas być identyfikowalne w profilu podłużnym zbiornika, co pozwalałoby na odnoszenie poszczególnych partii akwenu do cech jakościowych zasilania w odpowiednim momencie w przeszłości. Elementem takim mogą być np. chlorki – o ile stężenie ich w strumieniu zasilającym zmienia się w odpowiednio szerokim zakresie i z odpowiednią rytmiką.

Kawara i in. (1998) stwierdzili, że rozwój fitoplanktonu w zbiorniku o wysokiej koncentracji nutrientów może być ograniczany krótkim czasem retencji hydraulicznej. W badanym przez nich zbiorniku czas potrzebny dla istotnego wzrostu fitoplanktonu wynosi około 2 tygodnie. Wiele zbiorników małej retencji wykazuje wyraźnie krótszy czas rezydencji wody, zwłaszcza podczas wezbrań cieków zasilających. Natomiast te same zbiorniki wykazują zazwyczaj objawy intensywnego rozwoju fitoplanktonu podczas niżówek hydrologicznych. W warunkach Polski dotyczy to głównie okresu drugiej połowy lata i części jesieni. Wzrost czasu rezydencji wody w zbiorniku jest wówczas tylko jedną z przyczyn zakwitów planktonu. Dodatkowo bowiem wzrasta wówczas temperatura wody, w płytkich zbiornikach zanika hypolimnion, zwiększa się stężenie nutrientów (zmniejszony stopień rozcieńczania zanieczyszczeń w przepływie), aktywizują się wewnętrzne źródła nutrientów (pobór ich z osadów dennych).

Większość badaczy wskazuje na fosfor, jako nutrient występujący w deficycie i przez to ograniczający rozwój fitoplanktonu w zbiornikach słodkowodnych. Dlatego dostawa fosforu do zbiornika jest podstawową przyczyną szybkiego rozwoju zjawiska eutrofizacji. Zazwyczaj stwierdza się jego znaczną dostawę w okresie wiosennym, kiedy dochodzi do jego mobilizacji przez wody roztopowe wraz z erodowanymi cząstkami gleby. Zjawisko to jest przyczyną pogarszania jakości wody jako surowca do produkcji wody komunalnej. Zazwyczaj wzmózonej dostawie fosforu towarzyszy zwiększona dostawa innych nutrientów, zwłaszcza azotu. Trudności związane z wykorzystywaniem tak zanieczyszczonej wody występują dość często. Holas i in. (1999) opisują je dla przypadku zbiornika Zelivka w Czechach, gdzie doprowadzić to może nawet do utraty funkcji zaopatrzenia w wodę. Badacze ci podają, że 93% fosforu dostarczanego do tego zbiornika pochodzi z zasilania powierzchniowego, 2% z opadów, a 5% z osadów dennych.

Zanieczyszczenie zbiorników wodnych fosforem jest problemem często występującym i trudnym do likwidacji. Spowodowane to jest rozproszonym charakterem jego źródeł zewnętrznych, w przypadku gdy mają one charakter rolniczy. Źródła takie niezmiernie trudno jest kontrolować, a ich tłumienie wymaga kompleksowych działań w obrębie zlewni zbiornika. W jakimś stopniu przeciwdziałać takim zagrożeniom może kształtowanie w sąsiedztwie cieków zasilających zbiornik stref wyłączonych z uprawy, pokrytych roślinnością naturalną lub półnaturalną. Wymagałoby to objęcia takimi działaniami w zasadzie całej sieci cieków w zlewni zbiornika, gdyż nutrieny mogą być dostarczane do cieków głównych przez ich dopływy. Tymczasem wiele z nich pełni funkcje meliorujące i bywa odbiornikiem odcieków drenarskich. Z tego powodu interesującymi są doświadczenia uzyskane podczas prób rehabilitacyjnych w obrębie zbiorników pełniących ważną funkcję zaopatrzenia w wodę pitną. Breemen i in. (1998) opisują tego rodzaju działania na terenie Holandii, w odniesieniu do zanieczyszczeń mikroorganizmami chorobotwórczymi. Zastosowanie

zbiorników wstępnych, zlokalizowanych powyżej zbiornika głównego, miało tam wytworzyć pierwszą barierę dla takich mikroorganizmów. Niestety, okazało się, że ze względu na okres przeżywalności bakterii fekalnych wynoszący ok. 6 tygodni – skutecznie taką funkcję mogą pełnić jedynie zbiorniki duże, o wielotygodniowym czasie rezydencji wody. Usuwanie patogenów przez zbiorniki wstępne okazało się zatem nieefektywne. Autorzy wskazują przy tym na istnienie wewnętrznych źródeł patogenów, w związku z wysoką zawartością bakterii fekalnych w odchodach ptactwa wodnego, bytującego w obrębie zbiorników wodnych. W szczególności stwierdzili niski stopień eliminacji bakterii z rodzaju *Campylobacter*, odpowiedzialnych za zatrucia pokarmowe u około 500 mln ludzi na świecie. Problemem funkcji oczyszczających zbiorników wstępnych zajęli się także Pütz i Benndorf (1998). Zwrócili oni uwagę, że mogą one usuwać znaczące ilości fosforu – poprzez jego biochemiczną zamianę na formę zawieszinową, a następnie sedymentację. Funkcje takie są jednak silnie ograniczone w sezonie zimowym i wiosennym. Ponadto takie właśnie funkcje zbiornika powinny być przewidywane już w okresie jego projektowania i następnie budowy. Skuteczne funkcjonowanie zbiorników wstępnych jako oczyszczających wodę z nutrientów opisuje także Scharf (1998). Natomiast Wagner i Zalewski (2000) proponują wykorzystanie płytkich zalewów w dnie doliny (oczyszczalnie typu *constructed wetlands*), w celu poprawy jakości wody Zbiornika Sulejowskiego na Pilicy. Zauważają oni, że działania takie mogą mieć zwiększoną skuteczność w odniesieniu do cieków niewielkich – dlatego proponują koncentrację działań na rzece Luciąża (odpływ z Piotrkowa Trybunalskiego), silnie zanieczyszczonym dopływie Pilicy, dostarczającym do zbiornika około 50% nutrientów. Wieloletnie badania Lau i Lane (2002) wskazują jednak, że w przypadku zbiorników o krótkim czasie rezydencji wody, powstałych w zatorfionych dnach dolin, występuje silna zmienność sezonowa uzależnień rozwoju fitoplanktonu od zawartości nutrientów dla większości roku – poza sezonem zimowym. Wykonane zalewy mogą się zatem okazać nieefektywne w takim okresie – a jest to sezon zwiększonych przepływów zasilanych odwilżowo, z dużymi ładunkami fosforu ze źródeł rozproszonych.

Przenikanie fosforu z osadów dennych do wody jest problemem w istotnym stopniu komplikującym zabiegi rehabilitacyjne w zbiornikach wodnych, zwłaszcza małych i płytkich. Boers i in. (1998) badali procesy związane z retencjonowaniem fosforu w osadach dennych. Stwierdzili, że zasadniczo wyróżnić można trzy główne procesy: sorpcja i wiązanie w wodorotlenkach żelaza, okluzja w węglanie wapnia, powstawanie minerałów autogenicznych. W dalszej konsekwencji wyróżniają oni trzy grupy procesów: depozycja na osadach, transformacja organicznego fosforu i jego unieruchomienie, pogrzebanie w osadach lub przemieszczanie się fosforu do ich głębszych warstw. Jeżeli depozycja przebiega szybciej, aniżeli dwa pozostałe procesy – wówczas powstaje nadmiar fosforu pozostający w stałym kontakcie z wodą zbiornika. W takim przypadku osad staje się istotnym źródłem wewnętrznym fosforu i podtrzymuje proces eutrofizacyjny nawet po redukcji zewnętrznych źródeł fosforu. Na efekt taki wskazują badania Bootsma i in. (1999), prowadzone nad skutecznością działań rehabilitacyjnych w obrębie zbiorników wodnych objętych ochroną rezerwatową. W ciągu pierwszych 4 lat proces oczyszczania nie dał efektów, prawdopodobnie wskutek pobierania nutrientów z osadów dennych. Dopiero po 10 latach zamięnienie wody uległo istotnemu zmniejszeniu oraz poprawiły się relacje gatunkowe biosfery wodnej – gdy wcześniej usunięto osady denne oraz wykonano instalację likwidującą skutki mineralizacji torfów (źródło fosforu).

W niektórych przypadkach podczas budowy zbiorników małej retencji stosuje się usuwanie roślinności i górnej warstwy gleby w zasięgu przyszłego zalewu. Przyjmuje się bowiem, że jest to przeszłe źródło wewnętrzne nutrientów dla wody zbiornika. Zastosowanie takich działań opisuje Scharf (1998), przy czym towarzyszyły temu także inne, dokonywane w obrębie całej zlewni. Przykład ten jest o tyle ciekawy, że osiągnięto wysoką skuteczność w zabezpieczeniu przed eutrofizacją wód zbiornika retencjonującego wodę na potrzeby komunalne. Przede wszystkim wykonanych zostało 17 zbiorników wstępnych na dopływach do zbiornika głównego. Oszacowane zostało, że zatrzymały one 55% fosforu dostarczanego z ich zlewni. Poza wprowadzeniem stref ochronnych (w tym strefy zakazu wstępu dla ludzi), stworzono także roślinne strefy buforowe wzdłuż cieków. Drzewa iglaste zastąpiono gatunkami rodzimymi drzew liściastych – w pierwszej kolejności w strefach nadrzecznych. Wykluczono funkcje rekreacyjne zbiornika głównego, retencjonującego wodę na cele ujęciowe. Rozpoczęto akcje uświadamiające wśród rolników, z oferowaniem im pomocy finansowej. Ścieki z wiejskich terenów osadniczych przerzucono do sąsiedniej zlewni, po ich oczyszczeniu. W wyniku tych wszystkich działań woda zbiornika ma charakter oligotroficzny.

Istotną kwestią związaną ze zbiornikami małej retencji są ich funkcje przewidywane na etapie projektu i budowy w relacji do funkcji, które potem są pełnione. W przypadku silnej eutrofizacji zbiornika liczne planowane funkcje nie mogą być pełnione prawidłowo. Jest to szczególnie istotne w przypadku zbiorników mających retencjonować wodę na potrzeby ujęciowe. W takim przypadku wykluczone powinny być funkcje rekreacyjne zbiornika, a w jego zlewni powinny być przeprowadzone działania znacznie zmniejszające prawdopodobieństwo pojawienia się istotnych ilości zanieczyszczeń. Wszelkie ścieki powinny być ze zlewni przetrzucane poza jej granice – jak to uczyniono w przypadku opisywanym przez Scharf (1998). Natomiast w przypadku zbiorników mających pełnić inne funkcje, przed ich budową przynajmniej powinna być uporządkowana w pełni gospodarka ściekowa w całej zlewni. Tymczasem stan uporządkowania gospodarki ściekowej w zlewni nie był pełny nawet w przypadku zbiorników retencjonujących wodę na cele ujęciowe – jak np. niedawno oddany do użytku Zbiornik Sosnówka (WIOŚ 2004c).

Wśród przepływowych zbiorników małej retencji przyjmujących znaczne ilości zanieczyszczeń często odnotowywaną jest poprawa jakości wody po opuszczeniu zbiornika. Przyjąć można, że w takich sytuacjach zbiorniki takie pełnią niezamierzoną funkcję oczyszczalni biologicznej. Przykładem jest Zbiornik Pokrzywnica w dorzeczu Proсны (WIOŚ 2004a), w obrębie którego następowała poprawa licznych parametrów, w tym dotyczących związków biogennych oraz zanieczyszczenia bakteriologicznego. Natomiast na mniejszym Zbiorniku Gołuchów (rzeka Ciemna, lewy dopływ Proсны) długoletnia eksploatacja spowodowała nagromadzenie grubej warstwy osadów dennych, szacowanej na 0,8 m. Silne zanieczyszczenie wód zbiornika wymusiło działania rekultywacyjne oraz budowę wstępnego zbiornika o funkcjach ekologicznych. W ciągu kilku późniejszych lat nie zaobserwowano jednak istotnej poprawy jakości wody w zalewie. Stwierdzono jedynie zmniejszenie tempa depozycji osadów oraz spadek obciążenia wody materia organiczną. Innym przykładem jest z kolei Zbiornik Roszków koło Jarocina (WIOŚ 2004a). Zbudowany został w 1997 r. na rzece Lubieszce (lewy dopływ Lutyni, w dorzeczu Warty). Rzeka ta przyjmuje znaczne ilości surowych ścieków bytowo - gospodarczych, co warunkuje złą jakość wody zbiornika. W okresie letnim wysycha, nadal jednak zrzucane są do niej ścieki. W pierwszych latach po uruchomieniu zbiornik poprawiał jakość wody, zwłaszcza w zakresie stężenia substancji biogennych. Wybudowany na Rowie Franklinowskim (lewy dopływ Ołoboku, dorzecze Proсны), na terenie Ostrowa Wielkopolskiego, Zbiornik Piaski - Szczygliczka znajduje się pod wpływem zanieczyszczeń obszarowych z pól uprawnych. Gospodarka ściekowa w zlewni jest uregulowana, a nieco powyżej na cieku zasilającym znajduje się niewielki zbiornik przepływowy, który może w pewnej mierze ograniczać dopływ zawieszin i rumowiska rzeczne. Rów Franklinowski w okresie lata wysycha, co powoduje okresowy zanik wymiany wody w Zbiorniku Piaski - Szczygliczka. Pomimo lepszych warunków zlewniowych niż w poprzednich zbiornikach, obserwuje się tu masowy zakwit glonów w okresie od wiosny po jesień, z ograniczeniem przezroczystości wody do 0,6 m. W osadach dennych stwierdzono wysokie zawartości azotu i fosforu oraz obecność siarczków (beztlenowy rozkład substancji organicznych). Także i ten zbiornik powodował poprawę jakości wody w relacji do jakości wody ciekłu zasilającego (WIOŚ 2004a).

Niektóre zbiorniki, zwłaszcza nieduże i dłużej funkcjonujące w warunkach znacznego dopływu zanieczyszczeń, mogą wpływać negatywnie na jakość wody ciekłu zasilającego. Camargo i in. (2005) stwierdzili znaczne podwyższenie stężeń związków azotu i fosforu na odcinkach ciekłów poniżej zbiorników. W Polsce przykładem jest Zbiornik Kobyła Góra na rzece Mereszniczy (dopływ Polskiej Wody, dorzecze Baryczy). Na odcinku rzeki poniżej zbiornika zaobserwowane zostało istotne podwyższenie stężeń fosforanów i fosforu ogólnego oraz znacznie gorsze natlenienie wody. W mniejszym stopniu pogorszyły się wskaźniki BZT<sub>5</sub>, azotu amonowego oraz indeksu saprobowości sestonu. Natomiast wyraźnemu zmniejszeniu uległo zanieczyszczenie bakteriami fekalnymi i w niewielkim stopniu azotem azotynowym (WIOŚ 2004a). Przypadek ten jest o tyle szczególny, że w zlewni zbiornika dokonane zostały w późniejszym okresie jego funkcjonowania (krótko przed badaniami) istotne działania w kierunku zmniejszenia zrzutów zanieczyszczeń. Zbudowana została oczyszczalnia ścieków, część ścieków skierowano przez rów melioracyjny do Młyńskiej Wody, a także zlikwidowano istniejące wcześniej gminne wylewisko ścieków. Oznacza to, iż wewnętrzny obieg zretencjonowanych wcześniej nutrientów w takim zbiorniku może w istotnym stopniu podwyższać ich zawartość w wodzie ciekłu na odcinku niższym w okresie po uporządkowaniu gospodarki ściekowej w zlewni.

Wśród zbiorników małej retencji występują także wykorzystywane na cele hodowli ryb oraz rekreacyjne lub jako kąpieliska (urządzone lub zwyczajowe). W przypadku intensywnego wykorzystywania w takich celach pojawić się mogą objawy zanieczyszczenia wody, nawet w przypadku małej istotności zagrożeń z obszaru zlewniowego. Jakość małych zbiorników, w tym zwłaszcza oczek wodnych jest jednak rzadko monitorowana. Niewielki Zbiornik Sośnie utworzony został w dolinie Młyńskiej wody (dopływ Baryczy) przez przebudowę istniejącego wcześniej zamulonego stawu. Zasilanie go wodą rzeczną następuje jedynie sporadycznie i nie wykazuje znaczącego wpływu na jakość wody zbiornika. Pomimo to zaznacza się tam systematycznie rozwijający się proces eutrofizacji, z masowym zakwitem glonów w okresie wiosennym. Jako przyczyna wskazywana jest gospodarka rybacka oraz źródła wewnętrzne nutrientów ze zretencjonowanej w zbiorniku materii organicznej (WIOŚ 2004a). Podobne badania wykonane zostały na trzech stawach miejskich w Nowej Soli (WIOŚ 2004b). Staw Kacza Górka jest płytkim zbiornikiem przepływowym, zasilanym przez niewielki ciek wypływający z innego zbiornika miejskiego. Jest on silnie zeutrofizowany, z silnym zakwitem fitoplanktonu zdominowanego przez sinice. Przezroczystość wody w okresie letnim osiąga zaledwie 0,2 m, a w strefie przydennej stabilizują się warunki beztlenowe – co ułatwia uwalnianie dużych ilości fosforu z osadów dennych. W stawie Kocie Oko stopień eutrofizacji okazał się mniejszy, niemniej jednak w okresie letnim zawartość fosforu wzrasta kilkukrotnie. Zbiornik wykorzystywany jest jako zwyczajowe kąpielisko sezonowe. Innym badanym w Nowej Soli zbiornikiem był Trzeci Staw – bezodpływowy, sięgający do 8 m głębokości. Wykorzystywany jest jako kąpielisko zorganizowane. Wskutek większej głębokości zaznacza się tam w okresie letnim obecność metalimnionu, w obrębie którego stwierdzony był brak tlenu, a w warstwie naddennej wyczuwalny był siarkowodor. Proces eutrofizacji zaznacza się wyraźnym zakwitem fitoplanktonu w okresie letnim.

### Uwagi końcowe

Szybka eutrofizacja zbiorników małej retencji funkcjonujących w warunkach nieuporządkowanej gospodarki ściekowej w zlewni stawia pod znakiem zapytania sensowność ich budowy. Ściślej zaś biorąc wskazać należałoby na konieczność działań wyprzedzających, mających na celu ochronę zbiornika przed eutrofizacją. Lampert i Sommer (2001) wskazują, że w przypadku zagrożenia jeziora ładunkami zrzucanych ścieków uzasadnionym jest przerzucanie ich do odpływu z jeziora (np. rowami opaskowymi). Zakłada się bowiem, że dopływ biogenów do cieków nie ma tak poważnych konsekwencji, jak w przypadku jezior. Związane to jest ze znacznie mniejszym znaczeniem autochtonicznej produkcji pierwotnej w ciekach. Tymczasem budowa zbiornika małej retencji zwykle nie jest poprzedzana radykalną redukcją zrzutów biogenów. Poniesione koszty związane z budową zbiornika nie są zatem uzasadnione. Redukcja ładunków biogenów jest bowiem i tak w późniejszym okresie wymuszana. Pojawiają się przy tym dodatkowe koszty związane z rekultywacją zbiornika, a jego istnienie nie przynosi spodziewanych efektów – przynajmniej w odniesieniu do niektórych zakładanych funkcji. Odnieść można wrażenie, że stan taki jest spowodowany całkowicie oddzielnym traktowaniem kwestii budowy zbiornika oraz porządkowania gospodarki ściekowej w zlewni. Dotyczy to nie tylko zbiorników wybudowanych w poprzednich dekadach, ale i powstałych w ostatnich latach. Na Dolnym Śląsku przykładem takim jest zbiornik małej retencji wybudowany niedawno na Widawie w Michalicach.

Z przedstawionego obrazu widać, że kwestia zagrożenia szybką eutrofizacją zbiorników małej retencji wynika z nieprawidłowego ich planowania, a nie z niewiedzy. Miejsc nadających się pod budowę zbiornika małej retencji jest niewiele, z różnych powodów. Zatem wybudowanie go w warunkach istnienia nieuporządkowanej gospodarki ściekowej w zlewni oznacza obok marnotrawstwa pieniędzy, także marnowanie lokalizacji. Powstały obiekt może się stać uciążliwym dla środowiska oraz w utrzymaniu. Pod wieloma względami pełni funkcje biologicznej oczyszczalni ścieków, o mocno ograniczonych możliwościach kontroli procesu.

Budowa zbiorników małej retencji jest inwestycją o wieloletnim czasie realizacji. Ich funkcjonowanie obejmuje następnie przynajmniej dziesiątki lat. Niepojętym jest zatem, iż nie wdraża się regulacji gospodarki ściekowej w zlewni przyszłego zbiornika na etapie jego planowania. Dotyczy to także planowania budowy zbiorników wstępnych, nazywanych niekiedy ekologicznymi. Ich budowa jest rozpatrywana zwykle dopiero po realizacji zbiornika głównego, gdy rozwijać się zaczyna



eutrofizacja jego wody. W niektórych przypadkach jako uwarunkowanie lokalizacyjne brać można pod uwagę wcześniejsze istnienie niewielkiego zbiornika, mogącego pełnić funkcje ekologiczne wobec planowanego zbiornika głównego. W każdym innym przypadku wybór lokalizacji powinien obejmować ocenę możliwości budowy zbiornika wstępnego. Poza funkcjami ekologicznymi pełni on może także funkcje redukujące transport zawieszin i rumowiska dennego w piętrowym cieku, co znacznie powinno zmniejszać tempo załadownienia oraz zbytniego wypłylenia zbiornika głównego. Sedymentacja w małych zbiornikach jest oceniana w literaturze jako istotna w porównaniu ze zbiornikami dużymi (Vörösmarty i in. 2003, Smith i in. 2002), ze względu na ich dużą ilość oraz pełnienie roli pierwszego zbiornika sedymentacyjnego w odniesieniu do źródeł materiału.

Poprawa stanu istniejącego wymaga wielostronnych działań – obok inwestycji prośrodowiskowych, także działań organizacyjnych. W opracowaniach ekofizjograficznych większa uwaga powinna być kierowana na oceny zagrożeń dla sygnalizowanych inwestycji związanych z budową zbiorników małej retencji. Jej skuteczność powinna być zwiększana wyprzedzającymi badaniami zlecanymi przez jednostki samorządowe. Zwykle bowiem okazuje się, że wykonujący opracowanie ekofizjograficzne dysponuje zbyt szczupłym materiałem dokumentacyjnym, a zebranie pełnej dokumentacji wymaga z kolei prowadzenia długotrwałych, odrębnych badań. Gminy powinny częściej zatrudniać kwalifikowanych ekologów, a ci z kolei powinni być kierowani na różnorodne, podyplomowe kursy prowadzone przez specjalistów różnych dziedzin praktycznych.

### **Small retention ponds and reservoirs – the problems of functioning**

#### **Summary**

The eutrophication of small retention reservoirs in Poland in many cases is so intensive, that their proper functioning is doubtful or actually impossible. The reduction of the pollutant loads from its basins is inevitable, in order to improve the quality of water and its ecology. In Poland small reservoirs are located mostly in rural areas, under the influence of agricultural pollutant sources and domestic sewage. Nutrient wash out from rural settlements are probably important source of nutrients in Poland – specially by flushing out of domestic animals and poultry excrements. The main problem is reduction of P and N supply as the key elements in eutrophication. It should be done before the reservoir is built. In some cases prereservoirs are good solution, if necessary.

#### **Literatura**

- Boers P.C.M., Van Raaphorst W., Van der Molen D.T., 1998, Phosphorus retention in sediments, *Wat. Sci. Tech.* 37, 3, s. 31-39.
- Bootsma M.C., Barendregt A., van Alphen J.C.A., 1999, Effectiveness of reducing external nutrient load entering a eutrophicated shallow lake ecosystem in the Naardermeer nature reserve, *The Netherlands, Biological Conservation* 90, s. 193-201.
- Breemen van L.W.C.A., Ketelaars H.A.M., Hoogenboezem W., Medema G, 1998, Storage reservoirs – a first barrier for pathogenic micro-organisms in the Netherlands, *Wat. Sci. Tech.* 37, 2, s. 253-260.
- Camargo J.A., Alonso Á., de la Puente M., 2005, Eutrophication downstream from small reservoirs in mountain rivers of Central Spain, *Water Res.* 39, s. 3376-3384.
- EEA, 2003a, Wody europejskie: Ocena oparta na wskaźnikach, podsumowanie, Europejska Agencja Środowiska (EEA), Environmental issue report No. 34, Kopenhaga, ss. 24.
- EEA, 2003b, Stan wód Europy, Europejska Agencja Środowiska (EEA), EEA Briefing 1, Kopenhaga.
- Forsberg C., 1998, Which policy can stop large scale eutrophication? *Wat. Sci. Tech.* 37, 3, s. 193-200.
- Holas J., Holas M., Chour V., 1999, Pollution by phosphorus and nitrogen in water streams feeding the Zelivka drinking water reservoir, *Wat. Sci. Tech.* 39, 12, s. 207-214.
- Kawara O., Yura E., Fujii S., Matsumoto T., 1998, A study on the role of hydraulic retention time in eutrophication of the Asahi River Dam reservoir, *Wat. Sci. Tech.* 37, 2, s. 245-252.
- Lampert W., Sommer U., 2001, *Ekologia wód śródlądowych*, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa.
- Lau S.S.S., Lane S.N., 2002, Biological and chemical factors influencing shallow lake eutrophication: a long-term study, *The Science of the Total Environment* 288, s. 167-181.

- Leaf S.S., Chatterjee R., 1999, Developing a strategy on eutrophication, *Wat. Sci. Tech.* 39, 12, s. 307-314.
- Lijklema L., 1995, Development and eutrophication: experiences and perspectives, *Wat. Sci. Tech.* 31, 9, s. 11-15.
- Pütz K., Benndorf J., 1998, The importance of pre-reservoirs for the control of eutrophication of reservoirs, *Wat. Sci. Tech.* 37, 2, s. 317-324.
- Smith S.V., Renwick W.H., Bartley J.D., Buddemeier R.W., 2002, Distribution and significance of small, artificial water bodies across the United States landscape, *The Science of the Total Environment* 299, s. 21-36.
- Vörösmarty Ch.J., Meybeck M., Fekete B., Sharma K., Green P., Syvitski J.P.M., 2003, Anthropogenic sediment retention: major global impact from registered river impoundments, *Global and Planetary Change* 39, s. 169-190.
- Wagner I., Zalewski M., 2000, Effects of hydrological patterns of tributaries on biotic processes in a lowland reservoir – consequences for restoration, *Ecological Engineering* 16, s. 79-90.
- WIOŚ, 2004a, Stan czystości zbiorników retencyjnych w południowej Wielkopolsce na podstawie badań monitoringowych w latach 1997-2003, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Kalisz.
- WIOŚ, 2004b, Informacja o jakości wód stawów położonych na terenie miasta Nowa Sól o zwyczajowych nazwach: Kacza Górka, Kocie Oko, Trzeci Staw, Zielona Góra.
- WIOŚ, 2004c, Raport o stanie środowiska w województwie dolnośląskim w 2003 r., Biblioteka Monitoringu Środowiska, Wrocław.

**Uniwersytet Wrocławski**  
**Instytut Geografii i Rozwoju Regionalnego,**  
**Zakład Geografii Fizycznej**  
**pl. Uniwersytecki 1**  
**50-137 Wrocław**  
**bieroński@geogr.uni.wroc.pl**