

Andrzej SKWIERAWSKI¹

STAN ZANIECZYSZCZENIA RENATURYZOWANEGO JEZIORA SAWĄG ZWIĄZKAMI AZOTU I FOSFORU

CONTAMINATION OF RENATURISED LAKE SAWAG BY NITROGEN AND PHOSPHORUS COMPOUNDS

Abstrakt: Celem pracy była ocena stanu przekształconego jeziora Sawąg, położonego na Pojezierzu Olsztyńskim. Obiekt należy do jezior, które w XIX wieku zostały osuszone z przeznaczeniem na grunty rolnicze. Wcześniej jezioro miało powierzchnię około 230 ha, co kwalifikuje je jako największe odwodnione jezioro Pojezierza Olsztyńskiego. Po osuszeniu teren zagłębienia utrzymywany był jako łąki aż do lat 90. XX w., kiedy zbiornik zaczął się stopniowo odtwarzać w wyniku pogorszenia się drożności urządzeń melioracyjnych. Obecnie jezioro Sawąg składa się z trzech oddzielnych akwenów o łącznej powierzchni 106 ha. Obiekt charakteryzuje się rolniczym użytkowaniem zlewni, co przy niewielkiej głębokości zbiornika powoduje jego znaczne zagrożenie degradacją. Badania prowadzono w ciągu 3 lat hydrologicznych 2008-2010 i objęto nimi 3 akweny, z których współcześnie składa się jezioro Sawąg: północny (62 ha), centralny (14 ha) i południowy (30 ha). Próbki wody do badań pobierano 8-krotnie w każdym roku i oznaczano w nich: azotany(III), azotany(V), azot amonowy, azot ogólny oraz fosfor ogólny i fosforany rozpuszczone. Dodatkowo oznaczano stężenie tlenu, odczyn, przewodność elektrolityczną, chlorofil *a* i mętność. Badania wykazały, że stan jeziora Sawąg po przywróceniu zwierciadła wody był niekorzystny. Wszystkie akweny cechowały się wysoką przewodnością elektrolityczną (średnio $405 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) i ogromnym nadmiarem związków fosforu w ekosystemie ($0,33 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$), a przez to tendencją do intensywnych zakwitów fitoplanktonu. Przykład jeziora Sawąg wskazuje, że renaturyzacja dawnych jezior, obok wielu korzyści (ochrona zasobów wodnych, walory krajobrazowe, wędkarstwo i inne), przynosi również poważny problem utrzymania ich stanu ekologicznego.

Słowa kluczowe: renaturyzacja jezior, zlewnia rolnicza, azot, fosfor, eutrofizacja

Wstęp

Płytkie jeziora (tzw. polimiktyczne) stanowią powszechny typ zbiorników wodnych w pojeziernej strefie północnej Polski [1]. Płytkie zbiorniki od jezior głębokich odróżnia szereg cech funkcjonalnych, a w szczególności brak stratyfikacji termicznej w okresie letnim [2, 3]. Większość różnic skutkuje tym, że płytkie jeziora generalnie charakteryzują się wysoką podatnością na degradację [3, 4]. Wynika to zarówno z niekorzystnego układu czynników wewnętrznych (mała głębokość i objętość wody, kontakt wody z osadami dennymi, resuspensja osadów pod wpływem falowania wody i działalności organizmów bentosowych), jak i ze skutków oddziaływań zewnętrznych (dopływ materii ze zlewni), napędzających proces eutrofizacji. W płytkich jeziorach nie układa się letnie uwarstwienie termiczne, charakterystyczne dla jezior głębszych, w wyniku czego cała objętość wody ulega mieszanii. Powoduje to oddziaływanie całej powierzchni osadów jako strefy tzw. dna aktywnego, w której obrębie zachodzą procesy wymiany składników w układzie osad-woda. Płytkie jeziora są również narażone na procesy resuspensji, wzmagającej proces zasilania wewnętrznego, czyli przemieszczania się biogenów z osadów dennych do wody [5].

¹ Katedra Melioracji i Kształtowania Środowiska, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, pl. Łódzki 2, 10-719 Olsztyn, tel. 89 523 43 14, email: andrzej.skwierawski@uwm.edu.pl

Funkcjonowanie płytkich jezior opisuje teoria alternatywnych stanów stabilnych [6-8], wg której ekosystem wodny może w sposób trwały wykształcić się w formie zdominowanej przez fitoplankton (stan stabilny mętnej wody) lub przez makrofity (stan czystej wody). W przypadku jezior bardzo żyznych klimatu umiarkowanego pożądany stan makrofitowy z dominacją roślinności zanurzonej jest mało prawdopodobny [3, 7]. Jego uzyskanie w zdegradowanych jeziorach jest możliwe jedynie na drodze radykalnych działań ograniczających ładunek zewnętrzny, wspomaganych zastosowaniem zabiegów rekultywacyjnych (biomanipulacja, inaktywacja fosforu), mających na celu przełamanie dominacji fitoplanktonu w ekosystemie [9].

Celem pracy była ocena stanu przekształconego jeziora Sawąg, położonego na Pojezierzu Olsztyńskim. Obiekt należy do jezior, które w XIX wieku zostały osuszone z przeznaczeniem na grunty rolnicze. Częściowe odtworzenie jeziora nastąpiło stosunkowo niedawno, przeprowadzone badania mogą zatem stanowić ilustrację procesów kształtowania się stanu troficznego, zachodzących w początkowej fazie ponownego istnienia zbiornika.

Materiał i metody badań

Obiektem badań było jezioro Sawąg, położone w gm. Świątki na Pojezierzu Olsztyńskim (53°58'36'' N, 20°18'51'' E). Jezioro to, podobnie jak wiele innych, w XIX wieku zostało osuszone z przeznaczeniem na grunty rolnicze. Przed osuszeniem posiadało znacznie wyższe od obecnego położenie zwierciadła wody i powierzchnię około 230 ha, co kwalifikuje je jako największe odwodnione jezioro Pojezierza Olsztyńskiego [10]. Na archiwalnych mapach obiekt zaznaczony jest jako jezioro Sawanna (XVIII w.), a później Sawąg lub Łęgnowskie (przed osuszeniem w XIX w.). Zabiegi osuszające zostały wykonane w latach 1870-71 i doprowadziły do całkowitego zaniku jeziora. Teren zagłębienia utrzymywany był jako łąki (miejscami podmokłe) aż do lat 90. XX w., kiedy zbiornik zaczął się stopniowo odtwarzać w wyniku pogorszenia się drożności urządzeń melioracyjnych. Według uzyskanych informacji, południowa i centralna część jeziora zostały przywrócone w latach 1994-95, a część północna - około roku 2000. Oznacza to, że „nowe” jezioro Sawąg w okresie objętym badaniami stanowiło jeszcze zbiornik w początkowej fazie istnienia, co odzwierciedlał charakter samego akwenu i jego otoczenia, w szczególności słaby rozwój roślinności wodnej i szuwarowej.

Współcześnie obiekt badań ma powierzchnię 106 ha i składa się z trzech wyraźnie od siebie oddzielonych akwenów, połączonych systemem rowów otwartych: północnego (62 ha), centralnego (14 ha) oraz południowego (30 ha), położonych na wysokości 109 (akwen pn) i 109,5 m n.p.m. (część pd i centralna).

Obszar zasilania całego zagłębienia po dawnym jeziorze ma powierzchnię 755 ha i w 90% jest użytkowany rolniczo. Zlewnie cząstkowe pod względem powierzchni rozdzielone są proporcjonalnie na 3 części obecnie istniejących akwenów. W północnej części zlewni znajdują się tereny zabudowane, stanowiące 4,3% tej części obszaru zasilania jeziora. W obrębie zlewni mieści się w całości licząca 400 mieszkańców wieś Łęgno oraz należące do niej administracyjnie osiedle po byłym Państwowym Gospodarstwie Rolnym. Z okolic tych zabudowań do części północnej dopływa ciek, który obok spływów obszarowych stanowi główne źródło zanieczyszczenia jeziora. Zalesienie zlewni jest

niewielkie (4%) i sprowadza się do kępy leśnej w centralnej części obiektu (dawnej wyspy na jeziorze) oraz pasów wzdłuż linii brzegowej akwenu.

Badania prowadzono w ciągu 3 lat hydrologicznych 2008-2010 i objęto nimi 3 akwenty, z których współcześnie składa się jezioro Sawąg: północny, centralny i południowy. Próbkę wody do badań pobierano 8-krotnie w równomiernych odstępach czasowych w każdym roku, pozyskując po 2 próbki z sezonu wiosennego, letniego, jesiennego i zimowego. W wodzie oznaczano: azotany(III), azotany(V), azot amonowy, azot ogólny oraz fosfor ogólny i fosforany rozpuszczone. Analizy wykonano w laboratorium Katedry Melioracji i Kształtowania Środowiska UWM w Olsztynie za pomocą standardowych metod. Poza tym *in situ* przy użyciu sondy YSI6600 oznaczano temperaturę wody, koncentrację tlenu, odczyn, przewodność elektrolityczną, chlorofil *a* i mętność.

Wyniki

Przeprowadzone w latach 2008-2010 badania jeziora Sawąg wykazały jego ogólnie niekorzystny stan, zwłaszcza po kątem zasobności w fosfor, ważnej z punktu widzenia procesu eutrofizacji. Warunki środowiskowe, odzwierciedlone w wybranych parametrach jakości wody (tab. 1), wskazują, że jezioro funkcjonowało jako ekosystem o zaburzonych warunkach przy jednocześnie stabilnym przebiegu zmian średnich wartości badanych parametrów w kolejnych latach. Jezioro cechowało się dobrymi warunkami tlenowymi, jednak z wyraźną tendencją pojawiania się znacznego przesylenia wody w różnych sezonach. Skrajnie wysokie zanotowane wartości kształtowały się na poziomie 150% w zbiorniku południowym, 172% w części centralnej i 200% w akwenu północnym. Nasylenie tlenem we wszystkich pobranych próbkach przekraczało 70%, w tym również w okresach zimowych. W badanych akwenach na skutek występowania znacznej ilości fitoplanktonu, utrzymującej się również w miesiącach chłodnych, nie zanotowano zjawiska tzw. przyduchy zimowej, charakteryzującej zbiorniki skrajnie przeżyźnione.

Tabela 1
Średnie wartości wybranych wskaźników w wodzie akwenów południowego (PD), centralnego (CENTR) i północnego (PN) jeziora Sawąg w latach 2008-2010

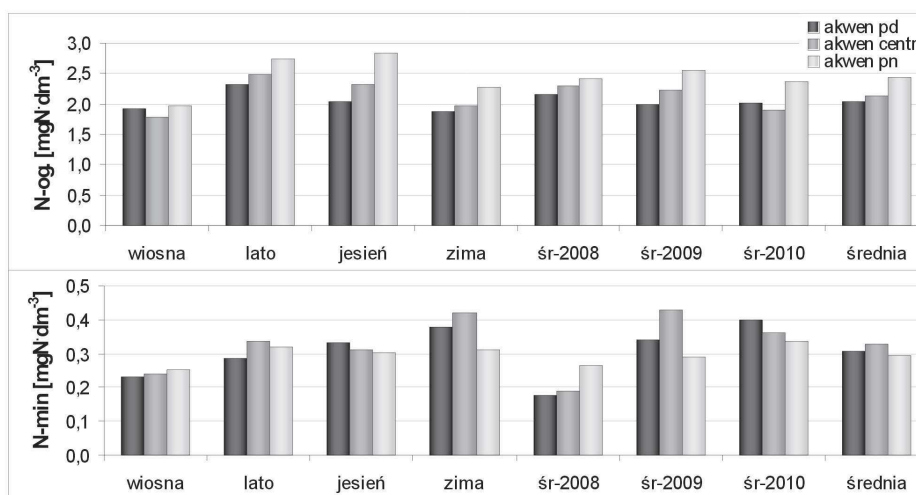
Table 1
Average values of water chosen quality parameters in the southern (PD), central (CENTR) and northern (PN) parts of Sawag lake in the period 2008-2010

Wskaźnik	Akwen / rok								
	PD			CENTR			PN		
	2008	2009	2010	2008	2009	2010	2008	2009	2010
Tlen [%]	90,4	109,4	103,2	108,0	93,9	98,1	87,1	124,7	110,6
pH	8,21	7,88	7,98	8,28	7,85	7,84	8,22	7,90	7,95
Przewodność elek. [$\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$]	417	425	404	386	413	412	428	382	377
Chlorofil <i>a</i> [$\mu\text{g} \cdot \text{dm}^{-3}$]	34,9	29,9	21,5	33,8	26,1	30,1	26,3	40,4	32,2
Mętność [NTU]	6,2	6,1	13,6	6,9	5,4	7,9	7,8	11,6	14,5

W wodzie zanotowano małą zmienność przewodności elektrolitycznej w poszczególnych latach oraz niewielkie zróżnicowanie tego wskaźnika pomiędzy poszczególnymi częściami jeziora. Stwierdzone wartości były jednak ogólnie wysokie

i odzwierciedlały rolniczy charakter zlewni oraz polimiktyczny charakter zbiornika. Zgodnie z kryteriami oceny jakości wód jeziornych [11], przewodność wody we wszystkich częściach jeziora, a także średnio w każdym sezonie osiągnęła wartości pozaklasowe ($>350 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$). Wartości średnie w całym okresie badań ($416 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ w zbiorniku południowym, $404 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ w części centralnej i $396 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ w akwenu północnym) były znacznie wyższe niż zanotowane w jeziorze Nowe Włóki, podobnym pod względem historii przekształceń (również osuszone w XIX w, a następnie odtworzone), w którym średnia przewodność 20 lat po jego odtworzeniu kształtowała się na poziomie $233 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ [12].

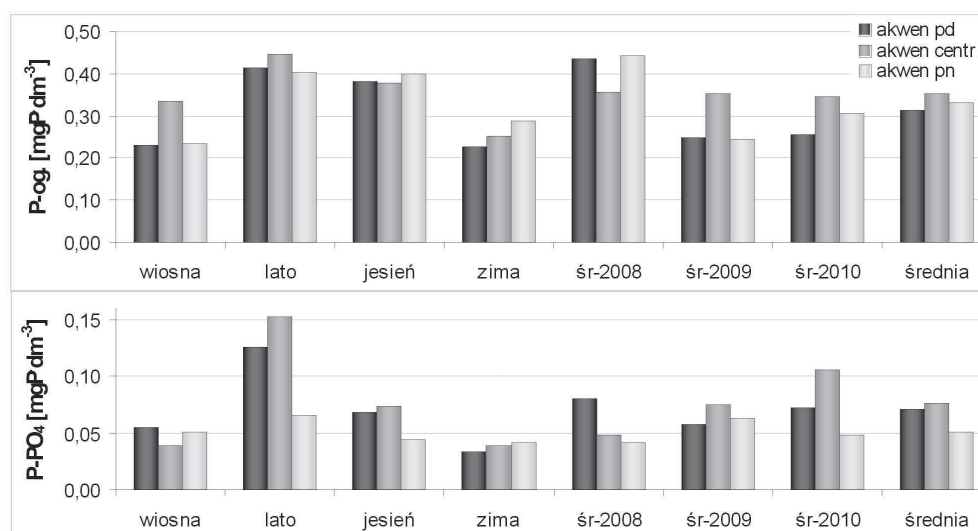
Badany zbiornik cechował się znacznym stężeniem chlorofilu *a* w wodzie, a uzyskane wartości były wyrównane w ciągu 3 lat obserwacji. Średnia koncentracja na poziomie około $30 \mu\text{g} \cdot \text{dm}^{-3}$ świadczy o wysokiej żyzności zbiornika. Poziom tego składnika był wyrównany we wszystkich akwenach i nie odbiegał znacząco od średniej w poszczególnych sezonach. Wysoka koncentracja chlorofilu utrzymywała się w jeziorze Sawąg również w miesiącach zimowych, pod pokrywą lodową. Jezioro ogólnie można scharakteryzować jako zbiornik o bardzo wyraźnie wykształconym stanie stabilnym fitoplanktonowym z dominacją sinic jako producentów pierwotnych w ekosystemie. Spośród analizowanych wskaźników odzwierciedlała to mętność wody, utrzymująca się na wysokim poziomie - wyrównanym w latach 2008 i 2009 oraz znacznie wyższa w 2010 roku (tab. 1). W ostatnim roku badań, w sezonie letnim, przy temperaturze wody powyżej 25°C , mętność spowodowana obecnością zakwitów sinicowego osiągnęła swoje maksymalne wartości we wszystkich akwenach: 38,6 NTU w zbiorniku południowym, 19,2 NTU w części centralnej i 42,9 NTU w części północnej. W akwenu północnym w tym okresie widzialność krążka Secchiego spadła do poziomu 0,35 m.



Rys. 1. Koncentracja azotu ogólnego (N-og.) i mineralnego (N-miner) w wodzie trzech części jeziora Sawąg - wartości sezonowe, roczne oraz średnie z całego okresu obserwacji (2008-2010)

Fig. 1. Concentrations of total nitrogen (N-og.) and mineral nitrogen (N-miner) in water of lake Sawąg: seasonal, annual and average 3-years values (2008-2010)

Woda jeziora Sawąg wykazywała umiarkowanie wysoką zasobność w związku azotu. Średnie koncentracje azotu ogólnego nieznacznie przekroczyły wartość graniczną wód pozaklasowych i kształtowały się na poziomie $2,05 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ w południowej, $2,13 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ w centralnej i $2,44 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ w północnej części zbiornika (rys. 1). Wyraźnie wyższa średnia koncentracja azotu w części północnej mogła być konsekwencją najmniej korzystnej struktury użytkowania zlewni (obecności terenów zabudowanych) oraz krótszego okresu istnienia zbiornika w porównaniu do pozostałych akwenów. Stwierdzone wysokie koncentracje w okresie letnim i jesienią były konsekwencją występowania intensywnych zakwitów sinicowych. W tym okresie (lato, jesień) niemal 90% azotu występowało w formie organicznej. Azot mineralny w zbiorniku osiągnął średni poziom $0,31 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ i przeciętnie w 2/3 tworzyła go forma amonowa. W przeciwieństwie do fosforu umiarkowany poziom (II klasa jakości wód) utrzymywał się także w okresie wegetacyjnym. Podobnie jak we wcześniej badanym jeziorze Nowe Włóki [13], najniższe stężenia azotu mineralnego występowały wiosną, przy czym w jeziorze Sawąg poziom azotu mineralnego był znacznie niższy we wszystkich porach roku.



Rys. 2. Koncentracja fosforu ogólnego (P-og.) i fosforanowego (P-PO₄) w wodzie trzech części jeziora Sawąg - wartości sezonowe, roczne oraz średnie z całego okresu obserwacji (2008-2010)

Fig. 2. Concentrations of total phosphorus (P-og.) and phosphate-P (P-PO₄) in water of lake Sawąg: seasonal, annual and average 3-years values (2008-2010)

Pod względem fosforu poziom graniczny dla wód pozaklasowych ($0,20 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$) został w jeziorze Sawąg znacznie przekroczony. Średnia koncentracja z okresu trzech lat badań wynosiła $0,31 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ w części południowej, $0,35 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ w centralnej i $0,33 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ w akwenu północnym (rys. 2). Przeciętnie 80% fosforu w wodzie występowało w formie organicznej, a mimo to stwierdzono utrzymywanie się wysokich zasobów fosforu fosforanowego w okresie lata i jesieni. Wskazuje to na ogromny nadmiar fosforu w obiegu i brak możliwości zaistnienia warunków limitowania produkcji

pierwotnej w wyniku niedoboru zasobów tego pierwiastka. Taki mechanizm mógłby powstrzymać zjawisko masowego rozwoju fitoplanktonu [7]. Średnia koncentracja fosforu była wyższa o niemal 50% w porównaniu do jeziora Nowe Włóki [13] i w przeciwieństwie do tego zbiornika, bardzo wysokie wartości w jeziorze Sawąg, oprócz okresu letniego, utrzymywały się również w sezonie jesiennym. W przypadku jeziora Sawąg nadmiar fosforu wydaje się głównym czynnikiem uniemożliwiającym samoistną poprawę stanu jeziora w dalszym okresie po odtworzeniu. Według danych literaturowych [14], koncentracja fosforu na poziomie nieprzekraczającym $0,10 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ jest uważana za warunek niezbędny do uzyskania i utrzymania stanu czystowodnego. W wodzie jeziora Sawąg ten poziom przekroczony był ponad 2-krotnie wiosną i zimą, a w sezonie letnim i jesiennym dochodził nawet do $0,40 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ we wszystkich trzech akwenach (rys. 2).

Jezioro Sawąg po ponad 100 latach osuszania zostało w około 50% przywrócone w porównaniu do swojego pierwotnego zasięgu. W okresie prowadzonych badań części zbiornika funkcjonowały przez krótki okres od odtworzenia: akwen południowy i centralny - 12-13 lat oraz zaledwie 7 lat w przypadku części północnej. Wyniki wskazują jednoznacznie, że jezioro w tym okresie wykształciło się jako ekosystem zdominowany przez fitoplankton z niewielkim znaczeniem makrofitów jako producentów pierwotnych. Stan fitoplanktonowy w jeziorze Sawąg wydaje się stabilny w efekcie utrzymywania się wysokiego nadmiaru fosforu w ekosystemie. Świadczy o tym stan troficzny wyznaczony na podstawie tego składnika, charakteryzujący w analizowanym okresie wszystkie części jeziora jako skrajnie przeżyźnione - hipertroficzne (tab. 2).

Tabela 2

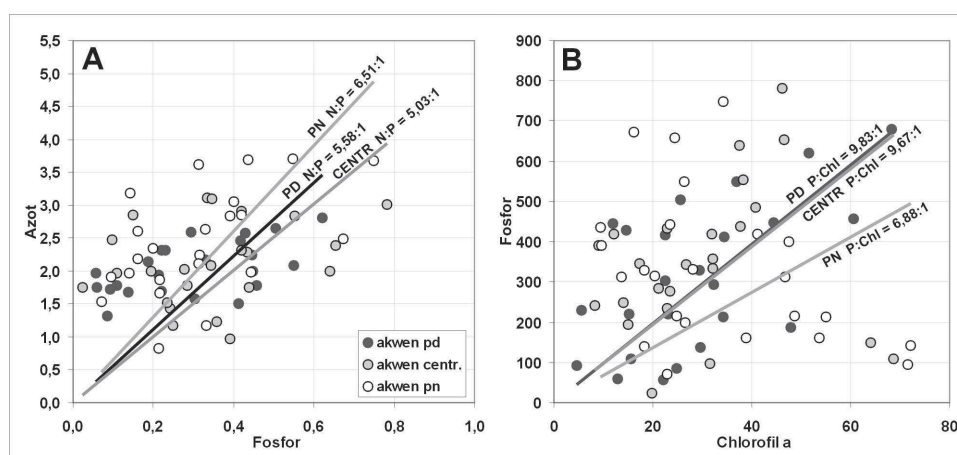
Stan troficzny trzech części jeziora Sawąg w latach 2008-2010: południowej (PD), centralnej (CENTR.) i północnej (PN), na podstawie kryteriów Nurnberga [1996]; oznaczenia stanów troficznych: E - eutrofia, P - politrofia, H - hipertrofia (>100% powyżej granicy politrofii)

Table 2

Trophic state of three basins of lake Sawąg in the period 2008-2010: south (PD), central (CENTR.) and north part (PN), according to Nurnberg [1996] criteria; trophic state symbols: E - eutrophic, P - polytrophic, H - hypertrophic (>100% above polytrophly bound)

Obiekt	Okres	N-og. (wiosna)		P-og. (wiosna)		Chl. <i>a</i> - śr.		Chl. <i>a</i> - max	
		wartość	stan	wartość	stan	wartość	stan	wartość	stan
PD	Średnia 2008-10	1,93	P	0,23	H	28,8	P	54,2	E
	2008	2,12	P	0,45	H	34,9	P	68,3	E
	2009	1,91	P	0,16	P	29,9	P	42,8	E
	2010	1,77	P	0,08	E	21,5	E	51,5	E
CENTR.	Średnia 2008-10	1,79	P	0,34	H	30,0	P	59,8	E
	2008	2,02	P	0,44	H	33,8	P	64,0	E
	2009	1,48	E	0,24	H	26,1	P	46,6	E
	2010	1,88	P	0,33	H	30,1	P	68,7	E
PN	Średnia 2008-10	1,97	P	0,23	H	33,0	P	49,3	E
	2008	2,05	P	0,38	H	26,3	P	47,7	E
	2009	1,60	P	0,14	P	40,4	P	46,7	E
	2010	2,27	P	0,18	P	32,2	P	53,6	E

O nadmiarze fosforu w ekosystemie badanego jeziora świadczy również obniżona poniżej naturalnego stanu relacja N : P oraz wysoki średni stosunek stężenia fosforu do koncentracji chlorofilu *a*. Jako wartość graniczną, umożliwiającą przemianę jeziora pomiędzy stanami stabilnymi (fitoplanktonowym i makrofitowym), przyjmuje się stosunek P : Chl. na poziomie 3 : 1 [6, 7]. W jeziorze Sawąg relacja ta była silnie przesunięta w kierunku fosforu, utrzymywała się przeciętnie na poziomie 8,64 : 1 (rys. 3). Akweny południowy i centralny pod tym względem wykazywały bardzo wysokie podobieństwo (P : Chl 9,83 i 9,67), natomiast część północna wyraźnie odbiegała pod tym względem od pozostałych (P : Chl 6,88 : 1). Taka relacja może być kolejnym dowodem nadmiaru fosforu w ekosystemie i wskazuje na trwałość wykształconego fitoplanktonowego stanu stabilnego w jeziorze.



Rys. 3. Stosunek azotu do fosforu (N : P) i fosforu do chlorofilu *a* (P : Chl) w poszczególnych częściach jeziora Sawąg

Fig. 3. Relations of nitrogen to phosphorus (N : P) and phosphorus to chlorophyll *a* (P : Chl) in lake Sawąg

Poprawa stanu płytkich jezior jest trudna do osiągnięcia, gdyż oprócz opanowania źródeł zewnętrznych musi również uwzględniać konieczność ograniczenia procesu zasilania wewnętrznego [3]. Opracowania dotyczące takich zbiorników podkreślają konieczność eliminacji zakwitów wody (uzyskania tzw. stanu czystej wody). Stan taki wykształca się w jeziorach, w których rolę głównej grupy producentów pierwotnych stanowią makrofity, w szczególności roślinność zanurzona. W jeziorze Sawąg w okresie badań bezwzględna dominację wykazywał jednak fitoplankton z przeważającym udziałem sinic, co z punktu widzenia przełamania stanu „mętnej wody” stanowi jeden z najtrudniejszych przypadków. Obserwacje pozwoliły na stwierdzenie masowego rozwoju sinic w okresie miesięcy letnich i jesiennych, co skutkowało wzrostem mętności wody przy jednocześnie wysokim poziomie i niewielkich zmianach koncentracji chlorofilu *a*.

Zasilanie wewnętrzne i zakwity fitoplanktonu mogą w płytkich jeziorach niweczyć efekt ochrony metodą ograniczenia zanieczyszczeń ze źródeł zewnętrznych. Przemieszczanie się biogenów z zasobnych osadów do wody staje się wówczas główną

drogą dostawy biogenów dla producentów pierwotnych. Masowy rozwój fitoplanktonu dodatkowo prowadzi do nasilenia tego procesu. W wyniku asymilacji biogenów następuje ich wyczerpywanie (zwłaszcza fosforu) z wody, a powstające deficyty uruchamiają proces „wypompowywania” na drodze dyfuzji dodatkowych ilości z osadów [15].

Odtworzone jeziora stanowią specyficzny przykład ekosystemów płytkich jezior [3]. W początkowym okresie po przywróceniu takich zbiorników na obszarach rolniczych istnieje wysokie prawdopodobieństwo zaistnienia fitoplanktonowego stanu stabilnego, bardzo trudnego do przełamania ze względu na dużą dostawę biogenów ze zlewni i tzw. efekt histerezy ekosystemu, utrwalający zaistniałą równowagę [16]. Wyniki przeprowadzonych badań wskazują, że jezioro Sawąg znalazło się w takiej „pułapce eutrofizacji” i samoistna poprawa jego stanu w miarę postępu dalszej naturalnej ewolucji może być trudna do uzyskania.

Wnioski

1. Jezioro Sawąg, objęte obserwacjami w latach 2008-2010, znajdujące się w początkowym okresie istnienia po ponad stu latach osuszenia, charakteryzowało się niekorzystnym stanem troficznym. W wodzie stwierdzono wysokie koncentracje chlorofilu *a*, fosforu i azotu.
2. W badanym ekosystemie zaobserwowano bardzo wyraźne symptomy utrwalenia się alternatywnego stanu stabilnego fitoplanktonowego z dominacją sinic, który w płytkich jeziorach, przy wysokiej zasobności w biogeny, może utrudniać osiągnięcie pozytywnych efektów przy zastosowaniu zabiegów ochronnych, ograniczających dostawę biogenów ze zlewni.
3. Odtwarzanie dawnych, osuszonych jezior może być metodą poprawy zasobów wodnych w zlewniach rolniczych i przynosić szereg korzyści. Przykład jeziora Sawąg, największego osuszonego w XIX w. akwenu Pojezierza Olsztyńskiego, wskazuje jednak, że zbiorniki takie po przywróceniu są silnie narażone na procesy degradacji. Nadmiar fosforu w ekosystemie wydaje się głównym czynnikiem uniemożliwiającym samoistną poprawę stanu jeziora w dalszym okresie jego istnienia.

Podziękowania

Praca naukowa finansowana ze środków budżetowych na naukę w latach 2008-2010 w ramach projektu badawczego MNiSzW nr N N305069133.

Literatura

- [1] Lossow K. Znaczenie jezior w krajobrazie młodoglacjalnym Pojezierza Mazurskiego. Zesz Probl Post Nauk Roln. 1996;431:47-59.
- [2] Choiński A. Limnologia fizyczna Polski. Poznań: Wyd Nauk UAM; 2007.
- [3] Skwierawski A. Czynniki kształtujące proces eutrofizacji wód płytkich jezior i ich podatność na degradację. W: Ochrona zasobów i jakości wody w krajobrazie wiejskim. Seria: Współczesne Problemy Kształtowania i Ochr Środ 2010;1:159-174.
- [4] Tan C.O., Ozesmi U. Generic shallow lake ecosystem model based on collective expert knowledge. Hydrobiologia. 2006;563:125-142. DOI: 10.1007/s10750-005-1397-5.
- [5] Qin B, Yang L, Chen F, Zhu G, Zhang L, Chen Y. Mechanism and control of lake eutrophication. Chinese Sci Bull. 2006;51(19):2401-2412. DOI: 10.1007/s11434-006-2096-y.

- [6] Dokulil MT, Teubner K. Eutrophication and restoration of shallow lakes - the concept of stable equilibria revisited. *Hydrobiologia*. 2003;506/509:29-35. DOI: 10.1023/B:HYDR.0000008629.34761.ed.
- [7] Scheffer M. *Ecology of Shallow Lakes*. London: Chapman and Hall; 2004.
- [8] Peckham SD, Chipman JW, Lillesand TM, Dodson SI. Alternate stable states and the shape of the lake trophic distribution. *Hydrobiologia*. 2006;571:401-407. DOI: 10.1007/s10750-006-0221-1.
- [9] Jeppesen E, Meerhoff M, Jacobsen BA, Hansen RS, Sondergaard M, Jensen JP, et al. Restoration of shallow lakes by nutrient control and biomanipulation - the successful strategy varies with lake size and climate. *Hydrobiologia*. 2007;581:269-285. DOI: 10.1007/s10750-006-0507-3.
- [10] Skwierawski A. The causes, extent and consequences of lake drainage in the Olsztyn Lakeland in the 19th and early 20th century. In: *Environment Alterations - Research and Protection Methods. Contemporary Problems of Management and Environ Protect*. 2011;8:33-52.
- [11] Kudelska D, Cydzik D, Soszka H. *Wytyczne monitoringu podstawowego jezior*. Warszawa: PIOŚ, Bibl Monit Środow; 1994.
- [12] Skwierawski A. Kształtowanie się jakości wody odtworzonego polimiktycznego jeziora Nowe Włóki. *Chem Inż Ekol S*. 2006;13(2):345-354.
- [13] Skwierawski A, Cymes I. Sezonowa zmienność fosforu i mineralnych form azotu w wodzie odtworzonego płytkiego jeziora w zlewni rolniczej. *Nawozy i Nawożenie*. 2004;2(19):97-107.
- [14] Moss B. Engineering and biological approaches to the restoration from eutrophication of shallow lakes in which aquatic plant communities are important components. *Hydrobiologia*. 1990;200/201:367-378. DOI: 10.1007/BF02530354.
- [15] Nixdorf B, Deneke R. Why "very shallow" lakes are more successful opposing reduced nutrients loads. *Hydrobiologia*. 1997;342/343:269-284.
- [16] Scheffer M. Alternative stable states in eutrophic shallow freshwater systems: a minimal model. *Hydrobiol Bull*. 1989;23:73-85. DOI: 10.1007/BF02286429.

CONTAMINATION OF RENATURISED LAKE SAWAG BY NITROGEN AND PHOSPHORUS COMPOUNDS

Department of Land Improvement and Environmental Protection
University of Warmia and Mazury in Olsztyn

Abstract: The aim of study was to assess the state of the transformed lake Sawąg, located in the Olsztyn Lakeland. Sawąg belongs to the lakes, which in the nineteenth century have been dried for use as agricultural land. Previously the lake had an approximately 230 ha of area, this qualifies it as the largest lake drained in Olsztyn Lakeland. After the drying post-lake area was used as a meadow (with some wet places) until the 90^s of the XX century, when the reservoir gradually began to recreate as a result of deterioration of drainage facilities. Currently Sawąg lake consists of three separate reservoirs with a total area of 106 hectares. The object is characterized by agricultural use of the catchment basin, which at shallow reservoir makes it a significant risk of degradation. Investigations were carried out within 3 hydrological years 2008-2010 and covered all 3 basins of lake Sawąg: north (62 ha), central (14 ha) and south (30 ha). Water samples were taken 8 times each year and were determined forms of nitrogen: nitrates(III) nitrates(V), ammonia, total nitrogen, total phosphorus and dissolved phosphates. In addition, *in situ* were determined the oxygen concentration, pH, electrolytic conductivity, chlorophyll *a* and turbidity. Studies have shown unfavorable condition of the lake Sawąg after the water table re-creation. All waters were characterized by high electrolytic conductivity ($405 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$) and a large excess of phosphorus compounds in the ecosystem ($0.33 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$), and thus a tendency to intense phytoplankton blooms. Lake Sawąg example shows that the renaturation of former lakes, despite many benefits (protection of water resources, landscape values, fishing, and others), also brings a serious problem of maintaining their good ecological status.

Keywords: lake renaturation, rural catchment basin, nitrogen, phosphorus, eutrophication