

## WYBRANE PARAMETRY JAKOŚCI WÓD JEZIORA RESKO GÓRNE W WARUNKACH ICH NAPONIEWIERZANIA

**Piotr WESOŁOWSKI<sup>1)</sup>, Dorota PAWŁOS<sup>1)</sup>,  
Małgorzata BONISŁAWSKA<sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup> Instytut Technologiczno-Przyrodniczy, Zachodniopomorski Ośrodek Badawczy w Szczecinie

<sup>2)</sup> Zachodniopomorski Uniwersytet Techniczny w Szczecinie, Zakład Sozologii Wód

*Słowa kluczowe: aerator, jezioro Resko Górne,  $N_{min}$ ,  $NH_4^+$ ,  $PO_4^{3-}$ , tlen, woda*

### Streszczenie

Badania przeprowadzono w latach 2005–2008 na jeziorze Resko Górne, gmina Połczyn-Zdrój w województwie zachodniopomorskim. Celem badań prezentowanych w pracy była ocena stanu jakości wód jeziora Resko Górne na podstawie wybranych wskaźników w warunkach napowietrzania za pomocą aeratora pulweryzacyjnego. W czteroletnim okresie badań (2005–2008) nie stwierdzono wyraźnych różnic w zawartości tlenu w wodzie między punktem zlokalizowanym w pobliżu aeratora pulweryzacyjnego a oddalonymi punktami badawczymi. Jednocześnie stwierdzono, że praca aeratora pulweryzacyjnego na jeziorze nie wpłynęła na poprawę natlenienia wody w warstwach naddennych zarówno w pobliżu aeratora, jak również w oddalonych punktach badawczych. Stężenie składników biogennych w wodzie jeziora w kolejnych latach badań malało, a na podstawie uzyskanych średnich wartości w ostatnim roku (2008) wodę można zakwalifikować do II klasy czystości wód jeziorowych ze względu na zawartość  $NH_4^+$ ,  $N_{min}$ , a ze względu na zawartość fosforanów ( $PO_4^{3-}$ ) do III klasy czystości [KUDELSKA i in., 1994].

Zaobserwowane w ostatnim roku badań (2008) mniejsze stężenie jonów amonowych i azotu mineralnego w wodzie jeziora Resko Górne wynika z uporządkowania gospodarki wodno-ściekowej w gospodarstwie ekologiczno-turystycznym, położonym w sąsiedztwie jeziora.

## WSTĘP

Jeziora w Polsce stanowią atrakcyjny i bardzo pożyteczny element krajobrazu. Wpływają one korzystnie na warunki hydrologiczne, mikroklimatyczne, hydrosanitarnie i biocenotyczne. Spełniają również funkcję rekreacyjną.

Rozwój przemysłowy, jak również intensyfikacja rolnictwa, obserwowana podczas ostatnich dziesięcioleci, spowodowała przedostawanie się do rzek i jezior znacznych ilości zanieczyszczeń, powodując zwiększenie ich stężenia w wodzie, a w konsekwencji – zwiększenie żyzności zbiorników [DOJLIDO, 1995; LAMPERT, SOMMER, 1996]. Do głównych źródeł zanieczyszczeń jezior na skutek antropopresji zaliczamy: ścieki komunalne, ścieki przemysłowe, rolnictwo, opady atmosferyczne, turystykę, chów i hodowlę ryb. Eutrofizacja jezior jest najczęstszą przyczyną zakłócenia funkcjonowania ekosystemów wodnych, stanowiąc tym samym duże zagrożenie różnorodności biologicznej siedlisk słodkowodnych [HILLBRICHT-ILKOWSKA, 1989]. Proces eutrofizacji jest nierozdzielnie związany z nadmierną produkcją substancji organicznej w wodzie [STARMACH i in., 1978], co może wywołać wiele niekorzystnych skutków, jak: nadmierny rozwój glonów fitoplanktonowych („zakwity wody”), pogorszenie warunków świetlnych w strefie litoralu, masowy rozwój glonów nitkowatych i występowanie deficytów tlenu [KAJAK, 1998].

Oddziaływanie antropogeniczne na wody jezior może spowodować znaczne obciążenie wód substancjami biogennymi, zwłaszcza związkami fosforu i azotu. Ze stężeniem w wodzie różnych form fosforu łączy się ściśle występowanie zakwitów wody i – chociaż stężenie rozpuszczalnych jego form w trofogenicznych warstwach zbiorników zmniejsza się do  $1 \mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$  [STARMACH i in., 1978] – to właśnie fosfor jest uznawany za pierwiastek limitujący produkcję pierwotną [KAJAK, 1979; KALFF, 2001].

Jeziro stanowi naturalny przepływowy lub zamknięty zbiornik wody powierzchniowej, niemający większego bezpośredniego połączenia z morzem; jego częstą cechą jest strefowość, uwarunkowana różnymi czynnikami morfologicznymi, ekologicznymi i klimatycznymi [FILIPIAK, RACZYŃSKI, 2000], które decydują o kształtowaniu się jakości wody w tym zbiorniku.

Ochrona jezior przed postępującą eutrofizacją bądź spowolnienie jej skutków może odbywać się głównie przez ograniczenie lub eliminację spływu biogenów i substancji organicznej ze zlewni [LOSSOW, 1996; LOSSOW, GAWROŃSKA, 1992]. Kolejny krok w celu ochrony jezior to usunięcie następstw procesu eutrofizacji poprzez ich rewitalizację. Metody, wykorzystywane w procesie przywracania stanu równowagi w zbiorniku, możemy podzielić na metody wewnętrzne (rekultywacyjne), czyli ograniczające się do obrębu misy jeziora oraz zewnętrzne (ochronne), dotyczące ich zlewni bezpośredniej i całkowitej [LOSSOW, 1998]. Zabiegi rekultywacyjne mają na celu przywrócenie wartości użytkowych i przyrodniczych ekosystemom jeziornym. Jedną z metod rekultywacji jest napowietrzanie hypolimnionu,

a zatem polepszenie warunków tlenowych, głównie w warstwie naddennej, i utrzymanie tego stanu w sposób wymuszony [LOSSOW, 1985; PODSIADŁOWSKI, 2008; PODSIADŁOWSKI i in., 2000]. Natlenienie warstw naddennych jest warunkiem bytowania tam fauny, jak również zapobiega beztlenowemu rozkładowi materii, a w konsekwencji wydzielaniu się siarkowodoru [KUBIAK, TÓRZ, 2005; TÓRZ i in., 2003].

Celem badań prezentowanych w pracy była ocena stanu jakości wód jeziora Resko Górne na podstawie wybranych wskaźników w warunkach napowietrzania za pomocą aeratora pulweryzacyjnego.

## **OBIEKT I METODY BADAŃ**

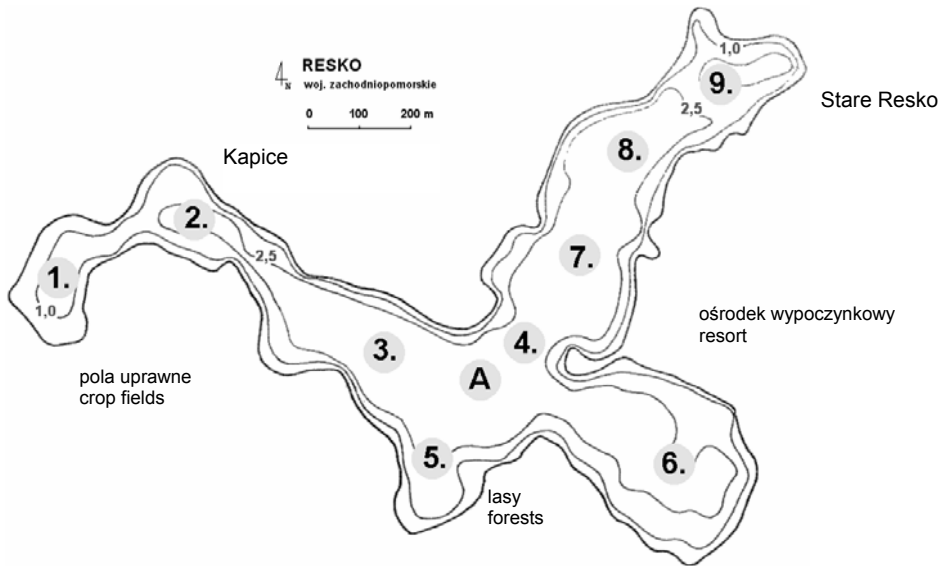
Jezioro Resko (Resko Górne) jest położone na terenie Pojezierza Drawskiego, gmina Połczyn-Zdrój. Poniżej podano wskaźniki morfometryczne badanego jeziora [Atlas..., 1997]:

- szerokość geograficzna N – 53°40,7’;
- długość geograficzna E – 15°57,9’;
- powierzchnia zlewni – 197,2 km<sup>2</sup>;
- jeziorność – 2,3%;
- retencyjność – 82 mm;
- zlewnia – Rega;
- powierzchnia zwierciadła wody – 50,7 ha;
- wysokość – 145,4 m n.p.m.;
- pojemność 1358,4 tys. m<sup>3</sup>;
- głębokość maksymalna – 5,0 m;
- głębokość średnia – 2,7 m;
- długość maksymalna – 1610 m;
- szerokość maksymalna – 1200 m;
- długość linii brzegowej – 7200 m;
- rozwinięcie linii brzegowej – 2,85;
- wskaźnik odsłonięcia – 18,8.

Na wschodnim brzegu jeziora położona jest wieś Stare Resko, a nad północno-zachodnim brzegu – wieś Kapice (rys. 1).

Po stronie wschodniej jeziora znajduje się okresowy dopływ wody (źródłiskowy odcinek Regi), a od strony północnej woda z jeziora Resko odpływa niewielkim ciekim do Regi.

Na wschodnich obrzeżach jeziora są zlokalizowane obiekty gospodarcze byłego PGR-u Resko. W gospodarstwie tym do 1990 r., poza połową produkcją roślinną, prowadzono również chów bydła mlecznego i mięsnego. W tym czasie spływy powierzchniowe oraz ścieki bytowe z tego gospodarstwa przyczyniły się do zanieczyszczenia wód jeziora, głównie fosforem, co potwierdzają MATKOWSKI i POD-



Rys. 1. Przestrzenne rozmieszczenie punktów badawczych (1–9) na jeziorze Resko Górne (woj. zachodniopomorskie), A – aerator

Fig. 1. Spatial layout of sampling points (1–9) in Lake Resko Górne, A – aerator

SIADŁOWSKI [2004]. Obecnie to gospodarstwo jest prywatne i ma charakter ekologiczno-turystyczny. Zaniechano w nim chowu bydła mlecznego i opasowego oraz trzody chlewnej. Gospodarka wodno-ściekowa została całkowicie uporządkowana.

Roślinność szuwarowa w strefie brzegowej jeziora Resko jest silnie rozwinięta, z dominacją trzciny pospolitej (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.). W strefie przybrzeżnej wyróżnia się trzynaście zróżnicowanych zbiorowisk roślinnych. Największe powierzchnie zajmują ubogie florystycznie zbiorowiska o charakterze agregacji jednogatunkowych [WESOŁOWSKI i in., 2009].

Od 2003 r. na jeziorze pracuje aerator pulweryzacyjny (fot. 1) [KONIECZNY, PIECZYŃSKI, 2006; MATKOWSKI, PODSIADŁOWSKI, 2004]. Wspomniany aerator charakteryzuje się następującymi parametrami technicznymi: wysokość 8 m, średnica tratwy 10 m, wydajność 200–800 m<sup>3</sup>·doba<sup>-1</sup>, 3–7-krotne zwiększenie natlenienia wody przepływającej przez aerator [MATKOWSKI, PODSIADŁOWSKI, 2004].

Badania na jeziorze Resko prowadzono w latach 2005–2008 w okresie od kwietnia do października. Z każdego z dziewięciu punktów oddalonych od aeratora (rys. 1) oraz jednego w pobliżu niego pobierano dwie oddzielne próbki wody do analiz chemicznych: z warstwy powierzchniowej (50 cm) i warstwy naddennej (1 m od dna). Próbkę wody pobierano za pomocą pompki zanurzeniowej GIGANT firmy GOMOR-TECHNIK. Pomiarów parametrów fizycznych temperatury (°C) i stężenia tlenu (g O<sub>2</sub>·m<sup>-3</sup>) w wodzie dokonywano za pomocą wieloparametrowego



Fot. 1. Aerator pulweryzacyjny, jezioro Resko Górne (fot. *A. Brysiewicz*)

Photo. 1. Pulverization aerator, Lake Resko Górne (photo *A. Brysiewicz*)

miernika typu Multi 3400 firmy WTW, wyposażonego w sondę tlenową typu Cellox 323. Pomiaru pH dokonywano za pomocą kombinowanej elektrody pH/redoks, zaś przewodność elektrolityczną  $EC$  ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) za pomocą naczynka konduktometrycznego typu Tetragon 325.

Wskaźniki biogenne, jak: fosforany rozpuszczone ( $\text{g PO}_4^{3-}\cdot\text{m}^{-3}$ ) oznaczono za pomocą jednoparametrowego fotometru typu PC compact firmy WTW, jony amonowe ( $\text{g NH}_4^-\cdot\text{m}^{-3}$ ) i azotany ( $\text{g NO}_3^-\cdot\text{m}^{-3}$ ) – za pomocą wieloparametrowego fotometru typu LF 205 i LF 305 firmy Slandi.

## WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

Przewodność elektrolityczna w wodzie jeziora Resko Górne w czteroletnim okresie badań (2005–2008) była zróżnicowana (tab. 1). Największą (średnia za okres IV–X) zanotowano w 2008 r. – odpowiednio dla warstwy powierzchniowej i naddennej  $230$  i  $227 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  (tab. 1). Najmniejszą średnią wartość tego parametru stwierdzono w pierwszym roku badań 2005 r. – odpowiednio  $212$  w warstwie powierzchniowej, a w warstwie naddennej w 2005 i 2007 r.  $198 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  (tab. 1). Wartości przewodności elektrolitycznej nie przekraczają  $250 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , w związku z czym mieszczą się w zakresie wymaganym dla wód pierwszej klasy czystości

**Tabela 1.** Wartości wybranych wskaźników fizyczno-chemicznych wód jeziora Resko w latach 2005–2008**Table 1.** Selected physical and chemical water quality parameters in Lake Resko in 2005–2008

Miesiące Months		pH		EC		Stężenie, g·m <sup>-3</sup> Concentration, g·m <sup>-3</sup>					
				μS·cm <sup>-1</sup>		NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>		N <sub>min</sub>		P	
		x	SD	x	SD	x	SD	x	SD	x	SD
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
2005											
IV	wp	7,45	0,10	219	10,00	0,22	0,02	0,82	0,74	0,19	0,06
	wd	7,20	0,93	204	8,00	0,28	0,06	1,35	1,41	0,24	0,10
V	wp	7,46	0,69	288	7,00	0,33	0,15	1,05	0,81	0,25	0,06
	wd	7,28	0,65	190	6,30	0,35	0,04	0,91	0,92	0,36	0,10
VI	wp	7,39	0,75	183	7,40	0,27	0,05	0,39	0,03	0,54	0,21
	wd	7,24	0,52	189	5,50	0,28	0,10	0,41	0,09	0,71	0,34
VII	wp	7,39	0,89	189	6,50	0,26	0,13	0,45	0,18	0,35	0,21
	wd	7,24	0,68	192	2,30	0,22	0,06	0,73	0,67	0,46	0,14
VIII	wp	7,49	0,15	191	5,60	0,24	0,11	0,52	0,52	0,14	0,12
	wd	7,26	0,65	197	5,50	0,28	0,08	0,65	0,23	0,22	0,07
IX	wp	7,61	0,47	221	5,60	0,25	0,06	0,38	0,05	0,23	0,08
	wd	7,28	0,46	218	4,50	0,37	0,10	0,44	0,05	0,30	0,05
X	wp	7,55	0,52	196	8,80	1,19	0,15	1,09	0,46	0,54	0,13
	wd	7,41	0,65	194	6,30	1,29	0,14	0,96	0,14	0,64	0,12
x	<b>wp</b>	<b>7,48</b>	<b>0,51</b>	<b>212</b>	<b>7,27</b>	<b>0,39</b>	<b>0,10</b>	<b>0,67</b>	<b>0,40</b>	<b>0,32</b>	<b>0,12</b>
IV–X	<b>wd</b>	<b>7,27</b>	<b>0,65</b>	<b>198</b>	<b>5,49</b>	<b>0,44</b>	<b>0,08</b>	<b>0,78</b>	<b>0,50</b>	<b>0,42</b>	<b>0,13</b>
2006											
IV	wp	8,47	0,08	224	8,63	0,38	0,11	0,22	0,07	0,13	0,36
	wd	8,45	0,06	233	7,98	0,26	0,07	0,22	0,09	0,11	0,30
V	wp	7,68	0,08	231	8,02	0,56	0,08	0,18	0,07	0,08	0,17
	wd	7,63	0,05	230	5,46	0,58	0,09	0,24	0,19	0,07	0,05
VI	wp	7,90	0,08	228	8,65	0,10	0,04	0,16	0,06	0,06	0,06
	wd	7,80	0,06	232	8,06	0,16	0,17	0,17	0,06	0,11	0,22
VII	wp	7,94	0,06	246	7,85	0,10	0,02	0,28	0,09	0,06	0,03
	wd	7,85	0,07	247	6,58	0,10	0,06	0,28	0,16	0,09	0,20
VIII	wp	7,96	0,07	157	5,89	0,23	0,07	0,23	0,14	0,06	0,06
	wd	7,96	0,07	162	7,59	0,23	0,06	0,23	0,09	0,09	0,05
IX	wp	7,94	0,06	234	8,62	0,11	0,06	0,74	1,50	0,06	0,04
	wd	7,93	0,04	234	7,45	0,10	0,03	0,77	0,13	0,07	0,03
X	wp	7,82	0,05	237	8,56	0,30	0,11	0,47	0,29	0,14	0,11
	wd	7,78	0,06	238	5,89	0,29	0,09	0,79	0,51	0,16	0,06
x	<b>wp</b>	<b>7,96</b>	<b>0,07</b>	<b>222</b>	<b>8,03</b>	<b>0,25</b>	<b>0,07</b>	<b>0,32</b>	<b>0,32</b>	<b>0,09</b>	<b>0,12</b>
IV–X	<b>wd</b>	<b>7,91</b>	<b>0,06</b>	<b>225</b>	<b>7,00</b>	<b>0,28</b>	<b>0,08</b>	<b>0,38</b>	<b>0,17</b>	<b>0,10</b>	<b>0,13</b>

cd. tab. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
2007											
IV	wp	6,82	0,06	173	8,23	0,10	0,02	0,56	0,24	0,09	0,02
	wd	7,21	0,06	163	8,25	0,12	0,02	0,75	0,31	0,09	0,06
V	wp	7,32	0,05	192	7,46	0,23	0,06	0,54	0,06	0,07	0,05
	wd	7,62	0,04	184	7,98	0,27	0,06	0,54	0,05	0,09	0,06
VI	wp	7,88	0,05	301	6,98	0,12	0,05	0,30	0,02	0,09	0,07
	wd	7,25	0,06	237	8,25	0,17	0,04	0,33	0,09	0,10	0,09
VII	wp	8,38	0,08	206	8,23	0,28	0,06	0,30	0,01	0,07	0,20
	wd	7,87	0,05	219	8,63	0,36	0,25	0,30	0,03	0,12	0,41
VIII	wp	8,16	0,06	186	8,56	0,23	0,06	0,17	0,04	0,04	0,03
	wd	7,76	0,04	188	7,24	0,25	0,09	0,17	0,03	0,07	0,08
IX	wp	7,68	0,05	180	8,73	1,18	2,91	0,14	0,14	0,09	0,05
	wd	7,77	0,06	163	9,83	1,28	0,13	0,10	0,02	0,09	0,05
X	wp	6,62	0,08	246	8,23	0,61	0,13	0,20	0,06	0,07	0,12
	wd	6,60	0,07	232	8,25	0,71	0,07	0,20	0,05	0,07	0,11
<i>x</i>	<b>wp</b>	<b>7,55</b>	<b>0,06</b>	<b>212</b>	<b>8,06</b>	<b>0,39</b>	<b>0,47</b>	<b>0,31</b>	<b>0,08</b>	<b>0,07</b>	<b>0,08</b>
IV-X	<b>wd</b>	<b>7,44</b>	<b>0,05</b>	<b>198</b>	<b>8,35</b>	<b>0,45</b>	<b>0,09</b>	<b>0,34</b>	<b>0,08</b>	<b>0,09</b>	<b>0,12</b>
2008											
IV	wp	8,16	0,09	227	7,63	0,08	0,02	0,12	0,21	0,02	0,02
	wd	8,02	0,08	212	7,58	0,07	0,02	0,18	0,06	0,03	0,06
V	wp	7,76	0,07	239	8,62	0,23	0,06	0,18	0,19	0,06	0,05
	wd	7,65	0,08	222	8,36	0,27	0,06	0,24	0,07	0,06	0,06
VI	wp	7,45	0,09	243	8,63	0,09	0,05	0,10	0,03	0,09	0,07
	wd	7,25	0,08	218	8,56	0,17	0,04	0,14	0,02	0,10	0,09
VII	wp	7,68	0,07	223	8,36	0,24	0,06	0,17	0,03	0,10	0,18
	wd	7,48	0,07	247	8,45	0,36	0,25	0,23	0,13	0,22	0,41
VIII	wp	7,77	0,08	196	8,54	0,23	0,06	0,17	0,03	0,07	0,20
	wd	7,46	0,09	226	8,47	0,25	0,09	0,18	0,05	0,07	0,11
IX	wp	7,59	0,08	238	8,75	1,18	2,91	0,66	1,52	0,02	0,05
	wd	7,41	0,10	227	9,23	1,20	0,13	0,68	0,11	0,03	0,05
X	wp	8,22	0,12	244	7,56	0,61	0,13	0,47	0,54	0,05	0,12
	wd	8,03	0,12	235	7,45	0,51	0,07	0,69	0,26	0,07	0,11
<i>x</i>	<b>wp</b>	<b>7,80</b>	<b>0,09</b>	<b>230</b>	<b>8,30</b>	<b>0,38</b>	<b>0,47</b>	<b>0,27</b>	<b>0,36</b>	<b>0,06</b>	<b>0,10</b>
IV-X	<b>wd</b>	<b>7,61</b>	<b>0,09</b>	<b>227</b>	<b>8,30</b>	<b>0,40</b>	<b>0,09</b>	<b>0,33</b>	<b>0,10</b>	<b>0,08</b>	<b>0,13</b>

Objaśnienia: *EC* – przewodność elektrolityczna, wp – warstwa powierzchniowa jeziora; wd – warstwa naddenna jeziora; *x* – średnia, *SD* – odchylenie standardowe.

Explanations: *EC* – electrolytical conductivity; wp – surface layer; wd – near-bottom layer; *x* – mean, *SD* – standard deviation.

według KUDELSKIEJ i in. [1994]. Stwierdzono również, że w powierzchniowych warstwach wody w całym okresie badań i poszczególnych miesiącach (IV–X) przewodność elektrolityczna była większa niż w warstwie naddennej, poza 2006 r.

Wody jeziora Resko miały odczyn zbliżony do obojętnego – średnia roczna wartość pH wynosiła 7,27–7,96 (tab. 1). Stwierdzono różnice pH w badanych warstwach wody w jeziorze – większe wartości zanotowano w warstwach powierzchniowych, a mniejsze w naddennych. Nieznacznie większą wartość pH, ponad 8, zanotowano w: kwietniu 2006 r., lipcu, sierpniu 2007 r. oraz kwietniu i październiku 2008 r. Obserwowane w badanym jeziorze średnie roczne i miesięczne zmienne wartości pH są typowe dla jezior naszej strefy klimatycznej i zależą od intensywności procesów asymilacyjnych w warstwie trofogenicznej i trofalitycznej [TADAJEWSKI, KUBIAK, 1976].

Stwierdzono, że w okresie badań 2005–2008 natlenienie wody jeziora Resko w badanych dwóch warstwach było zróżnicowane (tab. 2). Większe stężenie tlenu stwierdzono w warstwie powierzchniowej, a mniejsze w warstwie naddennej (tab. 2). W czteroletnim okresie badań (2005–2008) nie stwierdzono wyraźnych różnic w stężeniu tlenu w wodzie między poszczególnymi punktami badawczymi. Dla przykładu w warstwie powierzchniowej wody we wszystkich punktach badawczych w latach 2005–2008 mieściła się w granicach 7,84–10,20 g O<sub>2</sub>·m<sup>-3</sup>, natomiast w wodzie naddennej było wyraźnie mniejsze – 2,61–3,90 g O<sub>2</sub>·m<sup>-3</sup>, a więc woda nie spełniała wymogów drugiej klasy czystości wód jeziorowych [KUDELSKA i in., 1994].

**Tabela 2.** Średnie miesięczne (IV–X) zawartości tlenu rozpuszczonego w wodach jeziora Resko Górne w latach 2005–2008

**Table 2.** Monthly (IV–X) mean concentrations of dissolved oxygen in waters of Lake Resko Górne – years 2005–2008

Obiekt badawczy Study object	Warstwa pomiaru Measurement layer	Zawartość tlenu, g·m <sup>-3</sup> Oxygen concentration, g·m <sup>-3</sup>							
		IV–X 2005		IV–X 2006		IV–X 2007		IV–X 2008	
		<i>x</i>	<i>SD</i>	<i>x</i>	<i>SD</i>	<i>x</i>	<i>SD</i>	<i>x</i>	<i>SD</i>
Aerator	wp	10,20	4,34	7,84	4,74	9,14	2,86	9,71	2,57
	wd	3,90	3,23	2,61	3,19	2,48	3,08	3,36	2,67
Punkty ba- dawcze 1–9	wp	9,71	4,76	7,22	4,31	7,99	3,79	9,35	2,97
	wd	3,64	2,44	2,59	2,60	2,52	3,38	2,52	3,38

Objaśnienia, jak pod tabelą 1.

Explanations as in Table 1.



Średnie stężenie tlenu w okresie badań 2005–2008 z dziewięciu punktów badawczych oddalonych od aeratora (punkty 1–9 – rys. 1) na jeziorze wynosiło w warstwie powierzchniowej wody 7,22–9,71 g O<sub>2</sub>·m<sup>-3</sup>, podczas gdy przy aeratorze 9,14–10,20 g O<sub>2</sub>·m<sup>-3</sup> (tab. 2). Stężenie tlenu rozpuszczalnego w wodzie z warstwy naddennej we wszystkich punktach było małe i wynosiło od 2,52 do 3,90 g O<sub>2</sub>·m<sup>-3</sup>. Nie stwierdzono zatem większego zróżnicowania tego parametru w obu badanych warstwach wody w jeziorze między punktem zlokalizowanym przy aeratorze a pozostałymi punktami. Jednocześnie należy podkreślić, że w 2006 r. w porównaniu z latami 2005, 2007 i 2008 stwierdzono mniejsze stężenie tlenu w warstwach powierzchniowych wody zarówno przy aeratorze, jak i w pozostałych punktach. Należy to tłumaczyć między innymi najwyższą temperaturą wody w jeziorze w czerwcu i lipcu 2006 r., która wynosiła w warstwie powierzchniowej 18–20°C. KUBIAK i in. [2006] podkreślają, że stężenie tlenu rozpuszczalnego wyraźnie się zmniejszało wraz ze wzrostem temperatury wody w warstwie powierzchniowej w zbiornikach. HERMANOWICZ i in. [1999], STARMACH i in. [1978] oraz TÓRZ i in. [2003] również stwierdzają, że stężenie tlenu w wodzie zależało od jej temperatury oraz intensywności procesów biologicznych i rozkładu materii organicznej.

Praca aeratora pulweryzacyjnego na jeziorze Resko Górne nie wpłynęła dodatnio na poprawę natlenienia wód w warstwach naddennych zarówno w pobliżu zlokalizowanego aeratora, jak i w oddalonych punktach badawczych na jeziorze.

Wyniki analiz stężenia amoniaku (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), azotu mineralnego (NO<sub>3</sub><sup>-</sup> + NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) i fosforanów (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> przeliczono na czysty składnik P) w wodzie jeziora Resko Górne, zamieszczone w tabeli 1., porównywano z liczbami granicznymi, podawanymi w wytycznych monitoringu podstawowego jezior PIOŚ w zakresie klasyfikacji czystości wód jeziorowych [KUDELSKA i in., 1994]. W okresie badań 2005–2008 stwierdzono różnice w składzie chemicznym wód jeziora w poszczególnych latach, miesiącach oraz warstwach wody – powierzchniowej i naddennej. Największe stężenie azotu mineralnego (N<sub>min</sub>) i fosforu (P) stwierdzono w wodach jeziora Resko Górne w 2005 r., a najmniejsze w 2008 r. Jonów amonowych nieco więcej było natomiast w 2007 r., a najmniej w 2006 r.

W pierwszym roku badań (2005) średnie (za okres kwiecień–październik) stężenie składników chemicznych w wodzie wynosiło w warstwie powierzchniowej: NH<sub>4</sub><sup>+</sup> – 0,39 g·m<sup>-3</sup>, N<sub>min</sub> – 0,67 g·m<sup>-3</sup> i P – 0,32 g·m<sup>-3</sup>, a w warstwie naddennej: NH<sub>4</sub><sup>+</sup> – 0,44 g·m<sup>-3</sup>, N<sub>min</sub> – 0,78 g·m<sup>-3</sup> i P – 0,42 g·m<sup>-3</sup> (tab. 1), co wskazuje na różnice między dwiema badanymi warstwami wody. Większe na ogół stężenie wyżej wspomnianych składników chemicznych stwierdzano w warstwie naddennej, a mniejsze – w warstwie powierzchniowej. W 2005 r. stwierdzono również zróżnicowane stężenie badanych składników chemicznych w pobranych próbkach wody w poszczególnych miesiącach w okresie kwiecień–październik (tab. 1). Duże stężenie jonów amonowych (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) zanotowano tylko w październiku, odpowiednio w warstwie powierzchniowej wody równe 1,19 g·m<sup>-3</sup>, zaś w warstwie naddennej – 1,29 g·m<sup>-3</sup>. W pozostałych miesiącach (kwiecień–wrzesień) stężenie NH<sub>4</sub><sup>+</sup> w bada-

nych próbkach wody było wyraźnie mniejsze i wynosiło w warstwach powierzchniowych  $0,22\text{--}0,33\text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ , a w warstwach naddennych  $0,22\text{--}0,37\text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Zanotowane w październiku 2005 r. dość duże stężenie  $\text{NH}_4^+$  można tłumaczyć między innymi stopniowym uwalnianiem tego składnika z warstwy naddennej i intensywnym procesem denitryfikacji [SZCZERBOWSKI, 1993; TÓRZ, KUBIAK, 2004].

W 2005 r. stwierdzono również różnice w uzyskanych średnich wartościach stężenia (za okres IV–X) azotu mineralnego ( $\text{N}_{\text{min}}$ ), które wynosiły w powierzchniowej warstwie wody badanego jeziora  $0,69\text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ , a w warstwie naddennej –  $0,78\text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$  (tab. 1). Zanotowane wartości  $\text{N}_{\text{min}}$  w poszczególnych miesiącach okresu IV–X były również zróżnicowane, np. w kwietniu w warstwie powierzchniowej stwierdzono  $0,82$ , a w warstwie naddennej  $1,35\text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ , natomiast w czerwcu w warstwie powierzchniowej  $0,41$ , a w naddennej  $0,45\text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ .

Średnie z poszczególnych miesięcy (IV–X) stężenie fosforu (P) w wodzie w omawianym jeziorze w 2005 r. wynosiło w wodach powierzchniowych  $0,32$ , a w wodach naddennych –  $0,42\text{ g P}\cdot\text{m}^{-3}$  (tab. 1). Stężenie tego składnika w badanych próbkach wody było zróżnicowane w poszczególnych miesiącach (IV–X), podobnie jak  $\text{NH}_4^+$  i  $\text{N}_{\text{min}}$ . Większe wartości stwierdzono w czerwcu – w warstwie powierzchniowej  $0,54\text{ g P}\cdot\text{m}^{-3}$  i w naddennej  $0,71\text{ g P}\cdot\text{m}^{-3}$ , natomiast mniejsze w sierpniu, odpowiednio  $0,14$  i  $0,22\text{ g P}\cdot\text{m}^{-3}$ .

W 2006 r. stwierdzono mniejsze niż w 2005 r. średnie stężenie składników chemicznych w wodzie jeziora Resko Górne (tab. 1). W warstwie powierzchniowej wynosiło ono:  $\text{NH}_4^+$  –  $0,25$ ,  $\text{N}_{\text{min}}$  –  $0,32$  i P –  $0,09\text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ , a w warstwie naddennej:  $\text{NH}_4^+$  –  $0,28$ ,  $\text{N}_{\text{min}}$  –  $0,38$  i P –  $0,10\text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Między średnimi wartościami stężenia w wodach powierzchniowych i naddennych nie stwierdzono w 2006 r. wyraźnych różnic z wyjątkiem stężenia azotu mineralnego. Stężenie jonów amonowych ( $\text{NH}_4^+$ ) w poszczególnych miesiącach (IV–X) było małe –  $0,10\text{--}0,30\text{ g NH}_4^+\cdot\text{m}^{-3}$ . Wyjątkiem był maj, w którym zanotowano największe stężenie jonów amonowych ( $\text{NH}_4^+$ ) w badanych warstwach wody –  $0,56$  w warstwie powierzchniowej i  $0,58\text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$  w warstwie naddennej. Średnie stężenie azotu mineralnego ( $\text{N}_{\text{min}}$ ) w badanych warstwach wody powierzchniowej i naddennej było zróżnicowane, średnio wynosiło  $0,32$  i  $0,38\text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ , przy czym mieściło się w szerokim zakresie, odpowiednio  $0,16\text{--}0,74$  i  $0,17\text{--}0,79\text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$  (tab. 1). Największe stężenie  $\text{N}_{\text{min}}$  w 2006 r. stwierdzono w badanych dwóch warstwach wody w miesiącach wrzesień–październik, a najmniejsze – kwiecień–czerwiec.

Stwierdzone średnie stężenie fosforu (P) za okres IV–X było wyraźnie mniejsze w 2006 r. niż w pierwszym roku badań (2005) i w warstwach powierzchniowych wód jeziora wynosiło  $0,09$ , a w warstwach naddennych –  $0,10\text{ g P}\cdot\text{m}^{-3}$ . Największe stężenie tego składnika w badanych dwóch warstwach wody stwierdzono w październiku –  $0,14\text{--}0,16$ , a najmniejsze we wrześniu –  $0,06\text{--}0,07\text{ g P}\cdot\text{m}^{-3}$ .

Ogólnie stwierdzono, że w 2006 r. stężenie składników biogenych ( $\text{N}_{\text{min}}$ , P i  $\text{NH}_4^+$ ) w badanych warstwach wody jeziora było mniejsze niż w 2005 r.

W 2007 r. stwierdzono małe stężenie azotu mineralnego ( $N_{\min}$ ) i fosforu (P) w badanych warstwach wody jeziora (tab. 1). Nie dotyczyły to jonów amonowych ( $NH_4^+$ ). W warstwie powierzchniowej średnie (za okres IV–X) stężenie  $NH_4^+$  i  $N_{\min}$  wynosiło odpowiednio 0,39 i 0,31, a w warstwie naddennej – 0,45 i 0,34  $g \cdot m^{-3}$ . Średnie (za okres IV–X) stężenie fosforu (P) w badanych dwóch warstwach wody było zbliżone. W warstwie powierzchniowej zanotowano 0,07  $g \cdot m^{-3}$ , a w warstwie naddennej 0,09  $g \cdot m^{-3}$ . Średnie (za okres IV–X) stężenie azotu mineralnego ( $N_{\min}$ ) i fosforu (P) w badanych dwóch warstwach wody w 2007 r. było zbliżone do stwierdzonego w 2006 r.

W ostatnim roku badań, to jest w 2008 r., stwierdzono najmniejsze średnie stężenie wszystkich badanych składników w badanych dwóch warstwach wody jeziora Resko Górne (tab. 1). W warstwie powierzchniowej wód jeziora średnie (za okres IV–X) stężenie tych składników wynosiło:  $NH_4^+$  – 0,38,  $N_{\min}$  – 0,27 i P – 0,06  $g \cdot m^{-3}$ , a w warstwie naddennej:  $NH_4^+$  – 0,40,  $N_{\min}$  – 0,33 i P – 0,08  $g \cdot m^{-3}$ . Należy podkreślić, że skład chemiczny wód w jeziorze w rozpatrywanym okresie tego roku był zróżnicowany. Największe stężenie jonów amonowych ( $NH_4^+$ ) i azotu mineralnego ( $N_{\min}$ ) w badanych dwóch warstwach wody stwierdzono we wrześniu:  $NH_4^+$  – 1,18 i 1,20,  $N_{\min}$  – 0,66 i 0,68, a P – 0,10 i 0,22  $g \cdot m^{-3}$ , najmniejsze natomiast w przypadku  $NH_4^+$  i P w kwietniu odpowiednio 0,07–0,08 i 0,02–0,03  $g \cdot m^{-3}$ , z kolei  $N_{\min}$  najmniej było w czerwcu – 0,10 i 0,14  $g \cdot m^{-3}$ .

Reasumując stwierdzono, że stężenie składników biogennych w wodzie jeziora Resko Górne, począwszy od pierwszego roku badań (2005), malało, a średnie wartości za okres IV–X w ostatnim roku badań (2008) kwalifikują wody omawianego jeziora pod względem stężenia jonów amonowych ( $NH_4^+$ ) i azotu mineralnego ( $N_{\min}$ ) do drugiej klasy czystości wód jeziorowych, a pod względem stężenia fosforu (P) – do trzeciej [KUDELSKA i in., 1994].

Zaobserwowane w ostatnim roku badań (2008) mniejsze stężenie składników biogennych, szczególnie fosforanów, w wodzie omawianego jeziora jest następstwem uporządkowania gospodarki wodno-ściekowej w gospodarstwie ekologiczno-turystycznym, które jest położone w sąsiedztwie jeziora Resko Górne (w odległości 200 m).

## WNIOSKI

1. Przewodność elektrolityczna w wodzie jeziora Resko Górne nie przekraczała wartości 250  $\mu S \cdot cm^{-1}$ , w związku z czym mieściła się w zakresie wymaganym dla pierwszej klasy wód jeziorowych.

2. Woda jeziora miała odczyn zbliżony do obojętnego – średnie roczne wartości pH wynosiły 7,27–7,96, przy czym większe zanotowano w warstwach powierzchniowych wody, a nieco mniejsze w warstwach naddennych.

3. Stężenie tlenu rozpuszczalnego w badanych dwóch warstwach wody w jeziorze było zróżnicowane, większe stwierdzono w warstwie powierzchniowej, a mniejsze w warstwie naddennej.

4. W czteroletnim okresie badań (2005–2008) nie stwierdzono wyraźnych różnic w stężeniu tlenu w wodzie jeziora między punktem zlokalizowanym przy aeratorze pulweryzacyjnym a oddalonymi punktami badawczymi. Praca aeratora nie wpłynęła zatem na poprawę natlenienia wód w warstwach naddennych.

5. Stężenie składników biogenych malało w kolejnych latach badań. Uzyskane w ostatnich latach mniejsze stężenie jonów amonowych ( $\text{NH}_4^+$ ), azotu mineralnego ( $\text{N}_{\text{min}}$ ) oraz fosforu (P) w wodzie badanego jeziora można tłumaczyć systematycznym porządkowaniem gospodarki wodno-ściekowej w zlewni badanego jeziora.

## LITERATURA

- Atlas jezior Polski. T. 2. Jeziora zlewni rzek Przymorza i dorzecza dolnej Wisły, 1997. Pr. zbior. Red. J. Jańczak. Poznań: Bogucki Wydaw. Nauk.
- DOJLIDO J.R., 1995. Chemia wód powierzchniowych. Białystok: Wydaw. Ekon. Środ. ss. 342.
- FILIPIAK J., RACZYŃSKI M., 2000. Jeziora zachodniopomorskie (zarys faktografii). Szczecin: Wydaw. AR ss. 255.
- HERMANOWICZ W., DOJLIDO J., DOŻAŃSKA W., KOZIOROWSKI B., ZERBE J., 1999. Fizyczno-chemiczne badanie wody i ścieków. Warszawa: Arkady ss. 555.
- HILLBRICHT-ILKOWSKA A., 1989. Jeziora Mazurskiego Parku Krajobrazowego. Stan eutrofizacji, kierunki ochrony. Zeszyty Naukowe Komitetu „Człowiek i Środowisko” PAN 1 ss. 167.
- KAJAK Z., 1979. Eutrofizacja jezior. Warszawa: PWN ss. 233.
- KAJAK Z., 1998. Hydrobiologia – limnologia. Warszawa: PWN ss. 355.
- KALFF J., 2001. Limnology. New Jersey: Prentice Hall ss. 592.
- KONIECZNY R., PIECZYŃSKI L., 2006. Próba rekultywacji jezior województwa zachodniopomorskiego w technologii aeracji pulweryzacyjnej. *Acta Agrophysica* 7(4) s. 947–957.
- KUBIAK J., TÓRZ A., 2005. Eutrofizacja. Podstawowe problemy ochrony wód jeziornych na Pomorzu Zachodnim. *Słupskie Prace Biologiczne* 2 s. 17–36.
- KUBIAK J., TÓRZ A., NĘDZAREK A., 2006. Hydrochemical conditions, susceptibility to degradation, trophic state and rate of eutrophication in Lake Będgoszcz. *Acta Scientiarum Polonorum – Piscaria* vol. 5(1) s. 73–89.
- KUDELSKA D., CYDZIK D., SOSZKA H., 1994. Wytyczne monitoringu podstawowego jezior. Warszawa: PIOŚ ss. 42.
- LAMPERT W., SOMMER U., 1996. Ekologia wód śródlądowych. Warszawa: PWN ss. 390.
- LOSSOW K., 1985. Odnowa jezior. *Ekoprofit* 5 s. 11–15.
- LOSSOW K., 1996. Rekultywacja jezior i zbiorników wodnych – dotychczasowe osiągnięcia, możliwości i perspektywy. W: *Ochrona i rekultywacja jezior i zbiorników wodnych. Materiały konferencyjne, Międzyzdroje 7–8 marca 1996*. Szczecin: Biuro Inf. Nauk. s. 47–56.
- LOSSOW K., 1998. Ochrona i rekultywacja jezior- teoria i praktyka. *Idee Ekologiczne Ser. Szkice* 13(7) s. 55–71.
- LOSSOW K., GAWROŃSKA H., 1992. Możliwości ograniczania zawartości fosforu i azotu w wodach jezior sztucznie napowietrzanych. W: *Problemy zanieczyszczenia i ochrony wód powierzchniowych – dziś i jutro. Ser. Biologia* 49. Poznań: Wydaw. UAM s. 195–206.

- MATKOWSKI G., PODSIADŁOWSKI S., 2004. Aeracja pulweryzacyjna w warunkach jeziora Stare Resko. W: Ochrona i rekultywacja jezior. 5. Konferencja naukowa. Grudziądz, 11–13.05.2004, Toruń: PZIITS s. 151–158.
- PODSIADŁOWSKI S., 2008. Methods of precise phosphorus inactivation in lake waters. *Limnological Review* 8 1–2 s. 51–56.
- PODSIADŁOWSKI S., MASTYŃSKI J., ANDRZEJEWSKI W., KONIECZNY R., 2000. Aeracja jezior. W: Rybactwo jeziorowe. 5. Krajowa Konferencja Rybackich Użytkowników Jezior. Olsztyn, 14–16.06.2000. Olsztyn: Wydaw. IRŚ s. 121–127.
- STARMACH K., WRÓBEL S., PASTERNAK K., 1978. *Hydrobiologia*. Warszawa: PWN ss. 621.
- SZCZERBOWSKI J., 1993. *Rybactwo śródlądowe*. Olsztyn: Wydaw. IRŚ ss. 570.
- TADAJEWSKI A., KUBIAK J., 1976. Wstępna ocena stopnia zeutrofizowania wód strefy przybrzeżnej w rejonie ujść niektórych rzek Pomorza Zachodniego. *Studia i Materiały Oceanologiczne* 15 s. 91–108.
- TÓRZ A., KUBIAK J., CHOJNACKI J., 2003. Assessment of Lake Miedwie water quality in 1998–2001. *Acta Scientiarum Polonorum* 2(1) s. 279–290.
- TÓRZ A., KUBIAK J., 2004. Warunki hydrochemiczne Międzyodrza w nawiązaniu do charakterystyki obszarów o przejściowej dynamice wód. W: *Bliskie naturze kształtowanie dolin rzecznych*. Koszalin: Wydaw. PK s. 181–193.
- WESOŁOWSKI P., TRZASKOŚ M., PAWŁOS D., 2009. Charakterystyka składu botanicznego i chemicznego roślinności przybrzeżnej jeziora Resko (Gmina Połczyn-Zdrój). *Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie* 2 s. 78–81.

*Piotr WESOŁOWSKI, Dorota PAWŁOS, Małgorzata BONISŁAWSKA*

## SELECTED PARAMETERS OF WATER QUALITY IN AERATED LAKE RESKO GÓRNE

*Key words: aerator, Lake Resko Górne,  $NH_4^+$ ,  $N_{min}$ , oxygen,  $PO_4^{3-}$ , water*

### S u m m a r y

This study was performed in the years 2005–2008 in Lake Resko Górne, commune Połczyn-Zdrój in the West-Pomeranian province. The aim of the study was to estimate water quality status in conditions of its aeration by means of pulverization aeration. During the whole study period (2005–2008) there were no significant differences of oxygen concentration in water near aerator and in that far from the device. Aerator did not improve oxygenation of near-bottom water in both sites. Nutrient concentrations in lake water decreased during the subsequent years of this study. Mean concentration of  $NH_4^+$  and mineral N in the year 2008 was typical of the 2<sup>nd</sup> class water quality and that of  $PO_4^{3-}$  was typical of the 3<sup>rd</sup> class [KUDELSKA *et al.*, 1994].

Lower concentrations of  $NH_4^+$  and mineral N observed in 2008 resulted from the improvement of water management and sewage handling in eco-tourist farm near this lake.

---

### Recenzenci:

*prof. dr hab. Józef Mosiej*

*doc. dr hab. Stefan Pietrzak*

Praca wpłynęła do Redakcji 04.11.2009 r.