

# WŁAŚCIWOŚCI FIZYKOCHEMICZNE WODY JEZIORA STARZYC W WARUNKACH NAPOWIETRZANIA ZA POMOCĄ AERATORA PULWERYZACYJNEGO

**Piotr WESOŁOWSKI<sup>1)</sup>, Adam BRYSIEWICZ<sup>1)</sup>, Dorota PAWŁOS<sup>2)</sup>**

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

<sup>2)</sup> Urząd Marszałkowski w Szczecinie, Wydział Rolnictwa i Ochrony Środowiska

*Słowa kluczowe: aerator, jezioro Starzyc,  $NH_4^+$ , N-min,  $PO_4^{3-}$ , tlen, woda*

## Streszczenie

Badania przeprowadzono w latach 2005–2009 na jeziorze Starzyc (gmina Chociwel) w województwie zachodniopomorskim. Celem badań była ocena stanu jakości wody w jeziorze Starzyc w warunkach napowietrzania za pomocą aeratora pulweryzacyjnego. W okresie badań nie stwierdzono różnic stężenia tlenu w wodzie badanego jeziora między punktem zlokalizowanym w pobliżu aeratora a punktami badawczymi oddalonymi od niego. Stwierdzono także, że praca aeratora pulweryzacyjnego na jeziorze nie poprawiła natlenienia wody w warstwach naddennych zarówno w pobliżu aeratora, jak i w pozostałych punktach. Stężenie składników biogennych w wodzie jeziora Starzyc stopniowo malało, a średnie wartości z lat 2005–2009 kwalifikują wody omawianego jeziora ze względu na stężenie azotu mineralnego (N-min) i fosforu (P) do trzeciej klasy czystości wód jeziorowych, natomiast ze względu na stężenie jonów amonowych ( $NH_4^+$ ) – do drugiej klasy.

Dalsza poprawa jakości wód w jeziorze Starzyc zależy między innymi od wyeliminowania przyczyn zanieczyszczeń w wodzie dopływającej do jeziora, szczególnie nadmiaru azotu i fosforu.

## WSTĘP

Jeziora w Polsce są cennym elementem środowiska przyrodniczego i powinny być objęte szczególną ochroną, ponieważ wpływają korzystnie na warunki hydrologiczne, mikroklimatyczne i hydrosanitarnie. Spełniają one również funkcję rekre-

acyjną i stanowią pożyteczny element krajobrazu. Zgodnie z Ramową Dyrektywą Wodną, do 2015 r. wszystkie wody, w tym również w jeziorach, powinny mieć dobry stan ekologiczny [GODLEWSKA, ŚWIERZOWSKI 2004]. Według przyjętego kryterium fizykochemicznego, tylko 3% jezior w Polsce zalicza się do pierwszej klasy czystości wód, a 39% do wód pozaklasowych, natomiast według kryterium biologicznego udział wód w pierwszej klasie jest zerowy, a wody pozaklasowe stanowią 71% [PYŁKA-GUTOWSKA 2000]. Do głównych źródeł zanieczyszczeń jezior i rzek należą zanieczyszczenia, pochodzące ze ścieków komunalnych i przemysłowych, źródeł rolniczych oraz opadów atmosferycznych, a także działalności turystycznej. W związku z tym eutrofizacja jezior stanowi między innymi zagrożenie właściwego funkcjonowania ekosystemów wodnych oraz różnorodności biologicznej zbiorowisk szuwarowych w strefach przybrzeżnych roślinności wodnej [DURKOWSKI 2004; HILLBRICHT-ILKOWSKA 1998].

Ochrona jezior przed postępującą eutrofizacją bądź łagodzenie jej skutków może odbywać się głównie dzięki ograniczeniu lub eliminacji spływu składników biogennych i substancji organicznej ze zlewni [LOSSOW, GAWROŃSKA 1992]. Metody wykorzystywane w procesie przywracania stanu równowagi w zbiorniku można podzielić na wewnętrzne (rekultywacyjne), czyli ograniczające się do obrębu misy jeziora, oraz zewnętrzne (ochronne), dotyczące zlewni bezpośredniej [LOSSOW 1998]. Jedną z metod rekultywacji jezior jest napowietrzanie, w wyniku którego polepsza się warunki tlenowe głównie warstwy naddennej wody i utrzymanie tego stanu w sposób wymuszony [LOSSOW 1985; PODSIADŁOWSKI 2008; PODSIADŁOWSKI i in. 2000].

Celem podjętej pracy była ocena stanu jakości wody jeziora Starzyc w warunkach napowietrzania za pomocą areatora pulweryzacyjnego.

## OBIEKT I METODY BADAŃ

Jezioro Starzyc jest położone w gminie Chociwel, w otulinie Ińskiego Parku Krajobrazowego, w województwie zachodniopomorskim. Jezioro charakteryzuje się następującymi wskaźnikami morfometrycznymi [JAŃCZAK 1997]:

- szerokość geograficzna – N-53°27,8;
- długość geograficzna – 15°20;
- powierzchnia zwierciadła wody – 59,2 ha;
- pojemność – 1575,8 m<sup>3</sup>;
- głębokość maksymalna – 6,1 m;
- głębokość średnia – 2,7 m;
- długość maksymalna – 1960 m;
- szerokość maksymalna – 370 m;
- długość linii brzegowej – 5175 m.

Do jeziora dopływa woda z rowów melioracyjnych (dopływ I i III) oraz z kanału melioracyjnego z Kamiennego Mostu (dopływ II). Dopływy I i III prowadzą wodę do jeziora z nieużytkowanych rolniczo obszarów rolnych, głównie dawnego PGR Starzyc, a dopływ II – z Kamiennego Mostu. Odpływ wód z jeziora stanowi rzeka Krapiel, będąca dopływem Iny. W związku z tym jezioro Starzyc jest zbiornikiem przepływowym. Miasto Chociwel od 1990 r. posiada nową oczyszczalnię ścieków bytowych. Dotychczasowa, poniemiecka oczyszczalnia została zmodernizowana i rozbudowana, co ograniczyło dopływ ścieków do jeziora Starzyc. Wokół jeziora jest wyznaczona ścieżka rekreacyjna na potrzeby mieszkańców miasta Chociwel oraz turystów. W bezpośredniej strefie przybrzeżnej jeziora Starzyc występują zróżnicowane zbiorowiska szuwarowe jednogatunkowe o charakterze agregacji i wielogatunkowe, charakteryzujące się trwałością w siedlisku [WESOŁOWSKI i in. 2009]. Przyległe tereny wokół jeziora to przeważnie użytki rolne dawnego PGR Starzyc, obecnie odłogowane. W 2003 r. na jeziorze umieszczono aerator pulweryzacyjny – fotografia 1. [KONIECZNY, PIECZYŃSKI 2006; MATKOWSKI, PODSIADŁOWSKI 2004].

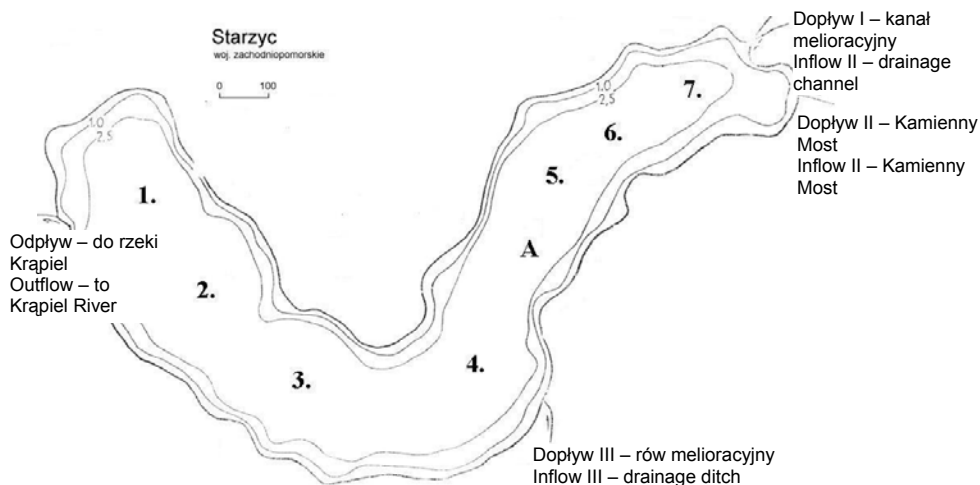


Fot. 1. Aerator pulweryzacyjny na jeziorze Starzyc (fot. A. Brysiewicz)

Photo. 1. Pulverization aerator, Lake Starzyc (photo A. Brysiewicz)

Aerator ten charakteryzuje się następującymi parametrami technicznymi: wysokość 8 m, średnica tratwy 10 m, wydajność  $200\text{--}800\text{ m}^3\cdot\text{doba}^{-1}$ , 3–5-krotne zwiększenie natlenienia wody przepływającej przez aerator [MATKOWSKI, PODSIADŁOWSKI 2004].

Badania prowadzono w latach 2005–2009, w okresie od kwietnia do października. Z każdego z siedmiu punktów oddalonych od aeratora (rys. 1) oraz jednego



Rys. 1. Przestrzenne rozmieszczenie punktów badawczych (1.–7.) na jeziorze Starzyc (woj. zachodniopomorskie), A – aerator; źródło: opracowanie własne

Fig. 1. The spatial distribution of investigative points (1.–7.) in Lake Starzyc (West Pomeranian voivodship), A – aerator; source: own elaboration

w pobliżu aeratora pobierano dwie oddzielne próbki wody do analiz chemicznych – z warstwy powierzchniowej (0,5 m od lustra wody) i warstwy naddennej (1,0 m od dna). Głębokość wody w poszczególnych punktach badawczych jeziora była zbliżona i wynosiła (w m): A (aerator) – 4,5–5,0, 1. – 5,0, 2. – 4,8, 3. – 4,9, 4. – 5,0, 5. – 4,7, 6. – 5,0, 7. – 3,5.

Próbki wody pobierano za pomocą pompki zanurzeniowej Gigant firmy Gormor-Technik. W próbkach tych oznaczono stężenie tlenu ( $\text{g O}_2 \cdot \text{m}^{-3}$ ) za pomocą wieloparametrowego miernika typu Multi 3400 firmy WTW, wyposażonego w sondę tlenową typu Cellox 323. Pomiaru pH dokonywano za pomocą kombinowanej elektrody pH/redoks, a przewodność elektrolityczną  $EC$  ( $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ ) za pomocą naczynka konduktometrycznego typu Tetragon 325.

Fosforany rozpuszczone oznaczono za pomocą jednoparametrowego fotometru typu PC compact firmy WTW, a jony amonowe i azotany za pomocą wieloparametrowego fotometru typu LF 205 i LF 305 firmy Slandi.

## WYNIKI BADAŃ

Przewodność elektrolityczna w wodzie jeziora Starzyc w pięcioletnim okresie badań (2005–2009) była nieco zróżnicowana (tab. 1). Największe średnie wartości z okresu IV–X zanotowano w 2007 r. – zarówno przy aeratorze, jak i w oddalonych siedmiu punktach badawczych na jeziorze. Wynosiły one odpowiednio w warstwie powierzchniowej wody i naddennej 385 i 368 oraz 397 i 378 (tab. 1).

**Tabela 1.** Średnie wartości przewodności elektrolitycznej *EC* wody za okres IV–X z poszczególnych punktów badawczych na jeziorze Starzyc**Table 1.** Mean values of electrolytic conductivity *EC* of water in April–October in sampling sites in Lake Starzyc

Lata Years	Warstwa pomiarowa Measurement layer	<i>EC</i> w punktach badawczych <i>EC</i> in sampling sites								
		aerator	1	2	3	4	5	6	7	$\bar{x}$ 1–7
2005	w.p.	285	283	290	330	306	318	285	327	305
	w.d.	316	309	302	308	320	316	316	325	314
2006	w.p.	356	364	361	388	358	373	362	364	367
	w.d.	386	390	373	366	372	370	394	362	375
2007	w.p.	385	401	455	369	319	342	339	351	368
	w.d.	397	405	454	403	354	336	341	351	378
2008	w.p.	373	364	397	364	336	343	341	348	356
	w.d.	390	373	405	380	361	354	354	356	369
2009	w.p.	361	327	338	360	353	345	342	344	344
	w.d.	382	340	355	357	368	373	367	361	360
$\bar{x}$	w.p.	352	348	368	362	335	344	334	347	348
2005–2009	w.d.	374	363	378	363	355	350	354	351	359

Objaśnienia: w.p. – warstwa powierzchniowa jeziora; w.d. – warstwa naddenna jeziora;  $\bar{x}$  – średnia.

Explanations: w.p. – surface layer; w.d. – near-bottom layer;  $\bar{x}$  – mean.

Źródło: wyniki własne. Source: own studies.

Najmniejsze średnie wartości z okresu IV–X stwierdzono natomiast w pierwszym roku badań (2005) w warstwie powierzchniowej przy aeratorze –  $285 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , a w pozostałych siedmiu punktach badawczych (1.–7.) –  $305 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , w warstwie naddennej przy aeratorze –  $316 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , a w punktach badawczych 1.–7. –  $314 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ . Stwierdzono również, że przewodność elektrolityczna w warstwach powierzchniowych wody w całym okresie badań (2005–2009) i w poszczególnych punktach badawczych na jeziorze była mniejsza niż w warstwie naddennej. Nie stwierdzono większych różnic przewodności elektrolitycznej między punktem w pobliżu aeratora a oddalonymi od niego punktami badawczymi na jeziorze (1.–7.) – tabela 1. Średnie wartości z lat 2005–2009 przy aeratorze wynosiły w warstwie powierzchniowej wody 352 i 374  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  w warstwie naddennej, a w punktach badawczych 1.–7. 348 i 359  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  (tab. 1). Stwierdzone wartości przewodności elektrolitycznej mieszczą się w zakresie wymaganym dla wód jeziorowych powyżej trzeciej klasy czystości [KUDELSKA i in. 1994].

Woda jeziora Starzyc miała odczyn zbliżony do obojętnego lub zasadowego – średnie wartości pH z okresu badań (2005–2009) wynosiły przy aeratorze odpowiednio w warstwie powierzchniowej i naddennej 8,09 i 7,86, a w punktach badawczych 1.–7. – 7,92–7,63 (tab. 2). Stwierdzono różnice pH w badanych warstwach wody w jeziorze – większe wartości zanotowano w warstwach powierzch-

**Tabela 2.** Średnie wartości pH w wodzie za okres IV–X z poszczególnych punktów badawczych na jeziorze Starzyc**Table 2.** Mean water pH in April–October in sampling sites in Lake Starzyc

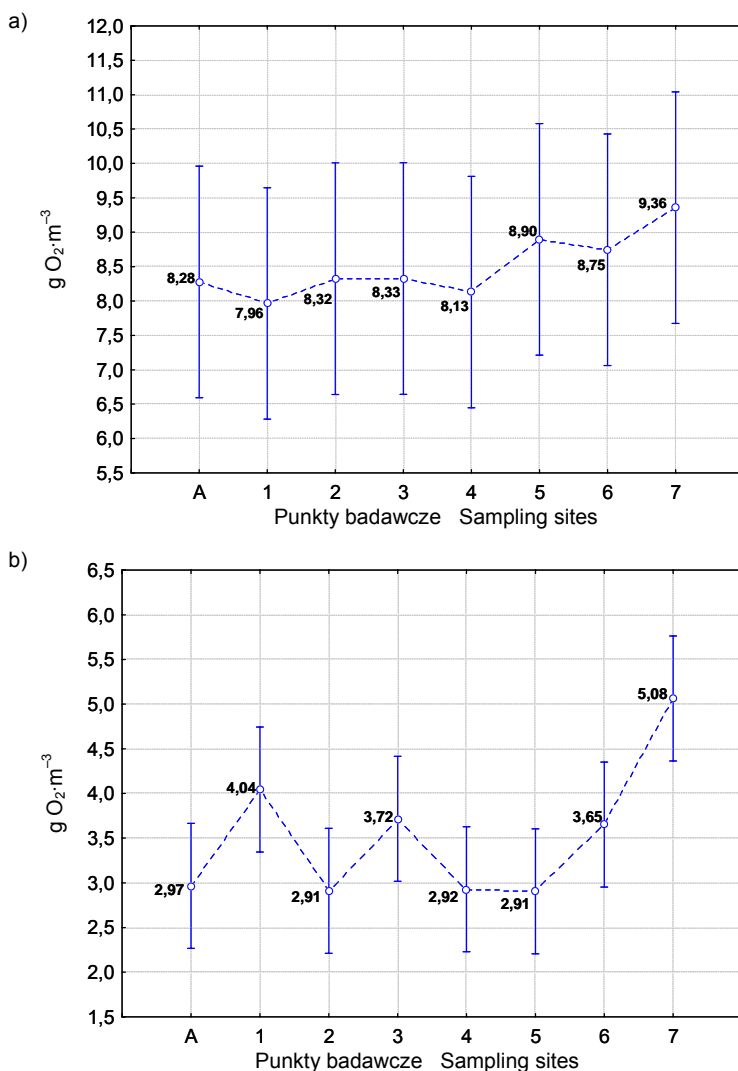
Lata Years	Warstwa pomiarowa Measurement layer	pH w punktach badawczych					pH in sampling sites				
		aerator	1	2	3	4	5	6	7	$\bar{x}$ 1–7	
2005	w.p.	8,02	7,94	7,81	7,57	7,75	7,54	7,83	7,57	7,72	
	w.d.	7,63	7,65	7,63	7,56	7,50	7,47	7,53	7,60	7,56	
2006	w.p.	8,25	8,08	8,04	7,91	8,08	7,99	8,07	8,02	8,03	
	w.d.	7,86	7,79	7,86	7,90	7,83	7,92	7,77	8,05	7,87	
2007	w.p.	8,94	8,79	7,67	8,55	8,01	7,70	7,87	7,64	8,46	
	w.d.	8,91	8,81	7,67	7,72	7,70	7,68	7,83	7,63	7,86	
2008	w.p.	8,07	8,48	8,52	8,00	7,73	7,65	7,69	7,59	7,95	
	w.d.	7,94	8,02	7,46	7,52	7,50	7,48	7,57	7,49	7,58	
2009	w.p.	7,20	7,17	7,36	7,45	7,44	7,60	7,52	7,54	7,44	
	w.d.	6,97	7,23	7,25	7,31	7,29	7,28	7,31	7,34	7,29	
$\bar{x}$	w.p.	8,09	8,29	8,28	7,90	7,80	7,70	7,80	7,67	7,92	
2005–2009	w.d.	7,86	7,90	7,57	7,60	7,56	7,57	7,60	7,62	7,63	

Objaśnienia, jak pod tabelą 1. Explanations as in Tab. 1.

Źródło: wyniki własne. Source: own studies.

niowych, a mniejsze w naddennych. Ponadto stwierdzono również różnice odczynu badanej wody w poszczególnych latach – większe wartości pH odnotowano w wodzie jeziora Starzyc w latach 2006–2007, a mniejsze w 2005 i 2009 r. Obserwowane w badanym jeziorze miesięczne i roczne wartości pH wody są typowe dla jezior naszej strefy klimatycznej i zależą od intensywności procesów asymilacyjnych w warstwie trofogenicznej i trofolitycznej [TADAJEWSKI, KUBIAK 1976]. Jednocześnie należy podkreślić, że średnie wartości pH w wodzie w latach 2005–2009 przy aeratorze i z punktów badawczych 1.–7. na jeziorze Starzyc były zbliżone.

Wyniki badań, dotyczące natlenienia wody w jeziorze Starzyc w pobliżu aeratora oraz w pozostałych siedmiu punktach przedstawiono na rysunku 2. Stwierdzono, że w okresie badań (2005–2009) natlenienie wody w warstwie powierzchniowej i naddennej było zróżnicowane – większe w warstwie powierzchniowej, a mniejsze w naddennej. W warstwie powierzchniowej wody w pięcioletnim okresie badań nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic stężenia tlenu w punkcie przy aeratorze ( $8,28 \text{ g O}_2 \cdot \text{m}^{-3}$ ) i w pozostałych punktach badawczych (od  $7,96$  do  $9,36 \text{ g O}_2 \cdot \text{m}^{-3}$ ), natomiast w warstwie naddennej różnice były istotne statystycznie między wartościami przy aeratorze i w punkcie 7. (rys. 2); stężenie wynosiło odpowiednio  $2,97$  i od  $2,91$  do  $5,08 \text{ O}_2 \cdot \text{m}^{-3}$ . Stwierdzone powyższe różnice w stężeniu tlenu należy tłumaczyć między innymi najmniejszą głębokością jeziora w punkcie 7. (max.  $3,5 \text{ m}$ ). W związku z tym w tym punkcie było lepsze mieszanie wody, co miało wpływ na większe stężenie tlenu w warstwie naddennej.



Rys. 2. Analiza wariancji średnich wartości stężenia tlenu ( $\text{O}_2$ ) w jeziorze Starzyc (z okresu IV–X) z lat 2005–2009 w: a) warstwie powierzchniowej,  $F(7, 32) = 0,31136$ ,  $p = 0,94348$ ; b) warstwie naddennej,  $F(7, 32) = 4,9923$ ,  $p = 0,00067$ ; A – aerator, 1.–7. – pozostałe punkty badawcze; źródło: wyniki własne

Fig. 2. ANOVA of the mean oxygen concentrations in Lake Starzyc (April–October of the years 2005–2009); a) surface layer,  $F(7, 32) = 0.31136$ ,  $p = 0.94348$ ; b) near-bottom layer,  $F(7, 32) = 4.9923$ ,  $p = 0.00067$ ; A – aerator, 1–7 – other sampling sites; source: own studies

Woda w jeziorze na ogół spełnia wymogi drugiej klasy czystości wód jeziorowych [KUDELSKA i in. 1994]. W 2009 r. notowano mniejsze niż we wcześniejszych latach badań (2005–2008) stężenie tlenu w warstwach powierzchniowych wody

zarówno przy aeratorze, jak i w pozostałych punktach badawczych. Należy to tłumaczyć między innymi dość wysoką temperaturą wody w 2009 r. w jeziorze w warstwie powierzchniowej. Zauważyli to również KUBIAK i in. [2006], którzy podkreślają, że stężenie tlenu w zbiornikach wodnych wyraźniej zmniejsza się wraz ze wzrostem temperatury wody w warstwie powierzchniowej. W prezentowanym w niniejszej pracy okresie badań zaobserwowano dostateczną, korzystną dla bytowania i rozwoju ryb, zawartość tlenu ( $O_2$ ) w warstwie naddennej. Dowodem na to są wyniki próbnego odłowu ryb, przeprowadzonego przez Polski Związek Wędkarski „Koło nr 6” w Chociwlu w 2009 r. W jeziorze występowały następujące gatunki: sandacz (*Stizostedion lucioperca*), lin (*Tinca tinca*), karp (*Cyprinus carpio*), leszcz (*Abramis brama*), szczupak (*Esox lucius*), płoć (*Rutilus rutilus*), okoń (*Perca fluviatilis*), ukleja (*Alburnus alburnus*) oraz w znikomych ilościach węgorz (*Anguilla anguilla*).

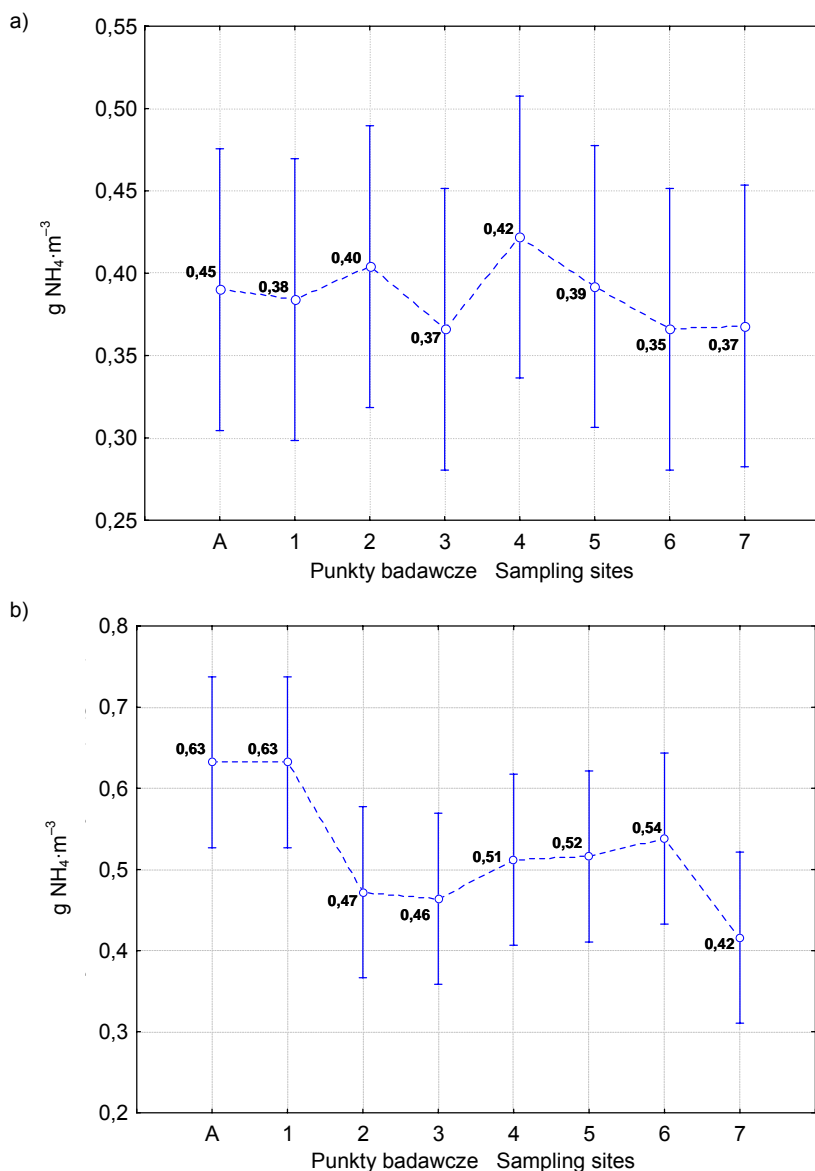
Ogólnie stwierdzono, że praca aeratora pulweryzacyjnego na jeziorze Starzyc w okresie badań (2005–2009) nie wpłynęła na poprawę natlenienia wody w warstwach naddennych zarówno w pobliżu punktu zlokalizowanego przy aeratorze, jak i w oddalonych od niego punktach badawczych (rys. 2).

Wyniki oznaczeń stężenia tlenu ( $O_2$ ), amoniaku ( $NH_4^+$ ), azotu mineralnego ( $NO_3 + NH_4^+$ ) i fosforanów ( $PO_4^{3-}$  przeliczono na P) w wodzie jeziora Starzyc porównano z liczbami granicznymi, podawanymi w wytycznych monitoringu podstawowego PIOŚ w zakresie klasyfikacji czystości wód jeziorowych [KUDELSKA i in. 1994].

W okresie badań 2005–2009 nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic w składzie chemicznym badanych wód w obu warstwach jeziora (rys. 3). Większe stężenie jonów amonowych ( $NH_4^+$ ) zanotowano w warstwie naddennej, a mniejsze w warstwie powierzchniowej jeziora. Średnie wartości z lat 2005–2009 przy aeratorze wynosiły w warstwie powierzchniowej  $0,45 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ , a w warstwie naddennej  $0,63 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ , natomiast w punktach badawczych oddalonych od aeratora w warstwie powierzchniowej – od  $0,35$  do  $0,42 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ , a w warstwie naddennej – od  $0,42$  do  $0,63 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Na podstawie średnich wartości stężenia jonów amonowych ( $NH_4^+$ ) z pięcioletniego okresu badań można zakwalifikować wodę omawianego jeziora do drugiej klasy czystości wód jeziorowych.

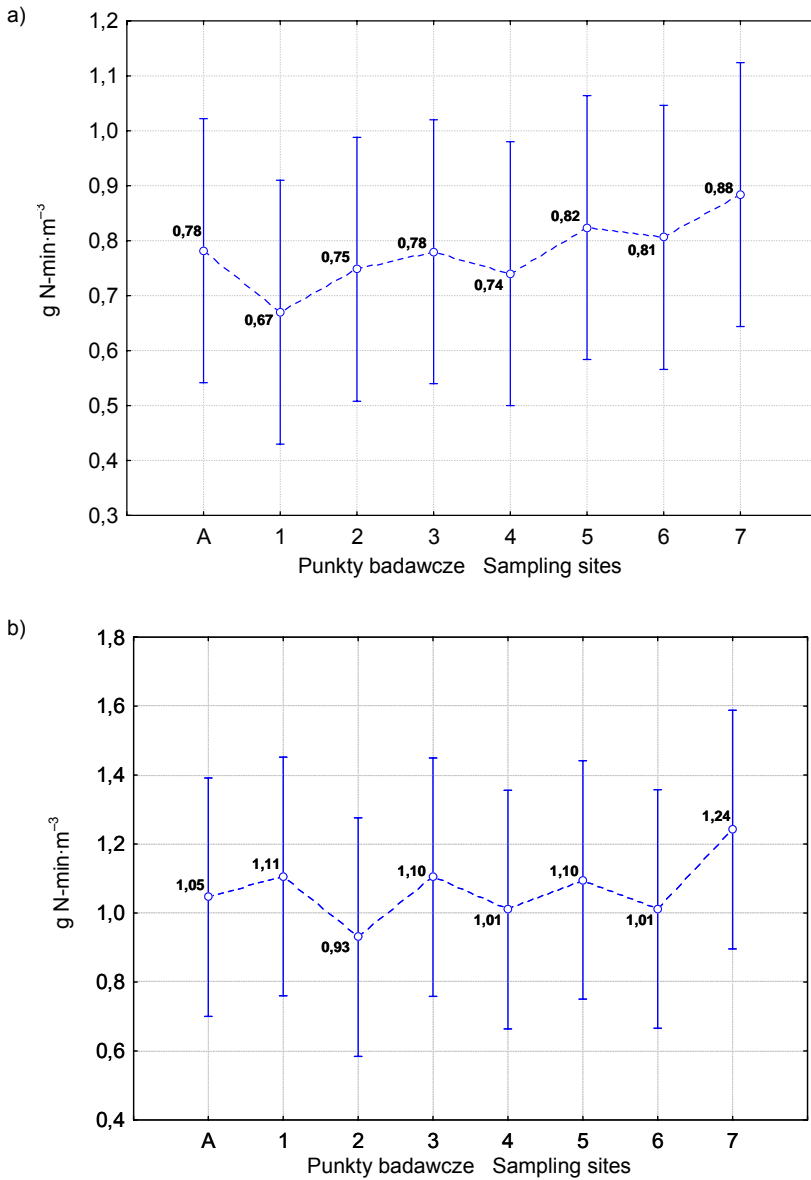
Wyniki analiz stężenia azotu mineralnego ( $NO_3 + NH_4^+$ ) z poszczególnych punktów badawczych na jeziorze Starzyc zamieszczono na rysunku 4. Średnie stężenie azotu mineralnego (N-min) w latach 2005–2009 w punkcie badawczym przy aeratorze wynosiło w warstwie powierzchniowej  $0,78 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ , a w warstwie naddennej  $1,05 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ , natomiast w pozostałych punktach badawczych w warstwie powierzchniowej w przedziale  $0,67$ – $0,88 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ , a w warstwie naddennej –  $0,93$ – $1,24 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ . W związku z tym w pięcioletnim okresie badań nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic w średnich wartościach stężenia azotu mineralnego (N-min) w badanym jeziorze. Zanotowano natomiast różnice między wartościami tego parametru w badanych warstwach wody. Mniejsze stężenie azotu mineralnego (N-min)





Rys. 3. Analiza wariancji średnich wartości stężenia jonów amonowych ( $\text{NH}_4^+$ ) jeziorze Starzyc (z okresu od IV–X) z lat 2005–2009 w: a) warstwie powierzchniowej,  $F(7, 32) = 0,22669$ ,  $p = 0,97597$ ; b) warstwie naddennej,  $F(7, 32) = 2,2234$ ,  $p = 0,05838$ ; objaśnienia, jak pod rys. 2; źródło: wyniki własne

Fig. 3. ANOVA of the mean ammonium ion concentrations in Lake Starzyc (April–October of the years 2005–2009); a) surface layer,  $F(7, 32) = 0.22669$ ,  $p = 0.97597$ ; b) near-bottom layer,  $F(7, 32) = 2.2234$ ,  $p = 0.05838$ ; explanations as in Fig. 2; source: own studies



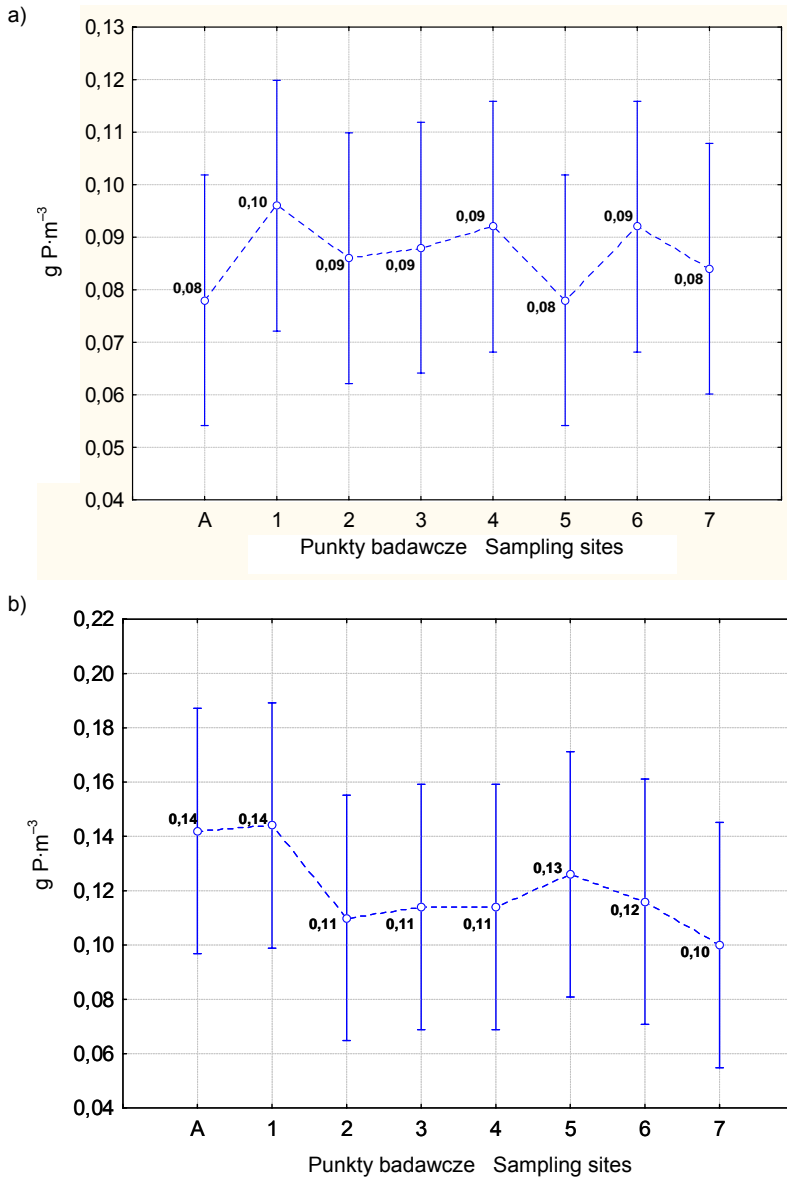
Rys. 4. Analiza wariancji średnich wartości stężenia azotu mineralnego N-min w jeziorze Starzyc (z okresu IV–X) z lat 2005–2009 w; a) warstwie powierzchniowej,  $F(7, 32) = 0,28921$ ,  $p = 0,95337$ ; b) warstwie naddennej,  $F(7, 32) = 0,29645$ ,  $p = 0,95024$ ; objaśnienia jak pod rys. 2; źródło: wyniki własne

Fig. 4. ANOVA of the mean concentrations of mineral nitrogen in Lake Starzyc (April–October of the years 2005 – 2009); a) surface layer,  $F(7, 32) = 0.28921$ ,  $p = 0.95337$ ; b) near-bottom layer,  $F(7, 32) = 0.29645$ ,  $p = 0.95024$ ; explanations as in Fig. 2; source: own studies

występowało w warstwach powierzchniowych wody, a większe w warstwach naddennych. Jednocześnie należy podkreślić, że stężenie azotu mineralnego (N-min) w wodzie jeziora Starzyc stopniowo malało, począwszy od pierwszego roku badań (2005) zarówno w punkcie zlokalizowanym przy aeratorze, jak i w oddalonych od niego punktach badawczych. Średnie stężenie azotu mineralnego (N-min) w okresie badań 2005–2009 kwalifikuje wodę jeziora Starzyc do trzeciej klasy czystości wód jeziorowych.

Średnie stężenie fosforu (P) z okresu badań (2005–2009) z poszczególnych punktów badawczych na jeziorze, podobnie jak w przypadku azotu mineralnego, było zróżnicowane (rys. 5). Większe wartości stwierdzono w warstwach naddennych, a mniejsze w warstwach powierzchniowych wody. Nie stwierdzono natomiast istotnych statystycznie różnic stężenia fosforu w wodzie między punktem zlokalizowanym przy aeratorze a oddalonymi od niego punktami w obu badanych warstwach. Średnie stężenie fosforu (P) w okresie badań (2005–2009) wynosiło przy aeratorze w warstwie powierzchniowej  $0,08 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ , a w warstwie naddennej –  $0,14 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ , natomiast w pozostałych siedmiu punktach badawczych w warstwie powierzchniowej –  $0,08\text{--}0,10 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ , a w warstwie naddennej –  $0,10\text{--}0,14 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Zanotowano natomiast różnice stężenia fosforu w poszczególnych latach badań, największe w pierwszym roku badań (2005), a najmniejsze w ostatnim (2009). Stwierdzone w 2009 r. stężenie tego składnika kwalifikuje wodę jeziora Starzyc do trzeciej klasy czystości wód jeziorowych. Jednocześnie należy podkreślić, że jego stężenie w badanych warstwach wody, podobnie jak w przypadku azotu mineralnego (N-min), stopniowo malało od pierwszego roku badań (2005), ale szczególnie w dwóch ostatnich latach badań (2008–2009). Mniejsze stężenie fosforu w jeziorze należy tłumaczyć między innymi zastosowaniem w latach 2008–2009 przez Urząd Gminy w Chociwlu koagulantu siarczanu żelazowego PIX113 (zawierającego m.in. 43% siarczanu żelazowego i 1% kwasu siarkowego) na całej powierzchni jeziora.

Należy również podkreślić, że jakość wody w jeziorze Starzyc w głównej mierze zależy od stężenia składników biogennych w wodach dopływowych do zbiornika (tab. 3). Stężenie składników biogennych w wodzie z dopływów do jeziora było zróżnicowane (tab. 3). Największe średnie stężenie azotu mineralnego w latach 2005–2009 stwierdzono w dopływie I –  $2,83 \text{ g N-min}\cdot\text{m}^{-3}$ , a najmniejsze w dopływie II –  $1,38 \text{ g N-min}\cdot\text{m}^{-3}$ . W wodzie z dopływu I zanotowano również bardzo duże stężenie fosforu (P)  $0,84 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Stwierdzone stężenie azotu mineralnego (N-min) i fosforu (P) w wodzie z dopływu I (kanał melioracyjny) przekraczało wartości dopuszczalne dla wód jeziorowych. Mało było natomiast jonów amonowych ( $\text{NH}_4^+$ ) w wodzie z dopływów – w granicach  $0,18\text{--}0,28 \text{ g NH}_4^+$ . Również mało jonów amonowych ( $\text{NH}_4^+$ ) i fosforu (P) stwierdzono w wodach odpływowych do Iny (tab. 3).



Rys. 5 Analiza wariancji średnich wartości stężeń fosforu (P) w jeziorze Starzyc (z okresu od IV–X) z lat 2005–2009 w: a) warstwie powierzchniowej,  $F(7, 32) = 0,31590$ ,  $p = 0,94134$ ; b) warstwie naddennej,  $F(7, 32) = 0,48791$ ,  $p = 0,83618$ ; objaśnienia jak pod rys. 2; źródło: wyniki własne

Fig. 5. ANOVA of the mean phosphorus concentrations in Lake Starzyc (April–October of the years 2005–2009); a) surface layer,  $F(7, 32) = 0.31590$ ,  $p = 0.94134$ ; b) near-bottom layer,  $F(7, 32) = 0.48791$ ,  $p = 0.83618$ ; explanations as in Fig. 2; source: own studies

**Tabela 3.** Średnie stężenie N-min,  $\text{NH}_4^+$  i P za okres IV–X w wodzie dopływającej do jeziora Starzyc i odpływającej z niego w latach 2005–2009**Table 3.** The mean concentration of N-min,  $\text{NH}_4^+$  and P in the water flowing into Lake Starzy and outflow from it (April–October of the year 2005–2009)

Lata Years	Stężenie ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ) w Concentration (in $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ) in											
	dopływie I (kanał melioracyjny) inflow I (drainage channel)			dopływie II (Kamienny Most) inflow II (Kamienny Most)			dopływie III (rów melioracyjny) inflow III (drainage)			odpływie z jeziora do rzeki Iny outflow from the lake to Ina River		
	N-min	$\text{NH}_4^+$	P	N-min	$\text{NH}_4^+$	P	N-min	$\text{NH}_4^+$	P	N-min	$\text{NH}_4^+$	P
2005	3,36	0,23	0,05	2,51	0,10	0,09	2,28	0,25	0,09	1,68	0,53	0,11
2006	2,24	0,25	0,05	1,64	0,21	0,09	1,79	0,33	0,14	1,03	0,60	0,07
2007	1,61	0,14	0,05	0,32	0,09	0,06	0,45	0,18	0,06	0,55	0,49	0,06
2008	2,07	0,33	0,08	–	0,23	0,12	2,29	0,28	0,12	1,18	0,41	0,07
2009	4,88	0,31	0,19	1,03	0,26	0,27	1,16	0,36	0,18	0,55	0,36	0,06
2005–2009	2,83	0,25	0,84	1,38	0,18	0,13	1,59	0,28	0,12	1,00	0,48	0,07

Podsumowując, stwierdzono, że stężenie składników biogennych w wodzie jeziora Starzyc stopniowo malało, począwszy od pierwszego roku badań (2005), a średnie wartości z lat 2005–2009 kwalifikują wodę omawianego jeziora ze względu na stężenie azotu mineralnego (N-min) i fosforu (P) do trzeciej klasy czystości wód jeziorowych, a ze względu na stężenie jonów amonowych ( $\text{NH}_4^+$ ) – do drugiej klasy [KUDELSKA i in. 1994].

Dalsza poprawa jakości wody w jeziorze Starzyc zależy między innymi od wyeliminowania przyczyn zanieczyszczeń wód dopływowych do jeziora, szczególnie azotu i fosforu w dopływie I (kanał melioracyjny) i dopływie III (rów melioracyjny).

## WNIOSKI

1. Stężenie tlenu w badanych dwóch warstwach wody w jeziorze Starzyc było różnicowane – większe w warstwach powierzchniowych wody, a mniejsze w naddennych.

2. W pięcioletnim okresie badań (2005–2009) nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic stężenia tlenu w wodzie jeziora między punktem zlokalizowanym przy aeratorze pulweryzacyjnym a oddalonymi od niego punktami badawczymi, z wyjątkiem punktu 7. Można zatem stwierdzić, że praca aeratora na jeziorze Starzyc nie poprawiła natlenienia wód w warstwach naddennych.

3. Przewodność elektrolityczna wody badanego jeziora była dość duża, średnio ponad  $350 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ . Większe wartości przewodności elektrolitycznej stwierdzono w warstwach naddennych wody, a nieco mniejsze w warstwach powierzchniowych.

4. Wartości pH w wodzie jeziora mieściły się w granicach 7,57–8,29 i odpowiadały odczynowi obojętnemu lub zasadowemu. Większe wartości pH stwierdzono w warstwach powierzchniowych wody, a mniejsze w warstwach naddennych.

5. Stężenie składników biogennych w wodzie jeziora stopniowo malało, począwszy od pierwszego roku badań (2005). Stwierdzone średnie wartości z okresu badań (2005–2009) kwalifikują wodę jeziora Starzyc ze względu na stężenie azotu mineralnego (N-min) i fosfor (P) do trzeciej klasy czystości wód jeziorowych, a ze względu na stężenie jonów amonowych ( $\text{NH}_4^+$ ) do klasy drugiej.

6. Postępująca poprawa jakości wody w badanym jeziorze w dużej mierze zależy od wyeliminowania przyczyn zanieczyszczeń w wodach dopływowych do jeziora.

*Autorzy artykułu serdecznie dziękują Panu Tadeuszowi Nykzie, mieszkańcowi Chociwła, za bezinteresowne udostępnianie łodzi do pobierania próbek wody z jeziora Starzyc w celu wykonania analiz chemicznych.*

## LITERATURA

- DURKOWSKI T. 2004. Zmiany jakości wód głównych dopływów jeziora Miedwie. W: Ochrona i rekultywacja jezior. 5. Konf. nauk.-techn. Grudziądz, 11–13.05.2004. Toruń. PZLiTS s. 15–23.
- GODLEWSKA M., ŚWIERZOWSKI A. 2004. Hydroakustyka jako narzędzie monitoringu ryb i środowiska ekosystemów jeziorowych. W: Ochrona i rekultywacja jezior. 5. Konf. nauk.-techn. Toruń. PZLiTS s. 33–41.
- HILLBRICHT-ILKOWSKA A. 1989. Jeziora Mazurskiego Parku Krajobrazowego. Stan eutrofizacji, kierunki ochrony. Zeszyty Naukowe Komitetu Człowiek i Środowisko PAN. Z. 1 ss. 167.
- KONIECZNY R., PIECZYŃSKI L. 2006. Próba rekultywacji jezior województwa zachodniopomorskiego w technologii aeracji pulweryzacyjnej. *Acta Agrophysica*. Vol. 7(4) s. 947–957.
- JAŃCZAK J. (red.) 1997. Atlas jezior Polski. T. 2. Jeziora zlewni rzek Przymorza i dorzecza dolnej Wisły. Poznań. Bogucki Wydawnictwo Naukowe ss. 256.
- 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.
- LOSSOW K. 1985. Odnowa jezior. *Ekoprofit*. Nr 5 s. 11–15.
- LOSSOW K. 1998. Ochrona i rekultywacja jezior – teoria i praktyka. *Idee Ekologiczne*. Ser. Szkice. Nr 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. Mater. konf. nauk. Ser. Biologia. Nr 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. Konf. nauk.-tech. Grudziądz, 11–13.05.2004. Toruń. PZLiTS s. 151–158.
- PODSIADŁOWSKI S. 2008. Methods of precise phosphorus inactivation in lake waters. *Limnological Review*. Vol. 8. Z. 1–2 s. 51–56.
- PODSIADŁOWSKI S., MASTYŃSKI J., ANDRZEJEWSKI W., KONIECZNY R. 2000. Aeracja jezior. W: Rybacko-jeziorowe. 5 Kraj. Konf. Rybackich Użytkowników Jezior. Olsztyn, 14–16.06.2000. Olsztyn. Wydaw. IRŚ s. 121–127.
- PYŁKA-GUTOWSKA E. 2004. Ekologia z ochroną środowiska. Warszawa. Wydaw. Oświata ss. 287.
- TADAJEWSKI A., KUBIAK J. 1976. Wstępna ocena stopnia zeutrofizowania wód strefy przybrzeżnej w rejonie ujść niektórych rzek Pomorza Zachodniego. *Studia i Materiały Oceanologiczne*. Nr 15 s. 91–108.
- TÓRZ A., KUBIAK J., CHOJNACKI J. 2003. Assessment of Lake Miedwie water quality in 1998–2001. *Acta Scientiarum Polonorum*. Vol. 2(1) s. 279–290.
- WESOŁOWSKI P., TRZASKOŚ M., PAWŁOS D. 2009. Charakterystyka składu botanicznego i chemicznego roślinności przybrzeżnej jeziora Resko (gmina Polczyn-Zdrój). *Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie*. Nr 2 s. 78–81.

*Piotr WESOŁOWSKI, Adam BRYSIWICZ, Dorota PAWŁOS*

**PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES  
OF WATERS IN LAKE STARZYC AERATED BY MEANS OF PULVERISING AERATOR**

*Key words: aerator, Lake Starzyc,  $NH_4^+$ , N-mineral, oxygen,  $PO_4^{3-}$ , water*

**S u m m a r y**

The study was carried out in 2005–2009 in Lake Starzyc (the Chociwel community) in West Pomeranian voivodship. It aimed at estimating water quality of lake as an effect of its aeration by pulverizing aerator. In the five-year study period no differences were observed in the content of oxygen between waters near the aerator and those taken from distant sampling points. Pulverizing aeration technology used in lake did not improve aeration of near-bottom water layers next to the aerator or at distant sampling sites. Nutrient concentrations in lake water gradually decreased from the first study year. Mean concentrations of mineral N and P from the years 2005–2009 qualify water of the lake to the third class of water quality and those of ammonium nitrogen – to the second class. Further improvement of water quality in Lake Starzyc depends on elimination of pollution sources (mainly the excessive concentrations of nitrogen and phosphorus) in waters flowing into the lake.

---

**Recenzenci:**

*prof. dr hab. Józef Mosiej*

*doc. dr hab. Stefan Pietrzak*

Praca wpłynęła do Redakcji 27.05.2010 r.