



Skuteczność rekultywacji jeziora Jelonek na podstawie wybranych fizycznych i chemicznych parametrów wody

*Krzysztof Berleć, Adam Traczykowski, Katarzyna Budzińska,
Bożena Szejniuk, Magdalena Michalska, Anita Jurek,
Magdalena Tarczykowska, Iwona Klimczak
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Bydgoszcz*

1. Wstęp

Nasilające się procesy przekształcające oraz degradujące środowisko wodne, związane z działalnością gospodarczą człowieka powodują, że problemy jego ochrony i właściwego użytkowania stają się istotne dla dalszego rozwoju ekonomicznego i społecznego [5]. Urbanizacja, uprzemysłowienie, intensywna produkcja rolna na obszarze zlewni, a także znaczny rozwój turystyki, przy niedostatku skutecznych metod ochrony wód, wpływają na nadmierne obciążenia wód fosforem i azotem, stąd wyjątkowo istotnym problemem jest ich nadmierne użyżnienie [16]. Duże ilości składników pokarmowych sprzyjają masowemu rozwojowi bakterii i grzybów, a substancje trujące znajdujące się w wodzie mogą wpłynąć na rozwój mikroflory, której wzrost może ulec częściowemu lub całkowitemu zahamowaniu [29]. Zanieczyszczenie antropogeniczne wód związkami biogennymi prowadzi do nadmiernej eutrofizacji, czego jednym z głównych objawów są zakwity glonów oraz intensywny wzrost i rozwój różnych bakterii heterotroficznych – saprofitycznych i patogennych, stwarzających poważny problem ekologiczny i epidemiologiczny [13]. Proces eutrofizacji w sposób naturalny przebiega bardzo wolno, natomiast w minionym stuleciu został w wyniku działalności człowieka gwałtownie przyspieszony [32].

Ochrona jezior przed postępującą eutrofizacją bądź spowolnienie jej skutków może odbywać się głównie przez ograniczenie lub eliminację spływu biogenów i substancji organicznych ze zlewni [20, 28].

Podjęcie właściwych działań ochronnych, a także ewentualna likwidacja skutków nadmiernej eutrofizacji wymaga wieloletnich badań [18]. Podstawowym i najbardziej skutecznym sposobem ochrony jezior jest ograniczenie lub likwidacja źródeł zasilania w biogeny, stąd w ochronie jezior wyróżnia się metody wewnętrzne (rekultywacyjne), stosowane w obrębie misy jeziora oraz zewnętrzne (ochronne), dotyczące ich zlewni [21].

Celem pracy było podjęcie próby wstępnej oceny skuteczności rekultywacji jeziora Jelonek na podstawie analizy wybranych fizycznych i chemicznych wskaźników jakości wody.

2. Materiał i metodyka badań

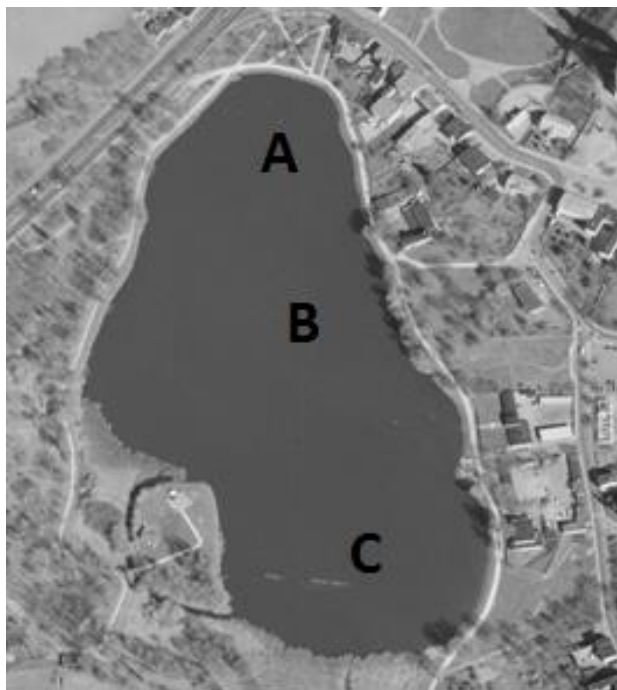
Przedmiotem badań była woda z jeziora Jelonek położonego w Gnieźnie w województwie wielkopolskim. Badania prowadzone były w okresie od października 2010 roku do maja 2011 roku i dotyczyły pomiaru podstawowych wskaźników fizycznych i chemicznych wody takich jak: temperatura i pH oraz stężenie fosforu ogólnego, fosforanów, azotu ogólnego, azotanów, azotynów i azotu amonowego.

2.1. Pobór próbek wody do badań

Woda pobierana była w odstępach miesięcznych, w trzech punktach z głębokości 20 cm (fot. 1) do sterylnych butelek o pojemności 0,5 dm³. Pojemniki napełniano całkowicie pobieraną wodą, a następnie szczelnie zamknięte, zabezpieczone przed wpływem światła i nadmiernym ogrzaniem transportowano do laboratorium, w którym zostały przeprowadzone badania.

Badanie zawartości fosforu ogólnego, fosforanów, azotanów, azotynów i azotu amonowego przeprowadzono metodą spektrofotometryczną przy użyciu spektrofotometru NOVA 400, natomiast azotu ogólnego w zmineralizowanych próbach metodą Kjeldahla zgodnie z normą PN 73/C-04576.12.

Pomiaru temperatury i pH dokonano *in situ*, w dniu pobierania próbek.



Fot. 1. Jezioro Jelonek – miejsca poboru próbek wody [33]

Photo. 1. Lake Jelonek – places of water sampling

2.2. Charakterystyka jeziora Jelonek

Jezioro Jelonek położone jest w centrum Gniezna, w bezpośrednim sąsiedztwie usytuowanego na wysokim wzgórzu Parku Piastowskiego. Akwen połączony jest wąską strugą z dorzeczem rzeki Wdy i uznawany jest za jezioro przepływowe. Lokalizacja ta powoduje, że zbiornik, który jest niewielki, płytki – jego powierzchnia wynosi około 14 ha, pojemność około 170000 m³, głębokość maksymalna 2,4 m, średnia 1,2 m, polimiktyczny i cechujący się nieregularnym kształtem, ma szczególne predyspozycje do nadmiernej eutrofizacji. W efekcie przyjmowania spływów powierzchniowych oraz ścieków z niezidentyfikowanych źródeł, przejawiał wszystkie symptomy znacznego przeżyźnienia, co skutkowało intensywnymi zakwitami sinicowymi i zanikiem makrofitów [14].

Teren zlewni całkowitej jeziora Jelonek to teren rolniczy, zmeliorowany i odwadniany przez rowy śródpolne [27].

3. Omówienie wyników i dyskusja

Azot będąc pierwiastkiem biofilnym podlega cyklicznemu krążeniu w przyrodzie, podczas którego zachodzi w wodach szereg procesów biochemicznych [7]. Stężenie azotu ogólnego w jeziorze Jelonek wynosiło od 10,54 mg/dm³ do 18,1 mg/dm³, przy średniej zawartości 14,78 mg/dm³ (tab. 1). Warto zwrócić uwagę na fakt, że próby pobierane od kwietnia wyraźnie odbiegały wynikami od prób pobranych zimą. Można tu więc zauważyć sezonową zmienność, która wiąże się z zimową stagnacją oraz rozpoczęciem wegetacji przez rośliny znajdujące się w zbiorniku wodnym.

Gawrońska i wsp. [2005], badając jezioro Długie w Olsztynie otrzymali również wysokie stężenie azotu ogólnego. Przed podjęciem działań rekultywacyjnych w 1972 roku w warstwach powierzchniowych azot ogólny występował w ilościach od 3,5 do 12,5 mg/dm³. Po odcięciu ścieków, wody poddano kolejnym analizom w latach 1974–1976. Wartości stężeń azotu ogólnego wynosiły wtedy odpowiednio: 2,6–21,5 mg/dm³ w 1974 r., 1,9–12,6 mg/dm³ w 1975 r., 2,1–18,2 mg/dm³ w 1976 r. Po kolejnych zabiegach rekultywacyjnych stężenie azotu ogólnego nie przekroczyło 2,0 mg/dm³. Należy tu zauważyć, że ilość azotu ogólnego po rekultywacji znacznie zmalała. Niestety, jak wynika z analizy wody jeziora Jelonek, odnowa zbiornika nie obniżyła ilości azotu ogólnego i nadal znajduje się on na bardzo wysokim poziomie w porównaniu do innych zbiorników wodnych. Najprawdopodobniej spowodowane jest to niewłaściwie prowadzoną gospodarką ściekową, jak również dostawą substancji biogenych pochodzących z produkcji rolniczej. Z technicznego punktu widzenia należałoby również zwrócić uwagę na sposób zabezpieczenia badanego jeziora przed dostawaniem się tego rodzaju substancji do wody. Dla porównania w wodach jeziora Durowskiego, analizowanego przez Gołdyna i wsp. [2010], stężenie azotu ogólnego wahało się od 2,18 mg/dm³ do 5,25 mg/dm³. Wartości najwyższe odnotowano w okresie letnim, kiedy to wg Chełmickiego [1995] oraz Dojlido [1995] powinny być najniższe. W wodach Strugi Gołanieckiej dopływającej do jeziora stężenie azotu ogólnego wahało się od 2,87 mg/dm³ w październiku do 4,06 mg/dm³ we wrześniu, co tłumaczy niskie wartości azotu ogólnego w samym jeziorze w porównaniu z jeziorem Jelonek. Wartości stężeń azotu ogólnego w jeziorze Jelonek i w jeziorze Durowskim odbie-

gają od siebie i świadczą o znacznym zanieczyszczeniu analizowanego jeziora. Warto zwrócić uwagę na jakość wód rzecznych dopływających do jezior. W wodach rzeki Słupi Moczulska i wsp. [2006] otrzymali wartości azotu ogólnego w granicach 0,86–1,92 mg/dm³, które to nie przekraczały wartości dopuszczalnej dla wód I klasy czystości, tj. 5 mg/dm³ [34] Można więc jednoznacznie stwierdzić, że Jezioro Jelonek należy do jezior o bardzo złej jakości i wysokiej podatności na degradację, biorąc pod uwagę wartości wskaźnika jakim jest w tym przypadku azot ogólny.

W ocenie jakości wód uwzględnia się również azotyny. Ze względu jednak na to, że są one produktem nietrwałym, łatwo przekształcającym się w azotany lub amoniak, analizuje się je rzadko.

Azotyny są niestabilną formą azotu, uznawaną za wskaźnik świeżego zanieczyszczenia antropogenicznego wód. Stężenia jonów azotynowych są znacznie niższe od stężeń jonów azotanowych [7]. Stężenie azotynów w wodach jeziora Jelonek kształtowało się na poziomie od 0,14 mg/dm³ do 0,65 mg/dm³. Średnia zawartość tych związków wyniosła 0,25 mg/dm³. Termin pobrania próby oraz związana z tym temperatura nie wpłynęły na wartość stężeń azotynów w jeziorze.

Interpretując otrzymane wyniki i zestawiając je z poglądami Chełmickiego [1995] oraz Dojlido [1995] należy stwierdzić, iż nie pozwalają one wyciągnąć jednoznacznych wniosków, co do wpływu pory roku na ilość zanieczyszczeń w wodach. Należy zwrócić uwagę, że w miesiącach zimniejszych (od listopada do marca) zawartość azotynów jest wyższa aniżeli od kwietnia do maja. W związku z powyższym ciężko jednoznacznie stwierdzić zależność pomiędzy porą roku a stężeniem analizowanego parametru. Warto jednak zwrócić uwagę na wyniki otrzymane w miesiącu maju – są one najniższe w badanym okresie, co może sugerować jego dalszy spadek w późniejszym czasie.

Tabela 1. Charakterystyka wybranych wskaźników wód powierzchniowych w okresie prowadzonych badań**Table 1.** Characteristic of selected indicators of surface water during the experimental period

Numer próby	Miejsce poboru	Temperatura [°C]	pH	P _{og} [mg/dm ³]	P-PO ₄ [mg/dm ³]	N _{og} [mg/dm ³]	N-NO ₃ [mg/dm ³]	N-NO ₂ [mg/dm ³]	N-NH ₄ [mg/dm ³]
1	A	3,9	7,39	0,185	0,34	18,1	8,4	0,18	0,11
	B	4,3	7,00	0,142	0,13	17,5	9,3	0,16	0,09
	C	4,6	7,60	0,161	0,15	17,7	8,7	0,21	0,12
2	A	0,5	7,29	0,214	0,23	16,7	8,6	0,21	0,11
	B	0,1	7,12	0,161	0,19	16,9	9,6	0,19	0,08
	C	1,2	7,40	0,193	0,17	16,8	9,1	0,23	0,10
3	A	6,8	7,92	0,040	0,20	15,4	8,0	0,17	0,07
	B	6,0	7,93	0,033	0,08	15,3	9,2	0,14	0,09
	C	4,8	7,85	0,045	0,16	15,8	8,8	0,20	0,11
4	A	8,7	7,75	0,056	0,22	16,2	8,6	0,26	0,14
	B	8,0	7,69	0,059	0,06	16,2	9,2	0,27	0,14
	C	6,9	7,67	0,053	0,22	16,3	9,1	0,65	0,21
5	A	9,1	7,75	0,061	0,27	13,4	8,2	0,23	0,19
	B	11,5	7,69	0,052	0,09	13,7	9,7	0,22	0,12
	C	11,7	7,67	0,073	0,26	13,9	11,1	0,51	0,22
6	A	10,2	7,93	0,754	0,26	12,9	9,5	0,22	0,09
	B	14,3	8,02	0,695	0,17	13,0	12,4	0,19	0,06
	C	14,2	7,87	0,801	0,28	12,9	9,0	0,52	0,18
7	A	13,5	7,40	0,705	0,35	10,6	7,8	0,15	0,05
	B	12,0	7,83	0,691	0,16	10,6	9,1	0,15	0,08
	C	10,5	7,99	0,698	0,22	10,5	8,9	0,20	0,07
średnia		7,75	7,66	0,280	0,20	14,78	9,16	0,25	0,12
min-max		0,1–14,3	7,00–8,02	0,033–0,801	0,06–0,35	10,5–18,1	7,8–12,4	0,14–0,65	0,05–0,22
Sx		4,39	0,29	0,29	0,08	2,39	1,02	0,14	0,05

Stężenie azotynów w próbach wody badanych przez Kulikowską-Karpińską i Kłusewicza [2009] w okresie od kwietnia 2007 r. do kwietnia 2008 r. mieściło się w granicach od 0,013 do 0,035 mg/dm³. Największe stężenie azotynów odnotowano w kwietniu 2007 r. i styczniu 2008 r. (odpowiednio 0,033 oraz 0,035 mg/dm³), najmniejsze natomiast w listopadzie 2007 r. (0,013 mg/dm³) i w lutym 2008 r. (0,015 mg/dm³). Przytoczone wyżej wyniki świadczą o przynależności tych wód do I klasy jakości wód powierzchniowych. Tylko w 25% badanych prób od kwietnia 2007 r. do stycznia 2008 r. stężenie azotynów odpowiadało II klasie jakości wód powierzchniowych [34]. Różnica pomiędzy przedstawionym powyżej zbiornikiem w Siemianówce a jeziorem Jelonek jest diametralna i mieści się w zakresie od 0,115 mg/dm³ do 0,637 mg/dm³. Można przypuszczać, że azotyny, będąc związkami nietrwałymi, przejściowymi w reakcjach biochemicznych utleniania amoniaku, w warunkach tlenowych i w obecności mikroorganizmów są przekształcane w azotany [11], stąd tak małe stężenie azotynów w badanych próbach. Gołdyn i wsp. [2010] badając wodę w jeziorze Durowskim w roku 2010 stwierdzili niewielkie ich ilości, które zdecydowanie odbiegają od stężenia tych związków w jeziorze Jelonek. Wahwały się one od 0,001 mg/dm³ w lutym i grudniu do 0,049 mg/dm³ w maju. Rozpatrując zmienność sezonową stwierdzono, iż wartości niskie wystąpiły w okresie zimowym, co jest niezgodne z teorią Chełmickiego [1995] oraz Dojlido [1995], kiedy to zimą stężenie powinno być najwyższe.

Warto zwrócić uwagę na jakość wód rzecznych, która bez wątpienia ma istotny wpływ na stopień zanieczyszczenia jezior. Dąbrowska [2008] badając wody zlewni rzeki Trzemny stwierdza, że ilość azotynów wynosiła w latach 2004–2006 odpowiednio 0,07 mg/dm³, 0,06 mg/dm³ oraz 0,13 mg/dm³. Są to wartości niewielkie, a w latach 2004–2005 mniejsze o połowę od uzyskanych w czasie badań wód Jeziora Jelonek. Warto zauważyć, że zlewnia rzeki Trzemna jest wykorzystywana rolniczo – grunty orne stanowią tu ok. 80% powierzchni. Analizie stężeń związków azotu zostały poddane również wody rzeki Ślina. Kiryłuk i Rauba [2009] stwierdzili, iż stężenie azotynów wynosiło tam od 0,001 do 0,239 mg/dm³, co jest związane ze zmiennością sezonową, która wykazała, że najwięcej azotynów występuje w maju i czerwcu, co tłumaczone jest przez nich intensywnym wypasem bydła w tym okresie na pastwiskach położonych w pobliżu rzeki.

Azotyny, jak wspomniano wcześniej, stosunkowo łatwo przekształcają się w azotany, które są najpowszechniejszą formą azotu występującą w wodach. Badane próby wody charakteryzowały się stosunkowo wysoką zawartością azotanów. Stężenia azotu azotanowego w zbiorniku zmieniały się od $7,8 \text{ mg/dm}^3$ do $12,4 \text{ mg/dm}^3$ (tab. 1). Nie można zaobserwować w badanych próbach tendencji do zmienności sezonowej, warto natomiast zauważyć, że wartości stężeń w punkcie poboru numer 2 były zawsze wyższe niż w okolicach dopływu i odpływu. Średnia zawartość NO_3 w wodach jeziora Jelonek od października 2010 do maja 2011 r. wyniosła $9,16 \text{ mg/dm}^3$.

Odmienne wyniki otrzymał Chmura [2008] badając wody Zalewu Kryspinów w latach 2005–2006. Zwraca on uwagę na ekstremalnie niskie wartości mierzonych stężeń, szczególnie w okresie jesienno-zimowym. Maksimum stężenia azotanów zaobserwował w miesiącach letnich (lipiec–sierpień) – z wartościami dochodzącymi do $1,7 \text{ mg/dm}^3$. Warto tutaj zauważyć, że wyniki otrzymane przez tego autora nie mają odzwierciedlenia w teorii Chełmickiego [1995] oraz Dojlido [1995], według których wody powinny być bardziej zanieczyszczone w czasie zimowej stagnacji, a czyste w okresie wiosenno–letnim. Średnia za cały okres obserwacji wynosiła $0,7 \text{ mg/dm}^3$, gdzie w przypadku jeziora Jelonek jest to $9,16 \text{ mg/dm}^3$. Otrzymane wyniki analizy wody Zalewu Kryspinów wskazują na sezonową zmienność – minimalne stężenie otrzymano w listopadzie i grudniu ($0,1 \text{ mg/dm}^3$) natomiast maksymalne w sierpniu ($1,7 \text{ mg/dm}^3$).

Zbliżone wyniki otrzymali Szpakowska i wsp. [2005], którzy badając wody zbiorników śródmiejskich w Poznaniu w latach (2003–2004) odnotowali średnie stężenie azotu azotanowego na poziomie $0,923 \text{ mg/dm}^3$. Wyniki te diametralnie różnią się od stężeń otrzymanych w jeziorze Jelonek. Sześciokrotnie wyższe stężenie od średniej rocznej ($0,92 \text{ mg/dm}^3$) odnotowano w jeziorze Rusalka w miesiącu wrześniu. Stwierdzony wzrost stężenia azotanów do wartości $5,73 \text{ mg/dm}^3$, wynikać może z dopływu ładunku biogenów z terenu zlewni, jako że do jeziora Rusalka wpływają wody z wielu małych cieków. Nie można wykluczyć także masowego użytkowania rekreacyjnego i wędkarskiego zbiornika. Szpakowska i wsp., [2005] analizując sezonowy przebieg stężeń azotanów w wodach badanych zbiorników stwierdzili, że najwyższe stężenia tego związku występują w okresie zimy i wczesnej wiosny. Obni-

żenie stężenia następowało natomiast w okresie wegetacyjnym i związane było z pochłanianiem biologicznym przez rozwijającą się florę i faunę. Można by przypuszczać, że dalsza analiza wód jeziora Jelonek mogłaby wykazać, że stężenie azotanów zmaleje w okresie letnim.

Uwagę zwraca również niezbyt duże stężenia azotanów w wodzie jeziora Maltańskiego ($0,4\text{--}1,2\text{ mg/dm}^3$), pomimo ich wysokiej koncentracji w zasilającej je rzece Cybinie. Te niższe stężenia mogą być związane z obecnością małych, płytkich zbiorników wstępnych, utworzonych w celu ochrony wód leżącego niżej jeziora Maltańskiego [31]. Tą samą funkcję powinien spełniać staw retencyjny, znajdujący się przy jeziorze Jelonek. W trakcie zabiegów rekultywacyjnych w miejscu dopływu Strugi Gnieźnieńskiej pogłębiono część stawu, przez co zwiększono strefę sedymentacji osadów potencjalnie niesionych przez ciek. Z danych dotyczących jeziora Jelonek, a przedstawionych przez Jańczaka [2004] wynika, że zawartość związków azotu mieści się w granicach od $0,5$ do $5,75\text{ mg/dm}^3$. Można więc zauważyć, że związki biogenne dopływające Strugą Gnieźnieńską nie są przechwytywane przez staw, a ich stężenie wręcz wzrosło od 2004 roku. Bardzo duże wartości azotanów zaobserwowali Kulikowska-Karpińska i Kłusewicz [2009] badając wody zbiornika Siemianówka. Ich stężenie w próbach wody pochodzących ze zbiornika Siemianówka w latach 2007–2008 mieściło się w granicach $46,3\text{--}100,9\text{ mg/dm}^3$. Najmniejsze stężenie azotanów, tj. aż $55,0$ i $46,3\text{ mg/dm}^3$, stwierdzono w kwietniu 2007 r. i w kwietniu 2008 r., największe w styczniu 2008 r. ($100,9\text{ mg/dm}^3$). Uwzględniając pogląd Chełmickiego [1995] i Dojlido [1995] o czystości wód w miesiącach zimowych i wiosenno-letnich wyniki badań przeprowadzone przez Kulikowską-Karpińską i Kłusewicz [2009] są adekwatne i jak najbardziej zgodne z tą teorią.

O zanieczyszczeniu wody ściekami bytowo gospodarczymi lub przemysłowymi może świadczyć obecność azotu amonowego, który dodatkowo w obecności tlenu stymuluje rozwój bakterii nitryfikacyjnych. W badaniach własnych zawartość tego związku mieściła się w granicach od $0,05\text{ mg/dm}^3$ do $0,22\text{ mg/dm}^3$ (średnio $0,12\text{ mg/dm}^3$). Znacznie większe stężenie azotu amonowego stwierdził w rekultywowanym jeziorze Rudnickim Mientki [2000], który zawartość od $1,1\text{ mg/dm}^3$ do $12,3\text{ mg/dm}^3$ tłumaczył dopływem ścieków z cukrowni oraz zanieczyszczeń niewiadomego pochodzenia. Fakt ten był o tyle niepokojący, że zanieczyszczenie to nastąpiło w II etapie rekultywacji, czyli po uporząd-

kowaniu gospodarki wodno-ściekowej w zlewni. Przed tym zdarzeniem ilość azoty amonowego kształtowała się na poziomie od 2,1 do 4,2 mg/dm³.

Wyniki zbliżone do tych, które otrzymano w badaniach własnych odnotowali Gołdyn i Messyasz [2008], którzy badając wody przygotowywanego do rekultywacji jeziora Durowskiego stwierdzili obecność tej formy związków azotu na poziomie od 0,23 mg/dm³ w październiku 2005 r. przez 0,57 mg/dm³ w listopadzie do 1,2 mg/dm³ w styczniu 2006. Wzrost ten nastąpił na skutek zasilenia wód powierzchniowych wodami hipolimnionu (miksje) o dużej koncentracji azotu amonowego, oraz pojawieniem się pokrywy lodowej uniemożliwiającej falowanie i jednoczesne natlenianie wody. Od marca zawartość azotu amonowego zaczęła stopniowo spadać.

W badaniach Jarosiewicz i Hetmańskiego [2006], dotyczących jeziora Dobra w powiecie słupeckim, azot amonowy obecny był przez cały okres badawczy. W warstwie powierzchniowej wyróżnić można było dwa okresy w ciągu cyklu badań: od przełomu września i października do kwietnia i od maja do sierpnia. W pierwszym stężenie azotu amonowego było 10-krotnie wyższe (około 0,3 mg/dm³) niż w pozostałym, a otrzymane wyniki mieściły się w granicach od 0,015 do 0,441 mg/dm³ przy średniej 0,134 mg/dm³.

Pierwiastkiem limitującym w stosunku do azotu jest fosfor. Jego zawartość w wodzie jeziora Jelonek kształtowała się w granicach od 0,033 (próba 3) do 0,801 mg/dm³ (próba 6), przy średniej wartości 0,280 mg/dm³. Na podstawie przeprowadzonych badań możemy stwierdzić spadek fosforu ogólnego późną jesienią oraz zimą i jego wzrost w okresie wiosennym. Wielu badaczy podkreśla wyjątkowo skomplikowany obieg tego pierwiastka w jeziorach. Fosfor w niektórych okresach może być przetrzymywany w różnych elementach ekosystemu, bądź uwalniany do wody.

Związki fosforu w wodach jeziora Jelonek w latach 1996–2002 wykazywały bardzo duże zróżnicowanie. Jego zawartość w okresie 7 lat wahała się od 0,03 do 1,8 mg/dm³. Pewną poprawę jakości wody pod względem zawartości omawianego pierwiastka można było zauważyć w latach 1997–2000, jednak najczęściej obserwowany wzrost powyżej 1 mg/dm³ świadczył już o zaawansowanej jego degradacji [14].

Na jeziorze Jelonek w Gnieźnie w latach 2009–2010 wykonano prace rekultywacyjne związane z aplikowaniem koagulantu bezpośrednio do osadów dennych. Ich zadaniem było zablokowanie możliwości wy-

dzielania fosforu z tych osadów i możliwie maksymalna redukcja jego ilości w wodzie. Pierwszy etap prac został wykonany w 2009 r., drugi w II kwartale 2010 r. W trakcie prowadzonej w tym okresie rekultywacji ilość fosforu sukcesywnie malała, by po przeprowadzonym zabiegu kształtować się w zakresie od 0,1 do 0,8 mg/dm³.

W badaniach własnych prowadzonych od grudnia 2010 do maja 2011 r. na jeziorze Jelonek stwierdzono obecność fosforu ogólnego na poziomie średnio 0,280 mg/dm³. Jest to wartość niższa w porównaniu do zawartości fosforu w jeziorze w okresie rekultywacji, co może sugerować pożądaną efektywność wybranej metody rekultywacji jak również innych zabiegów prowadzonych w obrębie zlewni.

Maehl [2000] stwierdził, że aby utrzymać odpowiednią przejrzystość wody w płytkich jeziorach, zawartość fosforu praktycznie powinna wynosić od 0,05 do 0,15 mg/dm³. Fosforu w stosunku do innych pierwiastków jest w wodach powierzchniowych niewiele, choć pierwiastek ten jest jednym z najbardziej niezbędnych do życia [1]. Szatten [2007] w swych badaniach stwierdził, że zawartość fosforu ogólnego od 0,07 mg/dm³ (wiosną) do 0,08 mg/dm³ (latem) w powierzchniowej warstwie wód jeziora Głębozeczek jest zadowalająca. Obciążenie wód jeziora Głębozeczek fosforem ogólnym osiągnęło maksymalną wartość (1,01 mg/dm³) w badaniach przeprowadzonych późną wiosną. Średnie stężenie fosforu wynosiło wówczas 0,32 mg/dm³, klasyfikując wody jeziora poniżej stanu dobrego [30].

Stężenie fosforanów w jeziorze Jelonek zawierało się w granicach 0,06–0,35 mg/dm³ przy średniej 0,20 mg/dm³. Najczęściej najniższe stężenie fosforanów obserwowano w punkcie B, znajdującym się pośrodku jeziora, a najwyższe odpowiednio w punkcie A (przy dopływie) i punkcie C (przy odpływie). Na wszystkich stanowiskach możemy zaobserwować niewielki wzrost zawartości tego pierwiastka w wodzie jesienią i wiosną oraz spadek w okresie zimowym.

Ortofosforany oznaczane przez Goszczyńskiego [2000] w jeziorze Głębozeczek w trakcie mikcji wiosennej zawierały się w granicach od 0,042 do 0,111 mg/dm³ i przekraczały normatywy określone dla najniższej III klasy czystości. Wartości te zmniejszyły się dwukrotnie w okresie letnim, co prawdopodobnie zostało spowodowane szczytem wegetacyjnym. Podobne wyniki otrzymał Szatten [2007], który w badaniach tego samego jeziora określił fosforany na poziomie 0,045 mg/dm³.

Podczas rekultywacji metodą inaktywacji fosforu, przeprowadzoną przez zespół prof. Lossowa, również prowadzone były obserwacje dotyczące zmian zawartości m.in. fosforanów w jeziorze Głębocek. W trakcie wiosennych badań w 2002 i 2003 roku ortofosforany nie zostały wykryte w warstwie powierzchniowej zbiornika wodnego, co może świadczyć o skutecznej rekultywacji jeziora Głębocek [22]

Najwyższe pH (8,02) oznaczono na stanowisku III, a najniższe (7,0) na stanowisku II. Różnice w wartościach pH w poszczególnych próbach charakteryzowały się małą zmiennością, w pewnym stopniu związaną ze zmianami temperatury i nie miały wpływu na zmiany stężenia związków biogennych.

W jeziorze Jelonek temperatura była niższa w miesiącach jesiennych i wzrastała w miesiącach wiosennych. Na wszystkich stanowiskach kształtowała się na zbliżonym poziomie z odchyleniami rzędu 0,5–1,0°C. W przypadku miesięcy wiosennych zmiany temperatury na poszczególnych stanowiskach są bardziej widoczne i można zaobserwować, że wody wpływające do jeziora mają znacznie wyższą temperaturę niż wody pobierane z okolic odpływu.

Według Maciaka [2003] ilość zanieczyszczeń w wodach jest zmienna i zależy przede wszystkim od stanu wegetacji roślin i pory roku. Najwięcej zanieczyszczeń występuje jesienią i późną wiosną, czystą wodę obserwuje się natomiast zimą i w końcu lata. Odmienne zdanie ma na ten temat Dojlido [1995], który stwierdza, że najwyższe stężenie biogenów występuje w okresie zimowym. Sądzi on, że zwiększone stężenia spowodowane są zimową stagnacją, która charakteryzuje się obniżoną wegetacją organizmów. Ponadto, zarówno Chełmicki [1995] jak i Dojlido [1995] uważają, że niższe stężenia biogenów są oczywiste w okresie wiosenno-letnim, kiedy to związki te są pobierane i zużywane przez organizmy zasiedlające zbiornik.

4. Wnioski

1. Temperatura i pH wody kształtowały się na poziomie charakterystycznym dla badanych pór roku i nie miały znaczącego wpływu na zawartość związków biogennych.
2. Efektem przeprowadzenia rekultywacji jeziora oraz zabiegów ograniczających dopływ zanieczyszczeń było zmniejszenie ilości azotów, azotu amonowego i fosforu ogólnego.

3. Zabiegi prowadzone na jeziorze Jelonek nie przyniosły spodziewanej poprawy wody pod względem zawartości azotu ogólnego, azotanów i fosforanów.
4. Ponadnormatywna zawartość powyższych substancji może mieć związek z niewłaściwym zabezpieczeniem zbiornika przed dopływem substancji pożywkowych, w związku z czym należałoby ponownie zrewidować potencjalne źródła zanieczyszczeń.

Literatura

1. **Balcerzak W.:** *Eutrofizacja wód śródlądowych – prognozowanie i wpływ na technologię uzdatniania wody*. Monografia 373. Wyd. PK. Kraków 2009.
2. **Chelmiński W.:** *Woda zasoby, degradacja, ochrona*, PWN, Warszawa 2002.
3. **Chmura W.:** *Badania składu izotopowego azotanów w wodach podziemnych i powierzchniowych – aspekty metodyczne i zastosowania*, Wyd. AGH, Kraków 2008.
4. **Dąbrowska J.:** *Ocena zawartości związków azotu i fosforu w wodach rzeki Trzemny*, Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich Nr 7, 57–68. Polska Akademia Nauk, Kraków 2008.
5. **Dąbrowska-Prot E., Hillbricht-Ilkowska A.:** *Struktura i funkcjonowanie krajobrazu pojeziernego – próba ekologicznego spojrzenia, kierunki ochrony*, Człow. Śr., T. 15, Nr 3/4, 237–250 (1992).
6. **Dojlido J.R.:** *Chemia wód powierzchniowych*, Wyd. Ekonomia i Środowisko, Białystok 1995.
7. **Dowgiałło J., Kleczkowski A.S., Maciaszczyk T., Rózkowski A.:** *Słownik hydrogeologiczny*, Wyd. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa 2002.
8. **Gawrońska H., Lossow K., Grochowska J.:** *Rekultywacja jeziora Długiego w Olsztynie*, Wyd. Edycja, Olsztyn 2005.
9. **Gołdyn F., Messyasz B.:** *Stan jakości wód i możliwości rekultywacji jeziora Durowskiego*. Maszynopis. 1–48. UAM Poznań 2008.
10. **Gołdyn F., Messyasz B., Kowalczyńska-Madura K., Cierpie S.:** *Stan jakości wód jeziora Durowskiego w roku 2010*, Wyd. UAM, Poznań 2010.
11. **Gorlach E., Mazur T.:** *Chemia rolna*, PWN, Warszawa 2002.
12. **Goszczyński J.:** *Zmiany jakości wód jeziora Głębołek*. Mat. Konf. Nauk-Tech., nt. „Ochrona i rekultywacja jezior”, Przysiek 2000.
13. **Guz K., Doroszkiewicz W.:** *Kontrola i ocena jakości wody w ochronie środowiska i zdrowia publicznego*. Ekol. i Tech., Nr 11, 22–31 (2003).
14. **Jańczak J.:** *Rezultaty stosowania ograniczonej rekultywacji jeziora Jelonek w Gnieźnie*, Mat. Konf. Nauk-Tech., nt. „Ochrona i rekultywacja jezior”, Toruń 2004.

15. **Jarosiewicz A., Hetmański T.:** *Sezonowa zmienność substancji biogenicznych w wodach jeziora Dobra (Pojezierze Pomorskie); Poziom trofii jeziora.* Słupskie Prace Biologiczne Nr 6, 71–79 (2009).
16. **Kajak Z.:** *Eutrofizacja jezior,* PWN, Warszawa 1979.
17. **Kiryłuk A., Rauba M.:** *Zmienność stężenia związków azotu w różnie użytkowanej zlewni rolniczej rzeki Ślina, Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie,* T.9, Z.4, 71–86 (2009).
18. **Kudelska D., Cydzik D., Soszka H.:** *Wytyczne monitoringu podstawowego jezior,* Wyd. PIOS, Warszawa 1994.
19. **Kulikowska-Karpińska E., Klusewicz K.:** *Ocena chemicznych zanieczyszczeń wód sztucznego zbiornika w Siemianówce w latach 2007–2008,* Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych, Nr 40, 497–504. Warszawa (2009).
20. **Lossow K.:** *Odnowa jezior* Ekoprofit, Nr 5, 11–15 (1995).
21. **Lossow K.:** *Ochrona i rekultywacja jezior – teoria i praktyka.* Idee Ekolog. Ser. Szkice 13, Nr 7, 55–71 Poznań 1998.
22. **Lossow K., Gawrońska H., Łopata M., Jaworska B.:** *Efektywność rekultywacji polimiktycznego jeziora Głęboćek w Tucholi metoda inaktywacji fosforu.* Mat. Konf. Nauk-Tech., nt. „Ochrona i rekultywacja jezior”, Grudziądz 2004.
23. **Maciak F.:** *Ochrona i rekultywacja środowiska,* Wyd. SGGW, Warszawa 2003.
24. **Maehl P.:** *Rekultywacja jezior – praktyczne metody oszacowania i redukcji ładunku fosforu z obszaru zlewni jeziora.* Mat. Konf. Nauk-Tech., nt. „Ochrona i rekultywacja jezior”, Przysiek 2000.
25. **Mientki Cz.:** *Korzystne efekty prowadzonej metodą kortowską rekultywacji jeziora Rudnickiego Wielkiego w Grudziądzu.* Mat. Konf. Nauk-Tech., nt. „Ochrona i rekultywacja jezior”, Przysiek 2000.
26. **Moczulska A., Antonowicz J., Krzyk K.:** *Wpływ aglomeracji Słupsk na stan jakościowy wód rzeki Słupi,* Słupskie Prace Biologiczne, 3, 45–56, Słupsk 2006.
27. **Niedzielski P., Olejniczak M., Siepak J.:** *Badania zmienności zawartości tlenu rozpuszczonego w wodzie jeziora Jelonek w Gnieźnie,* Mat. Konf. nt. „Kompleksowe i szczegółowe problemy inżynierii środowiska”, Darłówko 2007.
28. **Niewiadomski Ł.:** *Wpływ antropopresji na parametry fizyczne wody starorzeczy w obrębie gminy wiejskiej Oświęcim,* Uniwersytet Śląski, Sosnowiec [w:] Machowski R., Rzętała M.A., Z badań nad wpływem antropopresji na środowisko, T. 11, 48–58 (2010).
29. **Rheinheimer G.:** *Mikrobiologia wód,* PWRiL, Warszawa 1987.

30. **Szatten D.:** *Stan czystości jeziora Głęboczek na podstawie badań monitoringowych w 2006*, Wyd. WIOŚ, Bydgoszcz 2007.
31. **Szpakowska B., Szczęsa M., Urbański P.:** *Dynamika stężeń rozpuszczonych azotanów (V) i ortofosforanów (V) w wodach zbiorników aglomeracji wielkomiejskiej*, Mat. Konf. nt. „Kompleksowe i szczegółowe problemy inżynierii środowiska, Ustronie Morskie, 2005.
32. **Wiśniewski G.:** *Skutki odcięcia wód rzeki Maruszy od jeziora Skąpe z wykorzystaniem istniejącego kolektora opaskowego*. Naturalne i antropogeniczne przemiany jezior, Wyd. UWM, Olsztyn 2000.
33. www.geoportal.gov.pl
34. Dz. U. 2011 Nr 257 poz. 1545.

Effectiveness of the Reclamation of Jelonek Lake Based on Selected Physical and Chemical Parameters of Water

Abstract

Taking a decision about a modification of elements making up the ecosystem requires thorough knowledge about the manipulated system and predicting all possible results of such interference. Turning back the effects of anthropopression demands taking immediate action not only within the lake basin in the form of technological remediation measures. Primarily, these should be protective action, involving the organization of water supply and sewage disposal in the basin and (which is much more difficult) reduction of biogenic substance flow to the lake. Remediation ventures have been applied throughout the world, not always with success. They are thought to be risky, long-term and demanding considerable financial outlays. For this reason, they must be carefully planned by a team of experts and conducted under permanent supervision.

The article presents effects of restoration of lake Jelonek based on the analysis of water quality parameters. The lake has been completely degraded and reached the saprotrophic state due to discharge of domestic wastewater from the neighbouring living estate, and of agricultural. The lakes restoration was initiated by dosing of coagulants for sediment.

The aim of the study carried out was the analysis of selected physical and chemical indicators in the waters of the lake Jelonek in Gniezno. In water samples taken from three points following parameters were determined: temperature, pH, nitrogen, nitrates, nitrites, ammonium nitrogen, phosphorus and phosphates.

Measurements were conducted since October 2010 till may 2011, regularly once a month. The water was taken in the current on depth of 20 cm.

The temperature and pH of the water were characteristic for the studied seasons and had no significant impact on the content of nutrients. The result of carrying out restoration lakes and tributary pollution mitigation procedures was to reduce the amount of nitrite and total phosphorus. Treatments conducted on lake Jelonek not bring the expected improvement in terms of total nitrogen content, nitrate and phosphate