

Strona czasopisma: <http://analit.agh.edu.pl/>

# Ocena stopnia eutrofizacji Jeziora Dobczyckiego na podstawie pomiaru stężenia fosforanów w wodzie zbiornika

*Evaluation of eutrophication of Dobczycki Lake based on the measurement of phosphate concentration in water of the reservoir*

Daria Szczepańska, Barbara Turska, Magdalena Wyka, Maria Zielińska

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Polska

---

**ABSTRAKT:** Eutrofizacja jezior jest jednym z najczęstszych antropogenicznych zakłóceń funkcjonowania ekosystemów wodnych. Zjawisko to przejawia się zwiększeniem żyzności akwenu głównie w wyniku nadmiaru związków azotu i fosforu. W artykule skupiono się na wpływie związków fosforu na eutrofizację wody. Obiektem badań było Jezioro Dobczyckie, które zaopatruje w wodę pitną mieszkańców Krakowa i pobliskich gmin, przez co podlega procesowi oczyszczania. W artykule przedstawiono wyniki badań stężenia fosforanów w poszczególnych etapach uzdatniania wody przy zastosowaniu metody spektrofotometrycznej. Przeprowadzone badanie wykazało, iż stężenie fosforanów w wodzie „surowej” pobranej z jeziora wynosi  $0,08 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ , co wskazuje na niski stopień eutrofizacji. Stwierdzono również, że procesami pozwalającymi usunąć te związki z wody, podczas uzdatniania odbywającego się w ZUW Raba, są koagulacja i filtracja.

**ABSTRACT:** The eutrophication of lakes is one of the most common anthropogenic disturbances in the functioning of aquatic ecosystems. This phenomenon manifests itself in increasing the abundance of aquifers mainly due to the excess nitrogen and phosphorus compounds. The article focuses on the influence of phosphorus compounds on eutrophication of water. The Dobczycki Lake, which supplies drinking water to the inhabitants of Cracow and nearby municipalities, is subject to the purification process. The article presents the results of investigations of phosphate content in various stages of water treatment using the spectrophotometric method. The study showed that the concentration of phosphate in the "raw" water taken from the lake was  $0.08 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ , which indicates a low level of eutrophication. It has also been found that the processes that allow these compounds to be removed from water during treatment in Raba ZUW are coagulation and filtration.

---

**Słowa kluczowe:** fosforany, eutrofizacja, uzdatnianie wody, spektrofotometria

## 1. Wstęp

Jednym z najpoważniejszych niebezpieczeństw zagrażających jakości wód powierzchniowych oraz przybrzeżnych jest eutrofizacja [1]. Jak podaje definicja zawarta w Ustawie dot. Prawa wodnego eutrofizacja jest to „wzbogacenie wody biogenami, a w szczególności związkami azotu i fosforu, które przyspieszają wzrost glonów i innych wyższych form życia roślin, co doprowadza do niepożądanego zakłócenia biologicznych stosunków wodnych oraz pogorszenia jakości wód” [2]. Naturalny proces eutrofizacji przebiega bardzo powoli. Duży napływ zanieczyszczeń, głównie bogatych w fosforany, może doprowadzić do jego znacznego przyspieszenia, czego konsekwencją może być utrata przydatności użytkowej wód [3].

Związki fosforu obecne są w wodach pod postacią mineralnych składników dla roślin oraz związków stymulujących ich rozwój. Obieg fosforu znajdującego się w zbiorniku wodnym może odbywać się w dwojaki sposób, dlatego wyróżnia się mały obieg fosforu oraz duży obieg fosforu. Mały obieg przebiega podczas stagnacji w górnej warstwie jeziora. Fitoplankton znajdujący się w powierzchniowej warstwie wody pobiera jony fosforanowe i wbudowuje w organizm. Ruchy cyrkulacyjne zachodzące w tej warstwie sprawiają, że organizmy planktonowe nie opadają głębiej.

Prowadzi to do rozkładu organicznej formy fosforu z powrotem do jonów fosforanowych, które mogą zostać ponownie przyswojone przez fitoplankton. Cały ten proces przebiega wielokrotnie. W przypadku przedostania się fosforu do głębszych warstw wody następuje jego wytrącanie i kumulacja w osadach dennych. Fosfor może opadać na dno zbiornika wodnego zarówno w postaci obumarłej materii organicznej, jak i związany z jonami glinu, żelaza lub wapnia oraz z zawiesinami mineralnymi. Korzystnymi warunkami dla nadmiernego wzbogacenia się zbiornika wodnego w substancje odżywcze są warunki beztlenowe, w których żelazo trójwartościowe przechodzi do dwuwartościowego. Proces ten skutkuje przejściem fosforu z osadów dennych do wody, ponieważ fosforany żelaza (II) są łatwiej rozpuszczalne. W przypadku przejścia siarczanów znajdujących się w wodzie w siarkowodór, duża część jonów żelaza (II) tworzy nierozpuszczalne związki siarczków w warstwie powierzchniowej osadów dennych, co powoduje wyłączenie żelaza dwuwartościowego ze strącania fosforu. Prowadzi to do powstania metanu, który unosząc się ku górze zbiornika, transportuje znaczne ilości fosforu. Proces ten przyczynia się do gwałtownego przyspieszenia eutrofizacji [4].

Oprócz negatywnego oddziaływania fosforanów na ekosystem jeziora, mają one również szkodliwy wpływ na organizm ludzki. Ich nadmiar zaburza równowagę wapniowo-fosforanową organizmu przyczyniając się m.in. do niewydolności nerek, zwiększonej zachorowalności na raka płuc oraz różnego rodzaju alergii. Fosforany przyczyniają się również do przyspieszenia procesów starzenia się oraz mogą wywoływać zanik mięśni i skóry. Zagrożenia powodowane przez te związki wpłynęły na duże zainteresowania nimi pośród badaczy, a w szczególności ekologów [5].

Celem niniejszej pracy było wyznaczenie stopnia eutrofizacji Jeziora Dobczyckiego na podstawie oznaczenia stężenia związków fosforu w wodzie pobranej ze zbiornika. Otrzymane wyniki porównano z wartościami dostępnymi w literaturze w celu oceny zmian stopnia eutrofizacji zbiornika na przestrzeni lat. Ponadto określono, który z etapów procesu uzdatniania wody odbywający się w Zakładzie Uzdatniania Wody Raba jest odpowiedzialny za usuwanie szkodliwych fosforanów.

## 2. Charakterystyka Jeziora Dobczyckiego

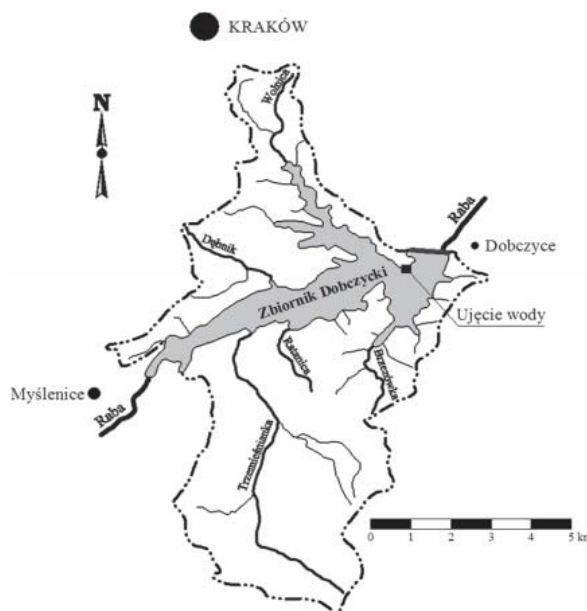
Jezioro Dobczyckie jest zbiornikiem retencyjnym powstałym w 1986 roku, w wyniku wybudowaniu zapory na rzece Raba. Położone jest ono w województwie małopolskim, w powiecie myślenickim, ok. 20 km na południe od Krakowa. Na Rys.1 przedstawiono lokalizację Jeziora Dobczyckiego. Jego powierzchnię szacuje się na ok. 10,7km<sup>2</sup>, a pojemność maksymalną na ok. 137,95 mln m<sup>3</sup>. Średnia głębokość zbiornika to ok.10,2 m [6,7].



Rys.1 Lokalizacja Jeziora Dobczyckiego [8].

Zbiornik pełni funkcję przeciwpowodziową, chroniąc przed podtopieniem miejscowości zlokalizowane w pobliżu rzeki Raba. Przy zbiorniku, znajduje się także elektrownia wodna, wytwarzająca energię o mocy 2,5 MW [3].

Najważniejszą rolą zbiornika jest jednak zaopatrywanie w wodę pitną mieszkańców Krakowa oraz okolicznych gmin. Ze względu na ten fakt teren zbiornika, a w szczególności obszar bliski ujęcia wody, objęty jest ścisłą ochroną. Zbiornik nie jest udostępniany do celów rekreacyjnych oraz turystycznych. Dozwolono natomiast prowadzenie kontrolowanej działalności rybackiej w wyznaczonych strefach [9]. Ujęcie wody znajduje się na lewym brzegu zbiornika, jego umiejscowienie przedstawiono na Rys.2 [10].



Rys.2 Lokalizacja ujęcia wody na Zbiorniku Dobczyckim [10].

### 2.1. Przyczyny zanieczyszczenia Jeziora Dobczyckiego fosforanami

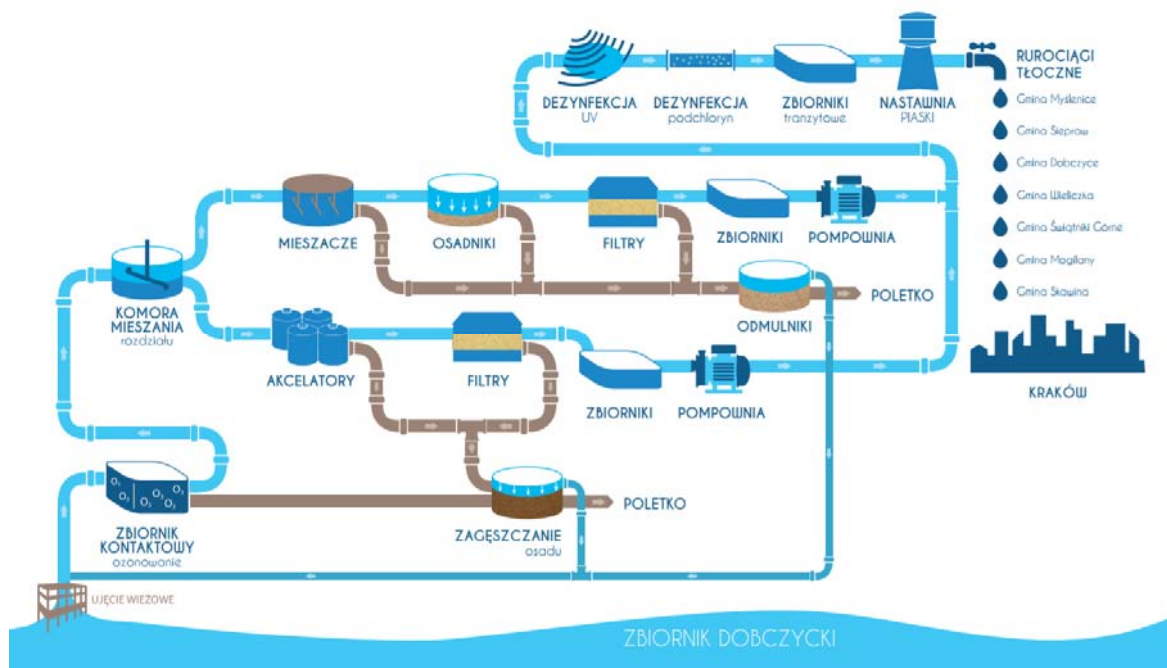
Głównym źródłem fosforanów w Zbiorniku Dobczyckim jest stosowanie nawozów azotowych i fosforanowych na okolicznych gruntach. Dzięki dobrej jakości i żyzności gleb w okolicy jeziora pobliskie tereny w większości pełnią funkcję rolniczą [11]. Nachylenie pól uprawnych może potęgować ilość fosforanów przedostających się do zalewu. Innym źródłem zanieczyszczeń mogą być zrzucane do rzeki Raba lub bezpośrednio do zbiornika ścieki komunalne [3]. Aby zwalczyć ten problem w latach 2010-2015 podjęte zostały działania mające na celu uporządkowanie gospodarki wodno-ściekowej na zlokalizowanych wokół jeziora terenach gmin Dobczyce i Siepraw, co w znacznym stopniu rozwiązało problemy zanieczyszczania jeziora [12].

W związku z faktem, iż Zbiornik Dobczycki służy jako główne źródło zaopatrzenia w wodę pitną Krakowa, woda w nim musi być kontrolowana pod względem zawartości substancji szkodliwych, aby nie stanowiła zagrożenia dla życia i zdrowia ludzi. Nadzorowaniem jakości wody zbiornika Dobczyckiego zajmuje się krakowski oddział Państwowego Instytutu Ochrony Środowiska oraz Miejskie Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji [13].

Za oczyszczanie i uzdatnianie wody, która później trafia m.in. do mieszkańców Krakowa, odpowiedzialny jest Zakład Uzdatniania Wody Raba w Dobzyczach [6].

## 2.2. Opis procesu uzdatniania wody w ZUW Raba

Woda ze zbiornika pobierana jest z jednego z trzech poziomów: 3,45 m; 9,65 m lub 15,87 m. Jest to zależne od jakości wody na każdym z poziomów. Na Rysunku 3 przedstawiono schemat ilustrujący drogę, którą przemierza woda zanim trafi do odbiorców.



Rys.3 Schemat technologiczno-organizacyjny zakładu uzdatniania wody Raba [14].

Pierwszym etapem oczyszczania wody jest przepuszczenie jej przez sita o dwóch rozmiarach oczek, które mają za zadanie usunięcie większych przedmiotów i roślinności wodnej. Następnie za pomocą pomp woda jest przekierowywana rurociągiem do zakładu uzdatniania. Tam poddawana jest procesowi wstępnego utleniania mieszanką powietrza z ozonem. Ozon wytwarzany jest w generatorach, do których trafia osuszone i oczyszczone sprężone powietrze.

Następnie woda trafia do akceleratora, w którym zachodzą procesy koagulacji i sedymentacji. Jako koagulant stosuje się PAX XL 19F (chlorek poliglinu). Dalej woda zostaje przefiltrowana przez filtr złożony z antracytu (0,4 m) i piasku (1,5 m). Tak oczyszczona woda jest dwuetapowo dezynfekowana: najpierw promieniowaniem ultrafioletowym, a następnie podchlorynem sodu wytworzonym w procesie elektrolizy z pastylek chlorku sodu. Tak oczyszczona woda jest zdatna do picia, trafia do zbiorników, a następnie do użytkowników.

## 3. Materiały i metody

### 3.1. Pobór próbek

Próbki wody pobrano 10.11.2017r. do sterylnych plastikowych pojemników na różnych etapach jej oczyszczania:

- 1 – woda surowa, pobrana z jeziora, przed procesem uzdatniania;
- 2 – woda po ozonowaniu;
- 3 – woda po koagulacji, pobrana z akceleratora;
- 4 – woda po procesie filtracji;
- 5 – woda po dezynfekcji UV,

6 – woda po dezynfekcji podchlorynem, gotowa do przesyłu.  
Pobrane próbki przed wykonaniem oznaczenia przechowywano w lodówce.

### 3.2. Aparatura i odczynniki

Badania przeprowadzono w laboratorium Katedry Chemii Analitycznej na Wydziale Inżynierii Materiałowej i Ceramiki AGH. Do przygotowania próbek wykorzystano pipetę o objętości 5 ml oraz zestaw do przeprowadzenia testu odczynnikowego 14848 firmy MERC. Test ten pozwala na określenie zawartości PO<sub>4</sub>-P w próbce w zakresie stężeń 0,05-5,00 mg/l. Stężenie fosforanów oznaczano spektrofotometrem Spectroquant NOVA 60 firmy MERC. Uzyskane wyniki obarczone są błędem ±0,01 mg/l.

### 3.3. Przygotowanie próbek i wykonanie oznaczenia

Próbki wody ogrzano do temperatury pokojowej oraz wstrząsnięto w celu uzyskania jednorodnego stężenia składników w całej objętości. Następnie za pomocą pipety odmierzone 5 ml wody do probówki, dodano 5 kropli odczynnika P-1A, probówkę zamknięto, a jej zawartość wymieszano. Kolejno do mieszaniny dodano 1 porcję odczynnika P-2A, zamknięto probówkę i wstrząsano zawartością do momentu rozpuszczenia proszku. Oczekano 5 min i przelano roztwór do kuwety o objętości 5 ml tak, aby wypełniał ją do  $\frac{3}{4}$  wysokości. W fotometrze umieszczono Autoselektor oraz kuwetę z badaną wodą. Procedurę powtórzono dla wszystkich sześciu próbek.

## 4. Wyniki badań i dyskusja

### 4.1. Analiza

Wyniki pomiarów stężenia fosforanów na kolejnych etapach oczyszczania wody umieszczono w tabeli 1.

**Tab.1.** Stężenie fosforanów w próbkach wody na poszczególnych etapach procesu

Badana próbka	Stężenie fosforanów w próbce [mg/l]
1 –Woda surowa	0,08
2 –Woda po ozonowaniu	0,08
3 –Woda po koagulacji	0,05
4 –Woda po filtracji	<0,05
5 –Woda po dezynfekcji UV	<0,05
6 –Woda po dezynfekcji podchlorynem	<0,05

Z przeprowadzonych pomiarów wynika, iż fosforany usuwane są w procesie oczyszczania wody w ZUW Raba na etapie koagulacji oraz filtracji. Proces koagulacji prowadzi do połączenia się zdyspergowanych cząsteczek w aglomeraty, które następnie usuwane są z wody poprzez przefiltrowanie jej na złożu antracytowo-kwarcowym.

### 4.2. Analiza danych literaturowych i porównanie z nimi wyników eksperymentu

Wynik dotyczący zawartości fosforanów w surowej wodzie z Jeziora Dobczyckiego porównano z danymi literaturowymi przedstawionymi w tabeli oraz na wykresie (Rys.5).

Tabela przedstawia zmiany zawartości fosforanów, fosforu ogólnego i chlorofilu „a” w danych miesiącach w latach 2008 i 2009. Stężenie fosforanów oraz fosforu ogólnego jest wyższe w miesiącach X-III, czyli w okresie wzmożonego nawożenia pól oraz wysokich opadów, które wymywają nawozy z gleb do Zalewu. Ilość związków fosforu, rozpuszczonych w wodzie, nie zależy od głębokości, z której pobierana była próbka. Stężenie chlorofilu „a” spada wraz z głębokością, jest to spowodowane niewielką ilością światła słonecznego na dużych głębokościach co nie pozwala na swobodny rozwój fitoplanktonu w niższych partiach jeziora.

**Tab.2** Średnie wartości stężenia wskaźników jakości wody Jeziora Dobczyckiego [15].

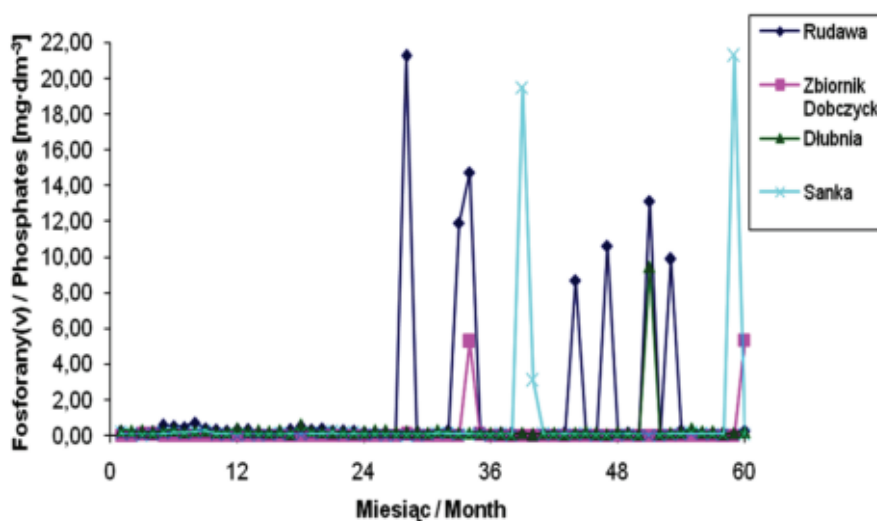
Wskaźniki jakości	Głębokości wody [m]	Średnie arytmetyczne wartości w latach i sezonach								
		2008			2009			2008-2009		
		I-XII	X-III	IV-IX	I-XII	X-III	IV-IX	I-XII	X-III	IV-IX
Fosforany [mg PO <sub>4</sub> ·dm <sup>-3</sup> ]	3,55	0,036	0,047	0,024	0,045	0,055	0,035	0,041	0,051	0,030
	9,65	0,039	0,045	0,032	0,049	0,052	0,045	0,044	0,049	0,039
	15,87	0,042	0,047	0,036	0,062	0,051	0,063	0,052	0,054	0,050
Fosfor ogólny [mg P·dm <sup>-3</sup> ]	3,55	0,014	0,018	0,010	0,020	0,024	0,016	0,017	0,021	0,013
	9,65	0,016	0,016	0,017	0,021	0,022	0,021	0,019	0,019	0,019
	15,87	0,016	0,016	0,015	0,027	0,025	0,028	0,021	0,020	0,022
Chlorofil „a” [µg·dm <sup>-3</sup> ]	3,55	7,11	8,32	5,73	6,62	4,65	8,33	6,87	6,65	7,09
	9,65	6,21	7,78	4,58	4,17	2,71	5,35	5,19	5,41	4,99
	15,87	4,92	6,41	3,30	2,08	2,32	1,88	3,55	4,55	2,58

Wyniki przedstawione w tabeli 2 pozwoliły również na obliczenie indeksu stanu troficznego Jeziora Dobczyckiego. Parametr ten jest wskaźnikiem łączącym trzy wielkości opisujące troficznosc jezior: całkowite stężenie fosforu, przejrzystość wody oraz stężenie chlorofilu a. Indeks stanu troficznego wyznaczono z poniższego wzoru podstawiając odpowiednio za Chl i TP średnie stężenia chlorofilu „a” i fosforu ogólnego w µg·dm<sup>-3</sup> w latach 2008 i 2009.

$$TSI(Chl) = 10 \left( 6 - \frac{2,04 - 0,68 \cdot \ln Chl}{\ln 2} \right) = 46,75 \quad (1)$$

$$TSI(TP) = 10 \left( 6 - \frac{\ln \frac{48}{TP}}{\ln 2} \right) = 46,63 \quad (2)$$

Oba wskaźniki przyjmują zbliżone wartości co wskazuje na to, że fitoplankton jest głównym czynnikiem odpowiadającym za tłumienie światła w zbiorniku. Wartość wskaźników TSI przypada na przedział 40-50, oznacza to, że Jezioro Dobczyckie w tych latach było mezotroficzne [16].



**Rys.5** Zmiany zawartości fosforanów (V) w wodach powierzchniowych pobieranych przez krakowskie ZUW w ciągu 60 miesięcy (2007-2011) [17].

Jak wynika z wykresu (Rys.5) stężenie fosforanów (V) w Zbiorniku Dobczyckim jest najniższe w porównaniu z pozostałymi źródłami wody pitnej wykorzystywanymi przez krakowskie ZUW. Zwykle poziom ten nie przekraczał  $1 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ , tylko w okolicy 30 i 60 miesiąca można zauważyć około 5-krotny wzrost zanieczyszczenia  $\text{PO}_4^{3-}$ . Autor przedstawionych badań, jako powód tak dużych zawahań, wskazuje czynniki antropogeniczne, tj. zwiększone nawożenie pól w pobliżu Zalewu i atmosferyczne – wymywanie nawozów przez deszcz.

W przypadku pomiarów dokonanych w ramach niniejszego artykułu poziom fosforanów w Jeziorze Dobczyckim wyniósł  $0,08 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ . Jest to wynik odbiegający od danych literaturowych z lat 2008-2009 zebranych w Tab.2. Przyczyną wyższego stężenia fosforanów może być fakt, że pomiary dokonano w okresie zwiększonego nawożenia gruntów uprawnych i po niedawnych obfitych opadach deszczu.

## 5. Wnioski

Eutrofizacja stanowi jeden z największych zagrożeń dla wód powierzchniowych. Jej wysoka wartość może doprowadzić do utraty zdolności do użytku wody z tak zanieczyszczonego zbiornika. W celu monitorowania eutrofizacji wykorzystuje się najczęściej pomiar zawartości fosforanów oraz chlorofilu „a”.

Jezioro Dobczyckie położone jest w sąsiedztwie terenów rolniczych, które mogą być wzbogacane nawozami fosforanowymi i azotowymi. Z tego powodu jezioro jest narażone na postępowanie procesu „zakwitania”, na co również wskazują dane literaturowe [17].

Z przeprowadzonych badań wynika jednak, iż obecnie stopień eutrofizacji jeziora Dobczyckiego jest umiarkowany. Zmierzone stężenie fosforanów w wodzie wynosiła  $0,08 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ .

Woda z jeziora Dobczyckiego jest głównym źródłem wody pitnej dla mieszkańców Krakowa. Bardzo ważne jest zatem, aby była ona najwyższej jakości. Z wyników przeprowadzonych pomiarów stwierdzono także, że podczas uzdatniania wody przeprowadzanym w ZUW Raba, za usuwanie fosforanów odpowiedzialne są procesy koagulacji i filtracji. Stężenie fosforanów zmniejszyła się do wartości poniżej  $0,05 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ .

## Literatura

- [1] [http://www.itp.edu.pl/wydawnictwo/woda/zeszyt\\_37\\_2012/artykuly/Smoron.pdf](http://www.itp.edu.pl/wydawnictwo/woda/zeszyt_37_2012/artykuly/Smoron.pdf)
- [2] Ustawa z dnia 18 lipca 2001 r. Prawo wodne. Tekst ujednolicony. Dz.U. 2001 Nr 115, poz. 1229.
- [3] <http://www.klimat.geo.uj.edu.pl/gaik/polozenie-srodowisko.html>
- [4] Elżbieta Bajkiewicz-Grabowska: Hydrologia ogólna. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN, 2007
- [5] [http://www.poradnikzdrowie.pl/zywienie/zasady-zywienia/fosfor-wlasciwosci-jakie-funkcje-w-organizmie-pelni-fosfor\\_34353.html](http://www.poradnikzdrowie.pl/zywienie/zasady-zywienia/fosfor-wlasciwosci-jakie-funkcje-w-organizmie-pelni-fosfor_34353.html)
- [6] <http://wodociagi.krakow.pl/zuw-raba/historia-zuw-raba.html>
- [7] <http://www.dobczyce.pl/dla-turystow/korona-zapory-w-dobczycach-otwarta-dla-ruchu-turystycznego.html>
- [8] [http://www.ptaki.dobczyce.pl/viewpage.php?page\\_id=5](http://www.ptaki.dobczyce.pl/viewpage.php?page_id=5)
- [9] [http://www.krakow.rzgw.gov.pl/download/tak\\_dla\\_zalewu.pdf](http://www.krakow.rzgw.gov.pl/download/tak_dla_zalewu.pdf)
- [10] Zmiany wartości wskaźników jakości wody wraz z głębokością przy ujęciu wody pitnej ze zbiornika Dobczyce; Andrzej Bogdał, Agnieszka Policht-Latawiec, Sabina Kołdras Uniwersytet Rolniczy, Kraków 2015
- [11] [http://www.dobczyce.pl/sites/default/files/files/DOBCZYCE\\_prognoza\\_02\\_2015\\_wyl\\_cz2.pdf](http://www.dobczyce.pl/sites/default/files/files/DOBCZYCE_prognoza_02_2015_wyl_cz2.pdf)
- [12] <https://www.dobczyce.pl/dla-przedsiębiorców/poiss/uporzadkowanie-gospodarki-sciekowej-na-terenie-gminy-dobczyce-i-siepraw>
- [13] [https://www.dobczyce.pl/sites/default/files/pliki\\_basic\\_page/LXV\\_557\\_06\\_ProfilGminy\\_zalacznikdostrategii.pdf](https://www.dobczyce.pl/sites/default/files/pliki_basic_page/LXV_557_06_ProfilGminy_zalacznikdostrategii.pdf)
- [14] [http://wodociagi.krakow.pl/admin/files/Files/nasze\\_publicacje/foldery/schamaty/\\_ulotka\\_SCHEMAT%20TECHNOLOGICZNO-ORGANIZACYJNY\\_Raba.pdf](http://wodociagi.krakow.pl/admin/files/Files/nasze_publicacje/foldery/schamaty/_ulotka_SCHEMAT%20TECHNOLOGICZNO-ORGANIZACYJNY_Raba.pdf)
- [15] Piotr Panek, Wskaźniki biotyczne stosowane w monitoringu wód od czasu implementacji w Polsce Ramowej Dyrektywy Wodnej. „Przegląd Przyrodniczy”. XXII (3), s. 111-123, 2011. Klub Przyrodników (pol.).
- [16] Zdzisław Kajak, Hydrobiologia-limnologia. Ekosystemy wód śródlądowych, Warszawa, Wydawnictwo Naukowe PWN, 1998, s. 242-243
- [17] Adamczyk W. Jachimowski A., Wpływ składników biogennych na jakość i eutrofizację powierzchniowych wód płynących, stanowiących źródło wody pitnej Krakowa, ŻYWNOSĆ. Nauka. Technologia. Jakość, 2013, 6 (91), 175 – 190