

<sup>1</sup>Elżbieta SZELAĞ-WASIELEWSKA, <sup>2</sup>Maria PAJCHROWSKA, <sup>3</sup>Beata MĄDRECKA

<sup>1</sup>INSTYTUT BIOLOGII ŚRODOWISKA  
UNIwersytet IM. A. MICKIEWICZA W POZNANIU

<sup>2</sup>KATEDRA TERENÓW ZIELENI I ARCHITEKTURY KRAJOBRAZU  
UNIwersytet PRZYRODNICZY W POZNANIU

<sup>3</sup>INSTYTUT INŻYNIERII ŚRODOWISKA  
POLITECHNIKA POZNAŃSKA

## BIOMINERALIZACJA A JAKOŚĆ I TROFIA WÓD POWIERZCHNIOWYCH

### BIOMINERALIZATION VERSUS WATER QUALITY AND TROPHY OF SURFACE WATERS

*The aim of this paper is to present the results of the analysis of the taxonomic composition of phytoplankton four different reservoirs in the context of the occurrence of algae associated with the precipitation of calcium carbonate, especially chlorophytes producing calcified lorica - *Phacotus lenticularis*. Considered a medium-sized glacial lake, two small reservoirs (ponds) located on the rural area and the middle course of lowland river. It was found that *P. lenticularis* occurred in all reservoirs, regardless of the trophic status (mesotrophy, hypertrophy) and size of tanks. Its numbers varied over a wide range (from 0 to about 1750 cells/ml). *P. lenticularis* most strongly developed in full growing season and the differences between the reservoirs concerned mainly the density of its population. It was higher in hard water, the most fertile and polluted.*

## 1. Wprowadzenie

Biominalizacja to proces formowania minerałów podczas aktywności życiowej organizmów, a ta indukowana przez mikroorganizmy wodne jest jednym z najważniejszych procesów kształtujących obieg węgla zarówno w globalnej, jak i lokalnej skali. To zjawisko jest interesujące dla badaczy z wielu względów, między innymi przy określaniu wpływu genetycznej kontroli i czynników środowiskowych na przebieg formowania biominerałów, czy też sedymentacji depozytów w jeziorach i oceanach [12, 26]. Wiele taksonomicznych grup organizmów charakteryzuje się wyraźnymi mineralnymi strukturami. Należą do nich np. okrzemki, złotowiciowce, kokolitofory, mięczaki.

Najczęstsze produkty biomineralizacji to związki wapnia, magnezu i krzemu powstające wewnątrz lub na zewnątrz plazmatycznej organicznej matrycy komórkowej.

Sedymentacja węglanu wapnia jest szczególnie istotna w twardowodnych jeziorach, jest on w nich bowiem ważnym nieorganicznym składnikiem sestonu. Zjawisko wytrącania węglanów w zbiornikach o twardej wodzie jest znane pod nazwą biologicznego odwapniania wody. W toni wodnej bogatej w dwuwęglany na skutek intensywnego pobierania dwutlenku węgla przez rośliny następuje rozkład węglanów i wzrost odczynu wody, co sprzyja precypitacji węglanu wapnia powodując w konsekwencji gromadzenie się wapnia i węglanów w osadach dennych. W badaniach zjawiska biologicznej precypitacji wiele uwagi poświęcono zielenicom, w tym ramienicom - makroskopowym glonom występującym w fitolitoralu jezior [24] oraz nanoplanktonowej zielenicy *Phacotus lenticularis* - bytującej w pelagialu [25]. Zoospory *P. lenticularis* otoczone są loriką utworzoną przez dwie symetryczne części w kształcie soczewek. Powstaje ona podczas zoosporulacji i inkrustowana jest węglanem wapnia. Jej mineralizacja przebiegająca w specyficzny gatunkowo sposób i uzależniona jest od czynników środowiskowych [12, 16]. Ponadto do niedawno odkrytych mikroorganizmów „wapnujących” należą między innymi pikoplanktonowe cyjanobakterie z rodzajów *Synechococcus* i *Synechocystis* oraz nanoplanktonowe zielenice z rodzajów *Chlorella*, *Chlorococcum* i *Nannochloris* [5, 6, 37].

Precypitacja węglanu indukowana przez fitoplankton zachodząca w toni wodnej jest rozważana jako mechanizm zapobiegający eutrofizacji wód. Jest ona wiązana z spadkiem rozpuszczonego i ogólnego fosforu, biomasy fitoplanktonu i wzrostem ekstynkcji światła przez kryształy kalcytu [15]. W związku z tym może ona pełnić ważną rolę w zarządzaniu jakością wody w jeziorach i innych zbiornikach wodnych oraz ich rekultywacji [4, 11, 15].

Celem niniejszej pracy jest przedstawienie wyników analizy składu taksonomicznego fitoplanktonu wybranych zbiorników w kontekście występowania w nich glonów planktonowych mających związek z precypitacją węglanu wapnia, szczególnie zielenicy wytwarzającej inkrustowany węglanem wapnia domek - *Phacotus lenticularis*. Uwzględniono średniej wielkości polodowcowe jezioro, dwa małe zbiorniki wodne (stawy) położone na terenie rolniczym oraz środkowy bieg nizinnej, eutroficznej rzeki.

## 2. Teren badań

Analizie poddano fitoplankton czterech zróżnicowanych zbiorników wodnych: Jeziora Strzeszyńskiego (Poznań), rzeki Warty (Poznań) oraz dwóch stawów położonych w miejscowościach Drwęsa i Dopiewo. Zbiorniki te znajdują się na Pojezierzu Poznańskim, a w podziale administracyjnym Polski w gminach Poznań i Dopiewo w województwie wielkopolskim (Rys. 1). Informacje charakteryzujące badane zbiorniki zestawiono w tabeli 1.

**Jezioro Strzeszyńskie** znajduje się w granicach administracyjnych Poznania, w północno-zachodniej jego części. Jest to naturalny, dimiktyczny zbiornik wodny o typowej, w okresie od maja do października, stratyfikacji termicznej [13]. Podlega on silnej antropopresji, głównie z uwagi na rekreacyjne wykorzystanie i położenie w zlewni zurbanizowanej. W zależności od pory roku i rodzaju zastosowanej klasyfikacji jego wody zaliczane są do mezotroficznych lub eutroficznych. Od roku 2011 jezioro jest rekultywowane poprzez strącanie fosforu z toni wodnej koagulantami oraz napowietrzaniem wód w głębozku i inaktywacji fosforu w strefie naddennej.

Rzeka Warta w środkowym biegu, w swym przełomowym odcinku, zaliczana jest do typu abiotycznego 21, czyli wielkich rzek nizinnych. Ma ona charakter rzeki fitoplanktonowej z okresowo występującymi masowymi pojawami sinic, okrzemek i zielenic [18]. Na terenie województwa wielkopolskiego zlewnia rzeki ma głównie charakter rolniczy (ok. 65%) (GUS „Ochrona Środowiska” 2011). Intensywne użytkowanie rolne oraz obecność wielu oczyszczalni ścieków komunalnych i przemysłowych w zlewni przyczynia się do wzrostu trofii wód Warty. Na jakość jej wód wpływa także rozwinięta sieć dopływów oraz obecność wielu jezior, starorzeczy, stawów rybnych oraz zbiorników retencyjnych w jej zlewni.



Rys. 1. Lokalizacja badanych zbiorników wodnych: 1 - Jezioro Strzeszyńskie, 2 – rzeka Warta, 3 – staw w Drwęsie, 4 – staw w Dopiewie.

Fig. 1. Location of the study reservoirs: 1 – Strzeszyńskie Lake, 2 –Warta River, 3 – pond in Drwęsa, 4 – pond in Dopiewo.

Tabela. 1. Wybrane parametry dotyczące Jeziora Strzeszyńskiego, rzeki Warty oraz stawów w miejscowościach Drwęsa i Dopiewo.  
 Table. 1. Selected parameters relating to the Strzeszyńskie Lake, the Warta River and ponds in the villages Drwęsa and Dopiewo.

Parametr	Jezioro Strzeszyńskie [13]	Rzeka Warta [18]	Staw	
			w Drwęsie [22]	w Dopiewie
Powierzchnia zwierciadła wody [ha] lub szerokość koryta [m]	35,4	ok. 50	0,03	0,62
Głębokość maksymalna/średnia [m]	17,8/8,0	nd	1,9/bd	bd/bd
Długość/szerokość [m]	1280/550	nd	23,0/16,5	160/45
Typ miksji zbiornika	dimiktyczny	nd	polimiktyczny	polimiktyczny
Fosfor ogólny [mg P/l] (wartość średnia)	0,025 (n=22) <sup>1</sup>	0,215 (n= 18) <sup>2</sup>	0,181 (n=21) <sup>3</sup>	0,386 (n=10) <sup>3</sup>
Chlorofil-a [µg/l]	zakres: 0,8-20,4 średnia: 5,16 (n=22) <sup>1</sup>	zakres: 0,3-79,5 średnia: 23,9 (n= 18) <sup>2</sup>	zakres: 9,9-293 średnia: 71,2 (n=24) <sup>2</sup>	zakres: 41-242 średnia: 99,3 (n=10) <sup>2</sup>
Stan trofii	mezo-eutrofa	eutrofia	eutrofia	hypertrofia

nd – nie dotyczy, bd – brak danych, <sup>1</sup>dane z roku 2015 (powierzchniowa warstwa wody - 0,2 m lub 1 m), <sup>2</sup>dane z roku 2010, <sup>3</sup>dane z roku 2014 (powierzchniowa warstwa wody - 0,2 m)  
 nd – not applicable, bd – lack of data, <sup>1</sup>data from 2015 (the surface layer of the water - 0.2 m or 1 m), <sup>2</sup>data from 2010 (the surface layer of the water - 0.2 m), <sup>3</sup>data from 2014 (the surface layer of the water - 0.2 m)

Staw w Drwęsie to mały zbiornik antropogeniczny wykorzystywany do retencjonowania wody deszczowej i rekreacji. Nie wykształca się w nim typowa stratyfikacja termiczna a poziom lustra wody charakteryzuje się dużą zmiennością, przy czym na ogół w końcu lata jest on najniższy [21].

Staw w Dopiewie jest około 20-krotnie większy niż w Drwęsie i ma charakter przepływowy. Wykorzystywany jest on do celów wędkarskich, rekreacyjnych i przeciwpożarowych. Również nie wykształca się w nim typowa stratyfikacja termiczna. Spośród badanych zbiorników jego wody charakteryzują się najwyższą trofią, na co wskazują wysokie stężenia chlorofilu-a i fosforu ogólnego (Tab. 1).

### 3. Metody badań

#### 3.1 Pobór próbek wody

Do badań fitoplanktonu Jeziora Strzeszyńskiego próbki wody pobierano w latach 2009, 2010 i 2015 od stycznia lub marca do listopada lub grudnia z powierzchniowej warstwy wody (0,2–1 m) na ogół raz lub dwa razy w miesiącu. Z rzeki Warty na stanowiskach w Poznaniu – przy ujęciu wody w okresie sierpień 2008 - lipiec 2009 [35] oraz w roku 2010 przy moście św. Rocha [18]. Próbki pobierano z nurtu, również z powierzchniowej warstwy wody. W przypadku stawów badania były prowadzone w 2014 roku. Próbki wody pobierano na stanowisku zlokalizowanym w centralnej części zbiorników: ze stawu w Drwężu od stycznia do grudnia z częstotliwością 2 razy w miesiącu, natomiast ze stawu w Dopiewie raz w miesiącu w okresie od marca do grudnia. Próbki wody utrwalono płynem Lugola według metodyki Starmacha [27]. Jednocześnie z próbkami do analiz fitoplanktonu pobierano na ogół próbki wody do określenia stężenia chlorofilu-a i fosforu ogólnego. Mierzono również wybrane parametry środowiskowe: temperaturę wody, odczyn, przewodnictwo elektrolityczne.

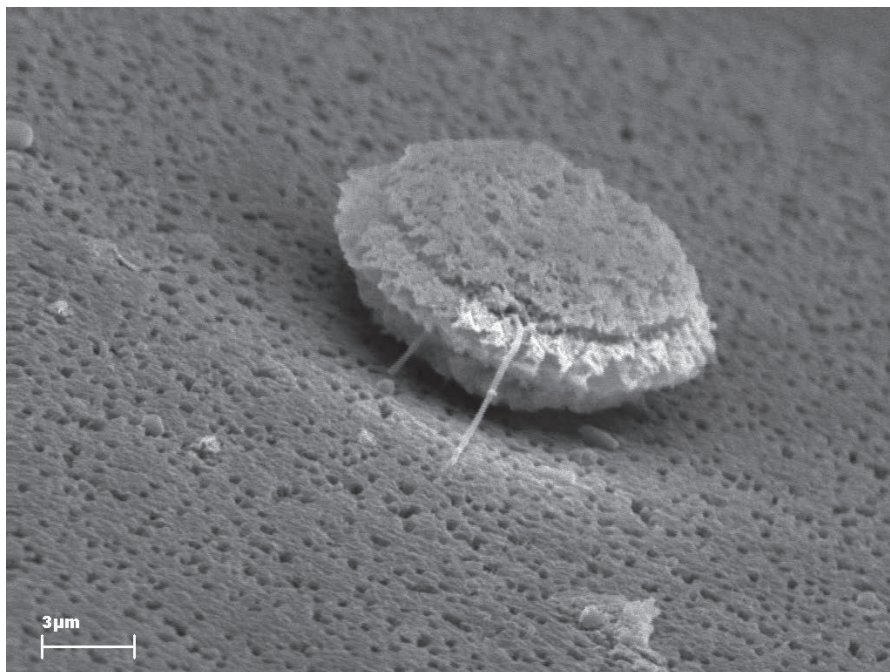
#### 3.2 Analizy laboratoryjne

Utrwalone płynem Lugola próbki wody analizowano w mikroskopie odwróconym (MOD-2, MOTIC AE31, CKX41) przy użyciu cylindrycznych komór o objętości 9 ml i 14 ml stosując metodę sedymentacyjną Utermöhla [36]. Dokumentację fotograficzną wykonano w Zakładzie Ochrony Wód przy użyciu analizy obrazu cellsSens w mikroskopie świetlnym CKX41 oraz w Wydziałowej Pracowni Mikroskopii Elektronowej i Konfokalnej na elektronowym mikroskopie skaningowym (SEM) Zeiss EVO40.

W celu określenia stężenia chlorofilu-a zastosowano metodę spektrofotometryczną po ekstrakcji acetonem według normy PN-93 C-05560/03, zaś fosforu ogólnego według normy PN-91 C-04537/09.

### 4. Wyniki badań

*Phacotus lenticularis* stwierdzony został we wszystkich analizowanych zbiornikach, zarówno w wodach stojących (jezioro, stawy) jak i płynących (rzeka), ale w różnej liczebności i z różnym przebiegiem zmian w okresie wegetacyjnym. Komórki charakteryzowały się rozmiarem w zakresie 12-16  $\mu\text{m}$  (Rys. 2).

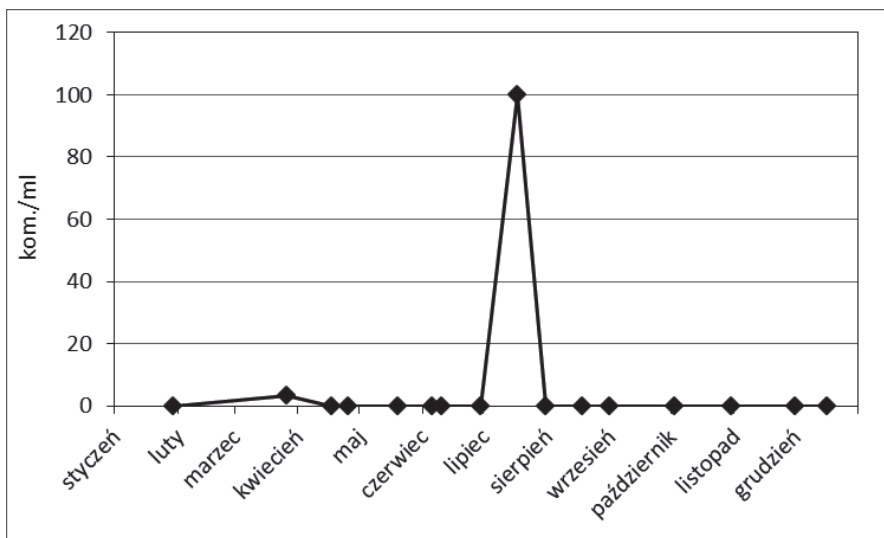


Rys. 2. *Phacotus lenticularis* (Ehrenberg) Stein występujący w Jeziorze Strzeszyńskim.  
Widoczna boczna i górna część domku z otworkiem i wicią. Obraz w SEM.

Fig. 2. *Phacotus lenticularis*(Ehrenberg) Stein occurring in Strzeszyńskie Lake. Top and lateral view of the lorica with pore and flagella. SEM image.

#### 4.1 Jezioro Strzeszyńskie

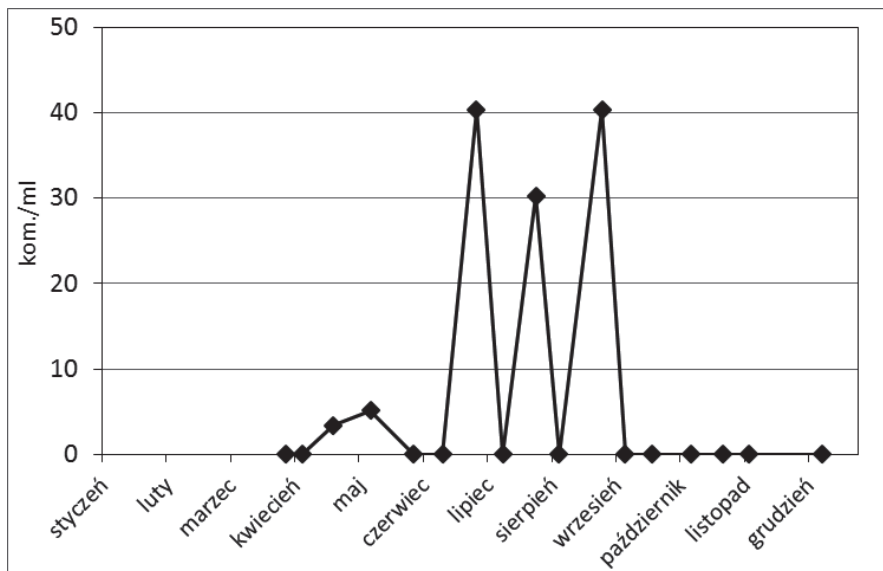
W roku 2009, w którym w okresie od stycznia do grudnia próbki wody pobrano 16-krotnie *P. lenticularis* stwierdzony został tylko dwukrotnie - w końcu marca (3,4 kom./ml) i w połowie lipca (100 kom./ml) (Rys. 3). W lipcu najliczniejszymi taksonami współwystępującymi z *P. lenticularis* były: kolonijne cyjanobakterie z rodzajów *Aphanocapsa* i *Aphanothece*, nanoplanktonowe kryptofity (*Plagioselmis lacustris*) i haptofity (*Chrysochromulina parva*) oraz tworząca nieduże kolonie zielenica z rodzaju *Eutetramorus*. Maksymalna stwierdzona w 2009 roku liczebność *P. lenticularis* pojawiła się w najcieplejszej porze roku, przy temperaturze wody 25,3°C, zasadowym odczynie wody (8,54) i wysokim przewodnictwie elektrolitycznym (601  $\mu\text{S}/\text{cm}$ )



Rys. 3. Zmiany liczebności *Phacotus lenticularis* w powierzchniowej warstwie wody Jeziora Strzeszyńskiego w okresie od stycznia do grudnia 2009 roku.

Fig. 3. Changes in the abundance of *Phacotus lenticularis* in surface water layer of Strzeszyńskie Lake between January and December 2009.

W roku 2010, przy zbliżonej (17) do roku 2009 liczbie próbek wody pobranych między marcem a grudniem stwierdzono, że maksymalna liczebność *P. lenticularis* nie przekroczyła nawet 50 kom./ml. *P. lenticularis* wystąpił w około 1/3 próbek, ale zagęszczenie komórek w populacji było zawsze niewielkie. Większość rekordów pochodzi z najcieplejszej pory roku, między drugą połową czerwca a końcem sierpnia (Rys. 4). Temperatura powierzchniowej warstwy wody wahała się w tym okresie od 20,5°C do 27,3°C, odczyn od 8,0 do 9,5, a przewodnictwo elektrolityczne od 459  $\mu\text{S/cm}$  do 567  $\mu\text{S/cm}$ . *P. lenticularis* współwystępował wówczas z chrookokalnymi (*Aphanothece spp.*, *Aphanocapsa spp.*) i nitkowatymi (*Anabaena flos-aquae*) cyjanobakteriami, centrycznymi okrzemkami (*Cyclotella spp.*), tworzącymi duża biomasa bruzdnicami (*Ceratium hirundinella*), bardzo licznym nanoplanktonowym haptofitem - *Chrysochromulina parva* oraz mniej licznymi, ale bardzo zróżnicowanymi pod względem gatunkowym chlorokokalnymi zielenicami. Od września do końca roku 2010 *P. lenticularis* w powierzchniowej warstwie wody jeziora, podobnie jak rok wcześniej, nie został już odnotowany (Rys. 4).

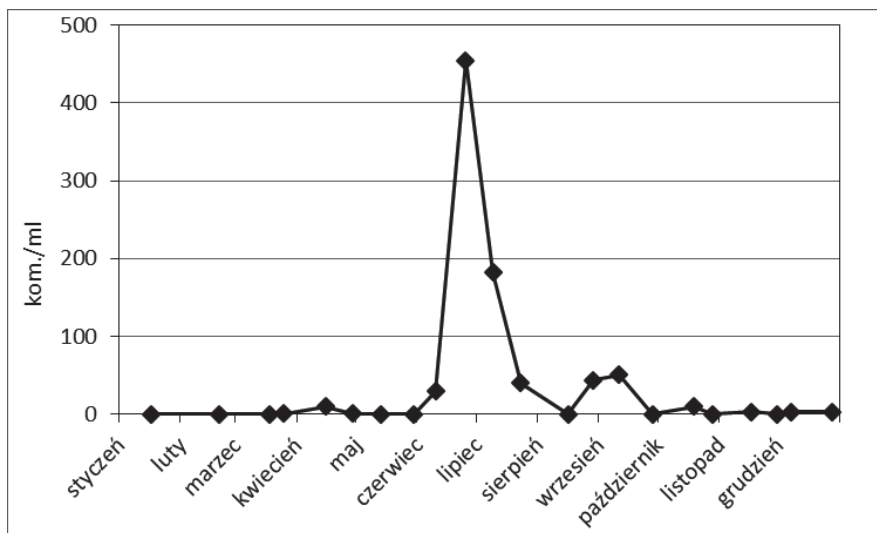


Rys. 4. Zmiany liczebności *Phacotus lenticularis* w powierzchniowej warstwie wody Jeziora Strzeszyńskiego w okresie od marca do grudnia 2010 roku.

Fig. 4. Changes in the abundance of *Phacotus lenticularis* in surface water layer of Strzeszyńskie Lake between March and December 2010.

W 2015 roku, w którym przeanalizowano aż 22 próbki fitoplanktonu z okresu marzec-grudzień stwierdzono, że *P. lenticularis* pojawił się w planktonie już w kwietniu, ale na krótko, zaś najwyższą liczebność osiągnął w końcu czerwca i lipcu, odpowiednio 455 kom./ml i 182 kom./ml. Ponowny, ale już nieduży wzrost liczebności tej zielenicy odnotowano na przełomie września i października – około 50 kom./ml. W przeciwieństwie do wcześniej omawianych lat *P. lenticularis* utrzymywał się w planktonie do końca roku, ale w zagęszczeniu zaledwie kilku komórek w 1 mililitrze wody (Rys. 5). Najliczniejszymi populacjami *P. lenticularis* towarzyszyły drobne komórki *Chrysochromulina*, kolonijne zielenice z rodzajów *Coelastrum* i *Eutetramorus*, duże okrzemki, głównie *Fragilaria crotonensis* i *Asterionella formosa*, a spośród cyjanobakterii kolonie o małych rozmiarach komórek (do 2  $\mu\text{m}$ ) z rodzaju *Aphanocapsa* oraz nitkowate cyjanobakterie z rodzaju *Aphanizomenon*.



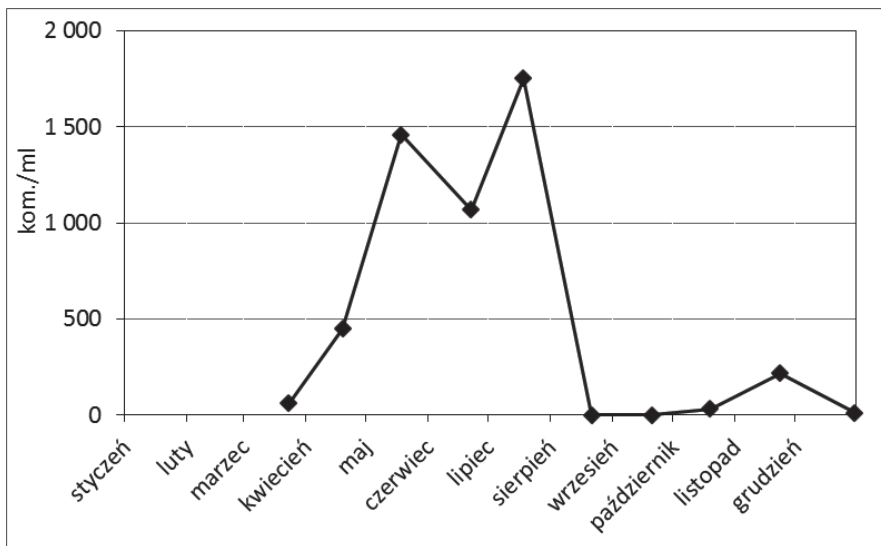


Rys. 5. Zmiany liczebności *Phacotus lenticularis* w powierzchniowej warstwie wody Jeziora Strzeszyńskiego w okresie od stycznia do grudnia 2015 roku.

Fig. 5. Changes in the abundance of *Phacotus lenticularis* in surface water layer of Strzeszyńskie Lake between January and December 2015.

## 4.2 Stawy

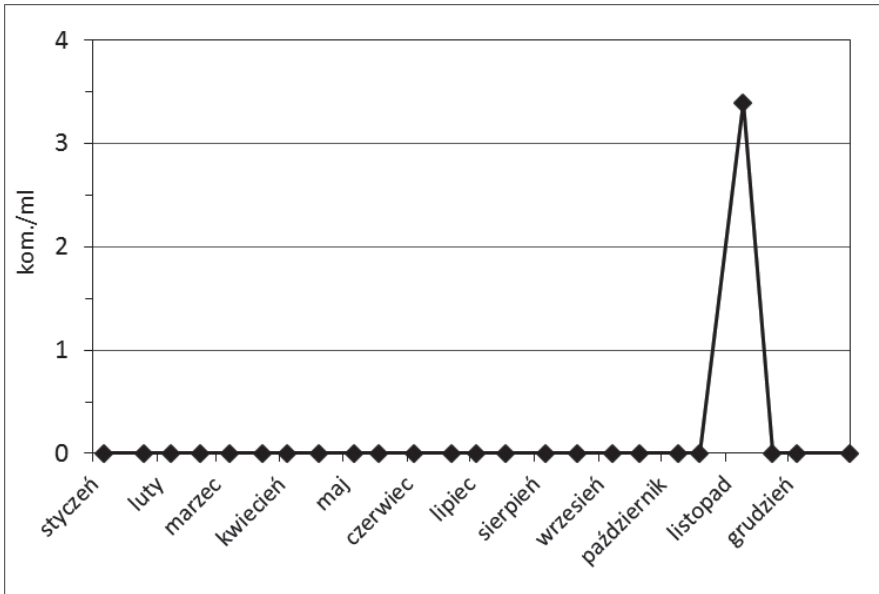
Staw w Dopiewie cechował się największymi zmianami zagęszczenia komórek *P. lenticularis*, bo od 0 do 1752 komórek w 1 mililitrze wody. Spośród dziesięciu próbek wody trzy (pobrane w maju, czerwcu i lipcu) charakteryzowały się liczebnością populacji powyżej 1000 kom./ml, w dwóch (sierpień, wrzesień) nie został on stwierdzony, natomiast w pozostałych liczebność wahała się w zakresie od 10 kom./ml do 450 kom./ml (Rys. 6). W okresie swej największej liczebności *P. lenticularis* współwystępował z cienkimi, nitkowatymi cyjanobakteriami z rodzaju *Pseudanabaena*, nanoplanktonowymi centrycznymi okrzemkami (*Stephanodiscus parvus*) i zielenicami, spośród których przedstawiciele rodzajów *Scenedesmus*, *Dictyosphaerium* i *Chlorella* byli najliczniej reprezentowani. Temperatura wody w tym czasie wahała się w zakresie od 14,7 do 29°C, odczyn wody w zakresie od 7,9 do 8,5, zaś przewodnictwo wynosiło około 740  $\mu\text{S/cm}$ . Liczebność *P. lenticularis* była słabo skorelowana z temperaturą wody ( $r=0,533$ ), lecz w lipcu przy temperaturze wody wynoszącej 29°C jego zagęszczenie było najwyższe – przekroczyło 1450 kom./ml (Rys. 6).



Rys. 6. Zmiany liczebności *Phacotus lenticularis* w powierzchniowej warstwie wody stawu w Dopiewie w okresie od marca do grudnia 2014 roku.

Fig. 6. Changes in the abundance of *Phacotus lenticularis* in surface water layer of pond in Dopiewo between March and December 2014.

Zupełnie odmienny przebieg zmian liczebności *P. lenticularis* zaobserwowano w stawie w Drwęsie. W uwzględnionym tu monitoringu składającym się z 22 poborów próbek wody, rozłożonych dość równomiernie w ciągu roku, w okresie od stycznia do grudnia, *P. lenticularis* został zaobserwowany tylko raz – w próbce wody z listopada, (około 3 osobników w 1 ml wody) (Rys. 7). Temperatura wody wynosiła wówczas 8°C, odczyn wody był obojętny (7,06), zaś przewodnictwo elektrolityczne kształtowało się na poziomie 410  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Współwystępujące z *P. lenticularis* najliczniejsze taksony to: kryptofity z rodzaju *Cryptomonas* (*C. obovata*, *C. ovata*, *C. phaseolus*), bruzdnice z rodzaju *Peridinium*, złotowiciowce z rodzaju *Mallomonas* i zielenice z rodzajów *Ankistrodesmus*, *Monoraphidium* i *Scenedesmus*.

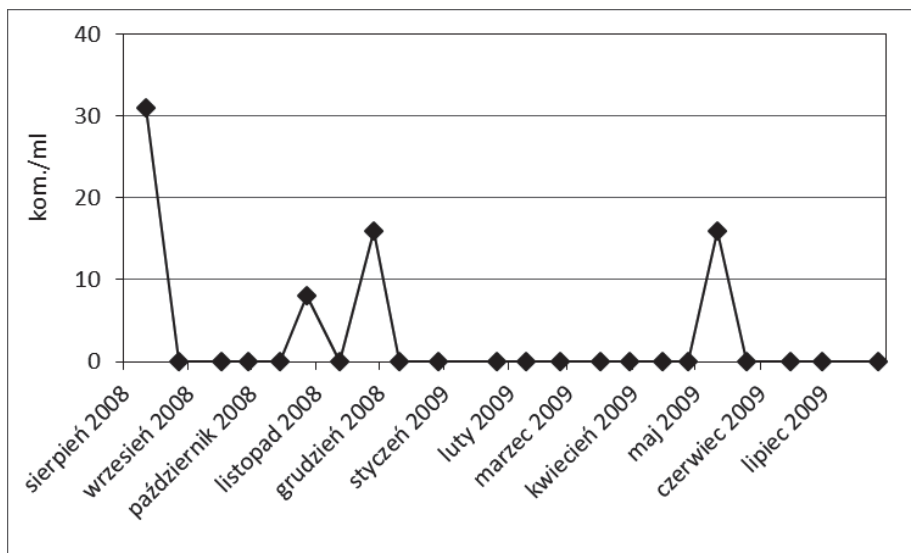


Rys. 7. Zmiany liczebności *Phacotus lenticularis* w powierzchniowej warstwie wody stawu w Drwęsie w okresie od stycznia do grudnia 2014 roku.

Fig. 7. Changes in the abundance of *Phacotus lenticularis* in surface water layer of pond in Drwęsa between January and December 2014.

## 4.2 Rzeka Warta

W rzece Warcie na stanowisku w Poznaniu *P. lenticularis* był rzadko notowany. W 22 próbkach wody z okresu od sierpnia 2008 roku do lipca 2009 roku stwierdzono go zaledwie 4 krotnie, tj. w połowie sierpnia, w końcu października i listopada 2008 oraz na początku listopada 2009 roku (Ryc. 8). Populacje, które wówczas utworzył były mało liczne, od 8 do 31 kom./ml. Z kolei w roku 2010 *P. lenticularis* nie pojawił się, na co wskazała analiza 18 próbek wody pochodzących z comiesięcznych lub codwutygodniowych poborów próbek wody. Z kolei inne taksony rozwijały się intensywnie, szczególnie w okresie letnim. W tym roku do najliczniej występujących lub tworzących dużą biomasę taksonów w fitoplanktonie Warty należały cyjanobakterie (*Aphanizomenon flos-aquae*), okrzemki (*Fragilaria crotonensis*, *Cyclotella* spp., *Stephanodiscus* spp. *Cyclostephanos* spp.) oraz zielenice (*Chlorella* spp.).



Rys. 8. Zmiany liczebności *Phacotus lenticularis* w rzece Warcie w okresie od sierpnia 2008 do lipca 2009 roku.

Fig. 8. Changes in the abundance of *Phacotus lenticularis* in Warta River between September 2008 and July 2009.

## 5. Wyniki badań

W planktonie badanych zbiorników, zarówno wód stojących (Jezioro Strzeszyńskie, staw w Drwęsie i Dopiewie) jak i płynących (rzeka Warta w Poznaniu) stwierdzono mikroorganizmy związane z biomineralizacją. Zielenica - *P. lenticularis* - występowała we wszystkich tych zbiornikach niezależnie od trofii (mezo-eutrofia, hypertrofia), zaś jej liczebność zmieniała się w granicach od 0 do ok. 1750 kom./ml. Różnice między zbiornikami dotyczyły przede wszystkim zagęszczenia populacji. Było ono wyższe w wodach najżyźniejszych i zanieczyszczonych.

W fitoplanktonie Jeziora Strzeszyńskiego liczebność *P. lenticularis* w ciągu kolejnych analizowanych lat, tj. 2009, 2010, 2015 udokumentowana w tej pracy wykresami sezonowych zmian, podlegała znacznym wahaniom. Z reguły miesiące letnie – czerwiec i lipiec były najkorzystniejsze dla rozwoju tej zielenicy. Już wcześniejsze badania Jeziora Strzeszyńskiego sygnalizowały obecność *P. lenticularis* w ciepłym okresie i jego duży udział w fitoplanktonie [29]. W 1978 roku na głębokości 1 m udział *P. lenticularis* w biomacie ogólnej fitoplanktonu w połowie i w końcu czerwca przekroczył 30%, odpowiednio 36,9% i 36,5%. Z kolei wykonane 20 lat później badania, bo w 1999 roku, dokładnie w tych samych terminach pokazały, że nie było go wśród najważniejszych gatunków w biomacie fitoplanktonu. Wówczas bowiem licznie występowały w pelagialu pikoplanktonowe cyjanobakterie [31]. Należą one do autotroficznego pikoplanktonu (APP) będącego pospolitym, często dominującym w liczebności, biomacie i produkcji pierwotnej składnikiem fitoplanktonu.

Do APP zalicza się małe pod względem rozmiarów komórki, lecz w związku z tym, że występują bardzo licznie ich łączna powierzchnia absorpcji jest duża i niejednorodna, co jak podają Dittrich i Obst [6], sprzyja biomineralizacji.

Również badania fitoplanktonu Jeziora Strzeszyńskiego z roku 2000 (z okresu od maja do listopada) wykonane przez Ciachere-Radułę [3] wskazały na dużą dynamikę liczebności *P. lenticularis*. Zagęszczenie komórek wahało się wówczas między 0 a 377 kom./ml. Najliczniejsze populacje, przekraczające zagęszczenie 300 kom./ml, stwierdzono także w czerwcu, w połowie i końcu tego miesiąca przy temperaturze wody przekraczającej 22°C. Do licznie współwystępujących z *P. lenticularis* należały: małe i duże okrzemki (odpowiednio *Cyclotella ocellata* i *Fragilaria crotonensis*), drobne monady (*Rhodomonas (Plagioselmis) lacustris*, *Chrysochromulina parva*), zielenice tworzące cenobia (*Eutetramorus* sp., *Oocystis* spp.) oraz tworząca płaskie kolonie cyjanobakteria (*Merismopedia tenuissima*). W drugiej połowie lipca liczebność *P. lenticularis* zmniejszyła się do około 100 kom./ml, natomiast w październiku i listopadzie nie został on już odnotowany. Udział *P. lenticularis* w biomacie fitoplanktonu Jeziora Strzeszyńskiego był dość duży, bo 14,8%. Nieco tylko niższy udział *P. lenticularis* w biomacie fitoplanktonu podali Stefaniak i in. [28] z hipertroficznego Jeziora Swarzędzkiego dla roku 2002 - 10,4%, co miało miejsce przy zbliżonej temperaturze wody (22,4°C) i wysokim przewodnictwie elektrolitycznym (699  $\mu\text{S/cm}$ ).

Z rzeki Warty na terenie Poznania *P. lenticularis* podawany był rzadko, co potwierdza informacje, że jest on taksonem charakterystycznym dla wód stojących [25]. Niepublikowane wyniki badań Szelań-Wasielewskiej z roku 2007, które prowadzono od lipca do września (10 poborów) nie ujawniły jego obecności. Z kolei Mężyńska [20] stwierdziła go w próbce pobranej 3 sierpnia 2010 przy temperaturze wody wynoszącej 21,4°C, pH 8,4 i przewodnictwie elektrolitycznym 510  $\mu\text{S/cm}$ . Liczebność *P. lenticularis* osiągnęła wówczas 157 kom./ml, ale jej udział w liczebności zielenicy wynosił zaledwie 0,5%. W tym okresie w górze rzeki na stanowisku w Koninie (403,10 km) Mądrecka [18] odnotowała przedstawiciela rodzaju *Phacotus* Perty (nie oznaczonego do gatunku) w ilości 4,4 kom./ml. Woda rzeki w tym czasie, jak podaje autorka, charakteryzowała się dość wysoką temperaturą (21,8°C), słabo zasadowym odczynem (8,36) i przewodnictwem elektrolitycznym 450  $\mu\text{S/cm}$ .

W publikacji dotyczącej fitoplanktonu rzeki Raduni, na odcinku od Babiego Dołu do Straszyna, Gołdyn [7] podał, że *P. lenticularis* w latach 1974-1976, w próbkach pobieranych z rzeki co miesiąc, a ze zbiorników zaporowych wiosną, latem i jesienią pojawił się na wszystkich 10-ciu stanowiskach, ale również niezbyt licznie. Z kolei według Buckiej i Wilk-Woźniak [1], bardzo licznie *P. lenticularis*, występował w zbiorniku Kozłowa Góra w lipcu, a w zbiorniku Rożnowskim zarówno w pierwszych latach po napełnieniu zbiornika, jak i w okresie późniejszym. W sierpniu przy temperaturze wody 26,5°C i jej przezroczystości wynoszącej 2 m rozwinął się masowo osiągając zagęszczenie 1300 komórek w 1 ml wody. Jak konkludują autorki jest to gatunek dość częsty w stawach, jeziorach i zbiornikach o wodach eutroficznymi. Można go znaleźć na wielu listach i spisach taksonów. Z wykazu taksonów wykonanego przez Burchardt [2] dla Jeziora Pątnowskiego wynika, że pojawił się on w maju, październiku i grudniu 1972 roku. Ponadto stwierdzono dwa inne gatunki z tego rodzaju, tj. *P. angustatus* Pascher i *P. subglobosus* Pascher, które wystąpiły odpowiednio we wrześniu i w grudniu tego samego roku. *P. lenticularis* nie był jednak zbyt liczny w tym jeziorze, bowiem nie znalazł się wśród gatunków określonych przez autorkę jako dominujące.

W fykloflorze 17 jezior Wielkopolskiego Parku Narodowego na przestrzeni lat 1934-2007, jak podaje Messyasz i in. [19], wśród 468 taksonów zielenic znaleziono 2 gatunki z rodzaju *Phacotus*, tj. *P. lenticularis* i *P. lendneri*. Pierwszy z nich stwierdzono w Jeziorze Góreckim i jeziorze Kociołek, natomiast drugi odnotowany został tylko w Jeziorze Góreckim. Chociaż autorzy w opracowaniu nie podali zagęszczenia komórek, można przypuszczać, że było ono niewielkie. Również niepublikowane wyniki badań Szelaąg-Wasielewskiej pochodzące z późniejszego okresu, bo z roku 2012, wskazują na małe zagęszczenie *P. lenticularis* w Jeziorze Góreckim. Zarówno w południowej, jak i północnej części tego jeziora w czerwcu 2012 roku wystąpił on tylko w głębszych warstwach jeziora (10 m) w liczebności odpowiednio 31 kom./ml i 2,3 kom./ml. Niewysoka liczebność *P. lenticularis* w tym jeziorze może być związana ze stosunkowo małą zawartością wapnia i raczej miękkim charakterem jego wód. Jak podaje Pelechata i in. [23] w pełni sezonu wegetacyjnego stężenie wapnia wyniosło 32,9 mg/l a twardość wody 2,93 mval/l. Z kolei w 16 jeziorach Drawieńskiego Parku Narodowego *P. lenticularis* występował obficie. W próbkach wody z wiosny i lata 1997 roku odnotowano jego obecność w sześciu jeziorach (Czarne, Jamno, Marta, Ostrowiec, Płiczno, Płociowe, Sitno), przy czym liczebność wyższa była w lipcu, szczególnie w epilimnionie, wahając się w zakresie 4-470 kom./ml [10, 30, 32]. Jeszcze liczniej *P. lenticularis* występował w Jeziorze Durowskim osiągając w 2010 (7 lipca) maksymalne zagęszczenie - 1480 kom./ml. Nie został on stwierdzony w dopływie do jeziora, natomiast w misie jeziornej występował na wszystkich stanowiskach badawczych, zaś jego udział w liczebności i biomacie ogólnej fitoplanktonu (w centralnej części jeziora) to odpowiednio 10% i 11% [9].

W badanym wielokrotnie w latach 1991-1994 Jeziorze Jeleń na Pojezierzu Bytowskim *P. lenticularis* znaleziony został tylko w próbce pobranej w kwietniu 1992 roku na jednym spośród trzech analizowanych wówczas głęboczków [33]. Wody powierzchniowe tego jeziora (epilimnion), jak wynika z pracy Klimaszyka i in. [14], charakteryzują się słabo zasadowym odczynem wody (7,3-7,5), niskim przewodnictwem elektrolitycznym (63-90  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), niewielką zawartością wapnia (ok. 7-9 mg Ca/l), a obliczony dla 1991 roku, sumaryczny wskaźnik stanu trofii był niski, charakterystyczny dla mezotrofii. Jezioro to może być przykładem unikania przez *P. lenticularis* tzw. jezior miękководnych, o minimalnym stężeniu wapnia i magnezu, natomiast Jezioro Strzeszyńskie charakteryzujące się zawartością wapnia ponad dziesięciokrotnie wyższą – około 90 mg Ca/l [17] miejscem corocznego jego rozwoju. Dla tego gatunku Padiśák i in. [21] wydzielili odrębną grupę funkcjonalną fitoplanktonu oznaczoną kodonem –  $X_{\text{ph}}$  (wcześniej  $Y_{\text{ph}}$ ), zawierającą tylko jednego przedstawiciela zielenic – *Phacotus lenticularis*, który jest organizmem o małej komórce, typowym dla wód zasobnych w wapń, zasiedlającym nawet okresowe, dobrze naświetlone alkaliczne wody. Gromadzenie w obrębie loriki kryształów wapnia, w przypadku jego masowego występowania, może mieć duży wpływ na skład chemiczny wód [4, 12, 15, 16].

Spośród dwóch analizowanych w niniejszej pracy stawów *P. lenticularis* w znaczącej ilości (>1000 kom./ml) pojawił się tylko w jednym z nich - w zbiorniku większym, przepływowym i bardzo żyznym pozbawionym w zasadzie roślinności zanurzonej. Jak podają Gołdyn i in. [8], wysokie stężenia azotu amonowego i nadmiar fosforu przy podwyższonym BZT5 wskazują na zanieczyszczanie stawu ściekami komunalnymi i przenikanie substancji ze zlewni użytkowanej rolniczo, głównie przez wody dopływu.

*P. lenticularis* to gatunek nanoplanktonowy, tak więc badania planktonu sieciowego (cedzonego przez siatkę planktonową) mogą go nie uchwycić. Przecieka on bowiem przez oczka siatki (oczko siatki planktonowej nr 25 według numeracji szwajcarskiej ma wielkość około 55  $\mu\text{m}$ ). Jak podkreśla Szklarczyk-Gazdowa [34], zastosowana metoda poboru próbek istotnie rzutuje na otrzymane wyniki. Autorka stwierdziła, że włączenie nanoplanktonu do badań jakościowych istotnie wzbogaca listę florystyczną. Aczkolwiek w 102 próbkach pochodzących z 45 stawów zlokalizowanych w dorzeczu Górnej Wisły nie stwierdziła ona *P. lenticularis*. Można przypuszczać, że pobór próbek wody metodą siatki (zagęszczanie) może spowodować niewykrycie tego taksonu, szczególnie przy małej jego liczebności. Jest to ważne w stawach, gdzie występuje duża liczba gatunków zielenic o małych wymiarach komórek i kolonii. Upowszechnienie się w ostatnich latach metody sedymentacyjnej i mikroskopu odwróconego daje więc większe możliwości znalezienia i właściwej oceny ilości komórek *P. lenticularis*.

## Bibliografia

- 1) Bucka, H., Wilk-Woźniak, E. Gatunki kosmopolityczne i ubikwistyczne wśród glonów pro- i eukariotycznych występujących w zbiornikach wodnych Polski południowej. Zakład Biologii Wód im. Karola Starmacha PAN, Kraków, 2002, ss. 233
- 2) Burchardt, L. Zmiany w składzie fitoplanktonu Jeziora Pątnowskiego odbiornika wód podgrzanych i ścieków z cukrowni (1972/73). Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Seria Biologia nr 8, 1977, ss. 117
- 3) Ciachera-Raduła, J. Fitoplankton dwóch zróżnicowanych troficznie zbiorników wodnych na Pojezierzu Wielkopolskim. Praca magisterska wykonana w Zakładzie Ochrony Wód Wydziału Biologii UAM, Poznań, 2000
- 4) Dittrich, M. and Koschel, R. Interaction between calcite precipitation (natural and artificial) and phosphorus cycle in the hardwater lake. *Hydrobiologia* 2002, 469, 49-57
- 5) Dittrich, M., Kurz, P. and Wehrli, B. The role of autotrophic picocyanobacteria in calcite precipitation in an oligotrophic lake. *Geomicrobiology Journal* 2004, 21, 45-53
- 6) Dittrich, M. and Obst, M. Are picoplankton responsible for calcite precipitation in lakes? *Ambio* 2004, 33, 559-564
- 7) Gołdyn, R. Algae in the seston of the middle section of the River Radunia, its tributaries and dam reservoirs (Northern Poland). *Fragmenta Floristica et Geobotanica*, 1989, 34(1-2), 201-245
- 8) Gołdyn, R., Kowalczywska-Madura, K., Gołdyn, B., Celewicz-Gołdyn, S., Dondajewska, R., Zagajewski, P. Opracowanie stanu ekologicznego zbiorników wodnych położonych na terenie Gminy Dopiewo wraz z propozycjami zmian w ich dotychczasowym użytkowaniu. Zakład Ochrony Wód Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, 2008
- 9) Gołdyn, R., Messyasz, B. Ocena stanu ekologicznego Jeziora Durowskiego. Wydział Biologii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Poznań 2010, ss. 98
- 10) Gołdyn, R. and Szeląg-Wasielewska, E. Changes in the phytoseston of a river-lake system in Drawieński National Park. *Oceanological and Hydrobiological Studies* 2004, 3(2), 17-28
- 11) Hamilton, S.K., Bruesewitz, D.A., Horst, G.P., Weed, D.B. and Sarnelle, O. Biogenic calcite-phosphorus precipitation as a negative feedback to lake eutrophication. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 2009, 66, 343-350
- 12) Hepperle, D. and Krienitz, L. The extracellular calcification of zoospores of *Phacotus lenticularis* (Chlorophyta, Chlamydomonadales). *Eur. J. Phycol.* 1996, 31, 11-21
- 13) Kaźmierska, A. Wpływ antropopresji na bakterioplankton i autotroficzny piko-plankton w pelagialu Jeziora Strzeszyńskiego. Rozprawa doktorska, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Poznań 2015
- 14) Klimaszyk, P., Kraska, M., Piotrowicz, R. Wpływ antropopresji na funkcjonowanie lobeliowego jeziora Jeleń (Pojezierze Bytowskie). [W:] Diagnostowanie stanu środowiska. Metody badawcze – prognozy. Garbacz, J.K. (red.). *Prace Komisji i Ochrony Środowiska Bydgoskiego Towarzystwa Naukowego*, Bydgoszcz 2014, tom VIII, 131-138
- 15) Koschel, R., Benndorf, J., Proft, G. and Recknagel, F. Calcite precipitation as a natural control mechanism of eutrophication. *Arch. Hydrobiol.* 1983, 98, 380-408



- 16) Krienitz, L., Koschel, R., Giering, B., Casper, S.J. and Hepperle, D. Phenomenology of organismic calcite precipitation by *Phacotus* in hardwater lakes and ponds of north-eastern Germany. *Verh. Int. Ver. Limnol.* 1993, 25, 170-174
- 17) Mastłyński, J., Szelaę-Wasielewska, E. Możliwości produkcji sielawy w zbiorniku eutroficznym na przykładzie Jeziora Strzeszyńskiego. *Gospodarka rybna* 1989, 5, 6-7
- 18) Mądrecka, B. Dynamika zmian fitoplanktonu w środkowym biegu rzeki Warty i jej wpływ na koncepcje uzdatniania wody. Rozprawa doktorska, Politechnika Poznańska, Poznań 2015
- 19) Messyas, B., Pelechata, A., Burchardt, L. Różnorodność gatunkowa sinic i glonów planktonowych jezior Wielkopolskiego Parku Narodowego [Phycoflora of lakes in the Wielkopolska National Park]. *Morena* 2011, 15, 37-81
- 20) Mężyńska, M. Zielenice w potamoplanktonie jako wskaźniki jakości wód płynących. Praca licencjacka wykonana w Zakładzie Ochrony Wód Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, 2011, ss. 52
- 21) Padiśák, J., Crossetti, L.O. and Naseli-Flores, L. Use and misuse in the application of the phytoplankton functional classification: a critical review with updates. *Hydrobiologia* 2009, 621, 1-19
- 22) Pajchrowska, M. and Szpakowska, B. Assessment of occurrence microphytes and trophic status of small water body in the Wielkopolska Region (western Poland). *Pol. J. Natur. Sc.* 2014, 29(1) 17-33
- 23) Pelechata, A., Walna, B., Pelechaty, M., Kaczmarek, L., Ossowski, P., Lorenc, M. Sezonowa dynamika zbiorowiska glonów i sinic planktonowych Jeziora Góreckiego na tle cech fizyczno-chemicznych wód powierzchniowych i stopnia rozwoju makrofitów. [W:] Wielkopolski Park Narodowy w badaniach przyrodniczych. Walna, B., Kaczmarek, L., Lorenc, M., Dondajewska, R. (Red.). Poznań-Jeziory 2009, 27-42
- 24) Pelechaty, M., Pukacz, A., Apolinarska, K., Pelechata, A. and Siepak, M. The significance of Chara vegetation in the precipitation of lacustrine calcium carbonate. *Sedimentology* 2013, 60 (40), 1017-1035
- 25) Schlegel, I., Koschel, R. and Krienitz, L. On the occurrence of *Phacotus lenticularis* (Chlorophyta) in lakes of different trophic state. *Hydrobiologia* 1998, 369/370, 353-361
- 26) Stabel, H.H. Calcite precipitation in Lake Constance: chemical equilibrium, sedimentation, and nucleation by algae. *Limnology and Oceanography* 1986, 31, 1081-1093
- 27) Starmach, K. Plankton roślinny wód słodkich. Metody badania i klucze do oznaczania gatunków występujących w wodach Europy Środkowej. PWN, Warszawa – Kraków, 1989
- 28) Stefaniak, K., Gołdyn, R., Kowalczevska-Madura, K. Changes of summer phytoplankton communities in Lake Swarzedzkie in the 2000-2003 period. *Oceanological and Hydrobiological Studies* 2007, 34, Supplement 1, 77-85
- 29) Szelaę-Wasielewska, E. Fluktuacje sezonowe fitoplanktonu jako wyraz zmian zachodzących w pelagialu jezior. [W:] Naturalne i antropogeniczne przemiany jezior. Choiński, A. (red.) Konferencja Limnologiczna, Radzyń k. Sławy, 1999, 245-254
- 30) Szelaę-Wasielewska, E. Pelagic pico-, nano- and microphytoplankton in a meromictic lake: a preliminary study. In: Lakes and artificial water reservoir – functioning, revitalization and protection. (Eds.) Jankowski, A.T and Rzętała, M., University of Silesia – Faculty of Earth Sciences, Polish Limnological Society, Polish Geographical Society – Branch Katowice, Sosnowiec, 2004, 205-213

- 31) Szelaąg-Wasielewska, E. Trophic status of lake water evaluated using phytoplankton community structure – change after two decades. *Polish Journal of Environmental Studies* 2006, 15(1), 139-144
- 32) Szelaąg-Wasielewska, E i Gołdyn, R. Skład jakościowy i ilościowy fitoplanktonu jezior Drawieńskiego Parku Narodowego. Wykonano w Zakładzie Ochrony Wód Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. Umowa nr IV/P/O-W/96. Kierownik Operatu Ekosystemów Wodnych Drawieńskiego Parku Narodowego M. Kraska 1998, Poznań, ss. 88
- 33) Szelaąg-Wasielewska, E., Gołdyn, R., Bernaciak, A. Fitoplankton a stan trofii wód Jeziora Jeleń na Pojezierzu Bytowskim. *Badania Fizjograficzne nad Polską Zachodnią Seria B – Botanika* 1999, 48, 203-223
- 34) Szklarczyk-Gazdowa, C. Plankton wybranych stawów rybnych dorzecza górnej Wisły ze szczególnym uwzględnieniem zielenic. [Plankton of certain fish ponds in the upper Vistula basin]. *Monographiae Botanicae* 1965, 19, 85-147
- 35) Szyper, H., Danielak, K., Szelaąg-Wasielewska, E., Romanowicz-Brzozowska, W., Piechowiak, M., Domek, P. Opracowanie końcowe wraz z oceną przydatności podczyszczania wody w osadniku ziemnym (wariant II). *Aqua Consult* 2009, Poznań
- 36) Wetzel, R.G. and Likens, G.E. Limnological analyses. Second edition. Springer-Verlag, New York, Inc. 1991
- 37) Yates, K.K. and Robins, L.L. 1998. Production of carbonate sediments by a unicellular green alga. *American Mineralogists* 1998, 83, 1503–1509