



Sezonowa zmienność produkcji pierwotnej i respiracji fitoplanktonu w litoralu jeziora eutroficznego

*Daniel Szymański, Julita A. Dunalska, Bożena Jaworska,
Izabela Bigaj, Rafał Zieliński, Ewelina Nowosad
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, Olsztyn*

1. Wstęp

Eutrofizacja jest procesem wzbogacania wód w sposób naturalny lub sztuczny w składniki pokarmowe, jednak w sposób samoistny proces ten zachodzi bardzo wolno [16]. Wzrost zawartości azotu i fosforu powoduje masowy rozwój roślinności wodnej, zwłaszcza fitoplanktonu, a co za tym idzie wzrost ilości materii organicznej powodującej zanieczyszczenie wód [8]. Wskaźnikami określającymi stan troficzny wód jeziorowych mogą być produkcja pierwotna fitoplanktonu oraz koncentracja chlorofilu „a” [22, 10]. Parametry te świadczące o żyzności jeziora zależą od parametrów fizykochemicznych, dostępności materii organicznej, aktywności metabolicznej mikroorganizmów planktonowych oraz intensywności procesów mikrobiologicznych [3]. Produkcja pierwotna jest w znaczny sposób determinowana przez skład oraz wielkość organizmów fitoplanktonowych, jak również przez parametry morfometryczne i zlewniowe jeziora. Rodzaj zlewni oraz procesy w niej zachodzące mają istotny wpływ na jakość wód zbiornika, zwłaszcza w strefie litoralu, która w bezpośredni sposób z nią graniczy. Mała głębokość litoralu oraz dopływ do niego biogenów ze zlewni czyni go bardzo podatnym na wahania fizykochemicznych. Wiąże się z wysoką dynamiką procesów zachodzących w tej strefie [14].

Ważną cechą ekosystemów wodnych jest równowaga między produkcją pierwotną i respiracją, która świadczy o typie ekosystemu [1].

W przypadku gdy produkcja pierwotna brutto jest wyższa od respiracji wówczas mamy do czynienia z ekosystemem autotroficznym. Tak wyprodukowana materia organiczna zwana jest materią autochtoniczną. W sytuacji odwrotnej – jeśli respiracja jest większa od produkcji pierwotnej brutto wówczas mówimy o ekosystemie heterotroficznym, w którym materia organiczna pochodzi z zewnątrz i zwana jest materią allochtoniczną [1, 6, 13, 24].

Do niedawna badania dotyczące produkcji pierwotnej oraz respiracji wykonywane były głównie w strefie pelagialu (toni wodnej), jednak wraz z upływem czasu w badaniach zaczęto uwzględniać również litoral [11], który może przyczyniać się zarówno do produkcji, jak i degradacji węgla organicznego w jeziorze, stanowić ważne miejsce intensywnego samooczyszczania oraz działać jako swoisty bufor dla pelagialu zabezpieczając go przed zanieczyszczeniami [3, 11]

Celem pracy było określenie roli fitoplanktonu w produkcji pierwotnej i respiracji w strefie litoralu, w zależności od sposobu zagospodarowania zlewni.

2. Materiały i metody

2.1. Obiekt badań

Jeziro Kortowskie położone jest na Pojezierzu Mazurskim w grupie jezior olsztyńskich; w południowo-zachodniej części Olsztyna; w zlewni Łyny–Pregoły. Sąsiaduje z dzielnicami takimi jak: Kortowo, Dajtki, Słoneczny Stok. Jezioro Kortowskie zasilane jest przez 5 cieków: rzeka Kortówka, Potok Parkowy, Potok Starodworski, Potok Leśny oraz przewód drenarski. Jedynym odpływem powierzchniowym ze zbiornika jest rzeka Kortówka [9].

Wybrane cechy morfometryczne Jeziora Kortowskiego wg Synowca [22] zestawiono w tabeli 1.

Zagospodarowanie zlewni bezpośredniej Jeziora Kortowskiego wygląda następująco [15]:

- nieużytki 30%,
- ogrody 26,5%,
- lasy 19,3%,
- tereny zabudowane 15,1%,
- grunty orne 9,1%.

Tabela 1. Charakterystyka morfometryczna Jeziora Kortowskiego
Table 1. The morphometric characteristic of Kortowskie Lake

Parametr	Wartość
Powierzchnia zwierciadła wody (P)	89,7 ha
Głębokość maksymalna (H_{maks})	17,2 m
Głębokość średnia (H_{sr})	5,9 m
Głębokość względna (H_{wzgl})	0,02
Wskaźnik głębokościowy (W_g)	0,34
Objętość (V)	5 323 tys. m ³
Długość maksymalna (D_{maks})	1 660 m
Szerokość maksymalna (S_{maks})	715 m
Wskaźnik wydłużenia (λ)	2,3
Szerokość średnia (S_{sr})	541 m
Długość linii brzegowej (L)	4 800 m
Wskaźnik rozwinięcia linii brzegowej (K)	1,43

Badania na Jeziorze Kortowskim prowadzone były wiosną (30 maja), latem (14 lipca) i jesienią (8 listopada) 2011 roku na 8 stanowiskach badawczych obejmujących strefę litoralu (rys. 1).

Stanowisko 1 znajdowało się w południowo-zachodniej części jeziora, między ujściem przewodu drenarskiego i Potoku Leśnego. Na tym odcinku brzegi są strome i zalesione, a co za tym idzie mniej eksponowane na działanie wiatru. Szacunkowe pokrycie dna roślinnością wynosiło 85%. Wśród makrofitów wyraźnie dominowała trzcina pospolita stanowiąc ponad 75%. Ponadto występował również grążel żółty i zdrojek (dane niepublikowane udostępnione przez Katedrę Botaniki i Ochrony Przyrody).

Stanowisko 2 leżało w zachodniej części jeziora, również było otoczone lasem. Pokrycie dna roślinnością wynosiło ok. 80%. Można było tu zaobserwować dużą różnorodność gatunkową makrofitów, wśród których przeważała trzcina pospolita pokrywająca dno w ponad 50%. Duży procentowy udział miał również zdrojek – ponad 25% oraz rogatek sztywny ponad 5%. Zaobserwować można był tu również moczarkę kanadyjską, rdestnicę przeszytą i wąskolistną, wywłócznika kłosowego, grążel żółty oraz jaskier krążkolistny.

Stanowisko 3 położone było w północno-zachodniej części jeziora. Nie było ono otoczone lasem, w związku z czym było bardziej ekspozycyjne.

nowane na działanie wiatru. Na tym obszarze pokrycie dna roślinnością było wysokie i wynosi 95%. Wyraźnie dominowała sięgająca do 2,4 m głębokości trzcina pospolita stanowiąc ponad 75%. Obok niej występował również rogatek i turzyca błotna.

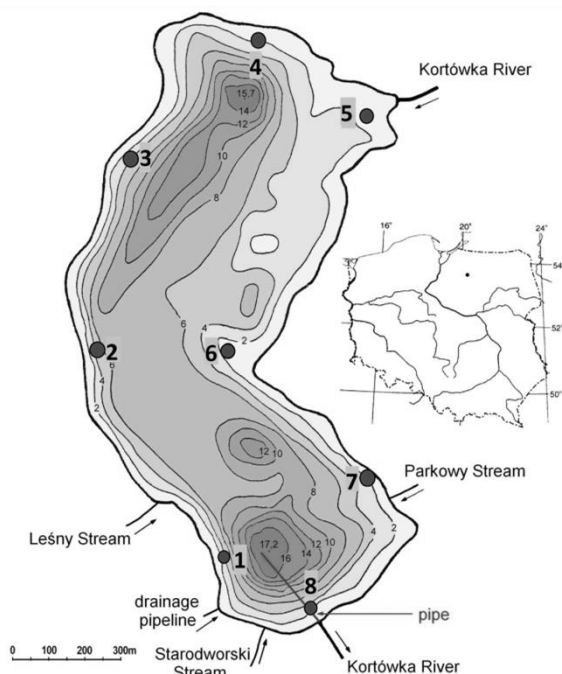
Stanowisko 4 usytuowane było w północnej części jeziora, do której przylegają ogródki działkowe. Było ono bardziej eksponowane na działanie wiatru w porównaniu z częścią południową. Pokrycie dna roślinnością wynosiło 90%. Wśród makrofitów dominował jaskier krążkolistny stanowiąc od 50 do 75% pokrycia dna, ponadto duży udział miała również trzcina pospolita od 25 do 50% i rogatek sztywny od 5 do 25%.

Stanowisko 5 znajdowało się w północno-wschodniej części zbiornika, do której wpływa rzeka Kortówka. Na tym obszarze dno było całkowicie pokryte roślinnością. Maksymalna głębokość zasięgu roślinności szuwarowej wynosiła 1,3 m, a roślinności zanurzonej 3 m. Do dominantów należał rogatek sztywny stanowiący ponad 50% pokrycia dna oraz trzcina pospolita – ponad 25%. Obok nich występował także grązel żółty, jaskier krążkolistny oraz zdrojek.

Stanowisko 6 obejmowało wschodnią część zbiornika, do której przylegają ogrody Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego. Pokrycie dna roślinnością na tym obszarze wynosiło 90% i charakteryzowało się dużą różnorodnością gatunkową makrofitów, wśród których dominował rogatek sztywny oraz trzcina pospolita, które stanowiły łącznie ponad 80% pokrycia dna.

Stanowisko 7 leżało w południowo-wschodniej części jeziora, do której dopływa Potok Parkowy odprowadzający wody opadowe z Kortowa oraz z terenów bagiennych byłej jednostki wojskowej. W pobliżu znajduje się również miasteczko akademickie. Szacunkowe pokrycie dna roślinnością wynosiło 85%. Tak jak na poprzednich stanowiskach, dominowała tutaj trzcina pospolita oraz rogatek sztywny, stanowiąc łącznie ponad 80% pokrycia dna.

Stanowisko 8 położone było w południowej części jeziora, w której znajduje się jedyny odpływ – Kortówka z wylotem rurociągu oraz ujście Potoku Starodworskiego zanieczyszczonego spływami powierzchniowymi z osiedla mieszkaniowego Słoneczny Stok. Pokrycie dna roślinnością wynosiło ok. 80%. Największy udział miała trzcina pospolita i pałka wąskolistna (ok. 70%).



Rys. 1. Jezioro Kortowskie z zaznaczonymi stanowiskami pomiaru produkcji pierwotnej oraz respiracji

Fig. 1. Kortowskie Lake with marked positions of primary production and respiration measuring

2.2. Metody analityczne

W celu określenia tempa produkcji pierwotnej i respiracji ze stanowisk badawczych pobierano wodę do jasnych i ciemnych butelek szklanych o pojemności 0,3 l, które eksponowano przez 24 godziny na poszczególnych stanowiskach w powierzchniowej warstwie wody zgodnie z metodyką podaną przez Stricklanda&Parsonsa [20].

Produkcję pierwotną i respirację liczone w oparciu o zmiany stężenia tlenu w wodzie w jednostce czasu. Zawartość rozpuszczonego tlenu mierzono sondą tlenową YSI 58.

Butelki niezaciemnione (jasne) obrazowały wyniki zachodzącego w nich procesu fotosyntezy, a butelki ciemne – procesu oddychania (respiracji). Różnica pomiędzy ilością tlenu wytworzonego (w jasnych butelkach) i wykorzystanego (w ciemnych butelkach) stanowi całkowitą produkcję pierwotną.

Zasadniczą analizę jakościową i analizę ilościową fitoplanktonu przeprowadzono na podstawie utrwalonego materiału badawczego, zagęszczonego metodą sedymentacji prób pobranych z toni wodnej i przygotowanych do analizy wg metodyki Starmacha (19).

3. Wyniki

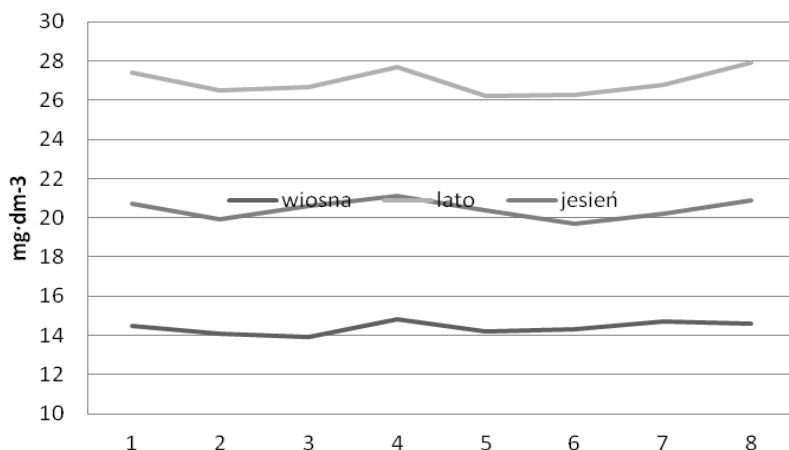
3.1. Analiza jakościowa i ilościowa fitoplanktonu

Wiosną biomasa glonów obecnych w litoralu wynosiła od 13,9 do 14,8 mg·dm⁻³. Największa była na stanowisku 4, a najmniejsza na stanowisku 3. Na wszystkich stanowiskach dominującą grupą glonów były *Bacillariophyceae*. Biomasa okrzemek wynosiła 8,7–8,9 mg·dm⁻³, a ich udział w biomacie ogólnej sięgał od 60% do 62%. Ilość okrzemek była podobna na wszystkich stanowiskach. W znaczącej ilości występowały *Cyanoprokaryota* i *Dinophyceae*. Biomasa sinic wynosiła 1,9–2,3 mg·dm⁻³, a dinofitów 1,6–1,8 mg·dm⁻³. *Cyanoprokariota* stanowiły 13–16% biomasy ogólnej. Udział *Dinophyceae* w biomacie ogólnej wynosił 11–12%. Ilość sinic była największa na stanowisku 4, a najmniejsza na stanowisku 3 i 6. Ilość dinofitów była podobna na wszystkich stanowiskach. Udział glonów z grupy *Chlorophyta* i *Chrysophyceae* był jeszcze mniejszy. Tworzyły one biomasę 0,7–0,9 mg·dm⁻³ i stanowiły około 4–6% biomasy ogólnej. *Euglenophyta* były najmniej liczną grupą glonów. Biomasa ich wynosiła 0,1–0,2 mg·dm⁻³ stanowiąc około 1% biomasy ogólnej (rys. 2, tab. 2).

Gatunki występujące najliczniej należały do *Bacillariophyceae*. W ilości dominanta występowała *Fragilaria crotonensis*, subdominantem była *Asterionella formosa* i *Fragilaria ulna* var. *acus*. Spotykane były okrzemki z rodzaju *Aulacoseira*, *Diatoma* i *Stephanodiscus* i inne. *Dinophyceae* reprezentowane były najliczniej przez rodzaj *Peridinium*. Występujące *Cyanoprokaryota* należały do rodzajów *Anabaena*, *Aphanizomenon* z *Nostoccales*, *Microcystis*, *Aphanocapsa* z *Chroococcales* i *Planktolyngbya* z *Oscillatoriales*. Przedstawicielami *Chlorophyta* były gatunki z rodzajów *Coelastrum*, *Pediastrum*, *Tetrastrum*, *Desmodesmus*, *Scenedesmus*, *Staurastrum*, *Cosmarium*, *Phacotus*, *Dictiosphaerium* i inne. *Chrysophyceae* reprezentował rodzaj *Dinobryon* i *Mallomonas*. Obecne były gatunki *Trachelomonas* z *Euglenophyta* (tab. 5).

Latem biomasa glonów obecnych w litoralu wynosiła od 26,2 do 27,9 mg·dm⁻³. Największa była na stanowisku 8, a najmniejsza na stanowi-

sku 5. Na wszystkich stanowiskach zdecydowanie dominującą grupą glonów były *Cyanoprokaryota*. Biomasa sinic wynosiła 19,6–20,7 mg·dm⁻³, a ich udział w biomase ogólnej sięgał 74%. Biomasa sinic była największa na stanowisku 8, a najmniejsza na stanowisku 5 i 6, ale udział ich w biomase ogólnej był na wszystkich stanowiskach podobny. W znaczącej ilości 4,5–4,7 mg·dm⁻³ występowały *Dinophyceae*, których biomasa stanowiła około 16–17% biomasy ogólnej. Biomasa dinofitów była podobna na wszystkich stanowiskach. *Chlorophyta* tworzyły biomasę wielkości 1,2–1,5 mg·dm⁻³, stanowiąc około 5% biomasy ogólnej. Biomasa *Bacillariophyceae* wynosiła 0,5–0,7 mg·dm⁻³, a *Chrysophyceae* 0,3 mg·dm⁻³, udział ich w biomase ogólnej sięgał zaledwie 1–2%. Udział glonów z *Euglenophyta* był jeszcze mniejszy i nie przekraczał 1% biomasy ogólnej (rys. 2, tab. 3).



Rys. 2. Sezonowe zmiany biomasy fitoplanktonu w strefie litoralu Jeziora Kortowskiego

Fig. 2. Seasonal changes in phytoplankton biomass in the littoral zone of Kortowskie Lake

Dominujące taksony należały do *Cyanoprokaryota*. W ilości dominanta występowały gatunki *Anabaena circinalis* i *Anabaena spiroides*. Subdominantem był *Aphanizomenon flos-aqae*. Obecne były sinice z rodzaju *Microcystis*, *Woronichinia* i inne. *Dinophyceae* reprezentowane były najliczniej przez rodzaj *Peridinium*, ale spotykane były również te z rodzaju *Ceratium*. Występujące *Chlorophyta* należały do rodzajów *Pediastrum*, *Desmodesmus*, *Secedismus*, *Coelastrum*, *Staurastrum*, *Dictio-*

sphaerium, *Tetrastrum*, *Phacotus* i inne. Zróżnicowanie taksonomiczne zielenic było duże. Występujące *Bacillariophyceae* były w większości gatunkami z rodzaju *Aulacoseira*, a *Chrysophyceae* z rodzaju *Dinobryon*. Przedstawicielem *Euglenophyta* był rodzaj *Trachelomonas* (tab. 5).

Tabela 2. Udział grup systematycznych w fitoplanktonie litoralnej Jeziora Kortowskiego – wiosna

Table 2. The share of particular systematic groups in the biomass of phytoplankton in Kortowskie Lake – spring

	1	2	3	4	5	6	7	8
Biomasa <i>Cyanoprokaryota</i> [%]	14,5	13,5	14,4	15,5	14,8	14,0	15,0	15,1
Biomasa <i>Euglenophyta</i> [%]	1,4	1,4	0,7	1,4	1,4	0,7	1,4	1,4
Biomasa <i>Dinophyta</i> [%]	11,7	11,3	11,5	11,5	12,0	11,9	12,2	11,6
Biomasa <i>Chrysophyceae</i> [%]	6,2	6,4	5,8	6,1	5,6	6,3	5,4	5,5
Biomasa <i>Bacillariophyceae</i> [%]	61,4	62,4	62,6	60,1	61,3	61,5	60,6	60,9
Biomasa <i>Chlorophyta</i> [%]	4,8	5,0	5,0	5,4	4,9	5,6	5,4	5,5
Biomasa fitoplanktonu [%]	100	100	100	100	100	100	100	100

Jesienią biomasa glonów obecnych w litoralnej wynosiła od 19,7 do 21,1 mg·dm⁻³. Największa była na stanowisku 4, a najmniejsza na stanowisku 6. Na wszystkich stanowiskach zdecydowanie dominującą grupą glonów były *Cyanoprokaryota*. Biomasa sinic wynosiła 15,7–16,8 mg·dm⁻³, a ich udział w biomacie ogólnej sięgał 80% i był na wszystkich stanowiskach podobny. Biomasa sinic była największa na stanowisku 4, a najmniejsza na stanowisku 2 i 6. Znaczący 9–10% udział w biomacie ogólnej miały *Dinophyceae*, które występowały w ilości 1,8–2,0 mg·dm⁻³, podobnie na wszystkich stanowiskach. *Bacillariophyceae* stanowiły 6–7% biomasy ogólnej, tworząc biomasę 1,3–1,5 mg·dm⁻³. Biomasa *Chlorophyta* wynosiła 0,6–0,7 mg·dm⁻³, a ich udział w biomacie ogólnej był zaledwie 2–3%. Jeszcze mniejszy był udział *Chrysophyceae* i *Euglenophyta*, które tworzyły biomasę około 0,1 mg·dm⁻³, stanowiącą poniżej 1% biomasy ogólnej (rys. 2, tab. 4).

W ilości dominanta występowała *Pseudanabaena limnetica*. Obecne były nieliczne inne gatunki nitkowatych sinic z *Oscillatoriales*. Występujące *Dinophyceae* najliczniej reprezentował rodzaj *Peridinium*. Spotykane *Bacillariophyceae* należały do rodzaju *Aulacoseira* i *Fragilaria*. Przedstawicielami *Chlorophyta* były gatunki z rodzajów *Actinastrum*, *Ankistrodesmus*, *Pediastrum Eudorina*, *Dictiosphaerium* i inne. Z *Chrysophyceae* najliczniej występował rodzaj *Mallomonas*, a z *Euglenophyta* rodzaj *Phacus* (tab. 5).

Tabela 5. Taksony o największym udziale procentowym w fitoplanktonie litoralnym Jeziora

Tabela 5. Species with high share (%) of phytoplankton in littoral zone of Kortowskie Lake

Taksony	wiosna	lato	Jesień
CYANOPROKARYOTA			
<i>Anabaena circinalis</i> (Kom.& Kondrat.)	X	XXX	
<i>Anabaena flos-aquae</i> Brébisson	X	X	
<i>Anabaena lemmermanii</i> P.Ricgter in Lemm.	X	X	
<i>Anabaena spiroides</i> Klebahn		XXX	
<i>Anabaena planctonica</i> Brun.		X	
<i>Anabaena spp</i>	X	X	
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i> (Kosin.)		XX	X
<i>Aphanocapsa spp.</i>	X		X
<i>Chroococcus limneticus</i> Lemm.	X		
<i>Limnothrix planctonica</i> (Wołoszyńska) Meffert			X
<i>Microcystis viridis</i> (A. Braun in Rab.)Lemm.	X	X	
<i>Microcystis wesenbergii</i> (Komarek) Komarek in Kondrateva		X	
<i>Microcystis spp.</i>	X	X	
<i>Planktolyngbya limnetica</i> (Lemm.) Kom.-Leg.et Cron.	X		X
<i>Pseudanabaena limnetica</i> Lemmermann ex Geitler			XXX
<i>Snowella spp.</i>			X
<i>Woronichinia naegeliana</i> (Unger) Elenkin		X	
Inne	X	X	X
DINOPHYTA			
<i>Ceratium furcoides</i> (Levan.) Lang.		X	
<i>Ceratium hirundinella</i> (F.B. Müller) Dujardin		X	
<i>Peridinium spp</i>	XX	XX	X
Inne	X	X	X

Tabela 5. cd

Tabela 5. cont.

Taksony	wiosna	lato	jesień
EUGLENOPHYTA			
<i>Phacus spp.</i>			X
<i>Trachelomonas spp.</i>	X	X	
Inne	X	X	X
HETEROKONTOPHYTA			
Chrysophyceae			
<i>Dinobryon bavaricum</i> Imhoff			
<i>Dinobryon divergens</i> Imhoff	X		
<i>Dinobryon sociale</i> Ehr.		X	
<i>Mallomonas spp.</i>	X		X
Inne	X	X	X
Bacillariophyceae			
<i>Asterionella formosa</i> Hassall	XX		
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen	X	X	X
<i>Aulacoseira spp.</i>	X	X	X
<i>Diatoma elongatum</i> Agardh	X		
<i>Fragilaria crotonensis</i> Kitton	XXX		X
<i>Fragilaria intermedia</i>			
<i>Fragilaria ulna var. acus</i> (Nitzsch) Lange-Bertalot	XX		X
<i>Stephanodiscus spp.</i>	X		X
Inne	X	X	X
CHLOROPHYTA			
<i>Actinastrum hantzschii</i> Lag.			X
<i>Ankistrodesmus falcatus</i> (Corda) Ralf			X
<i>Botryococcus braunii</i> Kutz.	X	X	
<i>Coelastrum microporum</i> Nägeli in A. Beun	X	X	
<i>Cosmarium spp.</i>	X		
<i>Desmosesmus spp.</i>	X	X	
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i> H.C.Wood	X	X	X
<i>Euastrum spp.</i>	X		
<i>Eudorina elegans</i> Ehrenberg		X	X
<i>Kirchneriella obesa</i> (W.West)Schmidle	X		
<i>Mougeotia sp.</i>	X		
<i>Oocystis spp.</i>	X		
<i>Pediastrum boryanum</i> (Turpin) Meneghini	X		
<i>Pediastrum duplex</i> Meyen	X	X	X
<i>Pediastrum tetras</i> (Ehr.) Ralfs	X		
<i>Phacotus lenticularis</i> (Ehrenberg) Stein	X	X	
<i>Tetrastrum komarekii</i> Hindak	X		
<i>Scenedesmus spp.</i>	X	X	
<i>Staurastrum chaetoceras</i> (Schr.) G.M.Smith			
<i>Staurastrum spp.</i>	X	X	
Inne	X	X	X

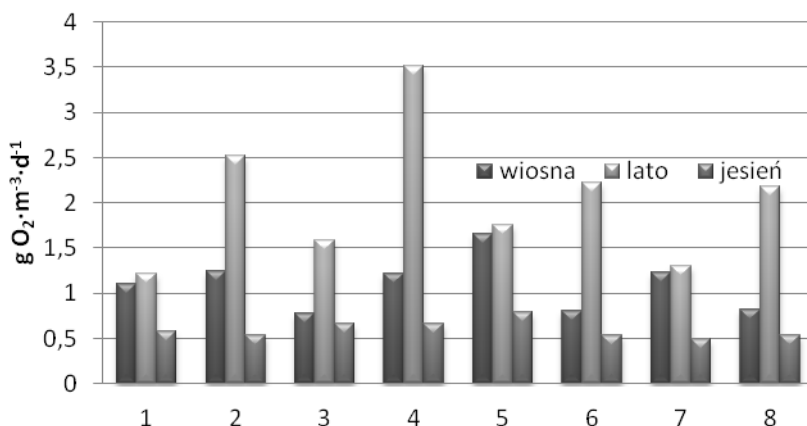
3.2. Charakterystyka produkcji pierwotnej oraz respiracji

Produkcja pierwotna oraz respiracja zbiorowisk fitoplanktonu wykazała zróżnicowane wartości na poszczególnych stanowiskach w strefie litoralnej, co może świadczyć o różnej intensywności procesów w niej zachodzących.

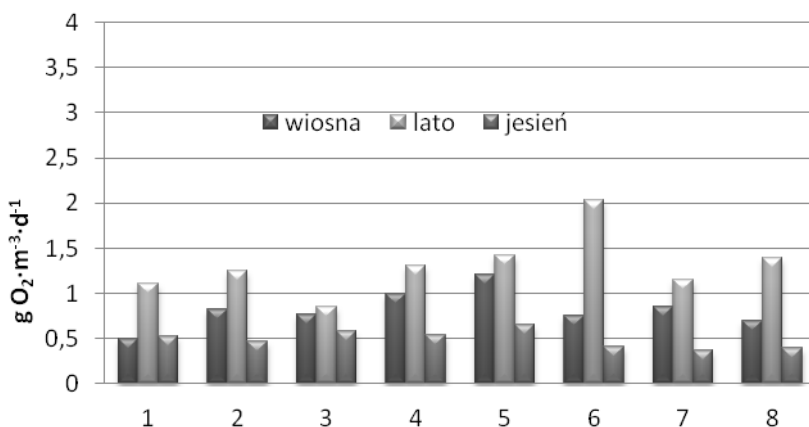
Średnia wartość produkcji pierwotnej w sezonie wiosennym wahała się w zakresie od $0,77 \text{ g O}_2 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ na stanowiskach 2 i 8 do $1,66 \text{ g O}_2 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ na stanowisku 5. Latem produkcja pierwotna zmieniała się w zakresie od $1,22 \text{ g O}_2 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ na stanowisku 1 do $3,51 \text{ g O}_2 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ na stanowisku 4. Jesienią produkcja pierwotna utrzymywała się na podobnym poziomie i mieściła się w zakresie od $0,5$ do $0,785 \text{ g O}_2 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$, odpowiednio na stanowiskach 7 i 8 (rys. 3).

Wielkość respiracji w litoralu Jeziora Kortowskiego podobnie jak w przypadku produkcji pierwotnej brutto różniła się na poszczególnych stanowiskach oraz sezonach wegetacyjnych.

W okresie wiosennym respiracja zmieniała się w zakresie od $0,72 \text{ g O}_2 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ do $1,205 \text{ g O}_2 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$, odpowiednio na stanowiskach 8 i 5. Latem respiracja zmieniała się w zakresie od $0,845 \text{ g O}_2 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ na stanowisku 3 do $2,03 \text{ g O}_2 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ na stanowisku 6. Niższe wartości respiracji zaobserwowano jesienią, gdzie wahała się ona w granicach od $0,39 \text{ g O}_2 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ na stanowisku 7 do $0,65 \text{ g O}_2 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ na stanowisku 5 (rys. 4).



Rys. 3. Produkcja pierwotna brutto w strefie litoralnej Jeziora Kortowskiego
Fig. 3. Gross primary production in the litoral zone of Kortowskie Lake



Rys.4. Respiracja w strefie litoralu Jeziora Kortowskiego
Fig.4. Respiration in the litoral zone of Kortowskie Lake

W poszczególnych okresach badawczych wartość produkcji pierwotnej przewyższała wartość respiracji. Najwyższe różnice zaobserwowano na stanowisku 4 latem, gdzie wartość produkcji pierwotnej brutto było prawie trzykrotnie wyższa niż respiracja oraz stanowiskach 2 i 3, gdzie była ona wyższa prawie dwukrotnie.

4. Dyskusja wyników

Strefa litoralu jest pierwszą strefą ekosystemu jeziorowego, która w bezpośredni sposób graniczy ze zlewnią przez co jest ona bardzo podatna na zmienność procesów środowiskowych, głównie dobowe i sezonowe zmiany nasświetlenia oraz temperatury. Obecność w tej strefie makrofitów, fitobentosu, a głównie fitoplanktonu świadczy o znaczącej roli tej strefy w produkcji pierwotnej [11] oraz tworzeniu się znacznych ilości materii organicznej [2, 14].

Przy wysokim stężeniu pierwiastków w wodzie glony szybciej i wydajniej je pobierają, a efektem jest wzrost ich biomasy. Decydujący jest okres wiosenny. Przy dużej ilości biogenów, co często w jeziorach eutroficznych jest jeszcze spotęgowane spływami ze zlewni, większą szansę na rozwój mają glony planktonowe. Rozwój fitoplanktonu hamuje wtedy rozwój makrofitów, co jest spowodowane zmniejszoną ilością docierającego do nich światła. Dominacja fitoplanktonu jest kontynuowana również w okresie letnim i jesiennym. Dodatkowo niektóre glony

mogą oddziaływać allelopatycznie, wydzielając substancje hamujące wzrost i przyspieszające obumieranie makrofitów, które w procesie rozkładu oddają do środowiska pierwiastki biogenne, czym stymulują wzrost biomasy fitoplanktonu. Jeśli w planktonie dominują sinice, jak w Jeziorze Kortowskim, zjawisko to może już w lecie zwiększać konkurencyjną przewagę rozwoju fitoplanktonu w litoralu jeziora.

Przy niskim stężeniu pierwiastków biogennych w wodzie makrofity wykorzystują te zawarte w osadach, a fitoplankton nie mając takich możliwości nie stanowi dla nich zagrożenia w rozwoju. Zmienność w metabolizmie jezior jest warunkowana przede wszystkim przez dostępność substancji pokarmowych oraz warunki meteorologiczne. Krótkotrwałe zmiany metabolizmu jezior wywoływane są głównie zmianami naświetlenia czy temperatury, natomiast w dłuższym okresie czasu metabolizm zależy od dostępności fosforu całkowitego i rozpuszczonego węgla organicznego oraz biomasy fitoplanktonu [4, 7, 12, 17].

W trakcie sezonu wegetacyjnego najwyższe stężenie biomasy fitoplanktonu zaobserwowano latem, co wiązało się z wysoką produkcją pierwotną w tym okresie. Wśród gatunków fitoplanktonu dominowały *Cyanoprokaryota*, podobnie jak w przypadku okresu jesiennego. Dominacja sinic przez większość okresu wegetacyjnego świadczyła o szerokiej ich możliwościach przystosowawczych na zmieniające się warunki środowiskowe, szczególnie w strefie litoralu, która jest bardzo podatna na te zmiany.

Uzyskane wyniki wskazują na dualistyczną rolę litoralu w tempie produkcji pierwotnej. Z jednej strony strefa litoralu Jeziora Kortowskiego zasila zbiornik w autochtoniczną materię organiczną, o czym świadczy wyższa wartość produkcji pierwotnej niż respiracji, szczególnie na stanowiskach położonych w północnej części zbiornika, nie zalesionej przez co bardziej eksponowanej na działanie promieni słonecznych oraz dopływ substancji biogennych ze zlewni, które nasilają produkcję pierwotną. Z drugiej strony litoral Jeziora Kortowskiego kumuluje materię organiczną dopływającą do zbiornika ze zlewni. Wielkość respiracji w okresie wiosennym jest tylko nieznacznie mniejsza od produkcji pierwotnej w tym okresie co świadczy o dopływie materii allochtonicznej do ekosystemu wraz z wiosennym splywem powierzchniowym. Najintensywniej procesy te zachodziły na stanowiskach zlokalizowanych w północno-wschodniej części jeziora, otoczonej ogródkami działkowymi.

Produkcja pierwotna strefy litoralnej Jeziora Kortowskiego charakteryzowała się zmiennością sezonową, przy czym najwyższe wartości stwierdzono latem. Ma to związek z dłuższym czasem ekspozycji na działanie promieni słonecznych, co wiązało się z większym rozwojem fitoplanktonu. Podobne zależności pomiędzy czasem ekspozycji a rozwojem fitoplanktonu wykazano w pracach naukowych innych autorów [5, 12, 4]. Strefa litoralnej Jeziora Kortowskiego w całym okresie badawczym charakteryzowała się wyższą produkcją pierwotną niż respiracją, co świadczy o autotroficznym charakterze ekosystemu, gdzie materia organiczna jest wytwarzana wewnątrz ekosystemu w procesie fotosyntezy.

Badania Hansona i in. [12] wykazują, iż czynniki zewnętrzne mogą mieć również duże znaczenie w produkcji pierwotnej całego ekosystemu. Makrofity mogą w znacznym stopniu zwiększać ilość węgla organicznego oraz odgrywać ważną rolę jako producenci [18], jednak mogą one również przyczyniać się do ograniczenia produkcji pierwotnej fitoplanktonu poprzez konkurencję o składniki pokarmowe czy ograniczenie dostępności światła dla fitoplanktonu [21]. Można podejrzewać, że rzeczywista produkcja pierwotna w strefie litoralnej Jeziora Kortowskiego była wyższa, gdyż znaczne pokrycie dna makrofitami limitowało produkcję pierwotną fitoplanktonu. Świadczą o tym wyniki ze stanowisk zlokalizowanych wschodniej części zbiornika, gdzie udział w pokryciu dna przez makrofity wyniósł ok. 85%. Niski stosunek produkcji pierwotnej do respiracji na tych stanowiskach potwierdza rolę makrofitów jako czynnika limitującego rozwój fitoplanktonu.

Przedstawione prace zostały wykonane w ramach realizacji grantu finansowanego przez NCN (grant No N N 523 613739)

Literatura

1. **Carignan R., Bliss A-M., Vis C.:** *Planktonic production and respiration in oligotrophic Shield lakes using the Winkler method.* Carpenter SR, Kitchell JF, Can J Fish Aquat Sci 55, 1078–84 (2000).
2. **Choiński A.:** *Jeziora kuli ziemskiej.* Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2000.
3. **Chróst R.J., Siuda W.:** *Microbial production, utilization, and enzymatic degradation of organic matter in the upper trophogenic water layer in the pelagial zone of lakes along the eutrophication gradient.* Limnol. Oceanogr., 51: 749–762 (2006).

4. **Cole J.J., Pace M.L., Carpenter S.R., Kitchell J.F.:** *Persistence of net heterotrophy in lakes during nutrient addition and food web manipulations.* *Limnol Oceanogr* 45, 1718–30 (2000).
5. **Coloso J., Cole J., Pace M.:** *Difficulty in Discerning Drivers of Lake Ecosystem Metabolism with High-Frequency Data.* *Ecosystems* 14: 935–948 (2011).
6. **Czczuga B.:** *Produktywność ekosystemów wodnych: Procesy destrukcyjne na tle produkcji pierwotnej w różnych ekosystemach wodnych.* Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Zeszyt 13, 107–115 (1966).
7. **del Giorgio P.A., Peters R.H.:** *Patterns in planktonic P:R ratios in lakes: influence of lake trophic and dissolved organic carbon.* *Limnol Oceanogr* 39, 772–787 (1994).
8. **Dojlido J.R.:** *Chemia wód powierzchniowych.* Wydawnictwo Ekonomia i Środowisko, Białystok, 1995.
9. **Dunalska J., Wiśniewski G., Mientki Cz.:** *Assessment of multi-year (1956–2003) hypolimnetic withdrawal from Lake Kortowskie, Poland.* *Lake and Reservoir Management*, 23, 377–387 (2007).
10. **Grabowska M., Górniak A.:** *Chlorofil "a" w wodach zbiornika Siemianówka.* Górniak A. (red.), 2006.
11. **Güde H., Teiber P., Rolinski S., Sala M.:** *Comparison of production and degradation of organic matter at a littoral site of the prealpine Lake Constance.* *Limnologica* 34, 117–123 (2004).
12. **Hanson P.C., Bade D.L., Carpenter S.R., Kratz T.K.:** *Lake metabolism: Relationships with dissolved organic carbon and phosphorus.* *Limnol. Oceanogr.*, 48(3), 1112–1119 (2003).
13. **Hanson P.C., Carpenter S.R., Kimura N., Wu C., Cornelius S.P., Kratz T.K.:** *Evaluation of metabolism models for free-water dissolved oxygen methods in lakes.* *Limnol. Oceanogr. Methods*, 6, 454–465 (2008).
14. **Lauster G.H., Hanson P.C., Kratz T.K.:** *Gross primary production and respiration differences among littoral and pelagic habitats in northern Wisconsin lakes.* *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 63, 1130–1141 (2006).
15. **Lossow K., Gawrońska H., Mientki Cz., Łopata M., Wiśniewski G.:** *Lakes of Olsztyn, Trophic State, Threat.* Edition, Olsztyn (in Polish), 2005.
16. **Lossow K., Gawrońska H.:** *Przegląd metod rekultywacji jezior.* *Przegląd Komunalny* 9(108), (2000).
17. **Sand-Jensen K., Staehr P.A.:** *Scaling of pelagic metabolism to size, trophic and forest cover in small Danish lakes.* *Ecosystems* 10, 127–41 (2007).
18. **Simčič T., Germ M.:** *Organic matter degradation through respiration in littoral and pelagic including profundal zones of an oligotrophic lake assessed by electron transport system activity.* *Hydrobiologia* 635:137–146 (2009).

19. **Starmach K.:** *Plankton roślinny wód słodkowodnych. Metody badania i klucze do oznaczania gatunków występujących w wodach Europy Środkowej.* PWN, Warszawa-Kraków, ss.496 (1989).
20. **Strickland J.D.H., Parsons T.R.:** *A practical handbook of seawater analysis.* Bull. Fish. Res. Bd Can. 167 (1972).
21. **Soszka H., Pasztelaniec A., Koprowska K., Kolada A., Ochocka A.:** *Wpływ przekształceń hydromorfologicznych jezior na zespoły organizmów wodnych – przegląd piśmiennictwa.* Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych nr 51 (2012).
22. **Synowicz A.:** *Morfologia Jeziora Kortowskiego.* Zesz. Nauk. WSR Olszt., 19(384): 3–17 (1965).
23. **Wetzel R.G.:** *Limnology of Lake and River Ecosystems.* Third Edition. Academic Press, San Diego, CA. pp. 1006 (2001).
24. **Żmudziński L.:** *Słownik hydrobiologiczny. Terminy, pojęcia, interpretacje.* Państwowe Wydawnictwo Naukowe, 2002.

Seasonal Variability of Primary Production and Respiration of Phytoplankton in the Littoral Zone of an Eutrophic Lake

Abstract

Littoral zone is the first zone of the lake, which directly borders the land and is a barrier to substances flowing from the catchment. It can play an important role in the productivity of the entire ecosystem, with both production and degradation of organic carbon.

The aim of this study was to determine the role of phytoplankton in primary production and respiration in the littoral zone, depending on the development of the basin. The research was conducted in the spring, summer and autumn at eight sites of littoral zone with a different level of the direct catchment area development: two sites (1, 2) in the western part of the lake, which is dominated by forests, three sites (3, 4, 5) in the northern part of the basin, dominated by wasteland and private recreational areas, two sites (6, 7) in the eastern, the most transformed by man and one site (8) located in the southern part of the lake near the outflow. The production volume of the primary and respiration were determined by the change of the oxygen concentration in water using the method of "light and dark bottles" exposed for 24 hours in the surface layer of water. The lake primary production was significantly lower in the littoral parts shaded by forest than in sites exposed to the sun, occurring in the northern part of the lake. The highest primary production with simultaneously high phyto-

plankton biomass was found at the site in the north. The additional factor intensifying the primary production was the nutrient inflow from the recreationally used land. The highest rate of respiration was recorded in not forested sites, located in the northeastern part of the lake, where the autochthonic and allochthonic organic matter was reduced to CO₂. The results indicate a dual role of littoral in the metabolism of Lake Kortowskie. On the one hand, the littoral zone supplies the basin in autochthonic organic matter, on the other hand reduces the organic matter which was produced in the water column and was supplied from the catchment. One suspects that the actual primary production in the littoral zone of Lake Kortowskiego was higher because a significant cover the bottom of the macrophytes limited primary production of phytoplankton.