



## **Wydajność produkcji biomasy glonowej w reaktorze otwartym**

*Marcin Dębowski, Marcin Zieliński, Mirosław Krzemieniewski  
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, Olsztyn*

### **1. Wprowadzenie**

Cele prowadzenia hodowli glonów zależą bezpośrednio od określonych potrzeb i zapotrzebowania ludzi. W Stanach Zjednoczonych, systemy stawów glonowych zostały opracowane początkowo jako wsparcie dla technologii oczyszczania wody. Biomasa odzyskana została przetworzona do metanu, który był głównym źródłem energii [2, 8]. Z upływem czasu biomasa glonowa stała się bardzo ważnym elementem żywnościowym w szeroko pojętej akwakulturze [7]. Ostatnio glony przyciągnęły wiele uwagi z powodu znacznego potencjału w produkcji kosmetyków oraz z uwagi na walory odżywcze. Organizmy te znalazły zastosowanie także w innych obszarach takich jak w systemy do produkcji substancji pozakomórkowych, jak również dla biosorpcji metali ciężkich [1]. Niektóre badania wykazały również znaczenie glonów w wiązaniu dwutlenku węgla [3].

Rozwój biotechnologii opartej na glonach przyczynił się do powstania Zamkniętego Ekologicznego Systemu Wspierającego Życie (CELSS) [4]. Badania te kontynuowano, głównie pod kątem zastosowa-

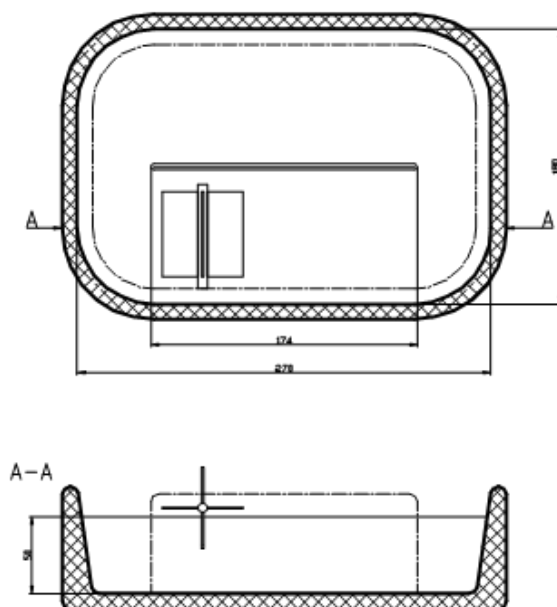
nia hodowli glonów, jako fotosyntetycznych wymienników gazowych oraz producentów białka dla planowanych wypraw kosmicznych [6, 9]. Komercyjna hodowla glonów na dużą skalę rozpoczęła się we wczesnych latach 60-tych w Japonii od uprawy *Chlorelli*, a następnie w latach 70-tych w Meksyku od uprawy *Spiruliny* na Jeziorze Texcoco, prowadzonej przez firmę Sosa Texcoco S.A. W 1977 firma Dai Nippon Ink and Chemicals rozpoczęła w Tajlandii hodowlę *Spiruliny* na szeroką skalę. W 1980 roku w Tajlandii działało już 46 zakładów przemysłowych produkujących ponad 1000 kg *Chlorelli* miesięcznie [1]. W 1996 wytwarzano w Japonii około 2000 t *Chlorelli* rocznie [5]. W 1986 roku Western Biotechnology Ltd and Betatene Ltd z Australii produkująca glon *Dunaliella salina*, jako źródło  $\beta$ -karotenu była na trzecim miejscu na świecie, jeśli chodzi o komercyjną produkcję glonów. Wkrótce potem rozpoczęto masową produkcję glonów w hodowlach w Izraelu i USA. W tym samym czasie w Indiach rozpoczęto hodowlę i produkcję na dużą skalę różnych gatunków sinic [1]. W ten sposób w krótkim okresie czasu produkcja glonów na cele przemysłowe wzrosła znacząco.

Celem prezentowanych badań było określenie możliwości hodowli glonów w reaktorze otwartym typu toru wyścigowego.

## 2. Metodyka

Badania przeprowadzono w skali półtechnicznej wykorzystując dwa baseny hodowlane. Każdy z basenów miał powierzchnię  $F = 4,5 \text{ m}^2$ , oraz głębokość czynną  $H = 0,5 \text{ m}$  (pojemność czynna  $V_{cz} = 2,25 \text{ m}^3$ ). Wzdłuż dłuższej osi każdego z basenów zainstalowano przegrodę umożliwiającą cyrkulacyjny ruch cieczy w zbiorniku. Ruch cieczy wywoływany był poprzez czterołopatowe mieszadła mechaniczne (rys. 1). Prędkość ruchu wody wynosiła od 0,5 m/s do 0,7 m/s. Ruch cieczy umożliwił równomierne rozmieszczenie biomasy w całej objętości reaktorów, pozwalając na stałą obecność glonów w strefie foteicznej. Baseny znajdowały się wewnątrz szklanych namiotów o powierzchni  $6,0 \text{ m}^2$  posiadających możliwość wentylacji.

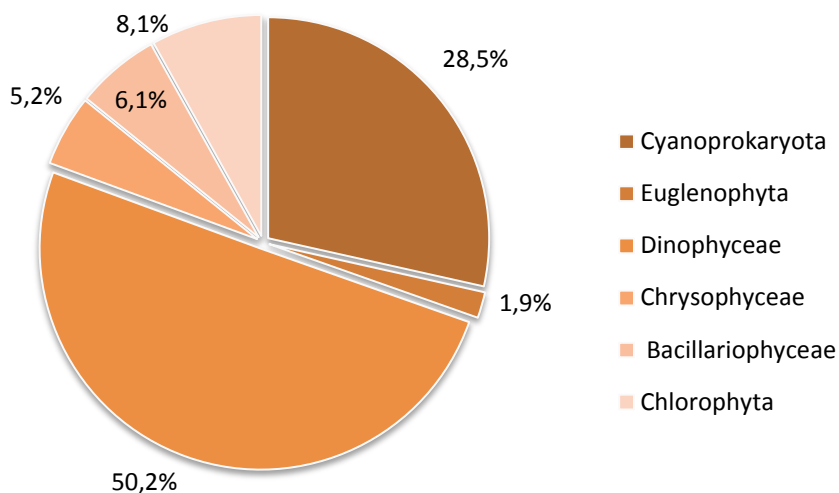
Badania prowadzono w okresie od 28 czerwca 2009 r. do 30 września 2009 r. W tym czasie analizowano jakość wody reaktorach w odstępach pięciodniowych. Szczególnie istotna była analiza zmiany koncentracji biomasy glonowej w reaktorach. Ilość biomasy określano metodą wagową.



**Rys. 1.** Schemat basenu otwartego stosowanego w eksperymencie  
**Fig. 1.** Scheme of open pound used in experiment

Wykorzystane jako materiał wyjściowy glony pochodziły z Jeziora Kortowskiego w Olsztynie, które ma charakter silnie eutroficzny. Próby do eksperymentu pobrano w lipcu. W tym okresie w zbiorowisku dominowały glony z rodzaju Dinophyceae. Udział ich w biomacie fitoplanktonu przekraczał 50%. Gatunkiem tworzącym biomasę dinofitów było *Ceratium hirundinella*, jedynie przy obecności rodzaju *Perydinium*. Udział biomasy wynosił 28,5%. Cyanoprokaryota były grupą subdominującą w fitoplanktonie. Reprezentowane były najliczniej przez gatunki z rodzaju *Microcystis*, *Woronichinia*, *Planktothrix*, *Anabaena*. Udział Chlorophyta wynosił 8,1%, a Chrysophyta, zarówno z *Bacillariophyceae* jak i *Chrysophyceae* wynosił 5÷6% biomasy fitoplanktonu. Biomasa ogólna fitoplanktonu osiągnęła wartość 19,8 mg<sub>s.m.o./l</sub>. Skład jakościowy glonów zastosowany podczas eksperymentu przedstawia rysunek 2.

Woda z jeziora została przefiltrowana przez zestaw trzech siatek planktonowych o średnicy oczek 100  $\mu\text{m}$ , 50  $\mu\text{m}$ , 25  $\mu\text{m}$ . Filtrację prowadzono do uzyskania materiału wyjściowego o objętości 2,25 m<sup>3</sup>. Początkowa koncentracja suchej masy organicznej w reaktorze wynosiła 235 mg<sub>s.m.o./l</sub>.



**Rys. 2** Skład jakościowy glonów w wodzie stosowanej podczas eksperymentu  
**Fig. 2.** Qualitative composition of algae in the water used during the experiment

**Tabela 1.** Jakość wody pobranej z Jeziora Kortowskiego

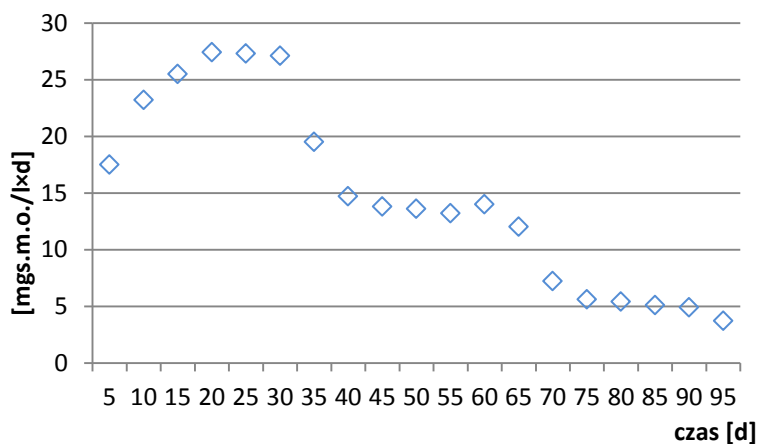
**Table 1.** The quality of water collected from Kortowskie Lake

Wskaźnik	Wartości
Azot całkowity	28,6 mg N/l
Fosfor ogólny	2,20 mg P/l
CO <sub>2</sub> węglanowy	26,4 mg/l
CO <sub>2</sub> wodorowęglanowy	83,6 mg/l
Kwasowość	0,4 mval/l
Zasadowość	3 mval/l
Twardość	1,2 mval/l
Chlorki	10 mg/l
ChZT Mn	21,5 mg O <sub>2</sub> /l
ChZT Cr	33,5 mg/l
Mangan	0,034 mg/l
Żelazo	0,06 mg/l
Przewodność	300 μS
pH	7,85

Parametry jakości wody na początku eksperymentu odpowiadały jakości wody w jeziorze Kortowskim w momencie poboru prób (tab. 1). W trakcie badań uzupełniano zawartość biogenów w wodzie zawartej w basenach do poziomu początkowego. Objętość wprowadzanych odczynników równoważyła parowanie i odpowiadała średniej objętości opadów w okresie badań. Badania przeprowadzono równolegle w dwóch basenach otwartych w obu przypadkach panowały identyczne warunki klimatyczne i technologiczne procesu. Przedstawione wyniki to średnie z dwóch prowadzonych równocześnie analiz.

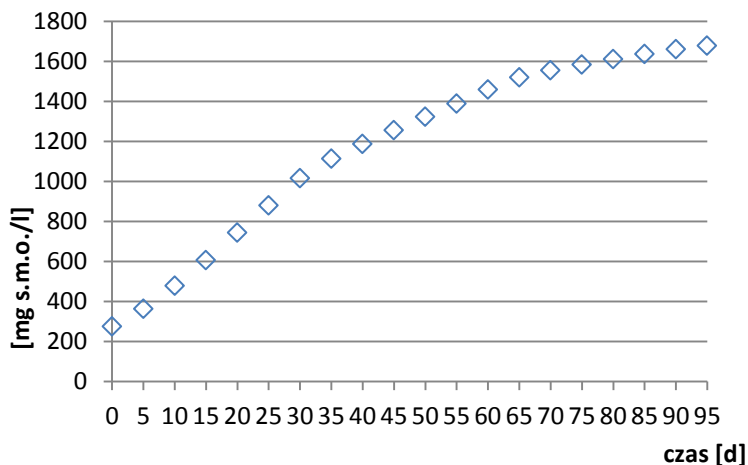
### 3. Wyniki badań

Przez pierwsze 20 dni badań obserwowano wzrost wydajności produkcji biomasy od poziomu  $15,1 \text{ mg}_{\text{s.m.o.}}/\text{l}\cdot\text{d}$  do  $27,4 \text{ mg}_{\text{s.m.o.}}/\text{l}\cdot\text{d}$  (rys. 3). Ze zbliżoną wydajnością ilość biomasy w basenach zwiększała się przez kolejne 10 dni prowadzenia eksperymentu. Po tym okresie zaobserwowano istotny spadek tempa przyrostu biomasy glonowej, który do 60 dnia ustabilizował się na poziomie  $14,0 \text{ mg}_{\text{s.m.o.}}/\text{l}\cdot\text{d}$ . Po osiągnięciu koncentracji biomasy glonowej na poziomie  $1550 \text{ mg s.m.o./l}$ , stwierdzono ograniczenie wydajności przyrostu do wartości  $5,0 \text{ mg}_{\text{s.m.o.}}/\text{l}\cdot\text{d}$  (rys. 3).



**Rys. 3.** Tempo przyrostu biomasy w trakcie trwania eksperymentu  
**Fig. 3.** Rate of biomass growth rate during the experiment

W końcowym okresie badań koncentracja biomasy organicznej zatrzymywanej w reaktorach osiągnęła wartość około 1650 mg/l<sub>s.m.o.</sub> (rys. 4).

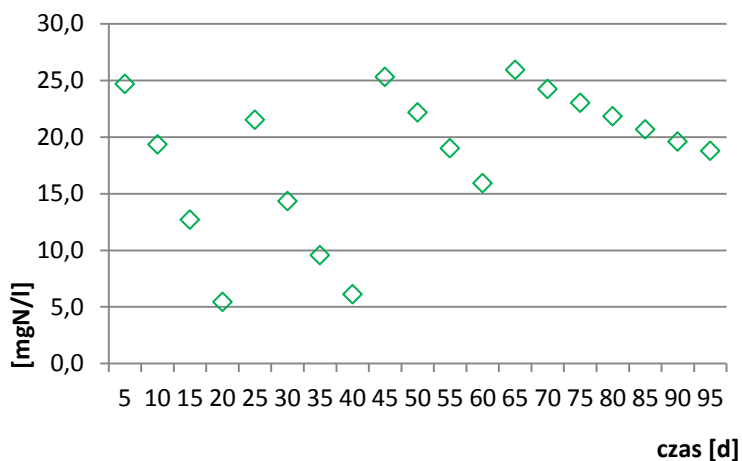


**Rys. 4.** Zmiany koncentracji suchej masy organicznej w reaktorze  
**Fig. 4.** Changes of organic dry matter concentration in the reactor

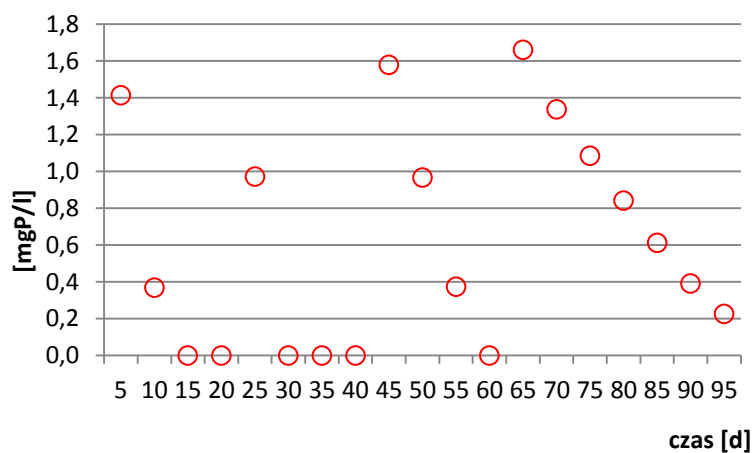
Początkowe stężenie azotu całkowitego w wodzie pobranej z basenów otwartych po przesączeniu wynosiło średnio 28,0 mg N/l. W trakcie prowadzenia eksperymentu koncentracja tego wskaźnika istotnie spadała (rys. 5). W cyklach 20 dniowych uzupełniano zawartość azotu w reaktorach poprzez dodatek soli amonowych. Wprowadzany ładunek azotu był tak dobrany aby uzyskać stężenie wyjściowe tego związku. Spadek zawartości azotu całkowitego w wodzie najszybciej następował pomiędzy w początkowym okresie eksperymentu. Po 20 dniach jego zawartość wynosiła 5,2 mg N/l. Dwudziestego dnia badań uzupełniono w wodzie ilość tego biogenu. Po 40 dniach ilość azotu całkowitego w wodzie wynosiła 5,4 mg N/l. Po kolejnym uzupełnieniu zawartości biogenu w reaktorach jego zużycie było istotnie wolniejsze, przed ostatnim uzupełnieniem zawartość azotu wyniosła 16,0 mg/l (rys. 5).

W przypadku fosforu obserwowano spadki jego stężeń poniżej wartości oznaczalności dla zastosowanych metod analitycznych. Najszybciej zużywanie fosforu zachodziło pomiędzy 20, a 30 dniem badań kiedy to stwierdzono spadek jego zawartości z wyjściowych 2,2 mg P/l do poniżej granicy oznaczalności. Najwolniej fosfor ubywał w końco-

wym okresie badań, co skorelowane było z ograniczonym tempem przyrostu biomasy. Po ostatnim uzupełnieniu zawartości fosforu, jego stężenie w ciągu 35 dni spadło do 0,2 mg P/l (rys. 6).



**Rys. 5.** Zmiany zawartości azotu całkowitego w basenach otwartych  
**Fig. 5.** Changes of total nitrogen concentration in the reactor



**Rys. 6.** Zmiany zawartości fosforu całkowitego w basenach otwartych  
**Fig. 6.** Changes of total phosphorus concentration in the reactor

## 4. Wnioski

W trakcie trwania eksperymentu zawartość biomasy w basenach wzrosła sześciokrotnie. Szybkość przyrostu biomasy była zmienna. Największe tempo utrzymujące się na poziomie 27,0 mg<sub>s.m.o.</sub>/l·d obserwowano od 20 do 30 dnia trwania eksperymentu. Istotne załamanie tempa przyrostu biomasy glonowej obserwowano w przypadku gdy stężenie biomasy wzrosło do poziomu 1000 mg<sub>s.m.o.</sub>/l, a następnie przy wartości 1450 mg<sub>s.m.o.</sub>/l. Stwierdzono, iż obserwowana intensywność przyrostu biomasy przekładała się bezpośrednio na szybkość zużywania związków biogennych w roztworze hodowlanym.

### Podziękowania

*Przedstawione prace zostały wykonane w ramach realizacji projektu kluczowego pt. Modelowe kompleksy agroenergetyczne jako przykład kogeneracji rozproszonej opartej na lokalnych i odnawialnych źródłach energii, nr POIG.01.01.02-00-016/08, realizowanego w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka 2007÷2010. Projekt ten jest współfinansowany przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego.*

## Literatura

1. **Borowitzka M.A.:** *Algae*. In: Smith B. & Barlow C. (eds.), *Inland saline aquaculture workshop*. ACIAR: Canberra., 35÷36. 1999.
2. **Burlew J. S.:** *Algae culture from laboratory to pilot plant*. Carnegie Inst. Wash. Publ. No. 600. 1953.
3. **Chae S.R., Hwang E.J., Shin H.S.:** *Single cell protein production of Euglena gracilis and carbon dioxide fixation in an innovative photobioreactor*, *Bioresource Technology*, 97 (2), 322÷329. 2006.
4. **Lee C.G., Palsson B.Ø.:** *Continuous medium perfusion leads to long-term cell viability and oxygen production in high-density photobioreactors*. *Biotechnol. Lett.* 17, 1149÷1154. 1995.
5. **Lee C.G., Palsson B.Ø.:** *Photoacclimation of Chlorella vulgaris to red light from light-emitting diodes leads to autospore release following each cellular division*. *Biotechnol. Prog.* 12, 249÷256. 1996.
6. **Lloyd D.:** *Dark respiration*, in: W.D.P. Stewart (Ed.), *Algal Physiology and Biochemistry*, University of California Press, California, 505÷530. 1974.



7. **Muller-Feuga A.:** *The role of microalgae in aquaculture: situation and trends*, Journal of Applied Phycology, 12(3-5), 527÷534. 2000.
8. **Oswald W. J., Golueke C.:** *Biological Transformation of Solar Energy*. Advances in Applied Microbiology, 2, 223÷262. 1960.
9. **Venkatraman L.V., Becker E.V.:** *Biotechnology and utilization of Algae*, CFTRI, Mysore, India 1985.

## Productivity of Algal Biomass in Open Reactor

### Abstract

Algae may be a source to a few types of renewable biofuels, starting from methane produced in processes of anaerobic decomposition of biomass, through biodiesel produced from algae oil, and finally to photobiological production of hydrogen. Algae may be utilized indirectly for the production of biodiesel, bioethanol and biobutanol. The resultant biomass may further on be processed in a variety of technological pathways. Oil produced in various processes may be processed into fuel, whereas biogas may be exploited for energetic purposes. In addition, the biomass may be directly combusted to provide heat or electricity. Algae biomass contains approximately ca. 50% of carbon in dry matter. The demand for carbon dioxide accounts approximately for 183 tones per 100 tones of biomass produced. The temperature of culture should oscillate between 20 and 30°C. The only feasible methods of large-scale production of algae biomass include production in racetrack type ponds and in tubular photobioreactors (PBRs).

A racetrack type pond is a construction that is based on a number of loops made in a closed recirculation canal. The typical depth of a such a pond reaches 0.2÷0.3 m, however there are also some ponds having 0.5 m of depth. Processes of mixing and excitation of the flow in such a device proceed with the use of a paddle wheel. The flux is directed round the bends by two deflectors fixed in the flux of canal. Canals of the pond can be made of concrete or from pressed soil, and are ruled with white plastic. During sun exposure, the culture is fed continuously. Nutrients are delivered in front of the paddle wheel where the culture flux begins. The biomass produced is collected from a device ahead of the paddle wheel, at the end of a loop. The paddle wheel is operating perpetually to prevent biomass sedimentation. Ponds of this type have been commonly applied for culturing algae biomass in the 50-ties of the 20<sup>th</sup> century. An extensive experience has been built based on the operation and engineering of race-tracks. The greatest facility of biomass production based on the racetrack covers

the area of 440.000 m<sup>2</sup> and is aimed at obtaining cyanobacterial biomass for food purposes.

The aim of this study was to determine the possibility of algal culture in an open reactor. Studies on the use of open reactor to collect the algal biomass showed that there is a possibility of its effective propagation and storage. During the experiment, the content of the biomass in the reactor has increased six times. The rate of biomass growth was variable. An important factor limiting growth was the concentration of algae in the solution. Two concentration limits were found at which the growth restriction was followed, first at about 1000 mg d.m.o./l, and then at 1450 mg d.m.o./l. The rate of biomass growth is depending on rate of nutrients removal. In the assumed conditions of the experiment concentrations of phosphorus proved to be limiting.