



The pretreatment of wastewater from dewatering of digested sludge in algal photobioreactors

Anna DANIŁOWICZ¹, Bernadeta DROŹDZIK^{1*}, Angelika JACALSKA¹, Agata KARŁO¹,
Joanna SURMACZ-GÓRSKA¹

¹ Katedra Biotechnologii Środowiskowej; Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki ul. Akademicka 2; Gliwice; Polska; *bernadeta.drozdziak@gmail.com

Abstract

This study presents the wastewater treatment methods applied in those photobioreactors which use algae to absorb various nitrogen compounds (mainly ammonium ions, but also nitrates) and phosphorus (orthophosphates) from the inflowing sewage. The photobioreactor described in the following paper uses the sustainable water obtained in the process of dewatering of digested sludge, which contains a high concentration of ammonium ions. The pre-treatment taking place in the side branches of the technological line aims to avoid the risk of overloading the main sewage system with nitrogen and disturbing any ongoing biological processes. One of the results of the nutrients assimilation process is an increase in the amount of biomass produced by the algae, which can be used in the co-fermentation process and biogas production. The efficiency of algae cultivation in photobioreactors depends on the intensity of light, temperature, the length of the light-dark cycle, turbulences, salinity, the pH value, the species of algae which have to co-exist during the process and all the other organisms residing in the reactor.

Keywords: algae, photobioreactors, sustainable water

Streszczenie

Podczyszczanie wód osadowych pochodzących z odwadniania przefermentowanych osadów ściekowych w fotobioreaktorach glonowych

W artykule omówiono metodę podczyszczania ścieków w fotobioreaktorach przy użyciu glonów, która polega na wykorzystaniu tych organizmów do poboru związków azotu (głównie jonów amonowych, ale także azotanów) oraz związków fosforu (ortofosforanów) z dopływających ścieków. W badanym układzie wykorzystano wody osadowe powstałe w procesie odwadniania przefermentowanego osadu, charakteryzujące się wysokim stężeniem jonów amonowych. Proces podczyszczania w bocznym ciągu technologicznym ma na celu ochronę głównego ciągu oczyszczalni przed zbyt wysokim ładunkiem azotu i zachwianiem procesów biologicznych. W wyniku asymilacji związków biogennych w fotobioreaktorze następuje przyrost biomasy glonowej, która może być wykorzystana jako substrat w ko-fermentacji i produkcji biogazu. Efektywność hodowli glonów w fotobioreaktorach zależy głównie od intensywności światła, temperatury, długość cyklu dzień/noc, turbulencji, zasolenia, pH, rodzaju gatunków koegzystujących glonów oraz obecności innych organizmów.

Słowa kluczowe: glony, fotobioreaktory, wody osadowe

1. Wprowadzenie

Prowadzenie procesu biologicznego oczyszczania ścieków nieuchronnie prowadzi do powstawania osadów ściekowych, które powinny być poddane dalszej obróbce technicznej. Jednak, aby mogły one zostać poddane dalszemu procesowi utylizacji, należy pozbawić je nadmiaru wody [1]. W ten sposób uzyskuje się wody osadowe o różnym składzie, zależnym od pracy ciągu technologicznego oczyszczalni oraz od zastosowanej metody stabilizacji i odwadniania osadu [2]. W Polsce najczęściej stosowaną metodą stabilizacji osadu na dużych oczyszczalniach ścieków jest fermentacja metanowa. Woda powstała po odwadnianiu osadu poddanemu takiemu

procesowi zawiera duży ładunek azotu amonowego [3] oraz fosforu ogólnego [4]. W ten sposób powstają wysoko obciążone ścieki, które najczęściej trafiają na początek biologicznego ciągu oczyszczania, co przyczynia się do obniżenia wydajności pracy oczyszczalni. Z tego powodu zaprojektowano różnorodne systemy do usuwania azotu amonowego, najczęściej oparte na połączeniu pierwszej fazy nitryfikacji z denitryfikacją lub procesem anammox [5].

Dzięki zdolności glonów do asymilacji jonów amonowych oraz możliwości prowadzenia procesu fotosyntezy, a przez to braku konieczności dodawania węgla organicznego, zaczęto stosować hodowle biomasy glonowej do oczyszczania ścieków o wysokim ładunku azotu [6]. W tym celu zaprojektowano szereg systemów do hodowli w skali przemysłowej, od prostych i tanich stawów różnego rodzaju po skomplikowane fotobioreaktory, które z czasem stały się coraz bardziej popularne ze względu na lepszą kontrolę warunków hodowli [7]. Istotnym problemem po zakończeniu procesu oczyszczania jest separacja biomasy, która może przebiegać z pomocą wielu procesów technologicznych. Po odseparowaniu powstającej podczas procesu biomasy glonowej można wykorzystywać ją jako między innymi substrat do produkcji biopaliw. Zawartość tłuszczów, białek i węglowodanów oraz zdolność do szybkiej reprodukcji sprawiła że stały się bardziej pożądanym substratem niż zboża jadalne [8].

2. Charakterystyka wód osadowych

Wodami osadowymi nazywane są ciecze odprowadzane z urządzeń technologicznych mechanicznych i osadowych służących do przeróbki osadów ściekowych powstających na oczyszczalni ścieków. Powstają zarówno w części mechanicznej podczas odwadniania skratek i usuwania piasku, jak i w części osadowej, w trakcie przeróbki osadów ściekowych w procesach: zagęszczania, stabilizacji, odwadniania oraz suszenia osadów [5].

Podczas przeróbki osadów ściekowych usuwa się wodę występującą pod różnymi postaciami, takimi jak: najłatwiejsza do usunięcia woda wolna (niezwiązana z cząsteczkami osadu), woda kapilarna (związana siłami kapilarnymi z cząsteczkami osadu), woda koloidalna (występuje w porach między cząsteczkami) i woda chemicznie, fizycznie lub też biologicznie połączona z komórkami żywych organizmów albo ciał stałych [2]. Istnieją takie metody przeróbki osadów ściekowych, które ograniczają powstawanie wód osadowych. Należą do nich kompostowanie, stabilizacja wapnem oraz suszenie termiczne [9].

Osady ściekowe powstające podczas oczyszczania ścieków na oczyszczalni charakteryzują się znacznym stopniem uwodnienia. Podczas ich unieszkodliwiania w procesach takich jak zagęszczanie, odwadnianie oraz suszenie zmienia się ich konsystencja i zmniejsza się ich objętość [2].

Odwadnianie osadów ściekowych może zachodzić w warunkach naturalnych pod wpływem działania określonych czynników takich jak promieniowanie słoneczne, temperatura, wiatr. Umożliwia to usunięcie z osadów ściekowych wody w postaci wolnej i do pewnego stopnia kapilarnej. Jego wady to konieczność zagospodarowania dużych powierzchni, zapach oraz ryzyko zanieczyszczenia wód gruntowych. Wyróżnia się tu dwa typy urządzeń: laguny i poletka. Pierwszy, najtańszy rodzaj to zbiorniki, do których nalewa się osad ściekowy do wysokości 1-2 m. Wykorzystuje się je do odwadniania osadów: surowych, pochodzących z fermentacji lub po stabilizacji tlenowej, służą także jako zbiorniki retencyjne. Jego wady to niska szybkość schnięcia osadu i trudności w mechanicznym usuwaniu osadu z laguny. Drugi sposób to poletka, gdzie osad zalewa dany obszar do wysokości 20-30 cm, a następnie jest ona usuwana z osadów ściekowych za pomocą procesów filtracji i parowania.

W warunkach sztucznych do odwodnienia osadu używa się urządzeń mechanicznych, a proces polega na rozdzieleniu fazy ciekłej od stałej [10]. Czynniki, które są kluczowe przy wyborze urządzeń, to wielkość oczyszczalni, ilość osadów ściekowych, sposób ich dalszego zagospodarowania, koszty [11]. Do przeprowadzenia procesu używa się wirówek, pras filtracyjnych taśmowych i pras filtracyjnych komorowych. W pierwszym przypadku odwodnienie osadu zachodzi pod wpływem działania siły odśrodkowej stworzonej mechanicznie. Wykorzystywane są w tych urządzeniach różnice gęstości między cząsteczkami fazy stałej i ciekłej, proces odwodnienia jest tym efektywniejszy im różnice gęstości są większe. Odwadniany jest tu osad surowy oraz po procesie fermentacji. W drugim urządzeniu osad (głównie surowy i przefermentowany) ulega dehydratacji w wyniku nacisku wywieranego przez taśmy filtracyjne [10]. W ostatniej technice proces zachodzi pod wpływem bardzo wysokiego ciśnienia, a prasy pracują w trybie cyklicznym [11].

Skład oraz ilość wody osadowej zależy głównie od zastosowanej technologii oraz efektywności urządzeń oczyszczania ścieków i przetwarzania osadów ściekowych. W wodach osadowych oznacza się parametry takie jak: stężenie azotu i fosforu, zawartość metali ciężkich, ilość zanieczyszczeń, zawartość zawieszin. Osiągają one wartości znacznie wyższe od ścieków surowych i oczyszczonych [2].

Źródłem azotu amonowego w wodach osadowych jest przede wszystkim proces rozkładu białek zachodzący w trakcie fermentacji, której towarzyszy rozpad komórek [3][12]. Proces fermentacji mezofilowej polega na hydrolizie zmagazynowanych w komórkach organizmów prowadzących defosfatację polifosforanów oraz intensywnej amonifikacji białek. Procesy te wpływają na wysokie stężenie azotu i fosforu w wodach osadowych powstałych z odwadniania przefermentowanych osadów ściekowych oraz zależą od obciążenia komór fermentacyjnych osadem [12]. W trakcie procesów: zgęszczania, odwadniania i stabilizacji osadów ściekowych zachodzi wydzielenie związków fosforu i azotu do wód osadowych [13].

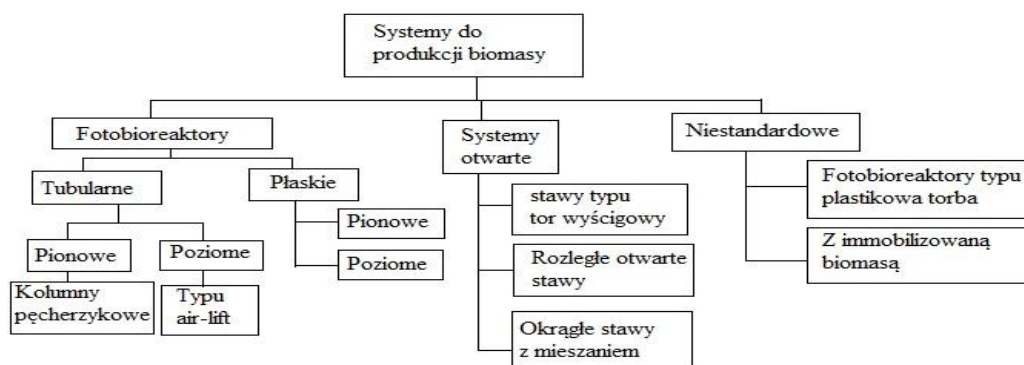
Najczęściej stosowaną metodą oczyszczania wód osadowych jest ich wprowadzenie na początek ciągu technologicznego oczyszczalni oraz poddanie ich procesom zachodzącym w części biologicznej. Skuteczność stosowania tej metody jest uzależniona od składu ścieków surowych wpływających na oczyszczalnię, głównie zawartości substancji organicznych i biogenów. Stosuje się ją dla oczyszczalni, w których ścieki dopływające zawierają duże stężenie substancji organicznych oraz małe obciążenie azotem. Istotna jest również wydajność prowadzonych procesów biologicznych, głównie denitryfikacji, jak i możliwości dostarczenia większej ilości tlenu [3]. Zawracanie wód osadowych na początek ciągu technologicznego oczyszczalni ma niekorzystny wpływ na sedymentację oraz biologiczną efektywność oczyszczania ścieków. Spowodowane to jest nieregularnym dopływem zawracanych wód osadowych charakteryzujących się dużą zmiennością ładunku zanieczyszczeń [2].

Wody osadowe niosą ze sobą dodatkowy ładunek substancji biogenych. Może to powodować zwiększenie zapotrzebowania na energię wykorzystywaną do natlenienia komór napowietrzania oraz wzrost stężenia azotu i fosforu w ściekach oczyszczonych. Zawierają również pewną ilość związków toksycznych i zawiesin, co także negatywnie wpływa na proces biologicznego oczyszczania. Ważnym parametrem dotyczącym wpływu wód osadowych na działanie oczyszczalni jest określenie czy są zachowane wymagania dotyczące jakości ścieków dopływających do części biologicznej oczyszczalni [2]. Zawracanie powoduje wzrost stężenia metali ciężkich, zawartości zawiesiny, ładunku azotu i fosforu w ściekach, ale i niskie stężenie substancji organicznej. Azot występuje głównie w formie amoniaku. Zawracany do części biologicznej może zwiększać zużycie tlenu i zapotrzebowanie na węgiel organiczny, przez co stanowi duże obciążenie dla oczyszczalni. Wpływa on również na wymiary (głównie objętość) reaktorów służących do usuwania biogenów [14].

Istnieje wiele metod dodatkowego oczyszczania wód osadowych, które można podzielić na: procesy fizykochemiczne (chemiczne strącanie, odpędzenie amoniaku parą, wymiana jonowa, odgazowanie ciepłym powietrzem), konwencjonalne metody usuwania azotu i niekonwencjonalne metody usuwania azotu (procesy BABE, SHARON, Anammox, CANON) [5]. Badania były prowadzone również nad możliwością podczyszczania wód osadowych za pomocą systemów do hodowli glonów. Dotyczyły one zarówno hodowli glonów z użyciem fotobioreaktorów [15] jak i otwartych stawów [16].

3. Fotobioreaktory glonowe

W skali przemysłowej wykorzystuje się różnorodne systemy do produkcji biomasy glonowej, która znajduje zastosowanie w wytwarzaniu żywności, paszy dla zwierząt, produktów odżywczych, pigmentów, biopaliw oraz oczyszczania ścieków [17]. Podział poszczególnych systemów zamieszczono na poniższym schemacie (Rys 1.)



Rys. 3.1 Podział systemów do hodowli biomasy glonowej

Systemy do produkcji biomasy glonowej dzielą się na otwarte, zamknięte (tzw. fotobioreaktory) oraz niestandardowe. Do systemów otwartych zalicza się duże, płytkie stawy; zbiorniki; okrągłe stawy i stawy typu „tor wyścigowy”. Wybór odpowiedniego systemu do hodowli glonów zależy od czynników takich jak właściwości hodowanego gatunku, lokalne warunki klimatyczne oraz koszty wody i terenu. Odpowiednio dobrane powodują zmniejszenie powierzchni i objętości stawu oraz zwiększenie gęstości komórek w hodowli. Głównym problemem otwartych reaktorów jest trudność kontroli warunków środowiskowych, w których prowadzi się hodowlę. Rozwiązaniem jest wypracowanie kompromisu pomiędzy doprowadzeniem optymalnej ilości światła do glonów a odpowiednią głębokością stawu. Wymiar ten powinien zapewniać takie wymieszanie, by zapobiec zmianom w składzie jonowym środowiska powstających w wyniku parowania [18]. Systemy te są stosowane do komercyjnej hodowli bakterii i glonów, a proces parowania pomaga w regulacji temperatury [19]. Otwarte stawy są również wykorzystywane typowo do oczyszczania wód osadowych. Badania były prowadzone zarówno w skali laboratoryjnej, gdzie uwzględniono odpowiedni procentowy dodatek odcieków powstałych z odwodnienia przefermentowanych osadów, do ścieków surowych. Następnie stosując odpowiednie proporcje – 25% odcieków, 75% ścieków surowych, prowadzono hodowlę glonów w otwartym stawie [16]. Oprócz systemów otwartych, wyróżniamy również kilka rodzajów fotobioreaktorów, których ogólny podział przedstawiono na powyższym schemacie (Rys.1). Mechanizm działania tubularnych fotobioreaktorów można przedstawić na przykładzie fotobioreaktora air-lift driven, który jest połączeniem rurowego odbiornika energii słonecznej i systemu air-lift służącego do recyrkulacji hodowli przez odbiornik. W skład tego układu wchodzi separator ciecz-gaz znajdujący się u szczytu kolumny. Tlen powstający w procesie fotosyntezy jest usuwany przez system, a ciecz zawracana z powrotem do pętli rurowego odbiornika. Istotne dla wydajności procesu jest natężenie promieniowania na powierzchni rurek, dlatego konieczne jest ich geometryczne rozmieszczenie na podanej lokalizacji. Prędkość medium jest również kluczowa, ponieważ z jednej strony należy zapobiec powstawaniu stref zaciemnienia, a z drugiej nie może być przyczyną powstawania zbyt dużych turbulencji mogących doprowadzić do zniszczenia komórek [20].

Fotobioreaktory tubularne zajmują dużą powierzchnię, są dość drogie i ciężko je przekształcić do skali przemysłowej. W celu usunięcia tych licznych wad stworzono kolumny pęcherzykowe, które posiadają szereg zalet takich jak wysoki transfer masy; dobre wymieszanie pomimo naprężenia ścinającego; małe zapotrzebowanie na energię czy łatwość sterylizacji. Jedną z wad najbardziej znaczących dla hodowli glonów jest mała powierzchnia dostępu światła. Konstrukcja ta wymaga ponadto zaawansowanych materiałów konstrukcyjnych, przez co pod względem ekonomicznym traci na swojej atrakcyjności [7]. Fotobioreaktory tubularne dzieli się na formy pionowe i poziome różniące się od siebie hydrodynamiką gaz-ciecz, co powoduje różnicę w rozmieszczeniu pęcherzyków gazu prowadzącą do zmian stopnia przenikania światła i transferu masy [21].

Płaskie fotobioreaktory zapewniają dużą powierzchnię dostępu światła, dobrą produktywność biomasy, są odpowiednie do immobilizacji glonów i hodowli zewnętrznych. Charakteryzują się dużą objętością i sukcesywną produkcją w długich okresach czasu [22]. Jednakże proces przekształcenia ich do skali przemysłowej wymaga wielu kosztownych materiałów pomocniczych i komponentów. Do jego wad można również zaliczyć trudności w kontroli temperatury hodowli oraz możliwość wystąpienia stresu hydrodynamicznego [7].

Do reaktorów niestandardowych zalicza się fotobioreaktory typu „plastikowa torba” oraz fotobioreaktor z immobilizowaną biomasą glonową. Pierwszy typ to duże polietylenowe worki mieszczące w sobie dużą objętość cieczy, często połączone z systemami napowietrzania. Swoją atrakcyjność zawdzięczają niskim kosztom wykonania oraz dobrej sterylności i możliwości rozpoczęcia pracy z dużymi zmianami temperatury [17]. Reaktory wykorzystujące immobilizację biomasy glonowej na powierzchni są systemami zawierającymi szereg pionowych membran zamkniętych w komorze, do których dostarczane jest światło z kolektorów słonecznych [23]. Wszystkie opisane wyżej fotobioreaktory można użyć do oczyszczania ścieków o wysokiej zawartości biogenów, a do takich zaliczają się odcieki z osadów przefermentowanych. W skali przemysłowej wykorzystano reaktor typu „plastikowa torba” do hodowli glony pobrane z osadnika wtórnego oczyszczalni ścieków na Florydzie. Jako medium hodowlane zastosowano odcieki powstałe z fermentacji mieszaniny ścieków podstawowych i osadu nadmiernego. W ten sposób uzyskano wysokie stopnie usunięcia amoniaku, azotu i fosforu ogólnego, oraz stwierdzono występowanie *Chlorella sp.*, jako gatunku dominującego w reaktorze [15].

Po zakończeniu procesu oczyszczania należy oddzielić biomasę glonową od oczyszczonych ścieków. W tym celu stosuje się różne techniki takie jak: wirowanie, flokulację, filtrację, sedymentację, flotację i separację magnetyczną. Jest to proces trudny i czasochłonny ze względu na podobną do wody gęstość glonów, negatywny

ładunek na powierzchni, małą prędkość osadzania spowodowaną wydzieleniem zewnątrz cząsteczkowych polimerów – EPS.

Stosowanie wirówek pochłania dużo energii oraz może prowadzić do zniszczenia komórek poprzez działanie naprężenia stycznego. Niezbyt korzystną metodą jest także koagulacja, zwłaszcza w przypadku wykorzystania biomasy do produkcji żywności lub pasz, ponieważ koagulant może wykazywać pewną toksyczność. Najtańszą z technik jest filtracja przy pomocy membran, której wydajność zależy od rozmiaru i morfologii komórek. Wysoką efektywność (ponad 90% usuniętych komórek) wykazuje proces DAF (flotacja z pomocą rozpuszczonego tlenu z ang. Dissolved air flotation) oraz DFC (ang. Dissolved CO₂ flotation) [24]. Kolejnym z wykorzystywanych procesów jest flokulacja przy użyciu chemicznych koagulantów organicznych lub nieorganicznych. Flokulanty organiczne są bardziej wydajne, jednak ze względu na niską biodegradowalność, stosuje się flokulanty nieorganiczne lub skrobie kationowe. Skrobie kationowe są to związki powstałe ze źródeł naturalnych, które stosowane w niskim stężeniu zwiększają wydajność flokulacji [25].

Podział medium hodowlanego ze względu na siłę jonową umożliwia zastosowanie metody wysokogradentowej magnetycznej filtracji. W środowisku wodnym powstają powierzchnie o różnych ładunkach, co powoduje tworzenie się dwuwarstwy elektrycznej oraz powstawanie oddziaływań elektrostatycznych prowadzących do przyciągania i odpychania pomiędzy powierzchniami. Dzięki temu mechanizmowi mikroglony przylegają do powierzchni cząstek magnetycznych, takich jak magnetyt Fe₃O₄, a następnie są usuwane za pomocą magnesów [26][27].

Większość parametrów technologicznych zależy od typu systemu wykorzystywanego do hodowli glonów i zostały one przedstawione przy omówieniu poszczególnych ich typów. Istnieją również ogólne czynniki dotyczące wszystkich rodzajów fotobioreaktorów takie jak proces mieszania, który jest istotnym czynnikiem wpływającym na wydajność fotosyntezy. Zapewnia on homogeniczne warunki w całym fotobioreaktorze, co zapobiega sedymentacji komórek oraz wahaniom termicznym, powstawaniu gradientów pH i dostępnych substancji odżywczych. Przyczynia się również do powstawania odpowiednich warunków tlenowych oraz dostępności ditlenku węgla.

Kolejnym istotnym czynnikiem jest hydrauliczny czas zatrzymania. Zbyt długi czas zatrzymania może prowadzić do ograniczenia ilości dostępnych substancji odżywczych i wzrostu zewnętrznego zaciemnienia, którego skutkiem może być wolniejszy przyrost biomasy glonowej. Przyjmuje się, że nie może być on krótszy niż dwa dni ze względu na czas generacji nowych komórek oraz ryzyka ich wymywania [28].

Hodowlę glonów w fotobioreaktorach należy prowadzić z uwzględnieniem wymienionych poniżej czynników biotycznych i abiotycznych, wpływających na ich wzrost.

4. Czynniki wpływające na wzrost glonów

Limitowanie wzrostu mikroorganizmów poprzez stosunek między azotem i fosforem jest powszechnym zjawiskiem. Zarówno zbyt niski stosunek azotu i fosforu (5:1), jak i zbyt wysoki (30:1) ogranicza wzrost glonów. Można stwierdzić, że usuwanie azotu, pobór ditlenku węgla i szybkość wzrostu zależą od obciążenia glonów, natężenia światła oraz jego ilości dostarczanej w ciągu doby. Proces akumulacji fosforu, nie jest zależny od obciążenia substratem, ale wyłącznie od ilości i czasu naświetlania [29].

Czynniki sprzyjające rozwojowi alg to temperatura w zakresie od 20 °C do 30 °C, odpowiednie natężenie oświetlenia oraz dostęp do odpowiedniej ilości ditlenku węgla i substancji mineralnych takich jak azot, fosfor, krzem i żelazo. Źródło fosforu powinno być dodawane w nadmiarze, dlatego że jego dostęp może być ograniczony dla mikroorganizmów z powodu tworzenia kompleksów pomiędzy jonami żelaza i fosforu [30][31]. Jako źródło fosforu i azotu można użyć ścieków komunalnych bogatych w te dwa pierwiastki [31].

Inne czynniki wpływające na wzrost glonów to pH, zasolenie i promieniowanie [32]. Stres wywołany obecnością soli powoduje mnóstwo zmian biochemicznych i bioenergetycznych w organizmach fotosyntezujących, takich jak wzrost procesów katabolicznych polimerów i tłuszczów, zmiany w procesach przenoszących energię, zmiany w przepuszczalności błon, zwiększenie nakładów energetycznych do utrzymania jonowej homeostazy oraz elektrochemicznych gradientów w celu biosyntezy związków organicznych pełniących istotną rolę w osmoregulacji i wspierających naprawę struktur komórkowych [33]. W przypadku pH jego wartość ogranicza dostępność różnego rodzaju rozpuszczonych form węgla nieorganicznego niezbędnych w procesie fotosyntezy.

Głównym substratem jest ditlenek węgla asymilowany w fazie ciemnej. Niskie pH powoduje słabą rozpuszczalność tego gazu, oraz często występujące zmniejszenie przyswajania form azotu. Z kolei zbyt wysokie pH sprawia że ditlenek węgla przekształca się w jony wodorowęglanowe, które są dostępne tylko dla nielicznych gatunków glonów. Dalszy wzrost pH przekształca je do jonów węglanowych, które są całkowicie niepryswajalne. Dla większości gatunków glonów optymalną wartością pH jest wartość obojętna [www1].

Istotna jest również kontrola tlenu i ditlenku węgla: zbyt wysokie stężenie pierwszego gazu prowadzi do inhibicji fotosyntezy, a nadmiar drugiej substancji do zmian pH i zatrzymania wzrostu [30]. Czas naświetlania hodowli powinien być większy niż 6 godzin na dobę. Jednak ilość światła i ditlenku węgla zależy od gatunku glonów [32][29].

Czynnikiem inhibitującym wzrost alg i przeprowadzaną przez nie fotosyntezę jest wysoka koncentracja jonów sodu i/ lub potasu, co powoduje szok osmotyczny u organizmów [34]. Innymi substancjami hamującymi rozwój są metale ciężkie, herbicydy, pestycydy, detergenty, kosmetyki i domowe produkty czyszczące [35].

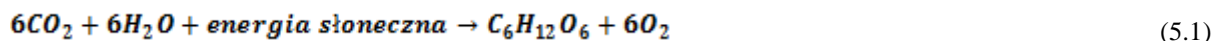
Głony konkurują o składniki odżywcze z bakteriami heterotroficznymi, ale metabolity i tlen produkowane przez algi mogą zostać wykorzystane przez bakterie, tak więc te dwie grupy organizmów mogą zarówno stymulować swój rozwój, jak i go hamować. Istnieje także teoria, że ekosystem utworzony przez glony i bakterie może w zależności od warunków środowiskowych (przede wszystkim natężenia światła) zmieniać swój skład podczas różnych faz oczyszczania ścieków. W zbyt długich okresach ciemności bakterie znacznie lepiej asymilują węgiel. Niektóre glony eukariotyczne produkują substancje antibakteryjne. Glony współzawodniczą także o przestrzeń między sobą tak jak w przypadku cyjanobakterii wytwarzających substancje zwalczające glony eukariotyczne [35].

5. Charakterystyka glonów

Głony stanowią zróżnicowaną grupę organizmów, która obejmuje różne grupy organizmów z poszczególnych grup systematycznych, więc to pojęcie może być rozumiane tylko w kontekście ekologicznym, a nie systematycznym [36]. Odnosi się ono do jedno lub wielokomórkowych organizmów żyjących głównie w środowisku wodnym charakteryzujących się posiadaniem chlorofilu i innych barwników pozwalających na prowadzenie fotosyntezy. Poszczególne grupy różnią się substancjami zapasowymi, barwnikami, budową ściany i struktur wewnątrzkomórkowych.

Proces oczyszczania ścieków powoduje przyrost biomasy glonowej, którą następnie można wykorzystać w procesie fermentacji, ze względu na składniki, z których zbudowana jest komórka. Najbardziej istotny jest skład błony i ściany komórkowej, oraz produkty asymilacji i materiały zapasowe magazynowane przez glony. Budowę komórki glonów prokariotycznych i eukariotycznych przedstawiono poniżej w tabeli (Tab. 1).

Głony są głównie fotoautotrofami, jednak do grupy należą także chemotrofy i heterotrofy. Ich charakterystyczną cechą jest zdolność do zmiany typu metabolizmu jako odpowiedź na zmianę warunków środowiskowych [Mata i wsp., 2010]. Głównym sposobem uzyskiwania źródła energii węgla przez glony jest proces fotosyntezy, dzielący się na fazę jasną i ciemną, polegający na przekształceniu energii słonecznej w energię chemiczną. Proces rozpoczyna się od przepływu elektronów od wody do ADP+ z wytworzeniem O₂ i NADPH w dwóch fotosystemach z barwnikami fotosyntezującymi. W łańcuchu przenośników elektronów i protonów podczas przepływu elektronów, protony przechodzą przenoszone przez błonę tylakoidową, co powoduje powstanie gradientu potencjału elektrochemicznego. Kiedy protony przemieszczają się z powrotem, poprzez kompleks syntazy ATP, powstaje energia w postaci wiązań ATP. Produkty reakcji świetlnych: NADPH i ATP są substratami w reakcjach ciemniowych do wiązania CO₂ w cyklu Calvina-Bensona [www2]. Przebieg reakcji można przedstawić za pomocą wzoru pierwszego.



Głony do wzrostu i produkcji biomasy potrzebują azotu i fosforu, asymilacja tych pierwiastków jest istotna przy podczyszczaniu ścieków [8]. Azot jest wykorzystywany do syntezy białek, a jego brak powoduje zatrzymanie syntezy polipeptydów [40]. Amoniak z powodu szybkości pobierania i niskiej energii potrzebnej do transportu przez błonę komórkową jest najczęstszą opcją wybieraną przez komórkę wśród wszystkich form azotu. Oprócz tego, zewnętrzne stężenie amoniaku jest sygnałem dla aktywacji metabolizmu tej substancji [41]. Fosfor bierze udział w tworzeniu nukleotydów i ATP. Niektóre gatunki alg mogą prowadzić nadmierny pobór fosforu i magazynować go w postaci polifosforanów, a inne mikroorganizmy przechowują źródła azotu w formie azotanów w swoich wakuolach. Pobór tych substancji zależy od ilości tych pierwiastków w środowisku: gdy jest

ono niskie glony akumulują więcej substancji węglowodanowych, a mniej związków azotu i fosforu, więc przyrost biomasy spada. W przypadku dostępności pożywienia bogatego w N i P, algi przechowują mniej substancji bogatych w węgiel, a więcej z dużą zawartością azotu i fosforu, co powoduje przyrost biomasy. W sytuacji długotrwałego braku substancji odżywczych glony zaczynają akumulować tłuszcz [40].

Tabela 5.1 Porównanie budowy komórki cyjanobakterii i glonów eukariotycznych [37][38][39]

Cecha	Cyjanobakterie	Głony eukariotyczne
Skład błony i ściany komórkowej	Warstwa peptydoglikanu, cieńsza i bardziej usieciowana u gram dodatnich, dwuwarstwa lipidowa i białka	Celuloza lub hemiceluloza (2 typy – zbudowane z arabinozy i ksylozy, drugi typ zawiera dodatkowo glukozę, galaktozę i mannozę), lipidy, białka, steroidy, fosfolipidy, glikolipidy i lipidy obojętne
Materiały zapasowe	Glikogen, ziarna cyjanoficyny, granule fosforanowe oraz karboksosomy i krople tłuszczu	Skrobia, chryzolaminaryna, glikogen, paramylon
Produkty asymilacji	Paramylon, skrobia, chryzolaminina, laminaryna	Skrobia, chryzolaminaryna, glikogen, paramylon
Obecność otoczki śluzowej	Obecna, umożliwia powstawanie kolonii	brak
Obecność LPS (Lipopolisacharyd)	Obecny, bez rejonu kdo – łańcuch swoisty nie bierze udziału w adsorpcji	brak
Materiał genetyczny	Nukleoid w cytoplazmie	W jądrze komórkowym
Ruchliwość	Ruch ślizgowy	nieruchome
Barwniki asymilacyjne	Chlorofil a, c-fikocyjanina, c-fikoerytryna, karotenoidy i ksantofile	Chlorofil a, chlorofil b, karoteny
Wakuole	Wakuole gazowe	Wypełnione sokiem komórkowym zawiera jony, rozpuszczone i nierozpuszczone związki mineralne, kwasy organiczne, aminokwasy, cukry, białka, tłuszcze
Organizacja	jednokomórkowe	Jedno- lub wielokomórkowe
Pozostałe organella komórkowe	Rybosomy (70S), heterocysty	Rybosomy (80S), chloroplasty, mitochondria, cytoszkielet, aparat Golgiego, siateczka śródplazmatyczna, peroksysomy i glioksysomy

Glony można spotkać w środowiskach o bardzo różnorodnych warunkach życiowych. Zamieszkują one ekosystemy wodne takie jak morza, słodkie wody, dna oceanów, nawet zwykłe kałuże [32]. Choć głównym miejscem ich życia są ekosystemy wodne, można je również spotkać na lądzie: na obszarach styku woda-powietrze, okresowo zalewanych brzegach zbiorników wodnych, skałach, powierzchni gleb, drzewach i porostach. Pełnią rolę organizmów pionierskich: porastają korę drzew rosnących na pustyni porostowej, zasiedlają nowe zbiorniki wodne wytwarzając przy tym tlen i regulując dostępność światła, są elementem porostów, uczestniczą w obiegu pierwiastków oraz są symbiontami organizmów raf koralowych [30][www1].

Ze względu na szczególne właściwości glonów wykorzystuje się je w przemyśle farmaceutycznym, kosmetycznym i spożywczym. Otrzymuje się z glonów wiele produktów, w tym agar i alginian. Zdolność glonów do szybkiej produkcji biomasy i ich duże zapotrzebowanie na ditlenek węgla spowodowało wykorzystanie ich jako surowca do produkcji biopaliw takich jak biometan, bioetanol i biodiesel w zależności od rodzaju procesu pozyskiwania. Martwą biomasę glonów wykorzystuje się również do biosorpcji i immobilizacji metali ciężkich ze ścieków, co pozwala na odzysk metali i gwarantuje odnawialność sorbentu [30].

6. Wnioski

Wody osadowe pochodzące z odwadniania przefermentowanych osadów ściekowych stanowią poważny problem dla biologicznych oczyszczalni ścieków, ze względu na wysoką zawartość azotu amonowego i fosforu. Z tego powodu konieczne jest wprowadzenie technologii, umożliwiającej ich podczyszczania, na przykład w ciągu bocznym. Rozwiązaniem problemu może być wykorzystanie w tym celu glonów, ze względu na ich wysokie zapotrzebowanie na azot amonowy. Dodatkowo ich zdolność do prowadzenia fotosyntezy i związana z tym procesem absorpcja ditlenku węgla sprawia, że wspomniana technologia ogranicza wtórne zanieczyszczenie środowiska.

Badania nad tematyką poruszaną w pracy realizowane są w ramach projektu „Integrated technology for improved energy balance and reduced greenhouse gas emissions at municipal wastewater treatment plants "BARITECH", Pol-nor/197025/37/2013, finansowanego przez Polsko-Norweski Mechanizm Finansowy 2009-2014, którego operatorem jest Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.

Bibliografia

1. Zbigniew Hrynkiewicz, Odwadnianie osadów ściekowych na filtracyjnych prasach taśmowych, Magdalena Dutka, Przegląd Komunalny, , 2(89), www.abra.pl, 1999, 79-82;
2. Sylwia Myszograj, Ilość i skład cieczy powstających w mechaniczno-biologicznej oczyszczalni ścieków, January Bień, Inżynieria i Ochrona Środowiska, 11(2), Częstochowa, 2008, 219-227;
3. Wiesława Styka, Piotr Beńko, Wpływ gospodarowania wodami osadowymi na usuwanie azotu ze ścieków miejskich, Prof. dr. hab. Inż. Zbigniew Heidrich, Gaz, Woda i Technika Sanitarna, 9, Warszawa 2007, 16-20;
4. Józef Malej, Anna Majewska, Adam Boguski Wybrane problemy oczyszczania wód osadowych, Tadeusz Piecuch, Rocznik. Ochrona Środowiska, 4, Koszalin, 2002, 11-48;
5. Justyna Rzyzińska, Problem wód osadowych i możliwości ich oczyszczania w Polsce, Prof. dr. hab. Inż. Zbigniew Heidrich, Gaz, Woda i Technika Sanitarna, Sigma-NOT sp. z o.o., Warszawa, 2006, 58-62;
6. Karin Larsdotten Wastewater treatment with microalgae – a literature review, Lund, Vatten, 62, Szwecja, 2006, 31-38;
7. C. U. Ugwu, H. Aoyagi, H. Uchiyama, Photobioreactors for mass cultivation of algae , Ashok Pandey, Bioresource Technology 99, Indie, 2008, 4021-4028;
8. Weidong Lu, Zhongming Wang, Xuewei Wang, Zhenhong Yuan, Cultivation of Chlorella sp. using raw dairy wastewater for nutrient removal and biodiesel production: Characteristic comparison of indoor bench-scale and outdoor pilot-scale cultures, Ashok Pandey, Biosource technology 192, Indie, 2015, 382-388;
9. Wiesława Styka, Piotr Beńko, Wdrażanie dobrych praktyk w gospodarce osadami ściekowymi, January Bień, Inżynieria i Ochrona Środowiska, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, 17(2), Częstochowa, 2014, 165-184;
10. Katarzyna Umiejewska Odwadnianie osadów ściekowych Lech Bojarski, Wodociągi i Kanalizacja, 4, Poznań, 2009, 46-49;
11. Katarzyna Trojanowska, Mechaniczne odwadnianie osadów ściekowych, Lech Bojarski, Wodociągi i Kanalizacja, 2, Poznań, 2013, 30-32;

12. Joanna Ćwikła, Krystyna Konieczny Ograniczenie ładunku biogenów na oczyszczalni poprzez wód osadowych w procesie odwróconej osmozy Monografie Polska Inżynieria Środowiska w pięć lat po wstąpieniu do Unii Europejskiej pod redakcją J. Ozonka i E. Pawłowskiej, Lublin 2009, 55-62;
13. Józef Malej, Adam Boguski, Zmiany ilościowe ładunku zanieczyszczeń w cieczy nadosadowej w procesie zagęszczania osadu czynnego, Tadeusz Piecuch, Rocznik. Ochrona Środowiska, 2, Koszalin, 2000, 221-236;
14. Magdalena Gajewska, Hanna Obarska-Pempkowiak, Wpływ zwracania odcieków z odwadniania osadów ściekowych na pracę oczyszczalni ścieków, Andrzej Jan Szyprowicz, Przemysł Chemiczny, 87(5), Warszawa, 2008, 448-451;
15. Triana Halfhide, Omatogo K. Dalrymple, Ann C. Wilkie, John Trimmer, Benjamin Gillie, Innocent Udom, Qiong Zhang, Sarina J. Ergas, Growth of an indigenous algae consortium on Anaerobically Digested municipal sludge centrate: Photobioreactors performance and modeling, M. Casler, W. Vermerns, 8, <http://www.springer.com/gp/>, 2015, 249-258;
16. Olumayowa Osudenko, Jan. K. Pittman, Implication of sludge liquor addiction for wastewater-based open pond cultivation of microalgae for biofuel generation and pollutant remediation, A. Pandey, Bioresource Technology, Indie, 2014, 355-363;
17. Bei Wang, Christopher Q Lan, Mark Horsman, Closed photobioreactors for production of microalgal biomasses, E. A. Bayer, Biotechnology Advances, 30, Indie, 2012, 904-912;
18. Michael A. Borowitzka, Commercial production of microalgae: ponds, tanks, tubes and fermentas, Alf Pühler, Journal of Biotechnology, 70, <https://www.elsevier.com/journals/title/i> 1999, 313-321;
19. Orlando Jorquera, Asher Kiperstock, Emerson A. Sales, Marcelo Embirucu, Maria L. Ghirardi, Comparative Energy life-cycle analyses of microalgal biomass production in open ponds and photobioreactors, A. Pandey, Bioresource Technology, 101, <https://www.elsevier.com/journals/title/i> 2010, 1406-1413;
20. F.G. Acien Fernandez, J.M. Fenandez Sevilla, J.A Sanchez Perez, E. Molina Grima, Y.Chisti, Airlift-driven external-loop tubular photobioreactors for outdoor production of microalgae: assessment of design and performance, A.P.J. Middelberg, Chemical Engineering Science, 56, <https://www.elsevier.com/journals/title/i> 2001, 2721-2732;
21. Asterio Sanchez Miron, Antonio Contreras Gomez, Francisco Garcia Camacho, Emilio Molina Grima, Yusuf Chisti, Comparative evolution of compact photobioreactors for large-scale monoculture of microalgae, Alf Pühler, Journal of Biotechnology, 70, <https://www.elsevier.com/journals/title/i> 1999, 249-270;
22. Shaikh A. Razzak, Mahammad M. Hossain, Rachima A. lucky, Amarjeet S. Bassi, Integrated CO₂ capture, wastewater treatment and biofuel production biofuel production by microalgae culturing – A review, L. Kazmerski, Renewable and sustainable Energy Reviews, 27, <https://www.elsevier.com/journals/title/i> 2013, 622-653;
23. Altan Ozkan, Kerry Kinley, Lynn Katz, Halil Berberoglu, Reduction of water and Energy requirement of algae cultivation using an algae biofilm photobioreactor, A. Pandey, Bioresource Technology, 114, Indie, 2012, 542-548;
24. Dong-Heui Kwak, Mi-Sug Kim, Flotation of algae for water reuse and biomass production: role of zeta potential and surfactant to separate algal particles, Wolfgang Rauch, Water Science and Technology, 72(5), <http://www.iwapublishing.com/> 2015, 762-770;
25. Jose A. Gerde, Linxing Yao, JunYi Lio, Zhiyou Wen, Tong Wang, Microalgae flocculation: Impact of flocculant type, algae species and cel concentration, J.A. Olivares, Algae Research, 3, <https://www.elsevier.com/journals/title/i> 2014, 30-35;
26. Martin Cerff, Michael Morweiser, Robert Dillschneider, Aymee Michel, Katharina Menzel, Clemens Posten, Harvesting fresh water and marine algae by magnetic: Screening of separation parameters and high gradient magnetic filtration, A. Pandey, Bioresource Technology, 118, <https://www.elsevier.com/journals/title/i> 2012, 289-295;

27. Gita Prochazkova, Ivo Safarik, Tomas Branyik, Harvesting microalgae with microwave synthesized magnetic microparticles, A. Pandey, Bioresource Technology, 130, Indie, 2013, 472-477;
28. Rupert j. Craggs, Paul J. McAuley, Valerie J. Smith, Wastewater nutrient removal by marine microalgae grown on a corrugated raceway, Mark von Loosdrecht, Water Research, 31(7), <http://www.iwapublishing.com/> 1997, 1701-1707;
29. A.L. Goncalves, M. Simoes, J.C.M. Pires, The effect of light supply on microalgal growth, CO₂ uptake and nutrient removal from wastewater, Moh'd Akman Al-Nimr, 85, <https://www.elsevier.com/journals/title/i> 2014, 530-536;
30. Dominika Kępska, Łukasz Olejnik, Algi - przyszłość z morza, Anna Czumak-Bieniecka, Chemik, 68(11), Gliwice 2014, 967-972;
31. Yin-Hu Wu, Hong-Ying Hu, Yin Yu, Tian-Yuan Zhang, Yun Lu, Shu-Weng Zhu, Lin-Lan Zhang, Xue Zhang, Microbial species for sustainable biomass/lipid production using wastewater as resource: A review, L. Kazmierski, Renewable and sustainable Energy Reviews, 33, <https://www.elsevier.com/journals/title/i> 2014, 675-688;
32. S.P. Singh, Priyanka Singh, Effect of CO₂ concentration on algal growth: A review, L. Kazmierski, Renewable and sustainable energy reviews, 38, <https://www.elsevier.com/journals/title/i>, 2014, 172-179;
33. A. Ju. Alyabyer, N.L. Loseva, A.A. Ponomareva, R.B. Kemp, L. Kh. Gordon, I.N. Andreyera, G.G. Rachimova, V.I. Tribunskih, The effect of changes in salinity on the Energy yeelding processes of *Chlorella vulgaris* and *Dunatella maritina* cell, S. Schick, S. Vyazorkin, N. Koga, Thermochimica Acta, 458, <https://www.elsevier.com/journals/title/i> 2007, 65-70;
34. Byoung-Gon Ryu, Eun Yung Kim, Hee-Sik Kim, yungmin Kim, Yoon-E Choi, Ji-Won yang, Simultaneous treatment of municipal wastewater an biodiesel production by cultivating of *Chlorella vulgaris* with indigenous wastewater bacteria, Ik-Hwan Kim, Biotechnology and bioprocess engineering, 19, Korea 2014, 201-210;
35. Chang Soo Lee, Sang-Ah Lee, So-Ra Ko, Hee-Mock Oh, Chi-Yong Ahn , Effect of photoperiod on nutrient removal, biomass production, an algal-bacterial population dynamics in lab-scale photobioreactors treating municipal wastewater, Mark van Loosdrecht, Water research, 68, <http://www.iwapublishing.com/> 2015, 680-691;
36. Alicja i Jerzy Szweykowscy Botanika tom 1: Morfologia Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2007
37. Jan Kopcewicz, Stanisław Lewak, Fizjologia Roślin, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2007
38. Ewa Zabłocka-Godlewska Biologia dla studentów uczelni technicznej Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2011
39. Milada Vitora, Katerina Bisova, Shigeyuki Kawano, Vilem Zachleder, Accumulation of energy reserves in algae: From cell cycles to biotechnological applications, E. A. Bayer, Biotechnology Advanced, 33, <https://www.elsevier.com/journals/title/i> 2015, 1204-1218;
40. Annelies Beuckels, Erik Smolders, Koenraad Maylaert, Nitrogen availability influences phosphorus removal in microalgae-based wastewater treatment, Mark von Loosdrecht, Water Reseach, 77, <http://www.iwapublishing.com/> 2015, 98-106;
41. Na Liu, Feng Li, Fei Ge, Nengguo Tao, Qiongzhi Zhou, Minghung Wong, Mechanisms of ammonium assimilation by *Chlorella vulgaris* F1068: Isotope fractionation and proteomic approaches, A. Pandey, Bioresource technology, 190, Indie, 2015, 307-314;
42. [www1] Tropheus Tanganika [25.10.2015]
http://www.tropheus.com.pl/index.php?option=com_content&view=article&id=47:glony-cz-i&catid=10:glony-&Itemid=47
43. [www2] Skrypt do ćwiczeń z fizjologii roślin [25.10.2015]
http://www.biol.uw.edu.pl/zmfr/files/Skrypt_FR.pdf