

*Sveučilište u Zagrebu*

*Prirodoslovno – matematički fakultet*

*Biološki odsjek*

# Tehnološka primjena algi

## Technological application of algae

*Seminarski rad*

Ana Marija Knez

Preddiplomski studij molekularne biologije

(Undergraduate Study of Molecular Biology)

Mentor: prof. dr. sc. Anđelka Plenković-Moraj

Zagreb, 2019.

## Sadržaj

1. UVOD.....	2
2. INDUSTRIJA BIOGORIVA .....	3
2.1. Kultivacija algi .....	3
2.2. Prikupljanje algi .....	5
2.3. Ekstrakcija lipida.....	5
3. PREHRAMBENA INDUSTRIJA .....	7
4. FARMACEUTSKA INDUSTRIJA .....	8
5. BIOLOŠKA OBNOVA VODA I UKLANJANJE CO <sub>2</sub> .....	9
6. ZAKLJUČAK .....	10
7. LITERATURA .....	10
8. SAŽETAK .....	11
9. SUMMARY .....	11

# 1. Uvod

Alge su raznolika skupina organizama koje mogu biti jednostanične ili višestanične. Karakteristika svih algi je mogućnost provođenja sinteze, procesa pretvorbe ugljikova dioksida i vode u glukozu i kisik pomoću sunčeve energije. Prema morfologiji, alge se mogu razvrstati u dvije skupine, makroalge i mikroalge (Bux, 2013). U ovom radu naglasak je više na primjeni mikroalgi u industriji, nego makroalgi, no i njihova primjena je raznolika. Zbog svoje male veličine, mikroalgama je morfologija i fiziologija relativno neistražena te su danas opisane i poznate vrste našle svoju primjenu u tehnologiji. Ostatak je i dalje neistražen, no zbog spoznaje o mnogobrojnim funkcijama algi, sve više znanstvenika usmjeruje svoja istraživanja upravo na ovo područje.

Morfološki gledano, mikroalge karakterizira prisutnost pigmenata kao što su klorofili (a, b, c ili d, ovisno o vrsti), fikobilini (cijanobakterije i crvene alge) i karotenoidi različitih tipova. U stanicama mikroalgi mogu se pronaći i brojni lipidi specifični za taksonomsku skupinu ili drugim riječima, esencijalne ljudima. Upravo ovi spojevi pronašli su svoju primjenu u farmaceutskoj i prehrambenoj industriji. Mikroalge su prepoznate i kao potencijalno važan izvor obnovljive energije koja bi se mogla koristiti u proizvodnji tekućeg goriva kao što je dizel i benzin, mlaznog goriva i generiranju struje (Bux, 2013). Najveći problem koji se javlja u proizvodnji energije je veliki utrošak novca koji se javlja na svakom koraku procesa proizvodnje. Zbog toga se mnoga istraživanja usmjeruju na razvoj ekonomično prihvatljivih metoda uzgoja algi koje će učiniti biogorivo financijski isplativijim od trenutnog goriva na tržištu (Bux, 2013).

Mikroalge su vrlo raznolika taksonomska skupina te se zato mogu pronaći i na različitim staništima. Najčešće ih se pronalazi u slatkim i slanim vodama u sastavu fitoplanktona (Bux, 2013). Na taj način sudjeluju u hranidbenom lancu jer služe kao hrana zooplanktonu. Prije 3,5 milijardi godina pojavila se fotosinteza (u cijanobakterijama) koja je formirala svijet onakav kakav je danas. Došlo je do masovnog otpuštanja kisika u atmosferu koji je potaknuo organizme na endosimbiozu i doveo do formacije eukariota. Danas su alge glavni proizvođači kisika na Zemlji i čine veliki postotak Zemljine biomase. S obzirom da su alge prošlost i sadašnjost, počelo se razmišljati kako bi alge mogle biti i budućnost te se danas rješenja za mnoge probleme pronalaze upravo u njima.

## 2. Industrija biogoriva

Mikroalge su prepoznate kao potencijalan izvor biogoriva, no mala gustoća kultura mikroalgi i sama mikroskopska građa podrazumijevaju iskorištavanje velikog volumena kulture što predstavlja problem komercijalnoj proizvodnji (Bux, 2013). Važni koraci u proizvodnji bioulja i biodizela su prikupljanje i masovan uzgoj algi, ekstrakcija lipida te razdvajanje triacilglicerola i slobodnih masnih kiselina od krutih lipida. Zadnji korak je piroliza za dobivanje bioulja ili transesterifikacija za dobivanje biodizela. Vrste mikroalgi koje se koriste u proizvodnji biogoriva su *Chlorella vulgaris*, *Chlorella sorokiniana*, *Sargassum patens* i *Spirulina* (Bux, 2013).

### 2.1. Kultivacija algi

Važan korak u produkciji biogoriva je osmisliti ekonomičan i okolišno prihvatljiv način kultiviranja algi kojim se povećava produktivnosti stanica (Bux, 2013). Kultivacija se trenutno obavlja u jezerima različitih veličina ili u kompleksnim i kontroliranim fotobioreaktorima. Fotobioreaktor je komora za kultivaciju organizama koji uz pomoć svjetlosti provode kemijske reakcije (biljke, alge, cijanobakterije), a može biti otvorenog ili zatvorenog tipa (Bux, 2013). Otvoreni tip je masovno korišten kroz povijest te je i danas najzastupljeniji način uzgoja algi (Carvalho i sur., 2006), a čine ga jezera, ribnjaci i druge prirodne vode. Ograničenja u ovakvom sustavu je nemogućnost kontrole kontaminacija, otežana kontrola uvjeta te skupo prikupljanje otopljenih produkata (Carvalho i sur., 2006). Zatvoreni tip je skuplji za proizvesti i održavati, no pokazano je da su prinosi znatno veći te se više vrsta može iskorištavati u njima zbog konstantnih uvjeta (Bux, 2013). Neovisno o načinu kultiviranja, želi se postići optimalna produktivnost na određenom volumenu ili površini, efikasna pretvorba svjetlosne energije u produkt, konzistentnost i pouzdanost u proizvodnji i troškovna efikasnost (Bux, 2013).

Za optimalan rast potrebno je održavati okolišne parametre (temperatura, intenzitet svjetlosti, pH, koncentracija nutrijenata) u granicama fizioloških uvjeta. Zbog toga je za proizvodnju učinkovitog bioreaktora nužno poznavanje morfologije i fiziologije vrsta, tolerancija na stres, potreba za nutrijentima i slično (Bux, 2013). Svjetlost je ograničavajući uvjet kultura s fotosintetskim organizmima (Pulz, 2001) pri niskom intenzitetu svjetlosti, dok je pri izrazito velikom intenzitetu štetna, jer uništava fotosintetski aparat (Bux, 2013). Optimalan intenzitet svjetlosti za većinu algi iznosi 1700 do 2000  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  pri čemu je fotosintetski aparat maksimalno zasićen svjetlošću (Bux, 2013). Problem kod optimizacije

intenziteta je gustoća kulture jer pregusta kultura ne propušta svjetlost dublje od nekoliko centimetara. Također, svjetlost se u dodiru s kulturom apsorbira i rasprši zbog čega intenzitet svjetlosti opada s dubinom (Grobbelaar, 2009). Dakle, u određivanju količine svjetlosti važno je odrediti i optimalnu gustoću kulture.

Temperatura je parametar koji je teško optimizirati u vanjskim kulturama zbog sezonskih i dnevnih fluktuacija koje dovode do smanjenja u produktivnosti (Bux, 2013). Optimalna temperatura za uzgoj algi je vrsno specifična, no najčešće između 20 i 30 °C (Chisti, 2008). Alge su tolerantne za temperature do čak 15 °C ispod optimalne pri čemu je metabolizam i rast smanjen, dok temperature više za nekoliko stupnjeva dovode do umiranja (Mata i sur., 2010). Razlog toga je smanjena topljivost ugljikova dioksida pri većim temperaturama za razliku od kisika zbog čega je i povećana fotorespiracija (Bux, 2013). Smanjena temperatura ujutro i predvečer te sezonsko smanjenje temperature negativno utječu na produktivnost, dok noćno sniženje ima povoljan učinak jer smanjuje aktivnost fotorespiracije. Fotorespiracija je proces stimuliran svjetlošću u kojem se troši kisik, a proizvodi ugljikov dioksid. Uzrok ovog procesa su kinetička svojstva enzima RUBISCO (Buchanan i sur., 2002). U zatvorenom tipu bioreaktora može doći do pregrijavanja sustava zbog čega je potrebno imati i uređaje koji odvođe toplinu ili hlade sustav (Mata i sur., 2010).

Glavni nutrijenti potrebni za kulturu algi su dušik, ugljik i fosfor, a dodaju se i brojni drugi makro- i mikroelementi koji mogu pospješiti rast i metabolizam. Ugljik je najvažniji nutrijent i dodaje se u obliku ugljikova dioksida. Ako CO<sub>2</sub> nije dodan u odgovarajućoj količini neke alge mogu prijeći na heterotrofni način života, dok druge ugibaju (Bux, 2013). Količina CO<sub>2</sub> i drugih nutrijenata utječe na pH kulture. Prilikom iskorištavanja CO<sub>2</sub> dolazi do promjene pH vrijednosti te je potrebno konstantnim dotokom spriječiti porast pH vrijednosti (Bux, 2013). Sustavu je potrebno i odvoditi štetne produkte metabolizma poput kisika, jer dolazi do vezanja kisika za RUBISCO i fotorespiracije pri čemu nastaju radikali kisika koji oštećuju stanice.

Miješanje kultura je neophodan uvjet, jer omogućava prozračivanje te dopremu svjetlosti i nutrijenata do svih stanica (Bux, 2013). Jedna od većih razlika otvorenog i zatvorenog bioreaktora je stupanj turbulencije koji je veći u zatvorenom tipu. U zatvorenom tipu koristi se mehaničko miješanje i prozračivanje dok je u otvorenom tipu korištena rotacijska ruka ili veslo (Bux, 2013). Kod miješanja je važno pronaći odgovarajuću ravnotežu između brzine i stupnja miješanja i mehaničkog oštećenja uzrokovano njime.

## 2.2. Prikupljanje algi

Prikupljanje algi je serija procesa koji imaju cilj razdvojiti alge od medija u kojoj su uzgajane te povećati konzistenciju s <1% čvrste tvari na oko 20% čvrste tvari (Bux, 2013). Ne postoji jedna specifična metoda prikupljanja algi zato što ona ovisi o nekolicini parametara poput vrsti algi, ionskom naboju medija kulture, recikliranju filtrata, pH otopine, gustoći i slično, nego se metoda prilagođava industriji i uvjetima. S ekonomskog stajališta važno je izabrati metodu koja ima najpovoljniji omjer dobivenog produkta i potrošene energije kako bi cijena mogla kompetirati s naftnim gorivom (Bux, 2013).

Cilj ovog koraka je povećati koncentraciju suspenzije algi jer će se tako smanjiti cijena ekstrakcije i pročišćavanja i povećati prinos biogoriva (Bux, 2013). Metode koje se danas koriste u povećanju gustoće kulture su sedimentacija, centrifugiranje, filtracija, flokulacija, elektrolitska koagulacija itd. (Bux, 2013). Uspoređujući potrošnju energije najmanje energije troši sedimentacija ovisna o gravitaciji, jer je potrebno manje motora, pumpa i bazena. Nedostatak ove metode je što je za komercijalnu upotrebu potrebno više velikih bazena koji će moći podnijeti sporo vrijeme sedimentacije i veliku količinu volumena (Bux, 2013). Kao potencijalno dobra i učinkovita metoda postavlja se filtriranje kroz membranu. Ovoj metodi nedostaje *terenskog iskustva* kako bi se utvrdio vijek trajanja membrana i cijena održavanja (Bux, 2013). Najučinkovitijom metodom pokazala se flokulacija polimerom, no ona ujedno i troši najviše energije na uklanjanje vode. S druge strane, elektro-flokulacija i auto-flokulacija pokazale su se kao odlične metode u uklanjanju vode, s niskom potrošnjom energije, malim utroškom novca i mogućnošću dohvaćanja i ponovnog korištenja nutrijenata poput dušika, fosfora i kalija (Bux, 2013). Flokulacije je relativno nova metoda te je potrebno istražiti kompletan utrošak vremena i novca na većim površinama.

## 2.3. Ekstrakcija lipida

Nekolicina država danas proizvodi biodizel, a pri tome koriste različita jestiva i nejestiva ulja i masti (Bux, 2013). Država koja predvodi u proizvodnji je Malezija, a odmah iza nje su Indonezija, Argentina, SAD itd. Najčešći izvor bioulja u zemljama je ulje soje ili palmino ulje koje te zemlje masovno uvoze zbog čega se pokušava pronaći nova sirovina za biodizel, poput ulja mikroalgi, koju će zemlja moći sama proizvoditi. Mikroalge su privukle pozornost za proizvodnju biogoriva zbog visokog udjela ulja u njihovim stanicama. U proizvodnji

biogoriva nije važan samo udio lipida, nego i sastav lipida, stopa rasta te učinkovitost metabolizma u različitim uvjetima (Bux, 2013). Neke vrste algi imaju mogućnost proizvesti do 50% lipida po stanici suhe mase ovisno o uvjetima rasta. Općenito, ulje algi sadrži veći stupanj polinezasićenih masnih kiselina, do čak četiri nezasićene veze, od biljaka te veći udio slobodnih masnih kiselina i triacilglicerola (Bux, 2013). Triacilgliceroli se mogu prevesti u metilne estere masnih kiselina procesom transesterifikacije, a zatim se rupturom stanice oslobađaju u okolni medij i koriste u proizvodnji (Bux, 2013). Metode rupture stanice koje se koriste su: autoklaviranje, mikrovalovi, sonikacija, osmotski šok i slično. Nakon oslobađanja lipida važno je odvojiti ulje od krutih ostataka nastalih kao posljedica oslobađanja lipida, a glavne metode koje se pri tome koriste su mehanička ekstrakcija ili kemijske metode.

Postoje dva načina dobivanja biodizela, direktna transesterifikacija ili ekstrakcija u dva koraka koja uključuje prikupljanje ulja iz algi te transesterifikacija. Direktna esterifikacije je ekonomičnija metoda, brža je te se dobiva više biodizela, no zbog toga što se koriste mnoge otopine (kloroform, eteri) razgrađuju se metilni esteri masnih kiselina (FAME) (Bux, 2013). Preduvjet za direktnu transesterifikaciju je sušenje algi, a kako bi se smanjila oksidiranost FAME može se dodati butilirani hidroksitoluen u biodizel (Johnson i Wen, 2009). Nažalost, biodizel nije zadovoljio standarde Europske Unije koji zahtjeva da sastav estera bude barem 96,5% (Sarin i sur., 2009). Samo određene vrste algi zadovoljile su ovaj kriterij, a smatra se da je razlog toga prisutnost neosapunjenih komponenti (Bux, 2013). Ostale vrste, budući da ne zadovoljavaju kriterij, mogu proizvoditi ulje koje će se pretvoriti u bioulje pirolizom ili termokemijskom katalizom rastapanja. Termokemijska metoda je bolja u odnosu na pirolizu jer je u produktu manje prisutan dušik, no sadrži veću količinu kisika zbog čega je potrebno deoksigenirati bioulje (Bux, 2013). Postoje i dodatne kemijske (esterifikacija, hidroprocesiranje) i fizikalne metode (uklanjanje nečistoća i čađi, filtracija vruće pare ili tekućine, dodavanje otapala) kojima se može poboljšati kvaliteta biogoriva (Bux, 2013).

Brojna istraživanja su još potrebna kako bi se poboljšala kvaliteta biogoriva dobivenih iz algi te je potrebno pronaći ekonomičnije pristupe uzgoja i ekstrakcije algi i ulja.

### 3. Prehrambena industrija

Iako je konzumacija algi u prehrambene svrhe stara tradicija koja se u određenim dijelovima svijeta još uvijek nastavlja, tek se 1950-ih godina pojavio interes za alge u smislu globalne proizvodnje. Glavni razlog ove pojave bile su prognoze koje su naslućivale da bi kroz određeno vrijeme zbog povećanja populacije moglo doći do manjka proteina na Zemlji (Bux, 2013). Vrste koje dominiraju tržištem su *Arthrospira (Spirulina)* i *Chlorella*, a po količini proteina mogu se usporediti s mesom i mliječnim proizvodima. Također sadrže velike količine vitamina A i B12 (Bux, 2013). Proizvodi mikroalgi koji se koriste u prehrani uglavnom dolaze u obliku tableta i prašaka te mnoge tvrtke pokušavaju koristiti takve proizvode u proizvodnji zdravijih oblika procesuirane hrane. Makroalge su česti sastojak sushi-ja, tradicionalnog japanskog jela, te se danas sve više koriste u orijentalnoj kuhinji.

Mikroalge se često dodaju u zemlju kao biognojivo i sredstvo za održavanje pogodnog tla jer imaju mogućnost fiksacije dušika što potpomaže rast biljaka. Alge koje se koriste su cijanobakterije *Anabaena*, *Nostoc*, *Aulosira Tolypothrix* i *Scytonema* te prevladavaju u zemljama za uzgoj riže. U kontroli erozije tla na području Sjeverne Amerike koriste se vrste roda *Clamydomonas* (Bux, 2013).

Jedan od produkata mikroalgi koji se koristi u prehrambenoj industriji su karotenoidi. Karotenoidi su pigmenti, molekule koje mogu apsorbirati svjetlost te posreduju u pretvorbi svjetlosne energije u kemijsku, a imaju ulogu i u zaštiti klorofila od fotooksidacije (Tail i Zeiger, 2002). Karotenoidi se mogu podijeliti u dvije skupine, karotene i ksantofile ovisno o tome sadrže li kisikov atom u terminalnom prstenu (Taiz i Zeiger, 2002). Mogu se pronaći u rasponu boja u prirodi zbog čega postepeno zamjenjuju toksične umjetne boje u prehrambenoj industriji. Također, dodatkom karotenoida u prehranu, ljudski se organizam opskrbljuje prirodnim izomerima u pravilnim omjerima (Bux, 2013).

Odmah uz karotenoide mogu se pronaći i fikobiliproteini, dodatni pigmenti karakteristični za cijanobakterije i crvene alge koji mogu biti plave, ljubičaste ili narančaste boje. Oni se također koriste kao prirodne boje u prehrani (Bux, 2013). Tvrtka sa sjedištem u Japanu, „Dainippon INK and Chemicals“ poznata je po proizvodnji proizvoda koje koriste fikobiliproteine u žvakaćim gumama, sladoledima na štapiću, slatkišima, gaziranim pićima, wasabiju i mliječnim proizvodima (Bux, 2013). Iako se nisu masovno proizvodili, fikobiliproteini iz crvene alge *Porphyridium aeruginosum* koristili su se za dobivanje boje u piću Pepsi© i Bacardi Breezer© (Dufossé i sur., 2005).



## 4. Farmaceutska industrija

Farmaceutska industrija je još jedna industrija koja je uočila blagodati algi i njihovih spojeva. Zato se brojni spojevi koriste u istraživanjima, ali i kozmetici. Možda najpoznatija primjena algi je sinteza agara, polisaharida crvenih algi koji se dodaje podlogama kako bi se skrutile.

Otkriveno je da karotenoidi djeluju kao antioksidansi što može biti djelotvorno u borbi protiv različitih bolesti (Bux, 2013). Od svih karotenoida najviše se ističe astaksantin koji se najviše ekstrahira iz alge *Haematococcus pluvialis*, no može se pronaći i u lososu, jastogu, škampu i slično (Guerin i sur., 2003). Uloga astaksantina u organizmima je zaštita od oksidacije esencijalnih polinezasićenih masnih kiselina, zaštita od UV svjetla, sudjelovanje u imunološkom odgovoru, komunikaciji, poboljšava reprodukciju itd. (Guerin i sur., 2003). Farmaceutska industrija upotrebljava astaksantin zbog antioksidanskog učinka u borbi protiv starenja, ateroskleroze, degeneracija, karcinogeneze i slično (Guerin i sur., 2003). Astaksantin se još koristi u zaštiti protiv UV svjetla, jer sprječava fotooksidaciju te uklanja nastale slobodne radikale. Osim zaštite stanica kože, koristi se i u zaštiti vida jer sprječava pojavu degeneracija mrežnice i katarakte koje se mogu povezati s oksidativnim procesima u oku (Guerin i sur., 2003). U slučaju bolesti koje izazivaju naticanje poput Crohnove bolesti, smanjuje oticanje uzrokovano štetnim oblicima kisika koje ispuštaju fagociti. Ukratko, astaksantin je jako snažan antioksidans koji djeluje u svim fiziološkim sustavima, a njegova djelotvornost pokazala se jačom od vitamina E i  $\beta$ -karotena (Guerin i sur., 2003).

Fikobiliproteini u farmaceutskoj industriji imaju ulogu vrlo osjetljivih fluorescentnih reagensa te se koriste u imunološkim laboratorijima. Koriste se kao oznake za protutijela i receptore u razvrstavanju stanica pomoću protutijela, u fluorescencijskoj mikroskopiji i dijagnostici (Bux, 2013). Smatra se kako bi se fikobiliproteini mogli koristiti u borbi protiv tumora i upala, kao reducents serum, inhibitor aktivnosti lipida, antioksidans itd. Fikobiliproteini se koriste i u kozmetici kao bojilo u olovkama za oči ili ruževima (Bux, 2013). Mnogi drugi ekstrakti algi mogu se koristiti u kozmetičke svrhe poput proteina, vitamina i minerala, a s ciljem popravljavanja oštećene kože, u smanjenju masnoće na koži te smanjenju upalnih procesa (Kim i sur., 2008). Samo neki od tih ekstrakata su tokoferoli, mikrosporini, mikrosporinu slične aminokiseline, fenolni spojevi, teprenoidi, a uglavnom se dodaju u preparate za njegu kože tijela i lica, kreme, kreme za sunčanje, preparate za njegu kose, regeneratore, maske za lice i slično. U kozmetici najviše se koriste *Arthrospira* (*Spirulina*) i *Chlorella* sp. (Bux, 2013).

Alge proizvode velike količine eikosapentanoične kiseline (EPA) i dokosaheksaenoične kiseline (DHA) koje sisavci ne mogu proizvoditi. Novija istraživanja pokazuju da EPA može imati pogodan učinak na kardiovaskularne bolesti, upalne bolesti i funkciju mozga (Bux, 2013). Osim u održavanju zdravlja, ove omega-3 kiseline pomažu u rastu i razvoju što su potvrdila brojna istraživanja provedena u posljednjih 35 godina. Trenutno su EPA i DHA jedina alternativa ribljim omega-3 masnim kiselinama, a smatraju se pogodnim rješenjem, jer alge uzgajane u laboratorijskim uvjetima ne talože u svoje stanice toksine i teške metale poput riba (Bux, 2013).

## 5. Biološka obnova voda i uklanjanje CO<sub>2</sub>

Antropološki utjecaj na koncentraciju ugljikova dioksida u atmosferi je velik te nosi mnoge posljedice sa sobom, npr. povećanje Zemljine površine, silovite oluje, otapanje polarnih kapa te podizanje ukupne razine mora (Shekh i sur., 2012). U borbi protiv globalnog zatopljenja javlja se potreba za smanjenjem CO<sub>2</sub> u atmosferi te se razvija tehnologija koja pokušava zatvoriti i pohraniti CO<sub>2</sub>. Neke od trenutnih tehnologija su uklopljavanje plina u krutine, membrane, kondenzacijske sustave i slično, no nedostaci ovakvih sustava su mali efektivan učinak i velika potrošnja novca (Bux, 2013). Mikroalge su privukle pozornost jer imaju sposobnost fiksacije velikih količina CO<sub>2</sub>. Jedna od opcija koja se razmatra je direktno iskorištavanje otpadnih produkata tvornica (Bux, 2013).

Antropološki utjecaj uočava se i u formaciji otpadnih voda koje uglavnom čine kućanski i industrijski otpad. Korištenje mikroalgi u tretiranju otpadnih voda jedna je od glavnih tema već desetljećima, jer mikroalge imaju mogućnost metabolizirati kanalizaciju brže nego bakterije (Olguín, 2003). Fotosintezom, alge asimiliraju nitratre, fosfate i ostale nutrijente prisutne u otpadnim vodama kućanstava te proizvode kisik, čime podržavaju život u okolnim vodama. Samim time, uklonila bi se neugodna boja i miris, nitrati, nitriti, amonijak, fosfati, teški metali, pH bi se neutralizirao. Alge koje se najčešće koriste u ovakvim sustavima su: *Chlorella*, *Oscillatoria*, *Scenedesmus*, *Synechocystis*, *Lyngbya*, *Gloeocapsa*, *Arthrospira* (*Spirulina*), *Chroococcus*, *Anabaena* i mnoge druge (Bux, 2013).

Danas se pokušava ova dva sustava spojiti u jedan na način da se stvore površine, splavovi, mikroalgi koje će u isto vrijeme razgrađivati otpadne vode konzumirajući nutrijente iz njih te CO<sub>2</sub> iz otpadnih voda, ali i iz zraka. Pokušava se i sustav uklanjanja otpadnih voda

iskoristiti za produkciju biomase u prehrambene ili farmakološke svrhe odnosno u proizvodnji karotenoida i ostalih spojeva.

## 6. Zaključak

Tehnološka primjena algi je uzela zamaha u posljednjih 20 godina jer su se počeli primjećivati pozitivni učinci koje alge imaju. Među industrijama svakako prednjači farmaceutska, no i industrija biogoriva se sve više razvija. Najveći problem koje se javlja u tehnologiji je ekonomičan uzgoj algi i ekstrakcija produkata iz njih. Postoje brojne metode koje pokušavaju unaprijediti iskorištenje, no i dalje nisu ekonomične. Za daljnji napredak znanost i tehnologija trebale bi se paralelno razvijati i nadopunjavati kako bi se što veći, ako ne i cijeli potencijal algi iskoristio.

## 7. Literatura

1. Buchanan BB, Grissem W, Jones RL. *Biochemistry and Molecular Biology of Plants*. Wiley; 2002 Mar 22.
2. Bux F. *Biotechnological applications of microalgae: biodiesel and value-added products*. CRC Press; 2013 May 22.
3. Carvalho AP, Meireles LA, Malcata FX. Microalgal reactors: a review of enclosed system designs and performances. *Biotechnology progress*. 2006; **22**(6):1490-506..
4. Chisti Y. Biodiesel from microalgae beats bioethanol. *Trends in biotechnology*. 2008 Mar 1;**26**(3):126-31.
5. Dufossé L, Galaup P, Yaron A, Arad SM, Blanc P, Murthy KN, Ravishankar GA. Microorganisms and microalgae as sources of pigments for food use: a scientific oddity or an industrial reality?. *Trends in Food Science & Technology*. 2005 Sep 1;**16**(9):389-406.
6. Grobbelaar JU. Factors governing algal growth in photobioreactors: the “open” versus “closed” debate. *Journal of applied phycology*. 2009 Oct 1;**21**(5):489.
7. Guerin M, Huntley ME, Olaizola M. Haematococcus astaxanthin: applications for human health and nutrition. *TRENDS in Biotechnology*. 2003 May 1;**21**(5):210-6.
8. Johnson MB, Wen Z. Production of biodiesel fuel from the microalga *Schizochytrium limacinum* by direct transesterification of algal biomass. *Energy & Fuels*. 2009 Sep 2;**23**(10):5179-83.

9. Kim SK, Ravichandran YD, Khan SB, Kim YT. Prospective of the cosmeceuticals derived from marine organisms. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*. 2008 Oct 1;**13**(5):511-23.
10. Mata TM, Martins AA, Caetano NS. Microalgae for biodiesel production and other applications: a review. *Renewable and sustainable energy reviews*. 2010 Jan 1;**14**(1):217-32.
11. Olguín EJ. Phycoremediation: key issues for cost-effective nutrient removal processes. *Biotechnology advances*. 2003 Dec 1;**22**(1-2):81-91.
12. Pulz O. Photobioreactors: production systems for phototrophic microorganisms. *Applied microbiology and biotechnology*. 2001 Oct 1;**57**(3):287-93.
13. Sarin R, Kumar R, Srivastav B, Puri SK, Tuli DK, Malhotra RK, Kumar A. Biodiesel surrogates: achieving performance demands. *Bioresource technology*. 2009 Jun 1;**100**(12):3022-8.
14. Shekh AY, Krishnamurthi K, Mudliar SN, Yadav RR, Fulke AB, Devi SS, Chakrabarti T. Recent advancements in carbonic anhydrase-driven processes for CO<sub>2</sub> sequestration: minireview. *Critical reviews in environmental science and technology*. 2012 Jul 15;**42**(14):1419-40.
15. Taiz L, Zeiger E. *Plant Physiology*. Sinauer Associates; 2002 Aug 30.

## 8. Sažetak

Alge su izrazito velika i raznolika taksonomska skupina živih organizama koja je prije 3,5 milijardi godina omogućila formaciju aerobnog života na Zemlji. S obzirom na sve brojnija otkrića vezana uz fiziologiju algi, mnoge tehnološke grane traže primjenu algi u različitim industrijama. Zbog količine lipida koje sadrže, alge se danas smatraju potencijalnim izvorom biogoriva koje bi jednoga dana zamijenilo fosilna goriva. Lipidi nisu jedini spojevi koje alge sadrže pa su se tako počeli iskorištavati i mnogobrojni drugi spojevi u prehrambenoj, farmaceutskoj i drugim industrijama. Za daljnje napretke u tehnologiji nužno je više istraživanja posvetiti određivanju fiziologije alga jer će u suprotnom puni potencijal algi ostati neotkriven i neiskorišten.

## 9. Summary

Algae are extremely large and diverse taxonomic group of living organisms that enabled the formation of aerobic life on Earth 3.5 billion years ago. Considering the growing number of discoveries related to algal physiology, many technological branches are looking for the application of algae in different industries. Because of their content of lipids, algae are considered potential source of biofuel that may one day replace fossil fuels. Lipids are not the

only component found in algae. Many other compounds have found use in pharmaceutical, food and other industries. For future progress in technology, it is necessary to do more research in determining physiology of algae, otherwise. the full potential of algae will remain undiscovered and unused.