

# Fotosinteza u moru, utjecaj na globalnu klimu

---

**Pecko, Lucija**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2018**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:922910>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-10**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET**  
**BIOLOŠKI ODSJEK**

**FOTOSINTEZA U MORU, UTJECAJ NA GLOBALNU KLIMU**  
**SEA PHOTOSYNTHESIS, IMPACT ON GLOBAL CLIMATE**  
**SEMINARSKI RAD**

Lucija Pecko  
Preddiplomski studij biologije  
(Undergraduate Study of Biology)  
Mentor: doc.dr.sc. Petar Kružić

Zagreb, 2018.

## SADRŽAJ

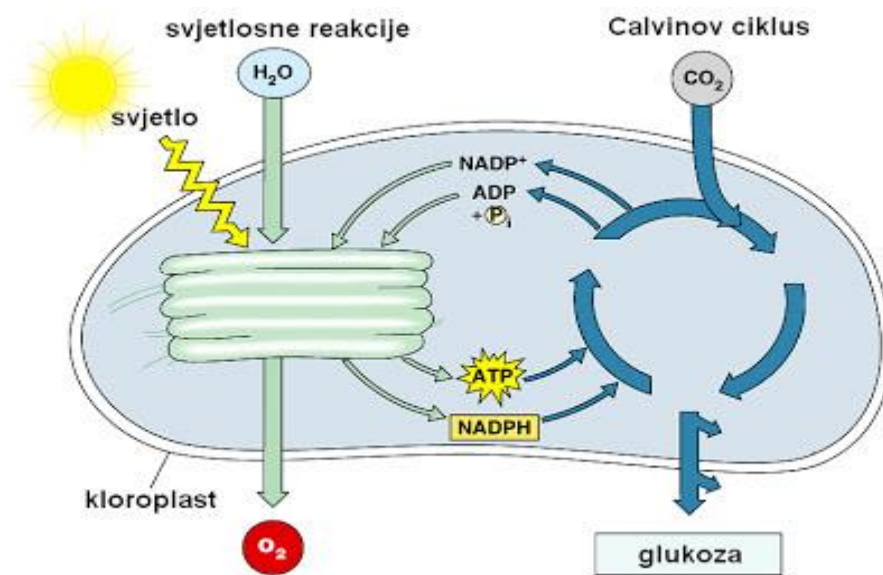
1. UVOD: .....	1
2. FOTOSINTEZA .....	2
2.1. Svjetlosne reakcije ili primarni procesi fotosinteze .....	2
2.2. Calvinov ciklus ili sekundarni procesi fotosinteze .....	4
3. FOTOSINTEZA U MORU .....	5
3.1. Fitoplankton .....	6
3.1.1. Sistematika fitoplanktona .....	7
4. MJERENJA FOTOSINTEZE U MORU .....	8
4.1. BIOMASA FITOPLANKTONA .....	8
4.2. INTENZITET FOTOSINTEZE .....	9
4.2.1. Metoda radioaktivnog izotopa ugljika ( $^{14}\text{C}$ ) .....	9
4.2.2. Metoda svijetlih i tamnih boca .....	10
5. ULOGE FITOPLANKTONA .....	12
5.1. Globalne klimatske promjene .....	13
5.2.1. Kruženje ugljika .....	14
6. LITERATURA: .....	16
7. SAŽETAK: .....	18
8. SUMMARY: .....	18

## **1. UVOD:**

Fotosintetski sustavi bez kisika pojavili su se prije otprilike 3,5 milijarde godina dok je fotosinteza s kisikom postala važnim procesom prije približno dvije milijarde godina (Stryer, Berg, Tymoczko, 2013). Kao nusprodukt fotosinteze u atmosferu se otpuštao kisik što je dovelo do drastične promjene u dotadašnjem načinu iskorištavanja resursa. Organizmi koji su se prilagodili novonastalim uvjetima počeli su koristiti kisik u metaboličkim reakcijama i dobivati puno više energije razgradnjom hrane pa je zbog toga došlo i do razvoja višestaničnih organizama. Fotosinteza je jedini važan biološki proces u kojem se djelovanjem energije Sunčevog zračenja anorganske tvari mogu pretvarati u organske spojeve. To je proces u kojem se svjetlosna energija pretvara u kemijsku energiju pomoću koje se ugljikov dioksid iz atmosfere i voda povezuju u brojne organske spojeve. Organizmi koji mogu iz anorganskih tvari primljenih iz okoliša sintetizirati organske spojeve nazivaju se autotrofi. Fotoautotrofi pri pretvorbi tvari koriste svjetlosnu energiju dok kemoautotrofi koriste kemijsku energiju oslobođenu u različitim kemijskim reakcijama. Fotosintezom se svake godine transformira 200 do 500 milijardi tona ugljika te se spojevi nastali fotosintezom koriste u životno važnim procesima i služe kao izvor energije za sve oblike života.

## 2. FOTOSINTEZA

Fotosinteza se odvija u nekim bakterijama, jednostaničnim eukariotima i biljkama te usprkos velikim razlikama tih organizama, mehanizam fotosinteze u svima je vrlo sličan. Općenita kemijska jednačba fotosinteze glasi:  $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + (\text{CH}_2\text{O})$  (Nelson i Cox, 2013). Fotosinteza u biljaka može se podijeliti na dva procesa: svjetlosne reakcije ili primarni procesi fotosinteze i reakcije tame ili sekundarni procesi fotosinteze ili Calvinov ciklus (Slika 1.).

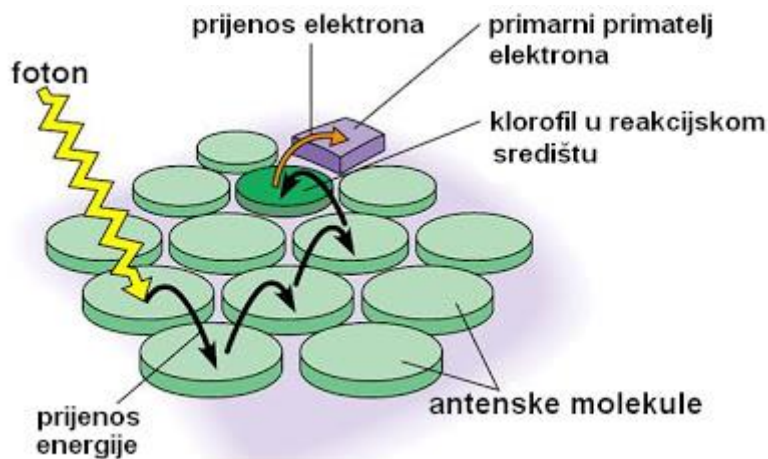


**Slika 1.** Primarne i sekundarne reakcije fotosinteze; Preuzeto iz <http://instrukcije-kemija.blogspot.com>

### 2.1. Svjetlosne reakcije ili primarni procesi fotosinteze

U svjetlosnim reakcijama Sunčeva se energija pretvara u kemijsku energiju. Svjetlosne reakcije koriste Sunčevu energiju za redukciju  $\text{NADP}^+$  u NADPH. U tim reakcijama dodavanjem fosfatne skupine na ADP u procesu fotofosforilacije nastaje i ATP (Pevalek - Kozlina, 2003). Općenito, proces fotosinteze se sastoji iz niza oksido-redukcijskih reakcija u kojima se elektroni prenose s jedne molekule na drugu (Stryer, Berg, Tymoczko, 2013). Fotosintetski organizmi za apsorpciju Sunčeve svjetlosti trebaju fotosintetske pigmente od kojih su najvažniji zeleni pigmenti, klorofili, koji apsorbiraju plavu i crvenu svjetlost. (Pevalek - Kozlina, 2003). Osim klorofila *a* koji je najvažniji za proces fotosinteze, u biljkama i nekim algama prisutan je i klorofil *b*. Na tilakoidnim membranama kloroplasta se također nalaze i pomoćni pigmenti,

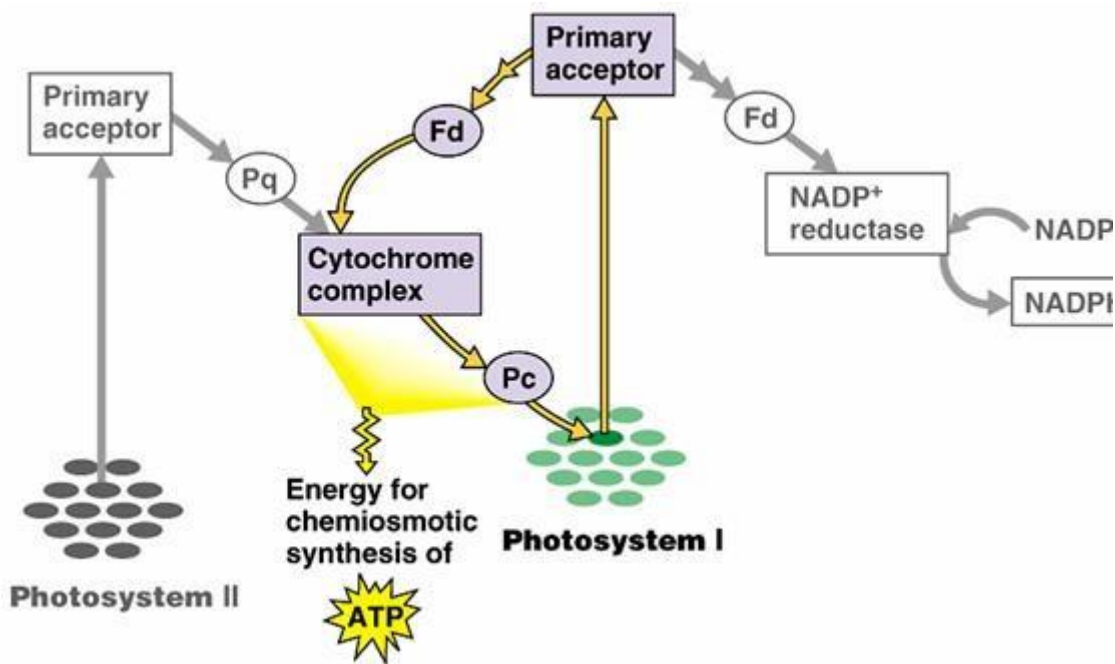
karotenoidi. Smeđe alge i alge kremenjašice kao pigmente imaju ksantofile, odnosno derivate karotena, a crvene alge i cijanobakterije imaju fikobiline. Oni nisu toliko učinkoviti kao klorofili. Pomoćni pigmenti apsorbiraju svjetlosnu energiju i prenose je na molekule klorofila (Slika 2.). Prijenos energije je uvijek usmjeren prema pigmentu koji apsorbira svjetlost većih valnih duljina nego molekula koja daje energiju (Pevalek - Kozlina,2003).



**Slika 2.** Prijenos svjetlosne energije preko pomoćnih pigmenata do molekule klorofila u reakcijskom središtu; Preuzeto iz <http://instrukcije-kemija.blogspot.com>

Apsorbirajući pigmenti tilakoida i bakterijskih membrana organizirani su u funkcionalne skupine poznate kao fotosistemi. Svi pigmenti fotosistema mogu apsorbirati fotone, ali samo klorofil *a* koji se nalazi u reakcijskom središtu sposoban je pretvarati svjetlosnu u kemijsku energiju. Ostale molekule pigmenata nazivaju se antenskim molekulama a uloga im je primanje i prijenos energije do reakcijskog središta (Nelson i Cox,2013). Gotovo svi kemijski procesi koji čine svjetlosne reakcije provode se preko pet proteinskih kompleksa: fotosistema II, kompleksa citokrom *b<sub>6</sub>f*, fotosistema I, NADP<sup>+</sup> reduktaze i ATPaze (Pevalek - Kozlina,2003). Energija svjetlosti koristi se za pretvorbu klorofila iz slabog u vrlo snažan reducens. U reakcijskom središtu fotosistema I nalazi se specijalizirana molekula klorofila *a*, koja se označava kao P700, a maksimalno apsorbira tamnocrvenu svjetlost valne duljine od 700 nm. U reakcijskom središtu fotosistema II nalazi se molekula klorofila *a*, koja se označava kao P680, a maksimalno apsorbira crvenu svjetlost valne duljine od 680 nm. Ta dva fotosistema su fizički i kemijski odvojeni. Svaki od njih ima svoje vlastite antenske pigmente i reakcijsko središte, a međusobno su povezani transportnim lancem elektrona (Slika 3.). Zbog toga što funkcioniraju zajednički,

brzina fotosinteze pri izloženosti crvenoj i tamnocrvenoj svjetlosti veća je od zbroja brzina fotosinteze pri izloženosti svakoj od tih svjetlosti zasebno. Fotosistem I stvara jaki reducens sposoban reducirati  $\text{NADP}^+$  i slabi oksidans, a fotosistem II stvara vrlo jak oksidans koji može oksidirati vodu i slabiji reducens koji re-reducira oksidans koji je nastao djelovanjem fotosistema I (Nelson i Cox,2013). Elektrone od jednog do drugog fotosistema prenose molekule koje funkcioniraju kao nosači elektrona. Proces prenošenja ide tako da se elektron iz fotoaktiviranog reakcijskog središta fotosistema II prenosi prvo na čvrsto vezanu molekulu plastokinona i dalje na pokretne plastokinone, zatim na citokrom  $b_{559}$ , te na citokrom  $c_{552}$ . Posljednji prenositelj elektrona između fotosistema II i fotosistema I je plastocijanin. Prijenos elektrona s reduciranog plastocijanina na oksidirani oblik P700 omogućava tom reakcijskom središtu da, kada se ponovno osvjetli, posluži kao donor elektrona za nastanak NADPH (Pevalek - Kozlina,2003).



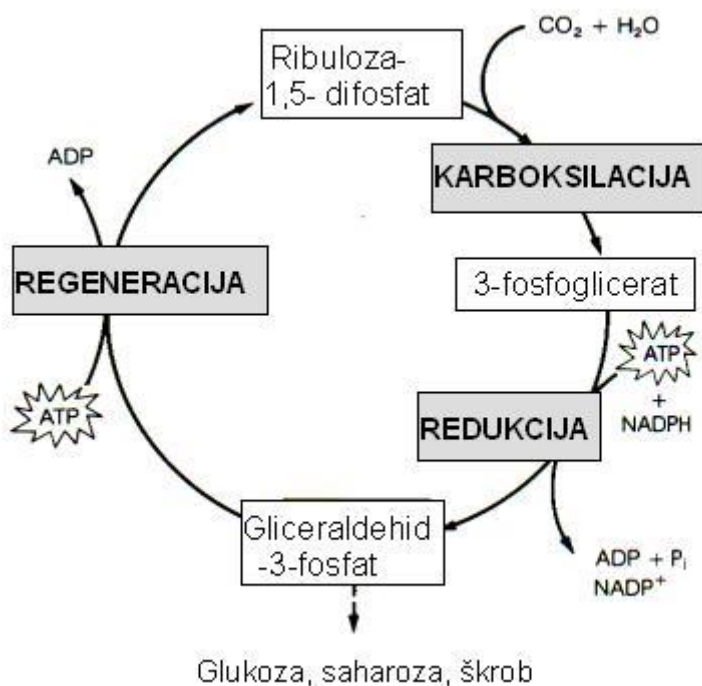
**Slika 3.** Prikaz fotosistema I i II povezanih transportnim lancem elektrona;Preuzeto iz

<http://mandevillehigh.stpsb.org>

## 2.2. Calvinov ciklus ili sekundarni procesi fotosinteze

Calvinov ciklus obuhvaća reakcije ugradnje  $\text{CO}_2$  u organske spojeve, odnosno reakcije redukcije  $\text{CO}_2$  do ugljikohidrata za koje su nužni NADPH i ATP iz svjetlosnih reakcija (Pevalek - Kozlina, 2003). Ciklus se može podijeliti na tri dijela: karboksilaciju, redukciju i regeneraciju.

U prvom dijelu enzim ribuloza-1,5-difosfat karboksilaza/oksigenaza (RUBISCO) vrši karboksilaciju molekule ribuloza-1,5-difosfata pri čemu nastaje molekula 3-fosfoglicerata. Zatim se u redukcijском dijelu 3-fosfoglicerat fosforilira do 1,3-difosfoglicerata pomoću ATPa koji potječe iz svjetlosnih reakcija. 1,3-difosfoglicerat se reducira do gliceraldehid-3-fosfata koristeći NADPH koji je također nastao u svjetlosnim reakcijama. Taj proces je kataliziran enzimom gliceraldehid-3-fosfat dehidrogenazom. Zadnji korak služi za regeneraciju ribuloza-1,5-difosfata. Regeneracija se događa pregrupiranjem ugljika tako da od 5 molekula trioza fosfata nastaju 3 molekule ribuloza-1,5-difosfata (Pevalek - Kozlina, 2003).



**Slika 4.** Calvinov ciklus; Preuzeto iz <http://e-skola.biol.pmf.unizg.hr>

### 3. FOTOSINTEZA U MORU

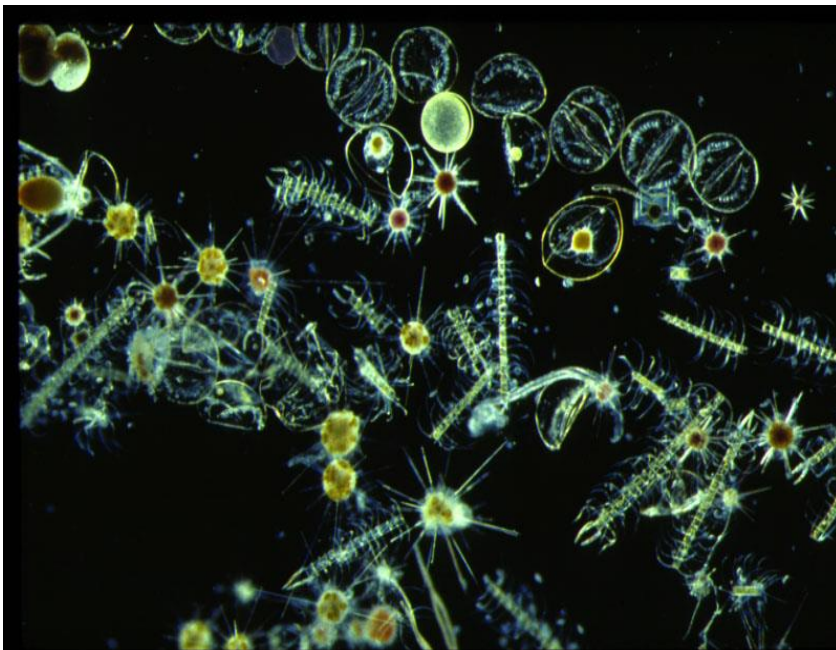
Fotosinteza u moru se događa na relativno tankom površinskom sloju u kojem ima dovoljno svjetla, do 150 m dubine. Autotrofni organizmi u moru dijele se na organizme pelagičkog i bentičkog dijela morskog okoliša. Pelagički dio čine fitoplanktonski organizmi, dok je najveći



dio bentičke primarne produkcije vezan uz mangrove, obalne močvare ali i uz simbiotske alge u koraljima. Alge i vaskularne biljke čine tek manji dio ukupne fotosinteze u moru dok više od 80% fotosinteze vrše fitoplanktonski organizmi koji obitavaju u eufotičkoj zoni mora (do dubine od 100 m).

### 3.1. Fitoplankton

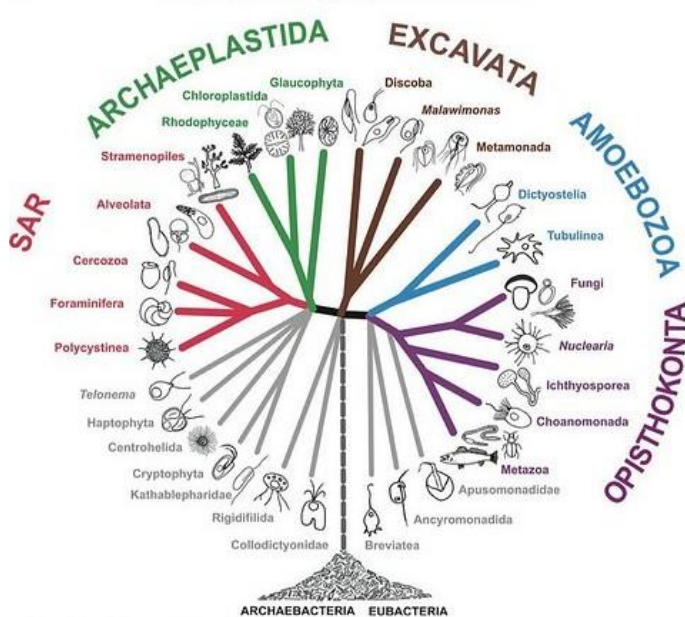
Organizmi koji naseljavaju slobodnu vodu, a većinom su slabo pokretni, nazivaju se planktonom. Fitoplankton se sastoji od jednostaničnih algi, alga čije su stanice povezane u kolonije te od jednostaničnih i višestaničnih cijanobakterija (Slika 5.). Do danas je opisano oko 4000 marinskih vrsta fitoplanktona. To su autotrofni ili miksotrofni organizmi koji se nalaze u površinskom dijelu mora. Osim u moru, razvija se u jezerima i drugim kopnenim stajačicama (limnoplankton) te u velikim rijekama (potamoplankton), odakle može dospjeti do ušća (Viličić, 2003).



**Slika 5.** Morski fitoplankton; Preuzeto iz <http://www.marinephytoplankton.org>

### 3.1.1. Sistematika fitoplanktona

Prema posljednjoj taksonomiji, napravljenoj na osnovi molekularne filogenije, domena Eucaryota se dijeli u 5 grupa: Amoebozoa, Opisthokonta, Excavata, SAR i Archaeplastida (Slika 6.). Vrste koje smatramo fitoplanktonom pripadaju u SAR i Archaeplastida.



**Slika 6.** Filogenetsko stablo domene Eucaryota; Preuzeto iz Adl et al., 2012

Prema veličini stanica fitoplankton se dijeli u 3 frakcije (Viličić, 2003.):

1. mikrofitoplankton (20 – 200  $\mu\text{m}$ )
2. nanofitoplankton (2 – 20  $\mu\text{m}$ )
3. pikofitoplankton (0,2 - 2  $\mu\text{m}$ )

Najveći dio mikrofitoplanktona čine alge kremenjašice (dijatomeje), zatim svjetleći bičaši i kokolitoforidi a u nanofitoplankton i pikofitoplankton pripadaju kriptofita i cijanobakterije. U svjetskim morima poznato je oko 4000 vrsta fitoplanktona, dok je u Jadranu poznato 888 vrsta. Najviše je alga kremenjašica, 518 vrsta, potom 264 vrste svjetlećih bičaša, 101 vrsta haptofita, po 2 vrste zlatno-smeđih alga i zelenih bičaša te 1 vrsta rafidofita (Viličić i sur. 2002).

## 4. MJERENJA FOTOSINTEZE U MORU

Generalno gledano, fotosintezu u moru mjerimo pomoću dva parametra: porast biomase fotosintetskih organizama ili sam intenzitet fotosinteze. Količina primarne produkcije stoga se može izraziti kao masa ugljika po jedinici površine po jedinici vremena ( $\text{g C/m}^2/\text{godišnje}$ ). Biomasa se najčešće izražava kao koncentracija klorofila *a* dok se brzina kojom raste populacija, odnosno, brzina fotosinteze određuje mjerenjem količine  $^{14}\text{C}$  koji se ugrađuje u glukozu tijekom fotosinteze. Osim šećera, kao produkt fotosinteze nastaje i kisik, ali njega istodobno troše heterotrofi stoga je kisik samo posredni pokazatelj brzine fotosinteze fitoplanktona u uvjetima kada se više kisika stvara nego troši (Viličić, 2003).

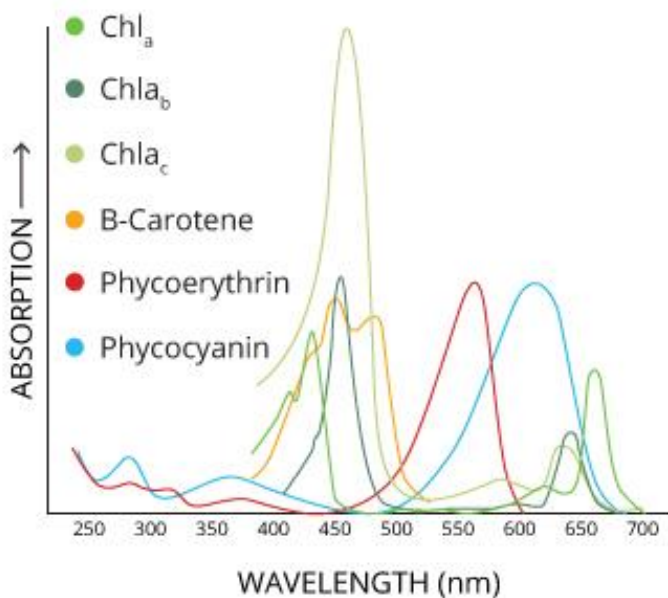
### 4.1. BIOMASA FITOPLANKTONA

Biomasa fitoplanktona može se izraziti koncentracijom klorofila *a* ili koncentracijom organskog ugljika u jedinici volumena vode. Mjerenje koncentracije klorofila vrši se pomoću spektrofotometrije. Spektrofotometrija je način određivanja koncentracije materijala u uzorku mjerenjem količine svjetla koju je uzorka apsorbirao. Klorofil se prvo ekstrahira acetonom, homogenizira i nakon toga se mjeri fluorescencija. Za detekciju i izračunavanje biomase različitih taksonomskih kategorija fitoplanktona koristi se fluorescencija pigmenta karakterističnih za pojedinu vrstu (Slika 7.) (Viličić, 2003).

Taxonomic Group	Photosynthetic Pigments
Cyanobacteria	chlorophyll <i>a</i> , chlorophyll <i>c</i> , phycocyanin, phycoerythrin
Chloroxybacteria	chlorophyll <i>a</i> , chlorophyll <i>b</i>
Green Algae (Chlorophyta)	chlorophyll <i>a</i> , chlorophyll <i>b</i> , carotenoids
Red Algae (Rhodophyta)	chlorophyll <i>a</i> , phycocyanin, phycoerythrin, phycobilins
Brown Algae (Phaeophyta)	chlorophyll <i>a</i> , chlorophyll <i>c</i> , fucoxanthin and other carotenoids
Golden-brown Algae (Chrysophyta)	chlorophyll <i>a</i> , chlorophyll <i>c</i> , fucoxanthin and other carotenoids
Dinoflagellates (Pyrrhophyta)	chlorophyll <i>a</i> , chlorophyll <i>c</i> , peridinin and other carotenoids
Vascular Plants	chlorophyll <i>a</i> , chlorophyll <i>b</i> , carotenoids

**Slika 7.** Morski autotrofni organizmi i pripadni fotosintetski pigmenti; Preuzeto i prilagođeno iz [www.expertsmind.com/topic/biology/microbiology](http://www.expertsmind.com/topic/biology/microbiology)

Na primjer, kod klorofila *a* ekscitacijska svjetlost je valne duljine od 365 nm koja daje maksimalnu fluorescenciju, tj. emisiju valne duljine od 450 nm (Viličić, 2003). Kokolitoforidi sadrže ksantofile koje ekscitiramo pomoću svjetlosti valne duljine od 493 nm, dok kriptofita sadrže fikoeritrine i u tom slučaju koristimo svjetlost valne duljine od 547 nm (Slika 8.). Za cijanobakterije karakteristična ekscitacijska svjetlost je valne duljine od 580 nm te one sadrže pigmente fikobiline. Osim navedene metode, postoji još nekoliko načina za utvrđivanje sastava i koncentracije pigmenata a najbolja metoda koja se koristi u tu svrhu je tekućinska kromatografija visoke djelotvornosti (engl. high performance liquid chromatography, HPLC). Jedino se tom metodom može odrediti taksonomski sastav nanoplanktona i pikoplanktona.



**Slika 8.** Apsorpcijski spektri fotosintetskih pigmenata; Preuzeto iz <https://www.fondriest.com/environmental-measurements/parameters/water-quality/algae-phytoplankton-chlorophyll/>

## 4.2. INTENZITET FOTOSINTEZE

### 4.2.1. Metoda radioaktivnog izotopa ugljika ( $^{14}\text{C}$ )

Fotosinteza u moru najčešće se mjeri metodom pomoću radioaktivnog izotopa ugljika ( $^{14}\text{C}$ ). Otopljeni anorganski ugljik (bikarbonat) obilježava se poznatom količinom radioaktivnog izotopa ugljika ( $^{14}\text{C}$ ). Uzorci se skupljaju u boce te se inkubiraju na određenoj dubini. Prije

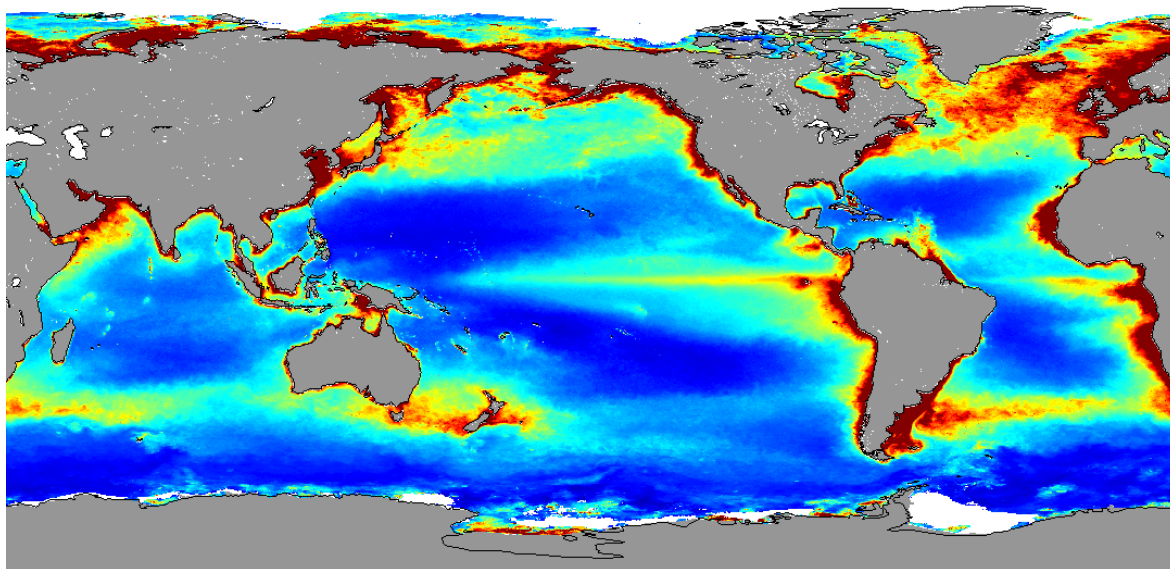
inkubiranja je potrebno uzorke profiltrirati kroz planktonsku mrežu s porama veličine od 250 $\mu$ m da bi se uklonio krupniji zooplankton. Nakon što se izvade iz mora, uzorci se stavljaju namembranu filtra. Također je potrebno ukloniti sav preostali anorganski ugljik. Nakon toga semjeri radioaktivnost ugljika pomoću uređaja koji se naziva tekućinski scintilacijski brojač (Liquid Scintillation Counter, LSC) da bi se kvantificirala količina organskog ugljika koju je fotosintetski organizam (fitoplankton) asimilirao (ugradio) (Cullen, 2001). Metoda nije u potpunosti točna, procjenjuje se da postotak pogreške iznosi  $\pm 30\%$ .

Za mjerenje fotosinteze koristi se i metoda stabilnih izotopa kisika ( $^{16}\text{O}$ ,  $^{17}\text{O}$  i  $^{18}\text{O}$ ). Mjeri se bruto primarna proizvodnja iz uzoraka vode označene nekim od izotopa kisika. Detekcija se provodi masenom spektrometrijom a iznos neto fotosinteze uzima se kao povećanje količine kisika u svijetloj boci (Cullen, 2001).

#### **4.2.2. Metoda svijetlih i tamnih boca**

Prije no što se počela koristiti metoda radioaktivnog izotopa ugljika ( $^{14}\text{C}$ ), glavna metoda za mjerenje primarne produkcije (fotosinteze) bila je metoda svijetlih i tamnih boca. Za potrebe ove metode koriste se tri boce u koje se pohranjuje jednak volumen vode uzete s istog područja. Upotrebljavaju se svijetla boca, tamna boca i boca koja služi kao kontrolni uzorak. U svijetloj boci odvijaju se procesi fotosinteze pri čemu nastaje kisik, no dio novonastalog kisika fotosintetski organizam troši na respiraciju. U tamnoj boci ne dolazi do fotosintetskih reakcija zbog nedostatka Sunčeve svjetlosti te se u njoj odvijaju samo procesi respiracije. Nakon što se uzorci vode pohrane u sve tri boce, svijetla i tamna boca se vraćaju na područje odakle su uzorci uzeti te se ostavljaju tamo određeno vrijeme. U kontrolnoj boci se mjeri količina kisika odmah pri vađenju uzoraka. Nakon perioda provedenog u moru, svijetla i tamna boca se vade van te se mjeri količina kisika koju sadržavaju i uspoređuje s količinom kisika u kontrolnoj boci. Količina kisika u svijetloj boci bi trebala biti veća u odnosu na kontrolnu bocu jer se u njoj naknadno odvijala fotosinteza, dok bi u tamnoj boci trebala biti manja količina kisika zbog potrošnje tijekom respiracije. Neto primarnu proizvodnju računamo kao razliku u količini kisika u kontrolnoj i svijetloj boci. Količinu potrošenog kisika za proces respiracije možemo izračunati tako da izračunamo razliku u količini kisika u kontrolnoj i tamnoj boci. Razlika u količini kisika u svijetloj i tamnoj boci pak predstavlja količinu bruto primarne produkcije. Metoda nije pouzdana zbog toga što se u uzrocima vode osim autotrofnih organizama nalaze i heterotrofni organizmi koji utječu na količinu kisika.

Za razliku od opisanih metoda kojima se direktno mjeri stopa fotosinteze, koriste se i satelitske snimke koje indirektno procjenjuju stopu fotosinteze tako što mjere površinsku boju oceana pomoću skenera za boju obalnog područja koji se nalazi na satelitu (Slika 9.).



**Slika 9.** Globalna oceanska primarna proizvodnja (fotosinteza); Preuzeto iz <http://www.science.oregonstate.edu/ocean.productivity/custom.php>

## 5. ULOGE FITOPLANKTONA

Fitoplankton je neophodan za normalno odvijanje procesa u moru. Hranidbena piramida u moru se sastoji od niza trofičkih slojeva a dno piramide čini fitoplankton i zbog toga je vrlo važan kao hrana za zooplankton i organizme vršnih slojeva. Osim toga, fitoplanktonski organizmi imaju potencijal da nam koriste kao indikatori hidro- klimatskih promjena te govore i o drugim posljedicama u okolišu kao što je acidifikacija oceana koja se događa uslijed sagorijevanja fosilnih goriva i eutrofikacije. Ipak, primarna uloga fitoplanktona je vršenje procesa fotosinteze. Unutar povoljnih uvjeta u okolišu kao što su dovoljna koncentracija nutrijenata, snižen salinitet vode, dovoljna količina svjetlosti i stabilne vremenske prilike, fitoplankton može doživjeti nagli rast i tada započinje proces fotosinteze. Ta pojava nastanka oblaka fitoplanktona poznata je kao „cvjetanje fitoplanktona“ (Slika 10.). To masovno razmnožavanje oboji površinu mora te ono postane zelene, žute, crvene ili smeđe boje. Promjena boje mora pogoduje satelitskom praćenju fitoplanktonskog cvjetanja što je važno jer postoje vrste fitoplanktona koje su toksične te mogu izazvati trovanje morskih organizama, ali i ljudi. Razvijen oblak fitoplanktona značajan je za prehranu i razvoj herbivora (heterotrofni protista i zooplankton) (Viličić, 2003). Oni prehranom postupno smanjuju fitoplanktonski oblak te nakon nekog vremena preostaje „oblak herbivora“. Izmjena između „oblaka herbivora“ i „oblaka fitoplanktona“ je vrlo dinamičan proces. Smanjenjem oblaka fitoplanktona, smanjuje se količina hrane za herbivore pa time i same populacije herbivora, dok herbivori oslobađaju produkte metabolizma (amonijak i organske molekule) te tako regeneriraju nutrijente potrebne za ponovni razvoj gustih populacija fitoplanktona.



**Slika 10.** Cvjetanje fitoplanktona; Preuzeto iz <http://earthsky.org/>

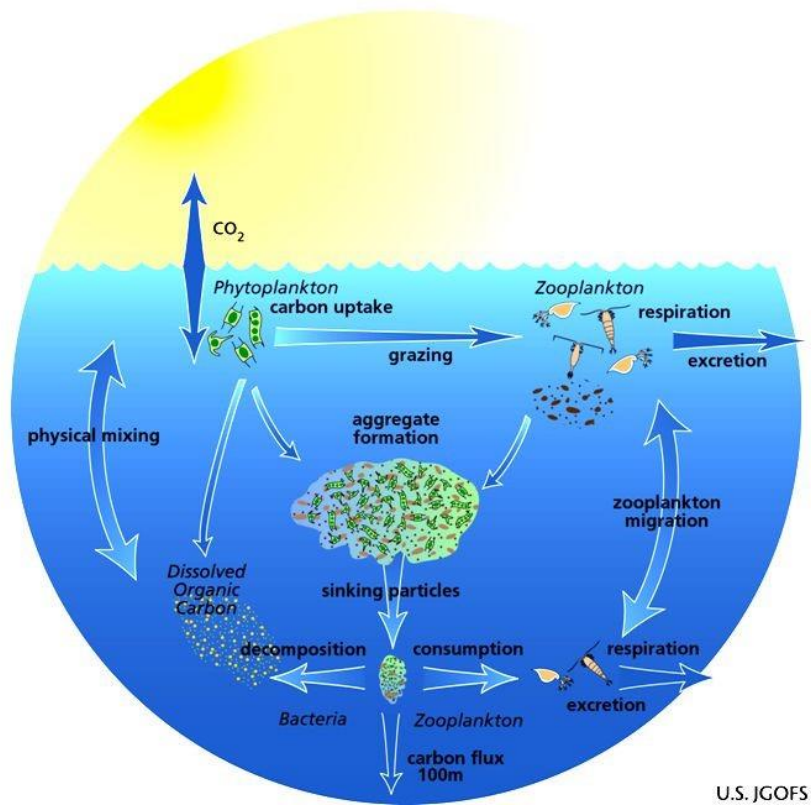
## 5.1. Globalne klimatske promjene

Klima na Zemlji je sustav u kojem se stalno događaju promjene zbog utjecaja različitih prirodnih čimbenika a tijekom posljednjih 100 godina porast ljudskih aktivnosti neposredno je utjecao na klimatske promjene (Zaninović, 2008). S industrijskom revolucijom krajem osamnaestog stoljeća koncentracija stakleničkih plinova ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  i troposferskog ozona) u atmosferi počela je rasti doprinoseći dodatnom povećanju temperature (Zaninović, 2008). Staklenički plinovi propuštaju kratkovalno Sunčevo zračenje a apsorbiraju dugovalno sprječavajući na taj način hlađenje zemljine površine. Mjerenja pokazuju da porast srednje globalne temperature zraka u posljednjih 80 do 100 godina iznosi 0,3 do 0,6 °C i to je najveći porast u posljednjih 1000 godina. Zbog povećanja temperature dolazi do sve bržeg zagrijavanja atmosfere i oceana, otapanja polarnog leda i porasta razine mora (Viličić, 2013). Sve te promjene nisu pogodne za život na Zemlji i moraju biti spriječene. Vezivanjem ugljičnog dioksida ( $\text{CO}_2$ ) iz atmosfere procesom fotosinteze i oslobađanjem kisika ( $\text{O}_2$ ), fitoplankton, pogotovo dijatomeje koje dominiraju u zajednici fitoplanktona su glavni članovi biogeokemijskog ciklusa ugljika i regulatori koncentracije ugljikovog dioksida na Zemlji.



### 5.2.1. Kruženje ugljika

Izmjena ugljikova dioksida između atmosfere i mora događa se na površini mora. Sloj mora do 80 m dubine, odnosno, eufotička zona je najproduktivniji i u njemu se odvija potrošnja ugljikova dioksida u procesu fotosinteze. Količina CO<sub>2</sub> u atmosferi iznosi 10<sup>11</sup> tona a vrijeme njegovog zadržavanja u atmosferi je oko 4,5 godina (Viličić, 2003). Oko polovice od ukupne količine CO<sub>2</sub> kruži u biosferi a ostatak je otopljen u morskoj vodi. Uz primarnu proizvodnju (fotosintezu) u moru se veže i pojam „biološka pumpa“ koji označava kruženje ugljika u kojem glavnu ulogu ima fitoplankton (Slika 11.). Fitoplankton tijekom fotosinteze fiksira CO<sub>2</sub>, N, F i ostale elemente u tragovima ( Fe,Zn,Ba...) te ih pretvara u organske tvari (ugljikohidrate, lipide, proteine). Potom nastale organske čestice tonu na morsko dno. Na putu prema većim morskim dubinama ta organska tvar ili biva razgrađena pomoću mikroorganizama ili se agregira te zbog toga brže tone. Organska tvar u moru se može podijeliti na otopljenu organsku tvar (engl. dissolved organic matter, DOM) i suspendiranu organsku tvar (engl. particulate organic matter, POM). Otopljena organska tvar se dijeli na koloidne čestice (1 nm – 0,7 mikrometara) i na stvarno otopljene čestice, molekule i ione (do 1 nm). Suspendiranu organsku tvar čine čestice veće od 0,5 μm poznate pod imenom „morski snijeg“ koji se sastoji od fitoplanktona, fekalnih grudica, dijelova zooplanktona, anorganskih čestica i detritusa (Viličić, 2003). Morski snijeg je veće mase te brže tone. Potonula organska tvar se može ili sedimentirati na morsko dno i ostati tamo milijunima godina ili se nakon miješanja stupca vode vraća na površinu gdje biva ponovno iskorištena. U moru je također važna ravnoteža između CO<sub>2</sub>, njegove potrošnje te bikarbonata i ugljične kiseline zbog inkrustriranja vapnenca kod alga koje sudjeluju u stvaranju koraljnih grebena. Koncentracija bikarbonata u moru je veća kad je fotosintetska potrošnja CO<sub>2</sub> manja.



U.S. JGOFS

Slika 11. Biološka pumpa; Preuzeto iz <http://www.news.ucsb.edu>

## 6. LITERATURA:

Adl, S.M.; Simpson, A.G.; Lane, C.E.; Lukeš, J.; Basse, D.; Bowser, S.S.; Brown, M.; Burki, F.; Dunthorn, M.; Hampl, V.; Heiss, A.; Hoppenrath, M.; Lara, E.; leGall, L.; Lynn, D.H.; McManus, H.; Mitchell, E.A.D.; Mozley-Stanridge, S.E., Parfrey, L.W., Pawlowski, J., Rueckert, S.; Shadwick, L.; Schoch, C.; Smirnov, A.; Spiegel, F.W. (2012.): The revised classification of eukaryotes. *Journal of eukaryotic microbiology*, **59**, 429–493

Berg J. M., Tymoczko J. L., Stryer L. (2013): *Biokemija*, Školska knjiga, Zagreb, 560-561

Cox, M. M., Nelson, D. L. (2013): *Lehninger Principles of Biochemistry*. W. H. Freeman and Company, 769-812

Cullen, J. J. (2001.) :Primary production methods, 2277-2284

Pevalek- Kozlina B. (2003.): *Fiziologija bilja*, Profil, Zagreb, 171-178

Smith, F. A. ; Walker, N. A. (1980.): Photosynthesis by aquatic plants; effects of unstirred layers in relation to assimilation of CO<sub>2</sub> and HCO<sub>3</sub> and to carbon isotopic, *New Phytol.* **86**,246-250

Viličić, D. (2013.): *Jadran i globalne promjene*, *Priroda*, 22-28

Viličić, D., (2003.): *Fitoplankton u ekološkom sustavu mora*, Školska knjiga, Zagreb, 6-14; 18-22; 38-48

Viličić, D. (2002.): *Fitoplankton Jadranskoga mora. Biologija i taksonomija*. Školska knjiga, Zagreb

Zaninović, K. (2008.): *Klimatske promjene i utjecajna zdravlje*, *Infektološki glasnik* **28**, 5-11

<http://earthsky.org/>

<http://e-skola.biol.pmf.unizg.hr>

<http://instrukcije-kemija.blogspot.com>

<http://mandevillehigh.stpsb.org>

<https://www.fondriest.com/environmental-measurements/parameters/water-quality/algae-phytoplankton-chlorophyll/>

<http://www.news.ucsb.edu>

<http://www.marinephytoplankton.org>

<http://www.science.oregonstate.edu/ocean.productivity/custom.php>

[www.expertsmind.com/topic/biology/microbiology](http://www.expertsmind.com/topic/biology/microbiology)

## **7. SAŽETAK:**

Fotosinteza je proces u kojem autotrofni organizmi stvaraju organsku tvar iz ugljikovog dioksida kojeg uzimaju iz atmosfere ili vode. To je vrlo složen proces i može se podijeliti na više odvojenih reakcija. Osim na kopnu, odvija se i u moru. Proces fotosinteze je važan za sva živa bića zbog toga što nastaje kisik koji je nužan za opstanak većine živih organizama. Osim kao izvor energije, fotosinteza morskih organizama je važna zbog uklanjanju viška ugljikovog dioksida, koji je uz ostale plinove zaslužan za „efekt staklenika“, iz atmosfere.

## **8. SUMMARY:**

Photosynthesis is a process in which autotrophic organisms produce an organic substance from carbon dioxide taken from the atmosphere or water. This is a very complex process and can be divided into several separate reactions. Beside on the mainland, it takes place in the sea as well. The photosynthesis process is important for all living beings because of the oxygen production that is necessary for the survival of most living organisms. Except as a source of energy, photosynthesis of marine organisms is important for removing excess carbon dioxide, which, besides other gases, is credited with the "greenhouse effect" from the atmosphere.