

# Fitoplankton u Jadranskom moru

---

Šunić, Iva

Undergraduate thesis / Završni rad

2017

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:217:480028>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-27**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
PRIRODOSLOVNO- MATEMATIČKI FAKULTET  
BIOLOŠKI ODSJEK

FITOPLANKTON U JADRANSKOM MORU  
PHYTOPLANKTON IN THE ADRIATIC SEA

SEMINARSKI RAD

Iva Šunić

Preddiplomski studij biologije

(Undergraduate Study of Biology)

Mentor: izv. prof. dr. sc. Zrinka Ljubešić

Zagreb, 2017.

## SADRŽAJ

1. UVOD .....	2
2. ŠTO JE FITOPLANKTON?.....	2
2.1. Sistematika.....	2
2.2. Uloge.....	4
3. JADRANSKO MORE.....	6
3.1. Salinitet.....	7
3.2. Prozirnost.....	7
3.3. Temperatura.....	7
3.4. Klima.....	7
3.5. Vjetrovi.....	7
3.6. Morske struje i cirkulacije.....	8
4. METODE ISTRAŽIVANJA.....	8
4.1. Skupljanje uzoraka.....	8
4.2. Laboratorij.....	9
4.3. Molekularno- biološke metode.....	10
4.4. Sateliti.....	10
5. Fitoplankton u Jadranskom moru.....	11
5.1. Sjeverni Jadran.....	11
5.2. Srednji Jadran.....	12
5.3. Južni Jadran.....	13
6. LITERATURA.....	14
7. SAŽETAK.....	18
8. SUMMARY.....	18

## 1. UVOD

Većina ljudi na mora i oceane gleda kao na izvor hrane i to u pogledu ribe i morskih plodova. Međutim cijela priča je mnogo kompleksnija. Da bi svi ti organizmi mogli preživjeti i njima treba hrana, a toj hrani treba hrana itd. Prva karika svih hranidbenih lanaca u moru je fitoplankton. Fitoplankton su fotosintetski organizmi, mogu biti jednostanične ili kolonijalne alge (mikroorganizmi) koji lebde slobodno u stupcu vode. Osim te uloge fitoplankton je i važan primarni proizvođač te je odgovoran za 46,2% ukupne primarne proizvodnje u biosferi (Field et al., 1998.). Na taj način reguliraju i kruženje ugljika, proces veoma važan za sve organizme na Zemlji. Dio tog procesa je i biološka pumpa u kojoj fitoplankton ima glavnu ulogu jer fiksira atmosferski CO<sub>2</sub> i time smanjuje njegovu količinu u atmosferi.

Na količinu fitoplanktona (i primarnu proizvodnju) najviše utječe količina mineralnih hranjivih tvari (nutrijenti). Nutrijenta ima relativno jednako u svim morima, ali nisu svugdje jednako dostupni. U morima u kojima dolazi do miješanja vodenih masa su dostupniji. Na miješanje vodenih masa utječu vjetrovi, morske struje te hidrografska svojstva mora.

Istraživanja fitoplanktona su važna zbog razumijevanja biokemijskih procesa u morima i oceanima, razumijevanja procesa kao što su eutrofikacija i cvjetanje mora, te za uvid u bioraznolikost mora.

## 2. ŠTO JE FITOPLANKTON ?

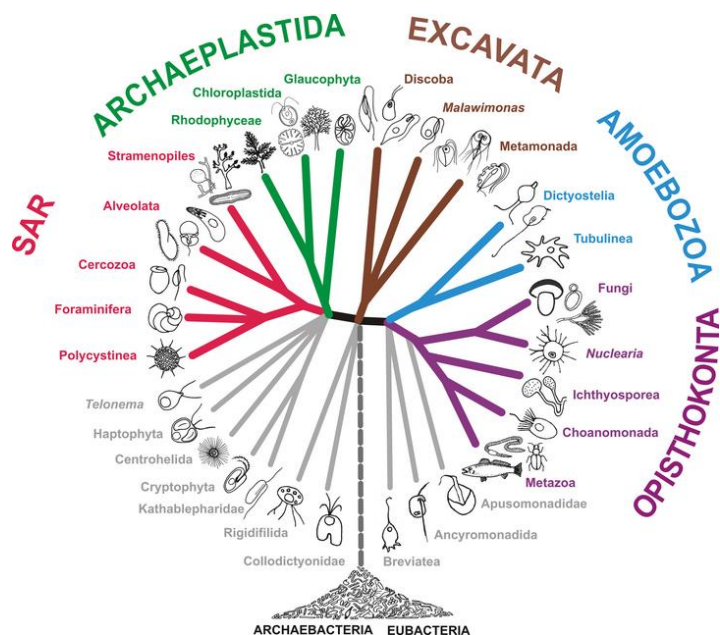
Fitoplankton je jednostanični mikroorganizmi koji žive u moru, a hrane se autotrofno ili miksotrofno. Nalazimo ih u svim vodama na Zemlji i to u eufotičkoj zoni – do dubine od 100 m. Tijelo algi (talus) nije građen od tkiva niti organa već ga čini pojedinačna stanica ili nakupina stanica u obliku kolonija, niti, pseudoparenhima itd. Oblik stanica, struktura stanične stijenke te oblik i ultrastruktura drugih staničnih organela su važni za taksonomiju (Viličić, 2002.).

### 2.1. SISTEMATIKA

„Fitoplankton“ nije sistematska kategorija već tradicionalni naziv. Službeno se vrste koje pripadaju u fitoplankton dijele u dva carstva, Monera i Protoctista. Carstvu Monera pripadaju prokariotske Cyanobacteria (Cyanophita), a carstvu Protoctista sve ostale eukariotske vrste (prema starijoj taksonomiji). Prema posljednjoj taksonomiji, napravljenoj na osnovi molekularne

filogenije, domena Eucaryota se dijeli u 5 grupa: Amoebozoa, Opisthokonta, Excavata, SAR i Archaeplastida (Slika 1.) (Adl et al., 2012.).

**Slika 1.** Filogenetsko stablo domene Eucaryota (Adl et al., 2012.)



Vrste koje smatramo fitoplanktonom pripadaju u SAR i Archaeplastida. Od prokariota u alge pripadaju cijanobakterije (modrozelenne alge) i proklorofita, a od eukariota glaukofita, euglenofita, dinofita, kriptofita, rafidofita, krizofita, klorofita i rodofita (Tablica 1.) (Viličić i sur. 2002.). Prema veličini stanica fitoplankton se dijeli u 3 frakcije (Sieburth i sur. 1978.):

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

Mikroftoplankton sadrži najviše alga kremenjašica (dijatomeje), svjetlećih bičaša i kokolitoforida, a kriptofita, zlatno-smeđe alge, svjetleći bičaši i cijanobakterije čine sitnije frakcije fitoplanktona. U svjetskim morima poznato je oko 4000 vrsta fitoplanktona (Sournia i sur. 1991.), 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.).

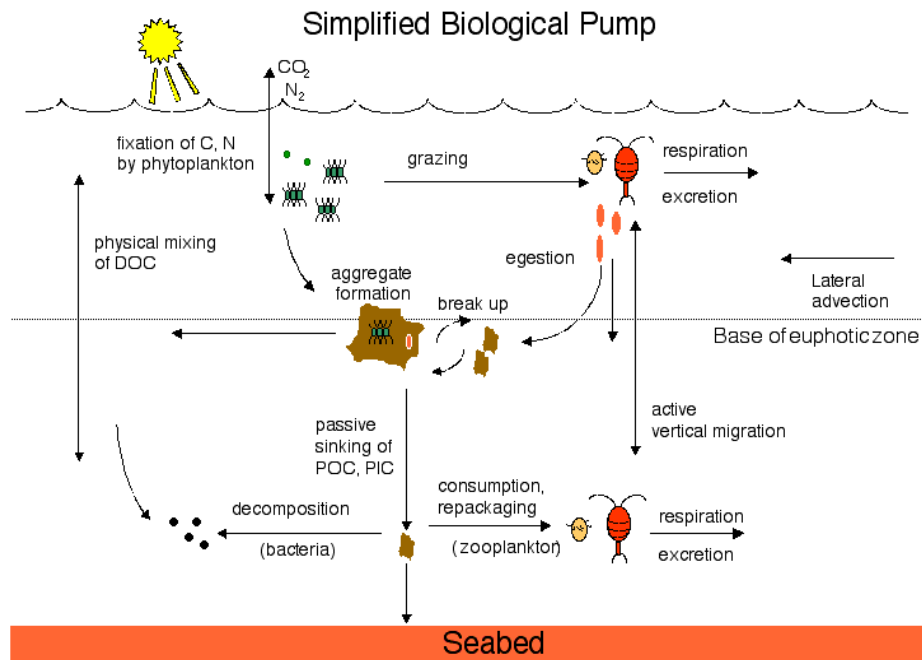
Tablica 1. Taksonomska podjela planktonskih autotrofa i miksotrofa (Viličić i sur. 2002.)

Latinski naziv	Hrvatski naziv
Nadcarstvo PROCARYONTA (PROCARYOTA)	
Carstvo Monera	
Odjel Cyanobacteria (Cyanophyta)	Cijanobakterije (modroz zelene alge)
Odjel Prochlorophyta	Prazelene alge
Nadcarstvo EUCARYONTA (EUCARYOTA)	
Carstvo Protoctista	
Odjel Glaucophyta	Glaukofita
Odjel Euglenophyta	Zeleni bičaći
Odjel Dinophyta	Svjetleći bičaći
Odjel Cryptophyta	Kriptofita
Odjel Raphidophyta	Rafidofita
Odjel Chrysophyta	Zlatno-smeđe alge
Odjel Chlorophyta	Zelene alge
Odjel Rhodophyta	Crvene alge

## 2.2. ULOGE

Hranidbeni lanci u moru su osobiti zbog velikog broja trofičkih slojeva, međutim svaki započinje istim, a to je fitoplankton. Bez njega ne bi bilo hrane za zooplankton, koji je hrana za veće organizme itd. Stoga je fitoplankton važan ne samo za bioraznolikost mora nego i za ekonomiju mnogih zemalja koje ovise o ribarstvu i industriji vezanoj uz ribolov. Zbog sposobnosti provođenja fotosinteze primarna uloga fitoplanktona je ipak primarna proizvodnja. Primarna proizvodnja je stopa proizvodnje biomase u obliku organske tvari iz ugljičnog dioksida koji može biti atmosferskog porijekla ili otopljen u vodi. Uz primarnu proizvodnju se veže i pojam „biološka pumpa“ koji zapravo označava kruženje ugljika u kojem glavnu ulogu ima fitoplankton. On u procesu fotosinteze provodi fiksaciju otopljenih anorganskih spojeva ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{Si(OH)}_4$  i sl.) te ih pretvara u organske tvari (ugljikohidrate, lipide, proteine) i biominerale ( $\text{SiO}_2$  i  $\text{CaCO}_3$ ) (Elderfield 2006.). Cijeli taj proces se odvija u eufotičkoj zoni tj. na

površini mora. Potom ta organska tvar tone na dno oceana zbog *grazinga* zooplanktona, mikrobiološke razgradnje ili uginuća fitoplanktona. Na putu prema većim morskim dubinama organska tvar se agregira, nastaje tzv. morski snijeg koji zbog veće mase brže tone. Potom se mogu dogoditi dvije stvari, ili će se organska tvar sedimentirati na morsko dno te tamo ostati i do nekoliko milijuna godina, ili se nakon zimskog miješanja stupca vode vraća na površinu gdje će biti ponovno iskorištena (Slika 2.) (Elderfield 2006.).



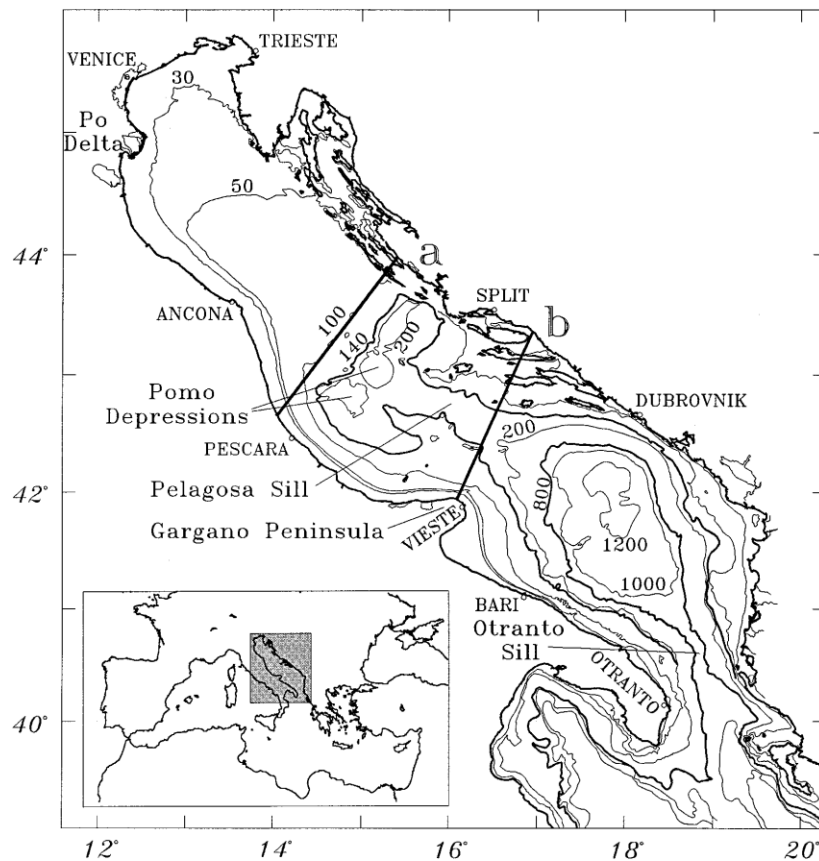
**Slika 2.** Prikaz procesa u biološkoj pumpi (Elderfield 2006.)

Uz to fotosinteza je važna i zbog toga što tim procesom nastaje kisik koji je bitan za sve organizme na Zemlji. Upravo zbog njega se razvio život na Zemlji. Naime prvi fotosintetski organizmi su bile cijanobakterije čiji fosili su nađeni u stromatolitima – kamenim strukturama u čijim se udubinama nalaze cijanobakterije. Datiranjem je utvrđeno da su te strukture stare i do 3.7 milijardi godina (Nutman i sur. 2016.). Pojavom fotosinteze oslobađa se sve veća količina kisika u atmosferu i nastaje ozonski omotač koji štiti od štetnog UV zračenja što omogućuje prelazak života na kopno. Dakle fotosintetske alge (fitoplankton) su imale veliku važnost u evoluciji živih organizama. Povrh toga, od te velike biomase algi koja se razvila zbog povoljnih uvjeta tijekom geološke prošlosti, nastala je nafta. Nakon uginuća alge su se taložile na morsko dno te je raznim

kemijskim procesima od njih nastala nafta koja je danas veoma važna u svim granama industrije i svakodnevnom životu.

### 3. JADRANSKO MORE

Jadransko more je ogranak Sredozemnog mora površine 138,600 km<sup>2</sup> te volumena 35,000 km<sup>3</sup> (Cushman-Roisin i sur. 2001.). Sa Sredozemnim morem je povezano preko Otrantskih vrata i Jonskog mora. Jadransko more se dijeli na 3 područja: Sjeverni Jadran i Srednji Jadran, koji su relativno plitki jer su tijekom ledenih doba u prošlosti bili dio kopna, te Južni Jadran koji je ujedno i najdublji (Slika 3.). Jadransko more pripada plitkim morima sa prosječnom dubinom 173 m, a najdublja točka – Jabučka kotlina iznosi 1,228m i nalazi se u Južnom Jadranu. Postoji nekoliko čimbenika koji utječu na karakteristike Jadrana.



**Slika 3.** Topografija Jadranskog mora; linije a i b definiraju granice Sjevernog, Srednjeg i Južnog Jadrana



### 3.1. Salinitet

Salinitet je udio otopljenih soli u vodenoj otopini, a iskazuje se u promilima (‰) ili PSU (*practical salinity unit*). Salinitet je važan jer utječe na mnoge kemijske, biološke i fizičke procese u morima. Na salinitet utječu količina padalina i dotok vode iz rijeka. Prosječna slanost svjetskih mora je 35 ‰, dok je salinitet Jadranskog mora između 38 i 39 ‰. Razlog je činjenica da je Jadransko more plitko pa su i isparavanja veća, te se u Jadran izlijevaju mnoge velike rijeke koje donose velike količine slatke vode.

### 3.2. Prozirnost

Prozirnost mora raste od sjevera (20m) prema jugu (najviše 56m). Važna je zbog prodora svjetlosti koja je potrebna fitoplanktonu za proces fotosinteze.

### 3.3 Temperatura

Prosječna temperatura je između 20°C i 30°C ljeti, te 12°C i 14°C zimi. Temperatura obično raste prema jugu, zbog dubine mora, ali i geografske širine. Jadransko more se gotovo nikad ne zaleđuje, iznimka su jako plitka područja kao npr. Venecijanska laguna.

### 3.4. Klima

Jedan od najvažnijih modifikatora klime je upravo Jadransko more, a opet klima utječe na količinu padalina, temperaturu i sl., što je važno za procese u moru. Sjeverni dio Jadrana ima umjereno-toplu vlažnu klimu, dok ostatak ima sredozemnu klimu. Umjereno-toplu vlažnu klimu karakteriziraju vruća i vlažna ljeta te blage zime sa ravnomjerno raspoređenom količinom oborina tokom cijele godine. Sredozemna klima ima suha i vruća ljeta, te blage zime sa dosta oborina.

### 3.5. Vjetrovi

Dva najznačajnija vjetra su bura i jugo. Bura je jak vjetar koji puše iz smjera sjeveroistoka. Veoma je važna jer puše zimi te zbog svoje jačine dopire daleko od obale te uzrokuje miješanje morskih masa i *upwelling* hranjivih tvari. Jugo je jugoistočni vjetar. Nije toliko jak kao bura, ali donosi vlagu i padaline na Jadran.

### 3.6. Morske struje i cirkulacije

U Jadranskom moru su važne dvije morske struje. Prva je sporija koja ide uz istočnu obalu Jadrana i donosi vodu iz Jonskog mora. Druga, brža struja ide zapadnom obalom te odnosi vodu kroz Otrantska vrata (Artegiani i sur., 1997.).

Postoji nekoliko vrtloga u Jadranskom moru. Na sjeveru jaka bura stvara Sjevernojadranski vrtlog kod Istre i Srednjejadranski vrtlog u podnožju Velebita (Zore-Armanda, 2001.; Artegiani i sur., 1997.). Najveći i veoma bitan vrtlog se nalazi u Južnom Jadranu. To je ciklonski vrtlog u čijem se središtu nalazi gusta vodena masa (*Adriatic Dense Water*- AdDW). Na njezin nastanak utječe dotok slane vode iz Ionskog mora. Na zbivanja u Južnom Jadranu te Ionskom moru utječe *Bimodal Oscillating System* (BiOS), mehanizam koji mijenja smjer kretanja vrtloga u Ionskom moru (*North Ionian Gyre* -NIG). Kada je NIG anticiklonski dolazi do razdvajanja struje iz Atlantskog oceana (*Modified Atlantic Water* -MAW) na dvije struje. Jedna nastavlja put prema istoku Mediterana, a druga ulazi u Jadran kroz Otrantska vrata te donosi vodenu masu manje gustoće, saliniteta i temperature u AdDW. Zbog toga se poveća količina hranjivih tvari, a time i primarna proizvodnja. Osim toga na taj način mogu dospjeti alohtone vrste iz Atlantskog oceana u Jadransko more. Zbog promjene svojstava AdDW mijenja se i brzina njezinog istjecanja iz Jadranskog mora, što utječe na NIG te on slabi i mijenja smjer u ciklonski. Ciklonski NIG mijenja smjer drugih struja točnije levantinske (*Levantine Intermediate Water*-LIW) i kretske (*Cretan Intermediate Water*) koje ulaze u Južni Jadran. One donose slaniju, gušću i topliju vodenu masu zbog čega se smanji količina nutrijenata i time primarna proizvodnja. Na ovaj način mogu alohtone vrste iz Crvenog mora dospjeti u Jadran. Kako su se promijenila svojstva AdDW, mijenja se i brzina njezinog istjecanja u Jonsko more čime se opet mijenja smjer NIG. Svi ovi procesi se događaju tijekom nekoliko desetljeća tako da opisane promjene nisu brzi procesi (Civitarese i sur. 2010.).

## 4. METODE ISTRAŽIVANJA

### 4.1. Skupljanje uzoraka

Planktonske mreže su naprave stožastog oblika, napravljene su od finog materijala sa malim otvorima, a služe skupljanju planktona. Veličina otvora za fitoplankton je 20 $\mu$ m i 53  $\mu$ m, a

za zooplankton 53 $\mu$ m i 200 $\mu$ m. Mreže se povlače kroz more, koje se filtrira kroz otvore, a uzorak se skuplja u čašicu koja se nalazi na kraju mreže.

Niskinov crpac služi za uzimanje uzoraka vode s određene dubine. Izgledom podsjeća na veliku plastičnu cijev koja ima poklopce sa obje strane. Nakon što se spusti na određenu dubinu, povuče se uteg koji zatvori vodu u crpac. I Niskinov crpac i CTD sonda se mogu poslagati na rozete s kojih se u određenom vremenskom periodu i na određenu dubinu ispuštaju mjerni uređaji. CTD sonda se koristi za istraživanje hidrografskih svojstava, iako se na nju može staviti uređaj za skupljanje uzoraka vode. Ona mjeri konduktivitet, temperaturu i dubinu. Konduktivitet se mjeri jer iz njega možemo dobiti salinitet, a dubina jer preko nje se izračunava hidrostatički tlak i gustoća. Na CTD sondu se mogu dodati još florimetar, transmisiometar, oksimetar, dodatni senzori koji mjere pH, prozirnost i sl.

#### 4.2. Laboratorij

Skupljeni uzorci se prvo trebaju koncentrirati i fiksirati kako bi se očuvali. Koncentrirati se može pomoću uređaja za filtriranje i membranskog filtra, centrifugiranjem ili kulturom stanica. Da bi sačuvali uzorak za kasnija istraživanja treba ga fiksirati. To se radi pomoću kemikalija, formaldehida (2%), glutaraldehida i Lugolove otopine ili čuvanjem u tekućem dušiku i na niskim temperaturama.

Pregledavanje uzoraka se najčešće vrši pomoću mikroskopa. Najdostupniji je svjetlosni mikroskop, međutim s njim se vide organizmi samo do određenog povećanja. Pomoću svjetlosnog mikroskopa se može odrediti gustoća populacija te determinirati vrste. Za sitnije frakcije pogodniji su elektronski mikroskopi (SEM i TEM) koji imaju 1000 puta veće povećanje od svjetlosnog. Pomoću njih se mogu determinirati vrste jer se vidi detaljna građa stanica. Osim što su to skupi i teško dostupni uređaji, cijeli postupak pripreme uzoraka je zahtjevan i dugotrajan. Postoji još i fluorescentni mikroskop koji detektira organizme i tkiva koji fluoresciraju, a koristi se za promatranje pikoeukariota i pikoprokariota. Najčešće korišteni uređaj je ipak protočni citometar. On služi i za determinaciju vrsta i za određivanje gustoće populacije. Sastoji se od 3 sustava: protočnog, optičkog i elektronskog (Shapiro 1988.). U protočni sustav se stavi tekućina koja potom prolazi kroz tanku kapilaru i dolazi do optičkog dijela. Tamo se jedna po jedna stanica obasjava laserskim svjetlom, a stupanj raspršenja svjetlosti iste valne duljine

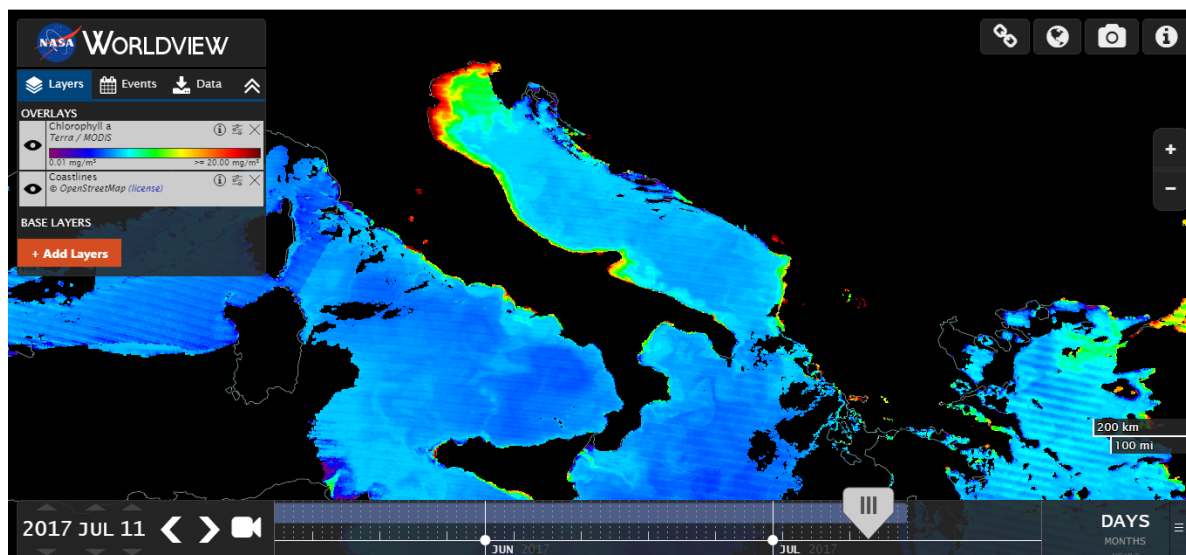
pokazatelj je fizičkih osobina stanice- veličina i granulacija površine stanice. Stanice se mogu dodatno obojiti fluorescentnim bojama koje emitiraju svjetlost veće valne duljine. Elektronski dio protočnog citometra pretvara svjetlosne signale u digitalne koji se šalju u računalo (Batinić i sur., 2006.).

#### 4.3. Molekularno – biološke metode

Molekularno- biološke metode su metode detekcije na razini nukleinskih kiselina (DNA i RNA). Uključuju izolaciju genomske DNA, plazmidne DNA ili DNA iz organela (kloroplasti i mitohondriji). Izolirati se može iz uzgojenih kultura ili direktno iz okolišnog uzorka. Ovisno o daljnjem smjeru istraživanja dalje se koriste molekularne metode koje se temelje na PCR-u (sekveciranje, real- time PCR, elektroforeza i sl.). Molekularno- biološke metode se koriste za otkrivanje evolucijskih odnosa i provjeru taksonomije. Za detekciju biomarkera se koristi Tekućinska kromatografija visoke djelotvornosti (*High performance liquid chromatography* - HPLC). Pomoću nje se odijele komponente (npr. klorofil a i karotenoidi), a za detekciju služe maseni spektrometar, spektrofotometar i sl.

#### 4.4. Sateliti

Sateliti koji kruže u Zemljinoj orbiti mogu detektirati fluorescenciju klorofila a (Slika 4.). Klorofil a služi kao pokazatelj biomase fitoplanktona. Osim klorofila a sateliti mogu mjeriti i temperaturu površine mora i oceana, salinitet, vjetrove, količinu padalina i količinu isparavanja.



**Slika 4.** Količina klorofila a u Jadranskom moru na dan 11.7.2017. (preuzeto sa <https://worldview.earthdata.nasa.gov>)

## 5. FITOPLANKTON U JADRANSKOM MORU

Jadransko more se dijeli na tri regije ovisno o hidrografiji, batimetriji i produkciji.

### 5.1. Sjeverni Jadran

Najveći utjecaj na Sjeverni Jadran ima rijeka Po (Pettine i sur., 1998.). Ona donosi veliku količinu slatke vode što uz velika isparavanja zbog plitkoće mora, uzrokuje smanjenje saliniteta. Kako je Po najveća talijanska rijeka uz nju je koncentrirana velika poljoprivredna i industrijska proizvodnja. Zbog tako velikog antropogenog utjecaja na Po, Sjeverni Jadran je izrazito eutrofan. Kako zbog eutrofikacije ima puno hranjivih tvari, u ekosustavu dolazi do velikog razvitka fitoplanktona (Relvelate i Gilmartin, 1992.). Po ima najveći utjecaj na zapadni dio Sjevernog Jadrana. Istočna obala je nešto oligotrofnija zbog vodenih masa koje dolaze iz Srednjeg Jadrana. Postojanje nekoliko cirkulacija (npr. Sjevernojadranski vrtlog) uzrokuje širenje vode iz rijeke Po i do istočne strane. Na obali Istre postoji niz krških rijeka koje također donose nutrijente, ali nemaju tako veliki značaj. Dakle primarna proizvodnja u Sjevernom Jadranu je usko povezana sa salinitetom, odnosno količinom vode iz rijeke Po, dok je biomasa fitoplanktona indikator eutrofikacije izazvane rijekom Po (Relvelate i Gilmartin 1992.; Marić i sur. 2012.; Viličić i sur. 2012.).

U usporedbi sa ostali regijama Sjeverni Jadran ima najveći broj vrsta. Pronađene su čak 699 vrste (Viličić i sur. 2002.). Zbog velike količine fosfora, dušika i silicija najviše ima vrsta dijatomeja (Bacillariophyceae) (Carlsson i Granelli, 1999.). Najčešći rodovi su *Chaetoceros*, koji je dominantan u vrijeme kada je dušik ograničavajući faktor, a rod *Pseudo-nitzschia* je dobro razvijen jer u Sjevernom Jadranu vladaju pogodni uvjeti za nju. Vrsta *Dactyliosolen fragilissimus* (Bergon) Hasle se jače razvija u vrijeme kada je fosfor ograničavajući faktor (Carlsson i Granelli 1999.; Viličić i sur. 2012.). Vrsta *Skeletonema marinoi* Sarno & Zingone je indikator influksa nutrijenata iz antropogenog izvora. To su sve oportunističke vrste koje brzo reagiraju na dotok hranjivih tvari te se brzo i razvijaju (Marić i sur., 2012.). Dinoflagelati su miksotrofne vrste, a dijatomeje su im dobar izvor hrane, zbog čega su oni sljedeća najbrojnija skupina. Najčešći rodovi su *Prorocentrum*, *Ceratium*, *Gyrodinium*, *Gymnodinium* i *Protoperdinium* (Marić i sur., 2012.). Dinoflagelati mogu sintetizirati toksine te su zbog toga opasni, pogotovo što mogu izazvati cvjetanje mora. Imaju sposobnost bioluminiscencije s čime odbijaju zooplankton.

## 5.2. Srednji Jadran

Srednji Jadran je prijelazno područje između eutrofnog Sjevernog i oligotrofnog Južnog Jadrana. Zbog specifičnosti cirkulacije Jadrana, zapadni dio pokazuje više eutrofna svojstva, a istočni dio oligotrofna. Kao i u Sjevernom Jadranu, razvoj fitoplanktona je u korelaciji sa salinitetom- kada je on niži dolazi do većeg razvoja fitoplanktona (zbog nutrijenata iz rijeka), a kada je viši, razvoj fitoplanktona stagnira. Za zapadni dio izvor hranjivih tvari je rijeka Po čije vodene mase donosi struja uz zapadnu obalu, dok na istočnoj strani izostaje donos hranjivih tvari u more radi krške obale.

U Srednjem Jadranu je zabilježeno 246 vrsta (Viličić i sur., 2002.). Najčešće vrste se mogu vidjeti u tablici (Tablica 2). Diatomeje iz roda *Pseudo-Nitzschia* sintetiziraju domoičnu kiselinu koja je neurotoksična, a nakuplja se u školjkašima te je time opasna za ljude. Dinoflagelati također sintetiziraju toksine te su također opasni. Oni mogu inhibirati razvoj drugih algi lučenjem toksina, te tako postaju dominantne vrste (Rengefors i Legrand, 2001.). Međutim akumulacija toksina manja jer je rast toksičnih vrsta ograničen dušikom i fosforom (Anderson i sur., 1990.). Ovakav sastav biozajednice dokazuje oligotrofost istočnog dijela, gdje u fitoplanktonu dominira nanoplankton- mali flagelati, kokolitoforidi i nanoplanktonski

dinoflagelati. Pored toga i eutrofikaciju zapadnog dijela gdje dijatomeje imaju veću abundanciju (Viličić i sur., 1995.; Totti i sur., 2000.).

**Tablica 2.** Dominantne vrste po SCM- maksimum klorofila a ispod površine mora (Totti et al. 2000.).

Taxa
<i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i> , <i>Pseudo-nitzschia</i> spp. <i>Chaetoceros</i> spp.
<i>Leptocylindrus danicus</i> , <i>Rhizosolenia styliformis</i> , <i>Chaetoceros</i> spp. <i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i> , <i>Pseudonitzschia</i> spp.
Phytoflagellates and nanoplanktonic dinoflagellates Phytoflagellates and nanoplanktonic dinoflagellates

### 5.3. Južni Jadran

u Južnom Jadranu se nalazi Jabučka kotlina, najdublja točka Jadrana. Karakterizira ju stalna cirkulacija (Gačić i sur., 1997). Područje je karakterizirano zimskom konvekcijom gdje se miješa stupac vode te se hranjive tvari vraćaju u gornje slojeve (Najdek i sur., 2014.). Voda iz Jonskog mora može biti većeg saliniteta- dolazi levantinskim strujama iz istočnog Sredozemlja ili manjeg saliniteta- podrijetlom iz Atlantskog oceana (Civitarese i sur., 2010.). Zimska konvekcija i struje iz Jonskog mora imaju najveći utjecaj na svojstva Južnog Jadrana. Njega karakterizira siromaštvo nutrijentima i manja biomasa fitoplanktona. Dominantan je pikofitoplankton što je indikator oligotrofije. U takvim ekosustavima važnu ulogu ima mikrobna hranidbena mreža zbog koje dolazi do cirkulacije nutrijenata (Cerino i sur., 2012.). Jak razvoj fitoplanktona se događa u proljeće nakon zimske konvekcije (Gačić i sur., 2002).

Najveću gustoću ima frakcija pikofitoplankton, a najčešći rodovi su cijanobakterije *Prochlorococcus* i *Synechococcus* (Najdek i sur., 2014.). U vodi siromašnoj nutrijentima više od 50% ukupne biomase i primarne proizvodnje pripada pikoplanktonu (Takamura i Nojiri, 1994.; Azov, 1986.; Magazzu i sur., 1987.). Razlog je to što su male stanice sposobnije iskorištavati male količine nutrijenata. Od mikrofitoplanktona utvrđene su 229 vrste, sa 119 vrsta dinoflagelata i 95 vrsta dijatomeja (Viličić i sur., 1998.). Dinoflagelati su uglavnom vrste s malim stanicama, a od dijatomeja najčešće su vrste rodova *Chaetoceros*, *Pseudo-nitzschia* i *Rhizosolenia* (Kimor i sur., 1987.; Rabitti et al. 1994.). Takav sastav također ukazuje na oligotrofna svojstva Južnog Jadrana. Od nanaoplanktona najzastupljeniji su kokolitoforidi, kriptofiti, dinoflagelati, zelene alge i dijatomeje (Socal et al 1999.).

## 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.
- Anderson, D.M.; Kulis, D.M., Sullivan, J.J.; Hall, S.; Lee, C. (1990): Dynamics and physiology of saxitoxin production by the dinoflagellates *Alexandrium* spp. *Mar. Biol.* 120, 511-520.
- Artegiani, A; Paschini, E; Russo, A; Bregant, D; Raicich, F; Pinardi, N (August 1997.): The Adriatic Sea General Circulation. Part I: Air–Sea Interactions and Water Mass Structure". *Journal of Physical Oceanography*. American Meteorological Society. 27 (8): 1492–1514
- Artegiani, A; Paschini, E; Russo, A; Bregant, D; Raicich, F; Pinardi, N (August 1997.): The Adriatic Sea General Circulation. Part II: Baroclinic Circulation Structure. *Journal of Physical Oceanography*. American Meteorological Society. 27 (8): 1492–1514
- Azov, Y. (1986.): Seasonal patterns of phytoplankton productivity and abundance in nearshore oligotrophic waters of the Levant Basin (mediterranean). *J. Plankton Res.* 8, 41-53.
- Batinić, D.; Rnjak, L.; Dubravčić, K.; (2006.): Protočna citometrija u hematologiji. *Paediatr Croat*; 50 (Supl 1): 176-182
- Carlsson, P.; Graneli, E.; Segatto, Z.A. (1999.): Cyclig of biologically available nitrogen in riverine humic substances between marine bacteria, a heterotrophic nanoflagellate and a photosynthetic dinoflagellate. *Aquat. Microb. Ecol.* 18, 23-36
- Cerino, F.; Bernardi Aubry, F.; Coppola, J.; La Ferla, R.; Maimone, G.; Socal, G.; Totti, C. (2012): Spatial and temporal variability of pico-, nano- and microphytoplankton in the offshore waters of the southern Adriatic Sea (Mediterranean Sea). *Continental Shelf Research* 44 (2012) 94-105



- Civitarese, G.; Gačić, M.; Lipizer, M.; Eusebi Borzelli, G.L. (2010.): On the impact of the Bimodal Oscillating System (BiOS) on the biogeochemistry and biology of the Adriatic and Ionian Seas (Eastern Mediterranean). *Biogeosciences*, 7, 3987-3997
- Cushman-Roisin, B.; Gačić, M.; Poulain, P-M.; Artegiani, A. (2001.): Physical oceanography of the Adriatic Sea. Kluwer Academic Publ. Dordrecht.
- Elderfield, H. (2006): The oceans and marine geochemistry. Elsevier, New York
- Gačić, M.; Marullo, S.; Santoleri, R.; Bergamasco, A. (1997.): Analysis of the seasonal and interannual variability of the sea surface temperature field in the Adriatic Sea from AVHRR data (1984-1992). *J. Geophys. Res.* 102, 22937-22946.
- Gačić, M.; Civitarese, G.; Misericocchi, S.; Cardin, V.; Crise, A.; Mauri, E. (2002.). The openocean convection in the Southern Adriatic: a controlling mechanism of the spring phytoplankton bloom. *Cont. Shelf Res.* 22 (14), 1897–1908.
- Ljubomir, S.; Jasprica, N.; Čalić, M.; Hrustić, E.; Dupčić Radić, I.; Car, A.; Batistić, M. (2017.): Interannual (2009-2013) variability of winter-spring phytoplankton in the open South Adriatic Sea: Effects of deep convection and lateral advection. *Continental Shelf Research*
- Kimor, B.; Berman, T.; Schneller, A. (1987.): Phytoplankton assemblages in the deep chlorophyll maximum layers off the Mediterranean coast of Israel. *J. Plankton Res.* 9, 433-443.
- Magazzu, G.; Bruni, V.; Piccione, A.; Platt, T.; Irwin, B.; Rao, D.V.S. (1987.): Picoplankton: contribution to phytoplankton production in the strait of Messina. *Mar. Ecol. Naples* 8, 21-32.
- Mannini, P.; Massa, F.; Milone, N. (2012.): Adriatic Sea Fisheries: outline of some main facts. FAO AdriaMed.
- Marić, D.; Kraus, R.; Godrijan, J.; Supić, N.; Djakovac, T.; Precali, R. (2012): Phytoplankton response to climatic and anthropogenic influences in the north-easter Adriatic during the last four decades. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 115 (2012) 98-112

- Najdek, M.; Paliaga, P.; Šilović, T.; Batistić, M.; Garić, R.; Supić, N.; Ivančić, I.; Ljubomir, S.; Korlević, M.; Jasprica, N.; Hrustić, E.; Dupčić-Radić, I.; Blažina, M.; Orlić, S. (2014.): Picoplankton community structure before, during and after convecton event in the offshore waters of the Southern Adriatic Sea. *Biogeosciences*, 11, 2645-2659, 2014
- Ninčević-Gladan, Ž.; Bužančić, M.; Kušpilić, G.; Grbec, B.; Matijević, S.; Skejčić, S.; Marasović, I.; Morović, M. (2015.): The response of phytoplankton community to antropogenic pressure gradient in the coastal waters of the eastern Adriatic Sea. *Ecological Indicators* 56 (2015) 106-115
- Nutman, Allen P.; Bennett, Vickie C.; Friend, Clark R. L.; Kranendonk, Martin J. Van; Chivas, Allan R. (2016.): Rapid emergence of life shown by discovery of 3,700-million-year-old microbial structures. *Nature*. 537: 535–538.
- Pettine, M.; Patrolecco, L.; Camusso, M.; Crescenzo, S. (1998): Transport of carbon and nitrogen to the northern Adriatic Sea by the Po river: factors affecting concentrations and partitioning. *Sci. Tot. Environ.* 145, 243-265
- Rengefors, K.; Legrand, C. (2001.): Toxicity in *Peridinium aciculiferum*- an adaptive strategy to outcompete other winter phytoplankton? *Limnol. Oceanogr.* 46, 1990-1997.
- Rabitti, S.; Bianchi, F.; Boldrin, A.; Da Ros, L.; Socal, G.; Totto, C. (1994.): Particulate matter and phytoplankton in the Ionian Sea. *Oceanol. Acta* 17, 297-307.
- Revelante, N.; Gilmartin, M. (1992.): The lateral advection of particulate organic matter from the Po delta region during summer stratification, and its implications for the Northern Adriatic. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 35, 191-212.
- Shapiro, H.M. (1988.): *Practical Flow Cytometry*. 2nd ed. New York
- Sigman, D.M.; Hain, M.P. (2012.): The Biological Productivity of the Ocean. *Nature Education Knowledge*. 3 (6): 1–16.
- Socal, G.; Boldrin, A.; Bianchi, F.; Civitarese, G.; De Lazzari, A.; Rabitti, S.; Totti, C.; Turchetto, M.M. (1999). Nutrients, particulate matter and phytoplankton variability in the photic layer of the Otranto Strait. *J. Mar. Syst.* 20, 381–398.

- Šilović, T.; Ljubešić, Z.; Mihanović, H.; Olujić, G.; Terzić, S.; Jakšić, Ž.; Viličić, D. (2011.): Picoplankton composition related to mesoscale circulation on the Albanian boundary zone (Southern Adriatic) in late spring. *Estuarine coastal and shelf science*, 91, 519-525.
- Takamura, N.; Nojiri, Y. (1994.): Picophytoplankton biomass in relation to lake trophic state and the TN/TP ratio of lake water in Japan. *J. Phycol.* 30, 439-444.
- Totti, C.; Civitarese, G.; Acri, F.; Barletta, D.; Candelari, G.; Paschini, E.; Solazzi, A. (2000): Seasonal variability of phytoplankton populations in the middle Adriatic sub-basin. *Journal of Plankton Research Vol 22 no 9 pp 1735-1756, 2000*
- Totti, C.; Cangini, M.; Ferrari, C.; Kraus, R.; Pompei, M.; Pugnetti, A.; Romagnoli, T.; Vanucci, S.; Socal, G. (2005.): Phytoplankton size-distribution and community structure in relation to mucilage occurrence in the northern Adriatic Sea. *Total Environment* 353 (2005) 204-2017
- Viličić, D. (2002.): *Fitoplankton Jadranskoga mora. Biologija i taksonomija. Školska knjiga, Zagreb.*
- Viličić, D.; Marasović, I.; Mioković, D. (2002.): Checklist of phytoplankton in the eastern Adriatic Sea. *Acta Bot. Croat.* 61 (1), 57–91
- Viličić, D. (2003.): *Fitoplankton u ekološkom sustavu mora. Školska knjiga, Zagreb*
- Viličić, D.; Kuzmic, M.; Tomažić, I.; Ljubešić, Z.; Bosak, S.; Precali, R.; Djakovac, T.; Marić, D.; Gordrijan, J. (2012.): Northern Adriatic phytoplankton response to short Po River discharge pulses during summer stratified conditions. *Marine Ecology*
- Viličić D.; Ljubešić, Z. (2017.): Razvoj metoda istraživanja fitoplanktona u Jadranskom moru. *Hrvatske vode* 25(2017) 99
- Zaninović, K.; Gajić-Čapka, M.; Perčec Tadić, M. et al. (2008.): *Klimatski atlas Hrvatske / Climate atlas of Croatia 1961–1990., 1971–2000. Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb, 200 str.*
- Zore- Armanda, M. (2001.): Razvoj fizičke oceanografije na Jadranu. *Pomorski zbornik* 38 (2000)1, 301-331

Nastavni materijal za kolegij Biološka oceanografija, izv. prof. dr. sc. Zrinka Ljubešić, doc. dr. sc. Sunčica Bosak, Dr. sc. Ivana Bošnjak, Biološki odsjek PMF, Zagreb (2015.)

Nastavni materijal za kolegij Protista, izv. prof. dr. sc. Zrinka Ljubešić, mag. oecol. et prot. nat. Maja Mejdandžić, Biološki odsjek PMF, Zagreb (2015.)

Nastavni materijal za kolegij Sredozemlje, Prof.dr.sc. Borna Fuerst-Bjeliš, Geografki odsjek PMF, Zagreb (2017.)

<https://www.britannica.com>

<http://meteo.hr/>

<https://worldview.earthdata.nasa.gov>

## 7. SAŽETAK

Fitoplankton su jednostanični mikroorganizmi koji žive u svim vodama na Zemlji te imaju sposobnost fotosinteze. Važni su za sve hranidbene lance u moru, proizvodnju kisika, uklanjanje viška CO<sub>2</sub> iz atmosfere (čime se smanjuje efekt staklenika) i bioraznolikost mora i oceana.

U ovom radu izložena je taksonomija fitoplanktona i njegove najznačajnije uloge, te procesi i svojstva mora koji utječu na količinu fitoplanktona. Izložene su i metode s kojima se skupljaju uzorci na terenu i kasnije obrađuju u laboratoriju. Obraden je fitoplankton Jadranskog mora po regijama te su spomenute najvažnije vrste.

## 8. SUMMARY

Phytoplankton are single-cell photosynthesizing microscopic organisms which can be found in all water ecosystems on Earth. They play very important role in food webs in the sea, in production of oxygen, in eliminating CO<sub>2</sub> from the atmosphere (which reduces greenhouse effect) and for biodiversity of the seas and oceans.

In this work, phytoplankton taxonomy and its most important functions and also processes and properties of the sea that has influence on phytoplankton, has been presented. Methods with which samples are collected at field and later processed in the laboratory are also mentioned. Furthermore, phytoplankton of the Adriatic sea has been distinguished per region and the most important species have been pointed out.