

# Područja povećane primarne proizvodnje u Jadranskom moru

---

Grabarević, Divna

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

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:217:199315>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-29**



Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Biološki odsjek

Divna Grabarević

**Područja povećane primarne proizvodnje u  
Jadranskom moru**

Završni rad

University of Zagreb  
Faculty of Science  
Department of Biology

Divna Grabarević

**Regions of increased primary production in  
Adriatic Sea**

Bachelor thesis

Zagreb, 2024.

Ovaj završni rad izrađen je u sklopu studijskog programa Biologija na Botaničkom zavodu Biološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta u Zagrebu, pod mentorstvom prof. dr. sc. Zrinke Ljubešić.

# TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

---

Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Biološki odsjek

Završni rad

## Područja povećane primarne proizvodnje u Jadranskom moru

Divna Grabarević

Rooseveltov trg 6, 10000 Zagreb, Hrvatska

Primarna proizvodnja proces je iskorištavanja anorganskog ugljika u organski oblik tijekom fotosinteze. Morski fitoplanktonski organizmi najbrojniji su autotrofi na svijetu te su odgovorni za polovinu primarne proizvodnje u svijetu. Jadransko more jedinstven je morski bazen smješten u istočnom Sredozemnom moru. Prema geografskim, hidrološkim i biološkim karakteristikama, njegova najuobičajenija podjela je na sjeverni, srednji i južni Jadran. Na produktivnost Jadrana velik utjecaj imaju rijeke, od kojih je najveća rijeka Po u sjevernom te Zrmanja i Krka u srednjem dijelu. Na miješanja vodenih masa u Jadranu najveći utjecaj ima termohalina cirkulacija. Ogranak Levantinske intermedijarne vode zimi utječe u Jadran i kreće se uz njegovu istočnu obalu, dok se ljeti voda iz Jadrana kreće uz njegovu zapadnu obalu i istječe u Sredozemlje kroz Otrantska vrata. Veliko područje povećane primarne proizvodnje u Jadranskom moru sjeverni je Jadran zbog iznimnog utjecaja talijanske rijeke Po, ali i određene točke u području Palagruškog praga u južnom dijelu bazena. Obala otoka Lastova područje je povećane primarne proizvodnje zbog specifičnog fenomena valova vezanih uz otok koji se počeo aktivnije istraživati. Srednji Jadran jedina je regija koja je kontinuirano promatrana. Postoji potreba za izradom standardiziranog protokola mjerenja primarne proizvodnje i budućih istraživanja, osobito zbog klimatskih promjena.

Ključne riječi: fitoplankton, oceanografija, sjeverni Jadran, otok Lastovo

33 stranice, 10 slika, 62 literaturna navoda, jezik izvornika: hrvatski jezik

Rad je pohranjen u Središnjoj biološkoj knjižnici.

Mentor: prof. dr. sc. Zrinka Ljubešić

## BASIC DOCUMENTATION CARD

---

University of Zagreb  
Faculty of Science  
Department of Biology

Bachelor thesis

### Regions of increased primary production in Adriatic Sea

Divna Grabarević

Rooseveltov trg 6, 10000 Zagreb, Hrvatska

Primary production is utilizing inorganic carbon into organic form via photosynthesis. Marine phytoplankton organisms are responsible for almost half of the primary production worldwide. The Adriatic Sea is a unique sea basin located in the eastern Mediterranean Sea. It is usually divided into the northern, middle and southern region. The thermohaline circulation is the most important for mixing different water masses in the Adriatic. During winter, the water mass from Mediterranean flows into the Adriatic, while in summer the water from the Adriatic flows into the Mediterranean. A large region of increased primary production in the Adriatic Sea is definitely the northern Adriatic, due to the significant influence of the Italian Po River. There are certain hotspots of primary production in the area of the Palagruški Prag in the southern part of the basin. The Lastovo island is characterised with unique phenomenon of *Island Trapped Waves* which is associated with increased primary production. The Central Adriatic is primarily influenced by anthropogenic eutrophication and rivers Zrmanja and Krka. It is the only region that has been continuously observed. There is a need to create a standardized protocol for measuring primary production and future research, especially due to climate change.

Keywords: phytoplankton, oceanography, northern Adriatic, Lastovo island

33 pages, 10 figures, 62 references, original in: Croatian language

Thesis is deposited in Central Biological Library.

Mentor: prof. dr. sc. Zrinka Ljubešić

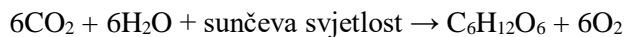
# SADRŽAJ

UVOD: PRIMARNA PROIZVODNJA U MORIMA .....	5
1. OSNOVNA GEOGRAFSKA I HIDROLOŠKA OBILJEŽJA JADRANSKOG MORA .....	8
2. SVOJSTVA JADRANSKOG MORA .....	9
3.1. Salinitet .....	9
3.2. Temperatura .....	10
3.3. Gustoća .....	10
3.4. Razdijeljenost na vodene mase .....	11
3. OPĆA CIRKULACIJA U JADRANSKOM MORU .....	13
4.1. Kvazistacionarno strujanje .....	13
4.2. Vjetrovna cirkulacija .....	15
4.3. Termohalina cirkulacija .....	15
4. PRIMARNA PROIZVODNJA I PRIMARNI PROIZVOĐAČI U JADRANSKOM MORU	17
4.1. Povijest istraživanja primarne proizvodnje u Jadranskom moru .....	17
4.2. Primarni proizvođači u Jadranskom moru .....	18
4.2. Primarna proizvodnja i područja povećane primarne proizvodnje u Jadranskom moru	
.....	19
4.2.1. Sjeverni Jadran .....	21
4.2.2. Srednji Jadran .....	22
4.2.3. Južni Jadran .....	23
4.4. Promjene u primarnoj proizvodnji kod otoka Lastovo kao odgovor na valove	
zarobljene oko otoka .....	24
ZAKLJUČAK .....	26
LITERATURA .....	27
ŽIVOTOPIS .....	32

## UVOD

### PRIMARNA PROIZVODNJA U MORIMA

Primarna proizvodnja proces je pretvaranja anorganskog ugljika pomoću Sunčeve svjetlosti i vode u organske ugljikove spojeve uz oslobađanje kisika. Primarna proizvodnja regulira koncentracije atmosferskog kisika i ugljikovog dioksida što utječe na klimu i biogeokemijske cikluse te je osnova stvaranja hrane za gotovo sav život na planetu Zemlji. Primarni proizvođači mogu biti fotosintetski ili kemotsintetski organizmi. Fotosintetski organizmi u reakciji fotosinteze kao donor elektrona koriste vodu, dok kemotsintetski organizmi mogu iskorištavati i druge spojeve, npr. sumporovodik i vršiti kemotsintezu.



Pojednostavljena jednačina fotosinteze



Pojednostavljena jednačina kemotsinteze

Primarni proizvođači u moru autotrofni su eukariotski i prokariotski organizmi te obuhvaćaju mikroftoplankton (vel. 210  $\mu\text{m}$ ), nanofitoplankton (veličina 2-12  $\mu\text{m}$ ) i pikofitoplankton (vel. <2  $\mu\text{m}$ ) (Viličić i sur., 2002) te fitobentos koji se može podijeliti na makrofitobentoske i mikrofitobentoske vrste. Osim u vodenom stupcu, mnoge vrste žive na različitim tipovima supstrata, od morskoga dna do različitih drugih organizama poput morskih cvjetnica ili životinjskih kućica. Fitobentoske vrste imaju manji udio u ukupnoj primarnoj proizvodnji od planktonskih autotrofa jer su ograničene na život u obalnom području (Meyercordt i Meyer-Reil, 1999). Fitoplankton je zaslužan za čak 46,2% primarne proizvodnje u biosferi (Field i sur., 1998). Fotosintetska aktivnost planktona uvijek je u eufotičkoj zoni (zoni u koju dopire Sunčeva svjetlost) jer su u ostatku oceana uvjeti premračni. Međutim, koncentracija anorganskih iona i ostalih hranjivih tvari nužnih za primarnu proizvodnju u eufotičkoj je zoni relativno niska. Dakle, eufotička zona siromašna je hranjivim tvarima, ali se u nižim predjelima oceana količina hranjivih tvari povećava zbog taloženja dijelova izumrlih organizama (Barber i Chavez 1983). Hranjive tvari na neki način moraju doći do eufotičke zone kako bi se primarna proizvodnja mogla odvijati, odnosno, stratifikacija se na neki način mora prekinuti. Stratifikacija označava postojanje određenog vertikalnog gradijenta (npr. temperature, saliniteta, hranjivih tvari) u vodenom stupcu tako da se slojevi u njemu nikada ne miješaju. Međutim, hlađenje i oluje tijekom zimskog razdoblja mogu uzrokovati miješanje slojeva u vodenom stupcu tako da hranjive tvari dolaze u površinske slojeve i fotosinteza se može događati. U tim slučajevima često dolazi do cvjetanja fitoplanktona nakon zimskog razdoblja nakon kojega fitoplanktonu, uz prisutnost Sunčeve svjetlosti, hranjive tvari postaju dostupne. Proljetno cvjetanje ovisi o dubini slojeva vodenog stupca koji su



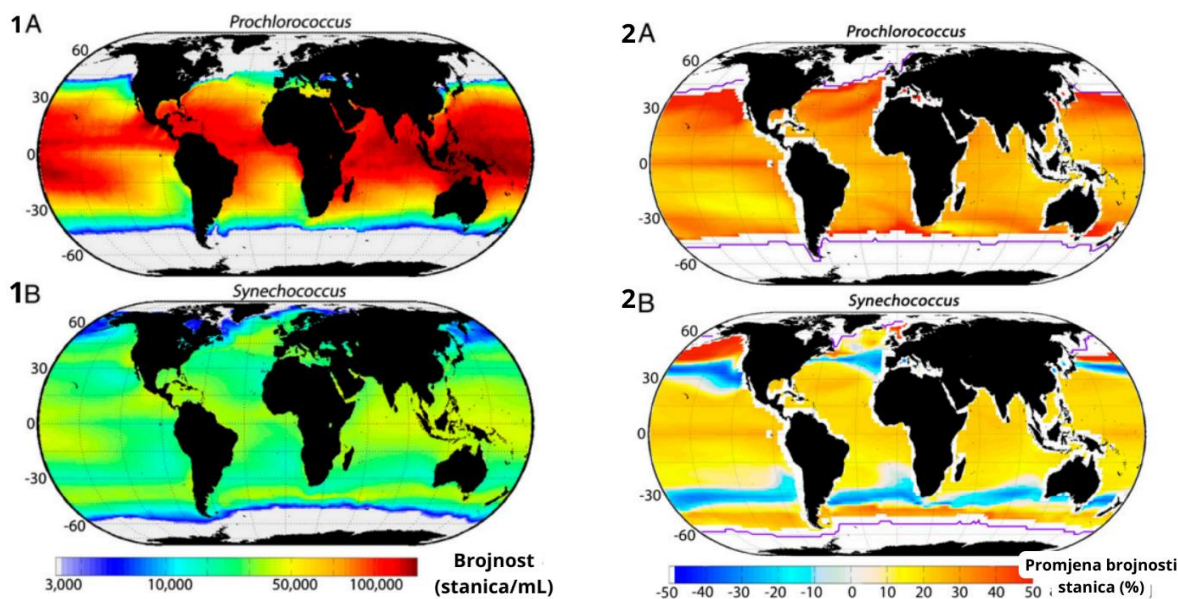
se međusobno pomiješali te varira od godine do godine (Chavez i sur., 2011). Otvoreni oceani poput Tihog oceana iznimno su siromašni hranjivim tvarima te kao takvi su u oligotrofne regije u kojima od fitoplanktona prevladavaju najsićenije cijanobakterije. U takvim regijama, termoklina i nutrikline (tanki sloj koji odvaja vodeni stupac različitih vrijednosti temperature i hranjivih soli) stabilne su i duboke pa su glavni mehanizmi opskrbljivanja fitoplanktona nutrijentima ovisni o procesima miješanja vodenog stupca. Također, u oligotrofnim područjima fiksacija dušika cijanobakterijama jedan je od mehanizama opskrbljivanja fitoplanktona hranjivim tvarima, što podrazumijeva iskorištavanje didušikovih oksida iz atmosfere prije korištenja nitrata duž termokline (Karl i sur., 2002). Željezo, još jedan od esencijalnih elemenata, mikroelement je koji fitoplankton može uzimati iz atmosfere (Martin i Fitzwater 1988). Bitno je spomenuti da klimatske promjene utječu na opskrbu fitoplanktona hranjivim tvarima i primarnu proizvodnju (Chavez i sur., 2011). Određeni načini fiksacije dušika ovise o određenim klimatskim uvjetima te su povezani sa cirkulacijom u oceanima, potrošnjom kisika na većim dubinama, denitrifikacijom i količinom fosfata u površinskim slojevima (Galbraith i sur., 2004). Transport atmosferske željezne prašine također je povezan s promjenama u klimi (Chavez i sur., 2011).

U produktivnijim dijelovima dominiraju dijatomeje. One su dio mikro-frakcije fitoplanktona koja zahtijeva veću količinu hranjivih tvari za primarnu proizvodnju.. Ona proizvodi najviše „hrane“, odnosno, hranjive tvari dobivene njihovom primarnom proizvodnjom dostupne su za konzumaciju organizmima na većim trofičkim razinama.

Cijanobakterije, rodovi *Prochlorococcus* i *Synechococcus* najbrojniji su u piko-frakciji u oligotrofnih oceana, a *Prochlorococcus* najabundantniji je fotosintetski organizam na Zemlji, Prema modelima korištenima u istraživanju Flombauma i sur. iz 2013. godine, *Prochlorococcus* je najzastupljeniji u toplim oligotrofnim područjima poput Indijskog oceana i zapadnog dijela Tihog oceana karakterističnog po suprotropskim vrtlozima, s maksimalnim brojem stanica između  $2.5 \times 10^5$  i  $2.1 \times 10^5$  po mL, a *Synechococcus* također u Indijskom oceanu i zapadnom dijelu Pacifika te je njegov maksimalni broj stanica iznosio između  $3.4 \times 10^4$  and  $4.0 \times 10^4$  po mL. Istraživanja primarne proizvodnje u cijanobakterija i prepoznavanja područja povećane primarne proizvodnje osobito su bitna budući da određeni klimatski modeli predviđaju porast brojnosti stanica rodova *Prochlorococcus* i *Synechococcus* proporcionalno s povećanjem površinske temperature oceana (Flombaum i sur., 2013). Prema njima, brojnost cijanobakterija *Prochlorococcus* tijekom 21. stoljeća povećat će se za do 28.7%, a *Synechococcus* za do 13.9%

Važno je razumjeti razliku između neto primarne proizvodnje (NPP) i ukupne primarne proizvodnje (GPP). Neto primarna proizvodnja stopa je ukupne primarne proizvodnje kada se od nje oduzme količina ugljika koja je u organizama izgubljena staničnim disanjem, odnosno, to je količina ugljika dostupna idućem organizmu u hranidbenom lancu (Chavez et al., 2011). Nužno je spomenuti da se proces primarne

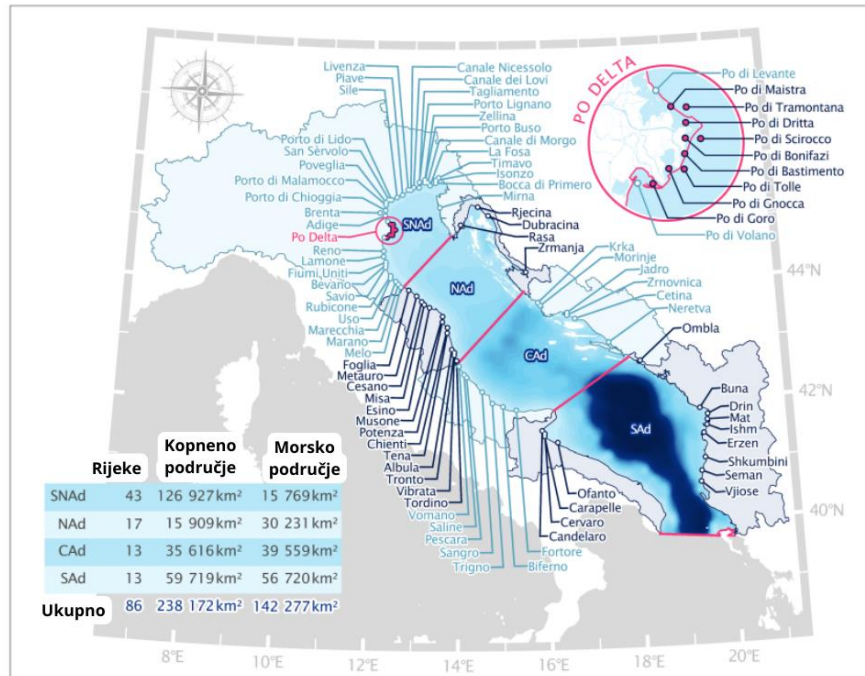
proizvodnje, odnosno fotosinteza u morima može događati samo u slojevima vodenog stupca u koje dopire Sunčeva svjetlost. Uz količinu svjetlosti, ograničavajući faktor primarne proizvodnje je i količina dostupnih hranjivih tvari te oni mogu varirati ovisno o geografskoj regiji i klimatskoj zoni promatranog područja (Chavez i sur., 2011).



**Slika 1.** Rasprostranjenost i brojnost rodova *Prochlorococcus* i *Synechococcus* u oceanima danas (1A i 1B); predviđanje promjene rasprostranjenosti i brojnosti rodova *Prochlorococcus* i *Synechococcus* u oceanima u budućnosti (2A i 2B) (prema Flombaum i sur., 2013)

# 1. OSNOVNA GEOGRAFSKA I HIDROLOŠKA OBILJEŽJA JADRANSKOG MORA

Jadransko more smjestilo se u sjevernom dijelu Sredozemnog mora i može se podijeliti na tri geografske regije: sjeverni, srednji i južni dio. Dugačko je 800 km, a široko 200 km široko te je povezano sa Sredozemnim morem preko Otrantskih vrata. Njegova ukupna površina 139 000 je km<sup>2</sup> (Degobbis i sur., 1986). Sjeverni je dio Jadrana plići s prosječnom dubinom između 30 i 40 m. U Srednjem Jadranu nalazi se Jabučka kotlina. Granica Srednjeg i Južnog Jadrana Palagruški je prag, a najdublji dio bazena upravo je u Južnom Jadranu i to je Južnojadranska kotlina (1233 m dubine). Otrantska vrata na svome su najužem dijelu široka 75 km i povezuju Jadransko more s Jonskim morem. Istočna, hrvatska obala Jadranskog mora znatno je razvedenija od zapadne, talijanske obale. Morski kanali mnogobrojni su, npr. Velebitski, Zadarski, Brački, Hvarski, Korčulanski i Neretvanski, isto kao i zaljevi, od kojih su najveći Tršćanski, Riječki, Šibenski, Malostonski i Boka Kotorska. Veći poluotoci u Jadranu su Istra, Gargano i Pelješac. Ukupno, u Jadranskom moru je oko 1250 otoka, otočića, hridi i grebena, od kojih Republici Hrvatskoj pripada njih 1244 te su najveći Krk, Cres, Brač, Hvar, Pag, Korčula i Dugi otok. Sjeverni Jadran pod velikim je utjecajem talijanske rijeke Po (Solidoro i sur., 2009) koja u morski bazen donosi veliku količinu slatke vode. U srednjem Jadranu, najveću količinu slatkovodne vodene mase donose talijanska rijeka Metauro te hrvatska Zrmanja, a na južni Jadran najveći utjecaj imaju hrvatske rijeke Neretva, Cetina i Krka (Aragão i sur., 2024).



**Slika 2.** Prikaz talijanskih i hrvatskih rijeka Jadranskog sliva na karti Jadranskog mora (prema Aragão i sur., 2024)

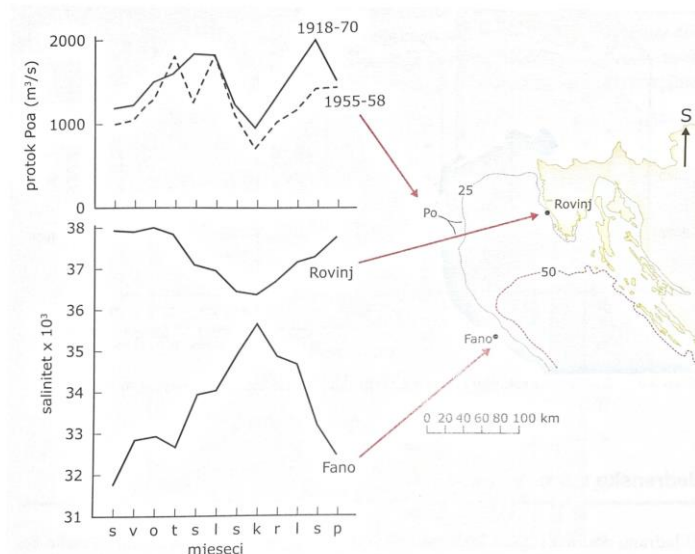
## 2. SVOJSTVA JADRANSKOG MORA

### 2.1. Salinitet

Općenito, na salinitet utječu razlike između oborina i isparavanja, otapanja i stvaranja leda, ali i dotoci kopnenih voda s jedne strane te prijenos morske vode horizontalnim i vertikalnim strujama, što se naziva advekcija ili konvekcija, te njihovo turbulentno miješanje u moru s druge strane.

Dok je Sredozemno more bazen koncentracije (gubitak vode isparavanjem s površine mora veći je nego primitak vode oborinama i riječnim dotocima u bazen), Jadransko je more bazen dilucije. Dakle, dotok kopnenih voda i oborine u Jadranu veći je od isparavanja. Od slatkovodnih vodenih masa koje utječu u Jadran najvažnija je ona rijeke Po, no ne smije se zanemariti i značaj vrulja. Kroz Otrantska vrata u Jadransko more u srednjem, intermedijarnom sloju utječe slanija Sredozemna voda (salinitet 38-39). Njezin dotok pod utjecajem je promjena u brzini uzlazne struje, tzv. Jadranskih ingresija (M. Buljan, 1953) ili promjena u njezinom salinitetu pa se razlikuje od godine do godine. Nasuprot tome, iz Jadrana u Sredozemno more istječe voda manjeg saliniteta u pridnenom, ali tijekom ljeta i u površinskom sloju (Orlić, 2022).

Prema sjeverozapadnom dijelu bazena koji je zatvoreniji, salinitet opada. Godišnje promjene saliniteta najveće su u blizini ušća rijeke Po u sjevernom Jadranu. Prema zaključcima istraživanja promjena saliniteta na dvije postaje koje su jednako udaljene od ušća rijeke, talijanske postaje Fano na otvorenom moru i hrvatske postaje u Rovinju zbog maksimuma protoka riječne vode, ljeti se voda niskog saliniteta iz rijeke Po širi na Jadran, dok se zimi voda niskog saliniteta zadržava uz zapadnu obalu, a voda visokog saliniteta teče uz istočnu obalu kako dotječe iz Sredozemlja (Orlić, 2022).



**Slika 3.** Promjene protoka rijeke Po mjerene na godišnjoj razini u razdobljima od 1918. do 1970. godine te od 1955. do 1958. godine (*dijagram gore*) i promjene saliniteta (*dijagram dolje*) na površinskom sloju mora izmjerene na mjernim postajama u Rovinju i Fanu u radoblju od od 1955. do 1958. godine (*desno*) (prema Orlić, 1989)

## 2.2. Temperatura

Prije nego što se spomenu temperaturna svojstva Jadranskog mora, potrebno je objasniti da na temperaturu mora općenito utječe apsorpcija kratkovalnog Sunčevog zračenja, emisija dugovalnog zračenja, gubitak latentne topline isparavanjem i vođenju topline s jedne strane te, advekcija ili konvekcija i turbulentno miješanje s druge strane.

U Sredozemlju, isto kao i u Jadranu, površinski primitak topline ljeti veći je od gubitka pa se more zagrijava. Zimsko hlađenje Sredozemnog mora posebno je vidljivo u području Egejskog mora, Jadranskog mora i Lionskog zaljeva. Tada se u Jadranskom i Egejskom moru stvara hladna i gusta voda koja tone i teče u pridnenim slojevima istočnog Sredozemlja, a na površini se stvara struja suprotnog smjera. U tom procesu češće je veći utjecaj vodene mase iz Jadrana (W. Roether i sur., 1996).

Nakon površinskog zagrijavanja mora ljeti u Jadranu, stvara se termoklina na dubini 10-30 m te je površinska temperatura oko 25 °C, dok je temperatura dubljih slojeva 10-14 °C (Orlić, 2022). Termoklina je najčešće na dubini od oko 20 m (M. Buljan, 1965). Zimi dolazi do površinskog hlađenja pa takva termoklina nestaje i temperature su duž vertikalne osi vodenog stupca gotovo konstantne. Proljetnim zagrijavanjem povećava se temperatura površinskog sloja. Ona nastavlja rasti tijekom ljeta, ali njezine su promjene na većim dubinama neznatne. Bitno je spomenuti da površinsko zagrijavanje stabilizira vodeni stupac pa se njegovi dijelovi teže miješaju i toplina se ne može prenositi u dublje slojeve. Termoklina nastaje na oko 20 m, prema mjerenjima na postaji Stončica u blizini otoka Visa u razdoblju od 1947. do 1963. godine (M. Buljan, 1965). Površinski se sloj vode početkom jeseni hladi jer toplina izlazi iz mora pa tone i događa se miješanje zbog utjecaja vjetrova što traje do kraja jeseni.

## 2.3. Gustoća

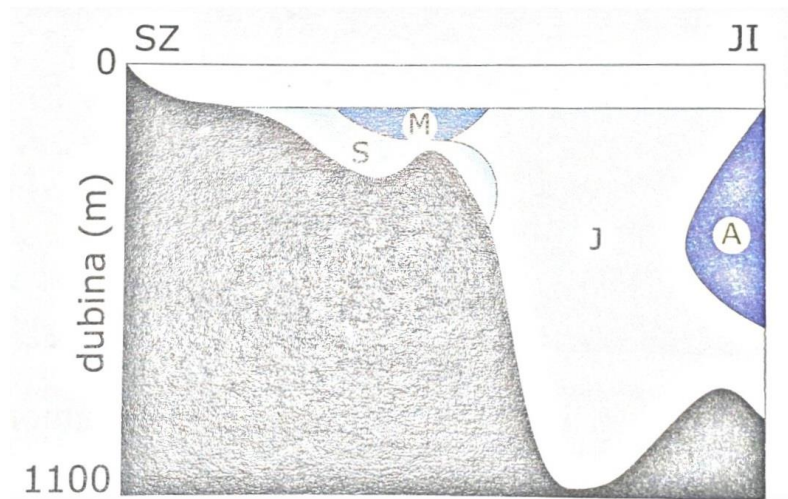
U Jadran ulaznom strujom zimi u površinskom sloju te tijekom cijele godine u intermedijarnom sloju utječe voda koja je niže gustoće. Za razliku od ulazne, izlaznom strujom u pridnenom sloju tijekom cijele godine iz Jadrana istječe voda veće gustoće (Orlić, 2022).

## 2.4. Razdijeljenost na vodene mase

Prije objašnjenja o vodenim masama Jadranskog mora, bitno je naglasiti kako se do zaključaka o vodenim masama dolazi proučavanjem informacija na *TS* (temperatura-salinitet) dijagramima, s time da se ne uzima u obzir površinski sloj mora koji obuhvaća dubinu do 100 m (Orlić, 2022).

U Sredozemnom moru postoje tri vodene mase: Levantinska intermedijarna voda, Duboka i pridnena voda istočnog Sredozemlja te Duboka i pridnena voda zapadnog Sredozemlja (M. Zavarelli i G. L. Mellor, 1995). Levantinska intermedijarna voda nastaje u istočnom Sredozemlju te tone u intermedijarni sloj i širi se prema Gibraltarskim vratima kroz koja istječe, ali jedan se od njezinih ogranaka u Jonskom moru širi prema sjeveru te utječe u Jadransko more. Također, Duboka i pridnena voda istočnog Sredozemlja formira se češće u Jadranu, a nekada i u Egejskom moru (M. Zavarelli i G. L. Mellor, 1995). Levantinska intermedijarna voda teče od istoka prema zapadu te se na tome putu susreće s vodnim masama koje su hladnije i postaje Sredozemna voda. To je vidljivo iz usporedbe termohalinih indeksa Levantinske intermedijarne vode u Sredozemlju i Sredozemne vode u Atlantskom oceanu gdje je Levantinska intermedijarna voda visokih temperature i saliniteta, a Sredozemna voda niže temperature, ali i dalje relativno visokog saliniteta. Ona je jedina vodena masa u Atlantskom oceanu jasno prepoznatljiva po visokom salinitetu.

Jadransko more obuhvaća četiri manje vodene mase (M. Zore-Armanda, 1963). U sjevernom Jadranu, gdje je dubina bazena najmanja, nastaje Sjevernojadranska voda. Ona teče uz talijansku obalu u smjeru jugoistoka te se često ulijeva u južni Jadran jer prelazi preko Palagruškog praga. Za srednji Jadran karakteristična je Srednojadranska voda koja se ondje i zadržava. Južnojadranska voda nastaje u južnom dijelu Jadrana te ona iznimno doprinosi vodenoj masi koja u pridnenom sloju istječe iz Jadrana kroz Otrantska vrata. Posljednja je Sredozemna voda, odnosno ogranak Levantinske intermedijarne vode koja, kada uđe u Jadran, teče uz hrvatsku obalu (M. Zore-Armanda, 1963). Levantinska intermedijarna voda u Jadranu postaje Sredozemna jer joj se zbog ulaska u bazen dilucije izložen hlađenju tijekom zimskog razdoblja smanjuju salinitet i temperatura. Unatoč tome, ona i dalje ima veći salinitet od svih ostalih vodenih masa pa je bitno napomenuti da je takva pojava vode visokog saliniteta u Jadranskom moru (i Atlantskom oceanu) posljedica djelovanja Sredozemnog mora. Južnojadranska voda istječe iz Jadranskog bazena i postaje Duboka i pridnena voda istočnog Sredozemlja pri čemu joj se, kako ulazi u bazen dilucije u kojem hlađenje tijekom zimskog razdoblja nije toliko intenzivno, povećavaju temperatura i salinitet.



**Slika 4.** Uzdužni presjek Jadranskog mora u smjeru sjeverozapad-jugoistok sa shematski prikazanim vodenim masama (S – Sjevernojadranska voda, M – Srednjojadranska voda, J – Južnojadranska voda, A – Sredozemna voda) (prema Zore-Armanda, 1963)

### 3. OPĆA CIRKULACIJA U JADRANSKOM MORU

#### 3.1. Kvizistacionarno strujanje

Prije govora o općoj cirkulaciji Jadrana, potrebno je objasniti na čemu počiva klasična metoda dinamičkog računa (Sandström i Helland-Hansen, 1903) čijom se upotrebom najvećim dijelom opisuju opće cirkulacije oceana i mora. Opća cirkulacija, tj. kvazistacionarno strujanje u oceanima i morima opisuje se klasičnom metodom dinamičkog računa koja se zasniva na geostrofičkoj i hidrostatskoj ravnoteži.

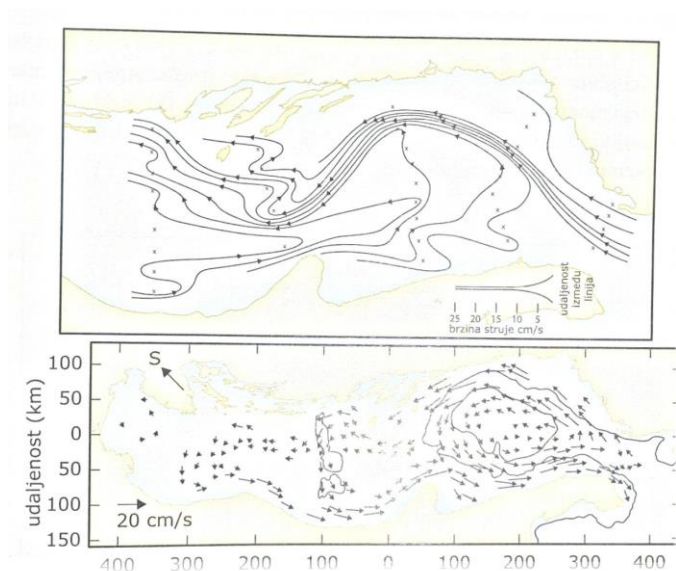
Ukratko, u oceanima i morima horizontalna komponenta sile gradijenta tlaka teži izjednačiti se s Coriolisovom silom. Coriolisova sila (prema Gaspardu Gustavu Coriolisu), odnosno učinak, posljedica je promatranja gibanja iz zamišljenog koordinatnog sustava oko Zemlje koja se rotira vertikalno, oko svoje osi. Očituje se u tome što se putujuće čestice na sjevernoj hemisferi usmjeravaju udesno, a na južnoj ulijevo. Tako na sjevernoj hemisferi čestica putuje od područja visokog tlaka prema području niskog tlaka te, kada postigne brzinu, na nju počinje djelovati Coriolisova sila i zakreće ju udesno. Takvo gibanje traje dok se ne izjednače horizontalna komponenta sile gradijenta tlaka i Coriolisova sila, odnosno nastupi geostrofička ravnoteža.

U oceanima i morima se vertikalna komponenta sile gradijenta tlaka također teži izjednačiti sa silom težom te, kada dođe do toga, nastupa hidrostatska ravnoteža. Teorijski, ona označava da je tlak na određenoj dubini jednak sumi atmosferskog tlaka i težine jediničnog stupca fluida iznad te dubine te vrijedi za fluide koji miruju, ali budući da su horizontalne dimenzije procesa u fluidima puno veće od njihovih vertikalnih dimenzija, dobro se primjenjuje za vrednovanje i procjenu procesa u oceanima i morima.

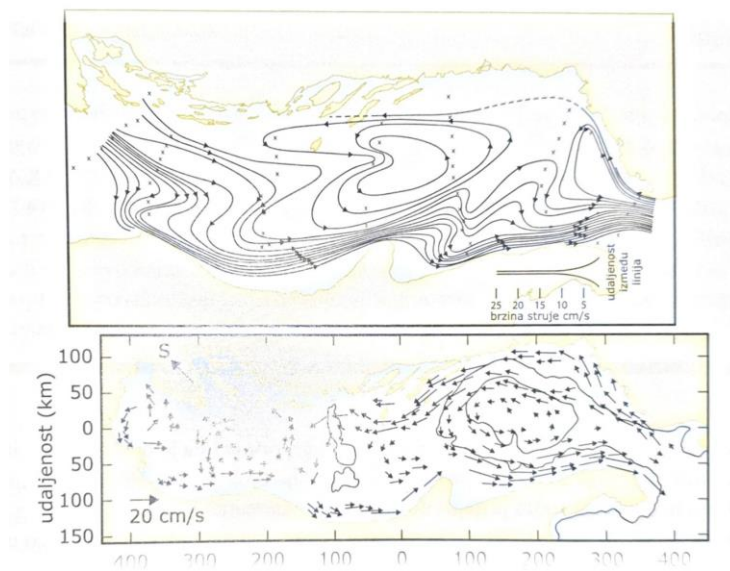
Klasična metoda dinamičkog računa iznimno je bitna jer omogućuje određivanje raspodjele struja i opisivanje cirkulacije u oceanima i morima na temelju podataka o salinitetu i temperaturi.

Opća cirkulacija na površini Jadranskog mora, kao i Sredozemnog mora, ciklonalne je orijentacije (u obrnutom smjeru od kazaljke na satu) tijekom cijele godine. Zimi je izraženo ulazno strujanje uz istočnu, a ljeti izlazno strujanje uz zapadnu obalu (M. Zore-Armanda, 1963). Prema klasičnoj metodi dinamičkog računa, analizom *TS* dijagrama vodenih masa u Jadranu utvrđeno je strujanje iz Sredozemlja u Jadran u intermedijarnom sloju te strujanje iz Jadrana u Sredozemlje u pridnenom sloju (M. Zore-Armanda, 1963). Kasniji radovi potvrdili su ove rezultate (P. M. Poulain, 2001). Dva su glavna uzročnika cirkulacije vjetar i površinski protoci topline i vode.





**Slika 5.** Cirkulacija na površini Jadranskog mora tijekom zimskog razdoblja utvrđena klasičnom metodom dinamičkog računa (*gore*) (prema Zore, 1956) i satelitima (*dolje*) (prema Poulain, 2001)



**Slika 6.** Cirkulacija na površini Jadranskog mora tijekom ljetnog razdoblja utvrđena klasičnom metodom dinamičkog računa (*gore*) (prema Zore, 1956) i satelitima (*dolje*) (prema Poulain, 2001)

### 3.2. Vjetrovna cirkulacija

Opća cirkulacija na površini oceana primarno je posljedica djelovanja struja vjetra (K, Bryan, 1963).

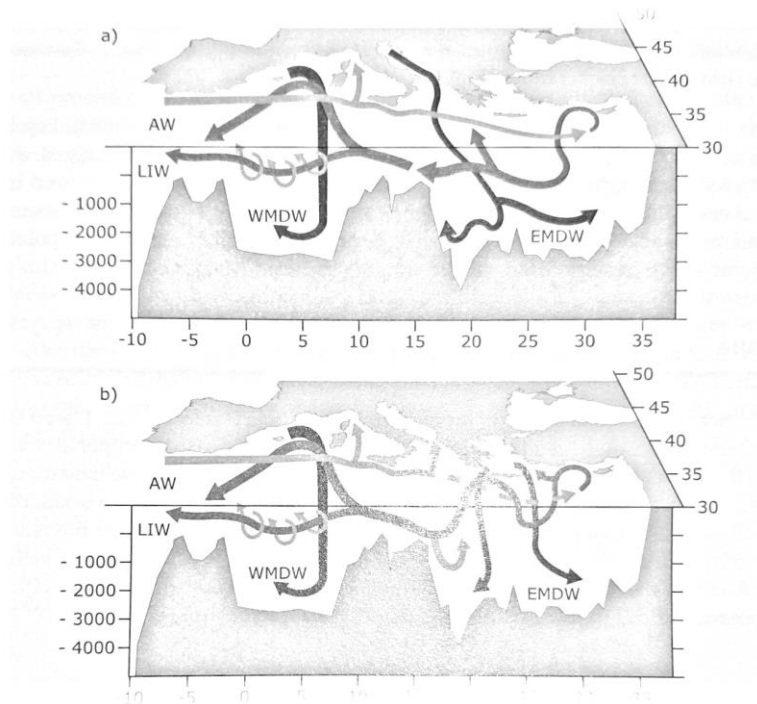
Ako u homogenom moru vjetar ostavlja obalu s lijeve strane na sjevernoj hemisferi, izaziva transport mase usmjeren od obale prema otvorenom moru te se javlja nagib morske površine. Vodena masa se u pridnenom sloju transportira prema obali, a u površinskom sloju od obale te dolazi do tzv. izranjanja (eng. *upwelling*). Kada vjetar ostavlja obalu s desne strane na sjevernoj hemisferi, događa se suprotan efekt, odnosno tzv. poniranje (eng. *downwelling*). Izranjanje je iznimno bitno za biološke procese u moru jer omogućava prijenos hranjivih tvari iz pridnenih slojeva vodenog stupca u one površinske te ondje, u prisutnosti Sunčeve svjetlosti, omogućava primarnu proizvodnju. Ovakav tip vjetrovne cirkulacije pripada strujama nagiba (eng. *slope currents*).

### 3.3. Termohalina cirkulacija

Termohalina cirkulacija posljedica je promjena temperatura i saliniteta u oceanima i moru zbog mnoštva površinskih protoka topline i vode. Njezino dublje razumijevanje počelo je numeričkim modeliranjem (Bryan i Cox, 1967) te je i danas predmet intenzivnog istraživanja. Termalna cirkulacija nastaje tako da se u jednom dijelu bazena čestice hlade i poniru, a u drugom dijelu zagrijavaju i izranjaju te nastaje gradijent tlaka koji pokreće čestice na površini od područja zagrijavanja do područja hlađenja. Sukladno tome razvija se i halina cirkulacija, pri čemu treba uzeti u obzir da povećanje saliniteta odgovara hlađenju, a smanjenje saliniteta zagrijavanju (Orlić, 2022). Uz ove dvije vrste cirkulacije, pojavljuje se i hidrološko strujanje kao posljedica primitka vodene mase u jednom dijelu bazena i njezinog gubitka u drugom dijelu bazena, ali ono je puno manje izraženo od termohaline cirkulacije na koju se fokusira većina fizičko-oceanografskih istraživanja.

Opća cirkulacija u velikim oceanskim dubinama prvenstveno je termohalinog porijekla (Schmitz, 1995). Međutim, za njezino je razumijevanje potrebno koristiti trodimenzionalne modele od kojih je najpoznatiji koncept tzv. prijenosnika (eng. *conveyor belt*) (Broecker, 1987).

On se primjenjuje i na opću cirkulaciju Jadrana i Sredozemlja te je tada riječ o tzv. regionalnim prijenosnicima. Tako su u Sredozemlju uočljive tri termohaline strujne ćelije: jedna koju pokreće isparavanje u njegovom istočnom dijelu, druga koja nastaje zbog izraženog zimskog hlađenja na području Jadranskog ili, rjeđe, Egejskog mora i treća koja je posljedica zimskog hlađenja u Lionskom zaljevu (Bergamasco i Malanotte-Rizzoli, 2010). Opća cirkulacija Jadrana i Sredozemlja najvećim je dijelom termohalinog porijekla.



**Slika 7.** Shematski prikaz termohaline cirkulacije u Sredozemnom i Jadranskom moru (prema Bergamasco i Malanotte-Rizzoli, 2010) u razdoblju kada a) Duboka i pridnena voda istočnog Sredozemlja (EMDW) nastaje u Jadranskom moru te kada b) nastaje u Egejskom moru. Prikazane su i Duboka i pridnena voda zapadnog Sredozemlja (WMDW), Levantinska intermedijarna voda (LIW) i površinska voda iz Atlantskog oceana (AW).

## 4. PRIMARNA PROIZVODNJA I PRIMARNI PROIZVOĐAČI U JADRANSKOM MORU

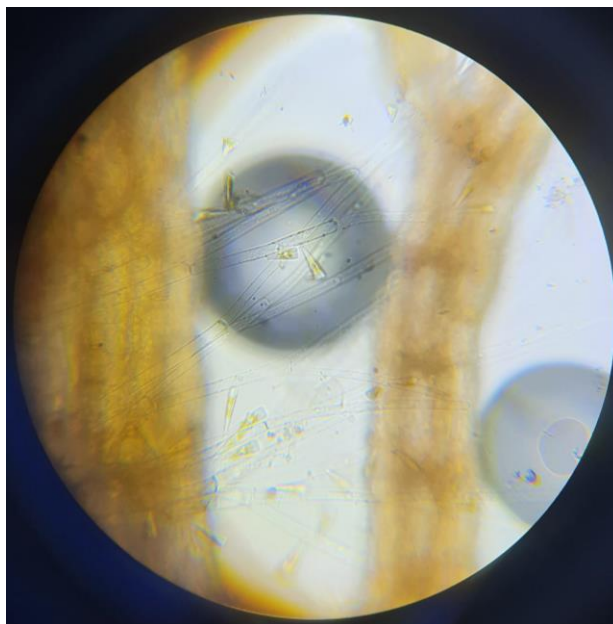
### 4.1. Povijest istraživanja primarne proizvodnje u Jadranskom moru

Pri spomen istraživanja primarne proizvodnje u Jadranu bio je 1938. godine kada je Ante Ercegović na Oceanografskom institutu u Splitu držao predavanje o tome što je primarna proizvodnja, koje su posljedice eutrofikacije i kakve to sve posljedice ima na ribarstvo. Nakon njega, Miljenko Buljan prvi je opisao regije Jadrana prema njegovim hidrografskim i morfološkim obilježjima. Danas se za mjerenje primarne proizvodnje u Jadranskom moru najčešće se koristi  $^{14}\text{C}$  tehnika (Nielsenova tehnika) te su uzorci inkubiraju *in situ* i *in vitro* ili direktno na brodskoj palubi (Matek i Ljubešić, 2024). U sjevernom Jadranu mjerenja primarne proizvodnje provedena su na uzorcima *in situ*, na palubi i *in vitro* dok su u srednjem i južnom Jadranu inkubacije uglavnom rađene *in vitro* (Matek i Ljubešić, 2024). Paralelna *in vitro* i *in situ* istraživanja pokazala su da su vrijednosti primarne proizvodnje *in vitro* više u usporedbi s onima *in situ* (Cibic i sur., 2008). Budući da se inkubacijsko vrijeme za mjerenje ukupne primarne proizvodnje (GPP) i neto primarne proizvodnje (NPP) razlikuju, postoji potreba za stvaranjem standardiziranog protokola koji bi se mogao koristiti u mjerenjima primarne proizvodnje Jadranskog mora u budućnosti (Matek i Ljubešić, 2024).

Budući da je fitoplankton sastavljen od pelagičkih organizama koji žive uz bok drugim pelagičkim organizmima koji ne fotosintetiziraju, ponekad je teško procijeniti njihovu biomasu pa su satelitska mjerenja klorofila *a*, lako mjerljivog pigmenta karakterističnog za fotosintezu još jedna od učinkovitih metoda mjerenja primarne proizvodnje (Chavez i sur., 2011). Podatci dobiveni pomoću satelita mogu se koristiti u matematičkim algoritmima kako bi se izračunala primarna proizvodnja, no biomasa fitoplanktona nužno ne predstavlja količinu primarne proizvodnje (Vadrucci i sur., 2002). Razvijaju se noviji modeli koji su sve učinkovitiji u davanju točnih informacija o primarnoj proizvodnji na temelju podataka prikupljenih satelitskim snimanjima (Kovač i sur., 2016a; Kovač i sur., 2016b). Podatci o primarnoj proizvodnji dobiveni satelitskim mjerenjima od iznimne su važnosti zato što su jedini koji omogućavaju procjenu primarne proizvodnje velikih područja koja se ne može dobiti uzorkovanjem *in situ*. Ipak, treba uzeti u obzir da satelit može snimiti i druge materijale na površini koji slučajno ulaze u računicu pa se satelitski algoritmi uobičajeno koriste za računanje na tjednim ili mjesečnim bazama podataka kako bi se ovakve pogreške otklonile (Chavez i sur., 2011). Kako satelitska snimanja i upotreba modela mogu stvarati sliku o primarnoj proizvodnji u budućnosti, vrlo je moguće da će se koristiti za predviđanje primarne proizvodnje ovisne o aktualnim klimatskim promjenama te bi se njihova upotreba u istraživanjima Jadrana svakako trebala povećati. Zbog izrazito različitih metodologija kojima su se provodila mjerenja primarne proizvodnje u Jadranu, teško je precizno usporediti sjeverni, srednji i južni Jadran (Matek i Ljubešić, 2024).

## 4.2. Primarni proizvođači u Jadranskom moru

U Jadranu su najbrojnije dijatomeje, jednostanične alge mikro-frakcije karakteristične po dvodijelnim silikatnim ljušturicama specifičnih perforacija. Penate, dijatomeje izduženijih stanica, češće se mogu naći u sjevernom Jadranu, dok su okrugle centrice karakterističnije za biocenoze južnog Jadrana. U plićem sjevernom Jadranu i obalnim područjima, zabilježene su i guste populacije dinoflagelata, kokolitoforida i kriptofita, ali kao takve guste populacije nisu trajne (Viličić i sur., 2002). U usporedbi sa sjevernim Jadranom, u njegovom srednjem i južnom dijelu biomasa fitoplanktona znatno je manja, s vrhuncem u proljeće (Viličić i sur., 1989). Povećana biomasa fitoplanktona prisutna je u područjima ljudskog utjecaja i u sjeverozapadnim površinskim slojevima Jadrana (Viličić i sur., 2002). Velik broj učestalih vrsta u zapadnom Jadranu (42%) može se naći i u njegovom istočnom dijelu (Travers, 1975). U plićim dijelovima Jadranskog mora primijećeno je da je brojnost bentoskih vrsta dijatomeja povećana (Travers i Travers, 1975). Značajno je i da su u sjevernom Jadranu zabilježene velike populacije jednostaničnih algi iz porodice Prymnesiophyceae, poput roda *Syracosphaera* s većim stanicama i manje vrste *Emiliana huxleyi* (Viličić i sur., 2002). U istočnom Jadranu prisutno je 518 vrsta dijatomeja, od kojih su oko 330 vrsta penate, a 174 centrice. Njihovi najbrojniji rodovi su *Chaetoceros*, *Pseudo-nitzschia*, *Proboscia*, *Rhizosolenia*, *Bacteriastrum*, *Cerataulina*, *Leptocylindrus* i *Thalassionema* (Viličić i sur., 2002). Na istočnoj obali Jadrana, uz dijatomeje, zabilježena je velika brojnosti dinoflagelata i *Prymnesiophyceae*, a najmanja brojnost *Chrysophyceae*, *Raphidophyta* i *Euglenophyta* (Viličić i sur., 2002). Dinoflagelati, druga najbrojnija skupina fitoplanktona, najraznolikija je skupina jednostaničnih algi u Sredozemlju. O raznolikosti kokolitoforida teško je pričati jer su se za njihovu determinaciju kroz povijest koristile različite metode. Viličić i suradnici izdali su znanstveni rad s popisom fitoplanktonskih algi u Jadranskom moru 2002. godine, ali treba uzeti u obzir da i dalje postoje vrste koje nisu determinirane tako da su za konačan popis potrebna daljnja istraživanja, osobito fitoplanktona piko i nano- frakcije.

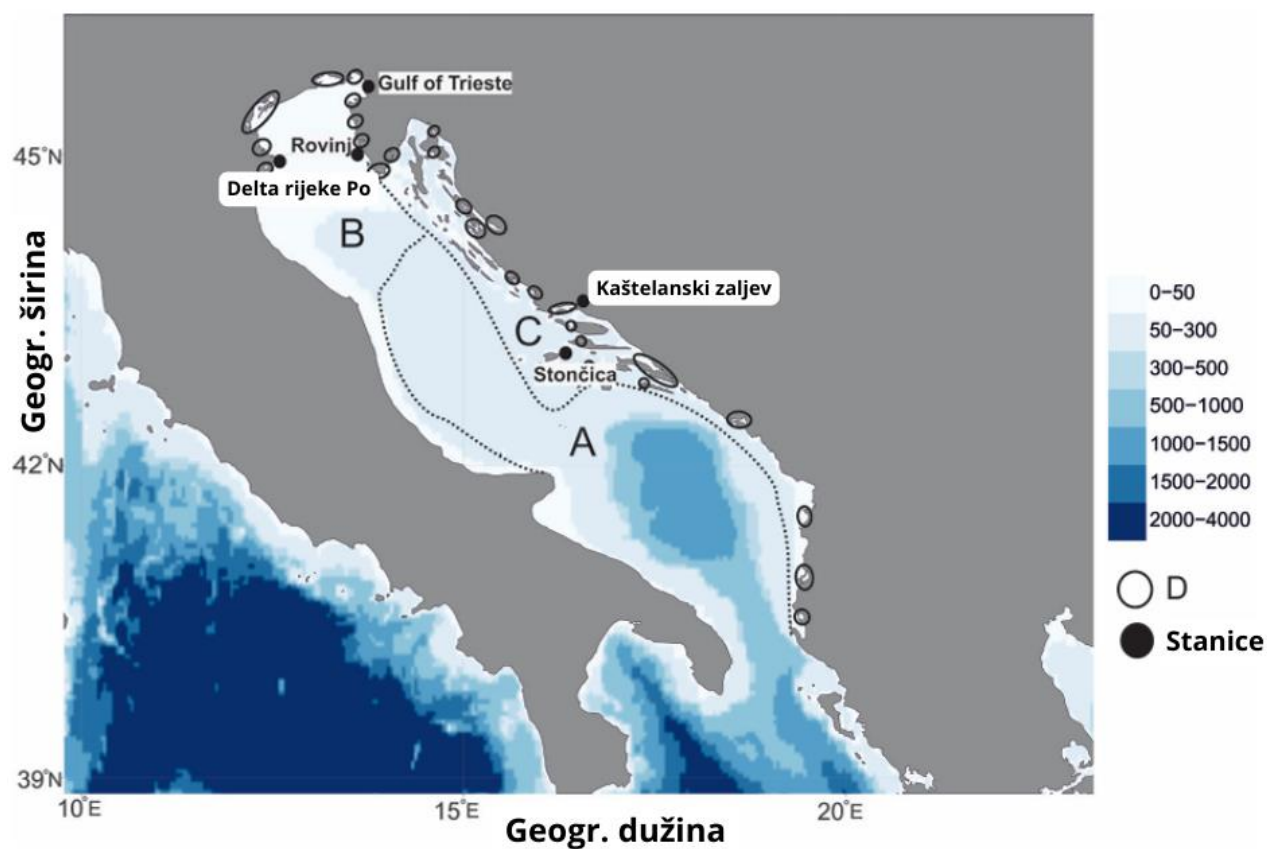


**Slika 8.** Nedeterminirana dijatomeja promatrana terenskim mikroskopom na nitima *Batrachospermum* sp., uzorkovano na ušću Karišnice u Karinsko more (fotografirala Divna Grabarević)

#### **4.3. Primarna proizvodnja i područja povećane primarne proizvodnje u Jadranskom moru**

Istočna obala Jadranskog mora karakteristična je po visokom salinitetu i dotoku slatke vode oligotrofnih rijeka. Osim toga, u estuarijima rijeka istočne obale postoje mnoge vrulje koje su povezane s ponorima na kopnu. Kroz takvu mrežu u kršu u more tijekom kišnih razdoblja i razdoblja topljenja snijega dopijeva slatka voda. Za Jadran su tipična ciklonalna gibanja. Uz istočnu obalu teče slana i oligotrofna Istočnojadranska struja, a eutrofična i hladnija Zapadnojadranska struja teče uz zapadnu obalu. Koncentracija fosfata najčešće je limitirajući faktor rasta fitoplanktona (Viličić i sur., 1999). Duž istočne obale, koncentracija ortofosfata i nitrata je niska (Viličić i sur., 1999). Koncentracije ortofosfata u Jadranu ( $0.1 \mu\text{mol L}^{-1}$ ) slične su onima u otvorenim morima (Marasović i sur., 2005). Količina dostupnih hranjivih tvari različita je u svakoj regiji Jadrana. Najviša je na sjeveru te se smanjuje prema jugu (Campanelli i sur., 2011). Sjeverni je Jadran najviše je istraživana (broj objavljenih radova o njemu je 46), nakon njega je srednji (broj objavljenih radova je 21), dok je južna regija istraživana najmanje (samo 3 objavljena rada). Istočna i zapadna obala Jadrana podjednako su istraživane (Matek i Ljubešić, 2024). Podatci iz dugotrajnih mjerenja primarne proizvodnje postoje samo za srednji Jadran, od kojih su mnoga naknadno korigirana zbog korištenja nelinearnog modela proizvodnje i dobivenih precijenjenih rezultata (Matek i Ljubešić, 2024).

Istraživanje primarne proizvodnje u Jadranskom moru ima zavodne vremenske nizove, ali potrebna su nova istraživanja kako bi se podatci nadopunili, ispravili i sistematizirali. Bitno je spomenuti još jednu podjelu Jadrana na regije primarne proizvodnje gledanu kroz prizmu hidrografskih i morfoloških obilježja njegova dna. Prema njoj, u Jadranu su četiri zone prema stopi primarne proizvodnje, od kojih zona A obuhvaća otvoreno more i najdublji dio Jadrana (dakle središnji i južni dio) te je karakteristična po niskoj primarnoj proizvodnji, a ostale zone odlikuje veća količina hranjivih tvari i produktivnije su. Zona B obuhvaća najsjeverniji dio, ujedno dio na koji najveći utjecaj ima veliki dotok riječne vode, zona C obuhvaća obalno more dubine do 70 m na koje utječe dotok riječne vode i cirkulacija mora, dok je zona D najmanja i odnosi se na plitko more koje je najviše pod utjecajem erozije (Buljan, 1964). 1974 objavljeni su rezultati mjerenja primarne proizvodnje u tim četirima zonama te su iznosili  $55 \text{ g C m}^{-2} \text{ y}^{-1}$  za zonu A,  $80 \text{ g C m}^{-2} \text{ y}^{-1}$  za zonu B,  $60 \text{ g C m}^{-2} \text{ y}^{-1}$  za zonu C i  $150 \text{ g C m}^{-2} \text{ y}^{-1}$  za zonu D (Buljan, 1964; Pucher-Petković, 1974).



**Slika 9.** Prikaz četiriju zona produktivnosti u Jadranu; legenda prikazuje dubinu dna u metrima (prema Buljan, 1964)

Jadransko more iznimno je osjetljivo na klimatske promjene. Promjene u količini dostupnih hranjivih tvari, primarnoj produkciji i strukturi pelagičkih ekosustava kao odgovor na globalno zatopljenje i klimatske promjene zahtijevaju nova istraživanja i složenija objašnjenja (Grbec i sur., 2015).

#### 4.3.1. Sjeverni Jadran

Na primarnu proizvodnju u sjevernom, plitkom dijelu Jadrana velik utjecaj ima delta najveće talijanske rijeke Po. Ona čini 50% dotoka slatke vode u tom području (Degobbis i sur., 1986). Sjeverni je Jadran regija u kojoj se događa eutrofikacija (visok stupanj primarne proizvodnje zbog velike količine dostupnih hranjivih tvari) (Campanelli i sur., 2011) zbog izlivanja rijeke Po u more (Solidoro i sur., 2009). Ona u sjeverni Jadran donosi oko 60-75% anorganskog fosfora i dušika (Degobbis i sur., 1986), ali se taj udio u zadnje vrijeme sve više i više smanjuje pod utjecajem klimatskih promjena (Grilli i sur., 2020). Korito rijeke Po sve se češće suši pa sjeverni Jadran više poprima obilježja oligotrofnog mora (Cozzi i Giani, 2011). Zbog ciklona u ovoj regiji organske tvari podrijetlom iz rijeka putuju prema jugu Jadrana duž njegove zapadne obale (Zavatarelli i sur., 1998). Važno je spomenuti i da dotok vodenih masa koje nose atmosfersku prašinu i anorganske ione iz Sredozemnog mora ima značajan utjecaj na primarnu proizvodnju u sjevernom Jadranu (Marasović i sur., 1995).

Obalni pojas sjevernog Jadrana područje je visokog stupnja primarne proizvodnje s godišnjom primarnom proizvodnjom 200–260 g C m<sup>-2</sup> y<sup>-1</sup> (Zoppini i sur., 1995) od kojih su najviše vrijednosti izmjerene u Tršćanskom zaljevu (Fonda Umani i sur., 2007), delti rijeke Po (Pugnetti i sur., 2004) i istraživačkoj stanici Senigallia-Susak transektu na koju velik utjecaj ima Zapadnojadranska struja (Zoppini i sur., 1995). Sjeverni Jadran područje je u kojem fitoplankton može učinkovito iskorištavati atmosferski CO<sub>2</sub> zbog miješanja vodenog stupca pa su u toj regiji česta cvjetanja fitoplanktona (Catalano i sur., 2014). I ove su godine, 2024., duž obale Istre zabilježena velika cvjetanja algi, vjerojatno kao posljedica povišenih temperatura i povećanog dotoka rijeke Po uslijed obilnijih kiša. U sjevernom Jadranu autotrofni mikrofitoplankton najviše doprinosi primarnoj proizvodnji (Malej i sur., 1995). Tijekom ljetnih mjeseci i stratifikacije veću ulogu u primarnoj proizvodnji dobivaju i organizmi manjih frakcija poput dijatomeja koje su izrazito brojne i u nanofitoplanktonu sjevernog Jadrana (Malej i sur., 1995). Pikofitoplankton u razdoblju stratifikacije može doprinijeti primarnoj proizvodnji do 44% (inače je mikrofitoplankton odgovoran za 46% primarne proizvodnje) (Vadrucci i sur., 2005). Vrijedi ne zaboraviti i cijanobakterije koje mogu biti odgovorne za do 38% primarne proizvodnje (Kaltenbock i Herndl, 1992).



#### 4.3.2. Srednji Jadran

Primarna proizvodnja u srednjem Jadranu pod direktnim je utjecajem Istočnojadranske struje i eutrofične Zapadnojadranske struje koja vodenu masu iz Jadrana nosi u Sredozemno more (Marasović i sur., 1999). Važan utjecaj na primarnu proizvodnju imaju i estuariji Krke i Zrmanje koji u more donose malu koncentraciju nutrijenata (Viličić i sur., 2001). Moguće je da eutrofikaciju u tom području podržavaju onečišćenja uzrokovana ljudima, posebice u blizini većih gradova poput Šibenika ili Splita. Primarna proizvodnja u srednjem Jadranu ima dugu povijest proučavanja koja seže u travanj 1962. godine (Pucher-Petković, 1971) kada su prva mjerenja rađena *in situ* koristeći metodu praćenja  $^{14}\text{C}$  izotopa na istraživačkoj stanici Stončica u otvorenom moru te stanici u Kaštelanskom zaljevu. Mjerenja su nastavljena do 2017. godine. Konstantna mjerenja pokazala su promjene u primarnoj proizvodnji u razdobljima od 1962. do 1979. ( $118 \text{ mg C m}^{-2}$ ), 1979. do 1997. ( $300 \text{ mg C m}^{-2}$ ), 1997. do 2008. ( $128 \text{ mg C m}^{-2}$ ), 2008. do 2013. ( $251 \text{ mg C m}^{-2}$ ) te od 2013. do 2017. godine ( $154 \text{ mg C m}^{-2}$ ) (Kovač i sur., 2018). Primjena modela u mjerenjima doprinijela je točnosti novijih podataka i revidiranju starijih podataka te je otvorila prozor u praćenje promjena primarne proizvodnje u srednjem Jadranu u budućnosti. Obalna područja ( $100\text{-}1500 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ) produktivnija su od otvorenog mora ( $100\text{-}700 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ) (Marasović i sur., 2005). Mikrofitoplankton najznačajniji je za primarnu proizvodnju u obalnom pojasu, a nano- i pikofitoplankton za otvoreno more (Ninčević i Marasović, 1998). U Kaštelanskom zaljevu je povećanje primarne proizvodnje izmjereno u razdoblju od 1970. do 1985. godine ( $150\text{-}240 \text{ mg C m}^{-2}$ ) kao posljedica eutrofikacije (Pucher-Petković i sur., 1988). Uz povećanje primarne proizvodnje, zasićenost kisika pri dnu mora te prozirnost vodenog stupca su se smanjili. U Stončici je najdulje kontinuirano povećanje primarne proizvodnje primijećeno u razdoblju od 1965. do 1982. godine kada se njen iznos povećavao za oko  $4.8 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  godišnje te su vrijednosti dosegle vrhunac oko 1980. godine (Marasović i sur., 1995). Međutim, povećanje primarne proizvodnje u Stončici nije bilo posljedica eutrofikacije, već promjena saliniteta i temperature zbog ulaska vodene mase iz Sredozemnog mora (Grbec i sur., 2009). Kao posljedica globalnog zatopljenja, površina mora se najviše zagrijava te je u srednjem Jadranu primijećen povećan udio nano- frakcije u odnosu na mikro-frakciju fitoplanktona (Marasović i sur., 2005).

Kao primjer prirodno eutroficiranog sustava, neizostavno je spomenuti Novigradsko more kao područje povećane primarne proizvodnje. Na primarnu proizvodnju u Novigradskom moru direktan utjecaj ima Zrmanja tvoreći visokostratificirani estuarij. Novigradsko more, kao i Karinsko, područja poznata i kao staništa velikim livadama morskih cvjetnica, jedinstveni su i relativno zatvoreni ekosustavi koji zaslužuju više pozornosti, zaštite i istraživanja, osobito o primarnoj proizvodnji u prizmi klimatskih promjena.



**Slika 10.** Nedeterminirana dijatomeja (centrica) uhvaćena mikrofitoplanktonskom mrežicom na ušću Zrmanje u Novigradsko more tijekom BIUS-ovog Velikog terena u Karinu 2024. (fotografirala Ana Petrović)

#### 4.3.3. Južni Jadran

Južnojadranska kotlina područje je ciklona koje odvaja južni Jadran od Sredozemnog mora. Na površinsku cirkulaciju mora utječe i slatkovodna masa iz rijeka s istočnih obala. Jadransko-jonska oscilacija omogućava izmjenu vodene mase iz Jadranskog u Sredozemno more preko Otrantskih vrata što je mogući razlog promjena u primarnoj proizvodnji u južnom Jadranu (Marasović i sur., 1995). Jadransko-jonska oscilacija najčešće je ciklonalnog karaktera je koja podržava dotok slane, tople i guste Levantinske intermedijarne struje u južni Jadran pa se zimske konvekcije povećavaju i primarna proizvodnja se smanjuje. U obrnutom slučaju, povećava se dotok slatke, nutrijentima bogate vodene mase iz zapadnog Sredozemnog mora pa se na granici Jadransko-jonske oscilacije događa uzdizanje, smanjuje se zimska konvekcija, temperatura, salinitet i gustoća i primarna proizvodnja raste (Grbec i sur., 2009). Južni Jadran također je geografska regija Jadranskog mora koja po broju rađenih istraživanja zaostaje za ostalima te su za njega najčešće vezana istraživanja fizikalno-kemijskih parametara (Marasović i sur., 1999). Karakterizira ju iznimno oligotrofno more (Zore-Armanda, 1984). U Južnojadranskoj kotlini prvi su put visoke koncentracije klorofila *a* zabilježene u otvorenom moru ( $>3 \text{ mg Chl } a \text{ m}^{-3}$ ) (Marasović i sur., 1999). Ta pojava je objašnjena kao posljedica izmjena vodenih masa između Jadranskog i Jonskog mora zbog koje su uobičajene višegodišnje razlike u primarnoj proizvodnji u srednjem Jadranu (Pucher-Petković i Zore-

Armanda, 1973). *In situ* mjerenja na području Palagruškog praga metodom  $^{14}\text{C}$  izotopa potvrdila su da je primarna proizvodnja ondje povećana ( $297 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ) uzimajući u obzir da se ondje događa uzdizanje hranjivih tvari iz dubljih slojeva vode prema površini (Turchetto i sur., 2000).

#### **4.4. Promjene u primarnoj proizvodnji kod otoka Lastovo kao odgovor na valove zarobljene oko otoka**

Za oligotrofno Jadransko more karakteristično je ljetno razdoblje s niskom primarnom proizvodnjom, uzimajući u obzir da je vodeni stupac visoko stratificiran pa se njegovi slojevi ne mogu miješati i hranjive tvari iz dubljih slojeva teško dolaze u eufotičku zonu. Međutim, stratifikacija se u određenim uvjetima može prekinuti pa u istim područjima može doći do iznimnog povećanja primarne proizvodnje. Istraživanje zajednice fitoplanktona i promjene primarne proizvodnje oko otoka Lastova u odnosu na fenomen valova vezanih uz otok provedena su tijekom 2021. i 2022. godine (Ljubešić i sur., 2024). Valovi vezani uz otok (eng. *island-trapped waves, ITWs*) periodičan su fenomen koji za posljedicu ima uzdizanje termokline, što uvjetuje miješanje hranjivih soli iz dubljih slojeva i moguće povećanje primarne proizvodnje.

Kako se zbog klimatskih promjena povećavaju temperature u slojevima vodenog stupca, on postaje sve više i više stratificiran. Iz tog razloga, vrlo je bitno pratiti modele i uzorke u dotoku hranjivih tvari u eufotičku zonu i znati prepoznati epizodičke događaje koji su pokretač za stvaranje područja povećane primarne proizvodnje. Jedan od takvih fenomena je eng. *Island Mass Effect (IME)* koji kao posljedicu ima povećanu primarnu proizvodnju oko malenih otoka (Doty i Oguri, 1956). Fizikalni procesi zaslužni za prelazak hranjivih tvari u eufotičku zonu u ovom fenomenu vrlo su složeni i sadržavaju jedinstvenosti kod svakog dosad istraživanog otoka (Gove i sur., 2016). Valovi vezani uz otok promatrani su na mnogim otocima diljem svijeta poput Bermude (Brink, 1999), Havaja (Smith i sur., 2017) i mnogih drugih, ali i hrvatskog otoka Lastova (Mihanović i sur., 2009) koji se, unatoč tome što je na granici srednjeg i južnog Jadrana ipak zbog svojih posebnosti tradicionalno svrstava u regiju srednjeg Jadrana.

Promjene termokline oko Lastova posljedica su dnevne izmjene plime i oseke te vjetrova koji pušu s mora i kopna. Novosel i sur. 2004. godine te Mihanović i sur. 2006. godine u svojim radovima predlažu da barotropna izmjena (promjena tlaka koji stvara fluid) plime i oseke u kombinaciji sa šelfovima, karakterističnima za obalu u južnom Jadranu mogu uzrokovati dnevne promjene piknokline., Orlić i sur. 2011. su godine dokazali da se oko otoka Lastova pojavljuje fenomen valova vezanih uz otok pa je izložena pretpostavka da promjene termokline mogu potaknuti uzdizanje i raspodjelu hranjivih tvari što je i dokazano (Matek i sur., 2023).

Ljubešić i sur. u svojem su istraživanju 2021. godine uzorkovali između 12. i 21. srpnja, no fenomen valova vezanih uz otok trajao je od 19. do 23. srpnja tako da njegov veći dio u konačnici nije bio zabilježen. Mjerenja tijekom 2022. godine počela su od 12. srpnja, tijekom intenzivnije epizode valova vezanih uz otok koja je trajala od 10. do 15. srpnja. Zbog jakih vjetrova, terenski je rad bio otežan pa su kompletna mjerenja postignuta samo 14. srpnja 2022. godine. Dubine slojeva s kojih su se uzimali uzorci tijekom istraživanja razlikovale su se zbog izraženih promjena termokline. Prosječne izmjerene koncentracije hranjivih tvari bile su niske, a najviše su vrijednosti imale u dubokim slojevima. U razdoblju 13. srpnja i od 18. do 20. srpnja izmjerene su maksimalne koncentracije fosfata, nitrita i nitrata te je potvrđena razlika u koncentraciji hranjivih tvari u površinskom sloju, sloju termokline i dubljim slojevima vodenog stupca. Nije bilo razlika u brojnosti piko-, mikro- ili nanofitoplanktona prije i nakon odvijanja fenomena valova vezanih uz otok. Blagi porast mikrofitoplanktona zabilježen je u dubokom sloju, dok je nanofitoplankton dominirao u cijelom vodenom stupcu. Pikoplankton je pokazao brzu reakciju na promjene u okolišu, a mikro- i nanofitoplankton je pokazao manje varijabilnosti. Bakteriofitoplankton ima mnoge ekološke funkcije poput razgradnje i fermentacije, a uzorci prikupljeni tijekom fenomena ukazali su i na njihovu ulogu u razgradnji mikroplastike. Ovakvi rezultati vrlo su značajni jer povezuju lokalizirane fizičke fenomene poput valova vezanih uz otok, povećanje primarne proizvodnje i promjene u taksonomskom sastavu bakterioplanktona u oligotrofnim sustavima.

Dakle, razumijevanje promjena termokline i stratifikacije vodenog stupca osobito je bitno za budućnost biološke oceanografije kada se očekuje povećanje temperature sukladno s tijekom klimatskih promjena. Takve promjene mogle bi dovesti i do mijenjanja rezonantnih parametara fenomena valova vezanih uz otok Lastovo te promijeniti njihovu učestalost, osobito tijekom ljetnog razdoblja, odnosno razdoblja stratifikacije.

Rezultati istraživanja na Lastovu slažu se s rezultatima prijašnjih istraživanja prema kojima su širenje hranjivih tvari i uzdizanje ključni procesi uzrokovani valovima koji utječu na primarnu proizvodnju. U ovom istraživanju nisu zabilježene velike razlike u koncentraciji hranjivih tvari u vodenom stupcu tijekom i nakon fenomena valova vezanih uz obalu, ali izmjerene su maksimalne koncentracije fosfata i povećana primarna proizvodnja u području termokline što bi vrlo vjerojatno ukazuje na to da fenomen podržava raspodjelu hranjivih tvari za primarnu proizvodnju (Ljubešić i sur., 2024).

## ZAKLJUČAK

Jadransko more jedinstveni je morski bazen smješten u istočnom Sredozemnom moru. Između hrvatske i talijanske obale pruža se u smjeru sjeverozapad – jugoistok. Prema njegovim geografskim, morfološkim i hidrološkim karakteristikama, najuobičajenija podjela oligotrofnog Jadrana je na njegovu sjevernu, srednju i južnu regiju. Njegova istočna obala razvedenija je od zapadne. Na Jadransko more velik utjecaj imaju rijeke Po u sjevernom regiji te Zrmanja i Krka u srednjoj. Dotok rijeka i podzemnih vrulja smanjuju salinitet Jadrana. Ljeti se voda niskog saliniteta iz rijeke Po širi na Jadran, a zimi teče uz zapadnu obalu, dok se voda visokog saliniteta kreće uz istočnu obalu kako dotječe iz Sredozemlja. U proljeće i ljeti zbog površinskog zagrijavanja nastaje termoklina koja se u zimskog razdoblju postepeno gubi. Zimi hladna vodena masa iz Jadrana tone i istječe u Sredozemlje, dok se na površini stvara struja suprotnog smjera. U Jadranu, osobito u njegovoj sjevernoj, najplićoj regiji karakterističnoj po eutrofikaciji zbog utjecaja talijanske rijeke Po, najbrojniji su pripadnik nanofitoplanktona dijatomeje te je najistraživaniji sjeverni dio poznat po čestim cvjetanjima fitoplanktona i povećanoj primarnoj proizvodnji. Zbog klimatskih promjena, korito rijeke Po sve češće presušuje pa i sjeverni Jadran poprima obilježja oligotrofne regije. U srednjem Jadranu postoje manja područja povećane primarne proizvodnje, najčešće vezana za gradove, odnosno eutrofikaciju zbog ljudskog utjecaja. Primjer prirodno eutroficiranog sustava u ovoj regiji Novigradsko je more pod utjecajem rijeke Zrmanje. Dok srednji Jadran ima povijest kontinuiranih mjerenja, južni Jadran najmanje je istraživana regija u kojem su utvrđena manja područja povećane primarne proizvodnje u području Palagruškog praga. Specifičan fenomen valova vezanih uz otok Lastovo nedavno je privukao pozornost znanstvenika te je vrlo vjerojatno zbog ovakvog miješanja slojeva i prekidanja ljetne stratifikacije područje oko Lastova također područje povećane primarne proizvodnje. Ovaj fenomen još je jedna jedinstvena karakteristika Jadranskog mora te zaslužuje daljnje praćenje. U sjevernom i srednjem Jadranu trebala bi se nastaviti kontinuirana mjerenja te započeti ista u njegovom južnom dijelu. Uz to, potrebno je izraditi standardizirani protokol praćenja primarne proizvodnje kako bi se podatci dobiveni u istraživanjima u kombinaciji s upotrebom modela i satelitskim snimkama mogli pravilno interpretirati i sistematizirati te koristiti u istraživanjima u svim regijama. Jadransko je more zbog svojih karakteristika posebno osjetljivo na klimatske promjene te je potrebno nastaviti istraživanja i u vidu ove problematike.

## LITERATURA

- Aragão, L., Lorenzo, M., Tomas, L., Momme, B., Jacopo, A., Giorgia, V., Roberta, G., Giovanni, C., Nadia, P. (2024): Projected climate oligotrophication of the Adriatic marine ecosystems. *Frontiers in Climate*, 6.
- Barber, R. T., & Chavez, F. P. (1991): Regulation of primary productivity rate in the equatorial Pacific. *Limnology and Oceanography*, 36(8), 1803-1815.
- Behrenfeld, M. J., & Falkowski, P. G. (1997): Photosynthetic rates derived from satellite-based chlorophyll concentration. *Limnology and oceanography*, 42(1), 1-20.
- Brink, K. H. (1999): Island-trapped waves, with application to observations off Bermuda. *Dynamics of atmospheres and oceans*, 29(2-4), 93-118.
- Buljan, M. (1964): An estimate of productivity of the Adriatic Sea made on the basis of its hydrographic properties. *Acta adriatica*, 11, 35-45.
- Campanelli, A., Grilli, F., Paschini, E., Marini, M. (2011): The influence of an exceptional Po River flood on the physical and chemical oceanographic properties of the Adriatic Sea. *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 52(1), 284-297.
- Catalano, G., Azzaro, M., Bastianini, M., Bellucci, L.G., Bernardi Aubry, F., Bianchi, F., Burca, M., Cantoni, C., Caruso, G., Casotti, R., Cozzi, S., Del Negro, P., Fonda Umani, S., Giani, M., Giuliani, S., Kovacevic, V., La Ferla, R., Langone, L., Luchetta, A., Monticelli, L.S., Piacentino, S., Pugnetti, A., Ravaioli, M., Socal, G., Spagnoli, F., Ursella, L. (2014): The carbon budget in the Northern Adriatic Sea, a winter case study. *Journal of Geophysical Research - Biogeosciences*, 119(7), 1399-1417.
- Chavez, F. P., Messié, M., & Pennington, J. T. (2011): Marine primary production in relation to climate variability and change. *Annual review of marine science*, 3, 227–260.
- Chavez, F. P., & Toggweiler, J.R. (1995): Physical estimates of global new production: the upwelling contribution. In *Upwelling in the Ocean: Modern Processes and Ancient Records*, ed. CP Summerhayes, KC Emeis, MV Angel, RL Smith, B Zeitzschel, pp. 313–20.
- Cibic, T., Blasutto, O., Burba, N., & Umani, S. F. (2008): Microphytobenthic primary production as <sup>14</sup>C uptake in sublittoral sediments of the Gulf of Trieste (northern Adriatic Sea): methodological aspects and data analyses. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 77(1), 113-122.
- Cozzi, S., Giani, M. (2011): River water and nutrient discharges in the Northern Adriatic Sea: Current importance and long term changes. *Continental Shelf Research*, 31, 1881–1893.
- Degobbi, D., & Gilmartin, M. (1990). Nitrogen, phosphorus, and biogenic silicon budgets for the northern Adriatic Sea. *Oceanologica acta*, 13(1), 31-45.
- Degobbi, D., Gilmartin, M., & Revelante, N. (1986): An annotated nitrogen budget calculation for the northern Adriatic Sea. *Marine Chemistry*, 20(2), 159-177.
- Doty, M. S., & Oguri, M. (1956): The island mass effect. *ICES Journal of Marine Science*, 22(1), 33-37.

- Field, C. B., Behrenfeld, M. J., Randerson, J. T., & Falkowski, P. (1998): Primary production of the biosphere: integrating terrestrial and oceanic components. *science*, 281(5374), 237-240.
- Flombaum, P., Gallegos, J. L., Gordillo, R. A., Rincón, J., Zabala, L. L., Jiao, N., ... & Martiny, A. C. (2013): Present and future global distributions of the marine Cyanobacteria *Prochlorococcus* and *Synechococcus*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(24), 9824-9829.
- Fu, W., Randerson, J.T., Moore, J.K. (2016): Climate change impacts on net primary production (NPP) and export production (EP) regulated by increasing stratification and phytoplankton community structure in the CMIP5 models. *Biogeosciences*, 13(18), 5151-5170.
- Galbraith ED, Kienast M, Pedersen TF, Calvert SE. (2004): Glacial-interglacial modulation of the marine nitrogen cycle by high-latitude O<sub>2</sub> supply to the global thermocline. *Paleoceanography* 19:12.
- Gove, J. M., McManus, M. A., Neuheimer, A. B., Polovina, J. J., Drazen, J. C., Smith, C. R., ... & Williams, G. J. (2016): Near-island biological hotspots in barren ocean basins. *Nature communications*, 7(1), 10581.
- Grbec, B., Morović, M., Paklar, G. B., Kušpilić, G., Matijević, S., Matic, F., & Gladan, Ž. N. (2009): The relationship between the atmospheric variability and productivity in the Adriatic Sea area. *Journal of the Marine Biological association of the United Kingdom*, 89(8), 1549-1558.
- Grbec, B., Morović, M., Matic, F., Ninčević Gladan, Ž., Marasović, I., Vidjak, O., ... & Matic-Skoko, S. (2015): Climate regime shifts and multi-decadal variability of the Adriatic Sea pelagic ecosystem. *Acta Adriatica*, 56(1), 47-66.
- Grilli, F., Accoroni, S., Acri, F., Bernardi Aubry, F., Bergami, C., Cabrini, M., Campanelli, A., Giani, M., Guicciardi, S., Marini, M., Neri, F., Penna, A., Penna, P., Pugnetti, A., Ravaioli, M., Riminucci, F., Ricci, F., Totti, C., Viaroli, P., Cozzi, S. (2020): Seasonal and interannual trends of oceanographic parameters over 40 Years in the Northern Adriatic Sea in relation to nutrient loadings using the EMODnet chemistry data portal. *Water*, 12, 2280.
- Kaltenböck, E., & Herndl, G. J. (1992): Ecology of amorphous aggregations (marine snow) in the Northern Adriatic Sea. IV. Dissolved nutrients and the autotrophic community associated with marine snow. *Marine Ecology-Progress Series*, 87, 147-147.
- Karl, D., Michaels, A., Bergman, B., Capone, D., Carpenter, E., Letelier, R., ... & Stal, L. (2002): Dinitrogen fixation in the world's oceans. *The nitrogen cycle at regional to global scales*, 47-98.
- Kovač, Ž., Platt, T., Ninčević Gladan, Ž., Morović, M., Sathyendranath, S., Raitso, D.E., Grbec, B., Matic, F., Veža, J. (2018): A 55-year time series station for primary production in the Adriatic Sea: Data correction, extraction of photosynthesis parameters and regime shifts. *Remote Sensing*, 10(9), 1460.
- Kovač, Ž., Platt, T., Sathyendranath, S., Morović, M., Jackson, T. (2016a): Recovery of photosynthesis parameters from in situ profiles of phytoplankton production. *ICES Journal of Marine Science*, 73(2), 275-285.
- Kovač, Ž., Platt, T., Sathyendranath, S., Morović, M. (2016b): Analytical solution for the vertical profile of daily production in the ocean. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 121(5), 3532-3548.

Ljubešić, Z., Mihanović, H., Matek, A., Mucko, M., P. Achterberg, E., Omand, M., Pestić, B., Lučić, D., Čižmek, H., Čolić, B., Balestra, C., Casotti, R., Janeković, I., Orlić, M. (2024): Marine plankton community and net primary production responding to island-trapped waves in a stratified oligotrophic ecosystem. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844024138194>. (Accessed: 11 September 2024) <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e37788>

Malej, A., Mozetic, P., Malacic, V., Terzić, S., & Ahel, M. (1995): Phytoplankton responses to freshwater inputs in a small semi-enclosed gulf (Gulf of Trieste, Adriatic Sea). *Marine ecology progress series*. Oldendorf, 120(1), 111-121.

Marasović, I., Grbec, B., & Morović, M. (1995): Long-term production changes in the Adriatic. *Netherlands journal of sea research*, 34(4), 267-273.

Marasović, I., Ninčević, Ž., Kušpilić, G., Marinović, S., & Marinov, S. (2005): Long-term changes of basic biological and chemical parameters at two stations in the middle Adriatic. *Journal of Sea Research*, 54(1), 3-14.

Matek, A., & Ljubešić, Z. (2024): Primary production research in the Adriatic Sea-a review. *Acta Adriatica*, 65(2).

Matek, A., Mucko, M., Casotti, R., Trano, A. C., Achterberg, E. P., Mihanović, H., ... & Ljubešić, Z. (2023): Phytoplankton Diversity and Co-Dependency in a Stratified Oligotrophic Ecosystem in the South Adriatic Sea. *Water*, 15(12), 2299.

Martin, J. H., & Fitzwater, S. E. (1988): Iron deficiency limits phytoplankton growth in the north-east Pacific subarctic. *Nature*, 331(6154), 341-343.

McGillicuddy Jr, D. J., Robinson, A. R., Siegel, D. A., Jannasch, H. W., Johnson, R., Dickey, T. D., ... & Knap, A. H. (1998): Influence of mesoscale eddies on new production in the Sargasso Sea. *Nature*, 394(6690), 263-266. Meyercordt, J., & Meyer-Reil, L. A. (1999): Primary production of benthic microalgae in two shallow coastal lagoons of different trophic status in the southern Baltic Sea. *Marine Ecology Progress Series*, 178, 179-191.

Mifka, B., Telišman Prtenjak, M., Kuzmić, J., Čanković, M., Mateša, S., & Ciglencečki, I. (2022): Climatology of dust deposition in the Adriatic Sea; a possible impact on marine production. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 127(7), e2021JD035783.

Mihanović, H., Orlić, M., & Pasarić, Z. (2006, November): Diurnal internal tides detected in the Adriatic. In *Annales geophysicae* (Vol. 24, No. 11, pp. 2773-2780). Göttingen, Germany: Copernicus Publications.

Mihanović, H., Orlić, M., & Pasarić, Z. (2009): Diurnal thermocline oscillations driven by tidal flow around an island in the Middle Adriatic. *Journal of Marine Systems*, 78, S157-S168.

Ninčević, Ž., & Marasović, I. (1998): Chlorophyll a and primary production of size fractionated phytoplankton in the middle Adriatic Sea, Rapp. Comm. Int. Mer Médit.,(CIESM),(1-5 June 1998, Dubrovnik, Croatia).

Novosel, M., Požar-Domac, A., & Pasarić, M. (2004): Diversity and distribution of the Bryozoa along underwater cliffs in the Adriatic Sea with special reference to thermal regime. *Marine Ecology*, 25(2), 155-170.



Orlić M. (2022): Uvod u fizičku oceanografiju. Sveučilište u Zagrebu, Zagreb: Prirodoslovno-matematički fakultet

Orlić, M., Beg Paklar, G., Dadić, V., Leder, N., Mihanović, H., Pasarić, M., & Pasarić, Z. (2011): Diurnal upwelling resonantly driven by sea breezes around an Adriatic island. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 116(C9).

Platt, T., Rao, D. S., & Irwin, B. (1983): Photosynthesis of picoplankton in the oligotrophic ocean. *Nature*, 301(5902), 702-704.

Pucher-Petković, T., & Zore-Armanda, M. (1973): Test evaluation and prognosis of the production function of environmental factors in the Adriatic. *Acta Adriat*, 15(1), 37.

Pucher-Petkovic, T., Zore-Armanda, M., & Kacic, I. (1971): Primary and secondary production of the Middle Adriatic in relation to climatic factors. *Thalassia jugosl*, 7(1), 301-311.

Pugnetti, A., Acri, F., Alberighi, L., Barletta, D., Bastianini, M., Bernardi-Aubry, F., ... & Totti, C. (2004): Phytoplankton photosynthetic activity and growth rates in the NW Adriatic Sea. *Chemistry and Ecology*, 20(6), 399-409.

Smith, K. A., Merrifield, M. A., & Carter, G. S. (2017): Coastal-trapped behavior of the diurnal internal tide at O'ahu, Hawaii. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 122(5), 4257-4273.

Solidoro, C., Bastianini, M., Bandelj, V., Codermatz, R., Cossarini, G., Melaku Canu, D., ... & Trevisani, S. (2009): Current state, scales of variability, and trends of biogeochemical properties in the northern Adriatic Sea. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 114(C7).

Talaber, I., Francé, J., Flander-Putrlje, V., & Mozetič, P. (2018): Primary production and community structure of coastal phytoplankton in the Adriatic Sea: Insights on taxon-specific productivity. *Marine Ecology Progress Series*, 604, 65-81.

Travers, M. (1975): Inventaire des protistes du Golfe de Marseille et de ses parages. *Ann. Inst. Oceanogr. N.S.* 51, 51-75.

Travers, A. & Travers, M. (1975): Catalogue du microplancton du Golfe de Marseille. *Int. Revue. Ges. Hydrobiol.* 60, 251-276.

Turchetto, M. M., Bianchi, F., Boldrin, A., Malaguti, A., Rabitti, S., Socal, G., & Strada, L. (2000): Nutrients, phytoplankton and primary production processes in oligotrophic areas (southern Adriatic and northern Ionian Seas). *Proc. XIII Congr. Assoc. Ital. Oceanol. Limnol.-AIOL*, 13, 269-278.

Umani, S. F., Del Negro, P., Larato, C., De Vittor, C., Cabrini, M., Celio, M., ... & Azam, F. (2007): Major inter-annual variations in microbial dynamics in the Gulf of Trieste (northern Adriatic Sea) and their ecosystem implications. *Aquatic Microbial Ecology*, 46(2), 163-175.

Vadrucci, M. R., Basset, A., & Decembrini, F. (2002): Quantitative relationships among phytoplankton body size classes and production processes in the North Adriatic frontal region. *Chemistry and Ecology*, 18(1-2), 53-60.

- Vadrucci, M.R., Catalano, G., Basset, A. (2005): Spatial and seasonal variability of fractionated phytoplankton biomass and primary production in the frontal region of the Northern Adriatic Sea. *Mediterranean Marine Science*, 6(1), 5-16.
- Viličić, D. (1989): Phytoplankton population density and volume as indicators of eutrophication in the eastern part of the Adriatic Sea. *Hydrobiologia*, 174(2), 117-132.
- Viličić, D., Carić, M., Burić, Z., & Olujić, G. (2001): Distribution of nutrients and phytoplankton in the karstic estuary (the Zrmanja River, eastern Adriatic Sea). In 36th CIESM (p. 424).
- Viličić, D., Marasović, I., & Mioković, D. (2002): Checklist of phytoplankton in the eastern Adriatic Sea. *Acta Botanica Croatica*, 61(1), 57-91.
- Viličić, D., Orlić, M., Burić, Z., Carić, M., Jasprica, N., Kršinić, F., ... & Gržetić, Z. (1999): Patchy distribution of phytoplankton in a highly stratified estuary (the Zrmanja estuary, October 1998). *Acta Botanica Croatica*, 58(1), 105-125.
- Zavatarelli, M., Raicich, F., Bregant, D., Russo, A., & Artegiani, A. (1998): Climatological biogeochemical characteristics of the Adriatic Sea. *Journal of Marine Systems*, 18(1-3), 227-263.
- Zoppini, A., Pettine, M., Totti, C., Puddu, A., Artegiani, A., & Pagnotta, R. (1995): Nutrients, standing crop and primary production in western coastal waters of the Adriatic Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 41(5), 493-513.
- Zore-Armanda, M. (1984): Hydrographic description of the Adriatic. *FAO Fisheries Report (FAO)*, (290).

## ŽIVOTOPIS

Moje je ime Divna Grabarević. Rođena sam i odrasla u Slavonskom Brodu gdje sam pohađala Osnovnu Školu „Ivana Brlić-Mažuranić“ te Gimnaziju „Matija Mesić“. Opći smjer Gimnazije završila sam kao najbolja učenica u generaciji. Oduvijek me zanimalo svijet oko sebe i od malena su me roditelji vodili sa sobom planinariti i razvijali moju ljubav prema prirodi. Tako sam odlučila upisati dodiplomski studij na Biološkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta u Zagrebu i odabrala sam smjer Biologija. Nakon prve godine fakulteta i učlanjenja u Udrugu studenata biologije – BIUS, počela sam biti njezin aktivni član i povezala se sa raspoloženom, ali i vrijednom zajednicom njezinih studenata. U ožujku 2023. godine postala sam dio Uredništva studentskog časopisa *In Vivo*, a u travnju iste godine, u suradnji i s podrškom kolegice Ane Petrović, zajednički smo preuzele nekoliko godina neaktivnu BIUS-ovu Sekciju za alge. Istoga proljeća sudjelovala sam na BIUS-ovom istraživačko-edukacijskom projektu *Zagorje zelene 2023.* pod okriljem BIUS-ove Sekcije za edukaciju provodeći različite radionice i aktivnosti za djecu vrtičkog uzrasta i nižih razreda osnovne škole. Na jesenski terenski izlazak smo se kolegica Ana i ja vratile kao voditeljice Sekcije za alge i počele provoditi projekt *BIUS-ova zbirka dijatomeja* koje smo osmislile pod vodstvom mentorice prof. dr. sc. Marije Gligore Udovič. Cilj je projekta inventarizacija dijatomeja različitih slatkodvnih, bočatih i morskih staništa u Hrvatskoj kako bi se stvorila studentska baza trajnih preparata dijatomeja širom Hrvatske, odnosno podzbirka *Hrvatske nacionalne zbirke dijatomeja*. U jesen sam se odlučila priključiti Organizacijskom odboru *Simpozija studenata bioloških usmjerenja 2024.* godine koji je kao takav bio prvi simpozij vođen na engleskom jeziku. U siječnju smo kolegica Ana i ja imale priliku prisustvovati radionicama i predavanjima „COST Action CA18238 Ocean4Biotech“ gdje smo učile o osnovama UNIX sustava, a tijekom akademske godine organizirale smo niz predavanja unutar naše Sekcije od kojih su neka bila: „Dijatomeje Hrvatske“ i „Alge u prehrani“. Tijekom ljetnog semestra treće godine studija upisala sam stručnu praksu u *Herbarium Croaticum* tijekom koje sam stekla vještine o restauriranju i georeferenciranju herbarijskih primjeraka te korištenje online baze podataka *Flora Croatica Database*. Uslijedio je novi BIUS-ov istraživačko-edukacijski projekt *Karin 2024.* tijekom kojega sam, uz kolegicu Anu i pod mentorstvom prof. dr. sc. Zrinke Ljubešić počela prikupljati morske cvjetnice, vrste *Zostera marina* i *Zostera noltei* u Novigradskom i Karinskom moru kako bismo mogli analizirati njihov obraštaj. Tijekom istog terena plovile smo ušćem rijeke Zrmanje u Novigradsko more te ondje uzimale uzorke mikro-frakcije planktonskom mrežicom, bacali sondu koja je prikupljala podatke o fluorescenciji klorofila, temperaturi i salinitetu te smo inventarizirali uzorke dijatomeja za *Zbirku*. Nakon terenskog izlaska u Karin, uslijedila je radionica „Obrada kontinuiranih mjerenja u biološkoj oceanografiji“ na kojoj sam imala priliku naučiti osnove rada u programskom jeziku R. Uzorke morskih cvjetnica obrađivat ću u nadolazećem semestru tijekom laboratorijske stručne prakse te potencijalno predstaviti rezultate analize obraštaja u znanstvenom radu.