

# Hidrografska i bio-optička svojstva Južnojadranske kotline zimi

---

Rukavina, Tamara

Master's thesis / Diplomski 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:217:493409>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-08-17**



Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Biološki odsjek

Tamara Rukavina

HIDROGRAFSKA I BIO-OPTIČKA SVOJSTVA  
JUŽNOJADRANSKE KOTLINE ZIMI

Diplomski rad

Zagreb, 2017.

Ovaj rad je izrađen na Botaničkom zavodu Biološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta u Zagrebu pod vodstvom izv.prof.dr.sc. Zrinke Ljubešić. Rad je predan na ocjenu Biološkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu radi stjecanja zvanja magistra edukacije biologije i kemije.

*Ovaj rad u potpunosti je financiran od Hrvatske zaklade za znanost sa projekta „Bio-indikatori vodenih masa u Jadranu“ UIP-2013-11-6433.*

*Veliku zahvalnost, u prvom redu, dugujem svojoj mentorici izv.prof.dr.sc. Zrinki Ljubešić na uloženom vremenu, trudu, strpljenju, srdačnosti i korisnim savjetima koji su mi pomogli u izradi ovog diplomskog rada.*

*Zahvaljujem se i djelatnicima laboratorija za biološku oceanografiju pod vodstvom izv.prof.dr.sc. Zrinke Ljubešić.*

*Zahvaljujem se i svim svojim prijateljima posebice Mirti zahvaljujući kojoj sam i upoznala našu mentoricu te posebno hvala mojoj najdražoj Silviji s kojom sam provela najljepše ali i najteže studentske dane.*

*Veliko hvala i mojoj obitelji, najviše mami i tati te bratu Luki koji su me voljeli kada je bilo najteže.*

# TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

---

Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Biološki odsjek

Diplomski rad

## Hidrografska i bio-optička svojstva Južnojadranske kotline zimi

Tamara Rukavina  
Rooseveltov trg 6, 10000 Zagreb, Hrvatska

Stanice fitoplanktona se razlikuju veličinom, oblikom, po prisutnosti ili odsutnosti stanične stijenke, strukturama na površini stanice i u stanici i sadržajem pigmenata, te na osnovi tih svojstava vrste će različito apsorbirati, raspršiti i fluorescentno sjajiti svjetlost, što je temelj bio-optičke oceanografije. Provedeno je istraživanje 2015. i 2016. godine u južnom Jadranu sa ciljem utvrđivanja hidrografskih i bio-optičkih svojstava, te na temelju njih opisati procese primarne produkcije istraživanog područja. Uzastopne zime znatno su se razlikovale. 2015. godina obilježena je dubokim vertikalnim miješanjem do 500 m dubine, dok u 2016. godini duboka konvekcija nije bila prisutna. Intruzija je bila na dubini od 400 - 600 m što je prvi puta zabilježeno za Jadransko more i ukazuje na promjene u cirkulaciji koja je moguće posljedica klimatskih promjena. U obje godine zajednica mikrofitoplanktona je uglavnom bila sastavljena od dijatomeja, a zajednica nanofitoplanktona od kokolitoforida. Unutar zajednice pikofitoplanktona došlo je do promjene zajednice, što je također po prvi puta zabilježeno u Jadranskom moru. Bio-optički čimbenici u potpunosti su pratili tradicionalnim metodama analiziranu fitoplanktonsku zajednicu, ukazujući na biomasu i prostornu raspodjelu primarnih producenata, međutim bez jasnog ukazivanja na određene taksonomske kategorije fitoplanktona.

(80 stranica, 36 slika, 6 tablica, 83 literaturna navoda, jezik izvornika: hrvatski)

Rad je pohranjen u Središnjoj biološkoj knjižnici.

Ključne riječi: fitoplankton, južni Jadran, bio-optika, hidrografija

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

Ocjenitelji: 1. Izv.prof.dr.sc. Zrinka Ljubešić

2. Izv.prof.dr.sc. Ines Radanović

3. Doc.dr.sc. Marijana Đaković

Rad je prihvaćen: 21. lipnja, 2017.

## BASIC DOCUMENTATION CARD

---

University of Zagreb  
Faculty of Science  
Biološki odsjek  
Department of Biology

Graduation Thesis

### Hydrographic and bio-optical characteristic of the Southern Adriatic Pit in winter period

Tamara Rukavina  
Rooseveltova trg 6, 10000 Zagreb, Croatia

Phytoplankton cells are highly diverse according to their size, shape, absence or presence of the cell wall, structures surrounding the cell or in the cell itself as well as with having diverse pigments. According to those characteristics, cells can absorb, scatter or fluorescent the light which is the base of the bio-optical oceanography. During winter of 2015 and 2016 two research campaigns were conducted in the southern Adriatic Sea. The aim of the research was to measure hydrographic and bio-optical properties of the area and according those results to get insight into the processes of primary production. The consecutive winters substantially differed: while 2015 was characterized by deep vertical mixing, chlorophyll *a* signal and viable phytoplankton cells detected up to 500m depth, 2016 exhibited much weaker vertical mixing, reaching only Chl *a* up to 200 m depth. Intrusion was detected in the 400-600m depth layer that has never been recorded before, and indicates a change in the circulation pattern in the Adriatic Sea that may be driven by climate changes. Microphytoplankton was composed mostly of diatoms, and nanophytoplankton of coccolithophorids in both investigated years. Picophytoplankton showed community shift that is also recorded for the first time in the Adriatic Sea. Bio-optical features were following the pattern of phytoplankton distribution, showing in detail the spatial distribution of primary producers in the area, but not recognizing the taxonomical composition of the phytoplankton community.

(80 pages, 36 figures, 6 tables, 83 references, original in: Croatian)

Thesis deposited in the Central Biological Library.

Key words: phytoplankton, southern Adriatic, bio-optics, hydrography

Supervisor: dr.sc. Zrinka Ljubešić, Associate professor

Reviewers: 1. Dr.sc. Zrinka Ljubešić, Associate professor

2. Dr.sc. Ines Radanović, Associate professor

3. Dr. Marijana Đaković, Assistant professor

Thesis accepted: 21<sup>st</sup> of June 2017.

# SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
1.1. FITOPLANKTON.....	2
1.2. FIZIKALNI ČIMBENICI .....	6
1.2.1. SVJETLOST.....	6
1.2.2. MORSKE STRUJE .....	8
1.2.3. KRUŽNE STRUJE .....	8
1.2.4. TEMPERATURA .....	9
1.3. BIO-OPTIKA.....	10
1.4. JADRANSKO MORE .....	12
1.5. POVIJEST ISTRAŽIVANJA FITOPLANKTONA JADRANSKOG MORA .....	13
1.6. FITOPLANKTON JADRANSKOG MORA .....	14
1.7. CILJ ISTRAŽIVANJA .....	16
2. MATERIJALI I METODE.....	17
2.1. TERENSKO ISTRAŽIVANJE .....	18
2.2. UZORKOVANJE NA TERENU.....	19
2.3. NUMERIČKA I GRAFIČKA OBRADA PODATAKA.....	24
3. REZULTATI.....	25
3.1. REZULTATI BIOTA I.....	26
3.1.1. VERTIKALNI PROFILI.....	29
3.2. REZULTATI BIOTA II.....	46
3.2.1. VERTIKALNI PROFILI.....	48
3.2.2. USPOREDBA BIO-OPTIČKIH ČIMBENIKA SA FITOPLANKTONSKOM ZAJEDNICOM .....	57
4. RASPRAVA.....	60
1. ZAKLJUČAK.....	68
2. LITERATURA.....	70
3. ŽIVOTOPIS.....	79

## **1. UVOD**



## 1.1. FITOPLANKTON

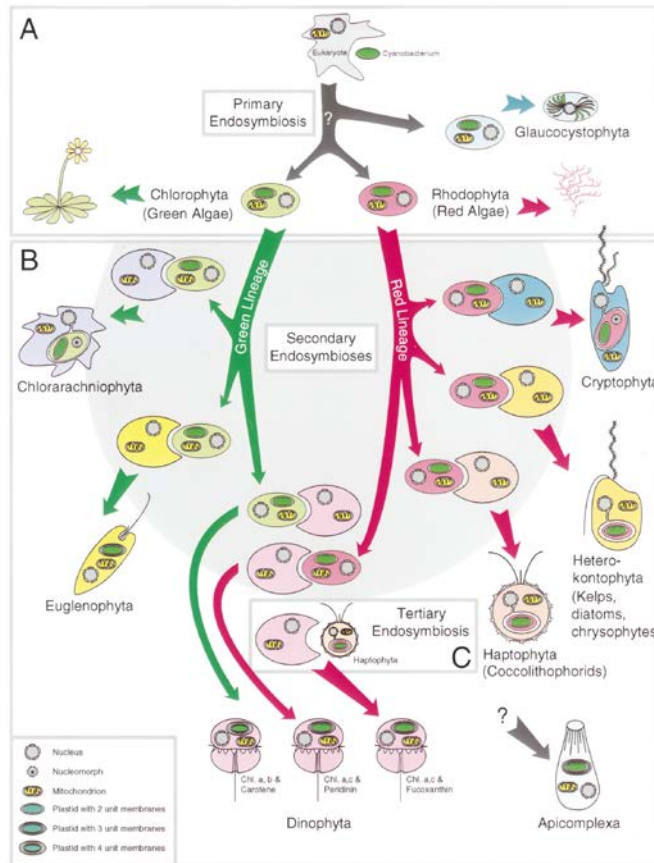
U morskom okolišu, koji pokriva 70% Zemljine površine, dominantni, ali ipak skoro neprimijećeni mikroorganizmi predstavljaju moćnu primarnu proizvođačku snagu. Ovi mikroskopski, jednostanični, slobodno plutajući organizmi su jednostanične eukariotske alge i prokariotske cijanobakterije zajednički nazvane fitoplankton (grčki: phyton - „biljka“, planktos - „lutalica“). Oni variraju u veličini, mogu biti manji od 0.2  $\mu\text{m}$  do većih od 1000  $\mu\text{m}$  te nastanjuju zonu sunčeve svjetlosti (eufotičnu zonu) oceana (Hallegraeff, 1988). Posjeduju fotosintetski pigment klorofil *a* pomoću kojeg fotosintetiziraju, odnosno koriste sunčevu svjetlost za vezanje i pretvaranje atmosferskog ugljičnog dioksida u biomasu i kisik. Upravo to fitoplankton čini bazom oceanske hranidbene mreže, važnim proizvođačima kisika i ključnim u globalnom ciklusu ugljika (Falkowski i sur., 1988).

Taksonomska različitost fitoplanktona je neizmjerljiva. Procijenjeno je da obuhvaća približno 10200 morfoloških vrsta samo eukariotskog planktona (De Vargas i sur., 2015). Ovi mikroorganizmi imaju raznovrsne morfološke karakteristike. Osim razlike u veličini stanica, fitoplankton se razlikuje oblikom (sferoidi, cilindri, itd.), odsustvom ili prisustvom stanične stijenke i modifikacijom periplasta (celuloza, silikati, ljušturice od kalcijeva karbonata, proteinske ljuske...) i kompozicijom pigmenata (klorofili, karotenoidi, biliproteini) (Reynolds, 2006). S obzirom na raspon veličina stanica, fitoplankton se dijeli na tri veličinske frakcije: (i) mikrofitoplankton (stanice  $> 20 \mu\text{m}$ ), (ii) nanofitoplankton (stanice  $2 - 20 \mu\text{m}$ ) i (iii) pikofitoplankton (stanice  $0,2 \mu\text{m} - 2 \mu\text{m}$ ) (Sieburth i sur. 1978). Fitoplankton obuhvaća protiste (heterogenu skupinu eukariota koji ne tvore tkiva) i cijanobakterije (prokariote). Najvažnije grupe mikrofitoplanktona su alge kremenjašice - dijatomeje (imaju ljušturu od silicijeva dioksida), svjetleći bičaši - dinoflagelati (imaju 2 različita biča) i kokolitoforidi (poznati po posebnim pločicama kalcita - kokolitima) (Simon i sur. 2009). Nanofitoplankton čine uglavnom manji dinoflagelati, kokolitoforidi, kriptofita i zeleni bičaši. Pikofitoplankton čine pikoeukarioti, te prokarioti – cijanobakterije. Najvažnija i najabundantnija morska cijanobakterija je *Prochlorococcus*, karakteristična po sićušnoj veličini stanice ( $0.5-0.8 \mu\text{m}$ ) i po specifičnoj pigmentaciji (divinil klorofil *a* i *b*) (Crisholm i sur., 1992).

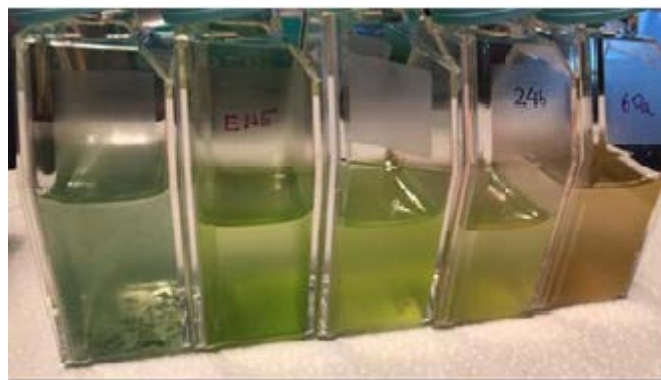
Stanice fitoplanktona obavija celulozna stanična stijenka ili plazmalema tj. gušći dio protoplazme u slučajevima kada izostaje stanična stijenka te se naziva periplast. Različite skupine fitoplanktona imaju različite modifikacije periplasta u kojega uklapaju različite materijale poput proteina, celuloze, kalcijevog karbonata i silicijevog dioksida.

Kokolitoforidi su jednostanični organizmi čija je glavna karakteristika vanjska ljušturica sastavljena od velikog broja kalcitnih pločica koje se nazivaju kokoliti te zbog toga najjače raspršuju svjetlost. Stanica dijatomeja nema staničnu stijenku već je nakon stanične diobe obavijena periplastom. Ispod plazmaleme nalaze se vezikule u kojima se sintetizira amorfni i netopljivi opal ( $\text{SiO}_2 \times \text{H}_2\text{O}$ ) iz netopljivog silicija, koji je u moru prisutan u obliku ortosilicijeve kiseline ( $\text{H}_2\text{SiO}_4$ ) i njezinih topljivih polimera. Ljušturica (frustula) se sastoji od 2 dijela (valve), od kojih veći dio, kao poklopac kutije, pokriva manji dio. Zbog svoje građe dijatomeje su prozirne te najviše propuštaju svjetlost. Upravo zbog te evolucijske prilagodbe možemo ih pronaći na većim dubinama. Stanice dinoflagelata nemaju staničnu stijenku, nego se na površini stanice nalazi amfijezma. Stanice mogu biti tekatne ili netekatne, ovisno o tome da li imaju uklopine od celuloznih ploča. Površina mladih stanica s vanjske strane se sastoji od plazmaleme i s unutrašnje strane od vezikula u kojima se kod oklopljenih vrsta stvaraju celulozne ploče zbog kojih raspršuju svjetlost. Vrste čije stanice nemaju celulozne ploče nazivamo netekatnim ili golim, a kod njih su vezikule prazne.

Osim klorofila, fitoplankton sadrži još i pomoćne pigmente. Različiti pigmenti apsorbiraju različite valne dužine svjetla. Boja pigmenta komplementarna je boji valne dužine svjetla koju pigment apsorbira. Fotosintetski organizmi pomoću pigmenata koji su jaki apsorbenti svjetla apsorbiraju određene valne dužine, te rade fotokemijsku konverziju energije svjetla u kemijsku energiju. Fotosintetski pigmenti dijele se na tri skupine: klorofile, karotenoide i fikobiline (Tablica 1.). Karotenoide i fikobiline neki nazivaju pomoćnim pigmentima jer prenose Sunčevu energiju na klorofil *a*, zajednički pigment u svih alga i svih fotosintetskih organizama. Klorofili su magnezijevi kompleksi porfirina, esterificirani s dugolančanim alkoholom – fitolom. Netopljivi su u vodi, a topljivi su u organskim otapalima. Karotenoidi su raznolika skupina fotosintetskih pigmenata koja obuhvaća karotene i ksantofile. Smješteni su u lamelama plastida, neposredno uz klorofil, sudjeluju u fotosintezi, a imaju i zaštitnu ulogu, štiteći molekulu klorofila od fotooksidacije kod izlaganja stanice svjetlosti prejakog intenziteta. Sadrže konjugirane dvostruke veze polienskog tipa i apsorbiraju svjetlost u plavo-zelenom području spektra (400-550 nm). Fikobilini (biloproteini) ne sadrže ni magnezij ni postrani fitolni lanac. Topivi su u vodi. Dijele se na fikoeritrine, fikocijanine, alofikocijanine i fikoeritrocijanine. Fikoeritrini maksimalno apsorbiraju u plavo-zelenom dijelu spektra, pa su važni u većim dubinama i kod slabije svjetlosti.



Slika 1. Shematski prikaz podrijetla plastida (preuzeto iz Delwiche 1999.)



Slika 2. Primjer različitog obojenja kulture stanica fitoplanktona – cijanobakterije, zelene alge, eustimatoficeje i dijatomeje (preuzeto od Mejdandžić & Gligora Udovič)

Tablica 1. Sastav glavnih pigmenata kod fitoplanktona (preuzeto iz Viličić, 2002.)

	TAXA													
	CYANOPHYTA	PROCHLOROPHYTA	GLAUCOPHYTA	EUGLENOPHYTA	DINOPHYTA	CRYPTOPHYTA	RAPHYDOPHYTA	CHRYSOPHYCEAE	PRYMNESIOPHYCEAE	XANTHOPHYCEAE	BACILLARIOPHYCEAE	CHLOROPHYCEAE	PRASINOPHYCEAE	RHODOPHYTA
<b>PIGMENTI</b>														
<u>KLOROFILI</u>														
Klorofil a	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕
Klorofil b		⊕	+	+								⊕	⊕	
Divinil-chl a		⊕											⊕	
Divinil-chl b		⊕											⊕	
Klorofil c					⊕	⊕		⊕	⊕	+	⊕			
<u>FIKOBILINI</u>														
Alofikocijanin	⊕													
Fikocijan	⊕	+	+			+	+							
Fikoeritrin	+	+	+			+	+							⊕
<u>KAROTENOIDI</u>														
Afanaksantin	+													
Zeaksantin	⊕	⊕		+		+	+						+	
Neoksantin				+								+		
Nostoksantin	+													
Diadinoksantin					⊕			+			+			
Peridinin					⊕									
19'-butanoiloksifikoksantin							+	⊕						
19'-heksanoiloksifikoksantin									⊕					
Aloksantin						⊕								
Echinenon	+	+												
Fukoksantin				+			+	+	+	+	⊕			
Lutein		+					+	+				⊕	+	+
Siphonoksantin				+							+	+	+	
Vaucheriakksantin							+		+					
Prasinoksantin												⊕		
Violaksantin	⊕													

Sastav pigmenata je specifičan za pojedine skupine te je posljedica evolucije organizama (Slika 1., 2.). Plastidi su endosimbiotski organeli prodirijekla iz cijanobakterija. Sastav pigmenata ovisi o stanici domaćinu i o endosimbiontu. Razlikujemo primarnu, sekundarnu i tercijarnu endosimbiozu, koja je karakteristična sa svaku taksonomsku skupinu protista

(Delwiche 1999). Na osnovi toga svaka skupina ima specifične pigmente od kojih su neki i identifikacijski (Wright i sur., 1997).

## **1.2. FIZIKALNI ČIMBENICI**

### **1.2.1. SVJETLOST**

Važni čimbenici koji određuju primarnu produkciju su upadna svjetlost, apsorpcija svjetlosti na suspendiranim česticama i dubina miješanoga sloja. Za proljetni, intenzivni razvoj fitoplanktona odlučujuću ulogu ima stratifikacija vodenoga stupca, kada se produžava vrijeme ekspozicije fitoplanktonskih stanica u eufotičkom sloju (Mann & Lazier, 1996).

Elektromagnetsko zračenje je oblik energije, a spektar takvog zračenja daje informaciju o njegovom sastavu. Kompletan spektar elektromagnetskog zračenja obuhvaća od X-zraka na visokoenergetskom, kratkovalnom području do radio valova na niskoenergetskom, dugovalnom području.

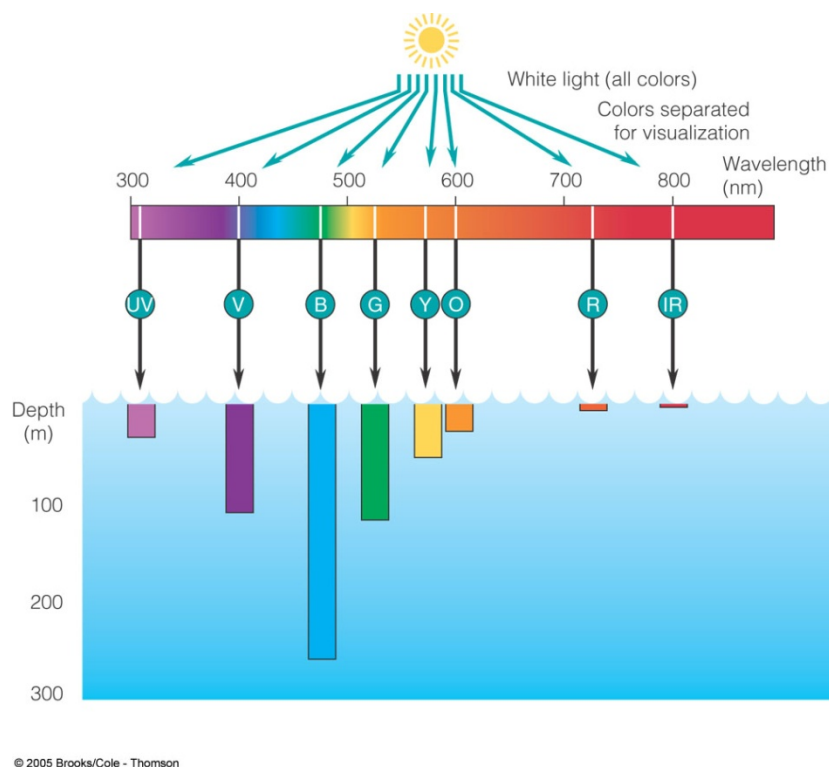
Svjetlost je elektromagnetsko zračenje valnih duljina od  $10^{-7}$  m do  $10^{-3}$  m koje nadražuje mrežnicu u čovječjem oku i time u organizmu izaziva osjet vida. Taj dio zračenja nazivamo optičko zračenje. Od ukupnog toka energije što je zrači neki izvor svjetlosti, samo elektromagnetsko zračenje valnih duljina od 380 do 780 nm može izazvati vizualni osjet svjetline i naziva se vidljivi dio spektra. Iznad i ispod tog dijela spektra nalazi se infracrveno (IR) i ultraljubičasto (UV) područje.

Sunčevo zračenje sadrži UV svjetlost valne duljine 200 do 400 nm. UV svjetlost koja dopire na površinu Zemlje dijeli se na štetnije UV-B zračenje (valne dužine 280-320 nm) i manje štetno UV-A zračenje (valne dužine 315-400 nm). UV zračenje smanjuje preživljavanje, primarnu i sekundarnu produkciju, te mijenja fiziološke procese u morskim organizmima. Također izaziva fotokemijske reakcije nežive organske tvari, mijenja optička svojstva vode, reducira brzinu fiksiranja ugljika u površinskom sloju oceana, te tako djeluje na fiziologiju heterotrofnih organizama (Moran & Zepp, 2000). UV djeluje na pokretljivost, orijentaciju, pigmentaciju i fotosintezu kod fitoplanktona (Schäfer i sur., 1993). Zbog osjetljivosti na UV zračenje, fitoplankton ugiba uz površinu mora (Cullen & Neale., 1994, Hader, 1996). Fitoplankton je osjetljiviji na UV-B zračenje (valna dužina 280-320 nm) nego bentoske

dijatomeje, koje se mogu prilagoditi na štetno zračenje (Peletier i sur., 1996). Otopljena organska tvar u vodi smanjuje negativan učinak UV svjetlosti (West i sur., 1999).

Intenzitet i boja svjetlosti ispod površine ovisi o količini planktona, količini suspendiranih čestica detritusa i koncentraciji otopljenih supstancija (npr. huminske kiseline) koje apsorbiraju svjetlost. Fotosintetski pigmenti od kojih dominira klorofil *a* određuju relativno veliki specifični apsorpcijski koeficijent u plavom i crvenom dijelu spektra. Apsorpcijski spektar anorganskih čestica, detritusa i heterotrofnog planktona obilježava maksimalni koeficijent apsorpcije u plavom dijelu spektra, u blizini maksimuma fitoplanktona. U takvim uvjetima može biti reducirano plavetnilo oligotrofnog mora (Darte i sur., 1998).

U otvorenim vodama, valna dužina od oko 400 nm prodire najdublje, a u obalnim vodama bogatima suspendiranim česticama, najdublje prodire valna dužina od oko 550 nm (Jerlov, 1976) (Slika 3.). U jače eutroficiranim ekosustavima svjetlost ograničava fotosintezu u slojevima koji su zasjenjeni gustim populacijama fitoplanktona koje su nakupljene bliže površini. To je pogotovo izraženo u estuarijima gdje se fitoplankton nakuplja uz haloklinu (Cole i sur., 1992).



Slika 3. Shematski prikaz prodiranja svjetlosti kroz vodeni stupac

<http://ksuweb.kennesaw.edu/~jdirnber/BioOceanography/Lectures/LecPhysicalOcean/LecPhysicalOcean.html>

### **1.2.2. MORSKE STRUJE**

Najvažniji izvori energije koji pokreću vodene mase oceana (stvaranje struja) su: Sunčeva radijacija, vjetrovi, rotacija Zemlje, te plima i oseka (Mann & Lazier, 1996). Plima i oseka velika je uz europske obale Atlantika, mala u Sredozemnom moru i u Baltiku, dok je odsutna u Crnom moru. Raspored struja ovisi o morfološkim karakteristikama obale i dna. Vjetar može djelovati na vertikalnu distribuciju pojedinih vrsta fitoplanktona (Fennel i sur., 1986). Stvara turbulenciju i resuspenziju čestica prema površini, gdje vladaju povoljniji svjetlosni uvjeti. Tako je stanicama fitoplanktona koje bi inače bile limitirane svjetlošću omogućena fotosinteza (Mallin & Pearl., 1992).

Morske struje raznose populacije fitoplanktona u horizontalnom i vertikalnom smjeru. Zbog toga se veličina i raspored populacija fitoplanktona ne mogu s lakoćom prostorno ograničiti. Razvoj pojedinih skupina fitoplanktona ovisi o njihovoj toleranciji na turbulenciju (Thomas & Gibson., 1990). Najtolerantnije su zelene alge, a najosjetljiviji su dinoflagelati.

### **1.2.3. KRUŽNE STRUJE**

Kružne struje ili vrtlozi važan su čimbenik koji raspoređuje planktonsku biomasu (Mann & Lazier, 1996., Venrick, 1998). Vrtlozi najčešće nastaju u područjima sa zatvorenim morfoloijom dna (Masina & Pinardi, 1994), a mogu se kretati neovisno o regionalnoj cirkulaciji. Vertikalna cirkulacija u njima određuje raspored toplinske energije, saliniteta, nutrijenata i planktona. Stimuliranu produkciju i nakupljanje fitoplanktona unutar toplih oceanskih vrtloga potvrdili su Allen i sur., 1996. , a cvjetanje fitoplanktona potvrđeno je unutar ciklonalnog vrtloga iznad Južnojadranske kotline.

U središtu vrtloga može doći do uzdizanja dubinske vode prema površini, što je vidljivo prodorom gušće vode prema površini, stvaranjem jake nutrikline i razvojem fitoplanktona u eufotičkom sloju (Brzezinski i sur., 1998). Nutrijenti se mogu dopremiti također advekcijom iz perifernih dijelova vrtloga prema njegovu središtu, što pogoduje razvoju fitoplanktona.

Ponekad se na rubovima vrtloga razvijaju nanoplankton i pikoplankton (Gould & Fryxell, 1988). Horizontalno uvučeni međuslojevi s različitim termohalnim svojstvima mogu biti

dokaz advekcije (Gould & Wiesenburg, 1990). Nakon slabljenja konvekcije u središtu vrtloga, može doći do stabilizacije vodenoga stupca, smanjenja disperzije fitoplanktonske biomase i njezina nakupljanja u određenom sloju (Gould & Wiesenburg, 1990).

#### **1.2.4. TEMPERATURA**

Temperatura određuje brzinu metaboličkih procesa u stanici i razvoj populacija. Optimalna temperatura za fotosintezu fitoplanktona nalazi se u području između 10°C i 20°C (Andersson i sur., 1994). Temperatura, salinitet i gustoća vode najbolji su pokazatelji porijekla vodene mase. Neke vrste fitoplanktona karakteristične su za određene temperaturne uvjete u moru.

O temperaturi ovisi polusaturacijska konstanta rasta fitoplanktona i apsorpcija hranjivih tvari, kao i kemijske interakcije između anorganskih i organskih komponenata u moru. Mikrobiološka razgradnja organske tvari raste eksponencijalno s porastom temperature.

Duž termičkih fronti nakuplja se fitoplankton, a temperatura djeluje na viskoznost citoplazme stanica fitoplanktona, pa se tonjenje stanica smanjuje otprilike 4% pri porastu temperature za 1°C.

Promjene koncentracije CO<sub>2</sub> u atmosferi i promjene temperature u vrijeme proteklih ledenih doba povezuje se s primarnom produkcijom u oceanima. Predviđa se da bi „efekt staklenika“ na Zemlji mogao promijeniti trofičke odnose u površinskim dijelovima oceana, jer porast temperature ubrzava prehranu zooplanktona i bentosnih filtratora i tako reducira biomasu fitoplanktona, što je također važan regulator dinamike trofičkih odnosa u pelagijalu (Viličić, 2003).



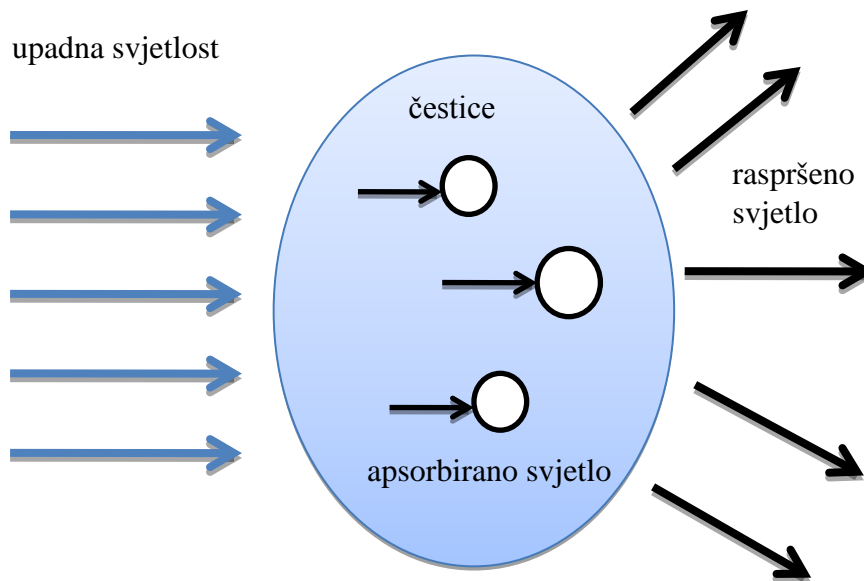
### 1.3. BIO-OPTIKA

Iako se stanice fitoplanktona većinom određuju različitim tehnikama mikroskopije gdje se stanice razlikuju na osnovi veličine i morfologije, te molekularnim metodama i nizom automatiziranih metoda, metode bio-optike nude potpuno novi pogled na istraživanja fitoplanktona i omogućuju veliku prostornu rezoluciju, što je većinom limitacija svih drugih metoda. Naime, da bi se stanice analizirale, potrebno je obaviti uzorkovanje koje obzirom na dimenzije i dubine oceana i drugih vodenih ekosustava nisu adekvatne već su mjerenja točkasta i ne dovode uvijek do dobrog rezultata. Claustre i sur. 2010 uvode pojam nedovoljno uzorkovanog oceana (engl: "*under-sampled ocean*") ukazujući na teškoće tradicionalnog uzorkovanja.

Bio-optika nudi drugačiji način gledanja na fitoplankton i njihovu dinamiku u oceanu mjerenjem njihovih optičkih svojstava. Stanica fitoplanktona može apsorbirati, raspršiti i fluorescentno sjajiti svjetlost (Roesler & Perry, 1995). Sva ova optička svojstva su blisko povezana sa veličinom, građom, oblikom i kompozicijom pigmenta stanice fitoplanktona i od primarne su važnosti u bio-optičkoj oceanografiji. Bio-optička oceanografija proučava utjecaj svjetlosnih efekata u biološkim procesima, traži ekološki važne odgovore uzimajući u obzir primarnu proizvodnju, dinamiku ekosustava, bio-geokemijsko kruženje, grijanje gornjeg oceana i antropogeni utjecaj na dinamiku oceana.

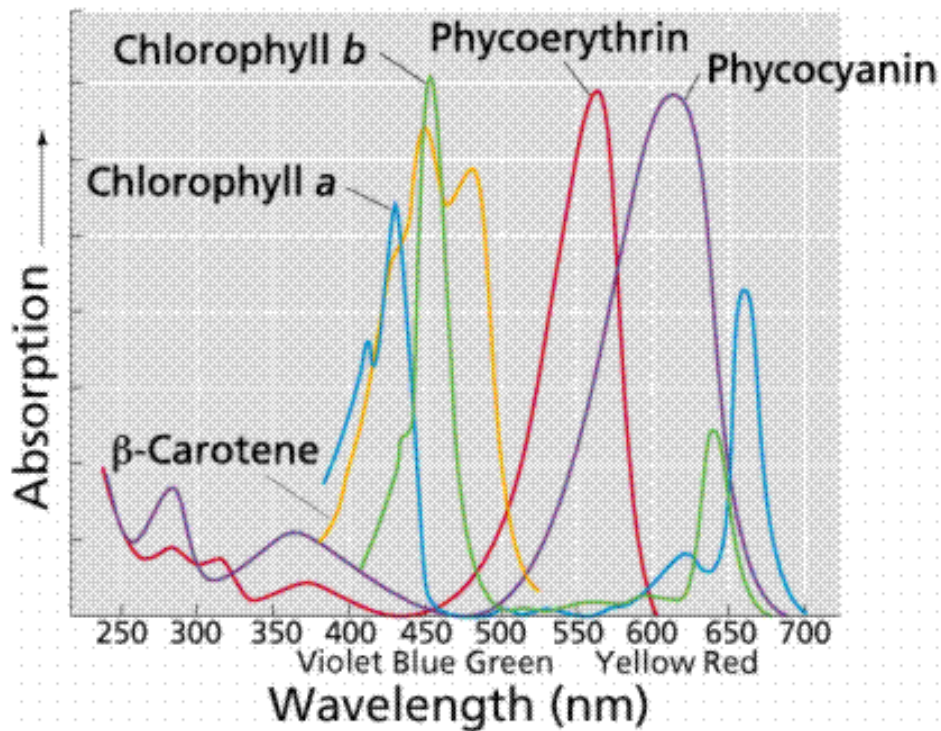
Glavni procesi koje koristi bio-optika su (Slika 4.):

1. Apsorpcija je proces kojim se energija zračenja apsorbira i pretvara u druge oblike energije, npr. fotosinteza, fluorescencija ili toplina. U prirodnim vodama svjetlost apsorbira sama voda, čestice i otopljene tvari poput obojene otopljene organske tvari (CDOM).
2. Fluorescencija je emisijski proces u kojem se atomi ili molekule pobuđuju apsorpcijom snopa elektronskog zračenja. Nakon vrlo kratkog vremenskog razdoblja ( $10^{-6}$  s do  $10^{-9}$  s) pobuđena vrsta se relaksira do svog prethodnog ili osnovnog stanja prenoseći pritom suvišak energije drugim atomima ili molekulama u istoj okolini (Slika 5.).
3. Raspršenje je proces u kojem tok svjetlosti mijenja smjer bez gubitka energije, u prirodnim vodama svjetlost raspršuje sama voda i čestice u vodi.



Atenuacija = apsorpcija + raspršenje

Slika 4. Shematski prikaz glavnih optičkih svojstava čestice.



Slika 5. Shematski prikaz procesa fluorescencije različitih pigmenta sa navedenim valnim duljinama na kojima se apsorbira i emitira svjetlost. Preuzeto sa: <http://lakes.chebucto.org/DATA/PARAMETERS/CHA/cha.html>

## 1.4. JADRANSKO MORE

Jadransko more je sjeverni izdanak Sredozemnog mora (Mediterana), a čini samo 4,6% od njegove ukupne površine (Riđanović i sur. 1999). Od Jonskog mora razdvajaju ga Otrantska vrata (širine 70 km) i Otrantski prag (dubine 789 m). Površina Jadranskog mora bez otoka iznosi 135 418 km<sup>2</sup>, a volumen mu je 34 836 km<sup>3</sup>. Površina hrvatskog dijela Jadrana iznosi 40 984 km<sup>2</sup>. Najveća je dubina izmjerena u Južnojadranskoj kotlini i iznosi 1243 m, ali većina Jadrana, oko 73%, je plića od 200 m. Jadransko more longitudinalno se dijeli na sjeverni, srednji i južni dio, a fizikalna, biološka i kemijska svojstva tih dijelova se razlikuju.

Tipičan ekosustav otvorenog mora u Jadranu nalazimo samo u njegovu južnom, najširem dijelu, u području Južnojadranske kotline čija je dubina veća od 200 m. Ulazna struja iz Jonskog mora donosi vodu povećanog saliniteta (modificiranu intermedijalnu levantinsku vodu MLIW engl.: „*Modified Levantine Intermediate Water*“), koja u vrijeme najjače advekcije – ingresije (Zore–Armanda, 1969) dostiže vrijednosti veće od 38,65‰ (Gržetić, 1982). Najjača struja (voda najvećeg saliniteta) proteže se uz istočnu obalu, u području izobate 300 m (Zore-Armanda, 1969).

Po površini Južnojadranska kotlina zauzima petinu površine čitavog Jadrana, a sadrži četiri puta veći volumen vode nego srednji i sjeverni Jadran zajedno. Oko 75% vode koja ulazi u Jadran kroz Otrantska vrata, recirkulira u južnojadranskom ciklonalnom vrtlogu, a ostalih 25% prelazi Palagruški prag prema srednjem i sjevernom Jadranu (Gačić i sur. 1999).

Palagruški prag je granica između plićeg i produktivnijeg srednjeg Jadrana i dubljeg i siromašnijeg južnog Jadrana. To je mjesto sudaranja vodenih masa različitog porijekla, što uzrokuje povećanu produkciju (Zore-Armanda, 1984, 1996; Vukadin & Stojanoski 1996; Leder i sur. 1996). Zbog toga je navedeno područje iznimno važno u gospodarskom smislu, jer je bogatije malom plavom ribom. Također, iznad Južnojadranske kotline stvara se već spomenuti ciklonalni vrtlog koji je najjači zimi i u rano proljeće, a tada u njegovu središtu dolazi do uzdizanja dubinske vode prema površini (Viličić i sur. 1994; Viličić i sur. 1989). Upravo tim uzdizanjem dubinske vode autohtone hranjive soli dolaze na površinu te se na taj način obogaćuje površinski sloj južno od Palagruškog praga (Marasović i sur. 1999). Hranjive soli u južni Jadran donosi najvećim dijelom ulazna struja iz Jonskog mora (Civitarese & Gačić, 2002). Na taj je način prisutan utjecaj albanskih rijeka u južnom Jadranu (Artegiani i sur. 1993). Kao što je spomenuto, u proljeće dolazi do obogaćivanja eufotičkog sloja hranjivim tvarima, a upravo zbog toga dolazi do cvjetanja fitoplanktona. Cvjetanje

fitoplanktona uzrokuje povećanu potrošnju hranjivih soli. Termička stratifikacija, održavanje kružne struje i metabolička aktivnost fitoplanktona rezultiraju postupnim iscrpljivanjem eufotičkog sloja hranjivim solima. U takvim okolnostima, fitoplanktonska biomasa ponovno pada i ostaje niska do sljedećeg proljeća. Redukcija koncentracije nutrijenata nakon cvjetanja, pučinsko cvjetanje fitoplanktona od travnja do svibnja te zimsko obogaćivanje eufotičkog sloja hranjivim solima su tipični procesi prisutni u toplim oligotrofnim morima, a nazivaju se još i oligotrofna faza u razvojnem ciklusu fitoplanktona i ekosustava (Mann & Lazier, 1996). Upravo taj ciklus postoji i u Južnojadranskoj kotlini i vrlo je važan za život fitoplanktona.

Snažan kontinentalni utjecaj na Jadransko more (dotok slatkih voda) i njegova povezanost s istočnim Sredozemljem preko Otrantskih vrata, odlučujući su uvjeti da između ovih dvaju sustava dolazi do stvaranja specifičnog ritma izmjene vodenih masa (Zore-Armanda 1968, Buljan & Zore-Armanda 1976, Orlić i sur. 1992, Gačić i sur. 1999). Razlike u raspodjeli temperature, saliniteta i gustoće vode uzrokuju stvaranje površinske izlazne struje koja je intenzivnija ljeti i površinske ulazne struje koja je intenzivnija zimi.

## **1.5. POVIJEST ISTRAŽIVANJA FITOPLANKTONA JADRANSKOG MORA**

Počeci istraživanja Jadrana vezani su za upoznavanje vrsta morskih organizama u sjevernom Jadranu, koji je bio pod utjecajem Italije i Austrougarske Monarhije. Istraživanja hrvatskog dijela Jadrana možemo podijeliti na četiri razdoblja. Prvo razdoblje krajem 19. stoljeća, usmjerava Spiridion Brusina, prvi profesor zoologije na zagrebačkom Sveučilištu koji je promicao Darwinove evolucionističke ideje i utemeljio mnoge muzejske zbirke. U drugom razdoblju, koje traje do Prvog svjetskog rata, organizirana su terenska istraživanja Jadrana tijekom prvih ekspedicija u Jadranu. Treće razdoblje obuhvaća izgradnju prve naše znanstvene ustanove u Splitu, 1933. godine, završetak Drugog svjetskog rata i početno razdoblje iza Drugog svjetskog rata (Orlić 2011.).

Suvremeni je razvoj hrvatske oceanografije počeo sredinom 19. stoljeća. Među ostalima, Grgur Bučić je u to doba na Hvaru istraživao međudjelovanje atmosfere i mora. Prva naša oceanografska krstarenja organizirana su brodom „Vila Velebita“ 1913. i 1914. u području Hrvatskog primorja. Analizom fizičko-oceanografskih podataka u to doba najviše se bavio

Artur Gavazzi. Dvadesetak godina nakon toga važni su radovi Ante Ercegovića, koji je istraživao hidrografska svojstva mora u okolici Splita, te Josipa Goldberga i Karla Kempnija, koji su u suvremenu hrvatsku oceanografiju uveli matematičko modeliranje. Nakon Drugog svjetskog rata nastavilo se s istraživanjem fizikalnih procesa, premda je godinama u taj posao bilo uključeno samo nekoliko znanstvenika, najvažniji među njima bili su Marijan Kasumović te Mira Zore-Armanda. Postignuti su lijepi rezultati, primjerice u izučavanju odziva Jadrana na djelovanje tlaka zraka te u određivanju tzv. geostrofičkih struja i analizi vodenih masa u Jadranu. Od kraja 1960-ih nešto se povećao broj znanstvenika, a tijekom idućih dvaju desetljeća naši su se istraživači povremeno mogli koristiti i brodom *Andrija Mohorovičić* koji je omogućavao sustavan rad na otvorenom moru. Važan rezultat iz tog razdoblja bila je studija odziva Jadrana na utjecaj dominantnih vjetrova – bure i juga. Od početka 1990-ih zbog rata i financijskih ograničenja težište rada preneseno je na obalno područje. Istraživači su velik napor uložili u očuvanje analize na postojećoj razini.

Istraživanje fitoplanktona u Jadranskom moru započelo je početkom dvadesetog stoljeća u sjevernom Jadranu u blizini istraživačkih centara kao što su Trst, Venecija i Rovinj (Viličić i sur., 2002). Tijekom tih istraživanja sakupljeni su prvi podaci o hidrografiji i planktonu istočnog dijela Jadrana (Schiller 1913, 1925a, 1925b; Kamptner 1941). Moderna istraživanja provela je Relevante (1985.) u sjevernom dijelu Jadrana, a daljnja istraživanja nastavljena su u srednjem Jadranu (Ercegović 1936; Pucher-Petković 1966; Marasović i sur., 1990).

Istraživanja fitoplanktona u južnom Jadranu dugo su bila nedostupna zbog velike udaljenosti toga područja od istraživačkih centara. Nakon osnivanja Oceanografske stanice (1946. godine), odnosno kasnije Biološkog instituta (1958. godine) u Dubrovniku, u južnom Jadranu su se dugo provodila isključivo istraživanja zooplanktona. Do 1980. godine istraživanja fitoplanktona u obalnim su vodama južnog Jadrana povremena i mjestimična. Pucher-Petković analizira fitoplankton u Mljetskim jezerima (1957, 1960) i u Malostonskom zaljevu (Buljan i sur. 1973.).

## **1.6. FITOPLANKTON JADRANSKOG MORA**

Biodiverzitet fitoplanktona Jadranskog mora je velik te je do sada zabilježeno 888 svojiti (Viličić i sur. 2002). Dominantna skupina fitoplanktona u Jadranu su dijatomeje pri čemu

penatne vrste prevladavaju u sjevernom Jadranu a centrice u južnom. Abundancija fitoplanktona, posebice dijatomeja (preko  $5 \times 10^6$  stanica  $L^{-1}$ ) je veća u područjima pod antropogenim utjecajima. U čitavom Mediteranu najviše su istraživane upravo dijatomeje i broj vrsta zabilježen u nekom području varira između 107 do 183 (Tolomio 1978, 1982; Caroppo 1999; Lakkisi Novel-Lakis 1980; Marino & Modighi 1981). Najveći broj dijatomeja (400) je zabilježen u sjevernom Mediteranu (Travers & Travers, 1973) i u istočnom Jadranu (518 od čega 330 penatnih vrsta i 174 centrica) pri čemu su dijatomeje bile dominantne, a slijedili su dinoflagelati sa 264 vrste, primnesioficeje sa 101 vrsta, te rafidoficeje (1 vrsta) i euglenoficeje (2 vrste) (Viličić i sur., 2002).

Usljed velike dinamike razvoja fitoplanktona, cirkulacije i fizikalno kemijskih svojstava vodenog stupca sastav fitoplanktonske zajednice se jako mijenja kroz godinu i iz godine u godinu. Tijekom jedne godine istraživanja nekog područja istočnog Jadrana ustanovi se prosječno oko 130 svojti. Upravo zbog navedenih promjena popis vrsta je često podložan mijenjanju.

Zadnjih desetljeća razvijaju se i molekularne metode koje otkrivaju evolucijske odnose i testiraju klasičnu taksonomiju. Prve objavljene sekvence fitoplanktona iz Jadranskog mora su dijatomeje *Cylindrotheca closterium* (Pletikapić i sur., 2011), a prva novo opisana vrsta iz Jadranskog mora uz pomoć filogenetske analize je dijatomeja *Bacteriastrum jadrantum* (Godrijan i sur., 2012). Iako je danas za određivanje vrsta još uvijek važna morfologija stanica, sve je važnija molekularna biologija koja daje dosad nedostupne informacije.

Sve donedavno prevladavalo je mišljenje da su za najveći dio lokalnih i globalnih promjena u fitoplanktonskoj biomasi i produktivnosti zaslužne velike stanice, dok je učinak pikofitoplanktona smatran pozadinom procesa (Chisholm i sur., 1992a; Maranon i sur., 2001). Međutim mnoge studije su pokazale značajan doprinos pikofitoplanktona u ukupnoj fitoplanktonskoj biomasi i primarnoj produkciji (Stockner, 1988; Raven, 1998; Maranon i sur., 2001). Istraživanja distribucije pikofitoplanktona u zadnja dva desetljeća poprilično su intenzivna (Partensky i sur., 1996, Blanchot i sur., 2001, Pan i sur., 2007). Primjenom protočne citometrije, kao i molekularno - bioloških metoda omogućeno je sakupljanje i obrada velike količine podataka o njihovom broju i taksonomskom sastavu.

Dosadašnja istraživanja južnog Jadrana ukazuju na oligotrofiju područja gdje je fitoplanktonska zajednica karakterizirana najmanjom veličinskom frakcijom - pikofitoplanktonom (Viličić, 1998, Cerino i sur. 2012, Najdek et al. 2014). Razvoj mikrofitoplanktona je ograničen uglavnom na duboki maksimum klorofila i zimsku

konvekciju (Cerino i sur. 2012, Najdek i sur. 2014). Uslijed jakog hlađenja površinskog sloja mora dolazi do tonjenja, te se nalaze stanice dijatomeja na dubinama znatno ispod eufotičkog sloja (Batistić i sur. 2012). Zimska konvekcija je iznimno važan proces za to oligotrofno područje jer omogućuje transport hranjivih soli u površinske slojeve gdje ga fitoplankton može opet koristiti, te se na tom procesu bazira proljetni maksimum fitoplanktona (Gačić i sur. 2002). Intenzitet zimske konvekcije i proljetnih maksimuma određuje količinu tonjenja čestica partikularnog ugljika u južnom Jadranu (Boldrin et al., 2002; Turchetto et al., 2012).

Uslijed teških uvjeta uzorkovanja zimi, istraživanja su bila izrazito rijetka u to doba godine, ali se zadnjih godina stavlja sve veća pažnja baš na to doba godine jer procesi u tom periodu određuju proljetni maksimum i time produktivnost područja na svim trofičkim razinama (Viličić, 1998; Batistić et al., 2012; Cerino et al., 2012; Najdek et al., 2014, Ljubimir i sur. 2017).

## **1.7. CILJ ISTRAŽIVANJA**

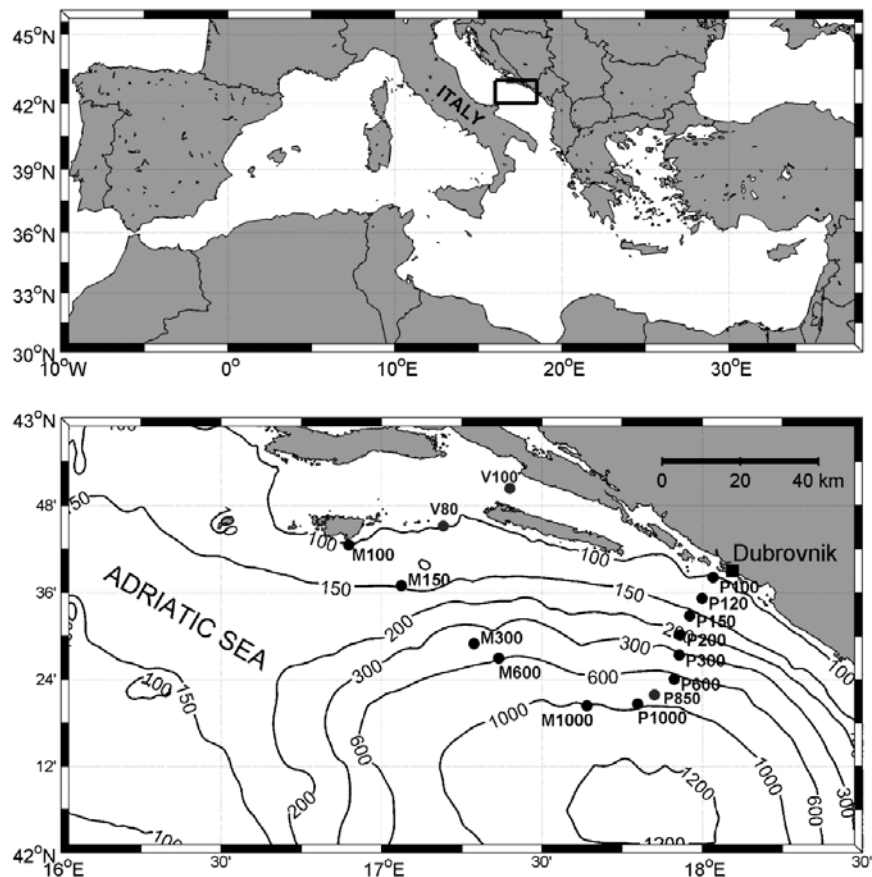
Cilj ovog istraživanja je opisati hidrografska svojstva južnog Jadrana u zimskom razdoblju i usporediti ih s bio-optičkim parametrima. Na temelju dobivenih rezultata bio-optike opisati procese primarne produkcije u južnom Jadranu koja je posljedica te fizike, te temelj za razvoj organizama na višim trofičkim razinama.

## **2. MATERIJALI I METODE**



## 2.1. TERENSKO ISTRAŽIVANJE

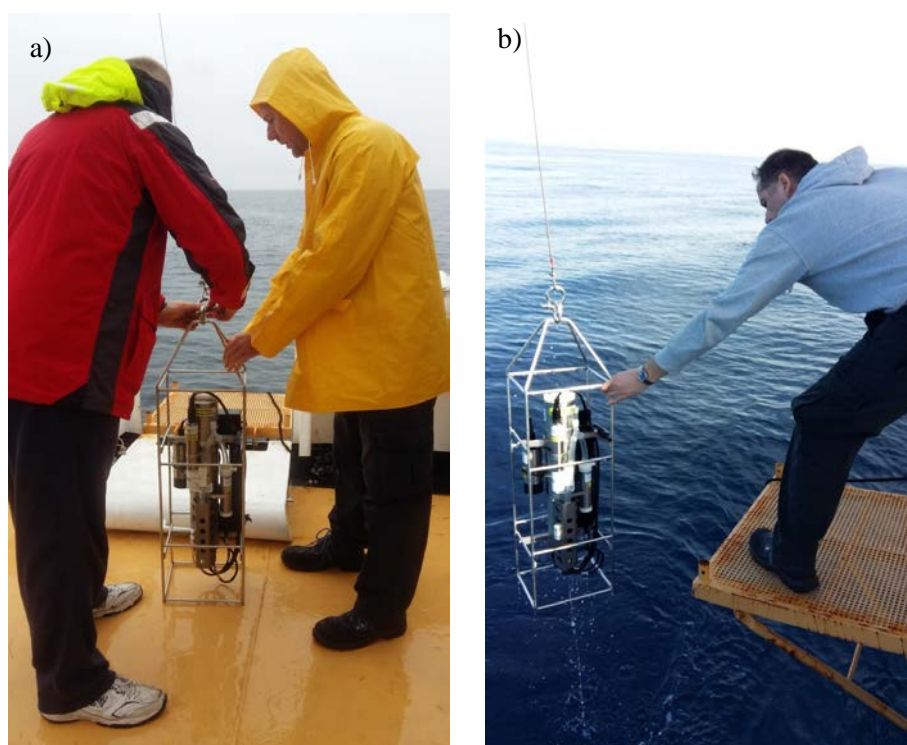
Istraživanje je provedeno u sklopu projekta BIOTA financiranog od Hrvatske Zaklade za Znanost (HRZZ), tijekom dva terenska izlaska – BIOTA I (u razdoblju od 28. veljače do 03. ožujka 2015. godine) te BIOTA II (u razdoblju od 08. ožujka do 10. ožujka 2016. godine). Tijekom prvog terenskog izlaska ukupno je uzorkovano na 14 različitih postaja raspoređenih u tri transekte: P-transekt (P100-P1000), M-transekt (M100-M1000) te PA-transekt (P100A-P200A). Na drugom terenskom izlasku ukupno je uzorkovano na 8 različitih postaja i to na P-transektu (P100-P1000). Relativni položaj postaja prema koordinatima uzorkovanja prikazan je na karti istraživanog područja (slika 6.). Cilj je bio prikupiti oceanografske podatke koji su povezani sa optičkim svojstvima, te su mjerena svojstva mora u vertikalnim profilima u intervalima od 0.5/1 m.



Slika 6. Karta istraživanog područja – južni Jadran (istraživane postaje označene su sa crnim kružićima)

## 2.2. UZORKOVANJE NA TERENU

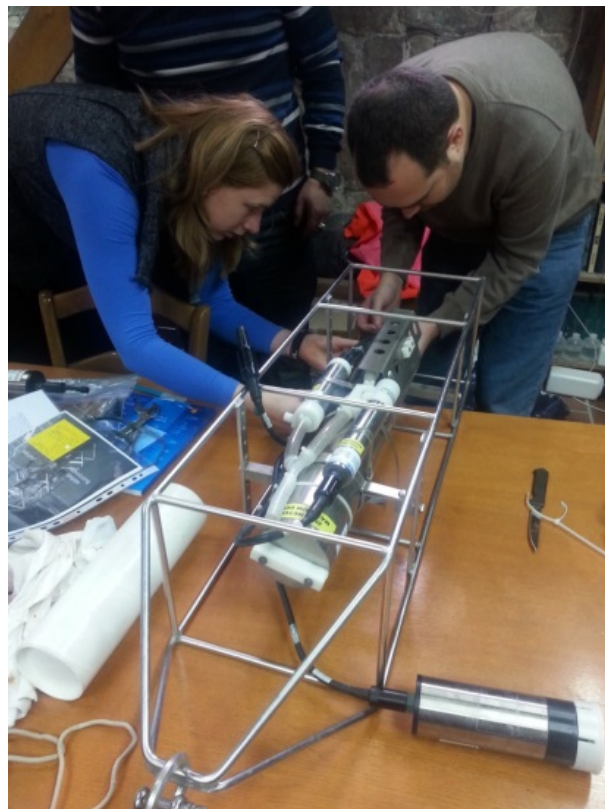
Osnovna oceanografska platforma koju smo koristili tijekom našeg istraživanja je CTD sonda (Slika 7.), na kojemu su instalirani senzori za mjerenje provodljivosti, temperature i dubine vodenog stupca, što su osnovni fizikalni parametri istraživanih postaja. Dodatno, CTD sonda bila je opremljena senzorom za mjerenje otopljenog kisika, u našem slučaju to je bio SBE25 sonda (SEA-Bird Electronics Inc., SAD), te sa tri bio-optička senzora: transmisiometar (C-Star, WET Labs) (Slika 8.), fluorometar i instrument za detekciju raspršenja (FLNTU, WET Labs) (Slika 9.) i senzor za mjerenje fotosintetski aktivne radijacije (PAR) (Slika 10.). U svrhu BIOTA istraživanja bilo je neophodno dobiti vertikalne profile osnovnih fizikalnih parametara (temperature i saliniteta) i profil fluorescencije klorofila (Chl F) dobiven FLNTU optičkim senzorima. Na temelju dobivenih vertikalnih profila određena je dubina uzorkovanja za kemijske i biološke parametre (Slika 11.).



Slika 7. CTD sonda a) priprema za spuštanje sonde b) dizanje sonde nakon mjerenja



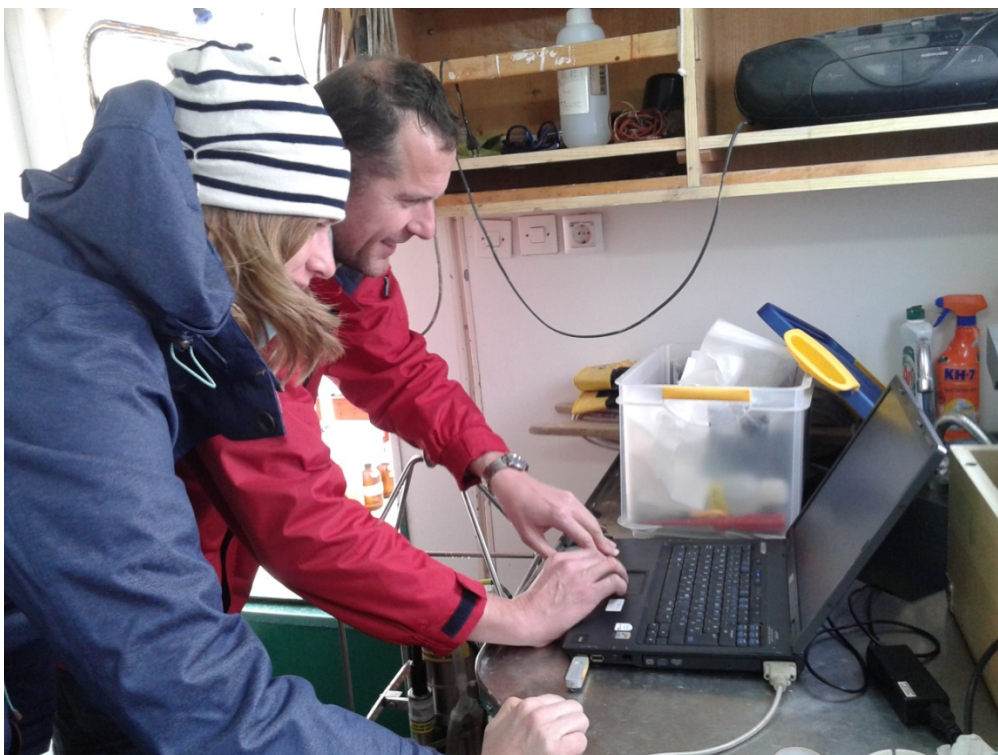
Slika 8. Bio-optički senzor za mjerenje atenuacije – transmisiometar C-Star



Slika 9. Bio-optički senzor za mjerenje fluorescencije i raspršenja- FLUNTU



Slika 10. Bio-optički senzor za mjerenje fotosintetski aktivne radijacije -PAR



Slika 11. Skidanje podataka sa CTD sonde i crtanje vertikalnih profila termo-halinih i bio-optičkih profila



U laboratoriju analizirani su optički parametri. PAR ( $\mu\text{mol fotoni m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) se koristi za procjenu 1% dubine radijacijske razine ispod koje se fotosinteza ne odvija (Boss & Behrenfeld, 2010). Pomoću C-Star transmisiometra dobivene su mjere oslabljenja svjetlosti ( $c_p$ ), koje su preračunate iz mjerene voltaže u jedinice  $\text{m}^{-1}$ . Raspršenje je jedan od osnovnih optičkih svojstava koji opisuje kako medij/posrednik raspršuje svjetlost. Funkcija raspršivanja koristi se za izračun boje oceana iz satelita (Lee & Lewis, 2003). Unazadno raspršenje (backscattering,  $b_{bp}$ ) izračunan je po formuli:

$$b_{bp} = 2 \cdot \pi \cdot \chi \cdot \beta_p$$

gdje  $\beta_p$  je količina raspršenja u mjerenom uglu, a „angledependent scale factor“  $\chi$  iznosi 1.132.

Omjer raspršenja,  $b_{bp}/c_p$ , je funkcija morfološke karakteristike čestica u vodi, npr. veći omjer raspršenja se mjeri u obalnim ekosustavima gdje ima više sedimenata u vodenom stupcu u usporedbi s mjerenjima u ekosistemima u otvorenom moru (Bishop, 1986; Zaneveld, 1973). Količina partikularnog ugljika (POC) je izračunat po formuli (Cetinić i sur., 2012):

$$\text{POC} = 35422 \cdot b_{bp} - 14.4$$

a za izračun fitoplanktonskog ugljika,  $C_{\text{phyto}}$ , je korištena formula (Graff i sur., 2015):

$$C_{\text{phyto}} = 12128 \cdot b_{bp} + 0.59$$

Sakupljena mjerenja omogućuju izračun nekoliko različitih procjena biomase; koncentraciju klorofila *a*, partikularnog organskog ugljika i ugljika vezanog uz fitoplankton (Graff i sur., 2015). Izračunat je optički indeks zajednice koji je jednak omjeri koncentracije klorofila i unazadnog raspršenja ( $b_{bp}$ ). Dobiveni bio-optički čimbenici uspoređeni su sa rezultatima analize fitoplanktona klasičnom metodom mikroskopije i protočne citometrije.

Uzorci za analizu fitoplanktona, pigmenta i hranjivih soli uzorkovani su Niskinovim crpcem (Slike 12., 13.). Poduzorci (250 mL) za analizu fitoplanktona fiksirani su sa neutraliziranim formalinom (2% konačna koncentracija) (Slika 14.) te tako konzervirani su dopremljeni u Laboratorij za algologiju, Biološki odsjek, PMF, Zagreb. Konzervirani poduzorci dalje su analizirani na Biološkom odsjeku pomoću mikroskopa, nakon sedimentacije koja je trajala 48 sati. Za brojanje stanica fitoplanktona korišten je invertni mikroskop Zeiss Axiowert 200, a korištena je metoda prema Utermöhl (1958). Stanice mikrofitoplanktona, veće od 20  $\mu\text{m}$ ,

brojane su pod povećanjem od 400 puta na pola transekta kroz vidno polje. Na povećanjima od 100 i 200 puta brojani su transekti cijelom dužinom. Nanofitoplankton, veličine od 2 do 20  $\mu\text{m}$ , kao i guste nakupine fitoplanktona brojane su metodom nasumice odabranih vidnih polja pod povećanjem 200 i 400 puta. Pogreška metode brojanja iznosi 10%. Vrijednosti dobivene brojanjem su zatim preračunate u broj stanica po litri.



Slika 12. Niskinov crpac- uređaj za uzimanje uzoraka vode



Slika 13. Uzorkovanje poduzoraka iz crpca



Slika 14. Fiksacija uzoraka na terenu

Uzorci za analizu pikofitoplanktona fiksirani su sa 0.1% glutaraldehydom. Nakon 10 minuta duboko su zamrznuti u tekućem dušiku i pohranjeni na  $-80^{\circ}\text{C}$ . Analize su provedene s FACSCalibur protočnim citometrom opremljenim s 15mW argon laserom. Prikupljanje podataka izvršeno je pri visokoj brzini protoka (otprilike  $90\text{ ml min}^{-1}$ ) tijekom 5 do 7 minuta korištenjem postavki (FSC E01, SSC 380, FL1 400, FL2 585, FL3 640) i crvene fluorescencije kao parametar praga. Podaci su dobiveni u log modu. Fluorescentne polistirenske kalibracijske kuglice (Partec kalibracijske kuglice  $1\text{ }\mu\text{m}$ , referentni broj 05-4007) dodane su u sve uzorke kao interni standard. Za obradu uzorka korištena je tekućina BD FACSDiva (ref 342003). Obrada je provedena pomoću softvera CellQuest Pro (Becton Dickinson) i analizom podataka pomoću softvera FlowJo (Tree Star, Inc., Ashland, Oregon). Brojanje pikofitoplanktonskih populacija napravljeno je na temelju crvene fluorescencije, narančaste fluorescencije i signala raspršivanja (engl: *backscattering*). Broje se samo čestice koje se pojavljuju u odabranim regijama u ta tri područja. Abundancija je izražena kao stanice  $\text{mL}^{-1}$ .

## 2.3. NUMERIČKA I GRAFIČKA OBRADA PODATAKA

Podaci su numerički obrađivani u programu Excel 2010. Grafički prikazi izrađeni su u programu Grapher 8.0.

### **3. REZULTATI**



### 3.1. REZULTATI BIOTA I

Prosječna temperatura u 2015. godini tijekom istraživanja iznosila je 14,50°C sa standardnom devijacijom u iznosu od 0,496 (Tablica 2.). Najviša temperatura (15,53°C ) izmjerena je na postaji P200A u površinskom sloju, a najniža (13,29°C) na postaji P1000 na dnu. Prosječna vrijednost saliniteta iznosila je 38,71 sa standardnom devijacijom u iznosu od 0,122 (Tablica 2.). Maksimum saliniteta (38,80) izmjeren je na postaji P1000, a minimum (36,67) na površini postaje P100A. Prosječna koncentracija otopljenog kisika iznosila je 6,84 mg/L sa standardnom devijacijom u iznosu od 0,321 (Tablica 2.). Maksimalna koncentracija kisika (7,80 mg/L) izmjerena je u površinskom sloju postaje P100A, a minimalna koncentracija (5,51 mg/L) u površinskom sloju postaje P600. Prosječna vrijednost POC-a tijekom 2015. godine iznosila je 94,48 mg/m<sup>3</sup> sa standardnom devijacijom u iznosu od 8,327 (Tablica 2.). Maksimalna vrijednost POC-a izmjerena je (183,64 mg/m<sup>3</sup>) na postaji P100, a minimalna (78,31 mg/m<sup>3</sup> ) u površinskom sloju postaje M600. Prosječna vrijednost C<sub>phyto</sub> tijekom istraživanja iznosila je 56,10 mg/m<sup>3</sup> sa standardnom devijacijom u iznosu od 4,002 (Tablica 2.). Maksimalna vrijednost (101,58 mg/m<sup>3</sup> ) izmjerena je na postaji P100, a minimalna vrijednost (47,866 mg/m<sup>3</sup>) na postaji M600. Prosječna koncentracija klorofila *a* iznosila je 0,04 µg/L sa standardnom devijacijom u iznosu od 0,031 (Tablica 2.).

Tijekom istraživanja je uočeno da biologija prati termo-halina svojstva vodenog stupca te se svaka promjena na termo-halinim svojstvima odražavala na broj stanica (Slike 15–28). Signal klorofila *a* u 2015. godini zabilježen je do 500 m dubine, optički parametri su pratili taj signal, na istim dubinama nađene su i viabilne stanice fitoplanktona. MLIW zabilježena je na dubini od 400 do 600 m.

Tablica 2. Maksimalna (MAX) i minimalna (MIN) vrijednost, srednjak (AVG) te standardna devijacija (STDEV) fizikalno-kemijskih parametara u južnom Jadranu 2015. godine, N – broj uzoraka

Parametar	N	MAX	MIN	AVG	STDEV
Temperatura (°C)	9691	15,53	13,29	14,50	0,49
Salinitet	9691	38,80	36,67	38,71	0,12
Kisik (mg/L)	9691	7,80	5,51	6,84	0,32
Klorofil <i>a</i> (µg/L)	9672	0,105	0	0,04	0,031
POC (mg/m <sup>3</sup> )	9671	183,64	78,31	94,48	8,33
C <sub>phyto</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	9671	101,58	47,86	56,10	4,002
Omjer raspršenja	3579	0,0097	0,0012	0,0063	0,00033
Optički indeks zajednice	9671	56,34	1,67	10,76	10,02
Nanofitoplankton	117	44020	0	11507	8817
Pikofitoplankton	117	22408	0	10981	5453
Mikrofitoplankton	117	19700	100	4319	3366

Na području P-transekta temperatura vodenog stupca kretala se od minimalnih 13,29°C na dnu na postaji P1000 do maksimalnih 15,30°C na površini na postaji P300. Vrijednosti saliniteta duž P-transekta kretale su se od minimalnih 37,41 na samoj površini postaje P100 do maksimalnih 38,80 na dubini od 426 m na postaji P1000. Vrijednosti koncentracije otopljenog kisika kretale su se od minimalnih 5,51mg/L na samoj površini postaje P600 do maksimalnih 7,64 mg/L na površini postaje P100. Minimalne vrijednosti POC-a na P-transektu iznose 83,50 mg/m<sup>3</sup> na postaji P1000 na dubini od 927 m, a maksimalna vrijednost 183,64 mg/m<sup>3</sup> na postaji P100 na dubini od 96,5 m. C<sub>phyto</sub> pokazuje najnižu koncentraciju 47,86 mg/m<sup>3</sup> na površini postaje P600, a najviša koncentracija iznosi 101,58 mg/m<sup>3</sup> na postaji P100 na dubini od 96,5 m. Maksimalna vrijednost optičkog indeksa iznosi 29,83 na postaji P1000 na dubini od 30,5 m, a minimalna vrijednost 1,67 na dubini od 500 m na postaji P600. Minimalna vrijednost omjera raspršenja iznosi 0,0042 na samoj površini postaje P100, a maksimalna vrijednost 0,0097 na samom dnu postaje P100.

U P-transektu u zajednici mikrofitoplanktona dominirale su dijatomeje sa prosječnim udjelom u zajednici od 93,48%. U zajednici nanofitoplanktona dominirali su kokolitoforidi sa prosječnim udjelom od 48,29% , a u zajednici pikofitoplanktona dominirala je cijanobakterija *Synechococcus* sa prosječnim udjelom od 57,61%.

Na području M-transekta temperatura vodenog stupca kretala se od minimalnih 13,32°C na dnu na postaji P1000 do maksimalnih 15,12°C na površini na postaji P600. Vrijednosti saliniteta duž M-transekta kretale su se od minimalnih 38,36 na samoj površini postaje M150 do maksimalnih 38,80 na dubini od 538 m na postaji M600. Vrijednosti koncentracije otopljenog kisika kretale su se od minimalnih 6,21 mg/L na dubini od 452,5 m na postaji M1000 do maksimalnih 7,43 mg/L na dubini od 10,5 m na postaji M150. Minimalna vrijednost POC-a na M-transektu iznosi 78,31 mg/m<sup>3</sup> na samoj površini postaje M600, a maksimalna vrijednost 114,01 mg/m<sup>3</sup> na postaji M600 na dubini od 212 m. C<sub>phyto</sub> pokazuje najnižu koncentraciju 47,86 mg/m<sup>3</sup> na postaji M600 na samoj površini, a najviša koncentracija iznosi 66,07 mg/m<sup>3</sup> na postaji M600 na dubini od 212 m. Maksimalna vrijednost optičkog indeksa iznosi 56,345 na površini postaje M600, a minimalna vrijednost 4,48 na postaji M1000 na dubini od 400 m. Minimalna vrijednost omjera raspršenja iznosi 0,00581 na samoj površini postaje M150, a maksimalna vrijednost 0,0070 na 99,5 m na postaji M300.

U M-transektu u zajednici mikrofitoplanktona dominirale su dijatomeje sa prosječnim udjelom od 93,67%. U zajednici nanofitoplanktona veliku većinu zauzeli su kokolitoforidi sa prosječnim udjelom od 41,40%, a u zajednici pikofitoplanktona dominirala je cijanobakterija *Synechococcus* sa 55,85%.

Na području PA-transeкта temperatura vodenog stupca kretala se od minimalnih 13,50°C na samoj površini na postaji P100A do maksimalnih 15,53°C na dubini od 7 m na postaji P200A. Vrijednosti saliniteta duž PA-transeкта kretale su se od minimalnih 36,67 na samoj površini postaje P100A do maksimalnih 38,81 na dubini od 5 m na postaji P200A. Vrijednosti koncentracije otopljenog kisika kretale su se od minimalnih 6,91 mg/L na dubini od 167 m na postaji P200A do maksimalnih 7,80 mg/L na površini postaje P100A. Minimalna vrijednost POC-a na PA-transektu iznosi 85,25 mg/m<sup>3</sup> na samoj površini postaje P200A, a maksimalna vrijednost 141,60 mg/m<sup>3</sup> na postaji P200A na dubini od 56,5 m. C<sub>phyto</sub> pokazuje najnižu koncentraciju 51,40 mg/m<sup>3</sup> na samoj površini postaje P200A, a najviša koncentracija iznosi 80,14 mg/m<sup>3</sup> na postaji P200A na dubini od 56,5 m. Maksimalna vrijednost optičkog indeksa iznosi 47,78 na postaji P200A na dubini od 47,78 m, a minimalna vrijednost 7,08 na površini postaje P100A. Minimalna vrijednost omjera raspršenja iznosi 0,0012 na samoj površini postaje P120A, a maksimalna vrijednost 0,00888 na 56,5 m na postaji P200A.

U PA-transektu u zajednici mikrofitoplanktona dominirale su dijatomeje s prosječnim udjelom od 89,90%. U zajednici nanofitoplanktona dominirali su kokolitoforidi sa prosječnim udjelom od 66,56%, a u zajednici pikofitoplanktona dominirala je cijanobakterija *Synechococcus* sa prosječnim udjelom od 55,95%.

### 3.1.1. VERTIKALNI PROFILI

Promatranjem vertikalnih profila P-transeкта dubljih postaja možemo vidjeti podpovršinske maksimume klorofila *a* na dubinama ispod eufotičke zone. Visoke vrijednosti temperature i saliniteta na dubinama do 400 m ukazuju na ulazak MLIW u Jadran. MLIW je vodena masa koju karakterizira niska vrijednost otopljenog kisika i visoke koncentracije hranjivih soli te je u 2015. godini zabilježen između 400 i 600 m dubine, što je puno niže od očekivanog. Signal

klorofila *a* zabilježen je do dubine 500 m, što ukazuje na nedavno ponirane površinske vode u dublje dijelove vodenog stupca.

### **Primjer 1. Uzrokovanje na istom profilu 5 dana kasnije (usporedba P100 i P100A)**

Na postaji P100 (slika 15.) temperatura i salinitet rasli su s porastom dubine, a koncentracija kisika se smanjivala porastom dubine. Najviša temperatura (14,90°C) i najviši maksimum saliniteta (38,66) izmjereni su na 100 m dubine. Koncentracija klorofila *a* bila je povišena u sloju od nekoliko metara ispod površine do 80 m dubine, a svoj maksimum je dosegla (0,11µgL<sup>-1</sup>) na 10 m dubine. Optički indeks zajednice preklapa se sa signalom klorofila kroz cijeli vodeni stupac. Mikrofitoplankton i pikofitoplankton bili su najabundantniji u površinskom sloju do 20 m dubine, a svoj maksimum su postigli na 10 m dubine. Nanofitoplankton svoj je maksimum dosegao na većim dubinama (između 60 i 80 m).

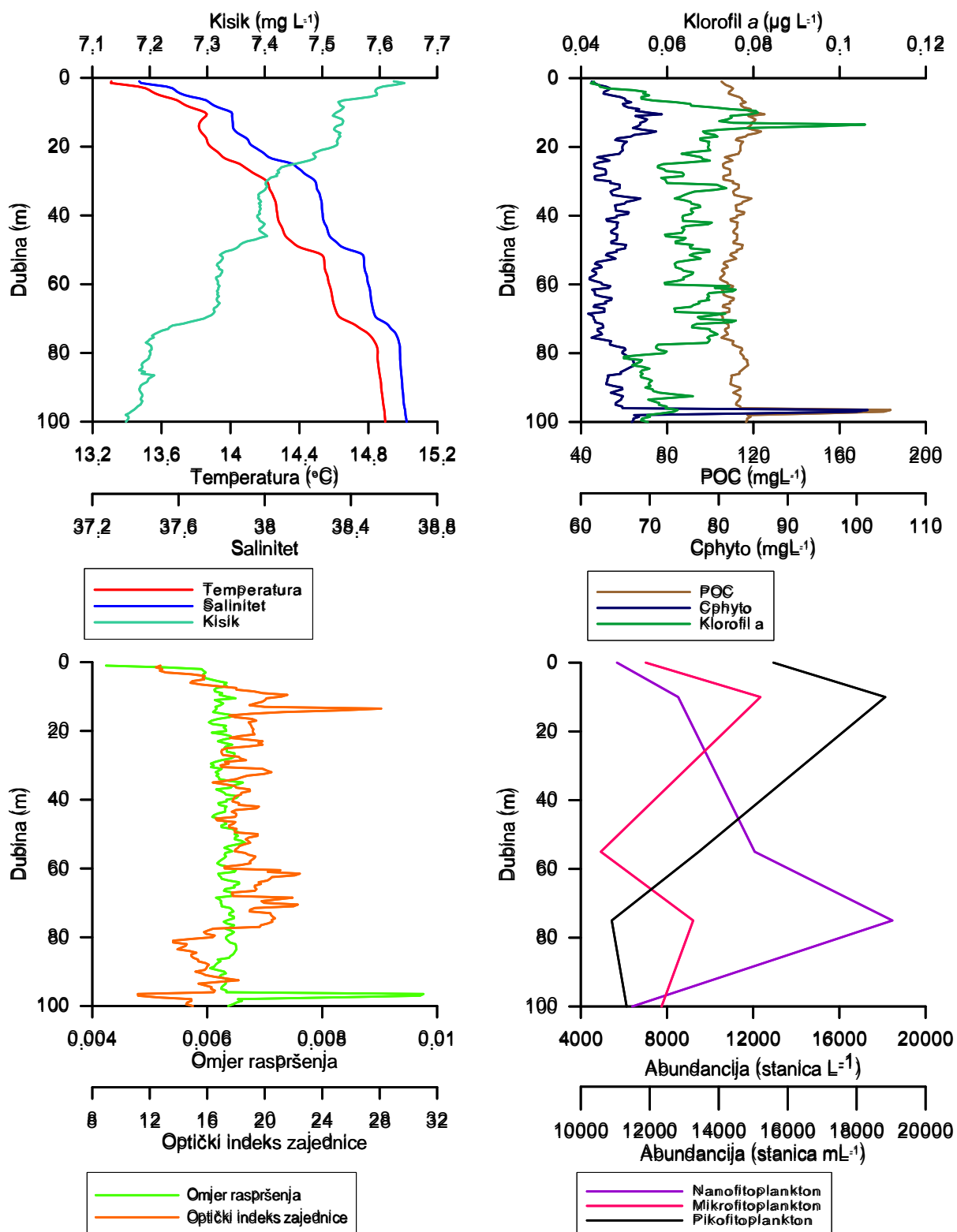
Nekoliko dana nakon uzrokovanja na području P-transektu uzorci su se ponovno sakupili. Situacija se samo u nekoliko dana izuzetno promijenila. Promjene koje su se dogodile utjecale su na prostornu raspodjelu fitoplanktona. Osim što je abundancija mikrofitoplanktona, nanofitoplanktona i pikofitoplanktona porasla, maksimumi abundancija vidljivi su na drugim dubinama. Na postaji P100A (slika 25.) nanofitoplankton bio je izuzetno abundantan, svoj je maksimum postigao na 20 m dubine. Maksimum mikrofitoplanktona zabilježen je u površinskom sloju, a pikofitoplanktona na dubini od 40 m. Osim različitih maksimuma i sam sastav fitoplanktona se u nekoliko dana promijenio, naime u P-transektu dominirale su dijatomeje, a u PA-transektu dominiraju kokolitoforidi. Na vertikalnom profilu postaje P100A vidljiva su dva sloja, površinski gdje dolazi do porasta temperature i saliniteta s porastom dubine te drugi sloj, koji započinje na otprilike 20 m u kojem su zabilježeni i maksimumi temperature i saliniteta. Zabilježeni signal klorofila *a* je veći u odnosu na postaju P100, a optički indeks zajednice ga lijepo prati kroz cijeli vodeni stupac.

### **Primjer 2. Duboka konvekcija i tonjenje fitoplanktona (usporedba P600 i P1000)**

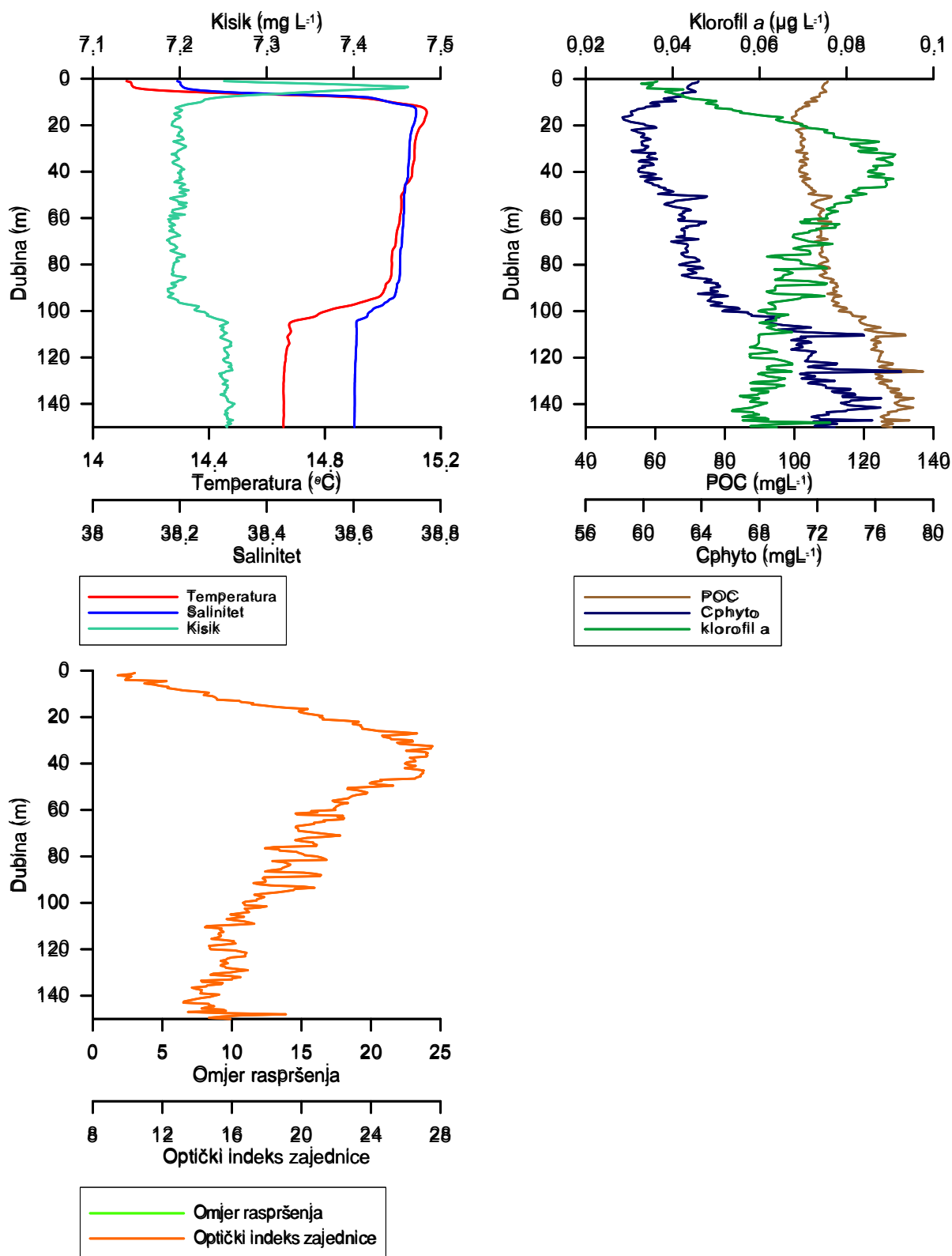
Na postaji P600 (slika 18.) vidljiva je izrazita varijabilnost vodenog stupca. Pad koncentracije klorofila *a* na 200 m dubine odvaja dva sloja ovog vodenog stupca. U gornjem sloju zabilježen je maksimum temperature (15,18°C) i maksimum mikrofitoplanktona, a u donjem sloju maksimum saliniteta (38,78), nanofitoplanktona te pikofitoplanktona. Mikrofitoplankton

činile su dijatomeje (95,86%), nanofitoplankton kokolitoforidi (71,42%), a pikofitoplankton *Synechococcus* (59,63%). Na postaji P600 vidljiva su dva maksimuma klorofila *a*, od kojih je najveći ( $0,09\mu\text{gL}^{-1}$ ) zabilježen na 30 m dubine. Drugi maksimum klorofila vidljiv je u sloju između 250 i 300 m, ispod eufotičke zone te ukazuje na moguće tonjenje vodene mase. Optički indeks zajednice preklapa se sa signalom klorofila kroz cijeli vodeni stupac.

Na postaji P1000 (slika 19.) također su vidljiva dva sloja. Gornji sloj proteže se do otprilike 80 m dubine te je u njemu zabilježen i maksimum klorofila *a* ( $0,10\mu\text{gL}^{-1}$ ). Vrijednosti temperature smanjivale su se porastom dubine pa je tako maksimum temperature ( $14,99^{\circ}\text{C}$ ) zabilježen također u gornjem sloju. Vrijednosti saliniteta rasle su s porastom dubine do otprilike 400 m, gdje postignu maksimum (38,80), nakon čega se postupno smanjuju.

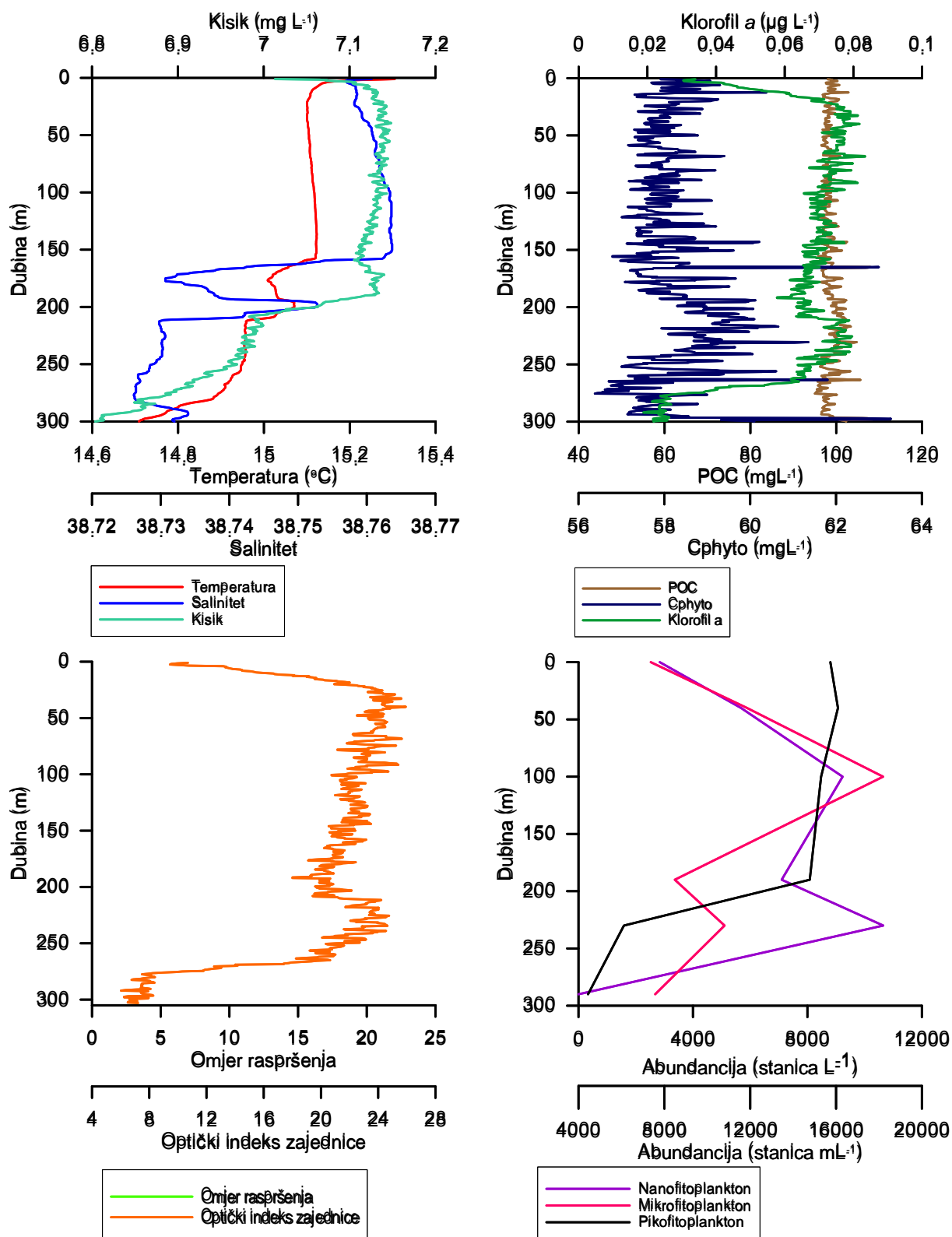


Slika 15. Vertikalni profili raspodjele fizikalno-kemijskih i bioloških čimbenika na postaji P100, 2015. godine

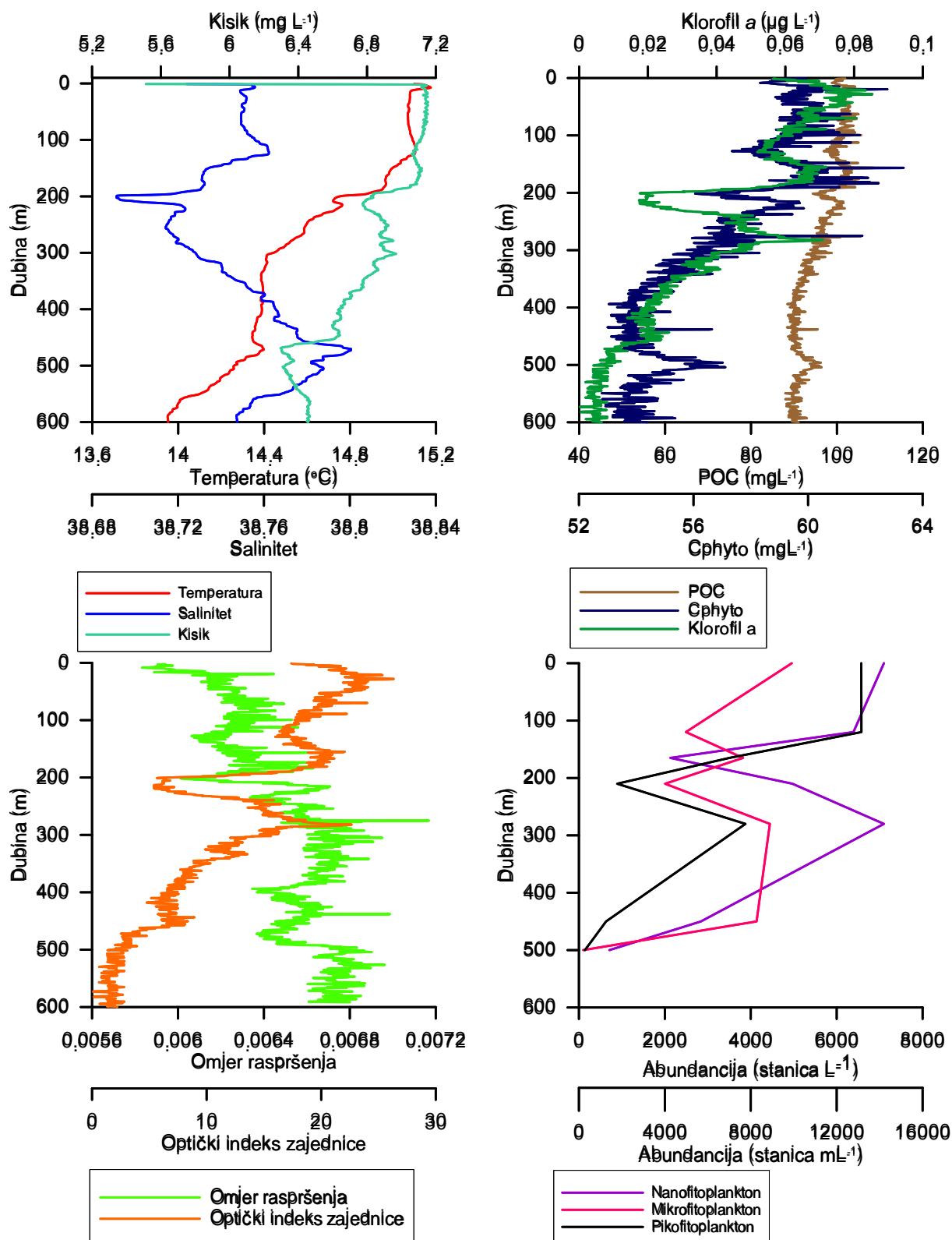


Slika 16. Vertikalni profili raspodjele fizikalno-kemijskih i bioloških čimbenika na postaji P150, 2015. godine

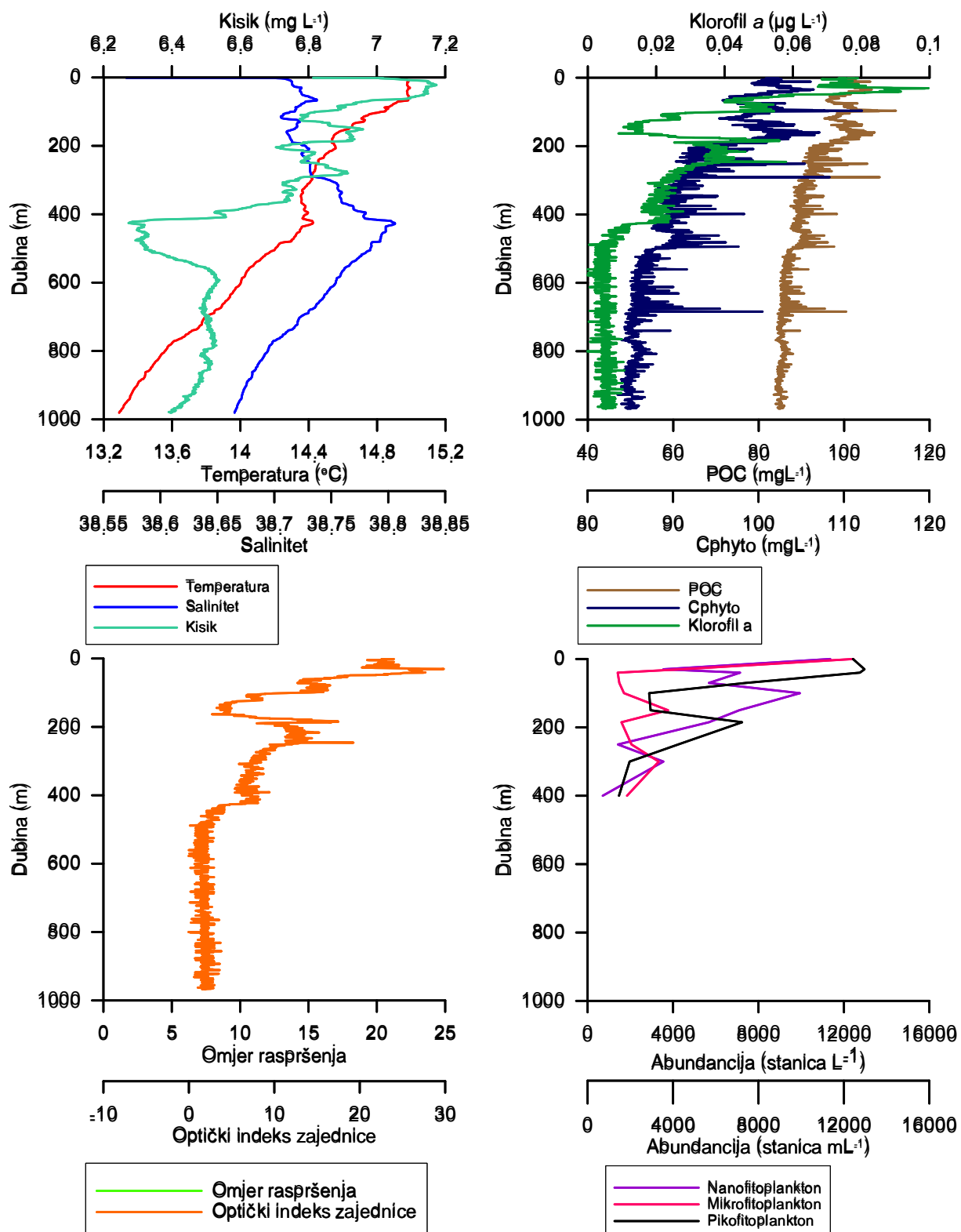




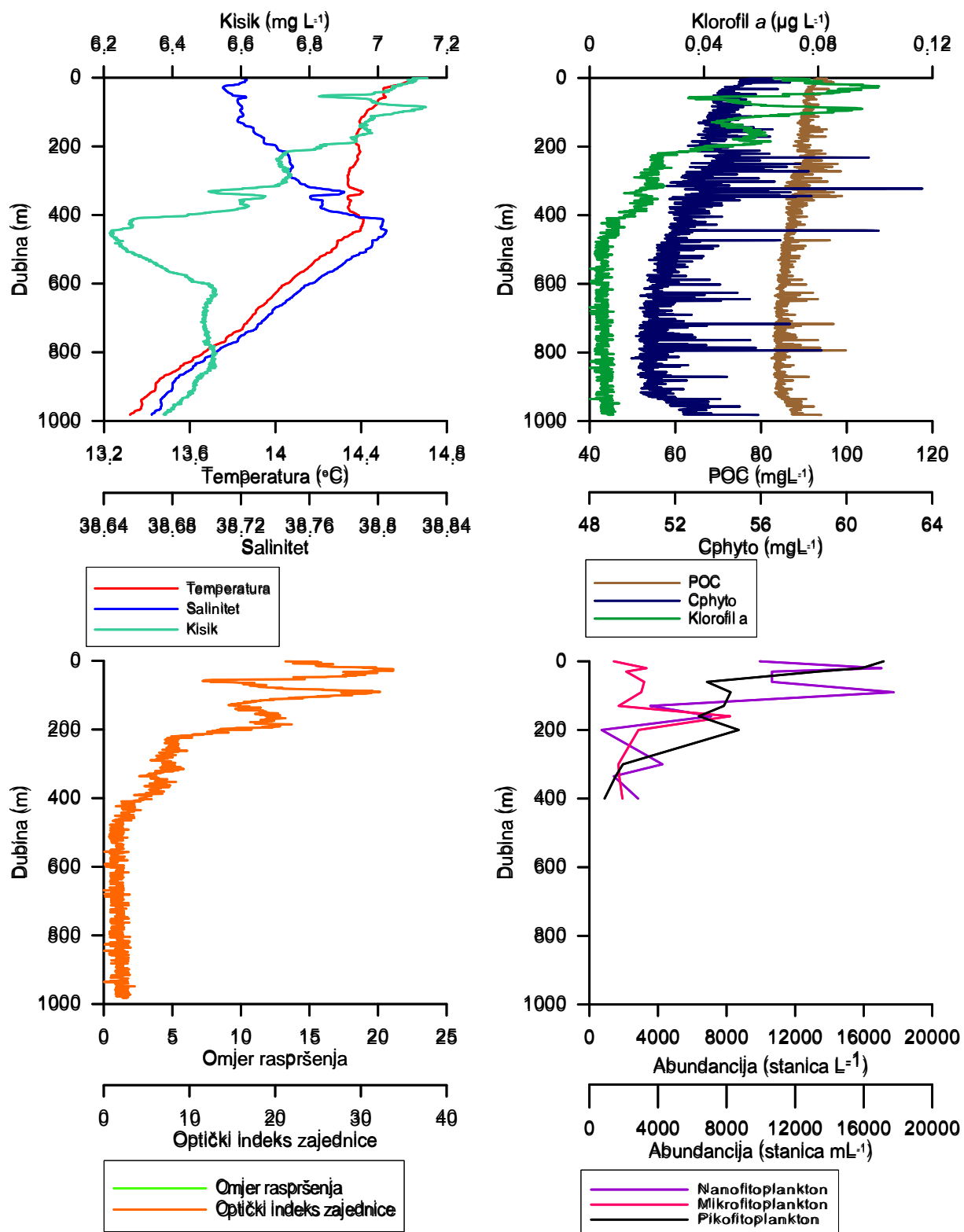
Slika 17. Vertikalni profili raspodjele fizikalno-kemijskih i bioloških čimbenika na postaji P300, 2015. godine



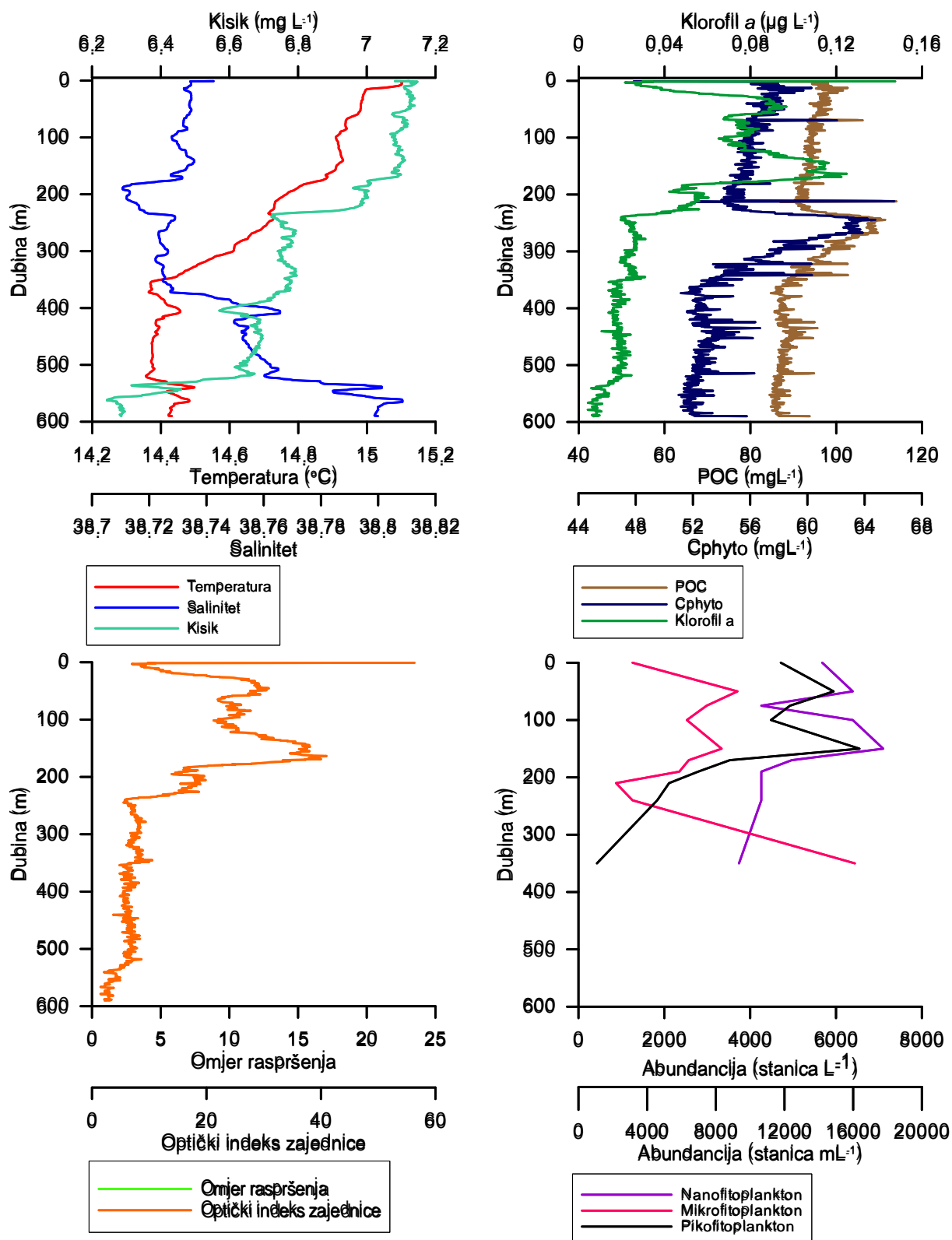
Slika 18. Vertikalni profili raspodjele fizikalno-kemijskih i bioloških čimbenika na postaji P600, 2015. godine



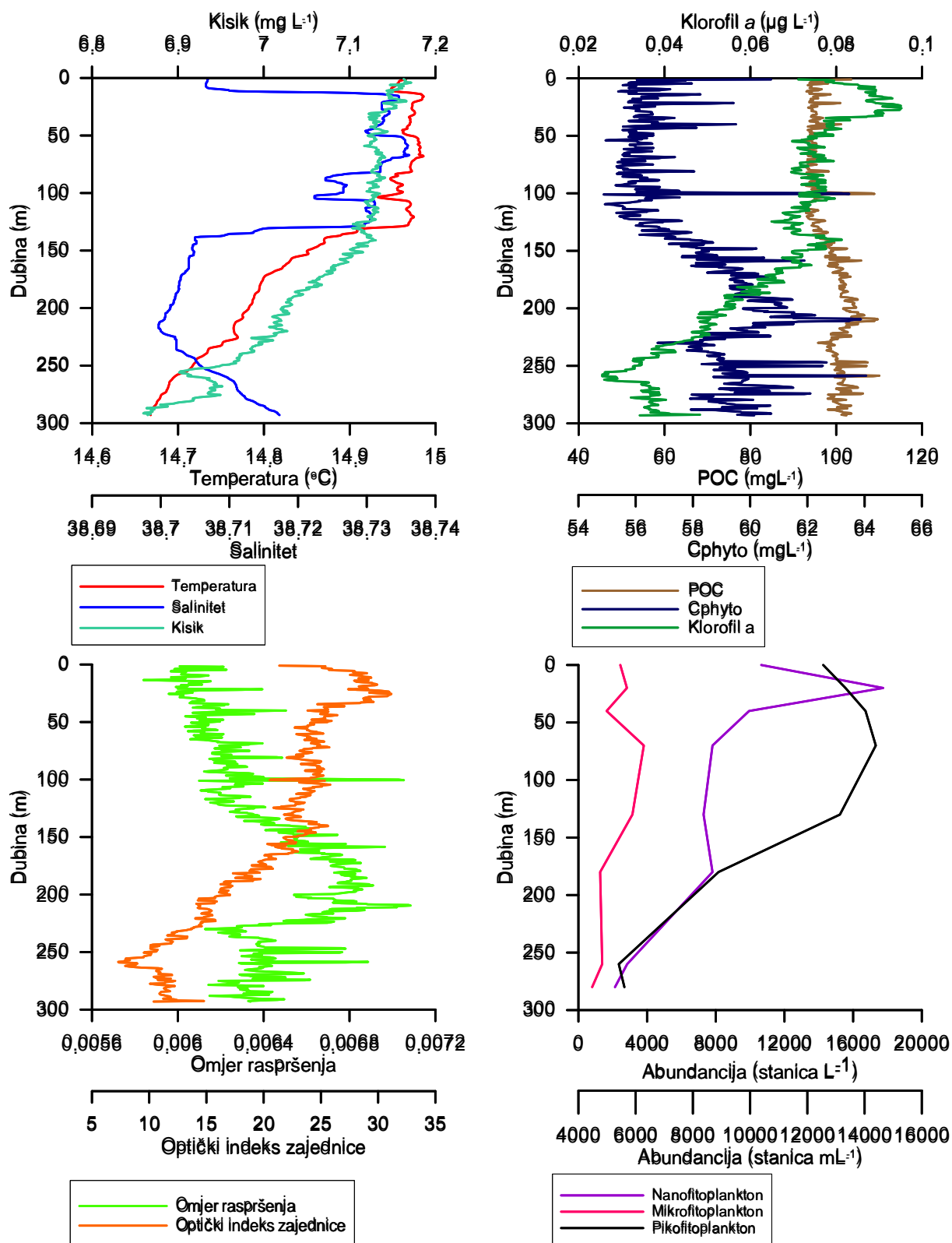
Slika 19. Vertikalni profili raspodjele fizikalno-kemijskih i bioloških čimbenika na postaji P1000, 2015. godine



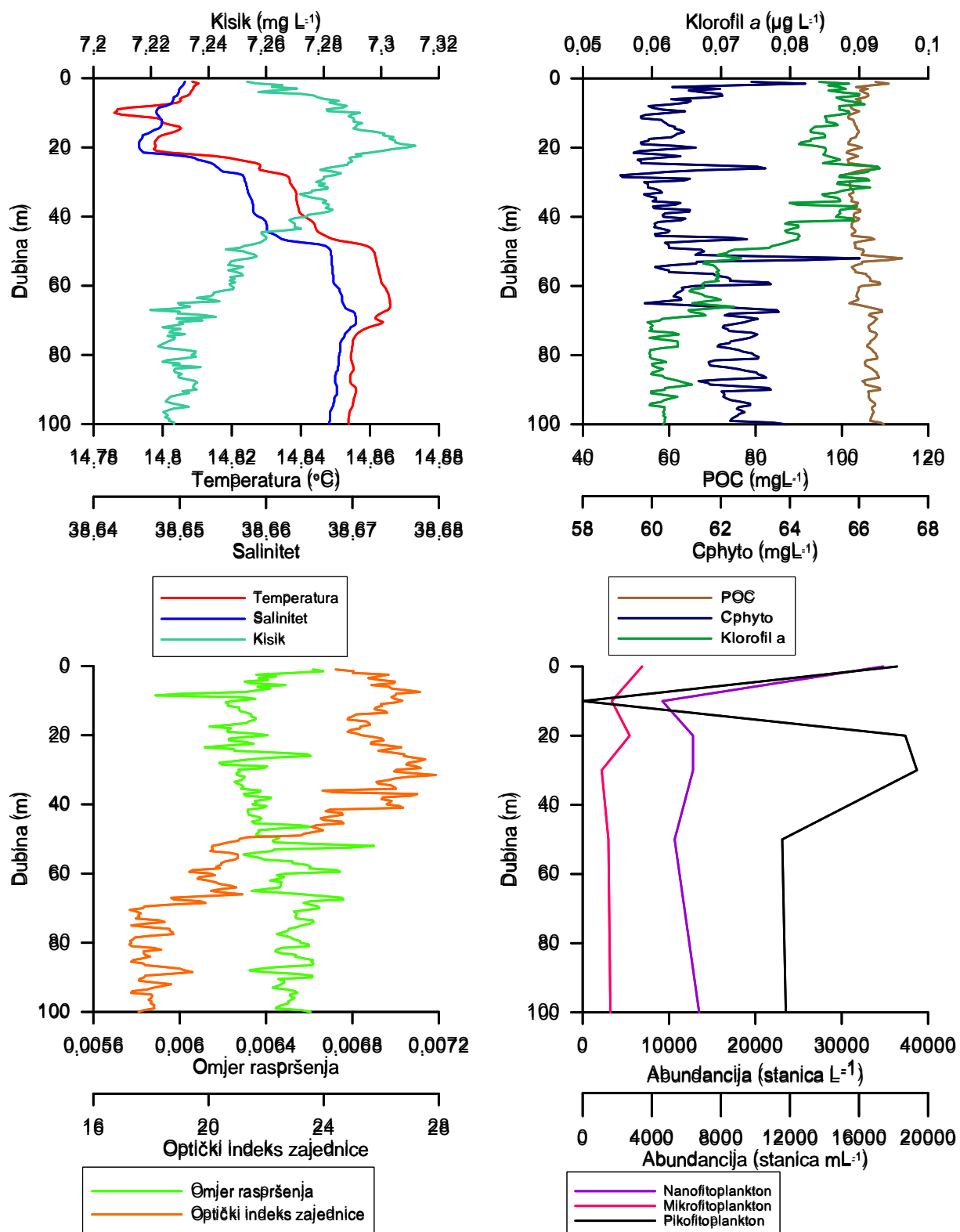
Slika 20. Vertikalni profili raspodjele fizikalno-kemijskih i bioloških čimbenika na postaji M1000, 2015. godine



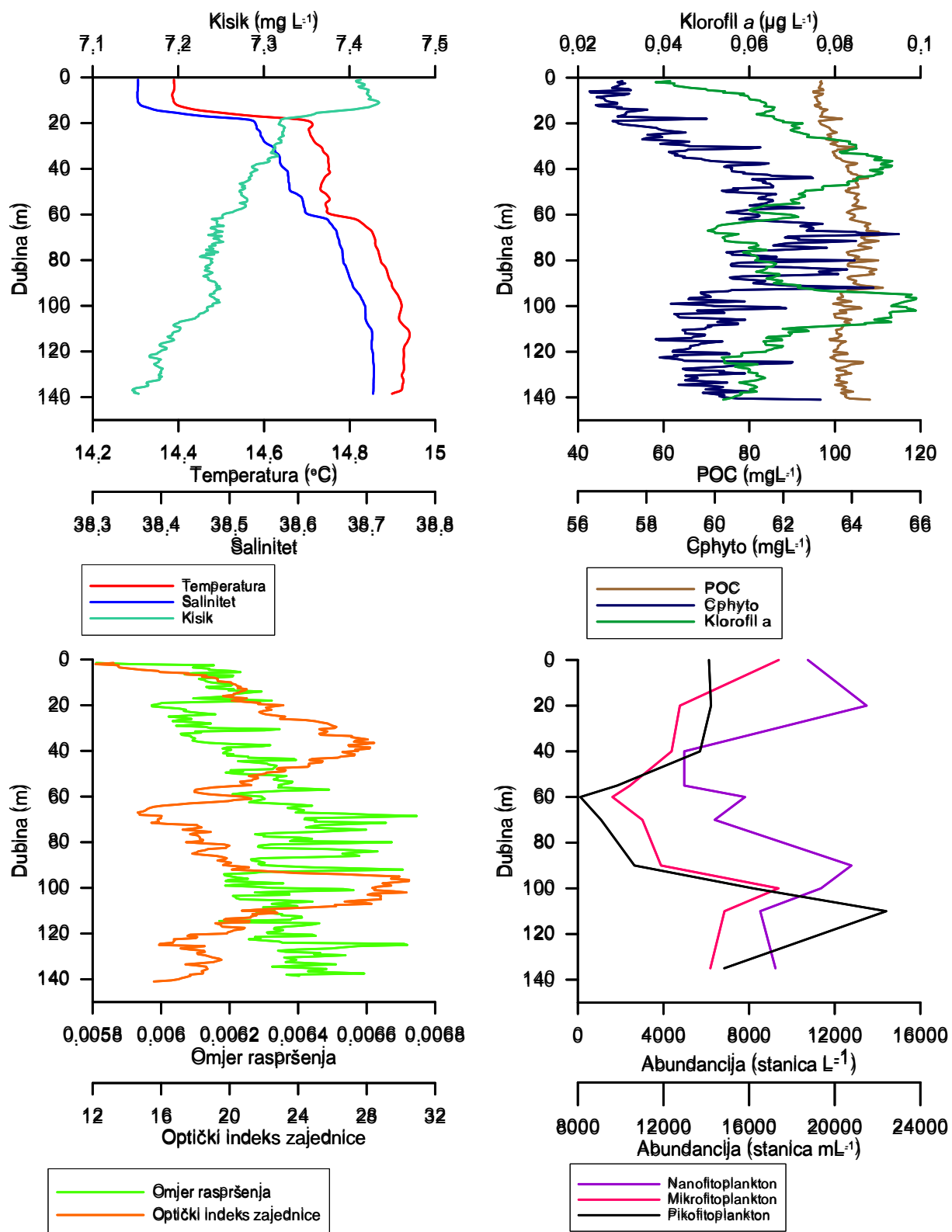
Slika 21. Vertikalni profili raspodjele fizikalno-kemijskih i bioloških čimbenika na postaji M600, 2015. godine



Slika 22. Vertikalni profili raspodjele fizikalno-kemijskih i bioloških čimbenika na postaji M300, 2015. godine

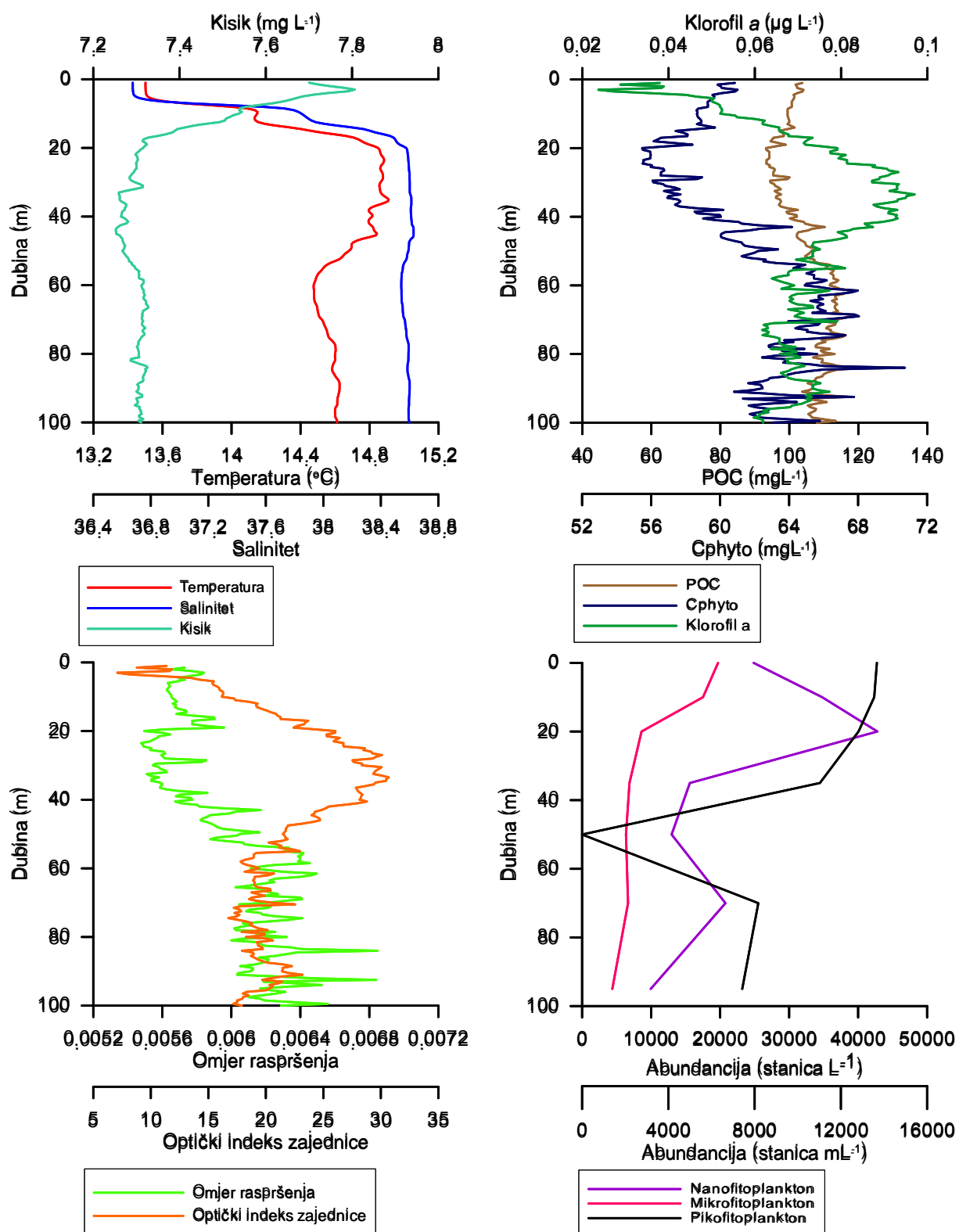


Slika 23. Vertikalni profili raspodjele fizikalno-kemijskih i bioloških čimbenika na postaji M100, 2015. godine

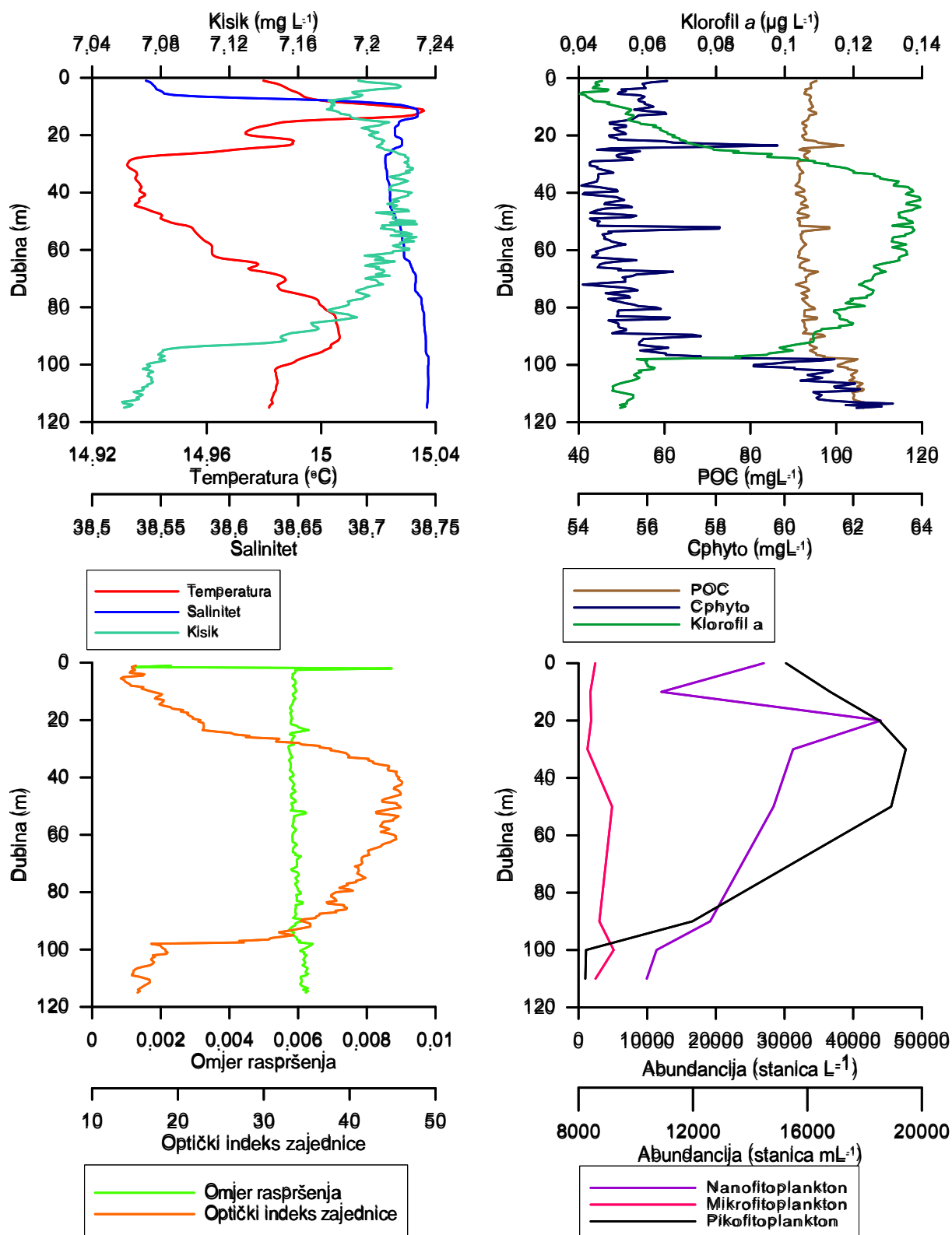


Slika 24. Vertikalni profili raspodjele fizikalno-kemijskih i bioloških čimbenika na postaji M150, 2015. godine

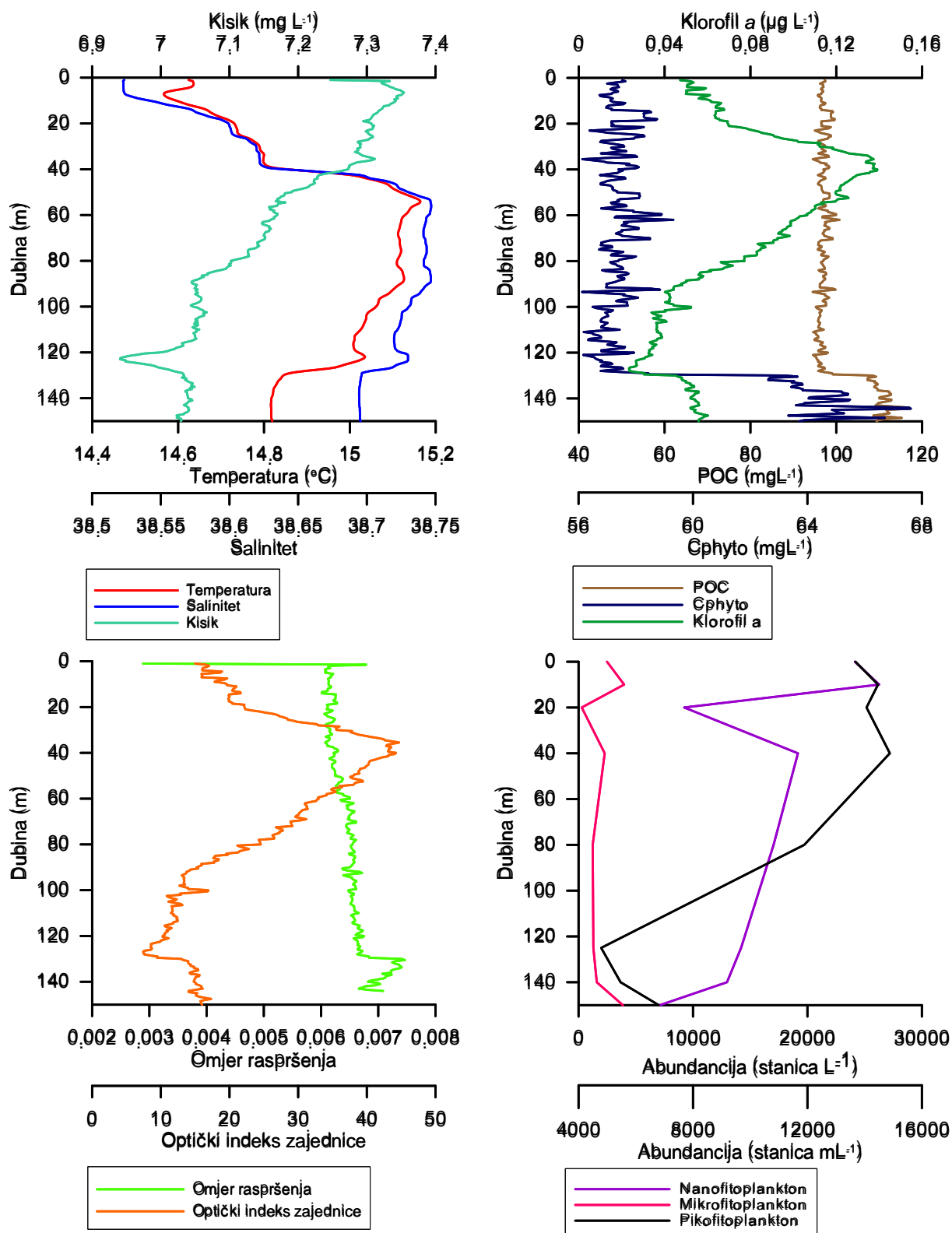




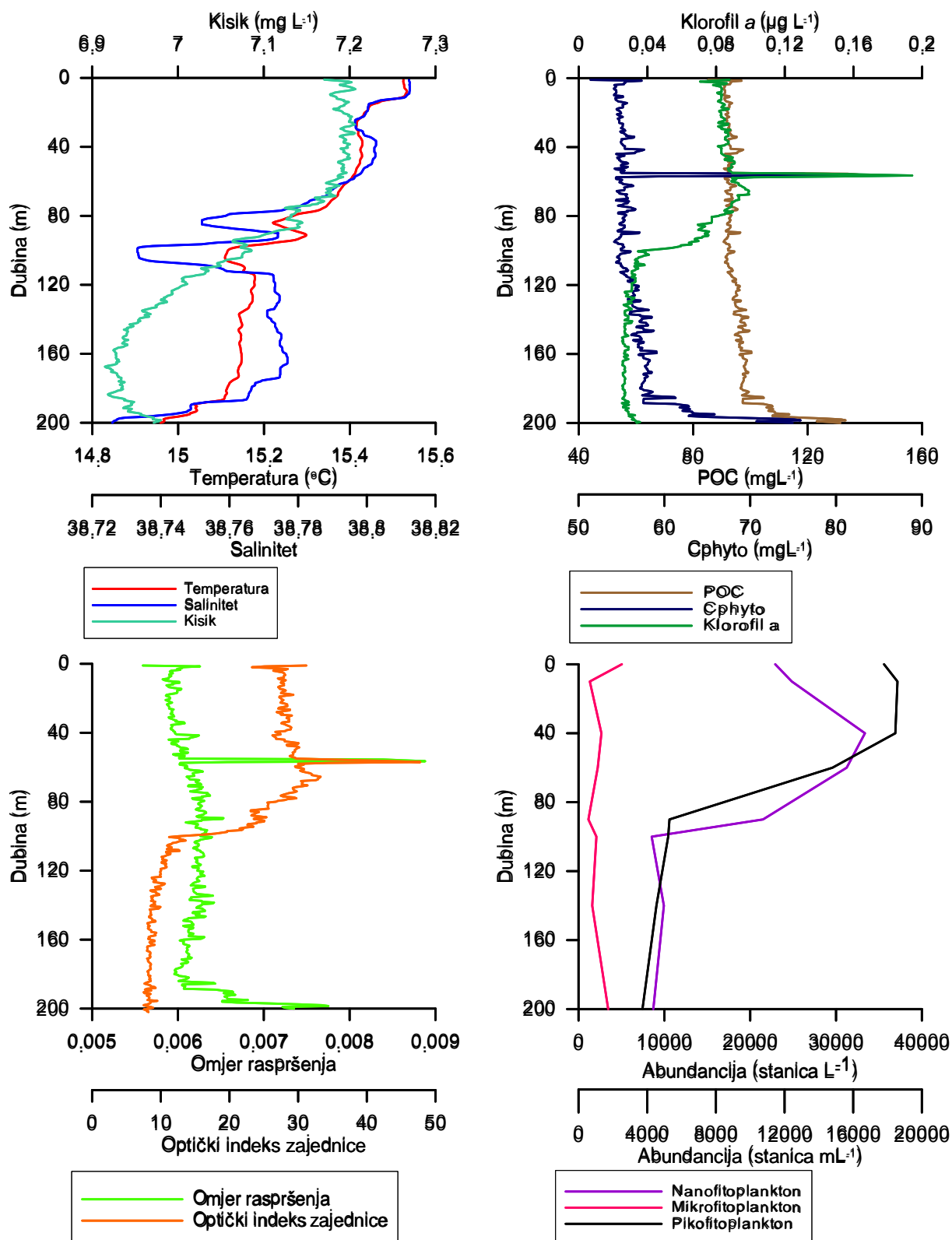
Slika 25. Vertikalni profili raspodjele fizikalno-kemijskih i bioloških čimbenika na postaji P100A, 2015. godine



Slika 26. Vertikalni profili raspodjele fizikalno-kemijskih i bioloških čimbenika na postaji P120A, 2015. godine



Slika 27. Vertikalni profili raspodjele fizikalno-kemijskih i bioloških čimbenika na postaji P150A, 2015. godine



Slika 28. Vertikalni profili raspodjele fizikalno-kemijskih i bioloških čimbenika na postaji P200A, 2015. godine

## 3.2. REZULTATI BIOTA II

Prosječna temperatura u 2016. godini tijekom istraživanja iznosila je 14,61°C sa standardnom devijacijom u iznosu od 0,43 (Tablica 3.). Najviša temperatura (15,41°C ) izmjerena je na postaji P120 u površinskom sloju, a najniža (13,56°C) na postaji P1000 na dnu. Prosječna vrijednost saliniteta iznosila je 38,71 sa standardnom devijacijom u iznosu od 0,50 (Tablica 3.). Maksimum saliniteta (38,92) izmjeren je na postaji P120 na dubini od 40 m, a minimum (36,17) na površini postaje P100. Prosječna koncentracija otopljenog kisika iznosila je 6,83 mg/L sa standardnom devijacijom u iznosu od 0,402 (Tablica 3.). Maksimalna koncentracija kisika (7,88 mg/L) izmjerena je na postaji P100 na dubini od 14,5 m, a minimalna koncentracija (6,22 mg/L) na postaji P850 pri dnu. Prosječna koncentracija klorofila *a* iznosila je 0,0065 µg/L sa standardnom devijacijom u iznosu od 0,088 (Tablica 3.). Prosječna vrijednost POC-a tijekom 2016. godine iznosila je 16,19 mg/m<sup>3</sup> sa standardnom devijacijom u iznosu od 22,202 (Tablica 3.). Maksimalna vrijednost POC-a izmjerena je (197,83 mg/m<sup>3</sup>) na samoj površini postaje P100, a minimalna (-1,57 mg/m<sup>3</sup>) na postaji P850. Prosječna vrijednost C<sub>phyto</sub> tijekom istraživanja iznosila je 67,021 mg/m<sup>3</sup> sa standardnom devijacijom u iznosu od 8,948 (Tablica 3.). Maksimalna vrijednost (146,914 mg/m<sup>3</sup>) izmjerena je na postaji P100, a minimalna vrijednost (18,202 mg/m<sup>3</sup>) na postaji P150. Maksimalna vrijednost optičkog indeksa iznosi 47,034 na površini postaje P150, a minimalna vrijednost 6,8597 na dnu postaje P100. Minimalna vrijednost omjera raspršenja iznosi 0,00084 na površini postaje P150, a maksimalna vrijednost 0,01619 na postaji P150 na dubini 105 m.

U 2016. godini u zajednici mikrofitoplanktona dominirale su dijatomeje sa prosječnim udjelom od 87,72%. U zajednici nanofitoplanktona dominirali su kokolitoforidi sa prosječnim udjelom od 58,83%, a u zajednici pikofitoplanktona prevladavala je cijanobakterija *Prochlorococcus* sa prosječnim udjelom od 53,53%.

Glavna razlika u 2016. godini s obzirom na 2015. je ta što nije došlo do duboke konvekcije tj. nije bilo uobičajenog procesa miješanja (Slike 29-36.). Osim toga signal klorofila *a* je zabilježen do 200 m dubine te vidljiv je porast nanofitoplanktona. Dubina MLIW-a bila je također u sloju od 400 do 600 m dubine, ali je i primijećen površinski sloj višeg saliniteta i temperature, a manje koncentracije kisika što također odgovara tipu vode koja dolazi iz Sredozemnog mora.

Tablica 3. Maksimalna (MAX) i minimalna (MIN) vrijednost, srednjak (AVG) te standardna devijacija (STDEV) fizikalno-kemijskih parametara u južnom Jadranu 2016. godine, N – broj uzoraka

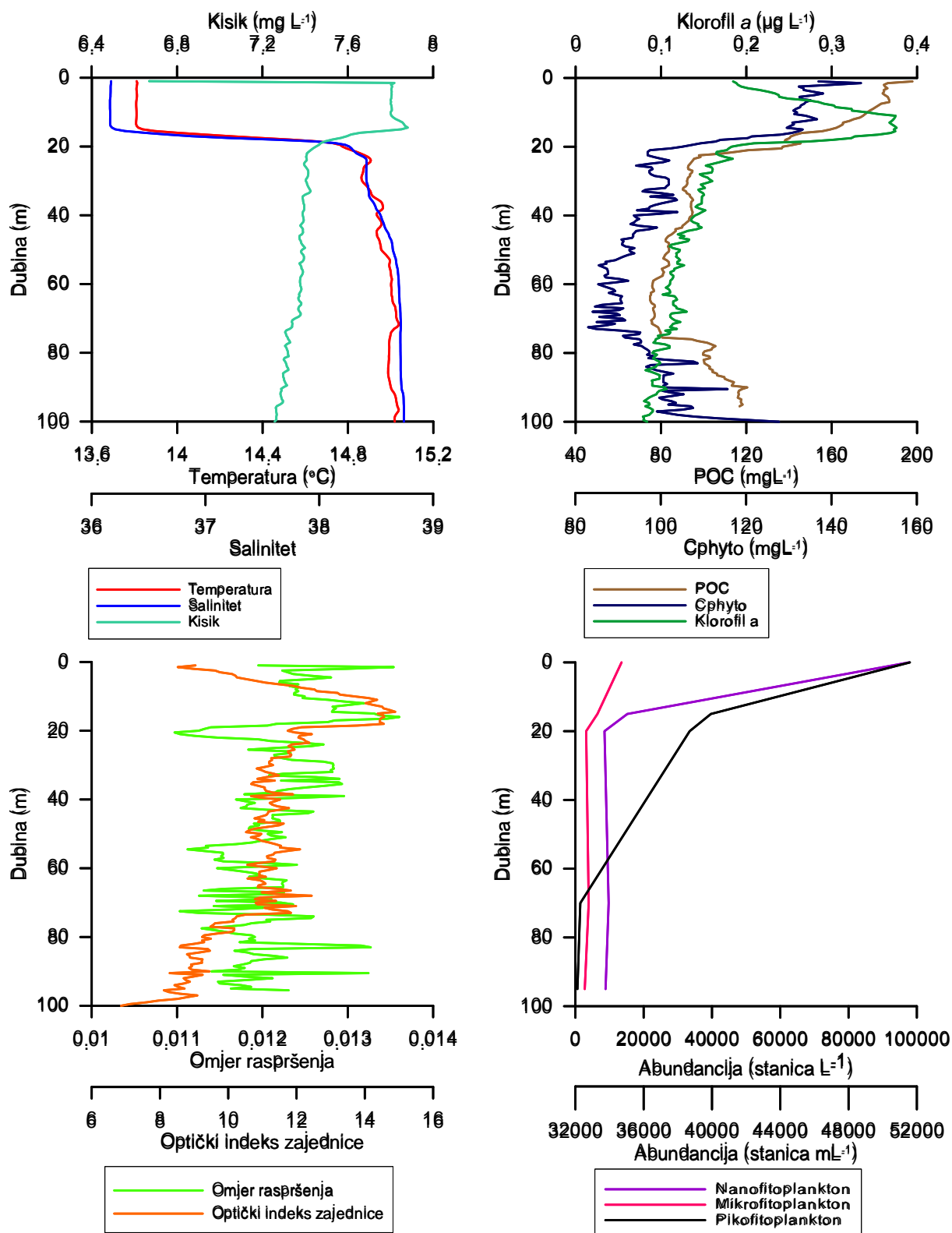
Parametar	N	MAX	MIN	AVG	STDEV
Temperatura (°C)	6332	15,41	13,56	14,61	0,43
Salinitet	6332	38,92	36,17	38,71	0,50
Kisik (mg/L)	6332	7,881	6,220	6,83	0,40
Klorofil <i>a</i> (µg/L)	6638	0,40	0	0,0065	0,08
POC (mg/m <sup>3</sup> )	6411	197,83	-1,57	16,19	22,20
C <sub>phyto</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	6411	146,91	18,2	67,02	8,94
Omjer raspršenja	6569	0,016	0,00085	0,012	0,00075
Optički indeks zajednice	6634	47,03	6,85	9,57	4,03
Nanofitoplankton	64	97740	0	18676,41	17435,05
Pikofitoplankton	64	58884	21	21858,31	18268,39
Mikrofitoplankton	64	17920	0	2681,33	3211,44

### 3.2.1. VERTIKALNI PROFILI

#### **Primjer 3. Usporedba P600 i P1000 2016. godine**

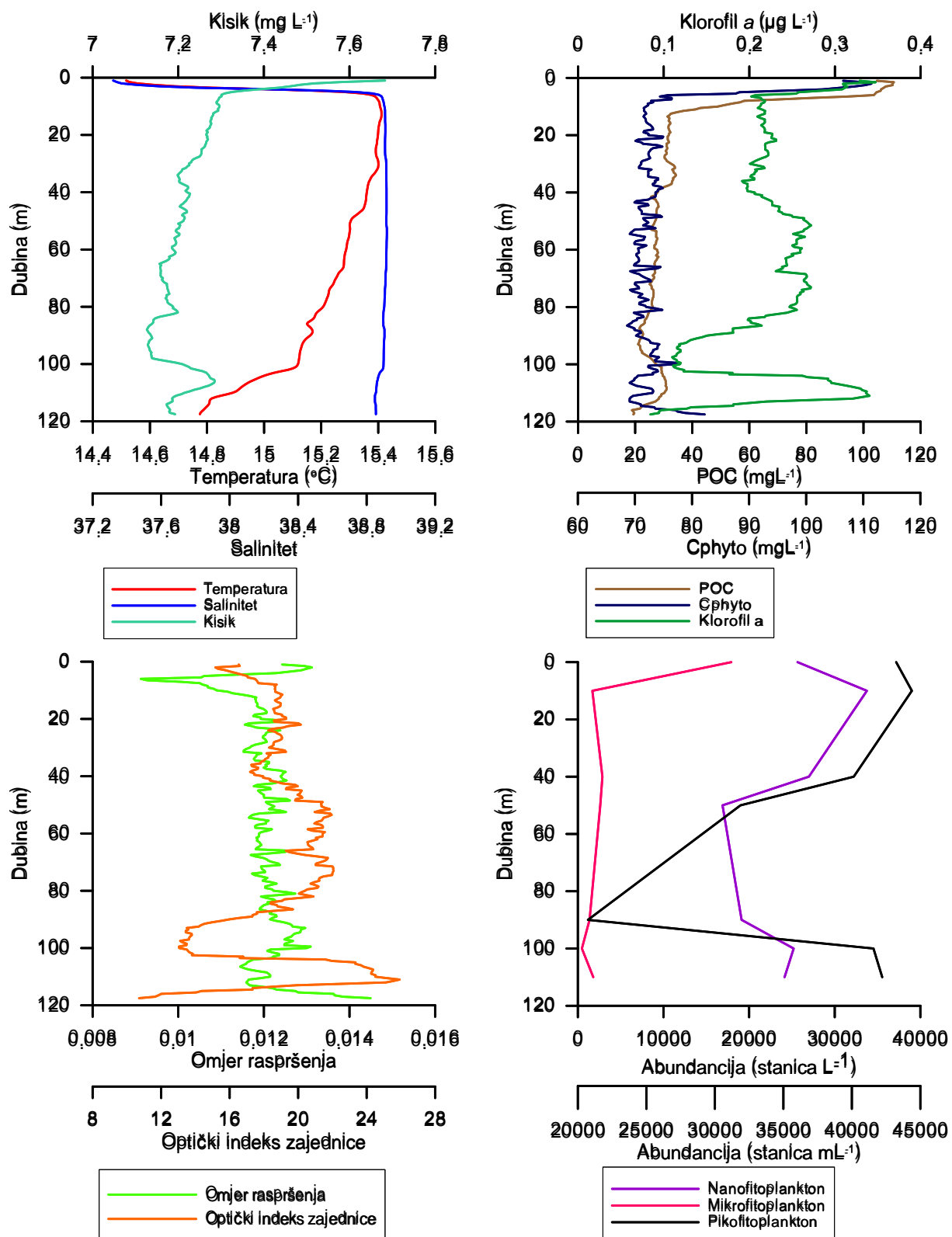
Na postaji P600 (slika 34.) su vidljiva tri sloja. Gornji sloj proteže se do otprilike 100 m dubine te je u njemu zabilježena maksimalna vrijednost temperature (14,69°C), koncentracije kisika te maksimalna abundancija pikofitoplanktona i nanofitoplanktona. Između 100 i 400 m dubine nalazi se homogeni sloj u kojemu se navedeni parametri smanjuju porastom dubine. U donjem sloju između 400 i 600 m dubine smješten je LIW i vrijednost saliniteta (38,83) doseže svoj maksimum. Signal klorofila zabilježen je do 200 m dubine, a optički indeks zajednice prati vrijednosti klorofila.

Postaja P1000 (slika 36.) je vrlo slična prethodno opisanoj postaji P600. Također je vidljivo da temperatura i koncentracija kisika svoj maksimum postižu na samoj površini, a da porastom dubine se vrijednosti postupno smanjuju. Signal klorofila je zabilježen do 200 m dubine, kao i maksimalna abundancija nanofitoplanktona i pikofitoplanktona.

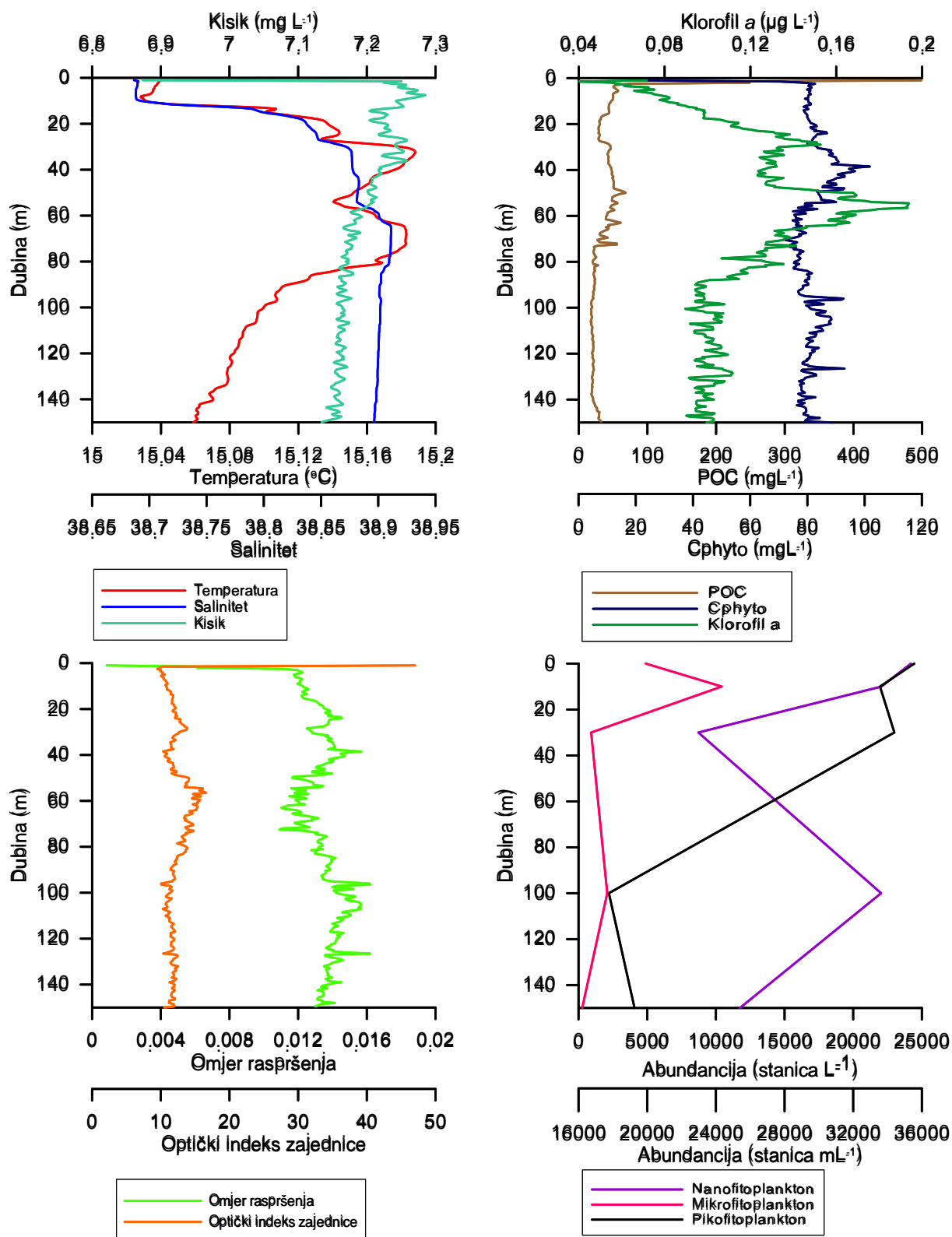


Slika 29. Vertikalni profili raspodjele fizikalno-kemijskih i bioloških čimbenika na postaji P100, 2016. godine

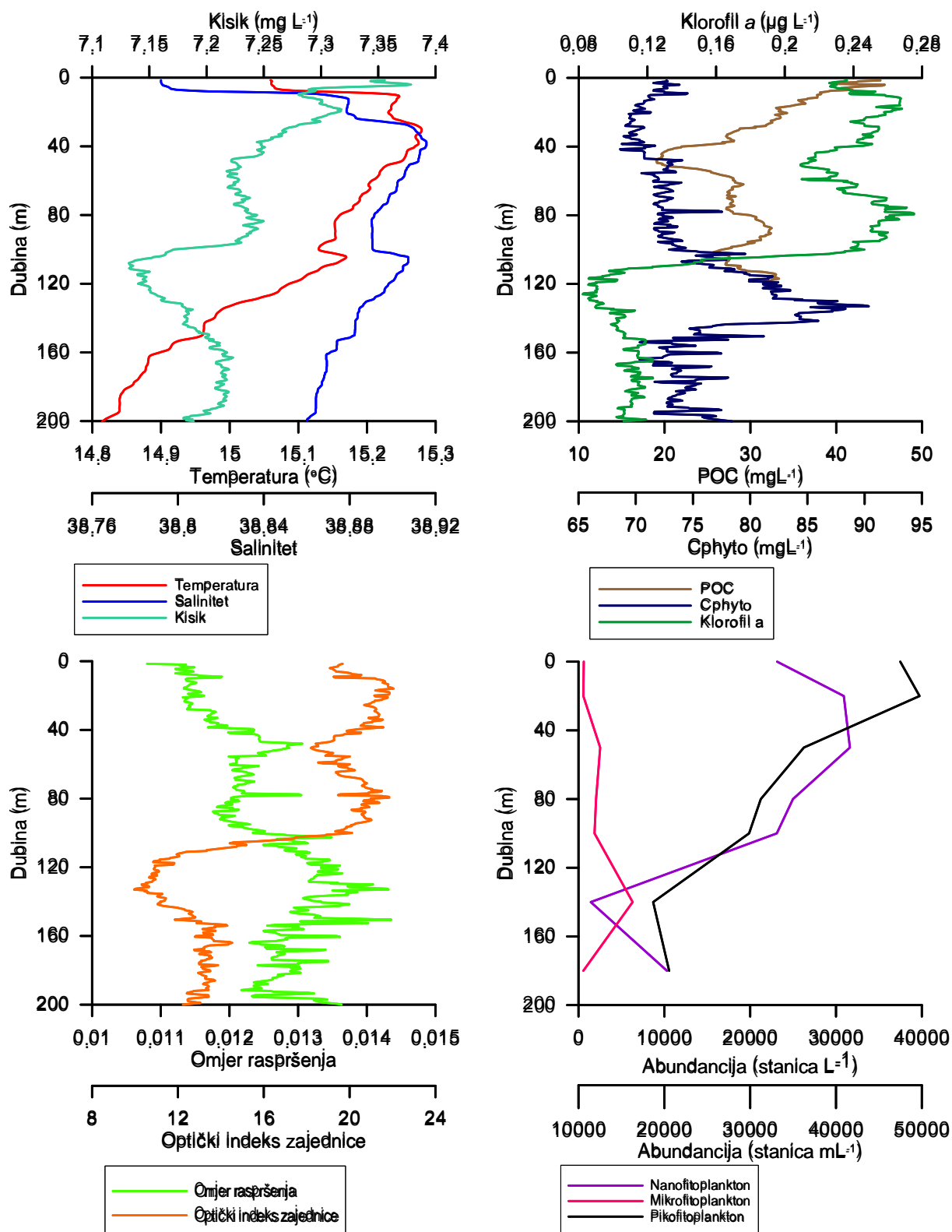




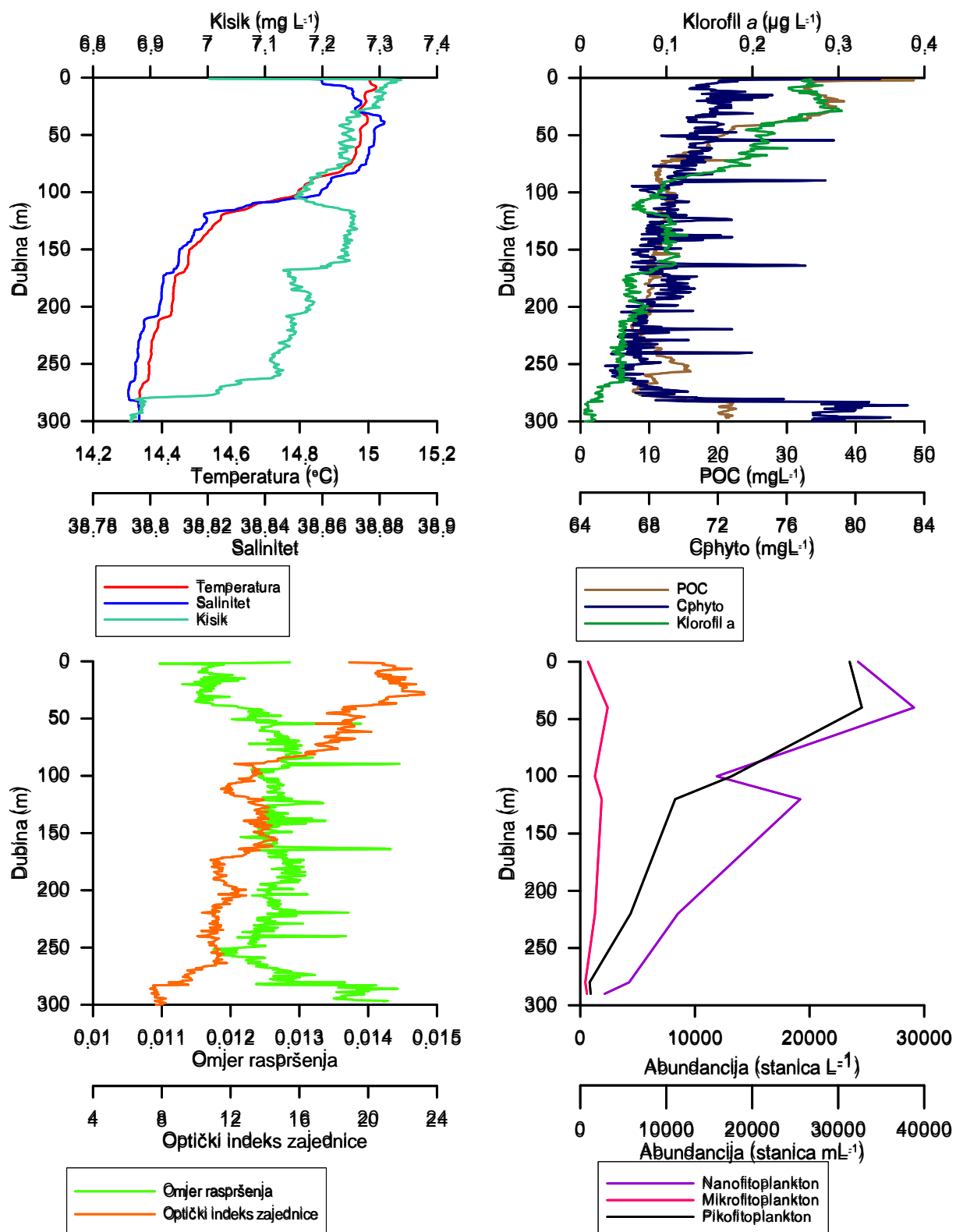
Slika 30. Vertikalni profili raspodjele fizikalno-kemijskih i bioloških čimbenika na postaji P120, 2016. godine



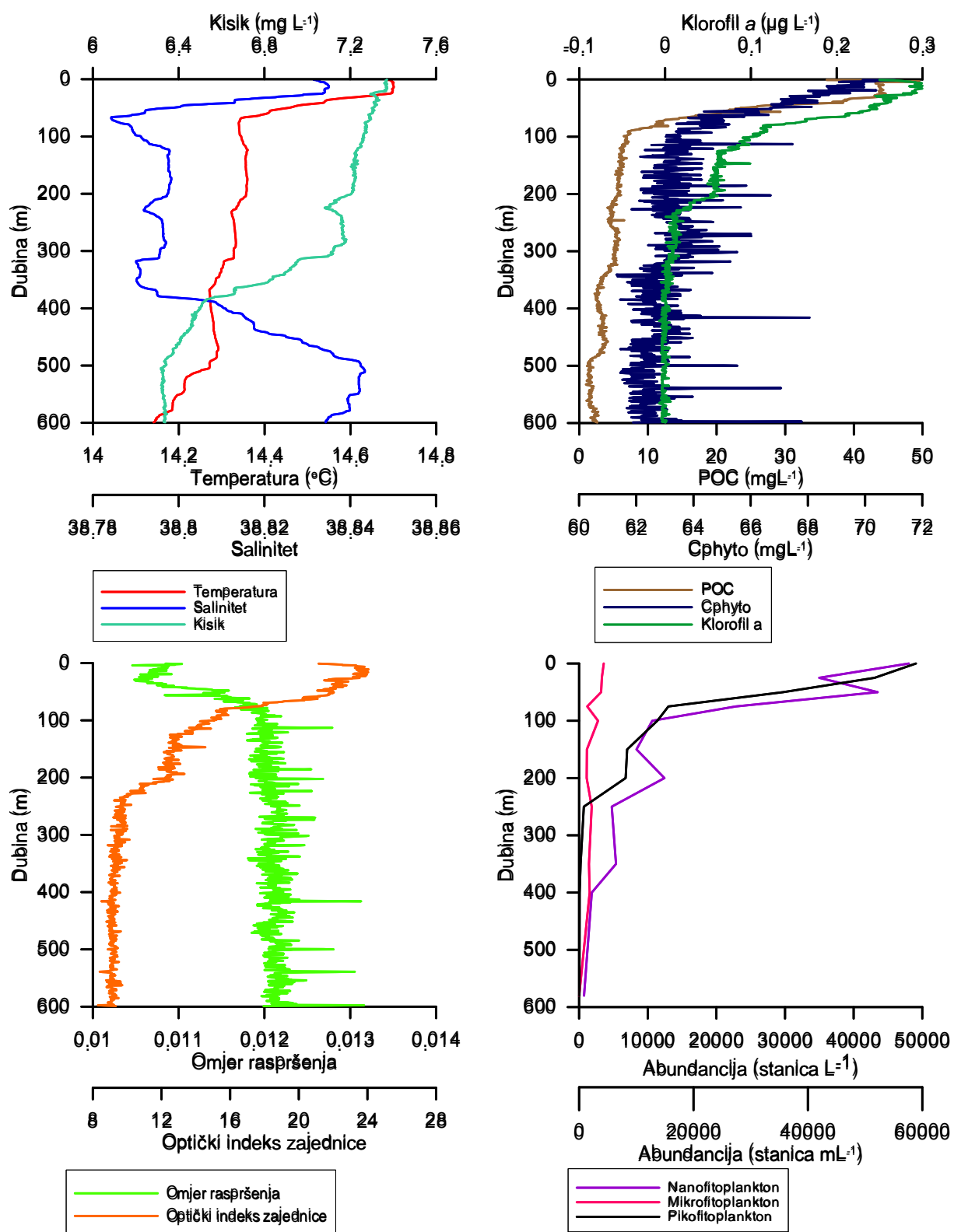
Slika 31. Vertikalni profili raspodjele fizikalno-kemijskih i bioloških čimbenika na postaji P150, 2016. godine



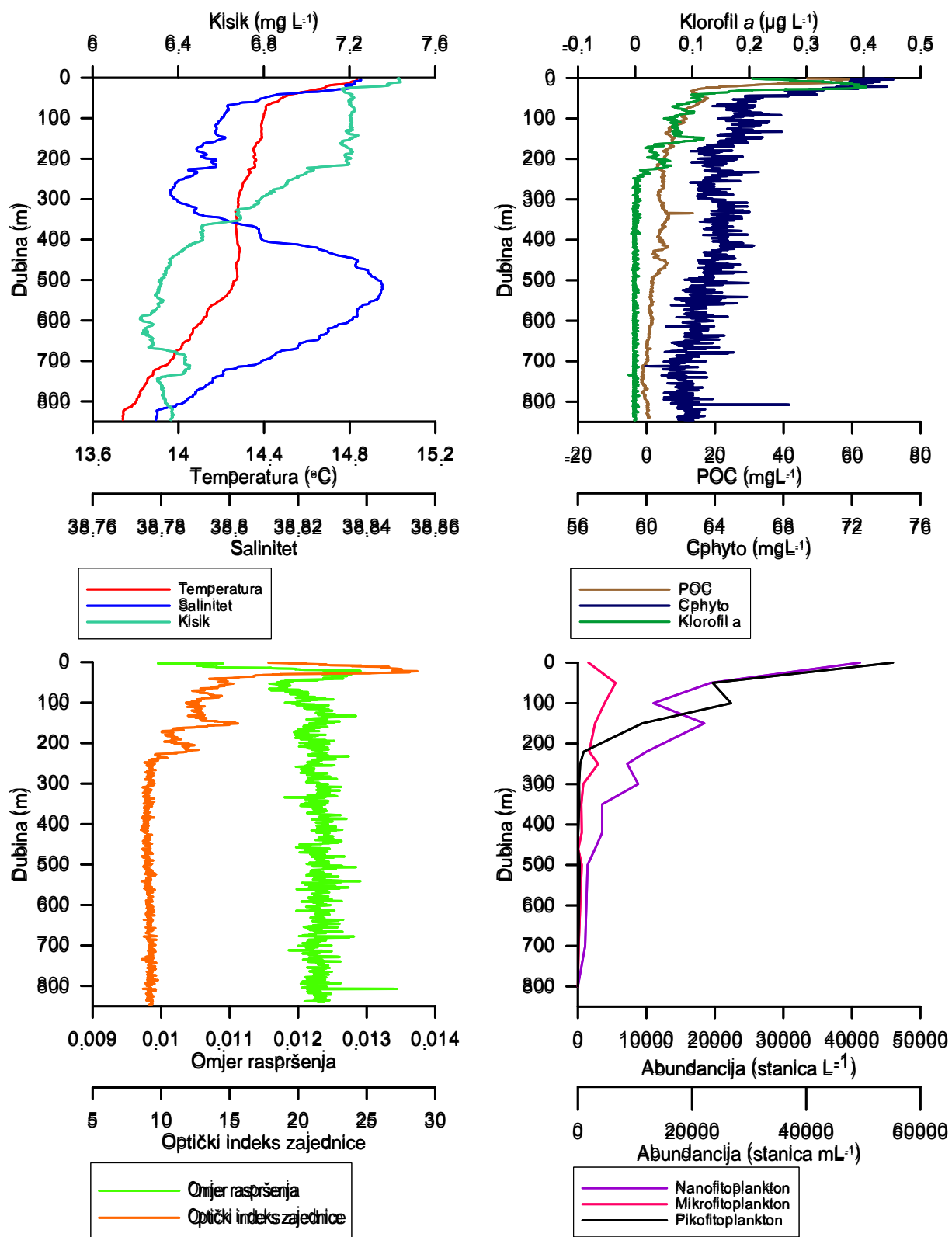
Slika 32. Vertikalni profili raspodjele fizikalno-kemijskih i bioloških čimbenika na postaji P200, 2016. godine



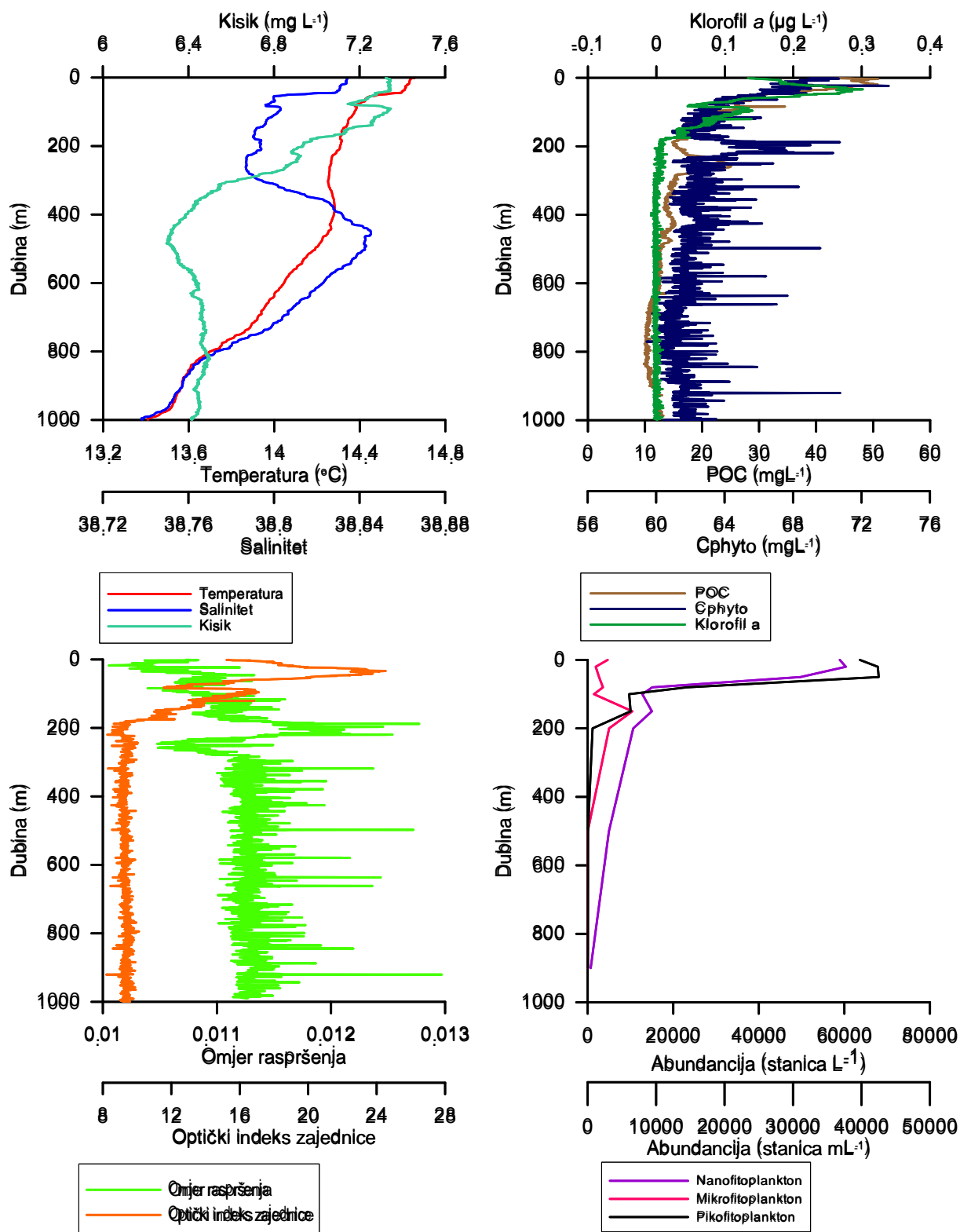
Slika 33. Vertikalni profili raspodjele fizikalno-kemijskih i bioloških čimbenika na postaji P300, 2016. godine



Slika 34. Vertikalni profili raspodjele fizikalno-kemijskih i bioloških čimbenika na postaji P600, 2016. godine



Slika 35. Vertikalni profili raspodjele fizikalno-kemijskih i bioloških čimbenika na postaji P850, 2016. godine



Slika 36. Vertikalni profili raspodjele fizikalno-kemijskih i bioloških čimbenika na postaji P1000, 2016. godine

### 3.2.2. USPOREDBA BIO-OPTIČKIH ČIMBENIKA SA FITOPLANKTONSKOM ZAJEDNICOM

U tablicama 4. – 6. navedene su vrijednosti bio-optičkih čimbenika koji opisuju dominaciju pojedinih skupina fitoplanktona.

Tablica 4. Vrijednosti optičkih parametara pri dominaciji glavnih mikrofitoplanktonskih skupina

Parametar	POC (mg/m <sup>3</sup> )	C <sub>phyto</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	Chl <i>a</i> (µg/L)	Optički indeks zajednice	Omjer raspršenja
dijatomeje 2015.	99,46 –125,15	58,65-71,75	0,02-0,079	8,78-23,99	0,005-0,006
dijatomeje 2016.	18,012-197,69	61,85-136,96	0,034-0,329	9,040-16,53	0,011-0,012
dinoflagelati 2015.	98,78-106,39	58,3-62,18	0,06-0,073	21,07-21,66	0,006
dinoflagelati 2016.	17,89-29,97	66,04-72,43	0,104-0,261	14,43-21,7	0,011-0,012
kokolitoforidi 2015.	98,78	58,30	0,069	21,66	
kokolitoforidi 2016.	44-197,8	68,35-136,9	0,10-0,28	9,040-23,24	0,011-0,013



Tablica 5. Vrijednosti optičkih parametara pri dominaciji glavnih nanofitoplanktonskih skupina

Parametar	POC (mg/m <sup>3</sup> )	C <sub>phyto</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	Chl <i>a</i> (µg/L)	Optički indeks zajednice	Omjer raspršenja
dijatomeje 2015.	93,24	55,48	0,079	26,05	0,005
dijatomeje 2016.	104,69-197,83	106,48-136,96	0,18-0,32	9,040-16,53	0,012
dinoflagelati 2015.	92,08	54,89	0,067	22,60	0,005
dinoflagelati 2016.	46,9-197,83	72,74-136,96	0,18-0,20	9,040-18,13	0,010-0,012
kokolitoforidi 2015.	90,98-107,76	54,14-62,88	0,079-0,11	15,08-37,87	0,002-0,006
kokolitoforidi 2016.	23,03-49,33	65,44-69,92	0,13-0,25	15,36-21,7	0,010-0,011
kriptofita 2015.	92,21-113,66	54,95-65,98	0,028-0,093	8,78-30,69	0,005-0,006
kriptofita 2016.	33,84-197,83	68,97-136,96	0,13-0,25	9,040-21,15	0,010-0,012

Tablica 6. Vrijednosti optičkih parametara pri dominaciji glavnih nanofitoplanktonskih skupina

Parametar	POC (mg/m <sup>3</sup> )	C <sub>phyto</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	Chl <i>a</i> (μg/L)	Optički indeks zajednice	Omjer raspršenja
pikoeukarioti 2015.	90,98-97,26	54,33-57,53	0,04-0,13	14,98-45,83	0,002-0,005
pikoeukarioti 2016.	29,97-197,83	65,44-197,83	0,13-0,25	9,040-21,15	0,010-0,012
<i>Prochlorococcus</i> 2015.	85,25-101,67	51,40-59,78	0,07-0,08	22,65-31,19	0,005-0,006
<i>Prochlorococcus</i> 2016.	11,48-49,33	64,19-76,97	0,05-0,33	11,81-24,50	0,010-0,013
<i>Synechococcus</i> 2015.	90,62-125,15	54,14-71,75	0,07-0,08	20,11-27,94	0,005-0,006
<i>Synechococcus</i> 2016.	33,84-197,83	68,35-136,96	0,18-0,32	9,040-23,24	0,010-0,012

## **4. RASPRAVA**

Zajednica fitoplanktona u morima i oceanima su važne, no prostim okom nevidljive biomase mikroorganizama. Iako je svega 1% ugljika vezano uz biomasu fitoplanktona, fitoplankton je na svjetskoj razini odgovoran za 46,2% ukupne primarne proizvodnje, dok su terestrički primarni producenti (šume) odgovorni za 53,8% ukupne primarne produkcije (Field i sur. 1998). Mali postotak vezanog ugljika na fitoplankton, a istovremeno velika primarna produkcija čini oceansku produkciju izuzetno osjetljivom na sve promjene u okolišu. Obzirom na klimatske promjene kojih smo svjedoci te povišenje temperature oceana i mora, te povećanjem dubine termokline dolazi do oligotrofikacije oceana, koja za posljedicu može imati smanjenje primarne produkcije (<https://climate.nasa.gov/>). Jedan od glavnih problema i izazova u istraživanju fitoplanktona je heterogena distribucija fitoplanktona i velika oceanska prostranstva. Uzorkovanje *in situ* je izrazito skupo i dobivamo unatoč velikom naporu samo točkasta mjerenja, te se uvodi već spomenuti pojam nedovoljno uzorkovanih oceana (engl: “*under-sampled ocean*”) (Claustre i sur. 2010). Znanstvenici se već duže bore sa tim problemom i ulaže se veliki trud kako napraviti uzorkovanje koje najbolje opisuje procese koji se zbivaju u ekosustavu. Jedan od odgovora na te probleme je korištenje daljinskih istraživanja i bio-optika (Bracher i sur. 2009, Cetinić i sur. 2012, Graff i sur. 2015, Wolanin i sur. 2016). Da bi bolje razumjeli dinamiku i distribuciju fitoplanktona, oceanolozi koriste bio-optičke alate poput ovih predstavljenih u ovom radu (PAR, FLNTU, C-star). Ovi optički senzori dokazali su se kao snažni alati u razumijevanju distribucije fitoplanktona tijekom zimske dinamike u južnom Jadranu primijećenih u dvije BIOTA zimske plovidbe (2015./2016.).

Područje južnog Jadrana je oligotrofno, karakterizira ga složena dinamika koja dovodi do duboke konvekcije vode tijekom zime što omogućuje transport hranjivih soli na površinu i time omogućuju primarnu produkciju (Williams & Follows 1998, Marra i sur. 1990, Civitarese i Gačić 2001, Gačić i sur. 2002). Duboka konvekcija je uobičajena za to područje, međutim postoje zime kada ona izostaje, te u razdoblju od 2008. do ovog istraživanja, izostala je samo 2011. godine (Batistić i sur. 2012, Ljubimir i sur. 2017.). Tijekom istraživanja 2015. bila je zastupljena duboka konvekcija (do cca. 500 m dubine), dok 2016. je taj proces izostao. Iz godine u godinu razlikuju se dubine miješanja, te jedna od najdubljih konvekcija je bila 2012. godine kada je bilo zabilježeno miješanje do dna (do 1200 m) što je za posljedicu imalo izrazito veliki razvoj mikrofitoplanktona do  $9,8 \times 10^5$  stanica  $L^{-1}$  (Ljubimir i sur. 2017). Iste te godine zabilježeno je iznadprosječno formiranje guste vode u sjevernom i duž istočnog

Jadrana (Mihanović i sur. 2013), te promjene u sastavu i abundanciji i pikoplanktona (Najdek i sur. 2014).

Ingresija, te promjene u njenom intenzitetu je izuzetno važna za funkcioniranje Jadranskog mora kao ekosustava u cjelini. Primjećena je dekadalna varijabilnost ingresije (Buljan 1953), te su godine kada je bila pojačana bile karakterizirane višim salinitetom i većom primarnom produkcijom (Marasović 1988). Novija istraživanja su to dovela u pitanje jer je zamijećeno da se povišeni salinitet Jadrana korelira sa nižom koncentracijom hranjivih soli (Civitarese i sur. 2010), te opisuju BiOS (engl. *Bimodal oscillating system*) (Gačić i sur 2010). BiOS opisuje promjene u vrtlogu (engl. *North Ionian Gyre*, NIG) u sjevernom Jonskom moru iz ciklonalnog u anticiklonalni. Taj proces je reguliran termohalnim svojstvima Jadranske guste vode (*Adriatic Dense Water* AdDW) koja istječe iz Jadrana u Jonsko more. Kada je NIG anticiklonalni u Jadransko more utječe voda iz Atlanskog oceana (*Modified Atlantic Water*, MAD) koja je nižeg saliniteta. Kada je NIG ciklonalni u Jadransko more utječe voda iz istočnog Mediterana tj. dolazi do uzdizanja MLIW-a i utjecanja u Jadransko more (Vilibić i Orlić 2002). Te promjene u ciklonalnog/anticiklonalnog vrtloga očituju se u promjenama sastava vrsta prvenstveno zooplanktona u Jadranskom moru (Batistić i sur. 2014), ali isto tako i u produktivnosti područja (Ljubimir i sur. 2017). Tijekom 2012. godine došlo je do promjene iz anticiklonalnog u ciklonalni vrtlog, što se zadržalo do ovog istraživanja (Ljubimir i sur. 2017). Obzirom na ciklonalni vrtlog južni Jadran je trebao biti pod jačim utjecajem MLIW-a, što se nije dogodilo. Naime, MLIW je zabilježen u sloju od 400 – 600 m dubine što je znatno dublje od uobičajenog. Od 2013. godine do 2015. mjerenja sa gliderima (autonomnim jedrilicama opremljenim sa raznim oceanografskim senzorima) u južnom Jadranu ukazuju na produblјivanje sloja MLIW-a (Mauri i sur. 2015). Od 2008. godine dubina MLIW-a je bila registrirana na 100 m sa manjim varijacijama kroz godine (Šilović i sur. 2011, Batistić i sur 2012). 2012. godine uslijed jake duboke konvekcije zimi u sredini južno Jadranskog vrtloga (postaja P1000) MLIW nije ni detektirana, ali je istovremeno detektirana uz rub kotline na postaji P300 (Korlević i sur. 2014). Međutim dubina od 400-600 m do sada nije zabilježena, te ona ukazuje na promjene u cirkulaciji u Jadranskom moru. Dubina MLIW-a (sloj najvećeg saliniteta unutar sloja MLIW-a) na kraju ljeta 2013. bila je 250 m, 2014. oko 300 m, a 2015. na 500 m dubine (Mauri i sur. 2015) što je u skladu sa ovim istraživanjima. Podatak iz rada Mauri i sur. (2015) je iz studenoga 2015., tako da podaci dobiveni ovim istraživanjima u potpunosti potvrđuju te nalaze. Razlog radi kojeg je došlo do ove promjene

nije poznat, te se u ovom slučaju ne usuđujemo ići u špekulacije, ali sve navodi na globalne klimatske promjene, te za potvrdu istih potrebno je nastaviti istraživanja.

Zimska istraživanja fitoplanktona južnog Jadrana su izuzetno rijetka radi zahtjevnog uzorkovanja, a istovremeno je to razdoblje ključno za primarnu produkciju ekosustava u cjelini (Gačić i sur. 2002; Ljubimir i sur. 2017). U obje istraživane godine, zajednica mikrofitoplanktona je uglavnom bila sastavljena od dijatomeja, a zajednica nanofitoplanktona od kokolitoforida što je u skladu sa dosadašnjim istraživanjima (Ljubimir i sur. 2017, Batistić i sur. 2014). Iako je uobičajena dominacija dijatomeja, kroz godine se mijenja njihov udio prema ostalim skupinama, te su u veljači 2010. godine dominirale sa prosječnim udjelom od 53%, godinu dana kasnije prosječni udio se povećao na 81%. U veljači 2012. godine prosječni udio dijatomeja iznosio je 77%, a u veljači 2013. 67% (Ljubimir i sur. 2017). Tijekom ovog istraživanja zabilježen je povećani udio dijatomeja u mikrofitoplanktonskoj zajednici od 93,48% (2015. godine) i 87,72% (2016. godine). Iako je koncentracija klorofila *a* bila četiri puta veća 2016. nego 2015. godine, primijećena je veća produktivnost područja 2015. godine kada su dijatomeje bile zastupljene i do 99% u zajednici mikrofitoplanktona i kada je bila prisutna duboka konvekcija. Naime, za povećanu produkciju nije dovoljna samo veća koncentracija klorofila *a*, već su procesi miješanja, kao i sastav fitoplanktonske zajednice od velike važnosti. Tome u prilog ide povećana abundancija zooplanktona koja je bila nađena u veljači 2015., te kasnije i jedan od najvećih ulova inćuna u istom području (D. Lučić, usmeno priopćenje). Dok su mikro frakcijom dominirale dijatomeje, kokolitoforidi su bili dominantna skupina nano frakcije, što je u skladu sa literaturom gdje se navodi njihov udio od 20-82% u zajednici nanofitoplanktona. Veći doprinos kokolitoforida u južnom Jadranu povezuje sa salinitetom, budući da u anticiklonskim godinama uočen je veći doprinos kokolitoforida (i u mikro i u nano zajednici) (Ljubimir i sur. 2017.). Nasuprot tome, u ciklonskoj godini visokog saliniteta, kao što je bila 2013. godina zabilježen je izuzetno nizak postotak kokolitoforida (Ljubimir i sur. 2017). Tijekom istraživanja 2015. i 2016. godine, za vrijeme ciklonskog vrtloga kokolitoforidi su dominirali u zajednici nanofitoplanktona sa prosječnim udjelom od 52,10% odnosno 58,83% iduće godine. Rezultati da su povećane abundancije kokolitoforida za vrijeme anticiklonanog vrtloga (Ljubimir i sur. 2017) nisu očekivani budući da se razvijaju u izrazito velikim abundancijama u Jonskom moru i područjima pod utjecajem MLIW-a (Totti i sur. 2000). Rezultati o distribuciji kokolitoforida u južnom Jadranu iz ovog istraživanja su više u skladu sa dosadašnjim literaturom, međutim Ljubimir i sur. (2017.) također navode da im je za usporedbu nedostajalo podataka iz godina sa ciklonalnim vrtlogom

kada je provedeno naše istraživanje. U tome u korist ide i promjena u sastavu fitoplanktonske zajednice do koje je došlo tijekom 2015. godine. Kada se PA-transekt ponovio 5 dana kasnije nakon P-transekta na istom području. Promjene koje su se dogodile utjecale su na prostornu raspodjelu fitoplanktona. Osim što je abundancija mikrofitoplanktona, nanofitoplanktona i pikofitoplanktona porasla, promijenio se sastav fitoplanktona. Naime u P-transektu dominirale su dijatomeje, a u PA-transektu dominiraju kokolitoforidi (do 66% udjela u zajednici). Obzirom na kratko vrijeme, uzrok porasta biomase fitoplanktona nije razvoj već postojećeg fitoplanktona nego donos nove zajednice dolaskom druge vodene mase na što ukazuju i fizikalno – kemijski čimbenici koji se očituju u povišenoj temperaturi i salinitetu. Povišena temperatura i salinitet, kao i povećana koncentracija kokolitoforida ukazuju na donos vode iz Jonskog mora što je u skladu sa literaturom (Totti i sur. 2000). Analizom svih ovih promjena možemo doći do zaključka kako je sustav južnog Jadrana izrazito dinamičan, naime, u roku od nekoliko dana dogodili su se mnogi fizikalni procesi koji su imali izravan utjecaj na zajednicu fitoplanktona i kokolitoforida, uslijed toga i na primarnu produkciju čime su pak neizravno utjecali i na više trofičke razine.

Razlika između istraživanih godina vidljiva je i kod pikofitoplanktona. Naime u 2015. godini dominantan dio cijanobakterijske zajednice činio je rod *Synechococcus*, dok 2016. godine je uočena dominacija roda *Prochlorococcus*. Zabilježeni pad doprinosa cijanobakterije *Synechococcus* ukupnoj biomasi može se dijelom objasniti njihovom sklonošću prema toplijim uvjetima u okolišu što dokazuje i njihova slaba ali značajna korelacija s temperaturom, primjećena i u obalnom području Kalifornije (Tai & Palenik, 2009). Takav omjer *Synechococcus/Prochlorococcus* do sada nije zabilježen u zimskom razdoblju u Jadranskom moru (Najdek i sur. 2014). Zabilježena promjena također može ukazivati na globalne klimatske promjene.

Uspoređujući biomasu fitoplanktona izraženu kao klorofil *a* i abundanciju fitoplanktona 2015. i 2016. godinu sa prethodnim istraživanjima, možemo zaključiti da su vrijednosti mikrofitoplanktona bile povišene. Uobičajene vrijednosti za to područje i doba godine su oko  $4 \times 10^3$  stanicaL<sup>-1</sup> (Ljubimir i sur. 2017), dok su u ovom istraživanju zabilježene vrijednosti od  $2 \times 10^4$  stanicaL<sup>-1</sup>. Te podatke ne treba uzimati apsolutno jer je razdoblje istraživanja veljača/ožujak početak razvijanja proljetnog maksimuma u tom području i uzorkovanje tjedan dana prije ili kasnije mogu dati potpuno drugačije rezultate. Isto tako treba imati u vidu da je ovo istraživanje provedeno u doba ciklalnog vrtloga kada dolazi do uzdizanja levantinske

vode i time do donosa veće količine hranjivih soli i time posljedično veće produkcije. Ono što je zanimljivo usporedba između dvije istraživane godine. 2016. kako je već spomenuto koncentracija klorofila *a* bila je četiri puta veća, abundancije nanofitoplanktona i pikofitoplanktona bile su dva puta veće, dok je abundancija mikrofitoplanktona bila ista obje godine. Obzirom na oligotrofiju područja, piko i nano frakcija će najbrže odgovarati na promjene u okolišu i prve će se razvijati. Mikrofrakcija je uglavnom ograničena na duboki maksimum klorofila i zimsku konvekciju (Cerino i sur. 2012, Najdek i sur. 2014) koja nije bila zabilježena 2016. godine.

Metode bio-optike nude potpuno novi pogled na istraživanja fitoplanktona i omogućuju veliku prostornu rezoluciju, što je većinom limitacija svih drugih metoda. Potrebno je naglasiti najveću prednost tih metoda posebno u uzorkovanju jer nam omogućuju da na osnovi fizikalno kemijskih i bio-optičkih profila uzorkovanje bude adekvatno, te da se dobe rezultati koji na najbolji mogući način reflektiraju stanje u ekosustavu. Jadransko more je usporedbi sa oceanima izrazito malog volumena i površine, međutim to je izrazito dinamičan sustav logitudinalno i transverzalo asimetričan (Gačić i sur. 2001), kako je i u ovom istraživanju pokazano promjene se događaju izrazito brzo, te se dizajn uzorkovanja može uvelike utjecati na rezultate i zaključke koji ne moraju odgovarati stvarnom stanju ekosustava.

Cijelo uzorkovanje napravljeno je na osnovi profila dobivenih sa sondama na svakoj istraživanoj postaji. Na nekim postajama (P150, 2015. godine) se zaključilo da se neće uzimati uzorci vode, nakon napravljenih profila jer profil nije nudio nove informacije. Na taj način možemo jako reducirati broj uzoraka koje uzimamo na terenu i biti sigurni da nismo propustili niti jedan važan događaj. Fizikalno- kemijska svojstva vodenog stupca ukazivala su na izrazito heterogen profil, sa naglašenim slojevima različitih vodenih masa. Svaka promjena u fizici se manifestirala u promjeni u bio-optici i kao posljedično u broju stanica fitoplanktona. Detektiran signal klorofila *a* odgovarao je abundanciji fitoplanktona. Duboki maksimum klorofila *a* tako nije bio posljedica fiziološke prilagodbe stanica na manjak svjetlosti već je zaista ukazivao na povećanu biomasu fitoplanktona. Fitoplankton je nađen znatno dublje od eufotičkog sloja koji je bio na cca 70-80 m dubine, ukazujući na procese duboke konvekcije. Uglavnom su bile zabilježene stanice dijatomeja, koje su do dubine od 500 m bile vijabilne. To ukazuje na vrlo brze procese vertikalnog transporta stanica i čestica u vodenom stupcu što je već od prije poznato u literaturi (Vilibić & Šantić 2008, Batistić i sur. 2014). Osim dijatomeja primjećeno je tonjenje i pikofrakcije, posebice pikoeukariota što je



zabilježeno na postajama P1000 i P600 2015. godine. Maksimumi pikoeukariota su na postaji P600 detektirani na 280 m, a na postaji P1000 na 175 m. Termohalina svojstva ukazuju da oba sloja pripadaju istoj vodenoj, masi, te uslijed cirkulacije vrtloga dolazi do uzdizanja vodene mase u sredini vrtloga. Nalaz stanica pikoeukaritoa na toj dubini je moguća posljedica vertikalnog miješanja i transporta stanica u dublje slojeve. Obzirom da su stanice detektirane u sloju granične gustoće, što je već zabilježeno i u albankom šelfu (Šilović i sur. 2011) moguće je da stanice mogu preći na miskotrofni način života.

Biomasa fitoplanktona može se izraziti kao broj stanica po litri, kao koncentracija klorofila *a*, kao biovolumen ili kao partikularni organski ugljik. U ovom istraživanju korištene su metode klasične mikroskopije i protočne citometrije, te su se ti podaci usporedili sa partikularnim organskim ugljikom, omjerom raspršenja,  $C_{\text{phyto}}$  i optičkim indeksom zajednice. Kako se vidi iz rezultata, dobivene su velike diskrepancije u rezultatima, posebice u pokušaju povezivanja bio-optičkih podataka sa dominacijom pojedine skupine fitoplanktona (Tablice 4.-6). Zabilježene su razlike također i između godina za iste čimbenike. Kada te podatke usporedimo sa literaturom dobivamo slična odstupanja. Graff i sur. (2015.) mjerili su optička svojstva u Atlantskom i Tihom oceanu u vodama različitih trofičkih svojstava. Vrijednosti za POC su za tri istraživana transekta bila 9-229, 9-97 i 9-229, za  $C_{\text{phyto}}$  4-58, 5-35 i 4-58, te za omjer raspršenja 0,00046-0,0038, 0,000077-0,0025 i 0,00046-0,0038 (Graff i sur. 2014). Iz navedenih podataka ne možemo doći do konkretnih zaključaka, kao ni opisati zajednicu dijatomeja određenim vrijednostima optičkih mjera. Međutim, bio-optika nudi izvrstan alat. Ne samo prilikom uzorkovanja što je već diskutirano, već i u opisu zajednice fitoplanktona. POC opisuje sav partikularni organski ugljik, te njegova distribucija nije pratila distribuciju fitoplanktona. Razlog tome je velik broj heterotrofa čiji signal je također uključen u POC. Vrijednosti  $C_{\text{phyto}}$  donekle su pratile distribuciju fitoplanktona, ali nedovoljno da bi na osnovi samo tog podatka opisali distribuciju fitoplanktona. Razlog tome je da  $C_{\text{phyto}}$  je u tome da dio signala (raspršenja) pripada česticama koje nisu fitoplankton. Isto tako i omjer raspršenja nam je uglavnom ukazivao na broj čestica u vodenom stupcu, što je često reflektiralo suspendiranu anorgansku tvar. Međutim iz svih navedenih podataka izračunao se optički indeks zajednice koji je savršeno pratio distribuciju fitoplanktona. Iz navedenog možemo zaključiti da bio-optikom možemo dobro pratiti raspodjelu primarnih producenata i dobiti vrlo guste podatke koji jako dobro odgovaraju opisu istraživanog područja. Koji organizmi čine tu zajednicu za sada još ne možemo odrediti na osnovu ovdje prikazanih rezultata, što ne znače da se ovi podaci u budućnosti neće moći koristiti. Na svjetskoj razini razvijaju se algoritmi koji će na

osnovi bio-optike moći točno odrediti taksonomsku pripadnost zajednice fitoplanktona. Za sada je riječ o početnim naporima, ali prvi rezultati su već dobiveni, te će se doradivati.

## **5. ZAKLJUČAK**

Fizikalna, kemijska i biološka svojstva ispitivana su zimi 2015. i 2016. godine. Uzastopne zime znatno su se razlikovale. 2015. godina obilježena je dubokim vertikalnim miješanjem, signal klorofila *a* i stanice fitoplanktona fitoplanktonske zajednice otkrivene do 500 m dubine. U 2016. godini konvekcija nije bila prisutna te su primarni producenti najdublje zabilježeni do 200 m dubine.

Iako su istraživane godine bile u razdoblju ciklonalnog vrtloga, jači utjecaj MWIL-a nije zabilježen, te je intruzija bila na dubini od 400 - 600 m što je prvi puta zabilježeno za Jadransko more i ukazuje na promjene u cirkulaciji. Razlog radi kojeg je došlo do ove promjene navode se globalne klimatske promjene.

Fizikalno - kemijska svojstva vodenog stupca ukazivala su na izrazito heterogen profil, sa naglašenim slojevima različitih vodenih masa. Svaka promjena u fizici se manifestirala u promjeni u bio-optici i kao posljedično u broju stanica fitoplanktona. Detektiran signal klorofila *a* odgovarao je abundanciji fitoplanktona. Duboki maksimum klorofila tako nije bio posljedica fiziološke prilagodbe stanica na manjak svjetlosti već je zaista ukazivao na povećanu biomasu fitoplanktona.

U obje godine zajednica mikrofitoplanktona je uglavnom bila sastavljena od dijatomeja, a zajednica nanofitoplanktona od kokolitoforida. Razlika je vidljiva kod pikofitoplanktona, naime u 2015. godini dominantan dio cijanobakterijske zajednice činio je rod *Synechococcus*, dok 2016. godine je uočena dominacija roda *Prochlorococcus*.

2016. koncentracija klorofila *a* bila je četiri puta veća, abundancije nanofitoplanktona i pikofitoplanktona bile su dva puta veće nego 2015., dok je abundancija mikrofitoplanktona bila ista obje godine.

Bio-optičkim parametrima poput optičkog indeksa zajednice možemo pratiti distribuciju primarnih producenata, međutim što točno čini tu zajednicu u ovom trenutku se još uvijek ne može odrediti. Ali uz pomoć bio-optike možemo bolje uzrokovati te možemo odrediti od kud je najbolje uzeti uzorak za daljnje detaljnije analize.

## **6. LITERATURA**

- Allen C. B., Kanda J., Laws E. A. (1996): New production and photosynthetic rates within and outside a cyclonic mesoscale eddy in the north Pacific subtropical gyre. *Deep-Sea Res. Part I* 43, 917-936.
- Andersson A., Haecky P., Hagstrom A. (1994): Effect of temperature and light on the growth of micro – nano – and picoplankton: impact on algal succession. *Mar. Biol.* 120, 511-520.
- Artegiani A., Gačić M., Michelato A., Kovačević V., Russo A., Paschini E., Scarzzato P., Smirčić A. (1993): The Adriatic Sea hydrography and circulation in spring and autumn (1985-1987). *Deep – Sea Res.* 40, 1143-1180.
- Batistić M., Jasprica N., Carić M., Čalić M., Kovačević V., Garić R., Njire J., Mikuš J., Bobanović – Čolić S. (2012): Biological evidence of winter convection event in the Souther Adriatic: A phytoplankton maximum in the aphotic zone. *Cent. Shelf. Res.* 44: 57-71.
- Bishop J. K. B. (1986): The correction and suspended particulate matter Calibration of SeaTech transmissometer data, *DeepSeaRes., Part A* 33(1), 121–134, doi:10.1016/0198-0149(86)90111-1.
- Boldrin A., Miserocchi S., Rabitti S., Turchetto M. M., Balboni V., Socal G. (2002): Particulate matter in the southern Adriatic and Ionian Sea: characterization and downward fluxes, *J. Mar. Syst.*, 33–34, 389–410.
- Boss E., Behrenfeld M. (2010): In situ evaluation of the initiation of the North Atlantic phytoplankton bloom, *Geophysical Research Letters*, Vol. 37, No. 18.
- Bracher A., Vountas M., Dinter T., Burrows J. P., Röttgers R., Peeken I. (2009): Quantitative observation of cyanobacteria and diatoms from space using PhytoDOAS on SCIAMACHY data, *Biogeosciences*, 6, pp. 751-764. hdl:10013/epic.32621
- Brzezinski M. A., Villareal T. A., Lipschultz F. (1998): Silica production and the contribution of diatoms to new and primary production in the central North Pacific. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 167, 89-104.
- Buljan M., Hure J., Pucher-Petković T. (1973): Hidrografske i produkcione prilike u Malostonskom zaljevu. *Acta Adriat.* 15, 1-60.

Buljan M., Zore-Armanda M. (1976): Oceanographical properties of the Adriatic Sea. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.* 14, 11-98.

Cetinić I., Perry M., Briggs N., Kallin E., Asaro E., Lee C. (2012): Particulate organic carbon and inherent optical properties during 2008 North Atlantic Bloom Experiment., *J. Geophys. Res.- Oceans* 117, C06028

Christopher B., Field Michael J., Behrenfeld James T., Randerson, Falkowski P. (1998): Primary production of the biosphere: Integrating terrestrial and oceanic components. *Science* 281: 237-240, *Science* 281(5374):237-40.

Civitarese G., Gačić M. (2002): Had the eastern mediterranean transient an impact on the new production in the southern Adriatic. *Geophys. Res. Lett.* 28, 1627-1630.

Civitarese G., Gačić M., Lipizer M., Borzelli G.L.E. (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. <http://dx.doi.org/10.5194/bg-7-3987-2010>.

Civitarese G., Gačić M., Lipizer M., Borzelli G. L. E. (2010): On the impact of the Biomodal Oscillating System (BIOS) on the biogeochemistry and biology of the Adriatic and Ionian Seas (Eastern Mediterranean). *Biogeosci. Discuss.* 7, 6971-6995.

Claustre H. (2010): Bio-optical profiling floats as new observational tools for biogeochemical and ecosystem studies: Potential synergies with ocean color remote sensing, in proceedings of ocean obs 09: Sustained Ocean Observations and Information for Society (Vol. 2), Venice, Italy, 21-25 September 2009.

Cole J. J., Caraco N. F., Peierls B. L. (1992): Can phytoplankton maintain a positive carbon balance in a turbid, freshwater, tidal estuary. *Limnol. Oceanogr.* 37, 1608-1617.

Crisholm S. W., Frankel S. L., Goericke R., Olson R. L., Palenik B., Waterbury J. B., West – Johnsrud L., Zettler E. R. (1992): *Prochlorococcus marinus* nov. gen. nov. sp.: an oxyphototrophic marine containing divinyl chlorophyll a and b. *Archives of Microbiology* 157, 297-303.

Cullen J. J., Neale P. J. (1994): Ultraviolet radiation, ozone depletion and marine photosynthesis; *Photosynth. Res.* 39, 303-320.

De Vargas C., Audic S., Henr N., Decelle J., Mahe F., Logares R., Carmichael M. (2015): Eukaryotic plankton diversity in the sunlit ocean, *Science*, 2015, Vol. 348 No. 6237, pp. 1261605.

Falkowski P. G; Barber R. T.; Smetacek V. (1988): Biogeochemical controls and feedbacks on ocean primary production, *Science*, 2015, Vol. 281, No. 5374, pp. 200-206.

Fennel W., Lass H. V., Seifert T. (1986): Some aspects of vertical and horizontal excursion of phytoplankton. *Ophelia* 4, 55-62.

Gačić M., Borzelli G.L.E., Civitarese G., Cardin V., Yari S. (2010): Can internal processes sustain reversals of the ocean upper circulation? The Ionian Sea example. *Geophys. Res. Lett.* 37 (9), L09608. <http://dx.doi.org/10.1029/2010GL043216>.

Gačić M., Civitarese G. (2002): Introductory notes on the South Adriatic

Gačić M., Civitarese G., Miserocchi S., Cardin V., Crise A., Mauri E. (2002): The open ocean convection in the Southern Adriatic: a controlling mechanism of the spring phytoplankton bloom. *Cont. Shelf Res.* 22 (14), 1897–1908. [http://dx.doi.org/10.1016/S0278-4343\(02\)00050-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0278-4343(02)00050-X).

Gačić M., Civitarese G., Ursella L. (1999): Spatial and seasonal variability of water and biochemical fluxes in the Adriatic Sea.

Gačić M., Civitarese M., Miserocchi S., Cardin V., Crise A., Mauri E. (2002): The open – ocean convection in the Southern Adriatic: a controlling mechanism of the spring phytoplankton bloom. *Cont. Shelf. Res.* 22, 1897-1908.

Gačić M., Poulain P.M., Zore-Armanda M., Brale V. (2001): Physical oceanography of the Adriatic Sea: Past, present and future; Kluwer, Academic publisher; Dordrecht str. 1-42.

Gould R. W. Jr., Fryxell G. A. (1988): Phytoplankton species composition and abundance in a Gulf Stream warm core ring. 2. Distributional patterns. *J. Mar. Res.* 46, 399-428.

Gould R. W. Jr., Wiesenburg D. A. (1990): Single – species dominance in a subsurface phytoplankton concentration at a Mediterranean Sea front. *Limnol. Oceanogr.* 35, 211-220.



Graff J., Westberry T. K., Milligan A. J., Brown M. B., Dall'Olmo G., van Dongen-Vogels V., Behrenfeld M. J. (2015): Analytical phytoplankton carbon measurements spanning diverse ecosystems. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, Vol. 102, pp. 16-25.

Gržetić Z. (1982): Prilog poznavanju termohalinih svojstava južnog Jadrana. M.Sc. Thesis, University of Zagreb.

Hader D. P. (1996): Effects of enhanced solar UV- B radiation on phytoplankton. *Scient. Mar.* 60, 59-63.

Hallegraeff G. M. (1988): *Plankton a microscopic world*, Bill Archive

Jerlov N. G. (1976): *Marine optics*, Elsevier, Amsterdam

Leder N., Smirčić A., Gržetić Z., Grbec B., Viličić I. (1996): Dinamička svojstva akvatorija Palagruškog praga. *Zbornik radova Simpozija o Palagruži*, Split, 339-343.

Lee M. E., Lewis M. R. (2003): A new method for the measurement of the optical volume scattering function in the upper ocean, *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, Vol. 20, No. 4, pp. 563-571.

Ljubimir S., Jasprica N., Čalić M., Hrustić E., Dupčić I., Car A. (2017): Interannual variability of winter-spring phytoplankton in the open South Adriatic Sea: Effects of deep convection and lateral advection

Malin M. A., Pearl H. W. (1992): Effects of variable irradiance on phytoplankton productivity in shallow estuaries. *Limnol Oceanogr.* 37, 54-62.

Mann K. H., Lazier J. R. N. (1996): *Dynamics of marine ecosystems. Biological-physical interactions in the oceans*. Blackwell Science Inc., Malden.

Maranon E., Holligan P. M., Barciela R., Gonzales N., Mourino B., Pazo M. J., Varela M. (2001): Patterns of phytoplankton size structure and productivity in contrasting open-ocean environments. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 216: 43-56.

Marasivić I., Viličić D., Ninčević Ž. (1999): South Adriatic ecosystem: Interaction with the Mediterranean Sea. In: Malanotte-Rizzoli P. & Eremeev V. N., (eds.), *Eastern Mediterranean as a laboratory basin for the assessment of contrasting ecosystems*.

- Marasović I., Pucher-Petković T., Hernández V.A. (1988): Phytoplankton productivity of the Adriatic Sea in relation to pelagic fisheries. *Bilješ. Notes Inst. Oceano.* 72, 1–8.
- Marra J., Bidigare R. R., Dickey T. D. (1990): Nutrients and mixing, chlorophyll and phytoplankton growth. *Deep-Sea Res.* 37, 127-143.
- Masina S., Pinardi N. (1994): Mesoscale data assimilation studies in the middle Adriatic Sea. *Cont. Shelf Res.* 14, 1293-1310.
- Mauri E., Gerin R., Kokkini Z., Notarstefano G., Poulain P. (2016): South Adriatic glider measurement during november 2015, Rapport du Commission Internationale pour l'Exploration Scientifique de la Mer Mediterranee.
- Mihanović H., Vilibić I., Carniel S., Tudor M., Russo A., Bergamasco A., Bubić N., Ljubešić Z., Viličić D., Boldrin A., Malačić V., Celio M., Comici C., Raicich R. (2013): Exceptional dense water formation on the Adriatic shelf in the winter of 2012. *Ocean science.* 9, 561-572.
- Moran M., Zepp R.G. (2000): UV radiation effects on microbes and microbial processes. In Kirchman, D.L. (ed) *Microbial ecology of the oceans*, 201-228. Wiley-Liss, New York.
- Najdek M., Paliaga P., Šilović T., Batistić M., Garić R., Supić N., Ivančić I., Ljubimir S., Korlević M., Jasprica N., Hrustić E., Dupčić-Radić I., Blažina M., Orlić S. (2014): Picoplankton community structure before, during and after convection event in the off shore waters of the Southern Adriatic Sea. *Biogeosciences* 11, 2645–2659 *oceanography, Cont. Shelf Res.*, 44, 2–4.
- Orlić M. (2011): *Nulla dies sine observatione*, 150 godina Geofizičkog zavoda u Zagrebu. PMF Sveučilište, Zagreb
- Orlić M., Gačić M., Laviolette P.E. (1992): The currents and circulation of the Adriatic Sea. *Oceanol. Acta* 15, 109-124.
- Pan L. A., Zhang J., Chen Q., Deng B. (2006): Picoplankton community structure at a coastal front region in the northern part of the Sout China Sea. *J. Plankton Res.* 28: 337-343.

- Peletier H., Gieskes W. W. C., Buma A. G. J. (1996): Ultraviolet- B radiation resistance of benthic diatoms isolated from tidal flats in the Dutch Wadden Sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 135, 163-168.
- Pucher-Petković T., Zore-Armanda M. (1973): Essai d'évaluation et pronostic de la production en fonction des facteurs du milieu dans l'Adriatique. *Acta Adriat.* 15, 1-37.
- Raven J. A. (1998): The twelfth Tansley lecture. Small is beautiful: the picophytoplankton. *Funct. Ecol.* 12: 503-513.
- Reynolds C.S. (2006): *The ecology of phytoplankton*, Cambridge University Press.
- Riđanović J., Rendulič I., Šimunović V. (1999): Hrvatski Jadran u sklopu novog teritorijalnog ustroja. *Zbornik radova 2. Hrvatske Konferencije o vodama*, Dubrovnik, 269-276.
- Roesler C.S., Perry M. J. (1995): In situ phytoplankton absorption, fluorescence emission, and particulate backscattering spectra determined from reflectance, *Journal of Geophysical Research: Oceans*, Vol. 100, No. C7, pp. 13279-13294.
- Schafer J., Sebastian C., Hader D. P. (1993): Effects of solar radiation on motility, orientation, pigmentation and photosynthesis in a green dinoflagellate *Gymnodinium*. *Acta Protozool.* 33, 59-65.
- Sieburth J., Smetacek V., Lenz J. (1978): Planktonic methane production and oxidation within the algal maximum of the pycnoline: seasonal fine – scale observations in an anoxic estuarine basin. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 100, 3-15.
- Simon N., Crass A. L., Foulon E., Lemee R. (2009): Diversity and evolution of marine phytoplankton, *Comptes Rendus Biologies*, Vol. 332, No. 2, pp. 159-170.
- Stockner J. G. (1988): Phototrophic picoplankton: An overview from marine and freshwater ecosystems. *Limnol. Oceanogr.* 33: 765-775.
- Tai V., Palenik B. (2009): Temporal variation of *Synechococcus* clades at a coastal Pacific ocean monitoring station; *ISME J.* 3:903-915.
- Thomas W. H., Gibson C. H. (1990): Quantified small – scale turbulence inhibits a red tide dinoflagellate *Gonyaulax polyedra* Stein. *Deep – sea Res.* 37, 1583-1593.

- 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, *Res* 22, 1735-1756.
- Turchetto M., Boldrin A., Langone L., Miserocchi S. (2012): Physical and biogeochemical processes controlling particle fluxes variability and carbon export in the Southern Adriatic, *Cont. Shelf Res.*, 44, 72–82.
- Venrick E. L. (1998): Spring in the California current: the distribution of phytoplankton species, April 1993 and April 1995. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 167, 73-88.
- Vilibić I., Orlić M. (2002): Adriatic water masses, their rates of formation and transport through the Otranto Strait. *Deep-sea Res.* 49, 1321–1340.
- Vilibić I., Šantić D. (2008): Deep water ventilation traced by *Synechococcus* cyanobacteria, *Ocean Dyn* 58, 119-125.
- Viličić D. (1998): Phytoplankton taxonomy and distribution in the off shore southern Adriatic. *Hydrobiologia* 367, 117-132.
- Viličić D. (1989): Phytoplankton population density and volume as indicators of eutrophication in the eastern part of the Adriatic Sea. *Hydrobiologia* 174, 117-132.
- Viličić D. (1994): Distribution of phytoplankton biomass in relation to oceanographic conditions in the Adriatic Sea. *Period. Biol.* 96, 444-446.
- Viličić D., Marasović I., Mioković D. (2002): Checklist of phytoplankton in the eastern Adriatic Sea. *Acta Bot Croat* 61: 57-91.
- Vukadin I., Stojanoski L. (1996): Oceanografska svojstva mora oko otoka Palagruže. *Zbornik radova simpozija o Palagruži, Split*, 329-337.
- West L. J. A., Greenberg B. M., Smith R. E. H. (1999): Ultraviolet radiation effects on a microscopic green alga and the protective effects of natural dissolved organic matter. *Photochem. Photobiol.* 69, 536-544.
- Williams R. G., Follows M. J. (1998): Eddies make ocean deserts bloom. *Nature* 394, 228-229.

Wolanin A., Soppa M. A., Bracher A. (2016): Investigation of spectral band requirements for improving retrievals of phytoplankton functional types., *Remote Sensing*, 8 (871), pp. 1-21.

Wright S.W., Mantoura R.F.C., Jeffrey S.W. (1997): *Phytoplankton pigments in oceanography*

Zaneveld J. R. V., (1973): Variation of optical seawater parameters with depth, in *Optics of the Sea Interface and In-Water Transmission and Imagery*, AGARD Lect. Ser., 61, 1-22.

Zore-Armanda M. (1969): Water exchange between the Adriatic and the eastern Mediterranean. *Deep- Sea Res.* 16, 171-178.

Zore-Armanda M. (1984): Hydrographic and productivity conditions of the Palagruža region in the middle Adriatic. *Acta Adriatica* 25, 119-138.

Zore-Armanda M. (1996): Razvoj oceanografskih istraživanja u vodama Palagruže. *Zbornik radova simpozija o Palagruži*, Split, 317-327.

## **7. ŽIVOTOPIS**

Tamara Rukavina

Datum i mjesto rođenja: 09.05.1992., Brežice, Republika Slovenija

Prebivalište: Sisačka cesta 33c, 10020 Novi Zagreb

Mobitel: 095 902 4302

Mail: [tamara.rukavina39@gmail.com](mailto:tamara.rukavina39@gmail.com)

**Obrazovanje:**

Osnovna škola Brežice, Republika Slovenija

Osnovna škola Miroslava Mrkše, Zagreb

IX. gimnazija, Zagreb

Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu

**Priznanje:**

Priznanje za sudjelovanje na noći Biologije, 2013. godine