Taksonomski sastav i ekologija zajednice planktonskih dijatomeja u Južnojadranskoj kotlini

Galović, Silvija

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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:217:574247

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**

Repository / Repozitorij:

Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb

Sveučilište u Zagrebu

Prirodoslovno – matematički fakultet

Biološki odsjek

Silvija Galović

TAKSONOMSKI SASTAV I EKOLOGIJA ZAJEDNICE PLANKTONSKIH DIJATOMEJA U JUŽNOJADRANSKOJ KOTLINI

Diplomski rad

Zagreb, 2017.

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

Zahvale:

Prvenstveno se zahvaljujem svojoj mentorici doc. dr. sc. Sunčici Bosak na uloženom vremenu, 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 na pomoći i ugodnoj atmosferi tijekom mog boravka u tom laboratoriju. Ovaj rad u potpunosti je financiran od Hrvatske zaklade za znanost sa projekta „Bio-indikatori vodenih masa u Jadranu“ UIP-2013-11-6433.

Također, zahvaljujem se mojim kolegama i prijateljima, prvenstveno Tamari koja mi je sve ove godine studija bila velika podrška i bez čijih kava i zajedničkih učenja ne bi uspjela do samog kraja.

Hvala bratu i Ivanu na strpljenju, podršci i ljubavi, a najveću zahvalu za odricanja i svemu što su učinili za mene dugujem mami i tati bez kojih sve ovo ne bi bilo moguće.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu

Prirodoslovno-matematički fakultet

Biološki odsjek Diplomski rad

Taksonomski sastav i ekologija zajednice planktonskih dijatomeja u Južnojadranskoj kotlini

Silvija Galović

Rooseveltov trg 6, 10 000 Zagreb

Dijatomeje (alge kremenjašice) su jednostanični eukariotski fotosintetski mikroorganizmi koje nalazimo u svim kopnenim, slatkovodnim i morskim ekosustavima. Dominiraju brojnošću i biomasom u većini obalnih mora te su uz dinoflagelate i kokolitoforide glavna sastavnica morskog fitoplanktona. Glavni ciljevi ovog istraživanja su bili: (i) odrediti taksonomski sastav, brojnost te prostornu raspodjelu fitoplanktona u Južnojadranskoj kotlini u razdoblju kasne zime, (ii) opisati dominantne vrste dijatomeja prisutne u istraživanom razdoblju, (iii) utvrditi utjecaj fizikalno-kemijskih čimbenika koji uvjetuju sastav i prostornu distribuciju vrsta i dijatomejskih zajednica. Istraživanje je provedeno u Južnojadranskoj kotlini u razdoblju od 8. do 10. ožujka 2016. godine na 8 postaja. Uzorci su sakupljeni pomoću planktonske mreže i Niskinovog crpca te fiksirani i analizirani pomoću Zeiss Axiovert 200 invertnog mikroskopa kako bi se dobili podaci o brojnosti i taksonomskoj pripadnosti pojedinih vrsta/rodova točnije zajednice planktonskih dijatomeja. Tijekom ovog istraživanja određeno je 126 svojti fitoplanktona, pri čemu dominiraju dijatomeje s 98 morfotipova. Rezultati su pokazali da postoje razlike u zajednicama dijatomeja između uzorkovanih postaja s obzirom na udaljenost od kopna. Različitim vrstama dijatomeja odgovaraju različiti ekološki uvjeti u vodenom stupcu, prvenstveno koncentracija nutrijenata, što se odražava na njihovu prostornu distribuciju.

(63 stranice, 21 slika, 6 tablica, 55 bibliografskih referenci; izvornik na hrvatskom jeziku)

Rad je pohranjen u Središnjoj biološkoj knjižnici.

Ključne riječi: dijatomeje, južni Jadran, fitoplankton, taksonomija, ekologija

Voditelj: Dr. sc. Sunčica Bosak, doc.

Ocjenitelji: 1. Dr. sc. Sunčica Bosak, doc.

2. Dr. sc. Ines Radanović, izv. prof.

3. Dr. sc. Marijana Đaković, doc.

Rad prihvaćen: 21. lipnja 2017.

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb

Faculty of Science

Biološki odsjek

Department of Biology

Graduation Thesis

Taxonomical composition and ecology of the planktonic diatom community in the South Adriatic Pit

Silvija Galović

Rooseveltov trg 6, 10 000 Zagreb

Diatoms are unicellular, eukaryotic, photosynthetic microorganisms found in terrestrial, freshwater and marine ecosystems. Diatoms are the most abundant group in the coastal ecosystems and together with dinoflagellates and coccolithophores compose marine phytoplankton. The main objectives of this thesis were: (i) to investigate the taxonomical composition, abundances and distribution of phytoplankton in South Adriatic Pit in winter, (ii) to describe the dominant diatom species (iii) to determine the influence of physico-chemical parameters on the spatial distribution and composition of the planktonic diatom community . The study was conducted in South Adriatic in period from 8 to 10 March 2016 at 8 stations. Samples were collected using plankton nets and Niskin samplers and analyzed using Zeiss Axiovert 200 inverted microscope in order to obtain data on the identity and abundances of phytoplankton species and planktonic diatom community. The study found 126 different phytoplankton species-of which dominated diatoms with 98 morphotypes. The results showed that there are differences between the diatom community composition among different stations based on their distance from the shore. Different diatom species showed preferences toward different environmental conditions primarily towards the nutrient concentrations that was reflected in their spatial distribution.

(63 pages, 21 figures, 6 tables, 55 references, original in: Croatian)

Thesis deposited in the Central Biological Library.

Key words: diatoms, southern Adriatic, phytoplankton, taxonomy, ecology

Supervisor: Dr. sc. Sunčica Bosak, Assistant Prof.

Reviewers: 1. Dr. sc. Sunčica Bosak, Assistant Prof.

2. Dr. sc. Ines Radanović, Associate Prof.

3. Dr. sc. Marijana Đaković, Assistant Prof.

Thesis accepted: 21th of June 2017.

Sadržaj

1. UVOD 1
1.1. FITOPLANKTON 1
1.2. DIJATOMEJE (lat. Bacillariophyceae, Diatomeae) 3
1.2.1. Građa dijatomeja 3
1.2.2. Podjela dijatomeja 5
1.2.3. Kretanje dijatomeja 7
1.2.4. Životni ciklus dijatomeja 8
1.2.5. Kemijska obrana od predatora 10
1.2.6. Planktonske dijatomeje 11
1.3. DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA PLANKTONSKIH DIJATOMEJA U JADRANU 12
1.4. CILJEVI ISTRAŽIVANJA 13
2. MATERIJALI I METODE 14
2.1. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA 14
2.2 UZORKOVANJE 16
2.3 ANALIZA UZORAKA 17
2.4 STATISTIČKA OBRADA PODATAKA 18
3. REZULTATI 19
3.1. FIZIKALNI I KEMIJSKI PARAMETRI ISTRAŽIVANOG PODRUČJA 19
3.1.1. Temperatura i salinitet 19
3.1.2. Gustoća morske vode i koncentracija otopljenog kisika 21
3.1.3. Klorofil *a* i fitoplankton 24
3.1.4. Nutrijenti 25
3.2. SASTAV FITOPLANKTONA 33
Postaja P100 33
Postaja P120 33
Postaja P150 36
Postaja P200 36
Postaja P300 39
Postaja P600 39
Postaja P850 42
Postaja P1000 42

4.RASPRAVA 53
5. ZAKLJUČAK 57
6. LITERATURA 58
7. ŽIVOTOPIS 63

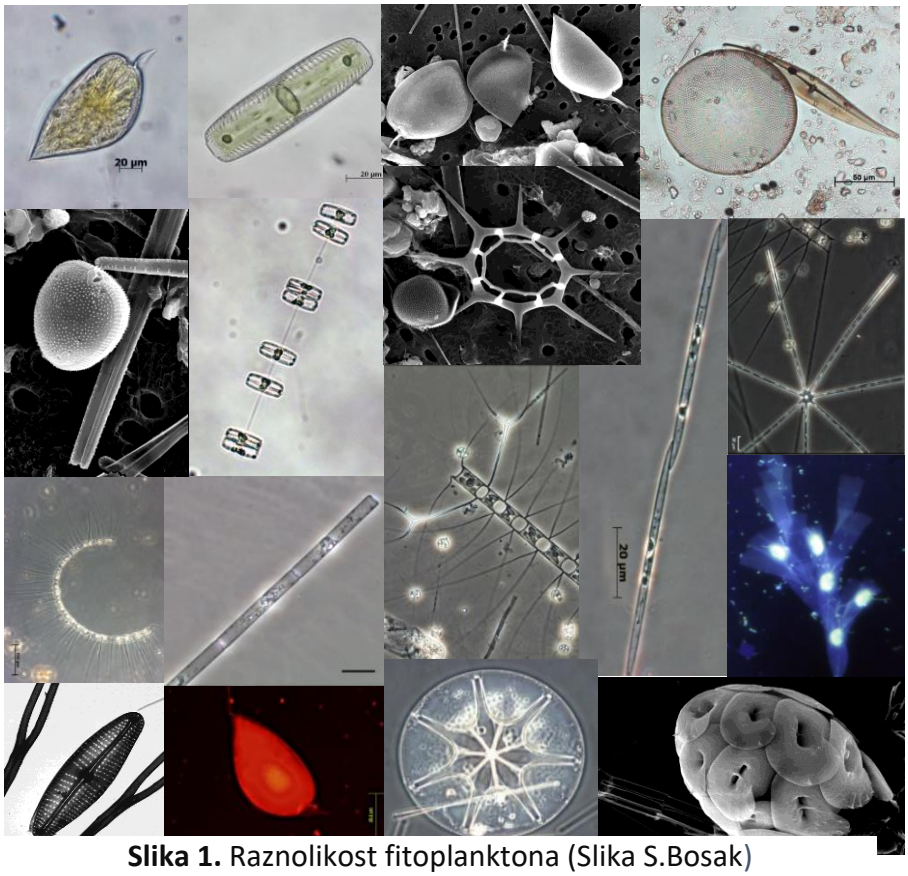
1. UVOD

1.1. FITOPLANKTON

Fitoplankton dolazi od grčke riječi fiton što znači biljka i riječi planktos što znači lutalica. Na temelju toga može se reći da fitoplankton čine planktonski „biljni“ organizmi, mikroalge, koje lebde u moru, nošene su strujama („lutaju“), a u manjoj se mjeri i aktivno pokreću (Viličić, 2002). Fitoplankton ima sposobnost provođenja procesa fotosinteze. Za obavljanje procesa fotosinteze potrebna mu je velika količina svjetlosti koja se nalazi u površinskom sloju vode pa se može zaključiti kako obitava u eufotičkom sloju. Fitoplankton je odgovoran za 42% ukupne svjetske neto primarne proizvodnje (Field i sur. 1998) te je temelj trofičke piramide pa je stoga izuzetno važan.

Fitoplankton najvećim dijelom spada u tri veličinske frakcije planktona: pikoplankton (0,2 – 2 µm), nanoplankton (2 – 20 µm) i mikroplankton (20 – 200 µm), dok se veći zooplanktonski organizmi još dijele na mezoplankton (0,2 – 20 mm), makroplankton (2 – 20 cm) i megaplankton (> 20 cm) (Sieburth i sur. 1978).

U svjetskim morima poznato je oko 500 rodova i oko 4000 vrsta fitoplanktona (Sournia i sur. 1991) (Slika 1.). Krupnija veličinska frakcija (mikrofitoplankton) sadrži najviše kremenjašica i dinoflagelata (svaka skupina s po oko 1600 vrsta), te kokolitoforida (oko 300 vrsta), a ostalo su nanoplanktonske vrste, koje nisu dovoljno istražene. Uz istočnu obalu Jadrana do danas je poznato 888 vrsta fitoplanktona (Viličić i sur. 2002).



Slika 1. Raznolikost fitoplanktona (Slika S.Bosak)

Dinoflagelati su uz dijatomeje najvažniji predstavnici morskog mikro i nanofitoplanktona. Oni su jednostanični eukariotski organizmi koji žive pojedinačno, a rijetko u kolonijama u obliku lanca. Karakteristični su po tome što su jedini fotosintetski organizmi koji bioluminisciraju pa se stoga često nazivaju svjetlećim bičašima. Primarni su organski producenti i važna karika u lancima prehrane riba. Mnoge vrste dinoflagelata razvijaju guste populacije u moru (cvjetanje), pa mogu promijeniti boju mora u crvenu (eng. *red tide*) ili zelenu (eng. *green tide*). Cvjetanje dinoflagelata najčešće je u obalnom moru, ali može biti i na pučini (Viličić 2002). Stanice dinoflagelata nemaju staničnu stijenku, nego se na površini nalazi amfijezma, kao modifikacija periplasta (Loeblich III & Sherley 1979, Loeblich III 1982).

Silikoflagelati su jednostanični protisti čije stanice su pojedinačne (20-60 µm) s po jednim bičem koji nosi mastigoneme. Imaju vanjski silicijev skelet oblika poput košare (Viličić, 2002). Obično se pojavljuju zajedno sa dijatomejama u vodenom stupcu i slične su veličine.

Kokolitoforidi su jednostanični organizmi čije su stanice pokrivene kalcitnim pločicama različite veličine i oblika-kokolitima. Svaka vrsta stvara kokolite karakteristična oblika, što je važno za taksonomiju. Pouzdana taksonomija mnogih kokolitoforida moguća je samo s pomoću elektronskog mikroskopa (Reid 1980. Hallegraff 1984a, Okada & McIntyre 1977, i drugi). U morima viših geografskih širina uzrokuju cvjetanje (Viličić 2002).

U daljnjem radu naglasak će biti na planktonskim dijatomejama.

1.2. DIJATOMEJE (lat. Bacillariophyceae, Diatomeae)

Dijatomeje (alge kremenjašice) su jednostanični eukariotski fotosintetski mikroorganizmi koje nalazimo u svim kopnenim, slatkovodnim i morskim ekosustavima (Round i sur. 1990). Dominiraju brojnošću i biomasom u većini obalnih mora te su uz dinoflagelate i kokolitoforide glavna sastavnica morskog fitoplanktona. Njihove stanice posjeduju jedinstvenu ljušturicu građenu od amorfnog silicija te imaju i izuzetno bitnu ulogu u globalnom biogeokemijskom ciklusu silicija i ugljika. Smatra se da su zaslužne za oko 25% svjetske primarne proizvodnje, fiksirajući ugljik i oslobađajući kisik. Budući da predstavljaju temelj trofičkih mreža poznavanje njihove brojnosti i sastava je od iznimne važnosti za izučavanje morskih ekosustava.

1.2.1. Građa dijatomeja

Stanice dijatomeja nemaju staničnu stijenku već modifikaciju periplasta. Ispod plazmaleme periplasta nalaze se vezikule u kojima se sintetizira amorfni i netopljivi opal ($SiO_2 \times nH_2O$) iz netopljivog silicija, koji je u moru prisutan u obliku ortosilicijeve kiseline (H_4SiO_4) i njezinih polimera. Naslage opala se u vezikulama povećavaju i izbijaju na vanjsku stranu stanice. Konačno opal (kremen) obavija čitavu stanicu u obliku kremene „kućice“ s dvjema ljušturicama (Viličić 2002).

Kremene ljušturice sastoje se od dvije polovice. Gornju polovicu nazivamo epiteka, a donju polovicu hipoteka koje se preklapaju poput kutije i poklopca. Svaka teka sastoji se od

hipovalve i epivalve koje su međusobno povezane pojasom, a pojas čine - kopule i pleure - koje se tijekom rasta mogu umnožavati. Kopule prema unutrašnjosti valve mogu pružati nastavke (*septa*) (Viličić 2002). Dodatne naslage silicija u unutrašnjosti ljušturice stvaraju zadebljanja koja se nazivaju rebra (*costae*) (Slika 2.). Rebra se mogu pružati radijalno od kružne formacije (*anulus*) ili od jednog središnjeg zadebljalog rebra (*sternum*) koje prati apikalnu os. Uz sternum se kod dijatomeja s bilateralnom simetrijom može nalaziti uzdužni jednostruki ili dvostruki prorez kroz valvu (*rapha*). U središnjem dijelu valve rafa završava središnjom porom (*porus centralis*) u području središnjeg čvora (*nodulus centralis*), a na krajevima valve u području apikalnog čvora (*nodulus apicalis*) završava apikalnom (vršnom) porom (*porus apicalis*) ili jezičastom strukturom (*helictoglossum*) (Slika 2.). Rafa u nekih dijatomeja položena je duž ruba valve, a može s unutrašnje strane biti premošćena silicijevim mostovima (*fibulae*) pa tako nastaje rafa s kanalom (npr. rod *Nitzschia*). Između rebara, unutar stijenke valve, nalaze se izdužene komore (*alveolae*). Alveole su s gornje i donje strane perforirane. Te šupljine, koje čine saćastu strukturu valve nazivaju se areole (*areolae*), nizovi areola između rebara čine strije (*striae, areolae intercostales*) (Slika 2.) (Viličić 2002). Strije su vidljive kao linije na površini valve. Determinaciju otežava činjenica da su dijatomejske stanice pleuralne strane vrlo slične. Orijentacija strija s obzirom na apikalnu os, njihova gustoća i strukture povezane s njima, uz oblik valve i prisustvo glavnih strukturalnih svojstava kao što je rafa, najvažnije su taksonomske odrednice dijatomeja (Kelly 2000).

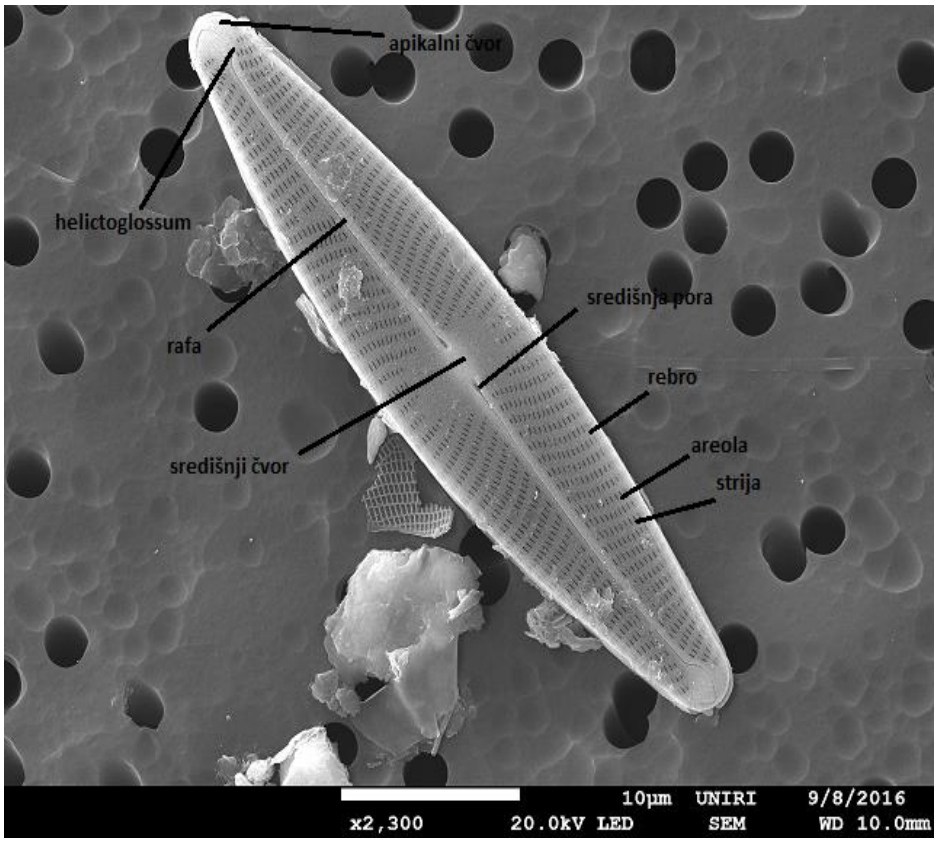
Kloroplasti su okruženi dvjema membranama, a tilakoidi unutar kloroplasta su grupirani po tri u jednoj skupini, a u većini kloroplasta prevladava veći ili manji broj pirenoida. Kloroplasti sadrže klorofil *a*, *c*1 i *c*2, tako da je omjer a:c jednak 4:1. Fukoksantin je primarni karotenoid koji stanicama daje žuto-smeđu boju, također, on je karotenoid koji sudjeluje u prijenosu energije do klorofila *a* te je dio fotosustava II. u procesu fotosinteze (Lee 2008). Od ostalih pigmenata sadrže ß-karoten, lutein, diadinoksantin, diatoksantin i neofukoksantin koji služe kao ''antene'' za hvatanje sunčeve energije. Kao rezervne tvari kod dijatomeja pojavljuju se ulja (u uljnim vakuolama), volutin (u zrncima) te najvažniji krizolaminarin (u stanici). On se razlikuje od laminarina, kojeg nalazimo kod smeđih algi i po terminalnom manitolu. Također, dijatomeje sadrže 4α-metil sterole kao što je 4-desmetil sterol i kolesterol koji se koriste kao markeri (Lee 2008).

1.2.2. Podjela dijatomeja

S obzirom na karakteristike simetrije ljušturice dijatomeje se dijele na centrice (*Centrales*) koje imaju radijalnu ljušturicu (Slika 3.) i pretežno su planktonski oblici te penatne dijatomeje (*Pennales*) čija je ljušturica bilateralno simetrična (Slika 2.) i prevladavaju u bentosu.

Pennales

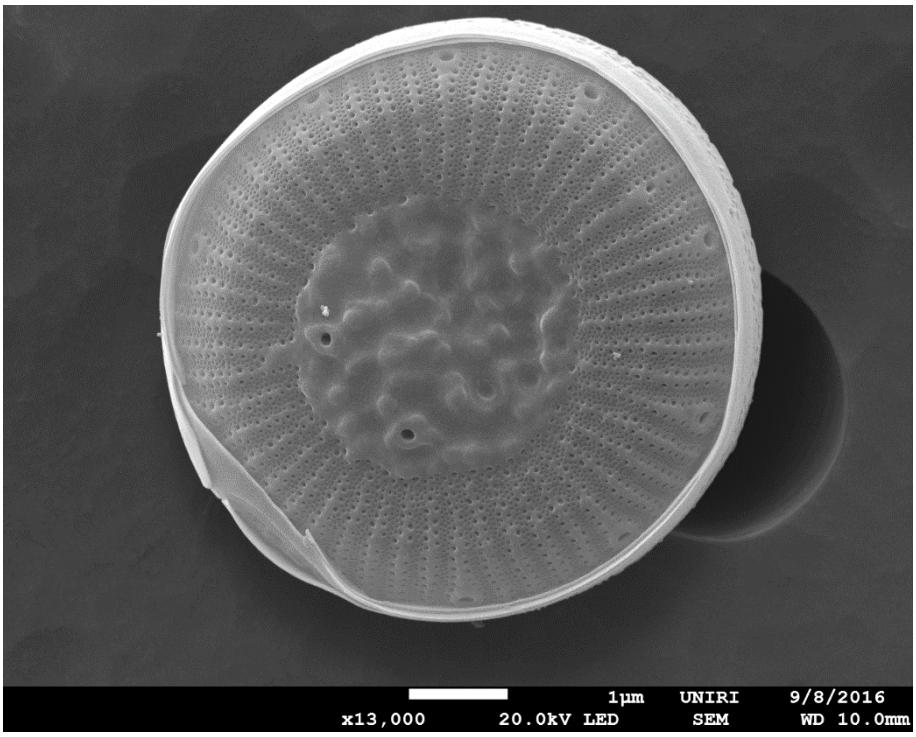
Karakteristika ove skupine je postojanje središnje brazde koja se pruža duž čitave stanice i naziva se pukotina ili rafa (Slika2.). Kroz nju ispuštaju sluzavu polisaharidnu tvar pomoću koje se kreću (klize) po površini. Ornamentacija kod ove skupine je perasto raspoređena oko te središnje pukotine. Izuzetak su oblici koji nemaju sistem rafe, već odgovarajuću strukturu koju nazivamo pseudorafa. Ovakva rafa nije jednostavna pukotina u stanici, već umjesto toga imamo razrez S-oblika koji je širi na vanjskom i unutrašnjem tkivu, a tanji u središnjem dijelu (Lee 2008). U penatnih dijatomeja mogu se povući tri osi i tri ravnine simetrije, a stanice nekih vrsta mogu biti simetrične samo s obzirom na jednu ravninu simetrije. Kroz apikalnu os simetrije prolaze valvalna ravnina (dijeli stanicu na gornju i donju polovicu) i apikalna ravnina (dijeli stanicu na lijevu i desnu stranu). Kroz transapiklanu i pervalvalnu os prolazi transapikalna ravnina simetrije (dijeli stanicu na prednji i stražnji dio) (Viličić 2002). Razmnožavaju se spolno i nespolno. Spolni način razmnožavanja je izogamija (isti oblik i ista pokretljivost gameta, ali bez bičeva). Nespolni način je vegetativna dioba.



Slika 2. Glavne morfološke karakteristike ljušturice dijatomeje s bilateralnom simetrijom (Slika S.Bosak, I.Kavre)

Centrales

Za razliku od *Pennateae*, *Centriceae* imaju radijalnu simetriju kroz koju se može povući bezbroj ravnina simetrije koje prolaze kroz pervalvalnu os. Strukture na valvama su poredane radijalno ili koncentrično. S valvalne strane su okruglastog oblika (Slika 3.), a s pleuralne su i one pravokutnog oblika. Pretežno su to morski planktonski oblici. Spolni način razmnožavanja je oogamija (nepokretna i velika ženska spolna stanica, a mala i pokretna muška spolna stanica), a nespolni vegetativna dioba.



Slika 3. Centrica s radijalnom simetrijom (Slika S.Bosak, I.Kavre)

1.2.3. Kretanje dijatomeja

Neke dijatomeje imaju sposobnost kretanja klizanjem po površini supstrata pri čemu ostavljaju sluzavi trag u toku svog ''hoda''. Klizanje je ograničeno na onu skupinu dijatomeja koje nazivamo *Pennateae* i to posebno na one koje posjeduju rafu i onu skupinu centrica koje imaju malu cjevčicu od ruba valve prema okolini. Ovakav način gibanja obuhvaća velike promjene u brzini unutar desetinke sekunde. Kod *Pennateae* put gibanja uvelike ovisi o obliku rafe (Lee 2008).

Razlikujemo tri tipa ovakvog gibanja:

1) *Navicula* tip – obuhvaća pravocrtno gibanje

2) *Amphora* tip – obuhvaća put koji je obično krivudav

3) *Nitzschia* tip – uvijek obuhvaća krivudave putove s dva različita radijusa.

Nitzschia palea je sposobna penetrirati u 2%-tni agar te se po njemu može na opisani način kretati. Što je supstrat manje tekuć pokretanje dijatomeja će biti sporije.

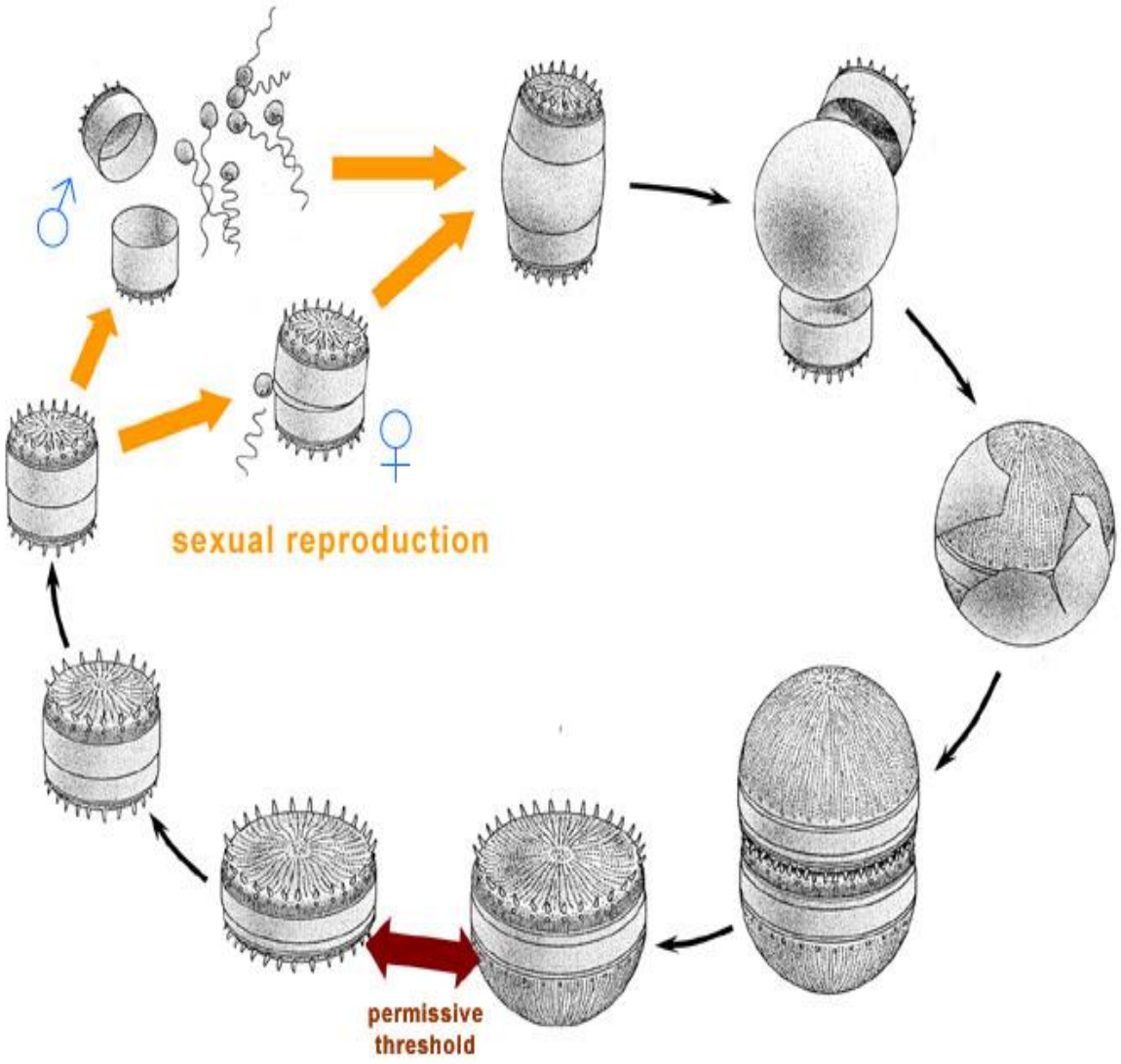
Mnoge dijatomeje prakticiraju kretanje naprijed-natrag pri čemu se smjer može mijenjati u intervalu od minute. Pokretljivost navedene vrste (*N. palea*) ovisi o svjetlu. U tekućim kulturama stanice imaju tendenciju aglutinirati u sferične razrede spojene međusobno pomoću sluzi. Nakon prijenosa ovih stanica na stakalce, stanice se odmiču jedna od druge i to samo u prisutnosti svjetla (Lee 2008). Dijatomeje se mogu gibati klizanjem samo onda kada je rafa u kontaktu s površinom. Ukoliko je prilikom klizanja stanica dijatomeje vezana za supstrat, dolazi do izlučivanja sluzavog sekreta iz otvora rafe u blizini centralnog nodula. ''Pojas'' se prihvaća za supstrat i stanica se vuče po valvi koja sadrži rafu s ''pojasom''. Ponekad ''pojasevi '' nastaju od rafa na suprotnim stranama stanice. *Pennateae* koje imaju sposobnost ovakvog načina kretanja sadrže snopove aktinskih mikrofilamenata koji se pružaju paralelno s rafom. Snopovi mikrofilamenata mogu poslužiti za orijentaciju kristalnih tijela ispunjenih sluzavim materijalom u citoplazmi neposredno ispod rafe. Na odgovarajući podražaj sluzavi materijal biva izbačen u rafu iz područja središnje ili terminalne pore. Sluzavi materijal putuje u rafi u jednom smjeru dok ne naiđe na materijal na koji se veže. Ako je objekt na koji se veže stanica fiksiran, u stanici se događaju procesi koji ju potiskuju na gibanje u suprotnom smjeru (Lee 2008).

1.2.4. Životni ciklus dijatomeja

Razlikujemo nespolno i spolno razmnožavanje. Uobičajeni nespolni način razmnožavanja-vegetativno, kojim od jedne stanice nastaju dvije, jest taj da svaka valva roditeljske stanice sebi izgradi novu hipoteku. Kao rezultat ovakve diobe je jedna teka (epiteka) koja je iste veličine kao i roditeljska, dok je hipoteka manja. Kako se smanjuje hipoteka tako niti njezina geometrija više nije proporcionalna većoj teci, odnosno epiteci. Hipoteka se smanjuje do biološko održivog minimuma, nakon čega ugiba ili dolazi do spolnog načina razmnožavanja.

Također, nespolno se često mogu razmnožavati silificiranim mirujućim stadijima (Viličić 2002).

Spolno se razmnožavaju **izogamijom** (*Penales*) – za koju su karakteristične izogamete bez bičeva pri čemu ne postoji diferencijacija u „muško“ i „žensko“ i **oogamijom** (*Centrales*)- oplodnja se javlja između malog pokretnog spermija i veće nepokretne jajne stanice (Slika 4.). Mejoza prethodi stvaraju gameta. Okruglasta tjelešca u stanici kasnije dobiju po jedan bič-undulipodij, a tako stvorene muške gamete jedine su pokretne stanice u dijatomeja. Ženska je spolna stanica nepokretna jajna stanica koja nastane nakon što se ženska jedinka izduži (funkcionira kao ženski rasplodni organ – oogonij) i redukcijski podijeli, pri čemu tri gamete zakržljaju. Karakteristična je izmjena nespolnog i spolnog ciklusa. Nakon oplodnje nastaje diploidna zigota. Zigotu obavije opna (*perizonium*). Zigota se poveća i razvija se u diploidnu auksosporu. Auksospora luči novu silicijevu stijenku, a njezinim klijanjem nastaju diploidne stanice prvobitne veličine (Viličić 2002).



Slika 4. Životni ciklus Centriceae

Preuzeto s: http://rbg-web2.rbge.org.uk/algae/auxospores/LifeCycle_sexual.html

1.2.5. Kemijska obrana od predatora

Dijatomeje su često preferirane kao hrana beskralješnjaka i to najčešće veslonožaca (*Copepoda*). Neke vrste dijatomeja kao što su *Phaeodactylum tricornutum* i *Skeletonema marinoi* su razvile mehanizam obrane od predatora na način da otpuštaju kemijske spojeve

koji reduciraju sposobnost razmnožavanja sljedeće generacije beskralješnjaka. Stanice ovih dijatomeja sadrže velike količine visoko nezasićenih masnih kiselina, kao što je arahidonična kiselina u vezikulama citoplazme. Smrt stanica tijekom prehrane beskralješnjaka rezultira oslobađanjem nezasićenih masnih kiselina u morsku vodu. Nakon oslobađanja fosfolipaze pretvaraju masne kiseline u aldehide. Takvi kratki lanci aldehida su toksični za razvoj organizma beskralježnjaka. Arahidonična kiselina za same dijatomeje nije toksična (Lee 2008). Kemizam postaje toksičan nakon što masna kiselina biva otpuštena u okoliš i pretvorena u aldehid. Stanice dijatomeja su sposobne svoju metaboličku energiju uložiti u formiranje takve masne kiseline koja može biti iskorištena u normalnim staničnim aktivnostima. Kada je stanica oštećena, masna kiselina se pretvara u toksičnu komponentu koja reducira sljedeću generaciju predatora (Lee 2008).

1.2.6. Planktonske dijatomeje

Neke vrste imaju odgovarajuće prilagodbe na život u oceanima i morima. Planktonske dijatomeje posjeduju stanične komponente koje su lakše od morske vode. Gustoća citoplazme je veća nego gustoća morske vode, a vakuola ima sadržaj (izotoničan) koji je lakši od morske vode.

Planktonske dijatomeje mogu varirati u gustoći tijekom dana odnosno mogu se gibati gore-dolje u stupcu vode. To dovodi do konstantnog protoka vode po površini dijatomeja što omogućuje bolju adsorpciju nutrijenata.

Simbioza između nitrificirajućih bakterija i roda dijatomeja *Rhizosolenia* i roda *Hemiaulus* su česte u toplim oligotrofnim morima. Vrste kao što su *Rhizosolenia castracanei* i *R.. imbricata* pojavljuju se u Sargaškom moru i sjevernom Pacifiku te imaju vrlo važnu ulogu u fiksaciji dušika i značajne su za ekosistem. *Rhizosolenia* je karakteristična po tome što često tone u stupcu vode i to od nekoliko metara po satu te se može naći na dubini od 150 metara (Lee 2008). Za razliku od ovih vrsta postoje dijatomeje koje potonu ispod eufotičke zone u vode bogate nutrijentima te nakon uzimanja nutrijenata putuju u eufotičku zonu te započinje proces fotosinteze.

1.3. DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA PLANKTONSKIH DIJATOMEJA U JADRANU

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 među kojima su obrađivane i planktonske dijatomeje koje čine većinu fitoplanktona (Schiller 1913, 1925a, 1925b; Schröder 1911; Kamptner 1941). Moderna kvantitativna istraživanja fitoplanktona i samih planktonskih dijatomeja 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). Novija istraživanja taksonomskog sastava fitoplanktona, među kojima dominiraju dijatomeje, u južnom dijelu Jadranskog mora uglavnom su objavljena u okviru ekoloških istraživanja (Viličić 1985; Viličić i sur. 1994, 1995a, b, 1998; Socal i sur. 1999; Viličić i sur., 2009, Čalić i sur., 2013). Analiza podataka (1972.-2009.) pokazala je da se abundancija fitoplanktona i planktonskih dijatomeja nakon 2000-te značajno smanjila na području sjevernog Jadrana. Vrste roda *Pseudo-nitzschia* dominirale su fitoplanktonskom zajednicom tijekom čitavog istraživanog razdoblja, a opažena je promjena u sastavu vrsta unutar roda (Marić Pfannkuchen 2013). Kvalitativne analize mikrofitoplanktonske zajednice utvrdile su da su dijatomeje dominantna skupina u sjevernom Jadranu, a prisutne su tijekom cijele godine osim ljeti kada prevladavaju dinoflagelati (Revelante & Gilmartin, 1976b). 70-tih godina prošlog stoljeća kao dominantni rodovi dijatomeja utvrđene su *Nitzschia*, *Chaetoceros*, *Rhizosolenia* i *Thalassiotrix*, od kojih su *Nitzschia* (danas *Pseudo-nitzschia*) i *Chaetoceros* često dominantni (Revelante & Gilmartin, 1976b). Tijekom dvije godine (jesen 2008 – jesen 2010) u području s makroalgom *Caulerpa taxifolia* u Starigradskom zaljevu na otoku Hvaru, te u područjima zahvaćenim makroalgom *Caulerpa racemosa* u Dubrovniku i u uvali Gonoturska na otoku Mljetu, pomoću svjetlosne i elektronske mikroskopije, po prvi se put u srednjem i južnom Jadranu odredio taksonomski sastav dijatomejske zajednice na makroalgama te opisala morfologija i ultrastruktura pojedinih vrsta (Car 2014.). 2015. godine je provedeno BIOTA istraživanje u sklopu kojeg je utvrđena dominacija planktonskih dijatomeja u pelagijalu južnog Jadrana (Raos 2016).

1.4. CILJEVI ISTRAŽIVANJA

Ciljevi ovog istraživanja bili su:

i) Odrediti taksonomski sastav, brojnost te prostornu raspodjelu fitoplanktona u Južnojadranskoj kotlini u razdoblju kasne zime.

ii) Opisati dominantne vrste dijatomeja prisutne u istraživanom razdoblju.

iii) Utvrditi utjecaj fizikalno-kemijskih čimbenika koji uvjetuju sastav i prostornu distribuciju vrsta i dijatomejskih zajednica.

2. MATERIJALI I METODE

2.1. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

Područje istraživanja bio je južni dio Jadrana.

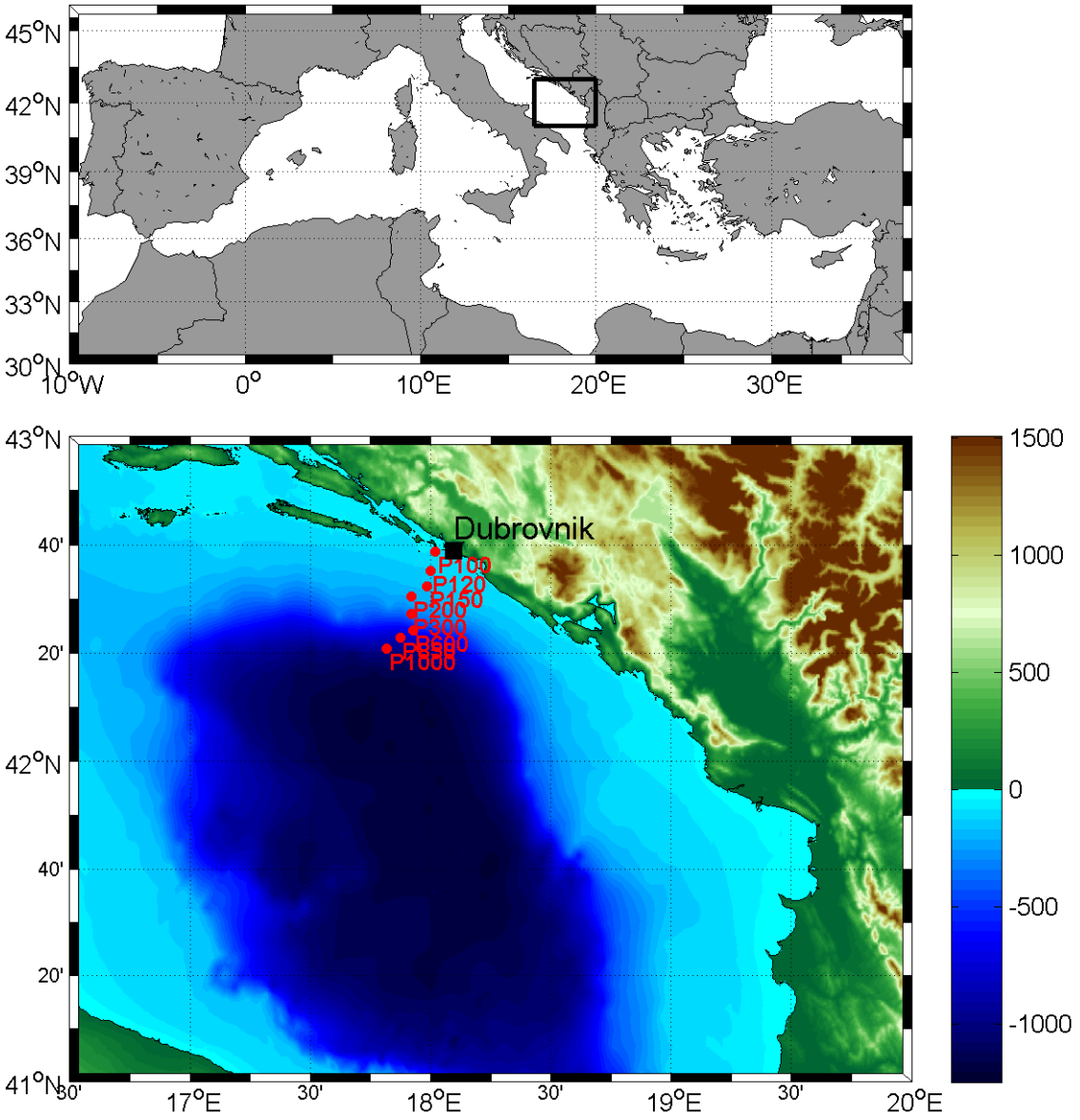
U najširem južnom dijelu Jadranskog mora, točnije u području Južnojadranske kotline čija dubina dostiže 1243 m nalazimo tipičan ekosustav otvorenog mora. Južnojadranska kotlina površinom zauzima petinu čitavog Jadrana, a sadrži četiri puta veći volumen vode nego sjeverni i srednji Jadran zajedno (Viličić 2003).

Južnojadranska kotlina je područje koje se odlikuje niskom produktivnošću utjecajem krških rijeka s kopna i ulazne istočnojadranske struje. Iz Jonskog mora kroz Otrantska vrata ulazi voda povećanog saliniteta, a 25% te vode odlazi preko Palagruškog praga prema srednjem i sjevernom Jadranu, dok se 75% zadržava u južnojadranskom ciklonalnom vrtlogu (Gačić i sur. 1999). Voda iz Sredozemlja ne ulazi u Jadran jednako tijekom čitave godine i na to utječu mnogi čimbenici, kao npr. vjetrovi koji su u Egejskom moru snažni tijekom zime te uzrokuju smanjen dotok vode iz Sredozemlja u Jadran što pak uzrokuje smanjenje saliniteta u južnom Jadranu.

Palagruški prag je granica između plićeg i produktivnijeg srednjeg Jadrana i dubljeg i siromašnijeg južnog Jadrana. Upravo je to mjesto kontakta vodenih masa različitog porijekla te je zato na tom području povećana primarna produkcija (Zore-Armanda 1984, 1996; Vukadin & Stojanoski 1996; Leder i sur. 1996). 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 dolaze u Jadransko more i ulaznim strujama iz Jonskog mora (Civitarese & Gačić 2002) te je tako 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 (Viličić i sur. 1989, 1994, 1998a; Civitarese & Gačić 2002). Cvjetanje fitoplanktona uzrokuje povećanu potrošnju hranjivih soli. Osim metaboličke aktivnosti i termička stratifikacija i održavanje kružne struje uzrokuju iscrpljivanje hranjivih soli

u eufotičnom sloju te dolazi do pada biomase fitoplanktona koja onda ostaje niska do idućeg proljeća. Oligotrofija područja utječe na dominaciju malih, pikoplanktonskih primarnih producenata. Međutim, dijatomeje predstavljaju glavnu komponentu mikrofitoplanktonske zajednice te postaju dominantne u kasno zimsko/rano proljetno i jesensko razdoblje, stvarajući temelj za prehranu pelagičkih riba.

Ovo istraživanje provedeno je u sklopu projekta BIOTA financiranog od Hrvatske Zaklade za Znanost (HRZZ), broj 6433, u razdoblju od 8. ožujka do 10. ožujka 2016. godine u svrhu istraživanja specifičnih obrazaca zimske termohaline cirkulacije i raspodjele planktona u Južnojadranskoj kotlini. Ukupno je uzorkovano na 8 postaja i to na P-transektu (P100-P1000) na potezu od Dubrovnika prema centru Južnojadranske kotline u rasponu dubina od 100 m do 1000 m. Relativni položaj postaja prema koordinatama uzorkovanja prikazan je na karti istraživanog područja (Slika 5.).



Slika 5. Prikaz batimetrije (u metrima) uzorkovanih postaja tijekom istraživanja BIOTA 2016 u razdoblju od 8. ožujka do 10. ožujka 2016. godine.

2.2 UZORKOVANJE

Dolaskom na postaju ono što je bitno izmjeriti je temperatura vode, salinitet i fluorescencija. Navedeni parametri mjere se pomoću CTD sonde (SEA-Bird Electronics Inc., USA). tako da se sonda spušta gotovo do dna i polako izvlači na površinu. Tijekom izvlačenja

sonda mjeri konduktivitet, temperaturu, fluorescenciju i dubinu u pravilnim vremenskim razmacima kako bi se dobila što bolja rezolucija. Iz konduktiviteta se potom izračunava salinitet. Sonda je dodatno opremljena sa WET Labs FLNTU i Sea-Bird senzorom fotosintetski aktivnog zračenja (PAR). FLNTU je korišten za mjerenje fluorescencije klorofila *a* (Chl *a*), i turbiditeta koji su kasnije pretvoreni u raspršenje (eng. Optical particulate backscattering (bbp)) potreban za procjenu partikularne organske tvari (POC) (Cetinić i sur., 2015). Vrijednosti dobivene tvorničkom kalibracijom senzora su korištene za pretvorbu fluorescencije klorofila (Chl F) u nominalnu koncentraciju Chl *a* (µm/L). Tijekom ovog istraživanja na terenu je uzeto ukupno 64 uzorka na 8 postaja. Poduzorci za mjerenja koncentracije nutrijenata: nitrita (NO_2), nitrata (NO_3) i fosfata (PO_4) zamrznuti su na -22 °C i analizirani korištenjem standardnih oceaografskih metoda (Parsons 1984) uz pomoć spektrofotometra PerkinElmer Lambda 15 (Ueberlingen, Germany). Poduzorci od 50 mL za analizu amonijaka fiksirani su s 2 Ml otopine fenol-etanola (1 mol /L), pohranjeni u mraku na 4 °C i analizirani kroz mjesec dana prema Ivančić & Degobbis (1984). Uzorci mikrofitoplanktona sakupljeni su pomoću Niskinovog crpca zapremnine 5 L na dubinama određenim *in situ* nakon očitavanja vrijednosti saliniteta, temperature i fluorescencije klorofila *a* s CTD sonde. Uzorci od 200 mL morske vode su zatim fiksirani pomoću neutraliziranog formaldehida (finalna koncentracija 4%).

Za određivanje abundancije fitoplanktona korištena je Utermöhl metoda pomoću invertnog mikroskopa Zeiss Axiovert 200. Radi detaljne kvalitativne analize , uzeti su uzorci planktonskom mrežom, promjera oka 20 µm, te također sačuvani u formalinu. U laboratoriju su uzorci planktona dodatno podvrgnuti postupku uklanjanja organske tvari pomoću jakih kiselina, te napravljeni trajni preparati, i pripremljeni uzorci za elektronsku mikroskopiju.

2.3 ANALIZA UZORAKA

Stanice mikrofitoplanktona su identificirane i određena im je brojnost korištenjem Utermöhl metode (Utermöhl, 1958) pomoću invertnog mikroskopa Zeiss Axiovert 200. Poduzorci od 100 ml su sedimentirani 48 sati i nakon toga prebrojavani na 400x i 200x povećanjima, te na 100x povećanju da bi se prebrojale vrste promjera većeg od 30 µm.

Minimalna koncentracija koja može biti detektirana korištenjem ove metode je 40 stanica/L. Identifikacija odabranih vrsta potvrđena je na 1000x povećanju.

2.4 STATISTIČKA OBRADA PODATAKA

Podaci su numerički obrađivani u programu Excel 2013. Tijekom statističke obrade podataka korišteni su programi "Statistica 8", "Primer 6 " (Clarke & Warwick, 2001) te Canoco 5. Program "Statistica 8" korišten je za određivanje osnovnih parametara deskriptivne statistike, te su izračunati minimum i maksimum, aritmetička sredina, standardna devijacija, medijan te gornji i donji kvartil. Također, izračunat je Spearmanov koeficijent korelacije pomoću kojeg se mjerila povezanost između fizikalnih i kemijskih parametara istraživanog područja. U programu "Primer 6" napravljene su klaster analiza i analiza više-dimenzijskog skaliranja (non-metric multidimensional scaling-nMDS) u kojoj se na temelju brojnosti određenih vrsta/skupina mikrofitoplanktona prikazala sličnost odnosno razlika između pojedinih postaja te analiza glavnih komponenata (PCA) u kojoj su se analizirala sličnost odnosno razlika između postaja na temelju fizikalno kemijskih parametara. U programu Canoco 5 napravljena je kanonska korelacijska analiza (CCA) u kojoj su u odnos stavljene brojnosti određenih vrsta dijatomeja s biotičkim i abiotičkim čimbenicima. Program "Grapher 11" korišten je za izradu grafova koji prikazuju zastupljenost pojedinih skupina mikrofitoplanktona na svakoj istraživanoj postaji, te grafova koji prikazuju koncentracije nutrijenata na svakoj istraživanoj postaji. Za izradu grafova koji prikazuju vrijednosti temperature, saliniteta, gustoće, koncentracije otopljenog kisika i klorofila *a* na istraživanim postajama korišten je program "Ocean Data View" (Schlitzer, R., Ocean Data View, odv.awi.de, 2016).

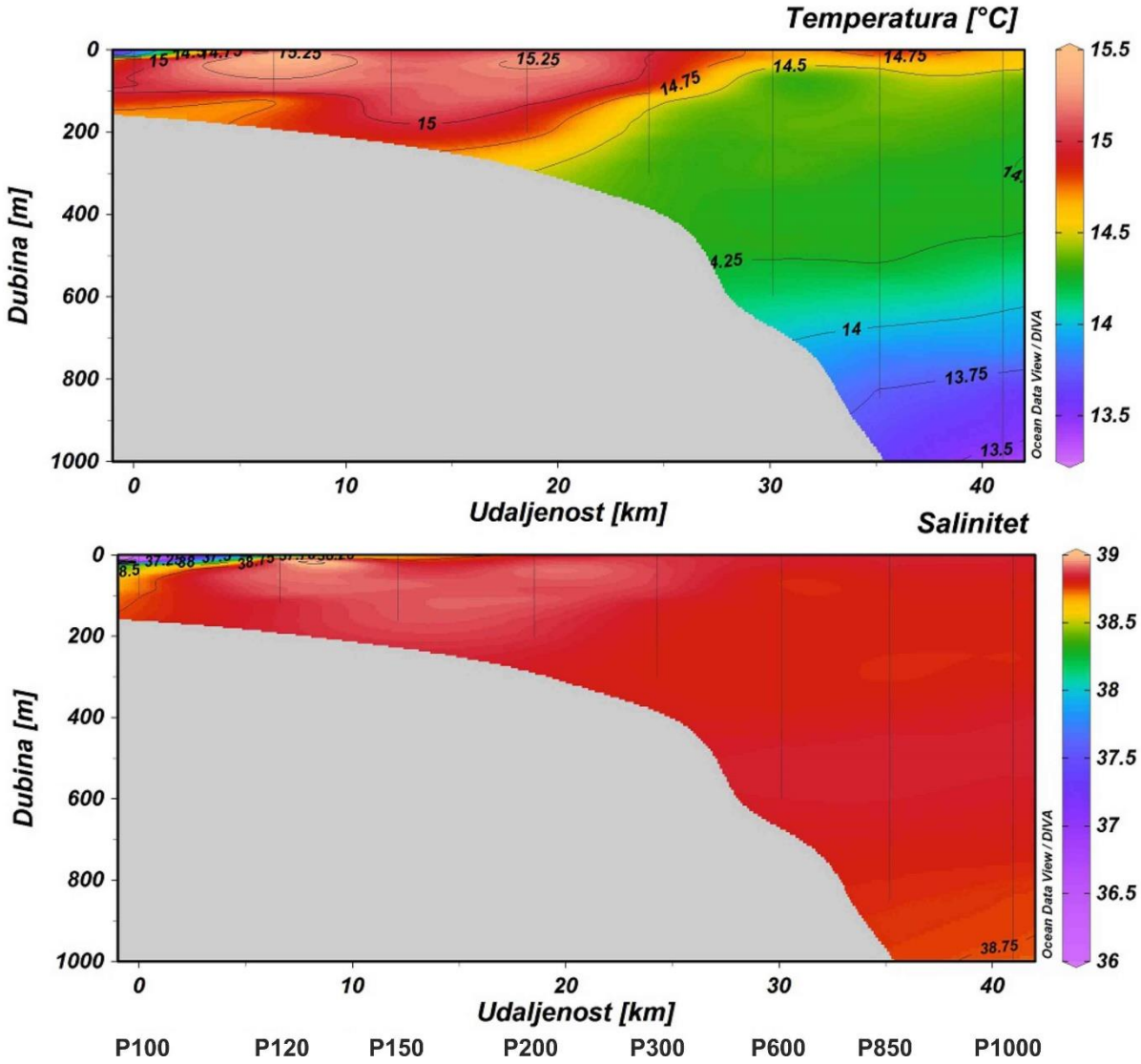
3. REZULTATI

3.1. FIZIKALNI I KEMIJSKI PARAMETRI ISTRAŽIVANOG PODRUČJA

3.1.1. Temperatura i salinitet

Temperatura vodenog stupca izmjerenog u razdoblju od 8. do 10. ožujka 2016. godine duž P transekta kretala se od minimalnih 13.41 °C na dubini od 998 metara na postaji P1000 do maksimalnih 15.41 °C na dubini od 12 metara na postaji P120. Vrijednosti temperature s porastom dubine padaju (Slika 6.). Prosječna temperatura ovog područja bila je 14.37 °C sa standardnom devijacijom od 0.43 (Tablica 1.).

Vrijednosti saliniteta duž P transekta kretale su se od minimalnih 36.16 jedinica na samoj površini na postaji P100 do maksimalnih 38.92 jedinice na dubini od 53 metra na postaji P120. Niske vrijednosti saliniteta zabilježene su također na postaji P100 odnosno u obalnom području koje je pod utjecajem slatke vode s kopna. Vrijednosti saliniteta povećavale su se udaljavanjem od obale i nisu se znatno mijenjale povećanjem dubine vodenog stupca (Slika 6.). Prosječna vrijednost saliniteta je 38.8 sa standardnom devijacijom od 0.20 (Tablica 1.).

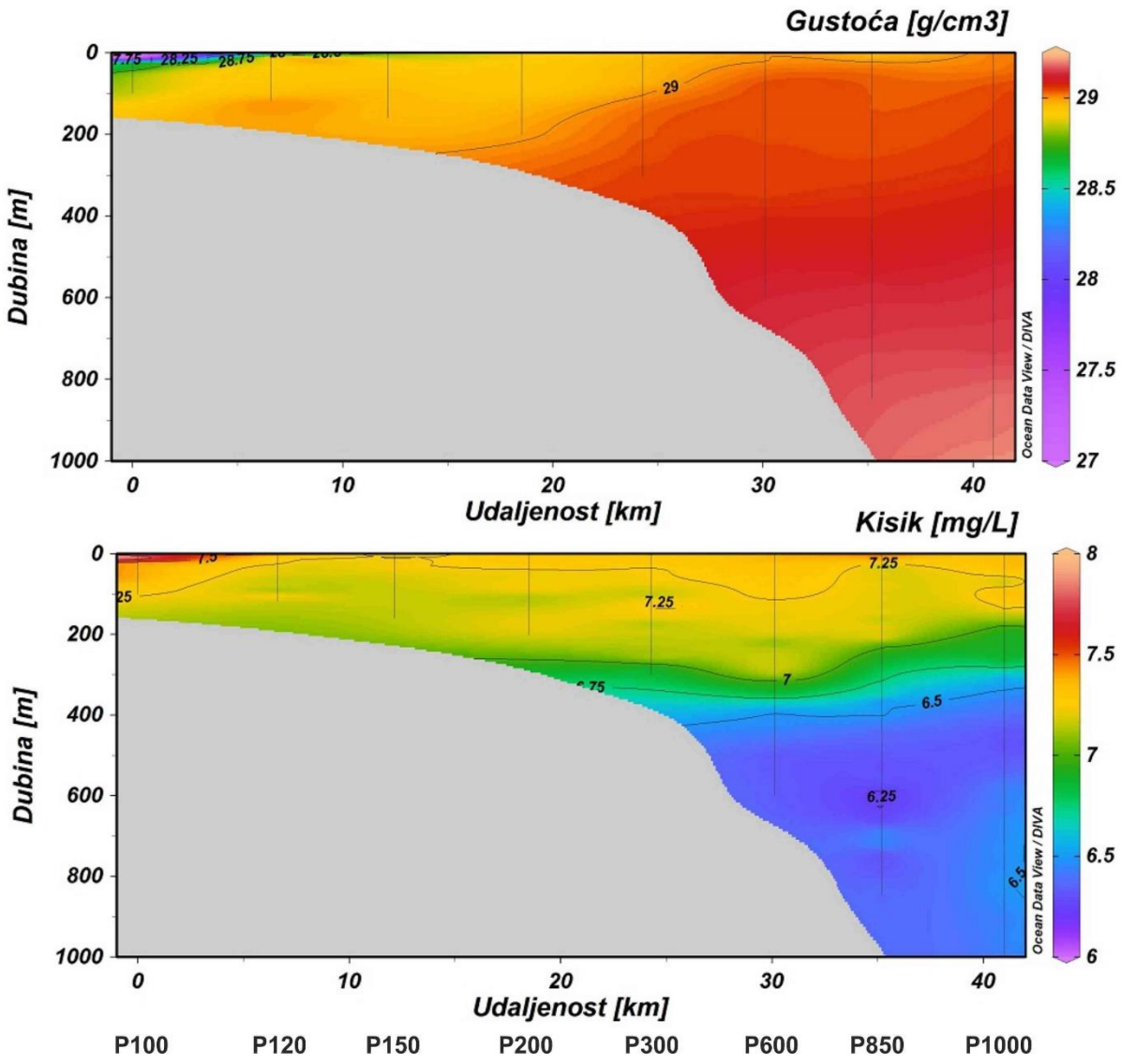


Slika 6. Prostorna i dubinska raspodjela temperature i saliniteta duž P transekta

3.1.2. Gustoća morske vode i koncentracija otopljenog kisika

Vrijednosti gustoće morske vode izmjerene u razdoblju od 8. do 10. ožujka 2016. godine duž P transekta kretale su se od minimalnih 27.12 g/cm^3 na površini na postaji P100 do maksimalnih 29.21 g/cm^3 na dubini od 998 metara na postaji P1000. Gustoća morske vode smanjuje se dotokom slatke vode s kopna (Slika 7.). Prosječna gustoća morske vode iznosi 29.04 g/cm^3 sa standardnom devijacijom od 0.16 (Tablica 1.).

Vrijednosti koncentracije otopljenog kisika duž P transekta kretale su se od minimalnih 6.22 mg/L na dubini od 596 metra na postaji P850 do maksimalnih 7.88 mg/L na dubini od 14 metara na postaji P100. Vrijednosti koncentracije otopljenog kisika veće su u plićem sloju i opadaju s porastom dubine (Slika 7.). Prosječna vrijednost koncentracije otopljenog kisika iznosi 6.84 mg/L sa standardom devijacijom od 0.40 (Tablica 1.).



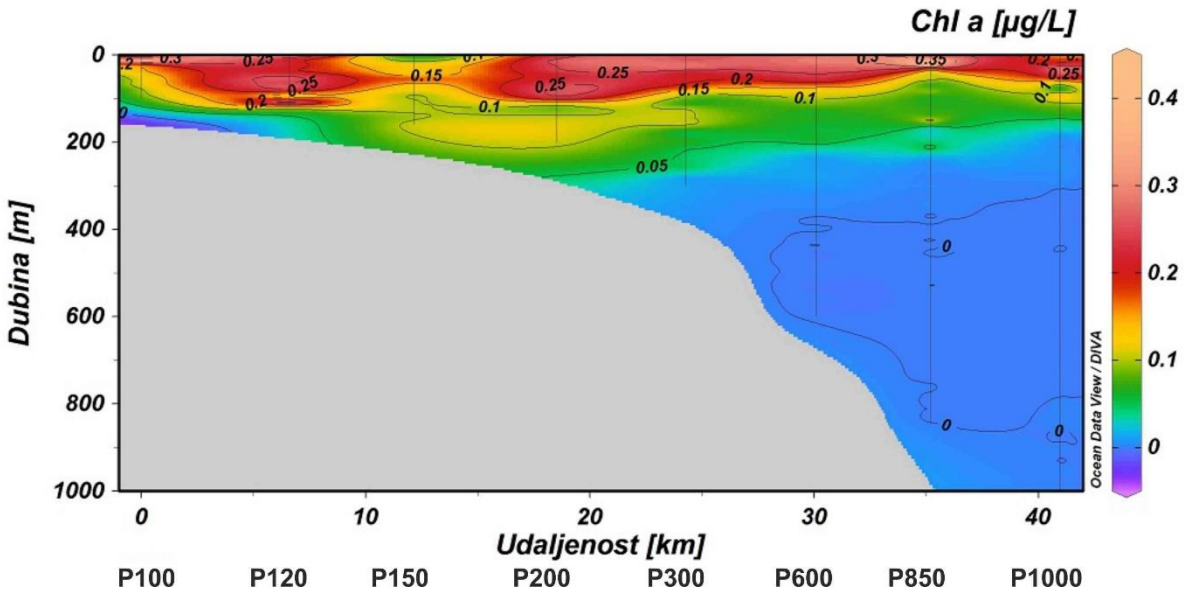
Slika 7. Prostorna i dubinska raspodjela gustoće i koncentracije otopljenog kisika duž P transekta

Tablica 1. Fizikalno-kemijski parametri dobiveni očitanjima CTD sonde na istraživanim postajama u razdoblju od 8. do 10. ožujka 2016. godine

	N	Aritmetička sredina	Medijan	Minimum	Maksimum	Donji kvartil	Gornji kvartil	Standardna devijacija
Temperatura (°C)	6638	14,37	14,30	13,41	15,41	14,19	14,52	0,43
Salinitet	6638	38,8	38,81	36,16	38,92	38,79	38,84	0,20
Gustoća	6638	29,04	29,05	27,12	29,21	29,02	29,12	0,16
Kisik (mg/L)	6638	6,84	6,91	6,22	7,88	6,43	7,21	0,40
Saturacija O_2 (mg/L)	6638	8,04	8,05	7,87	8,27	8,01	8,07	0,07

3.1.3. Klorofil *a* i fitoplankton

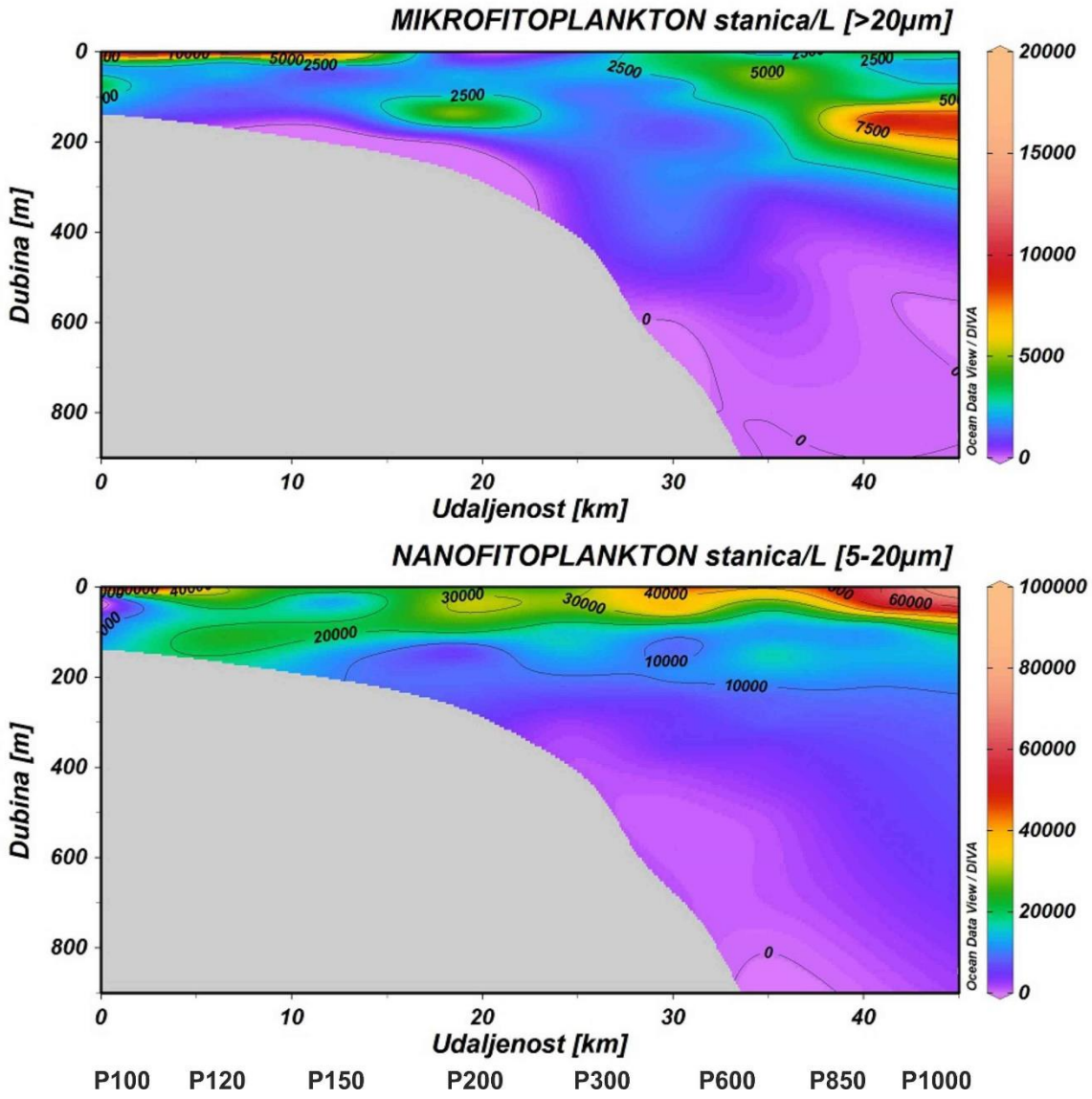
Klorofil *a* izmjeren u razdoblju od 8. do 10. ožujka 2016. godine duž P transekta pokazuje najviše vrijednosti u površinskim i podpovršinskim slojevima koje se smanjuju kako se povećava dubina vodenog stupca. Njegov maksimum od 0.41 µg L^{-1} zabilježen je u površinskom i podpovršinskom sloju postaje P850 (Slika 8.).



Slika 8. Prikaz raspodjele klorofila *a* na području P transekta

Maksimum brojnosti mikrofitoplanktona ovog područja zabilježen je u površinskom sloju postaje P120 (17,9 x 10^3 stanica L^{-1}) i P100 (13,5 x 10^3 stanica L^{-1}) te na dubini od 150 m na postaji P1000 (10,4 x 10^3 stanica L^{-1}) (Slika 9.).

Nanofitoplankton bio je znatno brojniji od mikrofitoplanktona i nalazio se većinom u površinskom sloju. Maksimum brojnosti nanofitoplanktona zabilježen je u površinskom sloju postaje P100 (97,7 x 10^3 stanica L^{-1}) te na 20 m dubine (60,4 x 10^3 stanica L^{-1}) i na samoj površini (58,9 x 10^3 stanica L^{-1}) postaje P1000 (Slika 9.).



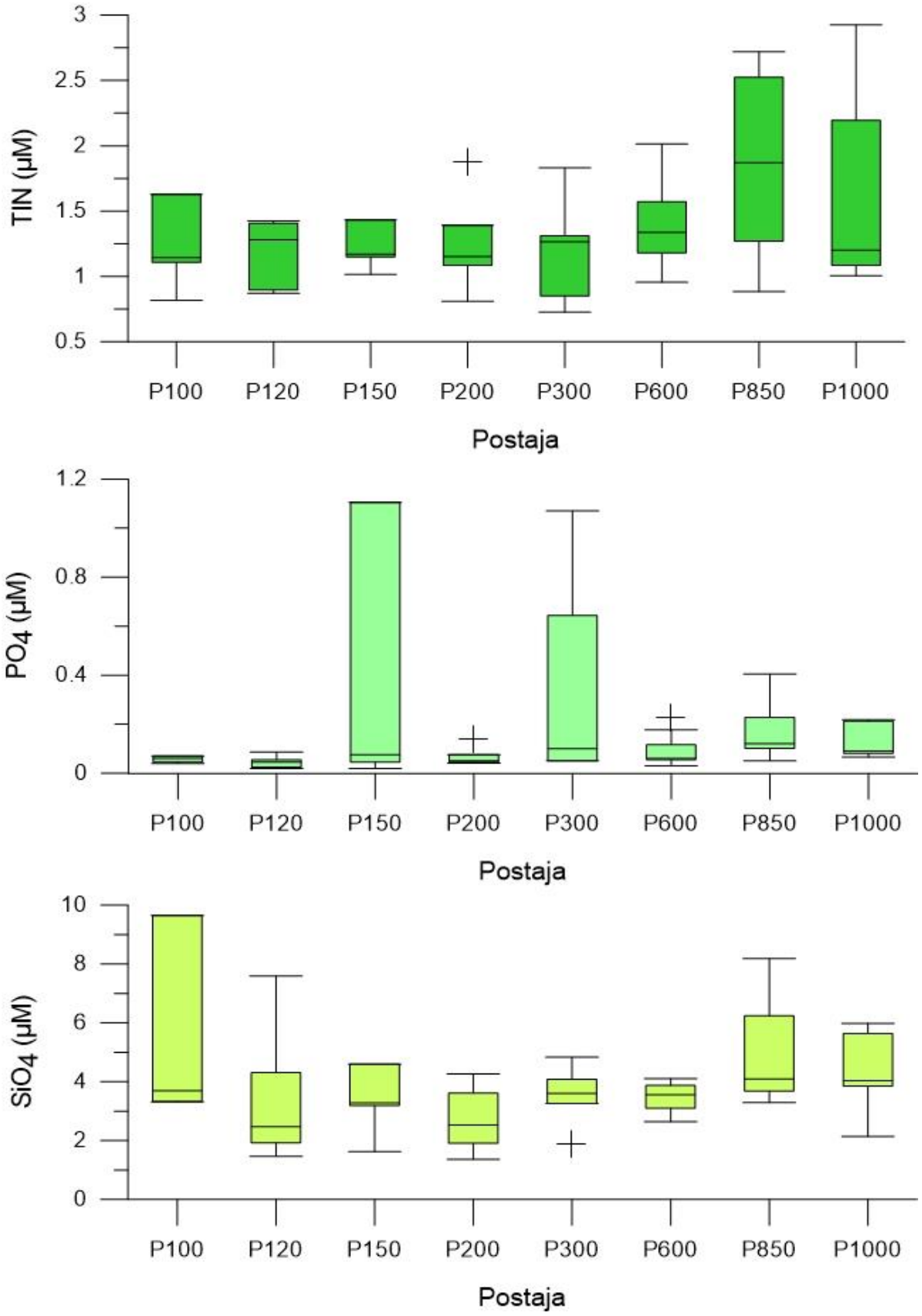
Slika 9. Prostorna raspodjela mikro- i nanofitoplanktona duž P transekta

3.1.4. Nutrijenti

Izmjerene vrijednosti otopljenog anorganskog dušika (TIN) kretale su se od minimalnih 0.73 µM na dubini od 40 m na postaji P300 do maksimalnih 2.92 µM na dubini od 900 m na postaji P1000. Većina vrijednosti izmjerenih duž P transekta je u rasponu od 1.1 µM (donji kvartil) do 1.63 µM (gornji kvartil) (Tablica 2.). Niže vrijednosti TIN-a zabilježene su na postajama koje su bliže kopnu, a više na postajama udaljenijima od kopna (Slika 10.).

Izmjerene vrijednosti fosfata (PO_4) kretale su se od minimalnih 0.02 µM na površini na postajama P120 i P150 do maksimalnih 1.11 µM na dubini od 100 m na postaji P150 (Slika 10.). Niže vrijednosti PO_4 zabilježene su na postajama bliže obali i povećavaju se kako se postaje udaljavaju od obale. Većina vrijednosti izmjerenih na P transektu je u rasponu od 0.05 µM (donji kvartil) do 0.12 µM (gornji kvartil) (Tablica 2.).

Izmjerene vrijednosti ortosilikata (SiO_4) kretale su se od minimalnih 1.36 µM na dubini od 80 m na postaji P200 do maksimalnih 9.65 µM na samoj površini na postaji P100. Većina vrijednosti izmjerenih duž P transekta je u rasponu od 3.13 µM (donji kvartil) do 4.25 µM (gornji kvartil) (Tablica 2.). Više vrijednosti ortosilikata zabilježene su na postajama P100, P120 i P850 (Slika 10.). Više vrijednosti također su zabilježene u površinskom i srednjem sloju, a niže na većim dubinama.



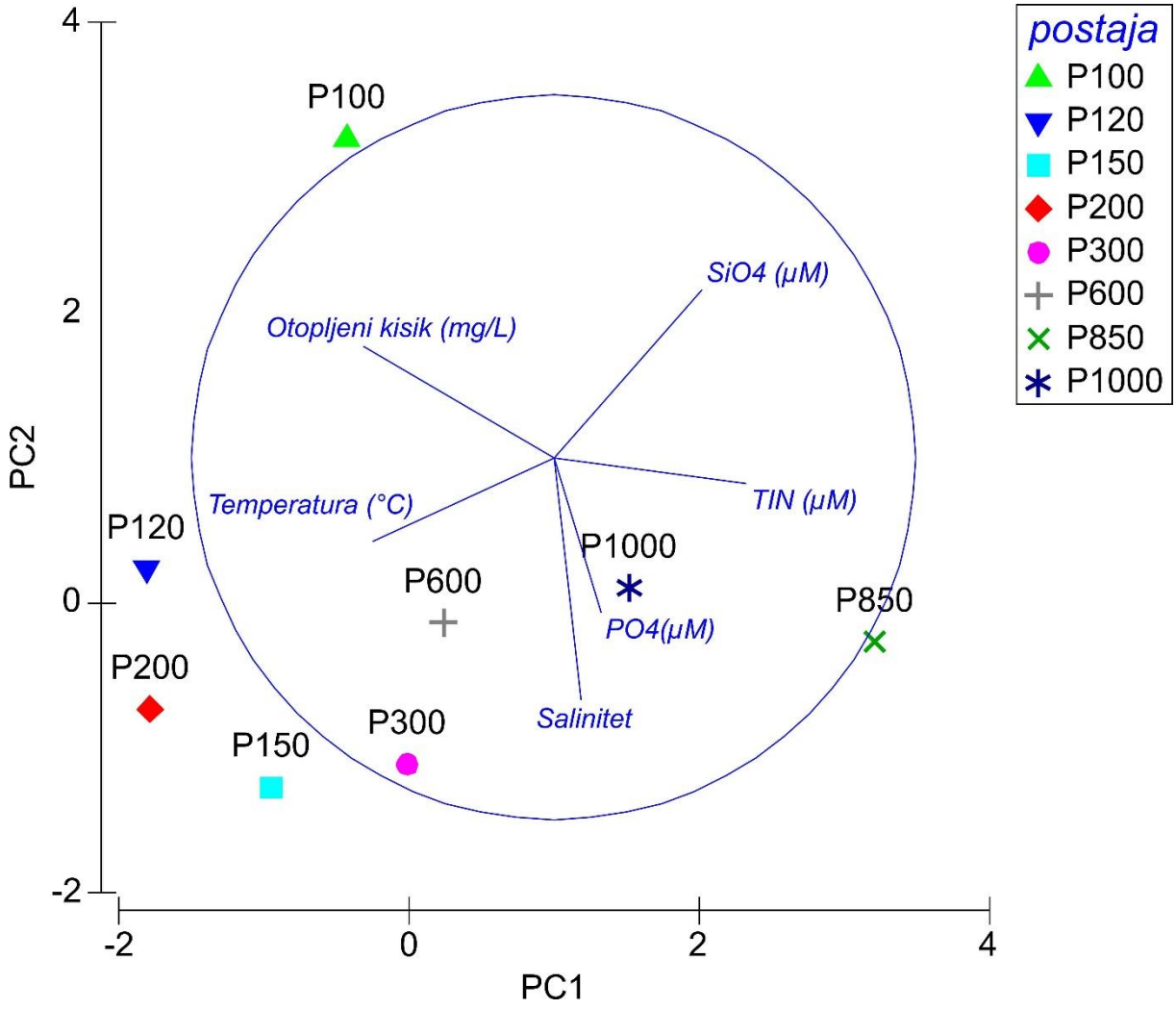
Slika 10. Vrijednosti koncentracija nutrijenata na istraživanim postajama (PO_4^{3-}- fosfat; SiO_4^{-} -silikat; TIN–otopljeni anorganski dušik).

Tablica 2. Kemijski i biološki parametri sa svih postaja duž P transekta izmjereni u razdoblju od 8. ožujka do 10.ožujka 2016. godine

Chl *a* – klorofil *a*; NH_4^+ - amonijak; NO_2^- - nitrit; NO_3^- - nitrat; TIN – otopljeni anorganski dušik; PO_4^{3-} – fosfat; SiO_4^-- ortosilikat.

	N	Aritmetička sredina	Medijan	Minimun	Maksimum	Donji kvartil	Gornji kvartil	Standardna devijacija
Dijatomeje (stanice/L)	64	3112,11	1880,00	0,00	31200,00	770,00	2967,50	5046
Dinoflagelati (stanice/L)	64	898,91	515,00	0,00	7180,00	20,00	1295,00	1210,34
Kokolitoforidi (stanice/L)	64	14842,03	11365,00	0,00	51840,00	6035,00	20945,00	12135,72
Ostali (stanice/L)	64	80,70	15,00	0,00	570,00	0,00	95,00	131,14
MIKROFITOPLANKTON (stanice/L)	64	2681,33	1817,50	0,00	17920,00	645,00	3180,00	3211,44
NANOFITOPLANKTON (stanice/L)	64	18676,41	13892,50	0,00	97740,00	7785,00	24610,00	17435,05
Chl *a* µg/L	6638	0,06	0,0066	0	0,41	0	0,10	0,09
POC (mg m^{-3})	6411	16,20	11,09	-1,58	197,83	4,68	18,75	22,20
NH_4^+ (µM)	62	0,46	0,41	0,29	1,45	0,37	0,47	0,17
NO_2^- (µM)	64	0,08	0,09	0,02	0,18	0,04	0,11	0,04
NO_3^- (µM)	64	0,87	0,72	0,24	2,49	0,52	1,06	0,53
TIN (µM)	62	1,41	1,27	0,73	2,92	1,1	1,63	0,50
PO_4^{3-}(µM)	64	0,14	0,08	0,02	1,11	0,05	0,12	0,20
SiO_4^-(µM)	64	3,87	3,69	1,36	9,65	3,13	4,25	1,53

Rezultati analize glavnih komponenti (PCA) (Slika 11.) pokazali su grupiranje najudaljenijih postaja P850 i P1000 te obalne postaje P100 koje su se odvojile od ostalih uzorkovanih postaja. Glavna os PC1 najviše korelira s otopljenim dušikom i silikatima te negativno s otopljenim kisikom i temperaturom što rezultira odvajanjem P850 i P1000 od ostalih postaja (Tablica 3.). PC2 os najviše korelira sa silikatima i otopljenim kisikom te negativno sa salinitetom i fosfatima. Postaja P100 odvojila se od ostalih postaja po najvećoj koncentraciji silikata što je vidljivo na slici 11.



Slika 11. Analiza glavnih komponenata (PCA). Prikaz raspodjele uzorkovanih postaja prema fizikalnim i kemijskim parametrima

Tablica 3. Pet glavnih komponenti PCA analize raspodjele uzorkovanih postaja prema fizikalnim i kemijskim parametrima

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
Temperatura (°C)	-0,5	-0,23	-0,036	0,805	0,118
Salinitet	0,074	-0,672	-0,307	-0,148	0,526
Otopljeni O_2 (mg/L)	-0,527	0,305	0,021	-0,042	-0,114
SiO_4^- (µM)	0,409	0,462	0,246	0,351	0,629
PO_4^{3-} (µM)	0,132	-0,429	0,841	0,074	-0,207
TIN (µM)	0,531	-0,071	-0,368	0,447	-0,509

U tablici 4. prikazane su vrijednosti za eigenvalues, varijaciju i kumulativnu varijaciju. Eigenvalues ili svojstvena varijacija predstavlja iznos varijance koja se odnosi na određenu komponentu. Iz tablice je vidljivo da eigenvalue za PC1 iznosi 2,89, a za PC2 1,97 dok je za ostale osi taj iznos znatno manji. Iz ovih vrijednosti je vidljivo da prve dvije osi imaju tendenciju objasniti veliku količinu varijacije (48,2% i 32,8%), a ostale osi objašnjavaju manju količinu varijacije. Kako je cilj PCA analize reducirati veliki broj varijabli u manji broj glavnih komponenti one komponente čija je svojstvena vrijednost manja od 1.00 se smatraju trivijalnima. Kumulativna varijacija predstavlja postotak različitosti između uzorkovanih postaja na temelju glavnih komponenti. Na slici 11 vidljivo je da je većina uzorkovanih postaja raspoređena u vrlo uskom rasponu s obzirom na PC1 os što znači da ta os ne može sama objasniti veliku količinu varijacija (kumulativna varijacija iznosi 48,2%). Kombiniranjem PC1 i PC2 osi kumulativna varijacija je veća što znači da ove dvije osi objašnjavaju 81% varijacija.

Tablica 4. Svojstvene vrijednosti, varijacija i kumulativna varijacija glavnih komponenti PCA analize

PC	Eigenvalues	Varijacija %	Kumulativna varijacija %
1	2,89	48,2	48,2
2	1,97	32,8	81
3	0,825	13,7	94,7
4	0,263	4,4	99,1
5	0,03	0,5	99,6

U tablici 5. prikazane su vrijednosti Spearmonovog koeficijenta korelacije između fizikalnih i kemijskih parametara na svim istraživanim postajama. Spearmanov koeficijent korelacije mjeri povezanost između fizikalnih i kemijskih varijabli na način da broj 1 predstavlja maksimalnu povezanost, a 0 minimalnu povezanost između varijabli. Predznak +/- označava smjer povezanosti varijabli. Naprimjer, kako je vidljivo iz tablice temperatura i salinitet pozitivno koreliraju što znači da se povećanjem temperature povećava i salinitet u vodenom stupcu i obrnuto, dok primjerice temperatura i gustoća morske vode negativno koreliraju što znači da se povećanjem temperature smanjuje gustoća morske vode i obrnuto. Ukupni dušik (TIN), fosfati i silikati negativno koreliraju sa temperaturom što ukazuje na to da dotok nutrijenata dolazi iz hladnije vode, a to što silikati i TIN negativno koreliraju sa salinitetom ukazuje na to da je njihovo porijeklo sa kopna.

Tablica 5. Spearmanov koeficijent korelacije fizikalnih i kemijskih parametara sa svih istraživanih postaja (podebljane vrijednosti značajne su pri $p<0.05$)

	Temp. (°C)	Salinitet	Gustoća	Ot. O_2	Chl *a* (ug/L)	NO_3 (µM)	NO_2 (µM)	NH_4 (µM)	SiO_4 (µM)	PO_4 (µM)	TIN (µM)
Temp. (°C)	1,000										
Salinitet	**0,548**	1,000									
Gustoća	**-0,766**	-0,114	1,00								
Ot. O_2	**0,538**	-0,002	**-0,636**	1,00							
Chl *a* (ug/L)	**0,655**	0,202	**-0,809**	**0,780**	1,00						
NO_3 (µM)	**-0,732**	**-0,313**	**0,710**	**-0,580**	**-0,596**	1,00					
NO_2 (µM)	**0,608**	0,126	**-0,765**	**0,540**	**0,608**	**-0,607**	1,00				
NH_4 (µM)	1,165	0,049	-0,213	0,140	0,211	-0,228	0,040	1,00			
SiO_4 (µM)	**-0,564**	**-0,311**	**0,339**	**-0,347**	**-0,305**	**0,508**	**-0,257**	-0,065	1,00		
PO_4 (µM)	**-0,571**	-0,217	**0,621**	**-0,517**	**-0,635**	**0,544**	**-0,478**	-0,130	**0,429**	1,00	
TIN (µM)	**-0,577**	**-0,302**	**0,526**	**-0,475**	**-0,447**	**0,869**	**-0,487**	0,104	**0,535**	**0,400**	1,00

3.2. SASTAV FITOPLANKTONA

U mikrofitoplanktonu južnog Jadrana najbrojnije su bile dijatomeje, a u nanofitoplanktonu kokolitoforidi.

Postaja P100

U mikro frakciji prevladavaju dijatomeje. Njihova najveća zabilježena koncentracija je na površini do 15 m dubine i iznosi 10 200 stanica/L. S porastom dubine broj dijatomeja se smanjuje (Slika 12.). Uz dijatomeje identificirani su i dinoflagelati čija je najveća vrijednost zabilježena na dubini od 20 m i iznosi 180 stanica/L. Vrijednosti kokolitoforida kreću se od maksimalnih 2860 stanica/L na samoj površini, dok se porastom dubine smanjuju. Ostala skupina koja spada u mikrofitoplankton (silikoflagelati, euglenofiti) također bilježi maksimalnu vrijednost od 380 stanica/L na površinskom sloju. Njihova brojnost je malena u usporedbi s dijatomejama, ali veća nego kod dinoflagelata.

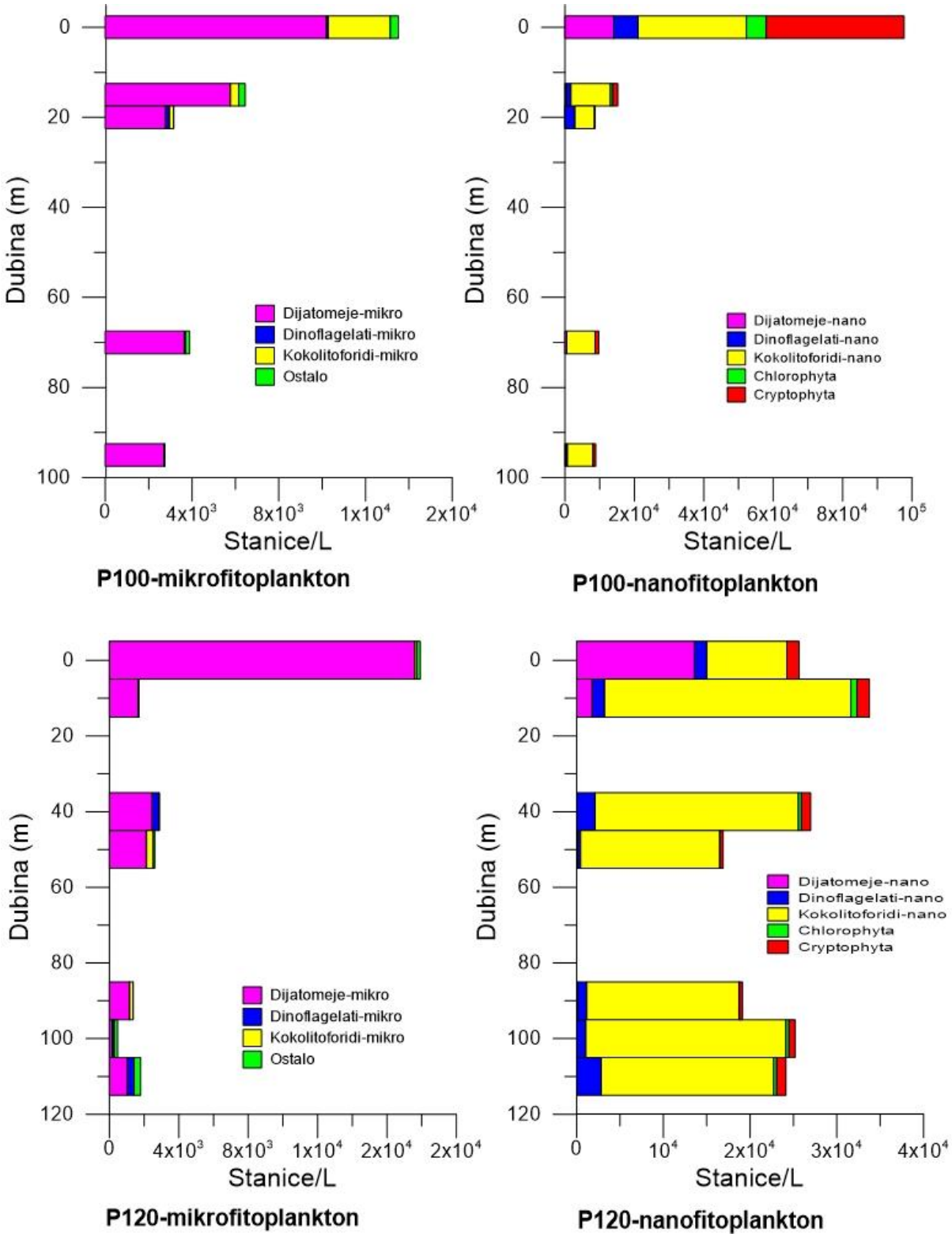
U nano frakciji prevladavaju kokolitoforidi. Njihova najveća zabilježena brojnost zabilježena je u površinskom sloju i iznosi 31 240 stanica/L te s porastom dubine opada. U samom površinskom sloju prevladavaju miksotrofni bičaši kriptofiti čija brojnost iznosi 39 760 stanica/L. Porastom dubine njihova brojnost se također smanjuje s time da izostaju u središnjem sloju na oko 20 m. Vrijednosti dinoflagelata su veće u odnosu na mikro frakciju, a najveća zabilježena vrijenost iznosi 7100 stanica/L na površinskom sloju, dok s porastom dubine brojnost pada. Brojnost dijatomeja manja je nego u mikro frakciji, ali iznimno bilježi veću brojnost u samom površinskom sloju od 13 960 stanica/L (Slika 12.). Porastom dubine brojnost se značajno smanjuje, a na dubini od 20 m čak i izostaje (Slika 12.). U nano frakciji prisutne su i jednostanične zelene alge, ali samo do 20 m dubine.

Postaja P120

Kao i na postaji P100 u mikro frakciji prevladavaju dijatomeje. Najveća zabilježena brojnost je na samom površinskom sloju i iznosi 17 615 stanica/L što je više od najveće zabilježene brojnosti na postaji P100. S porastom dubine brojnost se neravnomjerno smanjuje (Slika 12.). Najveća zabilježena brojnost dinoflagelata iznosi 385 stanica/L na dubini od 40 m,

što je opet više nego na postaji P100. Vrijednosti kokolitoforida su neravnomjerno raspoređene, a najveća brojnost iznosi 380 stanica/L na dubini od 50 m. Brojnost ostale skupine se neravnomjerno povećava porastom dubine pri čemu najveća brojnost iznosi 380 stanica/L na dubini od 110 m. Maksimalna vrijednost je jednaka kao i na postaji P100, ali je ovdje zabilježena na većoj dubini (Slika 12.).

Nano frakcija obiluje kokolitoforidima te su manje-više ravnomjerno raspoređeni. Njihova brojnost je veća nego na postaji P100, a najveća iznosi 28 400 stanica/L na dubini od 10 m. U samom površinskom sloju prevladavaju dijatomeje gdje njihova brojnost iznosi 13 585 stanica/L, no porastom dubine njihova brojnost se naglo smanjuje (Slika 12.). Vrijednosti dinoflagelata veće su nego u mikro frakciji, a najveća zabilježena brojnost iznosi 2840 stanica/L na dubini od 110 m. Brojnosti miksotrofnih bičaša kriptolita i jednostaničnih zelenih algi značajno su manje nego na postaji P100 i neravnomjerno su raspoređene duž vodenog stupca. Najveća zabilježena vrijednost miksotrofnih bičaša kriptofita iznosi 1420 stanica/L na samom površinskom sloju, a jednostaničnih zelenih algi 710 stanica/L na dubini od 10 m (Slika 12.).



Slika 12. Prikaz brojnosti određenih skupina mikro- i nanofitoplanktona na postajama P100 i P120 duž P transekta

Postaja P150

Duž postaje P150 je zabilježena apsolutna dominacija dijatomeja nad ostalim skupinama mikrofitoplanktona (Slika 13.). Najveća brojnost dijatomeja zabilježena je na dubini od 10 m i iznosila je 10 425 stanica/L. Daljnjim povećanjem dubine njihova brojnost se smanjuje (Slika 13.). Dinoflagelati gotovo da izostaju na ovoj postaji, zabilježeni su jedino na 10 m dubine i to s brojnošću od svega 10 stanica/L. Kokolitoforida i ostalih skupina također ima vrlo malo. Najveća brojnost kokolitoforida iznosi 40 stanica/L na površinskom sloju, a ostalih skupina 95 stanica/L na dubini od 100 m.

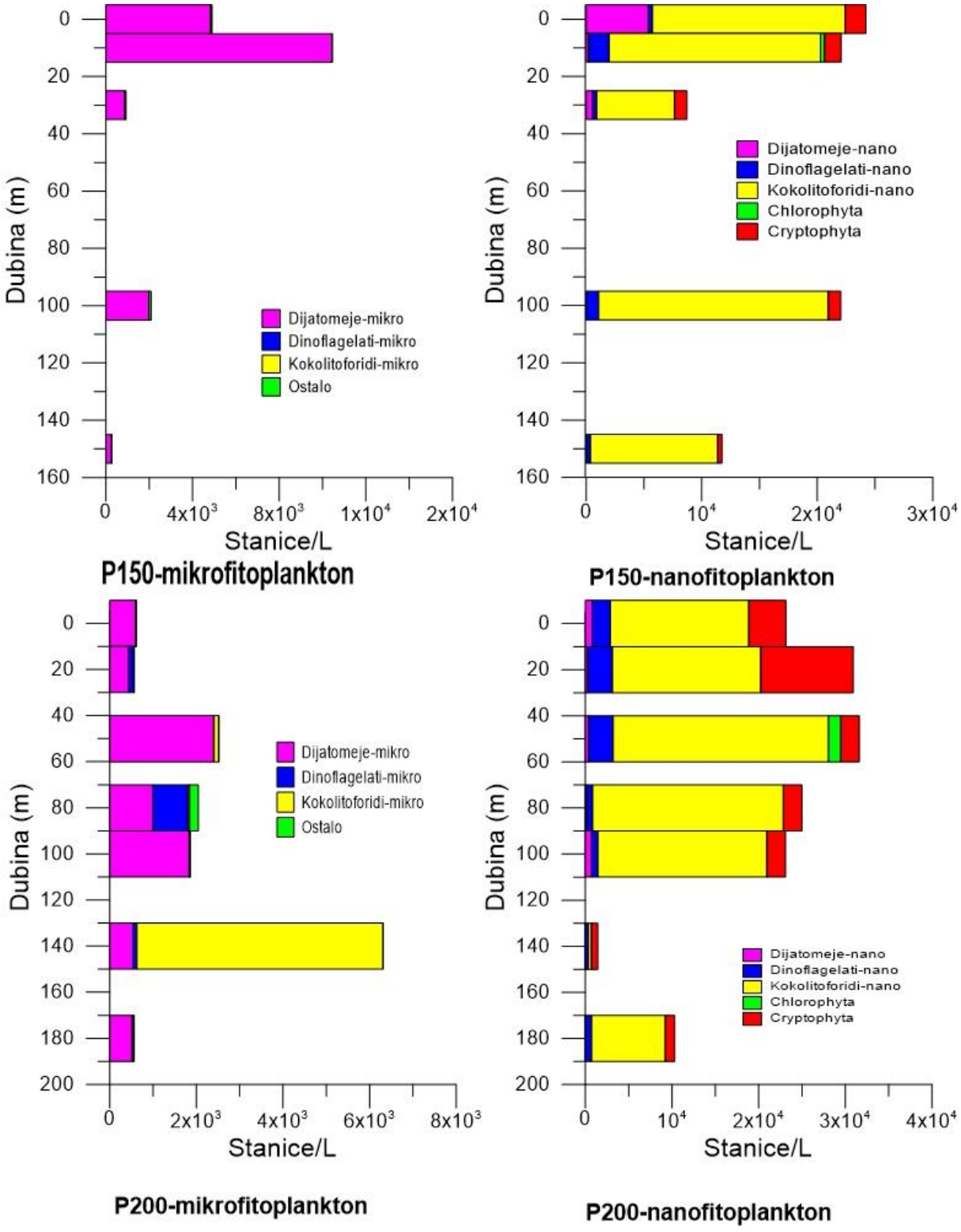
U nanofitoplanktonu i dalje prevladavaju kokolitoforidi na svim dubinama. Najveća zabilježena brojnost je na dubini od 100 m i iznosi 19 880 stanica/L. Od ostalih skupina, najveća brojnost dijatomeja zabilježena je na samom površinskom sloju i iznosi 5390 stanica/L, a dinoflagelata na dubini od 10 m i iznosi 1775 stanica/L. Jednostanične zelene alge su prisutne samo na dubini od 10 m i iznose 355 stanica/L, dok su miksotrofni bičaši kriptofiti prisutni na svim dubinama i to tako da se povećanjem dubine njihova brojnost smanjuje. Najveća zabilježena brojnost je na površinskom sloju i iznosi 1775 stanica/L (Slika 13.).

Postaja P200

Duž postaje P200 je također zabilježena dominacija dijatomeja nad ostalim skupinama mikrofitoplanktona. Najveća brojnost zabilježena je na dubini od 50 m i iznosi 2400 stanica/L što je značajno manje nego na prethodnim postajama. Iznimku u odnosu na prethodne postaje pokazuju kokolitoforidi čija brojnost uvelike iskače na dubini od 140 m i iznosi 5680 stanica/L (Slika 13.). Najveća brojnost dinoflagelata zabilježena je na dubini od 80 m i iznosi 805 stanica/L, a ostalih skupina na istoj dubini 200 stanica/L.

U nanofitoplanktonu i dalje prevladavaju kokolitoforidi na svim dubinama. Najveća zabilježena brojnost je na dubini od 50 m i iznosi 24 850 stanica/L (Slika 13.). Dijatomeje su prisutne na svim dubinama, a najveća brojnost iznosi 775 stanica/L na površinskom sloju, a slična vrijednost zabilježena je i na 100 m dubine. Najveća brojnost dinoflagelata zabilježena je na dubinama od 20 i 50 m i iznosi 2840 stanica/L. Jednostanične zelene alge su prisutne samo na dubini od 50 m i iznose 1420 stanica/L. Miksotrofni bičaši kriptofiti su prisutni na svim

dubinama, najveća brojnost je zabilježena na 20 m i iznosi 10 650 stanica/L, dok se daljnjim porastom dubine njihova brojnost smanjuje (Slika 13.).



Slika 13. Prikaz brojnosti određenih skupina mikro- i nanofitoplanktona na postajama P150 i P200 duž P transekta

Postaja P300

U sastavu mikrofitoplanktona i na ovoj postaji prevladavaju dijatomeje. Neravnomjerno su raspoređene na svim dubinama, a najveća brojnost zabilježena je na dubini od 40 m i iznosi 2380 stanica/L (Slika14.). Najveća brojnost dinoflafelata izmjerena je na dubini od 120 m i iznosi 115 stanica/L. Zanimljivo je da kokolitoforidi na ovoj postaji gotovo izostaju, naime prisutni su samo na dubinama od 40 i 100 m sa brojnošću od samo 10 stanica/L. Ostale skupine pojavljuju se tek na 100 m dubine pri čemu njihova brojnost raste daljnjim porastom dubine. Na 280 m dubine ih nema, a na 290 m je zabilježena njihova najveća brojnost i iznosi 355 stanica/L.

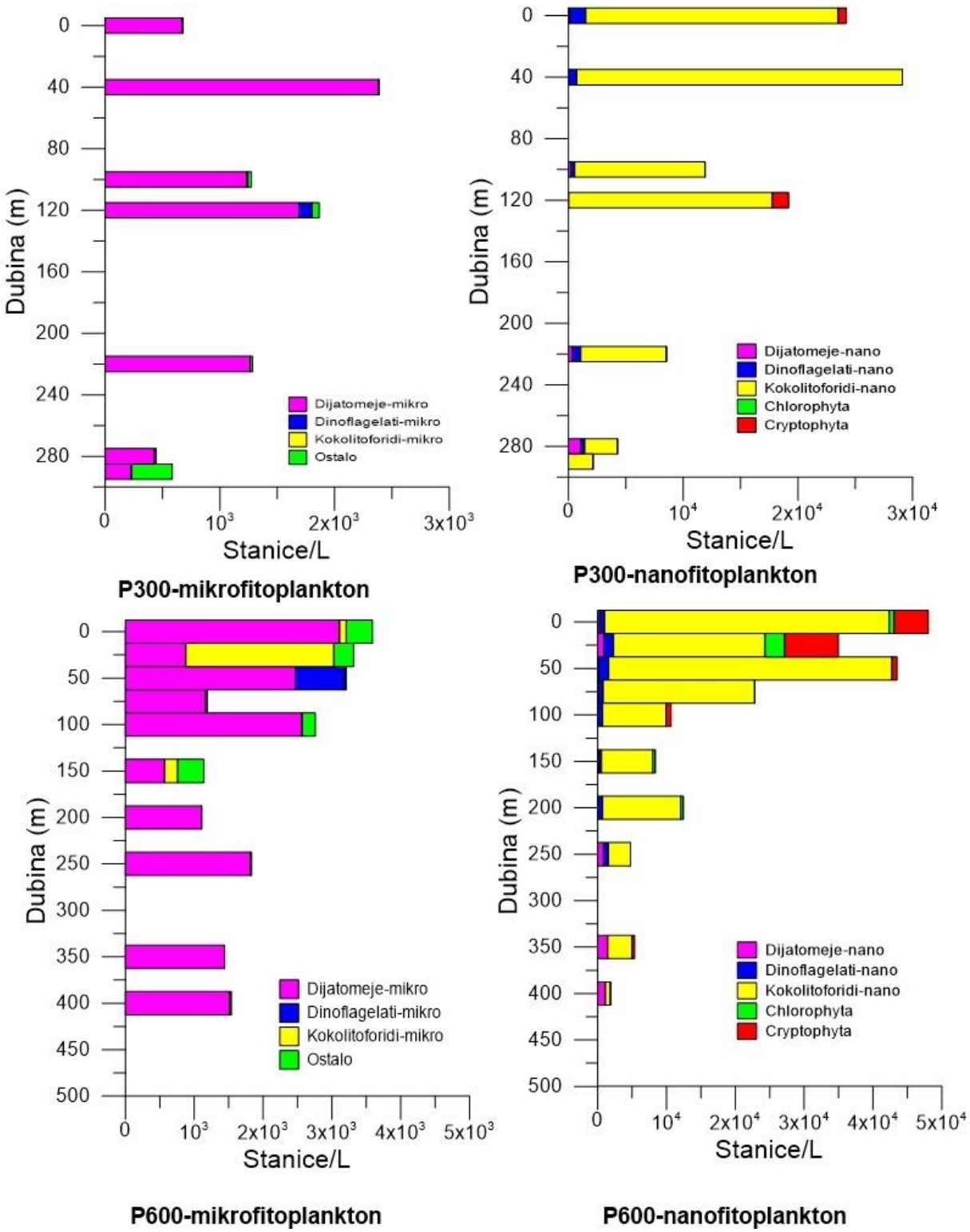
U sastavu nanofitoplanktona i dalje prevladavaju kokolitoforidi. Neravnomjerno su raspoređeni na svim dubinama, a najveća brojnost zabilježena je na dubini od 40 m i iznosi 28 400 stanica/L (Slika 14.). Za razliku od prethodnih postaja gdje se najveća brojnost dijatomeja pojavljuje u površinskom sloju, ovdje je zabilježena na dubini od 280 m i iznosi 1065 stanica/L. Najveća brojnost dinoflagelata zabilježena je na površinskom sloju i iznosi 1420 stanica/L. Porastom dubine njihova brojnost se smanjuje (Slika 14.). Miksotrofni bičaši kriptofiti su prisutni samo u površinskom sloju i na dubini od 120 m gdje je ujedno zabilježena i njihova najveća brojnost od 1420 stanica/L. Na ovoj postaji nisu prisutne jednostanične zelene alge.

Postaja P600

I dalje možemo uočiti dominaciju dijatomeja u sastavu mikrofitoplanktona. Prisutne su na svim dubinama do 400 m, a najveća brojnost zabilježena je na površinskom sloju i iznosi 3105 stanica/L (Slika 14.). Dinoflagelati su prisutni samo na površinskom sloju i na dubini od 50 m gdje je zabilježena najveća brojnost od 720 stanica/L. Najveća brojnost kokolitoforida zabilježena je na dubini od 25 m i iznosi 2150 stanica/L (Slika 14.). Ostale skupine prisutne su u znatno manjem broju, a najveća brojnost iznosi 380 stanica/L na površinskom sloju i dubini od 150 m.

Kokolitoforidi prevladavaju u frakciji nanofitoplanktona. Najveća brojnost je zabilježena na površinskom sloju i dubini od 50 m i iznosi 41 370 stanica/L (Slika 14.). Dijatomeje su prisutne na svim dubinama, ali u puno manjem broju nego kokolitoforidi. Najveća brojnost zabilježena je na dubini od 350 m i iznosi 1470 stanica/L. Dinoflagelati su

prisutni do 250 m dubine, a najveća brojnost zabilježena je na dubinama od 25 i 50 m i iznosi 1420 stanica/L (Slika 14.). Najveća brojnost jednostaničnih zelenih algi zabilježena je na dubini od 25 m i iznosi 2840 stanica/L, a miksotrofnih bičaša kriptofita 7810 stanica/L na istoj dubini.



Slika 14. Prikaz brojnosti određenih skupina mikro- i nanofitoplanktona na postajama P300 i P600 duž P transekta

Postaja P850

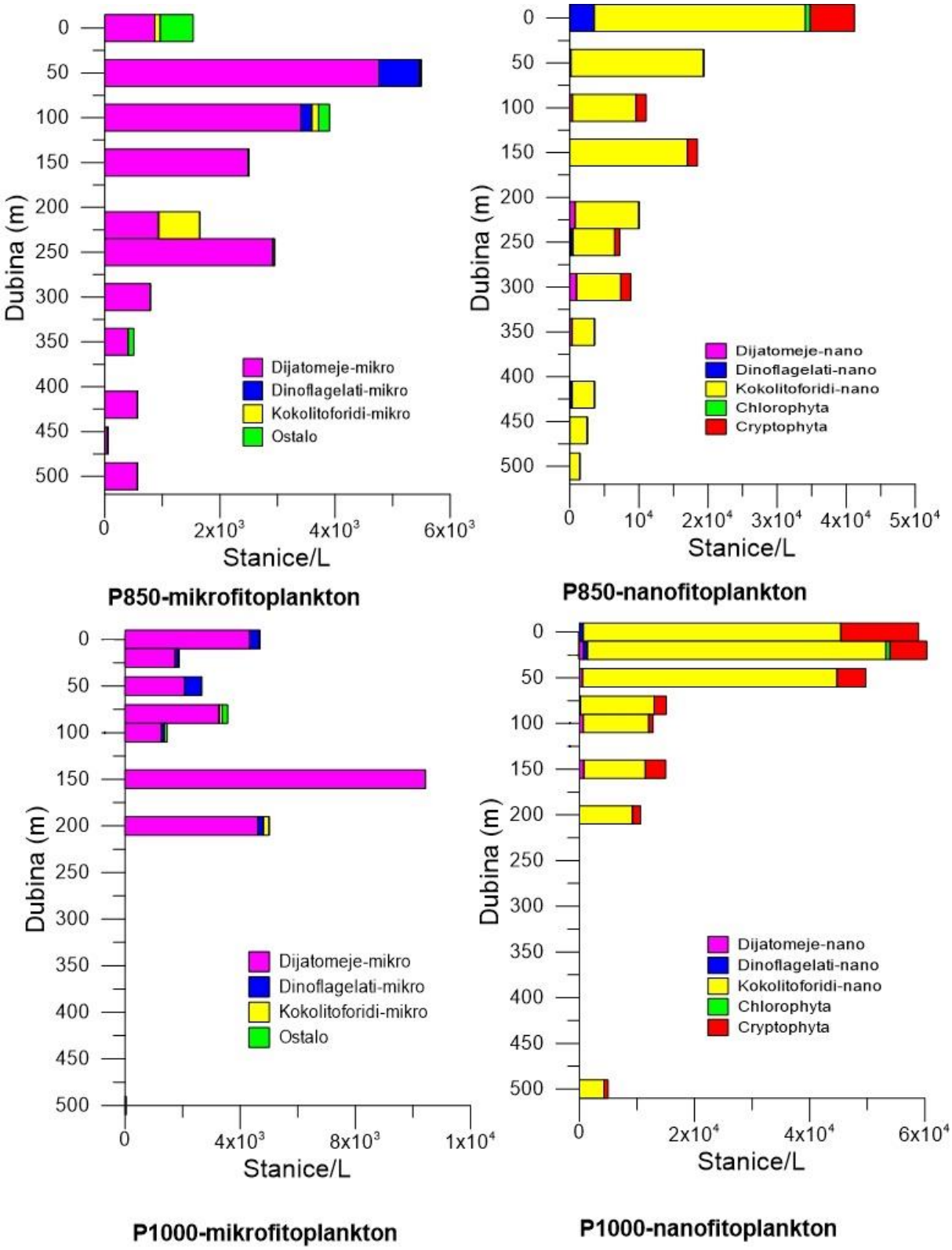
Mikrofitoplankton ponovo obiluje dijatomejama te su prisutne do dubine od 500 m. Njihova najveća brojnost zabilježena je na dubini od 50 m i iznosi 4760 stanica/L. što je više nego na prethodnoj postaji P600 (Slika 15.). Dinoflagelati i kokolitoforidi su prisutni samo do 220 m dubine. Najveća brojnost dinoflagelata zabilježena je na 50 m i iznosi 710 stanica/L (Slika 15.), a kokolitoforidi bilježe istu vrijednost na dubini od 220 m. najveća brojnost ostalih skupina je na površinskom sloju i iznosi 570 stanica/L te porastom dubine pada.

U sastavu nanofitoplanktona dominiraju kokolitoforidi. Najveća zabilježena brojnost iznosi 30 530 stanica/L na površinskom sloju te porastom dubine pada (Slika 15.). Najveća brojnost dinoflagelata također je zabilježena na površinskom sloju, ali iznosi svega 3550 stanica/L. Najveća brojnost dijatomeja zabilježena je na dubini od 300 m i iznosi 995 stanica/L. Jednostanične zelene alge su zabilježene samo na površinskom sloju gdje im je brojnost 710 stanica/L. Miksotrofni bičaši kriptofiti su prisutni do 300 m dubine, a najveća brojnost zabilježena je na površinskom sloju i iznosi 6390 stanica/L (Slika 15.).

Postaja P1000

U sastavu mikrofitoplanktona dominiraju dijatomeje. Najveća zabilježena brojnost iznosi 10 430 stanica/L na dubini od 150 m dubine (Slika 15.). Najveća brojnost dinoflagelata iznosi 580 stanica/L na dubini od 50 m, a kokolitoforida 190 stanica/L na dubini od 200 m. Najveća brojnost ostalih je na 80 m dubine i iznosi 190 stanica/L.

U sastavu nanofitoplanktona dominiraju kokolitoforidi. Najveća zabilježena brojnost iznosi 51 830 stanica/L na dubini od 20 m te porastom dubine pada (Slika 15.). Najveća brojnost dinoflagelata je zabilježena na površinskom sloju i dubini od 20 m, ali iznosi svega 710 stanica/L. Najveća brojnost dijatomeja zabilježena je na dubini od 150 m i iznosi 805 stanica/L. Jednostanične zelene alge zabilježene su samo na dubini od 20 m gdje im je brojnost 710 stanica/L. Miksotrofni bičaši kriptofiti su prisutni do 500 m dubine, a najveća brojnost zabilježena je na površinskom sloju i iznosi 13490 stanica/L te porastom dubine pada (Slika 15.).



Slika 15. Prikaz brojnosti određenih skupina mikro- i nanofitoplanktona na postajama P850 i P1000 duž P transekta

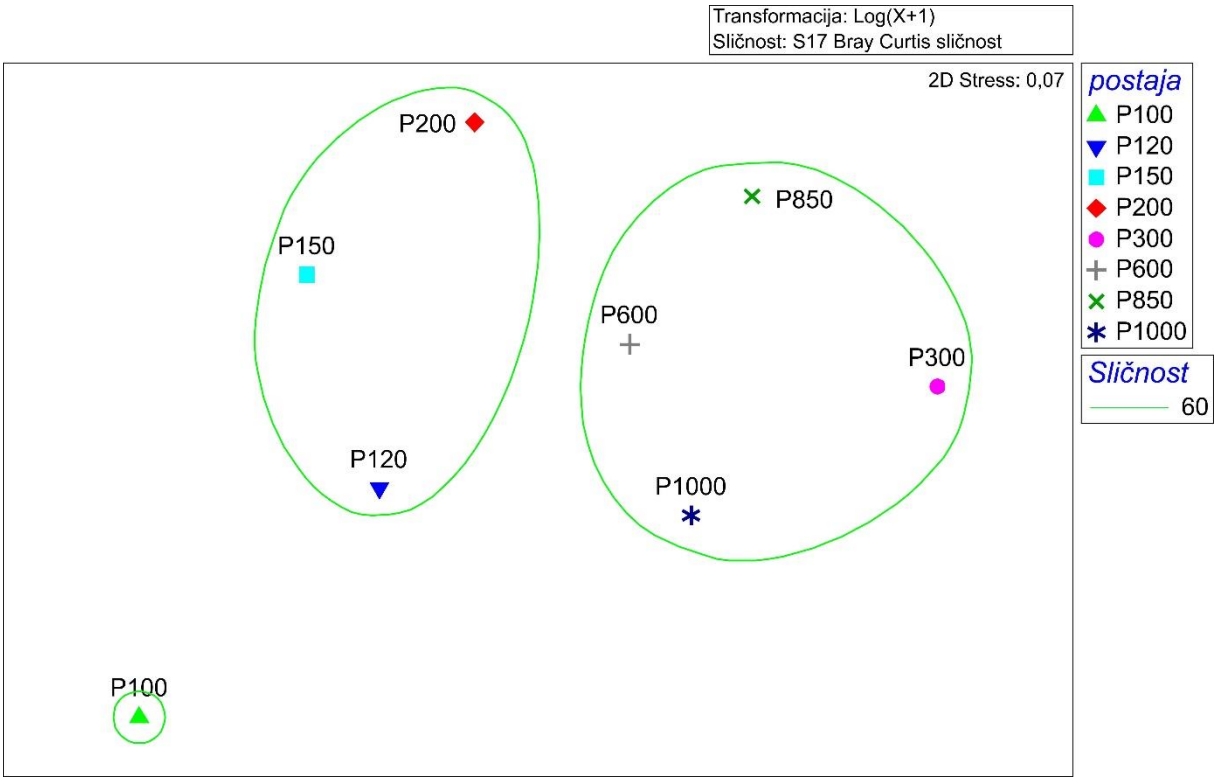
Taksonomskom analizom određeno je 126 svojti mikrofitoplanktona, od kojih su dominirale dijatomeje sa 98 morfotipova. Dominantne vrste dijatomeja bile su vrste *Chaetoceros affinis, Chaetoceros curvisetus, Chaetoceros decipiens, Cylindrotheca closterium*, *Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima, Pseudo-nitzshia* cf. *fraudulenta, Bacteriastrum furcatum, Leptocylindrus mediterraneus, Psammodyction panduriforme i Nitzshia* sp. Također je zabilježen veliki broj penatnih dijatomeja koje nije bilo moguće identificirati do razine roda/vrste. Zabilježeno je 16 vrsta dinoflagelata, a najbrojnije vrste su bile *Oxytoxum variable i Oxytoxum adriaticum*. Također, zabilježeno je 8 taksona kokolitoforida s dominacijom vrste *Emiliana huxleyi,* 3 taksona silikoflagelata *Dictyocha* spp. i 1 takson euglenofita.

Pošto su dijatomeje dominantna zajednica sastava mikrofitoplanktona, nadalje su opisane dominantne vrste unutar zajednice. Tablica 6. prikazuje dominantne vrste dijatomeja. U tablici su prisutne vrste kojima je maksimum broja stanica veći od 1000 i frekvencija pojavljivanja u uzorku veća od 10%, dok su posebno istaknute vrste čija je frekvencija pojavljivanja veća od 20%.

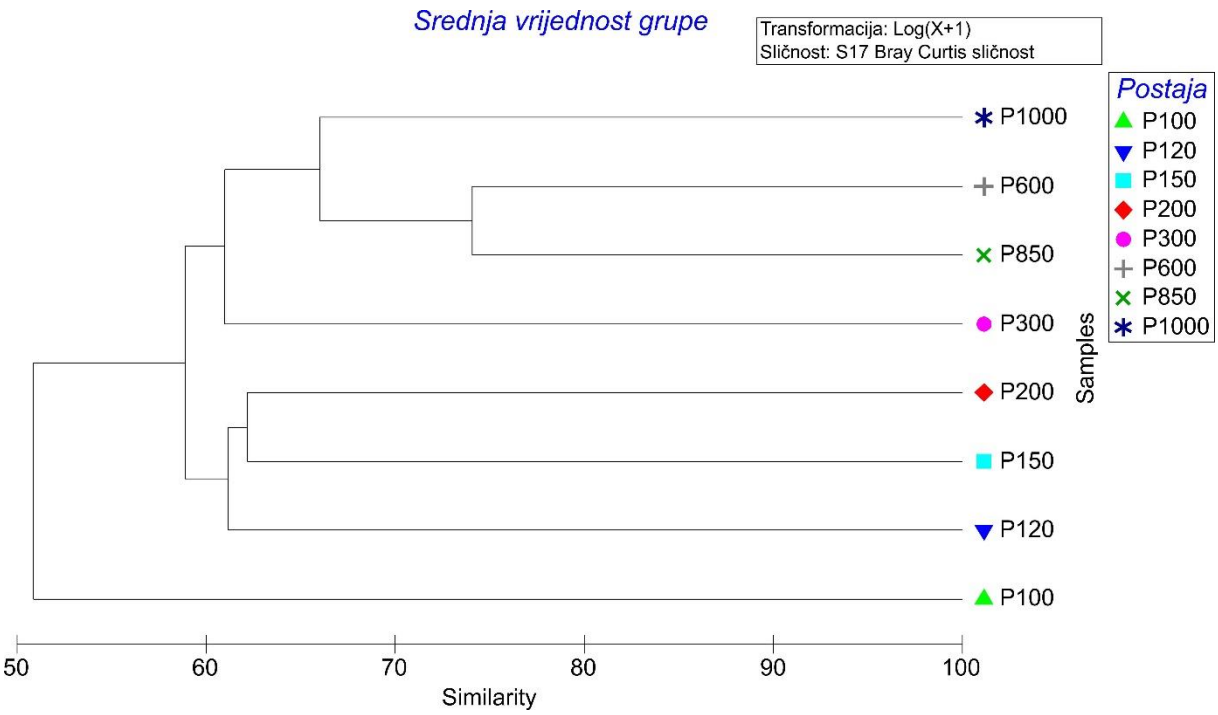
Tablica 6. Dominantne vrste dijatomeja na istraživanim postajama u razdoblju od 8. do 10. ožujka 2016. godine.

Vrste	Maksimum (stanice / L)	Frekvencija %
Asterionelopsis glacilis (Castracane) Round	1140	12
***Bacteriastrum furcatum* Shadbolt**	**1330**	**23**
***Cylindrotheca closterium* (Ehrenberg) Reimann et Lewin**	**1775**	**80**
***Chaetoceros affinis* Lauder**	**3230**	**20**
Chaetoceros costatus Pavillard	4940	14
***Chaetoceros curvisetus* Cleve**	**1995**	**49**
***Chaetoceros decipiens* Cleve**	**1615**	**52**
Chaetoceros diversus Cleve	1065	12
Dactyliosolen phuketensis (B.G.Sundström) G.R.Hasle	1520	14
Guinardia flaccida (Castracane) Peragallo	1045	14
***Leptocylindrus mediterraneus* (Peragallo) Hasle**	**1520**	**34**
***Nitzschia* sp.**	**1520**	**29**
***Psammodyction panduriforme* (Gregory) Meunier**	**1420**	**26**
Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima Hasle	**1880**	**51**
***Pseudo-nitzschia* cf. *fraudulenta* (Cleve) Hasle**	**2470**	**35**
Skeletonema sp.	12540	14

Rezultati nMDS analize u kojoj se na temelju brojnosti svih identificiranih vrsta mikrofitoplanktona pokušala prikazati sličnost odnosno razlika između pojedinih postaja pokazali su grupiranje 3 postaje bliže obali (P120, P150, P200) te postaja udaljenijih od obale (P300, P600, P850, P1000) što ukazuje na prisutnost različitih vrsta mikrofitoplanktona na određenim postajama. Na grafu se vidi jasna odvojenost postaje P100 od ostalih istraživanih postaja što ukazuje na značajne razlike u sastavu vrsta mikrofitoplanktona na toj postaji (Slika 16.). Sličnost između te postaje i ostale dvije grupe je više od 50% što ukazuje na razlike između grupa. Sličnost unutar svake grupe postaja veća je od 60% što znači da se sastav mikrofitoplanktona razlikuje (Slika 17.).



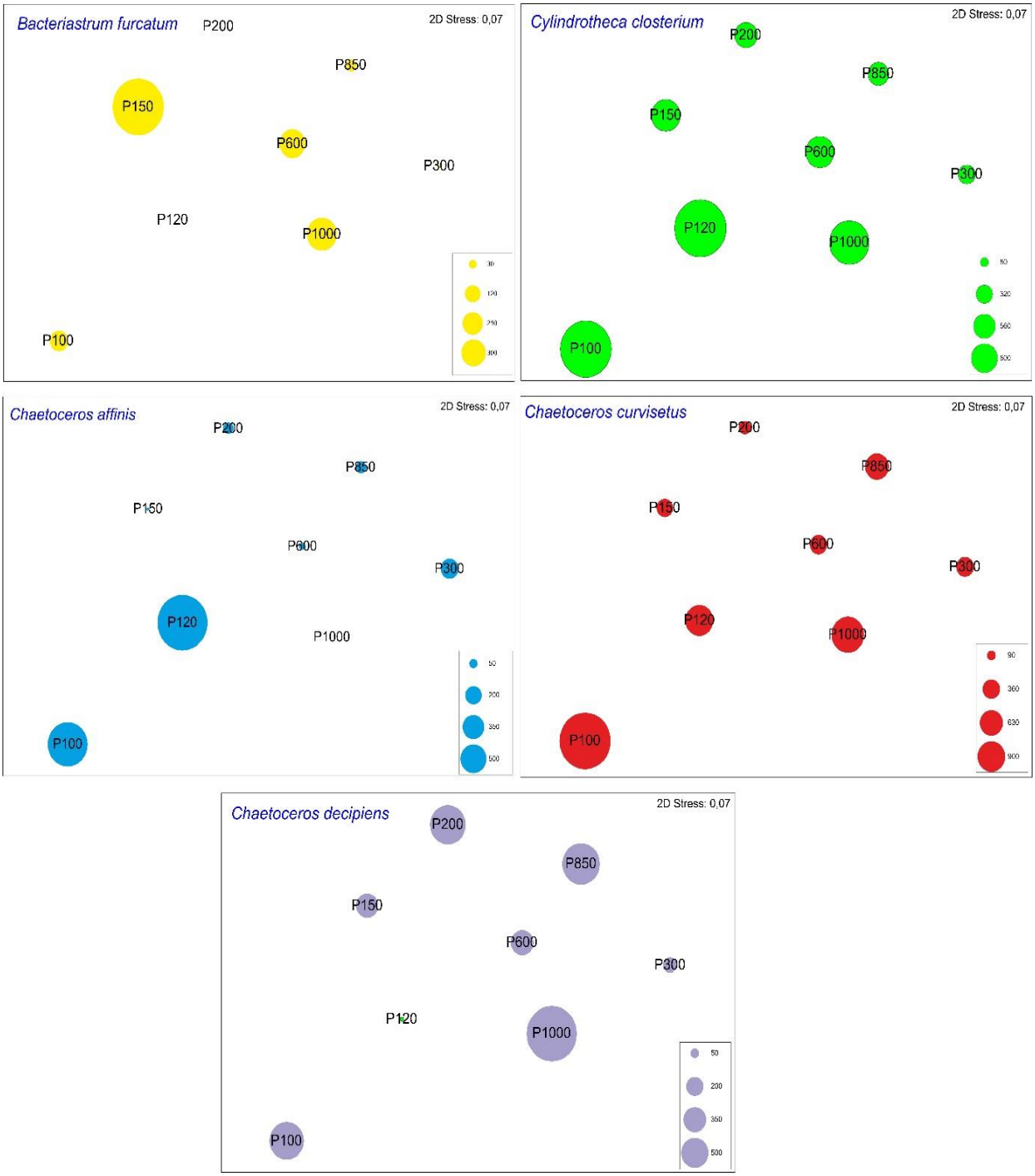
Slika 16. nMDS prikaz usporedbe istraživanih postaja na temelju sastava vrsta mikrofitoplanktona



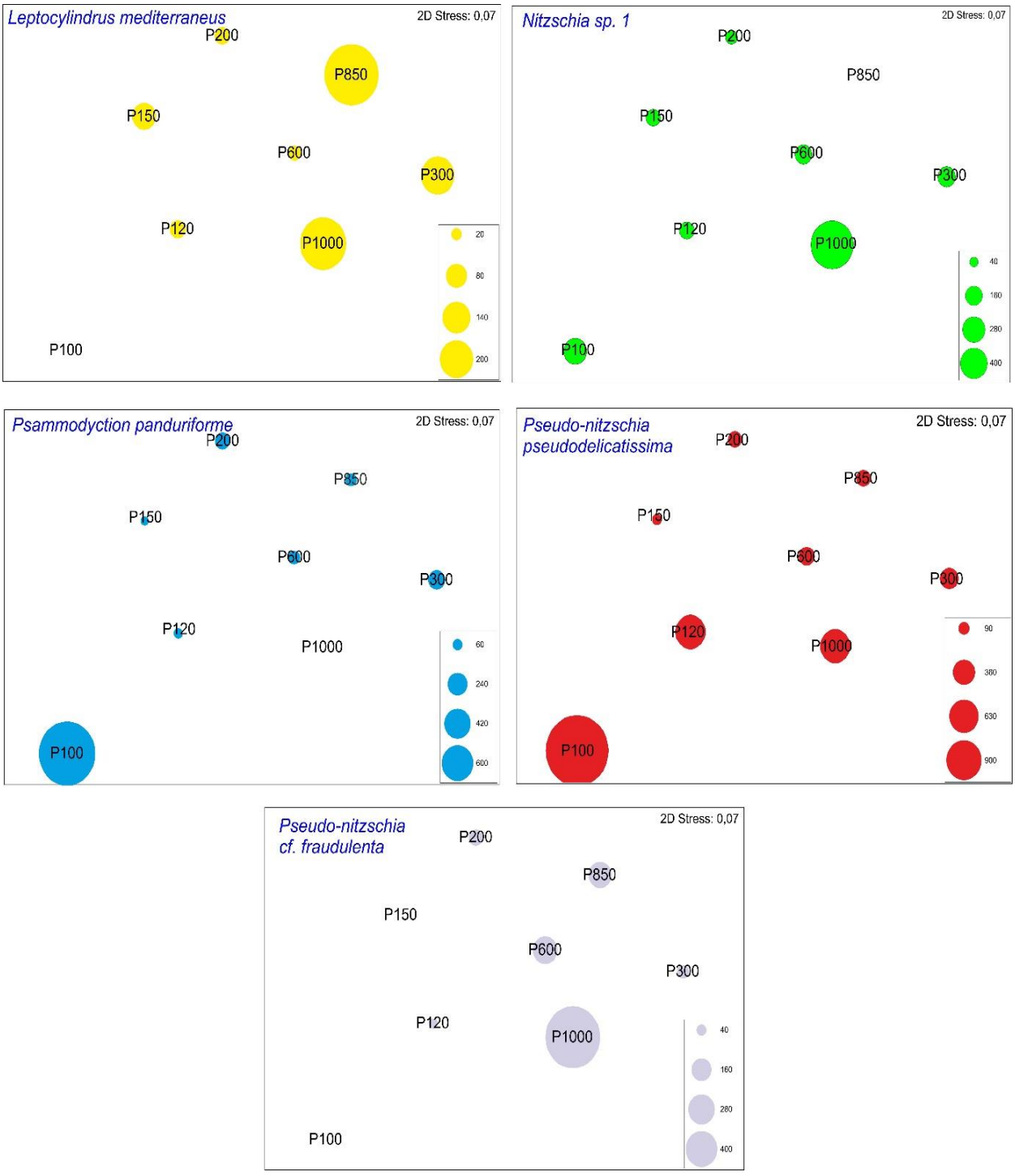
Slika 17. Klaster analiza sličnosti između istraživanih postaja

U sljedećem koraku izabrano je 10 dominatnih vrsta iz skupine dijatomeja koje definiraju zajednicu (Slika 21.) i prikazana je njihova prosječna brojnost u sklopu rezultata nMDS analize da bi se prikazala njihova prisutnost na pojedinim postajama. Većina vrsta je bila brojnija na plićim postajama. Vrsta *Bacteriastrum furcatum* zabilježena je na 5 postaja (P100, P150, P600, P850 i P1000) od čega je najbrojnija na postaji P150 koja se nalazi bliže obali (Slika 18.); *Cylindrotheca closterium* bila je prisutna na svim postajama u većem broju tj. jednoliko; *Chaetoceros affinis* je također prisutna na svim postajama, ali je najveća brojnost zabilježena na obalnim postajama P100 i P150 (Slika 18.); *Chaetoceros curvisetus* je bila prisutna na svim postajama jednoliko, a najveća brojnost je zabilježena na postaji P100; *Chaetoceros decipiens* je zabilježena na svim postajama, pri čemu je najveća brojnost na najudaljenijoj postaji P1000 (Slika 18.); *Leptocylindrus mediterraneus* nije bila prisutna na obalnoj postaji P100, a najveća brojnost zabilježena je na postaji P850; *Nitzshia* sp. nije bila prisutna jedino na postaji P850, a najveća brojnost zabilježena je na postaji P1000 (Slika 19.); *Psammodyction panduriforme* nije bila prisutna na postaji P1000 dok je na ostalim postajama prisutna u nešto manje broju, od čega je najveća brojnost na obalnoj postaji P100 (Slika 19.); *Pseudo-nitzshia*

pseudodelicatissima bila je prisutna jednoliko na svim postajama, a najveća brojnost zabilježena je na obalnoj postaji P100; *Pseudo-nitzshia* cf. *fraudulenta* se bitno razlikuje od prethodne vrste naime ona nije bila prisutna na obalnim postajama, a najveća brojnost zabilježena je na najudaljenijoj postaji P1000 (Slika 19.).

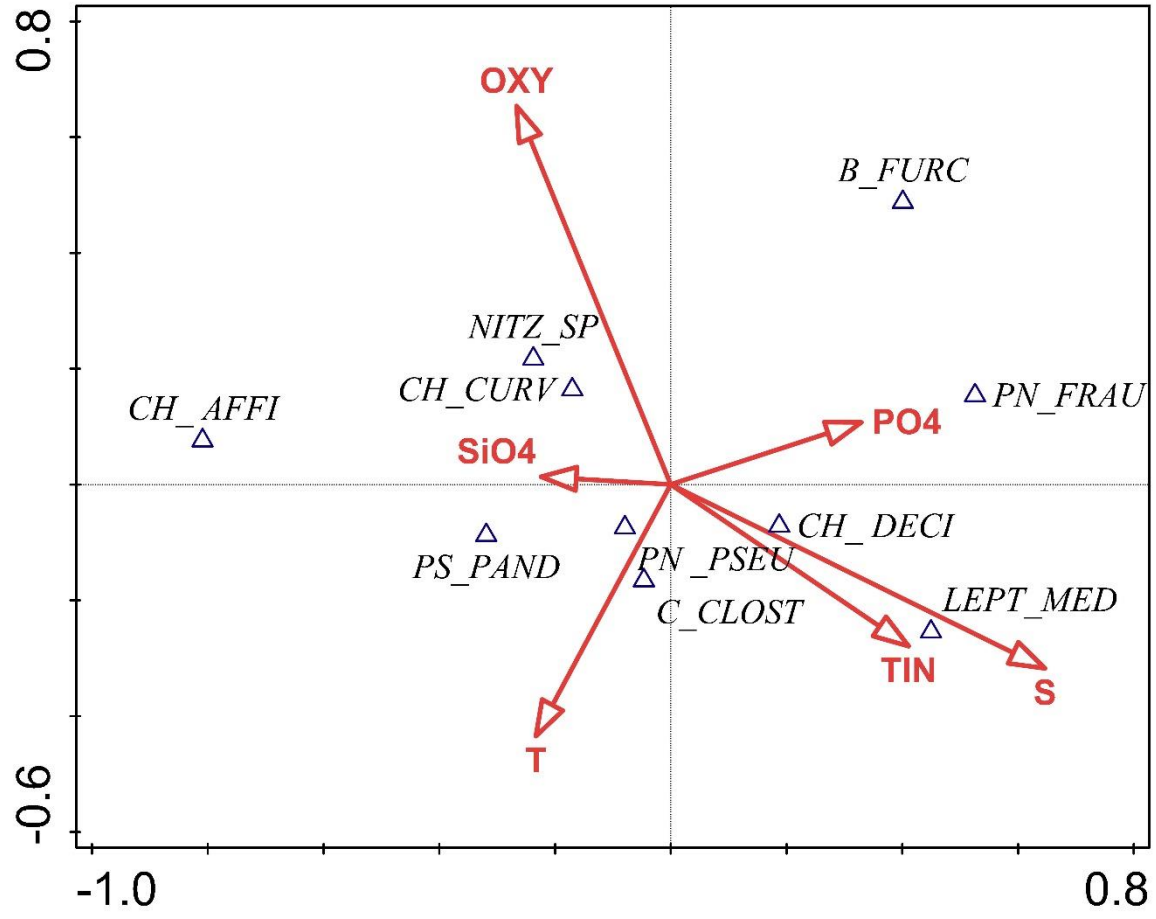


Slika 18. Prikaz brojnosti dominantnih vrsta dijatomeja na rezultatima nMDS analize istraživanih postaja na temelju sastava vrsta mikrofitoplanktona

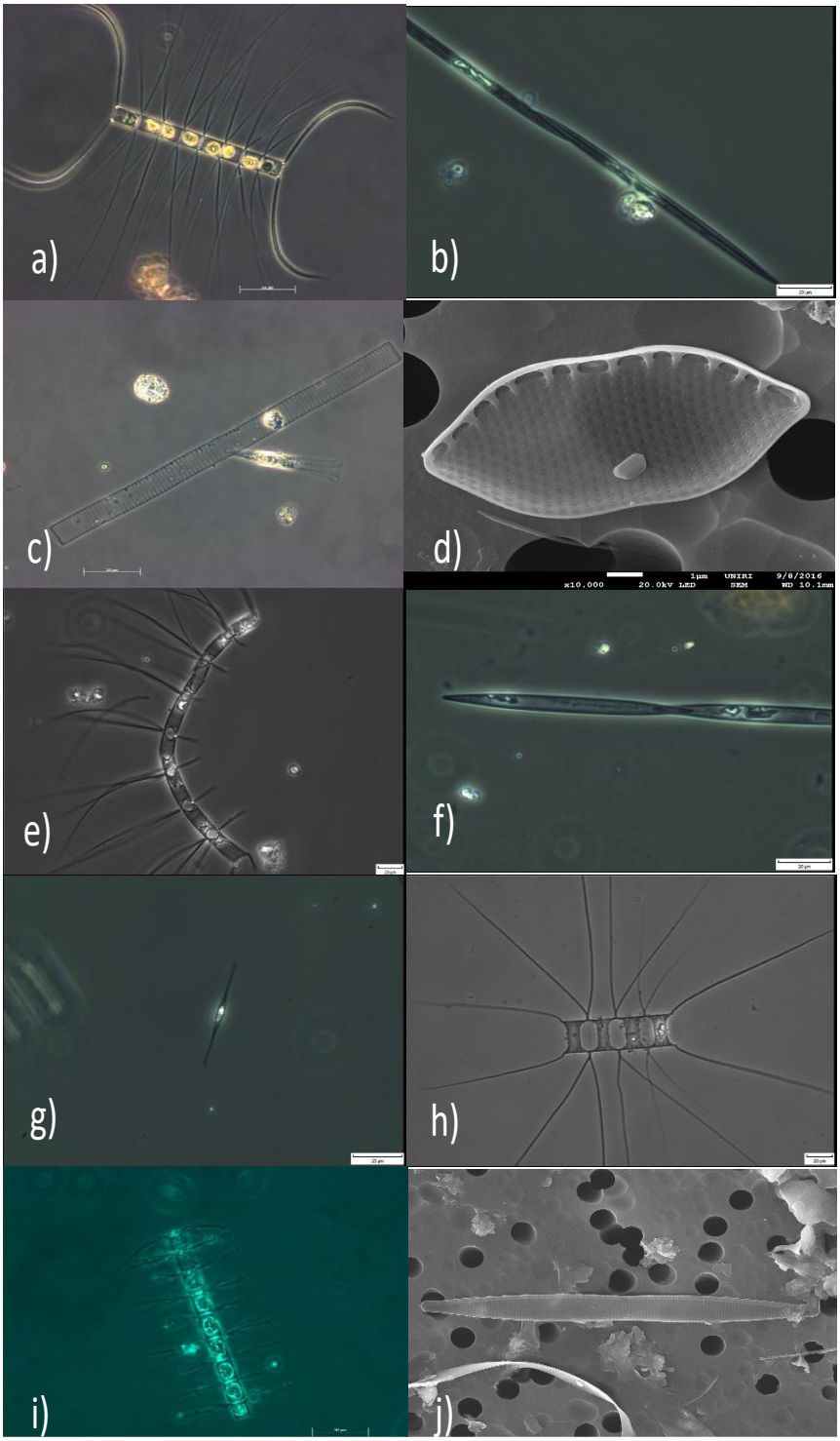


Slika 19. Prikaz brojnosti dominantnih vrsta dijatomeja na rezultatima nMDS analize istraživanih postaja na temelju sastava vrsta mikrofitoplanktona

Rezultati CCA ordinacijske analize, koja je korištena radi vizualizacije odnosa pojedinih dominantnih vrsta mikrofitoplanktona i ekoloških čimbenika, pokazali su da svaka od navedenih vrsta preferira različite uvjete okoliša. Vrsta *Chaetoceros decipiens* korelira sa salinitetom, dok *Leptocylindrus mediterraneus* korelira sa salinitetom i otopljenim dušikom (Slika 20.). Ovi rezultati u skladu su sa slikama 18. i 19. na kojima su prikazane visoke brojnosti ovih vrsta na udaljenijim postajama tj. na otvorenom moru gdje je vrijednost saliniteta viša. Vrste *Cylindrotheca closterium* i *Pseudo-nitzshia pseudodelicatissima* koreliraju s temperaturom. Vrste *Chaetoceros curvisetus* i *Nitzshia* sp. koreliraju s otopljenim kisikom (Slika 20.). Ovi rezultati također su u skladu sa slikama 18. i 19. na kojima su prikazane visoke brojnosti ovih vrsta na plićim postajama.



Slika 20. CCA prikaz brojnosti dominantnih vrsta dijatomeja s obzirom na različite ekološke čimbenike. Dvije glavne osi predstavljaju postotak varijacije, vektori predstavljaju okolišne čimbenike: T- temperatura; S- salinitet; OXY- koncentracija otopljenog kisika; PO4- fosfati; SiO4- silikati; TIN- anorganski otopljeni dušik.



Slika 21. Dominantne vrste dijatomeja koje definiraju zajednicu tijekom istraživanja: a) *Chaetoceros affinis*, b) *Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima*, c) *Leptocylindrus mediterraneus*, d) *Psammodyction panduriforme*, e) *Chaetoceros curvisetus*, f) *Pseudo-nitzschia fraudulenta*, g) *Cylindrotheca closterium*, h) *Chaetoceros decipiens*, i) *Bacteriastrum furcatum*, j) *Nitzschia* sp.

4.RASPRAVA

Usporedbom rezultata ovog istraživanja s rezultatima istraživanja BIOTA 2015. godine (Raos 2016) uočene su mnoge razlike. Rezultati su pokazali da u razdoblju od 8. do 10. ožujka u kojem je provedeno istraživanje BIOTA 2016 nije bila prisutna konvekcija tj. nije došlo do procesa miješanja kojim se nutrijenti prenose u površinski dio vodenog stupca gdje postaju dostupni primarnim proizvođačima, dok je 2015. godine konvencija bila prisutna.

Prosječna temperatura istraživanog područja 2016. je bila nešto niža (14.37°C) od one u 2015. (14.51°C) dok je prosječna vrijednost saliniteta 2016. bila nešto viša (38.8) od one u 2015. (38.71) (Raos 2016; Vugrin 2016). Vidljiv je utjecaj slatkih voda s kopna jer su temperatura i salinitet na površini postaje najbliže kopnu mnogo niži nego na drugim postajama. Iz sakupljenih podataka vidljivo je da je došlo do stratifikacije vodenog stupca kao i u prvom uzorkovanju P-transekta 2015. godine (Vugrin 2016). Prosječne koncentracije amonijaka, nitrata, silikata i dušika 2016. godine su bile nešto više, dok su prosječne koncentracije nitrita i fosfata bile niže nego u uzorcima 2015. godine (Raos 2016; Vugrin 2016) Što se mikrofitoplanktona i nanofitoplanktona tiče, prosječna brojnost mikrofitoplanktona je 2016. godine niža od 2015. godine, a prosječna brojnost nanofitoplanktona je viša što ukazuje na oligotrofiju (Raos 2016). Naime male stanice imaju veći omjer površine i volumena te time lakše preživljavaju u uvjetima sa manje hranjivih soli jer su u prednosti obzirom na procese difuzije. Signal Chl-*a* 2016. godine je zabilježen do 200 m dubine (Slika 8.), a 2015. godine do 400 m (Raos 2016).

Dijatomeje su važan dio zajednice fitoplanktona južnog Jadrana, što je pokazano u ovom istraživanju, time što čine veliki postotak ukupne fitoplanktonske zajednice. Dijatomeje mikro frakcije su zauzele su čak 75, 44% zajednice mikrofitoplanktona, dok su u nano frakciji južnog Jadrana zauzele 14,18% zajednice nanofitoplanktona 2016. godine. Uspoređujući ove rezultate s rezultatima istraživanja 2015. godine duž P-transekta, zabilježen je manji broj dijatomeja. Naime, 2015. godine dijatomeje su zauzele 96,72% zajednice mikrofitoplanktona i 33,33% zajednice nanofitoplanktona (Vugrin 2016).

Dijatomeje čine glavninu mikroplanktona i predstavljaju najveći dio ukupne biomase i u sjevernom Jadranu (Revelante & Gilmartin, 1976a). Značajno povećanje abundancije dijatomeja uočava se u područjima nižeg saliniteta. Vrste roda *Pseudo-nitzschia* dominirale su

fitoplanktonskom zajednicom sjevernog Jadrana u razdoblju od 1972. do 2009. godine, a nakon 2000. godine zabilježeno je još češće pojavljivanje ovog roda (Marić Pfannkuchen, 2013). Vrste *Pseudo-nitzshia pseudodelicatissima* i *Pseudo-nitzshia* cf. *fraudulenta* su također zabilježene kao dominantne vrste i u ovom istraživanju južnog Jadrana. Međutim, u sjevernom Jadranu vrste roda *Pseudo-nitzshia* koreliraju s otopljenim anorganskim dušikom, ortosilikatima, temperaturom i salinitetom (Marić Pfannkuchen 2013), dok je u ovom istraživanju zabilježena korelacija jedino sa temperaturom. Iz literature je poznato da prirodne populacije različitih vrsta roda *Pseudo-nitzschia* mogu živjeti pri velikom rasponu saliniteta i temperature, te obično koreliraju s različitim ekološkim čimbenicima (Lelong i sur., 2012; Trainer i sur., 2012). U Sredozemnom moru se *Pseudo-nitzshia fraudulenta* obično pojavljuje u rano proljeće, a abundancija rijetko prelazi 10^5 stanica po litri (Zingone i sur. 2006; Quijano-Scheggia i sur. 2008b) što je u skladu s ovim istraživanjem. Osim roda *Pseudo-nitzshia*, sličnost sjevernog i južnog Jadrana pokazuju još dvije dominantne vrste iz zajednice dijatomeja: *Cylindrotheca closterium* i *Chaetoceros affinis*. Frekvencija vrste *Cylindrotheca closterium* u razdoblju od 1972. do 1999. godine u sjevernom Jadranu iznosila je 66%, od 2000. do 2009. godine 78% (Marić Pfannkuchen 2013), a u 2016. godini u južnom Jadranu čak 80%. Frekvencija vrste *Chaetoceros affinis* u razdoblju od 1972. do 1999. godine u sjevernom Jadranu iznosila je 24%, od 2000. do 2009. godine 31% (Marić Pfannkuchen 2013), a u 2016. godini u južnom Jadranu 20%.

Bosak i sur. (2016) su proveli istraživanje u sjeveroistočnom Jadranu u razdoblju od rujna 2008. do listopada 2009. godine gdje je također zabilježena dominacija dijatomeja s dva roda: *Bacteriastrum* i *Chaetoceros*. Zanimljivo je kako se pojedine dominatne vrste pojavljuju i u južnom Jadranu, ali s različitim frekvencijama i različitim ekološkim uvjetima. Frekvencija vrste *Bacteriastrum furcatum* 2008./2009. godine iznosila je 19% te je ta vrsta korelirala s fosfatima (Bosak i sur. 2016), dok je u 2016. godini frekvencija iznosila 23% i nije zabilježena nikakva korelacija. Frekvencija vrste *Chaetoceros affinis* 2008./2009. godine iznosila je 21% te je ta vrsta korelirala s temperaturom (Bosak i sur. 2016), dok je u 2016. godini njezina frekvencija iznosila 20% i nije zabilježena nikakva korelacija. *Chaetoceros costatus* 2008./2009. godine bio je prisutan tek s 2%, a u 2016. s 14%. Nadalje, frekvencija vrste *Chaetoceros curvisetus* 2008./2009. je bila 17% gdje nije zabilježena nikakva korelacija, dok je u 2016. godini bila veća i iznosila je 49% te je korelirala s otopljenim kisikom (Slika 20.). Frekvencija

vrste *Chaetoceros decipiens* 2008./2009. godine na sjevernom dijelu Jadrana iznosila je 29% te je ta vrsta pozitivno korelirala s temperaturom i fosfatima i negativno sa salinitetom (Bosak i sur. 2016), dok je u 2016. godini u južnom Jadranu njezina frekvencija iznosila 52% i pozitivno je korelirala sa salinitetom (Slika 20.). Vrsta *Chaetoceros diversus* zabilježena je u oba istraživanja s frekvencijom od 12%.

Ljubimir i sur. (2017) proveli su istraživanje u južnom Jadranu u zimsko-proljetnom razdoblju od 2009. do 2013. godine gdje je zabilježena dominacija dijatomeja s rodovima *Cylindrotheca*, *Chaetoceros*, *Guinardia*, *Nitzshia* i *Psudo-nitzshia* što se poklapa s rezultatima ovog istraživanja. Još 1998. Mozetič i sur. (1998) navode da najviše godišnje abundancije fitoplanktona uglavnom ovise upravo o brzorastućim vrstama dijatomeja poput *Skeletonema costatum* (*S. marinoi*), *Pseudo-nitzshia pseudodelicatissima*, *Chaetoceros* spp., *Cyclotella* spp. i *Cylindrotheca closterium*. Čini se da ove vrste brzo reagiraju na dostupne koncentracije hranjivih soli koje su donesene rijekama ili kišom (Mozetič i sur. 1998).

Analizom sastava fitoplanktona svjetlosnim mikroskopom u uzorcima 2015. i 2016. godine s BIOTA istraživanja najbrojnije i najučestalije bile su dijatomeje. Najučestalija vrsta dijatomeja obje godine bila je *Cylindrotheca closterium*, dok je najbrojnija vrsta dijatomeja 2015. godine bila je *Skeletonema grevillei* (Raos 2016), a 2016. godine *Skeletonema* sp., što ukazuje na uobičajenu fitoplanktonsku zajednicu za zimu (Batistić i sur. 2012; Viličić 1984). Osim ovih vrsta, zabilježeno je još 5 dominantnih vrsta dijatomeja prisutnih obje godine i to su sljedeće: *Bacteriastrum furcatum*, *Chaetoceros affinis*, *Chaetoceros curvisetus*, *Chaetoceros decipiens* i *Pseudo-nitzshia pseudodelicatissima*. Međutim, pojedine vrste zabilježene su u različitim ekološkim uvjetima. Tako je vrsta *Chaetoceros curvisetus* u 2015. godini korelirala s fosfatima i silikatima (Raos 2016), dok je 2016. korelirala s otopljenim kisikom. Vrsta *Pseudo-nitzshia pseudodelicatissima* u 2015. godini korelirala je s temperaturom i salinitetom (Raos 2016), a u 2016. godini samo s temepraturom. Vrsta *Chaetoceros affinis* u 2015. godini korelirala je s fosfatima (Raos 2016), dok 2016. nije zabilježena nikakva korelacija.

Rezultati su pokazali razlike između dubljih, udaljenijih i plićih, obalnih postaja što se tiče sastava mikrofitoplanktonskih te samih dijatomejskih zajednica. Pojedine dominantne vrste dijatomeja zabilježene na različitim postajama pokazuju preference prema određenim okolišnim čimbenicima što onda rezultira različitom distribucijom tih vrsta na određenim postajama.

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 planktonskih dijatomeja, uslijed toga i na primarnu produkciju čime su pak neizravno utjecali i na više trofičke razine.

5. ZAKLJUČAK

Rezultati ovog istraživanja pokazali su da je u zajednici fitoplanktona dominirala skupina dijatomeja s 98 morfotipova. Preliminarnim analizama zabilježen je veliki broj neidentificiranih penatnih dijatomeja. Dominantne vrste dijatomeja bile su vrste *Chaetoceros affinis, Chaetoceros curvisetus, Chaetoceros decipiens, Cylindrotheca closterium*, *Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima, Pseudo-nitzshia* cf. *fraudulenta, Bacteriastrum furcatum, Leptocylindrus mediterraneus, Psammodyction panduriforme i Nitzshia* sp.

Također, rezultati su pokazali da postoje razlike u zajednicama dijatomeja između uzorkovanih postaja s obzirom na udaljenost od kopna. Različitim vrstama dijatomeja odgovaraju različiti ekološki uvjeti u vodenom stupcu, prvenstveno koncentracija nutrijenata, što se odražava na njihovu prostornu distribuciju.

Istraživanja dijatomeja u južnom Jadranu su nekontinuirana što predstavlja problem jer je upravo taj dio Jadrana dinamičan te se zbog stalnih promjena u vodenom stupcu i konvekcije mijenja raspodjela i sastav fitoplanktona, pa samim time i dijatomeja što može dati potpuno krivu sliku o zajednici dijatomeja. Stoga su potrebna češća istraživanja kako bi se bolje razumjeli procesi koji se odvijaju u vodenom stupcu i njegov značaj na planktonske zajednice. Također, moglo bi se istražiti kako pojedine (dominantne) vrste dijatomeja reagiraju na promjene okolišnih čimbenika te pri tom uključiti i morfološke karakteristike.

6. LITERATURA

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 Research Part A. Oceanographic Research Papers, 40: 1143-1180.

Batistić M., Jasprica N., Carić M., Čalić M., Kovačević V., Garić R., Njire J., Mikuš J., Bobanović-Ćolić S. (2012): Biological evidence of a winter convection event in the South Adriatic: A phytoplankton maximum in the aphotic zone. Continental Shelf Research, 44: 57-71.

Bosak S., Godrijan J., Šilović T. (2016): Dynamics of the marine planktonic diatom family Chaetocerotaceae in a Mediterranean coastal zone. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 180: 69-81.

Car A. (2014.): Taxonomic composition of epiphytic diatoms (Baccillariophyta) from areas affected by invasive macroalgae *Caulerpa taxifolia* (Vahl) C. Agardh and *Caulerpa racemosa* (FORSSKÅL) J. Agardh (Adriatic Sea, Croatia). Doktorski rad. Sveučilište u Zagrebu.

Cetinić I., Perry M. J., D'Asaro E., Briggs N., Poulton N., Sieracki M. E. (2015): A simple optical index shows spatial and temporal heterogeneity in phytoplankton community composition during the 2008 North Atlantic Bloom Experiment. Biogeosciences, 12(7): 2179–2194.

Civitarese G., Gačić M. (2002): Had the eastern mediterranean transient an impact on the new production in the southern Adriatic. Geophysical Research Letters, 28(8): 1627-1630.

Clarke K. R., Warwick R. M. (2001): An Approach to Statistical Analysis and Interpretation. Change in Marine Communities, Primer-E: Plymouth.

Čalić M., Carić M., Kršinić F., Jasprica N., Pećarević M. (2013). Controlling factors of phytoplankton seasonal succession in oligotrophic Mali Ston Bay (south-eastern Adriatic). Environmental monitoring and assessment, 185(9): 7543-7563.

Field C. B., Behrenfeld M. J., Randerson J. T., Falkowski P. (1998): Primary production of the biosphere: integrating terrestrial and oceanic components. Science, 281(5374): 237-240.

Gačić M., Civitarese G., Ursella L. (1999): Spatial and seasonal variability of water and biochemical fluxes in the Adriatic Sea. In The eastern Mediterranean as a laboratory basin for the assessment of contrasting ecosystems (pp. 335-357), Springer Netherlands.

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. Continental Shelf Research, 22(14): 1897-1908.

Hallegraff G.M. (1984a): Coccolithophorids (calcareous nanoplankton) from Australian waters. Botanica Marina, 27: 229-247.

Ivančić I., Degobbis D. (1984): An optimal manual procedure for ammonia analysis in natural waters by the indophenol blue method. Water Research, 18(9): 1143–1147.

Kamptner E. (1941): Die Coccolithineen der Sudwestkuste von Istrien. Annalen des Naturhistorischen Museums in Wien, 51: 54-149.

Kelly M. (2000): Identification of Common Benthic Diatoms in Rivers. Field Studies Council, 9: 583-700.

Leder N., Smirčić A., Gržetić Z., Grbec B., Vilibić I. (1992): Dinamička svojstva akvatorija Palagruškog praga. Zbornik radova Simpozija o Palagruži, Split, 339-343.

Lee R. E. (2008). Phycology - fourth edition. Cambridge University Press. Cambridge.

Lelong A., Hégaret H., Soudant P., Bates S.S. (2012): Pseudo-nitzschia (Bacillariophyceae) species, domoic acid and amnesic shellfish poisoning: Revisiting previous paradigms. Phycologia, 51: 168-216.

Loeblich (III) A.R. (1982): General characteristics of phytoplankton: Dinoflagellates. In: Zaborsky O. R. ;Itsui A., Black C.C. (eds.), CRC handbook of biosolar resources, Vol. I, Part 2, Basic principles, 37-47. CRC Press, Boca Raton, Florida.

Loeblich III A. R., Sherley J. L. (1979): Observations on the theca of the motile phase of free-living and symbiotic isolates of *Zooxanthella Microadriatica* (Freudenthal) comb. nov. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 59(01): 195-205.

Ljubimir S., Jasprica N., Čalić M., Hrustić E., Dupčić Radić I., Car A., Batisić M. (2017): Interannual (2009–2013) variability of winter-spring phytoplankton in the open South Adriatic Sea: Effects of deep convection and lateral advection. Continental Shelf Research.

Marasović I., Pucher-Petković T., Petrova-Karadjova V., Bursa A., Dodge J. D., Hulburt E. M. (1990): Prorocentrum minimum (Dinophyceae) in the Adriatic and Black Sea. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 70(02): 473-476.

Marasović, I., Viličić, D., Ninčević, Ž. (1999). South Adriatic ecosystem: interaction with the Mediterranean Sea. In The Eastern Mediterranean as a Laboratory Basin for the Assessment of Contrasting Ecosystems (pp. 383-405), Springer Netherlands.

Marić Pfannkuchen D. (2013.): Potencijalno toksične dijatomeje roda *Pseudo-nitzshia* u sjevernom Jadranu: ekološke, taksonomske i molekularne značajke. Doktorski rad. Sveučilište u Zagrebu.

Mozetič P., Fonda Umani S., Cataletto B., Malej A. (1998): Seasonal and inter-annual plankton variability in the Gulf of Trieste (Northern Adriatic). ICES Journal of Marine Science, 55: 711-722.

Okada H., McIntyre A. (1977): Modern coccolithophores of the Pacific and north Atlantic Oceans. Micropaleontology, 23: 1-55.

Parsons T.R., Maita Y., Lalli C.M. (1984): Manual of chemical and biological methods for seawater analysis. Oxford; Pergamon: 187.

Quijano-Scheggia S., Garcés E., Sampedr, N., Van Lenning K., Fl, E., Andree K., Fortuño J.M., Camp J. (2008b): Identification and characterisation of the dominant *Pseudo-nitzschia* species (Bacillariophyceae) along the NE Spanish coast (Catalonia, NW Mediterranean). Scientia Marina, 72: 343-359.

Raos P. (2016): Mikroplankton u Južnojadranskoj kotlini. Diplomski rad. Sveučilište u Zagrebu

Reid F. M. H. (1980): Coccolithophorids of the North Pacific Central Gyre with notes on their vertical and seasonal distribution. Micropaleontology, 26: 151-176.

Revelante N., Gilmartin M. (1976a): The effect of Po river discharge on phytoplankton dynamics in the Northern Adriatic Sea. Marine Biology, 34: 259-271.

Revelante N., Gilmartin M. (1976b): Temporal succession of phytoplankton in the northern Adriatic. Netherlands Journal of Sea Research, 10(3): 377-396.

Round F. E., Crawford R. M., Mann D. G. (1990): Diatoms: biology and morphology of the genera. Cambridge University Press.

Schlitzer R. (2016): Ocean Data View, odv.awi.de

Sieburth J. M., Smetacek V., Lenz J. (1978): Pelagic ecosystem structure: heterotrophic compartments of the plankton and their relationship to plankton size fractions. Limnology and Oceanography, 23(6): 1256–1263.

Socal G., Boldrin A., Bianchi F., Civitarese G., De Lazzari A., Rabitti S., Totti C., Turchetto M. (1999): Nutrient, particulate matter and phytoplankton variability in the photic layer of the Otranto strait. Journal of Marine Systems, 20(1): 381–398.

Sournia A., Chrétiennot-Dinet M-J., Ricard M. (1991): Marine phytoplankton: how many species in the world ocean?. Journal of Plankton Research, 13(5): 1093-1099.

Trainer V.L., Bates S.S., Lundholm N., Thessen A.E., Cochlan W.P., Adams N.G., Trick C.G. (2012): *Pseudo-nitzschia* physiological ecology, phylogeny, toxicity, monitoring and impacts on ecosystem health. Harmful Algae, 14: 271-300.

Utermöhl H. (Schweizerbart: Stuttgart, 1958): Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik.

Viličić D. (1984): Phytoplankton communities of the south Adriatic in the greater vicinity of Dubrovnik. Acta Botanica Croatica, 43(1): 175-180.

Viličić D. (1985): A phytoplankton study of southern Adriatic waters near Dubrovnik for the period from June 1979 to 1980. Centro, 1(2): 35–56.

Viličić D., Vučak Z., Škrivanić A., Gržetić Z. (1989b): Phytoplankton blooms in the oligotrophic open south Adriatic waters. Marine Chemistry, 28(1-3): 89-107.

Viličić D. (1994): Distribution of phytoplankton biomass in relation to oceanographic conditions in the Adriatic Sea. Periodicum Biologorum, 96: 444-446.

Viličić D., Kršinić F., Bićanić Z. (1994): The diatom *Nitzschia sicula* (Castr.) Hust. and naupliar faecal minipellets in the Adriatic Sea. Marine Ecology, 15(1): 27–39.

Viličić D., Kršinić F., Carić M., Jasprica N., Bobanović-Čolić S., Mikuš J. (1995a): Plankton and hydrography in a moderately eutrophic eastern Adriatic bay (Gruž Bay). Hydrobiologia, 308(3): 243-243.

Viličić D., Leder N.,Gržetić Z., Jasprica N. (1995b): Microphytoplankton in the Strait of Otranto (eastern Mediterranean). Marine Biology, 123: 619–630.

Viličić D., Jasprica N., Carić M., Burić Z. (1998): Taxonomic composition and seasonal distribution of microphytoplankton in Mali Ston Bay (eastern Adriatic). Acta Botanica Croatica, 57(1): 29–48.

Viličić D., Marasović I., Mioković D. (2002): Checklist of phytoplankton in the eastern Adriatic Sea. Acta Botanica Croatica, 61(1): 57–91.

Viličić D. (2002): Fitoplankton Jadranskoga mora: biologija i taksonomija, Školska knjiga.

Viličić D. (2003): Fitoplankton u ekološkom sustavu mora, Školska knjiga.

Viličić D., Kuzmić M., Bosak S., Šilović T., Hrustić E., Burić Z. (2009). Distribution of phytoplankton along the thermohaline gradient in the north-eastern Adriatic channel; winter aspect. Oceanologia, 51(4).

Vugrin M. (2016) Taksonomska i prostorna raspodjela kokolitoforida u južnom Jadranu. Diplomski rad. Sveučilište u Zagrebu.

Vukadin I., Stojanoski L. (1996): Oceanografska svojstva mora oko otoka Palagruže. Zbornik radova simpozija o Palagruži, Split, 329-337.

Zingone A., Siano R., D'Alelio D., Sarno D. (2006): Potentially toxic and harmful microalgae from coastal waters of the Campania region (Tyrrhenian Sea, Mediterranean Sea). Harmful Algae, 5: 321-337.

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

7. ŽIVOTOPIS

Silvija Galović

Opći podaci:

Datum i mjesto rođenja: 10.09.1991., Zagreb

Prebivalište: Gornje Jesenje 113a, 49233 Gornje Jesenje

Mail: silvija.galovic@hotmail.com

Obrazovanje:

Osnovnu školu završila sam u Gornjem Jesenju. Srednjoškolsko obrazovanje sam stekla u Srednjoj školi Krapina; smjer opća gimnazija. Potom sam upisala integrirani preddiplomski i diplomski studij biologije i kemije (smjer nastavnički) na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu u Zagrebu. Nastavničku praksu iz biologije odradila sam u osnovnoj školi Lovre pl. Matačića u Zagrebu, dok sam nastavničko iskustvo iz kemije stekla u I. gimnaziji u Zagrebu.

Tijekom studija sudjelovala sam na Noći biologije.