Raspodjela i aktivnost prokariotskih mikroorganizama u crnogorskom dijelu južnog Jadrana

Redžić, Aleksandra

Doctoral thesis / Disertacija

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Split / Sveučilište u Splitu**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:226:493574

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

Repository of University Department of Marine Studies

SVEUČILIŠTE U SPLITU, SVEUČILIŠNI ODJEL ZA STUDIJE MORA
SVEUČILIŠTE U DUBROVNIKU
INSTITUT ZA OCEANOGRAFIJU I RIBARSTVO, SPLIT

Poslijediplomski sveučilišni studij Primijenjene znanosti o moru

Aleksandra Redžić

RASPODJELA I AKTIVNOST PROKARIOTSKIH MIKROORGANIZAMA U CRNOGORSKOM DIJELU JUŽNOG JADRANA

Doktorski rad

Split, 2016.

SVEUČILIŠTE U SPLITU, SVEUČILIŠNI ODJEL ZA STUDIJE MORA
SVEUČILIŠTE U DUBROVNIKU
INSTITUT ZA OCEANOGRAFIJU I RIBARSTVO, SPLIT

Poslijediplomski sveučilišni studij Primijenjene znanosti o moru

Aleksandra Redžić

RASPODJELA I AKTIVNOST PROKARIOTSKIH MIKROORGANIZAMA U CRNOGORSKOM DIJELU JUŽNOG JADRANA

Doktorski rad

Split, lipanj 2016.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Splitu, Sveučilišni Odjel za studije mora
Sveučilište u Dubrovniku **Doktorski rad**
Institut za oceanografiju i ribarstvo, Split
Poslijediplomski sveučilišni studij: Primijenjene znanosti o moru

Znanstveno područje: Prirodne znanosti
Znanstveno polje: Interdisciplinarne prirodne znanosti

RASPODJELA I AKTIVNOST PROKARIOTSKIH MIKROORGANIZAMA U CRNOGORSKOM DIJELU JUŽNOG JADRANA

Aleksandra Redžić
Institutu za biologiju mora u Kotoru

Sažetak

U ovom radu su iznesene prve spoznaje o raspodjeli i aktivnostima heterotrofnih bakterija, udjelima HNA i LNA bakterija u ukupnom broju heterotrofnih bakterija, bakterijskoj aktivnosti procijenjenoj temeljem bakterijske proizvodnje, brojnosti heterotrofnih nanoflagelata (HNF) kao glavnih predatora bakterija te brojnosti autotrofnih prokariota roda *Prochlorococcus* duž crnogorske obale južnog Jadrana. Vrijednosti gustoće heterotrofnih bakterija bile su u granicama od 10^4 do 10^6 st mL^{-1} što upućuje na zaključak da je more crnogorskog dijela južnog Jadrana imalo osobine oligotrofnog područja. Sezonska raspodjela gustoće heterotrofnih bakterija ukazuje na povišene brojnosti u proljetno-ljetnom razdoblju sa izraženim maksimumom brojnosti tijekom jeseni. Utvrđeni su široki rasponi udjela HNA (21% - 91%) i LNA (9% - 79%) grupa bakterija s dominacijom LNA bakterija tijekom proljeća, ljeta i jeseni na većini istraživanih postaja. Za vrijeme najviših vrijednosti bakterijske proizvodnje u vodenom stupcu su dominirale LNA bakterije što potvrđuje činjenicu da su LNA, kao i HNA bakterije, aktivna komponenta bakterijske zajednice te da predstavljaju važnu komponentu bakterioplanktona u oligotrofnim okolišima. Prisustvo stanica autotrofnog pikoplanktona roda *Prochlorococcusa* utvrđeno je na cijelom istraživanom području s najvišom brojnosti od 10 x 10^4 st mL^{-1} utvrđenom na priobalnim postajama u Kotorskom zaljevu. Analizom mehanizama kontrole ispitivanih prokariotskih mikroorganizama proizlazi da su uglavnom bili kontrolirani hranjivim tvarima, odnosno „botom up" kontrolom, što se moglo i očekivati s obzirom na oligotrofni trofički status ispitivanog područja.

(149 stranica, 49 slika, 17 tablica, 219 literaturnih navoda, jezik izvornika: hrvatski)

Rad je pohranjen u: Nacionalnoj sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu, Sveučilišnoj knjižnici u Splitu, knjižnici Instituta za oceanografiju i ribarstvo u Splitu i biblioteci Instituta za biologiju mora u Kotoru.

Ključne riječi: heterotrofne bakterije, bakterijska proizvodnja, HNA bakterije, LNA bakterije, heterotrofni nanoflagelati (HNF), *Prochlorococcus,* južni Jadran

Mentorica: prof.dr.sc. Nada Krstulović

Ocjenjivači:
1. Prof.dr.sc. **Mladen Šolić**, Institut za oceanografiju i ribarstvo, Split
2. Izv.prof.dr.sc. **Mirjana Skočibušić**, Sveučilište u Splitu, Prirodoslovno-matematički fakultet
3. Dr.sc **Danijela Šantić**, znanstveni suradnik, Institut za oceanografiju i ribarstvo, Split

Rad prihvaćen: 06. lipnja 2016.

BASIC DOCUMENT CARD

University of Split, University Department of Marine Studies
University of Dubrovnik **PhD thesis**
Institute of Oceanography and Fisheries, Split

PhD in Natural sciences, research field: Interdisciplinary Natural Sciences

DISTRIBUTION AND ACTIVITY OF PROCARYOTIC MICROORGANISM IN THE MONTENEGRIN PART OF THE SOUTHERN ADRIATIC SEA

Aleksandra Redžić

Institute of Marine Biology Kotor

Abstract

This paper presents the first findings of heterotrophic bacteria distribution and activity, the contribution of HNA and LNA bacterial groups, the abundance of heterotrophic nanoflagellates (HNF) and autotrophic prokaryote genus *Prochlorococcus* along the Montenegrin part of the southern Adriatic Sea. The values of the heterotrophic bacteria abundance were within 10^4-10^6 cells mL^{-1} suggesting that the Montenegrin part of the southern Adriatic Sea had characteristics of oligotrophic areas moustly. The seasonal distribution of bacterial abundance indicates increased number in the spring-summer period with significant maximum during the autumn. A wide ranges of contribution of the HNA (21% - 91%) and LNA (9% - 79%) bacteria with the domination of LNA bacteria during spring, summer and autumn at the most of the studied stations were obswerved. During the highest values of bacterial production the LNA bacteria dominated in the water column. It support the evidence that the LNA bacteria, such as the HNA, represents the active and important component of the bacterial community in the oligotrophic environments. The presence of autotrophic picoplankton genus *Prochlorococcus* was found throughout the study area with the highest values of 10^5 mL^{-1} cells at the coastal stations in the Bay of Kotor. To examine the mechanisms regulating bacterial abundance in the investigated area we observed the relationship between bacteria and HNF and between bacteria and chlorophyll a. The importance of bottom up control were observed as might be expected for the oligotrophic status of the studied areas.

(149 pages, 49 figures, 17 tables, 219 references, original in: Croatian)

Thesis deposited in: National and University Library in Zagreb, Split University Library, Library of Institute of oceanography and fisheries Split and Library of Institute of marine biology in Kotor

Keywards: Heterotrophic bacteria, Bacterial production, HNA bacteria, LNA bacteria, Heterotrophic nanoflagellates, *Prochlorococcus*, South Adriatic Sea

Supervisor: Prof. Nada Krstulović, PhD

Reviewers: 1. PhD/ Full Professor **Mladen Šolić**, Institute of Oceanography and Fisheries, Split
2. PhD/Associate Professor **Mirjana Skočibušić**, University of Split, Faculty of Science
3. PhD/research assistant **Danijela Šantić,** Institute of Oceanography and Fisheries, Split

Thesis accepted: 06. June 2016.

PREDGOVOR

Ova doktorska disertacija je izrađena u okviru nacionalnih projekata Ministarstva znanosti Crne Gore pod nazivom: „Biološki indikatori eutrofikacije u Bokokotorskom zaljevu“, „Biološke karakteristike područja pogodnih za marikulturu u Bokokotorskom zaljevu“, kao i Programa monitoringa stanja ekosistema Crne Gore tijekom 2009. i 2010. godine.

Analiza fizikalno-kemijskih parametara je obavljena u laboratoriju Instituta za biologiju mora u Kotoru dok je analiza bioloških parametara obavljena u Laboratoriju za mikrobiologiju Instituta za oceanografiju i ribarstvo u Splitu.

Zahvale

Iskreno se zahvaljujem mentorici prof. dr. sc. Nadi Krstulović na nesebičnoj pomoći, podršci i na ukazanom povjerenju te izuzetno korisnim savjetima tijekom izrade disertacije. Zahvaljujem joj na vremenu, idejama, motivaciji i stručnosti, koji su utjecali da moje stručno iskustvo bude produktivno i stimulativno.

Zahvaljujem članovima Povjerenstva, prof. dr. sc. Mladenu Šoliću, izv. prof. dr. sc. Mirjani Skočibušić i znanstvenoj suradnici dr. sc. Danijeli Šantić koji su pregledali moju doktorsku disertaciju i korisnim savjetima doprinijli njenom završnom obliku..

Želim se zahvaliti i svim kolegicama i kolegama Laboratorija za mikrobiologiju Instituta za oceanografiju i ribarstvo u Splitu na sversdnoj pomoći, suradnji i ukazanom prijateljskom odnosu tijekom mog boravka u Institutu. Posebnu zahvalnost dugujem kolegici Danijeli Šantić koja mi je stručnim savjetima, uloženim vremenom i trudom tijekom obrade podataka bila od izuetne pomoći.

Zahvaljujem kolegicama i kolegama s Instituta za biologiju mora u Kotoru, posebno profesoru Sretenu Mandiću na ukazanom povjerenju i podršci tijekom izrade disertacije.

Posebno hvala mojoj porodici koja mi je u svakom momentu bila oslonac pružajući mi moralnu podršku s puno razumijevanja i topline tijekom pisanja doktorske disertacije.

SADRŽAJ:

1. UVOD 1

1.1. HETEROTROFNE BAKTERIJE 1
1.2. HNA I LNA BAKTERIJE 2
1.3. AUTOTROFNI PIKOPLANKTON 3
1.4. MIKROBNA HRANIDBENA MREŽA 4

2. DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA JADRANA 8

3. CILJEVI ISTRAŽIVANJA 10

4. MATERIJALI I METODE 11

4.1.PODRUČJE I RAZDOBLJE ISTRAŽIVANJA 11
4.2. UZORKOVANJE 21
4.3. MJERENJE FIZIKALNIH PARAMETARA 22
4.4. MJERENJE KONCENTRACIJE HRANJIVIH SOLI 22
4.5. ODREĐIVANJE BROJNOSTI HETEROTROFNIH BAKTERIJA 22
4.5.1. ODREĐIVANJE UDJELA BAKTERIJSKIH GRUPA 23
4.5.2. ODREĐIVANJE BAKTERIJSKE PROIZVODNJE 23
4.6. ODREĐIVANJE BROJNOSTI HETEROTROFNIH NANOFLAGELATA 24
4.7. ODREĐIVANJE BROJNOSTI AUTOTROFNOG PIKOPLANKTONA 25
4.8. MEHANIZMI KONTROLE PROKARIOTSKE POPULACIJE 25
4.9. STATISTIČKE METODE OBRADE PODATAKA 27

5. REZULTATI 28

5.1.TERMOHALINE OSOBINE MORSKE VODE 28
5.2. BROJNOST HETEROTROFNIH BAKTERIJA 44
5.3. HNA I LNA HETEROTROFNE BAKTERIJE 58
5.4. BAKTERIJSKA PROIZVODNJA 65
5.5. HETEROTROFNI NANOFLAGELATI (HNF) 72
5.6. AUTOTROFNI PIKOPLANKTON – BROJNOST RODA PROCHLOROCOCCUS 80
5.7. MEHANIZMI KONTROLE PROKARIOTSKIH MIKROORGANIZAMA 89

6. RASPRAVA 100

6.1. OPĆA RASPRAVA 100
6.2.BROJNOST I RASPODJLA HETEROTROFNIH BAKTERIJA 102
6.3. UDJELI I RASPODJELA HNA I LNA BAKTERIJA 104
6.4. ODNOS BAKTERIJSKE PROIZVODNJE I UDJELA HNA I LNA BAKTERIJA 106
6.5. BROJNOST I RASPODJELA AUTOTROFNOG PIKOPLANKTONA RODA PROCHLOROCOCCUS 108
6.6. MEHANIZMI KONTROLE PROKARIOTSKIH MIKROORGANIZAMA 111

7. ZAKLJUČCI 118

8. LITERATURA 121

9. ŽIVOTOPIS 148

1.UVOD

Prokariotski mikroorganizmi pelagijala, heterotrofne bakterije i autotrofni pikoplankton, važna su komponenta planktonske zajednice, čija aktivnost i promjene u strukturi i biomasi utječu na funkcioniranje ekosustava i njegov metabolizam (Jochem i sur. 2004). Prema biološkim osobinama svrstavaju se u bakterioplankton, a po veličini u pikoplankton (veličine od 0.2-2μm).

Najbrojnija komponenta ove veličinske frakcije su heterotrofne bakterije koje su prepoznate kao vrlo važna komponenta pelagičke hranidbene mreže u smislu biomase, heterotrofne proizvodnje i aktivnosti (Šolić i sur. 2009). Imaju važnu ulogu u razgradnji organskih tvari i asimilaciji otopljene organske tvari (Cole i sur. 1988) te u transformaciji anorganskih spojeva u oblike pogodne za primarne proizvođače (Ducklow i sur. 1986).

Cijanobakterije odnosno autotrofni pikoplankton kao organizmi jedinstvenih pigmenata i mogućnosti preživljavanja i rasta pri različitim ekološkim uvjetima predstavljaju najstariju grupu organizama na Zemlji (Schopf, 2000). Naseljavale su skoro sve slobodne niše tijekom posljednjih 3.5 biliona godina pokazujući izvanredne sposobnosti prilagodbe na ekstremno različitim staništima. Oko polovice globalne primarne proizvodnje odvija se u oceanima (Whitman i sur. 1998) a upravo je autotrofni pikoplankton odgovoran za dvije trećine oceanske proizvodnje (Goericke & Welschmeyer, 1993).

1.1. Heterotrofne bakterije

Nove metode proučavanja mikroorganizama koje se koriste od 80-tih godina prošlog stoljeća pokazale su da bakterije imaju glavnu ulogu u kruženju ugljika i nutrijenata (Gasol i sur. 1998), te da čine glavnu komponentu hranidbenih odnosa u planktonskoj zajednici. Kao glavni konzumenti i remineralizatori, otopljenu organsku tvar (DOM) u oceanu (Pomeroy, 1974) ugrađuju u vlastitu biomasu i pretvaraju je u partikularnu formu (POM). Premda je bakterijski rast u najvećoj mjeri ograničen otopljenim organskim tvarima, pokazalo se da su i anorganske soli također značajan čimbenik u regulaciji stope rasta bakterijskih populacija (Coveney &

Wetzel, 1988). U prvom redu su to fosfati (PO_4^{3-}) i otopljeni anorganski dušik (DIN) poglavito u obliku amonijevog iona (NH_4^+). Ovisno o C/N i C/P omjerima u raspoloživom supstratu bakterije regeneriraju ili konzumiraju ograničavajuće hranljive soli kao što su dušične i fosforne (Caron, 1991).

Abundancija bakterija u morskom okolišu rezultat je trofičkog statusa određenog područja i varira u rasponu od 10^3 i 10^6 stanica mL^{-1}, dok u ekstremno eutrofnim područjima dostiže vrijednosti i do 10^8 stanica mL^{-1}.

Populacija bakterioplanktona ima visok potencijal rasta te vrlo brzo reagiraju na sve promjene u okolišu, odnosno bojnošću i aktivnosti prate sve promjene čak i na vrlo kratkoj vremenskoj skali. Bakterijska aktivnost koja se izražava kroz procjenu bakterijske proizvodnje (Jahnke & Craven, 1995) može imati veliki utjecaj na metabolizam ekosustava kroz ravnotežu između proizvodnje i respiracije (del Giorgio i sur. 1997). Za razliku od bakterijske brojnosti koja je relativno stalna duž širokog trofičkog gradijenta, bakterijska aktivnost je vrlo promjenjiva čak i u oligotrofnim vodama. Stoga je razumijevanje bakterijske aktivnosti, koja je promjenljiva u vremenu i prostoru, važno u razumijevanju funkcioniranja morskih ekosustava.

1.2. HNA i LNA bakterije

Uvođnjem metode protočne citometrije u istraživanje mikroorganizama morskog ekosustava utvrđeno je postojanje dvije glavne grupe bakterijskih stanica temeljeno na specifičnom sadržaju nukleinske kiseline (Longnecker i sur. 2005). Bakterije koje imaju veći sadržaj DNA te emitiraju veću količinu fluorescencije na protočnom citometru svrstavaju se u HNA (high nucleid acid content) grupu bakterija, dok su bakterije koje imaju manji sadržaj DNA i nižu emisiju fluorescencije nazvane LNA (low nucleid acid content) grupa bakterija (Gasol i sur. 1999; Gasol & Moràn, 1999). Najprije se smatralo da HNA čini metabolički aktivnu komponentu bakterioplanktona, jer posjeduju u prosijeku pet puta više deoksiribonukleinske kiseline (Jellett i sur. 1996) od LNA grupe za koju se pretpostavljalo da su inaktivne, mrtve ili dormantne stanice (Gasol i sur. 1999; Lebaron i sur. 2001; Lebaron i sur. 2002). U istraživanjima Lebaron i sur. (2001) utvrđeno je da je udio HNA stanica u ukupnoj aktivnosti bio ponekad čak i 100% ukupne bakterijske proizvodnje.

Rezultati novijih istraživanja pokazuju da su LNA bakterije aktivne jednako kao i ostali članovi mikrobne zajednice kako u morima (Zubkov i sur. 2001, 2004) tako i u slatkim vodama (Nishimura i sur. 2005). Istraživanja oligotrofnih sustava i otvorenih oceana pokazala su da LNA čine znatan udio u ukupnom heterotrofnom metabolizmu i da mogu imati metaboličku aktivnost i stopu rasta sličnu HNA bakterijama (Zubkov i sur. 2001), te da čine integralnu komponentu mikrobnog lanca ishrane (Jochem i sur. 2004).

U istraživanjima Zubkov i sur. (2001) grupa HNA bakterija podijeljena je na dvije podgrupe: HNA-hs i HNA-ls. Utvrđeno je da se viša sinteza proteina od strane HNA-hs stanica može objasniti njihovom većom unutarstaničnom biomasom proteina. Time je potvrđena pretpostavka da različite bakterije unutar njihove složene zajednice ugrađuju aminokiseline stopom proporcionalnom njihovoj sintezi proteina. Činjenica da je najveća specifična stopa rasta utvrđena za najmanje stanice unutar LNA grupe objašnjava njihovu dominaciju u vodama koje su siromaše nutrijentima. Istim istraživanjima utvrđeno je također da je aktivost unutar LNA i HNA-hs grupe bila slična u sloju piknokline i u dubljim slojevima mora unatoč petostrukoj razlici u sadržaju proteina.

1.3. Autotrofni pikoplankton

Istraživanja primarne proizvodnje u 4 veličinske frakcije (>10 μm, 10-3 μm, 3-0.2 μm i <0.2 μm) pokazala su da je za najveći dio primarne proizvodnje odgovorna frakcija <2 do 3 μm, odnosno autotrofni pikoplankton (Li i sur. 1983). Njihova abundancija se kreće u rasponu od 10^3 do 10^4 stanica mL^{-1} (Larsson & Hagstrom 1982). Zbog svoje sposobnosti da obavljaju fotosintezu pri plavozelenom dijelu spektra (Wood, 1985) brojnije su uglavnom u dubljim slojevima vode, a najveći udio u ukupnoj fotosintetičkoj biomasi imaju na granici dosega svjetla u vodenom stupcu (Jochem & Zeitschel 1993).

Autotrofni pikoplankton čine dva roda cijanobakteria: rod *Prochlorococcus* (Chisholm i sur. 1988) i rod *Synechococcus* (Waterbury i sur. 1979) zajedno sa grupom pikoeukariotskih algi (Andersen i sur. 1996)

U Mediteranu koji je u najvećem dijelu oligotrofan, autotrofni pikoplankton predstavlja značajan udio u ukupnoj fitoplanktonskoj biomasi i proizvodnji (Magazzu & Decembri, 1995, Agawin i sur. 2000).

Izvanredan ekološki značaj roda *Prochlorococcus* bio je predmetom mnogih istraživanja, koja su se usmjerile na neke od niza intrigantnih sposobnosti ovih organizama, kao što je sposobnost da žive na dubini do 200m (García-Fernández i sur. 2004). To podrazumijeva da se *Prochlorococcus* bori sa prirodnim gradijentom različitih parametara duž vodenog stupca, uključujući jačinu svjetlosti koja opada za skoro 4 reda veličine od površine oceana do kraja eufotične zone. Ovi uvjeti su potaknuli nastajanje brojnih različitosti u fotosintetičkom aparatu omogućavajući ovim mikroorganizmima efikasno iskorištavanje vrlo niskih razina svjetlosne energije (García-Fernández i sur. 2004). Fotosintetički aparat je funkcionalno vrlo sličan višim biljkama ili zelenim algama (La Roche i sur. 1996). Čine ga kombinacija Chl a2, Chl b2 (Georicke & Repeta, 1992), a u nekim stanicama i mala količina tipa fikoeritrina (Partensky i sur. 1999a). S dijametrom stanica manjim od jednog mikrona (0.5 do 0.7 μm) predstavlja najmanji poznati fotosintetički organizam u morskim ekosustavima (Partenski i sur. 1999 b). Visok omjer površine i volumena pruža kompetitivnu prednost u uvjetima ograničene svjetlosti i izvora nutrijenata (Johnson & Lin, 2009.) te je i najbrojniji fotosintetički organizam na Zemlji. Rasprostranjen je u pojasu od 40° južne do 40° sjeverne geografske širine. Njegova rasprostranjenost je uvjetovana jačinom svjetlosti, temperaturom, nutrijentima i koncentracijom klorofila a (Li, 2009). Naseljava oceanska, obalna i estuarna područja (Veldhius & Kraay 1990) ali je najbrojniji u toplim oligotrofnim vodama tropskih i subtropskih mora (Campbell i sur. 1994; Blanchot & Rodier, 1996; Blanchot & Charpy, 1997; Partensky i sur. 1999 a) s temperaturom iznad 13°C, ali niske abundancije u zonama u kojima dominira hladna površinska struja i jak „upwelling“.

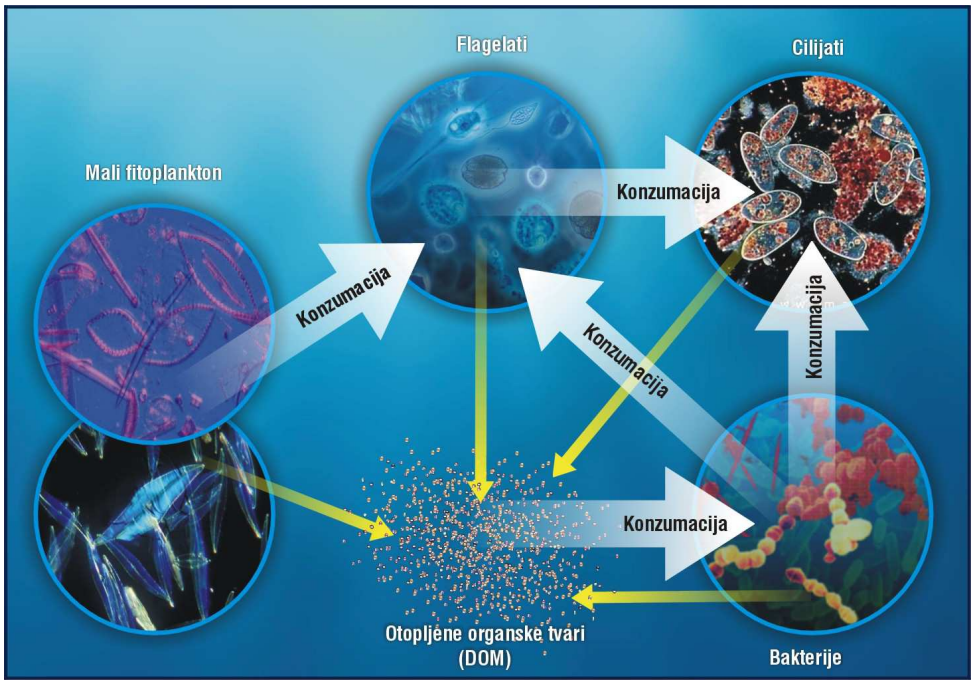
1.4. Mikrobna hranidbena mreža

Jedno od važnih područja istraživanja u oceanografiji je proučavanje i razumijevanja odgovora ekosustava na promjene ekoloških čimbenika te njihove uloge u kontroli kruženja tvari i energije u moru. U funkcioniranju morskog ekosustava vrlo je važna sudbina primarne

proizvodnje, odnosno putevi protoka fotosintezom fiksiranog ugljika prema višim trofičkim razinama.

Prema Cushingu (1989) u stratificiranim vodama u kojima ne dolazi do prevelike raspršenosti fitoplanktonskog ekskreta dominira mikrobna hranidbena mreža. U njoj je dominantna proizvodnja piko- i nanoautotrofnog planktona, a u sebi uključuje i male eukariotske alge i autotrofni pikoplankton, kao i heterotrofne bakterije i njihove protističke predatore. U mikrobnoj hranidbenoj mreži, heterotrofne bakterije remineralizuju NH_4^+, što zahtijeva relativno visok protok otopljenog organskog dušika (DON). NH_4^+ koji nastaje kao rezultat bakterijske aktivnosti i aktivnosti protista te pogoduje razvitku piko- i nanoautotrofnog planktona.

U sustavima siromašnim s DON dominira drugi tip hranidbene mreže odnosno „mikrobni krug". U tim uvjetima bakterije koriste polisaharide koje fitoplankton izlučuje na površinu svojih stanica, te ulaze u kompeticiju za NH_4^+ s fitoplanktonom. Ideja mikrobnog kruga (Azam i sur. 1983) kao zasebnog protoka energije u morskom ekosustavu temelji se na hipotezi da se značajan dio primarne proizvodnje koji se izlučuje u okoliš kao DOC vraća u glavni lanac ishrane putem mikrobnog lanca, čije su glavne komponente bakterije → HNF→ cilijati. „Mikrobni krug" kao zatvoreni sustav između bakterija i bakteriovornih protista zapravo je sastavni dio veće mikrobne hranidbene mreže (Sl.1.4.1.), a njegovo održavanje ovisi o zalihama DON. Kada su zalihe DON male, heterotrofne bakterije su u kompeticiji s fitoplanktonom za NH_4^+ što uglavnom vodi k zatvorenom sustavu, odnosno dominaciji mikrobnog kruga.



Slika 1.4.1. Mikrobna hranidbena mreža (prema Krstulović i Šolić, 2006)

Dinamika mikrobnog kruga uključuje nekoliko ekoloških odnosa kao što su komensalizam, kompeticija i predacija. U pojednostavljenom prikazu, bakterije koriste DOM kojeg izlučuje fitoplankton, a zajedno s fitoplanktonom asimiliraju anorganske soli iz okoliša. Heterotrofni nanoflagelati jedu bakterije i ostale pikoplanktonske komponente mikrobne zajednice, dok su zajedno s nanoplanktonskim autotrofima i sami plijen cilijata i drugih mikrozooplanktonskih predatora. Istovremeno svi ovi organizmi izlučuju u okoliš organsku tvar u otopljenom ili partikularnom obliku, koju bakterije remineralizuju do anorganskih oblika.

Razvojem novih metoda u oceanologiji, utvrđeno je da kroz mikrobni krug prolazi oko 50% primarne proizvodnje. Hipoteza „mikrobnog kruga" bazira se na Sheldonovom modelu veličine čestica (Sheldon i sur. 1972) po kojoj organizmi za ishranu koriste čestice koje su za jedan red veličine manje od njih samih. Time se postiže najbolja efikasnost i iskoristivost u ishrani a energetski gubitci su najmanji.

Zajedno s autotrofnim pikoplanktonom, heterotrofne bakterije su isključivo plijen i kao takve sudjeluju u protoku energije ka višim trofičkim razinama. Najznačajniji predatori pikoplanktonskih organizama (bakterija, autotrofnog pikoplanktona, eukariotskog

pikoplanktona) su nanoplanktonski protisti čija je veličina između 2-20 μm (u prvom redu heterotrofni nanoflagelati - HNF), te mikroplanktonski protisti čija je veličina od 20-200 μm (u prvom redu cilijati). Veći bakterivorni protisti (veći flagelati i cilijati) značajniji su predatori bakterioplanktona većih dimenzija.

Bakterijsku brojnost u najvećoj mjeri kontrolira grazing od strane heterotrofnih nanoflagelata (Fenchel, 1980). Landry & Hassett (1982) su pokazali da su HNF manji od 10 μm najefikasniji u selektivnom grazingu malih bakterija (< 0.1 μm^3) koje su i inače najbrojnije u bakterijskoj zajednici (Gonzàlez, 1996). Stopa kojom HNF konzumiraju bakterije u korelaciji je s abundacijom bakterija (McManus & Fuhrman, 1988), a grazing ide dotle dok koncentracija bakterija - plijena ne padne ispod granice pri kojoj je grazing energetski isplativ. Šolić & Krstulović (1994) su utvrdili da je rast populacije HNF bio ovisniji o bakterijskoj proizvodnji nego o njenoj abundaciji, te govore o graničnoj proizvodnji odnosno minimalnoj proizvodnji bakterija kod koje populacija HNF može rasti.

Brojna su istraživanja pokazala da udio pigmentiranih nanoflagelata (PNF) u „grazingu" može biti značajan u određenim uvjetima (Kirchman, 2000). U oligotrofnim sustavima, anorganske soli mogu ograničiti i primarnu i bakterijsku proizvodnju, dovodeći do kompeticije između autotrofa i heterotrofa. U takvim sustavima, miksotrofni nanoflagelati mogu predstavljati dominantnu trofičku strategiju (Nygaard & Tobiesen, 1993; Riemann i sur. 1995; Thingstad i sur. 1996).

Predacija može djelovati i stimulativno na bakterijski rast. Direktno, reduciranjem kompeticije između samih bakterija, kao i putem obogaćivanja medija otopljenom organskom tvari kroz ekskreciju (Taylor i sur. 1985), te indirektno, tako što će ekskrecija predstavljati važan izvor hranjiva za primarne proizvođače (Berman i sur. 1987; Caron i sur. 1988). U literaturi je također poznata pojava pod nazivom „trofičke kaskade" ili „efekt kaskada". Cilijati kao glavni predatori HNF, mogu posredno smanjiti bakterijski „grazing" od strane HNF što će rezultirati porastom broja bakterija (Dolan & Gallegos, 1991).

Može se zaključiti kako predacija ne samo da kontrolira gustoću bakterijskih populacija već istodobno određuje i bakterijsku biomasu kroz selektivan grazing stanica određene veličinske kategorije.

2. DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA JADRANA

Prva proučavanja bakterijske flore Jadranskog mora započela su krajem 19-og i početkom 20-og stoljeća, od strane međunarodnih bakteriologa. Tek nakon drugog svjetskog rata hidrobakteriologija se u Jugoslaviji počela razvijati kao veoma važna biološka disciplina. Osnivaju se znanstveno-istraživački centri u Splitu, Rijeci, Zagrebu, Novom Sadu, Beogradu, Sarajevu, Kotoru i Ohridu. Nakon što je dr.sc.Vlaho Cviić 1947. godine osnovao Laboratorij za morsku bakteriologiju u Institutu za oceanografiju i ribarstvo u Splitu, istraživanja se usmjeravaju na organsku proizvodnju u morskom ekosustavu. Dati su mnogi prilozi o ulozi bakterija u razgradnji organske tvari i ospkrbi fito i zooplanktona potrebnim hranjivima (Cvijić, 1953; Ristić & Pucher-Petković, 1969). U tu su svrhu studirane dnevne, sezonske, horizontalne i vertikalne raspodjele aerobnih i anaerobnih bakterija na području srednjeg i južnog Jadrana, te posebice njihova aktivnost u ciklusima sumpora i dušika (Cviić, 1955, 1963; Ristić & Letić, 1972; Ristić & Šobot, 1972; Šobot, 1972; Krstulović & Šobot, 1981, 1986).

Raspodjelu heterotrofnih bakterija u sjevernom Jadranu istraživali su Fuks & Devescovi (1985).

Prva istraživanja ukupnog broja bakterija u srednjem Jadranu, te udjela bakterijske biomase u ukupnoj mikrobnoj biomasi kao i bakterijske proizvodnje u Jadranu provela je Krstulović (1989). U tom su radu po prvi put u Jadranu korištene moderne metode u procjeni ukupnog broja i proizvodnje bakterija (epifluorescentna mikroskopija), kao i procjena udjela bakterijske biomase u ukupnoj mikrobnoj biomasi (metoda mjerenja staničnog ATP-a). Navedeni parametri prikazani su u odnosu na sezonske i vertikalne promjene u obalnom i otvorenom području srednjeg Jadrana. Pored toga u ovom radu (Krstulović, 1989) je istraživan odnos bakterijske i primarne proizvodnje.

Istraživanja mikrobnih zajednica u Jadranu posljednjih 20-tak godina značajno su proširena. Istraživanjima brojnosti bakterija duž trofičkog gradijenta oligotrofno- eutrofno na području srednjeg Jadrana utvrđene su vrijednosti brojnosti bakterija u rasponu od 0,1 x 10^6 do 3,43 x10^6 st mL^{-1} u oligotrofnom pučinskom području i od 1,09 x 10^6 do 12,83 x 10^6 st mL^{-1} u eutrofnom obalnom području (Krstulović i sur. 1997). Slični rezultati su utvrđeni i za područje sjevernog Jadrana (duž profila rijeka Po-Rovinj) (Fuks, 1995). Pored prostornih promjena u brojnosti

bakterija postoji niz literaturnih podataka koji govore o sezonskim promjenama ovog parametra, a koje su u prvom redu rezultat kolebanja klimatskih čimbenika, odnosno temperature mora. Temperatura mora djeluje izravno na specifični rast bakterijske populacije, te djeluje posredno na bakterije uvjetujući brzinu primarne proizvodnje, odnosno izlučivanje otopljene organske tvari. Naime, sezonske promjene bakterijskih populacija uglavnom su vezane za promjene u veličini i aktivnosti fitoplanktona. Utvrđena je povezanost između fitoplanktona i bakterija za vrlo široki geografski i vertikalni raspon, kao i duž trofičkog gradijenta (Krstulović i sur. 1995). Postoji i čitav niz podataka koji ukazuju na sezonska kolebanja bakterija u Jadranu sa značajno izraženim proljetno-ljetnim maksimumima i zimskim minimumima (Krstulović, 1992; Fuks, 1995; Šolić i sur. 2001), osim u područjima gdje su te pravilnosti poremećene jačim utjecajem s kopna (Šolić & Krstulović, 1994). Posljednjih 10-ak godina iztraživanja su bila usmjerena na mehanizme kontrole bakterija na prostornoj i trofičkoj skali (Šolić i sur. 2001, 2008, 2009, 2010; Šestanović i sur. 2004; Bojanić i sur. 2005).

Nadalje, u Jadranu je istraživana i bakterijska proizvodnja za koju su utvrđeni rasponi vrijednosti za srednji Jadran od 4,06 do 12,28 μgC $L^{-1}dan^{-1}$ (Krstulović, 1992; Šolić & Krstulović, 1994), te za sjeverni Jadran od 0,24 do 80,40 μgC $L^{-1}dan^{-1}$ (Fuks, 1995).

Proučavani su i mehanizmi kontrole bakterijske zajednice te su kao značajni čimbenici kontrole bakterijske zajednice na širem području sjevernog i srednjeg Jadrana utvrđeni: temperatura, salinitet, brojnost heterotrofnih nanoflagelata kao glavnih predatora bakterija te količina i dostupnost hranjiva (Šolić & Krstulović, 1994; Fuks, 1995; Šolić i sur. 2008). Posebice su studirani heterotrofni nanoflagelati kao najznačajniji predatori bakterija, te stopa „grazinga" bakterija. Šolić & Krstulović (1994) su utvrdili da je na HNF otpadalo u prosjeku 83% od ukupnog „grazinga" bakterija, a taj se postotak tijekom godine kretao u rasponu od 66 do 99%. Analiziran je i protok bakterijske i fitoplanktonske biomase kroz hranidbeni lanac, kao i brzina obrtanja njihovih biomasa (Šolić & Krstulović, 1994).

Uvođenje metode protočne citometrije u istraživanje mikrobne zajednice obalnih i otvorenih područja Jadrana započelo je tijekom 2005. (Šantić i sur. 2011, 2013) i 2006. godine (Radić i sur. 2009). To je omogućilo dobivanje prvih rezultata o brojnosti roda *Prochlorococcus* (Radić i sur. 2009), jer su se istraživanja zajednice autotrofnog pikoplanktona u Jadranu do tada uglavnom odnosnila na istraživanja brojnosti i raspodjele roda *Synechococcus*. Na području sjevernog Jadrana utvrđena je brojnost roda *Prochlorococcus* u rasponu od 0 st mL^{-1} do 8 x 10^3

st mL^{-1} tijekom proljeća, ljeta i jeseni (Radić i sur. 2009). Istraživanjem sezonskog ciklusa na području srednjeg i južnog Jadrana utvrđena je brojnost u rasponu od 0 do 10^4 st mL^{-1} za obalna područja i 10^3 do 10^4 za otvorena područja (Šantić i sur. 2011). Također su istraživani ekološki čimbenici koji utječu na abundanciju *Prochlorococcocus*-a pri čemu je utvrđeno da je na njihovu brojnost najviše utjecala dostupnost nutrijenata, kao posljedica dinamike vodenih masa, i temperatura, a nešto manje „graizing" heterotrofnih nanoflagelata (Šantić i sur. 2011). Istraživanja pikoplanktonske raspodjele u području Albanskog dijela južnog Jadrana pokazala su postojanje jakog utjecaja hidrografskih uvjeta zbog upliva tople Levantinske Intermedijarne Vode u sloju vodene mase između 100 i 350 m., što je rezultiralo pojavom povećane abundancije *Prochlorococcocus*-a do 10 x 10^3 st mL^{-1} (Šilović i sur. 2011).

Metoda protočne citometrije omogućila je i razlikovanje određenih podgrupa (HNA i LNA) unutar skupine heterotrofnih bakterija. Prva istraživanja o spodjeli HNA i LNA grupa te njihov udio u ukupnoj bakterijakoj aktivnosti dali su Šantić i sur. (2012). Udjeli HNA i LNA skupina u odnosu na bakterijsku proizvodnju pokazali su istovremeno povećanu vrijednost bakterijske proizvodnje i prevladavanje LNA grupe bakterija u mikrobnoj zajednici u većini oligotrofnih područja. Nasuprot tome, u obalnim područjima koja su opisana kao mezotrofna ili eutrofna, HNA grupa bakterija bila je dominantna u mikrobnoj zajednici tijekom razdoblja najviše bakterijske proizvodnje. Ovi podaci ukazuju na važan udio obje bakterijske podgrupe u ukupnoj aktivnosti heterotrofnog bakterioplanktona.

3. CILJEVI ISTRAŽIVANJA

Dosadašnja istraživanja planktonske komponente Bokokotorskog zaljeva i obalnog pojasa crnogorskog dijela južnog Jadrana uglavnom su obuhvaćala istraživanja fitoplanktona i zooplanktona, odnosno mikroplanktonske i mezoplanktonske komponente. Kako su prokariotski mikroorganizmi vrlo značajni u protoku energije i ugljika ka višim trofičkim razinama kao i u svim biogeokemisjkim procesima, cilj ovog rada je bio proširiti istraživanja na heterotrofne i autotrofne prokariotske mikroorganizme. Stoga je planirano utvrditi grupe prokariotskih mikroorganizama, odrediti njihovu dinamiku i aktivnost na različitim prostornim

i vremenskim skalama, te odrediti čimbenike koji utječu na strukturnu i funkcionalnu povezanost ispitivanih zajednica. U tu svrhu specifični ciljevi ovog istraživanja opisani su kako slijedi:

1. Utvrditi osnovne značajke sezonske i vertikalne raspodjele prokariotskih mikroorganizama (bakterija i autotrofnog pikoplanktona roda *Prochlorococcus*) te heterotrofnih nanoflagelata (HNF-a) kao glavnih predatora prokariotskih mikroorganizama;
2. Utvrditi udjele HNA i LNA bakterija u ukupnoj bakterijskoj zajednici;
3. Temeljem bakterijske proizvodnje utvrditi aktivnost bakterija i proučiti udjele HNA i LNA bakterija u razdobljima najveće aktivnosti kako bi se utvrdio njihov značaj u bakterijskoj aktivnosti;
4. Razmotriti mehanizme kontrole prokariotskih mikroorganizama kroz proučavanje odnosa s HNF-om i utjecaje osnovnih fizikalnih i kemijskih čimbenika na raspodjelu i aktivnost ispitivanih prokariotskih mikroorganizama.

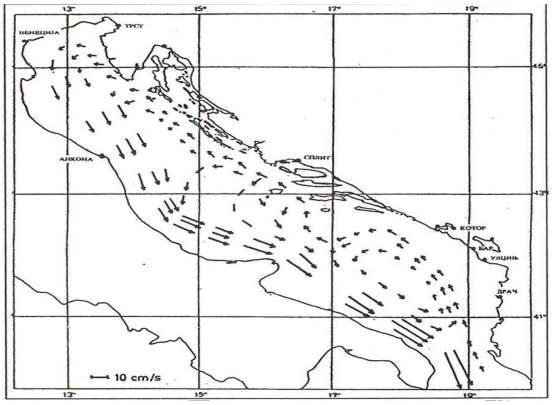
4. MATERIJALI I METODE

4.1. Područje i razdoblje istraživanja

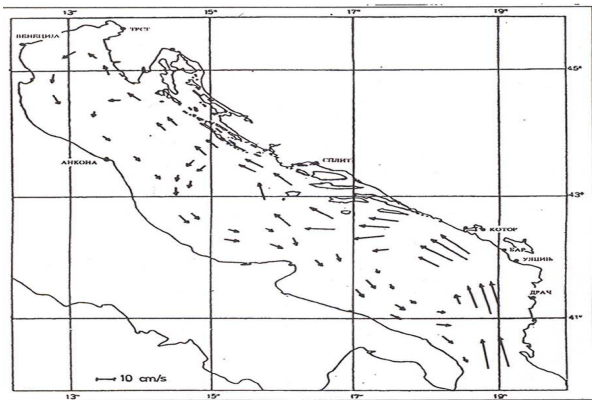
Crnogorska obala, koja se prostire duž istočnog dijela Jadranskog mora, između Hrvatske i Albanije, ima ukupnu dužinu od 335 km sa oko 288 km kontinentalne obale i 48 km ukupne dužine manjih otoka. Obala je izgrađena od stijena različite otpornosti (fliš, krečnjaci i dolomiti), s klifovima i potkapinama, isprekidana brojnim prirodnim pješčanim i šljunkovitim plažama a može se podijeliti na osnovu fizičkih kriterija na tri glavna dijela: Bokokotorski zaljev, srednji dio odnosno Budvansku rivijeru i Barsko – Ulcinjsko područje koje se prostire do rijeke Bojane.

Morske struje u Jadranu dio su sredozemnih morskih strujanja i relativno su slabog intenziteta. Uz istočnu obalu nalaze se tople struje, a uz zapadnu hladnije zbog transporta hladnih alpskih voda (Zore-Armanda, 1956).

Glavne struje otvorenog mora duž obale Crne Gore kreću se u smjeru sjevrozapada tijekom cijele godine (Slika 4.1.1.) a jačeg su inteziteta tijekom zime (oko 40cm/s).



Ljeto



Zima

Slika 4.1.1. Struje otvorenog mora u Jadranskom bazenu tijekom ljeta i zime (Zore-Armanda, 1956.)

Sustav površinskih struja u Jadranu posljedica je razdiobe termohalinih svojstava. Uz istočnu obalu Jadrana javlja se ulazna (SZ) struja koja transportira slanu levantinsku vodu u Jadran, dok se uz zapadnu obalu Jadrana odvija istjecanje manje slane vode iz Jadrana. Gradijentske struje su osnovni uzrok opće ciklonalne cirkulacije, pri čemu je ulazna struja zimi više izražena uz istočnu, a izlazna struja ljeti uz zapadnu obalu Jadrana. Takav sezonski ritam je uglavnom pod utjecajem gradijentskih struja, ali i sezonskih promjena vjetra. Ljeti preovladava SZ vjetar (maestral) koji pojačava izlazni tok morske vode u površinskom sloju, dok zimi na strujanje utječe JI vjetar (jugo), koji pojačava ulazni tok morske vode. U središnjim i dubokim slojevima Jadrana strujanje se također odvija pod utjecajem termohalinih gradijenata. Uz istočnu obalu odvija se ulazak levantinske vode visokog saliniteta, dok se u pridnenim slojevima Otrantskih vrata javlja izlazno strujanje južnojadranske vode (Zore-Armanda, 1963, 1964).

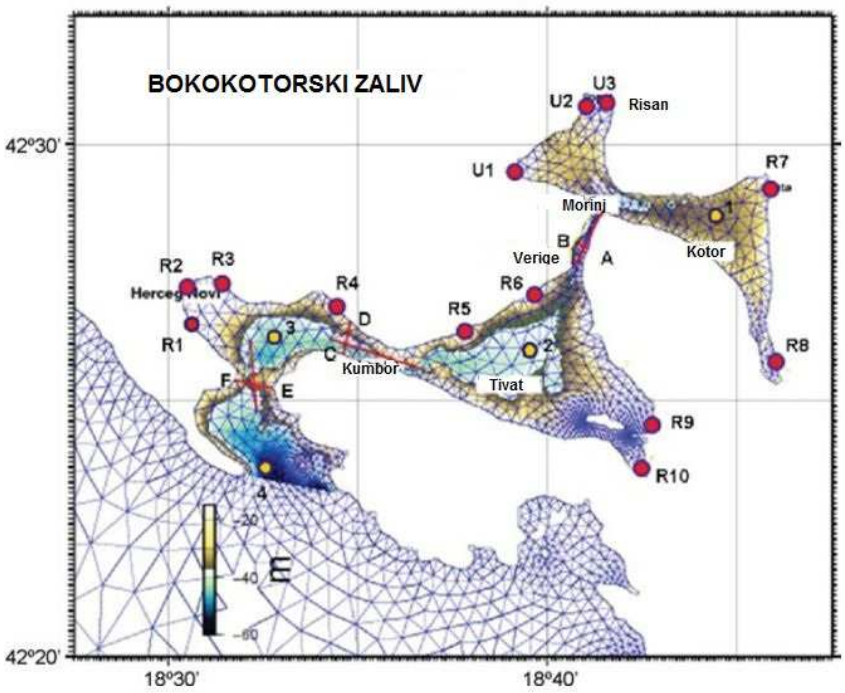
Temperatura mora na površini i na morskom dnu nikad ne pada ispod 12°C na području otvorenog mora zbog velike zapremine vode ovog dijela Jadranskog mora. Površina mora može dostići temperature od 27°C tijekom ljeta, iako ispred ušća rijeke Bojane nikad ne dostiže temperature preko 22°C zbog utjecanja hladnije slatke vode. Rijeka Bojana također utječe i na

razinu saliniteta koji je u tom području niži (20.7 ‰) nego u ostalim djelovima otvorenog mora (38.5 ‰) (Artegiani i sur. 1997). Osim stalnog oticanja preko rijeke Bojane, ostatak primorskog odvodnog sustava sastoji se uglavnom od polu-stalnih kratkih i strmih ispusta duž strana vijenaca primorskih planina.

Bokokotorski zaljev je smješten u jugoistočnom dijelu Jadrana. Zbog svog specifičnog položaja i duboke uvučenosti u kopno, u zaljevu su utvrđeni znatno drugačiji uvjeti nego u otvorenom moru ispred njega.

U reljefu morskog dna zaljeva razlikuju se dvije razine: litoral i kontinentalna podina. S obzirom na strukturu i vertikalno pružanje obalnog dijela, može se reći da u čitavom Kotorskom (izuzev manjeg uskog pojasa na istočnoj strani), Risanskom i Tivatskom (izuzev jednog dijela na istočnoj strani – uvale Kukuljina i Krtole) i Hercegnovskom (izuzev malog dijela na sjevernoj strani) dijelu zaljeva nema litorala, već se od same površine mora i obalne linije spuštaju kameniti obronci strmih strana, tako da se u tim dijelovima strma kontinentalna površina prostire do samog dna zaljeva.

Bokokotorski zaljev se sastoji od tri cjeline a zbog kraškog reljefa kojim je okružen, može se smatrati glavnim inputom slatke vode u južnom Jadranu (Bellafiore i sur. 2011). Tijekom istraživanja Bellafiore i sur. (2011) zaljev je definiran kao područje koje je pod jakim utjecajem slatke vode (Region of Freshwater Influence) čiji dotok može snažno mjenjati temperaturu, salinitet i tok struja (Slika 4.1.2.)



Slika 4.1.2. Dotoci slatke vode u Bokokotorski zaljev

Dotoci slatkih voda u zaljev su različiti. U zaljev se ulijeva 7 rijeka (R) a registrirana su i tri podzemna izvora (U) (Sl. 4.1.2.). Tijekom cijele godine aktivne su rijeka Škurda (R8), Široka rijeka (R9), rijeka Sutorina (R2) i potok Rujevo u Morinju, dok su ostale aktivne samo za vrijeme kasne jeseni, zime ili ranog proljeća. Svi ovi izvori dobivaju vodu iz Lovćenskog i Orjenskog masiva te njihova aktivnost ovisi o atmosferskim uvjetima (Magaš, 2002).

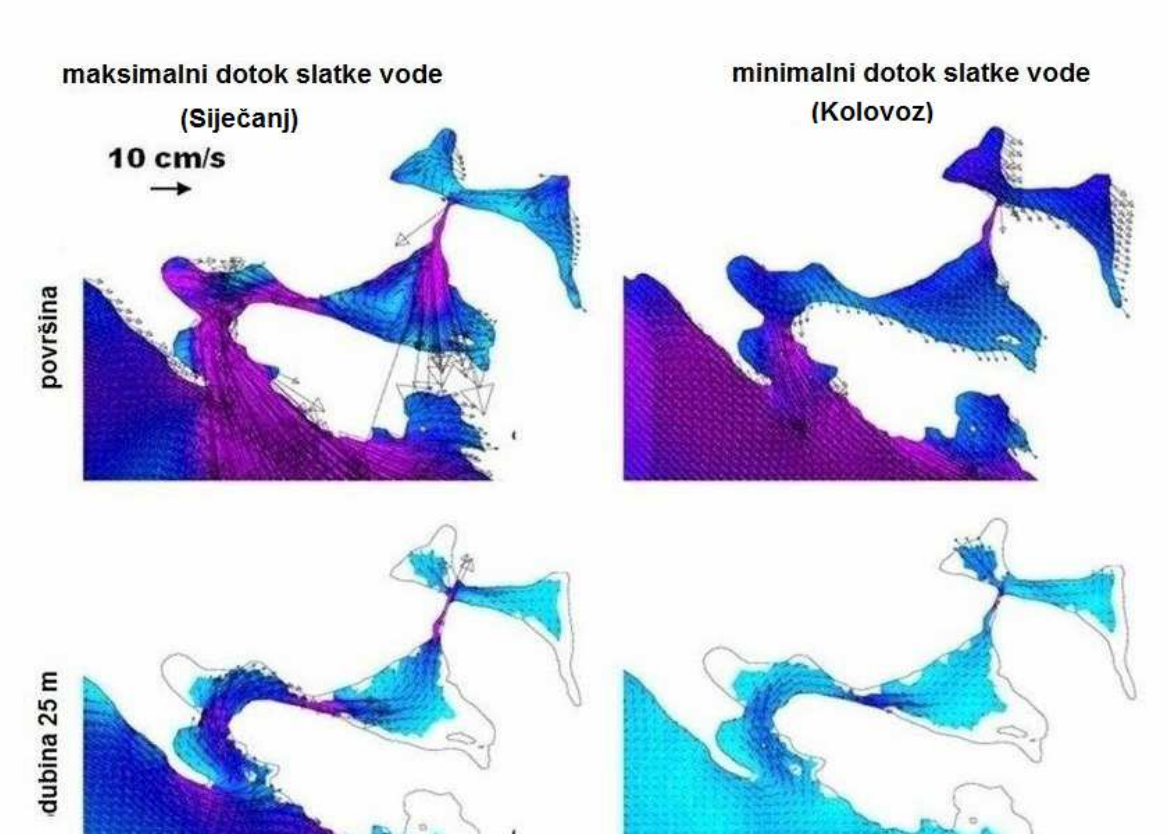
Voda porijeklom od padavina nosi sa sobom i veliku količinu suspendiranih čestica koje utječu na ekološke uvjete u morskoj vodi, na njenu boju, prozirnost, salinitet, gustoću i sl. U periodu kada je priliv kopnenih voda najintenzivniji, površinska voda (0-2 m dubine) u Kotorskom zaljevu, odlikuje se vrlo sniženim salinitetom (3,24‰). Priliv kopnenih voda u vanjskom dijelu zaljeva znatno je manji, pa je i pojava smanjenja saliniteta manje izražena, te je u Tivatskom zaljevu minimalna vrijednost saliniteta 12,68‰ a u Hercegnovskom 18,0‰ (Regner i sur. 1998). Tijekom ljetnih mjeseci, kada je mali priliv kopnenih voda, a veliko isparavanje, maksimalne vrijednosti saliniteta na površini iznose: u Kotorskom zaljevu 35,46‰, u Tivatskom 37,39‰ i u Hercegnovskom 37,67‰. Razlike u pridnenim slojevima mnogo su manje: u Kotorskom zaljevu, gdje su razlike tijekom godine najveće u površinskim slojevima,

te razlika između maksimalne i minimalne vrijednosti saliniteta iznosi 32,22‰ dok je u pridnenim slojevima ta razlika 10,39‰ (Regner i sur. 1998).

Prozirnost morske vode je promjenjiva te iznosi u rasponu od 3m do 16m dubine vodenog stupca (Regner i sur. 1998), što je u korelaciji sa gustoćom fitoplanktona, ali ne uvijek, već ovisi o količini anorganskih i organskih čestica, i stupnju homogenosti gustoće gornjih slojeva.

Oceanografski uvjeti u Bokokotorskom zaljevu ovise o stupnju izloženosti vjetru, količini dotoka slatke vode s okolnih površina te iz podmorskih ispusta slatke vode. Ovi čimbenici utječu na snagu i pravac površinskih struja kao i struja morskog dna te na vertikalnu raspodjelu temperature i saliniteta.

Tok morske struje može se podijeliti na dva sloja. U gornjem sloju prevladava izlazno, a u pridnenom sloju ulazno strujanje. Odstupanja su moguća kao posljedica utjecaja vjetra. Ljeti je podjednaka vjerojatnost ulazne i izlazne struje u oba sloja, dok tijekom ostalog dijela godine postoji razlika u fazama strujanja između dva spomenuta sloja za 180º. Dotoci slatke vode uzrokuju estuarnu cirkulaciju zimi, dok su vjetrovi uzročnici iste tijekom ljetnjih mjeseci. U srednjem sloju vodenog stupca karakteristično je najsporije strujanje, dok je u površinskom i pridnenom sloju strujanje izraženije. U Hercegnovskom zaljevu strujanje prvenstveno ovisi o utjecaju otvorenih voda Crnogorskog primorja, dok na površinske slojeve lokalno utječu vjetrovi (Mandić i sur. 2001).

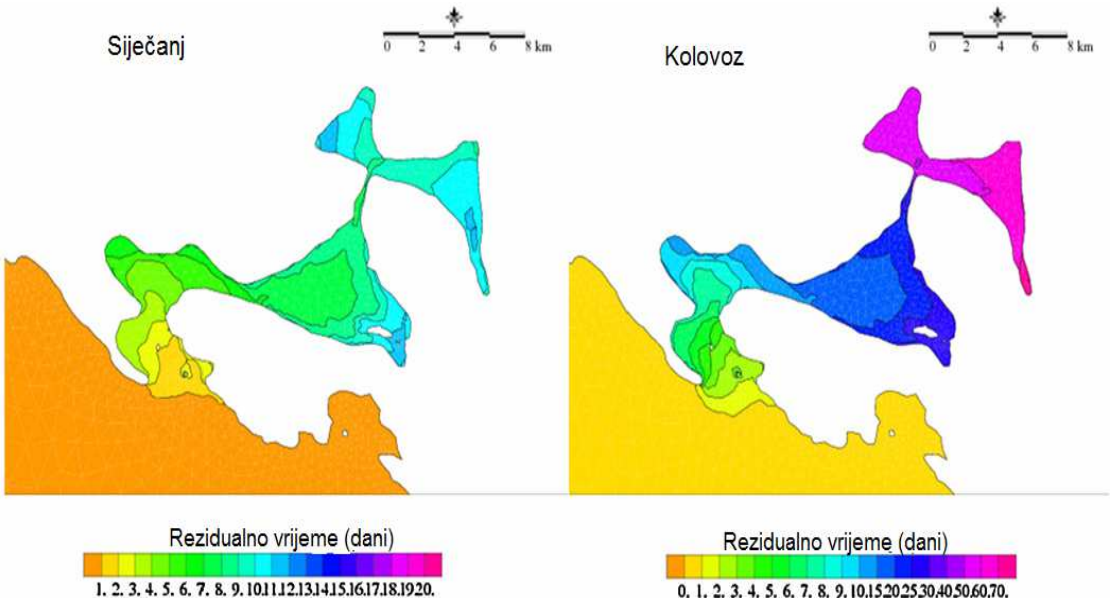


Slika 4.1.3.Generalni model morskih struja: površina (gornja slika) i dubina 25 m (donja slika) u Bokokotorskom zaljevu za različitu dinamiku dotoka slatke vode (siječanj i kolovoz) (izvor: Bellafiore i sur. 2011)

Tijekom 2008. godine Bellafiore i sur. (2011) su proveli hidrodinamička istraživanja Bokokotorskog zaljeva koja su kao rezultat dala hidrodinamičke modele koji opisuju složeni tok morskih struja u površinskom sloju i na dubini od 25 m (Slika 4.1.3.). Prema modelu intezivnije morske struje prisutne su u površinskom sloju tijekom obje sezone (siječanj i kolovoz). Najviše vrijednosti brzine morskih struja vide se u području tjesnaca Verige u razdoblju maksimalnog dotoka slatke vode (> 20 cm s^{-1}). Slabiji intenzitet morskih struja u zimskom periodu uočava se u Kotorskom zaljevu, izuzev predjela gdje je utjecaj rijeke Ljute veći. U Tivatskom zaljevu generalni tok morskih struja je izlaznog smjera, uz povremene pojave kružnog strujanja zbog konfiguracije obale (Bellafiore i sur. 2011). U Hercegnovskom zaljevu na dubini od 20 m i u pridnenom sloju prevladava ulazni smjer struja nešto slabijeg

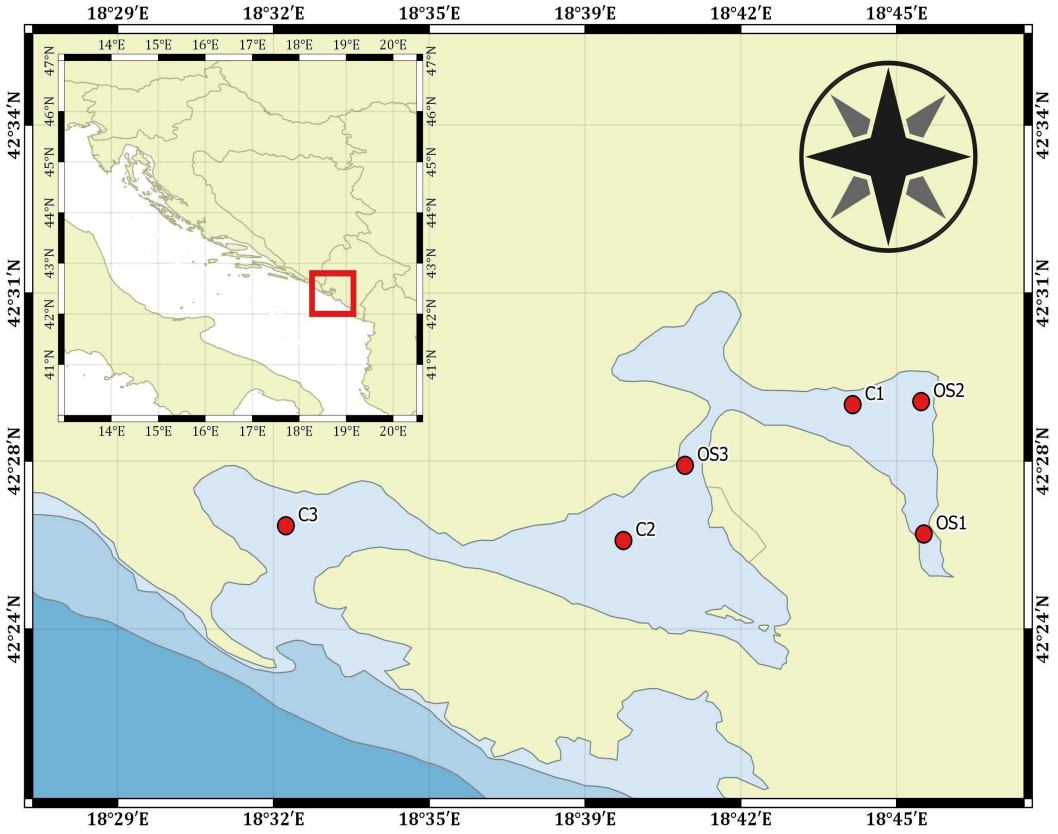
inteziteta. Ulazna pridnena struja u stvari je kompenzacijska struja kao posljedica intenzivne izlazne struje u površinskom sloju kao i dolazećeg plimnog vala (ZBM, 1984).

Rezidualno vrijeme (RV) predstavlja vrijeme koje je neophodno da se svaki element ograničenog sustava zamijeni drugim elementom (Cucco & Umgiesser, 2006), odnosno vrijeme potrebno da se voda određenog područja zamijeni drugom vodom. U razdoblju maksimalnog dotoka slatke vode, izračunato rezidentno vrijeme iznosi 7 dana u vanjskom dijelu zaljeva do 12 dana u unutrašnjim djelovima Kotorskog i Risanskog, kao i obalnim dijelovima Tivatskog zaljeva. U periodu minimalnog dotoka slatke vode prisutne su velike horizontalne varijacije u vrijednostima RV. Unutrašnji dio Kotorskog zaljeva može dostići vrijednosti RV do 70 dana, dok Tivatski zaljev ima vrijednosti RV od 15 do 25 dana. Na ulazu u Bokokotorski zaljev u periodu minimalnog dotoka slatke vode vrijednosti RV iznose oko 5 dana (Bellafiore i sur. 2011) (Slika 4.1.4.).

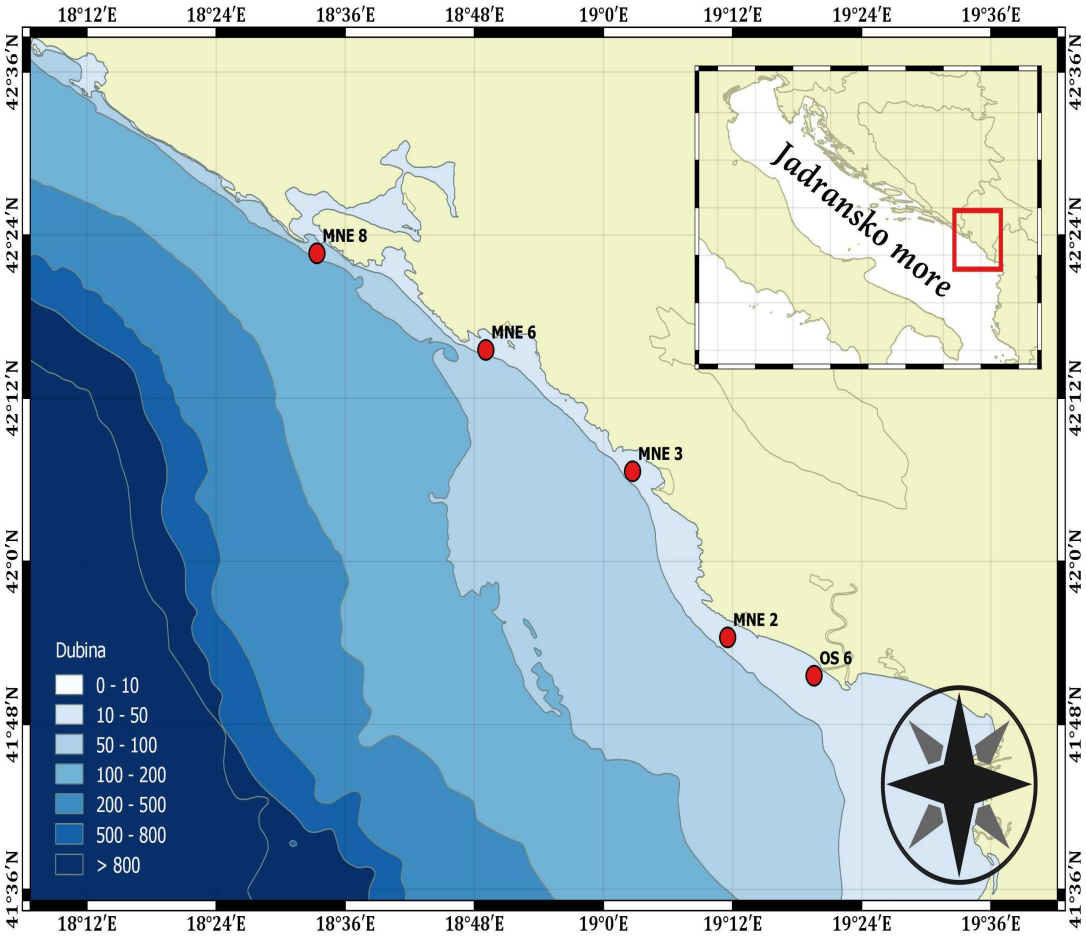


Slika 4.1.4. Računalni prikaz rezidualnog vremena (RV) u Bokokotorskom zaljevu za različitu dinamiku dotoka slatke vode: lijevo – prosijek struja za siječan uslovljen maksimalnim dotokom slatke vode; desno - prosijek struja za kolovoz uslovljen minimalnim dotokom slatke vode (izvor: Bellafiore i sur. 2011).

Istraživanjem je obuhvaćeno ukupno 11 postaja, 6 unutar zaljeva i 5 postaja priobalnog područja južnog Jadrana (Slika 4.1.5. i 4.1.6.). Istraživanje je trajalo u razdoblju od kolovoza 2009. do siječnja 2011., a uzorkovanje je obavljeno u okviru programa monitoringa životne sredine Crne Gore za 2009. i 2010. godinu.



Slika 4.1.5. Istraživano područje Bokokotorskog zaljeva



Slika 4.1.6. Istraživano područje otvorenog dijela južnog Jadrana

Tablica 4.1.1. Geografske koordinate i dubine postaja

Postaja	Geografska širina	Geografska dužina	Dubina (m)
OS-1	42° 26’ 18”	18° 45’ 65”	20
C-1	42° 28’ 51”	18° 44’ 47”	30
OS-2	42° 29’ 25”	18° 45’ 75”	20
OS-3	42° 27’ 46”	18° 40’ 57”	30
C-2	42° 25’ 98”	18° 39’ 53”	40
C-3	42° 26’ 28”	18° 32’ 68”	40
MNE-8	42° 22’ 66”	18° 33’ 36”	80
MNE-6	42° 15’ 55”	18° 49’ 06”	40
MNE-3	42° 06’ 62”	19° 02’ 70”	40
MNE-2	41° 54’ 40”	19° 11’ 54”	27
OS-6	41° 51’ 58”	19° 19’ 57”	9

Tablica 4.1.2. Kalendar uzorkovanja tijekom 2009. godine

Postaja	Mjesec				
	VIII	IX	X	XI	XII
OS1	+	+	+	+	+
OS2	+	+	+	+	+
C1	+	+	+	+	+
OS3	+	+	+	+	+
C2	+	+	+	+	+
C3	+		+	+	+
MNE8	+		+	+	
MNE6				+	
MNE3				+	
MNE2	+		+	+	
OS6	+	+	+	+	+

Tablica4.1.3. Kalendar uzorkovanja tijekom 2010 i 2011 godine

Postaja	Mjesec												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I
OS1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
OS2	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
C1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
OS3	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
C2	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
C3	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
MNE8	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
MNE6					+	+	+	+	+	+	+		
MNE3				+	+	+		+	+	+	+		
MNE2			+	+	+	+	+	+	+	+	+		
OS6				+	+	+	+	+	+	+	+		

4.2. Uzorkovanje

Uzorci su prikupljani Niskin crpcima volumena 5 L s odgovarajućih dubina:

postaja **OS-1**:0 m, 5 m, 10 m, 20 m

postaja **OS-2**:0 m, 5 m, 10 m, 20 m

postaja **OS-3**:0 m, 5 m, 10 m, 20 m, 30 m

postaja **OS-6**:0 m, 4 m, 9 m

postaja **C-1**: 0 m, 5 m, 10 m, 20 m, 30 m

postaja **C-2**: 0 m, 5 m, 10 m, 20 m, 30 m, 40 m

postaja **C-3**: 0 m, 5 m, 10 m, 20 m, 30 m, 40 m

postaja **MNE-2**: 0 m, 5 m, 10 m, 20 m, 27 m

postaja **MNE-3**: 0 m, 5 m, 10 m, 20 m, 30 m, 40 m

postaja **MNE-6**: 0 m, 5 m, 10 m, 20 m, 30 m, 40 m

postaja **MNE-8**: 0 m, 10 m, 20 m, 30 m, 40 m, 80 m

Uzorci za heterotrofne bakterije i heterotrofne flagelate konzervirani su filtriranim formaldehidom (kroz filter promjera pora 0,2 μm) do konačne koncentracije od 2 %. Do obrade su pohranjeni u hladnjaku na temperaturi od 4°C. Uzorci za autotrofni pikoplankton

konzervirani su filtriranim gluteraldehidom (kroz filter promjera pora 0,2 μm) do konačne koncentracije od 0,2 %. Do obrade su pohranjeni na temperaturi od –20° C.

4.3. Mjerenje fizikalnih parametara

Mjerenje temperature, saliniteta, sadržaj kisika i zasićenost vode kisikom obavljeno je *in situ* sa Multiline P4 WTW sondom kao i HQ40d Multi-Parameter Digital Meter sondom. Prozirnost je mjerena pomoću Secchi diska promjera 30 cm.

4.4. Mjerenje koncentracije hranjivih soli

Hranjive soli analizirane su u okviru rada Laboratorija za hemiju, biohemiju i molekularnu biologiju Instituta za biologiju mora u Kotoru upotrebom Perkin-Elmer UV/VIS spektrofotometra (Lambda 2). Određivanje nitrata, nitrita, fosfata i silikata vršeno je pomoću Strickland & Parsons (1972) metode modificirane prema „Protocols for the joint global ocean flux study (JGOFS) core measurements (1994).

4.5. Određivanje brojnosti heterotrofnih bakterija

Određivanje bakterijskih parametara, brojnosti cijanobakterija i heterotrofnih nanoflagelata obavljeno je u Laboratoriju za morsku mikrobiologiju, Instituta za oceanografiju i ribarstvo u Splitu.

Ukupan broj bakterija u vodenom stupcu određivan je metodom direktnog brojenja protočnim citometrom (Marie i sur. 1997; Lebaron i sur. 1998) marke Beckman Coulter EPISC XL-MCL pri visokoj protočnoj brzini od 1 do 1,2 μL s^{-1}. Uzorci su bojani 30 minuta u mraku epifluorescentnom DNA bojom SYBR Green I (Molecular probes Inc.) do konačnog razrjeđenja 1:10 000. Za kalibraciju intenziteta fluorescencije korištene su fluorescentne kuglice (Level-II Epics Division of Coulter Corporation Hialeah, Florida). Bakterijske stanice razlikovale su se od ostalih čestica zahvaljujući poznatom položaju na dvoparametrijskom citogramu gdje je na osi x signal veličine (Side sccatter-SC) te na osi y intenzitet zelene

fluorescencije DNA boje SYBR Green I. Brojnost bakterija (broj stanica po mililitru) izračunata je prema jednadžbi:

$$N = \frac{n}{t(s) \times PB}$$

Gdje je:

N-ukupan broj bakterijskih stanica (st mL $^{-1}$)

n-ukupan broj izbrojenih stanica

t-trajanje analize na protočnom citometru

PB- protočna brzina uzorka koja se kalibrira prije analize

4.5.1. Određivanje udjela bakterijskih grupa

Udjeli HNA i LNA grupe heterotrofnih bakterija određeni su također metodom protočne citometrije. Zahvaljujući različitim jakostima fluorescencije u zelenom kanalu bakterijske grupe se odvajaju jedna od druge te se rezultati udjela pojedine grupe u populaciji heterotrofnih bakterija izražavaju postotkom.

4.5.2. Određivanje bakterijske proizvodnje

Za mjerenje bakterijske proizvodnje korištena je metoda ugradnje radioaktivnog (RA) timidina (Fuhrman & Azam, 1980, 1982). Metoda se zasniva na inkubaciji uzoraka u koje je dodan radioaktivni timidin kako bi se obilježila stanična DNA koja se proizvodi tijekom inkubacije. Na taj način količina ugrađenog timidina u stanici predstavlja mjeru bakterijskog rasta. Ugrađeni timidin definira se kao ukupni materijal koji se ne otopi u trikloroctenoj kiselini (TCA), a potječe od dodanog RA timidina.

U 10 mL uzorka dodan je RA timidin (Amercham, SA 86 Ci mmol^{-1}) do konačne koncentracije od 5,8 nmola. Potom su uzorci inkubirani sat vremena u mraku na sobnoj temperaturi. Inkubacija je prekinuta dodavanjem 100 μL 36% filtriranog formaldehida. Nakon toga uzorci su profiltrirani kroz celuloza-nitratne filtere promjera pora 0,2 μm. Filteri su isprani 7 puta 1 mL ledeno hladnom TCA. Potom su stavljeni u scintilacijske posudice u koje se dodalo još 5

mL scintilacijskog koktela (Filter-count^{TM}, Packard). Mjerenje je izvršeno na instrumentu Tri-Carb, Beta Liquid Scintillation Analyzer, TR 2500, Canbera-Packard.

Broj molova inkorporiranog timidina (UT) izračunat je prema jednadžbi:

$$UT = \frac{(dpmu - dpmk)}{V \times t \times SA}$$

UT-ugrađeni timidin (mmol L^{-1} x h^{-1})

dpmu-broj radioaktivnih raspada u minuti u uzorku

dpmk-broj radioaktivnih raspada u minuti u kontroli

V-volumen uzorka (L)

t-vrijeme inkubacije (h)

SA-specifična aktivnost timidina (dpm $nmol^{-1}$) (1 μCi = 2,22 x 10^6 dpm)

Konverzija UT u produkciju stanica izvršena je po jednadžbi :

$$P_s = UT \times FK$$

P_s-bakterijska proizvodnja izražena u broju stanica (st L^{-1} h^{-1})

FK-faktor konverzije (1,7 x 10^{18} st mol^{-1}) (Šolić, 1993)

4.6. Određivanje brojnosti heterotrofnih nanoflagelata

Broj heterotrofnih nanoflageltata određivan je metodom epifluorescentne mikroskopije, uz bojanje s DAPI DNA bojom koja pod UV svijetlom fluorescira (Porter & Feig, 1980). Uzorku mora od 10 mL dodano je 0,5 mL DAPI (konačno razrjeđenje 1:500). Nakon 10-ak minuta bojanja uzorak je profiltriran vakuumom < 2 kPa kroz polikarbonatni filter veličine pora 0,8 μm, prethodno obojan irgalan crnom bojom. Nakon toga filter je prebačen na predmetno stakalce između dvije kapi imerzijskog ulja. HNF su brojani na ukupnom povećanju od 1000 x. Po svakom uzorku izbrojano je najmanje 100 vidnih polja. Brojnost HNF (broj stanica po mililitru) izračunata je prema jednadžbi:

$$N = \frac{n \times f}{a \times V}$$

Gdje je:

N-ukupan broj HNF (st mL^{-1})

n- ukupan broj izbrojenih stanica

F-faktor mrežice (površina filtera /površina mrežice)

a- broj izbrojenih vidnih polja

V- volumen uzorka (mL)

4.7. Određivanje brojnosti autotrofnog pikoplanktona

Uzorci za određivanje autotrofnog pikoplanktona analizirani su bez dodatka boje protočnim citometrom marke Beckman Coulter EPISC XL-MCL pri visokoj protočnoj brzini od 1 do 1,2 µL s^{-1}. Za kalibraciju inteziteta fluorescencije dodavane su fluorescentne kuglice (Level-II Epics Division of Coulter Corporation Hialeah, Florida). Zahvaljujući posjedovanju pigmenata, odnosno emisiji klorofila stanice roda *Prochlorococcus* je moguće razlikovati od ostalih čestica u uzorku. Brojnost autotrofnog pikoplanktona (broj stanica po mililitru) računata je prema jednadžbi:

$$N = \frac{n}{t(s) \times PB}$$

Gdje je:

N-ukupan broj autotrofnog pikoplanktona (st mL^{-1})

n-ukupan broj izbrojenih stanica

t- trajanje analize na protočnom citometru

PB-protočna brzina uzorka koja se kalibrira prije analize

4.8. Mehanizmi kontrole prokariotske populacije

Provjera kontrole prokariotske populacije je obavljena korištenjem empirijskog modela prema Gasolu (1994). Model se zasniva na određivanju maksimalno ostvarive brojnosti (MOB) i srednje postignute brojnosti (SPB) heterotrofnih nanoflagelata kao najznačajnijih bakterijskih predatora (Slika 4.8.1.).

Gasol & Vaque (1993) su na osnovi analize brojnih literaturnih podataka odredili maksimalnu koncentraciju HNF koja se može postići unutar brojnosti bakterija od 1 x 10^5 do 3,2 x 10^7 st mL^{-1}. Kod navedene brojnosti bakterija utvrdili su da je odnos brojnosti bakterija i HNF statistički značajan. Potom su odredili maksimalnu koncentraciju HNF (MAX HNF), koju mogu postići kod navedene brojnosti bakterija, kao linearnu funkciju brojnosti bakterija (B):

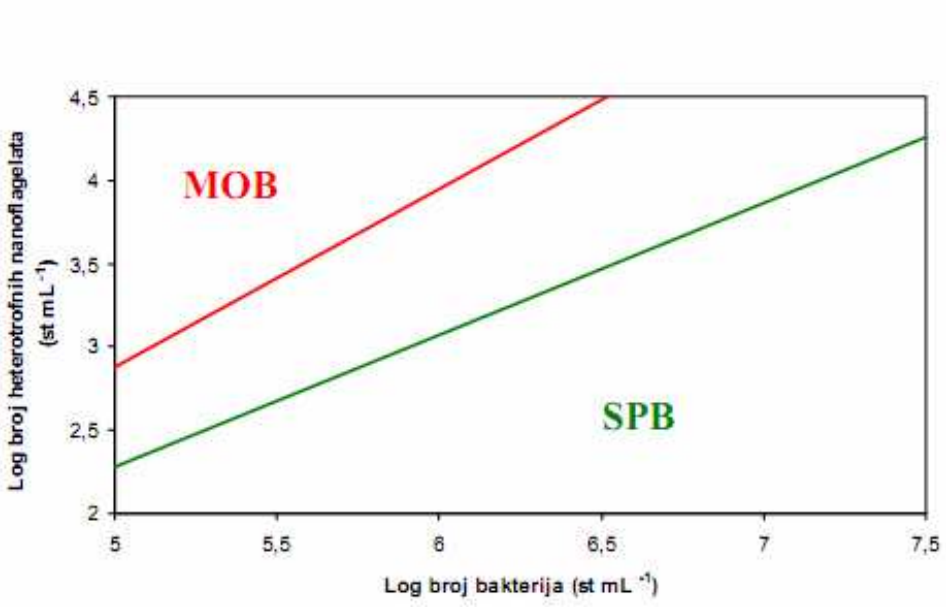
$$\text{MAX log HNF} = -2{,}47 + 1{,}07 \log B$$

Gasol je na temelju ovog izraza odredio MOB pravac koji pokazuje odnos između brojnosti predatora i plijena (Slika 4.8.1.). Za sve točke koje se nalaze na pravcu MOB, vrijedi da se kompletna bakterijska proizvodnja uklanja putem HNF grazinga. Za svaku brojnost HNF koja je veća od predviđene (ona koja je iznad MOB pravca), vrijedi da HNF predacijom uklanja više bakterija nego što ih se proizvede, te dolazi do smanjenja bakterijske brojnosti. Kada su uzete srednje vrijednosti bakterija i HNF iz različitih sredina, dobilo se da između njih postoji značajna korelacija (Gasol, 1994). Nagibi tih jednadžbi bili su značajno manji od 1, što upućuje na zaključak da porast bakterijske brojnosti nije popraćen proporcionalnim porastom HNF brojnosti. Dakle, kada su se sezonske promjene (koje uključuju razdoblja ″bottom-up″ ili kontrola supstratom i ″top-down ″ ili kontrola predacijom) integrirale, dobio se pravac koji predstavlja prosječnu brojnost (SPB). Dakle, SPB pravac predstavlja referentnu crtu za interpretaciju relativne važnosti ″bottom-up″ i ″top-down″ kontrole brojnosti HNF.

Jednadžba koja opisuje SPB pravac u morskim ekosustavima (Gasol & Vaque, 1993) je:

$$\text{Log HNF} = -1{,}67 + 0{,}79 \log B$$

Metoda se prema tome sastoji u tome da se na graf na kojem su već naneseni MOB i SPB pravci nanesu točke koje predstavljaju odnos bakterijske i HNF brojnosti. Točke u blizini MOB crte ukazuju na kontrolu HNF resursima, odnosno kontrolu bakterija predacijom, dok točke ispod SPB ukazuju na kontrolu HNF predacijom, odnosno neku drugu kontrolu bakterija (Slika 4.8.1.).



Slika 4.8.1. Odnos brojnosti heterotrofnih bakterija i heterotrofnih nanoflagelata po Gasolu (1994)

4.9. Statističke metode obrade podataka

Za slaganje podataka, numeričku i grafičku obradu kao i za osnovnu statističku obradu, korišteni su računalni paketi Microsoft Excel (Microsoft Corporation, 2003) i Statistica 7.0 (StatSoft Inc. 2004).

Za određivanje odnosa abiotičkih i biotičkih čimbenika koji su utjecali na brojnost autotrofnog i heterotrofnog pikoplanktona korišten je Pearson's rank korelacijski indeks. Korelacija je izračunata uz pomoć računalnog paketa Statistica 7.0 (StatSoft Inc. 2004).

Promjenljivost fizičko-kemijskih te bioloških parametara u vremenu i prostoru izražena je metodom analize glavnih komponenata. Polazne varijable u metodi glavnih komponenata se nazivaju manifestnim varijablama. U ovom radu manifestne varijable su vremenski nizovi temperature, saliniteta i brojnosti heterotrofnog pikoplanktona izmjereni na postajama duž crnogorskog dijela južnog Jadrana na standardnim oceanografskim dubinama (Tablica 4.1.1.). Prvi korak u primjeni metode glavnih komponenata je izrada matrice koja predstavlja normaliziranu manifestnu matricu. Normalizacija je postupak kojim se vremenski niz *k*-te varijable pretvara u vremenski niz čija je srednja vrijednost jednaka nuli, a standardne devijacija iznosi 1. Obzirom da su glavne komponente matrice međusobno ortogonalne (nekorelirane) to znači da će i njihove vremenske evolucije biti međusobno ortogonalne. S ciljem maksimiziranja sume varijance opterećenja vektora u matrici glavnih komponenti primijenivala se Varimax rotacija (Kaiser, 1958).

5.REZULTATI

5.1.Termohaline osobine morske vode

Priobalno more južnog Jadrana- Bokokotorski zaljev

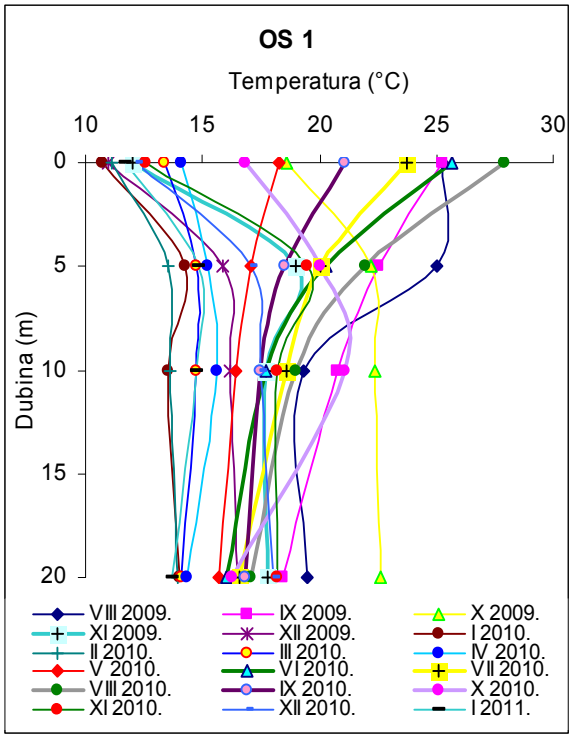
U priobalnom moru Bokokotorskog zaljeva istraživanjem je obuhvaćeno 6 postaja raspoređenih u tri zaljevske cjeline: Kotorski, Tivatski i Hercegnovski zaljev. Na području Kotorskog zaljeva istraživanja su obavljena na tri postaje, dvije pliće priobalne postaje (OS 1 i OS 2) i jednoj centralnoj zaljevskoj postaja (C 1). Na području Tivatskog zaljeva istraživanja su obavljena na dvije postaje, priobalnoj OS 3 postaji i centralnoj zaljevskoj C 2, dok je na području Hercegnovskog zaljeva istraživanje obuhvatilo jednu centralu zaljevsku postaju (C 3).

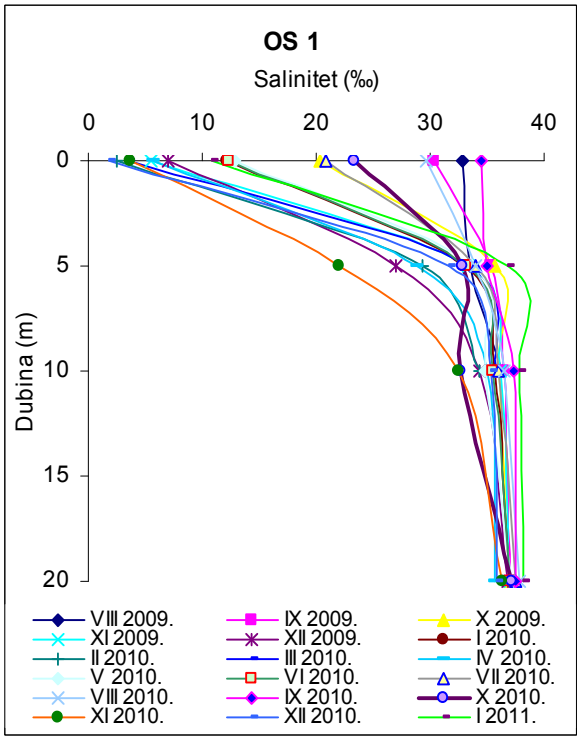
Kotorski zaljev:
Prosječna temperatura mora na priobalnoj postaji OS 1 iznosila je u rasponu od 10,75ºC izmjerenih u površinskom sloju u siječnju 2010. godine do 27,9ºC također izmjerenih u

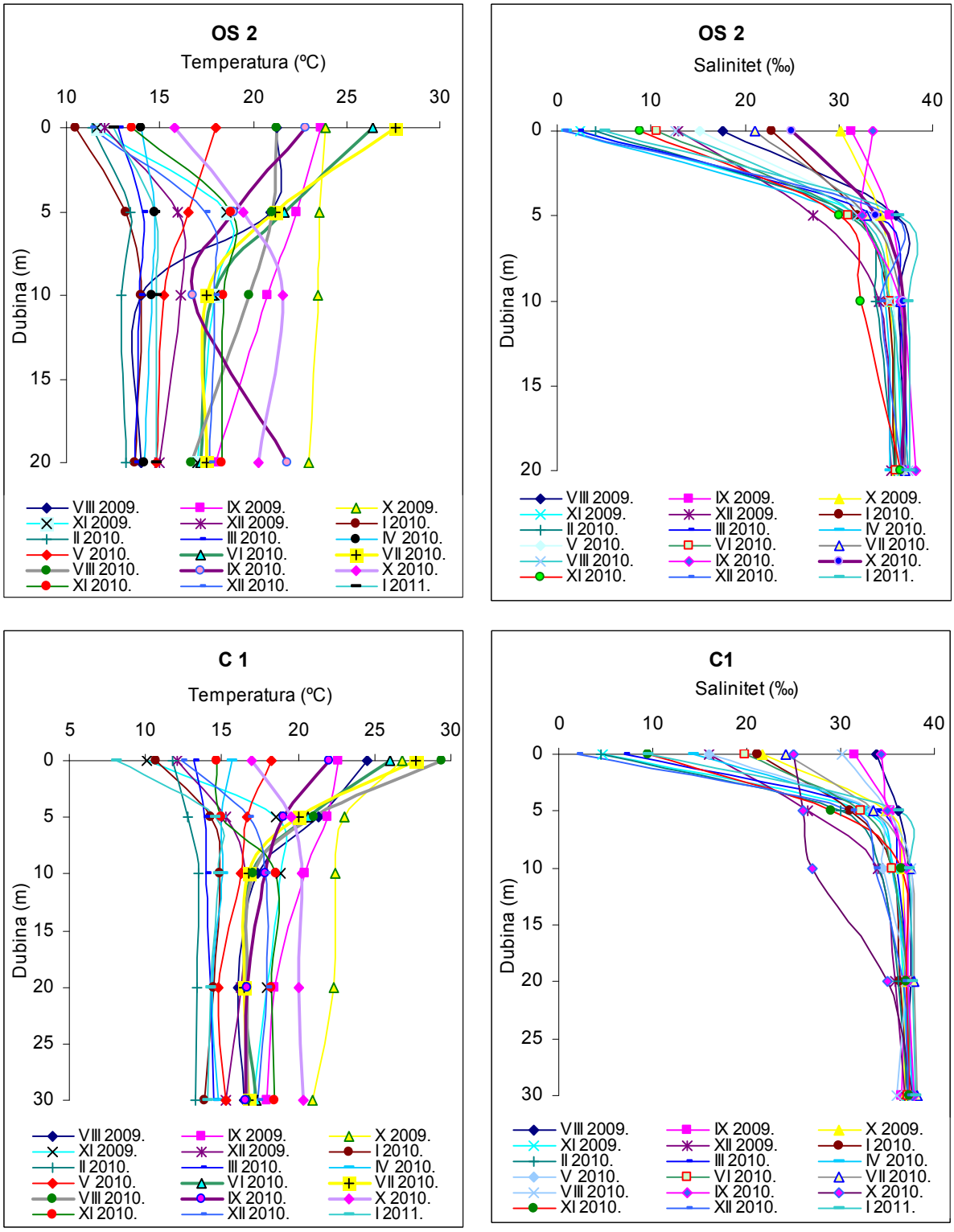
površinskom sloju, ali u kolovozu iste godine. Na postaji OS 2 izmjerene vrijednosti temeprature iznosile su od 10,5ºC u površinskom sloju u siječnju do 27,6ºC u istom sloju tijekom srpnja, dok je na centralnoj zaljevskoj postaji C 1 utvrđen temperatni raspon od minimalnih 8,1ºC tijekom siječnja 2011. godine do maksimalnih 29,4ºC u površinskom sloju tijekom kolovoza 2010. godine. Razdoblje temperaturno raslojenog vodenog stupca na sve tri postaje utvrđeno je tijekom većeg dijela istraživanja te je pokazalo određene specifičnosti. Na postaji OS 1 temperaturna raslojenost započela je početkom svibnja 2009.godine, dok se izražena termoklina formirala početkom ljeta. Zbog povećane precipitacije i intenzivnog priliva slatke vode krajem lipnja, površinska temperatura je pala na svega 18,2ºC, a cijeli period do studenog 2009. godine je bio vrlo promjenljiv sa čestim temperaturnim inverzijama (Pestorić, 2013). Temperaturna raslojenost trajala je do listopada 2009. godine kada se površinski sloj naglo ohladio i formirao temperaturnu inverziju koja je zabilježena sve do kraja travnja 2010. godine. Sljedeće razdoblje temperaturnog raslojavanja vodenog stupca započinje u lipnju i traje sve do rujna jer se u listopadu površinski sloj ponovo naglo ohladio te se formirala temperaturna inverzija koja se zadržala sve do kraja istraživanog perioda odnosno do siječnja 2011. (Slika 5.1.1.). Za postaju OS 2 temperaturno raslojen vodeni stupac utvrđen je tijekom kolovoza i rujna 2009. godine, a temperaturno ujednačen vodeni stupac zabilježen je samo tijekom listopada. Već u studenom je zabilježeno naglo hlađenje površinskog sloja i formiranje tempraturne inverzije. U narednoj godini temperaturno raslojavanje započelo je već u svibnju i trajalo do rujna, da bi se tijekom listopada zabilježilo naglo hlađenje površinskog sloja i formiranje temperaturne inverzije. Na postaji C 1 temperaturno raslojen vodeni stupac utvrđen je tijekom kolovoza 2009. do listopada jer se u studenom formira temperaturna inverzija. Naredne godine se izražena termoklina formirala u lipnju i trajala je do rujna, a u listopadu se površinski sloj ponovo naglo ohladio te se formirala temperaturna inverzija (Slika 5.1.1.).

Vrijednosti saliniteta mora na ovom području ukazuju na značajno izražen vetrikalni gradijent. Prosječna vrijednost saliniteta na priobalnoj postaji OS 1 iznosila je u rasponu od 1,77‰ do 38,1‰, na postaji OS 2 od 0,6‰ do 38,16‰ a na postaji C 1 od 3,02‰ do 38,1‰. Postaja OS 2 pod najvećim je utjecajem slatke vode pa je i raspon saliniteta na ovoj postaji bio najveći. Vrijednosti saliniteta povećavale su se porastom dubine, dok su se sezonske promjene smanjivale. To je bilo posebno izraženo na centralnoj zaljevskoj postaji koja je ujedno i

najdublja postaja ovog zaljeva. Utvrđeni rasponi saliniteta kao i temperature posljedica su dotoka slatke vode rijekama Škurda i Ljuta kao i brojnim potocima.







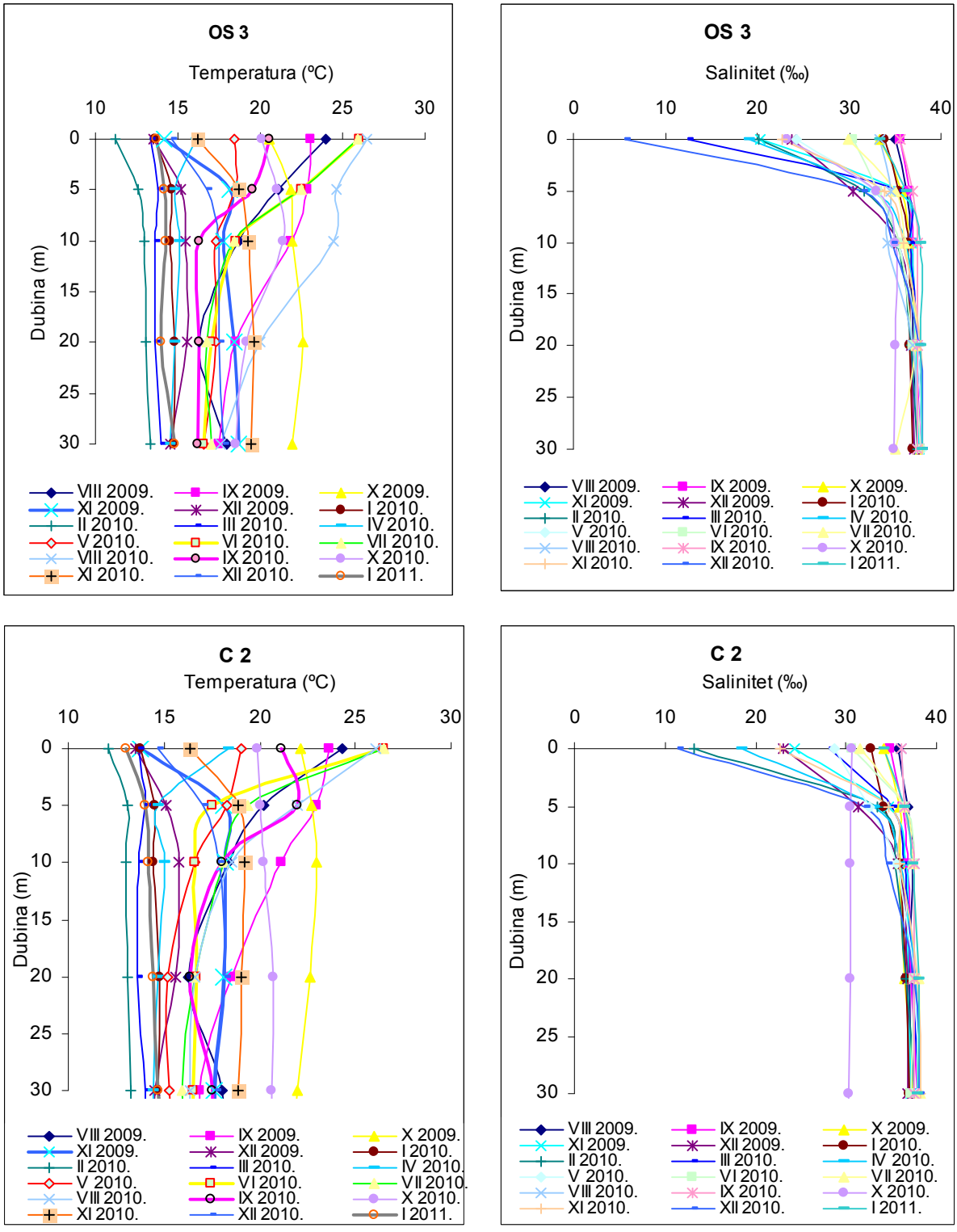
Slika 5.1.1. Raspodjela temperature (^{o}C) i saliniteta (‰) na području Kotorskog zaljeva

Tivatski zaljev:

Na postajama u Tivatskom zaljevu nakon zimsko-proljetne izotermije došlo je do ljetnog raslojavanje vodenog stupca, te jesenske inverzne stratifikacije.

Prosječna temperatura mora na priobalnoj postaji OS 3 iznosila je u rasponu od 11,2ºC do 26,5ºC, a na centralnoj zaljevskoj postaji C 2 u rasponu od 12,1ºC do 26,5ºC. Razdoblje temperaturno raslojenog vodenog stupca na postaji OS 3 trajalo je od kolovoza do listopada 2009. godine nakon čega je zabilježena inverzna raslojenost od studenog do ožujka 2010. godine. Izražena termoklina tijekom 2010. godine formirala se početkom ljeta odnosno tijekom lipnja i trajala je sve do listopada kada je započelo naglo hlađenje površinskoga sloja i stvaranje temperaturne inverzije. Temperaturno ujednačen vodeni stupac utvrđen je tek u siječnju 2011. godine (Slika 5.1.2.). Na centralnoj zaljevskoj postaji C 2 izražena ljetnja raslojenost vodenog stupca zabilježena je tijekom kolovoza i rujna 2009. godine kao i od listopada do rujna 2010. godine.

Promjene saliniteta znatno su manje u odnosu na varijabilnosti zabilježene u Kotorskom zaljevu i već ispod 5 m dubine utvrđeni su uglavnom stabilni uvjeti. Prosječna vrijednost saliniteta na priobalnoj postaji OS 3 iznosila je u rasponu od 5,6‰ do 38‰, a na postaji C 2 od 11,5‰ do 38,4‰.



Slika 5.1.2. Raspodjela temperature (^{o}C) i saliniteta (‰) na području Tivatskog zaljeva

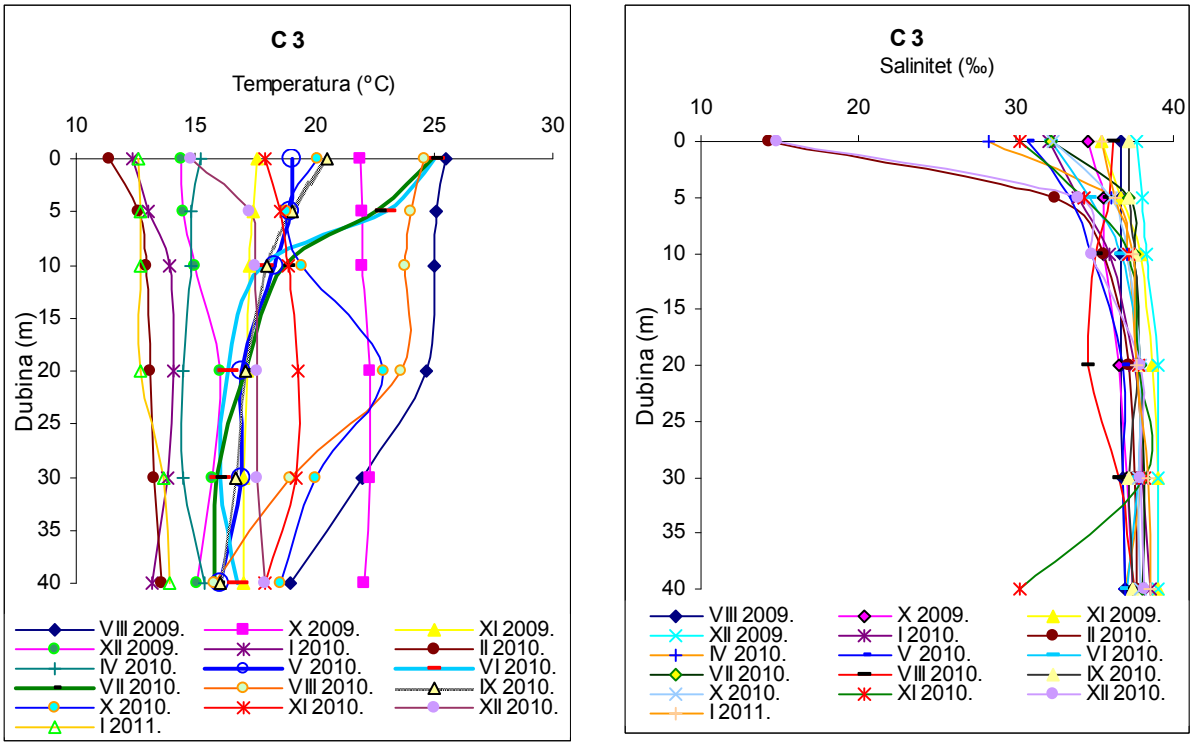
Hercegnovski zaljev:

Ovaj zaljev je pod manjim utjecajem dotoka slatke vode s kopna u odnosu na prethodne pa su hidrografski parametri u površinskom sloju stabilniji.

Sezonske promjene temperature na ovom lokalitetu tipične su za obalna područja južnog Jadrana. Zagrijavanje vodenog stupca u proljeće rezultiralo je formiranjem izražene termokline u ljetnjem razdoblju, koja je u kolovozu utvrđena do 20 m dubine (Slika 5.1.3.). Nakon jesenjeg hlađenja površinskog sloja stvarila se inverzna temperaturna raslojenost, te zimska temperaturna ujednačenost.

Vrijednosti temperature mora na postaji C 3 iznosile su u rasponu od 11,4ºC do 26,9ºC. Raslojenost vodenog stupca utvrđena je tokom kolovoza 2009. godine te ponovo od lipnja do listopada 2010. godine (Slika 5.1.3.). Prosječna vrijednost saliniteta iznosila je u rasponu od 14,82‰ do 39‰. Tijekom listopada 2010. godine utvrđene su niže vrijednosti saliniteta sve do pridnenog sloja.

Općenito i 2009. i 2010. godina bile su prema oborinskom režimu jako kišne godine. Krajem rujna 2010. godine, točnije 20. rujna, te u razdoblju od 24. do 27. rujna palo je 100L /m^2 kiše što je znatno više od mjesečnog prosijeka (Hrvatski meteorološki zavod). To je bila prva značajnija kiša nakon srpnja. Došlo je do promjene vremena, odnosno prolaskom ciklone došlo je do prelaska iz ljetnjeg atmosferskog režima u zimsko-jesenji atmosferski režim, te do ispiranja tla većeg obima, pa se vodeni fluid počeo vertikalno miješati. Zbog toga je na svim postajama unutar zaljeva primjetno formiranje temperaturne inverzije u desetom mjesecu te jako niske vrijednosti saliniteta duž cijelog vodenog stupca.



Slika 5.1.3. Raspodjela temperature (^{o}C) i saliniteta (‰) na području Hercegnovskog zaljeva

Metoda analize glavnih komponenata primjenjena nad temperaturom i salinitetom mora pokazala je da je vodeni stupac u Bokokotroskom zaljevu dvoslojan.

Metoda primjenjena nad temperaturom u Kotorskom zaljevu pokazala je da je 92% ukupne varijabilnosti opisano faktorima F1 (52%) i F2 (40%). Prema faktoru F1 izdvojio se vodeni stupac ispod 5m dubine sve do samog pridnenog sloja, dok je faktorom F2 opisan površinski sloj, odnosno sloj od 0m do 5m dubine (Tablica 5.1.1.). Prema salinitetu također se izdvajaju dva sloja, intermedijalni sloj (5m do 10m) i površinski sloj (0m) koji su opisani faktorima F1 i F2 (41,4%, 32,3%). Činjenica da se prema faktoru F2 odvaja i vodeni stupac na 10m dubine u centralnoj zaljevskoj postaji upućuje na složenu cirkulacijsku shemu površinskog sloja Kotorskog zaljeva.

Tablica 5.1.1. Raslojavanje vodenog stupca u Kotorskom zaljevu prema temepraturi (A) i salinitetu (B). Faktori su dobiveni primjenom metode glavnih komponenata (PCA) i Varimax rotacije na podatcima temperature i saliniteta na postajama C 1, OS 1 i OS 2 u razdoblju od kolovoza 2009. do siječnja 2011. godine.

A) Temperatura

Postaja	Dubina	F1(52%)	F2(40%)
C1	0m	0.218327	**0.957619**
C1	5m	0.503144	**0.830302**
C1	10m	**0.957907**	0.205126
C1	20m	**0.983261**	0.142325
C1	30m	**0.944567**	0.253749
OS 1	0m	0.171852	**0.975449**
OS 1	5m	0.676020	**0.704044**
OS 1	10m	**0.859156**	0.463676
OS 1	20m	**0.811242**	0.310199
OS 2	0m	0.136750	**0.951401**
OS 2	5m	0.589939	**0.793250**
OS 2	10m	**0.890983**	0.373324
OS 2	20m	**0.825899**	0.310500
Varijanca		6.80	5.26

B) Salinitet

Postaja	Dubina	F1(41.4%)	F2(32,3%)
C1	0m	0.097251	**0.956377**
C1	5m	**0.861215**	0.375603
C1	10m	0.376255	**0.713630**
C1	20m	0.585635	0.416549
C1	30m	0.623476	0.257837
OS 1	0m	0.289188	**0.906695**
OS 1	5m	**0.828823**	0.209589
OS 1	10m	**0.869974**	0.312435
OS 1	20m	0.558211	0.630249
OS 2	0m	0.030017	**0.827897**
OS 2	5m	**0.836362**	-0.397349
OS 2	10m	**0.900114**	0.254303
OS 2	20m	0.639048	0.351101
Varijanca		5.38	4.20

Metoda glavnih komponenata primjenjena nad temperaturom i salinitetom u Tivatskom zaljevu pokazala je također dvoslojnost fluida (Tablica 5.1.2.). Na priobalnoj postaji OS 3 površinski sloj opisan faktorom F2 (32,7%) za temperaturu i faktorom F2 (35,7) za salinitet dublji je nego na centralnoj zaljevskoj postaji ukazujući na snažan ujecaj izlaznih vodenih strujanja nižeg saliniteta iz Kotorskog zaljeva. To potvrđuju i istraživanja Bellafiore i sur. (2011) koji su utvrdili da kroz tjesnac Verige koji povezuje Kotorski i Tivatski zaljev postoje snažna dvoslojna strujanja vodenih masa. Iz Kotorskog zaljeva prema otvorenom moru po površinskom sloju kreće se izlazna struja brzinom od 20 cm/s, a u pridnenom sloju istom brzinom ulazna strujanja ali suprotnog smjera.

Tablica 5.1.2. Raslojavanje vodenog stupca u Tivatskom zaljevu prema temepraturi (A) i salinitetu (B). Faktori su dobiveni primjenom metode glavnih komponenata (PCA) i Varimax rotacije na podatcima temperature i saliniteta na postajama C 2 i OS 3 u razdoblju od kolovoza 2009. do siječnja 2011. godine.

A) Temperatura

Postaja	Dubina	F1(61,3%)	F2(32,7%)
C 2	0m	-0.061510	**0.979137**
C 2	5m	0.657254	0.640161
C 2	10m	**0.920325**	0.309270
C 2	20m	**0.984092**	0.079995
C 2	30m	**0.985329**	-0.001664
C 2	40m	**0.926839**	0.027962
OS 3	0m	-0.014382	**0.984672**
OS 3	5m	0.364624	**0.883252**
OS 3	10m	**0.795569**	0.592822
OS 3	20m	**0.965820**	0.139268
OS 3	30m	**0.980762**	0.056844
Varijanca		6.741894	3.595126

B) Salinitet

Postaja	Dubina	F1(56,6%)	F2(35,7%)
C 2	0m	-0.218587	**0.917583**
C 2	5m	0.660039	0.677754
C 2	10m	**0.894276**	0.381418
C 2	20m	**0.994746**	0.010421
C 2	30m	**0.991975**	-0.041792
C 2	40m	**0.991192**	-0.079241
OS 3	0m	0.018689	**0.953658**
OS 3	5m	0.003070	**0.942062**
OS 3	10m	0.351981	**0.809349**
OS 3	20m	**0.933805**	0.130853
OS 3	30m	**0.993305**	-0.012718
Varijanca		6.222054	3.924196

Na području Hercegnovskog zaljeva metoda glavnih komponenata primjenjena nad temperaturom i salinitetom izdvojila je dva faktora koji opisuju površinski i podpovršinski sloj. Faktorom F1 (56,6%) za temperaturu opisan je vodeni stupac od 10m do dna dok je faktorom F2 (40,3%) opisan površinski sloj od 0m do 5m dubine. Prema salinitetu površinski sloj opisan faktorom F2 (31,5%) nešto je dublji i obuhaća vodeni stupac do 10m dubine. Faktorom F1 (45%) opisan je intermedijalni sloj koji obuhvaća vodeni stupac od 20m do 30m dubine (Tablica 5.1.3.).

Tablica 5.1.3. Raslojavanje vodenog stupca u Hercegnovskom zaljevu prema temepraturi (A) i salinitetu (B). Faktori su dobiveni primjenom metode glavnih komponenata (PCA) i Varimax rotacije na podatcima temperature i saliniteta na postajama C 2 i OS 3 u razdoblju od kolovoza 2009. do siječnja 2011. godine.

A) Temperatura

Postaja	Dubina	F1(56,6%)	F2(40,3%)
C 3	0m	0.078015	**0.994416**
C 3	5m	0.352742	**0.927807**
C 3	10m	**0.750054**	0.634076
C 3	20m	**0.928174**	0.348961
C 3	30m	**0.981154**	0.117140
C 3	40m	**0.938904**	0.167574
Varijanca		3.398804	2.415318

B) Salinitet

Postaja	Dubina	F1(45%)	F2(31,5%)
C 3	0m	-0.07342	**0.974303**
C 3	5m	0.695311	0.540395
C 3	10m	0.644107	**0.746710**
C 3	20m	**0.942050**	-0.138106
C 3	30m	**0.946712**	0.184129
C 3	40m	0.114936	-0.199114
Varijanca		2.700656	1.891492

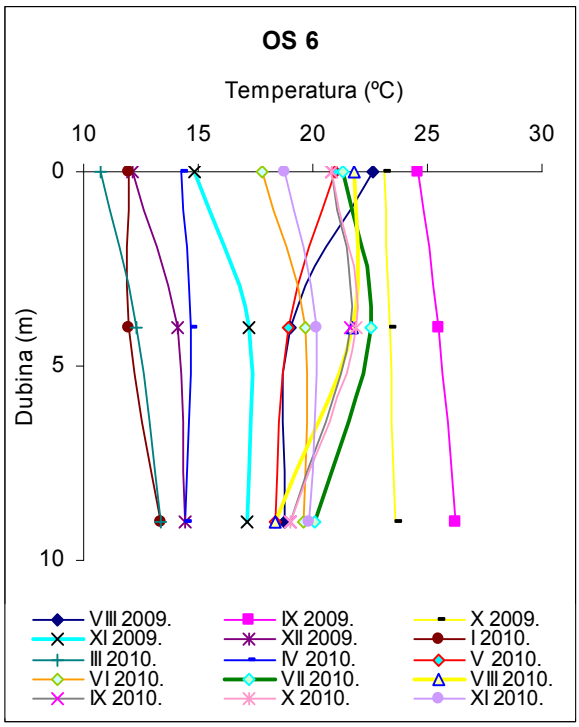
Priobalno more otvorenog dijela južnog Jadrana

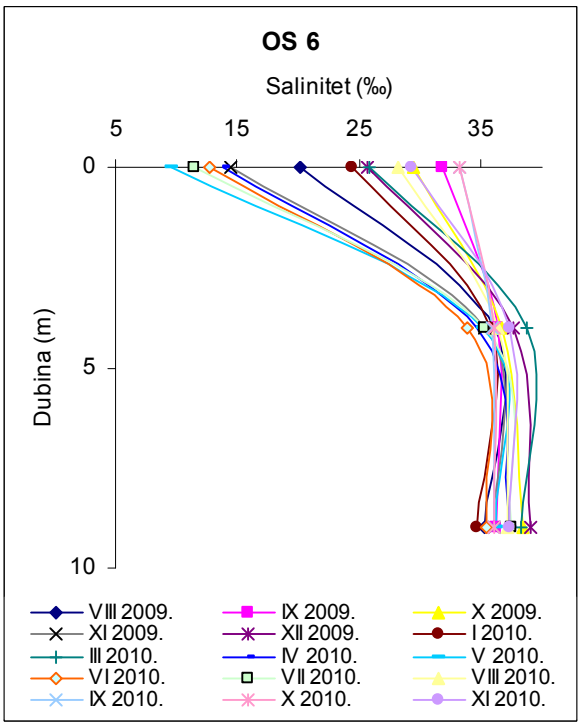
Na području otvorenog dijela južnog Jadrana istraživanja su obavljena na pet postaja od kojih je jedna plića priobalna postaja dubine do 9m (OS 6). Temperatura mora je iznosila u prosijeku od 10,7ºC do 26,2ºC na postaji OS 6, od 14,4ºC do 24,8ºC na postaji MNE 2, od 14,4ºC do 23,6ºC na postaji MNE 3, od 15,4ºC do 24,6ºC na postaji MNE 6, te od 12,5ºC do 26,4ºC na postaji MNE 8.

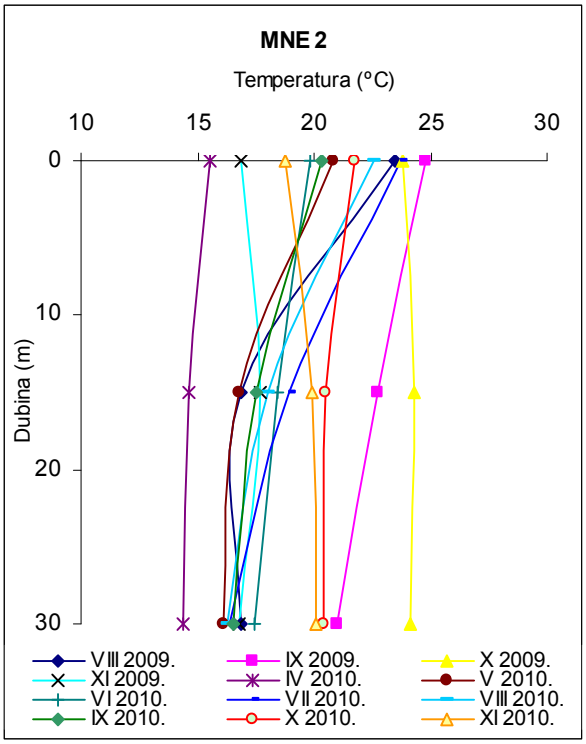
Blaga raslojenost vodenog stupca na plitkoj postaji OS 3 utvrđena je tijekom kolovoza 2009. godine, te od svibnja do listopada 2010. godine. Na postaji MNE 2 razdoblje raslojenog vodenog stupca zabilježeno je tijekom kolovoza i rujna 2009. godine. U 2010. godini razdoblje raslojavanja vodenog stupca započelo je u svibnju. U lipnju se površinski sloj neznatno ohladio te je raslojavanje bila slabije izraženo ali se ponovo uočeno u razdoblju od srpnja do rujna 2010. godine. U lipnju je na ovoj postaji kao i na postaji OS 6 došlo do značajnog hlađenja površinskog sloja mora što je rezultiralo kratkotrajnom temperaturnom ujednačenošću vodenog stupca. Na postaji MNE 3 razdoblje raslojenog vodenog stupca zabilježeno je tijekom rujna 2009. godine te u razdoblju od svibnja do rujna 2010. godine. Na postaji MNE 6 tijekom istraživanja koje je obuhvatilo razdoblje od kraja proljeća do kraja jeseni 2010. godine, raslojenost vodenog stupca utvrđena je od svibnja do kolovoza. Na najdubljoj postaji MNE 8

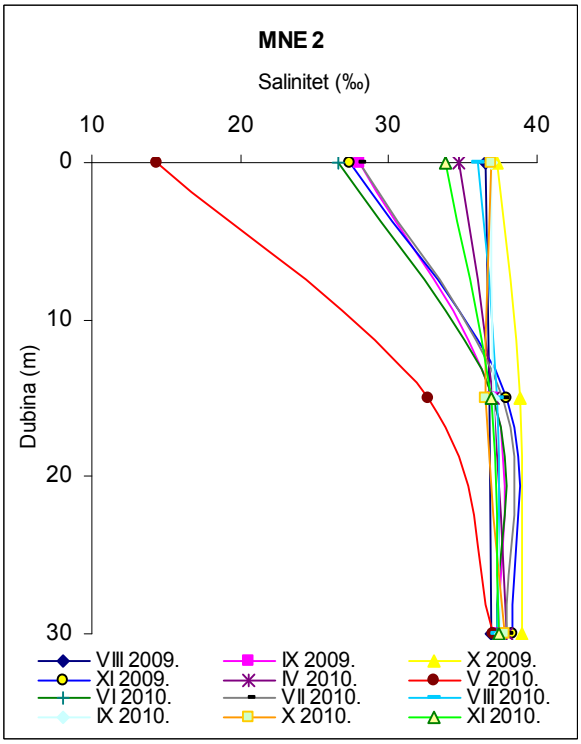
razdoblje raslojenog vodenog stupca zabilježeno je od kolovoza do listopada 2009. godine te u razdoblju od svibnja do rujna 2010. godine.

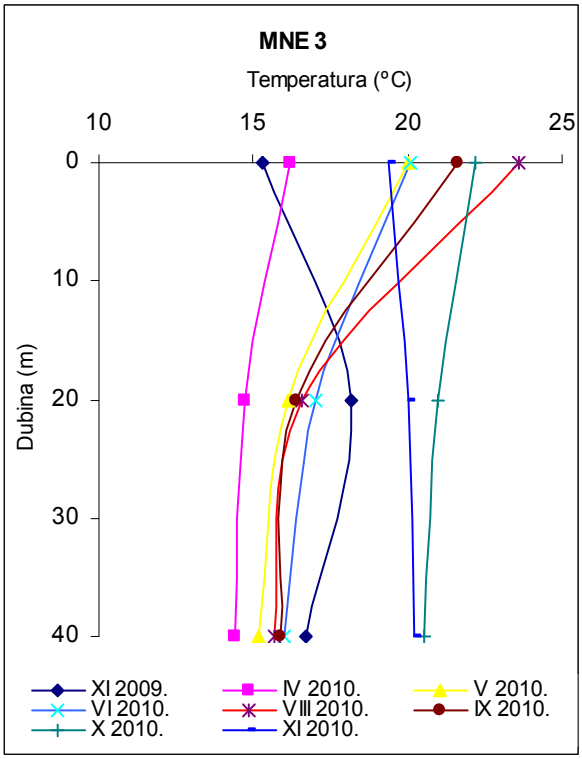
Izmjerene vrijednosti saliniteta ukazuju na značajno veće razlike među postajama nego je to utvrđeno za temperaturu. Najjači utjecaj slatke vode utvrđen je na postaji OS 6 na kojoj su izmjerene vrijednosti saliniteta iznosile u rasponu od 9,52‰ do 39,0‰ te na postaji MNE 2 sa izmjerenim vrijednostima saliniteta od 14,32‰ do 39,0‰. Ove dvije postaje se nalaze u neposrednoj blizini sliva rijeke Bojane. Na postaji MNE 3 izmjerene vrijednosti saliniteta iznosile su u rasponu od 31,4‰ do 39,5‰, na postaji MNE 6 od 15,6‰ do 39,5‰, te od 20,8‰ do 39,0‰ na postaji MNE 8 (Slika 5.1.4.).

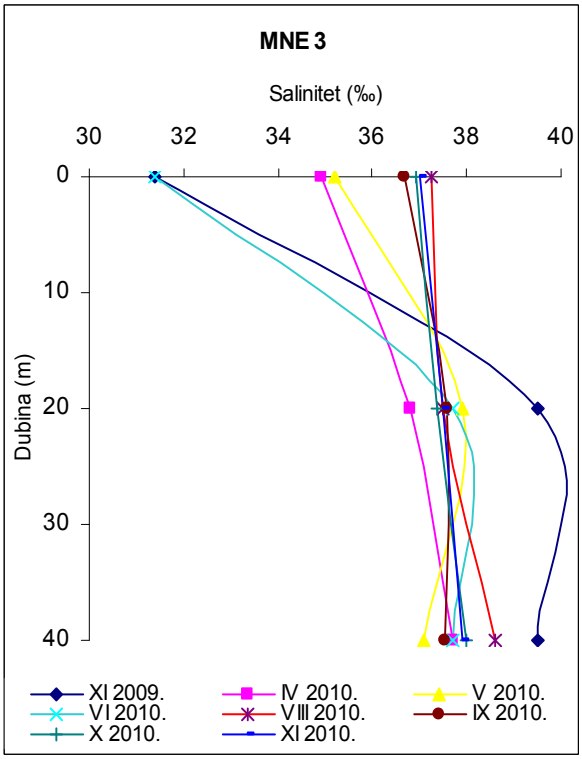


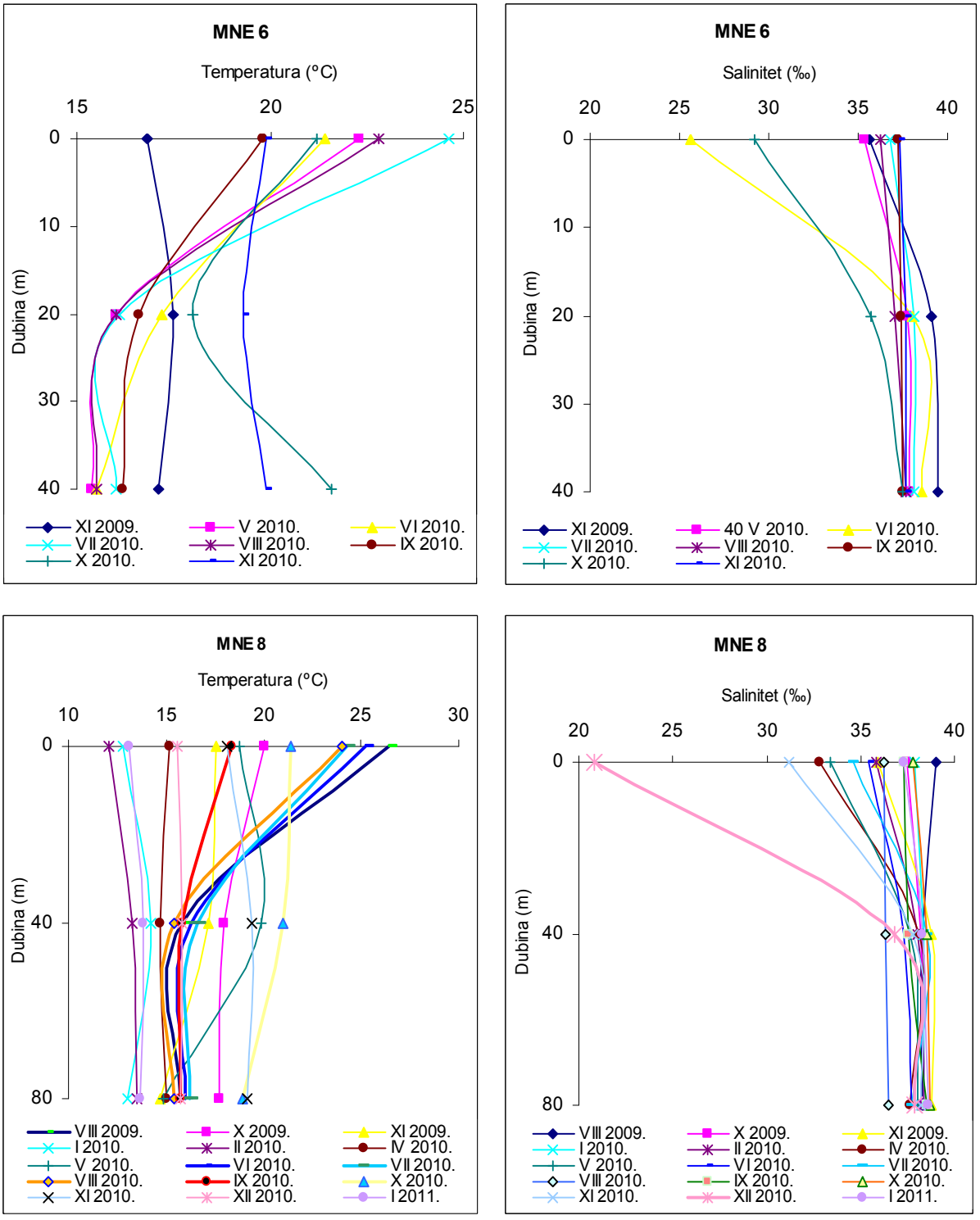



MNE 2
Temperatura (°C)
10
15
20
25
30
0
10
20
30
Dubina (m)
VIII 2009.
IX 2009.
X 2009.
XI 2009.
IV 2010.
V 2010.
VI 2010.
VII 2010.
VIII 2010.
IX 2010.
X 2010.
XI 2010.


MNE 2
Salinitet (‰)
10
20
30
40
0
10
20
30
Dubina (m)
VIII 2009.
IX 2009.
X 2009.
XI 2009.
IV 2010.
V 2010.
VI 2010.
VII 2010.
VIII 2010.
IX 2010.
X 2010.
XI 2010.


MNE 3
Temperatura (°C)
10
15
20
25
0
10
20
30
40
Dubina (m)
XI 2009.
IV 2010.
V 2010.
VI 2010.
VIII 2010.
IX 2010.
X 2010.
XI 2010.


MNE 3
Salinitet (‰)
30
32
34
36
38
40
0
10
20
30
40
Dubina (m)
XI 2009.
IV 2010.
V 2010.
VI 2010.
VIII 2010.
IX 2010.
X 2010.
XI 2010.



Slika 5.1.4. Raspodjela temperature (^{o}C) i saliniteta (‰) na području otvorenog dijela južnog Jadrana

Metoda analize glavnih komponenata primjenjena na rezultatima temperature mora i saliniteta na postajama priobalnog dijela otvorenog mora južnog Jadrana pokazala je da je vodeni stupac manje raslojen.

Na postajama koje se nalaze u blizini ušća rijeke Bojane, medota glavnih komponenata je izdvojila dva faktora. Faktor F1 opisuje vodeni stupac prema temperaturi (49%, 40,1%) dok je faktorom F2 (33%, 35,9%) opisan vodeni stupac prema salinitetu. Iz tablice (5.1.4.) se vidi ujednačenost vodenog stupca od površinskog do pridnenog sloja.

Tablica 5.1.4. Raslojavanje vodenog stupca prema temepraturi i salinitetu. Faktori su dobiveni primjenom metode glavnih komponenata (PCA) i Varimax rotacije na podatcima temperature i saliniteta na postajama OS 6 i MNE 2 u razdoblju od kolovoza 2009. do studenog 2010. godine.

OS 6

Variabla	Dubina	F1(49%)	F2(33%)
T	0m	**0.961025**	-0.100541
T	5m	**0.984732**	0.000633
T	9m	**0.960207**	0.032831
Sal	0m	0.307953	**0.747739**
Sal	5m	-0.16758	**0.936358**
Sal	9m	-0.06674	**0.732035**
Varijanca		2.942639	1.982942

MNE 2

Variabla	Dubina	F1(40,1%)	F2(35,9%)
T	0m	**0.812738**	-0.210431
T	15m	**0.937140**	0.261999
T	30m	**0.885287**	0.306371
Sal	0m	0.082514	**0.756693**
Sal	15m	0.202779	**0.893785**
Sal	30m	0.187758	**0.759687**
Varijanca		2.405688	2.155348

Na postaji MNE 3 vodeni stubac je bio raslojen prema temperaturi, ali ne i po salinitetu. Faktorom F1 (41,6%) opisan je površinski sloj (0m) prema temperaturi i cijeli vodeni stupac (0m – 40m) prema salinitetu, dok je faktorom F2 (37%) opisan središnji i pridneni sloj vodenog stupca koji je prema temperaturnom režimu drugačiji od površinskog sloja (Tablica 5.1.5.).

Tablica 5.1.5. Raslojavanje vodenog stupca prema temepraturi i salinitetu. Faktori su dobiveni primjenom metode glavnih komponenata (PCA) i Varimax rotacije na podatcima temperature i saliniteta na postaji MNE 3 u razdoblju od studenog 2009. do studenog 2010. godine.

MNE 3

Variabla	Dubina	F1(41,6%)	F2(37%)
T	0m	**0.716096**	0.304089
T	20m	-0.065635	**0.978378**
T	40m	0.091392	**0.960777**
Sal	0m	**0.803078**	0.335504
Sal	20m	**-0.880874**	0.152128
Sal	40m	**-0.741986**	0.335992
Varijanca		2.496872	2.221383

Metoda glavnih komponenata na postajama MNE 6 i MNE 8 izdvojila je tri faktora, i pokazala da je površinski sloj na obje postaje pod izravnim utjecajem izmjene energije (fluksevi topline) i mase (oborine) s atmosferom. Faktorom F1 (37%) na postaji MNE 6 opisan je prema salinitetu vodeni stupac od 20m do 40m dok je faktorom F3 (18,7%) opisan površinski sloj (0m). Faktor F2 (35,8%) opisuje vodeni stupac prema temperaturi. Na postaji MNE 8 prema salinitetu izdvajaju se površinski sloj (0m) koji opisuje faktor F3 (21,4%), te središnji i pridneni sloj koji opisuje faktor F2 (32,6%). Faktorom F1 (34,7%) opisan je vodeni stupac prema temperaturi (Tablica 5.1.6.).

Tablica 5.1.6. Raslojavanje vodenog stupca prema temepraturi i salinitetu. Faktori su dobiveni primjenom metode glavnih komponenata (PCA) i Varimax rotacije na podatcima temperature i saliniteta na postaji MNE 6 u razdoblju od studenog 2009. do studenog 2010. godine i na postaji MNE 8 u razdoblju od kolovoza 2009. do siječnja 2011. godine

MNE 6

Variabla	Dubina	F1(37%)	F2(35,8%)	F3(18,7%)
T	0m	-0.600690	**0.664569**	0.101945
T	20m	0.035652	**-0.940988**	0.084847
T	40m	-0.381799	**-0.878341**	0.109975
Sal	0m	0.013576	0.073904	**-0.992159**
Sal	20m	**0.903774**	0.218991	-0.263441
Sal	40m	**0.946017**	-0.003724	0.200586
Varijanca		2.219811	2.152024	1.123701

MNE 8

Variabla	Dubina	F1(34,7%)	F2(32,6%)	F3(21,4%)
T	0m	**0.569423**	-0.523037	0.540683
T	20m	**0.926928**	0.137740	-0.033734
T	40m	**0.939358**	-0.035409	-0.041191
Sal	0m	-0.096611	0.243424	**0.918262**
Sal	20m	0.027645	**0.841966**	0.380592
Sal	40m	0.060473	**0.943963**	0.024526
Varijanca		2.079586	1.953022	1.283830

5.2. Brojnost heterotrofnih bakterija

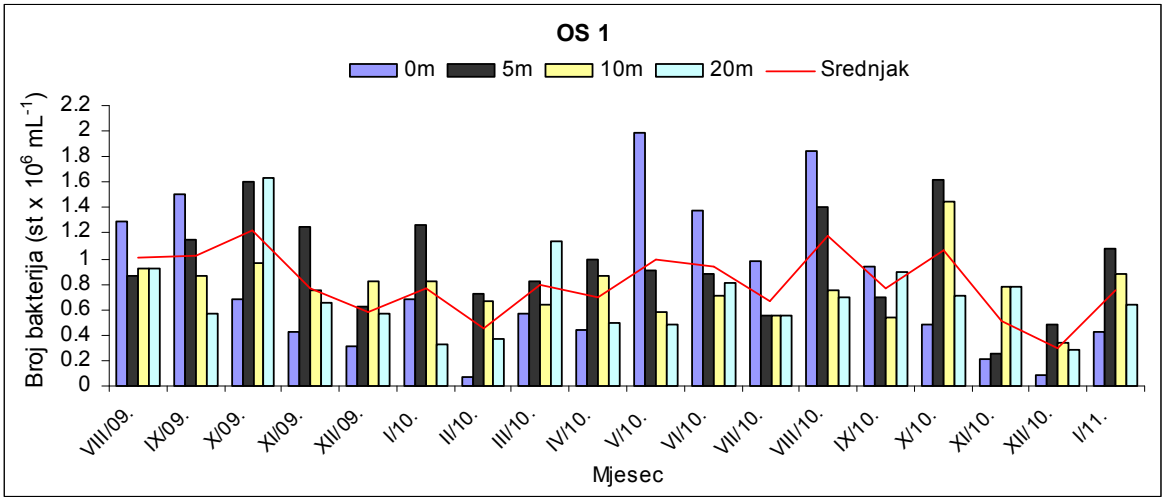
Brojnost heterotrofnih bakterija istraživana je na svim postajama na kojima su istraživane i termohaline osobine morske vode.

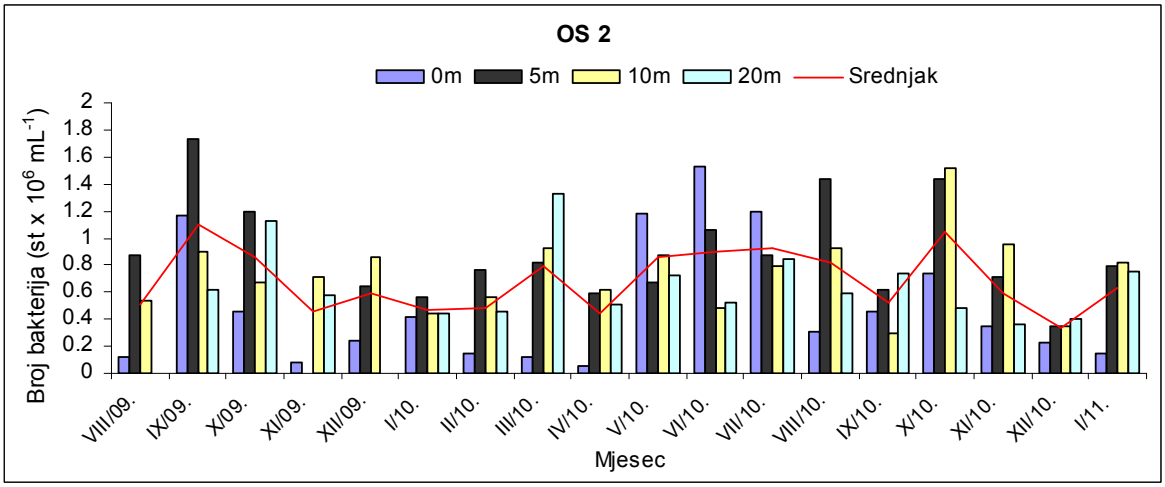
Priobalno more južnog Jadrana- Bokokotorski zaljev

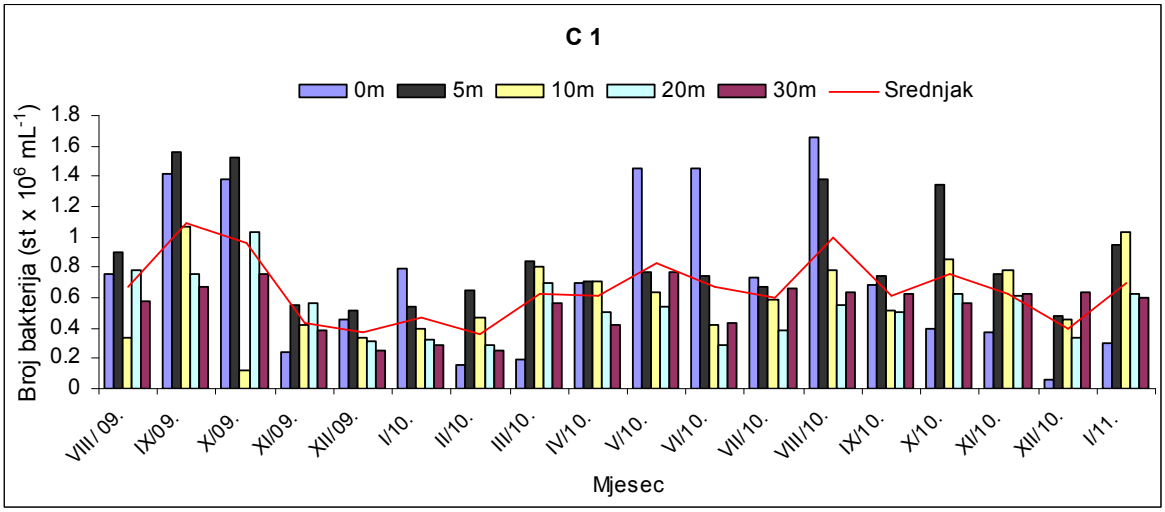
Kotorski zaljev:

Prosječne vrijednosti brojnosti heterotrofnih bakterija na području Kotorskog zaljeva iznosile su od 0,05 x 10^6 st mL^{-1} do 1,98 x 10^6 st mL^{-1} (Slika 5.2.1.). Vrlo slične sezonske promjene utvrđene su na sve tri postaje s najvišim vrijednostima u jesenskom razdoblju 2009. godine i ljetnjem razdoblju 2010. godine s karakterističnim drugim pikom brojnosti u listopadu. Najniže

vrijednosti bakterijske brojnosti za sve tri postaje utvđene su tijekom zimskih mjeseci. Vertikalni gradijent brojnosti bakterija je na sve tri postaje utvrđen tijekom cijelog razdoblja istraživanja s najvišim vrijednostima u površinskom sloju tijekom toplijeg razdoblja, upravo u periodu najviše brojnosti. Usporedbom prosječnih brojsnoti heterotrofnih bakterija za razdoblje od kolovoza do prosinca 2009. i 2010. godine ($0,75 \pm 0,45 \times 10^{6}$ st mL^{-1} za 2009. godinu; $0,73 \pm 0,41 \times 10^{6}$ st mL^{-1} za 2010. godinu) nisu utvrđene značajne promjene brojnosti (Slika 5.2.1.).



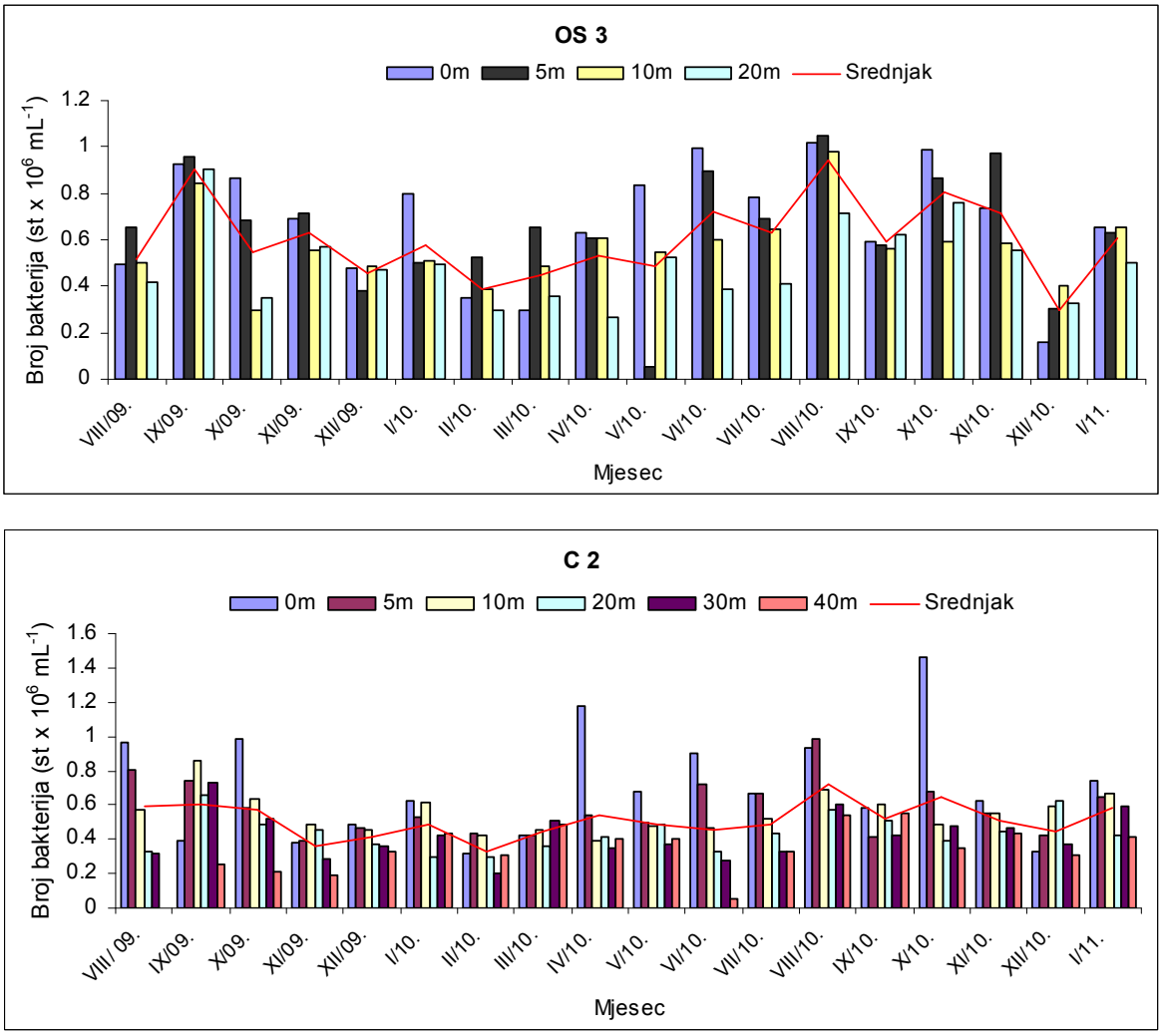




Slika 5.2.1. Raspodjela heterotrofnih bakterija na području Kotorskog zaljeva

Tivatski zaljev:

Na području Tivatskog zaljeva prosječne vrijednosti bakterijske brojnosti iznosile su od 0,05 x 10^6 st mL^{-1} do 1,46 x 10^6 st mL^{-1}. Sezonske promjene na priobalnoj postaji OS 3 bile su znatno izraženije u odnosu na centralnu zaljevsku postaju C 2 na kojoj su blago poviše vrijednosti zabilježene tijekom kasnog ljeta i jeseni u 2009. i 2010. godini. Analizom sezonskih promjena na postaji OS 3 utvrđen je maksimum brojnosti heterotrofnih bakterija tijekom rujna 2009. godine kao i tijekom kolovoza i listopada 2010. godine (Slika 5.2.2.). Usporedbom prosječnih brojnosti heterotrofnih bakterija Tivatskog zaljeva za razdoblje od kolovoza do prosinca za 2009. i 2010. godinu (0,56 ± 0,22 x 10^6 st mL^{-1} za 2009. godinu; 0,61 ± 0,25 x 10^6 st mL^{-1} za 2010. godinu) nisu utvrđene značajnije razlike u brojnosti.

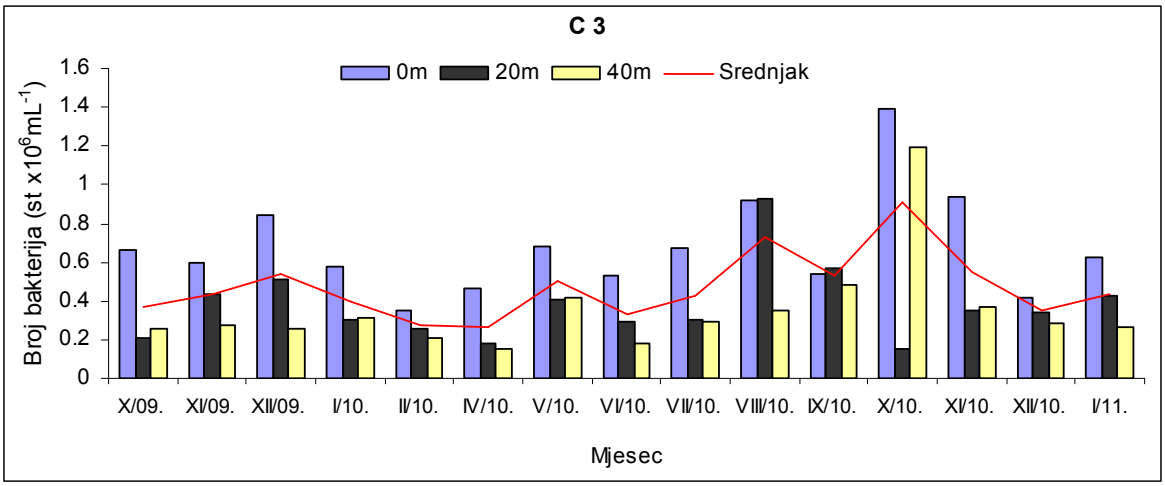


Slika 5.2.2. Raspodjela heterotrofnih bakterija na području Tivatskog zaljeva

Hercegnovski zaljev:

Na području Hercegnovskog zaljeva (postaja C 3) (Slika 5.2.3.), prosječne vrijednosti brojnosti heterotrofnih bakterija iznosile su od 0,15 x 10^6 st mL^{-1} do 1,39 x 10^6 st mL^{-1}. Vertikalni gradijent brojnosti s najvišim vrijednostima u površinskom sloju utvrđen je gotovo tijekom cijelog razdoblja istraživanja. Analizom sezonskih promjena u raspodjeli heterotrofnih bakterija utvrđena su dva maksimum brojnosti, tijekom kolovoza i tijekom listopada 2010. godine, a usporedbom prosiječnih brojnosti za razdoblje od kolovoza do prosinca za 2009. i

2010. godinu utvrđena je nešto viša brojnost heterotrofnih bakterija tijekom 2010. godine (0,45 ± 0,22 x 10^6 st mL^{-1} za 2009. godinu; 0,55 ± 0,29 x 10^6 st mL^{-1} za 2010. godinu).



Slika 5.2.3. Raspodjela heterotrofnih bakterija na području Hercegnovskog zaljeva

Primjenom metode glavnih komponenata u obradi podataka ukupne brojnosti heterotrofnih bakterija u Bokokotorskom zaljevu utvrđeno je da je vodeni stupac dvoslojan te da raslojavanje prema bakterijskoj brojnosti u velikoj mjeri prati raslojenost prema tepmeraturi i salinitetu.

U Kotorskom zaljevu je 58% varijabilnosti brojnosti heterotrofnih bakterija opisano faktorima F1 (35%) i F2 (23%). Prema faktoru F1 izdvojio se središnji dio vodenog stupca od 5m do 10m odnosno 20m dubine na dubljoj postaji (C1), dok je faktorom F2 opisan površinski sloj, odnosno sloj od 0m dubine (Tablica 5.2.1.). Na osnovu dobivenih podataka uočava se da raslojenost vodenog stupca prema bakterijskoj brojnosti u velikoj mjeri prati raslojavanje vodenog stupca prema salinitetu (Tablica 5.1.1.).

Tablica 5.2.1. Raslojavanje vodenog stupca u Kotorskom zaljevu prema ukupnoj bakterijskoj brojnosti. Faktori su dobiveni primjenom metode glavnih komponenata (PCA) i Varimax rotacije na podatcima ukupne bakterijske brojnosti na postajama C 1, OS 1 i OS 2 u razdoblju od kolovoza 2009. do siječnja 2011. godine.

Brojnost heterotrofnih bakterija

Postaja	Dubina	F1(35%)	F2(23%)
C1	0m	0.202427	**0.895309**
C1	5m	**0.863609**	0.379075
C1	10m	0.349478	0.003891
C1	20m	**0.843348**	0.077622
C1	30m	0.355350	0.513738
OS 1	0m	0.088067	**0.929958**
OS 1	5m	**0.708768**	0.099744
OS 1	10m	**0.789577**	-0.187249
OS 1	20m	0.605494	0.123456
OS 2	0m	- 0.05378	**0.806045**
OS 2	5m	**0.745876**	0.414684
OS 2	10m	**0.733880**	-0.012012
OS 2	20m	0.397268	0.158585
Varijanca		4.50	2.99

Metoda analize glavnih komponenata za brojnost heterotrofnih bakterija u Tivatskom zaljevu pokazala je također dvoslojnost vodenog stupca (Tablica 5.2.2.). Na priobalnoj postaji OS 3 koja je pod snažnim ujecajem izlaznih vodenih masa iz Kotorskog zaljeva, izdvajio se površinski sloj od 0m do 10m dubine koji je opisan faktorom F1 (39%). U centralnoj zaljevskoj postaji C2 faktorom F1 (39%) opisan je vodeni stupac na dubini od 5m, dok je faktorom F2 (31%) opisan središnji dio vodenog stupca od 10m do 30m dubine. Raslojavanje vodenih masa u Tivatskom zaljevu prema brojnosti heterotrofnih bakterija u najvećoj mjeri prati raslojavanje vodenog stupca prema salinitetu kao i kod Kotorskog zaljeva.

Tablica 5.2.2. Raslojavanje vodenog stupca u Tivatskom zaljevu prema ukupnoj bakterijskoj brojnosti. Faktori su dobiveni primjenom metode glavnih komponenata (PCA) i Varimax rotacije na podatcima ukupne bakterijske brojnosti na postajama C 2 i OS 3 u razdoblju od kolovoa 2009. do siječnja 2011. godine.

Brojnost heterotrofnih bakterija

Postaja	Dubina	F1(39%)	F2(31%)
C 2	0m	0.531820	-0.597522
C 2	5m	**0.874211**	0.176814
C 2	10m	0.196827	**0.890944**
C 2	20m	-0.165704	**0.906547**
C 2	30m	0.455631	**0.734856**
C 2	40m	0.109730	0.404792
OS 3	0m	**0.927185**	-0.159597
OS 3	5m	**0.906022**	0.039413
OS 3	10m	**0.718079**	0.427924
OS 3	20m	0.588957	0.572172
OS 3	30m	0.633108	0.399407
Varijanca		4.28	3.4

Na području Hercegnovskog zaljeva metoda glavnih komponenata izdvojila je dva faktora koji opisuju raslojavanje vodenih masa prema brojnosti heterotrofnih bakterija. Faktorom F1 (50,5%) opisan je središnji dio vodenog stupca od 5m do 30m dubine dok je faktorom F2 (38,1%) opisan površinski sloj od 0m dubine te pridneni sloj od 40m dubine (Tablica 5.2.3.).

Tablica 5.2.3. Raslojavanje vodenog stupca u Hercegnovskom zaljevu prema ukupnoj bakterijskoj brojnosti. Faktori su dobiveni primjenom metode glavnih komponenata (PCA) i Varimax rotacije na podatcima ukupne bakterijske brojnosti na postaji C3 u razdoblju od kolovoza 2009. do siječnja 2011. godine.

Brojnost heterotrofnih bakterija

Postaja	Dubina	F1(50,5%)	F2(38,1%)
C 3	0m	0.137270	**0.936822**
C 3	5m	**0.817917**	0.535234
C 3	10m	**0.945698**	0.101586
C 3	20m	**0.965092**	-0.185316
C 3	30m	**0.719654**	0.379606
C 3	40m	-0.010412	**0.965183**
Varijanca		3.03	2.28

Priobalno more otvorenog dijela južnog Jadrana

U priobalnom moru otvorenog dijela južnog Jadrana prosječan broj heterotrofnih bakterija tijekom istraživanog razdoblja je iznosio od 0,04 x 10^6 st mL^{-1} do 1,59 x 10^6 st mL^{-1} (Slika 5.2.4.). Sezonske promjene bile su vrlo slične na svim istraživanim postajama s najvišim vrijednostima u ljetnjem razdoblju te najnižim tijekom jeseni. Vertikalni gradijent brojnosti bakterija je bio najizraženiji u razdoblju temperaturne raslojenosti vodenog stupca, odnosno u srpnju i rujnu.

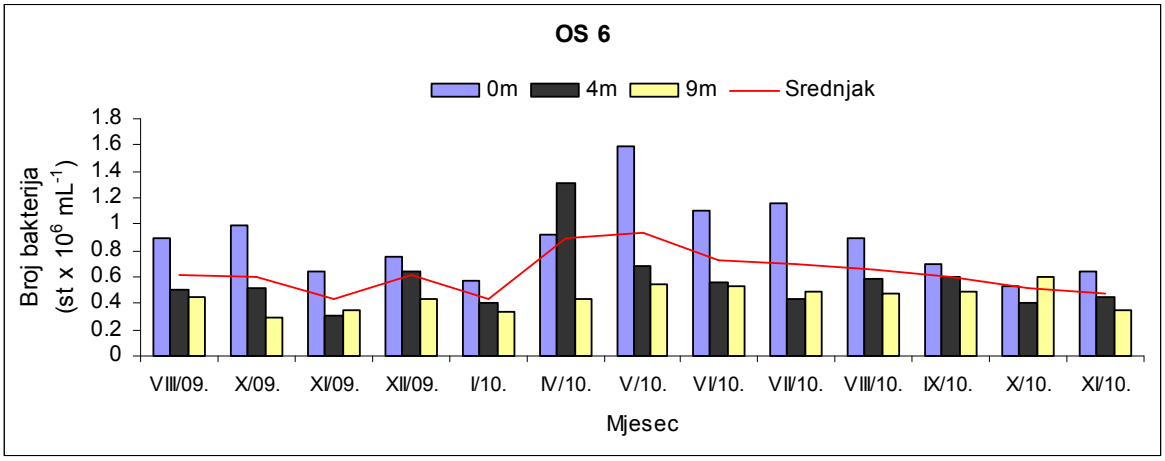
Prosječne vrijednosti brojnosti heterotrofnih bakterija na plitkoj postaji OS 6 koja se nalazi u blizini ušća rijeke Bojane iznosile su od 0,29 x 10^6 st mL^{-1} do 1,59 x 10^6 st mL^{-1} (Slika 5.2.4.). Analizom sezonskih promjena u raspodjeli heterotrofnih bakterija utvrđen je maksimum brojnosti tijekom travnja i svibnja 2010. godine. Vertikalni gradijent bakterijske brojnosti je utvrđen tijekom cijelog razdoblja istraživanja, ali najizraženiji je uočen u toplijem dijelu godine (od travnja do kolovoza).

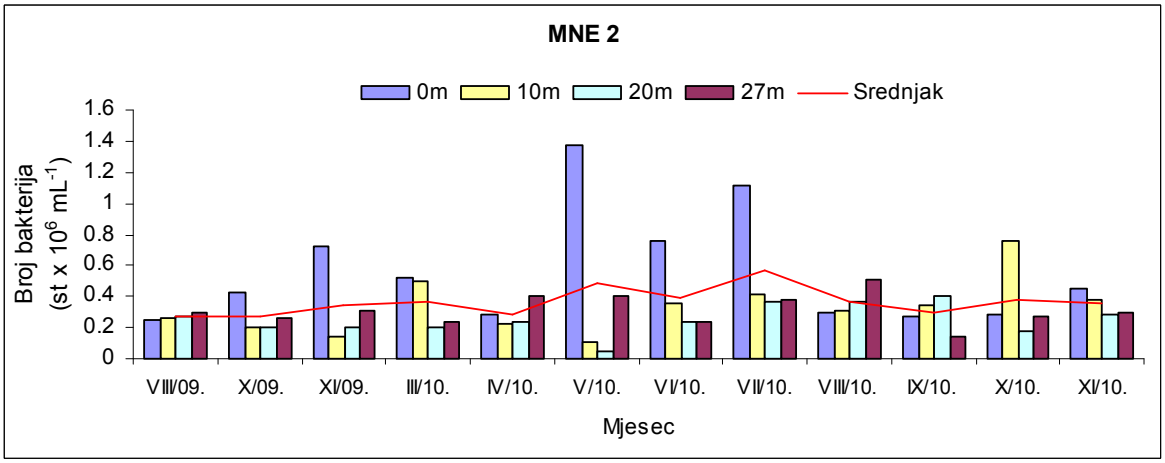
Na postaji MNE 2 prosječne vrijednosti bakterijske brojnosti iznosile su od 0,04 x 10^6 st mL^{-1} do 1,37 x 10^6 st mL^{-1}. Maksimum brojnosti utvrđen je u svibnju i srpnju, dok su u ostalom dijelu istraživanog perioda vrijednosti bile gotovo ujednačene. Vertikalni gradijent brojnosti heterotrofnih bakterija bio je najizraženiji tijekom toplijeg razdoblja, sa najvišom bakterijskom brojnošću u površinskom sloju (Slika 5.2.4.)

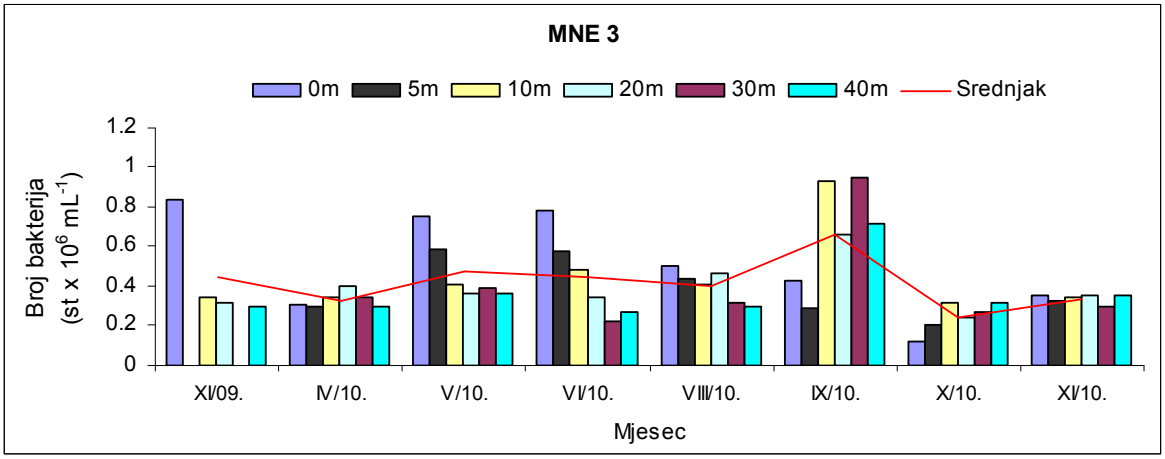
Na postaji MNE 3 prosječne vrijednosti bakterijske brojnosti iznosile su od 0,12 x 10^6 st mL^{-1} do 0,95 x 10^6 st mL^{-1}. Analizom sezonskih promjena utvrđena je gotovo ujednačena brojnost heterotrofnih bakterija u razdoblju od svibnja do kolovoza sa značajnim povećanjem brojnosti tijekom rujna i najnižom vrijednosti bakterijske brojnost u listopadu.

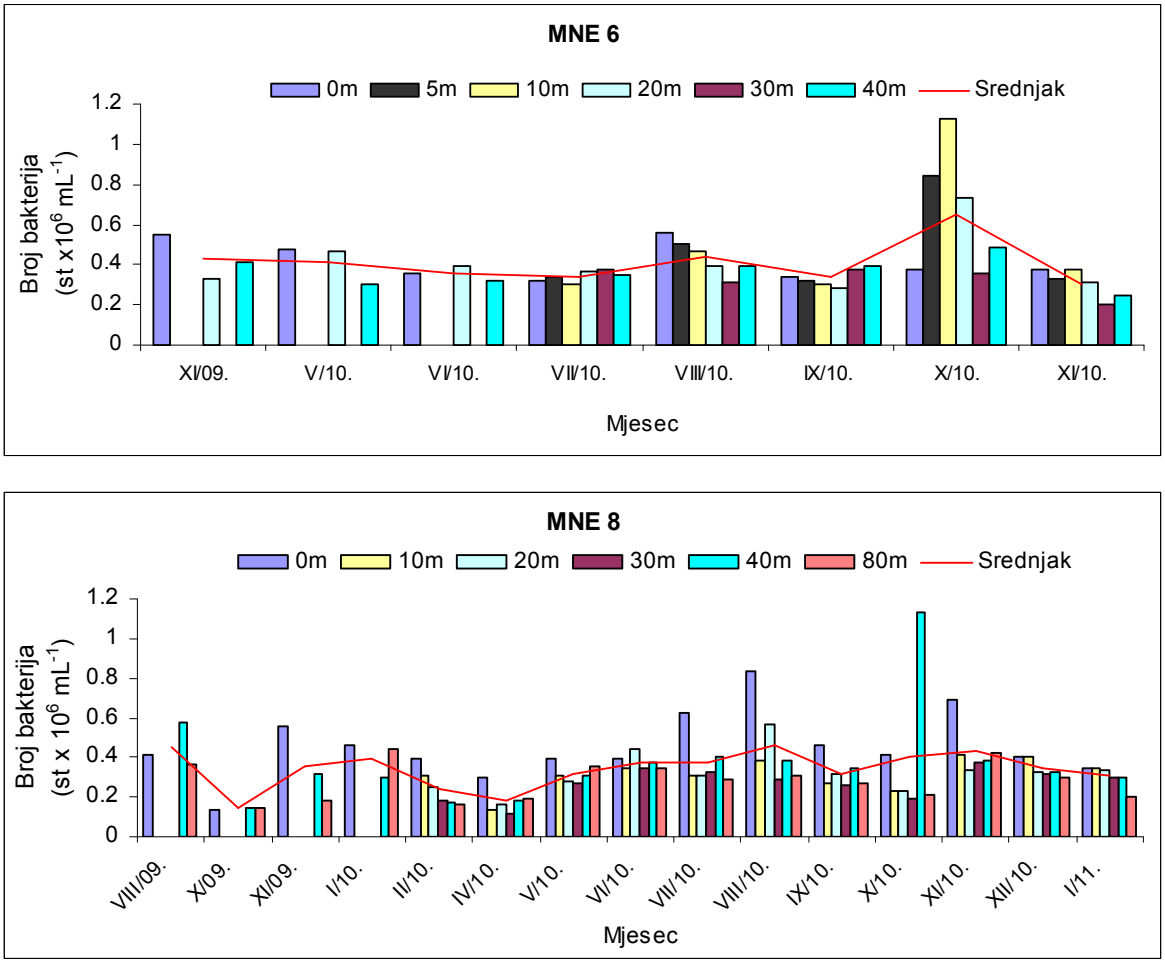
Na postaji MNE 6 prosječne vrijednosti bakterijske brojnosti iznosile su od 0,2 x 10^6 st mL^{-1} do 1,13 x 10^6 st mL^{-1}. Analizom sezonskih promjena utvrđena su dva maksimuma brojnosti. Nakon perioda gotovo ujednačene brojnosti heterotrofnih bakterija u razdoblju od svibnja do srpnja utvrđeno je blago povećanje brojnosti u kolovozu, a zatim drugo značajno povećanje brojnosti utvrđeno je u listopadu.

Na postaji MNE 8 prosječne vrijednosti bakterijske brojnosti iznosile su od 0,12 x 10^6 st mL^{-1} do 1,13 x 10^6 st mL^{-1}. Sezonske promjene su bile izražene tijekom cijelog istraživanog perioda s maksimumima brojnosti tijekom kolovoza 2009. i 2010. godine, te u studenom 2010. godine. Analiza sezonskih promjena brojnosti heterotrofnih bakterija ukazuje na veću povezanost ove pučinske postaje sa postajama unutar Bokokotorskog zaljeva nego li sa postajama duž otvorenog dijela južnog Jadrana, što je i za očekivati jer je postaja pod direktnim utjecajem ulaznih ali i izlaznih strujanja vodenih masa iz zaljeva.


OS 6
0m
4m
9m
Srednjak
Broj bakterija (st x 10^6 mL^-1)
1.8
1.6
1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
VIII/09.
X/09.
XI/09.
XII/09.
I/10.
IV/10.
V/10.
VI/10.
VII/10.
VIII/10.
IX/10.
X/10.
XI/10.
Mjesec


MNE 2
0m
10m
20m
27m
Srednjak
Broj bakterija (st x 10^6 mL^-1)
1.6
1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
VIII/09.
X/09.
XI/09.
III/10.
IV/10.
V/10.
VI/10.
VII/10.
VIII/10.
IX/10.
X/10.
XI/10.
Mjesec


MNE 3
0m
5m
10m
20m
30m
40m
Srednjak
Broj bakterija (st x 10^6 mL^-1)
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
XI/09.
IV/10.
V/10.
VI/10.
VIII/10.
IX/10.
X/10.
XI/10.
Mjesec



Slika 5.2.4. Raspodjela heterotrofnih bakterija na području otvorenog dijela južnog Jadrana

Metoda analize glavnih komponenata primijenjena u obradi brojnosti heterotrofnih bakterija za postaje priobalnog dijela otvorenog mora južnog Jadrana pokazala je da je vodeni stupac nešto više raslojen u odnosu na raslojenost vodenog stupca prema temperaturi i salinitetu.

Na plitkoj postaji OS 6 koja se nalazi na samom ušću rijeke Bojane, medota glavnih komponenata izdvojila je površinski sloj opisan faktorom F1, iako je prema temperaturi i salinitetu cijeli vodeni stupac bio ujednačen. Također na postaji MNE 2 koja se nalazi pod značajnim utjecajem dotoka slatke vode iz rijeke Bojane izdvojio se prema bakterijskoj brojnosti površinski sloj do 5m dubine opisan faktorom F1 (41%) te središnji i pridneni sloj opisan faktorom F2 (36%). Na obje postaje je u površinskom sloju utvrđena povišena koncentracija kloforila a (0,72 mg m^{-3} za OS 6; 0,53 mg m^{-3} za MNE 2), znatno viša

koncentracija nitrata (6,99 μmol L^{-1} za OS 6; 1,73 μmol L^{-1} za MNE 2) te nešto povišena koncentracija nitrita u odnosu na ostali dio vodenog stupca. Dobiveni podaci upućuju na to da je povećana koncentracija nutrijenata u površinskom sloju vjerojato dovela do povećanja fitoplanktonske biomase što je imalo utjecaja i na povećanje bakterijske brojnosti. U prilog tome govori i povećana koncentracija nitrita koja je indikator nove primarne proizvodnje, jer se upravo nitriti izlučuju kao ekskrecijski produkti fitoplanktona (Al-Qutob i sur., 2002). Na postaji MNE 3 raslojenost vodenog stupca prema bakterijskoj brojnosti na površinski sloj (0m) opisan faktorom F1 (41,6%) te na središnji i pridneni sloj (20m-40m) opisani faktorom F2 (37%) u skladu je s raslojavanjem vodenog stupca prema temperaturi, te pokazuje da je središnji i pridneni sloj po temperaturnom režimu i bakterijskoj brojnosti različit od površinskog sloja vodenog stupca.

Na postaji MNE 6 faktorom F2 (35%) opisan je površinski sloj dok je faktorom F1 (52%) opisan središnji i pridneni sloj vodenog stupca. Ovo raslojavanje vodenog stupca prema bakterijskoj brojnosti u potpunosti odgovara raslojavanju vodenog stupca prema salinitetu. Na postaji koja se nalazi ispred ulaza u Bokokotorski zaljev (MNE 8) raslojavanje vodenog stupca prema bakterijskoj brojnosti identično je raslojenosti vodenog stupca u Hercegnovskom zaljevu. Naime metodom analize glavnih komponenata izdvojio se vodeni stupac u površinskom i pridnenom sloju (0m i 80m) opisan faktorom F1 (50%), te dobiveni rezultati upućuju na činjenicu da su vodene mase na ove dvije postaje koje se nalaze ispred ulaza i na samom ulazu u Bokokotorski zaljev pod utjecajem istih ulaznih odnosno izlaznih strujanja (Tablica 5.2.4.).

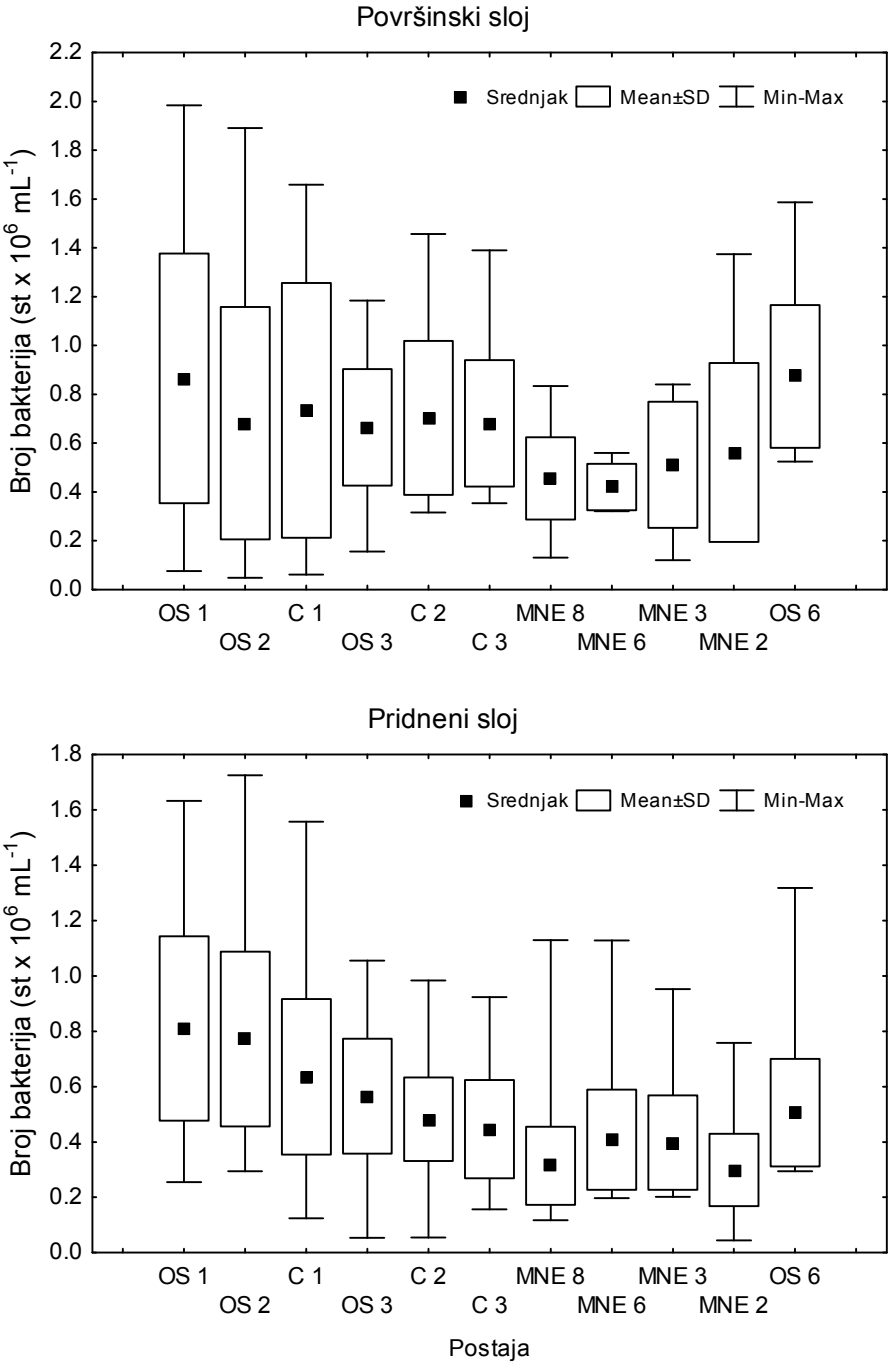
Tablica 5.2.4. Raslojavanje vodenog stupca prema ukupnom broju heterotrofnih bakterija. Faktori su dobiveni primjenom metode glavnih komponenata (PCA) i Varimax rotacije na podatcima bakterijske brojnosti za priobalne postaje duž otvorenog dijela južnog Jadrana

Brojnost heterotrofnih bakterija

Postaja	Dubina	F1(51%)	
OS 6	0m	**-0.798526**	
	5m	-0.636614	
	9m	-0.693697	
Varijanca		1.524139	
Postaja	Dubina	F1(41%)	F2(36%)
MNE 2	0m	**0.937375**	-0.15789
	5m	**0.862146**	0.417166
	15m	-0.067709	**0.757328**
	30m	-0.174126	**-0.81921**
Varijanca		1.656872	1.443603
Postaja	Dubina	F1(41,6%)	F2(37%)
MNE 3	0m	**0.716096**	0.304089
	20m	-0.065635	**0.978378**
	40m	0.091392	**0.960777**
Varijanca		2.496872	2.221383
Postaja	Dubina	F1(52%)	F2(35%)
MNE 6	0m	0.020366	**-0.984528**
	20m	**0.892581**	0.159508
	40m	**0.866888**	-0.237449
Varijanca		1.548610	1.051120
Postaja	Dubina	F1(51%)	
MNE 8	0m	**-0.824212**	
	40m	-0.458380	
	80m	**-0.796725**	
Varijanca		1.524209	

Analizirajući raspodjelu brojnosti heterotrofnih bakterija na istraživanom području uočeno je (Slika 5.2.5.) da su najviše prosiječne vrijednosti bakterijske brojnosti utvrđene na postajama Kotorskog zaljeva (OS 1, OS 2, i C1) za područje Bokokotorskog zaljeva, te na postaji koja je na samom ušću rijeke Bojane (OS 6) za priobalno područje otvorenog dijela južnog Jadrana. Također, uspoređujući prosječene vrijednosti između površinskog i pridnenog sloja utvrđen je porast bakterijske brojnosti od pridnenog ka površinskom sloju. Ovaj porast bakterijske

brojnosti bio je izraženiji na priobalnim postajama otvorenog dijela južnog Jadrana nego na postajama unutar zaljeva (Slika 5.2.5.).



Slika 5.2.5. Raspodjela heterotrofnih bakterija na postajama Bokokotorskog zaljeva i otvorenog dijela južnog Jadrana

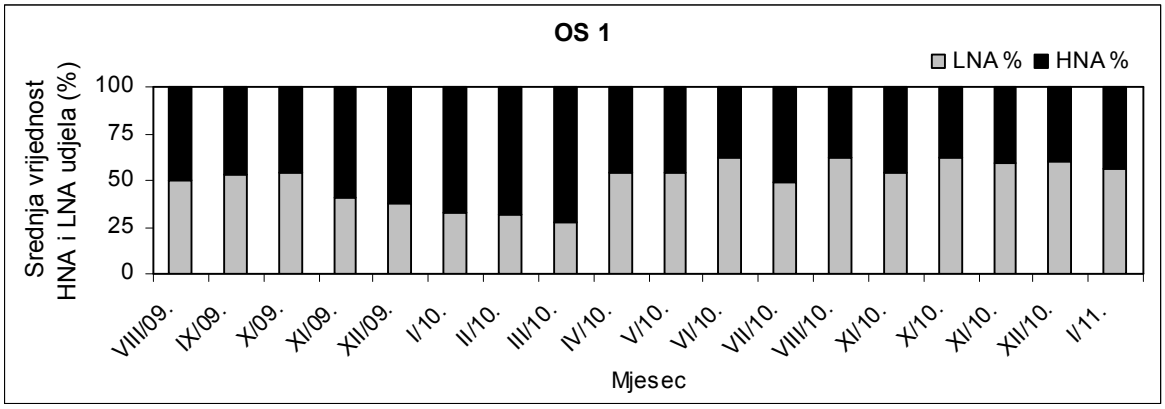
5.3. HNA i LNA heterotrofne bakterije

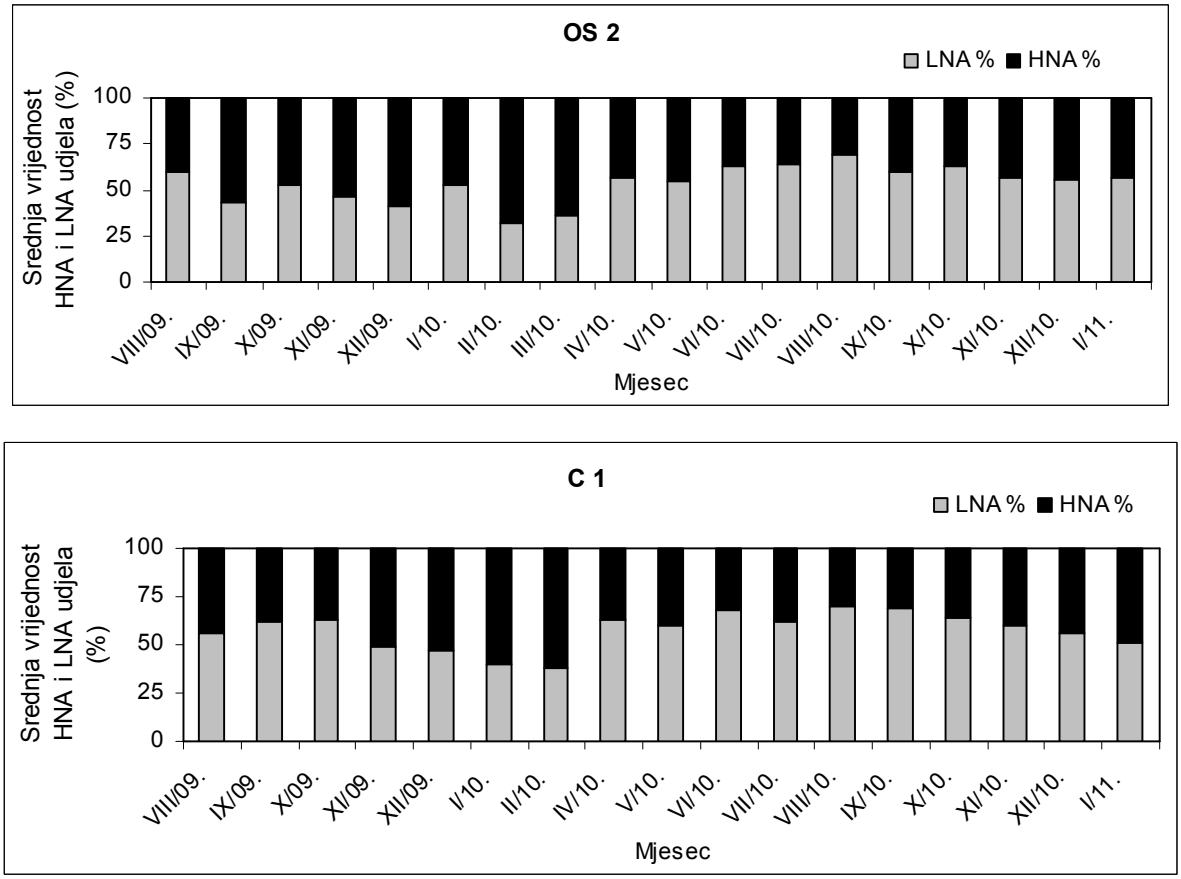
Udjeli HNA i LNA bakterija istraživani su na istim postajama na kojima je istraživana i brojnost ukupnih heterotrofnih bakterija. Udjeli HNA i LNA bakterija u ukupnom broju heterotrofnih bakterija prikazani su prosječnim mjesečnim vrijednostima.

Priobalno more južnog Jadrana- Bokokotorski zaljev

Kotorski zaljev:

Na području Kotorskog zaljeva utvrđen je prosječni udio HNA u rasponu od 30,16% do 72,56%, dok je udio LNA iznosio od 27,44% do 69,84%. Na postaji OS 1 utvrđeno je prevladavanje HNA bakterija u vodenom stupcu u razdoblju od studenog 2009. do ožujka 2010. godine, dok je tijekom preostalog razdoblja istraživanja utvrđeno prevladavanje LNA bakterija u vodenom stupcu, sa maksimumima u lipnju i kolovozu. Na postaji OS 2 slično kao i na prethodnoj postaji blago prevladavanje HNA bakterija utvrđeno je tijekom jesensko - zimskog perioda. Prevladavanje LNA skupine bakterija u vodenom stpcu utvrđeno je u periodu od travnja 2010. do siječnja 2011. godine s maksimumom u kolovozu. Na centralnoj zaljevskoj postaji C 1 prevladavanje HNA bakterija u vodenom stupcu utvrđeno je od studenog 2009. do ožujka 2010. godine, te prevladavanje LNA bakterija tijekom preostalog razdoblja istraživanja sa maksimumom u kolovozu 2010. godine (Slika 5.3.1.).

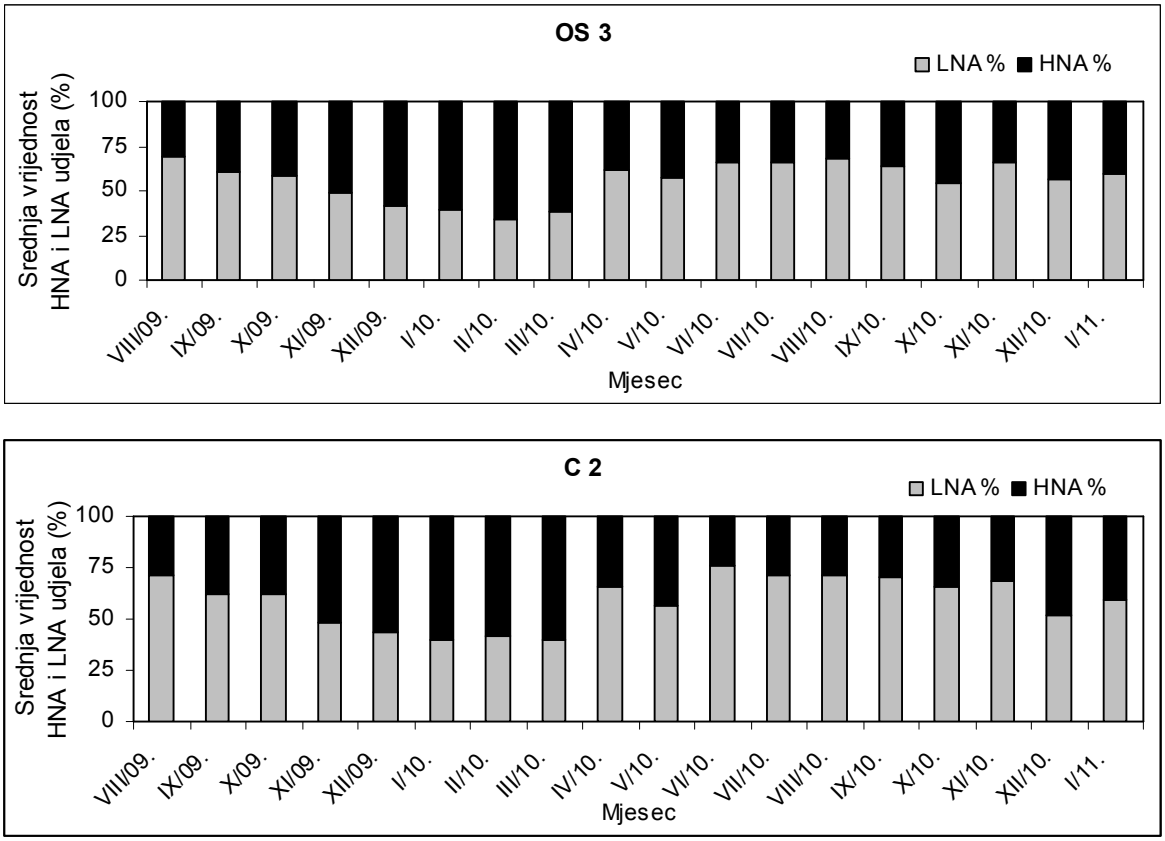




Slika 5.3.1. Raspodjela HNA i LNA bakterija na području Kotorskog zaljeva

Tivatski zaljev:

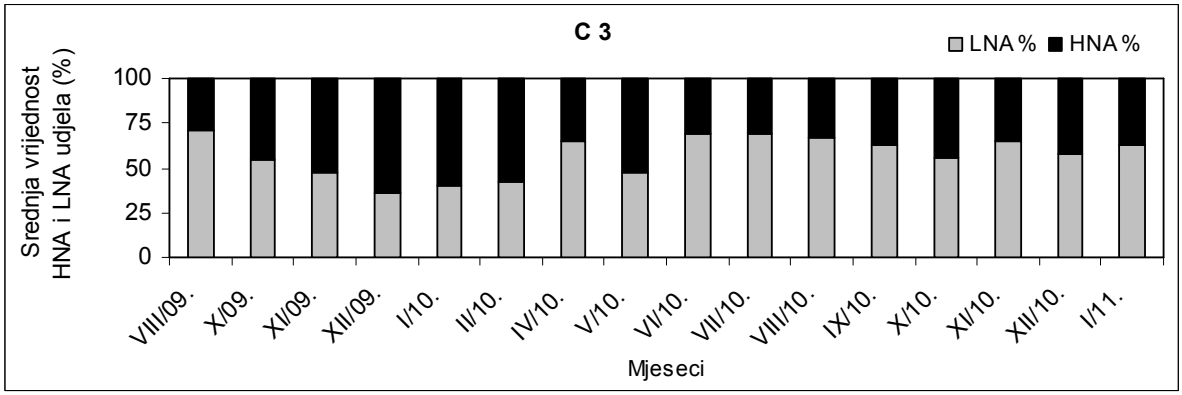
Na području Tivatskog zaljeva utvrđen je prosječni udio HNA u rasponu od 23,73% do 66,38%, dok je udio LNA iznosio od 33,63% do 76,27%. Na postaji OS 3 utvrđeno je prevladavanje HNA bakterija u vodenom stupcu samo od studenog 2009. do ožujka 2010. godine. Udio LNA skupine bakterija bio je najizraženiji u kolovozu kako tijekom 2009. tako i tijekom 2010. godine. Na postaji C 2 udio HNA te skupine LNA u ukupnom broju heterotrofnih bakterija slijedio je isti sezonski režim kao i na prethodnim postajama. Maksimalni udio LNA utvrđen je tijekom kolovoza 2009. godine kao i u periodu od lipnja do kolovoza 2010. godine (Slika 5.3.2.)



Slika 5.3.2. Raspodjela HNA i LNA bakterija na području Tivatskog zaljeva

Hercegnovski zaljev:

Na području Hercegnovskog zaljeva utvrđen je prosječni udio HNA u rasponu od 28,75% do 64,0%, dok je udio LNA iznosio od 36% do 71,25%. Najviši udio LNA utvrđen je tijekom kolovoza 2009. godine te u razdoblju od lipnja do kolovoza 2010. godine (Slika 5.3.3.)



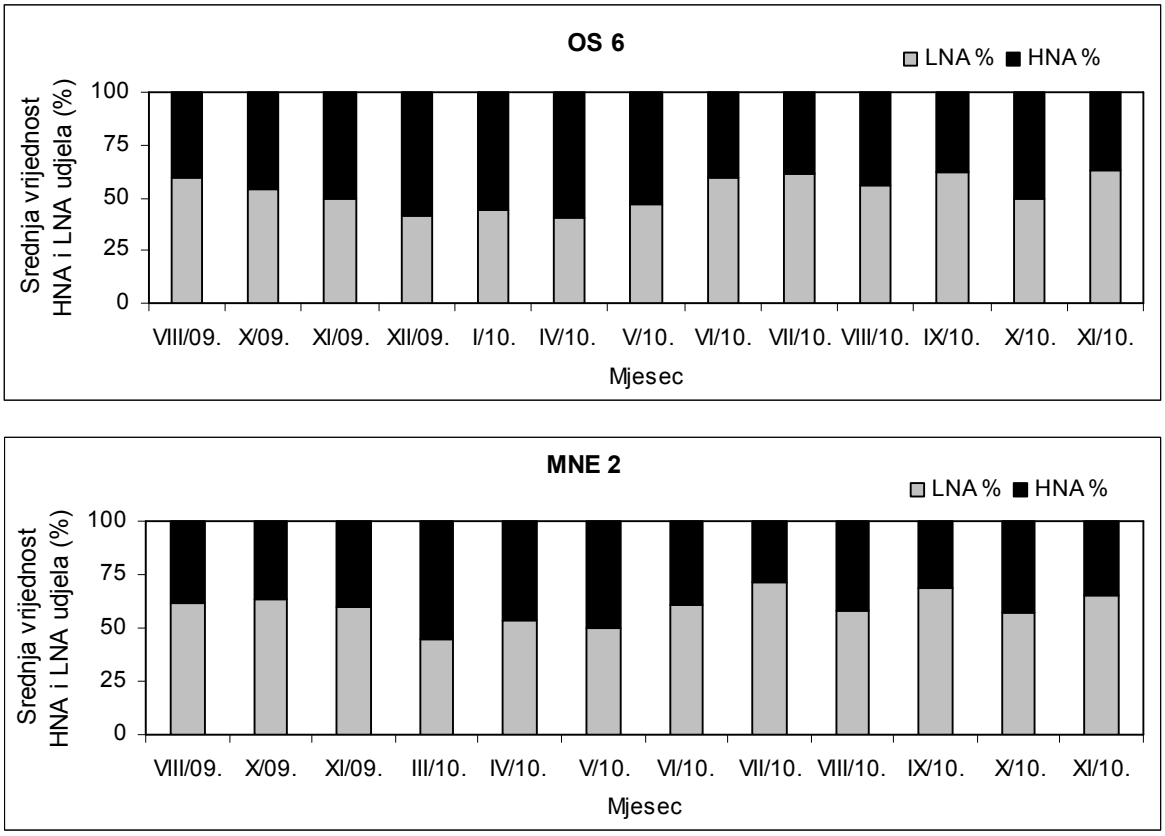
Slika 5.3.3. Raspodjela HNA i LNA bakterija na području Hercegnovskog zaljeva

Priobalno more otvorenog dijela južnog Jadrana

Na priobalnim postajama pučinskog mora južnog Jadrana, prosječan udio HNA bakterija u ukupnom broju bakterija iznosio je od 20,2% do 68,7%, dok je prosječan udio LNA bakterija iznosio od 31,3% do 79,8%. Sezonska raspodjela ispitivanih bakterijskih grupa pokazala je prevladavanje HNA bakterija tijekom zimskih mjeseci 2009. godine do ranog proljeća 2010. godine da bi od kraja proljeća i početka ljeta 2010. godine pa sve do kraja istraživanog razdoblja udio LNA bakterija u vodenom stupcu bio dominantniji.

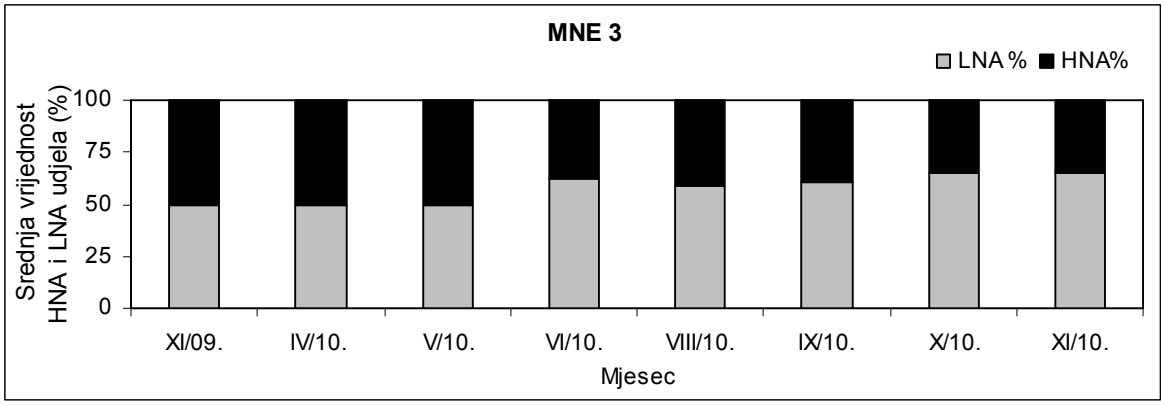
Na postaji OS 6 utvrđeno je prevladavanje HNA bakterija tijekom zime i proljeća, odnosno od prosinca 2009. godine do svibnja 2010. godine, s ujednačenim udjelima HNA i LNA skupine bakterija u studenom 2009. i listopadu 2010. godine. Vertikalna raspodjela udjela HNA i LNA bakterija pokazala je gotovo ujednačene vrijednosti od površine prema dnu vodenog stupca tijekom cijelog razdoblja istraživanja.

Na postaji MNE 2 udio LNA bakterija prevladavao je u vodenom stupcu tijekom cijelog razdoblja istraživanja osim u ožujku kada je udio HNA bakterija bio viši (55,14%) te u svibnju kada su njihovi udjeli bili izjednačeni. Vertikalna raspodjela udjela HNA i LNA bakterija pokazala je gotovo ujednačene vrijednosti od površine prema dnu vodenog stupca i tijekom razdoblja temperaturno ujednačenog i temperaturno raslojenog vodenog stupca (Slika 5.3.4.)



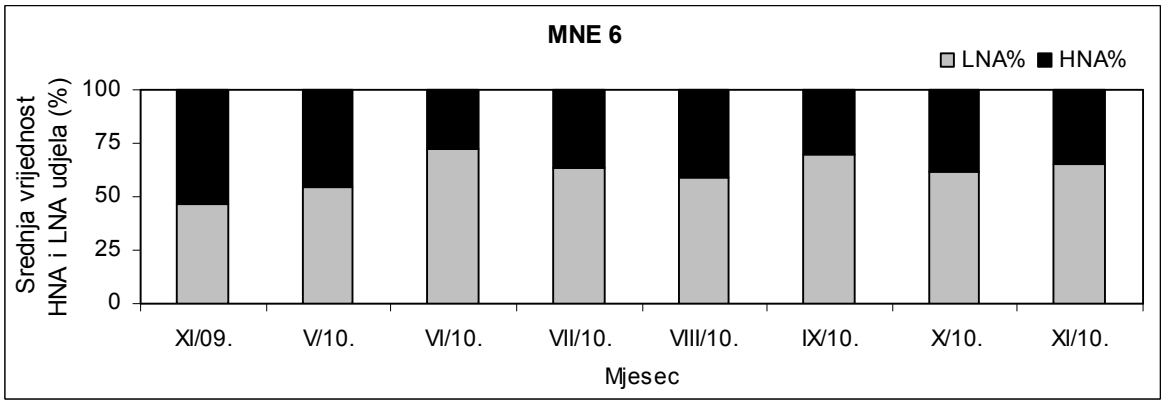
Slika 5.3.4. Raspodjela HNA i LNA bakterija na postajama OS 6 i MNE 2

Na postaji MNE 3 utvrđeni su ujednačeni udjeli HNA i LNA grupa bakterija u razdoblju od studenog 2009. godine do svibnja 2010. godine, dok je tijekom ljeta i jeseni udio LNA bakterija prevladavao u vodenom stupcu. Vertikalna raspodjela udjela HNA i LNA bakterija pokazala je gotovo ujednačene vrijednosti od površine prema dnu tijekom temperaturno ujednačenog, ali i temperaturno raslojenog vodenog stupca (Slika 5.3.5.).



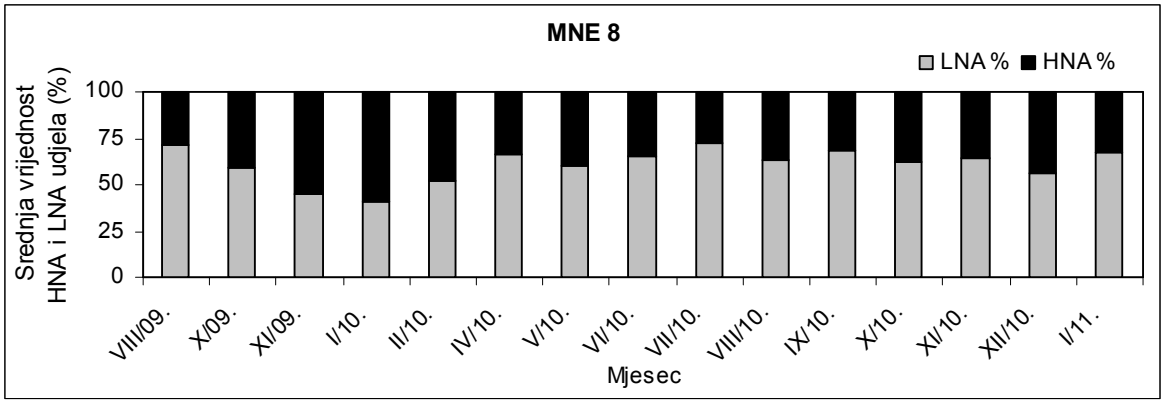
Slika 5.3.5. Raspodjela HNA i LNA bakterija na postaji MNE 3

Na postaji MNE 6 utvrđeno je prevladavanje HNA grupe bakterija samo tijekom rujna 2009. godine. U razdoblju od svibnja do sudenog 2010. godine udio LNA bakterija je prevladavao u vodenom stupcu bez izraženog vertikalnog gradijenta (Slika 5.3.6.).



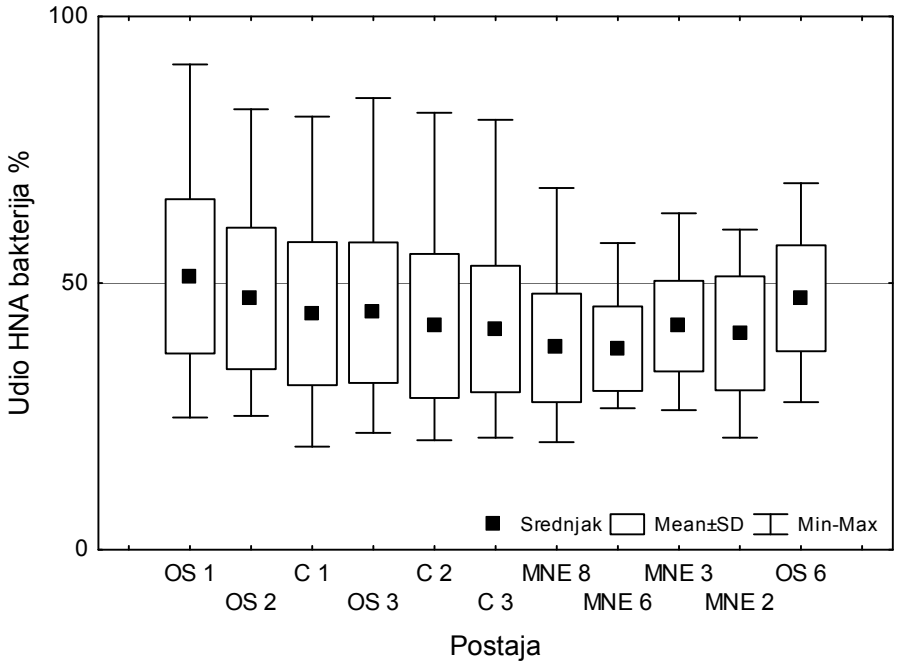
Slika 5.3.6. Raspodjela HNA i LNA bakterija na postaji MNE 6

Na postaji MNE 8 udio HNA bakterija prevladavao je u vodenom stupcu tijekom prosinca 2009. godine i siječnja 2010. godine. U veljači je utvrđen gotovo ujednačen udio HNA i LNA skupina bakterija, a već od ožujka utvrđeno je prevladavanje LNA skupine bakterija u vodenom stupcu. Vertikalna raspodjela udjela HNA i LNA bakterija pokazala je kao i na prethodnim postajama gotovo ujednačene vrijednosti od površine prema dnu tijekom cijelog razdoblja istraživanja (Slika 5.3.7.).



Slika 5.3.7. Raspodjela HNA i LNA bakterija na postaji MNE 8

Uspoređujući udjele HNA i LNA bakterija u ukupnom broju bakterija između priobalnih postaja Bokokotorskog zaljeva i postaja priobalnog dijela otvorenog mora južnog Jadrana uočeno je da je udio HNA bakterija blago veći od 50% jedino na priobalnoj postaji OS 1 u Kotorskom zaljevu, te da na svim ostalim postajama prevladava udio LNA bakterija (Slika 5.3.8.).



Slika 5.3.8. Vrijednosti udjela HNA bakterija na istraživanom području južnog Jadrana

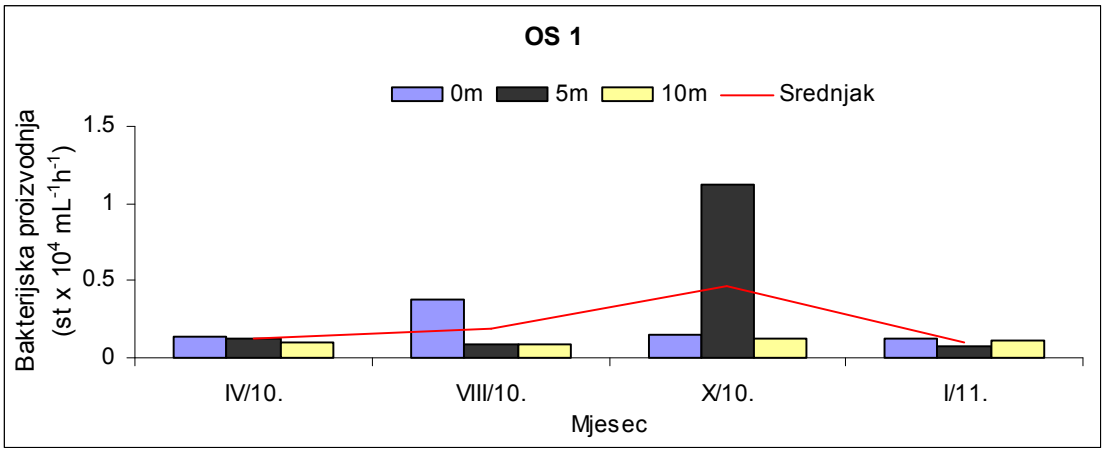
5.4. Bakterijska proizvodnja

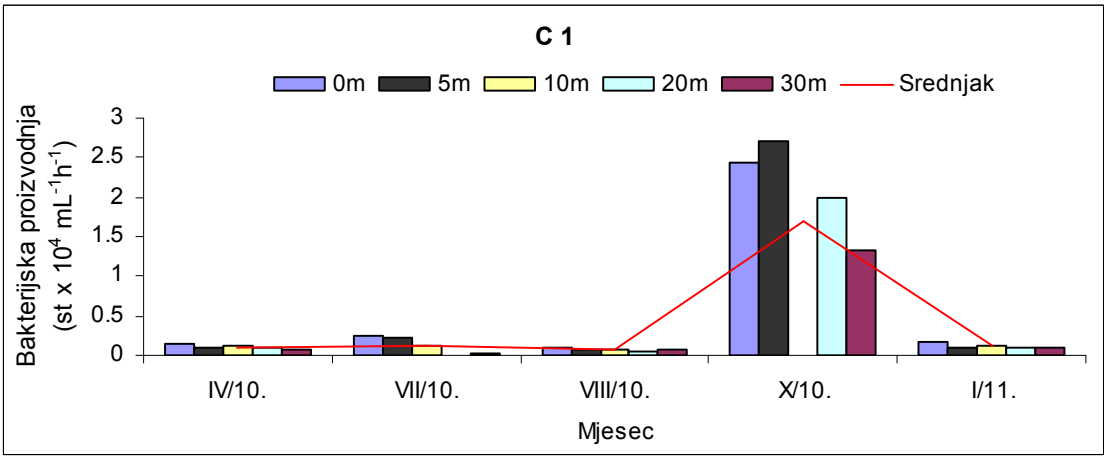
Bakterijska proizvodnja, kao značajan parametar za procjenu aktivnosti heterotrofnih bakterija, mjerena je sezonski tijekom 2010. godine na četiri postaje u Bokokotorskom zaljevu i na jednoj postaji (MNE 8) pučinskog dijela južnog Jadrana. Na istim je postajama bakterijska proizvodnja uspoređivana s raspodjelom HNA i LNA bakterija kako bi se mogla proučiti njihova uloga u aktivnostima bakterija.

Kotorski zaljev:

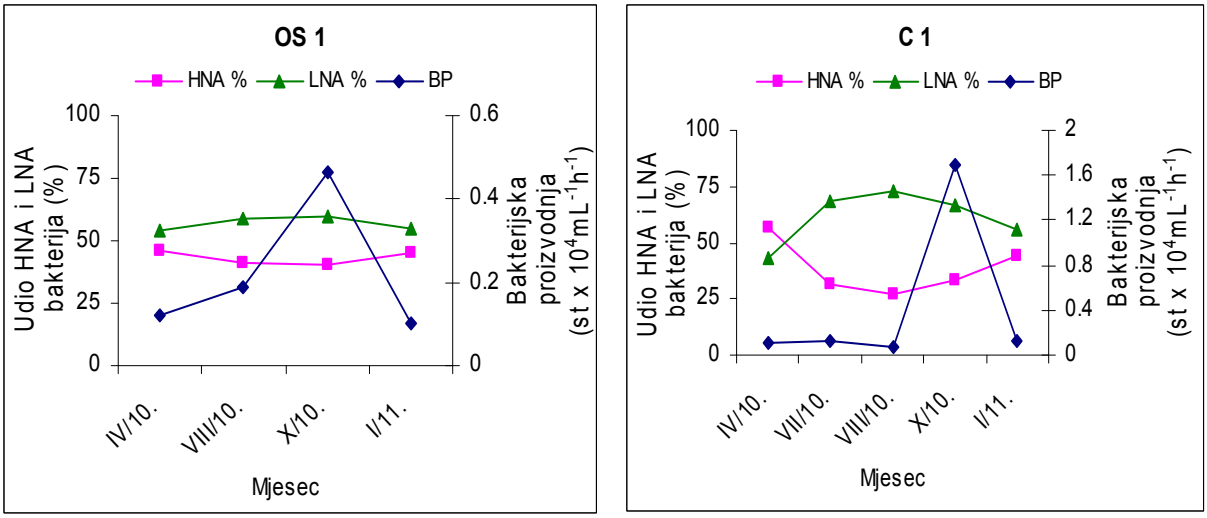
Prosječna vrijednost bakterijske proizvodnje na postaji OS 1 iznosila je u rasponu od 0,1 x 10^4 st mL^{-1} h^{-1} do 0,46 x 10^4 st mL^{-1} h^{-1}. Sezonske promjene bakterijske proizvodnje ukazuju na neznatne razlike u aktivnosti tijekom istraživanog perioda s izuzetkom u listopadu kada je utvrđena najviša vrijednost bakterijske proizvodnje. Ovaj nagli porast bakterijske aktivnosti zabilježen je tijekom intenzivnih padalina i miješanja vodenog stupca.

Slične sezonske promjene bakterijske proizvodnje utvrđene su i na postaji C 1 u Kotorskom zaljevu gdje je također tijekom listopada utvrđena najviša vrijednost bakterijske aktivnosti. Na ovoj postaji prosječna vrijednost bakterijske proizvodnje iznosila je u rasponu od 0,08 x 10^4 st mL^{-1} h^{-1} do 1,69 x 10^4 st mL^{-1} h^{-1} (Slika 5.4.1.).





Slika 5.4.1. Bakterijska proizvodnja na području Kotorskog zaljeva

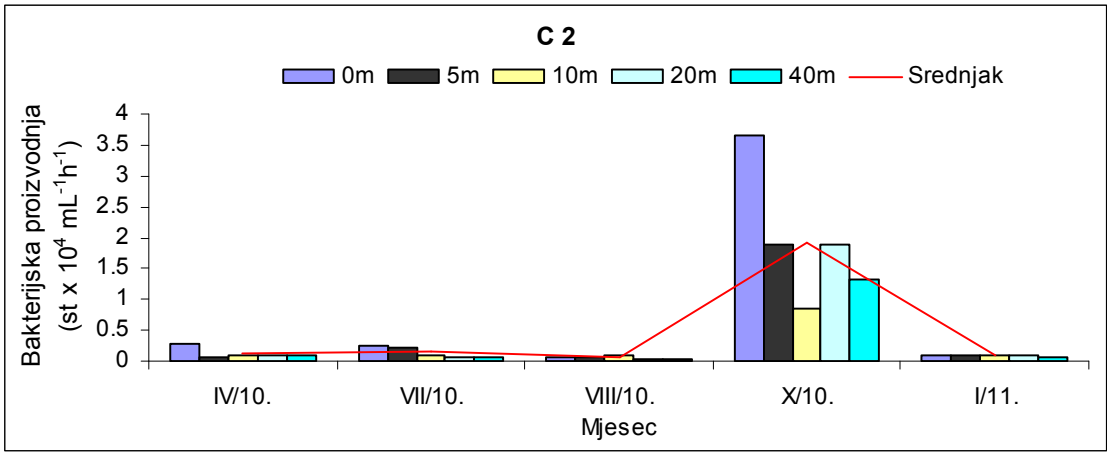


Slika 5.4.2. Odnos bakterijske proizvodnje, HNA i LNA udjela heterotrofnih bakterija na području Kotorskog zaljeva

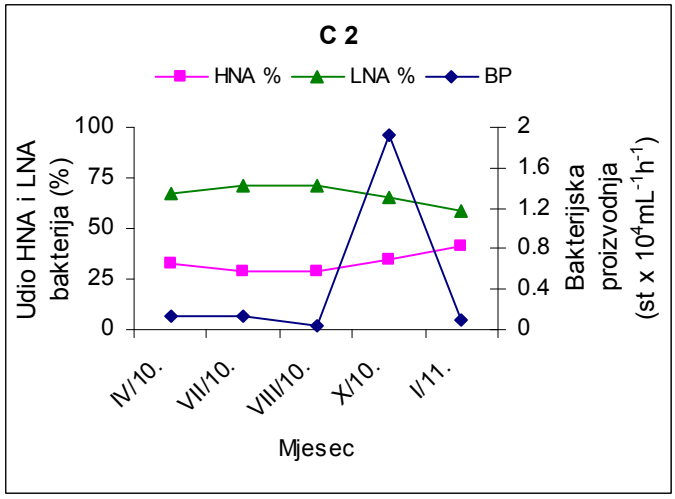
Tivatski zaljev:

Na postaji C 2 prosječna vrijednost bakterijske proizvodnje iznosila je u rasponu od 0,05 x 10^4 st mL^{-1} h^{-1} do 1,93 x 10^4 st mL^{-1} h^{-1}. Nagli porast bakterijske aktivnosti utvrđen je tijekom listopada kao i u Kotorskom zaljevu. Vertikalni gradijent aktivnosti bio je izražen samo u razdoblju maksimalne bakterijske proizvodnje (Slika 5.4.3.). Odnos bakterijske proizvodnje i

udjela HNA i LNA bakterija pokazuje da je najviša vrijednost bakterijske aktivnosti utvrđena upravo u razdoblju kada je prevladavao udio LNA bakterija (Slika 5.4.4.).



Slika 5.4.3. Bakterijska proizvodnja na području Tivatskog zaljeva

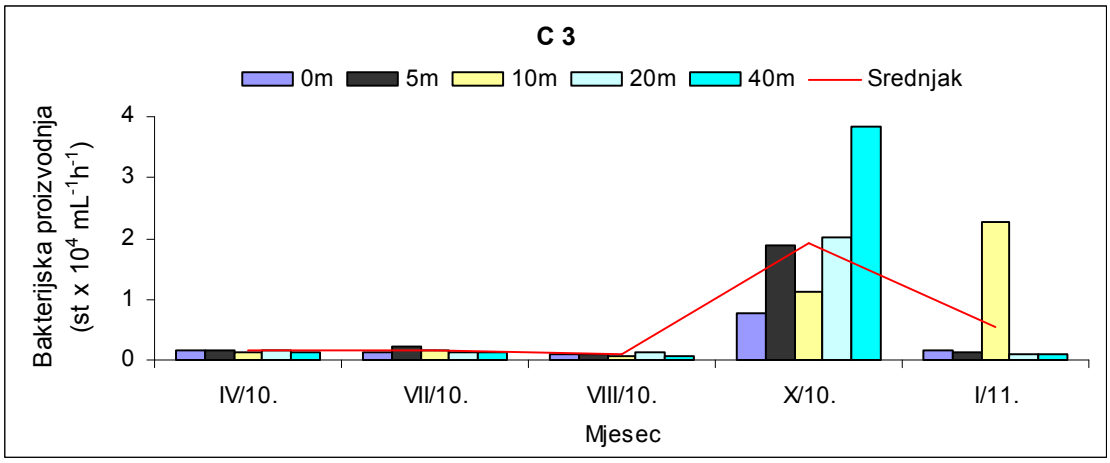


Slika 5.4.4. Odnos bakterijske proizvodnje, HNA i LNA udjela heterotrofnih bakterija na području Tivatskog zaljeva

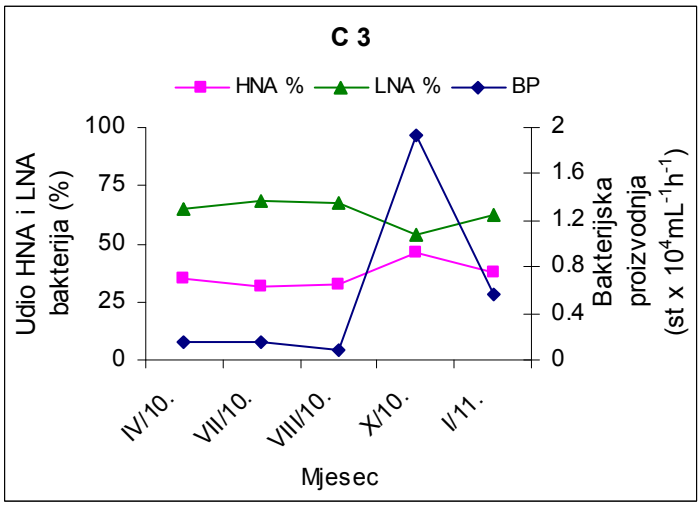
Hercegnovski zaljev:

Na postaji C 3 u Hercegnovskom zaljevu utvrđena je prosječna vrijednost bakterijske proizvodnje u rasponu od 0,09 x 10^4 st mL^{-1} h^{-1} do 1,93 x 10^4 st mL^{-1} h^{-1} s maksimumom

proizvodnje u listopadu u pridnenom sloju, za razliku od prethodnih područja na kojima je maksimum proizvodnje utvrđen u površinskom sloju (od 0m do 5m). Povećana aktivnost bakterija zabilježena je i u siječnju i to u središnjem dijelu vodenog stupca (10m) (Slika 5.4.5.). Odnos bakterijske proizvodnje i udjela HNA i LNA bakterija ukazuju da je najviša bakterijska aktivnost na ovoj postaji utvrđena kada su udjeli obje grupe bakterija bili gotovo ujednačeni (Slika 5.4.6.).



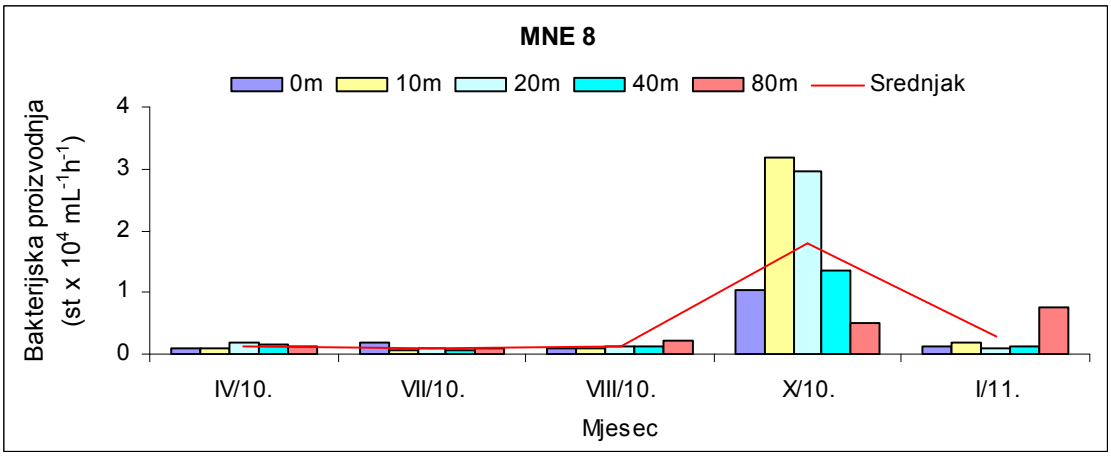
Slika 5.4.5. Bakterijska proizvodnja na području Tivatskog zaljeva



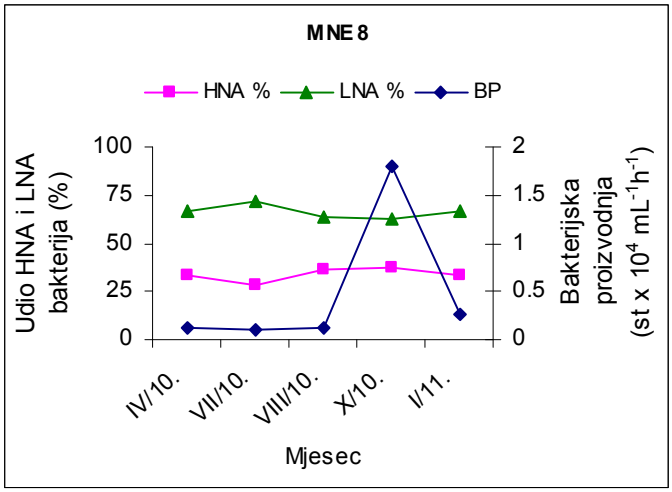
Slika 5.4.6. Odnos bakterijske proizvodnje, HNA i LNA udjela heterotrofnih bakterija na području Hercegnovskog zaljeva

Priobalno more otvorenog dijela južnog Jadrana

Na postaji MNE 8 otvorenog dijela južnog Jadrana prosječna vrijednost bakterijske proizvodnje iznosila je u rasponu od 0,1 x 10^4 st mL^{-1} h^{-1} do 1,81 x 10^4 st mL^{-1} h^{-1}. Maksimum proizvodnje utrđen je u listopadu kao i na postajama u Bokokotorskom zaljevu s izraženim vertikalnim gradijentom samo tijekom maksimalne bakterisjke aktivnosti. Povećana bakterijska aktivnost zabilježena je i u siječnju 2011. godine sa maksimumom proizvodnje u pridnenom sloju. U ostalom dijelu istraživanog razdoblja aktivnost bakterija bila je gotovo ujednačena kroz cijeli vodeni stupac (Slika 5.4.7.). Za vrijeme najviše bakterijske proizvodnje, ali i tijekom cijelog razdoblja istraživanja u vodenom stupcu je prevladavao udio LNA bakterija (Slika 5.4.8.).

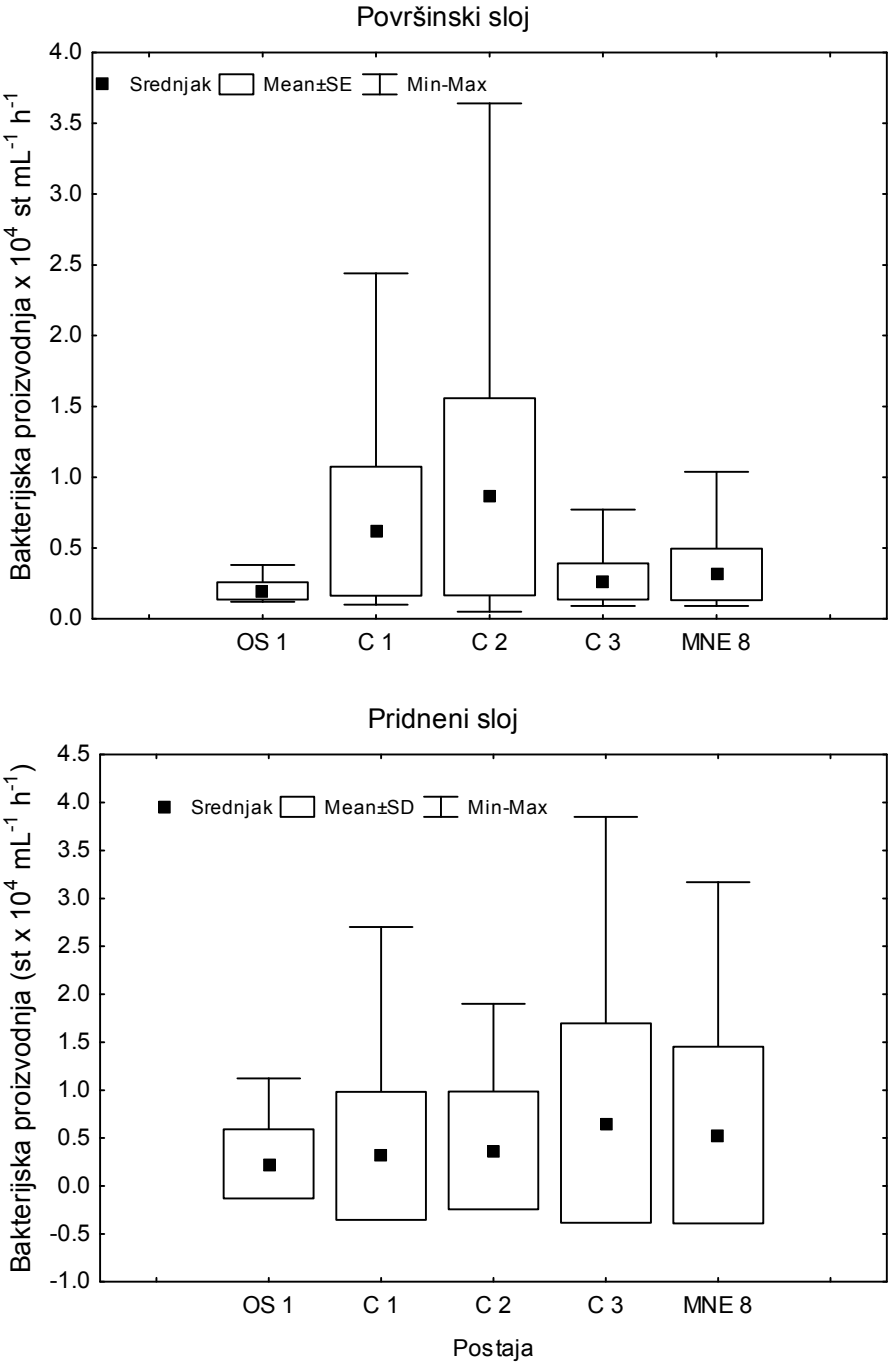


Slika 5.4.7. Bakterijska proizvodnja na području otvorenog dijela južnog Jadrana



Slika 5.4.8. Odnos bakterijske proizvodnje, HNA i LNA udjela heterotrofnih bakterija na području otvorenog dijela južnog Jadrana

Uspoređujući vrijednosti bakterijske proizvodnje među postajama, uočeno je da je aktivnost bakterija najmanja na priobalnoj postaji OS 1. Najveća bakterijska aktivnost utvrđena je u centralnom dijelu Tivatskog i Hercegnovskog zaljeva (postaje C 2 i C 3) gdje su vrijednosti bakterijske aktivnost iznosile i do 3,64 x 10^4 st mL^{-1} h^{-1} za Tivatski zaljev u površinskom sloju (0m), odnosno do 3,85 x 10^4 st mL^{-1} h^{-1} za Hercegnovski zaljev u pridnenom sloju (40m) (Slika 5.4.9.). Usporedbom prosječnih vrijednosti bakterijske proizvodnje u površinskom sloju, jasno se uočava da su najviše vrijednosti utvrđene u centralnom dijelu Kotorskog i Tivatskog zaljeva, dok se usporedbom ovih vrijednosti u pridnenom sloju izdvajaju centralna postaja u Hercegnovskom zaljevu te postaja MNE 8 koja pripada pučinskom dijelu Jadrana, ali se nalazi na samom ulazu u Bokotorski zaljev (Slika 5.4.9.).



Slika 5.4.9. Bakterijska proizvodnja na postajama Bokokotorskog zaljeva i otvorenog dijela južnog Jadrana

5.5. Heterotrofni nanoflagelati (HNF)

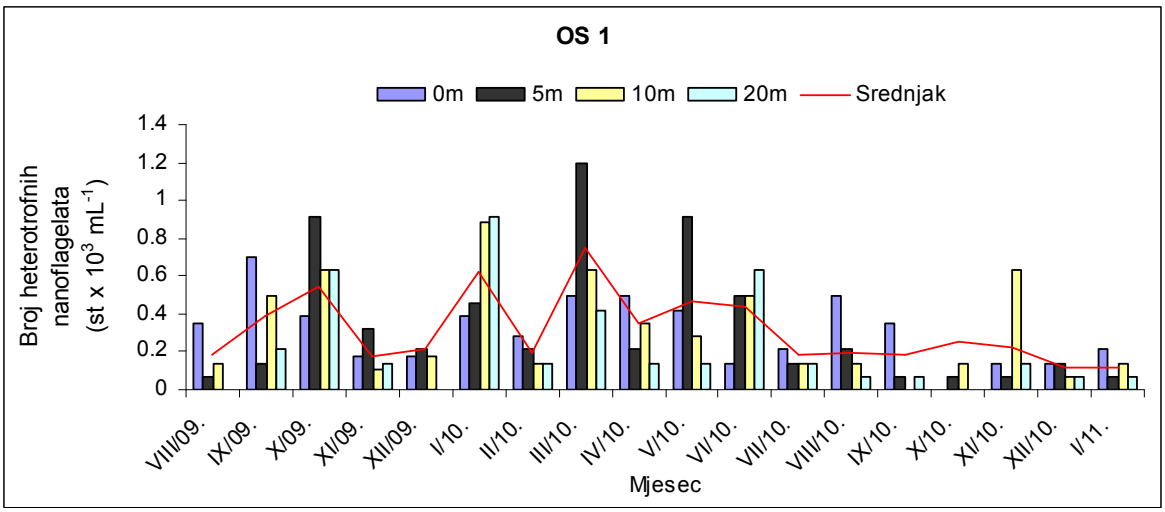
Brojnost heterotrofnih nanofagelata, kao najznačajnijih predatora bakterija, istraživana je na svim postajama na kojima su istraživane i bakterije.

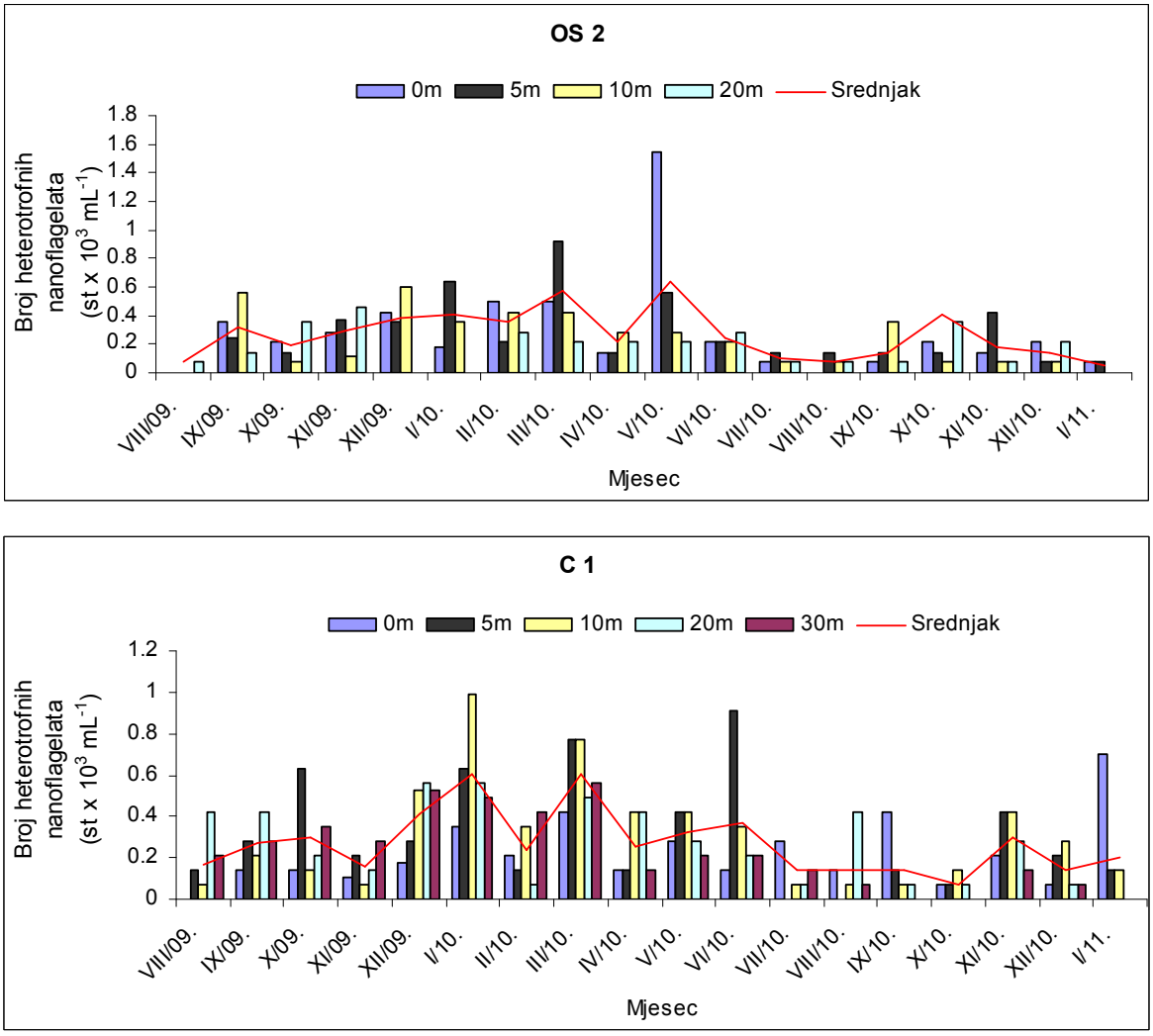
Priobalno more južnog Jadrana- Bokokotorski zaljev

Kotorski zaljev:

Prosječna brojnost heterotrofnih nanoflagelata na ispitivanim postajama Kotorskog zaljeva iznosila je od 0,06 x 10^3 st mL^{-1} do 0,75 x 10^3 st mL^{-1}.

Sezonska raspodjela brojnosti HNF-a na postajama OS 1 i C 1 pokazala je najviše brojnosti u siječnju i ožujku, dok je na postaji OS 2 najviša brojnost utvrđena u ožujku i svibnju kada je maksimum brojnosti utvrđen u površinskom sloju. Najniže brojnosti utvrđene su na postaji OS 1 u kolovozu 2009. i 2010. godine te u siječnju 2011. godine. Na postaji OS 2 najniže brojnosti utvrđene su u prosincu 2010. i siječnju 2011., a na postaji C 1 u listopadu 2010. godine. Vertikalni gradijent brojnosti HNF-a se uočava tijekom cijelog istraživanog razdoblja na svim postajama, ali je najizraženiji bio upravo u razdoblju najviših vrijednosti (Slika 5.5.1.).



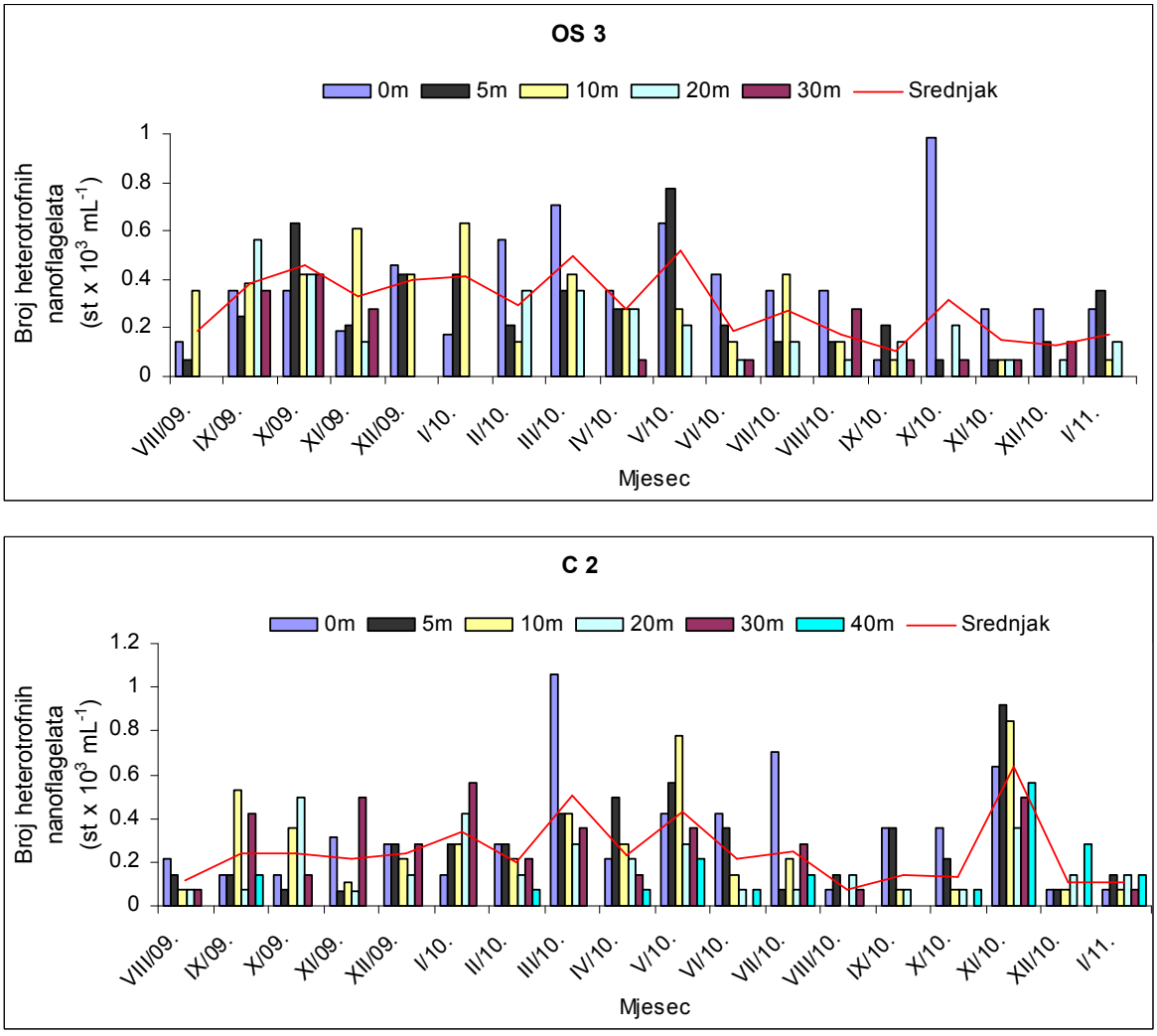


Slika 5.5.1. Raspodjela heterotrofnih nanoflagelata na području Kotorskog zaljeva

Tivatski zaljev:

Prosječna brojnost heterotrofnih nanoflagelata na ispitivanim postajama Tivatskog zaljeva iznosila je od 0,07 x 10^3 st mL^{-1} do 0,63 x 10^3 st mL^{-1}. Najviše brojnosti na ovom području su utvrđene u zimsko-proljetnom razdoblju, s maksimumom brojnosti u ožujku i svibnju te u listopadu u površinskom sloju na postaji OS 3, dok su na postaji C 2 najviše brojnosti utvrđene u ožujku, svibnju i studenom 2010. godine. Vertikalni gradijent brojnosti HNF-a se uočava

tijekom cijelog istraživanog razdoblja, ali je najizraženiji bio upravo u razdoblju najviših vrijednosti (Slika 5.5.2.)

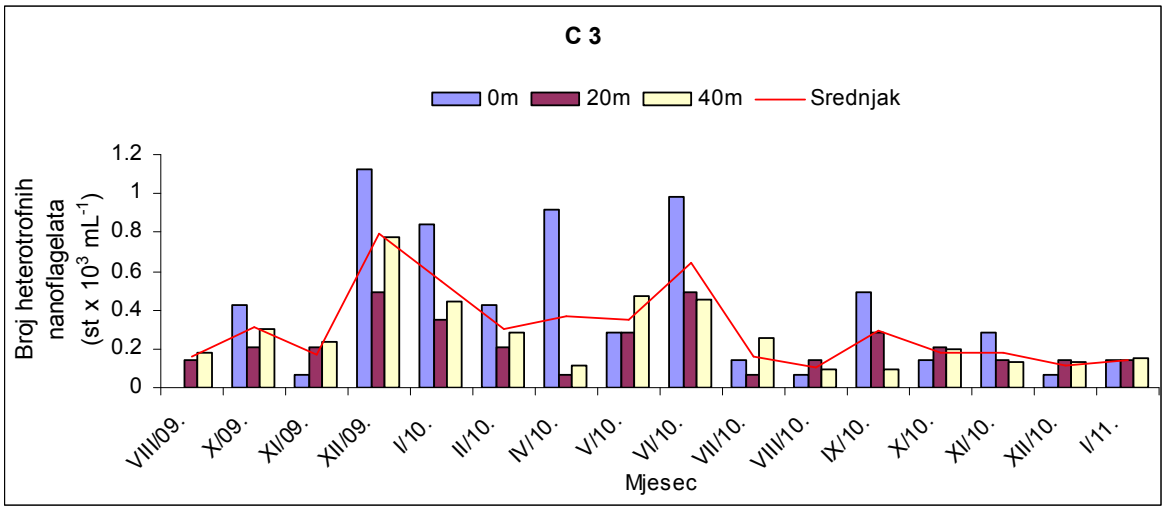


Slika 5.5.2. Raspodjela heterotrofnih nanoflagelata na području Tivatskog zaljeva

Hercegnovski zaljev:

Na postaji C 3 prosječna brojnost heterotrofnih nanoflagelata iznosila je od 0,1 x 10^3 st mL^{-1} do 0,8 x 10^3 st mL^{-1}. Najviše brojnosti na ovom području utvrđene su od kraja zimskog razdoblja 2009. godine do početka ljetnjeg razdoblja 2010. godine. Najveće razlike u brojnosti HNF-a

duž vodenog stupca utvrđene su za vrijeme najviših prosječnih brojnost, s povišenim vrijednostima brojnosti HNF-a u površinskom sloju. Najniže brojnosti HNF-a utvrđene su tijekom srpnja i kolovoza te u razdoblju od listopada 2010. do siječnja 2011. godine (Slika 5.5.3.).



Slika 5.5.3. Raspodjela heterotrofnih nanoflagelata na području Hercegnovskog zaljeva

Priobalno more otvorenog dijela južnog Jadrana

Na području pučinskog mora južnog Jadrana prosječna brojnost heterotrofnih nanoflagelata iznosila je od 0,05 x 10^3 st mL^{-1} do 1,17 x 10^3 st mL^{-1}. Sezonska raspodjela HNF-a na ovom se području neznatno razlikovala od postaje do postaje (Slika 5.5.4.).

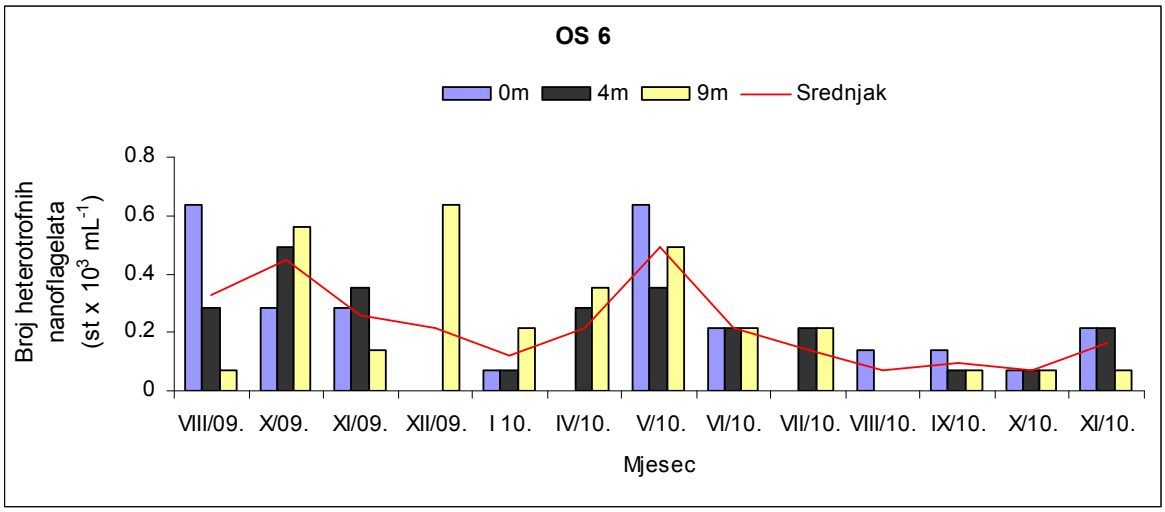
Na postaji koja je pod najjačim utjecajem rijeke Bojane, odnosno na postaji OS 6 prosječna brojnost heterotrofnih nanoflagelata iznosila je od 0,07 x 10^3 st mL^{-1} do 0,44 x 10^3 st mL^{-1} s vrlo izraženim vertikalnim gradijent brojnosti u razdoblju od kolovoza 2009. do svibnja 2010. godine. Utvrđena su dva maksimuma brojnosti i to u listopadu 2009. godine kada je najviša brojnost HNF-a utvrđena u pridnenom sloju, te u svibnju 2010. godine sa maksimumom brojnosti u površinskom sloju.

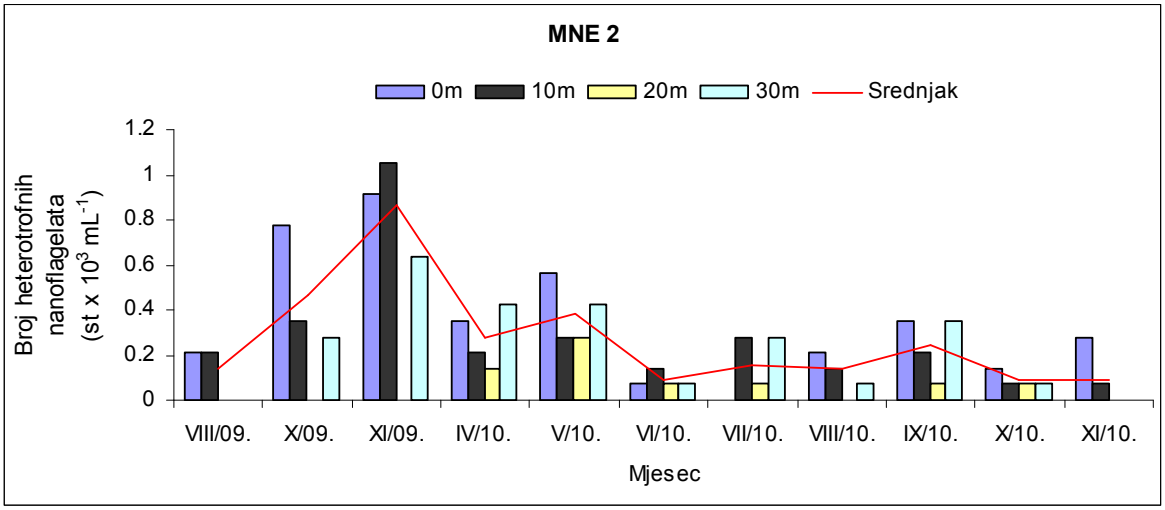
Na postaji MNE 2 utvrđena su također dva maksimuma brojnosti i to u studenom 2009. godine sa najvišim brojnostima HNF-a na dubini od 10m te u svibnju 2010. godine.

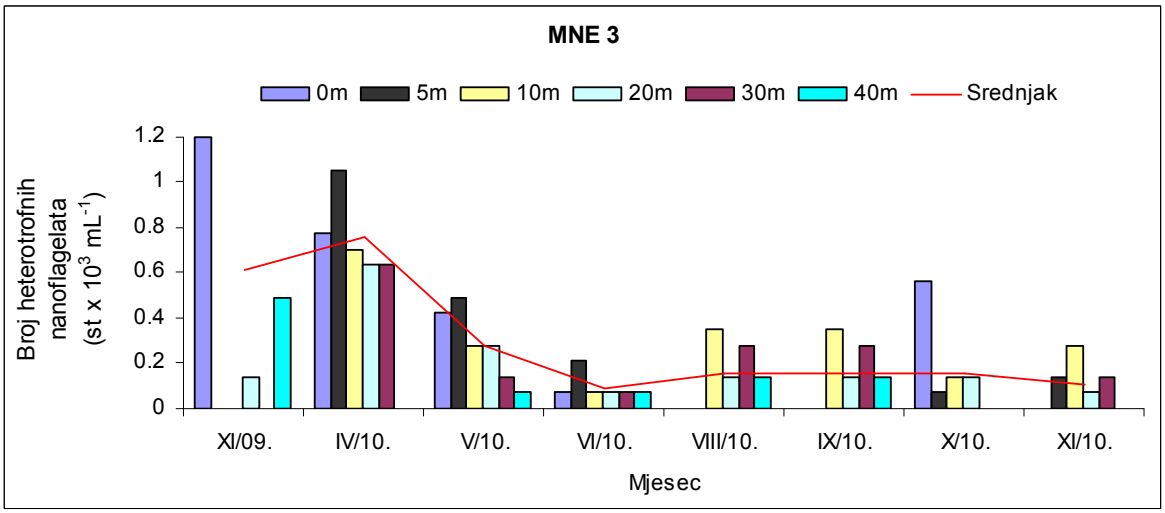
Na postaji MNE 3 utvrđene su visoke brojnosti HNF-a tijekom travnja 2010. godine, dok su najniže brojnosti utvrđene u razdoblju od lipnja do studenog. Visoke vrijednosti brojnosti HNF-a utvrđene su u površinskim slojevima (od 0m do 10m) tijekom cijelog istraživanog razdoblja s izraženim maksimumom brojnosti u površinskom sloju u studenom 2009. godine.

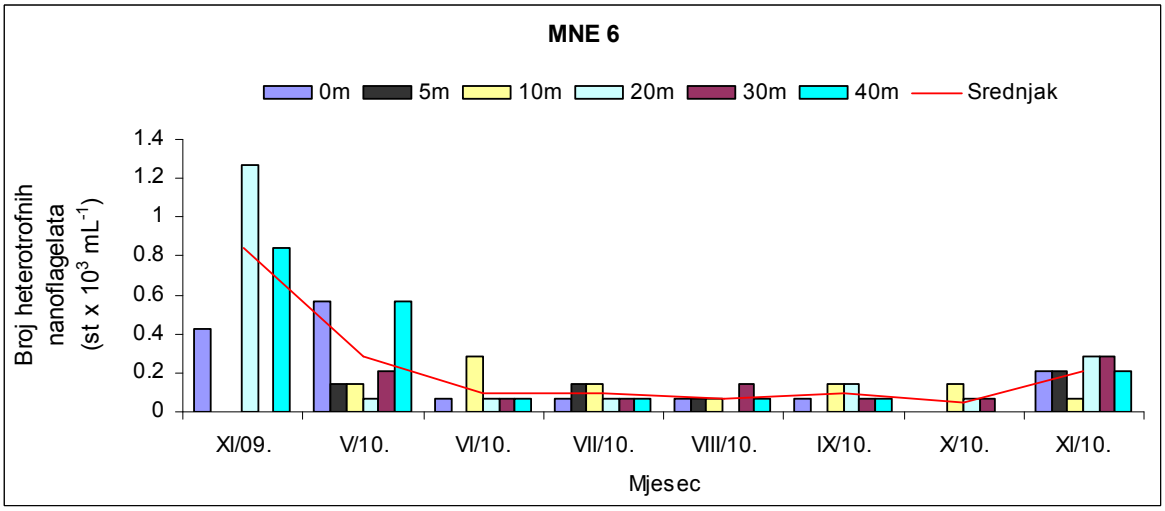
Na postaji MNE 6 najviše brojnostima HNF-a utvrđene su u studenom 2009. godine i to u središenjem sloju vodenog stupca, na dubini od 20m. U razdoblju od lipnja do listopada utvrđene su ujednačeno niske vrijednosti HNF-a s trendom porasta brojnosti tijekom studenog. Najveće razlike u brojnosti HNF-a duž vodenog stupca utvrđene su za vrijeme najviših prosječnih brojnost odnosno u studenom 2009. i svibnju 2010. godine.

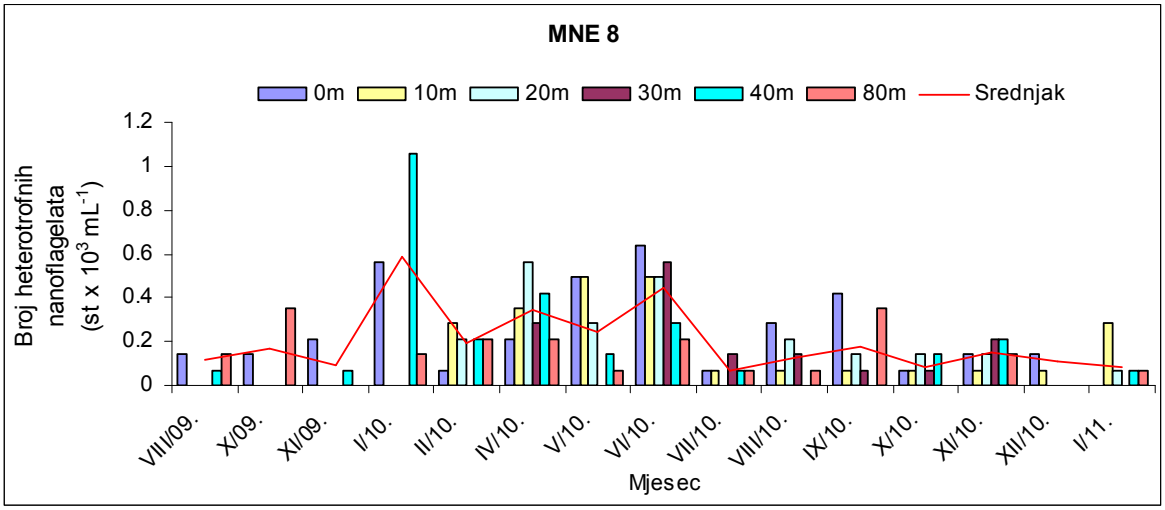
Na najdubljoj postaji otvorenog dijela Jadrana, odnosno na postaji MNE 8 sezonska raspodjela HNF- a značajno se razlikovala u odnosu na ostale postaje otvorenog mora ali je utvrđena velika sličnost sa sezonskom raspodjelom na postaji C 3 unutar Bokokotrskog zaljeva. Najviše brojnosti HNF-a utvrđene su u zimsko-proljetnjem razdoblju odnosno od siječnja do lipnja 2010. godine s vrlo izraženim vertikalnim gradijentom brojnosti.




MNE 2
0m
10m
20m
30m
Srednjak
Broj heterotrofnih nanoflagelata (st x 10³ mL⁻¹)
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
VIII/09.
X/09.
XI/09.
IV/10.
V/10.
VI/10.
VII/10.
VIII/10.
IX/10.
X/10.
XI/10.
Mjesec


MNE 3
0m
5m
10m
20m
30m
40m
Srednjak
Broj heterotrofnih nanoflagelata (st x 10³ mL⁻¹)
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
XI/09.
IV/10.
V/10.
VI/10.
VIII/10.
IX/10.
X/10.
XI/10.
Mjesec

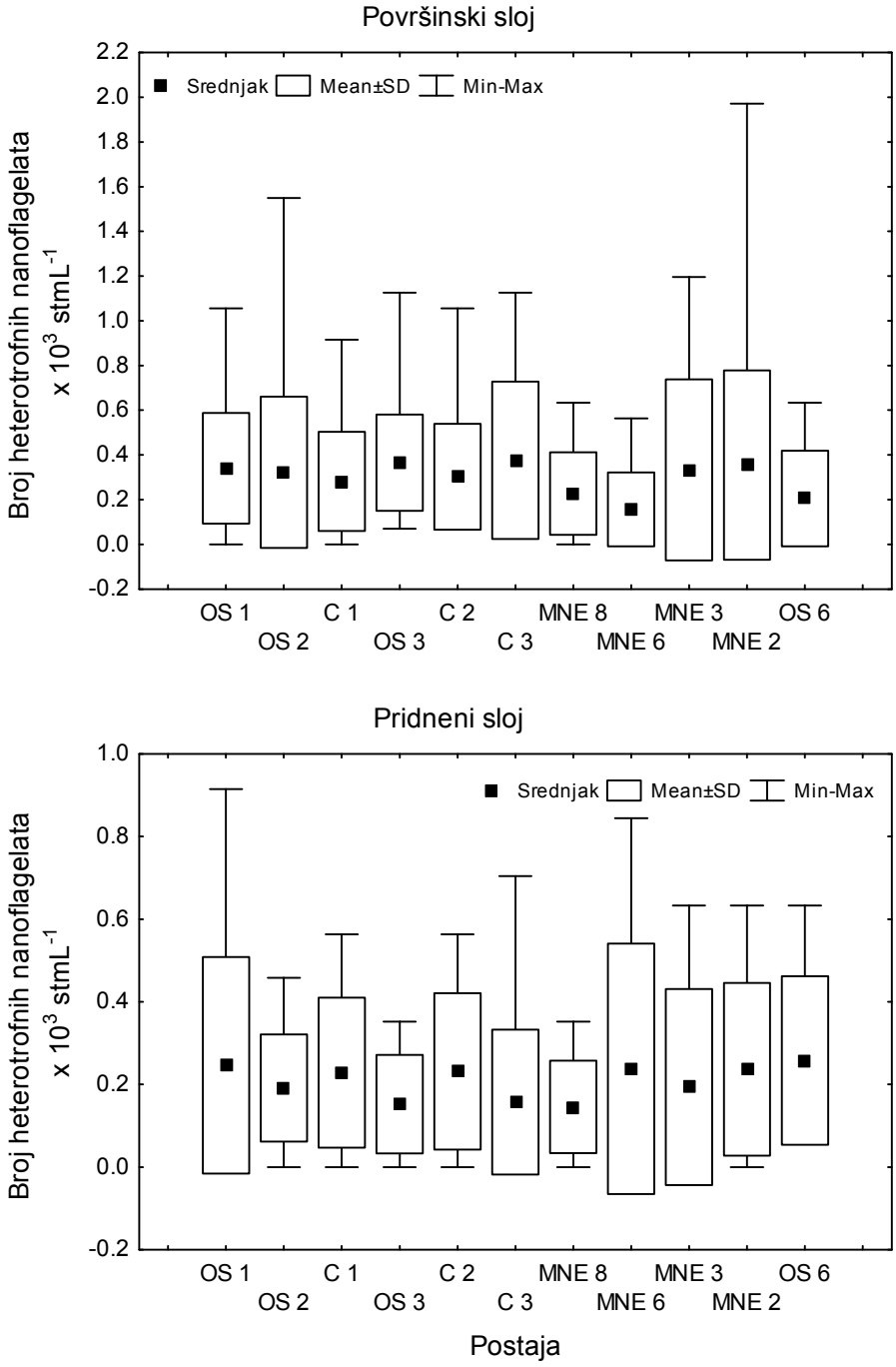

MNE 6
0m
5m
10m
20m
30m
40m
Srednjak
Broj heterotrofnih nanoflagelata (st x 10³ mL⁻¹)
1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
XI/09.
V/10.
VI/10.
VII/10.
VIII/10.
IX/10.
X/10.
XI/10.
Mjesec



Slika 5.5.4. Raspodjela heterotrofnih nanoflagelata na području priobalnog mora otvorenog dijela južnog Jadrana

Usporedbom prosječnih brojnosti heterotrofnih nanoflagelata u površinskom sloju istraživanog područja, jasno se po najvećoj brojnosti izdvaja postaja C 3 u Bokokotorskom zaljevu te postaje MNE 2 i MNE 3 u otorenom dijelu Jadrana. Na svim ostalim istraživanim postajama brojnosti HNF-a su bile gotovo ujednačene osim na postaji MNE 6 na kojoj su utvrđene najniže vrijednosti brojnosti heterotrofnih nanoflagelata.

U pridnenom sloju prosječne su brojnosti HNF-a uglavnom bile neznatno niže od onih u površinskom sloju, ali s izraženijim promjenama vrijednosti. U ovom je sloju najviša prosječna brojnost heterotrofnih nanoflagelata utvrđena na zaljevskoj postaji OS 1 te na postajama MNE 6, MNE 2 i OS 6 na otvorenom dijelu Jadrana, na kojima je utvrđena gotovo ujednačena brojnost heterotrofnih nanoflagelata (Slika 5.5.5.).



Slika 5.5.5. Vrijednosti heterotrofnih nanoflagelata na postajama Bokokotorskog zaljeva i otvorenog dijela južnog Jadrana

5.6. Autotrofni pikoplankton – brojnost roda *Prochlorococcus*

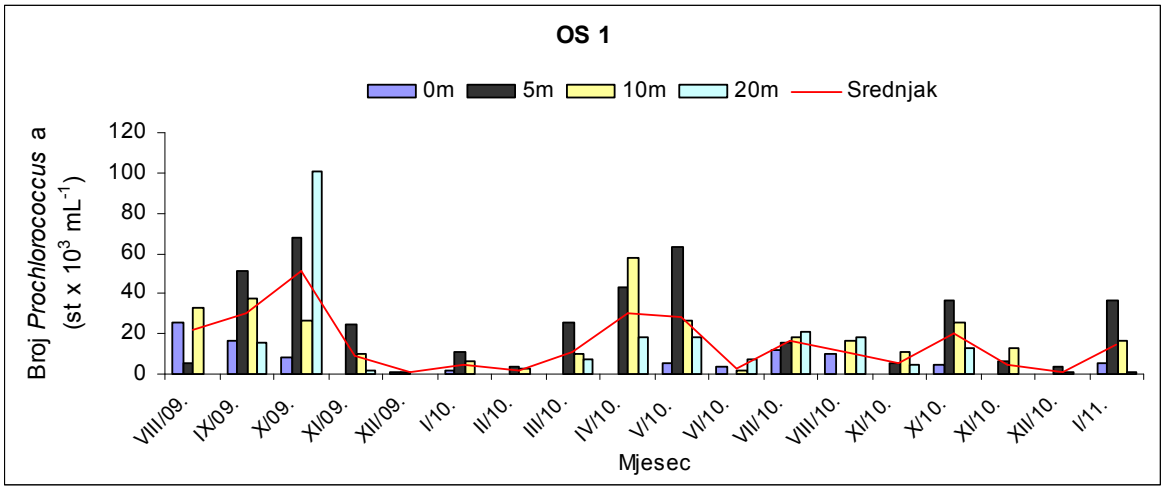
Brojnost autotrofnog pikoplanktona roda *Prochlorococcus* istraživana je na svim postajama na kojima su istraživana termohalina svojstva morske vode, bakterijski parametri, te brojnost i raspodjela heterotrofnih nanoflagelata.

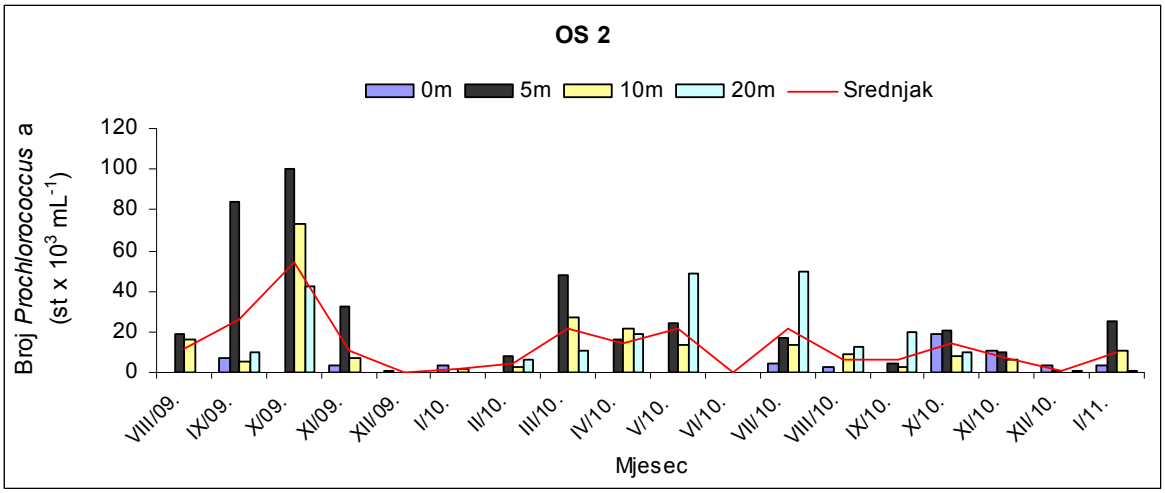
Priobalno more južnog Jadrana- Bokokotorski zaljev

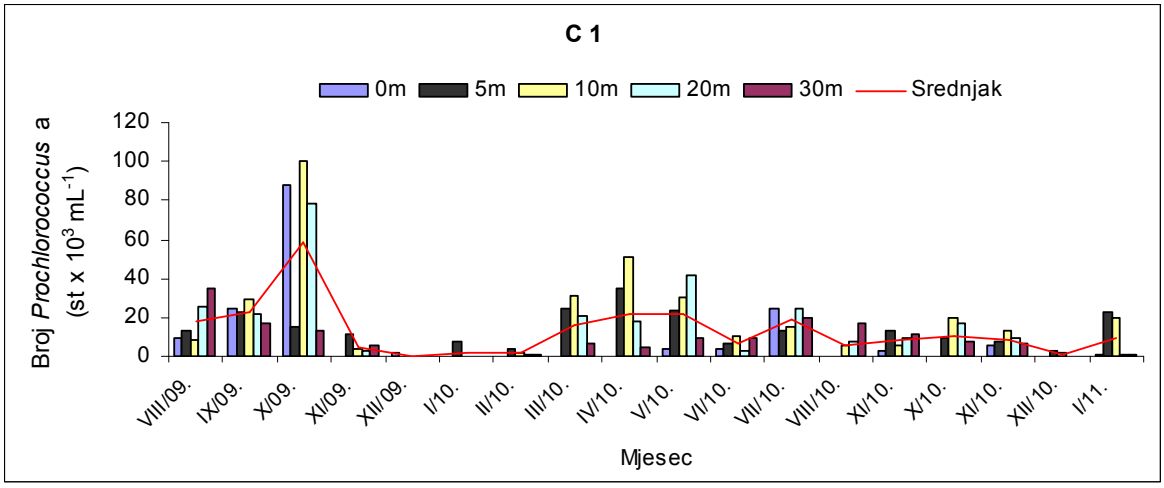
Prosječna brojnost roda *Prochlorococcus* na području cijelog zaljeva iznosila je od 0 stanica do 58,86 x 10^3 st mL^{-1}. Sezonska raspodjela ukazuje na povišene brojnosti ovog roda u toplijem dijelu godine, odnosno početkom jeseni u 2009. godini i u proljetno-ljetnjem razdoblju tijekom 2010. godine.

Kotorski zaljev:
U Kotorskom zaljevu prosječna brojnost autotrofnog pikoplanktona roda *Prochlorococcus* iznosila je od 0 stanica do 58,86 x 10^3 st mL^{-1}. Vertikalni gradijent brojnosti *Prochlorococcus*a utvrđen je tijekom cijelog razdoblja istraživanja.
Na postajama OS 1 i OS 2 koje su pod najjačim utjecajem rijeka, najviše brojnosti roda *Prochlorococcus* utvrđene su u listopadu 2009. godine sa maksimumom brojnosti u površinskom sloju (5m) na obje postaje. Treba napomenuti da je izraziti vertikalni gradijent sa maksimumom brojnosti u vodenom stupcu na dubini od 5m utvrđen i tijekom rujna iste godine. Period povišene brojnosti roda *Prochlorococcus* utvrđen je na postaji OS 1 i tijekom travnja i svibnja, te tijekom srpnja i listopada, a na postaji OS 2 u razdoblju od ožujka do svibnj, te u srpnju i listopadu. Na obje postaje je utvrđena jako niska vrijednost brojnosti *Prochlorococcus*a tijekom lipnja, odnosno na postaji OS 2 je utvrđeno potpuno odsustvo roda *Prochlorococcus* u cijelom vodenom stupcu. Također, izrazito niske vrijednosti u površinskom sloju su utvrđene u razdoblju od listopada 2009. do lipnja 2010. godine a potpuno otsustvo stanica roda *Prochlorococcus* uvrđeno je od veljače do travnja na postaji OS 1 te od veljače do lipnja na postaji OS 2.

Slična sezonska raspodjela roda *Prochlorococcus* uvrđena je i na postaji C1 sa maksimumom brojnosti u listopadu 2009. godine, te povišenoj brojnosti od ožujka do svibnja i u srpnju 2010. godine. Izrazito niske vrijednosti brojnosti roda *Prochlorococcus* u površinskom sloju utvrđene su od studenog 2009. do lipnja s potpunim odsustvom stanica od siječnja do travnja. Najniže vrijednosti u cijelom vodenom stupcu na ovoj postaji utvrđene su od studenog 2009. do veljače 2010. godine te u lipnju i prosincu 2010. godine (Slika 5.6.1.).





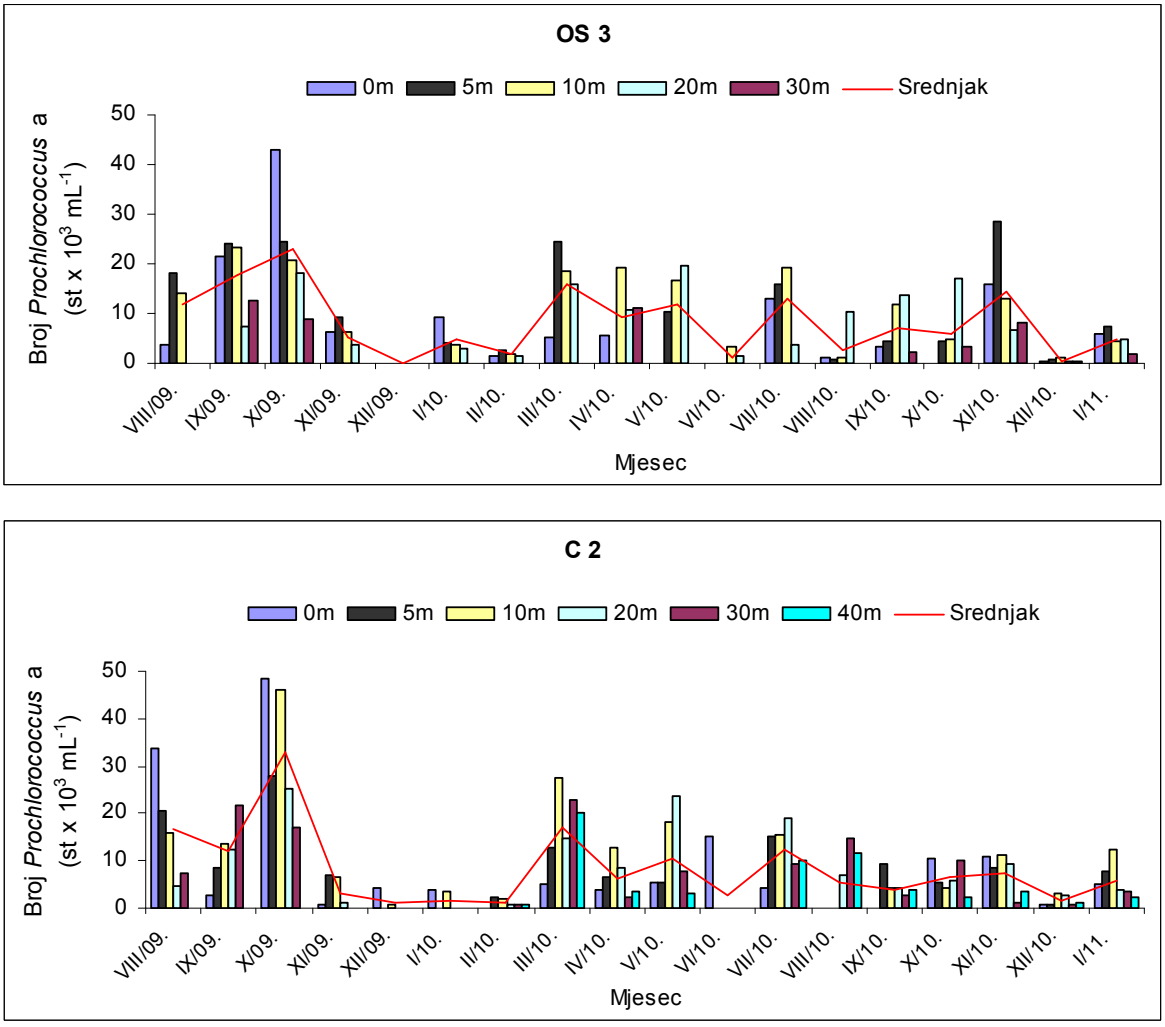


Slika 5.6.1. Raspodjela autotrofnog pikoplanktona roda *Prochlorococcus* na području Kotorskog zaljeva

Tivatski zaljev:

U Tivatskom zaljevu prosječna brojnost roda *Prochlorococcus* iznosila je od 0 stanica do 32,9 x 10^3 st mL^{-1}. Vertikalni gradijent brojnosti *Prochlorococcus*a utvrđen je tijekom cijelog razdoblja istraživanja (Slika 5.6.2.)

Maksimum brojnosti je na obje postaje utvrđen tijekom listopada 2009. godine, dok su mjesečne promjene brojnosti utvrđene u razdoblju od ožujka do prosinca 2010. godine. Najniže brojnosti *Prochlorococcus*a na obje su postaje utvrđene u prosincu 2009. i 2010. godine a na postaji OS 3 utvrđeno je potpuno odsustvo stanica u cijelom vodenom stupcu u prosincu 2009. godine. Na centralnoj zaljevskoj postaji C 1 u lipnju stanice roda *Prochlorococcus* utvrđene su samo u površinskom sloju (0m).

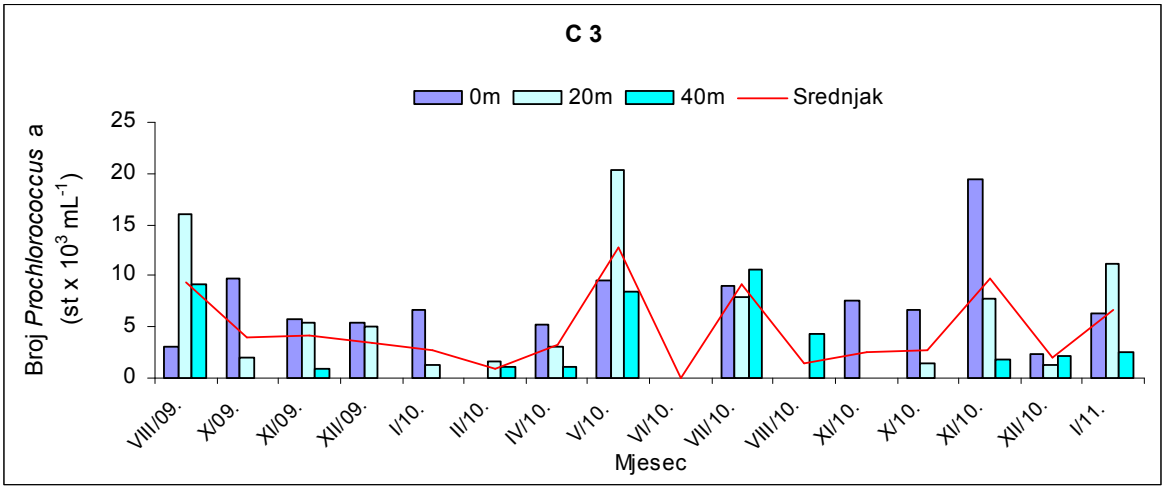


Slika 5.6.2. Raspodjela autotrofnog pikoplanktona roda *Prochlorococcus* na području Tivatskog zaljeva

Hercegnovski zaljev:

Na postaji C 3 utvrđena je najniža prosječna brojnost autotrofnog pikoplanktona roda *Prochlorococcus* koja je iznosila od 0 stanica do 12,7 x 10^3 st mL^{-1} dok su maksimumi brojnosti utvrđeni tijekom svibnja, srpnja i studenog 2010. godine. Najizraženiji vertikalni gradijent brojnosti *Prochlorococcusa* utvrđen je u svibnju, u središnjem sloju vodenog stupca (20m) dok je u studenom najviša brojnost izmjerena u površinskom sloju. Kao i na postaji OS 2 potpuno odsustvo stanica u cijelom vodenom stupcu utvrđeno je u lipnju. U kolovozu je

prisustvo stanica roda *Prochlorococcus* utvrđeno samo u pridnenom sloju dok je u rujnu njihovo prisustvo utvrđeno samo u površinskom sloju (Slika 5.6.3.).



Slika 5.6.3. Raspodjela autotrofnog pikoplanktona roda *Prochlorococcus* na području Hercegnovskog zaljeva

Priobalno more otvorenog dijela južnog Jadrana

Prosječna brojnost autotrofnog pikoplanktona roda *Prochlorococcus* iznosila je od 0 stanica do 22,58 x 10^3 st mL^{-1} (Sl. 5.6.4.).

Vertikalni gradijent brojnosti *Prochlorococcusa* na postaji OS 6 bio je najizraženiji tijekom najviših brojnosti, odnosno u listopadu 2009. godine kada je najviša brojnost stanica *Prochlorococcusa* utvrđena u površinskom sloju, dok je u razdoblju od travnja do srpnja najviša brojnost utvrđena u pridnenom sloju (9m). Maksimum brojnosti utvrđen je u studenom 2010. godine dok je u istom razdoblju prethodne godine utvrđeno potpuno odsustvo stanica u cijelom vodenom stupcu. U razdoblju od sudenog do siječnja 2010. godine utvrđene su izrazito niske brojnosti roda *Prochlorococcus* te potpuno odsustvo stanica tijekom kolovoza u cijelom vodenom stupcu.

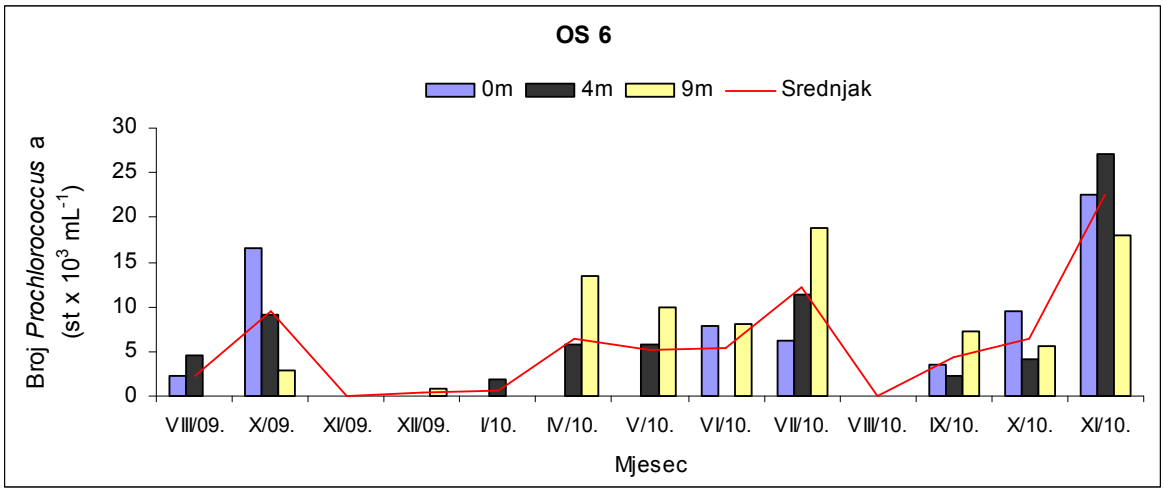
Na postaji MNE 2 najviše brojnosti ovog roda utvrđene su u površinskom sloju u ožujku, srpnju te u studenom kada su jednake brojnosti utvrđene u vodenom stupcu od 0m do 10m. Na

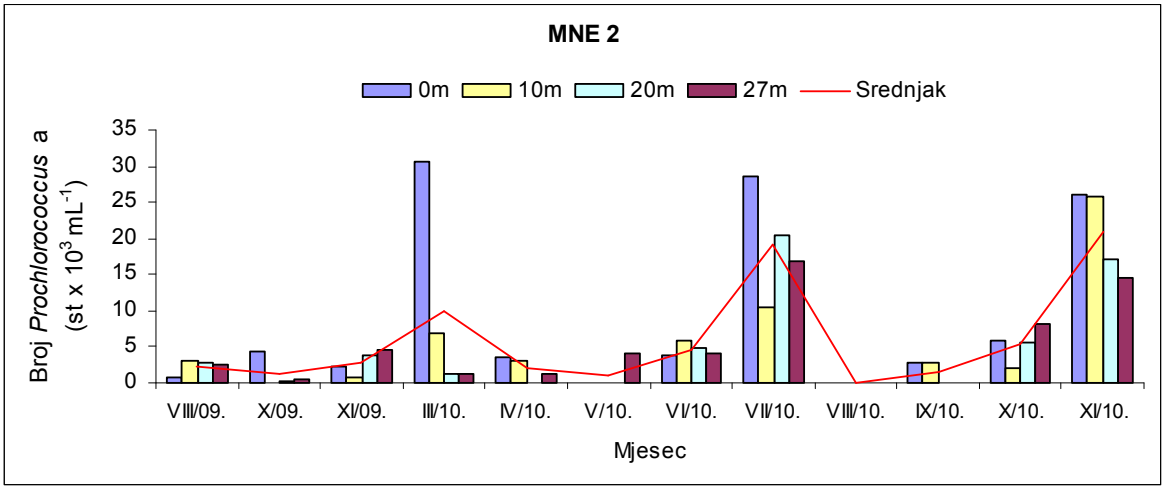
ovoj postaji prisustvo stanica roda *Prochlorococcus* nije utvrđeno u svibnju, osim u pridnenom sloju, te u kolovozu u cijelom vodenom stupcu. Vertikalni gradijent brojnosti roda *Prochlorococcus* bio je najizraženiji tijekom najviših brojnosti.

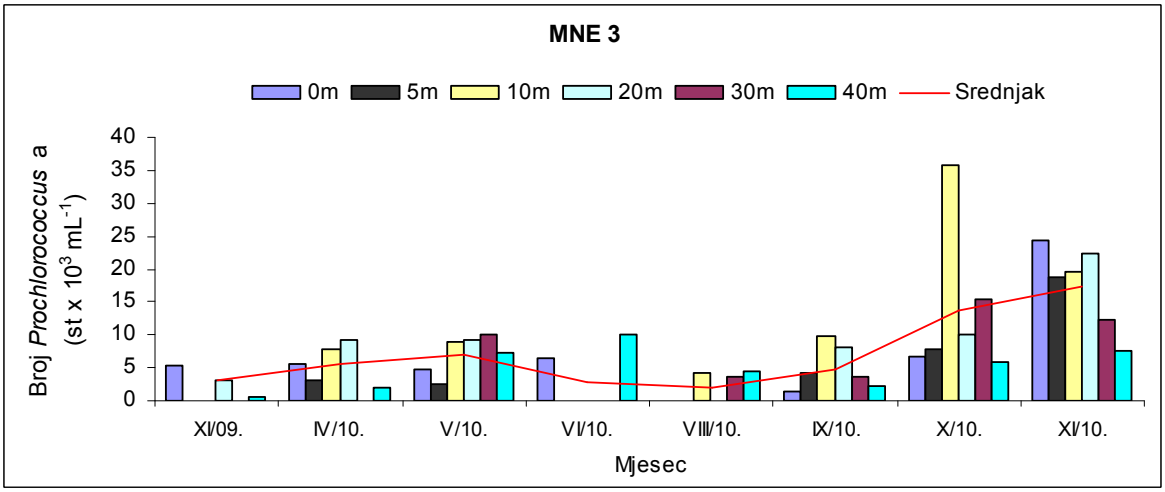
Na postaji MNE 3 najviše brojnosti *Prochlorococcusa* utvrđene su tijekom listopada i studenog. Maksimum brojnosti u listopadu je utvrđen u središnjem sloju vodenog stupca (35,7 x 10^3 st mL^{-1}), a u studenom u površinskom sloju (24,4 x 10^3 st mL^{-1}). Tijekom ostalih mjeseci, odnosno u prvom dijelu istraživanog razdoblja, na ovom je području brojnost roda *Prochlorococcus* bila ujednačena, s najnižim vrijednostima tijekom lipnja i kolovoza.

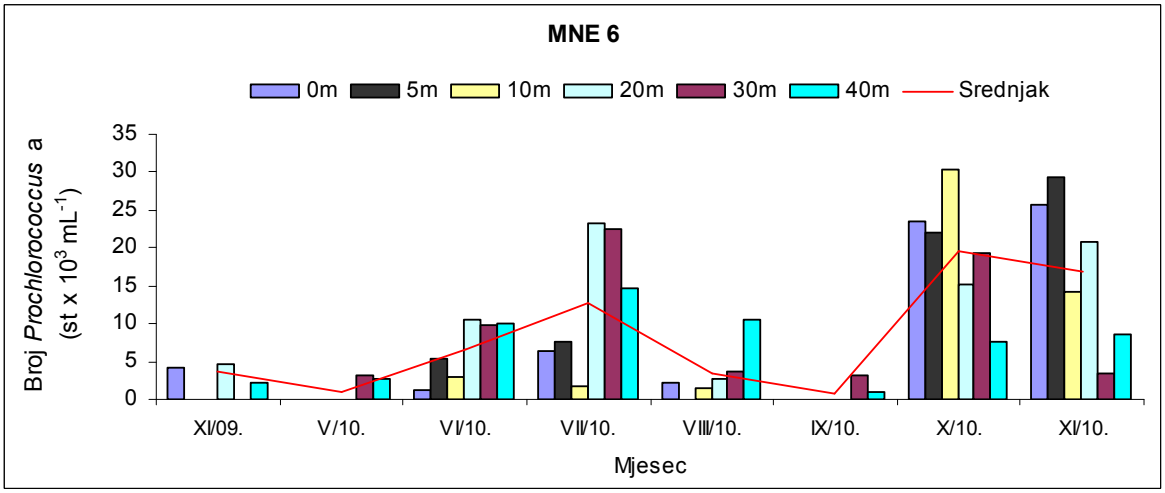
Na postaji MNE 6 oscilacije u gustoći skupine autotrofnog pikoplanktona roda *Prochlorococcus* ukazuju na dva razdoblja povišenih vrijednosti i to u lipnju i srpnju te u listopadu i studenom. Najniže brojnosti utvrđene su u svibnju i kolovozu kada je prisustvo stanica roda *Prochlorococcus* utvrđeno samo u pridnenim slojevima (30m i 40m).

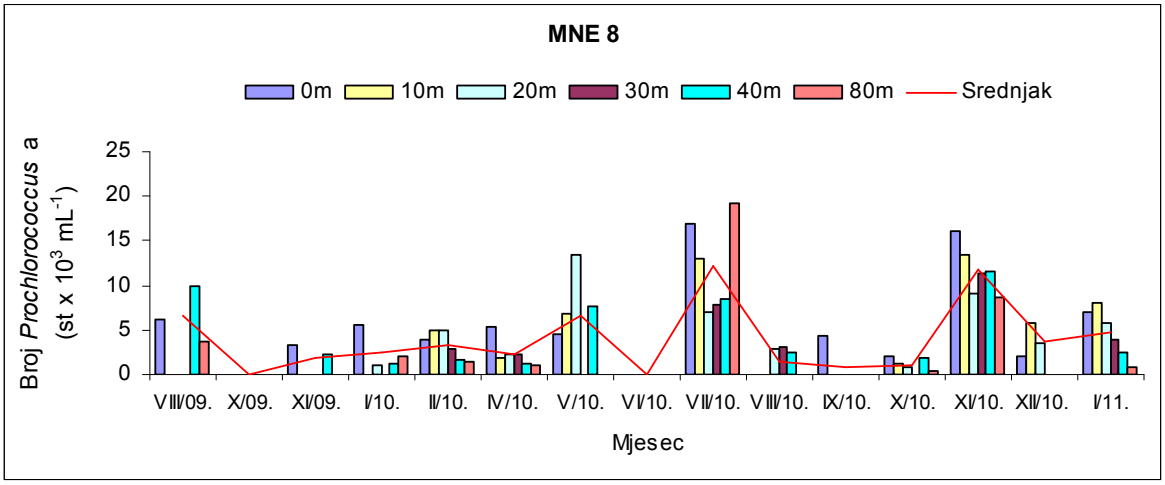
Na postaji MNE 8 sezonska raspodjela te oscilacije u gustoći ove skupine pikoplanktona najsličnija je postaji C 3 u Bokokotrskom zaljevu. Maksimumi brojnosti utvrđeni su u svibnju, srpnju i studenom sa najvišim vrijednostima brojnosti roda *Prochlorococcus* u površinskom i pridnenom sloju u srpnju za razliku od postaje C 3 na kojoj su maksimumi brojnosti utvrđeni u svibnju u središnjem sloju vodenog stupca. Kao i na postaji u zaljevu potpuno odsustvo stanica utvrđeno je u lipnju 2010. godine u cijelom vodenom stupcu te u listopadu u vodenom stupcu ispod površinskog sola. Za razliku od postaje C 3 u zaljevu na postaji MNE 8 potpuno odsustvo stanica roda *Prochlorococcus* utvrđeno je i tijekom listopada 2009. godine (Slika 5.6.4.).




MNE 2
0m
10m
20m
27m
Srednjak
Broj Prochlorococcus a (st x 10^3 mL^-1)
35
30
25
20
15
10
5
0
VIII/09.
X/09.
XI/09.
III/10.
IV/10.
V/10.
VI/10.
VII/10.
VIII/10.
IX/10.
X/10.
XI/10.
Mjesec

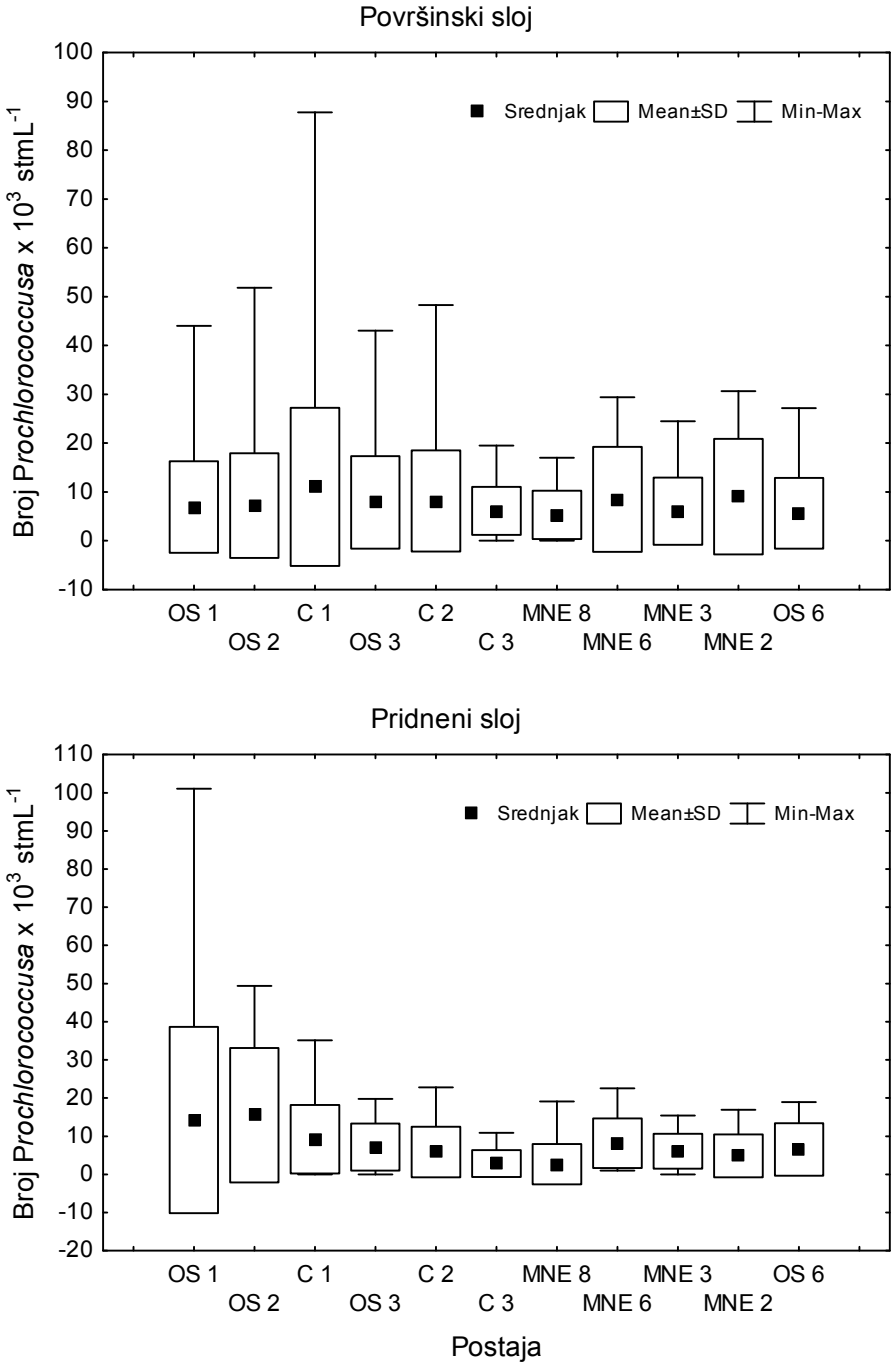

MNE 3
0m
5m
10m
20m
30m
40m
Srednjak
Broj Prochlorococcus a (st x 10^3 mL^-1)
40
35
30
25
20
15
10
5
0
XI/09.
IV/10.
V/10.
VI/10.
VIII/10.
IX/10.
X/10.
XI/10.
Mjesec


MNE 6
0m
5m
10m
20m
30m
40m
Srednjak
Broj Prochlorococcus a (st x 10^3 mL^-1)
35
30
25
20
15
10
5
0
XI/09.
V/10.
VI/10.
VII/10.
VIII/10.
IX/10.
X/10.
XI/10.
Mjesec



Slika 5.6.4. Raspodjela autotrofnog pikoplanktona roda *Prochlorococcus* priobalnog mora otvorenog dijela južnog Jadrana

Analizirajući raspodjelu brojnosti *Prochlorococcusa* na istraživanom području u površinskom sloju vidljivo je da je na postaji C 1 prosječna brojnost reda veličine 10^4 st mL^{-1} dok su na ostalim postajama utvrđene prosječne vrijednosti reda veličine 10^3 st mL^{-1}. Uspoređujući prosječene vrijednosti *Prochlorococcusa* između površinskog i pridnenog sloja utvrđen je porast brojnosti od površine prema pridnenim slojevima na postajama OS 1 i OS 2 dok je na ostalim postajama utvrđeno opadanje prosječne brojnosti od površine prema pridnenim slojevima (Slika 5.6.5.).



Slika 5.6.5. Raspodjela autotrofnog pikoplanktona roda *Prochlorococcus* na postajama Bokokotorskog zaljeva i otvorenog dijela južnog Jadrana

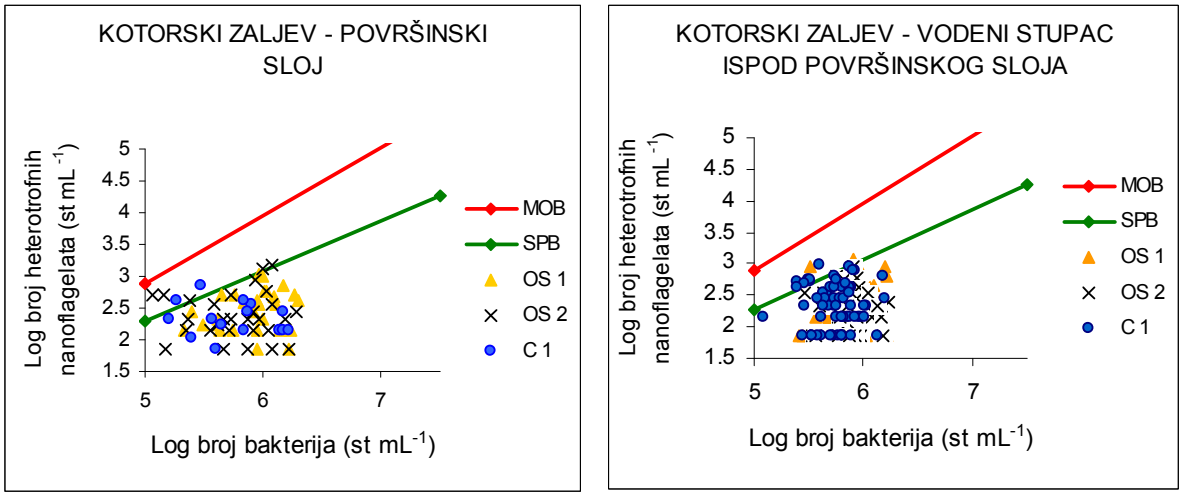
5.7. Mehanizmi kontrole prokariotskih mikroorganizama

S razvojem pojma „ mikrobna petlja" u ranim 1980-tim (Azam i sur. 1983) uloženi su znatni istraživački napori u procjeni čimbenika koji reguliraju brojnost i dinamiku prokariotske zajednice u vodenim ekosustavima. Pokazalo se da glavnu kontrolu s jedne strane čine resursi neophodni za rast i razmnožavanje mikroorganizama, odnosno „bottom up" kontrola, te s druge strane „top down" kontrola odnosno predatori koji uzrokuju mortalitet mikroorganizama.
U ovom poglavlju analiziran je utjecaj predatora na brojnost i raspodjelu heterotrofnih bakterija pomoću empirijskog modela kojeg je predložio Gasol (1994), a iz kojega je moguće procijeniti prevladavajuće načine kontrole heterotrofnih nanoflagelata, a time i samih bakterija kao njihovog značajnog plijena. Osim kroz spomenuti Gasolov model, utjecaj predatora na prokariotsku zajednicu vidljiv je i kroz određivanje koeficijenata korelacije između brojnosti predatora i plijena.

Priobalno more južnog Jadrana- Bokokotorski zaljev

Utjecaj predatora na dinamiku populacije heterotrofnih bakterija primjenom Gasolovog modela obrađen je u skladu s raslojenošću vodenog stupca, koja je dobivena metodom analize glavnih komponenata prema bakterijskoj brojnosti te prema salinitetu i temperaturi.
U Kotorskom zaljevu se vodeni stupac raslojio prema bakterijskoj brojnosti, kao i prema salinitetu, na površinski sloj od 0m te na vodeni stupac dubine od 5m do 20m. Stoga je utjecaj predatora na dinamiku populacije heterotrofnih bakterija obrađen zasebno za ova dva sloja vodenog stupca (Slika 5.7.1.) Rezultati ukazuju da su točke koje predstavljaju odnos brojnosti bakterija i heterotrofnih nanoflagelata uglavnom ispod SPB pravca koji predstavlja srednju postignutu brojnost HNF-a, što znači da populacija HNF-a nije bila značajnije kontrolirana heterotrofnim bakterijama kao svojim glavnim plijenom. Osim Gasolovog modela, utjecaj predatora na prokariotsku zajednicu vidljiv je i kroz određivanje koeficijenta korelacije između brojnosti predatora i plijena. Naime za cijeli vodeni stupac nije utvrđen statistički značajan koeficijent korelacije između brojnosti bakterija i HNF-a, dok je s druge strane utvrđena statistički značajna povezanost bakterijske brojnosti s temperaturom, salinitetom i kolrofilom a. To upućuje na važnost nutrijenata u kontroli bakterijske populacije iako nije utvrđena statistički

značajna povezanost s koncentracijom nitrata i nitrita, najvjerojatnije zbog relativno malog broja podataka. U površinskom sloju utvrđeni značajni koeficijenti korelacije između bakterijske brojnosti i vrijednosti temperature i saliniteta ukazuju da oni čine važan ekološki čimbenik kontrole heterotrofne prokariotske zajednice (Tablica 5.7.1.). Istovremeno utvrđena pozitivna povezanost roda *Prochlorococcus* s temperaturom, salinitetom i bakterijama upućuje na činjenicu da populaciji roda *Prochlorococcus* i populaciji heterotrofnih bakterija odgovaraju slični uvjeti u morskom ekosustavu (Tablica 5.7.2.). U vodenom stupcu ispod površinskog sloja utvrđena je značajna korelacija bakterijske brojnosti s temperaturom i populacijom roda *Prochlorococcus* (Tablica 5.7.1.) dok povezanost bakterijske brojnosti sa salinitetom i s klorofilom a nije bila statistički značajana, osim za brojnost HNA koji u tom dijelu vodenog stupca pokazuju slabu ali značajnu korelaciju s temperaturom, salinitetom te s populacijom HNF-a (Tabllica 5.7.1.).

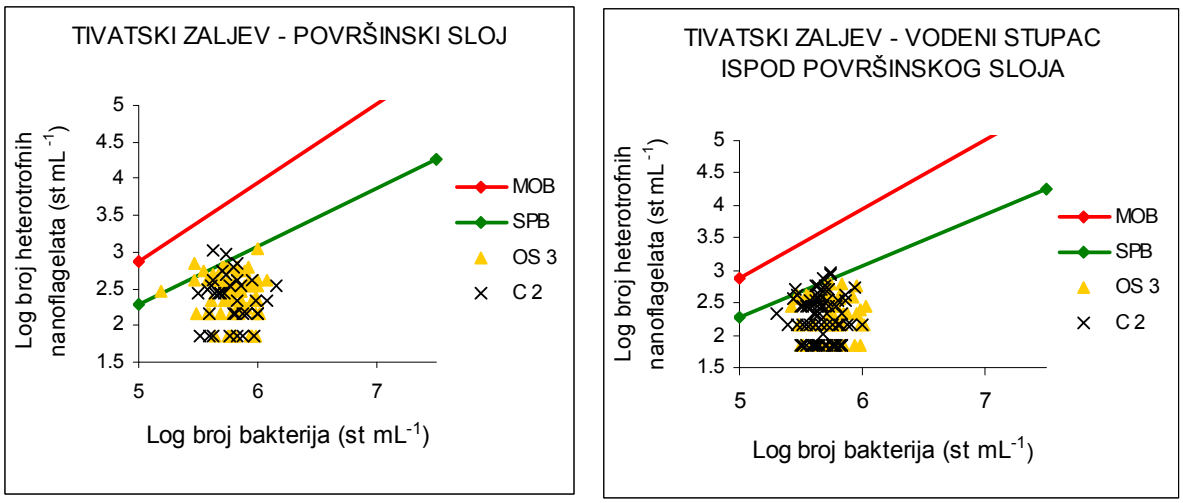


Slika 5.7.1. Odnos brojnosti heterotrofnih bakterija i heterotrofnih nanoflagelata na području Kotorskog zaljeva

U Tivatskom zaljevu analizom gavnih komponenata prema salinitetu i bakterijskoj brojnosti izdvojio se površinski sloj vodenog stupca do dubine od 5m za postaju C 2 odnosno do 10m dubine za priobalnu postaju OS 3, kao različit od vodenog stupca koji se prostire ispod navedenih dubina do samog dna. Prema ovoj raslojenosti vodenog stupca izvršena je i analiza utjecaja predatora na brojnost i raspodjelu heterotrofnih bakterija. Na osnovu slike 5.7.2. jasno

se uočava da su točke koje predstavljaju odnos brojnosti bakterija i heterotrofnih nanoflagelata uglavnom ispod SPB pravca, što znači da je populacija heterotrofnih bakterija na području Tivatskog zaljeva uglavnom bila kontrolirana „botom up" kontrolom.

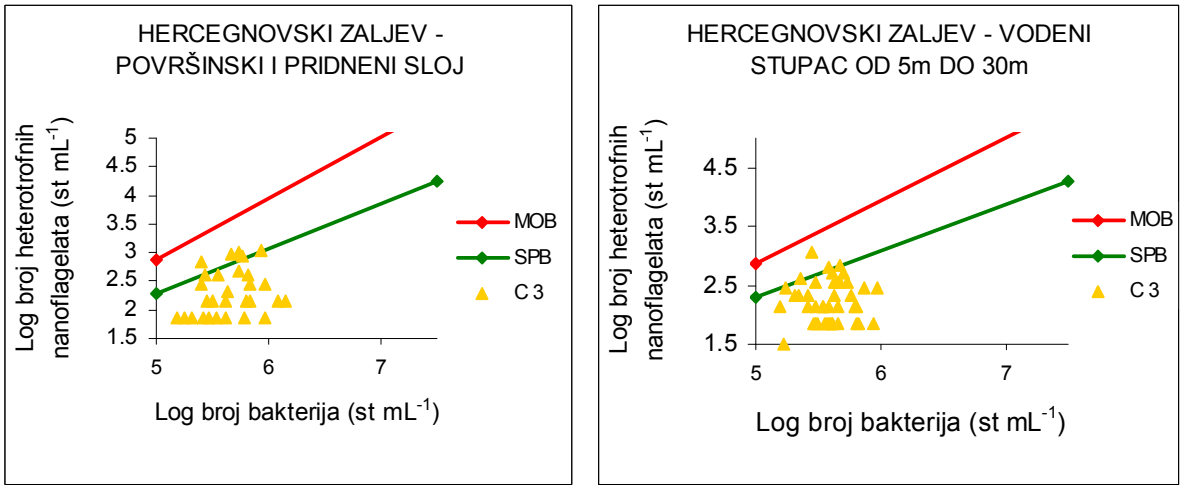
U površinskom sloju utvrđena je statistička povezanost bakterijske brojnosti s temperaturom (0,53, $p<0,01$ N=98) te nešto slabija, iako značajna, s populacijom roda *Prochlorococcus* (0,3 $p<0,01$ N=98), dok je visoka povezanost sa salinitetom te sa klorofilom a iako negativnog predznaka utvrđena samo za LNA grupu bakterija. Ispod površinskog sloja koeficijenti korelacije s temperaturom iako nešto slabiji i dalje su značajni, dok je povezanost s rodom *Prochlorococcus* znatno viša nego u površinskom sloju (Tablica 5.7.1.). Za autotrofni pikoplankton roda *Prochlorococcus* utvrđeni su značajni koeficijenti korelacije s temperaturom, salinitetom i klorofilom a negativnog predznaka, upućujući na zaključak da *Prochlorococcusu* i heterotrofnim bakterijama, posebno LNA grupi bakterija, odgovaraju slični uvjeti. Ispod površinskog sloja utvrđena je povezanost s temperaturom, ali i populacijom HNF upućujući na moguću predaciju ovog roda od strane HNF (Tablica 5.7.1.).



Slika 5.7.2. Odnos brojnosti heterotrofnih bakterija i heterotrofnih nanoflagelata na području Tivatskog zaljeva

U Hercegnovskom zaljevu metoda glavnih komponenata primijenjena za obradu temperature, saliniteta i brojnosti heterotrofnih bakterija pokazala je različitosti u raslojavanju vodenog stupca ukazujući na složena strujanja vodenih masa na samom ulazu u Bokokotorski zaljev. S

obzirom da se prema broju heterotrofnih bakterija izdvojio površinski i pridneni sloj kao različit od vodenog stupca dubine od 5m do 30 m, Gasolov model je za ovaj dio zaljeva primjenjen za površinski 0m i pridneni 40m sloj, te za središnji dio vodenog stupca od 5m do 30m (Slika 5.7.3.). Na osnovu modela jasno je uočljivo da i u ovom dijelu Bokokotorskog zaljeva populacija HNF nije bila značajnije kontrolirana heterotrofinm bakterijama kao svojim glavnim plijenom, što s druge strane znači da su heterotrofne bakterije većim dijelom bile kontrolirane „botom up" kontrolom. Za površinski sloj (0m) utvrđena je visoka povezanost LNA grupe bakterija s temperaturom, salinitetom i klorofilom a negativnog predznaka, te značajna povezanost ukupnih heterotrofnih bakterija sa salinitetom. Ispod površinskog sloja zajedno s pridnenim slojem od 40m utvrđena je nešto slabija, ali statistički značajna korelacija ukupnih heterotrofnih bakterija te HNA i LNA grupa bakterija sa salinitetom negativnog predznaka, te koleracija LNA grupe bakterija s temperaturom. Očekivan nedostatak statistički značajne koleracije heterotrofnih bakterija s nitratima i nitritima ne isključuje mogućnost da je kontrola bakterijske populacije anorganskim hrajnivim solima najvjerojatnije bila prisutna, ali da nije bila ograničavajući čimbenik.



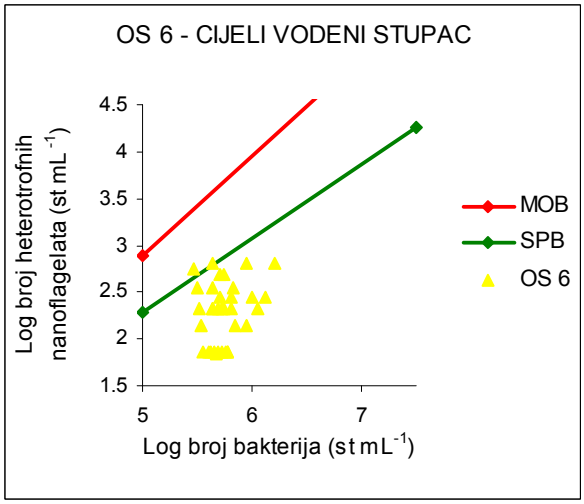
Slika 5.7.3. Odnos brojnosti heterotrofnih bakterija i heterotrofnih nanoflagelata na području Hercegnovskog zaljeva

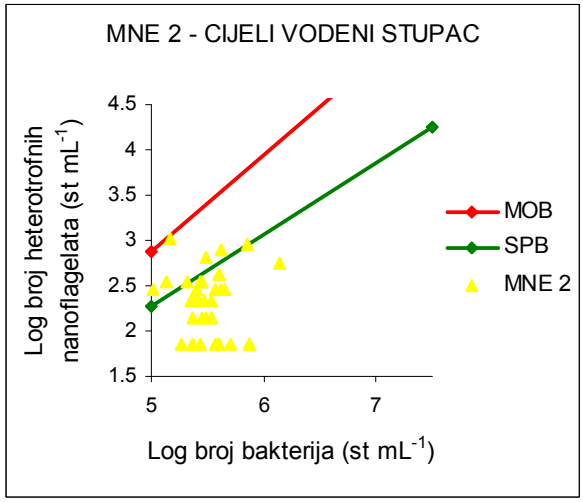
Analizirajući čimbenike kontrole autotrofnog pikoplanktona na području Bokokotorskog zaljeva utvrđena je pozitivna povezanost *Prochlorococcusa* s bakterijama tijekom cijelog

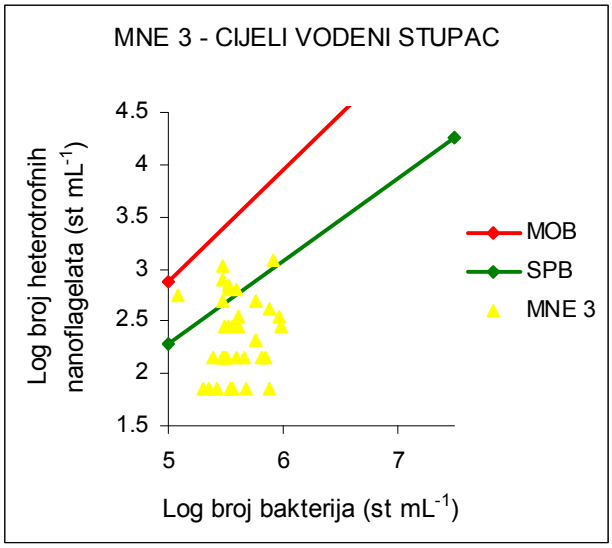
istraživanog perioda upućujući na činjenicu da populaciji roda *Prochlorococcus* i populaciji heterotrofnih bakterija odgovaraju slični uvjeti u morskom ekosustavu. Također je utvrđena slaba ali statistički značajna korelacija *Prochlorococcus*-a i HNF-a u središnjem dijelu Tivatskog zaljeva (Tablica 5.7.1.) što upućuje na moguću predaciju ovog roda od strane HNF-a.

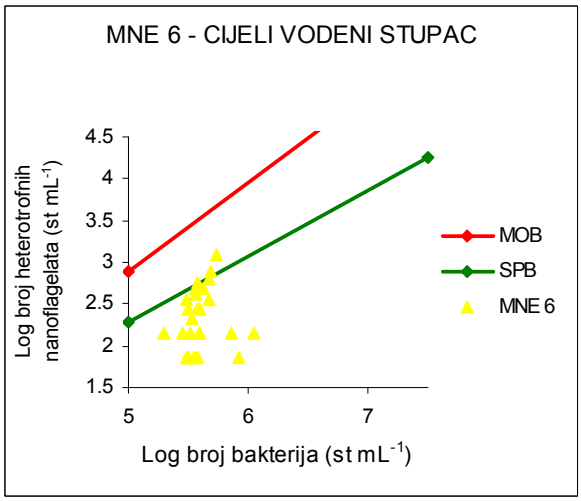
Priobalno more otvorenog dijela južnog Jadrana

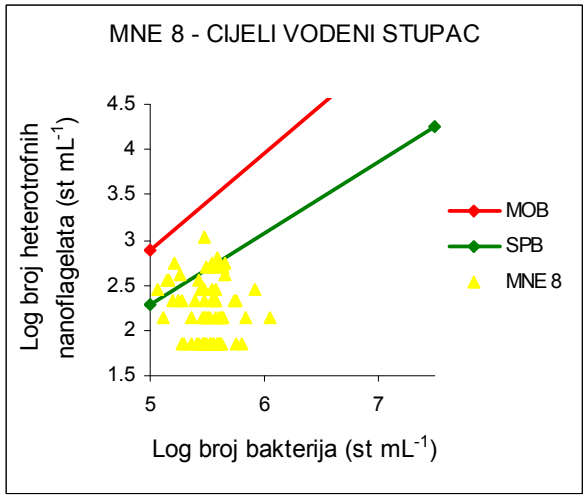
Odnos HNF-a i bakterija na području priobalnog mora otvorenog dijela južnog Jadrana prikazan je na slici 5.7.4. Točke koje predstavljaju odnos bakterija i HNF-a u većem se broju nalaze ispod SPB pravca, a u manjem između MOB i SPB pravca. To ukazuje da kontrola bakterija od strane predatora ni na otvorenom dijelu južnog Jadrana nije imala većeg značaja.
Na rezultatima prikazanim u tablici 5.7.3., vidljivo je da su na postajama koje se nalaze pod utjecajem dotoka slatke vode iz rijeke Bojane (OS 6 i MNE 2) utvrđeni visoki koeficijenti korelacije između bakterijske brojnosti i saliniteta negativnog predznaka, te između bakterija i hranljivih soli (nitratima), potvrđujući značajan utjecaj nutrijenata na bakterijsku populaciju. Također je na postaji MNE 2 utvrđena značajna korelacija roda *Prochlorococcus* i HNF što upućuje na moguću predaciju ovog roda od strane HNF-a. Na postaji MNE 3 uočava se značajna negativna korelacija bakterijske brojnosti sa salinitetom te pozitivna korelacija sa klorofilom a, upućujući na povezanost bakterija i fitoplanktonskog izlučivanja kao glavnog izvora hranjiva za bakterije. Na postaji MNE 8 utvrđena je povezanost bakterijske brojnosti s temperaturom te autotrofnim pikoplanktonom roda *Prochlorococcus,* dok je na postaji MNE 6 utvrđena povezanost LNA grupe bakterija s *Prochlorococcus*-om. Dobiveni podaci potvrđuju nepostojanje statistički značajne korelacije između brojnosti bakterija i HNF-a, odnosno vrlo slab utjecaj predatora kao čimbenika kontrole brojnosti bakterijske populacije.


OS 6 - CIJELI VODENI STUPAC
Log broj heterotrofnih nanoflagelata (st mL-1)
Log broj bakterija (st mL-1)
MOB
SPB
OS 6


MNE 2 - CIJELI VODENI STUPAC
Log broj heterotrofnih nanoflagelata (st mL-1)
Log broj bakterija (st mL-1)
MOB
SPB
MNE 2

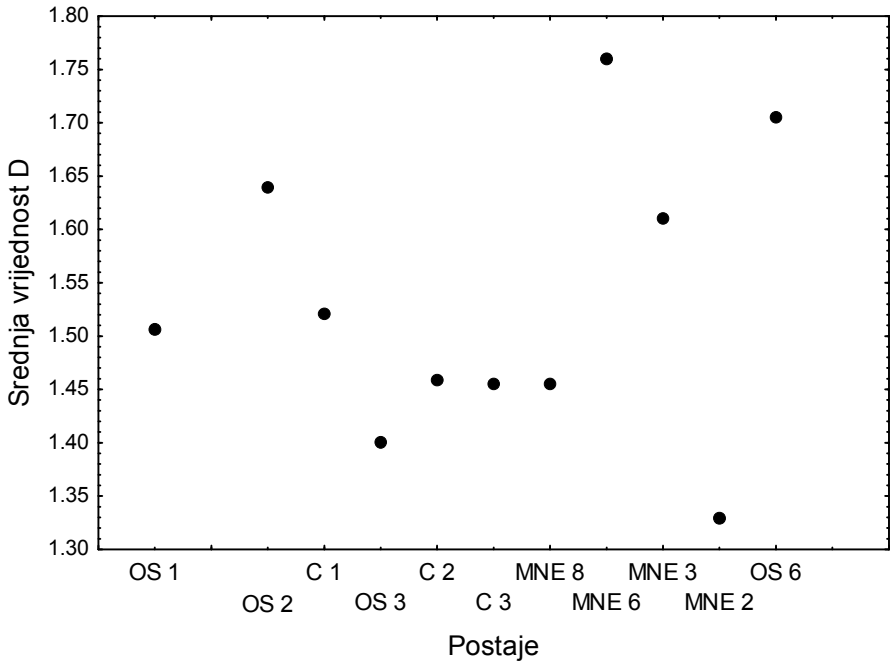

MNE 3 - CIJELI VODENI STUPAC
Log broj heterotrofnih nanoflagelata (st mL-1)
Log broj bakterija (st mL-1)
MOB
SPB
MNE 3


MNE 6 - CIJELI VODENI STUPAC
Log broj heterotrofnih nanoflagelata (st mL-1)
Log broj bakterija (st mL-1)
MOB
SPB
MNE 6


MNE 8 - CIJELI VODENI STUPAC
Log broj heterotrofnih nanoflagelata (st mL-1)
Log broj bakterija (st mL-1)
MOB
SPB
MNE 8

Slika 5.7.4. Odnos brojnosti heterotrofnih bakterija i heterotrofnih nanoflagelata na priobalnim postajama otvorenog dijela južnog Jadrana

Osim Gasolovog modela (1994), odnos predator-plijen može se opisati i modelom udaljenosti (D). Podaci dobiveni ovim modelom rezultat su razlike između maksimalno ostvarive brojnosti HNF-a i izmjerene brojnosti HNF-a za svaku izmjerenu brojnost heterotrofnih bakterija. Što je D manji čvršća je veza između HNF-a i bakterija, odnosno što je D veći ta veza slabi ili se u potpunosti gubi. Uspoređujući međusobno postaje od Bokokotorskog zaljeva do ušća rijeke Bojane, rezultati ovog modela pokazali su najjaču povezanost predatora i plijena na postaji MNE 2 koja je pod utjecajem rijeke Bojane, te na postaji OS 3 u Bokokotorskom zaljevu koja je pod jakim utjecajem izlaznih vodenih masa iz Kotorskog zaljeva (Slika 5.7.1.)



Slika 5.7.5. Razlike udaljenosti (D) na postajama Bokokotorskog zaljeva i otvorenog dijela južnog Jadrana

Tablica 5.7.1. Pearsonoivi koeficijenti korelacije između bakterijskih parametara (ukupne brojnosti heterotrofnih bakterija-UHB; brojnosti HNA i LNA bakterija; bakterijske proizvodnje-BP) s fizikalno-kemijskim te biološkim parametrima u Bokokotroskom zaljevu za: a) Kotorski zaljev, b) Tivatski zaljev i c) Hercegnovski zaljev

a)

Površinski sl. (0m) N=69, P<0.05	T	Sal	Chl a	BP	HNF	NO_2^- N= 47	*Prochloro -coccus*	Podpovršinski sl. (5m-30m) N=170, P<0.05	T	Sal	Chl a	BP	HNF	NO_2^- N= 116	*Prochloro -coccus*
HB	**0.66**	**0.67**	**0.37**	n.s.	n.s.	n.s.	**0.45**	HB	**0.34**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	**0.28**
HNA	**0.57**	**0.60**	**0.44**	n.s.	n.s.	n.s.	**0.26**	HNA	n.s.	**- 0.18**	**0.33**	n.s.	**0.15**	n.s.	**0.17**
LNA	**0.67**	**0.70**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	**0.42**	LNA	**0.48**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	**0.32**
BP N= 10	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.	n.s.	n.s.	BP N=27	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.	n.s.	n.s.

b)

Površinski sl.(0m-5m) N=98, P<0.05	T	Sal	Chl a	BP	HNF	NO_2^- N=70	*Prochloro -coccus*	Podpovršinski sl. (10m-40m) N=108, P<0.05	T	Sal	Chl a	BP	HNF	NO_2^- N= 44	*Prochloro-coccus*
HB	**0.53**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	**0.30**	HB	**0.31**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	**0.53**
HNA	n.s.	n.s.	n.s.	**0.7**	n.s.	n.s.	n.s.	HNA	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	**0.33**
LNA	**0.55**	**0.45**	**- 0.50**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	LNA	**0.44**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	**0.54**
BP N= 10	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.	n.s.	n.s.	BP N=15	**0.83**	**-0.93**	**-0.8**		n.s.	n.s.	n.s.

c)

Površinski sl. (0m) N=15, P<0.05	T	Sal	Chl a	BP	HNF	NO_2^- N= 13	*Prochloro -coccus*	Podpovršinski sl. (10m-40m) N=62, P<0.05	T	Sal	Chl a	BP	HNF	NO_2^- N= 28	*Prochloro-coccus*
HB	n.s.	**0.6**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	HB	n.s.	**-0.34**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
HNA	n.s.	n.s.	n.s.	**0.95**	n.s.	n.s.	n.s.	HNA	n.s.	**-0.30**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
LNA	**0.65**	**0.65**	**-0.70**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	LNA	**0.36**	**-0.32**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
BP N= 10	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.	n.s.	n.s.	BP N=20	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.	n.s.	n.s.

Tablica 5.7.2. Pearsonoivi koeficijenti korelacije između brojnosti cijanobakterija roda *Prochlorococcus* s fizikalno-kemijskim te biološkim parametrima (bakterijska proizvodnja-BP; brojnost heterotrofnih nanoflagelata HNF) na području Bokokotorskog zaljeva za: a) Kotorski zaljev, b) Tivatski zaljev i c) Hercegnovski zaljev

a)

Površinski sl. (0m) N=69, P<0.05	T	Sal	Chl a	BP	HNF	NO_2^-	Podpovršinski sl. (5m-30m) N=170, P<0.05	T	Sal	Chl a	BP	HNF	NO_2^-
Prochloro-coccus	**0.37**	**0.39**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*Prochloro-coccus*	**0.2**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

b)

Površinski sl. (0m-5m) N=98, P<0.05	T	Sal	Chl a	BP	HNF	NO_2^-	Podpovršinski sl. (10m-30m) N=83, P<0.05	T	Sal	Chl a	BP	HNF	NO_2^-
Prochloro-coccus	**0.3**	**0.32**	**- 0.32**	n.s.	n.s.	n.s.	*Prochloro-coccus*	**0.24**	n.s.	n.s.	n.s.	**0.27**	n.s.

c)

Površinski sl. (0m) N=15, P<0.05	T	Sal	Chl a	BP	HNF	NO_2^-	Podpovršinski sl. (10m-40m) N=62, P<0.05	T	Sal	Chl a	BP	HNF	NO_2^-
Prochloro-coccus	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*Prochloro-coccus*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

Tablica 5.7.3. Pearsonoivi koeficijenti korelacije između bakterijskih parametara (ukupne brojnosti heterotrofnih bakterija-UHB; brojnosti HNA i LNA bakterija; bakterijske proizvodnje-BP) s fizikalno-kemijskim te biološkim parametrima na priobalnim postajama u otvorenom dijelu južnog Jadrana

Postaja **OS 6** N= 38 P<0.05	T	Sal	Chl a	*Prochloro-coccus*	HNF	NO_3^-	NO_2^-	Postaja **MNE 2** N= 40 P<0.05	T	Sal	Chl a	*Prochloro -coccus*	HNF	NO_3^-	NO_2^-
HB	n.s.	**- 0.72**	**0.58**	n.s.	n.s.	**0.67**	n.s.	HB	n.s.	**- 0.66**	n.s.	n.s.	n.s.	**0.52**	n.s.
HNA	n.s.	**- 0.59**	**0.48**	n.s.	n.s.	**0.53**	n.s.	HNA	n.s.	**- 0.64**	n.s.	n.s.	n.s.	**0.49**	n.s.
LNA	**0.33**	**- 0.71**	**0.58**	n.s.	n.s.	**0.73**	n.s.	LNA	n.s.	**- 0.61**	n.s.	**0.38**	n.s.	**0.48**	n.s.

Postaja **MNE3** N= 43 P<0.05	T	Sal	Chl a	*Prochloro-coccus*	HNF	NO_3^-	NO_2^-	Postaja **MNE6** N= 38 P<0.05	T	Sal	Chl a	*Prochloro -coccus*	HNF	NO_3^-	NO_2^-
HB	n.s.	**- 0.54**	**0.48**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	HB	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
HNA	n.s.	**- 0.59**	**0.56**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	HNA	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
LNA	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	LNA	n.s.	n.s.	n.s.	**0.35**	n.s.	n.s.	n.s.

Postaja **MNE8** N= 71 P<0.05	T	Sal	Chl a	*Prochloro-coccus*	HNF	BP	NO_3^-	NO_2^-
HB	**0.39**	n.s.	n.s.	**0.32**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
HNA	n.s.	**- 0.29**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
LNA	**0.47**	n.s.	n.s.	**0.33**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
BP	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.	n.s.

Tablica 5.7.4. Pearsonovi koeficijenti korelacije između brojnosti cijanobakterija roda *Prochlorococcus* s fizikalno-kemijskim te biološkim parametrima (ukupne heterotrofne bakterije-UHB; bakterijska proizvodnja-BP; brojnost heterotrofnih nanoflagelata HNF) na priobalnim postajama u otvorenom dijelu južnog Jadrana

Postaja **OS 6** N= 38 P<0.05	T	Sal	Chl a	UHB	HNF	NO_3^-	NO_2^-	Postaja **MNE 2** N= 40 P<0.05	T	Sal	Chl a	UHB	HNF	NO_3^-	NO_2^-
Prochlorococcus	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*Prochlorococcus*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	**-0.46**	n.s.	n.s.

Postaja **MNE 3** N= 43 P<0.05	T	Sal	Chl a	UHB	HNF	NO_3^-	NO_2^-	Postaja **MNE 6** N= 38 P<0.05	T	Sal	Chl a	UHB	HNF	NO_3^-	NO_2^-
Prochlorococcus	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*Prochlorococcus*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

Postaja **MNE 8** N= 71 P<0.05	T	Sal	Chl a	UHB	HNF	NO_3^-	NO_2^-
Prochlorococcus	n.s.	n.s.	n.s.	**0.32**	n.s.	n.s.	n.s.

6. RASPRAVA

6.1. Opća rasprava

Južni Jadran, relativno duboki oligotrofni bazen, obogaćuje se nutrijentima prilivom Istočno Mediteranske vode. Najveći utjecaj u tome ima voda iz Jonskog i Levantinskog mora poznata kao Levantinska intermedijarna voda koja periodično ulazi u područje Jadrana i povisuje salinitet, temperaturu i koncentraciju hranljivih soli u intermedijarnim slojevima (Vilibić & Orlić, 2001, 2002). Također, za crnogorski dio južnog Jadrana karakterističan je utjecaj rijeke Bojane koja zajedno s lokalnim vjetrovima koji uzrokuju jaki „upwelling" doprinosi lokalnoj eutrofikaciji područja.

Područje Bokokotorskog zaljeva, pod utjecajem je velikog unosa slatke vode putem brojnih vrulja i rječica (Krivokapić i sur. 2011), te se smatra važnim izvorom slatke vode južnog Jadrana (Bellafiore i sur. 2011). Opisan je od strane Krivokapić i sur. (2011) kao oligo-mezotrofan, gdje prirodna eutrofikacija još uvijek prevladava antropogenu eutrofikaciju. Povišene koncentracije nutrijenata prethode pojavi maksimuma koncentracije klorofila a (Krivokapić i sur. 2009), te većina nitrita i dijelom fosfata nastaju kao proizvod planktonske ekskrecije i razgradnje organske tvari (Carić i sur. 2012). Negativna korelacija saliniteta s nutrijentima utvrđena tijekom istraživanja Pestorić (2013) potvrđuje činjenicu da su rijeke glavni izvor hranljivih soli (Gobler i sur. 2005), što je najviše izraženo u Kotorskom zaljevu. U skladu s dosadašnjim spoznajama (Krivokapić i sur. 2009), više koncentracije klorofila a nađene su od rujna do veljače s maksimumom u prosincu (vrijeme obilnih upliva slatke vode). Promjene vrijednosti klorofila a podudarale su se s fitoplanktonskom abundancijom, s izuzetkom u prosincu (Krivokapić i sur. 2009), što se može objasniti činjenicom da fotosintetska aktivnost ovisi i o sastavu fitoplanktonske zajednice te veličini stanica i njihovog fiziološkog stanja (Ninčević & Marasović, 1998). Općenito, razvoj fitoplanktona i raspodjela klorofila a opisuju se bimodalnim ciklusom za koji su značajne dvije visoke vrijednosti: veća u kasnoj zimi ili ranom proljeću, a druga manja u jesenskom razdoblju dok je minimum, zbog prisutne raslojenosti i korištenja nutrijenata iz gornjeg sloja vodenog stupca, karakterističan za ljetni period.

Tijekom istraživanog razdoblja temperatura mora je bila promjenljiva, naročito u površinskom sloju, što je u skladu s dosadašnjim poznavanjem hidrografskih osobina Bokokotorskog

zaljeva (Krivokapić i sur. 2009). Prema podatcima Državnog hidrometeorološkog zavoda Hrvatske, u 2009. i 2010. godini površinske temperature mora istočne obale Jadrana bile su izuzetno visoke.

Minimalna vrijednost saliniteta bila je niža u usporedbi s prethodnim istraživanjima Bokokotorskog zaljeva (Krivokapić i sur. 2011). Poznato je da intenzivniji dotok slatkih voda znatno utječe na ukupnu proizvodnju morskih akvatorija kao i na odnose unutar hranidbene mreže (Fuks i sur. 2012). U oligotrofnim sustavima, mikrobna hranidbena mreža predstavlja osnovni put kruženja organske tvari i energije kroz ekosustav (Siokou-Frangou i sur. 2009).

Upravo heterotrofne bakterije igraju važnu ulogu u asimilaciji otopljene organske tvari (DOM) za održavanje svog metabolizma i izgradnju nove biomase (Cole i sur. 1988), ali i procesima razgradnje složenih organskih spojeva te anorganskih komponenti u oblike pogodne za primarne proizvođače (Ducklow i sur. 1986). Poznato je da bakterije konzumiraju 10% do 50% ukupnog fotosintezom fiksiranog ugljika te nedvojbeno igraju važnu ulogu i u kruženju ugljika kroz morski ekosustav (Stockner, 1988; Fuhrman, 1992). Autotrofni pikoplankton ima vrlo važnu ulogu posebice u oligotrofnim sustavima, jer daju veliki doprinos u proizvodnji ugljika (čak do 90 %), biomase i prijenosu energije (Campbell i sur. 1994) kroz ekosustav. U Mediteranu doprinos autotrofnog pikoplanktona ukupnoj primarnoj proizvodnji varira od 31-92 %, a njihov je udio najvažniji u oligortofnim sustavima gdje sudjeluju čak do 71 % u ukupnoj primarnoj proizvodnji (Magazzù & Decembrini, 1995). S druge strane, heterotrofni nanoflagelati hrane se pikoplanktonskom komponentom, ali su i sami plijen većih cilijatnih protozoa, stvarajući tako vezu ka višim trofičkim razinama. Osim utjecaja predatora, na prokariotsku zajednicu u morskom ekosustavu veliki utjecaj imaju i virusi koji vrše lizu bakterijskih stanica (Bergh i sur. 1989; Proctor & Fuhrman, 1990; Bartbak i sur. 1992; Fuhrman & Noble, 1995; Noble & Fuhrman, 2000; Ordulj i sur. 2009).

Visoka proizvodnja pikoplanktona, posebice tijekom toplijeg razdoblja, predstavlja važan izvor ugljika za predatore (Bec i sur. 2005) što upućuje na važnost pikoplanktona u obalnim hranidbenim mrežama (Kuosa, 1991; Worden i sur. 2004) te posebice u obalnoj mediteranskoj hranidbenoj mreži obalnog područja Mediterana (Agawin i sur. 1998).

6.2. Brojnost i raspodjela heterotrofnih bakterija

Bakterije u morskom ekosustavu imaju ključnu ulogu u mikrobnoj hranidbenoj mreži kroz pretvorbu otopljene organske tvari u biomasu koja postaje dostupna za više trofičke razine. Obzirom na metaboličku aktivnost bakterija, visok potencijal rasta i njihovu brzinu reagiranja na promjene u količini organske tvari u moru, jasno je da je brojnost bakterija u morskom okolišu rezultat trofičkog statusa određenog područja. (Pace & Cole, 1994; Krstulović i sur. 1997). Prosječne vrijednosti bakterijske brojnosti u morskom okolišu su u rasponu od 10^5 do 10^6 st mL^{-1}, dok u ekstremno eutrofnim područjima dostižu brojnost i do 10^8 st mL^{-1}.

Istraživanje heterotrofnih bakterija u okviru ovog rada provedeno je na 6 postaja unutar Bokokotorskog zaljeva kao i na 5 priobalnih postaja otvorenog dijela južnog Jadrana.

Istraživanjima bakterijske brojnosti utvrđeni su rasponi prosječne brojnosti bakterija od 0,05 x 10^6 do 1,98 x 10^6 za Bokokotorski zaljev, te od 0,04 x 10^6 do 1,58 x 10^6 u obalnom području otvorenog dijela južnog Jadrana. Dobiveni rezultati su blago povišeni u odnosu na rezultate istraživanja Šantić (2010) za priobalno područje južnog Jadrana odnosno dubrovačko područje te u suglasju s podacima za priobalno područje srednjeg i južnog Jadrana (Šolić & Krstulović, 1994; Šantić i sur. 2012).

Literaturni podaci o sezonskoj raspodjeli heterotrofnih bakterija u priobalnom dijelu srednjeg i južnog Jadrana ukazuju na pojavu proljetno-ljetnjeg maksimuma i zimskog minimuma (Fuks, 1995; Krstulović, 1992; Šolić i sur. 2001; Šantić, 2010; Šantić i sur. 2012) dok je tijekom ovog istraživanja za Bokokotorski zaljev utvrđena najviša bakterijska brojnost tijekom kasnog ljeta i jeseni s maksimumom u listopadu 2010. godine. Karakteristična pojava maksimuma u listopadu može se objasniti pojavom značajnih oborina i intenzivnijeg ispiranja tla. Naime krajem rujna, raspodjela tlaka zraka nad Europom dovela je do prelaska iz ljetnog atmosferskog režima u zimsko jesenji atmosferski režim, te se vodeni stupac počeo vertikalno miješati. To su bile prve značajnije oborine nakon srpnja, te je prema podacima Državnog hidrometeorološkog zavoda Hrvatske palo oko 100 L m^{-2} kiše što je više od mjesečnog prosijeka. Općenito prema podacima Hrvatskog meteorološkog zavoda i 2009. i 2010. godina prema oborinskom režimu bile su izrazito kišne godine.

Najviše vrijednosti gustoće heterotrofnih bakterija utvrđene su u površinskom sloju, naročito tijekom toplijeg dijela godine. Na ovom se području slatka voda zadržava u površinskom

sloju, što potvrđuje i niski salinitet, te upućuje, na veće koncentracije organske tvari i anorganskih hranjivih soli koji podržavaju rast bakterioplanktona. Raslojavanje vodenog stupca prema salinitetu slično je estuarijima istočne obale Jadranskog mora (Cetinić i sur. 2006; Burić i sur. 2007). Ispod halokline, čija je dubina u Bokokotorskom zaljevu promjenljiva čak i na tjednoj razini, nalazi se sloj izrazito morske vode, a iznad halokline prisutan je brakični vodeni sloj. Poznato je da varijacije dotoka slatkih voda znatno utječu na ukupnu proizvodnju morskih akvatorija kao i na odnose unutar hranidbene mreže (Fuks & sur. 2012). Negativna korelacija saliniteta s nutrijentima, utvrđena tijekom istraživanja Pestorić (2013) što je bilo posebno izraženo u unutrašnjem dijelu Bokokotorskog zaljeva, potvrđuje činjenicu da su rijeke glavni izvor alohtonih nutrijenata (Gobler i sur. 2005). Takvi uvjeti utvrđeni su najčešće u Kotorskom zaljevu, pa su i vrijednosti brojnosti heterotrofnih bakterija neznatno više u odnosu na Tivatski i Hercegnovski zaljev.

Na priobalnim postajama otvorenog dijela južnog Jadrana sezonska raspodjela heterotrofnih bakterija bila je promjenljiva od postaje do postaje. Na postajama OS 6 i MNE 2 koje su pod jakim utjecajem rijeke Bojane, najviše vrijednosti bakterijske brojnosti utvrđene su tijekom proljeća odnosno tijekom kasnog proljeća i ljeta. Slični rezultati dobiveni su za područje Ploča koje je pod utjecajem rijeke Neretve (Šantić, 2010), te za područje Vranjičkog bazena koji je pod utjecajem rijeke Jadro (Šolić i sur. 2010) i upućuju na pojačani donos organske tvari rijekom Bojanom i oborinama, na koju heterotrofne bakterije brzo reagiraju. Također, podatci dobiveni ovim radom podudaraju se s ranije utvrđenim odstupanjima u sezonskoj raspodjeli heterotrofnih bakterija uzrokovanim jačim utjecajem s kopna za priobalo područje srednjeg Jadrana (Šolić & Krstulović, 1994) te za područje pučinskog dijela srednjeg Jadrana istraživano u periodu od 2002. do 2006. godine (Šolić i sur. 2008). Na postaji MNE 3 sezonski ciklus bakterijske brojnosti pokazuje više vrijednosti tijekom toplijeg dijela godine, odnsno od svibnja do rujna s maksimumom u rujnu, te naglim padom brojnosti u listopadu i studenom, što je u skladu s podacima dobivenim za priobalno područje srednjeg Jadrana (Šolić & Krstulović, 1994). Na postaji MNE 6 sezonsko kolebanje bakterijske brojnosti nije bilo posebno izraženo, osim blažeg porasta brojnosti u kolovozu i nešto većeg porasta brojnosti u listopadu, dok su na postaji MNE 8 oscilacije u bakterijskoj brojnosti značajnije izražene. Naime, na ovoj postaji utvrđen je blagi porast bakterijske brojnosti tijekom zimske sezone 2009. i 2010., s maksimumom brojnosti u veljači, te ponovnim porastom brojnosti od

listpada 2010. godine s maksimumom u studenom. Slični podatci dobiveni su na području Zadra tijekom istraživanja Šantić (2010), gdje je do pojave jesensog maksimuma došlo zbog povoljne temperature i povećane koncentracije hranljivih soli. Naime na postaji MNE 8, kao i na postajama unutar Bokokotorskog zaljeva, tijekom listopada i studenog pale su velike količine kiše dok je temperatura zraka bila iznimno visoka za to razdoblje godine. Temperatura mora je tijekom listopada u prosijeku iznosila 20ºC, tijekom studenog 19,1ºC, te se može zaključiti da je temperatura bila važan čimbenik u kontroli bakterijske brojnosti i da je djelovala sinergistički sa dotokom nutrijenata. Sam dotok nutrijenata bio je temperaturno ovisan sezonski fenomen (Pestorić, 2013).

Najviša prosječna vrijednost bakterijske brojnosti na području Bokokotorkog zaljeva utvrđena je na priobalnim postajama u Kotorskom zaljevu koje su pod direktnim utjecajem dotoka slatke vode. Na otvorenom dijelu južnog Jadrana najviša prosječna vrijednost bakterijske brojnosti utvrđena je na plitkoj postaji na samom ušću rijeke Bojane. Iako su vrijednosti bakterijske brojnosti bile za 52,96 % više na područjima koja su bogatija nutrijentima, njihova brojnost na cijelom istraživanom području nije prelazila vrijednost od 1 x 10^6 st mL^{-1}. Prema literaturnim podacima, vrijednosti bakterijske brojnosti manje od 1 x 10^6 st mL^{-1} smatraju se tipičnim za oligotrofna mora (Cotner & Biddanda, 2002), te se može zaključiti da je istraživano područje Jadrana imalo osobine oligotrofnih mora**.**

6.3. Udjeli i raspodjela HNA i LNA bakterija

Za razliku od bakterijske brojnosti i biomase koja je relativno stalna duž šireg trofičkog gradijenta (Sieracki & Viles, 1992), bakterijska aktivnost je vrlo promjenljiva čak i u oligotrofnim vodama (Carlson i sur. 1996). Dosadašnja istraživanja su pokazala da HNA grupa bakterija čini aktivnu grupu heterotrofnih bakterija u različitim morskim ekosustavima (Gasol & Del-Giorgio, 2000), ali i da u oligotrofnim sustavima LNA grupa bakterija može predstavljati najaktivniju i prevladavajuću komponentu bakterioplanktona (Zubkov i sur. 2001; Jochem i sur. 2004; Longnecker i sur. 2005).

Analizom sezonske raspodjele LNA i HNA grupa bakterija na području Bokokotorskog zaljeva utvrđeno je prevladavanje udjela LNA bakterija tijekom proljeća, ljeta i jeseni, dok je

prevladavanje HNA grupe bakterija utvrđeno od siječnja do ožujka. Prema literaturnim podatcima prevladavanje LNA grupe u oligotrofnim područjima može se objasniti činjenicom da LNA bakterije imaju visok omjer površine i volumena te da su zbog toga bolje prilagođene na siromašnije uvjete okoliša u odnosu na raspoloživost hranjivima (Button, 1998; Jochem, 2004). Prema ranijim istraživanjima Šantić i sur. (2012, 2013) na području srednjeg i južnog Jadrana također je utvrđeno prevladavanje LNA grupe bakterija u toplijem dijelu godine osim u područjima koja su pod izraženim utjecajem rijeka gdje je pravladavanje LNA bakterija utvrđeno i tijekom hladnijeg razdoblja godine. Jednako je i prevladavanje HNA grupe bakterija u bakterijskoj zajednici tijekom hladnije sezone u Bokokotorskom zaljevu u suglasju s podacima za srednji i južni Jadran (Šantić i sur. 2012, 2013). Također, iako rijetko, poznato je prevladavanje LNA skupine bakterija u okolišima bogatim hranjivima (Andrade i sur. 2007) što se može povezati i s podacima za Bokokotorski zaljev tijekom većih dotoka rijeka i većeg ispiranja tla.

Sezonska raspodjela obiju grupa bakterija na priobalnim postajama otvorenog dijela južnog Jadrana ukazuje na prevladavanje LNA grupe bakterija tijekom ljeta i jeseni, dok je HNA grupa bakterija prevladavala ili bila izjednačena sa udjelom LNA tijekom zime i ranog proljeća (Slika 5.3.4.; 5.3.5.; 5.3.6.). Nešto izražajnije sezonske promjene bile su uočljive na postaji koja se nalazi na ulazu u Bokokotorski zaljev, gdje je udio LNA bakterija bio doninantniji tijekom proljeća, ljeta i jeseni (Slika 5.3.8.). Slični rezultati dobiveni su za fosforom siromašna estuarna područja duž istočne obale Jadrana u kojima je udio LNA bakterija u ukupnoj bakterijskoj brojnosti bio viši od udjela HNA upravo od proljeća do jeseni (Šolić i sur. 2015). Sezonska raspodjela HNA bakterija utvrđena u crnogorskom dijelu južnog Jadrana u suglasju je s podatcima raspodjele HNA bakterija u srednjem i hrvatskom dijelu južnog Jadrana (Šantić i sur. 2013; Šolić i sur. 2015). Šolić i sur. (2015) su također utvrdili da je udio HNA bakterija bio izraženiji jedino u estruarijima sa visokom koncentracijom anorganskih nutrijenata, te da je njihov udio bio veći tijekom povišene primarne proizvodnje ukazujući da su HNA bakterije više ovisne o fitoplanktonskom supstratu nego LNA bakterije.

Iz literaturnih podataka je poznato da udjeli HNA i LNA grupa bakterija variraju u različitim područjima. Najvjerojatnije objašnjenje sezonskih promjena, te širokih raspona udjela obiju grupa mogu biti pozitivna povezanost s biomasom fitoplanktona i dostupnim organskim nutrijentima podrijetlom od fitoplanktona što je karakteristično za HNA grupu bakterija (Li i

sur. 1995; Scharek & Latasa, 2007; Morán i sur. 2010). Također je utvrđena povezanost HNA grupe sa promjenama temperature, saliniteta (Calvo-Díaz & Morán, 2006; Šestanović i sur. 2014) i anorganskim hranjivim solima koje dospijevaju s kopna u morski okoliš (Andrade i sur. 2007), te pozitivna povezanost LNA grupe s visokim koncentracijama nitrata (Andrade i sur. 2007). S druge strane, istraživanja na području Biskajskog zaljeva (Calvo-Díaz & Morán, 2006) pokazala su da obje grupe bakterija imaju podjednake odgovore na promjene temperature, saliniteta te koncentracije klorofila a. U ovom su radu na području Bokokotorskog zaljeva utvrđene statistički značajne korelacije udjela HNA i LNA bakterija s fizikalno-kemijskim osobinama morske vode, odnosno s promjenama tepmerature i saliniteta, što se slaže s dosadašnjim israživanjima za područje priobalnog i pučinskog mora srednjeg i južnog Jadrana (Šolić i sur. 2009; Šantić, 2010), te je utvrđena značajna povezanost u površinskom sloju sa klorofilom a (Tablica 5.7.1.). U ovom je istraživanju na priobalnim postajama otvorenog dijela južnog Jadrana utvrđena značajna negativna povezanost obiju grupa bakterija sa salinitetom te pozitivna povezanost s koncentracijom klorofila a. Također je na postajama koje su pod direktnim utjecajem rijeke Bojane utvrđena značajna pozitivna povezanost sa nitratima. Široki rasponi prosječnih udjela obiju grupa u Bokokotorskom zaljevu koji su se u površinskom sloju kretali od 22% do 91% za udio HNA, te za podpovršinski sloj od 21% do 82 % HNA ukazuju na mogući odgovor kako HNA tako i LNA grupe bakterija na fizikalne i kemijske promjene u okolišu (Calvo-Díaz & Morán, 2006¸ Morán i sur. 2007). Slični su podaci dobiveni i za otvoreni dio južnog Jadrana gdje su udjeli HNA za površinski sloj bili u rasponu od 24% do 63%, te za podpovršinski sloj u rasponu od 20% do 68%.

Relativno visok udio (> 50%) LNA bakterija u ukupnoj bakterijskoj brojnosti utvrđen tijekom naših istraživanja potvrđuje već ranije utvrđenu bolju prilagođenost ove skupine bakterija na oligotrofne uvjete okoliša (Kjelleberg i sur , 1993; Zubkov i sur., 2001; Jochem i sur., 2004; Longnecker i sur., 2005; Šolić i sur., 2015).

6.4. Odnos bakterijske proizvodnje i udjela HNA i LNA bakterija

Tijekom ovog istraživanja utvrđene su vrijednosti bakterijske proizvodnje u rasponu od 0,05 x 10^4 st mL^{-1} h^{-1} do 3,85 x 10^4 st mL^{-1} h^{-1}, što su vrijednosti vrlo slične ranije utvrđenim za istraživana područja srednjeg Jadrana (Krstulović i sur. 1995). Ranijim istraživanjima priobalnog područja južnog Jadrana, odnosno u izrazito oligotrofnom području Dubrovnika utvrđene su vrijednosti bakterijske proizvodnje od 0,07 x 10^4st mL^{-1} h^{-1} do 0,67 x 10^4st mL^{-1} h^{-1} (Šantić, 2010), te za priobalno područje srednjeg Jadrana od 0,84 x 10^4 st mL^{-1} h^{-1} do 2,56 x 10^4 st mL^{-1} h^{-1} (Krstulović, 1992; Šolić & Krstulović, 1994). Također, tijekom novijih istraživanja Šantić i sur. (2012) su za priobalno područje srednjeg Jadrana utvrdili vrijednosti bakterijske proizvodnje u rasponu od 0,03 x 10^4st mL^{-1} h^{-1} do 6,28 x 10^4st mL^{-1} h^{-1}. Studiranjem sezonske raspodjele bakterijske proizvodnje u ovom radu su utvrđene gotovo ujednačene vrijednosti tijekom proljetnog, ljetnjeg i zimskog razdoblja s neočekivano visokim vrijednostima bakterijske proizvodnje u listopadu. Slični rezultati dobiveni su tijekom istraživanja Šantić i sur. (2012) za priobalno područje od Zadra do Dubrovnika s razlikom što je visoka vrijednost bakterijske proizvodnje utvrđena u prosincu. Najvjerojatnije objašnjenje spomenutih visokih vrijednosti bakterijske proizvodnje u listopadu su visoka temperatura vodenog stupca (u prosijeku od 18,5 ºC do 20,4 ºC što je optimalna temperatura za rast psihrofilnih bakterija), te povećana dostupnost nutrijenata zbog intenzivnih padalina i većeg ispiranja tla u prethodnom mjesecu, a što je najvjerojatnije pogodovalo i povećanju fitoplanktonske biomase.

Nizom istraživanja utvrđene su značajne pozitivne korelacije bakterijske proizvodnje i udjela HNA bakterija (Lebaron i sur. 2001) što je doprinos pretpostavci da su HNA bakterije aktivni pripadnici prokariotske zajedice te da koriste više hranjivih tvari u odnosu na LNA grupu bakterija (Lebaron i sur. 2002; Servais i sur. 2003). Međutim, novija istraživanja pokazuju da i LNA bakterije također uspješno konzumiraju hranjive tvari, u prvom redu aminokiseline (Zubkov i sur. 2000; Mary i sur. 2006), te da pokazuju visoke specifične stope rasta koje u oligotrofnim uvjetima mogu prijeći stope rasta HNA grupe (Zubkov i sur. 2001; Button & Robertson, 2001; Jochem i sur. 2004; Longnecker i sur. 2005; Longnecker i sur. 2006; Mary i sur., 2006). Zahvaljujući metodi protočne citometrije koja je omogućila prepoznavanje i odvajanje ovih dviju grupa bakterija, te mjerenjem bakterijske proizvodnje odvojenih HNA i LNA grupa, utvrđeno je da su za bakterijsku proizvodnju u priobalnim i eutrofnim vodama većim dijelom bile zaslužne HNA bakterije, dok su u oligotrofnim i pučinskim područjima

uglavnom bile zaslužne LNA bakterije (Longnecker i sur. 2006). Analizom udjela obiju grupa bakterija na istraživanim postajama kako unutar Bokokotorskog zaljeva tako i na postaji otvorenog dijela južnog Jadrana prevladavanje LNA grupe bakterija je utvrđeno upravo u razdoblju najviših vrijednosti bakterijske proizvodnje što je još jedna potvrda aktivnosti LNA. Slični rezultati su dobiveni i istraživanjem priobalnog područja od Zadra do Dubrovnika, gdje su LNA bakterije prevladavale za vrijeme najviših vrijednosti bakterijske proizvodnje (Šantić, 2010). Podjednaki udjeli obiju grupa bakterija tijekom maksimalne bakterijske proizvodnje u našim su istraživanjima utvrđeni samo u površinskom sloju na postajama unutar zaljeva.
S obzirom na sve gore navedeno sasvim je vidljivo da je za bakterijsku aktivnost procijenjenu temeljem bakterijske proizvodnje jednako važno učešće kako LNA tako i HNA grupa u ukupnom broju bakterija, ovisno o trofičkom statusu ispitivanog područja.

6.5. Brojnost i raspodjela autotrofnog pikoplanktona roda *Prochlorococcus*

Brojna istraživanja fitoplanktonske zajednice jugoistočnog Jadrana kako u pučinskom dijelu (Viličić, 1989; Viličić i sur. 1995; Socal i sur. 1999; Šilović i sur. 2011), tako i u priobalnim postajama (Saracino & Rubino, 2006; Mangoni i sur. 2010; Moscatello i sur. 2010) potvrđuju činjenicu da je cijelo istraživano područje, uključujući i priobalno visoko oligotrofno. Veličina fitoplanktonskih stanica prisutnih u određenom području važan su ekološki pokazatelj dužine hranidbenog lanca te efikasnosti u prijenosu ugljika i energije ka višim trofičkim razinama. Istraživanja različitih veličinskih kategorija fitoplanktonske zajednice pokazuju da upravo pikofitoplankton predstavlja glavnu komponentu autotrofne zajednice Jadrana (Bosak i sur. 2012; Cerino i sur. 2012), kao što je utvrđeno i za mnoga druga oligotrofna područja (Agawin i sur. 2000).
Autotrofni pikoplankton roda *Prochlorococcus* najbrojniji je u oligotrofnim okolišima (Partensky i sur. 1999a), i u prosjeku doseže i do 10^5 st mL^{-1} (Simon, 1995) odnosno može dosegnuti i brojnost heterotrofnih bakterija (Pan i sur. 2005). Međutim, iako je karakterističan za oligotrofna pučinska područja (Buck i sur. 1996; Partensky i sur. 1999 b) poznate su visoke brojnosti ovog roda i u priobalnim područjima kao što su ušće rijeke Rhône (Vaulot i sur. 1990) te zaljev Suruga u japanskim vodama (Shimada i sur. 1995).

Tijekom istraživanja priobalnog područja južnog Jadrana utvrđene brojnosti roda *Prochlorococcus* kretale su se u rasponu od 10^3 do 10^4 st mL^{-1} (Šantić, 2010), te za područje srednjeg Jadrana u rasponu od 0 do 10^4 st mL^{-1} (Šantić i sur. 2011). Na području sjevernog Jadrana utvrđena je ravnomjerna zastupljenost roda *Prochlorococcus* duž trofičkog gradijenta od oligotrofnog do eutrofnog sa rasponom brojnosti od 0 do 10^3 st mL^{-1} (Radić i sur. 2009). Spomenuti literaturni podaci o brojnosti i raspodjeli roda *Prochlorococcus* ukazuju na njihovu prisutnost u različitim okolišima, što je potvrđeno i našim rezultatima. Tijekom ranijih istraživanja otvorenog dijela južnog Jadrana (Cerino i sur. 2012), zatim priobalnih postaja jugoistočnog Jadrana (Šilović i sur. 2011) te za područje Bokokotorskog zaljeva tijekom istraživanja Bosak i sur. (2012), nije utvrđeno prisustvo roda *Prochlorococcus* a pikofitoplanktonskom komponentom je dominirao rod *Synechococcus.* Međutim našim istraživanjem na području Bokokotorskog zaljeva kao i na priobalnim postajama otvorenog dijela južnog Jadrana utvrđene su prosječne brojnosti roda *Prochlorococcus* u rasponu od 0 do 10^4 st mL^{-1}, što je u suglasju s rezultatima dobijenim za područje priobalnog i pučinskog dijela Mediterana (Sommaruga i sur. 2005; Garczarek i sur. 2007) te područje srednjeg i južnog Jadrana (Šantić, 2010; Šantić i sur. 2011; Šestanović i sur. 2014).

Uspoređujući istraživane zaljeve među sobom, najviše vrijednosti roda *Prochlorococcus* nađene su u Kotorskom zaljevu u listopadu i to na postajama OS 1 i OS 2 gdje je maksimalna izmjerena brojnost dostigla 10 x 10^4 st mL^{-1} u pridnenom sloju na postaji OS 1 (20m) te u podpovršinskom sloju na postaji OS 2 (5m). Prema istraživanju Bellafiore i sur. (2011) vodene mase u Kotorskom zaljevu imaju najduže rezidualno vrijeme te je izmjena vode sa otvorenim morem najmanja, međutim to je ujedno i dio zaljeva sa najjačim dotokom slatke vode. Slično, visoke vrijednosti brojnosti roda *Prochlorococcus* utvrđene su tijekom istraživanja Šantić i sur. (2011) na ušću rijeke Krke (7 x 10^4 st mL^{-1}), te na ušću rijeke Rhône (Vaulot i sur. 1990) pri jako niskim vrijednostima saliniteta. Međutim u našim istraživanjima na priobalnim postajama koje su pod direktnim utjecajem rijeke Bojane maksimalne izmjerene brojnosti *Prochlorococcusa* čak su i do tri puta manje od onih izmjerenih u zaljevu (Sl. 5.6.1. i Sl. 5.6.4.). Spomenuti podaci o njihovoj niskoj brojnosti mogu se objasniti istraživanjem Šilović i sur (2011) za južni Jadran, gdje je utvrđeno da na brojnost roda *Prochlorococcus* negativno utječe hidrološka nestabilnost vodenog stupca. Također, područje oko ušća rijeke Bojane smatra se područjem više trofičke razine pa čak i eutrofnim područjem

(Mooran i sur. 2011) što je u skladu s istraživanjem Schlitzer (2004) koji je utvrdio trend opadanja brojnosti *Prochlorococcus*a od oligotrofnog sjeverozapadnog ka mezotrofnom sjeveroistočnom Pacifiku, odnosno da brojnost populacije *Prochlorococcus* opada s povećanjem koncentracije nutrijenata (Zang i sur., 2008).

Sezonske promjene roda *Prochlorococcus* ukazuju na povišene brojnosti tijekom jeseni 2009. godine (listopad) što je u skladu sa istraživanjima Šolić i sur. (2015) za srednji i južni Jadran, te tijekom proljetno ljetnje sezone 2010. godine za zaljevsko područje. Također, povišene brojnosti za izvanzaljevske postaje utvrđene su tijekom proljetno-ljetne sezone s maksimumom brojnosti tijekom jeseni (studeni). Isto tako je utvrđeno i gotovo potpuno odsustvo *Prochlorococcusa* iz vodenog stupca tijekom zimske sezone 2009.-2010. godine za većinu zaljevskih i izvanzaljevskih postaja. Slični rezultati su utvrđeni tijekom istraživanja Radić i sur. (2009) za sjeverni Jadran gdje je brojnost *Prochlorococcusa* bila veća tijekom jeseni nego tijekom ljeta sa naglim padom brojnosti tijekom zime. Brojne studije ukazuju da temperatura može biti potencijalno ograničavajući čimbenik za *Prochlorococcus* (Olson i sur. 1993; Johnson i sur. 2006). Međutim pozitivan koeficijent korelacije između *Prochlorococcusa* i temperature (Tablica 5.7.1.) utvrđen samo u Kotorskom i Tivatskom zaljevu, te prisustvo *Prochlorococcusa* na temperaturi od 8,1ºC ukazuju da ona nije bila ograničavajući faktor što je u suglasju i s rezultatima za srednji Jadran (Šantić i sur. 2011), kao i za zaljevska područja duž srednjeg i južnog Jadrana (Šolić i sur., 2015) te za područje Mediterana (Vaulot i sur. 1990; Alonso-Laita i sur. 2005).

Vertikalna raspodjela roda *Prochlorococcus* uglavnom ukazuje na smanjenje njegove brojnosti porastom dubine (Pan i sur., 2005), a Christaki i sur. (2001) iznose da te promjene duž vodenog stupca na području Mediterana iznose u rasponu od 10^2 do 10^4 st mL^{-1}. Međutim, otkrivene su visoke brojnosti *Prochlorococcus*a i u dubljim slojevima eufotičke zone (Wehr, 1993), pa čak i na dubinama od 150-200m (Partensky i sur. 1999a). Istraživanjem Jadrana najveća dubina na kojoj su utvrđene stanice *Prochlorococcus*a bila je dubina od 200m (Šantić, 2010) s maksimumom brojnosti između 50m i 75m (Šilović i sur. 2011). Tijekom našeg istraživanja priobalnih postaja, najviša istraživana dubina iznosila je 80m (MNE 8). Na ovoj razini vodenog stupca prosječna brojnost *Prochlorococcus*a iznosila je 2,7 x 10^3 st mL^{-1}, s maksimumom brojnosti (1,9 x 10^4 st mL^{-1}) u srpnju odnosno tijekom ljetnje stratifikacije. Analizirajući prosječne brojnosti od površinskog do pridnenog sloja

uočava se maksimalna brojnost roda *Prochlorococcus* na dubini od 5m-20m za zaljevsko područje, dok se površinski sloj tijekom zimsko–proljetnog razdoblja najčešće karakterizira njegovim potpunim odsustvom. To se može objasniti osjetljivošću *Prochlorococcus*a na hidrološku nestabilnost vodenog stupca što je naročito izraženo u priobalnim postajama tijekom zimsko proljetnog razdoblja (Poulain & Raicich, 2001). Na priobalnim postajama otvorenog dijela ispitivanog područja nije uočeno osciliranje prosječne brojnosti *Prochlorococcus*a duž vodenog stupca već su na ovim postajama utvrđene ujednačene vrijednosti brojnosti. Za razliku od zaljevskih postaja gdje je potpuno odsustvo *Prochlorococcus*a uočeno tijekom lipnja, na postajama koje su pod utjecajem rijeke Bojane karakteristično je njegovo odsustvo u cjelom vodenom stupcu tijekom kolovoza. Treba napomenuti da se izraženi vertikalni gradijent uočava tijekom najviših brojnosti kako za zaljevsko područje tako i na priobalnim postajama otvorenog dijela južnog Jadrana.

6.6. Mehanizmi kontrole prokariotskih mikroorganizama

Veličina i dinamika populacije morskih mikroorganizama određena je nizom čimbenika koji se mogu svrstati u tri skupine: resursi za rast i razmnožavanje, abiotički čimbenici od kojih je najvažnija temperatura i međuodnosi mikroorganizama koji najčešće imaju hranidbenu osnovu. U vrlo pojednostavljenom prikazu aktivnosti mikroorganizama unutar mikrobne zajednice bakterije koriste otopljenu organsku tvar koju izlučuje fitoplankton, te zajedno s fitoplanktonom asimiliraju anorganske soli iz okoliša. Heterotrofni nanoflagelati (HNF) hrane se bakterijama i ostalim komponentama pikoplanktonske zajednice dok i sami ne postanu plijen cilijata i drugih mikrozooplanktonskih predatora.

U oligotrofnim sustavima, rezerve ugljika u obliku bakterijske populacije proporcionalno su veće u usporedbi sa produktivnijim sustavima (Gasol i sur. 1997), te bi upravo bakterijski „grazing" mogao predstavljati osnovni put ugljika ka višim trofičkim razinama (Christaki i sur. 1999). Iako heterotrofni nanoflagelati predstavljaju dominantne bakterijske predatore, u oligotrofnim okolišima bakterijska populacija ne prelazi brojnosti od 1 x 10^6 st mL^{-1} što je niže od razine obično povezane s efikasnom predacijom heterotrofnih nanoflagelata (Fenchel, 1982; Eccleston – Parry & Leadbeater, 1994; Zubkov & Sleigh, 1995). Također, u

oligotrofnim sustavima, anorganski nutrijenti mogu ograničiti kako primarnu tako i bakterijsku proizvodnju te time dovesti u kompeticiju autotrofe i heterotrofe. Analizom utjecaja „top-down" i „bottom-up" kontrole bakterijske populacije na prostornoj skali, 90-tih godina prošlog stoljeća ustanovljeno je da je u oligotrofnim okolišima bakterijska populacija uglavnom kontrolirana dotokom hranljivih soli (Cole i sur. 1988; Ducklow, 1992), dok je u eutrofnim područjima utvrđena veća važnost predacije (Hobbie & Cole, 1984). Međutim, istraživanjem Šolić i sur. (2009) na području pučinskog i priobalnog srednjeg Jadrana u razdoblju od 1997. do 2006. utvrđen je porast utjecaja predatora na bakterijsku populaciju od priobalnog prema pučinskom moru te smanjenje kontrole hranjivim tvarima u istom smjeru. Time su potvrđena ranija istraživanja (Gasol, 1994; Gasol i sur. 2002) da i u oligotrofnim sustavima bakterijska populacija može biti kontrolirana predatorima. Tijekom naših istraživanja odnosa brojnosti bakterija i HNF-a utvrđen je dominantan utjecaj „bottom-up" kontrole bakterijske populacije na cijelom istraživanom području. Analizirajući odnos preko modela udaljenosti D (Slika 5.7.5.) te koeficijenata korelacije između bakterija i HNF-a utvrđen je i nešto jači utjecaj predacije na području otvorenog dijela južnog Jadrana, odnosno na postaji MNE 2. Statistički značajna negativna korelacija je utvrđena između bakterijske brojnosti te HNA i LNA grupa bakterija s HNF na dubini od 10m i 20m. Postaja je pod utjecajem rijeke Bojane, odnosno nalazi se na području koje je bogatije hranjivim tvarima (Marini i sur. 2010) iako bakterijska brojnost ne prelazi vrijednost od 10^6 st mL^{-1} (Slika 5.2.4.). Dobiveni rezultati su usporedivi s rezultatima Šantić (2010) za područje Šibenika koje je u usporedbi s obalnim područjem od Zadra do Dubrovnika opisano kao područje najbogatije hranjivim tvarima i s najjačim utjecajem predacije na bakterijsku populaciju. Navedeni rezultati predstavljaju dodatni doprinos teoriji o većem utjecaju predacije na bakterijsku populaciju u područjima više trofičke razine (Hobbie & Cole, 1984).

Predacija HNF-a osim što regulira gustoću bakterijske populacije, određuje i morfološku strukturu bakterijske zajednice (Ammerman i sur. 1984; del Giorgio i sur. 1996; Hahn & Hofie, 1998, 1999, 2001). Većina heterotrofnih protista selektivno se hrani veličinskom frakcijom od 0,4-1,6 μm (Pernthaler i sur. 1996) pa se za vrijeme najvećeg „grazinga" u populaciji očekuje prevladavanje stanica manjeg volumena (Šimek & Chrzanowski 1992). Uz regulaciju morfološke strukture bakterijske zajednice, HNF kontroliraju bakterijsku populaciju i direktnom konzumacijom bakterijske proizvodnje, odnosno preferiraju stanice

koje su u fazi rasta i diobe (Gonzales i sur. 1990; Sherr i sur. 1992). Na području Bokokotorskog zaljeva te duž crnogorske obale južnog Jadrana za vrijeme povišene brojnosti HNF-a tijekom zimskog razdoblja 2009. – 2010. godine utvrđeno je prevladavanje HNA grupe bakterija, dok je tijekom toplijeg dijela godine uz povišenu brojnst HNF-a primjećeno prevladavanje LNA grupe bakterija u vodenom stupcu. Također, za vrijeme najviše vrijednosti bakterijske proizvodnje tijekom jeseni utvrđeno je prevladavanje LNA gupe bakterija. Iako je na cijelom području utvrđena niska razina „top-down" kontrole ipak je u pojedinim slojevima vodenog stupca utvrđena statistički vrlo značajna povezanost bakterijske brojnosti te HNA i LNA grupa bakterija s HNF-om. Kao što je već spomenuto značajna negativna korelacija bakterijske brojnosti i HNA grupe bakterija i HNF-a utvrđena na postaji koja je pod utijecajem rijeke Bojane ($r = -0.724$, $p = 0.012$ i $r = -0.776$, $p = 0.005$; $n=11$) na dubini od 10m, te između bakterijske brojnost i LNA grupe bakterija s HNF-om na dubini od 20m ($r = -0.8624$, $p = 0.013$ i $r = -0.879$, $p = 0.009$; $n = 11$) dok u površinskom i pridnenom sloju vodenog stupca nije bilo značajne korelacije između ovih parametara. Također je na području Hercegnovskog zaljeva, značajna negativna korelacija utvrđena između LNA grupe bakterija i HNF-a u sloju vodeog stupca od 5m – 10m ($r = -0.782$, $p = 0.004$, $n = 11$; $r = -0.679$, $p = 0.022$, $n = 11$) te visoka pozitivna korelacija bakterijske proizvodnje s HNF-om i HNA grupom bakterija ($r = 0.979$, $p = 0{,}004$ i $r = 0.915$, $p = 0.029$; $n = 5$) na dubini od 40 m. Jednako je i na postaji u Tivatskom zaljevu na dubini od 5m utvrđena negativna ali značajna statistička povezanost bakterijske brojnosti i HNF-a te LNA grupe bakterija i HNF-a ($r = -0.529$, $p = 0.024$ i $r = -0.607$, $p = 0.007$; $n = 18$). Temeljem navedenih rezultata može se predpostaviti da su HNF konzumirali kako HNA tako i LNA frakciju heterotrofnih bakterija do razine energetski isplativog grazinga. No s obzirom da „top-down" kontrola nije bila dominantna u kontroli bakterijske populacije može se predpostaviti da nije značajnije utjecala na sastav bakterijske zajednice te da je dominaciji manjih stanica više doprinjela njihova bolja prilagodba na oligotrofne uvjete okoliša (Kjelleberg i sur. 1993) nego selektivni „grazing".

Razlog nepovezanosti između bakterija i HNF-a u nekim područjima može se tumačiti time što bakterije nisu uvijek glavna hrana za HNF (Kuosa & Kivi, 1989). Ishrana HNF-a autotrofnim pikoplanktonom, nanoplanktonom, virusima ili direktno otopljenom organskom tvari (Sherr & Sherr 1992; Gonzales & Suttle 1993; Tranvik i sur. 1993), kao i složeni trofički

odnosi unutar nanoplanktonske zajednice (Winkner & Hagström 1988), često su uzrok slabe direktne povezanosti između bakterija i HNF-a.

Osim heterotrofnim bakterijama kao svojim glavnim plijenom HNF se može hraniti i stanicama roda *Synechococcus* (Binder i sur. 1996; Bec i sur. 2005; Bernardi Aubry i sur. 2006) te stanicama roda *Prochlorococcus* (Liu & Landry, 1995; Guillou i sur. 2001). Na području Mediterana utvrđeno je da je HNF značajan predator populacije roda *Prochlorococcus* (Christaki i sur. 2001; Christaki i sur. 2002) te da može konzumirati do 21 % populacije *Prochlorococcus*a po danu (Christaki i sur. 2001). Također istraživanja različitih veličinskih frakcija heterotrofnih nanoflagelata u Arapskom moru (Reckermann & Veldhuis, 1997) potvrđuju da HNF manji od 3 µm može vršiti vrlo snažan „grazing" pritisak na pikofitoplanktonsku komponentu. U skladu s navedenim istraživanjima, u ovom radu je utvrđena pozitivna i statistički značajna povezanost roda *Prochlorococcus* i HNF-a na području Bokokotorskog zaljeva (Tblica 5.7.2. b), te negativna statistički značajna korelacija na otvorenom dijelu južnog Jadrana na području koje je pod utjecajem rijeke Bojane (Tblica 5.7.4.). Dobijeni rezultati potvrđuju ranija istraživanja Šantić i sur. (2011) za područje srednjeg Jadrana koji ukazuju na moguću kontrolu ovog roda autotrofnog pikoplanktona od strane HNF-a.

Osim predacije koja ograničava rast prokariota, supstrat (organska tvar i anorganske soli) neophodan za održavanje, rast i razmnožavanje predstavlja važan čimbenik kontrole prokariotske zajednice. Prema literaturnim podacima istaknuta je povezanost bakterija i fitoplanktonskog izlučivanja kao izvora hrane (Carlson i sur. 1996; Kirchman & Rich, 1997), a slično je utvrđeno i u ranijim istraživanjima oligotrofnog područja srednjeg i južnog Jadrana (Krstulović i sur. 1997; Šestanović i sur. 2004; Šantić, 2010). Na istraživanom priobalnom području Bokokotorskog zaljeva, u površinskom sloju vodenog stupca utvrđena je značajna pozitivna povezanost bakterijske brojnsti i koncentracije klorofila a, te pozitivna povezanost HNA bakterija s vrijednostima klorofila a. Ovi podaci ukazuju da je bakterijska populacija, posebice HNA grupa bakterija u tom dijelu vodenog stupca bila ovisna o hranjivim tvarima fitoplanktonskog porijekla. Također treba naglasiti da je u istom sloju vodenog stupca utvrđena negativna povezanost LNA grupe bakterija i koncentracije klorofila a. To upućuje na činjenicu da porast hranjivih tvari fitoplanktonskog porijekla nije podržao rast LNA grupe bakterija i na mogući kompeticijski odnos bakterija i fitoplanktona za hranjivim tvarima

anorganskog porijekla. Ovi podaci su i u suglasju sa ranijim istraživanjima u kojima je utvrđeno da je upravo HNA grupa bakterija bila ovisnija o supstratu fitoplanktonskog porijekla nego LNA grupa bakterija (Scharek & Latasa, 2007; Morán i sur. 2010). Također ispod površinskog sloja vodenog stupca u Tivatskom zaljevu utvrđena je negativna povezanost bakterijske proizvodnje i koncentracije klorofila a. S obzirom da je za najveći udio bakterijske proizvodnje tijekom istraživanog razdoblja bila odgovorna LNA grupa bakterija, može se također zaključiti da je spomenuta negativna povezanst posljedica kompeticijskih odnosa bakterija i fitoplanktona. Na području otvorenog dijela južnog Jadrana, u eutrofnijem području pod utjecajem rijeke Bojane odnosno na plitkoj priobalnoj postaji te na nešto udaljenijoj postaji (MNE 3) utvrđena je značajna pozitivna povezanost bakterijske brojnosti kao i HNA i LNA grupa s koncentracijom klorofila a. Ovi podaci ukazuju da je na spomenutom području bakterijska populacija u znatnoj mjeri ovisila o hranjivim tvarima fitoplanktonskog porijekla.

Osim organskih spojeva, na dinamiku bakterijske populacije u velikoj mjeri utječu anorganske hranjive soli. Ukoliko je kontrola resursima prevladavajuća, porast hranjive tvari trebao bi se odraziti na porast biomase i proizvodnje bakterija (Ducklow & Carlson, 1992). Na istraživanom području značajna pozitivna povezanost bakterijske brojnosti i nitrata utvrđena je samo na postajama pod direktnim utjecajem rijeke Bojane. Osim ovog područja kontrola bakterijske populacije anorganskim hranjivim solima, iako je bila prisutna, nije bila ograničavajući čimbenik.

Dosadašnja istraživanja utjecaja anorganskih soli na rasprostranjenost roda *Prochlorococcus* utvrdila su njegovu prisutnost pri različitim N:P odnosima što je vjerojatno poljedica postojanja više ekotipova u morskom okolišu (Vaulot i sur. 1990).

Naime u ovom radu nije utvrđena povezanost brojnosti roda *Prochlorococcus* s koncentracijom nitrata i nitrita na cijelom istraživanom području. Razlog tome može biti što su upravo amonijak ili urea važni spojevi za preživljavanje ovog roda (Moore i sur. 2002; Rocap i sur. 2003; Johnson & Lin, 2009), ali i njegova prilagodba oligotrofnim uvjetima i sposobnost preživljavanja u stratificiranim vodama osiromašenim nutrijentima (Olson i sur. 1990; Campbell & Vaulot, 1993; Lindell & Post, 1995). Slični rezultati su utvrđeni u istraživanju priobalnog područja srednjeg i južnog Jadrana (Šantić, 2010) gdje također nije utvrđena povezanost brojnosti roda *Prochlorococcus* s anorganskim hranjivim solima.

Također istraživanjem fosforom ograničenih estuarija na području Jadrana utvrđeno je da brojnost roda *Prochlorococcus* dostiže maksimum upravo u fosforom ograničenim uvjetima, dok heterotrofne bakterije dostižu višu biomasu u uvjetima u kojima ne postoji limitiranost fosforom (Šolić i sur., 2015).

Na brzinu kemijskih reakcija a time i na dinamiku svih aktivnosti unutar mikrobne zajednice vrlo značajno djeluje i temperatura. Tijekom istraživanja Shiah & Ducklow (1994) utvrđeno je da je temperatura često najvažniji čimbenik koji je u vezi sa sezonskom varijabilnošću bakterijske brojnosti i proizvodnje upravo u priobalnim područjima i ekosustavima koji su pod utjecajem slatke vode, te da je efikasnija u regulaciji bakterijske proizvodnje i specifične stope bakterijskog rasta nego nutrijenti. U ovome radu su najviše vrijednosti bakterijske brojnosti utvrđene uglavnom tijekom toplijeg razdoblja, što je u suglasju s literaturnim podacima o sezonskoj raspodjeli i za ostala istraživana područja Jadrana (Krstulović, 1992; Šolić & Krstulović, 1994; Fuks, 1995; Šolić i sur. 2001; Šolić i sur. 2008; Šantić, 2010). Također je u ovom radu utvrđena pojava povišene bakterijske brojnosti i proizvodnje u listopadu na šta je pozitivno utjecala i relativno visoka temperatura vodenog stupca za to razdoblje godine. Udjeli bakterijskih grupa, posebice LNA bakterija, također su pokazali povezanost s temperaturom što je utvrđeno i u radovima Calvo-Díaz & Morán (2006) i Morán i sur. (2007).

Agawin i sur. (2000) u svojim istraživanjima navode da je za rod *Prochlorococcus* optimalna temperatura rasta 24 ºC, te je za očekivati da prisustvo ovog roda u određenim razdobljima godine ograničava niska temperatura (Partensky & Vaulot, 1999). Rezultati istraživanja prikazani u ovom radu ukazuju na prisutnost ovog roda u rasponu temperature od 8,1 ºC do 27,9 ºC. Slično je i u istraživanjima na području sjvernog Atlantika, sjevero-zapadnog Mediterana i Kineskog mora utvrđena prisutnosti roda *Prochlorococcus* pri širokom rasponu temperatura (Buck i sur. 1996; Agawin i sur. 2000; Jiao i sur. 2002). Analizom sezonske dinamike *Prochlorococcus* na cijelom istraživanom području utvrđene su povišene brojnosti tijekom proljeća i ljeta s maksimumima brojnosti tijekom jeseni. Za postaje u Bokokotorskom zaljevu karakterističan je maksimum brojnosti tijekom jeseni 2009. godine, dok je za izvanzaljevske postaje karakterističan maksimum brojnosti u studenom 2010. godine. Slični rezultati utvrđeni su na području Ploča gdje su visoke vrijednosti *Prochlorococcus*a utvrđene u zimskom razdoblju (Šantić, 2010).

Iako je poznato da su planktonski organizmi prilagodjeni na povišene koncentracije otopljenih soli na način da je njihova stanična tekućina izotonična s morskom vodom, utvrđeno je da znatan porast saliniteta negativno djeluje na morske organizme. Naime, u ovom radu je utvrđen negativni učinak povećanja vrijednosti saliniteta na bakterijsku brojnost za područje otvorenog dijela južnog Jadrana kao i za podpovršinski sloj vodenog stupca u Bokokotorskom zaljevu. Slični rezultati su utvrđeni i u ranijim istraživanjima na području Jadrana (Krstulović, 1992; Šolić i sur., 2008; Šantić, 2010). Razliku predstavlja površinski sloj vodenog stupca u Bokokotorskom zaljevu za koji je utvrđena pozitivna korelacija bakterijske brojnosti i saliniteta.

Za rod *Prochlorococcus,* prema literaturnim podacima, utvrđeno je da obitava pri širokom gradijentu saliniteta od 0,2 ‰ do 34,4 ‰ (Jochem, 2003). Prema našim istraživanjima prisustvo stanica *Prochlorococcus* utvrđeno je pri salinitetu u rasponu od 0,6 ‰ do 38,1 ‰, što predstavlja širi raspon od prethodno utvrđenog za područje Jadrana (Radić i sur., 2009; Šantić i sur., 2011).

7. ZAKLJUČCI

U radu je prikazana raspodjela bakterijske brojnosti, udjela HNA i LNA grupa bakterija u ukupnom broju heterotrofnih bakterija, bakterijske proizvodnje, brojnosti heterotrofnih nanoflagelata (HNF) kao glavnih predatora bakterija te brojnosti autotrofnih prokariota roda *Prochlorococcus* na području Bokokotorskog zaljeva te na priobalnim postajama otvorenog dijela južnog Jadrana. Izneseni su rezultati utjecaja nekih fizikalno-kemijskih i bioloških čimbenika na raspodjelu heterotrofnih i ispitivanih autotrofnih prokariota. Podaci izneseni u ovom radu predstavljaju prve spoznaje o raspodjeli i aktivnostima spomenutih sastavnica prokariotske zajednice duž crnogorske obale južnog Jadrana.

Vrijednosti gustoće heterotrofnih bakterija bile su u granicama reda veličine od 10^4 do 10^6 st mL^{-1} što upućuje na zaključak da je more crnogorskog dijela južnog Jadrana imalo osobine oligotrofnog područja. Međutim, uspoređujući brojnost heterotrofnih bakterija na svim istraživanim postajama utvrđene su ipak razlike među njima s najvišim vrijednostima bakterijske brojnosti na području Kotorskog zaljeva za zaljevsko područje te na plitkoj postaji OS 6 za izvanzaljevsno područje, odnosno na područjima koja se nalaze pod neposrednim utjecajem rijeka.

Sezonska raspodjela gustoće heterotrofnih bakterija ukazuje na povišene brojnosti u proljetno-ljetnom razdoblju kako za zaljevske tako i za istraživane postaje na otvorenom dijelu Jadrana, s izraženim maksimumom brojnosti tijekom jeseni. Pojava jesenskog maksimuma bakterijske brojnosti najvjerojatnije se javlja zbog relativno visoke temperature mora (18,5 ºC do 20,4 ºC) te povećanog obogaćivanja nutrijentima uslijed intezivnih padavina i ispiranja tla, što najvjerojatnije uzrokuje i povećanje fitoplanktonske biomase i proizvodnju hranjiva za bakterije.

Na istraživanome području južnog Jadrana utvrđeni su široki rasponi udjela HNA i LNA grupa bakterija (HNA grupa od 21% do 91%, dok je udio LNA iznosio od 9% do 79%) što upućuje na zaključak da obje grupe bakterija reagiraju na fizikalno-kemijske promjene u okolišu. Uspoređujući udjele HNA i LNA bakterija u ukupnom broju bakterija između

priobalnih postaja Bokokotorskog zaljeva i postaja priobalnog dijela otvorenog mora južnog Jadrana proizilazi da je udio HNA bakterija neznatno viši od 50% jedino na priobalnoj postaji OS 1 u Kotorskom zaljevu dok na svim ostalim postajama prevladavaju LNA grupa bakterija.

Analizom sezonske raspodjele HNA i LNA grupa, utvrđeno je prevladavanje HNA bakterija u vodenom stupcu samo tijekom hladnijeg razdoblja, odnosno tijekom zime i ranog proljeća na postajama koje su pod direktnim utjecajem slatke vode kako u zaljevskom tako i u izvanzaljevskom području (OS 1, OS 2 u Kotorskom zaljevu i OS 6 na ušću rijeke Bojane). LNA grupa bakterija je dominirala tijekom proljeća, ljeta i jeseni na većini postaja istraživanog područja, što je dodatni prilog zaključku da istraživano područje ima osobine oligotrofnih ekosustava.

Vrijednosti bakterijske proizvodnje bile su u rasponu od 0,05 x 10^4 st mL^{-1} h^{-1} do 3,85 x 10^4 st mL^{-1} h^{-1} s najvišim vrijednostima u Tivatskom i Hercegnovskom zaljevu (postaje C 2 i C 3), najmanjim na priobalnoj postaji otvorenog mora (OS 1). Studiranjem sezonske dinamike bakterijske proizvodnje najviše vrijednosti su utvrđene tijekom jeseni (listopad). Najvjerojatnije objašnjenje visoke vrijednosti bakterijske proizvodnje u listopadu je visoka temperatura vodenog stupca (18,5 ºC do 20,4 ºC) koja je optimalna temperatura rasta psihrofilnih bakterija. Jednako su u listopadu zabilježene i velike količine padalina što je moglo uzrokovati povećani unos hranjivih tvari na koje bakterije brzo reagiraju.

Za vrijeme najviših vrijednosti bakterijske proizvodnje u vodenom stupcu su dominirale LNA bakterije što potvrđuje činjenicu da su LNA, kao i HNA bakterije, aktivna komponenta bakterijske zajednice, te da su iznimno važna grupa bakterija u oligotrofnim okolišima gdje mogu uspješno konzumirati organsku tvar i prijeći stopu rasta HNA grupe.

Prisustvo stanica autotrofnog pikoplanktona roda *Prochlorococcus* utvrđeno je na cijelom istraživanom području s brojnošću koja je iznosila od 0 do 10^5 st mL^{-1}. Najviše brojnosti od 10 x 10^4 st mL^{-1} su utvrđene na priobalnim postajama u Kotorskom zaljevu dok je brojnost roda *Prochlorococcus* na priobalnim postajama koje su pod direktnim utjecajem rijeke Bojane bile i do tri puta manje od onih izmjerenih u zaljevskom području. Podaci ukazuju na

negativan utjecaj hidrološke nestabilnost vodenog stupca na brojnost populacije roda *Prochlorococcus*.

Studiranjem sezonske raspodjele povišene brojnosti roda *Prochlorococcus* su utvrđene tijekom jeseni 2009. godine te tijekom proljetno-ljetne sezone 2010. godine. Na izvanzaljevskom ispitivanom području povišene brojnosti *Prochlorococcusa* su utvrđene tijekom proljetnog i ljetnog razdoblja sa maksimumom brojnosti tijekom studenog. Iako se u literaturi za rast roda *Prochlorococcus* navodi optimalna temperatura od 24 ºC rezultati istraživanja prikazani u ovom radu ukazuju na prisutnost ovog roda pri rasponu temperature od 8,1 ºC do 27,9 ºC što upućuje na zaključak da temperatura nije bila ograničavajući čimbenik rasprostranjenosti roda *Prochlorococcusa* na crnogorskom dijelu južnog Jadrana.

Na području Kotorskog zaljeva pozitivna korelacija bakterijske brojnosti i klorofila a te HNA grupe bakterija i klorofila a ukazuju na ovisnost heterotrofnih bakterija te posebice HNA grupe o organskoj tvari fitoplanktonskog porijekla. Na području Tivatskog i Hercegnoskog zaljeva u površinskom sloju vodenog stupca utvrđena je negativna korelacija LNA grupe bakterija i klorofila a, ali i bakterijske proizvodnje u podpovršinskom sloju sa klorofilom a. Ovi podaci upućuju na mogući kompeticijski odnos bakterija i fitoplanktona za hranjive soli u ovom dijelu Bokokotorskog zaljeva.

Na istraživanom području, prema Gasolovom modelu i koeficijentu korelacije između heterotrofnih bakterija i HNF-a kao glavnih predatora, proizlazi da je bakterijska populacija uglavnom bila kontrolirana hranjivim tvarima odnosno „botom up" kontrolom, što se moglo i očekivati za oligotrofna područja. Prema modelu udaljenosti najslabiji utjecaj „botom up" kontrole utvrđen je na postaji koja je pod utjecajem rijeke Bojane, odnosno na području koje je prema Marini i sur. (2011) opisano kao područje više trofičke razine. Na istoj postaji utvrđena je i negativna statistička povezanost između bakterijske brojnosti te HNA i LNA grupa bakterija sa HNF-om, što ukazuje da su na ovom području bakterije ipak bile važan plijen za HNF. Na istoj postaji utvrđena je negativna korelacija između *Prochlorococcus*a i HNF što upućuje na zaključak da je i autotrofni pikoplankton roda *Prochlorococcus* predstavljao plijen na HNF.

8. LITERATURA

Agawin, N.S.R., C.M. Duarte & S. Agustí. 1998. Growth and abundance of *Synechococcus sp.* in a Mediterranean Bay: seasonality and relationship with temperature. Mar. Ecol. Prog. Ser., 170: 45–53.

Agawin, N.S.R., C.M. Duarte & S. Agustí. 2000. Nutrient and temperature control of the contribution of picoplankton to phytoplankton biomass and production. Limnol. Oceanogr., 45: 591–600.

Alonso-Laita P., N. Navarro, C.M. Duarte & S. Agusti. 2005 Seasonality of pico-phytoplankton abundance and cell death in a Mediterranean bay (Bay of Palma, Majorca Island). Vie Milieu, 55: 177-184.

Al-Qutob, M., C. Häse, M. M. Tilzer & B. Lazar. 2002. Phytoplankton drives nitrte dinamics in the Gulf of Aqaba, Red Sea. Mar.Ecol.Prog.Ser., 239: 233-239.

Ammerman, J.W., J.A. Fuhrman, Å. Hagström & F. Azam. 1984. Bacterioplankton growth in seawater:I. Growth kinetics and cellular characteristics in seawater cultures. Mar. Ecol. Prog. Ser., 18: 31-39.

Andersen, R.A., R.R. Bidigare, M.D. Keller & M. Latasa. 1996. A comparison of HPLC pigment analysis and electron microscopic observations for oligotrophic waters of the North Atlantic and Pacific Oceans. Deep-Sea Res. Part II, 43: 517-537.

Andrade, L., A.M. Gonzales, C.E. Rezende, M. Suzuki, J.L. Valentin & R. Paranhos. 2007. Distribution of HNA and LNA bacterial groups in the Southwest Atlantic Ocean. Braz. J. Microbiol., 38: 330-336.

Artegiani, A., D. Bregant, E. Paschini, N. Pinardi, F. Raicich & A. Russo. 1997. The Adriatic Sea general circulation. Part II: Baroclinic circulation structure. J. Phys.l Oceanogr., 27: 1515-1532.

Azam, F., T. Fenchel, J.G. Field, J.S. Gray, L.A. Meyer-Reil & F. Thingstadt. 1983. The ecological role of water-column microbes in the sea. Mar. Ecol. Prog. Ser., 10: 257-263.

Azam, F. 1998. Microbial control of oceanic carbon flux: the plot thickens. Science 280:694-696.

Bartbak, G., M. Heldal, T.F. Thingstad, B. Riemann & O.H. Haslund. 1992. Incorporation of viruses into the budget of microbial C-transfer. A first approach. Mar. Ecol. Prog. Ser., 83: 273-280.

Bec B., J. Husseini-Ratrema, Y. Collos, P. Souchu & A. Vacquer. 2005. Phytoplankton seasonal dynamics in a Mediterranean coastal lagoon: emphasis on the picoeukaryote community. J. Plankton Res., 27: 881-894.

Bellafiore, D., A. Guarnieri, F. Grilli, P. Penna, G. Bortoluzzi, F. Giglio & N. Pinardi. 2011. Study of the hydrodynamical processes in the Boka Kotorska Bay with a finite element model. Dynam. Atmos. Oceans, 52: 298–321.

Berbardi-Aubry, F., F. Acri, M. Bastianini, A. Pugnetti & G. Socal. 2006. Picophytoplankton contribution to phytoplankton community structure in the Gulf of Venice (NW Adriatic Sea). International Rev. Hydrobiol., 91: 51–70.

Bergh, Ø., K. Yngve, G. Bratbak & M. Heldal.1989. High abundance of viruses found in aquatic environments. Nature., 340: 467–468.

Berman, T., M. Nawrocki, G.T. Taylor & D.M. Karl. 1987. Nutrient flux between bacteria, bacterivorous nanoplanktonic protest and algae. Mar. Microb. Food Webs 2: 69-82.

Binder, B.J., S.W. Chisholm, R.J. Olson, S.L. Frankel & A.Z. Worden. 1996. Dynamics of picophytoplankton, ultraphytoplankton and bacteria in the central equatorial Pacific. Deep-Sea Res., Part II: 43: 907-931.

Blanchot, J. & M. Rodier. 1996. Picophytoplankton abundance and biomass in the western tropical Pacific Ocean during the 1992 El Nino year: new data from flow cytometry. Deep-Sea Res. Part I, 43: 877-895.

Blanchot, J. & L. Charpy. 1997. Picophytoplankton community structure in the subtropical Pacific Ocean: a comparison between the offshore and coastal ocean and the closed and open lagoons, in relation to nitrogen nutrients availability. 8th International Coral Reef Symposium. 1: 821-826.

Bojanić, N., M. Šolić, N. Krstulović, S. Šestanović, I. Marasović & Ž. Ninčević. 2005. Temporal variability in abundance and biomass of ciliates and copepods in the eutrophicated part of Kaštela Bay (Middle Adriatic Sea). Helgol. Mar. Res., 59: 107-120.

Bosak, S., T. Šilović, Z. Ljubešić, G. Kušpilić, B. Pestorić, S. Krivokapić & D. Viličić. 2012. Phytoplankton size structure and species composition as an indicator of trophic status in transitional ecosystems: the case study of a Mediterranean fjord-like karstic bay. Oceanologia 54: 255-286.

Buck, K.R., F.P. Chavez & L. Campbell. 1996. Basin-wide distributions of living carbon components and the inverted trophic pyramid of the central gyre of the North Atlantic Ocean, summer 1993. Aquat. Microb. Ecol., 10: 283-298.

Burić, Z., I. Cetinić, D. Viličić, K. Caput- Mihalić, M. Carić & G. Oluić. 2007. Spatial and temporal distribution of phytoplankton in a highly stratified estuary (Zrmanja, Adriatic Sea). Mar. Ecol., 28: 169-177.

Button, D.K. 1998. Nutrient uptake by microorganisms according to kinetic parameters from theory as related to cytoarchitecture. Microbiol. Mol. Biol. Rev., 62: 636-645.

Button, D.K. & B.R. Robertson. 2001. DNA content of heterotrophic bacterioplankton by flow cytometry. Appli. Environ. Microbiol., 67: 1636-1645.

Calvo-Díaz, A. & X.A.G. Morán. 2006. Seasonal dynamics of picoplankton in shelf waters of the southern Bay of Biscay. Aquat. Microb. Ecol., 42: 159–174.

Campbell, L. & D. Vaulot 1993. Photosynthetic picoplankton community structure in the subtropical North Pacific Ocean near Hawaii (station ALOHA). Deep Sea Ress. Part I, 40: 2043-2060.

Campbell, L., H.A. Nolla & D. Vaulot. 1994. The importance of *Prochlorococcus* to community structure in the Central of Pacific Ocean. Limnol. Oceanogr., 39: 954-961.

Carić, M., N. Jasprica, F. Kršinić, I. Vilibić & M. Batistić. 2012. Hydrography, nutrients, and plankton along the longitudinal section of the Ombla Estuary (south-eastern Adriatic). J. Mar. Biol. Assoc. UK., 92: 1227-1242.

Carlson, C.A., H.W. Ducklow & T.D. Sleeter. 1996. Stocks and dynamics of bacterioplankton in the northwester Sargasso Sea. Deep Sea Ress. Part II, 43: 491-516.

Carlson, C.A. & H.W. Ducklow. 1996. Growth of bacterioplankton and consumption of disolved organic carbon in the Sargasso Sea. Aquat. Microb. Ecol., 10: 69-85.

Caron, D.A., J.C. Goldman & M.R. Dennett. 1988. Eksperimental demonstration of the roles of bacterivorous protozoa in plankton nutrient cycles. Hydrobiologia 159: 27-40.

Caron, D.A., E.L. Lim, G. Miceli, J.B. Waterbury & F.W. Valois. 1991. Grazing and utilization of chroococcoid cyanobactera and heterotrophic bacteria by protozoa in laboratory cultures and a coastal plankton community. Mar. Ecol. Prog. Ser., 76: 205-217.

Cerino, F., F.B. Aubry, J. Coppola, R. La Ferla, G. Maimone, G.Socal & C. Totti. 2012. Spatial and temporal variability of pico-, nano- and microphytoplankton in the offshore waters of the southern Adriatic Sea (Mediterranean Sea). Cont. Shelf Res., 44: 94-105.

Cetinić, I., D. Viličić, Z. Burić & G. Olujić. 2006. Phytoplankton seasonality in a highly stratified karstic estuary (Krka, Adriatic Sea). Hydrobiologia, 555: 31-40.

Chisholms, S.W., R.J. Olson, E.R. Zettler, R. Goericke, J.B. Waterbury & N.A. Welshmeyer. 1988. A novel free living prochlorophyte abundant in the oveanic eutrophic zone. Nature 334: 340-343.

Christaki, U., S. Jacquet, J. R. Dolan, D. Vaulot & F. Rassoulzadegan. 1999. Growth and grazing on *Prochlorococcus* and *Synechococcus* by two marine ciliates. Limnol. Ocenogr., 44: 52-61.

Christaki, U., A. Giannakourou, F. Van Wambeke & G. Grégori. 2001. Nanoflagellate predation on auto- and heterotrophic picoplankton in the oligotrophic Mediterranean Sea. J. Plankton Res., 23: 1297-1310.

Christaki**,** U., C. Courties**,** H. Karayanni**,** A. Giannakourou**,** C. Maravelias**,** K.A. Kormas & P. Lebaron. 2002. Dynamic characteristics of *Prochlorococcus* and *Synechococcus* consumption by bacterivorous nanoflagellates. Microb. Ecol., 43: 341-352.

Cole, J.J., S. Findlay & M.L. Pace. 1988. Bacterial production in fresh and saltwater ecosystems: a cross-system overview. Mar. Ecol. Prog. Ser. 43: 1–10.

Cotner, J.B. & B.A. Biddanda. 2002. Small players, large role: microbial influence on auto-heterotrophic coupling and biogeochemical processes in aquatic ecosystems. Ecosystems., 5: 105–121.

Coveney, M.F. & R.G. Wetzel. 1988. Experimental evaluation of conversion factors for the [h]thymidine incorporation assay of bacterial secondary productivity. App. Environ. Microbiol., 54: 2018–2026.

Cucco, A. & G. Umgiesser. 2006. Modeling the Venice lagoon residence time. Ecological Modelling, 193: 34–51.

Cushing, D.H. 1989. A difference in structure between ecosystems in strongly stratified waters and in those that are only weakly stratified. J. Plankton Res., 11: 1-13.

Cviić, V. 1953. On the ecological relations on marine bacteria and plankton. Proc. Vith International Congress of Microbiology 7:365 pp.

Cviić, V. 1955. Distribution of bacteria in the water of the Middle Adriatic Sea. Izvješća-Reports. Institut za oceanografiju i ribarstvo, Split 4:1-37 pp.

Cviić, V. 1963. Rasprostranjenost bakterija i bakterijske biomaseu južnom Jadranu. Acta Adriat., 8: 1-31.

Del Giorgio, P.A., J.M. Gasol, D. Vaqué, P. Mura, S. Agustí & C.M. Duarte. 1996. Bacterioplankton community structure: Protists control net production and the proportion of active bacteria in a coastal marine community. Limnol. Oceanogr., 41: 1169-1179.

Del Giorgio, P.A., J.J. Cole & A. Cimbleris. 1997. Respiration rates in bacteria exceed phytoplankton production in unproductive aquatic systems. Nature 385: 148-151.

Dolan, J.R. & C.L. Gallegos. 1991. Trophic coupling of rotifers, microflagellates and bacteria during fall months in the Rhode River estuary. Mar. Ecol. Prog. Ser., 77: 147-156.

Ducklow, H.W., D.A. Purdie, P.J.L. Williams & J.M. Davis. 1986. Bacterioplankton: a sink for carbon in a coastal marine plankton community. Science 232: 865–867.

Ducklow, H.W. 1992. Factors regulating bottom-up control of bacterial biomass in opern ocean communities. Aech. Hydrobiol. Beih., 37: 207-217.

Ducklow, H. W. & C.A. Carlson. 1992. Oceanic bacterial productivity. Advances in Microbial Ecology. New York: Plenum., 12: 113-181.

Eccleston- Parry, J.D. & B.S.C. Leadbeater. 1994 A comparison of the growth kinetics of six marine heterotrophic nanoflagellates fed with one bacterial species. Mar.Ecol.Prog.Ser., 105: 167-177.

Fenchel, T. 1980. Relation between particle size selection and clearance in suspension feeding ciliates. Limnol. Oceanogr., 25: 733-738.

Fenchel, T. 1982 Ecology of heterotrophic microflagellates. II Bioenergetics and growth. Mar.Ecol.Prog.Ser., 8: 225-231.

Flombaum, P., , J.L. Gallegos, R.A. Gordillo, J. Rincón, L.L. Zabala, N. Jiao, D.M. Karl, W.K.W. Li, M.W. Lomas, D. Veneziano, C.S. Vera & J.A. Vrugt. 2013. Present and future global distributions of the marine Cyanobacteria *Prochlorococcus* and *Synechococcus*. Pdoceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 110: 9824-9829.

Fuhrman, J.A. & F. Azam. 1980. Bacterioplankton secondary production estimates for coastal waters of British Columbia, Antarctica, and California. App. Environ. Microbiol.,39: 1085-1095.

Fuhrman, J.A. & F. Azam. 1982. Thymidine incorporation as a measure of heterotrophic bacterioplankton production in marine surface waters. Mar. Biol., 66: 109-120.

Fuhrman, J.A. 1992. Bacterioplankton roles in cycling of organic matter: The microbial food web. Environ. Sci. Res., 43: 361-383.

Fuhrman, J.A. & R.T. Noble. 1995. Viruses and protists cause similar bacterial mortality in coastal seawater. Limnol. Oceanogr. 40: 1236–1242.

Fuks, D. & M. Devescovi. 1985. Distribution of heterotrophic bacteria in the northern Adriatic Sea. Rapp. Comm. int Med Medit. 29: 35-36.

Fuks, D. 1995. Uloga bakterioplanktona u ekosustavu sjevernog Jadrana. Doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu 155 pp.

Fuks, D., I. Ivančić, M. Najdek, D. Lučić, J. Njire, J. Godrijan, D. Marić, T. Šilović, P. Paliaga, M. Blažina, R. Precali & S. Orlić. 2012. Changes in the planktonic community structure related to trophic conditions: The case study of the northern Adriatic Sea. J. Mar. Sys., 96-97: 95-102.

García-Fernández, J.M., N.T. Marsac & J. Diez. 2004. Streamlined regulation and gene loss as adaptive mechanisms in *Prochlorococcus* for optimized nitrogen utilization in oligotrophic environments. Microbiol. Mol. Biol. R., 68: 630-638.

Garczarek, L., A. Dufresne, S. Rousvoal, N.J. West, S. Mozard, D. Marie, H.C. Claustre, P. Raimbault, A.F. Post, D.J. Scanlan, & F. Partensky. 2007. High vertical and low horizontal

diversity of *Prochlorococcus* ecotypes in the Mediterranean Sea in summer. FEMS Microbiol. Ecol., 60: 189-206.

Gasol, J.M. & D. Vaque.. 1993. Lack of coupling between heterotrophic nanoflagellates and bacteria: a general phenomenon across aquatic systems? Limnol. Oceanogr., 38: 657-665.

Gasol, J.M. 1994. A framework for the assessment of top-down vs. bottom-up control of heterotrophic nanoflagellates abundance. Mar. Ecol. Prog. Ser., 113: 291-s300.

Gasol, J.M., P.A. Del Giorgio & C. Duarte1997. Biomass distribution in marine planktonic communities. Limnol.Oceanogr., 42: 1353-1363.

Gasol, J.M., M.D. Doval, J. Pinhassi, J.I. Calderón-Paz, N. Guixa-Boixareu, D Vaqué & C. Pedrós-Alió. 1998. Diel variations in bacterial heterotrophic activity and growth in the northwestern Mediterranean Sea. Mar. Ecol. Prog. Ser., 164: 107-124.

Gasol, J.M. & X.A.G. Morán. 1999. Effects of filtration on bacterial activity and picoplankton community structure as assessed by flow cytometry. App. Environ. Microbiol., 16: 251-264.

Gasol, J.M., U-L. Zweifel, F. Peters, J.A. Furhman & Å. Hagström. 1999. Significance of size and nucleic acid content heterogeneity as assessed by flow cytometry in natural planktonic bacteria. App. Environ. Microbiol., 65: 4475-4483.

Gasol, J.M., C. Pedrós-Alió & D. Vaqué. 2002. Regulation of bacterial assemblages in oligotrophic plankton systems: results from experimental and empirical approaches. Ant. Leeuw., 81: 435-452.

Gobler, C. J., L. A. Cullison, F. Koch, T. M. Harder & J. W. Krause. 2005. Influence of freshwater flow, ocean exchange, and seasonal cycles on phytoplankton – nutrient dynamics in a temporarily open estuary. Estuar. Coast. Shelf Sci., 65: 275-288.

Goericke, R., & D.J. Repeta. 1992. The pigments of *Prochlorococcus marinus*: the presence of divinyl chlorophylla and b in marine prochlorophyte. Limnol. Oceanogr., 37: 425-433.

Goericke, R. & N.A. Welschmeyer. 1993. The marine prochlorophyte *Prochlorococcus* contributes significantly to phytoplankton biomass and primary prodaction in Sargasso Sea. Deap Sea Res. Part I, 40: 2283-2294.

Gonzalez, J.M., E.B. Sherr, & B.F. Sherr. 1990**.** Size-selective grazing on bacteria by natural assemblages of estuarine flagellates and ciliates. Appl. Envir. Microbiol., 56: 583-589.

Gonzales, J.M. & C.A. Suttle. 1993. Grazing by marine nanoflagellates on viruses and virus-sized particles: ingestion and digestion. Mar. Ecol. Prog. Ser., 94: 1–10.

Gonzàlez, J.M. 1996. Efficient size-selective bacterivory by phagotrophic nanoflagellates in aquatic ecosystems. Mar. Biol., 126: 785-789.

Guillou, L., S. Jacquet, M.J. Chretiennot-Dinet & D. Vaulot. 2001. Grazing impact of two heterotrophic flagellates on *Prochlorococcus* and *Synechococcus*. Aquat. Microb. Ecol., 26: 201–207.

Hahn, M.W. & M.G. Höfle. 1998. Grazing pressure by a bacterivorous flagellate reverses the relative abundance of *Comamonas acidovorans* PX54 and *Vibrio* strain CB5 in chemostat cocultures. Appl. Environ. Microbiol., 64: 1910-1918

Hahn, M.W. & M.G. Höfle. 1999. Flagellate predation on a bacterial model community: interplay of size-selective grazing, specific bacterial cell size, and bacterial community composition. Appl. Environ. Microbiol., 65: 4863-4872.

Hahn, M.W. & M.G. Höfle. 2001. Grazing of protozoa and its effects on populations of aquatic bacteria. FEMS Microbiol. Ecol., 35: 113-121.

Hobbie, J.E. & J.J. Cole. 1984. Response of a detrital foodweb to eutrophication. Bull. Mar. Sci., 35: 357-363.

Jahnke, R.A. & D.B. Craven. 1995. Quantifying the role of heterotrophic bacteria in the carbon cycle: A need for respiration rate measurements. Limnol. Oceanogr., 40: 436-441.

Jellett, J.F., W.K.W. Li, P.M. Dickie, A. Boraie & P.E. Kepkay. 1996. Metabolic activity of bacterioplankton communities assessed by flow cytometry and single carbon substrate utilization. Mar. Ecol. Prog. Ser., 136: 213-225.

Jiao, N.Z., Y.H. Yang, H. Koshikawa & M. Watanabe. 2002. Influence of hydrographic conditions on picoplankton distribution in the East China Sea. Aquat. Microb. Ecol., 30: 37-48.

Jochem, F.J. & B. Zeitzschel. 1993. Productivity regime and phytoplankton size structure in the tropical and subtropical North Atlantic. Deep-Sea Res., 40: 495-519.

Jochem, F.J., P.J. Lavrentyev & M.R. First. 2004. Growth and grazing rates of bacteria groups with different apparent DNA content in the Gulf of Mexico, Mar. Biol., 145: 1213–1225.

Johnson Z., E.R. Zinser, A. Coe, N.P. McNulty, E.M.S. Woodward & S.W. Chisholm. 2006. Niche partitioning among Prochlorococcus ecotypes along ocean-scale environmental gradients. Science 311: 1737–1740

Johnson Z.I. & Lin, Y. 2009. *Prochlorococcus*: Approved for export. P. Natl. Acad. Sci. USA., 106: 10400-10401.

Kaiser, H. F. 1958. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. Psychometrika 23:187 200.

Kirchman, D.L. & J.H. Rich. 1997. Regulation of bacterial growth rates by dissolved organic carbon and temperature in the equatorial Pacific Ocean. Microb. Ecol., 33: 11-20.

Kirchman, D.L. 2000. Uptake and regeneration of inorganic nutrients by marine heterotrophic bacteria. Microbial ecology of the oceans, 261-288.

Kjelleberg, S., N. Albertson, K. Flaerdh, L. Holmquist, A. Jouper-Jaan, R. Marouga, J. Oestling, B.I. Svenblad & D. Weichart. 1993. How do non differentiating bacteria adapt to starvation? A.Van. Leeuw. J. Microb., 63: 333-341.

Krivokapić, S., Ž. Stanković & N. Vuksanović. 2009. Seasonal variations of phytoplankton biomass and environmental conditions in the inner Boka Kotorska Bay (eastern Adriatic Sea). Acta Bot. Croat., 68: 45-55.

Krivokapić, S., B. Pestorić & S. Bosak. 2011. Trophic state of Boka Kotorska Bay (south-eastern Adriatic Sea). Fresen. Environ. Bull., 20: 1960 – 1969.

Krstulović, N. & S. Šobot. 1981. Distribution of suspended bacteria colony-forming and H_2S-producing bacteria in the coastal waters of the Central Adriatic. Rapp. Communications int. Mer Mediterranee, 27: 51-52.

Krstulović, N. & S. Šobot. 1986. Distribution of heterotrophic bacteria in the coastal and open Middle Adriatic. Acta Adriat., 27: 27-36.

Krstulović, N. 1989. Raspodjela i produkcija bakterioplanktona u obalnom i otvorenom dijelu srednjeg Jadrana. Doktorska disertacija. Sveučilište u Beogradu. 112 pp.

Krstulović, N. 1992. Bacterial biomass and production rates in the central Adriatic. Acta Adriat.,33: 49-65.

Krstulović, N., T. Pucher-Petković & M. Šolić. 1995. The relation between bacterioplankton and phytoplankton production in the mid Adriatic Sea. Aquat.Microb. Ecol., 9: 41-45.

Krstulović, N., M. Šolić & I. Marasović. 1997. Relationship between bacteria, phytoplankton and heterotrophic nanoflagellates along the trophic gradient Helgol. Mar. Res., 51: 433-443.

Kuosa, H. & K. Kivi. 1989. Bacteria and heterotrophic flagellates in the pelagic carbon cycle in the northern Baltic Sea. Mar. Ecol. Prog. Ser., 53:93-100.

Krstulović, N. & M. Šolić. 2006. Mikrobiologija mora. Institut za oceanografiju i ribarstvo, Split., 317pp.

Kuosa, H. 1991. Picoplanktonic algae in the northern Baltic Sea: seasonal dynamics and flagellate grazing. Mar. Ecol. Prog. Ser. 73: 269-276.

La Roche, J., V G.W.M. an der Staay, F. Partensky, A. Ducret, R.Li.R. Aebersold, S.S. Golden, R.G. Hiller, P.M. Wrench, A.W.D. Larkum. & B.R. Greem. 1996. Independent evolution of the prochlorophyte and green plant chlorophyll a/b light-harvesting proteins. P. Natl. Acad. Sci. USA.,93: 15244-15248.

Landry, M.R. & R.P. Hassett. 1982. Estimating the grazing impact of marine micro-zooplankton. Mar. Biol., 67: 238-288.

Landry, M.R., J. Kirshtein & J. Constantinous. 1996. Abundances and distributions of picoplanktonic populations in the central equatorial Pacific from 12°N to 12°S, 140°W. Deep – Sea Res., 43: 871-890.

Larsson, L. & Å. Hagström. 1982. Fractionated phytoplankton primary production, exudate release and bacterial production in a Baltic eutrophication gradient. Mar. Biol., 67: 57-70.

Lebaron, P., N. Parthuisot & P. Catala. 1998. Comparison of blue nucleic acid dyes for flow cytometric enumeration of bacteria in aquatic systems. App. Environ. Microbiol., 64: 1725-1730.

Lebaron, P., P. Servais, H. Agogué, C. Courties & F. Joux. 2001. Does the high nucleic acid content of individual bacterial cells allow us to discriminate between active cells and inactive cells in aquatic systems. App. Environ. Microbiol., 67: 1775-1782.

Lebaron, P, P. Servais, A.C. Baudoux, M. Bourrain, C. Courties & N. Parthuisot. 2002. Variations of bacterial–specific activity with cell size and nucleic acid content assessed by flow cytometry. App. Environ. Microbiol., 28: 131–140.

Li, W.K.W., D.V. Subba Rao, W.G. Harrison, J.C. Smith, J.J. Cullen, B. Irwin & T. Platt. 1983. Autotrophic picoplankton in the tropical ocean. Science, 219: 292-295.

Li, W.K.W., J.F. Jellett & P.M. Dickie. 1995. DNA distribution in planktonic bacteria stained with TOTO or TO-PRO. Limnol. Oceanog., 40: 1485-1495.

Li, W.K.W. 2009. From cytometry to macroecology: A quarter century quest in microbial oceanography. Aquatic Microbial Ecology 57:239-251.

Lindell, D. & Post, A.F. 1995. Ultraphytoplankton succession is triggered by deep winter mixing in the Gulf of Aqaba (Eilat), Red Sea. Limnol.Oceanogr., 40: 1130–1141.

Liu, H., L. Campbell & M.R. Landry. 1995 Growth and mortality rates of *Prochlorococcus* and *Synechococcus* measured with a selective inhibitor technique. Mar.Ecol.Prog.Ser., 116: 277-287.

Liu, H., A.H. Nolla & L.Campbell. 1997. Prochlorococcus growth rate and contribution to primary production in the equatorial and subtropical North Pacific Ocean. Aquat. Microb. Ecol., 12: 39-47.

Longnecker, K., B.F. Sherr & E.B. Sherr. 2005. Activity and phylogenetic diversity of bacterial cells with high and low nucleic acid content and electron transport system activity in an upwelling ecosystem. Appl. Environ. Microbiol., 71: 7737–7749.

Longnecker, K., B.F. Sherr & E.B. Sherr. 2006. Variation in cell-specific rates of leucine and thymidine incorporation by marine bacteria with high and with low nucleic acid content off the Oregon coast. Aquat. Microb. Ecol., 43: 113–125.

Magaš, D. 2002. Natural-Geographic characteristic of the Bokakotorska area as the basis of development. Geoadria 7: 51-81.

Magazzù, G. & F. Decembri. 1995. Primary production, biomass and abundance of phototrophic picoplankton in the Mediterranean Sea: a review. Aquat. Microb. Ecol., 9: 97-104.

Mandić, S., D. Regner, S. Regner, A. Joksimović, Z. Kljajić & M. Gojković. 2001. Elaborat: Istraživanje, korišćenje, i zaštita litoralnog područja Južnog Jadrana. Institut za biologiju mora, Kotor. Projekat OSI-267. Završni Izvještaj: 1-94.

Mangoni, O., F. Margiotta, M. Saggiomo, I. Santarpia, G. Budillon & V. Saggiomo. 2010. Trophic characterization of the pelagic ecosystem in Vlora Bay (Albania). J. Coastal Res., 58: 67-79.

Marie, D., F. Partensky, S. Jacquet & D. Vaulot. 1997. Enumeration and cell cycle analysis of natural populations of marine picoplankton by flow cytometry using the nucleic acid stain SYBR Green I. App. Environ. Microbiol., 63: 186-193.

Marini. M., F. Grilli, A. Guarnieri, B.H. Jones, Z. Kljajić, N. Pinardi & M. Sanxhaku. 2010. Is the southeastern Adriatic Sea coastal strip an eutrophic area? Estuar. Coast. Shelf Sci., 88: 395-406.

Mary, I., J.L. Heywood, B.M. Fuchs, R. Amann, P.H. Burkill, G.A. Tarran & M.V. Zubkov. 2006. SAR11 dominance among metabolically active low nucleic acid bacterioplankton in surface waters along an Atlantic meridional transect. Aquat. Microb. Ecol., 45: 107–113.

McManus, G.B. & J.A. Fuhrman. 1988. Control of marine bacterioplankton populations: Measurement and significance of grazing. Hydrobiologia. 159: 51-62.

Moore, L.R., A.F. Post, G. Rocap & S.W. Chisholm. 2002. Utilization of Different Nitrogen Sources by the Marine Cyanobacteria *Prochlorococcus* and *Synechococcus*. Limnol. Oceanogr., 47: 989-996. 161

Morán, X. A. G., I. Taupier-Letage, E. Vázquez-Domínguez, S. Ruiz, L. Arin, P. Raimbault & M. Estrada. 2001. Physical-biological coupling in the Algerian Basin (SW Mediterranean): influence of mesoscale instabilities on the biomass and production of phytoplankton and bacterioplankton, Deep-Sea Res. Part I, 48, 405– 437, 2001.

Morán, X.A.G., A. Bode, L.Á. Suárez & E. Nogueira. 2007. Assessing the relevance of nucleic acid content as an indicator of marine bacterial activity. Aquat. Microb. Ecol., 46: 141-152.

Morán, X.A.G., A. Calvo-Díaz. & H.W. Ducklow. 2010. Total and phytoplankton mediated bottom-up control of bacterioplankton change with temperature in NE Atlantic shelf waters. Aquat. Microb. Ecol., 58: 229 – 239.

Moscatello, S., C. Caroppo, E. Hajderi & G. Belmonte. 2010. Space distribution of phyto- and microzooplankton in the Vlora Bay (Southers Albania, Mediterranean Sea). J. Coastal Res., 58: 80-94.

Ninčević G. Ž. & I. Marasović. 1998. Chlorophyll *a* and primary production of size fractionated phytoplankton in the middle adriatic sea. Rapp. Comm. Int. mer Médit., 35: 475 pp.

Nishimura, Y., C. Kim & T. Nagata. 2005. Vertical and seasonal variations of bacterioplankton subgroups with different nucleic acid contents: possible regulation by phosphorus. App. Environ. Microbiol., 71: 5828-5836.

Noble, R.T. & J.A. Fuhrman. 2000. Rapid virus production and removal as measured with fluorescently labeled viruses as tracers. App. Environ. Microbiol., 66: 3790-3799.

Nygaard, K. & A. Tobiesen. 1993. Bacterivory in algae: a survival strategy during nutrient limitation. Lirnnol. Oceanogr., 38: 273-279.

Olson R.J., S.W. Chlsholm, E.Z. Zettler, M.A. Altabet & J.A Dusenberry. 1990. Spatial and temporal distributions of prochlorophyte picoplankton in the North Atlantic. Ocean Deep Sea Res., 37: 1033–1051.

Ordulj, M., N. Krstulović & D. Šantić. 2009. Abundance and production of viruses and their relationship with bacteria in the Middle Adriatic. Abstract Book. Valentina Turk & Samo Turk (editor). Piran, Slovenia: Nationale Institute of Biology, Marine Biology Station. 219 pp.

Pace, M.L. & J.J. Cole. 1994. Comparative and experimental approaches to top-down and bottom-up regulation of bacteria. Microb. Ecol., 28: 181-193.

Pan, L.A., L.H. Zhang, J. Zhang, J.M. Gasol & M.Chao. 2005. On-board flow cytometric observation of picoplankton community structure in the East China Sea during the fall of different years. FEMS Microb. Ecol., 52: 243–253.

Partensky F., J. Blanchot, & D. Vaulot. 1999a. Differential distribution and ecology of *Prochlorococcus* and *Synechococcus* in oceanic waters: a review. Bull. Inst. Oceanogr. Monaco Numero Spec. 19: 431-449.

Partensky, F., W.R. Hess and D.Vaulot. 1999b. *Prochlorococcus,* a marine photosynthetic prokaryote of global significance. Microb. Mol. Biol. Rev., 63: 106–127

Pernthaler, J., B. Sattler, K. Šimek, A. Schwarzenbacher & R. Psenner. 1996. Top-down effects on the size-biomass distribution of a freshwater bacterioplankton community. Aquat. Microb. Ecol., 10: 255-263.

Pestorić, B. 2013. Dinamika zajednica zooplanktona u Bokokotorskom zalivu, Univerzitet u Beogradu, 226 pp.

Pomeroy, L.R. 1974. The ocean's food web: a changing paradigm. Biosci. J., 24: 409-504.

Porter, K.G. & Y.S. Feig 1980. The use of DAPI for identifying and counting aquatic microflora. Limnol. Oceanogr., 25: 943-948.

Poulain, P.M. & F. Raicich. 2001. Forcings. In: Cushman-Roisin, B., M. Gačić, P.M Poulain & A. Artegiani. (Eds.) Physical Oceanography of the Adriatic Sea. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, 45-66 pp.

Proctor, L.M. & J.A. Fuhrman. 1990. Viral mortality of marine bacteria and cyanobacteria. Nature 343: 60-62.

Radić T., T. Šilović, D. Šantić, D. Fuks & M. Mičić. 2009. Preliminary flow cytometric analyses of phototrophic pico- and nanoplankton communities in the northern Adriatic. Fresenius Environ. Bull., 18: 715-724.

Reckermann,M. & M.J.W. Veldhuis. 1997. Trophic interactions between picophytoplankton and micro- and nanozooplankton in the western Arabian Sea during the NE monsoon 1993. Aquat.Microb.Ecol., 12: 263 – 273.

Regner, D., N. Vuksanović, M. Dutina, B. Stjepcević, K. Šestović. 1998. Kvalitet mora i stepen zagađenja priobalnog južnog Jadrana. Jugoslovenska Konferencija o Aktuelnim Problemima Zastite Voda "Zastita voda '98" 27-46.

Riemann, B., H. Havskum, F. Thingstad & C. Bernard. 1995. The role of rnixotrophy in pelagic environments. In Joint I (ed) NATO AS1 Series, Molecular ecology of aquatic microbes, Springer-Verlag, Berlin., 38: 87-114.

Ristić, O. & T. Pucher-Petković, 1969. Prilog poznavanju bakterioplanktonske i fitoplanktonske produkcije u srednjem Jadranu (Stončica). I Kongres mikrobiologa Jugoslavije. Beograd: 669-675.

Ristić, O. & S. Letić. 1972. Rasprostranjenost saprofitskih bakterija u srednjem Jadranu. II kongres mikrobiologa Jugoslavije, Opatija 775-785.

Ristić, O. & S. Šobot. 1972. Izučavanje volumena bakterijskih stanica na području srednjeg Jadrana. Acta Adriat., 14: 3-10.

Rocap, G., F.W. Larimer , J. Lamerdin, S. Malfatti, P. Chain , N.A. Ahlgren, A. Arellano, M. Coleman, L. Hauser , W.R. Hess , Z.I. Johnson, M. Land , D. Lindell, A.F. Post, W. Regala, M. Shah , S.L. Shaw , C. Steglich, M.B. Sullivan, C.S. Ting, A. Tolonen, E.A. Webb, E.R. Zinser & S.W. Chisholm. 2003. Genome divergence in two *Prochlorococcus* ecotypes reflects oceanic niche differentiation. Nature., 424: 1042-1047.

Saracino, O.D. & F. Rubino. 2006. Phytoplankton composition and distribution along the Albanian coast, South Adriatic Sea. Nova Hedwigia, 83: 253-266.

Scharek, R. & M. Latasa. 2007. Growth, grazing and carbon flux of high and low nucleic acid bacteria differ in surface and deep chlorophyll maximum layers in the NW Mediterranean Sea. Aquat.Microb.Ecol., 46: 153 – 161.

Schlitzer, R. 2004. Export production in the equatorial and North Pacific derived from dissolved oxygen, nutrient and carbon data. J.Oceanography, 60: 53-62.

Schopf, J.W. 2000. The fossil record: tracing the roots of the cyanobacterial lineage, p. 13-35. *In* B.A. Whitton and M. Potts (ed.), The ecology of cyanobacteria. Kluwer Academic publishers, Dordrecht, The Netherlands.

Servais, P., E.O. Casamayor, C. Courties, P. Catalla, N. Parthuisot & P. Lebaron. 2003. Activity and diversity of bacterial cells with high and low nucleic acid content. Aquat. Microb. Ecol., 33: 41–51.

Shimada**,** A., S. Kanai & T. Maruyama. 1995. Partial sequence of ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase and the phylogeny of *Prochloron* and *Prochlorococcus* (Prochlorales).J. Mol. Evol., 40: 671-677. 165

Sherr, E.B. & B.F. Sherr. 1992. Trophic roles of pelagic protist: phagotrophic flagellates as herbivores. Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn Limnol., 37: 165-172.

Sherr, B.F, E.B. Sherr & J. McDaniel. 1992. Effect of protistan grazing on the frequency of dividing cells in bacterioplankton assemblages. Appl. Envir. Microbiol., 58: 2381-2385.

Sheldon, R.W., A. Prakash & W.H. Sutcliffe. 1972. The size distribution of particles in ocean. Limnol. Oceanogr., 17: 327-340

Shiah, F.K. & H.W. Ducklow 1994. Temperature regulation of heterotrophic bacterioplankton abundance, production, and specific growth rate in Chesapeake Bay. Limnol. Oceanogr., 39:1243– 1258

Sieracki, M.E. & C.L. Viles. 1992. Distributions and fluorochromestaining properties of sub-micrometer particles and bacteria in the North Atlantic. Dep.Sea.Res. Part A, 39: 1919-1929.

Simon. N, N. Lebot, D. Marie, F. Partensky & D. Vaulot. 1995. Fluorescent in situ hybridization with rRNA-targeted oligonucleotide probes to identify small phytoplankton by flow cytometry. Appl. Environ. Microbiol., 61: 2506–2513.

Socal, G., A. Boldrin, F. Bianchi, G. Civitarese, A. De Lazzari, S. Rabitti, C. Totti & M.M. Turchetto. 1999. Seasonal variability of nitrient, particulate matter and phytoplankton in the photic layer of the Otranto Strait (Eastern Mediterranean). J. Marine Syst., 20: 381-398.

Sommuruga, R., J.S. Hofer, L. Alonso-Sáez & J. M. Gasol. 2005. Differential sunlight sensitivity of picophytoplankton from surface Mediterranean coastal waters. Appl. Environ. Microbiol., 71:2157-2157.

Stockner J.G. & N.J. Antia. 1986. Algal picoplankton from marine and freshwater: a multidisciplinary perspective. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 43: 2472–2503.

Stockner, J.G. 1988. Phototrophic picoplankton: an overview from marine and freshwater ecosystems. Limnol. Oceanogr., 33: 765-775.

Strickland, J.D.H. & T.R. Parsons. 1972. A practical handbook of seawater analysis. Bull. Fisheries Res. Board Canada 167: 1–310.

Šantić, D., 2010. Raspodjela i aktivnost prokariotskih mikroorganizama u području srednjeg i južnog Jadrana. Doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, 148 pp.

Šantić, D., N. Krstulović, M. Šolić & G. Kušpilić. 2011. Distribution of *Synechococcus* and *Prochlorococcus* in the central Adriatic sea. Acta Adrat.,52: 101-114.

Šantić, D. & N. Krstulović, 2012. Indetification and characterisation of microbial populations using flow cytometry in the Adriatic Sea. Flow Cytometry – Recent Perspectives, M. Sc. Ingrid Schimid (Ed.) 31-42.

Šantić, D., N. Krstulović, M. Šolić & G. Kušpilić. 2012. HNA and LNA bacteria in relation to the activity of heterotrophic bacteria. Acta Adrat., 53: 25 – 40.

Šantić D., N. Krstulović, M. Šolić, M. Ordulj & G. Kušpilić. 2013. Dynamics of procaryotic picoplankton community in the central and southern Adriatic Sea (Croatia). Helgol. Mar. Res., 67: 471-481.

Šestanović, S., M. Šolić, N. Krstulović & Ž. Ninčević. 2004. Seasonal and vertical distribution of planktonic bacteria and heterotrophic nanoflagellates in the middle Adriatic Sea. Helgol. Mar. Res., 58: 83-92.

Šestanović, S., J. Peković, S. Matijević & Ž. Ninčević Gladan. 2014. Effects of fish farming on microbial planktonic communities in the middle Adriatic Sea. Aquaq.Res., 47: 1040-1054.

Šilović T., Z. Ljubešić, H. Mihailović, G. Olujić, S. Terzić, Ž. Jakšić & D. Viličić. 2011. Picoplankton composition related to thermohaline circulation: The Albanian boundary zone (southern Adriatic) in late spring. Estuarine, Caost. Shelf Sci., 91: 519-515.

Šimek, K. & T.H. Chrzanowski.1992. Direct and indirect evidence of the size selective grazing on pelagic bacteria by freshwater nanoflagellates. Appl. Environ. Microbiol., 58: 3715-3720.

Šobot, S. 1972. Odnos morskih bakterija prema nekim mineralnim solima. II kongres mikrobiologa Jugoslavije, Opatija 787-791.

Šolić, M. 1993. Uloga bakterija i heterotrofnih nanoflagelata u pelagičkom ciklusu ugljika u kaštelanskom zaljevu. Doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, 162 pp.

Šolić, M. & N. Krstulović. 1994. The role of predation in controlling bacterial and heterotrophic nanoflagelate standing stocks in the coastal Adriatic Sea: sesonal patterns. Mar. Ecol. Prog. Ser., 114: 219-235.

Šolić, M., N. Krstulović & S. Šestanović. 2001. The roles of predation, substrate suply and temperature in controlling bacterial abundance : interaction between spatial and seasonal scale. Acta Adriat., 42: 35-48

Šolić, M., N. Krstulović, I. Vilibić, G. Kušpilić, S. Šestanović, D. Šantić & M. Ordulj. 2008. The role of water mass dynamics in controlling bacterial abundance and production in the middle Adriatic Sea. Mar. Environ. Res., 65: 388-404.

Šolić, M., N. Krstulović, I. Vilibić, N. Bojanić, G. Kušpilić, S. Šestanović, D. Šantić & M. Ordulj. 2009. Variability in the bottom-up and top-down control of bacteria on trophic and temporal scale in the middle Adriatic Sea. Aquatic Microbial Ecology 58: 15-29.

Šolić, M., N. Krstulović, G. Kušpilić, Ž. Ninčević Gladan, N. Bojanić, S. Šestanović, D. Šantić & M. Ordulj. 2010.Changes in microbial food web structure in response to changed environmental trophic status: A case study of the Vranjic Basin (Adriatic Sea). Marine Environmental Research 70: 239-249.

Šolić, M., N. Krstulović, D. Šantić, S. Šestanović, M. Ordulj, N. Bojanić & G. Kušpilić. 2015. Structure of microbial communities in phosphorus-limited estuaries along the eastern Adriatic coast. J. Mar. Biol. Assoc. UK., 95: 1565-1578.

Taylor, G.T., R. Itturiaga & C.W. Sulivan. 1985. Interactions of bactivorous grazers and heterotrophic bacteria with dissolved organic matter. Mar.Ecol.Prog. Ser., 22: 129-141.

Thingstad, T.F., H. Havskum, K. Garde & B. Riemann. 1996. On the strategy of „eating your competitor". A mathematical analysis of mixotrophy. Ecology 77: 39-49.

Ting, C.S., G. Rocap, J. King & S.W. Chisholm. 2002. Cyanobacterial photosynthesis in the oceans: the origins and significance of divergent light-harvesting strategies. Trends in Microbiology 10:134-142.

Tranvik, L.J., E.B. Sherr & B.F. Sherr. 1993. Uptake and utilization of "colloidal DOM " by heterotrophic flagellates in seawater. Mar.Ecol.Prog. Ser., 92: 301-309.

Vaulot D., F. Partensky, J. Neveux., R.F.C. Mantoura & C. Llewellyn. 1990. Winter presence of prochlorophytes in surface waters of the northwestern Mediteranean Sea. Limnol. Oceanogr., 35: 1156-1164.

Veldhuis, M.J.W. & G.W. Kraay. 1990. Vertical distribution and pigment composition of a picoplanktonic prochlorophyte in the subtropical North-Atlantic: a combined study of HPLC-analysis of pigments and flow cytometry. Mar. Ecol. Prog. Ser., 68:121–127.

Vilibić, I. & M. Orlić. 2001 Least-squares tracer analysis of water masses in the South Adriatic (1967-1990).Deep-Sea Res. Part I, 48: 2297-2300.

Vilibić, I. & M. Orlić. 2002. Adriatic water masses, their rates of formation and transport through the Ontario Strait. Deep-Sea Res. Part I, 49: 1321-1340.

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., N. Leder, Z. Gržetić & N. Jasprica. 1995. Microphytoplankton in the Strait of Otranto (eastern Mediterranean). Mar. Biol., 123: 619-630.

Vilibić, I. & M. Orlić. 2001 Least-squares tracer analysis of water masses in the South Adriatic (1967-1990).Deep-Sea Res. Part I, 48: 2297-2300.

Vilibić, I. & M. Orlić. 2002. Adriatic water masses, their rates of formation and transport through the Ontario Strait. Deep-Sea Res. Part I, 49: 1321-1340.

Wangm, Y., F. Hammes, N. Boon, M. Chami, & T. Egli. 2009. Isolation and characterization of low nucleic acid (LNA)- content bacteria. International Society for Microbial Ecology 3:889-902.

Waterbury, J.B., S.W. Watson, R.R., Guillard & L.E Brand. 1979. Widespread occurrence of a unicellular, marine planktonic, cyanobacterium. Nature 277: 293-294.

Wehr, J. D. 1993**.** Effects of experimental manipulations of light and phosphorus supply on competition among picoplankton and nanoplankton in an oligotrophic lake. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 50: 936–945.

Whitman, W.B., D.C. Coleman & W.J. Wiebe. 1998. Prokaryotes: the unseen majority. P. Natl. Acad. Sci. USA., 95: 6578-6583.

Wikner, J. & Å. Hagström. 1988. Evidence for a tightly coupled nanoplanktonic predator-prey link regulating the bacterivores in the marine environment. Mar. Ecol. Prog. Ser., 50: 137-145.

Worden, A.Z., J.K. Nolan & B. Palenik. 2004. Assessing the dynamics and ecology of marine picophytoplankton: the importance of the eukaryotic component. Limnol. Oceanogr., 49: 168–179.

Wood, A.M. 1985 Adaptation of photosynthetic apparatus of marine ultraphytoplankton to natural light fields. Nature, 316: 253-255.

Zhang, Y., N.Z. Jiao & N. Hong. 2008. Comparative Study of Picoplankton Biomass and Community Structure in Different Provinces From Subarctic to Subtropical Oceans. Deep-Sea Res. Part II, 55: 1605- 1614.

Zore-Armanda, M. 1956. On gradient currents in the Adriatic Sea. Acta Adriat., 8: 1-38.

Zore-Armanda, M. 1963. Les masses d'eau de la mer Adriatique. Acta Adriat., 10: 1-93.

Zore–Armanda, M. 1964. Tipovi vode u Jadranu. Acta Adriat., 10: 1-13.

Zubkov, M.V. & M.A. Sleigh. 1995. Bacterivory by starved marine heterotrophic nanoflagellates of two species which feed differently, estimated by uptake of dual radioactive labelled bacteria. FEMS Microbiol. Ecol., 17: 57-65.

Zubkov, M.V., M.A. Sleigh, P.H. Burkill & R.J.G. Leakey. 2000. Picoplankton community structure on the Atlantic Meridional Transect: A comparison between seasons. Prog. Oceanogr., 45: 369-386.

Zubkov, M.V., B.M. Fuchs, P.H. Burkill & R. Amann. 2001. Comparison of cellular and biomass specific activities of dominant bacterioplankton groups in stratified waters of the Celtic Sea. Appl. Environ. Microbiol., 67: 5210–5218.

Zubkov, M.V., J.I. Allen & B.M. Fuchs. 2004. Coexistence of dominantgroups in marine bacterioplankton community-a combination of experimental and modelling approaches. J. Mar. Biol. Association of the UK 84: 519-529.

9. ŽIVOTOPIS

Rođena sam 8.3.1980. godine u Kotoru. Osnovnu i srednju školu završila sam u Herceg Novom. Biološki fakultet Univerziteta u Beogradu, smjer Ekologija i zaštita životne sredine upisala sam šk.god. 1998./1999. i završila s prosiječnom ocjenom 9,1. Od 1. listopada 2007. zaposlena sam u Institutu za biologiju mora u Kotoru kao pripravnica, a nakon pripravničkog staža kao suradnica u istraživanju. Poslijediplomski sveučilišni studij Primijenjene znanosti o moru pri Sveučilištu u Splitu upisala sam 2008. godine pod vodstvom mentorice prof.dr.sc. Nade Krstulović.

Od 2008. godine sudjelovala sam i sudjelujem u nacionalnim i međunarodnim projektima kako slijedi:

- „Biološke karakteristike područja pogodnih za marikulturu u Kotorskom zalivu“ (2008. -2011.). Projekat Ministarstva nauke i obrazovanja Crne Gore.
- „Bioekološki monitoring na gajilištima školjaka u Kotorskom i Tivatskom zalivu“ (2009. - danas), Projekt Ministarsta poljoprivrede, šumarstva i vodoprivrede Crne Gore.
- „Uticaj antropogenih faktora na živi svijet u priobalnom akvatorijumu crnogorskog primorja“ (2012. – 2015.), Projekt Ministatstva nauke Crne Gore.
- ADRICOSM project – „Adricosm Integrated River Basin and Coastal Zone Managment System: Montenegro Coastal Area and Bojana river Catchment“, 2009 – 2013.
- MEDPOL project, 2009- 2011 „The marine pollution assessment and control component of Mediterranean Action Plan“ (UNEP/ MAP), 2008-2013.
- IPA STRATEGIC – “Ballast water managemnet system for Adriatic Sea protection" – BALMAS. 2013-2016.
- IPA STRATEGIC- "Derelict Fishing Gear and Fishing For Litter Management System"- DeFishGear 2013-2016.

Tijekom poslijediplomskog sveučilišnog studija u okviru znanstvenog usavršavanja sudjelovala sam:

- „Regional Ocean Governance for the Mediterranean and Eastern European Countries“ International Ocean Institute Malta, 09.11. – 11.12.2009.
- „Bivalve shellfish safety management“. Facultad de Biologia, Santiago de Compostela, Spain. 27. 9.- 1 10. 2010.

- A.R.P.A.Friuli-V. Giulia's Laboratory of Gorizia, Italija, 13.-17. 12. 2010.

POPIS ZNANSTVENIH RADOVA

Aleksandra Redžić, Nada Krstulović, Mladen Šolić, Danijela Šantić & Marin Ordulj. 2015. Dynamics of prokaryotic community in Boka Kotorska bay (South-eastern Adriatic Sea). Acta Adriatica, 56: 157-170.

Dragana Drakulović, Branka Pestorić, Danijela Joksimović, **Aleksandra Redžić**, Slavica Petović & Slađana Krivokapić. 2014. Dinoflagellate assemblages in the Boka Kotorska Bay. Studia Marina. 27: 65-84.

Drakulović Dragana, Krivokpaić Slađana, Mandić Milica & **Aaleksandra Redžić.** 2013. Phytoplankton community in Boka Kotorska Bay (South-Eastern Adriatic Sea). 40th CIESM Congress 28 October- 1 November, 2013. Marseille, France, 428 p.

Aleksandra Redžić, Dragana Drakulović, Danijela Joksimović, Nenad Vuksanović & Sreten Mandić. 2011. Bioecological quality of coastal waters of Boka Kotorska bay for breeding edible mussels. 40th Annual Conference of the Serbian Water Pollution Control Society »Water 2011« Jun 7-9,2011. Zlatibor., 287-297.

Ivan Milošević, Yuri B. Shmukler, Milorad Gojković, Sanja Vlaisavljević, **Aleksandra Redžić**, Zoran Gačić, Nina Miloševic & Ljubisav Rakić. 2011. Effect of sea water pollution of the Boka Kotorska bay of the embryonic development of spotted sea urchin *Sphaerechinus granularis* 40th Annual Conference of the Serbian Water Pollution Control Society »Water 2011« Jun 7-9,2011. Zlatibor, 297-304.