

# Ocjena ekološkog stanja mora na području Kaštelanskog zaljeva, Dubrovnika, Podstrane i Pelješca prema trofičkom indeksu TRIX

---

Jerončić, Ana

Undergraduate thesis / Završni rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Split, Faculty of Chemistry and Technology / Sveučilište u Splitu, Kemijsko-tehnološki fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:167:210916>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-19**

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of chemistry and technology - University of Split](#)



UNIVERSITY OF SPLIT



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJ

**SVEUČILIŠTE U SPLITU**  
**KEMIJSKO-TEHNOLOŠKI FAKULTET**

**OCJENA EKOLOŠKOG STANJA MORA NA POSTAJAMA**  
**KAŠTELANSKI ZALJEV, DUBROVNIK, PODSTRANA I**  
**PELJEŠAC PREMA TROFIČKOM INDEKSU TRIX**

**ZAVRŠNI RAD**

**ANA JERONČIĆ**  
**MATIČNI BROJ: 279**

**Split, rujan, 2017.**



**SVEUČILIŠTE U SPLITU**  
**KEMIJSKO-TEHNOLOŠKI FAKULTET**  
**PREDDIPLOMSKI STUDIJ KEMIJE**  
**SMJER: KEMIJA**

**OCJENA EKOLOŠKOG STANJA MORA NA POSTAJAMA**  
**KAŠTELANSKI ZALJEV, DUBROVNIK, PODSTRANA I**  
**PELJEŠAC PREMA TROFIČKOM INDEKSU TRIX**

**ZAVRŠNI RAD**

**ANA JERONČIĆ**  
**MATIČNI BROJ: 279**

**Split, rujan, 2017.**

**UNIVERSITY OF SPLIT**  
**FACULTY OF CHEMISTRY AND TECHNOLOGY**  
**UNDERGRADUATE STUDY OF CHEMISTRY**  
**ORIENTATION: CHEMISTRY**

**THE EVALUATION OF ECOLOGICAL STATUS OD KAŠTELA  
BAY, DUBROVNIK, PODSTRANA AND PELJEŠAC SEA  
ACCORDING TO THE TROPICAL TRIX INDEX**

**BACHLEOR THESIS**

**ANA JERONČIĆ**

**PARENT NUMBER: 279**

**Split, september, 2017.**

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

### ZAVRŠNI RAD

**Sveučilište u Splitu**  
**Kemijsko-tehnološki fakultet u Splitu**  
**Prediplomski studij Kemije: Kemija**

**Znanstveno područje:** Prirodne znanosti

**Znanstveno polje:** Kemija

**Tema rada** je prihvaćena na 21. sjednici Fakultetskog vijeća Kemijsko-tehnološkog fakulteta

**Mentor:** doc. dr. sc. Maša Buljac

**Pomoć pri izradi:** mr.sc. Goran Olujić

### **OCJENA EKOLOŠKOG STANJA MORA NA PODRUČJU KAŠTELANSKOG ZALJEVA, DUBROVNIKA, PODSTRANE I PELJEŠCA PREMA TROFIČKOM INDEKSU TRIX**

Ana Jerončić, 279

#### **Sažetak:**

Utjecaj eutrofikacije i procjena stanja u prijelaznim i priobalnim vodama je danas jedan od najvažnijih koraka u upravljanju okolišem. Eutrofikacija je promjena u ekosustavu uzrokovana prekomjernom brzinom stvaranja organske tvari, odnosno njenim vanjskim donosom. Posljedice eutrofikacije su nepoželjne ako se značajno naruši stanje ekosustava i/ili njegovo održivo iskorištavanje. Navedene promjene mogu biti uvjetovane prirodnim procesima, ali i ljudskim djelovanjem.

U ovom se radu analizira kvaliteta priobalnog mora u Dubrovniku, Kaštelanskom zaljevu, Podstrani i Pelješcu prema trofičkom indexu TRIX. Trofički indeks TRIX definiran je kao linearna matematička kombinacija logaritma četiri varijable: klorofil a, stupanj zasićenosti kisika, anorganskog dušika te ukupno otopljenog fosfora.

**Ključne riječi:** Eutrofikacija, ekološko stanje, trofički indeksi, indeks TRIX

**Rad sadrži:** 52 stranica, 37 slika, 7 tablica, 24 literaturnih referenci

**Jezik izvornika :** Hrvatski

#### **Sastav povjerenstva za obranu:**

- |                                     |             |
|-------------------------------------|-------------|
| 1. Izv. prof. dr. sc. Marija Bralić | Predsjednik |
| 2. Doc. dr. sc. Marijo Buzuk        | Član        |
| 3. Doc. dr. sc. Maša Buljac         | Mentor      |

**Datum obrane:** 28.09.2017.

**Rad je tiskanom i elektroničkom obliku (pdf format) pohranjen u Knjižnici Kemijsko-tehnološkog Fakulteta split, Ruđera Boškovića 33**

## BASIC DOCUMENTATION CARD

### BACHELOR THESIS

**University of Split**  
**Faculty of Chemistry and Technology Split**  
**Undergraduate Study of Chemistry: Chemistry**

**Scientific area:** Natural Science

**Scientific field:** Chemistry

**Thesis subject** was approved by Faculty Council of faculty of Chemistry and technology,  
session no.XXI.

**Mentor:** doc. dr. sc. Maša Buljac

**Technical assistance:** mr.sc. Goran Olujić

### **THE EVALUATION OF ECOLOGICAL STATUS OF KAŠTELA BAY, DUBROVNIK, PODSTRANA AND PELJEŠACSEA ACCORDING TO THE TROPHIC TRIX INDEX**

Ana Jerončić, 279

#### **Summary:**

The impact of eutrophication and assessment of conditions in transitional and coast waters is today one of the most important steps in environmental management. Eutrophication is a change in the ecosystem caused by excessive speed creation of organic substances and its external return. The impacts of eutrophication are undesirable because they can disturb the state in the ecosystem and/or its sustainable use. Listed changes can be caused by natural processes and also by human impact.

This paper analyzes the quality of the coastal sea in Dubrovnik, Kaštela Bay, Podstrana and Pelješac according to the TRIX trophy index. Trophic index TRIX is defined as a linear mathematical combination of four logarithmical variables: chlorophyll a, the degree of oxygen saturation, inorganic nitrogen and the total dissolved phosphorus.

**Keywords:** Eutrophication, ecological state, trophic indices, index TRIX

**Thesis contains:** 52 pages, 37 figures, 7 tables, 24 literature references

**Original in:** Croatian

#### **Defence committee:**

- |                                       |              |
|---------------------------------------|--------------|
| 1. Marija Bralić PhD, associate prof. | Chair person |
| 2. Marijo Buzuk PhD assistant prof.   | Member       |
| 3. Maša Buljac PhD, assistant prof.   | Supervisor   |

**Defence date:** September 28 2017.

**Printed and electronic (pdf format) version of thesis is deposited in** Library of Faculty of  
Chemistry and Technology Split, Ruđera Boškovića 33

*Završni rad je izrađen u Hrvatskom hidrografskom institutu i Zavodu za Kemiju  
okoliša, Kemijsko-tehnološkog fakulteta u Splitu pod mentorstvom doc. dr. sc.  
Maša Buljac i mr.sc. Gorana Olujića.*



*Iskreno se zahvaljujem mentorici doc. dr. sc. Maši Buljac na ukazanom povjerenju, korisnim savjetima, te velikoj pomoći pri izradi ovog završnog rada.*

*Zahvaljujem se i mr.sc. Goranu Olujiću s Hrvatskog hidrografskog instituta Splitsko-dalmatinske županije na pomoći prilikom provedbe eksperimentalnog dijela završnog rada.*

*Također se zahvaljujem svojoj obitelji i prijateljima na podršci i razumijevanju tokom studiranja.*

## **ZADATAK ZAVRŠNOG RADA**

*Zadatak završnog rada je ocjenjivanje ekološkog stanja mora na području Dubrovnika, Kaštelanskog zaljeva, Podstrane i Pelješca prema trofičkom indexu TRIX.*

*Da bi se odredio trofički indeks TRIX potrebno je odrediti:*

- koncentraciju klorofila a*
- stupanj zasićenosti kisikom*
- koncentraciju ukupnog otopljenog dušika*
- koncentraciju ukupnog fosfora*

## **SAŽETAK:**

Utjecaj eutrofikacije i procjena stanja u prijelaznim i priobalnim vodama je danas jedan od najvažnijih koraka u upravljanju okolišem. Eutrofikacija je promjena u ekosustavu uzrokovana prekomjernom brzinom stvaranja organske tvari, odnosno njenim vanjskim donosom. Posljedice eutrofikacije su nepoželjne ako se značajno naruši stanje ekosustava i/ili njegovo održivo iskorištavanje. Navedene promjene mogu biti uvjetovane prirodnim procesima, ali i ljudskim djelovanjem.

U ovom se radu analizira kvaliteta priobalnog mora u Dubrovniku, Kaštelanskom zaljevu, Podstrani i Pelješcu prema trofičkom indexu TRIX. Trofički indeks TRIX definiran je kao linearna matematička kombinacija logaritma četiri varijable: klorofil a, stupanj zasićenosti kisika, anorganskog dušika te ukupno otopljenog fosfora.

**Ključne riječi:** Eutrofikacija, ekološko stanje, trofički indeksi, indeks TRIX

**SUMMARY:**

The impact of eutrophication and assessment of conditions in transitional and coast waters is today one of the most important steps in environmental management. Eutrophication is a change in the ecosystem caused by excessive speed creation of organic substances and its external return. The impacts of eutrophication are undesirable because they can disturb the state in the ecosystem and/or its sustainable use. Listed changes can be caused by natural processes and also by human impact.

This paper analyzes the quality of the coastal sea in Dubrovnik, Kaštela Bay, Podstrana and Pelješac according to the TRIX trophic index. Trophic index TRIX is defined as a linear mathematical combination of four logarithmical variables: chlorophyll a, the degree of oxygen saturation, anorganic nitrogen and the total dissolved phosphorus.

**Keywords:** Eutrophication, ecological state, trophic indices, index TRIX

# SADRŽAJ

|                                                                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| UVOD.....                                                                                                                                       | 1  |
| 1. OPĆI DIO.....                                                                                                                                | 2  |
| 1.1. MORE I MORSKI OKOLIŠ .....                                                                                                                 | 4  |
| 1.1.1. Zagađenje mora .....                                                                                                                     | 5  |
| 1.2. EUTROFIKACIJA .....                                                                                                                        | 8  |
| 1.3. ODREĐIVANJE TROFIČKOG STANJA PRIOBALNIH VODA .....                                                                                         | 11 |
| 1.3.1. Trofički indeks TRIX.....                                                                                                                | 13 |
| 1.4. PREGLED DOSTUPNE LITERATURE .....                                                                                                          | 14 |
| 2. EKSPERIMENTALNI DIO .....                                                                                                                    | 16 |
| 2.1. PODRUČJE I RAZDOBLJE UZORKOVANJA.....                                                                                                      | 17 |
| 2.2. UZORKOVANJE MORSKE VODE .....                                                                                                              | 18 |
| 2.3. METODE ODREĐIVANJA PARAMETARA POTREBNIH ZA<br>ODREĐIVANJE TROFIČKOG INDEKSA TRIX .....                                                     | 18 |
| 2.3.1. Otopljeni kisik .....                                                                                                                    | 18 |
| 2.3.2. Određivanje koncentracija ukupno otopljenog anorganskog dušika i ukupnog<br>fosfora pomoću kontinuirane protočne analize .....           | 19 |
| 2.3.3. Određivanje klasifikacije klorofila <i>a</i> .....                                                                                       | 19 |
| 3. REZULTATI I RASPRAVA .....                                                                                                                   | 22 |
| 3.1. PRIKAZ STANJA OSNOVNIH KEMIJSKIH I BIOLOŠKIH<br>PARAMETARA U PRIOBALNOM MORU DUBROVNIKA, KAŠTELSKOG<br>ZALJEVA, PODSTRANE I PELJEŠCA ..... | 23 |
| 3.1.1. Prikaz stanja stupnja zasićenosti kisikom.....                                                                                           | 23 |
| 3.1.2. Prikaz stanja klorofila <i>a</i> .....                                                                                                   | 26 |
| 3.1.3. Prikaz stanja ukupnog fosfora .....                                                                                                      | 29 |
| 3.1.4. Prikaz stanja ukupnog anorganskog dušika.....                                                                                            | 32 |
| 3.1.5. Prikaz TRIX-a .....                                                                                                                      | 36 |
| 3.2. STATISTIČKA OBRADA DOBIVENIH PARAMETARA .....                                                                                              | 39 |

|                           |           |
|---------------------------|-----------|
| <b>4. ZAKLJUČAK.....</b>  | <b>47</b> |
| <b>5. LITERATURA.....</b> | <b>49</b> |

## UVOD

Tema ovog rada je Ocjena ekološkog stanja mora na području Kaštelanskog zaljeva, Dubrovnika, Podstrane i Pelješca prema trofičkom indeksu TRIX. Praćenje ekološkog stanja mora iznimno je važno jer loše postupanje s morem od strane čovjeka, kao i nekontrolirane druge pojave koje su posljedica života u moru te njihovih kretanja, mogu bitno negativno utjecati na kvalitetu mora. Stoga se ekološka kvaliteta mora treba pratiti kako bi se nastojalo smanjiti ili spriječiti sve štetne učinke.

Rad je podijeljen na teorijski i praktični dio. U teorijskom dijelu govori se o onečišćenju, odnosno zagađenju mora te načinima na koji štetni čimbenici djeluju na žive organizme u moru te na kvalitetu samog mora. Također, govori se i o trofičkom indeksu TRIX kojim se mjeri ekološka kvaliteta mora.

Praktični dio rada usmjeren je na analizu i statistički prikaz ekološke kvalitete mora na području Kaštelanskog zaljeva, Dubrovnika, Podstrane i Pelješca. Analizirani su parametri koji ukazuju na ekološko stanje mora na navedenom području tijekom pojedinih doba godine.

## **1. OPĆI DIO**



Tehnološki napredak i razvoj prometne infrastrukture tijekom prošlog stoljeća sve veći je negativni utjecaj počeo ostavljati na prirodu i okoliš. Negativni učinci kao posljedica antropološkog djelovanja prisutni su u svim područjima prirode i okoliša. To se odnosi i na mora koja su izložena posljedicama čovjekovog djelovanja u priobalju, ali i na pučini.

Čovjek svojim izravnim ili neizravnim djelovanjem može onečistiti morski okoliš što se može negativno odraziti na biljne i životinjske vrste u moru i na priobalju, na ljudsko zdravlje i na pomorske djelatnosti. Da bi se onečišćenje mora smanjilo ili spriječilo, donesene su zakonske odredbe i različiti statuti na državnoj i međunarodnoj razini kojima su propisane mjere zaštite i očuvanja okoliša.

Na području zaštite i očuvanja okoliša ključnu ulogu imaju međunarodne organizacije. One omogućuju trajno okupljanje i pregovore između država različitog ekonomskog i socijalnog stupnja razvitka. Njihova je uloga stvaranje povoljne klime za postizanje kompromisa vezanih za učinkovito djelovanje u sklopu zaštite okoliša. Međunarodne organizacije služe za dogovaranje ciljeva i strategija zaštita okoliša te usvajaju pravna pravila i preporuke za ostvarenje proklamiranih ciljeva.<sup>1</sup>

Njihova uloga je važna i u provođenju usvojenih pravnih pravila što uključuje nadzor njihovih organa i permanentnih tijela što ih osnivaju. U sustavu UN-a najvažnije organizacije relevantne za zaštitu i očuvanje morskog okoliša su UNEP i Međunarodna pomorska organizacija (IMO). Opća skupština UN-a osnovala je UNEP (1972.) na temelju preporuka s Konferencije u Stockholmu. Ova je organizacija osnovana kako bi unutar UN-a brinula o zaštiti i očuvanju okoliša. Vijeće UNEP-a ovlašteno je za promicanje međunarodne suradnje na području zaštite i očuvanja okoliša. Nadalje, Vijeće ima pravo donositi opće smjernice za djelovanje UN-a na tom području. UNEP nije samostalna međunarodna organizacija, već je organizacija unutar UN-a. Riječ je o ključnoj ustanovi koja se bavi zaštitom i očuvanjem okoliša na globalnoj razini. Nakon osnivanja UNEP-a, zaštita morskog okoliša postala je prvo područje u kojem je razvijao svoju djelatnost. Pritom je zaštiti morskog okoliša pristupljeno iz regionalne perspektive.

Programom za razvoj i povremenu reviziju prava okoliša (1982.) određena su prioritetna područja djelovanja UNEP-a. Za svako područje djelovanja sastavljeni su ciljevi i strategije djelovanja. Za zaštitu morskog okoliša značajni su:<sup>2</sup>

- Smjernice iz Montreala o zaštiti morskog okoliša od onečišćenja s kopnenih izvora (1985.).
- Smjernice iz 1982. o zaštiti okoliša pri podmorskom rudarstvu i bušenju unutar granica nacionalne jurisdikcije.

### **1.1. MORE I MORSKI OKOLIŠ**

Mora su vodene mase na površini Zemlje te imaju u prosjeku jednaka fizičko-kemijska svojstva koja su međusobno povezana. U užem smislu pojam more označava vodene mase koje se nalaze među bliskim kontinentima te između otoka i kontinenta, zatim, velike zaljeve i velika jezera koja su zasebne vodene površine. U pomorstvu, pojam more označava i stanje morske površine, a u pomorskom pravu postoje termini kao što su: obalno more, otvoreno more, zatvoreno more i dr.

Od sveukupne površine Zemlje morska površina čini 80,8%. Svjetsko more je jedinstvena vodena cjelina koja okružuje sve kontinente, a kontinentima i otocima podijeljeno je na oceane. Zbog veće ili manje odvojenosti mora od oceana, vode mora nemaju istu dinamiku, temperaturu, slanost, boju, prozirnost i živi svijet kao vode oceana.<sup>3</sup>

Zakon o zaštiti okoliša, ekosustav mora definira kao područja oceanskog prostora koja uključuju obalna područja od riječnih ušća (estuarija) i granica morskih struja uz obalu pa sve do granica epikontinentalnog pojasa prema moru. Navedeno područje obilježava osebujna produktivnost i trofičke, batimetrijske i hidrografske karakteristike područja.

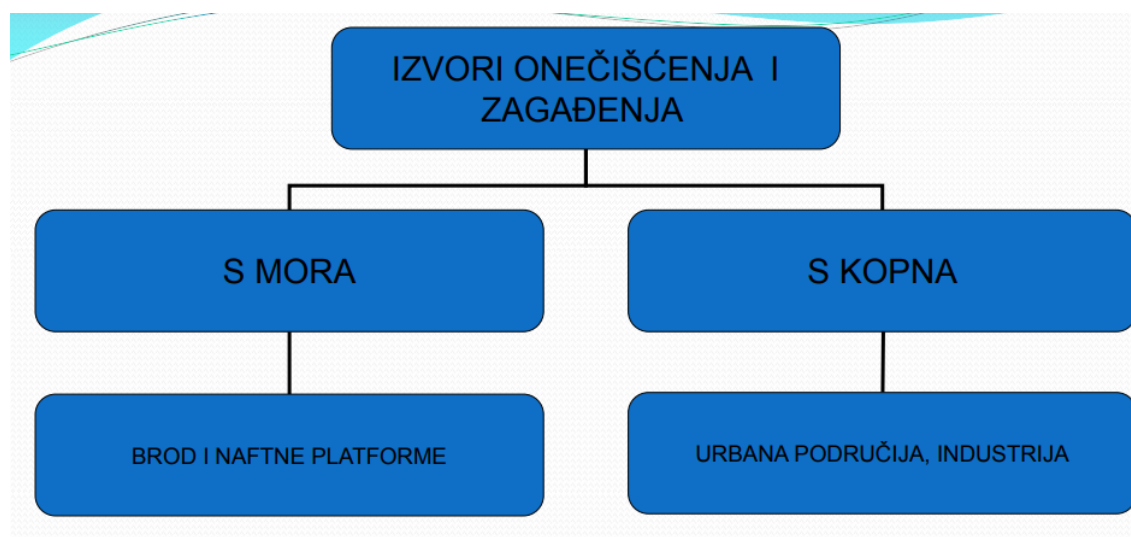
Nadalje, morski okoliš je životni prostor organizama i njihovih zajednica koji je određen karakterističnim fizičkim, kemijskim i biološkim značajkama. Taj se prostor sastoji od: područja otvorenog mora, riječnih ušća te morskog

obalnog područja uključujući unutarnje morske vode, teritorijalno more, dno i podmorje tih morskih prostora.<sup>4</sup>

#### 1.1.1. Zagađenje mora

Izvori onečišćenja i zagađenja mora mogu biti s mora ili s kopna (Slika 1). Također, globalni izvori onečišćenja i zagađenja mogu se podijeliti na: klimatsko zagrijavanje i promjene zemljine klime. Glavne opasnosti koje su posljedica antropogenog djelovanja:<sup>5</sup>

- iznenadno izlivanje nafte i naftnih prerađevina
- zauljene vode
- kruti otpad
- kemijski štetne tvari u tekućem obliku
- kemijski štetne tvari u krutom obliku
- sanitarne vode
- ispušni i dimni plinovi te ostali štetni plinovi
- balastne vode
- porast temperature mora.



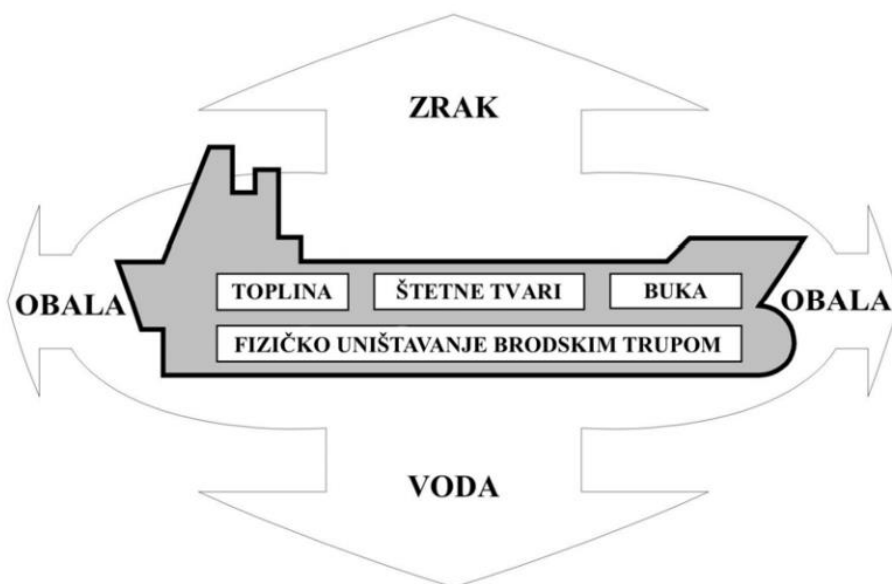
**Slika 1.** Globalni izvori onečišćenja i zagađenja mora

Okoliš, koji se prvenstveno odnosi na vodu i zrak, izložen je vrlo intenzivnom i ekološki štetnom utjecaju s brodova. Buka (vibracije) svojom frekvencijom i intenzitetom štetno djeluje na brojne morske organizme. Biocidna

prevlaka podvodnog dijela trupa kontinuirano ispušta otrov kojim uništava organizme uz brodski trup. Nadalje, velika količina toplinske energije motora ide u vodu preko rashladnog sustava te u zrak preko ispušnih i dimnih plinova te se na taj kontinuirano povećava entropija mora. U more s broda, istovremeno, dospijevaju zauljena kaljužna voda, različiti kruti otpad, crna i siva voda koja dolazi od putnika i posade i dr.

Enormne količine sipkih, tekućih i ostalih tereta prevoze se morem, a broj im svakodnevno raste iako je utvrđeno da ih više od 50% ima izrazito štetan učinak na okoliš. Dio navedenog tereta dospijeva u more lošim rukovanjem, poradi oštećenja trupa i pranja tankera, a dio tereta sklonog isparivanju ventiliranjem tankova završava u zraku. Ispuštanjem balastne vode neki morski organizmi dospijevaju u akvatorije u kojima nemaju prirodnih neprijatelja te u takvim okolnostima šire se geometrijskom progresijom i na taj način ugrožavaju domicilne vrste.<sup>6</sup>

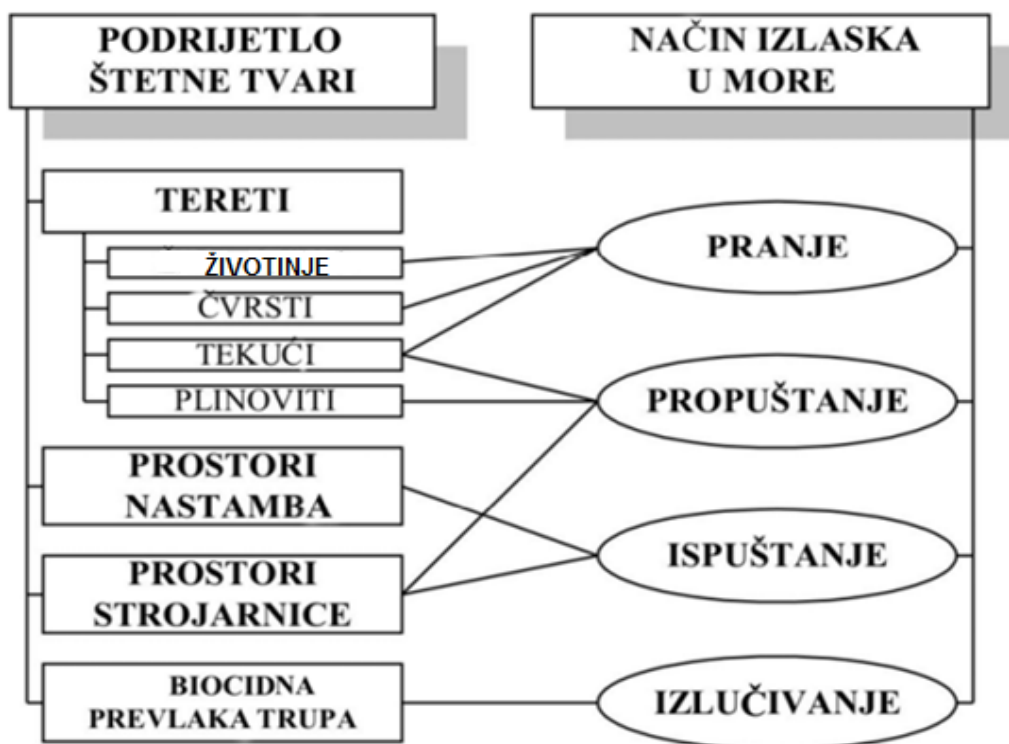
Ekološki najrizičniji učinak uzrokuju štetne tvari (žive i nežive) koje se ispuštaju s broda, zatim, toplina, buka i fizičko uništavanje flore i faune brodskim trupom ili različitom brodskom opremom (Slika 2).



**Slika 2.** Štetno djelovanje broda na okoliš

Štetne tvari koje se s brodova ispuštaju u okoliš dijele se prema podrijetlu i prema agregatnom stanju. Kod sustavne analize treba se za štetne tvari

promatrati paralelno: podrijetlo nastanka i agregatno stanje. Štetne tvari s brodova na različite načine dolaze u more (Slika 3). Ovisno o podrijetlu, pojavljuju se u svim agregatnim stanjima, a najveća količina stiže ih u more pranjem prostora za teret. Propuštanjem sustava za manipulaciju teretom i sustava brodske strojarnice voda i zrak povisuje temperaturu i štetno utječu na organizme koji u tom okolišu žive. U isto vrijeme buka tjera one organizme koji su pokretni, a statične organizme ugrožava ako su joj intenzitet i frekvencija neprihvatljivi.<sup>7</sup>



**Slika 3.** Štetne tvari prema podrijetlu i načinu dospijea u more

Onečišćenje prilikom istraživanja i eksploatacije nafte i plina je neizbježno. „Tehnika voda“ koja nastaje i koja se koristi prilikom istražnih i eksploatacijskih radova (ali i ostala voda i tekućine koje se nalaze na platformama) sadrže veliku količinu toksičnih tvari koje uključuju sirovu naftu i različite aditive koji se u nju dodaju. U tehničkoj vodi mogu se identificirati brojni poliaromatski ugljikovodici, fenoli, kadmij, krom, arsen, živa, olovo, barij, cink i bakar, radioaktivni elementi, dušikovi spojevi i dr. Neki od tih spojeva izazivaju akutno trovanje dok se drugi gomilaju u organizmu te izazivaju pojavu različitih kroničnih bolesti.

Zagađena voda koja se ispušta u okoliš ima direktan negativni utjecaj na sve organizme u svojoj blizini. Poradi dugotrajnosti samih aktivnosti, velika je mogućnost šireg, produljenog i značajnijeg utjecaja kroz gomilanje i koncentracije u okolišu i pojedinim organizmima. Osim što štetno djeluje na organizme u moru, ovaj utjecaj direktno je povezan i s ljudskim zdravljem kroz konzumiranje morskih organizama u kojima je povećana koncentracija toksikanata.<sup>8</sup>

Glavni uzročnici onečišćenja mora s kopna su stanovništvo, industrija, promet, turizam, poljoprivreda te druge gospodarske aktivnosti. Ti se uzročnici mogu podijeliti na urbana, industrijska i ostala onečišćenja. Urbana onečišćenja koja bitno zagađuju more posljedica su nerazvijenog sustava odvodnje, nepropisnog postupanja s komunalnim otpadom (posebno glomaznim otpadom) i opterećenja zraka.

Najveća industrijska onečišćenja vezana su uz proizvodnju i razvoj energetike i kemijske industrije. U Europskoj uniji fosilna goriva pokrivaju biše od 60% ukupne proizvedene energije (ugljen, nafta). Navedeni su energenti i najjači onečišćivači, ali i ostali energenti imaju utjecaj na onečišćenje. To su prirodni plin, hidroenergija i geotermička energija, a nuklearna energija s manje onečišćenja pokriva oko 12% ukupne proizvodnje.<sup>9</sup>

## **1.2. EUTROFIKACIJA**

Eutrofikacija je povećanje primarne proizvodnje organske tvari što je uzrokovano stalnim dotokom hranjivih soli (prvenstveno dušika i fosfora) iz vanjskih izvora u eufotski sloj dijela mora, u odnosu na tipičnu razinu za šire područje. Eufotski sloj je površinski sloj mora u kojem ima dovoljno Sunčeve svjetlosti za fotosintezu. Šira definicija eutrofikacije pod ovim pojmom podrazumijeva promjene u ekosustavu uzrokovane prekomjernom brzinom stvaranja organske tvari, tj. njezinim vanjskim donosom. Do ove pojave može doći prirodnim mehanizmima i djelovanjem čovjeka, primjerice, neodgovarajućim odlaganjem otpadnih voda u more što može dovesti do štetnih posljedica za lokalni ekosustav.<sup>10</sup>

Hranjive soli su anorganski spojevi fosfora (ortofosfat) i dušika (amonijeve soli, nitrit i nitrat) otopljeni u morskoj vodi koji imaju važnu ulogu u procesima primarne proizvodnje organske tvari i ograničavaju brzine ovih procesa. Kod primarne proizvodnje ugrađuju se u partikularnu fazu (plankton i detritus), tj. u bentoske mikro i makro alge te se uključuju u prehrambene lance. Kruženje hranjivih soli u ekosustavu obnavlja se procesima regeneracije iz organske (dušik i fosfor) i anorganske tvari (sumpor). Taloženjem detritusa i izmjenom vodenih masa dolazi do prijenosa hranjivih soli u vodenom stupcu između različitih područja. U obalnom su moru važni i vanjski donosi, prije svega, kopnenim vodama.

Prirodna eutrofikacija poradi povećanja bioloških resursa pozitivna je za ekosustav (uz rijetke negativne pojave). Za razliku od navedenog, antropogena eutrofikacija izazvana nepravilnim ispustom urbanih otpadnih voda može narušiti ekološku ravnotežu s vrlo štetnim posljedicama. U takvim situacijama dolazi do prekomjernog razmnožavanja fitoplanktona što dovodi do proizvodnje organske tvari iznad „kapaciteta razgradnje“ ekosustava. Na razgradnju suviška neiskorištene organske tvari znatno se troši kisik, a to rezultira hipoksijom ili anoksijom pridnenog sloja u uvjetima raslojavanja vodenih stupaca što ima ozbiljne posljedice za bentoske organizme. Nadalje, moguće su i promjene u sastavu biocenoza poradi većeg udjela vrsta manje korisnih za prehrambeni lanac. Može doći i do razmnožavanja vrsta čiji su metabolički proizvodi toksični.<sup>11</sup>

Po stupnju trofičnosti vodenih sustava razlikuju se:

- oligotrofno (južni Jadran)
- mezotrofno
- eutrofno (sjeverni Jadran)
- hipertrofno.

Neke vrste ispuštaju vrlo dugačke niti polisaharida kako bi se na njih uhvatile bakterije koje donose nutrijente potrebne algama. Ako ima pojedinog nutrijenta u suvišku (primjerice, nitrata) bentičke dijatomeje (alge) izlučuju sluz koja ih štiti prilikom razmnožavanja. Takvu sluz mogu izlučivati i plantonske dijatomeje, ali mogu izlučivati i suvišak polisaharida. To se događa kada dođe do nedostatka nutrijenata nakon što se razvila velika masa organizama.<sup>12</sup>

Navedeno izlučivanje sluzi funkcionira dok ima hrane za bakterije, no kad je nema, fitoplanktonski organizmi napuštaju tu strategiju, odbacuju velike količine polisaharida i pretvaraju se u spore i tonjenjem padaju na morsko dno. U vodenom stupcu preostaje velika količina ljepljivih niti polisaharida te se smeće naljepljuje na tu sluz i dolazi do intenzivne mikrobiološke/bakterijske razgradnje, stvaraju se plinski mjehurići koji dovode do toga da sluz ispliva na morsku površinu, a ta se pojava naziva prljavo more.

Kad sluz otpusti mjehuriće, ona tone na morsko dno i stvara se morski snijeg veličine od mm do cm. Riječ je o općoj pojavi tonjenja čestica iz fotičke zone k bentosu (pelagička kiša). Problem se javlja kada dođe do agregacije/nakupljanja navedenog sluznog materijala na površini. Tijekom mirnog vremena i slabe vertikalne cirkulacije nastaju velike nakupine, do nekoliko metara koje završavaju na morskom dnu.<sup>13</sup>

Velike količine fosfata ubrzavaju proces eutrofikacije. Time se ugrožavaju živi organizmi u moru, ali i u drugim vodama gdje dolazi do ove pojave. Postoje i primjeri velikih ugibanja živih organizama, kao što se može vidjeti na slici 4.<sup>14</sup>



**Slika 4.** Posljedica eutrofikacije na žive organizme



### 1.3. ODREĐIVANJE TROFIČKOG STANJA PRIOBALNIH VODA

Voda koja kvantitativno i kvalitativno odstupa od prirodnih fizikalnih, kemijskih i bioloških osobina se smatra zagađenom vodom. Zagađena voda izaziva negativne posljedice u vodenim ekosustavima nanoseći štete ljudskom zdravlju i ekonomiji zbog ograničene mogućnosti njezine upotrebe.<sup>15</sup> Ocjenjivanje ekološkog stanja vode predstavlja mjerenje promjene funkcije i stanja ekosustava u odnosu na referentno stanje. S obzirom na intenzitet promjene, postoji 5 kategorija ekološkog stanja i svaka se prikazuje odgovarajućom bojom (Tablica 1.). Granične vrijednosti za svako ekološko stanje pokazatelja osnovnih fizikalno-kemijskih i kemijskih elemenata kvalitete, propisane su Uredbom o standardu kvalitete voda.<sup>16</sup>

**Tablica 1.** Kategorije ekološkog stanja

| Kategorije ekološkog stanja | Boja       |
|-----------------------------|------------|
| Vrlo dobro                  | Plava      |
| Dobro                       | Zelena     |
| Umjereno                    | Žuta       |
| Loše                        | Narančasta |
| Vrlo loše                   | Crvena     |

Određivanje stupnja eutrofikacije i ekološkog stanja od temeljne je važnosti kod planiranja i upravljanja prostorom u priobalnim područjima, ali i za predlaganje mjera sanacije već onečišćenog područja, uključujući izbor pogodnog sustava odlaganja otpadnih voda u more. Na temelju dosadašnjih iskustava određeni su specifični kriteriji koji su utemeljeni na usporedbi izmjerenih podataka s izabranim rasponima vrijednosti glavnih pokazatelja koji

se smatraju tipičnim za različite stupnjeve eutrofikacije, tj. ekološkog stanja. Korištene su metode obrade i prikazivanja podataka koje su u skladu s direktivama Europske unije.<sup>17</sup>

Definirani su karakteristični rasponi fizikalno-kemijskih te bioloških parametara za morsko područje (Tablica 2).

**Tablica 2.** Uvjeti i rasponi fizikalno-kemijskih i bioloških parametara za različita ekološka stanja priobalnog mora

| Ekološko stanje<br>Stupanj eutrof.<br>Boja                              | zSd  | $\gamma(O_2/O_2')$         | TIN   | TP      | Chla | Trix | Uvjeti                                                                                                                                                                   |
|-------------------------------------------------------------------------|------|----------------------------|-------|---------|------|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Slabo</b><br><b>Ekstremno</b><br><b>eutrof.</b><br><b>Narančasta</b> | < 3  | p.- >1,7<br>d.- 0,0-0,3    | > 20  | > 1,3   | > 10 | 6-8  | - visoka produktivnost<br>- loša prozirnost<br>- obojenost<br>- perzistentne anoksije/hipoksije<br>- uginanje bentoskih organizama<br>- promjene u bentoskim zajednicama |
| <b>Umjereno dobro</b><br><b>Eutrofno</b><br><b>Žuta</b>                 | < 3  | p.- >1,7<br>d.- 0,3-0,8    | 10-20 | 0,6-1,3 | 5-10 | 5-6  | - visoka produktivnost<br>- slaba prozirnost<br>- povremena obojenost<br>- hipoksije i povremene anoksije<br>- problemi sa bentoskim zajednicama                         |
| <b>Dobro</b><br><b>Mezotrofno</b><br><b>Zelena</b>                      | 3-10 | p.- 1,2-1,7<br>d.- 0,3-0,8 | 2-10  | 0,3-0,6 | 1-5  | 4-5  | - srednja produktivnost<br>- povremeno smanjenje prozirnosti<br>- povremena obojenost<br>- povremene hipoksije                                                           |
| <b>Vrlo dobro</b><br><b>Oligotrofno</b><br><b>Plava</b>                 | >10  | 0,8-1,2                    | <2    | <0,3    | <1   | 2-4  | - niska produktivnost<br>- dobra prozirnost<br>- obojenost odsutna<br>- odsutnost hipoksija                                                                              |

Skraćenice:

- zSd – prozirnost [m],
- $\Delta$ - udio zasićenja kisikom,
- c – koncentracija [ $\text{mol dm}^{-3}$ ],
- TIN – ukupni anorganski dušik [ $\text{mmol m}^{-3}$ ],
- TP – ukupni fosfor [ $\text{mmol m}^{-3}$ ],
- CHLa – klorofil [ $\text{mg m}^{-3}$ ],
- Trix – trofički indeks,
- p.– površinski sloj,
- d. – pridneni sloj.

Tablica je izrađena na temelju klasifikacije priobalnog mora prema stupnju eutrofikacije koju su izradili Yamada i suradnici te je dopunjena klasifikacijom na temelju trofičkog indeksa (TRIX).<sup>18</sup>

#### 1.3.1. Trofički indeks TRIX

Nixon<sup>19</sup> je 1995. predložila trofički indeks koji je u svijetu dosta dobro prihvaćen, a u europskim državama nikada nije postao operativan kada je riječ o procjenjivanju stanja priobalnih mora. Vollenweider i suradnici<sup>20</sup> predložili su novi trofički indeks TRIX namijenjen procjeni trofičkog stanja priobalnih mora.

Ovaj je TRIX razvijen za korištenje na Mediteranu i danas se koristi za rutinske procjene trofičkog stanja Jadranskog mora. TRIX se temelji na četiri parametra: klorofil a, zasićenje kisika, ukupni dušik i ukupni fosfor. Trofičko stanje ovisno je o dostupnosti dušika i fosfora jer su oni važni za primarnu proizvodnju, a to determinira fitoplanktonsku biomasu i zasićenost kisikom. U izrazu za TRIX hranjive soli su prezentirane kroz ukupni dušik i ukupni fosfor, a klorofil a je zamjenski parametar fitoplanktonske biomase. Odstupanje zasićenosti kisikom od 100% u produktivnom sloju indikator je proizvodnje sustava.<sup>21</sup>

TRIX se definira kao linearna matematička kombinacija logaritama četiri varijabli: klorofila a (CHLa), kisika kao apsolutnog postotka odstupanja od zasićenja ( $\Delta O_2$ ), mineralnog dušika (min N) i ukupnog fosfora (TP) što se može prikazati slijedećom jednadžbom:

$$\frac{\log(\Delta O_2 * CHLa * TIN * TP) + F1}{F2} \quad (1)$$

a) Čimbenici koji direktno prikazuju produktivnost:

- CHLa = klorofil a izražen u  $[mg\ m^{-3}]$ ;
- $\Delta O_2$  = odstupanje zasićenja vodenog stupca kisikom od teoretske vrijednosti.

b) Hranjive tvari:

- TIN = otopljeni anorganski dušik,  $TIN = N-NO_3 + N-NO_2 + N-NH_4$

u [mmol m<sup>-3</sup>];

- TP = ukupni fosfor u [mmol m<sup>-3</sup>],

Parametri  $F1=1,5$  i  $F2=12/10=1,2$  su koeficijenti čiji je zadatak reguliranje donje granice vrijednosti indeksa te nastavak na trofičku skalu indeksa koja iznosi od 0 do 10 TRIK jedinica. Oni značavaju trofički stupanj određenog područja. Trofička skala od 0 do 10 je finalni rezultat matematičke jednadžbe TRIK indeksa te se pomoću iznosa koji se dobiva decimalnim brojem određuje trofički stupanj ispitivanog područja.<sup>22</sup>

Kada su vrijednosti TRIK veće od 6, one označavaju visoko produktivne priobalne vode u kojima eutrofikacija često dovodi do anoksija u pridnenim slojevima. Ako su vrijednosti TRIK manje od 4, one govore o slabo produktivnim vodama. Vrijednosti manje od 3 TRIK najčešće su prisutne u otvorenim morima.<sup>23</sup>

TRIK služi da dobivanje tri tipa kategorizacije trofičkog stanja. Na taj način dobiva se oligotrofno, mezotrofno i eutrofno stanje vodene mase, a one ovise o izmjeranim koncentracijama hranjivih tvari i biomasi fitoplanktona. Prednost TRIK je u tome što ekološku kvalitetu na nekom području pretvara u jedan broj, a taj broj je vrlo koristan različitim strukama koje se bave proučavanjem stanja priobalnog mora. Indeks mora daje broj koji je koristan svima koji obavljaju različite poslove u priobalnim zonama.<sup>19</sup>

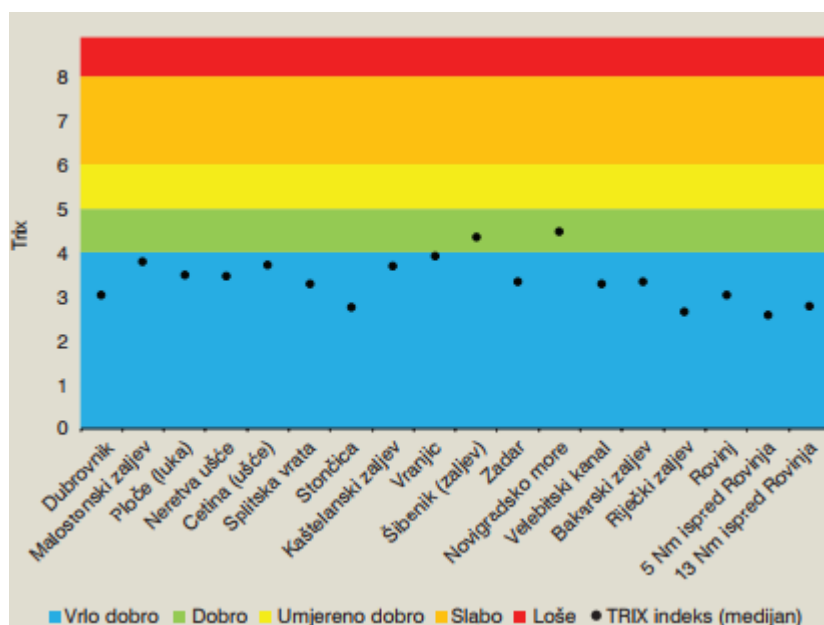
Trofički indeks se izračunava iz podataka o koncentracijama ukupnog otopljenog anorganskog dušika, ukupnog fosfora, klorofila a, te apsolutnog odstupanja zasićenosti kisika od ravnotežnog stanja. Talijanski zakon o vodama uvažava ga kao jedan od parametara za klasifikaciju.<sup>20</sup>

#### 1.4. PREGLED DOSTUPNE LITERATURE

Institut „Ruđer Bošković“ istraživao je stanje eutrofikacije Jadranskog mora u razdoblju 2002.-2008.<sup>21</sup> Hrustić<sup>22</sup> se bavio prikazom geografske pozicije postaja, učestalost uzorkovanja unutar jednogodišnjih perioda na pojedinim

postajama te su prikazane opće karakteristike odabranih područja uz osvrt na prethodna istraživanja.

Kakvoća mora na morskim plažama sustavno se prati od 1989. godine. Pojedinačna, godišnja i konačna ocjena (izvrsno, dobro, zadovoljavajuće i nezadovoljavajuće) pokazatelji su kakvoće mora za kupanje, a određuju se na temelju praćenja bakterioloških pokazatelja. Konačna ocjena uključuje četverogodišnje razdoblje, posljednju i tri prethodne sezone kupanja. Konačna ocjena kakvoće mora za kupanje od 2012. do 2015. godine dana je na osnovi mjerenja bakterioloških pokazatelja na 884 točke. Kakvoća je ocijenjena konačnom ocjenom izvrsno na 97,1% točaka, na 1,2% dobrom dok je na 0,9% ocijenjena zadovoljavajućom, a na 0,8% nezadovoljavajućom.<sup>23</sup>

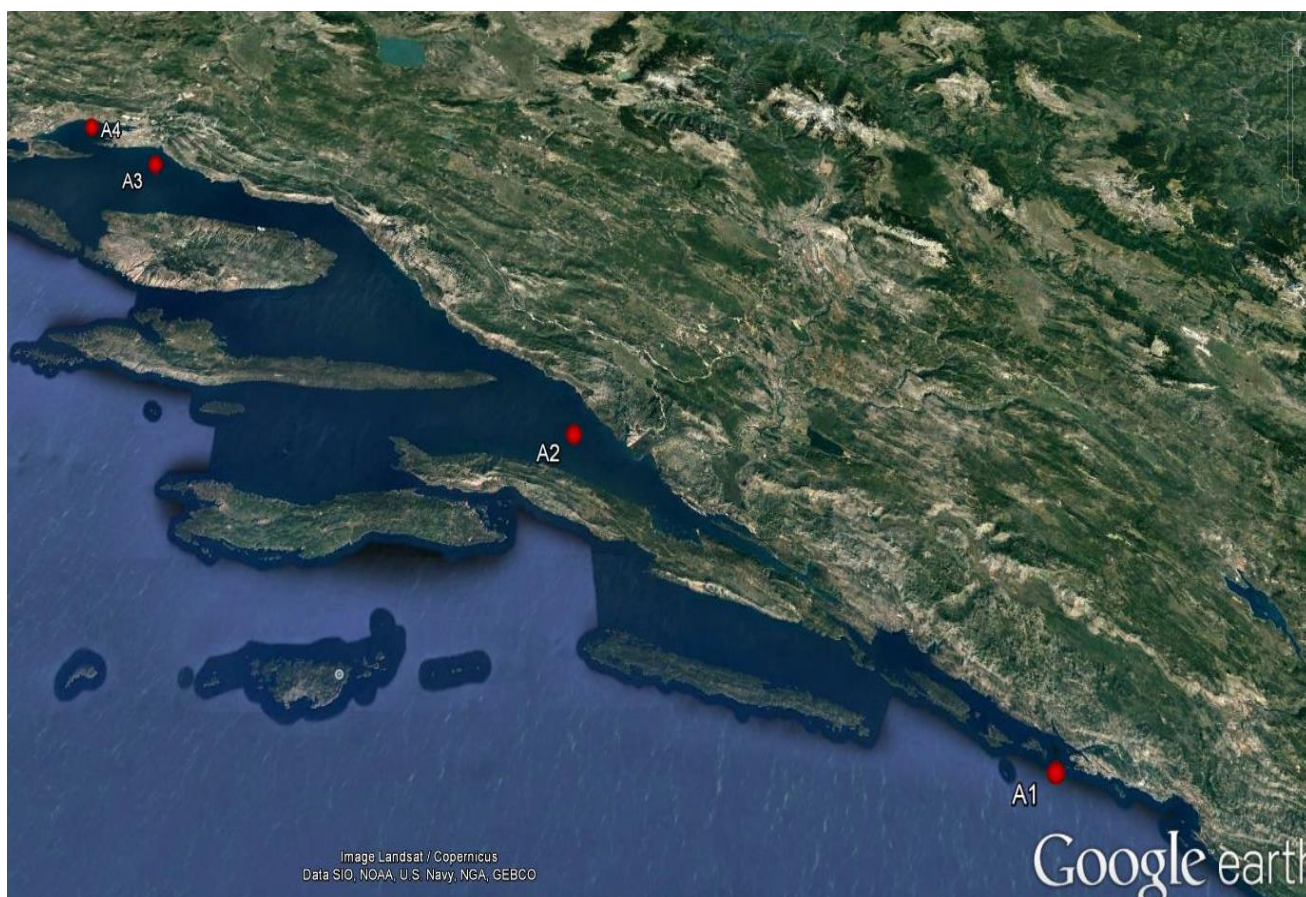


**Slika 5.** Trofički indeks za 2015. Godinu

## **2. EKSPERIMENTALNI DIO**

## 2.1. POSTAJE I RAZDOBLJE UZORKOVANJA

Uzorci morske vode za određivanje trofičkog stanja priobalnih voda uzeti su na postaji Dubrovnika u tijekom trećeg, petog, osmog i dvanaestog mjeseca. Uzorci na postaji Kaštelskog zaljeva uzeti su, također, u istom periodu kao i uzorci na postaji Dubrovnika. Trofičko stanje priobalnih voda određivalo se i na postaji Podstrane tijekom trećeg, petog, osmog i jedanaestog mjeseca. U istom periodu vršilo se uzorkovanje i na postaji Pelješca.



## 2.2. UZORKOVANJE MORSKE VODE

Uzorci morske vode uzeti su Nansen-ovim crpcima, sa standardnih oceanografskih dubina: 0, 5, 10, 20, 35, 37, 38, 39, 50 i 105 metara. Odmah nakon uzorkovanja uzorci su analizirani na sadržaj otopljenog kisika, a poduzorci za određivanje koncentracija klorofila a i hranjivih soli konzervirani su te zamrznuti (-24 °C).

## 2.3. METODE ODREĐIVANJA PARAMETARA POTREBNIH ZA ODREĐIVANJE TROFIČKOG INDEKSA TRIX

Trofički indeks TRIX za prikazane priobalne postaje određen je prema Vollenweider i sur. (1998) za površinski dio vodenog stupca od 0 do 10 m dubine. Također, korišteni su podaci o zasićenju vodenog stupca kisikom ( $O_2$  %), koncentracijama ukupno otopljenog anorganskog dušika (zbroy koncentracija nitrata, nitrita i amonijevih soli), ukupnog fosfora (zbroy anorganskog i organskog fosfora) i klorofila a.

### 2.3.1. Otopljeni kisik

Otopljeni kisik određivan je po Winkleru, a zasićenost morske vode kisikom određena je računski na temelju podataka o temperaturi, salinitetu i sadržaju otopljenog kisika. Mjerenje temperature i saliniteta radilo se sondom SEABIRD 25 (Slika 7).



**Slika 6.** Sonda „SEABIRD 25



Salinitet je iz izmjenenog konduktiviteta morske vode određen korištenjem standardnih formula (Fofonoff i Millard)<sup>24</sup>. Tehničke specifikacije ove sonde slijede u nastavku.

**Tablica 3.** Specifikacije za sondu SEABIRD 25

|                 | <b>Raspon temperatura</b> | <b>Raspon vodljivosti</b> |
|-----------------|---------------------------|---------------------------|
| Raspon mjerenja | -5,0 °C do +35°C          | 0 do 7 S/m                |
| Točnost         | ±0,001 °C                 | ±0,0003 S/m               |
| Stabilnost      | 0,002 °C / godinu         | 0,0003 S/m/godinu         |

2.3.2. Određivanje koncentracija ukupno otopljenog anorganskog dušika i ukupnog fosfora pomoću kontinuirane protočne analize

Koncentracije ukupno otopljenog anorganskog dušika (nitrata, nitrita i amonijevih soli) određivale su se analitičkim metodama za određivanje koncentracije hranjivih soli. To su metode Stricklanda i Parsonsa, a amonijak se određivao po Solorzanu. Za analize je korišten spektrofotometar Shimadzu.<sup>24</sup>



**Slika 7:** Shimadzu spektrofotometar

2.3.3 Određivanje klasifikacije klorofila a

Klorofil a u uzorcima morske vode određen je fluorimetrijskom metodom. Uzorci morske vode filtrirani su uz vakuum do 65 kPa kroz staklene filtere "Whatman" GF/F, promjera 3 cm i promjera pora oko 1 µm. Nadalje, uzorci za određivanje biomase fitoplanktona, volumena 500 mL morske vode sa

svake uzorkovane dubine filtriraju se pomoću vakum sisaljke na staklene GF/F filtere, a filteri sa fitoplanktonskim sadržajem se pohranjuju u zamrzivač do analize u laboratoriju. Svrha ove metode je sačuvati klorofil a kojeg sadrže biljni organizmi u vodenom stupcu do analize u laboratoriju koja se izvodi metodom acetonske ekstrakcije i fluorometrijskog mjerenja njegove koncentracije.



**Slika 8:** Uređaji koji se koriste za određivanje koncentracije klorofila a: centrifuga, TD 700 fluorometar i homogenizator

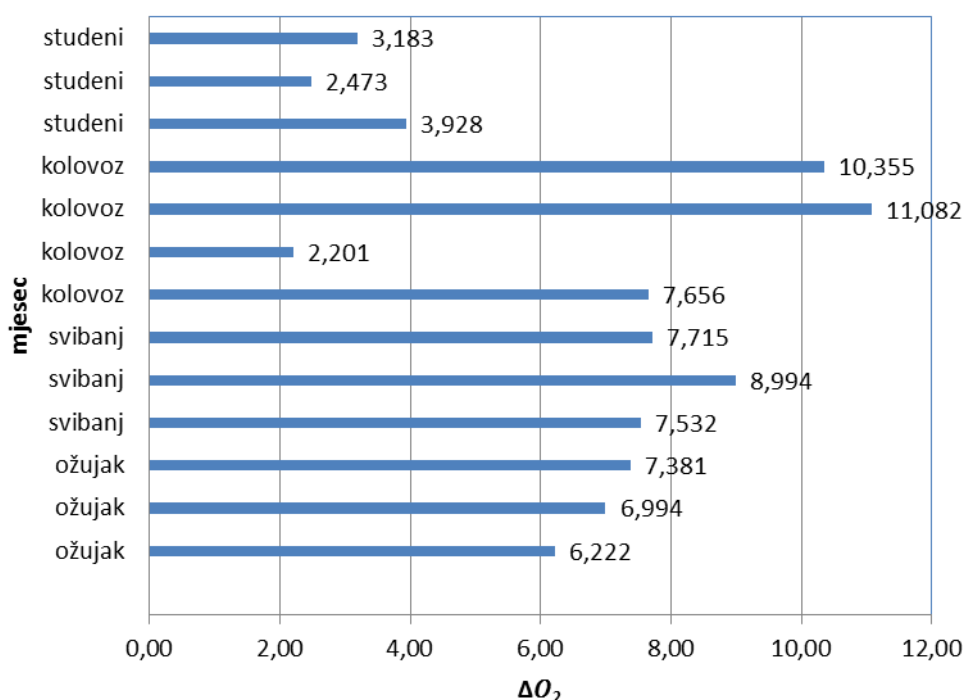
### **3. REZULTATI I RASPRAVA**

### 3.1. PRIKAZ STANJA OSNOVNIH KEMIJSKIH I BIOLOŠKIH PARAMETARA U PRIOBALNOM MORU DUBROVNIKA, KAŠTELSKOG ZALJEVA, PODSTRANE I PELJEŠCA

Nakon analiza na terenu i u laboratoriju došlo se do svih potrebnih kemijskih i bioloških parametara za izračunavanje ekološkog stanja na postajama akvatorija Dubrovnika, Kaštelskog zaljeva, Podstrane i Pelješca. Prije prikaza ekološkog stanja određeno je stanje osnovnih kemijskih i bioloških parametara.

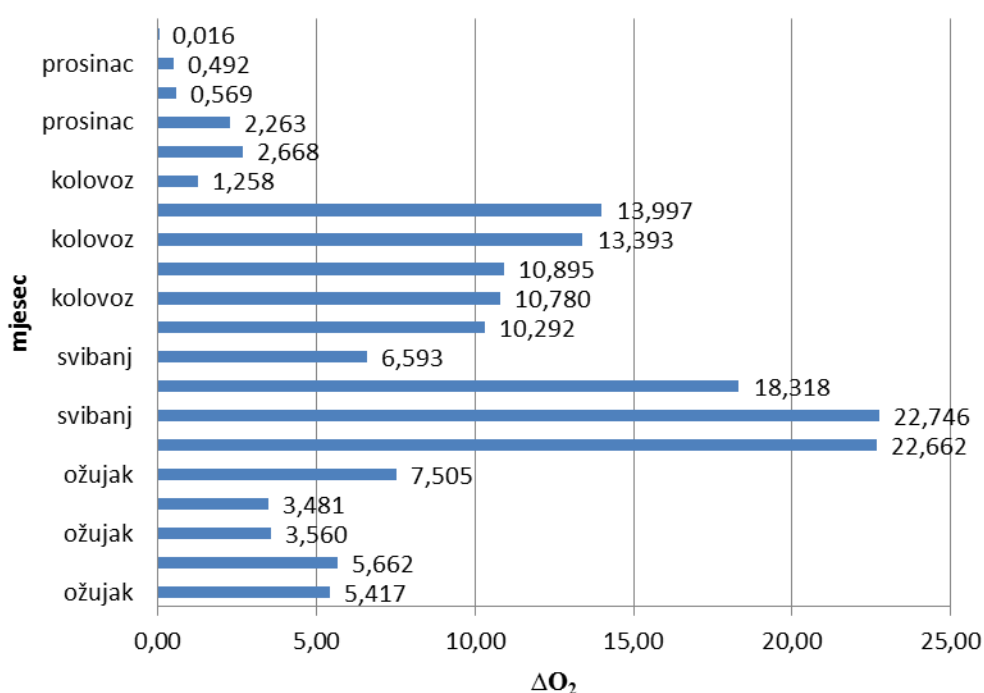
#### 3.1.1. Prikaz stanja stupnja zasićenosti kisikom

Na temelju dobivenih rezultata, vrijednosti stupnja zasićenja kisikom na postaji Dubrovnik, ovisno o mjesecu uzorkovanja prikazane su na Slici 9. Slika prikazuje stupanj zasićenja vodenog stupca kisikom.



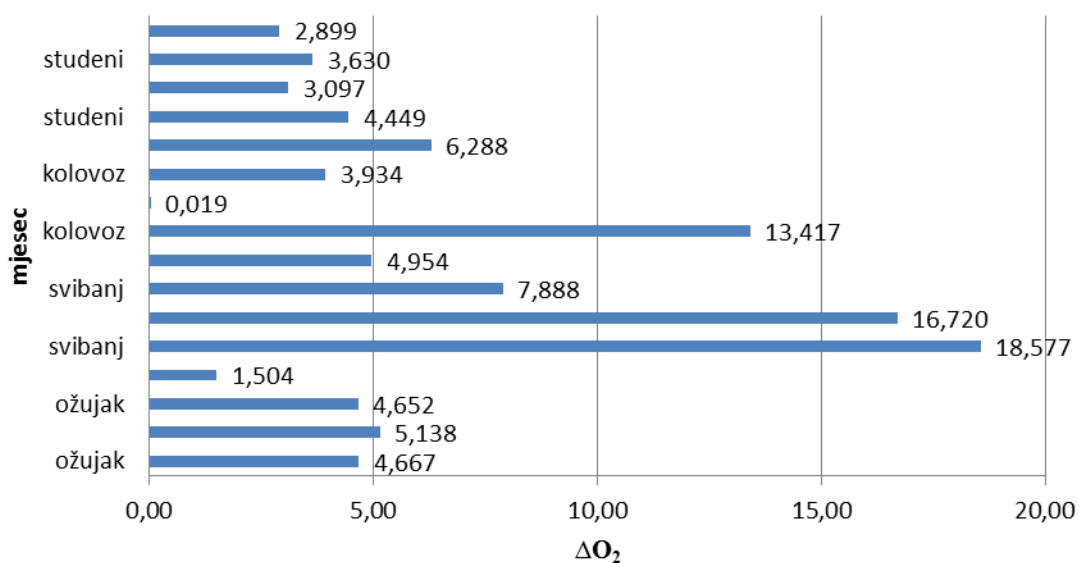
**Slika 9.** Stupanj zasićenja kisikom na postaji Dubrovnik

Iz podataka o stupnju zasićenosti kisikom na postaji Dubrovnik najveća vrijednost zabilježena je u kolovozu te je iznosila 11,082 , a najniža vrijednost je zabilježena u istom mjesecu te je iznosila 2,201. Kako povećanje temperature ubrzava mineralizaciju organske tvari, te uzrokuje smanjenje koncentracije otopljenog kisika, možemo pretpostaviti da je u kolovozu došlo do veće promjene temperature, a samim time i naglo smanjenje zasićenosti kisikom. Ujedno su u tom mjesecu uočena i najveća odstupanja, za razliku od ostalih mjeseci u kojima su se dobivene vrijednosti bile slične.



**Slika 10:** Stupanj zasićenja kisikom na postaji Kaštelanski zaljev

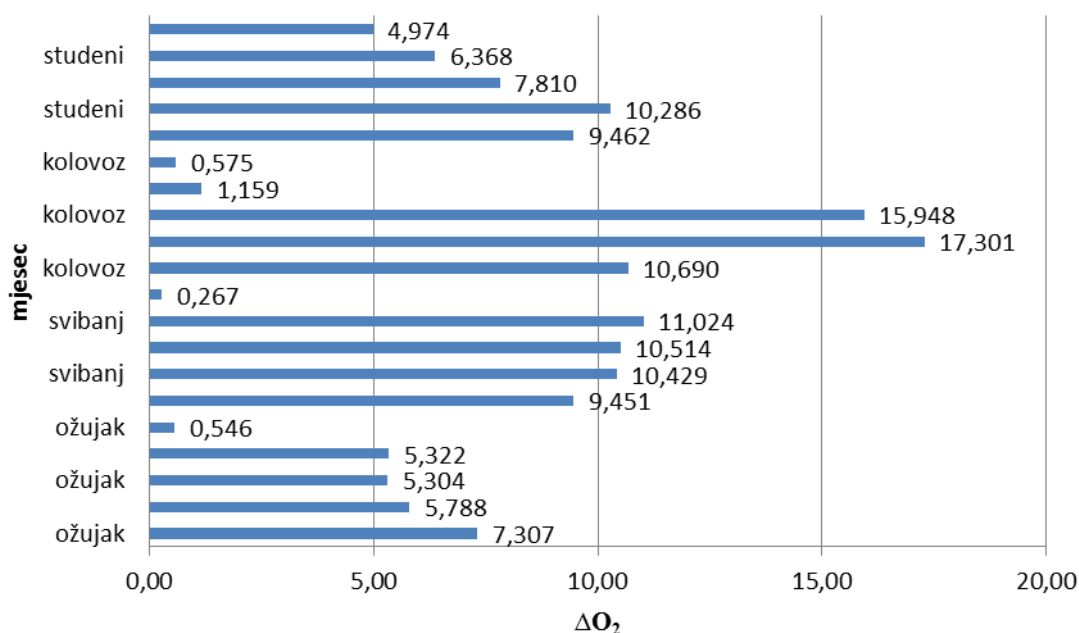
Iz podataka o stupnju zasićenosti kisikom vidi se da je najveća vrijednost zabilježena u svibnju te je iznosila 22,746 te je ona duplo veća u odnosu od najveće vrijednosti zabilježene u Dubrovniku tijekom promatranog perioda. Najniža vrijednost je zabilježena u prosincu te je iznosila 0,016 te je ova vrijednost bitno niža od najniže vrijednosti zabilježene na postaji Dubrovnik.



**Slika 11.** Stupanj zasićenja kisikom na postaji Podstrana

Na postaji Podstrana najveća vrijednost kisika zabilježena je u svibnju te je iznosila 18,577 dok je najniža vrijednost zabilježena u kolovozu i iznosila je 0,019.

Naime tijekom proljeća i ljeta dolazi do razvoja fitoplanktona, tj. kisik stvaraju procesom fotosinteze predstavnici fitoplanktona. Istovremeno, u ljetnom periodu (kasno ljeto) dolazi do propadanja fitoplanktona i mikrobiološke regeneracije, a samim time i do potrošnje kisika.



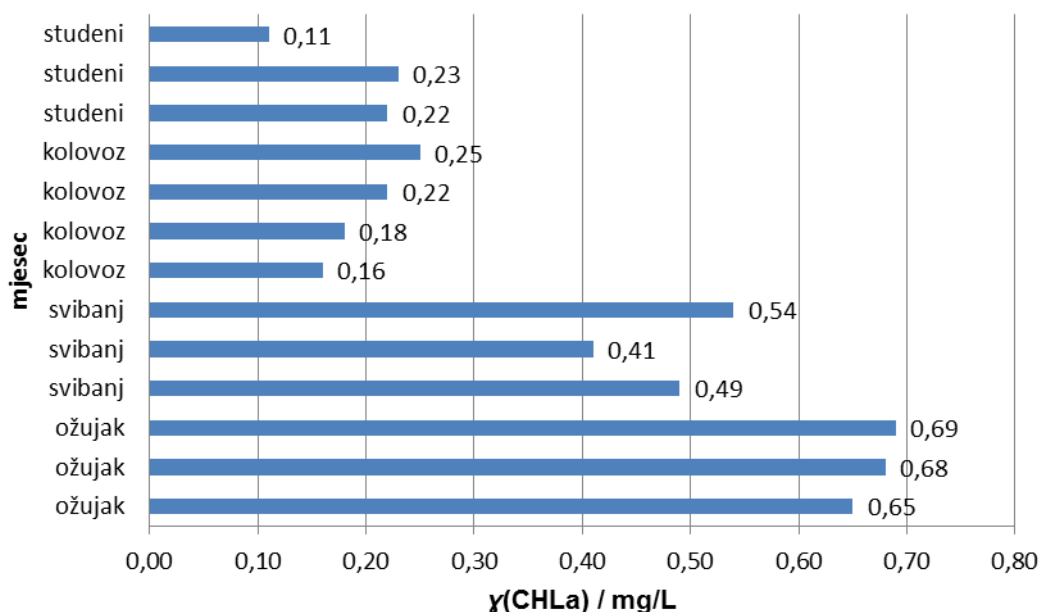
**Slika 12.** Stupanj zasićenja kisikom na postaji Pelješac

Na postaji Pelješac najveće vrijednosti O<sub>2</sub> zabilježene su u kolovozu te su iznosile 17,301. Najniža vrijednost zabilježena je u svibnju te je iznosila 0,267.

### 3.1.2. Prikaz stanja klorofila a

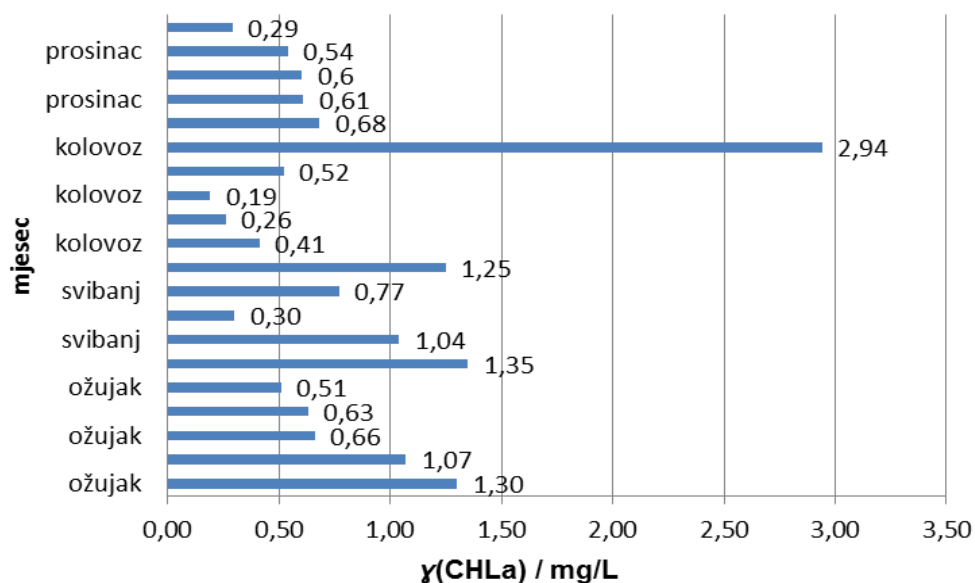
Na temelju praćenja biomase fitoplanktora može se dobiti jasno stanje morskog ekosustava. Masa najčešće raste pod utjecajem povećanja dostupnosti hranjivih soli, a direktna posljedica navedenog je povećanje primarne produkcije algi, a što se, prije svega, odnosi na fitoplanktone te navedeno dovodi do njihovog naglog rasta. Najčešća metoda za procjenu biomase fitoplanktona je određivanje koncentracije klorofila a.





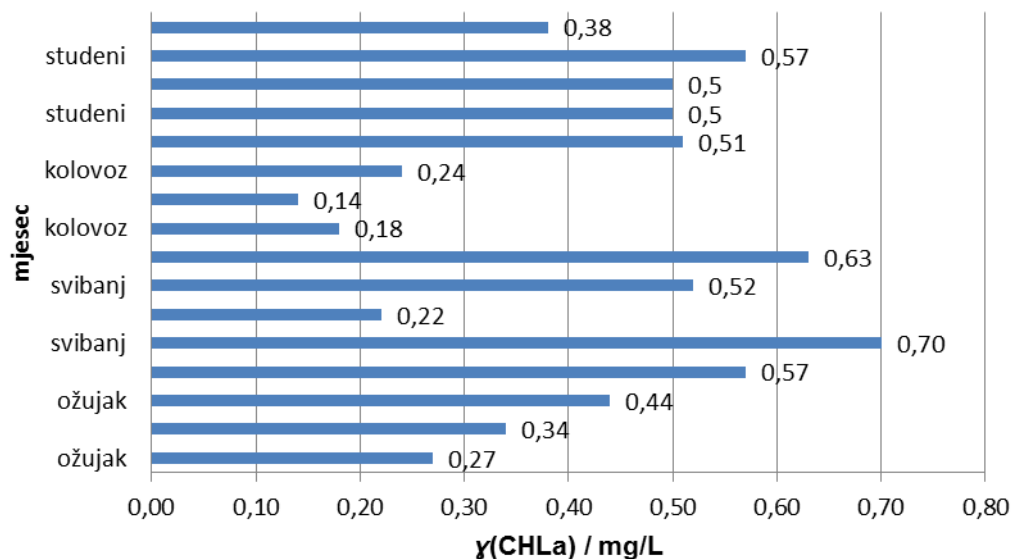
**Slika 13.** Koncentracija CHLa na postaji Dubrovnik

Na Slici 13. vidi se da je minimalno stanje klorofila a u priobalju Dubrovnika bilo u studenome te je iznosilo 0,11 mg/L, a maksimalna koncentracija je zabilježena u ožujku te je iznosilo 0,69 mg/L, što možemo povezati sa povećanim donosom nutrijenata.



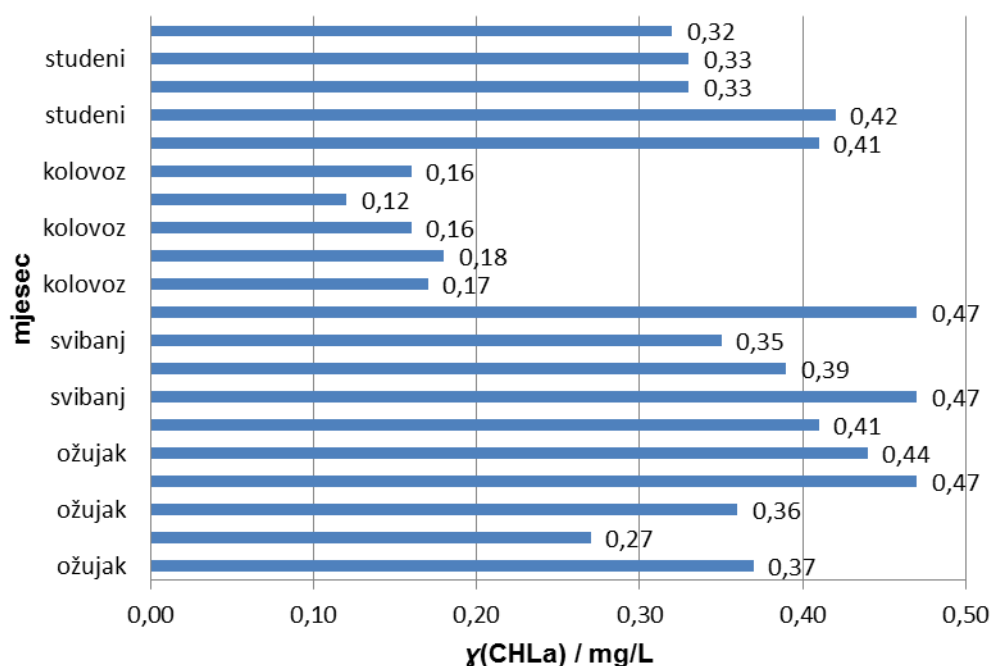
**Slika 14.** Koncentracija CHLa na postaji Kaštelanski zaljev

Najniža vrijednost CHLa zabilježena je u kolovozu te je iznosila 0,19 mg/l. Najviša vrijednost zabilježena je u istom mjesecu te je iznosila 2,94 mg/l.



**Slika 15.** Koncentracija CHLa na postaji Podstrana

Najveća vrijednost CHLa u Podstrani zabilježena je u svibnju te je iznosila 0,7 mg/L. Najniža vrijednost na ovom području zabilježena je u kolovozu te je iznosila 0,14 mg/L.



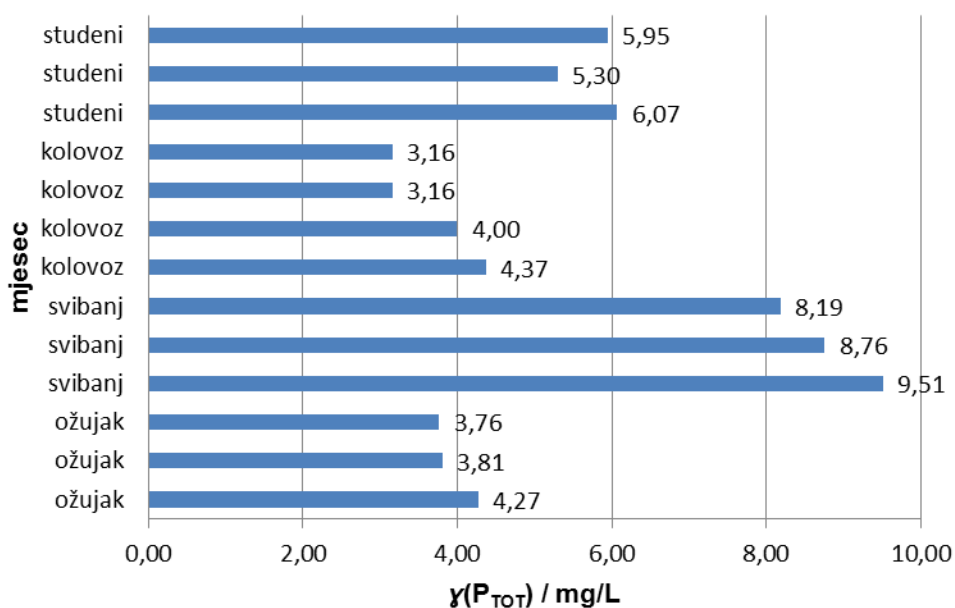
**Slika 16.** Koncentracija CHLa na postaji Pelješac

Na postaji Pelješac najveće vrijednosti CHLa izmjerene su u svibnju i ožujku te su iznosile 0,47. Najniže vrijednosti izmjerene su u kolovozu te su iznosile 0,12.

Navedeni rezultati govore da je razvoj fitoplanktona najveći u proljeće i ljeto zbog svjetlosnih prilika i zagrijavanja morske vode. U kasno ljeto dolazi do propadanja fitoplanktona, da bi nakon toga došlo do jesenskog razvoja fitoplanktona zbog povoljnih svjetlosnih prilika i još uvijek povoljne temperature mora. Razvoj fitoplanktona sukladan je s podacima dobivenim mjerenjem stupnja zasićenja kisikom.

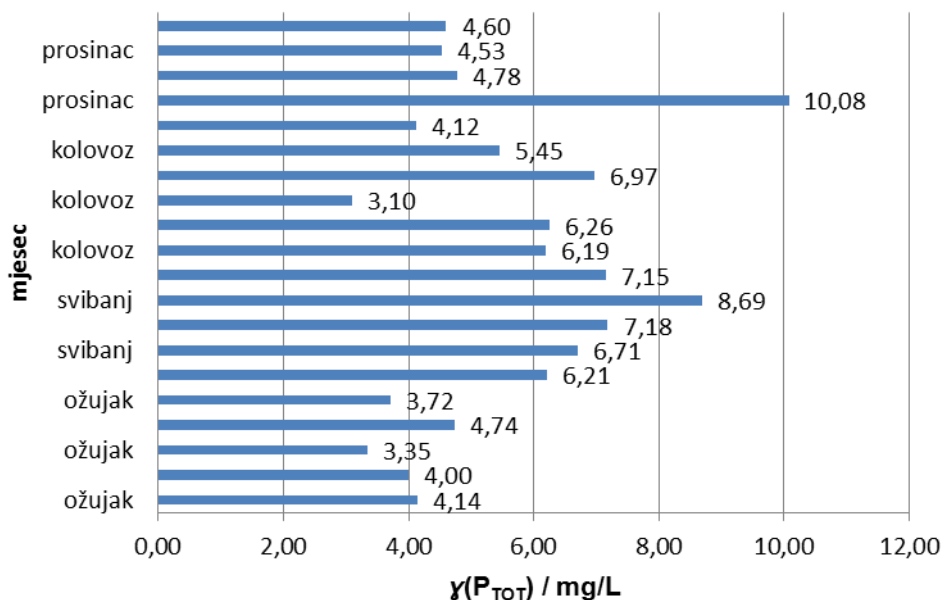
### 3.1.3. Prikaz stanja ukupnog fosfora

Povećanje koncentracije hranjivih soli uzrokuje niz nepovoljnih učinaka koji se jednim imenom nazivaju eutrofikacija. Povećanje njihove koncentracije u morskoj vodi može se dogoditi pod utjecajem prirodnih ili antropoloških čimbenika. Slike u nastavku prikazuju izračunate vrijednosti masenih koncentracija ukupnog fosfora.



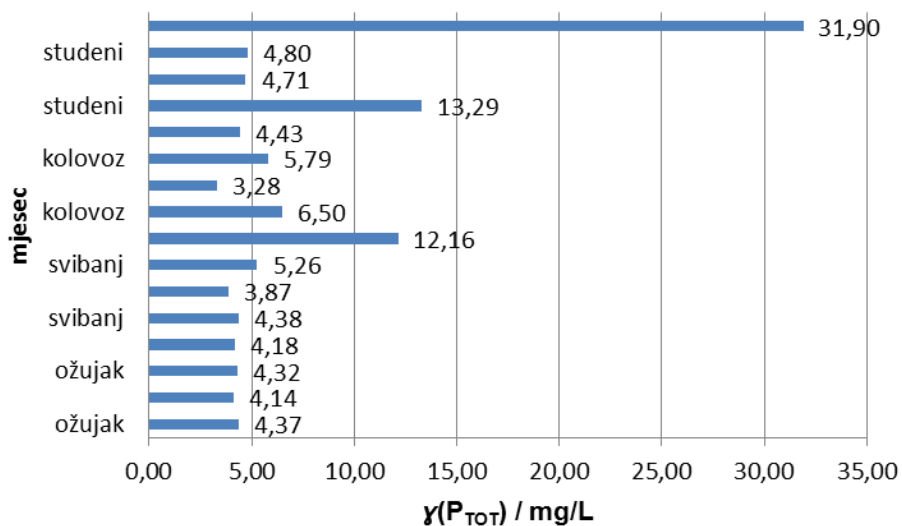
**Slika 17.** Koncentracija  $P_{TOT}$  na postaji Dubrovnik

Na Slici 17. vidi se da je maksimalna koncentracija za ukupan fosfor zabilježena u proljeće (svibanj) te je iznosila 9,51 mg/L. Minimalna koncentracija zabilježena je u kolovozu i iznosila je 3,16 mg/L.



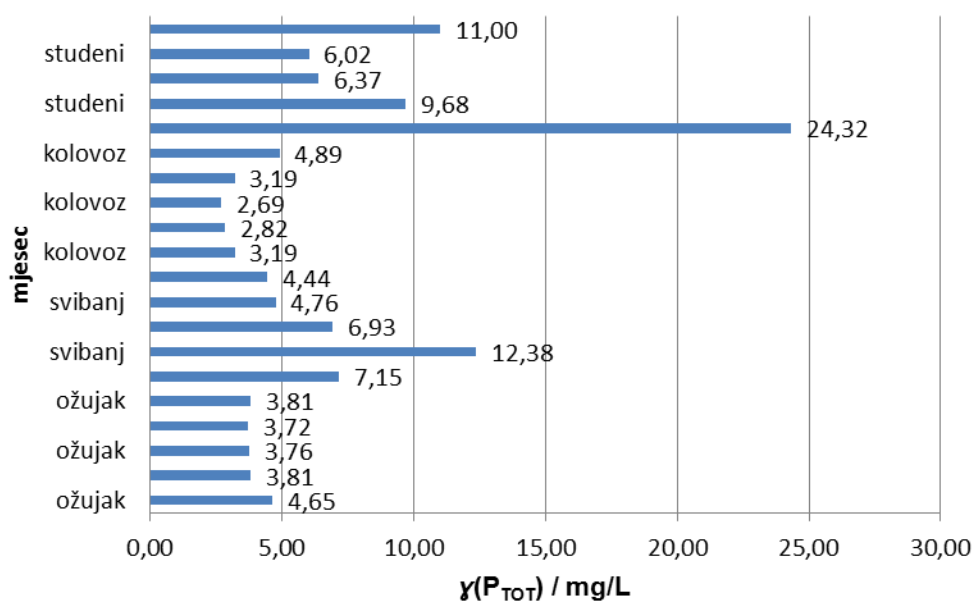
**Slika 18.** Koncentracija  $P_{TOT}$  na postaji Kaštelanski zaljev

Najveća vrijednost  $P_{TOT}$  u Kaštelskom zaljevu zabilježena je u prosincu i iznosila je 10,08 mg/L. Najniža vrijednost zabilježena je u kolovozu te je iznosila 3,10 mg/L.



**Slika 19.** Koncentracija  $P_{TOT}$  na postaji Podstrana

Najveća vrijednost zabilježena je u prosincu na postaji Podstrana te je ona bitno odudarala od ostalih vrijednosti. Iznosila je 31,90. Najniža vrijednost zabilježena je u kolovozu te je iznosila 3,28 mg/L.



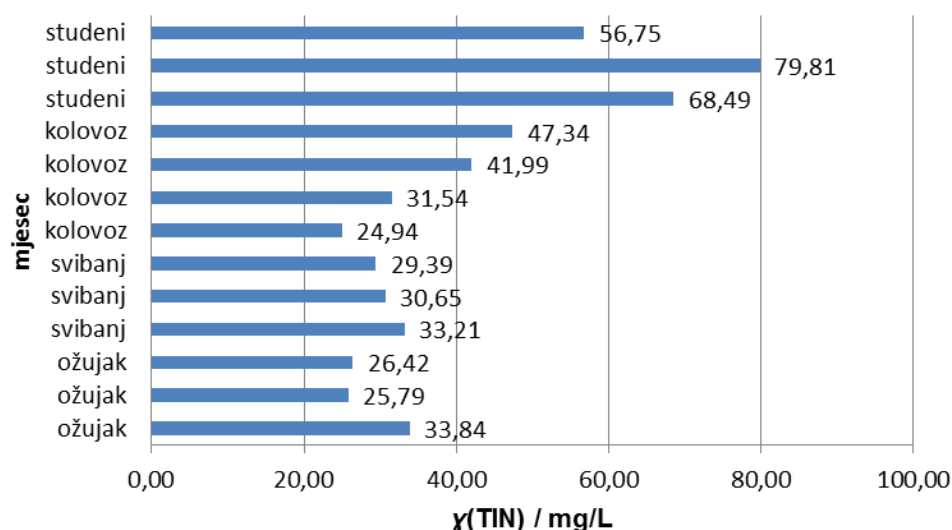
**Slika 20.** Koncentracija  $P_{TOT}$  na postaji Pelješac

Maksimalna vrijednost  $P_{TOT}$  na Pelješcu iznosila je 24,32 mg/L te je određena u studenom, a minimalna vrijednost je određena u kolovozu i iznosila je 2,69 mg/L. Ovi podaci govore da je velika razlika između minimalne i maksimalne vrijednosti  $P_{TOT}$  na Pelješcu.

Najveća koncentracija  $P_{TOT}$  u promatranom periodu na tri je lokacije bila u studenom (Kaštelski zaljev, Podstrana i Pelješac) dok je na jednoj lokaciji (Dubrovnik) najveća koncentracija bila u svibnju. Taj podatak govori da je u različitim periodima bio ugroženi fitoplankton u Kaštelskom zaljevu, Podstrani i Pelješcu u odnosu na njegovu ugroženost na postaji Dubrovnik.

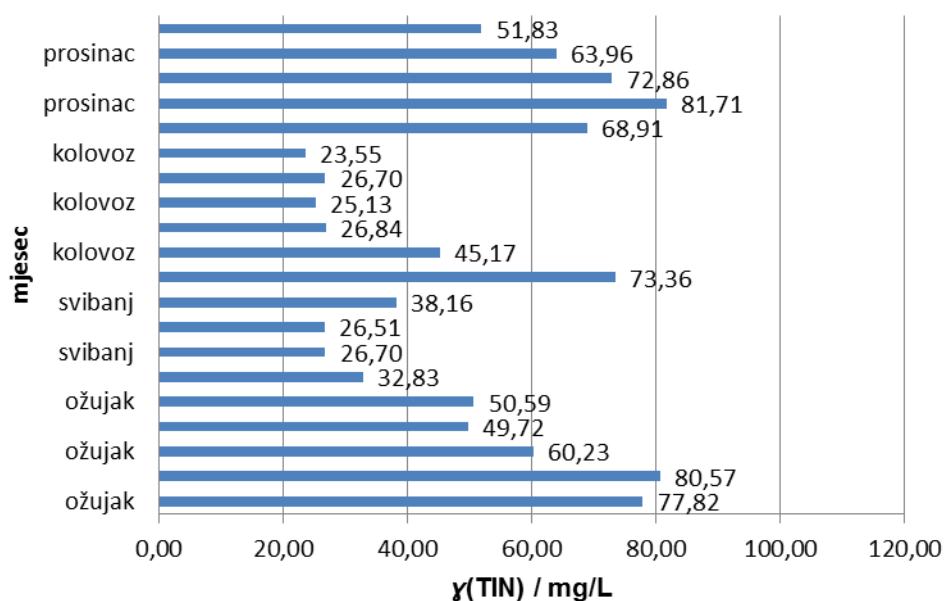
#### 3.1.4. Prikaz stanja ukupnog anorganskog dušika

U nastavku slijedi prikaz stanja ukupnog anorganskog dušika tijekom perioda mjerenja na postajama Dubrovnik, Kaštelanski zaljev, Podstrana i Pelješac.



**Slika 21.** Koncentracija TIN na postaji Dubrovnik

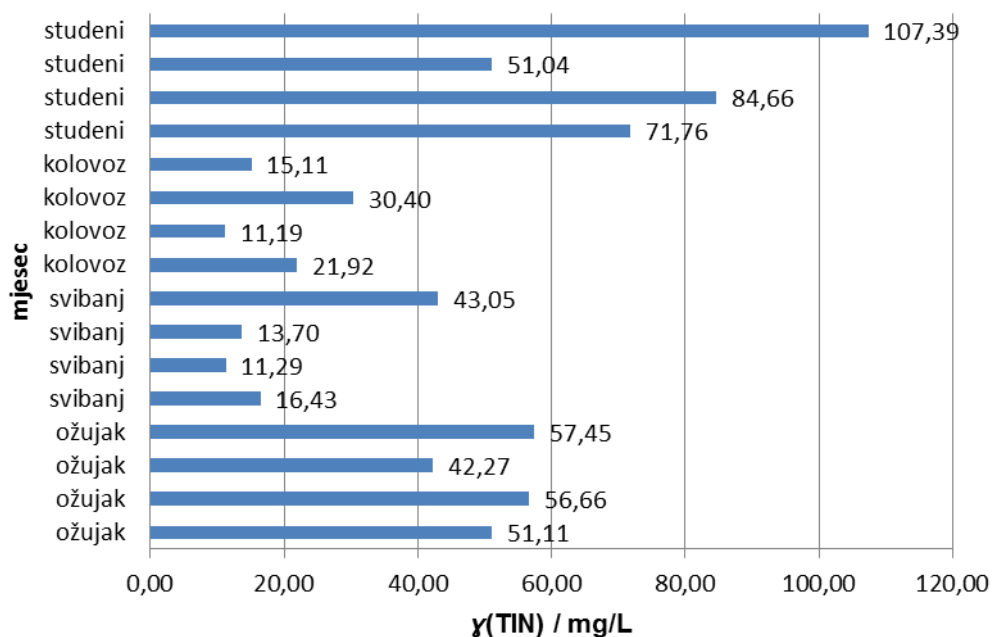
Maksimalni podaci ukupnog anorganskog dušika izmjereni su u zimskim mjesecima u Dubrovniku te su iznosili 79,81 mg/L. Najniže vrijednosti zabilježene su u ljetnim mjesecima, odnosno u kolovozu te su iznosile 24,94 mg/L.



**Slika 22.** Koncentracija TIN na postaji Kaštelanski zaljev

Maksimalna vrijednost TIN na postaji Kaštelanski zaljev izmjerena je u prosincu te je iznosila 81,71 mg/L. Minimalna vrijednost je izmjerena u kolovozu te je iznosila 23,55 mg/L. Ovi podaci govore da su na oba promatrana područja

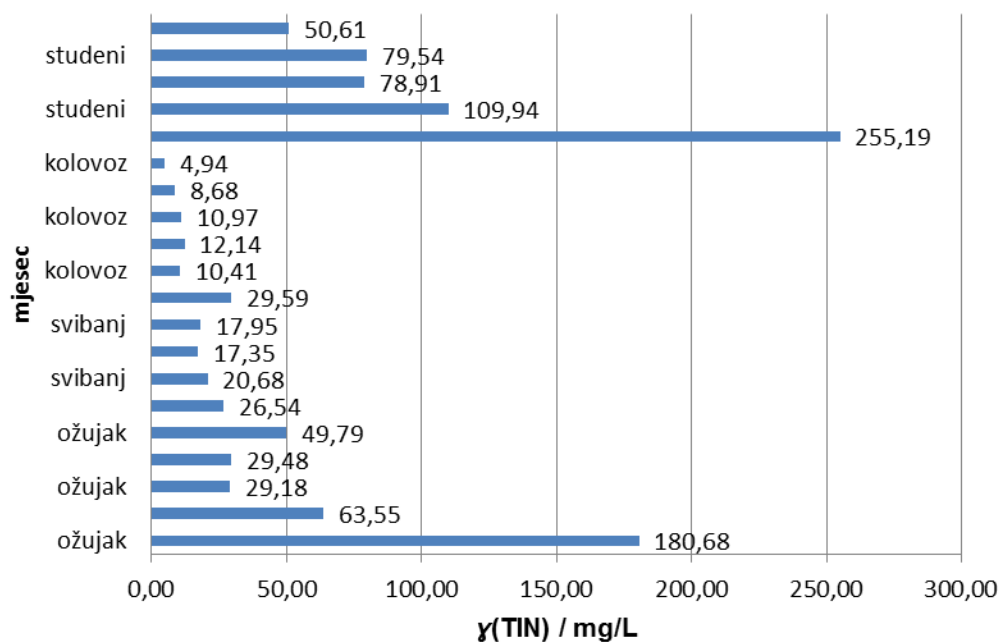
u ljetnim podacima bile najniže koncentracije TIN dok su u zimskim mjesecima bile najviše.



**Slika 23.** Koncentracija TIN na postaji Podstrana

U Podstrani najviše vrijednosti TIN-a zabilježene su u zimskom periodu, odnosno u studenom te su iznosile 107,39 mg/L. U ostalim periodima vrijednosti su bile bitno niže, a najniže su bile 11,19 mg/L zabilježene u ljetnom periodu tj. u kolovozu. Vrijednosti TIN u Podstrani bitno su niže od vrijednosti TIN u Dubrovniku i u Kaštelskom zaljevu.



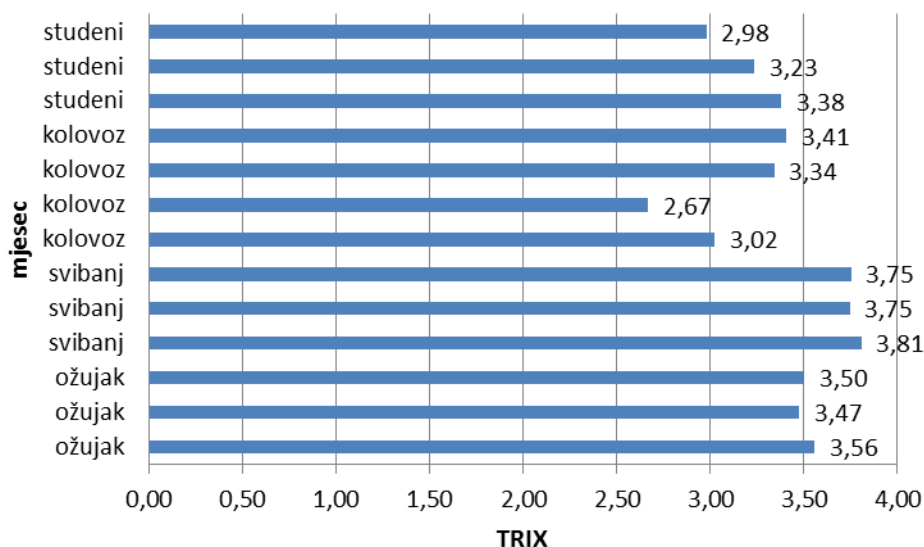


**Slika 24.** Koncentracija TIN na postaji Pelješac

Najveća koncentracija dušika zabilježena je u zimskim mjesecima. U studenom je dosegla maksimum od 255,19 mg/L, a to je ujedno i najveća koncentracija zabilježena na promatranim lokacijama. Najniža vrijednost (4,94 mg/L) zabilježena je u kolovozu, odnosno u ljetnom periodu te se time može uočiti da su na sve četiri analizirane lokacije najniže vrijednosti TIN bile zabilježene u ljetnim mjesecima.

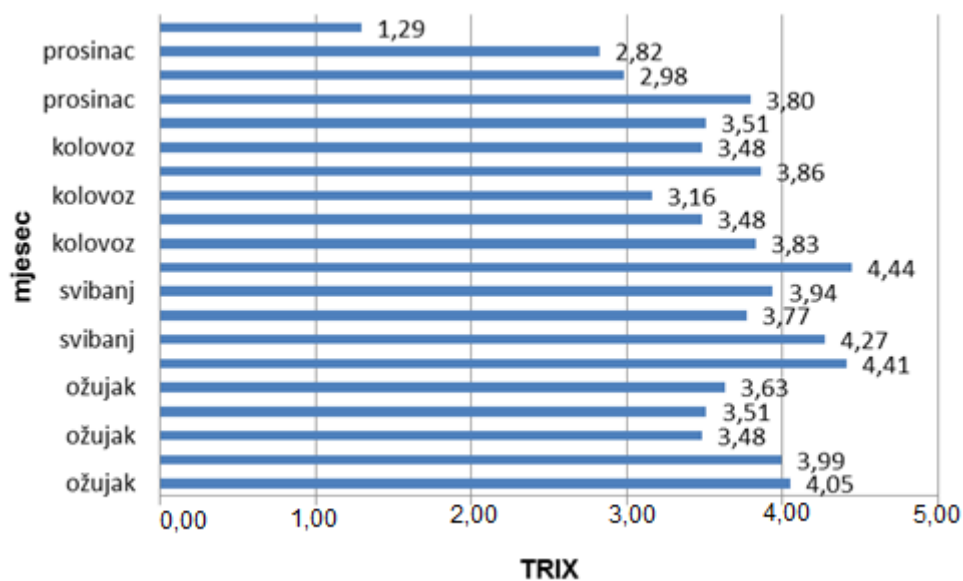
### 3.1.5. Prikaz TRIX-a

U nastavku slijede prikazi TRIX-a u različitim periodima uzorkovanja na lokacijama Dubrovnik, Kaštelanski zaljev, Podstrana i Pelješac.



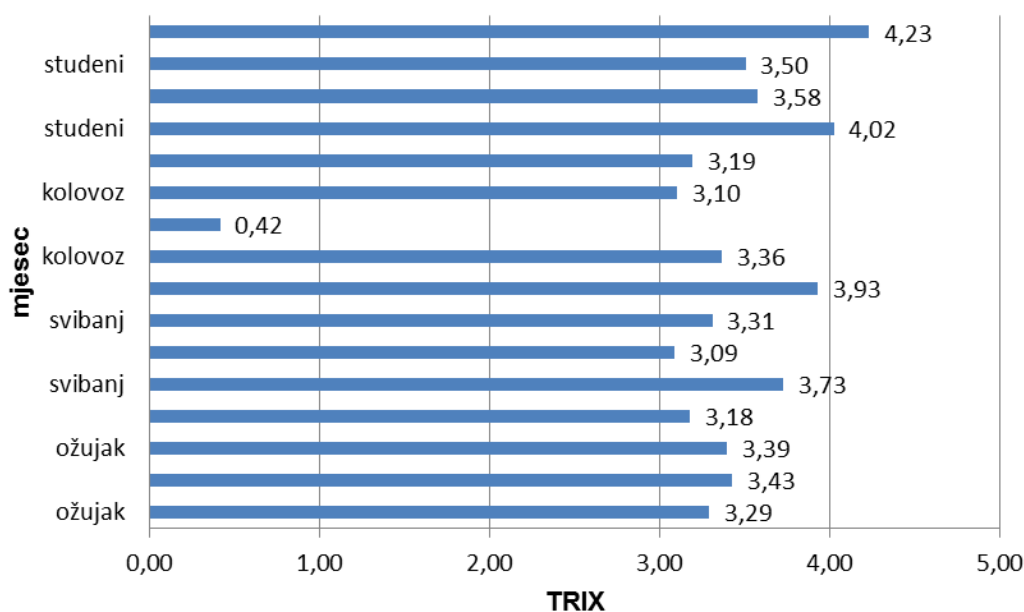
**Slika 25.** TRIX za postaju Dubrovnik

Na postaji Dubrovnik najveće TRIX vrijednosti zabilježene su u proljeće, odnosno u svibnju te su iznosile 3,81. Najniže TRIX vrijednosti zabilježene su u kolovozu te su iznosile 2,67. Ovi podaci govore da je kvaliteta mora dobra.



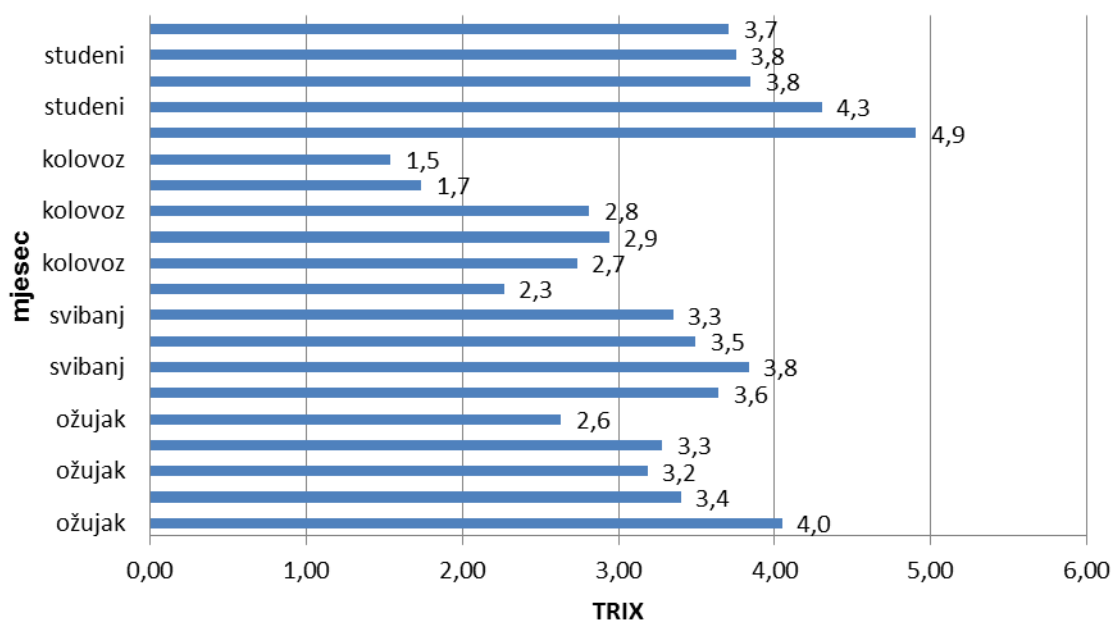
**Slika 26.** TRIX za postaju Kaštelanski zaljev

Na postaji Kaštelanski zaljev najniže TRIX vrijednosti zabilježene su tijekom zimskih mjeseci, a minimum je bio 1,29. Najviše TRIX vrijednosti zabilježene su u svibnju te su iznosile 4,44. Time se podaci na postaji Kaštelski zaljev vezani uz TRIX vrijednosti razlikuju od podataka dobivenih na području Dubrovnika s obzirom na period godine kada su dobivene najviše i najniže vrijednosti. Kvaliteta mora u Kaštelskom zaljevu je dobra.



**Slika 27.** TRIX za postaju Podstrana

Najviše vrijednosti na postaji Podstrana zabilježene su u zimskom periodu, odnosno u studenom i iznosile su 4,23. Najniže vrijednosti zabilježene su u kolovozu te su iznosile 0,42. Kvaliteta mora u Podstrani je zadovoljavajuća.



**Slika 28.** TRIX za postaju Pelješac

Na postaji Pelješac najviše vrijednosti TRIX-a zabilježene su u studenom te su iznosile 4,90. Slično je bilo i u Podstrani gdje su, također, tijekom zimskih mjeseci zabilježene najviše vrijednosti TRIX-a. Najniže vrijednosti zabilježene su u kolovozu te su iznosile 1,5 te se i time Pelješac podudara s Podstranom u smislu perioda godine kada su zabilježene najniže vrijednosti TRIX-a. Kvaliteta mora na Pelješcu je odgovarajuća.

### 3.2. STATISTIČKA OBRADA DOBIVENIH PARAMETARA

Za statističku obradu dobivenih kemijskih i bioloških podataka te dobivenih ocjena ekološkog stanja metodom TRIX provedena je Spearmanova korelacija po postajama za dobivene ispitivane parametre.

**Tablica 4.** Koeficijenti Spearmanove korelacije na postaji Dubrovnik za ispitivane parametre

|                                | <b>CHLa</b> | <b><math>\Delta O_2</math></b> | <b>TIN</b> | <b>P<sub>TOT</sub></b> |
|--------------------------------|-------------|--------------------------------|------------|------------------------|
| <b>CHLa</b>                    |             |                                |            |                        |
| <b><math>\Delta O_2</math></b> | 0,206328    |                                |            |                        |
| <b>TIN</b>                     | -0,382394   | -0,296703                      |            |                        |
| <b>P<sub>TOT</sub></b>         | -0,070248   | -0,151307                      | 0,063274   |                        |
| <b>TRIX</b>                    | 0,795049    | 0,461538                       | -0,274725  | 0,379643               |

**Tablica 5.** Koeficijenti Spearmanove korelacije na postaji Kaštelanski zaljev za ispitivane parametre

|                                | <b>CHLa</b> | <b><math>\Delta O_2</math></b> | <b>TIN</b> | <b>P<sub>TOT</sub></b> |
|--------------------------------|-------------|--------------------------------|------------|------------------------|
| <b>CHLa</b>                    |             |                                |            |                        |
| <b><math>\Delta O_2</math></b> | -0,032468   |                                |            |                        |
| <b>TIN</b>                     | 0,268831    | -0,532468                      |            |                        |
| <b>P<sub>TOT</sub></b>         | 0,083117    | 0,305195                       | -0,163636  |                        |
| <b>TRIX</b>                    | 0,548052    | 0,667532                       | 0,049351   | 0,435065               |

**Tablica 6.** Koeficijenti Spearmanove korelacije na postaji Podstrana za ispitivane parametre

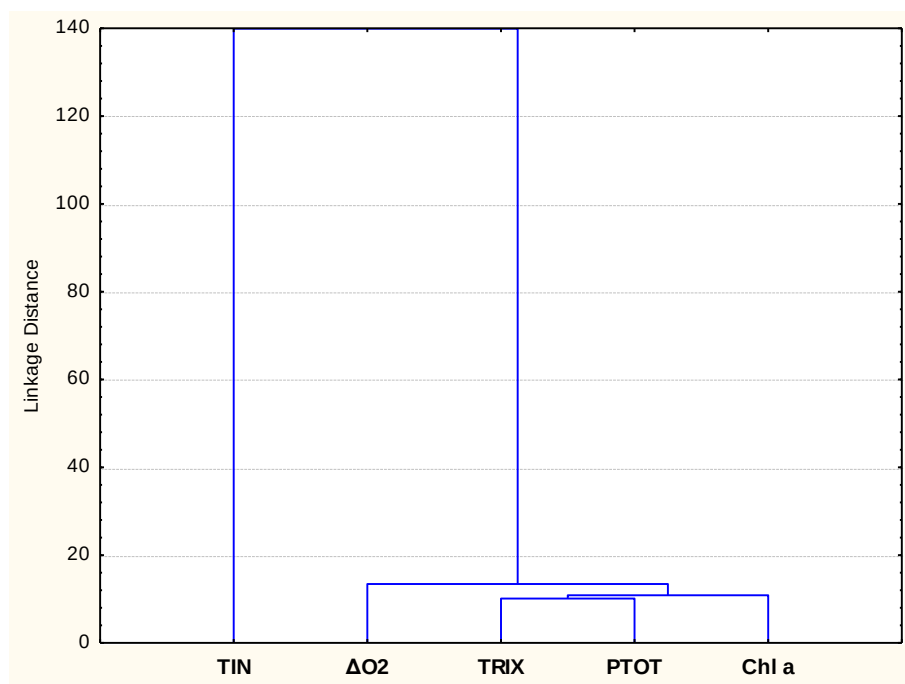
|                                | <b>CHLa</b> | <b><math>\Delta O_2</math></b> | <b>TIN</b> | <b>P<sub>TOT</sub></b> |
|--------------------------------|-------------|--------------------------------|------------|------------------------|
| <b>CHLa</b>                    |             |                                |            |                        |
| <b><math>\Delta O_2</math></b> | 0,091311    |                                |            |                        |
| <b>TIN</b>                     | 0,220913    | -0,485294                      |            |                        |
| <b>P<sub>TOT</sub></b>         | 0,247423    | -0,017647                      | 0,388235   |                        |
| <b>TRIX</b>                    | 0,497791    | 0,011765                       | 0,635294   | 0,644118               |

**Tablica 7.** Koeficijenti Spearmanove korelacije na postaji Pelješac za ispitivane parametre

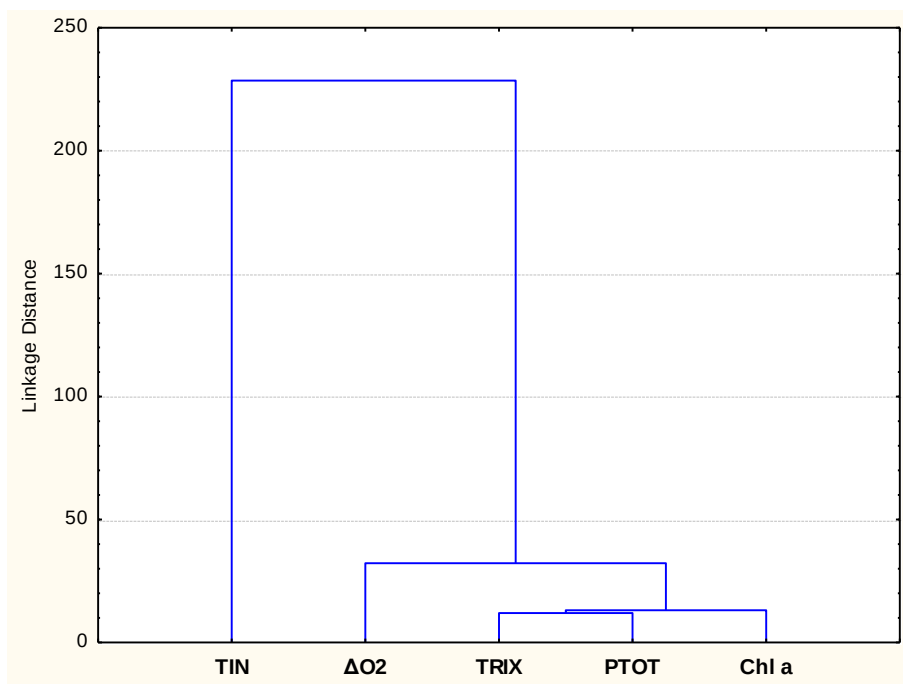
|                                | <b>CHLa</b> | <b><math>\Delta O_2</math></b> | <b>TIN</b> | <b>P<sub>TOT</sub></b> |
|--------------------------------|-------------|--------------------------------|------------|------------------------|
| <b>CHLa</b>                    |             |                                |            |                        |
| <b><math>\Delta O_2</math></b> | -0,140973   |                                |            |                        |
| <b>TIN</b>                     | 0,481720    | -0,181955                      |            |                        |
| <b>P<sub>TOT</sub></b>         | 0,445116    | -0,011287                      | 0,492852   |                        |
| <b>TRIX</b>                    | 0,373918    | 0,332331                       | 0,751880   | 0,713318               |

Iz Tablice 7. uočava se najveća pozitivna korelacija između TRIX-a i klorofila a (na postaji Pelješac i Podstrana), te TRIX-a i ukupnog fosfora, dok je dobivena negativna korelacija između TRIX-a i ukupnog anorganskog dušika.

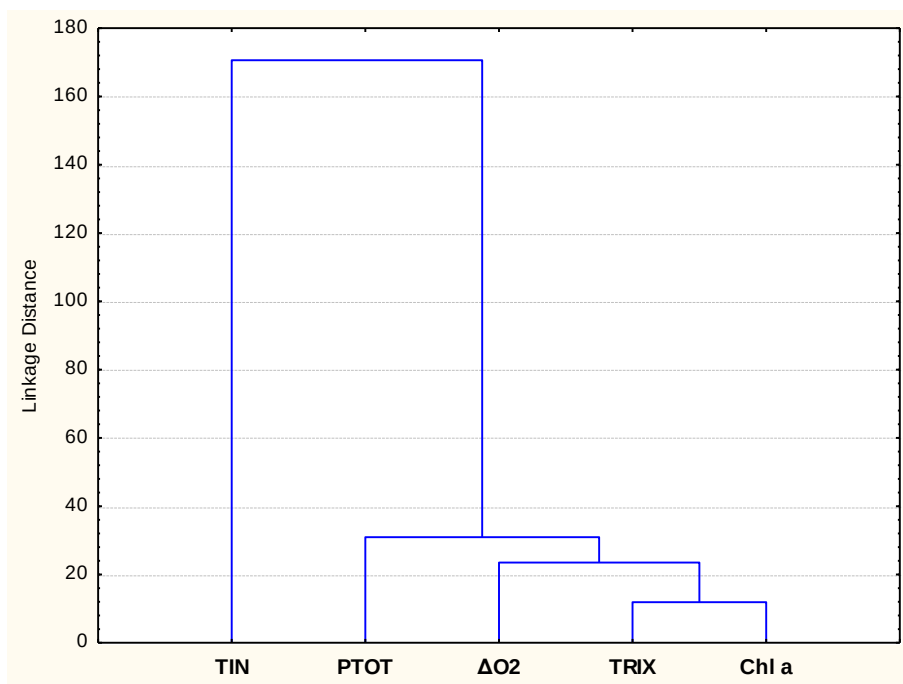
Na osnovu udjela dobivenih parametara na ispitivanoj postaji, napravljena je klaster analiza. Klaster analiza dijeli podatke u podgrupe koji se nazivaju klasteri, tako da su opažanja u jednom klasteru slična po nekim svojstvima.



**Slika 30.** Klaster analiza za određivanje parametre na postaji Dubrovnik

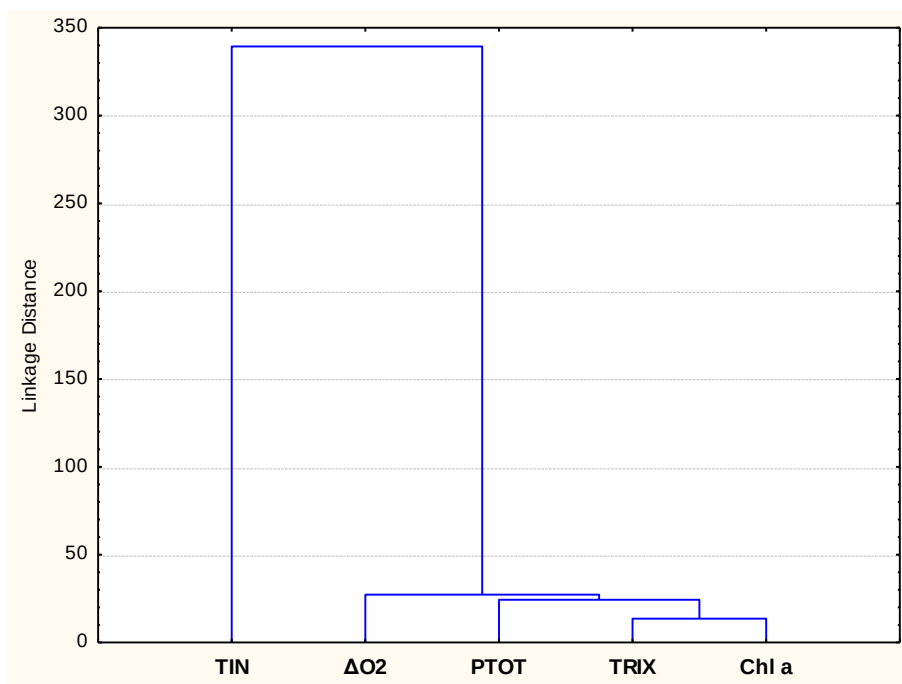


**Slika 31.** Klaster analiza za određivane parametre na postaji Kaštelanski zaljev



**Slika 32.** Klaster analiza za određivane parametre na postaji Podstrana

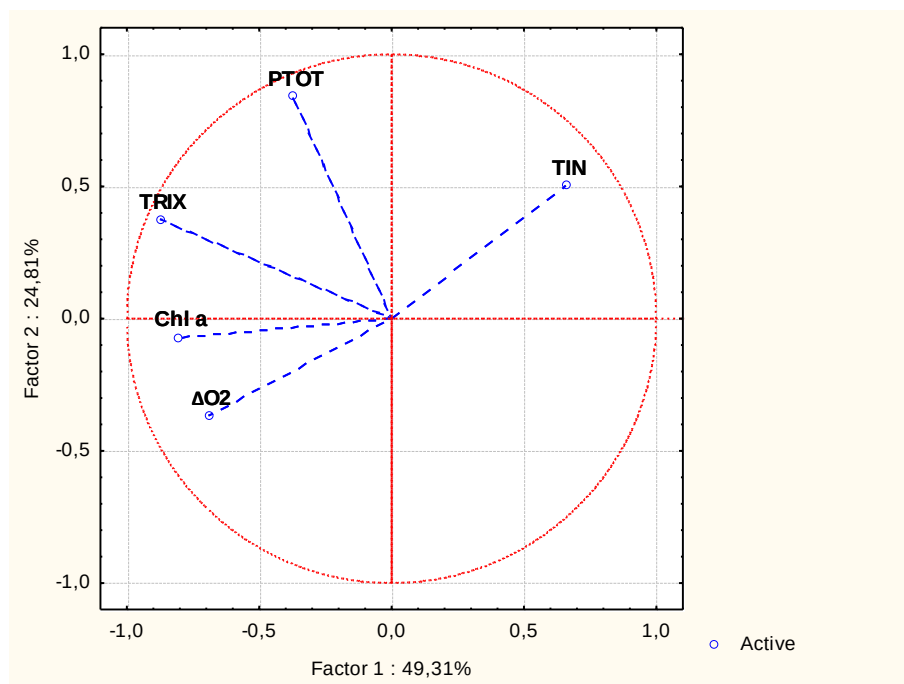




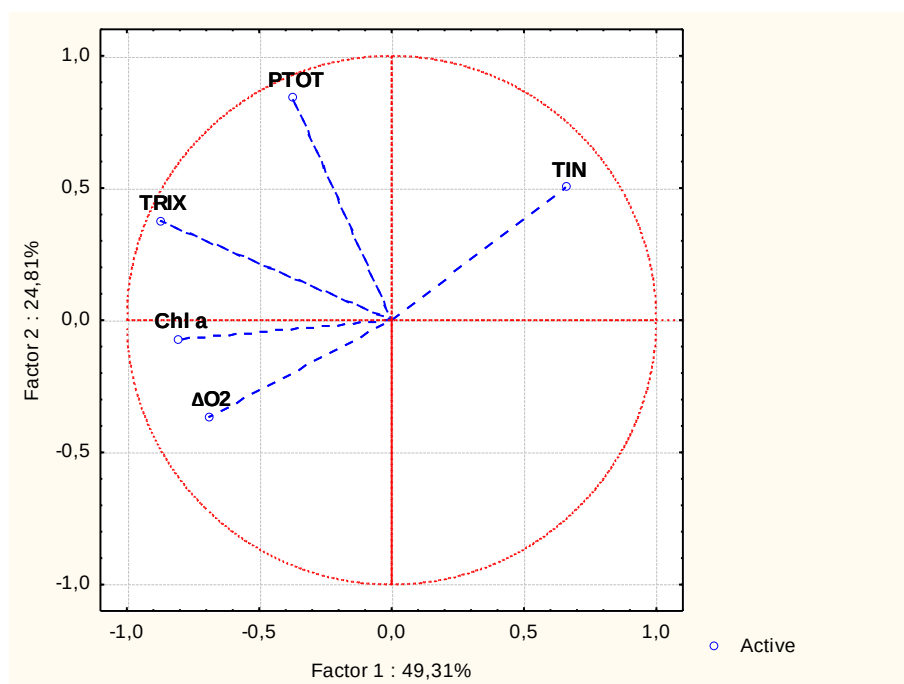
**Slika 33.** Klaster analiza za određivanje parametre na podrpostaji Pelješac

Rezultati Klaster analize potvrdili su podatke dobivene Spearmanovom korelacijom. Vidimo da TRIX, klorofil i ukupni dušik rade jedan, odnosno dva klastera što ukazuje na najveću sličnost, tj. ovisnost među njima.

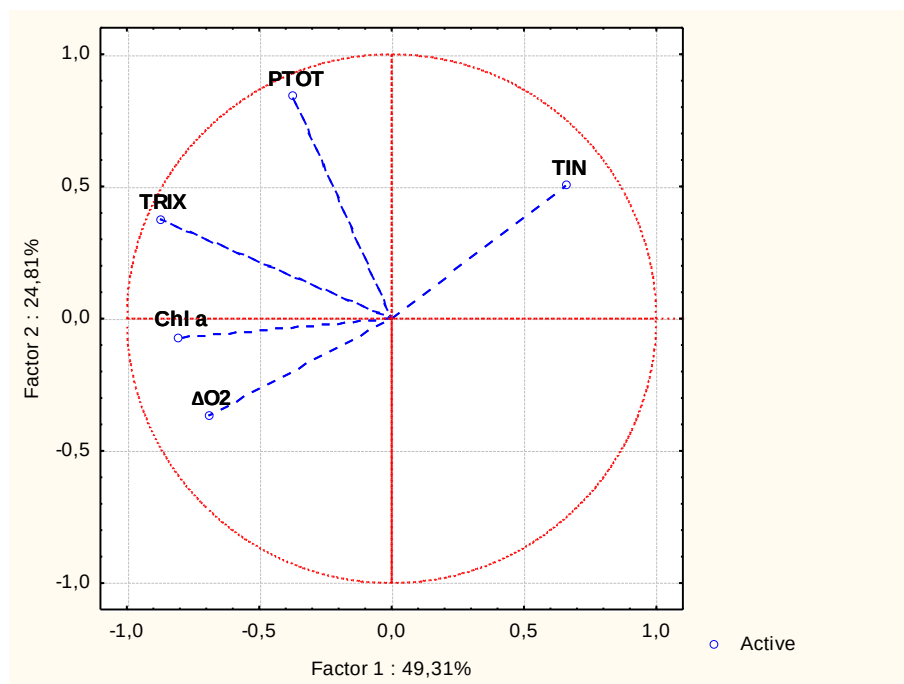
Dobivene rezultate potvrdila je i PCA analiza. Metoda glavnih komponenata – „Principal Component Analysis“ (PCA) uključuje matematičku proceduru koja transformira broj povezanih varijabli u manji broj nepovezanih varijabli, takozvane osnovne komponente. Prva komponenta (faktor) uključuje najviše broj varijabli koje se mogu povezati, a svaka iduća komponenta uključuje najviše broj preostalih varijabli.



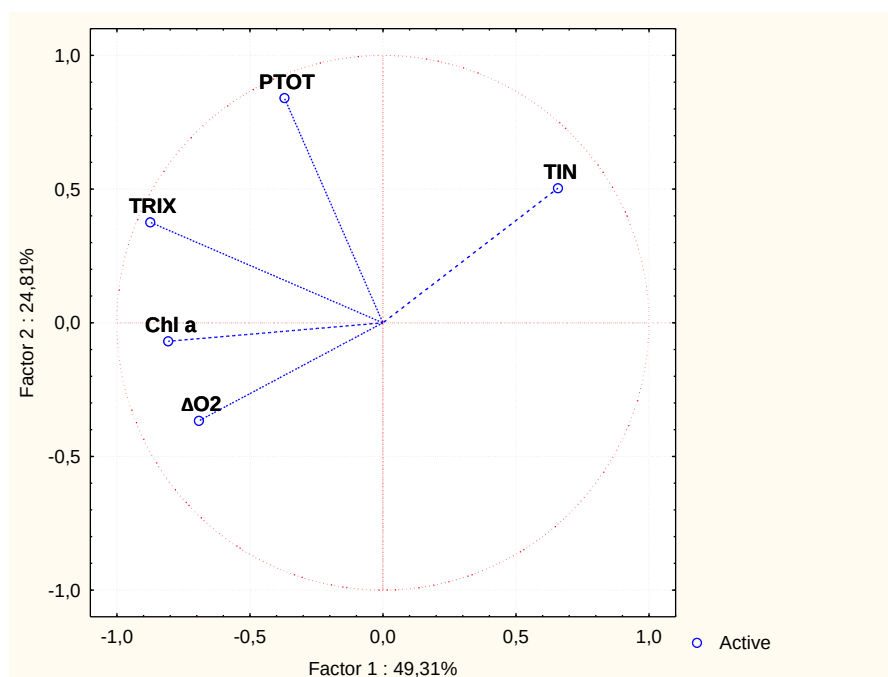
**Slika 34.** PCA analiza za određivanje parametre na postaji Dubrovnik



**Slika 35.** PCA analiza za određivanje parametre na postaji Kaštelanski zaljev



**Slika 36.** PCA analiza za određivanje parametre na postaji Podstrana



**Slika 37.** PCA analiza za određivanje parametre na postaji Pelješac

Iz dobivenih slika je vidljivo da na svim postajama na kojima su rađena mjerenja TRIX i ukupni fosfor čine jedan faktor, što ukazuje na njihovu sličnost, tj. međusobnu ovisnost. Isto je tako vidljivo da na svim postajama ukupni anorganski dušik čini zaseban faktor. Iz Slika. vidljivo je da su se PCA

analizom podaci grupirali u dvije skupine (dva faktora) koje ovise o različitim uvjetima pojavljivanja. Prvi faktor objašnjava 49,31% dobivenih podataka. Faktorom 2 je objašnjeno 24,81% dobivenih podataka.

#### **4. ZAKLJUČAK**

Rad se bavio prikazom onečišćenja mora u priobalju te načinom analize ekološkog stanja mora. Ocijenjeno je ekološko stanje mora u akvatoriju Dubrovnika, Kaštelskog zaljeva, Podstrane i Pelješca u periodu od ožujka do prosinca. Za ocjenu se koristio trofički indeks TRIX. Analiza dobivenih kemijskih i bioloških parametara ukazuje na variranje dobivenih podataka tijekom pojedinog doba godine, ali i s obzirom na promatranu lokaciju.

Na temelju dobivenih podataka za TRIX (Dubrovnik 3,4; Kaštelanski zaljev 3,6; Podstrana 3,3 i Pelješac 3,2) za more na ispitivanim postajama se može reći da je slabo produktivno te da se radi o oligotrofnom moru koje je produktivnije uz obalu i u području kanala. Također, karakterizira ga niska razina organske produkcije što je posljedica male količine hranjivih soli u vodi. Jadransko more je bistro i prozirno, a koncentracije otopljenog kisika su velike.

Iz podataka i njihove obrade je vidljivo da na svim postajama na kojima su rađena mjerenja TRIX i ukupni fosfor čine jedan faktor, što ukazuje na njihovu sličnost, tj. međusobnu ovisnost. Isto je tako vidljivo da na svim postajama ukupni anorganski dušik čini zaseban faktor. Iz obrade podataka vidljivo je da su se PCA analizom podaci grupirali u dvije skupine (dva faktora) koje ovise o različitim uvjetima pojavljivanja. Prvi faktor objašnjava 49,31% dobivenih podataka. Faktorom 2 je objašnjeno 24,81% dobivenih podataka.

## **5. LITERATURA**

1. Vidas, D., O zaštiti osobito osjetljivih europskih mora i potrebi regionalne suradnje u Jadranskome mogu, <http://www.ijf.hr/Eu4/vidas.pdf> (preuzeto 21.08.2017.)
2. Hrvatska i zaštićena morska područja: Procjena pravnog i institucionalnog okvira za očuvanje obalne i morske bioraznolikosti te uspostave Zaštićenih morskih područja, [http://www.rac-spa.org/sites/default/files/doc\\_medmpanet/final\\_docs\\_croatia/a.croatia\\_and\\_mpas\\_hr.pdf](http://www.rac-spa.org/sites/default/files/doc_medmpanet/final_docs_croatia/a.croatia_and_mpas_hr.pdf) (preuzeto 22.08.2017.)
3. Enciklopedija, <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=41900> (preuzeto 22.08.2017.)
4. Zakon o zaštiti okoliša, NN [80/13](#), [153/13](#), [78/15](#) (preuzeto 22.08.2017.)
5. Zaštita mora i morskog okoliša, <http://www.unidu.hr/datoteke/majelic/ZMMO-1-BS-N-.pdf> (preuzeto 22.08.2017.)
6. V. Jelavić, Ž. Kurtela, Raščlamba štetnog djelovanja broda na morski okoliš, "Naše more" **54**(5-6) (2007.), 2014-226
7. Udruga Sunce (2014) [Primjedbe ekoloških udruga na operativni plan i program istraživanja i eksploatacije ugljikovodika na Jadranu](http://www.podvodni.hr/more/prilozi/1518-primjedbe-ekoloskih-udruga-na-operativni-plan-i-program-istrazivanja-i-eksploatacije-ugljikovodika-na-jadranu), <http://www.podvodni.hr/more/prilozi/1518-primjedbe-ekoloskih-udruga-na-operativni-plan-i-program-istrazivanja-i-eksploatacije-ugljikovodika-na-jadranu> (preuzeto 24.08.2017.)
8. M. Šverko, M. Črnjar, Ž. Šverko Grdić, Ekonomski instrumenti u zaštiti mora od onečišćenja s kopna, EKONOMSKI PREGLED, **57** (7-8), (2006.), 490-517
9. Stanje eutrofikacije, [http://baltazar.izor.hr/azopub/indikatori\\_podaci\\_sel\\_detalji2?p\\_ind\\_br=4K03&p\\_godina=2007](http://baltazar.izor.hr/azopub/indikatori_podaci_sel_detalji2?p_ind_br=4K03&p_godina=2007) (preuzeto 22.08.2017.)
10. Eutrofikacija, [https://www.pmf.unizg.hr/download/repository/09\\_Eutrofikacija.pdf](https://www.pmf.unizg.hr/download/repository/09_Eutrofikacija.pdf) (preuzeto 24.08.2017.)



11. Stanković, B., Eutrofikacija, pomor ribe i stanje svesti, <http://noviput.rs/tu-oko-nas/eutrofikacija-pomor-ribe-i-stanje-svesti/> (preuzeto 24.08.2017.)
12. T. Kiørboe, H. Kaas, B. Kruse, F. Møhlenberg, P. Tiselius, G. Ærtebjerg, The structure of the pelagic food web in relation to water column structure in the Skagerrak. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **59** (1990) 19-32.
13. Uredba o standardu kvalitete voda (NN, br. 73/13, 151/14 i 78/15)
14. Kvantitativna ocjena ekološkog stanja prijelaznih, priobalnih i otvorenih voda, [http://baltazar.izor.hr/azopub/indikatori\\_podaci\\_sel\\_detalji2?p\\_id=172&p\\_opis=d&p\\_ind\\_tekst=d&p\\_prikaz\\_sli=&p\\_ind\\_br=1E01&p\\_godina=2008&p\\_definicija=d&p\\_pravni\\_okvir=&p\\_prikaz\\_graf=](http://baltazar.izor.hr/azopub/indikatori_podaci_sel_detalji2?p_id=172&p_opis=d&p_ind_tekst=d&p_prikaz_sli=&p_ind_br=1E01&p_godina=2008&p_definicija=d&p_pravni_okvir=&p_prikaz_graf=) (preuzeto 25.08.2017.)
15. Nixon, S. W. Coastal marine eutrophication: a definition, social causes and future concerns. *Ophelia*, **41** (1995.) 199-219
16. R. A. Vollenweider, F. Giovanardi, G. Montanari and A. Rinaldi, Characterization of the trophic conditions of marine coastal waters with special reference to the NW Adriatic Sea: proposal for a trophic scale, turbidity and generalized water quality index. *Environmetrics*, **9** (1998) 329-357.
17. G. Chiaudani, R. Marchetti and M. Vighi: Eutrophication In Emilia Romagna Coastal waters: a case history. *Prog. Water Technol.* **12** (1980) 185-192
18. R. E. Carlson, A trophic state index for lakes, *Limnology and Oceanography* **22**, (1977), 361-369
19. J. Gojdanić, Ocjena ekološkog stanja priobalnog mora prema trofičkom indeksu TRIX, Diplomski rad, Sveučilište u Splitu, Split, (2012) 2-22
20. Karakterizacija područja i izrada prijedloga programa monitoringa (2010), [http://www.voda.hr/sites/default/files/dokumenti/kip\\_2010\\_i\\_kip\\_kartice.pdf](http://www.voda.hr/sites/default/files/dokumenti/kip_2010_i_kip_kartice.pdf) (preuzeto 25.08.2017.)
21. R. Precali, Stanje eutrofikacije Jadranskog mora, Labin, 2014., [http://www.smb.hr/libraries/0000/6238/Kakvoca\\_naseg\\_mora\\_2014\\_0422.pdf](http://www.smb.hr/libraries/0000/6238/Kakvoca_naseg_mora_2014_0422.pdf) (preuzeto 25.08.2017.)
22. E. Hrutić, Aktivnost alkalne fosfataze u južnom Jadranu, [https://bib.irb.hr/datoteka/750753.HV\\_86\\_2013\\_365\\_Hrustic-3.pdf](https://bib.irb.hr/datoteka/750753.HV_86_2013_365_Hrustic-3.pdf) (preuzeto 25.08.2017.)

23. Okoliš na dlanu I – 2017.,  
[file:///C:/Users/Goga/Downloads/Okolis%20na%20dlanu\\_2017\\_web.p24](file:///C:/Users/Goga/Downloads/Okolis%20na%20dlanu_2017_web.p24).  
(preuzeto 27.08.2017.)

24. T. R. Parsons, Y. Maita and C. M. Lalli, A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis. Pergamon Press, Oxford, (1984): 173 pp

