

Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Biološki odsjek

Leana Zandona

**Utjecaj eutrofnih uvjeta na sadržaj fosfora
u sedimentu sjevernog Jadrana**

Diplomski rad

Zagreb, 2022.

University of Zagreb
Faculty of Science
Department of Biology

Leana Zandona

**Impact of eutrophic conditions on
phosphorus content in the northern
Adriatic sediment**

Master thesis

Zagreb, 2022.

Ovaj rad je izrađen u Centru za istraživanje mora u Rovinju, pod voditeljstvom izv. prof. dr. sc. Tamare Đakovac i suvoditeljstvom izv. prof. dr. sc. Petra Kružića. Predan je na ocjenu Biološkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu radi stjecanja zvanja magistre Ekologije i zaštite prirode.

ZAHVALE

Iznimno veliku zahvalnost želim izraziti svojoj mentorici izv. prof. dr. sc. Tamari Đakovac koja je prilikom izrade ovog rada, kao i ranije, kroz cijeli preddiplomski studij, pokazala prije svega ugodan, prijateljski pristup te da je izvrsna profesorica i mentorica. Hvala Vam na predloženoj temi, izdvojenom vremenu i strpljenju te svim korisnim savjetima i smjernicama koje su mi pomogle u izradi i doprinijele poboljšanju diplomskog rada. Hvala na podršci i ohrabrenju koje mi je bilo „vjetar u leđa“ u teškim trenucima te dodatna motivacija.

Zahvaljujem komentoru izv. prof. dr. sc. Petru Kružiću na pristupačnosti, brojnim zanimljivim predavanjima tijekom studija, ispravicima, savjetima oko polaganja diplomskog ispita te na vođenju cjelokupnog administrativnog procesa.

Hvala asistentici Andrei Budiša na pomoći oko laboratorijskog djela rada, analize sadržaja fosfora u sedimentu te objašnjenjima vezano za rad na spektrofotometru.

Hvala izv. prof. dr. sc. Sunčici Bosak čija predavanja iz statistike su mi puno pomogla oko izrade grafičkih prikaza te obrade i analize podataka.

Također, želim zahvaliti svim profesoricama i profesorima na prenesenom znanju, ogromnom trudu i strpljenju te na ukazanim ljepotama znanstvenog istraživanja, terenskog i laboratorijskog rada.

Zahvaljujem Centru za istraživanje mora (CIM) Rovinj na ustupljenim prostorijama i opremi za analizu sadržaja fosfora u sedimentu te djelatnicima na prikupljanju uzoraka i analizama hranjivih soli u vodenom stupcu koje su odrađene neposredno nakon uzorkovanja u laboratoriju na istraživačkom brodu „Vila Velebita“.

Hvala povjerenstvu na izdvojenom vremenu prilikom pregledavanja rada te savjetima i konstruktivnim kritikama.

Veliko hvala mojim dragim prijateljima i kolegama koji su uvijek bili uz mene, vjerovali i bodrili me, uljepšali i učinili posebnima ponekad vrlo stresne studentske dane. Hvala vam na predivnim trenucima, smijehu, druženjima...uz vas je sve bilo puno lakše.

Od srca neizmjereno hvala mojoj obitelji koja je uvijek vjerovala u mene, ohrabrivala me, upućivala na važnost učenja i uz čiju sam bezuvjetnu podršku savladala sve teškoće tijekom ovih godina studiranja. Bez vas ovaj uspjeh ne bi bio moguć.

Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Biološki odsjek

Diplomski rad

Utjecaj eutrofnih uvjeta na sadržaj fosfora u sedimentu sjevernog Jadrana

Leana Zandona

Rooseveltov trg 6, 10000 Zagreb, Hrvatska

Tema ovog rada je analiza i usporedba različitih područja prijelaznih i priobalnih voda u razdoblju od 2014. do 2020. godine na 10 postaja u sjevernom Jadranu. Za većinu od njih se pretpostavljalo da su više ili manje potencijalno izložene ekološkim perturbacijama uslijed pojačanih antropogenih učinaka. Analizirani su različiti kemijski i biološki parametri u vodenom stupcu (temperatura, salinitet, gustoća, sadržaj kisika, pH, koncentracije hranjivih soli i klorofila *a*, trofički indeks i prozirnost) te fosfor u sedimentu (sadržaj anorganskog, organskog i ukupnog fosfora). Usporedba istraživanih postaja na osnovu vertikalne raspodjele, analize godišnje raspodjele eutrofnih parametara vodenog stupca te pojedinih frakcija fosfora u sedimentu pokazala je da su postaje priobalnih voda u Limskom zaljevu, pulskoj luci, Bakarskom zaljevu i prijelaznih voda u blizini ušća rijeka Raše i Rječine značajno različite u odnosu na referentnu i postaju u riječkom zaljevu, naročito za trofički indeks. Nadalje, ustanovljen je trend porasta biološkog parametra klorofila *a* kao aproksimativne mjere za brojnost fitoplanktona tj. primarne proizvodnje tijekom čitavog istraživanog razdoblja na navedenim postajama s izrazitijim eutrofnim pritiskom što može ukazivati na intenzivnije antropogene aktivnosti. Usporedba izdvojenih eutrofnih parametara vodenog stupca i sadržaja fosfora u sedimentu pokazala je najznačajniju korelaciju između koncentracije klorofila *a* i ukupnog fosfora u sedimentu.

(101 stranica, 40 slika, 5 tablica, 83 literaturna navoda, jezik izvornika: hrvatski)

Rad je pohranjen u Središnjoj biološkoj knjižnici
Ključne riječi: hranjive soli, klorofil *a*, trofički indeks, fosfor, sjeverni Jadran

Voditelj: izv. prof. dr. sc. Tamara Đakovac
Suvoditelj: izv. prof. dr. sc. Petar Kružić

Ocjenitelji: izv. prof. dr. sc. Petar Kružić
izv. prof. dr. sc. Sunčica Bosak
izv. prof. dr. sc. Duje Lisičić

Rad prihvaćen: 30.06.2022.

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb
Faculty of Science
Department of Biology

Master thesis

Impact of eutrophic conditions on phosphorus content in the northern Adriatic sediment

Leana Zandona

Rooseveltova trg 6, 10000 Zagreb, Hrvatska

The focus of this paper is the analysis of different areas of transitional and coastal waters in the period 2014 - 2020 at 10 stations in the northern Adriatic. Most of them were assumed to be potentially exposed to ecological perturbations due to enhanced anthropogenic effects. Various chemical and biological parameters in the water column (temperature, salinity, density, oxygen content, pH, nutrients and chlorophyll *a*, trophic index and transparency) and sediment (inorganic, organic and total phosphorus content) were analyzed. Evaluation of the investigated stations based on the vertical distribution, and annual distribution of eutrophic parameters of the water column including individual phosphorus content in the sediment revealed that the coastal water stations in Bakar and Lim Bay, Pula Port, stations near the mouths of Raša and Rječina are significantly different to the reference station in the Gulf of Rijeka, especially for the TRIX. Furthermore, an increasing trend of the biological parameter (chlorophyll *a*) as an approximate measure for the primary production is found at stations with more pronounced eutrophic pressure, indicating more intense anthropogenic activities. Comparison of eutrophic parameters of the water column and the sediment phosphorus content showed significant correlation between the chlorophyll *a* and the total phosphorus in the sediment.

(101 pages, 40 figures, 5 tables, 83 references, original in: Croatian)

Thesis is deposited in Central Biological Library.

Keywords: nutrients, chlorophyll *a*, trophic index, phosphorus, northern Adriatic

Supervisor: Assoc. Prof. Tamara Đakovac, PhD

Co-supervisor: Assoc. Prof. Petar Kružić, PhD

Reviewers: Assoc. Prof. Petar Kružić, PhD

Assoc. Prof. Sunčica Bosak, PhD

Assoc. Prof. Duje Lisičić, PhD

Thesis accepted: 30.06.2022.

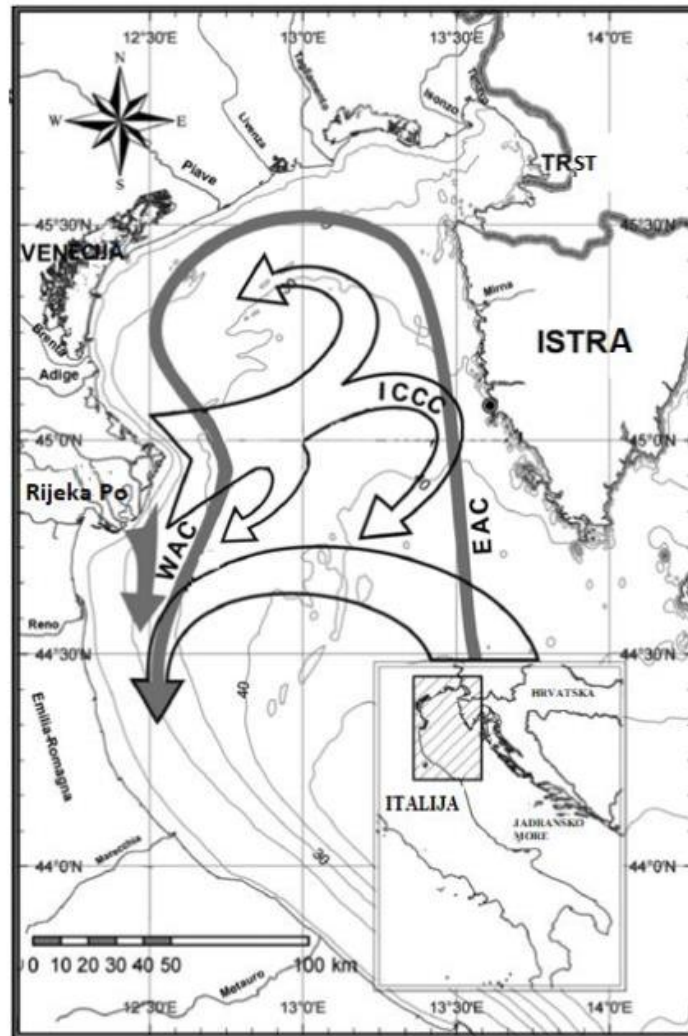
SADRŽAJ:

1. UVOD	1
1.1. Oceanografski uvjeti u sjevernom Jadranu	1
1.2. Definicija i karakteristike prijelaznih i priobalnih voda.....	2
1.3. Trofički status i eutrofikacija	4
1.4. Važnost fosfora u morskim ekosustavima	9
1.4.1. Biogeokemijski ciklus fosfora.....	11
1.4.2. Oblici i transformacije fosfora u vodenom stupcu	13
1.4.2.1. Otopljeni fosfor.....	14
1.4.2.2. Partikularni fosfor.....	15
1.4.3. Oblici i transformacije fosfora u sedimentu	16
2. CILJ ISTRAŽIVANJA	18
3. PODRUČJE UZORKOVANJA	19
4. MATERIJALI I METODE	20
4.1. Uzorkovanje i mjerenje parametara vodenog stupca i sedimenta	20
4.2. Analiza hranjivih soli	21
4.3. Analiza sadržaja fosfora u sedimentu.....	22
4.3.1. Analiza ortofosfata	23
4.4. Statistička obrada podataka	24
5. REZULTATI.....	26
5.1. Parametri u vodenom stupcu	26
5.1.1. Vertikalna raspodjela parametara u vodenom stupcu.....	26
5.1.2. PCA analiza pojedinih parametara u vodenom stupcu i fosfora u sedimentu	48
5.1.3. Godišnja raspodjela eutrofnih parametara u vodenom stupcu	51
5.1.4. Godišnja raspodjela pojedinih frakcija fosfora u sedimentu	55
5.1.5. Korelacija eutrofnih parametara u vodenom stupcu i pojedinih frakcija fosfora u sedimentu.....	57
6. RASPRAVA.....	65
7. ZAKLJUČCI	70
8. LITERATURA.....	71
9. PRILOZI.....	80
10. ŽIVOTOPIS	101

1. UVOD

1.1. Oceanografski uvjeti u sjevernom Jadranu

Jadransko more je rubni poluzatvoreni bazen istočnog Sredozemlja koji se proteže u smjeru sjeverozapad - jugoistok (Bolaños i sur., 2014). Obično se, na temelju morfoloških, bioloških i oceanografskih karakteristika dijeli na tri podregije: sjeverni, srednji i južni Jadran (Polimene i sur., 2006). Sjeverni Jadran je najplići dio (Giani i sur., 2012), a karakteriziraju ga dubine od nekoliko desetaka metara te se postupno povećavaju prema Jabučkoj (Srednjojadranskoj) kotlini, gdje je najveća dubina oko 280 metara. Hidrodinamika ovoga dijela Jadrana relativno je složena, a opća cirkulacija generirana je kombinacijom vjetrova, riječnih donosima i površinskim strujama. Zapadno-jadransku struju (WAC - Western Adriatic Current) formiraju donosi rijekom Po i drugi riječni tokovi te ona potiče i održava opću ciklonalnu cirkulaciju noseći hranjive soli u smjeru juga. S druge se strane, slaba, topla i oligotrofna istočno jadranska struja (EAC - Eastern Adriatic Current) kreće duž istočne obale prema sjeveru, a u dubljim se slojevima hladnija i gušća vodena masa kreće prema jugu. Batimetrijski kontrolirana struja tzv. istarska obalna protustruja (ICCC - Istrian Coastal Countercurrent) duž 50 m izobate, ponovno cirkulira EAC u WAC (Poulain i sur., 2001; Slika 1). Od proljeća do sredine jeseni u području sjevernog Jadrana vodeni je stupac raslojen kombinacijom slatkovodnog donosa i zagrijavanjem površine mora, dok je zimi homogen uslijed hladnog sjeveroistočnog vjetrova (bure) koji uzrokuje intenzivno miješanje i stvaranje guste vode. Utjecaj opterećenja hranjivim solima iz talijanskih rijeka izraženiji je duž zapadnih i sjevernih obalnih područja, protežući se i u razdoblje raslojenosti vodenog stupca, ali i zatvaranja cirkulacije na veća područja, pa čak i do suprotne obale (Degobbis i sur., 2000; Cozzi i Giani, 2011). Ovi procesi zajedno s remineralizacijom održavaju visoku primarnu proizvodnju. Nasuprot tome, u istočnom, više oligotrofnom dijelu, manji je utjecaj riječnih donosa, pa su tako i procesi remineralizacije organske tvari važniji od vanjskih unosa. Kombinirani učinci antropogenog utjecaja i regionalnih klimatskih promjena uzrokuju modifikacije fizikalnih i kemijskih oceanografskih karakteristika sjevernog Jadrana i utječu na njegovu biotu (Giani i sur., 2012).

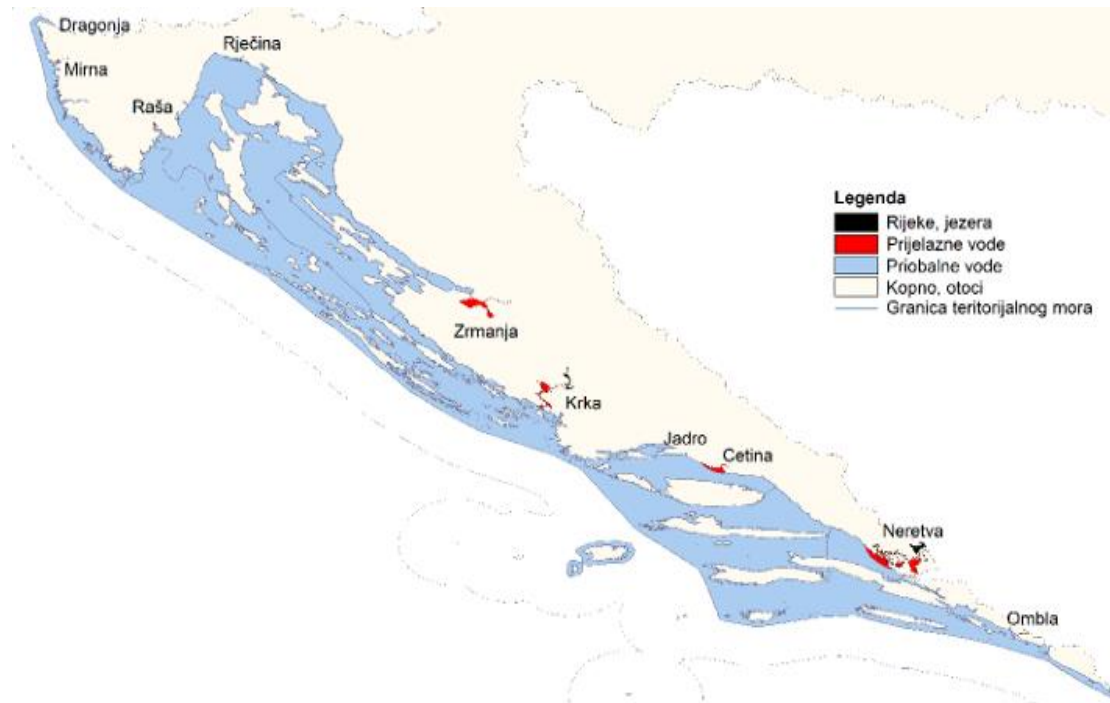


Slika 1. Obrasci cirkulacije u sjevernom Jadranu. EAC - Eastern Adriatic Current (istočno jadranska struja); WAC - Western Adriatic Current (zapadno jadranska struja); ICC - Istrian Coastal Countercurrent (istarska obalna protustruja; preuzeto i prilagođeno prema Djakovac i sur., 2012).

1.2. Definicija i karakteristike prijelaznih i priobalnih voda

Prijelazne i priobalne vode su dio ekosustava koji se nalazi u neposrednom doticaju mora s kopnom, tj. gdje su utjecaji kopna na more najznačajniji (Precali i sur., 2008; Slika 2). Prema Zakonu o vodama (Narodne novine, broj 66/19 i 84/21) prijelazne vode definiraju se kao površinske vode u blizini ušća u more, koje su djelomično slane zbog blizine priobalnih voda, ali se nalaze pod znatnim utjecajem slatkovodnih tokova. Priobalne su vode ovim zakonom definirane kao površinske vode unutar crte udaljene jednu nautičku milju od polazne linije od

koje se mjeri širina voda teritorijalnog mora u smjeru pučine, a u smjeru kopna protežu se do vanjske granice prijelaznih voda.



Slika 2. Položaj prijelaznih i priobalnih voda Jadranskog vodnog područja (preuzeto: Kušpilić i Precali, 2014).

Prema ODV (Okvirna direktiva EU-a o vodama), za karakterizaciju tipova vodnih tijela površinskih voda postoji mogućnost izbora između sustava A i B. Sličnost ovih sustava je u tome što sadrže iste obvezne čimbenike/deskriptore: zemljopisni položaj, salinitet te raspon plime i oseke (za prijelazne vode), odnosno dubina (za priobalne vode). Sustavi se razlikuju po tome što A propisuje kako će vodna tijela biti prostorno karakterizirana (ekoregije) s naglaskom na specifične deskriptore, dok sustav B, osim što nema ove preporuke, dozvoljava upotrebu izbornih deskriptora koji se mogu primjenjivati prema željama pojedine zemlje kao i nadopuniti ostalim čimbenicima koji nisu napomenuti u ODV. U Hrvatskoj je za određivanje tipova površinskih voda odabran sustav B (Kušpilić i Precali, 2010).

Prema Planu upravljanja vodnim područjima, prijelazne vode su one vode čiji je raspon saliniteta od 0,5 do više od 20 PSU (Practical Salinity Unit) te se dijele na 3 tipa: oligohaline (0,5 - 5 PSU), mezohaline (5 - 20 PSU) i polihaline (>20 PSU) vode. Prema tipu supstrata

dijele se na one sa sitnozrnatim (>50% mulja), odnosno krupnozrnatim (<50% mulja) sedimentom. S obzirom na raspon plime i oseke, srednji raspon prijelaznih voda u hrvatskom dijelu Jadranskog mora je manji od 2 metra, što znači da se radi isključivo o mikroplimnom tipu voda. Zajednička karakteristika prijelaznih voda Jadranskog vodnog područja je pojava izražene vertikalne raslojenosti vodenog stupca obzirom na salinitet, na koncentraciju hranjivih soli, udio kisika, te na sastav planktonskih zajednica. Raslojenost vodenog stupca javlja se zbog relativno male amplitude morskih mijena čija energija nije dovoljna da bi proizvela značajnije vertikalno miješanje. Debljina gornjeg slatkog sloja je promjenjiva i prvenstveno ovisi o protoku rijeke, karakteristikama riječnog korita te o sinoptičkim situacijama (Kušpilić i sur., 2011).

Priobalne vode čine područje između kopna i mora te uključuju važna staništa koja pružaju mnoge usluge ekosustava za ljude, no pritisak koji stvaraju ljudske aktivnosti, nagomilava se i često je izvan kapaciteta obalnih voda (Komatsu i sur., 2019). Prema Planu upravljanja vodnim područjima, ove se vode s obzirom na salinitet mogu podijeliti na polihaline (<35 PSU) i euhaline (>35 PSU), a prema dubini se dijele u dvije klase: plitke vode s dubinom do 40 metara i duboke vode s dubinom većom od 40 metara. Što se tiče sastava supstrata, u priobalnim vodama, uz kamenito dno, nalazimo dvije klase supstrata, sitnozrnati i krupnozrnati tip sedimenta. Sa ciljem smanjenja negativnog utjecaja na ova područja provode se razne studije o metodama upravljanja obalnim vodama (Komatsu i sur., 2019).

1.3. Trofički status i eutrofikacija

Trofički status ili produktivnost vodenih ekosustava može se definirati kao ukupna težina živog biološkog materijala (biomase) proizvedenog u vodnome tijelu po jedinici vremena i površine (Beiras, 2018). Pod trofičkim statusom podrazumijeva se biološki odgovor na opterećenje vodenih ekosustava hranjivim tvarima (Carlson i Simpson, 1996), prvenstveno dušikom i fosforom, iako ovi elementi nisu jedini faktori koji određuju trofičko stanje istih (Nixon, 1995). Na temelju trofičkog statusa vodna se tijela mogu podijeliti na ona niske biološke produktivnosti - oligotrofna, srednje produktivnosti - mezotrofna, visoke produktivnosti - eutrofna i ona prekomjerne biološke produktivnosti - hipereutrofna (Nixon, 1995).

Procjena trofičkog statusa morskih ekosustava povijesno se temeljila na mjerenjima glavnih elemenata (anorganski i organski N i P), organske tvari i koncentracije klorofila-a koji se koriste kao aproksimativni parametar za biomasu u vodenom stupcu (Coelho i sur., 2007) te kombinacijama biotičkih i abiotičkih varijabli (Vollenweider i sur., 1998). Međutim, promjene u trofičkom statusu morskog ekosustava nisu samo povezane s povećanjem primarne proizvodnje, već mogu imati i posljedice na različitim hijerarhijskim razinama organizacije ekosustava (Lotze i sur., 2006). Primjerice, povećana primarna proizvodnja može se povezati s nakupljanjem velikih količina detritalnog organskog materijala te dovesti do promjena u biokemijskom sastavu i bioraspoloživosti hrane za heterotrofe (Pusceddu i sur., 2009). Štoviše, u plitkim morskim ekosustavima, gdje hidrodinamički uvjeti mogu mijenjati strukturu i biologiju vodenog stupca u vrlo kratkim vremenskim intervalima, procjena trofičkog statusa samo pomoću varijabli izmjerenih u vodenom stupcu može dovesti do zavaravajuće klasifikacije (Izzo i sur., 1997; Dell'Anno i sur., 2002). Stoga, morski sedimenti koji se nalaze ispod plitkih voda mogu se smatrati svojevrsnim „zapisničarima“ bioloških procesa koji se odvijaju u vodenom stupcu (Dell'Anno i sur., 2002).

Trofički indeks (TRIX) tj. indeks eutrofikacije definiran je s četiri varijable koje su u snažnoj korelaciji s primarnom proizvodnjom, a to su: klorofil *a* (Chl *a*), zasićenost kisikom (saturacija O₂), ukupni anorganski dušik (DIN) i ukupni fosfor (TP). TRIX je usvojen u talijanskom nacionalnom zakonodavstvu a predložili su ga Vollenweider i sur., 1998. kako bi se okarakteriziralo trofičko stanje sjeverozapadnog dijela Jadranskog mora, točnije stanje morskih voda duž obalnog područja Emilia-Romagna. TRIX pridaje numeričku vrijednost (mjeru) stupnju eutrofikacije priobalnih voda prema izrazu:

$$\text{TRIX} = (\text{Log}_{10} [\text{ChA} \cdot \text{aD}\% \text{O} \cdot \text{DIN} \cdot \text{TP}] - k) \cdot m$$

Gdje je:

ChA = koncentracija klorofila *a* u $\mu\text{g/L}$;

aD%O = devijacija u % od zasićenja kisikom;

DIN = koncentracija ukupnog anorganskog dušika,
N-(NO₃+NO₂+NH₄) u $\mu\text{g/L}$;

TP = koncentracija ukupnog fosfora u $\mu\text{g/L}$.

k = -1.5

m = 10/12 = 0,833

Parametri k i m služe za podešavanje trofičke skale od 0 do 10 TRIX jedinica.

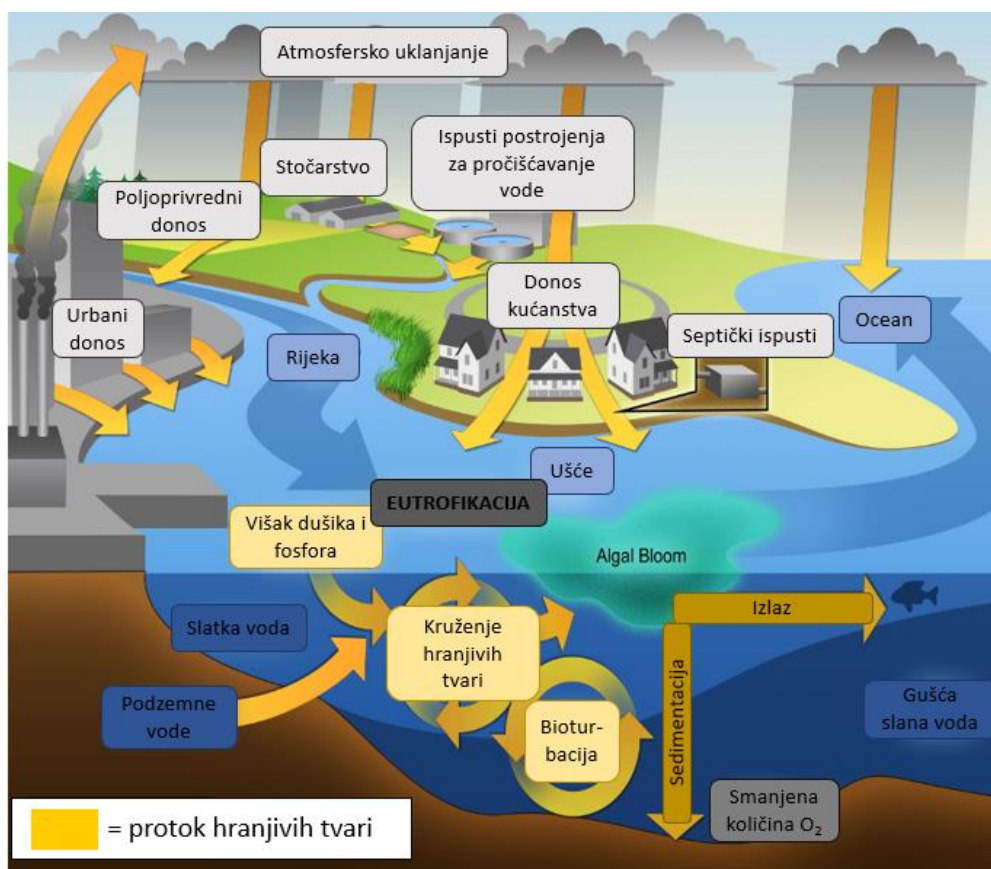
TRIX pokriva širok raspon trofičkih uvjeta, od oligotrofije do eutrofije a primjenjiv je na obalne morske vode. TRIX vrijednosti se kreću od 0 do 8 gdje 0 označava ekstremne oligotrofne uvjete, dok 8 označava ekstremne eutrofne uvjete (Fiori i sur., 2016). Prema Yamada i sur., 1980. te Chiaudani i sur., 1982. izrađena je tablica klasifikacije priobalnog mora s obzirom na stupanj eutrofikacije (Tablica 1) koja je nadopunjena klasifikacijom na osnovi trofičkog indeksa (TRIX) iz talijanskog zakona o vodama (Vollenweider i sur., 1998; Precali, 2014).

Tablica 1. Klasifikacija priobalnog mora s obzirom na stupanj eutrofikacije (prema Yamada i sur., 1980 i Chiaudani i sur., 1982; Uredba o standardu kakvoće voda (NN 73/13)). Tablica je nadopunjena klasifikacijom na osnovi trofičkog indeksa (TRIX) iz talijanskog zakona o vodama. Skraćenice: zSd - prozirnost (m), γ (O_2/O_2') - udio zasićenja kisikom, c - koncentracija, TIN - ukupni anorganski dušik ($\mu\text{mol L}^{-1}$), TP - ukupni fosfor ($\mu\text{mol L}^{-1}$), Chla - klorofil a ($\mu\text{g L}^{-1}$), Trix - trofički indeks, p. - površinski sloj, d. - pridneni sloj (preuzeto: Precali, 2014).

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

Eutrofikacija se može definirati kao proces promjene nutritivnog statusa danog vodnog tijela povećanjem nutrijenata odnosno povećanim unosom hranjivih tvari (prvenstveno N i P) u određeno vodno tijelo (Richardson i Jørgensen, 1996). Do eutrofikacije dolazi prirodnim

procesima, ali ona može biti i posljedica antropogenih aktivnosti (Slika 3). Prirodno se javlja npr. uslijed „upwellinga“ u područjima gdje lokalni hidrografski uvjeti dovode do prijenosa duboke vode bogate hranjivim tvarima u površinske vode osiromašene hranjivim tvarima (Richardson i Jørgensen, 1996). Osim procesima „upwellinga“ koji su ograničeni na neka područja, prirodni uzroci eutrofikacije povezani su s promjenama u režimu puhanja vjetra te cirkulacije vode (Richardson i Jørgensen, 1996). Do tzv. kulturne eutrofikacije dolazi kada je opskrba hranjivim tvarima rezultat antropogenih aktivnosti (npr. nepravilnim i/ili neadekvatno tretiranim ispuštom otpadnih voda u more, ispiranjem poljoprivrednih površina opterećenim umjetnim gnojivima i površina farmi i slično; Beiras, 2018).



Slika 3. Prikaz različitih putova unosa hranjivih tvari u obalne vode i procesa koji dovode do eutrofikacije (preuzeto i prilagođeno prema <http://www.vliz.be/projects/iseca/en/science-for-all/what-is-eutrophication.html>)

Bilo da se radi o prirodnoj ili antropogenoj eutrofikaciji, utjecaj na ekosustav u kojemu se događa je isti. Naime, kulturna eutrofikacija sama po sebi nije štetna. Zabilježeni su slučajevi povećane produktivnosti mora povezane s antropogenim obogaćivanjem hranjivim tvarima

što zapravo može biti pozitivno s gledišta ribarstva budući da dovodi do povećanja biomase ribe. Najneposredniji učinak eutrofikacije u morskom ekosustavu je povećanje biomase primarnih proizvođača odnosno biljnih organizama (fitoplanktona). Taloženjem organskog materijala povećava se dostupnost hrane za bentoske organizme što rezultira promjenama u biomasi bentosa. Povećanjem organskog materijala u pelagičkom i bentoskom sustavu, povećava se dostupnost hrane za ribe što može rezultirati povećanjem biomase ribe (Richardson i Jørgensen, 1996). Ovu fazu eutrofikacije Gray 1992. naziva „fazom obogaćivanja“, a neki su autori (npr. Larsson i sur., 1985; Tatara, 1991) povećanje prinosa ribarstva pripisivali upravo antropogenoj eutrofikaciji.

Stimulacija biljne biomase koja može nastati eutrofikacijom ima potencijalne posljedice za protok energije i može uzrokovati promjenu ravnoteže prirodnih procesa u ekosustavu (Richardson i Jørgensen, 1996). Budući da su nitrati i fosfati u normalnim granicama bezopasni za organizme, važno je napomenuti da je zapravo višak primarne proizvodnje, a ne višak hranjivih tvari uzrok ekološke neravnoteže. Kulturna eutrofikacija često se odvija u tako velikim razmjerima da su prekoračeni normalni mehanizmi kontrole spomenutih procesa te u tom slučaju govorimo o hipereutrofikaciji (Beiras, 2018). Povećana fitoplanktonska biomasa koja je posljedica takve eutrofikacije može uzrokovati i sekundarne učinke na ekosustav. Takvi učinci uključuju smanjenje dubine do koje svjetlost može prodrijeti u vodeni stupac, a time i smanjenje dubinske raspodjele i promjena u sastavu bentoskih fitoplanktonskih organizama, što potencijalno utječe na protok energije u cijelom ekosustavu (Richardson i Jørgensen, 1996). Dakle, eutrofikacija može odigrati važnu ulogu u određivanju hoće li višim trofičkim razinama u danom ekosustavu dominirati tržišna riba ili npr. meduza (Greve i Parsons, 1977). Drugi, sekundarni učinak hipereutrofikacije je intenzivno cvjetanje štetnih vrsta fitoplanktona što može ugroziti/smanjiti brojnost riba, školjkaša te ostalih organizama i slično (Beiras, 2018). Najozbiljniji i najrašireniji sekundarni učinak prekomjerne eutrofikacije je hipoksija odnosno smanjena koncentracija kisika u vodenom stupcu. Povećana biljna proizvodnja povećava isporuku organskog materijala na dno taloženjem, a mikrobnim procesi povezani s raspadanjem ovog organskog materijala troše kisik uzrokujući smanjenje koncentracije kisika u okolnim vodama. U ekstremnim slučajevima može doći i do anoksije odnosno do potpunog nedostatka kisika. U takvim je uvjetima proizvodnja sumporovodika u sedimentu znatno pojačana, a na dnu mora mogu se stvoriti prostirke bakterija koje reduciraju sumpor (Richardson i Jørgensen, 1996). S obzirom na trofički status, sjeverni Jadran ima mezotrofne (srednja produktivnost) do eutrofne (visoka produktivnost) karakteristike, dok

srednji i južni dio pokazuju izrazita oligotrofna obilježja (Polimene i sur., 2006). Zapadnu obalu sjevernog Jadrana karakterizira rijeka Po koja predstavlja glavni donos hranjivih soli s kopna (Degobbis i Gilmartin, 1990; Zavatarelli i sur., 2000), dok je istočna obala nepravilna, obilježena brdovitim istarskim poluotokom te brojnim otocima i uvalama (Bolaños i sur., 2014).

Za procjenu stupnja eutrofikacije u morskim sredinama kao što je sjeverni Jadran uzima se koncentracija klorofila *a* i koncentracija ukupnog fosfora. Koncentracija hranjivih soli može također poslužiti kao kriterij eutrofikacije, ali poželjno je uzeti u obzir samo površinske vrijednosti koje se mogu direktno korelirati s vanjskim donosom, dok u dubljim slojevima mogu biti važniji ostali procesi (npr. sedimentacija, regeneracija, desorpcija iz sedimenta). Pridnene hipoksije ili anoksije mogu biti uzrokovane fizičkim uvjetima, te pridneno zasićenje kisikom ne može biti glavni čimbenik u određivanju stupnja eutrofikacije, već se može koristiti jedino u kombinaciji s ostalim parametrima.

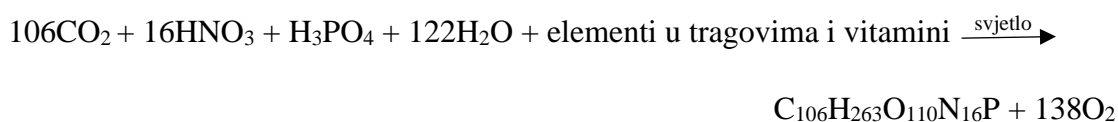
1.4. Važnost fosfora u morskim ekosustavima

Fosfor (P) je esencijalna hranjiva tvar, strukturna i funkcionalna komponenta svih organizama (Paytan i McLaughlin, 2007). Ključni je element temeljnih biokemijskih reakcija s obzirom na to da je sastavni dio genetskog materijala (DNA, RNA) i molekula ATP-a značajnih za prijenos energije, te strukturna potpora organizama budući da se nalazi u sastavu membrana (fosfolipidi), zubima i kostima (biomineralni hidroksiapatit; Ruttenberg, 2003). U nekim organizmima može biti prisutan i u obliku unutarstaničnih granula za skladištenje polifosfata (Paytan i McLaughlin, 2007).

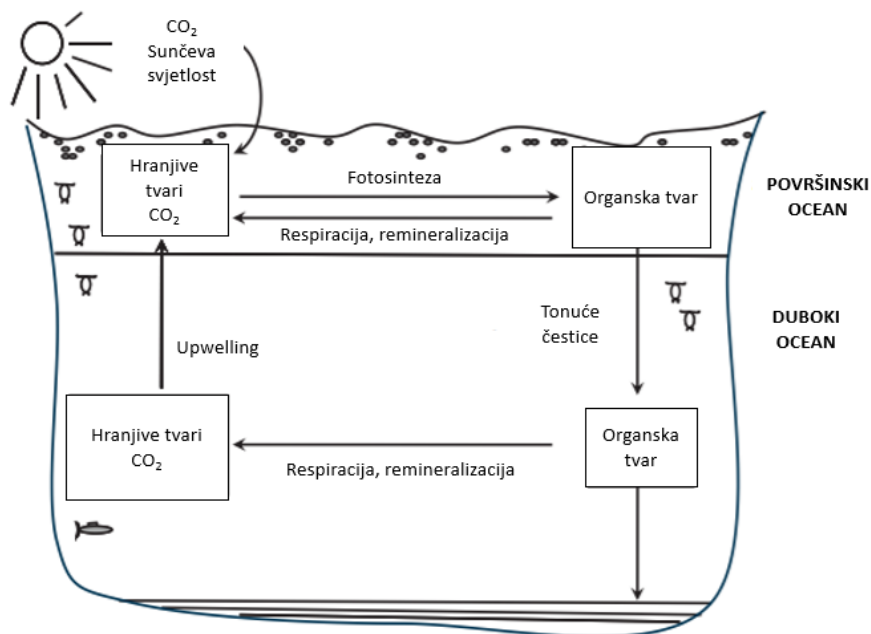
Fotosintetski organizmi koriste otopljeni fosfor, dušik i silicij koji predstavljaju hranjive soli (ortofosfate, nitrate, nitrite, amonijeve soli i ortosilikate) za izgradnju svojih tkiva te proizvodnju organske tvari uz pomoć ugljičnog dioksida, sunčeve energije i mikroelemenata. Stoga, biološka produktivnost dijelom ovisi o dostupnosti svih hranjivih soli, a naročito fosfora ovim jednostavnim organizmima koji čine osnovu prehrambene mreže u kopnenom i vodenom ekosustavu (Ruttenberg, 2003). Dakle, dostupnost P može utjecati na stope primarne proizvodnje u oceanu, kao i na distribuciju vrsta i strukturu ekosustava (Paytan i McLaughlin, 2007; Jonca, 2012).

Posljednjih je godina uočeno da je uloga P kao ograničavajuće hranjive tvari u oceanu puno češća nego što se mislilo, a općenito je prihvaćeno da je ortofosfat (PO_4^{3-}) ograničavajući nutrijent u istočnom Sredozemlju (Krom, 2004; Paytan i McLaughlin, 2007), a naročito limitirajući u sjevernom Jadranu (Degobbis i sur., 2000). Za razliku od dušika, P se ne može ukloniti iz atmosfere (Paytan i McLaughlin, 2007), a s obzirom na dugi period zadržavanja u oceanu u usporedbi s drugim potencijalno bio-ograničavajućim hranjivim tvarima i elementima u tragovima, poput silicija i željeza, P se često smatra krajnjom ograničavajućom hranjivom soli u morskim ekosustavima (Van Cappellen i Ingall, 1994., 1996; Tyrrell, 1999).

Fosfor u obliku ortofosfata igra ključnu ulogu u fotosintezi (primarnoj proizvodnji) a jednadžba koja prikazuje ovaj proces može se napisati kao:



Stoga, dostupnost P u morskim sustavima može znatno utjecati i na ugljikov ciklus i sekvestraciju atmosferskog ugljičnog dioksida kroz tzv. „biološku pumpu“ odnosno proces kojim se ugljik iz eufotske zone odvodi u dublje dijelove oceana prvenstveno kao tonući partikularni materijal (npr. uginuli organizmi ili feces). Međutim, dio ugljika dopijeva u dubinu kao otopljena organska tvar (DOM - dissolved organic matter) fizičkim transportnim procesima kao što su miješanje, vrtložna difuzija i „downwelling“, te u obliku minerala kalcijevog karbonata. Procesi remineralizacije ili razgradnje vraćaju dio organskog ugljika u otopljeni ugljični dioksid, a organske oblike P, kao i ostalih nutrijenata u njihove anorganske oblike (Slika 4). Na taj se način hranjive tvari unutar vodenog stupca regeneriraju i ponovno postaju dostupne organizmima. Novi ugljik fiksiran tijekom fotosinteze koji se zatim odvodi iz eufotske zone poznat je kao „izvozna proizvodnja“ te može utjecati na globalnu klimu kroz vezivanje atmosferskog ugljičnog dioksida u duboke dijelove oceana (Paytan i McLaughlin, 2007).

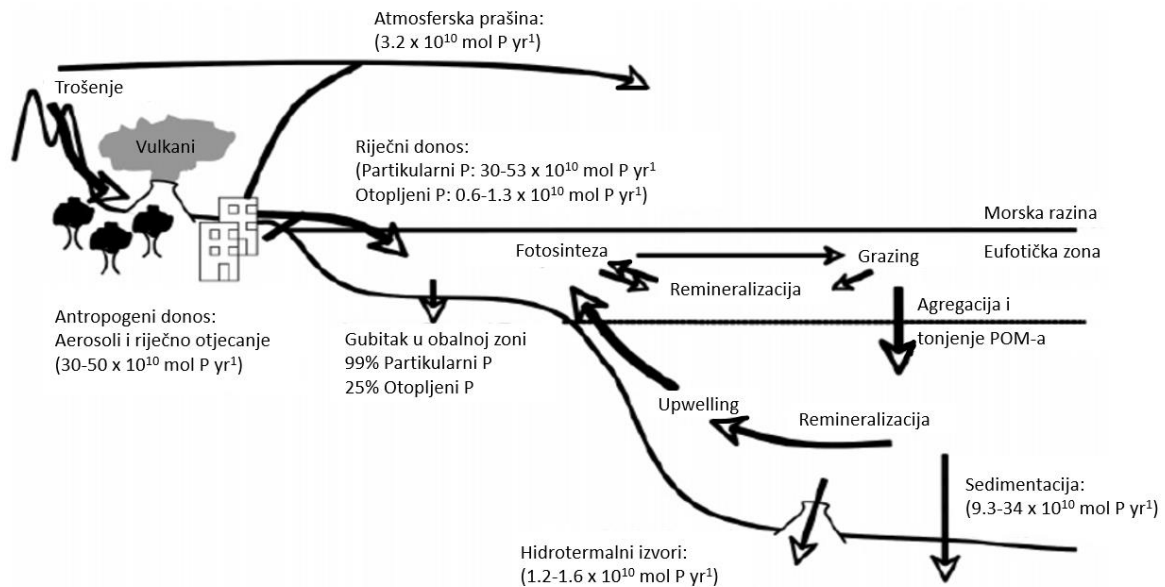


Slika 4. Biološka pumpa (preuzeto i prilagođeno prema De La Rocha i Passow, 2014).

1.4.1. Biogeokemijski ciklus fosfora

Biogeokemijski ciklusi, poznati i kao ciklusi hranjivih tvari, opisuju kretanje kemijskih elemenata kroz različite medije poput atmosfere, hidrosfere, litosfere i biosfere (François i Goddérís, 2001).

Ciklus fosfora, za razliku od ciklusa ugljika i dušika, nema značajnu atmosfersku fazu. Unutar litosfere, fosfor se nalazi u obliku fosfata (PO_4^{3-}) u tristotinjak prirodnih minerala među kojima je apatit ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$) daleko najzastupljeniji (Ruttenberg, 1993; Fölmi, 1996). U Zemljinoj kori najviše fosfora sadržano je u sedimentima i sedimentnim stijenama, od kojih je mali dio pohranjen u gospodarskim naslagama, prvenstveno iskopanim za upotrebu u industriji gnojiva (Schenk i Jackson, 2002). Fosfor se izdvaja iz podloge otapanjem minerala koji sadrže ovaj element, a otapanje je potaknuto izloženosti minerala kiselinama u prirodi koje potječu uglavnom iz mikrobne aktivnosti. S vremenom fosfat postaje dostupan kopnenim biljkama za vršenje fotosinteze i proizvodnju organske tvari te ulazi u hranidbene lance (Ruttenberg, 2003). Povratak fosfora u sustav tla kreće razgradnjom biljne tvari odnosno smrću organizama na višim trofičkim razinama i njihovom razgradnjom (Jahnke, 2000).



Slika 5. Ciklus fosfora i putovi unosa u morsku sredinu (preuzeto i prilagođeno prema Paytan i McLaughlin, 2007).

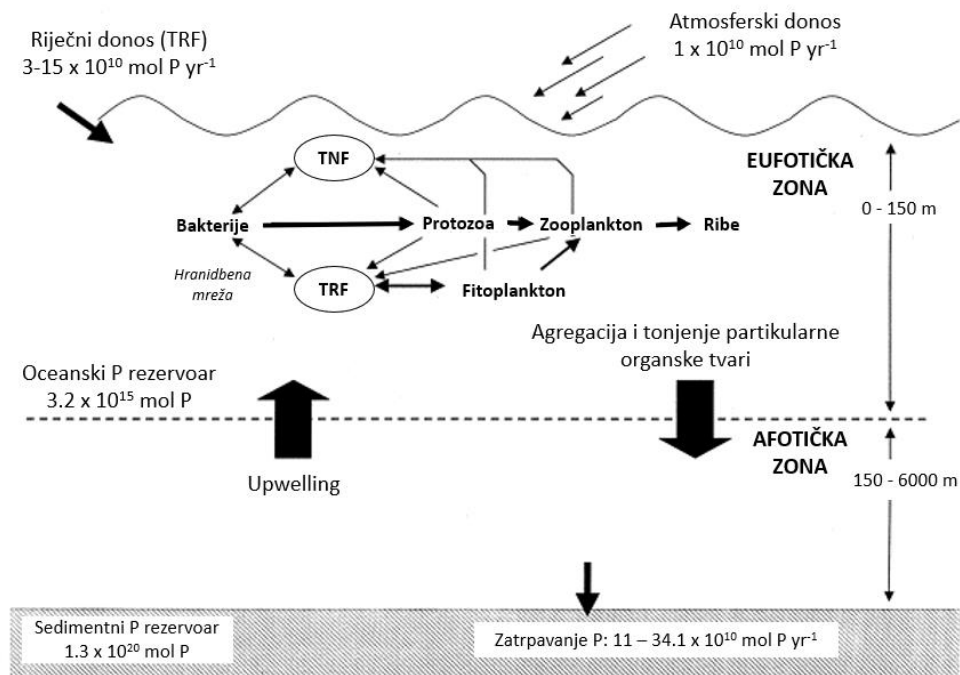
Transport fosfora iz kontinenta u ocean prvenstveno se odvija riječnim otjecanjem, a riječni fosfor potječe od istrošenih kontinentalnih stijena, sedimentnih naslaga i razgradnje organskih tvari (Slika 5). Manji dio isporučuje se u ocean atmosferskim taloženjem aerosola, vulkanskog pepela i mineralne prašine osobito na udaljenim oceanskim lokacijama (Benitez-Nelson, 2000; Ruttenberg, 2003; Paytan i McLaughlin, 2007). Najviše fosfora kojega rijeke isporučuju u ocean je u obliku čestica koje se vrlo brzo talože uz obalu, točnije u području kontinentalnog šelfa (Benitez-Nelson, 2000). Međutim, dio ulazi u otvoreni ocean u obliku otopljenog anorganskog i organskog fosfora (Canfield i sur., 2005). Naime, fosfor u njegovom najjednostavnijem obliku, u obliku otopljenog ortofosfata, apsorbiraju fotosintetski organizmi u površinskim vodama. Zatim fosfat putuje kroz hranidbeni lanac do zooplanktona, riba i drugih organizama na višim trofičkim razinama. Dio fosfata izlazi iz hranidbenih lanaca ekskrecijom i ugibanjem predatora (ptica) i pohranjuje se u obliku guana. Na područjima bogatim guanom kasnije se vrši eksploatacija minerala te njihova pretvorba u umjetna gnojiva, nakon čega se poljoprivrednim aktivnostima P vraća na kopno. Veliki dio organskog P se nakon uginuća fitoplanktonskih organizama remineralizira u površinskim vodama te ponovno postaje dostupan za primarnu proizvodnju, dok se drugi dio spušta u duboke dijelove oceana potonućem organske tvari gdje se ponovno mineralizira u anorganski P. Takav se P

može vratiti u površinske vode jedino putem „upwellinga“ ili biti vezan za katione (Al^{3+} , Ca^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+}) te dugo pohranjen kao mineral u stijinama i sedimentima (Canfield i sur., 2005; Jonca, 2012). Smatra se da je ukop P u sediment glavni put uklanjanja ovog elementa iz oceana (Delaney, 1998; Benitez-Nelson, 2000). U slučaju sedimentacije P, samo ga geološki procesi mogu ponovno vratiti u ciklus (Jonca, 2012).

1.4.2. Oblici i transformacije fosfora u vodenom stupcu

Ukupni P (TP - total phosphorus) u oceanu je nejednako podijeljen između dvije frakcije odnosno između **otopljenog** (DP - dissolved phosphorus) i **partikularnog P** (PP - particulate phosphorus). Naime, u većini morskih ekosustava količine DP-a uvelike premašuju one PP-a (Karl i Björkman, 2015). Ove se frakcije analitički određuju filtracijom kroz filtere čije su pore promjera 0.2 ili 0.45 μm . Unutar svake frakcije (otopljene i partikularne), P može biti u obliku **anorganskih** (ortofosfat PO_4^{3-} , pirofosfat $\text{P}_2\text{O}_7^{4-}$, polifosfat PO_4 i minerala koji sadrže fosfate) ili **organskih** (P-esterei, P-diesteri, fosfonati) spojeva. Otopljena frakcija koja prolazi kroz filter uključuje anorganski P obično u obliku ortofosfata, organske spojeve fosfora i makromolekularni koloidni P. Partikularni P uključuje čestice koje ne prolaze kroz filter kao što su živi i mrtvi plankton, talozi fosfornih minerala, P adsorbiran na čestice i amorfni fosforni oblici (Paytan i McLaughlin, 2007).

Organske i anorganske čestice, kao i otopljeni oblici P prolaze kroz kontinuirane transformacije. Fitoplankton asimilira otopljeni anorganski P (DIP - dissolved inorganic phosphorus) koji metaboličkim procesima transformira u organske spojeve P. Fitoplanktonom se zatim hrani zooplankton koji preuzima veliki dio organskog P te ga izlučuje kao otopljeni anorganski (DIP) i organski P (DOP - dissolved organic phosphorus). DIP i DOP se također oslobađa u vodeni stupac i prilikom razgradnje fitoplanktonskih stanica. DIP biva ponovno asimilirani od strane fitoplanktona, dok se neki od spojeva DOP-a mogu hidrolizirati enzimima koje sintetiziraju bakterije te potom asimilirati. Veći dio ovog ciklusa i ovih transformacija događa se u gornjem stupcu vode, no može se odvijati u cijelom vodenom stupcu (Paytan i McLaughlin, 2007) (Slika 6; Slika 7).



Slika 6. Oblici fosfora u vodenom stupcu (preuzeto i prilagođeno prema Benitez-Nelson, 2000).

1.4.2.1. Otopljeni fosfor

Najveći dio otopljenog fosfora u oceanu zauzima **topljivi reaktivni fosfat - TRF** (engl. SRP - soluble reactive phosphate) definiran kao otopljena frakcija P koja u kiseloj otopini reagira sa molibdatnim ionima stvarajući fosfomolibdatni kompleks, koji nakon redukcije s askorbinskom kiselinom tvori obojeni molibdatni kompleks plave boje. TRF se prvenstveno sastoji od ortofosfata (HPO_4^{2-}) (~87%) odnosno osnovnog oblika otopljenog anorganskog fosfora (DIP) i malog postotka fosfatnog iona (PO_4^{3-}) čija zastupljenost ovisi o pH, ali može sadržavati i neke lako hidrolizirajuće anorganske i organske oblike P (Paytan i McLaughlin, 2007). TRF u oceanu pokazuje „trend hranjivih tvari“ budući da se fosfat u površinskim vodama iscrpljuje zbog intenzivnog biološkog preuzimanja, a koncentracije rastu s dubinom kao rezultat regeneracije organskih oblika P u DIP (Ruttenberg, 2003; Paytan i McLaughlin, 2007). U dubokim se vodama također opaža povećanje koncentracije DIP-a s povećanjem starosti spomenutih voda zbog kontinuiranog nakupljanja organskih spojeva koji tonu i njihove regeneracije (Paytan i McLaughlin, 2007) (Slika 6).

Topljivi nereaktivni fosfat - TNF (engl. SNP - soluble non-reactive phosphate) otopljena je frakcija koja ne reagira s molibdatnim ionima, a određena je razlikom između ukupnog otopljenog P (TDP - total dissolved phosphorus), zabilježenog nakon razgradnje u kiseloj otopini, i TRF-a (Benitez-Nelson, 2000; Ruttenberg i sur., 2003; Paytan i McLaughlin, 2007). Prvenstveno se sastoji od otopljenih spojeva organskog P (DOP - dissolved organic phosphorus) kojeg čine proteini, ugljikohidrati, lipidi i molekularno neobilježena frakcija, ali sadrži i anorganske polifosfate (Benitez-Nelson, 2000; Paytan i McLaughlin, 2007). Za razliku od TRF-a koji se iscrpljuje u površinskim vodama zbog intenzivnog biološkog unosa, TNF odnosno njegova glavna komponenta (DOP) nastaje u površinskom oceanu gdje se nalazi većina morskih organizama koji sintetiziraju ove organske spojeve, što je glavni razlog visokih koncentracija DOP-a u ovome dijelu oceana. Veliki dio DOP-a u površinskom sloju bakterije hidroliziraju u DIP koji organizmi brzo preuzimaju i koriste, a samo se mali dio DOP-a prenosi u duboki ocean te se stoga njegova koncentracija smanjuje s dubinom (Paytan i McLaughlin, 2007; Slika 6).

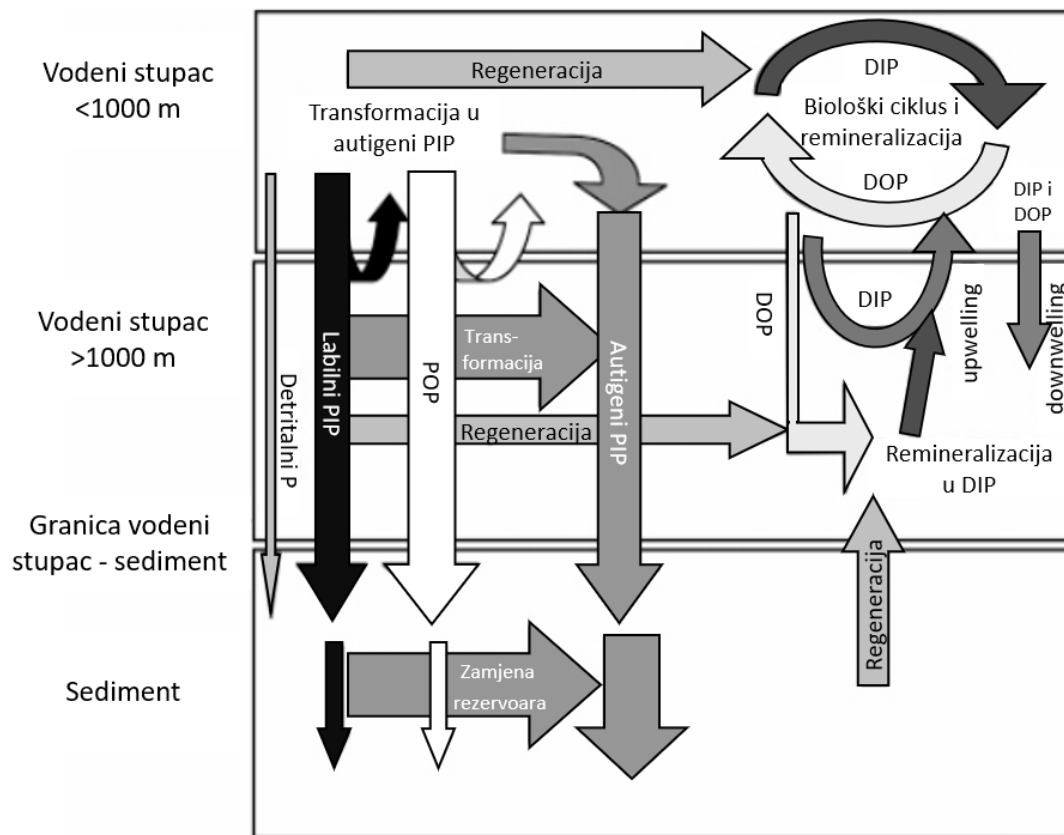
1.4.2.2. Partikularni fosfor

Partikularni organski P (POP - particulate organic phosphorus) čini najveći dio (~40%) ukupnog P u česticama organske tvari koje tonu, u odnosu na druge frakcije (Faul i sur., 2005). Te čestice prolaze kroz remineralizaciju prilikom poniranja u vodenom stupcu, dok zanemarivi dio (~1%) izbjegne regeneraciju i biva pasivno zakopan u sedimentima (Delaney, 1998).

Osim POP-a, tonuće čestice u manjoj mjeri sadrže **labilni anorganski P** (PIP - particulate inorganic phosphorus) (~21%) koji se oslobađa razgradnjom organske tvari u vodenom stupcu ili je vezan na čestice metalnih oksida i hidroksida (željeza, mangana, aluminijska) (Slika 7). Ove dvije fosforne frakcije zajedno sadrže ~60% ukupnog P u partikularnoj organskoj tvari, a smatra se da su dio onih čestica koje su prethodno bile povezane sa živim organizmima (Faul i sur., 2005).

Detritalni P, za razliku od POP-a i PIP-a, je nereaktivni oblik fosfora koji nije povezan s biogenim materijalom. Također je prilično značajan, a u ukupnom P zastupljen je ~13% (Faul i sur., 2005) (Slika 7).

Oblici P koji se isporučuju na granicu vodeni stupac - sediment mogu se regenerirati u ortofosfat, adsorbirati kao P povezan s metalnim oksidima i hidroksidima, ili precipitirati kao **autigeni P** (Faul i sur., 2005). P se oslobađa u pornu vodu kao rezultat mikrobne remineralizacije organske tvari i/ili mikrobne redukcije P povezanog sa česticama metalnih oksida i hidroksida što u konačnici rezultira nastankom **autigenog CFA - karbonatnog fluorapatita**. Zajedno sa POP-om i PIP-om, autigeni P se ubraja u komponentu reaktivnog P odnosno fosfora koji je ili je u nekom trenutku bio povezan sa živim (ili mrtvim) organizmima, ali ne mora nužno biti biorasploživ (Faul i sur., 2005; Slika 7).



Slika 7. Ciklus i transformacije otopljenog i partikularnog fosfora u vodenom stupcu i sedimentu (preuzeto i prilagođeno prema Paytan i McLaughlin, 2007).

1.4.3. Oblici i transformacije fosfora u sedimentu

Jedini način uklanjanja P iz oceana je „ukopavanje“ u morskim sedimentima (Froelich i sur., 1982; Ruttenberg, 1993; Delaney, 1998; Laarkamp, 2000). Za ukopavanje P u morskim sedimentima identificirana su tri primarna sedimentna ponora: P povezan s organskom tvari, P

adsorbiran na česticama ili povezan s metalnim oksidima ili hidroksidima te P u autigenom apatitu (Slika 7). Navedene frakcije spadaju u reaktivne oblike P s obzirom na to da većina P u tim frakcijama potječe iz organizama (biološko porijeklo) ili je barem u nekoj fazi bila dostupna za preuzimanje od strane organizama (Paytan i McLaughlin, 2007). Smatra se da je organski P (**P-ORG**) glavni prijenosnik P u morske sedimente te čini značajan udio (~25%) ukupnog P zakopanog u morskim sedimentima i stoga je važna komponenta ukupnog proračuna morskog P (Froelich i sur., 1982; Ruttenberg, 1993; Colman i Holland, 2000). Anorganske vrste P u sedimentu uključuju **labilno adsorbirani (izmjenjivi) fosfor (P-sorb)**, **fosfor vezan za željezne oksihidrokside (P-Fe)**, **fosfor vezan za autigeni apatit (P-AUT)** koji sadrži autigeni CFA, fosfor adsorbiran na mineralne površine i karbonate (npr. P inkorporiran s CaCO_3) i fosfor vezan u biogenom apatitu (P-FD) koji potječe iz tvrdih dijelova ribljeg materijala (riblje kosti, zubi, fragmenti ljusaka, vapnenački fitoplankton i slično) i **fosfor vezan u detritalnom apatitu (P-DET)** (Ruttenberg, 2003; Matijević i sur., 2008; Liao, 2020).

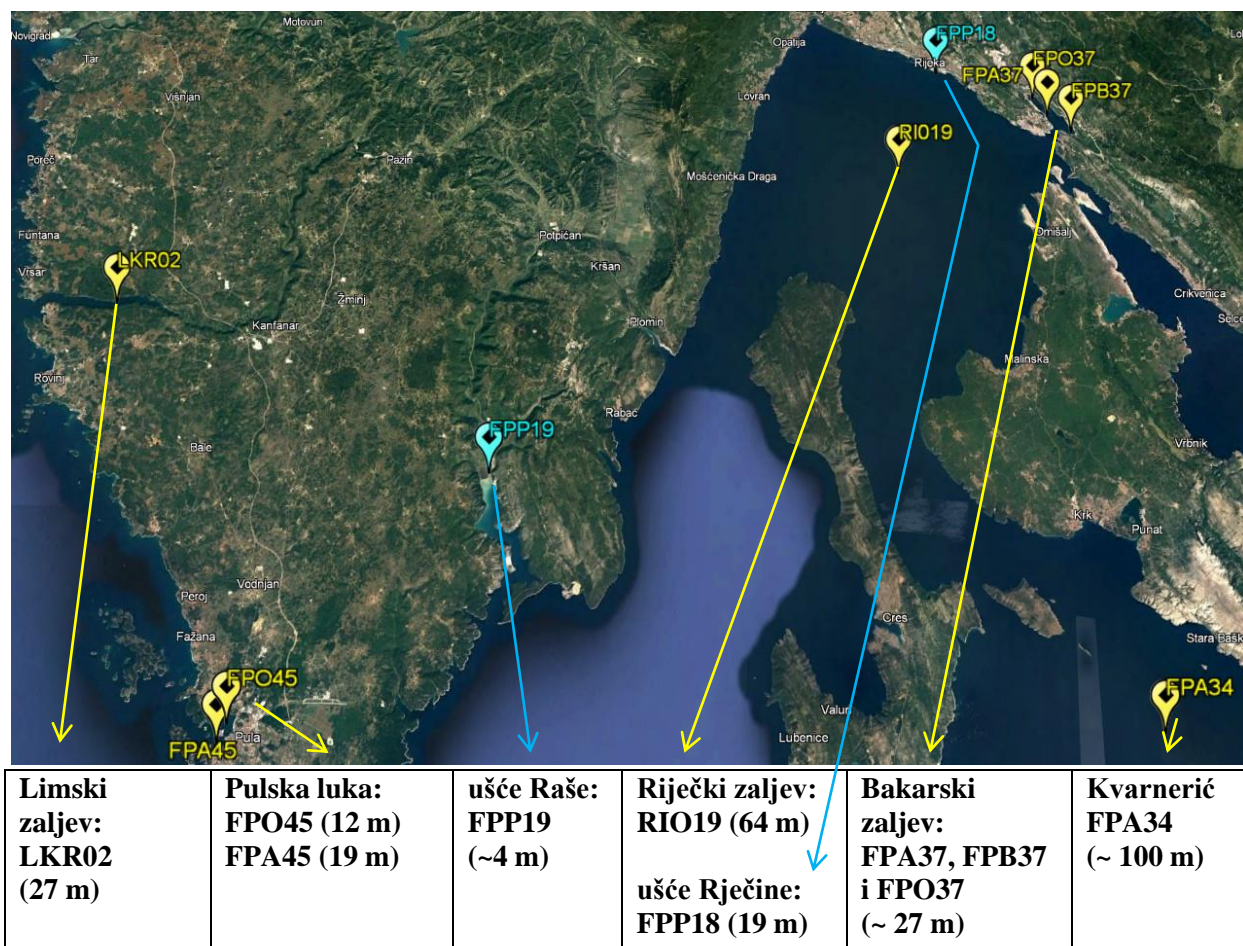
Na distribuciju fosfornih oblika u sedimentu uvelike utječu biološki okoliš (mikrobna razgradnja organske tvari, meiofaunalna bioturbacija i procesi bio navodnjavanja; Aller, 1994), te fizikalno-kemijska svojstva sedimenta; Sundby i sur., 1992; Canfield, 1994; Jensen i sur., 1995). Poznavanje raspodjele fosfornih oblika u vodenom stupcu, kao i u sedimentima vrlo je važno za razumijevanje dostupnosti i ekoloških učinaka P na morski okoliš (Matijević i sur., 2008). Sa ciljem pružanja detaljnijeg uvida u specijaciju i ponašanje P u morskom ekosustavu, razvijeno je nekoliko metoda za određivanje pojedinih fosfornih frakcija (Thompson i sur., 2019). Metoda prema Aspili i sur., (1976) koristi se za određivanje anorganskog i ukupnog P u sedimentima, te organskog P koji je dobiven iz njihove razlike.

2. CILJ ISTRAŽIVANJA

Cilj ovog rada je analiza i usporedba različitih područja prijelaznih i priobalnih voda u razdoblju od 2014. do 2020. godine na 10 pozicija u sjevernom Jadranu. Na devet od njih koje su više ili manje potencijalno izložene ekološkim perturbacijama uslijed pojačanih antropogenih učinaka, uz jednu referentnu, za koju se pretpostavlja da su one minimalne, analizirati će se različiti kemijski i biološki parametri u vodenom stupcu (temperatura, salinitet, gustoća, sadržaj kisika, pH, koncentracije hranjivih soli i klorofila *a* i prozirnost) i sedimentu (sadržaj anorganskog, organskog i ukupnog fosfora). Rezultatima analiza iz vodenog stupca procijeniti će se eutrofni status i klasificirati vodna tijela na temelju trofičkog indeksa (TRIX-a) tj. dobiti konkretan uvid u produktivnost ekosustava. Uz analizu koncentracije (ukupnog, anorganskog i organskog) fosfora u sedimentu na istim pozicijama pokušat će se objasniti je li na tim područjima došlo do intenziviranja primarne proizvodnje, i općenito promjene u koncentracijama hranjivih tvari kao direktne posljedice njihovog prekomjernog obogaćivanja, uglavnom fosfora (i dušika) iz kopnenih izvora, ali i donosom iz okolnih vodnih tijela.

3. PODRUČJE UZORKOVANJA

Terenski dio prikupljanja uzoraka morske vode i sedimenta obavljen je od strane djelatnika Centra za istraživanje mora, istraživačkim brodom „Vila Velebita“ u okviru redovitih monitoringa (CIM-a) u Rovinju, Instituta Ruđer Bošković, u razdoblju od 2014. do 2020. godine na 10 lokacija prijelaznih (2 postaje u blizini ušća rijeka; Raše - FPP19 i Rječine - FPP18) i priobalnih voda (ukupno 7 postaja; 3 u Bakarskom zaljevu - FPA37, FPB37 i FPO37, 1 u Riječkom zaljevu - RIO19, 2 u Pulskoj luci - FPO45 i FPA45, 1 u Limskom zaljevu - LKR02 te 1 u Kvarneriću - FPA34; Slika 8) sjevernog Jadrana. Ova posljednja navedena se izdvaja kao referentna s obzirom da su na njoj antropogeni utjecaji minimalni (CIM; baza podataka).



Slika 8. Karta istraživanih postaja s navedenim pojedinačnim dubinama (žuto su označene postaje priobalnih, a plavo prijelaznih voda).

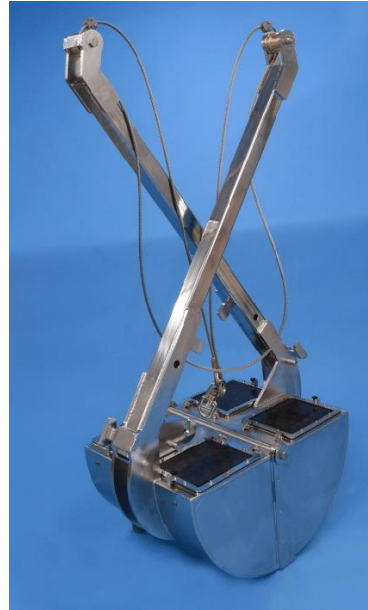
4. MATERIJALI I METODE

4.1. Uzorkovanje i mjerenje parametara vodenog stupca i sedimenta

Na navedenim lokacijama parametri temperature, saliniteta, gustoće, sadržaja kisika i koncentracije klorofila *a* dobivaju se spuštanjem multiparametarske sonde CTD - SeaBird-25, u vodenom stupcu od površine do dubine 2 m od dna (Slika 9 b). Ostali istraživani parametri (koncentracije hranjivih soli; ortofosfata, ukupnog fosfora, nitrata, nitrita, amonija i ortosilikata) dobivaju se uzorkovanjem iz 5 L Niskinovih crpaca (Slika 9 a) koji se spuštaju na točno definirane dubine u vodenom stupcu (0, 5, 10, 20 i 2 m od dna) nakon čega se odmah analiziraju u laboratoriju na brodu prema klasičnim oceanografskim metodama spektrofotometrijski (Parsons i sur., 1985). Prozirnost mora se određuje spuštanjem bijelo obojenog metalnog ili plastičnog diska promjera 30 cm (tzv. Secchi diska) u more sa strane broda koja je u sjeni do granice vidljivosti. Uzorci sedimenta u kojima se određuje sadržaj anorganskog, organskog i ukupnog fosfora, sakupljani su ručnim PVC korerima zahvatne površine 10 cm² od strane ronilaca (ukoliko je uzorkovanje grabilom bilo nemoguće obaviti), te Van Veenovim grabilom zahvatne površine 0,1 m² (Slika 10). Za potrebu tih analiza, od uzoraka iz koreri ili grabila odvojeni su samo površinski poduzorci sedimenta debljine od 0 do 2 cm, koji su potom zamrznuti i čuvani na temperaturi od -20°C. Zbog same metode koja onemogućava analizu na brodu, sadržaj fosfora u sedimentu sam odredila na kopnu u laboratoriju Centra za istraživanje mora, Instituta Ruđer Bošković u Rovinju; poglavlje 4.3.



Slika 9. a) Niskinov crpaci - alat za uzorkovanje morske vode (preuzeto: <https://www.google.com/search?q=5L+niskinov+crpac>) i b) CTD sonda (engl. Conductivity, Temperature, Depth) za mjerenje osnovnih oceanografskih parametara (preuzeto: <https://www.google.com/search?q=CTD+SeaBird25+multiparametarske+sonde>).



Slika 10. Alati za uzorkovanje sedimenta: a) ručni PVC korer (preuzeto: Travizi, A., 2016) i b) Van Veenovo grabilo (preuzeto: <https://www.google.com/search?q=Van+Veen+grabilo>).

4.2. Analiza hranjivih soli

S obzirom da smo na prvoj i drugoj godini preddiplomskog studija Znanost o moru Sveučilišta Jurja Dobrile u Puli imali kolegije vezane uz navedene analize, većinu sam metodologije savladala tijekom studija uz laboratorijski rad na uzorcima namijenjenima za to. Međutim, budući da se analize za dobivanje rezultata u mom radu obavljaju neposredno nakon uzorkovanja i u brodskim laboratorijima, koncentracije hranjivih soli u vodenom stupcu za navedeno razdoblje i na istraživanim postajama određene su od strane stručnih i znanstvenih djelatnika CIM-a korištenjem standardnih oceanografskih metoda prema Parsons i sur., (1985), a samo je za određivanje amonijevih soli korištena modificirana Solorzanova metoda (Ivančić i Degobbis, 1984). Analize su rađene na nefiltriranim uzorcima kako bi se izbjegla kontaminacija filtra, osim za one prijelaznih voda u kojima izrazite količine suspendirane tvari vidno zamućuju uzorak i praktički je nemoguće spektrofotometrijsko određivanje bez prethodnog filtriranja. Sve ove metode temelje se na reakcijama stvaranja obojenih kompleksa, a intenzitet obojenja koji je proporcionalan koncentraciji (c) hranjivih soli mjereno je spektrofotometrijski kao ekstinkcija (E) uzorka u odnosu na ekstinkciju deionizirane vode pri određenoj valnoj duljini. Za izračunavanje koncentracije hranjivih soli korišten je faktor proporcionalnosti ($F=c/E$) koji je određen mjerenjem ekstinkcije standardnih otopina na određenoj valnoj duljini prema formuli

$F=c_s/(E_s-E_b)$, u kojoj c_s predstavlja koncentraciju standarda, E_s ekstinkciju standarda, a E_b ekstinkciju slijepe probe. Kod analize uzoraka korišten je spektrofotometar Shimadzu UV-VIS 1800 (Slika 11) uz kvarcne kivete od 1, 5 i 10 cm.



Slika 11. Spektrofotometar Shimadzu UV-VIS 1800.

4.3. Analiza sadržaja fosfora u sedimentu

Određivanje ukupnog, anorganskog i organskog fosfora u sedimentu provedeno je prema Aspili i sur., (1976). Poduzorke koji su zamrznuti i čuvani na temperaturi od -20°C , prije daljnje analize koncentracije ukupnog i anorganskog fosfora u sedimentu, osušila sam postupkom liofilizacije te potom usitnila i prosijala na situ promjera pora $<250\ \mu\text{m}$. Od svakog osušenog, usitnjenog i prosijanog poduzorka odvagala sam oko 0,5 g sedimenta te prenijela u Erlenmeyerove tikvice za daljnje određivanje anorganskog fosfora. Za određivanje ukupnog fosfora, 1 g od svakog osušenog poduzorka stavila sam u lončiče za žarenje koje sam zatim odnijela na žarenje kroz 5 h na temperaturi od 550°C u peć za žarenje. Nakon žarenja, uzorke sam stavila na hlađenje u eksikator. Kad su se ohladili, od svakog sam žarenog poduzorka odvagala oko 0,5 g sedimenta i također prenijela u Erlenmeyerove tikvice. U svaku sam Erlenmeyerovu tikvicu s osušenim i žarenim poduzorkom sedimenta dodala 500 mL 1M HCl te sam iste odnijela na tresilicu kroz 18 h kako bi se uzorak ekstrahirao (Slika 12).



Slika 12. Erlenmeyerove tikvice s uzorcima na tresilici

Nakon ekstrakcije pipetirala sam supernatant (10 mL) i stavila u epruvetu za centrifugiranje na 400 rpm, 20°C oko 5 min. Potom sam iz svake epruvete mikropipetom izvukla 5 mL uzorka i razrijedila deioniziranom vodom do 50 mL. Nakon toga uzorci su bili spremni za analizu ortofosfata (Slika 13) prema klasičnim oceanografskim metodama (Parsons i sur., 1985) za što sam koristila Shimadzu spektrofotometar UV-VIS 1800.

4.3.1. Analiza ortofosfata

Koncentracija ortofosfata određuje se metodom opisanom od strane Murphya i Rileyja (1962), a zasniva se na stvaranju žutog fosfomolibdatnog kompleksa s amonijevim heptamolibdatom koji se uz prisutstvo antimonil tartarata u kiselom mediju reducira u plavo obojeni kompleksni spoj. Pripremljenom uzorku za određivanje sadržaja fosfora u sedimentu dodala sam 5 mL miješanog reagensa. Reagens se sastoji od jednog dijela amonij-heptamolibdata-tetrahidrata ($(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; 30 g L⁻¹), 2,5 dijela razrijeđene sulfatne kiseline (140 mL H₂SO₄ + 900 mL deionizirane vode), jednog dijela L(+) askorbinske kiseline (C₆H₈O₆; 54 g L⁻¹) i 0,5 dijela kalij-antimonil-tartarata (K(SbO)C₄H₄O₆ · ½H₂O; 1.36 g L⁻¹). Nakon 10-ak minuta od dodavanja reagensa, mjerila sam ekstinkciju plave boje pri valnoj duljini od 890 nm. Svi su

reagensi stabilni nekoliko mjeseci, jedino je askorbinsku kiselinu potrebno čuvati na -30°C . Faktor proporcionalnosti iznosi oko 5 za kivetu od 10 cm, a određuje se korištenjem standardne otopine bezvodnog monokalijevo fosfata (KH_2PO_4). Vrijednost ekstinkcije slijepe probe niža je od granice osjetljivosti metode. Preciznost metode iznosi $\pm 3\%$, a granica određivanja $0,03 \mu\text{mol L}^{-1}$.



Slika 13. Pripremljeni uzorci za analizu ortofosfata na spektrofotometru

Koncentraciju organskog fosfora u sedimentu dobila sam računski iz razlike koncentracija ukupnog i anorganskog fosfora tj. razlike koncentracije fosfora u sedimentu žarenog i sušenog uzorka.

4.4. Statistička obrada podataka

Svi podaci korišteni u ovom radu (i iz vodenog stupca i sedimenta) podvrgnuti su određenim statističkim analizama prema njihovoj ustanovljenoj distribuciji (CIM; baza podataka) te prikazani grafički i tablično. Osim toga, s obzirom na već ustanovljenu sezonsku raspodjelu oceanografskih podataka u sjevernom Jadranu (CIM; baza podataka), kako bi se uz bolju rezoluciju mogla opisati njihova vertikalna raspodjela u vodenom stupcu, grupirani su po sezonama. Da bih ispitala statističku značajnost razlike određenih parametara između postaja, budući da na osnovu prijašnjih saznanja krećem od hipoteze da u svom istraživanju koristim

uzorke postaja prijelaznih i priobalnih voda koje su međusobno više ili manje različite po svojim eutrofnim karakteristikama unutar sezona tj. parametrima koje ovdje prikazujemo, koristila sam Studentov t-test uspoređujući eufotske (prvih 10 m dubine odnosno za plitke postaje 0 ili 0-5 m) i pridnene slojeve istraživanih postaja po sezonama. Na temelju rezultata t-testa potvrdila sam navedenu hipotezu i zaključila da pojedine postaje, konkretno postaje u Bakarskom zaljevu (FPA37; FPB37; FPO37) mogu, u slučaju eutrofnih parametara iz vodenog stupca, grupirati zajedno budući da između njih nije ustanovljena statistički značajna razlika u niti jednoj sezoni tijekom istraživanog razdoblja. Zatim sam u programu Golden Software - Grapher12 napravila vertikalnu distribuciju parametara u vodenom stupcu, gdje sam Bakarske postaje, s obzirom na ustanovljenu međusobnu sličnost prema t-testu, prikazala grupirano zbog bolje rezolucije. Godišnju raspodjelu eutrofnih parametara u vodenom stupcu te pojedinih frakcija fosfora u sedimentu napravila sam u programu Microsoft Excel (Microsoft Office 2016). Kako bih ustanovila ovisnost parametara koji definiraju eutrofne uvjete u vodenom stupcu (ortofosfat - PO_4^{3-} , ukupni fosfor - TP, klorofil *a* - Chl *a* i trofički indeks - TRIX) i klasificiraju postaje prema tipu vode - prijelazne ili priobalne (na osnovu saliniteta) u odnosu na ukupni fosfor (TP) u sedimentu, napravila sam analizu glavnih komponenti (engl. principal components analysis - PCA) u programu PRIMER6 verzija 6.1.11, prije čega sam podatke potrebne za analizu normalizirala. Na kraju sam, da bih dodatno ustanovila postoji li povezanost eutrofnih parametara iz vodenog stupca s pojedinim frakcijama fosfora (ukupni fosfor - TP, anorganski fosfor - AP, organski fosfor - OP) u sedimentu u istraživanom razdoblju, napravila korelacijsku analizu u programu Microsoft Excel (Microsoft Office 2016).

5. REZULTATI

5.1. Parametri u vodenom stupcu

U ovom su radu analizirani rezultati iz vodenog stupca na temelju podataka prikupljenih u razdoblju 2014. - 2020. godine: temperatura t u $^{\circ}\text{C}$, salinitet, gustoća ρ u kg/m^3 , sadržaj otopljenog kisika u mL/L , udio zasićenja kisikom (saturacija O_2) u %, pH, koncentracije hranjivih soli ortofosfata PO_4^{3-} , ukupnog fosfora (TP), ukupnog anorganskog dušika (TIN-a) kao zbroj koncentracija nitrata NO_3^- , nitrita NO_2^- i amonija NH_4^+ , ortosilikata $\text{Si}(\text{OH})_4$ u $\mu\text{mol L}^{-1}$, klorofila a - Chl a u $\mu\text{g L}^{-1}$, omjer dušika i fosfora (N/P), trofički indeks (TRIX) i prozirnost u m kako bih mogla identificirati područja istraživanih postaja i ustanoviti da li među njima postoje sličnosti. Na osnovu statističke analize tj. Studentovog testa pojedine postaje pokazuju značajnu sličnost u vrijednostima gotovo svih parametara (Prilog, Tablice P1 - P12), pa se one za prikaz tih parametara mogu grupirati zajedno. Osim toga, s obzirom na već ustanovljenu sezonsku raspodjelu oceanografskih podataka u sjevernom Jadranu (CIM, baza podataka), kako bih uz bolju rezoluciju mogla opisati njihovu vertikalnu raspodjelu u vodenom stupcu, grupirala sam ih po sezonama (proljeće - P, ljeto - LJ, jesen - J i zima - Z).

5.1.1. Vertikalna raspodjela parametara u vodenom stupcu

Za grafički prikaz vertikalnih raspodjela, na temelju svih prikupljenih podataka izračunate su srednje vrijednosti parametara po uzorkovanim dubinama za svaku istraživanu pojedinačnu i grupirane postaje, za razdoblje od 2014. do 2020. godine (Slike 14 - 27 i Prilog, Slike P1 - P3), a vrijednosti njihovih osnovnih statističkih pokazatelja objedinjene su u Tablici 2, 3, 4 i 5. Treba napomenuti da su ti podaci grupirani prema eufotskom sloju (prosječna vrijednost u prvih 10 m dubine; kolokvijalno - površinski sloj) te pridnenom sloju (uzorak sakupljen na 2 m od dna) kako bi se mogle definirati korelacije pojedinih parametara između površinskih i pridnenog sloja sa sadržajem fosfora u sedimentu. Srednje vrijednosti pojedinih parametara s pratećim standardnim devijacijama po postajama i sezonama dati su u tablicama u prilogu (Prilog; Tablice P13 - P16).

Tablica 2. Prikaz srednjih vrijednosti istraživanih parametara u proljetnoj sezoni na pojedinačnim i grupiranim postajama za razdoblje 2014. - 2020. U stupcu TRIX obojane su vrijednosti prema klasifikaciji za oligotrofno (plavo), mezotrofno (zeleno) i eutrofno (narančasto) stanje. Kratice: t (°C) - temperatura; S·1 - salinitet; ρ (kg/m³) - gustoća; O₂ (ml/L) - sadržaj otopljenog kisika; saturacija O₂ (%) - udio zasićenja kisikom; pH; koncentracije hranjivih soli (μmol L⁻¹): PO₄³⁻ - ortofosfata; TP - ukupnog fosfora; TIN - ukupnog anorganskog dušika kao zbroj koncentracija NO₃⁻ - nitrata, NO₂⁻ - nitrita i NH₄⁺ - amonija; Si(OH)₄ - ortosilikata; N/P omjer - omjer dušika i fosfora; Chl a (μg L⁻¹) - koncentracija klorofila a; TRIX - trofički indeks; prozirnost (m). Vrijednosti TRIX-a su obojane prema klasifikaciji stupnja eutrofije (Tablica 1).

PROLJEĆE																		
Postaje	Dubine	t°C	S·1	ρ (kg/m ³)	O ₂ (ml/L)	Saturacija O ₂ (%)	pH	PO ₄ ³⁻ (μmol L ⁻¹)	TP (μmol L ⁻¹)	TIN (μmol L ⁻¹)	Si(OH) ₄ (μmol L ⁻¹)	N/P omjer	Chl a (μg L ⁻¹)	TRIX	Prozirnost (m)	NO ₃ ⁻ (μmol L ⁻¹)	NO ₂ ⁻ (μmol L ⁻¹)	NH ₄ ⁺ (μmol L ⁻¹)
FPA34	0	16,37	37,48	27,55	5,80	106,40	8,23	0,03	0,16	1,03	1,38	30,20	0,30	2,82	20	0,72	0,07	0,24
	5	15,35	37,83	28,06	5,83	104,80	8,24	0,03	0,16	0,61	1,38	20,94	0,24	2,51	20	0,31	0,06	0,23
	10	14,69	37,96	28,31	5,91	104,80	8,25	0,03	0,16	0,52	1,19	18,88	0,27	2,49	20	0,23	0,06	0,23
	97	11,26	38,53	29,47	5,57	92,60	8,23	0,05	0,19	1,73	3,34	38,57	0,28	3,24	20	1,33	0,15	0,26
FPA37; FPB37; FPO37	0	14,14	22,49	16,47	6,79	108,22	8,20	0,06	0,25	15,20	8,01	302,10	0,72	4,24	13	14,72	0,11	0,37
	5	14,03	37,34	27,98	6,29	110,06	8,25	0,03	0,19	1,33	1,32	52,71	0,31	3,25	13	1,04	0,08	0,21
	10	13,60	37,61	28,28	6,22	108,06	8,26	0,03	0,18	0,97	1,25	40,08	0,33	2,98	13	0,56	0,08	0,33
	26	12,57	37,98	28,78	6,08	103,61	8,26	0,04	0,20	1,11	1,33	35,27	0,48	2,80	13	0,75	0,09	0,26
FPA45	0	15,57	37,18	27,48	6,20	111,57	8,24	0,06	0,25	2,77	2,13	64,74	1,04	4,09	11	1,98	0,11	0,68
	5	14,34	37,86	28,30	6,06	106,86	8,26	0,03	0,20	1,03	1,30	36,65	0,63	3,32	11	0,53	0,07	0,43
	10	13,86	37,95	28,47	6,03	105,57	8,27	0,03	0,20	0,90	1,16	33,10	0,60	3,26	11	0,40	0,07	0,42
	17	13,19	38,08	28,72	5,88	101,57	8,27	0,06	0,23	0,82	1,42	24,58	0,69	3,06	11	0,35	0,07	0,40
FPO45	0	15,91	36,33	26,75	6,16	111,29	8,17	0,06	0,35	6,10	5,37	121,49	1,23	4,62	10	5,42	0,12	0,57
	5	14,52	37,88	28,27	6,19	109,71	8,26	0,05	0,23	1,11	1,32	34,76	0,68	3,45	10	0,65	0,07	0,39
	10	13,95	37,95	28,45	6,07	106,29	8,25	0,06	0,23	0,87	1,29	25,36	0,68	3,25	10	0,37	0,07	0,44
FPP18	0	13,50	26,12	19,42	6,47	104,40	8,25	0,05	0,23	7,25	5,03	150,39	0,29	3,70	15	6,71	0,08	0,46
	5	14,18	37,23	27,87	6,13	107,40	8,25	0,02	0,17	1,38	1,26	56,73	0,28	2,98	15	0,93	0,07	0,38
	10	13,63	37,56	28,24	6,12	106,40	8,26	0,02	0,18	1,04	1,28	44,02	0,30	3,07	15	0,46	0,08	0,49
	28	12,60	37,94	28,75	6,17	105,20	8,26	0,03	0,17	0,78	1,14	27,60	0,33	2,74	15	0,30	0,09	0,38
FPP19	0	14,56	2,43	1,01	6,98	99,57	7,70	0,26	0,33	47,30	70,17	216,02	1,05	5,01	1	45,50	0,51	1,29
	2	15,66	24,25	17,49	6,52	109,00	8,02	0,72	1,30	15,85	33,56	49,72	1,74	5,28	1	13,56	0,65	1,64
LKR02	0	14,32	34,29	25,55	6,04	104,00	8,06	0,04	0,24	7,52	9,29	234,58	0,56	3,83	12	6,73	0,10	0,69
	5	13,72	37,84	28,42	5,99	104,38	8,24	0,03	0,21	1,11	1,75	48,07	0,51	3,12	12	0,54	0,09	0,48
	10	13,61	37,91	28,50	6,08	105,75	8,25	0,05	0,22	0,80	1,66	30,46	0,58	3,13	12	0,36	0,09	0,35
	25	12,78	38,02	28,77	5,73	98,00	8,23	0,15	0,31	1,08	2,68	14,48	0,86	3,33	12	0,41	0,12	0,55
RIO19	0	16,15	36,92	27,17	5,92	107,67	8,23	0,04	0,19	1,36	1,60	45,76	0,25	3,10	16	0,96	0,08	0,32
	5	14,98	37,46	27,85	6,02	107,33	8,24	0,03	0,17	0,86	1,35	29,33	0,26	2,88	16	0,61	0,07	0,19
	10	13,99	37,86	28,39	6,17	108,00	8,25	0,02	0,18	0,51	1,31	21,06	0,25	2,69	16	0,27	0,05	0,18
	62	11,12	38,29	29,32	5,59	92,50	8,23	0,04	0,20	1,67	2,98	55,18	0,44	3,39	16	0,93	0,44	0,30

Tablica 3. Prikaz srednjih vrijednosti istraživanih parametara u ljetnoj sezoni na pojedinačnim i grupiranim postajama za razdoblje 2014. - 2020. U stupcu TRIX obojane su vrijednosti prema klasifikaciji za oligotrofno (plavo), mezotrofno (zeleno) i eutrofno (narančasto) stanje. Kratice: t (°C) - temperatura; S·1 - salinitet; ρ (kg/m³) - gustoća; O₂ (ml/L) - sadržaj otopljenog kisika; saturacija O₂ (%) - udio zasićenja kisikom; pH; koncentracije hranjivih soli (μmol L⁻¹): PO₄³⁻ - ortofosfata; TP - ukupnog fosfora; TIN - ukupnog anorganskog dušika kao zbroj koncentracija NO₃⁻ - nitrata, NO₂⁻ - nitrita i NH₄⁺ - amonija; Si(OH)₄ - ortosilikata; N/P omjer - omjer dušika i fosfora; Chl a (μg L⁻¹) - koncentracija klorofila a; TRIX - trofički indeks; prozirnost (m). Vrijednosti TRIX-a su obojane prema klasifikaciji stupnja eutrofije (Tablica 1).

LJETO																		
Postaje	Dubine	t°C	S-1	ρ (kg/m ³)	O ₂ (ml/L)	Saturacija O ₂ (%)	pH	PO ₄ ³⁻ (μmol L ⁻¹)	TP (μmol L ⁻¹)	TIN (μmol L ⁻¹)	Si(OH) ₄ (μmol L ⁻¹)	N/P omjer	Chl a (μg L ⁻¹)	TRIX	Prozirnost (m)	NO ₃ ⁻ (μmol L ⁻¹)	NO ₂ ⁻ (μmol L ⁻¹)	NH ₄ ⁺ (μmol L ⁻¹)
FPA34	0	23,28	37,76	25,94	5,21	108,67	8,22	0,03	0,15	0,32	1,01	10,98	0,13	2,28	22	0,17	0,03	0,12
	5	21,90	37,79	26,36	5,35	108,83	8,23	0,02	0,17	0,41	1,02	20,12	0,13	2,36	22	0,26	0,02	0,13
	10	20,28	37,95	26,93	5,52	109,33	8,24	0,02	0,17	0,82	1,22	40,33	0,12	2,35	22	0,66	0,02	0,14
	97	11,73	38,34	29,24	5,06	85,00	8,21	0,08	0,23	2,77	6,26	43,97	0,20	3,58	22	2,36	0,20	0,21
FPA37; FPB37; FPO37	0	22,15	28,37	19,11	5,89	113,71	8,21	0,06	0,25	9,72	5,51	184,41	1,04	4,42	11	9,30	0,10	0,33
	5	22,03	37,25	25,92	5,71	116,10	8,23	0,03	0,18	0,51	1,05	19,03	0,31	3,08	11	0,25	0,03	0,24
	10	20,79	37,61	26,53	5,77	115,10	8,24	0,03	0,17	0,40	1,02	17,16	0,31	2,97	11	0,13	0,03	0,24
	26	16,40	38,04	27,99	5,85	107,57	8,25	0,04	0,18	0,45	1,81	13,74	0,38	2,85	11	0,13	0,05	0,27
FPA45	0	24,96	36,90	24,78	5,16	110,25	8,21	0,11	0,35	4,41	2,67	54,47	1,42	4,20	10	2,04	0,14	2,23
	5	23,91	37,49	25,55	5,06	106,50	8,22	0,04	0,27	0,87	1,45	31,51	1,09	3,37	10	0,40	0,05	0,42
	10	22,50	37,77	26,18	5,17	106,25	8,22	0,03	0,24	0,61	1,38	22,99	0,91	3,17	10	0,13	0,04	0,44
	17	19,98	37,98	27,03	4,96	97,50	8,21	0,08	0,25	1,09	2,70	14,66	0,99	3,61	10	0,26	0,08	0,75
FPO45	0	25,28	36,78	24,60	5,19	111,25	8,19	0,07	0,44	3,22	3,42	56,71	1,52	4,38	7	2,45	0,10	0,66
	5	23,98	37,56	25,58	5,18	109,13	8,21	0,04	0,29	1,03	1,52	32,94	1,09	3,60	7	0,55	0,05	0,43
	10	22,58	37,76	26,15	5,02	103,50	8,21	0,05	0,27	0,81	1,98	20,44	0,92	3,45	7	0,23	0,06	0,52
FPP18	0	21,84	32,35	22,18	5,59	108,71	8,22	0,05	0,23	6,13	3,76	106,18	0,37	3,61	17	5,66	0,05	0,42
	5	22,02	37,52	26,12	5,38	109,29	8,23	0,03	0,17	0,58	1,13	24,38	0,23	2,70	17	0,35	0,03	0,20
	10	20,54	37,85	26,78	5,65	112,00	8,23	0,03	0,18	0,45	1,05	18,76	0,23	2,77	17	0,21	0,02	0,22
	28	15,55	38,17	28,28	5,99	108,57	8,25	0,04	0,18	0,77	1,28	28,91	0,30	2,87	17	0,48	0,03	0,26
FPP19	0	20,89	10,72	6,06	5,99	101,83	7,76	0,35	0,44	49,95	71,04	154,34	2,01	5,30	1	47,45	0,45	2,05
	2	24,52	34,69	23,24	4,33	90,67	8,00	0,67	0,82	10,77	16,46	16,55	1,52	5,03	1	7,62	0,53	2,62
LKR02	0	24,96	34,26	22,79	5,21	109,88	8,09	0,05	0,36	5,89	7,12	124,98	1,73	4,57	7	4,86	0,12	0,92
	5	23,55	37,24	25,45	5,18	108,13	8,20	0,06	0,35	1,47	1,37	25,23	1,62	4,01	7	0,48	0,06	0,92
	10	21,77	37,59	26,24	5,06	102,63	8,20	0,05	0,31	1,39	1,54	36,77	1,85	3,90	7	0,77	0,06	0,56
	25	17,75	38,07	27,67	3,77	71,00	8,11	0,57	0,73	3,98	9,04	8,46	1,21	4,87	7	1,29	0,20	2,49
RIO19	0	24,25	36,83	24,95	5,18	109,29	8,23	0,04	0,17	0,80	1,01	20,20	0,31	2,68	18	0,45	0,03	0,32
	5	22,51	37,61	26,05	5,40	110,86	8,24	0,02	0,15	0,47	0,90	21,96	0,16	2,45	18	0,15	0,02	0,30
	10	20,49	37,90	26,83	5,82	115,29	8,24	0,02	0,14	0,57	0,86	25,00	0,15	2,65	18	0,27	0,02	0,28
	62	12,05	38,27	29,11	4,48	75,71	8,17	0,06	0,22	2,64	6,54	52,28	0,35	3,82	18	1,96	0,29	0,39

Tablica 4. Prikaz srednjih vrijednosti istraživanih parametara u jesen na pojedinačnim i grupiranim postajama za razdoblje 2014. - 2020. U stupcu TRIX obojane su vrijednosti prema klasifikaciji za oligotrofno (plavo), mezotrofno (zeleno) i eutrofno (narančasto) stanje. Kratice: t (°C) - temperatura; S·l - salinitet; ρ (kg/m³) - gustoća; O₂ (ml/L) - sadržaj otopljenog kisika; saturacija O₂ (%) - udio zasićenja kisikom; pH; koncentracije hranjivih soli (μmol L⁻¹): PO₄³⁻ - ortofosfata; TP - ukupnog fosfora; TIN - ukupnog anorganskog dušika kao zbroj koncentracija NO₃⁻ - nitrata, NO₂⁻ - nitrita i NH₄⁺ - amonija; Si(OH)₄ - ortosilikata; N/P omjer - omjer dušika i fosfora; Chl a (μg L⁻¹) - koncentracija klorofila a; TRIX - trofički indeks; prozirnost (m). Vrijednosti TRIX-a su obojane prema klasifikaciji stupnja eutrofije (Tablica 1).

JESEN																		
Postaje	Dubine	t°C	S·l	ρ (kg/m ³)	O ₂ (ml/L)	Saturacija O ₂ (%)	pH	PO ₄ ³⁻ (μmol L ⁻¹)	TP (μmol L ⁻¹)	TIN (μmol L ⁻¹)	Si(OH) ₄ (μmol L ⁻¹)	N/P omjer	Chl a (μg L ⁻¹)	TRIX	Prozirnost (m)	NO ₃ ⁻ (μmol L ⁻¹)	NO ₂ ⁻ (μmol L ⁻¹)	NH ₄ ⁺ (μmol L ⁻¹)
FPA34	0	20,25	38,17	27,09	5,25	104,17	8,24	0,02	0,15	0,54	1,15	24,70	0,22	2,18	23	0,35	0,03	0,17
	5	20,08	38,21	27,17	5,24	103,33	8,25	0,02	0,17	0,46	1,18	21,51	0,22	2,16	23	0,26	0,03	0,17
	10	19,86	38,25	27,26	5,25	103,33	8,25	0,02	0,18	0,48	1,22	22,87	0,22	2,30	23	0,28	0,03	0,17
	97	12,40	38,40	29,15	4,75	80,83	8,19	0,08	0,20	2,71	7,60	34,24	0,21	3,64	23	2,41	0,09	0,21
FPA37; FPB37; FPO37	0	17,19	27,93	19,93	6,04	105,14	8,17	0,06	0,24	11,15	7,29	244,41	0,54	3,90	16	10,59	0,08	0,48
	5	19,93	37,58	26,73	5,34	104,82	8,23	0,02	0,18	0,99	1,66	48,30	0,40	2,76	16	0,70	0,05	0,24
	10	19,49	37,82	27,04	5,34	104,23	8,24	0,02	0,19	0,82	1,56	39,24	0,39	2,76	16	0,48	0,06	0,29
	26	17,78	38,11	27,70	5,32	100,59	8,24	0,04	0,22	0,92	2,12	29,69	0,40	2,97	16	0,41	0,15	0,36
FPA45	0	18,95	37,23	26,71	5,22	100,25	8,23	0,07	0,35	3,79	3,63	69,95	1,88	4,19	8	2,95	0,28	0,57
	5	19,00	37,88	27,21	5,00	96,63	8,23	0,06	0,30	2,16	2,91	47,73	1,78	3,97	8	1,28	0,24	0,65
	10	18,93	37,98	27,30	4,95	95,63	8,23	0,04	0,25	1,85	2,52	46,23	1,56	3,67	8	1,02	0,24	0,59
	17	18,80	38,12	27,45	4,86	93,50	8,23	0,09	0,34	2,01	3,10	28,24	0,76	3,74	8	0,93	0,26	0,82
FPO45	0	19,56	36,82	26,23	5,36	103,89	8,21	0,11	0,39	4,87	3,94	52,37	2,28	4,26	8	3,92	0,28	0,67
	5	19,41	37,81	27,04	5,06	98,56	8,22	0,06	0,29	1,92	2,96	36,20	1,69	3,56	8	1,16	0,25	0,51
	10	19,40	37,97	27,17	4,73	92,11	8,21	0,09	0,31	2,34	3,32	35,79	0,95	3,94	8	1,03	0,27	1,03
FPP18	0	17,49	33,07	23,84	5,67	103,20	8,23	0,04	0,21	6,86	4,24	159,81	0,32	3,29	16	6,44	0,06	0,36
	5	18,89	37,42	26,87	5,38	103,40	8,25	0,02	0,19	1,02	1,89	50,95	0,26	2,79	16	0,75	0,05	0,22
	10	18,94	37,71	27,09	5,31	102,20	8,25	0,02	0,18	1,04	1,63	43,17	0,27	2,74	16	0,48	0,05	0,51
	28	17,27	38,21	27,92	5,34	100,20	8,24	0,03	0,22	0,93	2,02	36,02	0,28	2,73	16	0,39	0,16	0,39
FPP19	0	15,93	6,24	3,62	6,25	92,67	7,77	0,92	1,12	46,29	75,94	132,17	0,95	5,20	1	43,40	1,18	1,71
	2	18,37	24,76	17,22	5,35	93,33	7,97	0,75	0,94	19,41	41,88	41,59	1,00	4,98	1	15,92	1,47	2,02
LKR02	0	18,75	35,30	25,28	4,98	94,33	8,06	0,14	0,32	7,65	9,34	71,31	1,37	4,29	6	6,27	0,53	0,85
	5	19,07	37,77	27,11	4,67	90,33	8,17	0,07	0,29	2,37	3,60	39,51	1,39	4,12	6	1,02	0,59	0,76
	10	19,03	37,89	27,21	4,61	89,11	8,18	0,08	0,33	2,39	3,58	43,72	1,37	4,21	6	0,85	0,60	0,94
	25	18,49	38,07	27,50	3,64	69,56	8,10	0,40	0,67	4,79	9,97	15,85	0,76	4,80	6	1,64	1,13	2,02
RIO19	0	19,53	36,76	26,18	5,37	103,63	8,24	0,02	0,16	1,95	2,03	76,60	0,29	2,69	23	1,73	0,05	0,18
	5	19,74	37,41	26,65	5,34	104,25	8,25	0,02	0,17	0,79	1,47	38,12	0,22	2,50	23	0,62	0,04	0,13
	10	19,26	37,72	27,02	5,42	105,13	8,25	0,02	0,18	0,91	1,42	43,95	0,23	2,54	23	0,74	0,03	0,14
	62	13,25	38,28	28,88	4,03	69,88	8,15	0,11	0,26	3,30	8,38	34,42	0,43	4,23	23	2,81	0,28	0,20

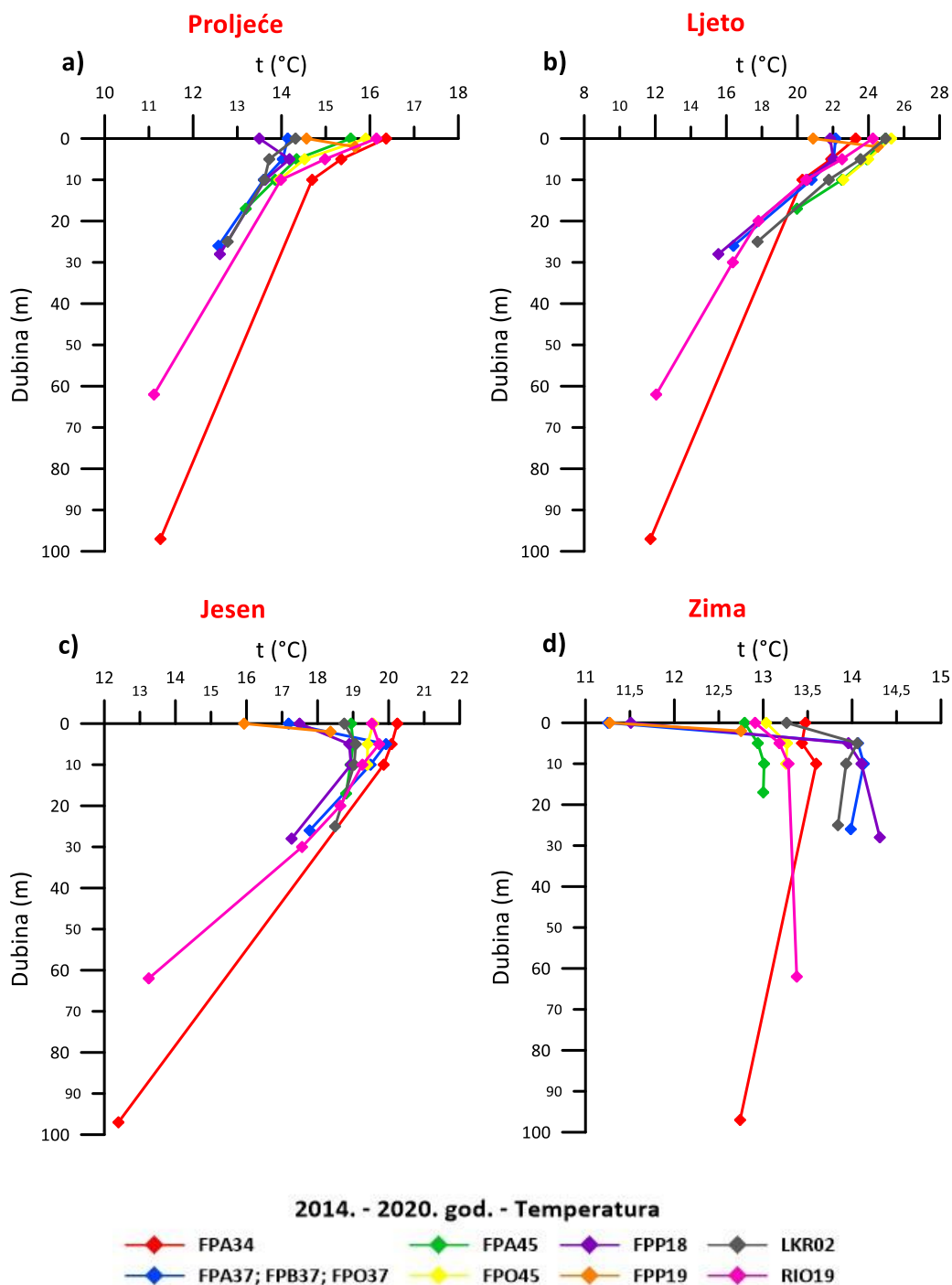
Tablica 5. Prikaz srednjih vrijednosti istraživanih parametara u zimskoj sezoni na pojedinačnim i grupiranim postajama za razdoblje 2014. - 2020. U stupcu TRIX obojane su vrijednosti prema klasifikaciji za oligotrofno (plavo), mezotrofno (zeleno) i eutrofno (narančasto) stanje. Kratice: t (°C) - temperatura; S·l - salinitet; ρ (kg/m³) - gustoća; O₂ (ml/L) - sadržaj otopljenog kisika; saturacija O₂ (%) - udio zasićenja kisikom; pH; koncentracije hranjivih soli (μmol L⁻¹): PO₄³⁻ - ortofosfata; TP - ukupnog fosfora; TIN - ukupnog anorganskog dušika kao zbroj koncentracija NO₃⁻ - nitrata, NO₂⁻ - nitrita i NH₄⁺ - amonija; Si(OH)₄ - ortosilikata; N/P omjer - omjer dušika i fosfora; Chl a (μg L⁻¹) - koncentracija klorofila a; TRIX - trofički indeks; prozirnost (m). Vrijednosti TRIX-a su obojane prema klasifikaciji stupnja eutrofije (Tablica 1).

ZIMA																		
Postaje	Dubine	t°C	S-1	ρ (kg/m ³)	O ₂ (ml/L)	Saturacija O ₂ (%)	pH	PO ₄ ³⁻ (μmol L ⁻¹)	TP (μmol L ⁻¹)	TIN (μmol L ⁻¹)	Si(OH) ₄ (μmol L ⁻¹)	N/P omjer	Chl a (μg L ⁻¹)	TRIX	Prozirnost (m)	NO ₃ ⁻ (μmol L ⁻¹)	NO ₂ ⁻ (μmol L ⁻¹)	NH ₄ ⁺ (μmol L ⁻¹)
FPA34	0	13,48	37,92	28,55	5,71	99,33	8,26	0,02	0,15	1,24	2,49	59,35	0,32	2,60	17	0,81	0,29	0,14
	5	13,44	37,98	28,60	5,70	99,00	8,27	0,02	0,15	1,19	2,48	57,96	0,32	2,68	17	0,79	0,29	0,12
	10	13,60	37,99	28,57	5,67	98,33	8,28	0,02	0,16	1,19	2,43	59,63	0,31	2,79	17	0,82	0,27	0,11
	97	12,74	38,30	29,00	5,01	86,00	8,24	0,07	0,22	2,24	5,66	38,66	0,20	3,22	17	1,88	0,21	0,14
FPA37; FPB37; FPO37	0	11,25	26,33	19,98	6,40	98,27	8,16	0,06	0,20	13,87	9,09	269,41	0,43	3,75	13	13,36	0,18	0,34
	5	14,07	37,65	28,21	5,56	97,31	8,24	0,02	0,17	1,64	2,90	73,90	0,48	3,09	13	1,24	0,22	0,18
	10	14,13	37,88	28,37	5,46	95,73	8,25	0,03	0,18	1,58	3,06	60,17	0,46	3,11	13	1,16	0,24	0,18
	26	13,98	37,97	28,47	5,32	93,00	8,24	0,05	0,19	1,87	3,46	41,76	0,27	3,07	13	1,34	0,33	0,20
FPA45	0	12,79	37,62	28,45	5,82	99,25	8,22	0,18	0,44	5,41	4,01	40,27	2,29	4,05	7	2,94	0,59	1,88
	5	12,94	37,79	28,55	5,70	97,25	8,24	0,10	0,29	3,36	2,87	89,32	0,91	4,02	7	2,18	0,59	0,59
	10	13,01	37,84	28,58	5,59	95,75	8,25	0,09	0,28	2,37	2,43	42,96	0,80	3,51	7	1,34	0,65	0,37
	17	13,00	37,89	28,62	5,61	95,75	8,25	0,07	0,24	2,38	2,47	51,56	0,52	3,43	7	1,34	0,66	0,39
FPO45	0	13,03	37,20	28,08	5,80	99,00	8,22	0,08	0,39	4,84	3,90	88,14	1,08	3,92		3,70	0,49	0,66
	5	13,27	37,71	28,42	5,66	97,71	8,24	0,06	0,29	3,00	2,91	61,39	1,08	4,46		2,04	0,53	0,44
	10	13,26	37,78	28,47	5,49	94,43	8,23	0,09	0,29	2,91	3,00	46,27	0,84	3,89		1,67	0,60	0,64
FPP18	0	11,51	32,50	24,74	6,20	99,67	8,25	0,09	0,28	10,88	7,07	132,35	0,31	3,72	12	9,72	0,21	0,95
	5	13,96	37,69	28,26	5,54	96,83	8,26	0,03	0,18	2,25	2,84	73,07	0,30	2,99	12	1,57	0,28	0,40
	10	14,11	37,88	28,38	5,50	96,33	8,26	0,03	0,18	1,94	2,86	66,54	0,29	2,91	12	1,35	0,28	0,31
	28	14,31	38,11	28,51	5,28	93,00	8,26	0,04	0,18	1,90	3,20	52,91	0,21	3,05	12	1,39	0,33	0,18
FPP19	0	11,27	1,33	0,61	7,15	94,20	7,62	1,16	1,21	61,72	75,63	68,24	0,28	5,07	0	58,06	1,12	2,54
	2	12,75	13,86	10,04	6,38	92,60	7,71	1,22	1,42	47,96	51,27	96,50	0,27	4,91	0	44,16	1,25	2,56
LKR02	0	13,26	36,55	27,54	5,35	91,67	8,16	0,12	0,25	6,91	6,60	60,41	0,71	4,15	7	5,54	0,95	0,41
	5	14,06	37,73	28,28	5,35	93,67	8,21	0,08	0,22	2,89	4,31	46,38	0,71	3,64	7	1,60	0,86	0,43
	10	13,93	37,78	28,34	5,35	93,33	8,23	0,12	0,24	2,81	5,27	27,18	0,64	3,78	7	1,51	0,85	0,45
	25	13,84	37,80	28,38	5,37	94,00	8,23	0,12	0,22	2,72	3,96	24,98	0,63	3,69	7	1,34	0,82	0,57
RIO19	0	12,91	37,34	28,22	5,79	98,70	8,26	0,02	0,18	1,79	2,88	85,44	0,31	2,63	18	1,37	0,26	0,16
	5	13,18	37,45	28,24	5,77	99,20	8,26	0,02	0,16	1,74	2,78	86,63	0,31	2,73	18	1,30	0,27	0,16
	10	13,28	37,59	28,33	5,72	98,50	8,27	0,02	0,17	1,58	2,80	77,44	0,31	2,76	18	1,14	0,28	0,16
	62	13,38	37,95	28,59	5,29	91,30	8,23	0,06	0,20	2,34	4,81	70,38	0,24	2,83	18	1,87	0,29	0,18

Vrijednosti temperature bile su očekivano više u površinskom sloju, odnosno u prvih 5 metara dubine tijekom svih sezona i snižavale su se s dubinom. Jedino je zimi, kada je vodeni stupac dovoljno izmiješan, temperatura na svim postajama bila uglavnom ujednačena od površinskih do pridnenih slojeva i kretala se u rasponu od 12,00 - 14,00 °C (Slika 14). Najniže vrijednosti zabilježene su na postaji FPA34 tijekom proljeća na dubini od 97 metara, a najviše ljeti na postaji FPO45 u površinskom sloju (Slika 14).

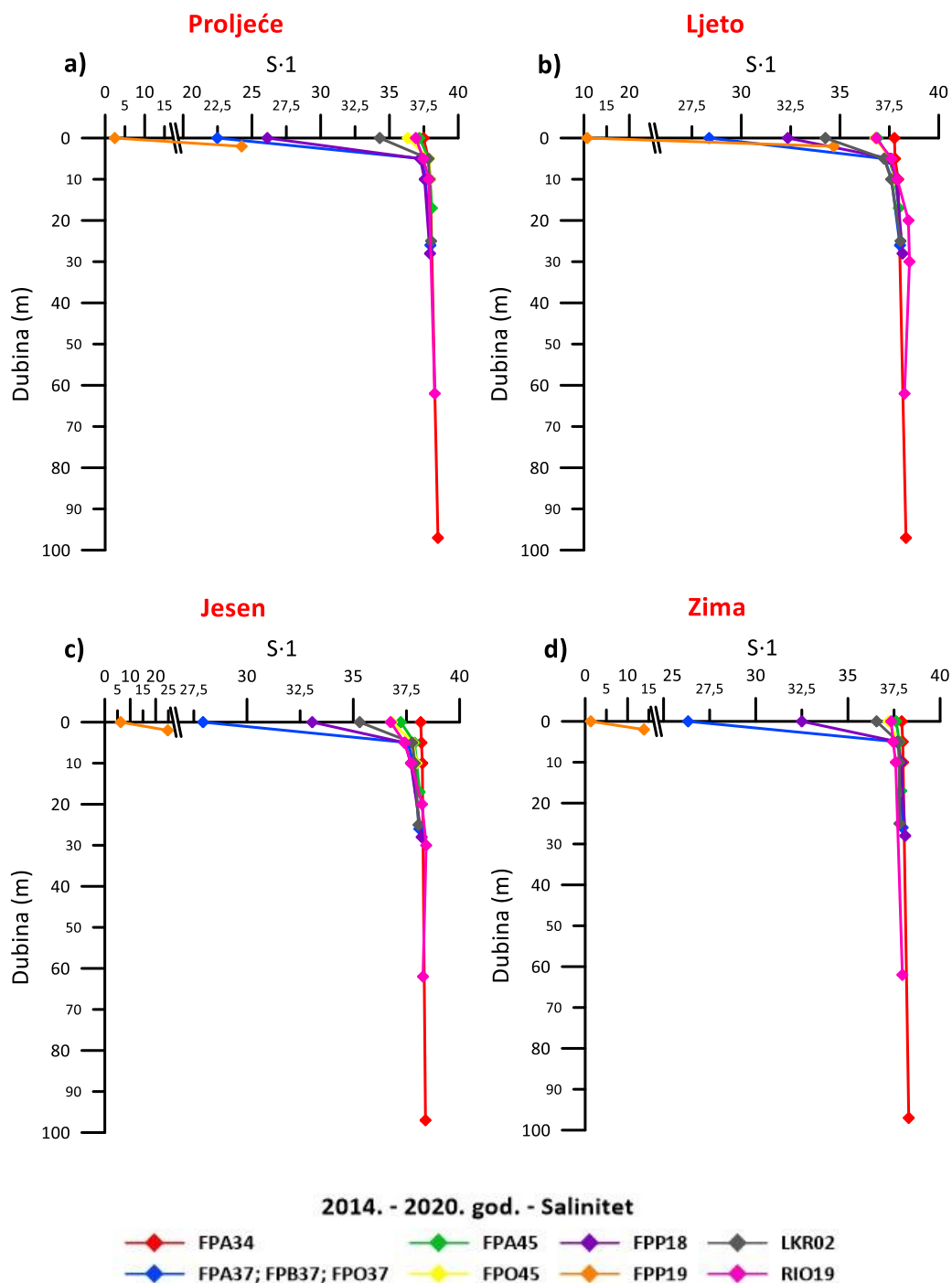
Vrijednosti saliniteta su gotovo na svim postajama i tijekom svih sezona najviše rasle u prvih 5 metara dubine od najnižih 1,33 u površinskom sloju tijekom zime na postaji FPP19 do najviših 38,21 zabilježenih na referentnoj postaji FPA34 u jesen, dok su u ostalim slojevima bile prilično ujednačene kroz vodeni stupac. Nakon postaje FPP19, najniže vrijednosti saliniteta u površinskom sloju izmjerene su na postajama u Bakarskom zaljevu (FPA37; FPB37; FPO37) u proljeće s prosječnom vrijednosti 22,49 (Slika 15 i Tablica 2).

2014. - 2020. god. - Temperatura



Slika 14. Vertikalna raspodjela temperature po sezonama (proljeće - a, ljeto - b, jesen - c, zima - d) u razdoblju 2014. - 2020. godine na istraživanim postajama (FPA34 - Kvarnerić, FPA37; FPB37; FPO37 - Bakarski zaljev, FPA45; FPO45 - Pulska luka, FPP18 - ušće Rječine, FPP19 - ušće Raše, LKR02 - Limski zaljev, RIO19 - Riječki zaljev).

2014. - 2020. god. - Salinitet



Slika 15. Vertikalna raspodjela saliniteta po sezonama (proljeće - a, ljeto - b, jesen - c, zima - d) u razdoblju 2014. - 2020. godine na istraživanim postajama (FPA34 - Kvarnerić, FPA37; FPB37; FPO37 - Bakarski zaljev, FPA45; FPO45 - Pulska luka, FPP18 - ušće Rječine, FPP19 - ušće Raše, LKR02 - Limski zaljev, RIO19 - Riječki zaljev).

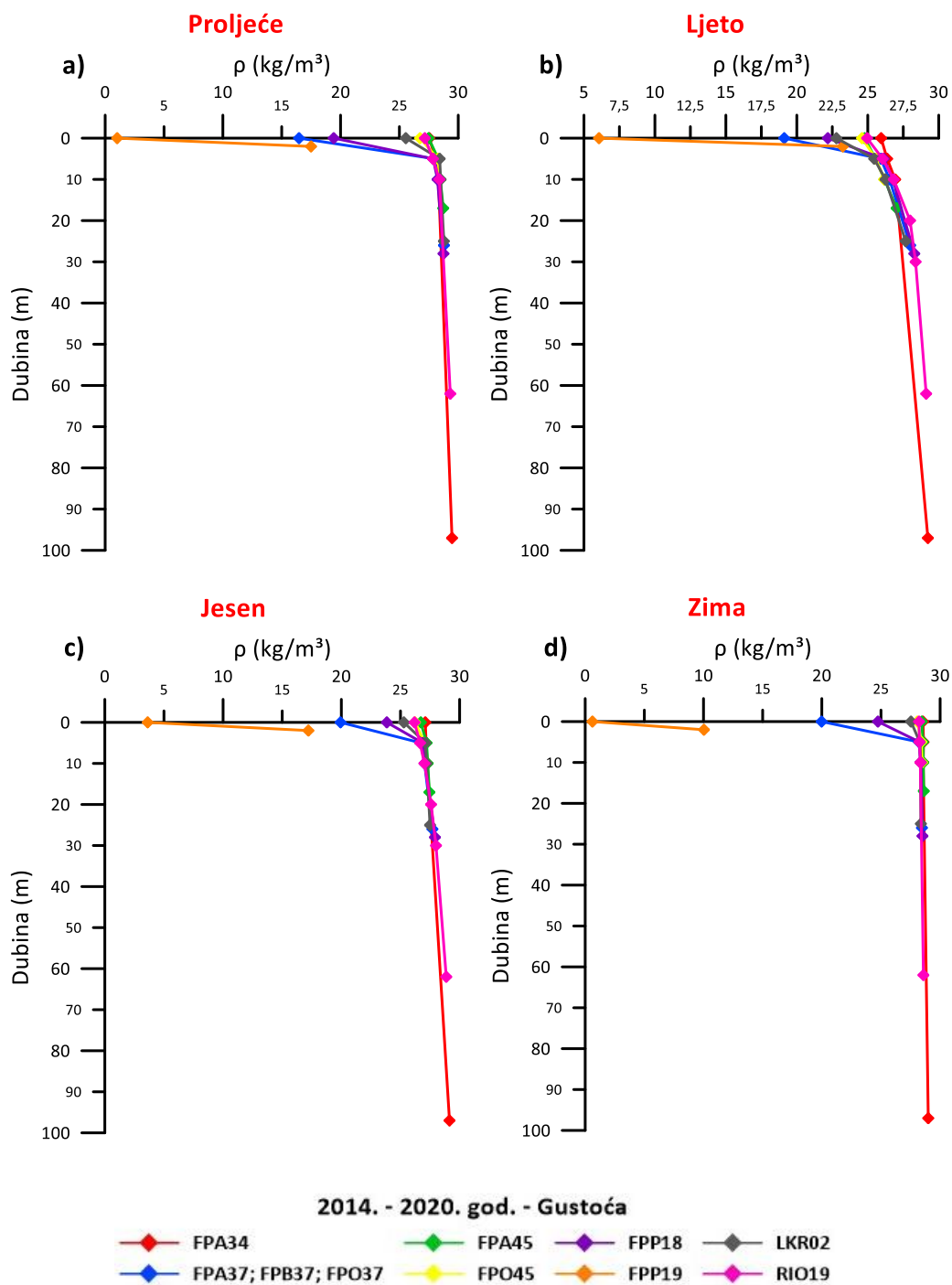
Uobičajeno, kao i kod saliniteta, vrijednosti gustoće rasle su u prvih 5 metara, dok su kasnije bile ujednačene u svim sezonama i na svim postajama. Ovdje se također može izdvojiti postaja FPP19 u Raši kao ona s najnižim vrijednostima ($1,01 \text{ kg/m}^3$) izmjerenim u površinskom sloju u proljeće, a odmah nakon nje slijede postaje Bakarskog zaljeva (FPA37; FPB37; FPO37) s prosječnom vrijednosti ($16,47 \text{ kg/m}^3$), također u površinskom sloju u proljeće (Slika 16 i Tablica 2).

Iz vertikalne raspodjele sadržaja kisika u vodenom stupcu vidljive su osobitosti za svaku postaju no uglavnom su se vrijednosti očekivano snižavale s dubinom. Najizraženiji pad od 5,99 do 4,33 ml/L uočen je na najblićoj postaji FPP19 u ljetnim mjesecima te na postajama LKR02 i RIO19 u ljeto i na jesen. S obzirom da u tim sezonama prevladava remineralizacija organske tvari, ovo je sniženje uobičajeno, budući da se na taj proces troši kisik. Tijekom zime je značajniji pad vrijednosti sadržaja kisika u odnosu na površinski sloj bio zamijećen u pridnenim slojevima postaje FPP18 (od 6,20 do 5,28 ml/L) te grupiranim postajama u Bakarskom zaljevu (od 6,40 do 5,32 ml/L; Slika 17 i Tablica 5).

Udio zasićenja kisikom očekivano je kao i u slučaju sadržaja otopljenog kisika na svim postajama bio najviši u površinskom sloju (101,83 - 116,10%) te se s dubinom smanjivao do prosječnih 71,00%. Najniže površinske vrijednosti tijekom čitave godine zabilježene su na postajama FPP19 (90,67%) i LKR02 (91,67%; Slika 18 i Tablice 2, 3, 4 i 5).

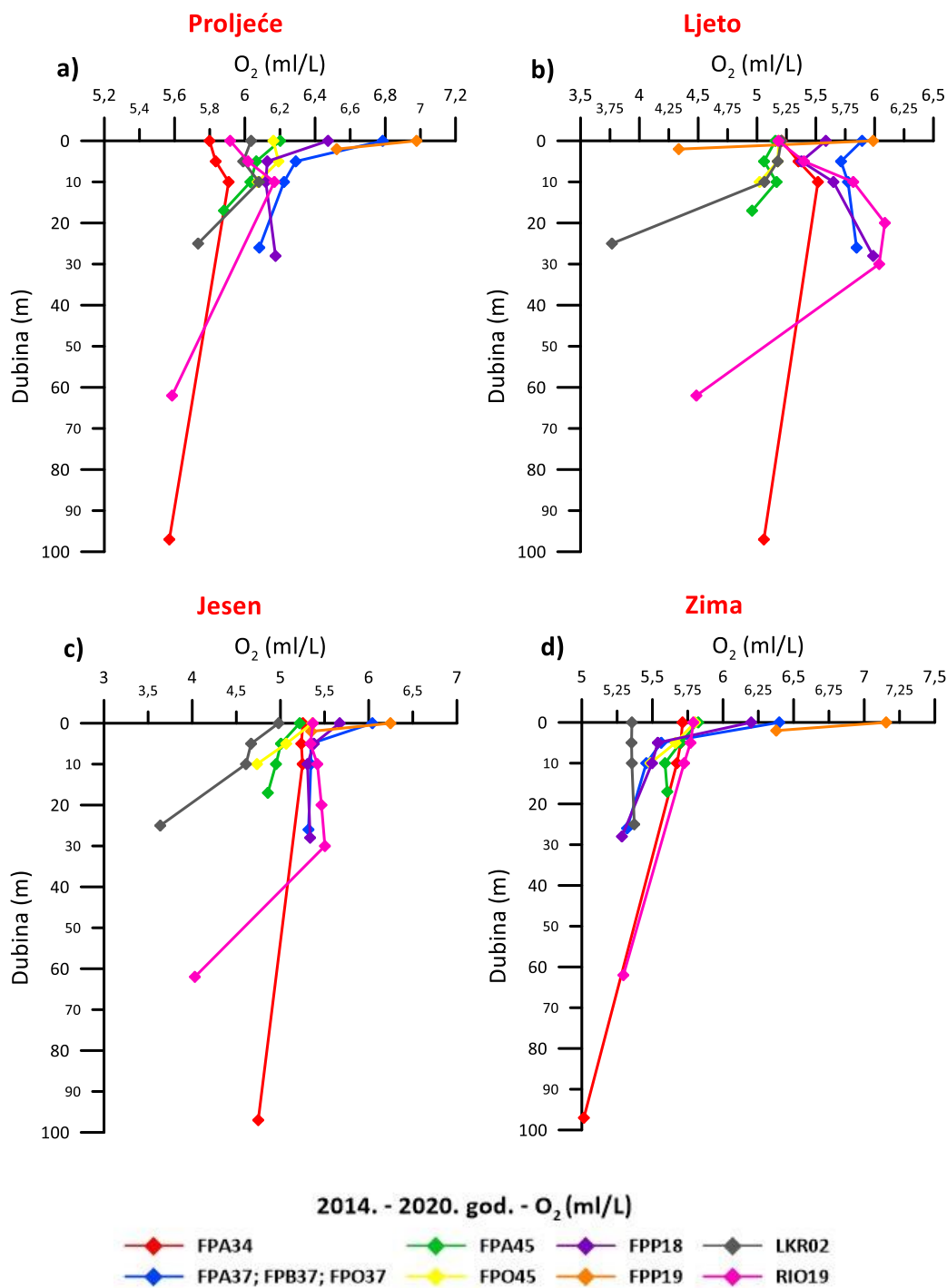
Vrijednosti pH su na svim postajama uglavnom bile ravnomjerno raspodijeljene u čitavom vodenom stupcu a kretale su se u uobičajenom rasponu za morsku vodu, od 8,10 do 8,30. Veće odstupanje je uočeno na postaji u Lirskom zaljevu LKR02 tijekom ljeta i jeseni kada su vrijednosti u sloju od 0 do 10 m dubine vodenog stupca porasle do 8,20, a potom se ponovno snižavale (oko 8,10; Slika 19 i Tablice 3 i 4). I u slučaju ovog parametra moguće je izdvojiti postaju FPP19 na kojoj su, u odnosu na ostale postaje, izmjerene najniže površinske vrijednosti s minimumom zimi uz pH 7,62 (Slika 19 i Tablica 5).

2014. - 2020. god. - Gustoća



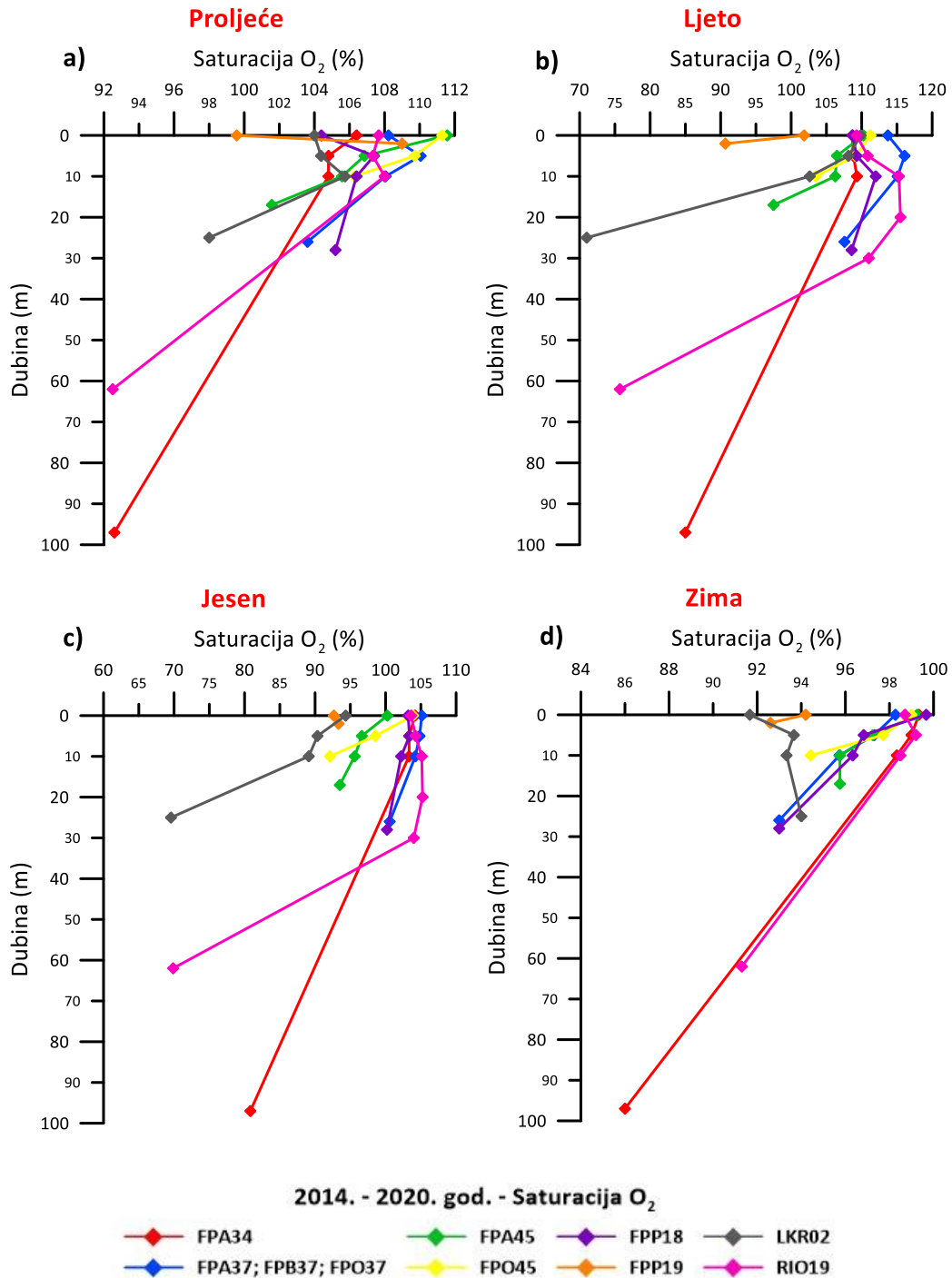
Slika 16. Vertikalna raspodjela gustoće po sezonama (proljeće - a, ljeto - b, jesen - c, zima - d) u razdoblju 2014. - 2020. godine na istraživanim postajama (FPA34 - Kvarnerić, FPA37; FPB37; FPO37 - Bakarski zaljev, FPA45; FPO45 - Pulska luka, FPP18 - ušće Rječine, FPP19 - ušće Raše, LKR02 - Limski zaljev, RIO19 - Riječki zaljev).

2014. - 2020. god. - O₂ (ml/L)



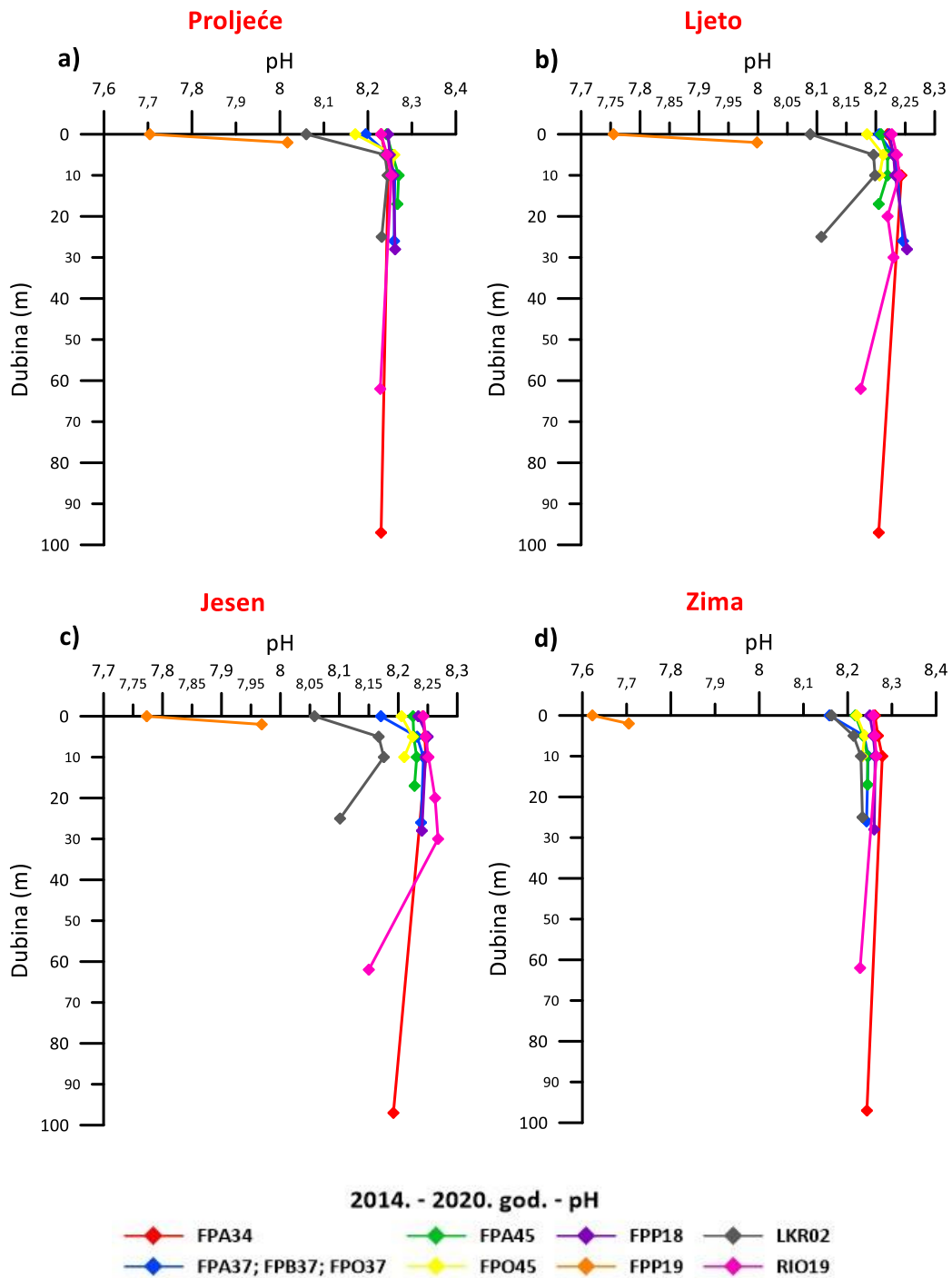
Slika 17. Vertikalna raspodjela sadržaja kisika po sezonama (proljeće - a, ljeto - b, jesen - c, zima - d) u razdoblju 2014. - 2020. godine na istraživanim postajama (FPA34 - Kvarnerić, FPA37; FPB37; FPO37 - Bakarski zaljev, FPA45; FPO45 - Pulska luka, FPP18 - ušće Rječine, FPP19 - ušće Raše, LKR02 - Limski zaljev, RIO19 - Riječki zaljev).

2014. - 2020. god. - Saturacija O₂



Slika 18. Vertikalna raspodjela zasićenja kisikom po sezonama (proljeće - a, ljeto - b, jesen - c, zima - d) u razdoblju 2014. - 2020. godine na istraživanim postajama (FPA34 - Kvarnerić, FPA37; FPB37; FPO37 - Bakarski zaljev, FPA45; FPO45 - Pulska luka, FPP18 - ušće Rječine, FPP19 - ušće Raše, LKR02 - Limski zaljev, RIO19 - Riječki zaljev).

2014. - 2020. god. - pH

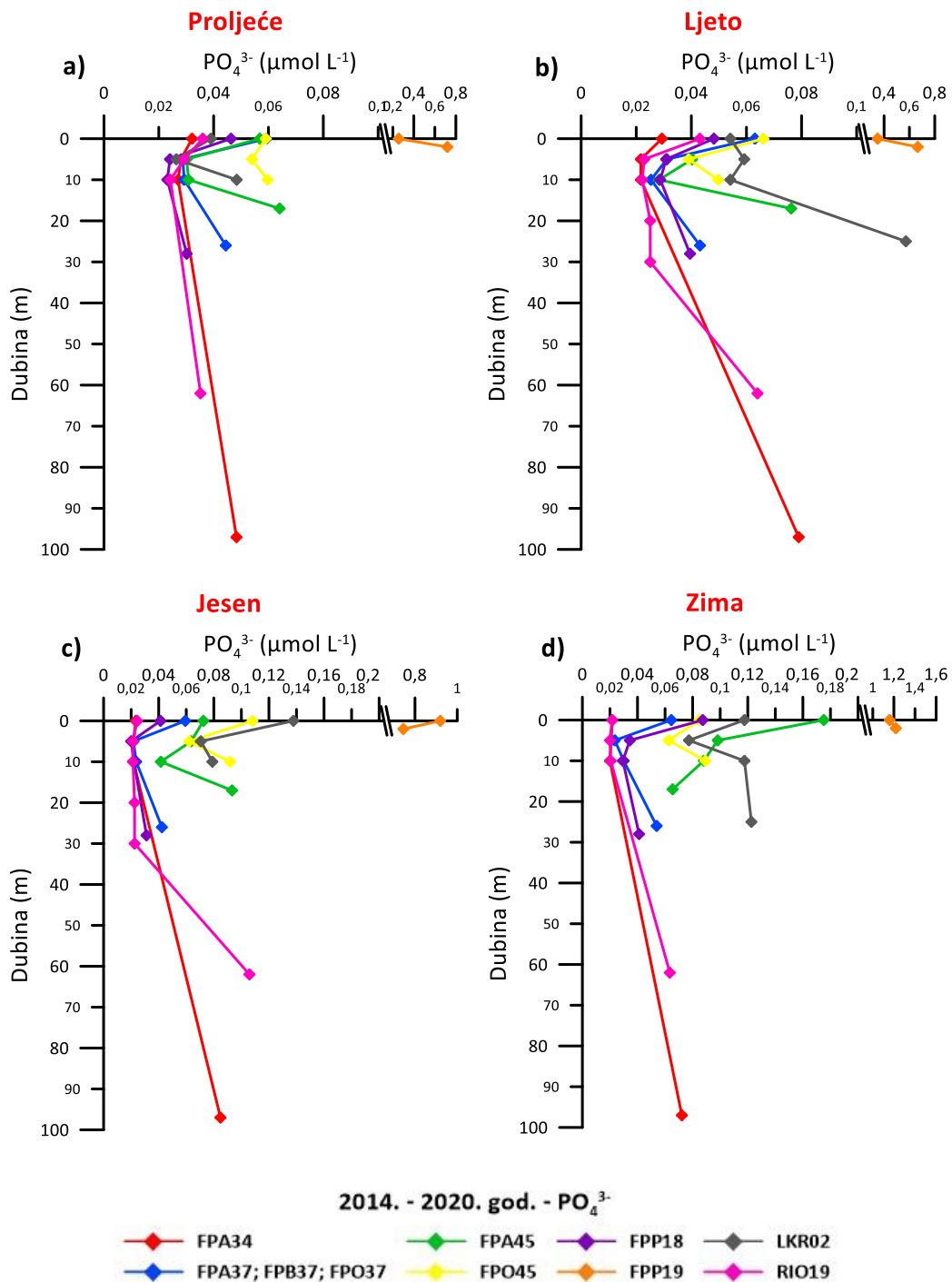


Slika 19. Vertikalna raspodjela pH po sezonama (proljeće - a, ljeto - b, jesen - c, zima - d) u razdoblju 2014. - 2020. godine na istraživanim postajama (FPA34 - Kvarnerić, FPA37; FPB37; FPO37 - Bakarski zaljev, FPA45; FPO45 - Pulska luka, FPP18 - ušće Rječine, FPP19 - ušće Raše, LKR02 - Limski zaljev, RIO19 - Riječki zaljev).

Iz vertikalne raspodjele koncentracija hranjivih soli može se uočiti sniženje u prvih 5 - 10 m dubine za gotovo sve hranjive soli i uglavnom za sve postaje, dok u dubljim slojevima za ortofosfat; ukupni fosfor (TP); nitrit i ortosilikat koncentracije rastu (0,02 - 0,11; 0,14 - 0,26; 0,02 - 0,20 i 0,86 - 8,38 $\mu\text{mol L}^{-1}$), a u slučaju nitrata i amonija ostaju prilično ujednačene sve do pridnenog sloja (0,27 - 2,36 i 0,11 - 0,39 $\mu\text{mol L}^{-1}$; Slike 20 - 23, Prilog, Slike P1 - P3 i Tablice 2, 3, 4 i 5). Na postaji FPP19 zabilježene su najviše vrijednosti hranjivih soli tijekom svih istraživanih sezona (ortofosfat - 1,22 ; TP - 1,42 i TIN - 61,72 $\mu\text{mol L}^{-1}$). Osim postaje u Raši, po nešto višim vrijednostima uglavnom se ističu postaje LKR02 te FPA45 i FPO45 u slučaju gotovo svih hranjivih soli osim u slučaju nitrata čije površinske vrijednosti na postajama u Bakarskom zaljevu (FPA37; FPB37; FPO37 s prosječnom vrijednosti 9,30 - 14,72 $\mu\text{mol L}^{-1}$) te na postaji FPP18 5,66 - 9,72 $\mu\text{mol L}^{-1}$) premašuju vrijednosti prethodno istaknutih postaja (Tablice 2, 3, 4 i 5). Također, površinske vrijednosti ortosilikata i TIN-a na postajama u Bakru (FPA37; FPB37; FPO37; 5,51 - 15,20 $\mu\text{mol L}^{-1}$) i na postaji FPP18 (3,76 - 10,88 $\mu\text{mol L}^{-1}$) više su u odnosu na Pulske (FPA45 i FPO45; 3,05 - 4,44 $\mu\text{mol L}^{-1}$). Postaje s najnižim vrijednostima hranjivih soli, prema podacima obrađenim u ovome radu su ujedno i najdublje postaje; FPA34 (0,02 $\mu\text{mol L}^{-1}$) te postaja RIO19 (0,02 $\mu\text{mol L}^{-1}$; Slike 20 - 23, Prilog, Slike P1 - P3 i Tablice 2, 3, 4 i 5).

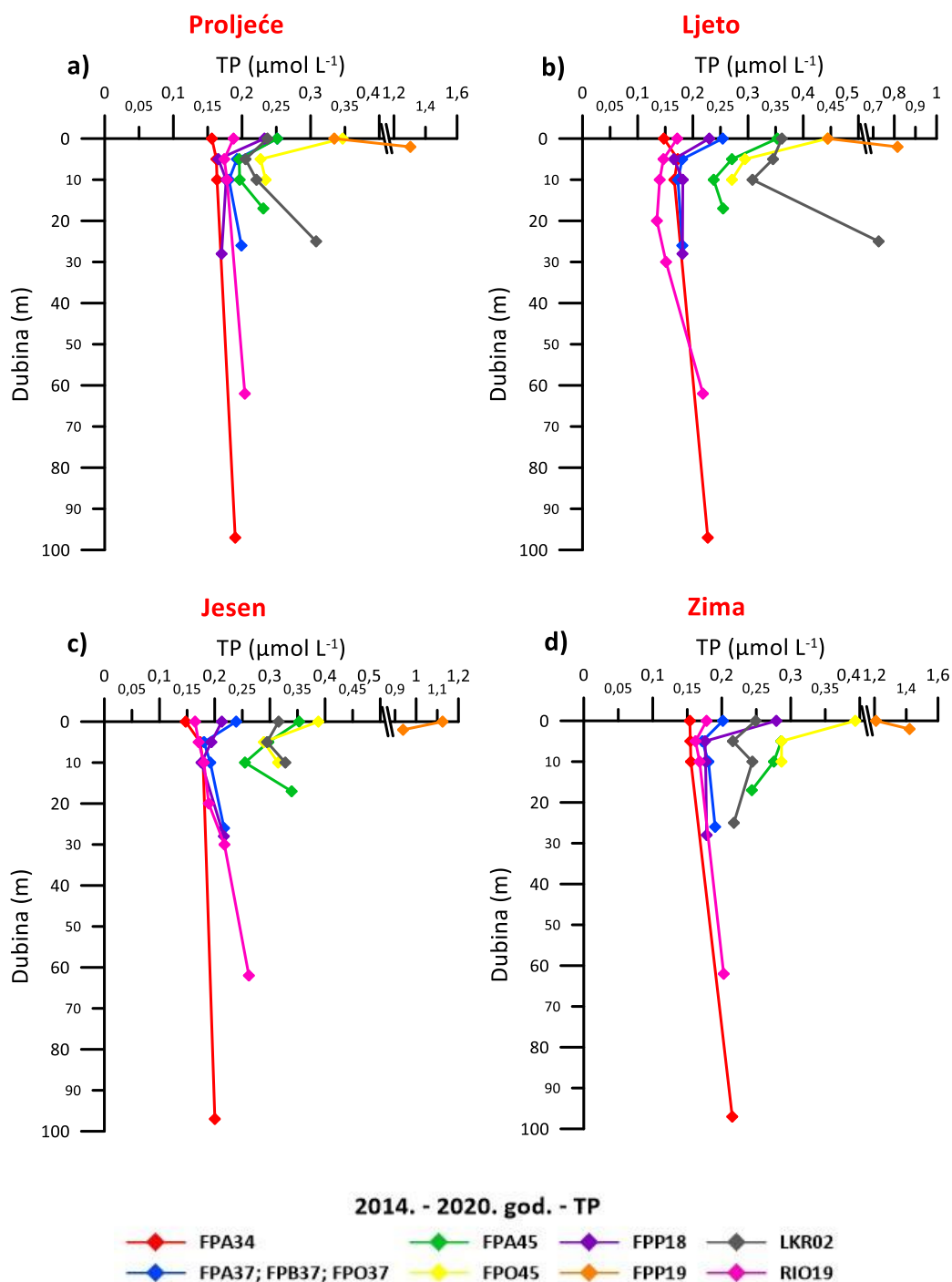
Vrijednosti N/P omjera na svim su se postajama i u svim sezonama naglo snizile u prvih 5 - 10 m (302,10 - 17,16) dok su prema pridnenim slojevima bile relativno ujednačene i kretale se oko 30,00. Samo su na tzv. referentnoj postaji FPA34 bile jednoliko raspodijeljene u čitavom vodenom stupcu u proljeće, jesen i zimu, dok su se tijekom ljeta vrijednosti tog omjera povećale u prvih 10 m (11,00 - 40,00), nakon čega su također bile izjednačene (40,00 - 44,00). Uspoređujući proljeće i zimu, slična situacija kao na referentnoj postaji bila je i na RIO19 na kojoj su također vrijednosti N/P omjera bile prilično izjednačene u čitavom vodenom stupcu (u proljeće između 21,00 i 55,00; zimi 70,00 - 87,00), dok su tijekom ljeta i jeseni oscilirale. Najviše vrijednosti na 0 m tijekom svih su sezona izmjerene na postajama u Bakarskom zaljevu (FPA37; FPB37; FPO37 s prosječnim vrijednostima 184,41 - 302,10; Slika 24 i Tablice 2, 3, 4 i 5).

2014. - 2020. god. - PO₄³⁻



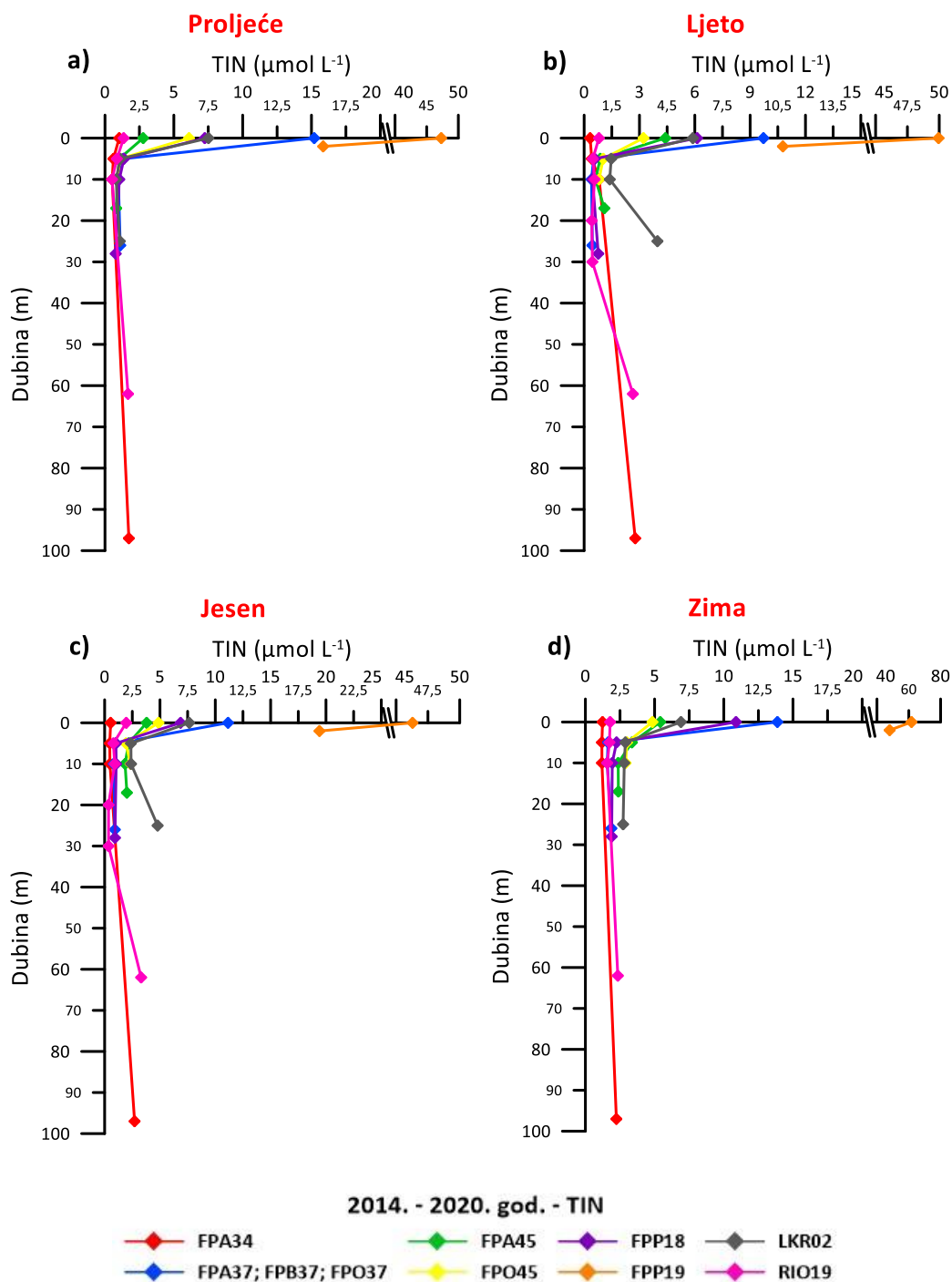
Slika 20. Vertikalna raspodjela ortofosfata po sezonama (proljeće - a, ljeto - b, jesen - c, zima - d) u razdoblju 2014. - 2020. godine na istraživanim postajama (FPA34 - Kvarnerić, FPA37; FPB37; FPO37 - Bakarski zaljev, FPA45; FPO45 - Pulska luka, FPP18 - ušće Rječine, FPP19 - ušće Raše, LKR02 - Limski zaljev, RIO19 - Riječki zaljev).

2014. - 2020. god. - TP



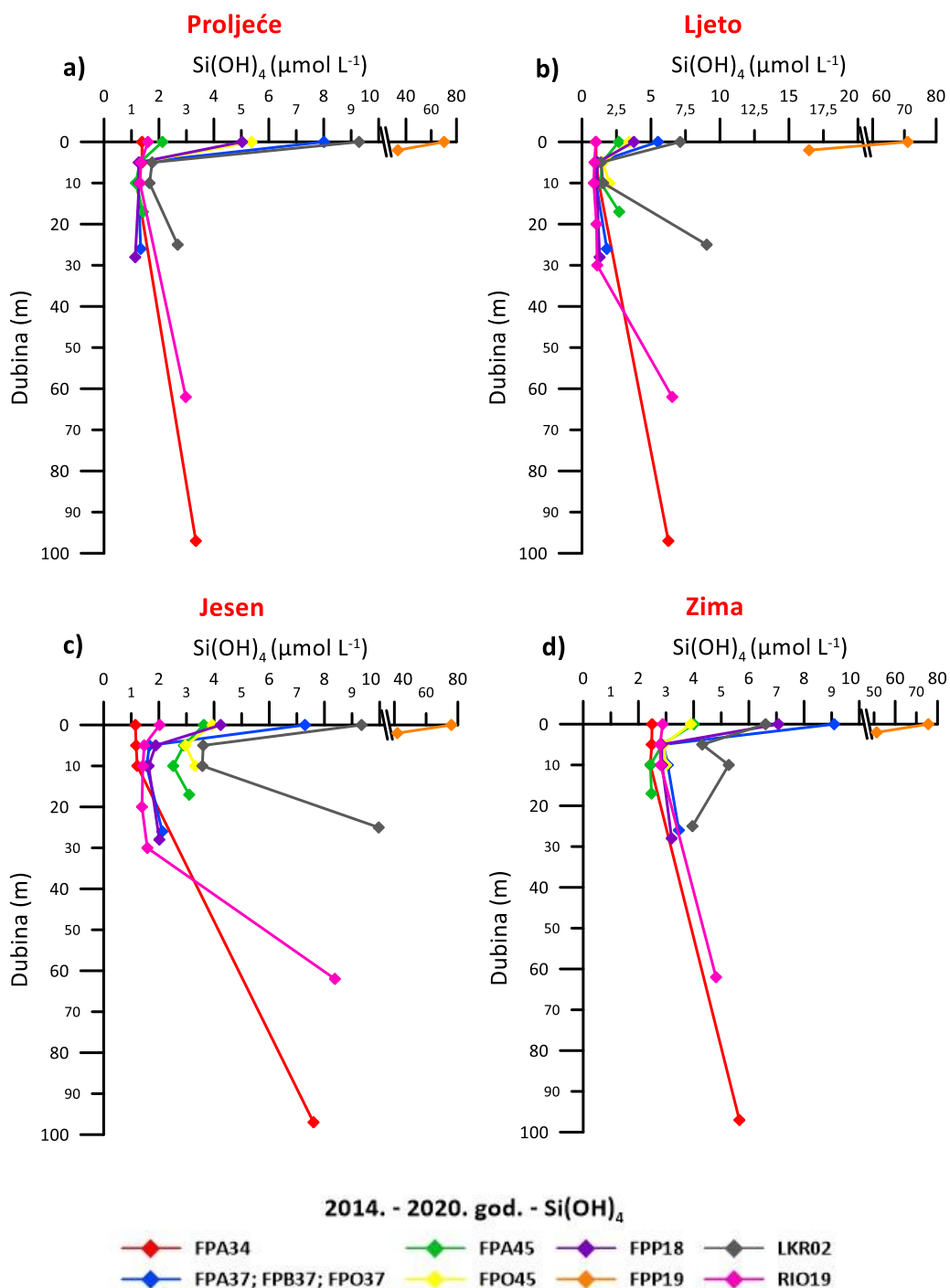
Slika 21. Vertikalna raspodjela ukupnog fosfora po sezonama (proljeće - a, ljeto - b, jesen - c, zima - d) u razdoblju od 2014. do 2020. godine na istraživanim postajama (FPA34 - Kvarnerić, FPA37; FPB37; FPO37 - Bakarski zaljev, FPA45; FPO45 - Pulska luka, FPP18 - ušće Rječine, FPP19 - ušće Raše, LKR02 - Limski zaljev, RIO19 - Riječki zaljev).

2014. - 2020. god. - TIN



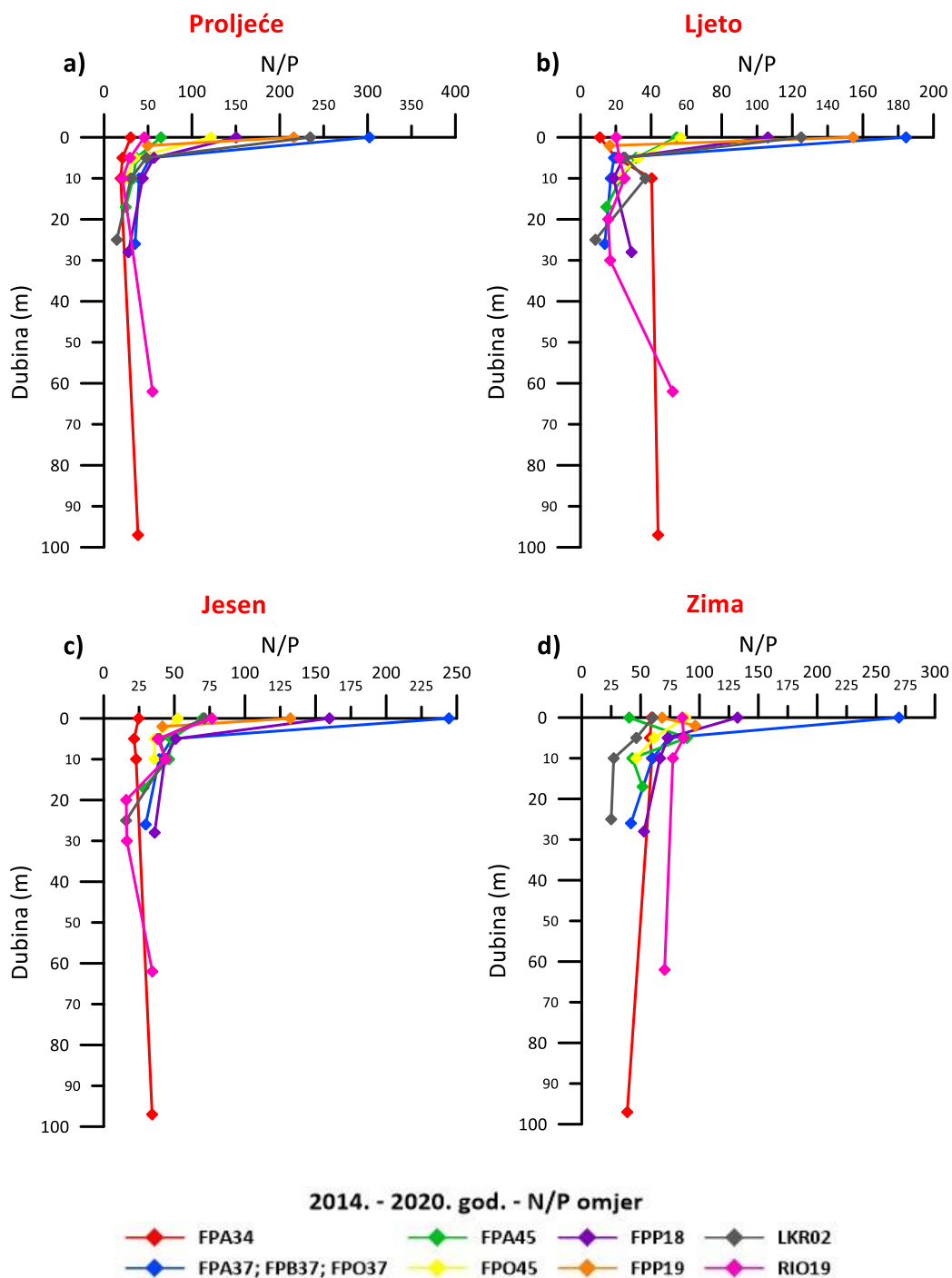
Slika 22. Vertikalna raspodjela ukupnog anorganskog dušika po sezonama (proljeće - a, ljeto - b, jesen - c, zima - d) u razdoblju od 2014. do 2020. godine na istraživanim postajama (FPA34 - Kvarnerić, FPA37; FPB37; FPO37 - Bakarski zaljev, FPA45; FPO45 - Pulska luka, FPP18 - ušće Rječine, FPP19 - ušće Raše, LKR02 - Limski zaljev, RIO19 - Riječki zaljev).

2014. - 2020. god. - Si(OH)₄



Slika 23. Vertikalna raspodjela ortosilikata po sezonama (proljeće - a, ljeto - b, jesen - c, zima - d) u razdoblju od 2014. do 2020. godine na istraživanim postajama (FPA34 - Kvarnerić, FPA37; FPB37; FPO37 - Bakarski zaljev, FPA45; FPO45 - Pulska luka, FPP18 - ušće Rječine, FPP19 - ušće Raše, LKR02 - Limski zaljev, RIO19 - Riječki zaljev).

2014. - 2020. god. - N/P omjer



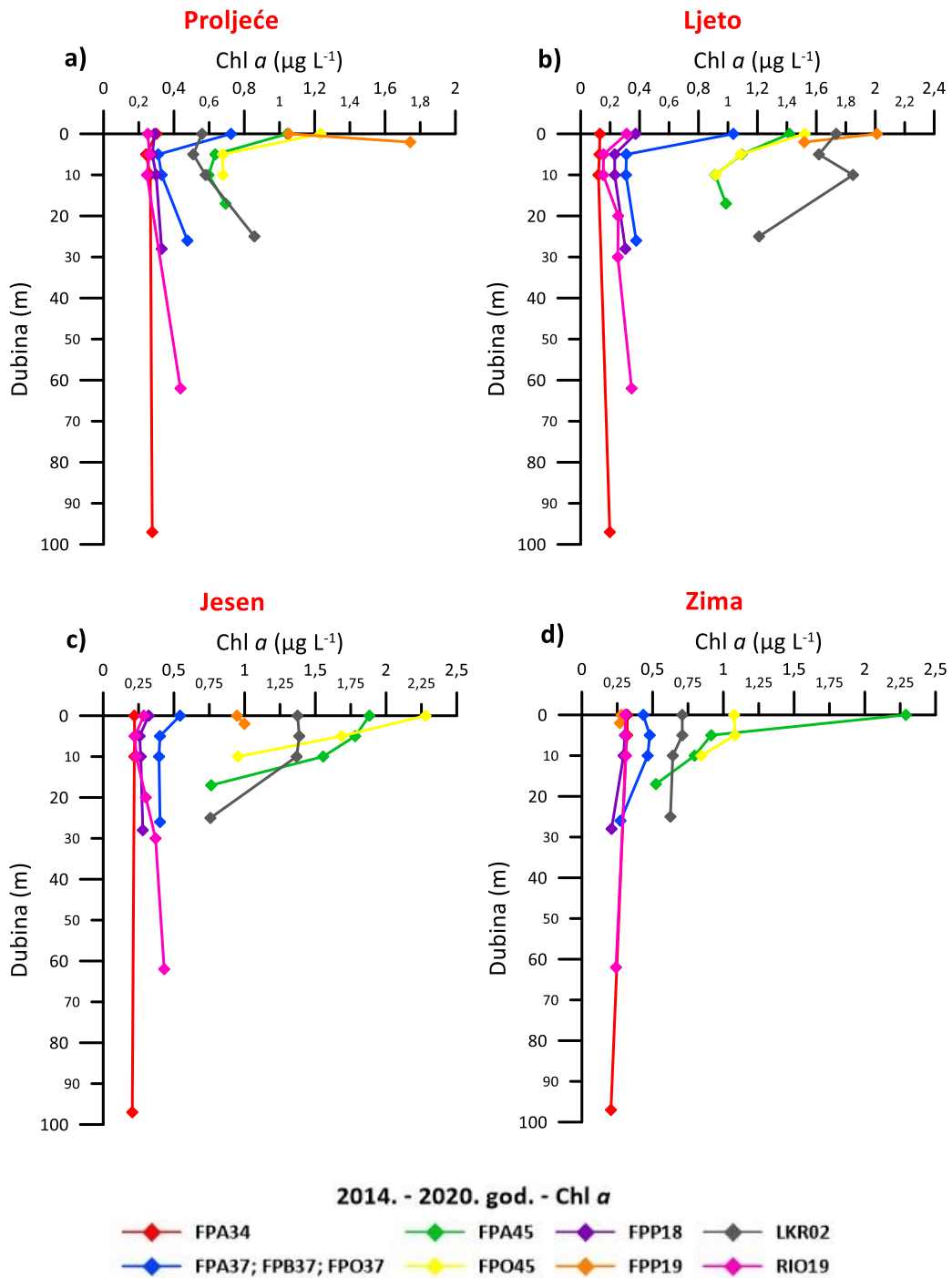
Slika 24. Vertikalna raspodjela N/P omjera po sezonama (proljeće - a, ljeto - b, jesen - c, zima - d) u razdoblju od 2014. do 2020. godine na istraživanim postajama (FPA34 - Kvarnerić, FPA37; FPB37; FPO37 - Bakarski zaljev, FPA45; FPO45 - Pulska luka, FPP18 - ušće Rječine, FPP19 - ušće Raše, LKR02 - Limski zaljev, RIO19 - Riječki zaljev).

Koncentracija klorofila *a* (Chl *a*) je u svim sezonama bila najniža na postaji FPA34, i pri tom su vrijednosti gotovo na svim uzorkovanim dubinama bile ujednačene i kretale se oko 0,20 $\mu\text{g L}^{-1}$. Naime, u jesen su najviše vrijednosti zabilježene na postaji FPO45 (0,95 - 2,28 $\mu\text{g L}^{-1}$), a tijekom zime su vrijednosti bile najviše na postaji FPA45 i kretale su se od 0,52 do 2,29 $\mu\text{g L}^{-1}$ (Slika 25 i Tablice 2, 3, 4 i 5).

Prema vertikalnoj raspodjeli trofičkog indeksa (TRIX-a) u svim su sezonama najniže površinske vrijednosti zabilježene na postaji FPA34 te su se neznatno povećavale s dubinom. Kretale su se od površinskih 2,16 do pridnenih 3,64. Osim referentne postaje, niže vrijednosti TRIX-a u odnosu na ostale, bile su i na postaji RIO19 (od površinskih 2,45 do pridnenih 4,23). Najviše vrijednosti izmjerene su na postaji FPP19 u svim sezonama, a kretale su se u rasponu od 4,91 do 5,30. Osim nje, nešto više vrijednosti TRIX-a nađene su i u Pulskim postajama (FPA45 i FPO45) te na postaji LKR02. Na njima je uglavnom uočen pad vrijednosti u prvih 5 - 10 metara dubine, nakon čega vrijednosti TRIX-a se povisuju (do 4,87), osim u zimskom periodu kada na dubini većoj od 10 m počinju biti konstantne i kreću se oko 3,70 (Slika 26 i Tablice 2, 3, 4 i 5).

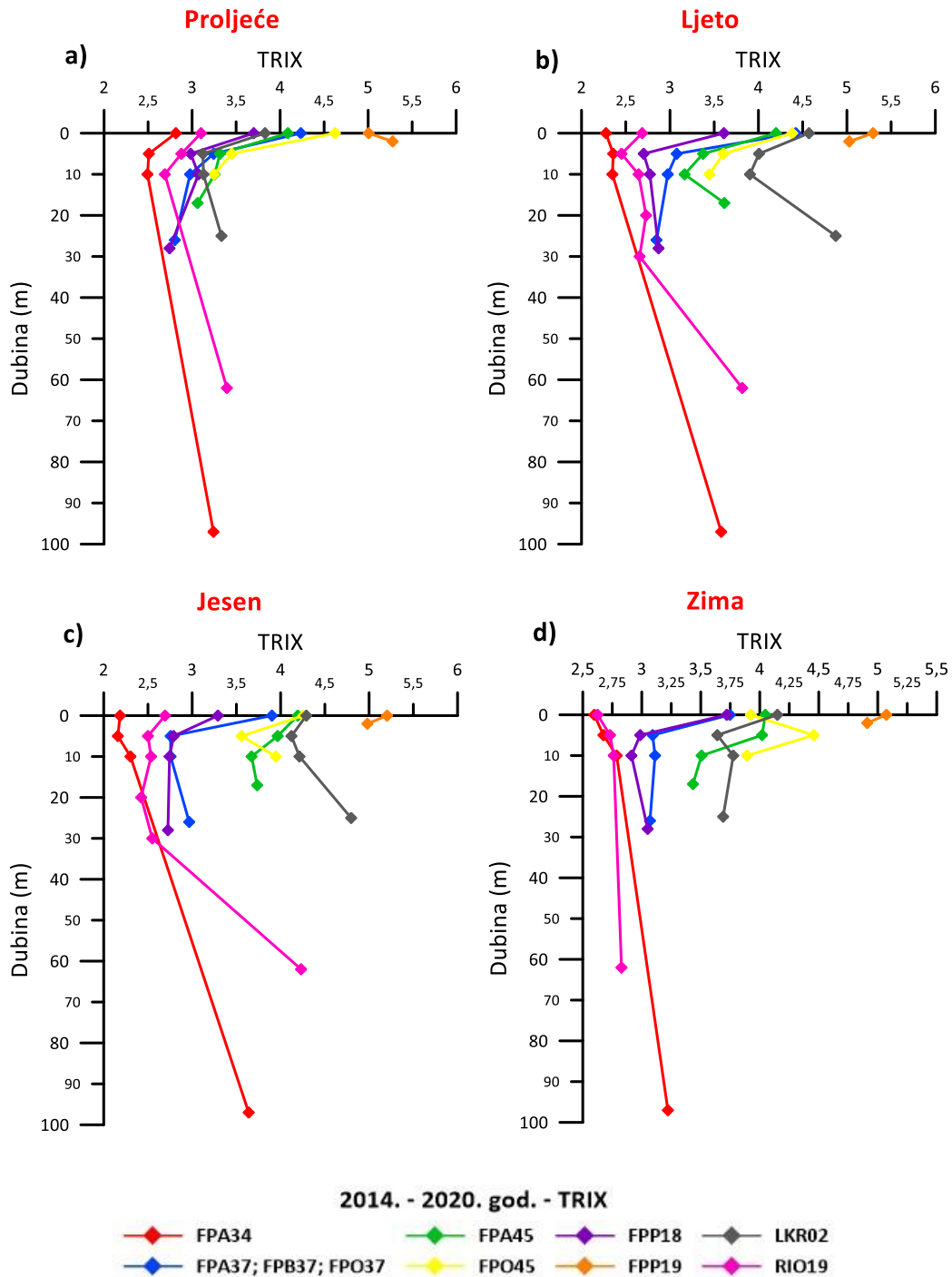
Prozirnost je na referentnoj postaji bila očekivano najveća tijekom proljeća, ljeta i jeseni sa maksimumom do 23 m u jesen. Tijekom zime je veća prozirnost u odnosu na referentnu postaju zabilježena na postaji RIO19, a iznosila je 17 m, no zimi je na svim postajama prozirnost bila niža u usporedbi sa ostalim sezonama (s prosjekom 15 m). Budući da su znatno pliće, na ostalim je postajama prozirnost očekivano bila manja s vrijednostima od pola do 7 m (Slika 27).

2014. - 2020. god. - Chl *a*



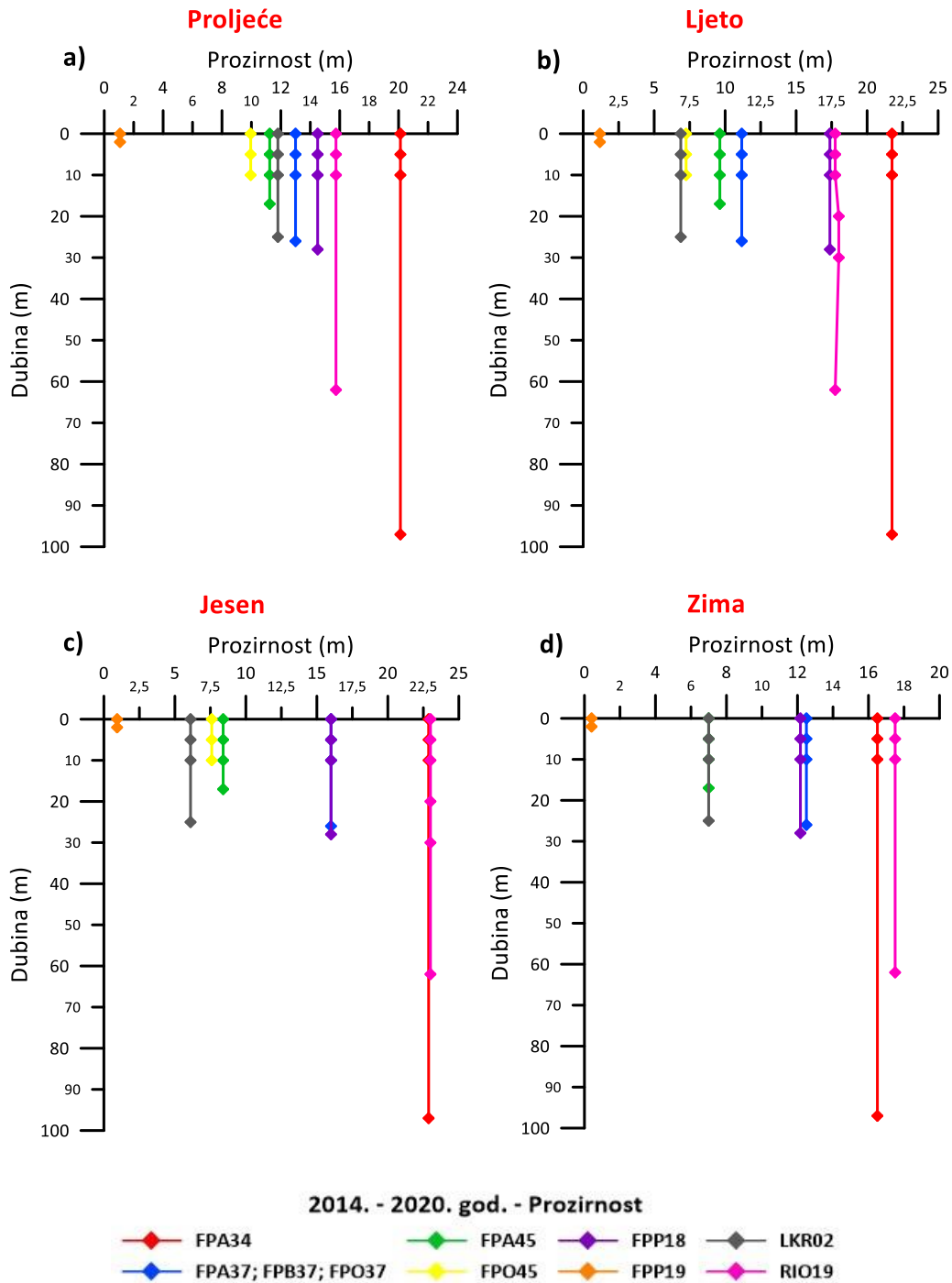
Slika 25. Vertikalna raspodjela klorofila *a* po sezonama (proljeće - a, ljeto - b, jesen - c, zima - d) u razdoblju od 2014. do 2020. godine na istraživanim postajama (FPA34 - Kvarnerić, FPA37; FPB37; FPO37 - Bakarski zaljev, FPA45; FPO45 - Pulska luka, FPP18 - ušće Rječine, FPP19 - ušće Raše, LKR02 - Limski zaljev, RIO19 - Riječki zaljev).

2014. - 2020. god. - TRIX



Slika 26. Vertikalna raspodjela trofičkog indeksa (TRIX) po sezonama (proljeće - a, ljeto - b, jesen - c, zima - d) u razdoblju od 2014. do 2020. godine na istraživanim postajama (FPA34 - Kvarnerić, FPA37; FPB37; FPO37 - Bakarski zaljev, FPA45; FPO45 - Pulska luka, FPP18 - ušće Rječine, FPP19 - ušće Raše, LKR02 - Limski zaljev, RIO19 - Riječki zaljev).

2014. - 2020. god. - Prozirnost



Slika 27. Vertikalna raspodjela prozirnosti po sezonama (proljeće - a, ljeto - b, jesen - c, zima - d) u razdoblju od 2014. do 2020. godine na istraživanim postajama (FPA34 - Kvarnerić, FPA37; FPB37; FPO37 - Bakarski zaljev, FPA45; FPO45 - Pulska luka, FPP18 - ušće Rječine, FPP19 - ušće Raše, LKR02 - Limski zaljev, RIO19 - Riječki zaljev).

5.1.2. PCA analiza pojedinih parametara u vodenom stupcu i fosfora u sedimentu

Kako bismo dodatno ustanovili ovisnost parametara koji definiraju eutrofne uvjete u vodenom stupcu (ortofosfat - PO_4^{3-} , ukupni fosfor - TP, klorofil *a* - Chl *a* i TRIX) i klasificiraju postaje upravo prema tipu vode (Poglavlje 1.2) na istraživanim postajama - prijelazne ili priobalne (što nam eksplicitno ukazuju vrijednosti saliniteta u vodenom stupcu; Tablice 2-5) u odnosu na ukupni fosfor u sedimentu (TP), napravljena je PCA analiza.

U prvom djelu slike (Svojstvene vrijednosti), koji prikazuje postotak varijacije kojega opisuju određene osi, vidljivo je da je pomoću tri osi odnosno pomoću tri glavne komponente opisano gotovo 100% varijabilnosti između uzoraka. Naime, već je za prve dvije komponente opisano čak 98,4% varijabilnosti. Prva os opisuje 83,2% varijabilnosti između uzoraka, druga os 15,3%, a treća 1,3% (Slika 28).

U drugom djelu slike (Svojstveni vektori), prikazano je koje su to varijable koje utječu upravo na taj raspored uzoraka odnosno, prikazani su koeficijenti korelacije koji najbolje koreliraju sa pojedinom PC osi. Iz slike je moguće uočiti da sa PC1 osi najbolje pozitivno korelira salinitet (S-1) čiji koeficijent korelacije iznosi (0,456), dok je ova os negativno korelirana sa svim ostalim varijablama, no najviše sa ukupnim fosforom (TP) čiji koeficijent korelacije iznosi (-0,488) te s ortofosfatom (PO_4^{3-}) čiji je koeficijent korelacije (-0,478). PC2 os je najviše pozitivno korelirana sa klorofilom *a* (0,864), dok je PC3 os najviše pozitivno korelirana sa trofičkim indeksom (TRIX) čija vrijednost koeficijenta korelacije iznosi (0,859).

Svojstvene vrijednosti			
PC	Svojstvene vrijednosti	%varijacije	Ukupni%varijacije
1	4,16	83,2	83,2
2	0,763	15,3	98,4
3	6,51E-2	1,3	99,7
4	1,4E-2	0,3	100,0
5	3,64E-4	0,0	100,0

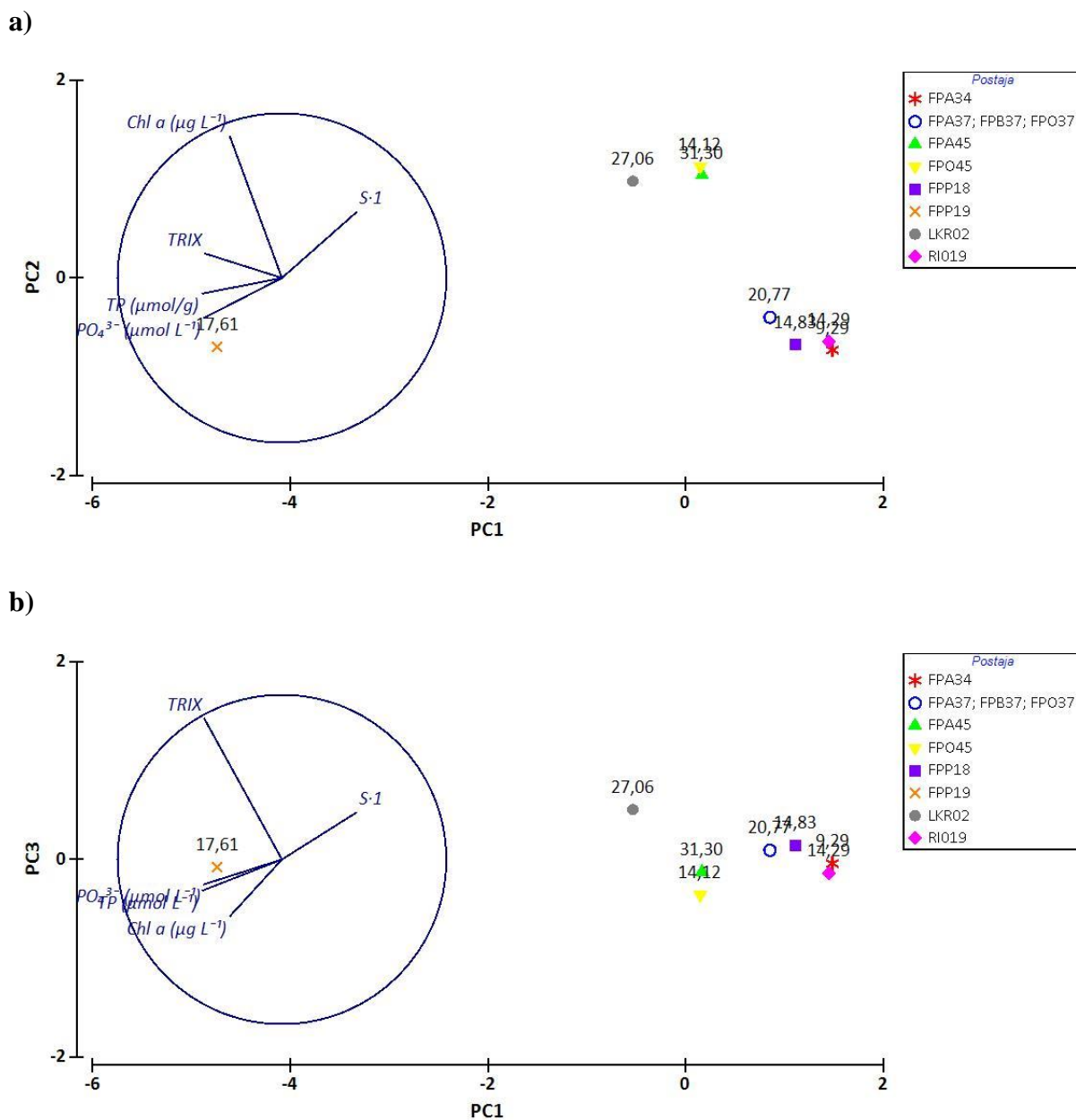
Svojstveni vektori					
(Koeficijenti korelacije koji najbolje koreliraju sa pojedinom PC osi)					
Variable	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
S-1	0,456	0,402	0,287	-0,740	0,021
PO_4^{3-} ($\mu\text{mol L}^{-1}$)	-0,478	-0,245	-0,152	-0,505	-0,659
TP ($\mu\text{mol L}^{-1}$)	-0,488	-0,096	-0,191	-0,405	0,744
Chl <i>a</i> ($\mu\text{g L}^{-1}$)	-0,319	0,864	-0,347	0,135	-0,113
TRIX	-0,474	0,150	0,859	0,123	-0,004

Slika 28. Slika PCA analize. Prvi dio (Svojstvene vrijednosti) predstavlja postotak varijacije kojega opisuju određene osi, a drugi dio (Svojstveni vektori) prikazuje varijable koje su zaslužne upravo za ovakav raspored uzoraka odnosno, prikazani su koeficijenti korelacije koji najbolje koreliraju sa pojedinom PC osi.

Na slici 29 a vidi se da je PC1 os najbolje pozitivno korelirana sa salinitetom (0,456) što ukazuje na to da sve postaje, u odnosu na postaju FPP19, imaju viši salinitet budući da se nalaze s desne strane grafa odnosno da su orijentirane prema pozitivnoj strani. Nasuprot tome, sve ostale varijable, a naročito totalni fosfor (-0,488) i ortofosfat (-0,478), negativno su korelirane sa PC1 osi, što znači da uzorci s postaje FPP19, koja se nalazi s lijeve strane grafa, imaju puno veću koncentraciju ovih nutrijenata u usporedbi s uzorcima ostalih postaja. PC2 os najbolje je opisana sa Chl *a*, s kojim je pozitivno korelirana, iz čega se može zaključiti da su postaje FPA45, FPO45 i LKR02 koje se nalaze iznad nule, one s nešto većom koncentracijom klorofila *a* u odnosu na ostale postaje koje su orijentirane malo ispod nule.

Na slici 29 b moguće je primijetiti da se pozicije postaja nisu puno promijenile. PC1 os je i dalje pozitivno korelirana sa salinitetom odnosno negativno korelirana sa totalnim fosforom, ortofosfatom, TRIX-om i klorofilom *a*. PC3 os je najbolje pozitivno korelirana sa TRIX-om (0,859), a najbolje negativno korelirana s Chl *a* (-0,347) iz čega se može zaključiti da uzorci sa postaja koje se na grafu nalaze iznad nule imaju veći TRIX u odnosu na uzorke onih postaja koje se nalaze ispod nule. Suprotno tome, prema ovome bi grafu koncentracija klorofila *a* trebala biti veća kod onih postaja koje se nalaze ispod nule u odnosu na postaje iznad nule. No, s obzirom na to da su sve postaje u odnosu na PC3 os orijentirane oko nule, razlike u koncentracijama nutrijenata u uzorcima uzetim na ovim postajama su zanemarive.

Na temelju slike 28 i grafičkih prikaza PCA analize moguće je zaključiti da postoje razlike u fizikalno-kemijskim karakteristikama vodenog stupca između postaja koje se nalaze na području prijelaznih i onih koje se nalaze na području priobalnih voda, no nije uočen značajan utjecaj parametara u vodenom stupcu na sadržaj ukupnog fosfora u sedimentu što ukazuje na to da je ovakav sastav sedimenta karakteristika samog područja te nije uvjetovan situacijom u vodenom stupcu. Iz slike 29 a i b vidi se da sve promatrane postaje u odnosu na postaju FPP19 karakterizira povišeni salinitet, dok ona sama definitivno iskače po svim ostalim varijablama tj. po ukupnom fosforu, ortofosfatu, TRIX-u i klorofilu *a*. Ovakva situacija sniženog saliniteta na postaji FPP19 u odnosu na ostale postaje logična je s obzirom na to da se ova postaja nalazi u neposrednoj blizini ušća Raše. Neznatno više koncentracije klorofila *a* na postaji FPA45 i LKR02 popraćene nešto višim vrijednostima ukupnog fosfora u sedimentu u odnosu na ostale postaje, mogu ukazivati na to da je ovdje ipak riječ o povišenoj primarnoj proizvodnji što je dovelo do pojačane sedimentacije te konačno i viših vrijednosti TP-a u sedimentu u usporedbi s ostalim postajama.



Slika 29. PCA ordinacijski grafovi ovisnosti parametara koji definiraju eutrofne uvjete u vodenom stupcu (ortofosfat - PO_4^{3-} , ukupni fosfor - TP, klorofil *a* - Chl *a* i TRIX) i klasificiraju postaje prema tipu vode - prijelazne ili priobalne (salinitet) s ukupnim fosforom u sedimentu (TP). Na prvom grafu - a prikazane su osi (PC1 i PC2) na temelju kojih je moguće opisati 98,4% varijabilnosti među uzorcima, dok drugi graf - b prikazuje osi (PC1 i PC3) pomoću kojih je moguće opisati 99,7% varijabilnosti među uzorcima.

5.1.3. Godišnja raspodjela eutrofnih parametara u vodenom stupcu

Iz raspodjele parametara u vodenom stupcu na postaji FPA34, vidljivo je da su vrijednosti TRIX-a u pridnenom sloju tijekom svih godina bile više (3,12 - 3,70) u odnosu na vrijednosti eufotskog sloja (2,23 - 2,63), ali su sve te vrijednosti prema trofičkoj skali odgovarale oligotrofnom, tj. *vrlo dobrom* stanju (Tablica 1) što je i očekivano za ovu postaju. Koncentracije PO_4^{3-} i TP-a su shodno tome također bile više u pridnenom sloju ($0,05 - 0,11 \mu\text{mol L}^{-1}$; $0,18 - 0,23 \mu\text{mol L}^{-1}$) u usporedbi s višim slojevima ($0,02 - 0,03 \mu\text{mol L}^{-1}$; $0,14 - 0,19 \mu\text{mol L}^{-1}$). U slučaju Chl *a*, tijekom 2015. i 2016. godine su pridnene vrijednosti bile neznatno više u odnosu na prvih 10 m, dok je situacija u razdoblju od 2017. do 2020. godine bila obrnuta (Slika 30a).

Na postajama Bakarskog zaljeva (FPA37; FPB37; FPO37) tijekom svih godina TRIX je bio viši u gornjim slojevima vodenog stupca od 0-10 m (prosječnog raspona 3,19 - 3,58) u usporedbi s pridnenim (2,66 - 3,23). I za ovo područje se, osim nekih pojedinačnih iznimnih vrijednosti može ustanoviti *vrlo dobro* stanje prema trofičkoj skali. U slučaju ortofosfata i ukupnog fosfora, razlike u vrijednostima gornjih i pridnenog sloja bile su zanemarive, a Chl *a* je tijekom svih godina, osim 2018. bio viši u plićim slojevima vodenog stupca (Slika 30b).

Na postaji FPA45 površinske vrijednosti TRIX-a kretale su se od 3,35 do 4,21 čime su ovu postaju ipak klasificirale u mezotrofnu tj. *dobro* trofičko stanje. Jedino su u 2014. i 2018. godini vrijednosti bile niže u odnosu na pridnene. Koncentracija ortofosfata je u površinskom sloju bila viša u 2015. i 2016. godini. U 2019. godini su vrijednosti u prvih 10 m vodenog stupca i pri dnu bile jednake ($0,06 \mu\text{mol L}^{-1}$), a tijekom ostalih su godina izmjerene više vrijednosti ovog parametra u pridnenim slojevima. TP je tijekom 2015., 2016., 2018. i 2019. godine bio viši u površinskom sloju, 2014. i 2020. u pridnenom, dok su vrijednosti 2017. godine bile identične u čitavom vodenom stupcu ($0,21 \mu\text{mol L}^{-1}$). Površinske vrijednosti Chl *a* kretale su se od 0,72 do 2,03 $\mu\text{g L}^{-1}$, a tijekom 2014., 2015., 2016. i 2020. bile su čak dvostruko više u odnosu na pridnene. Jedino su u 2017. i 2018. godini pridnene vrijednosti dominirale u usporedbi s površinskim (Slika 30c).

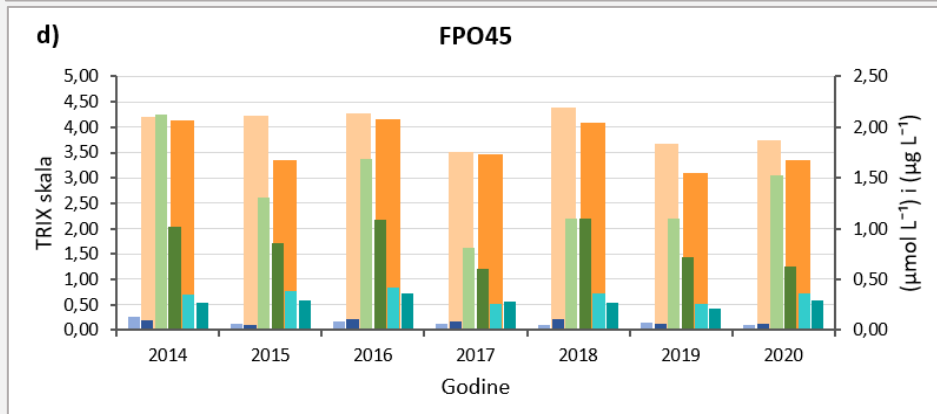
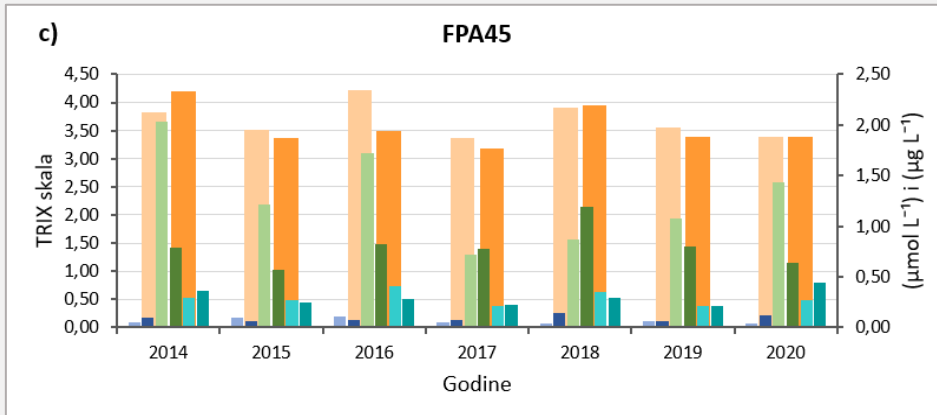
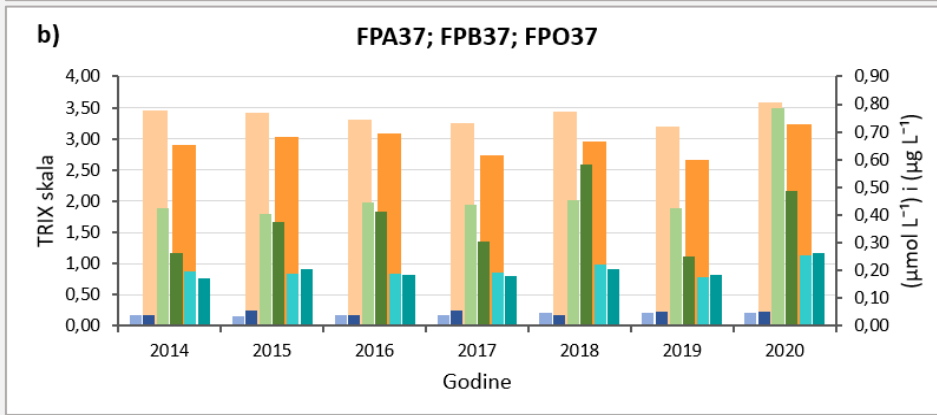
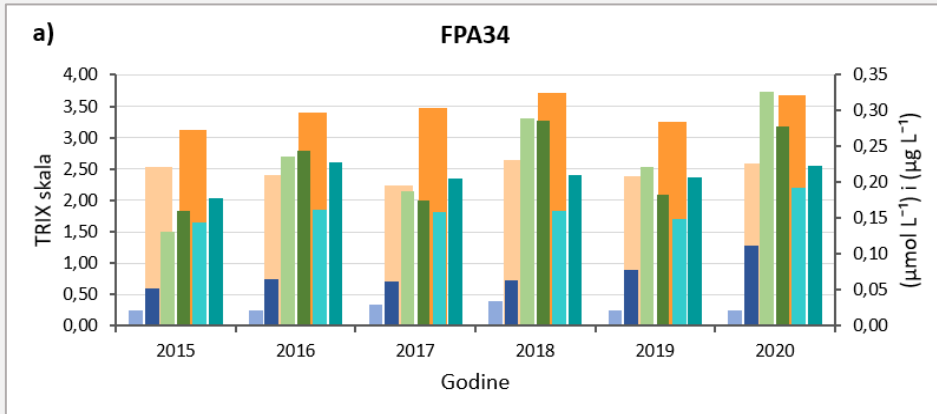
Vrijednosti TRIX-a su u površinskom sloju FPO45 bile neznatno više u odnosu na drugu istraživanu postaju u Pulskoj luci i kretale su se od 3,51 do 4,38 i tijekom svih su godina bile više u odnosu na pridnene vrijednosti koje su se kretale u rasponu od 3,08 do 4,14, klasificirajući i ovu postaju prema eutrofnom pritisku u mezotrofnu tj. s *dobrim* stanjem. Koncentracija ortofosfata je tijekom 2014., 2015. i 2019. godine bila viša u gornjem dijelu

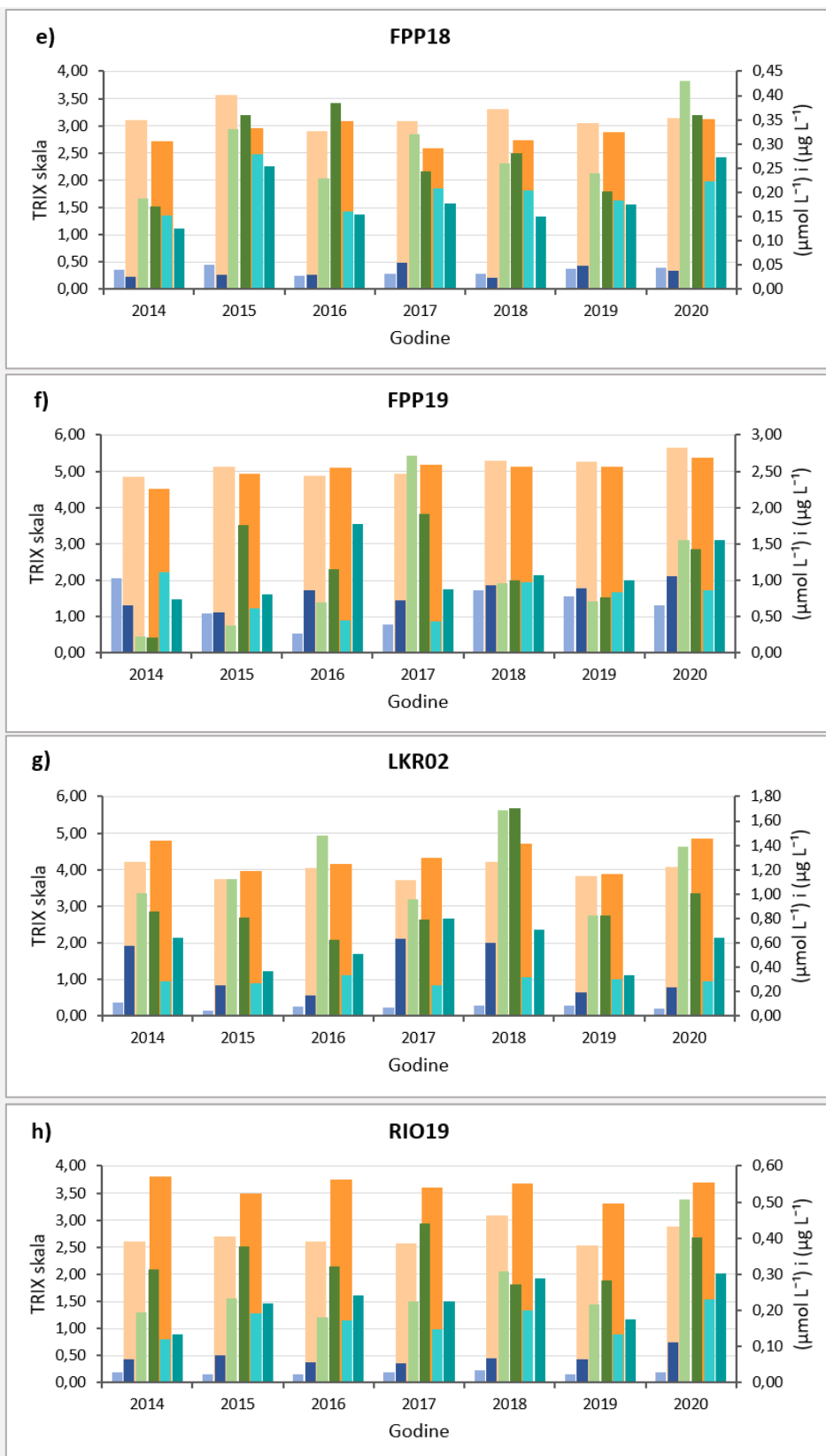
vodenog stupca, dok su tijekom ostalih godina vrijednosti bile više pri dnu. Pridnene vrijednosti TP-a jedino su 2017. godine bile više u odnosu na površinske, a tijekom svih ostalih godina situacija je bila obrnuta. U slučaju Chl *a*, površinske su se vrijednosti kretale od 0,81 do 2,12 $\mu\text{g L}^{-1}$ i tijekom svih su godina bile više u usporedbi s pridnenim, osim 2018. kada su vrijednosti na površini i pri dnu bile jednake (1,09 $\mu\text{g L}^{-1}$; Slika 30d).

Iako je FPP18 postaja prijelaznih voda i nalazi se na području ušća Rječine, tijekom 2016. godine su vrijednosti TRIX-a u pridnenom dijelu postaje FPP18 bile više u odnosu na površinske vrijednosti, ali su tijekom ostalih godina površinske vrijednosti bile karakteristične za postaju pod utjecajem eutrofnih pritisaka i kretale su se od 2,89 do 3,55. Koncentracija ortofosfata je u površinskom sloju bila viša tijekom 2014., 2015., 2018. i 2020., a u ostalim je godinama dominirao pridneni. TP je bio viši u površinskom sloju tijekom svih godina, osim 2020. kada je izmjereno 0,27 $\mu\text{mol L}^{-1}$ u odnosu na nešto niži površinski od 0,22 $\mu\text{mol L}^{-1}$. Vrijednosti Chl *a* bile su više u površinskom sloju tijekom 2014., 2017., 2019., i 2020., a u 2015., 2016. i 2018. su izmjerene više vrijednosti u pridnenom sloju (Slika 30e i Tablica 2, 3, 4 i 5).

Na postaji FPP19 vrijednosti TRIX-a su tijekom 2016. i 2017. godine bile neznatno više u pridnenom (5,80; 5,18) u odnosu na površinski sloj (4,87; 4,92) dok je tijekom ostalih godina bilo obrnuto (u površinskom od 4,83 do 5,63 i pridnenom od 4,52 do 5,35). U skladu s tim i vrijednosti ortofosfata su jedino u 2014. godini bile više u površinskom sloju, a tijekom ostalih su godina više vrijednosti zabilježene pri dnu. Slična je situacija na ovoj postaji bila i sa TP-om, a najveće razlike između površinskih i pridnenih vrijednosti zabilježene su 2016. godine kada je TP na površini bio 0,44 $\mu\text{mol L}^{-1}$, dok je pri dnu izmjereno 1,77 $\mu\text{mol L}^{-1}$. Chl *a* je u 2014. bio sličan na površini i pri dnu, 2017. i 2020. godine je dominirao površinski Chl *a*, a tijekom ostalih godina pridneni. 2017. godine su izmjerene najviše vrijednosti Chl *a* na površini (2,71 $\mu\text{g L}^{-1}$) i pri dnu (1,90 $\mu\text{g L}^{-1}$; Slika 30f).

■ POVRŠINA (TRIX) ■ DNO (TRIX) ■ POVRŠINA (PO₄³⁻) μmol L⁻¹ ■ DNO (PO₄³⁻) μmol L⁻¹
■ POVRŠINA (Chl a) μg L⁻¹ ■ DNO (Chl a) μg L⁻¹ ■ POVRŠINA (TP) μmol L⁻¹ ■ DNO (TP) μmol L⁻¹





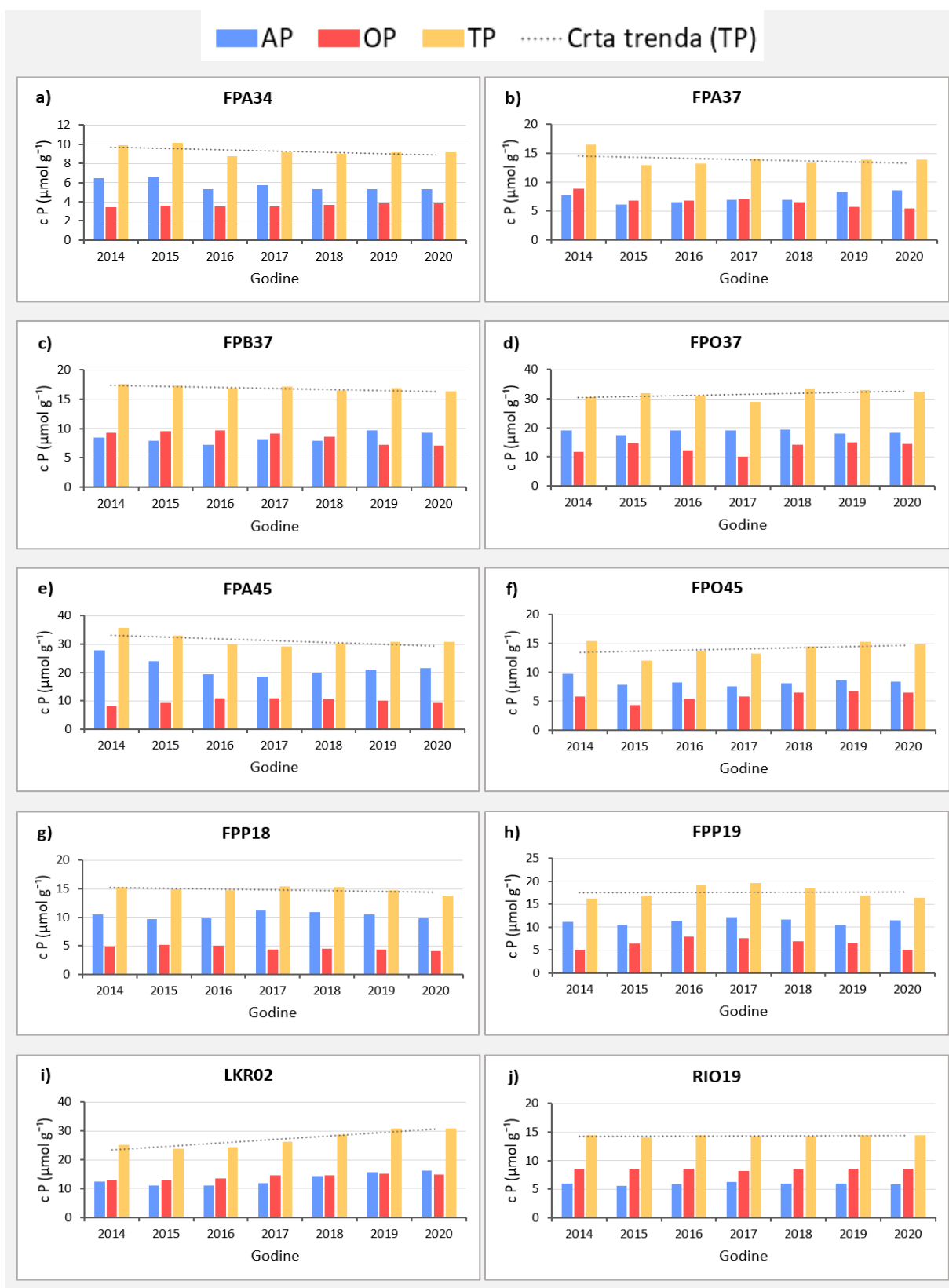
Slika 30. Godišnja raspodjela trofičkog indeksa - TRIX (narančasto), ortofosfata - PO_4^{3-} (plavo) i ukupnog fosfora - TP (tirkizno) u $\mu\text{mol L}^{-1}$, te klorofila *a* (zeleno) u $\mu\text{g L}^{-1}$ na istraživanim postajama (od a do h) u razdoblju 2014. - 2020. Svjetlijom nijansom prikazan je eufotski sloj (0 - 10 m) kojeg kolokvijalno zovemo i površinski - POVRŠINA, a tamnijom nijansom pridneni sloj - DNO.

Pridnene vrijednosti TRIX-a su se na postaji LKR02 kretale od 3,87 do 4,83 i tijekom svih su godina bile više u odnosu na površinske (3,69 - 4,19) klasificirajući ovu postaju tijekom svih godina i sezona u mezotrofnu, pa čak i eutrofnu prema nekim pojedinačnim vrijednostima (Tablica 2, 3, 4 i 5). S obzirom da je ova postaja na području gdje je u istraživanom razdoblju glavina aktivnosti bila vezana uz uzgoj školjkaša, a nakon toga i riba, nije neuobičajeno da su se upravo one mogle odraziti na eutrofni status. Tako su i vrijednosti koncentracija ortofosfata i TP-a bile više u pridnenom u usporedbi s površinskim slojem tijekom svih istraživanih godina, ali vrijednosti Chl *a* gotovo svake su godine bile više u površinskom sloju u odnosu na pridneni, osim 2019. kada su vrijednosti u cijelom vodenom stupcu bile iste i 2018. kada su pridnene vrijednosti bile zanemarivo više ($1,70 \mu\text{g L}^{-1}$) od površinskih ($1,69 \mu\text{g L}^{-1}$; Slika 30g). Povišene koncentracije klorofila *a* upravo sugeriraju na povećanu fitoplanktonsku aktivnost kao posljedicu viših koncentracija hranjivih soli u ovom području.

Postaja RIO19 obilježena je višim pridnenim vrijednostima TRIX-a (3,29 - 3,80) u odnosu na površinske (2,52 - 3,07) tijekom svih godina, koji ju klasificiraju u uglavnom oligotrofnu postaju. Također, pridnene vrijednosti PO_4^{3-} i TP-a isto su bile više u odnosu na površinske tijekom svih godina, a u slučaju Chl *a* su jedino u 2018. i 2020. zabilježene više vrijednosti na površini nego pri dnu (Slika 30h), iako su općenito te vrijednosti bile niske (nisu prelazile $0,50 \mu\text{g L}^{-1}$) s očito niskom fitoplanktonskom aktivnosti.

5.1.4. Godišnja raspodjela pojedinih frakcija fosfora u sedimentu

Osim godišnje raspodjele eutrofnih parametara u vodenom stupcu, analizirali smo i godišnju raspodjelu pojedinih frakcija fosfora u sedimentu. Na grafičkom prikazu Slike 31 vidljiv je trend blagog rasta koncentracije ukupnog fosfora u sedimentu od 2014. do 2020. godine na postajama FPO37 ($28,86 - 33,34 \mu\text{mol g}^{-1}$) i FPO45 ($12,03 - 15,41 \mu\text{mol g}^{-1}$), te nešto značajnijeg rasta na postaji LKR02 ($23,80 - 30,74 \mu\text{mol g}^{-1}$). Suprotno tome, postaje FPA34, FPA37, FPB37, FPA45 i FPP18 pokazuju trend smanjenja koncentracije ukupnog fosfora u sedimentu tijekom godina. U slučaju postaja FPP19 i RIO19 koncentracije ove fosforne frakcije se kroz godine nisu značajno mijenjale te je na ovim postajama vidljiv ujednačen trend tj. nije bilo značajnih odstupanja.



Slika 31. Godišnja raspodjela pojedinih frakcija fosfora (anorganski fosfor - AP; plavo, organski fosfor - OP; crveno i ukupni fosfor - TP; narančasto) u sedimentu, na istraživanim postajama u razdoblju 2014. - 2020. Crna točkasta linija predstavlja crtu linearnog trenda za ukupni fosfor - TP odnosno crtu koja prikazuje da li je koncentracija TP-a u sedimentu na pojedinoj postaji rasla, padala ili bila ujednačena kroz godine.

Usporedbom anorganskog i organskog fosfora, moguće je uočiti da je anorganska frakcija dominirala na postajama FPA34, FPO37, FPA45, FPO45, FPP18 i FPP19 tijekom svih istraživanih godina. Ta je dominacija bila značajnija na postajama FPA45 i FPP18 gdje su vrijednosti anorganskog fosfora bile čak dvostruko ($27,60 \mu\text{mol g}^{-1}$) ili gotovo dvostruko veće ($19,65 \mu\text{mol g}^{-1}$) u odnosu na organsku frakciju tijekom svih godina. Na ostalim spomenutim postajama, razlike su također bile vidljive između ove dvije fosforne frakcije, u korist anorganskog fosfora, no nisu kroz sve godine bile toliko izražene (prosječnog raspona AP od 5,26 do 19,36 te OP od 3,41 do 14,89 $\mu\text{mol g}^{-1}$), već su se samo tijekom određenih godina na pojedinoj postaji mogla uočiti veća odstupanja.

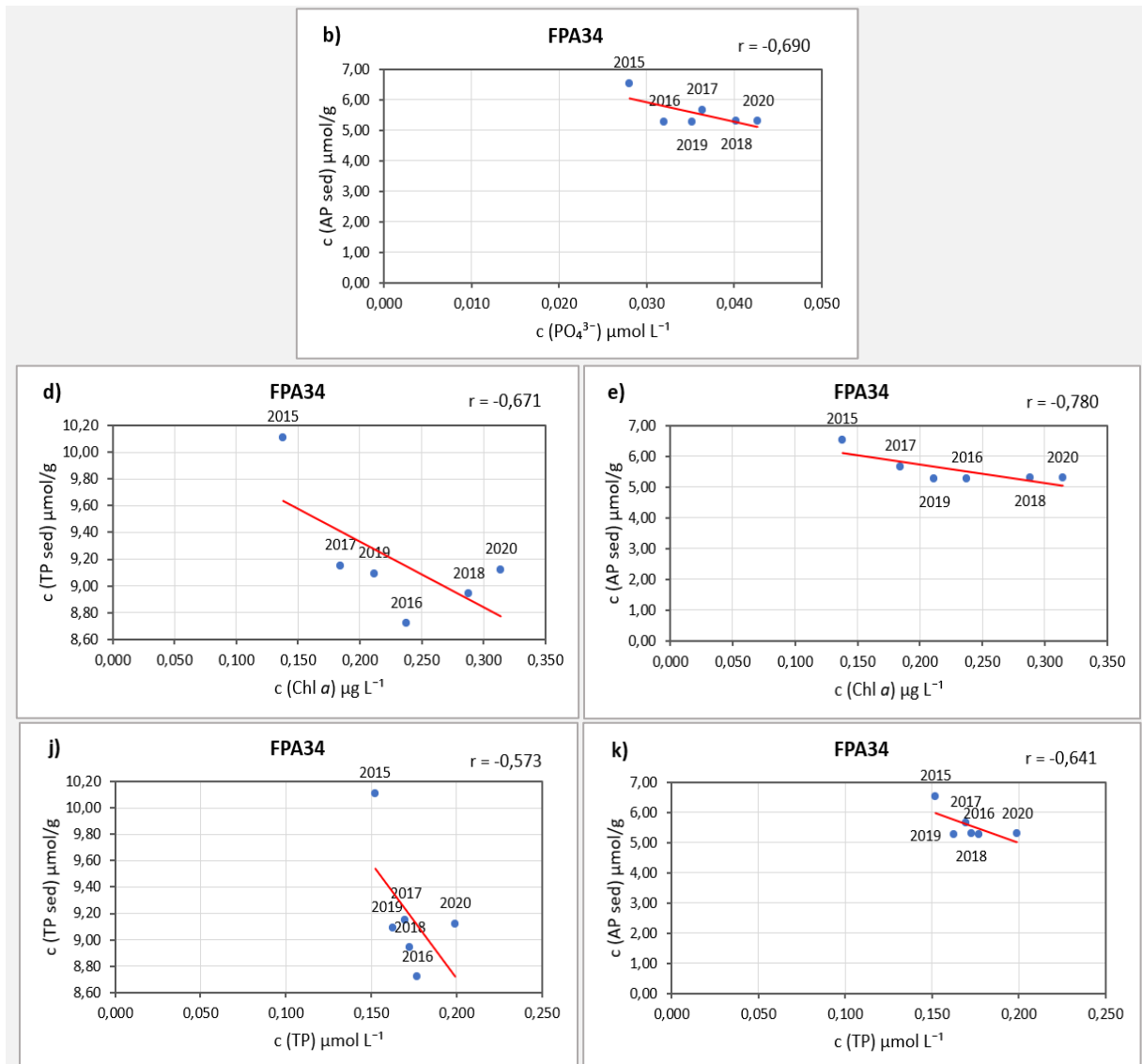
Organska frakcija je u odnosu na anorgansku tijekom svih godina dominirala jedino u slučaju postaje RIO19, dok su kod postaja FPA37, FPB37 i LKR02 vrijednosti ovih fosfornih oblika bile slične, sa neznatnom dominacijom anorganskog odnosno organskog fosfora tijekom pojedinih godina. Naime, na postaji FPA37 je od 2014. do 2017. godine vidljiv nešto viši sadržaj organskog fosfora a od 2018. do 2020. godine je dominirao anorganski fosfor. U slučaju postaje FPB37 organske frakcije je bilo više od 2014. do 2018. godine (8,49 - 9,66 $\mu\text{mol g}^{-1}$), dok je to bio slučaj za anorganski oblik u 2019. i 2020. godini (9,65 i 9,22 $\mu\text{mol g}^{-1}$). Što se tiče postaje LKR02, situacija je bila slična kao kod postaje FPB37, dakle u razdoblju od 2014. do 2018. godine je neznatno bila viša organska frakcija (12,90 - 14,45 $\mu\text{mol g}^{-1}$), a u 2019. i 2020. godini dominirao je anorganski fosfor (15,55 - 16,02 $\mu\text{mol g}^{-1}$; Slika 31).

5.1.5. Korelacija eutrofnih parametara u vodenom stupcu i pojedinih frakcija fosfora u sedimentu

Kako bi se ustanovilo postoji li povezanost eutrofnih parametara iz vodenog stupca (ortofosfata - PO_4^{3-} , klorofila *a* - Chl *a*, trofičkog indeksa - TRIX i ukupnog fosfora - TP) s pojedinim frakcijama fosfora (ukupni fosfor - TP, anorganski fosfor - AP, organski fosfor - OP) u sedimentu, u razdoblju od 2014. do 2020. godine napravljena je korelacijska analiza te su rezultati grafički prikazani po postajama (Slike 32 - 39 i Prilog, Slike P4 - P13).

Na najmanje eutrofnoj postaji FPA34 je na temelju korelacijske analize ustanovljeno da postoji značajna korelacija između ortofosfata u vodenom stupcu i AP u sedimentu sa statističkom značajnošću od $p < 0,05$; $r = -0,690$; $N = 6$. Također, zabilježena je značajna korelacija između Chl *a* u vodenom stupcu i TP u sedimentu sa značajnošću od $p < 0,05$; $r = -$

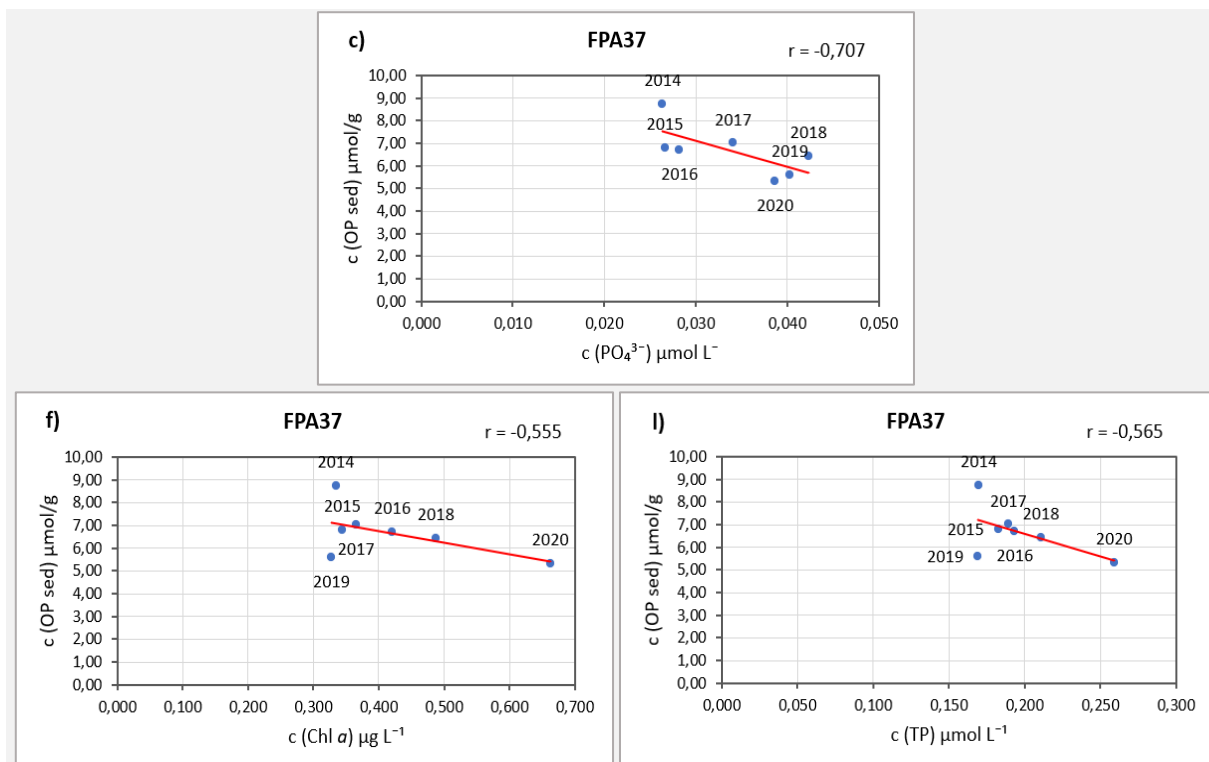
0,671; N = 6, te između Chl *a* i AP u sedimentu sa značajnošću od $p < 0,05$; $r = -0,780$; N = 6. Statistički značajna korelacija na ovoj postaji ustanovljena je i između TP u vodenom stupcu i TP u sedimentu sa značajnošću od $p < 0,05$; $r = -0,573$; N = 6, te između TP u vodenom stupcu i AP u sedimentu sa značajnošću od $p < 0,05$; $r = -0,641$; N = 6 (Slika 32bdejk i Prilog, Slika P4 a-l).



Slika 32. Statistički značajne korelacije ustanovljene u razdoblju 2015. - 2020. na postaji FPA34 između ortofosfata (PO_4^{3-}) u vodenom stupcu i anorganskog fosfora (AP) u sedimentu - b), klorofila *a* (Chl *a*) u vodenom stupcu i ukupnog fosfora (TP) - d) te anorganskog fosfora (AP) u sedimentu - e), ukupnog fosfora (TP) u vodenom stupcu i ukupnog fosfora (TP) - j) te anorganskog fosfora (AP) u sedimentu - k).

Iz korelacijske analize na postaji FPA37 ustanovljena je značajna korelacija između ortofosfata u vodenom stupcu i OP u sedimentu sa značajnošću od $p < 0,05$; $r = -0,707$; N = 7.

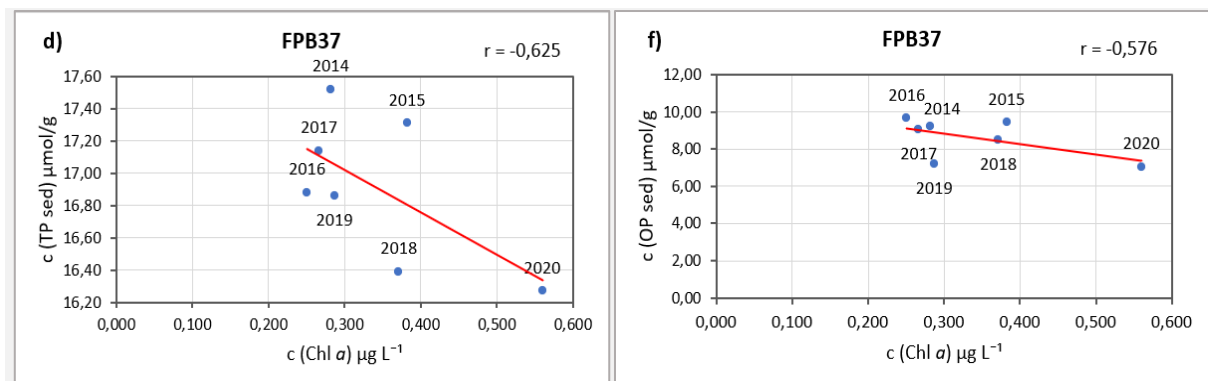
Isto tako, na ovoj je postaji statistički značajna korelacija zabilježena i između Chl *a* u vodenom stupcu i OP u sedimentu sa značajnošću od $p < 0,05$; $r = -0,555$; $N = 7$. Nadalje, značajna korelacija postoji i između TP u vodenom stupcu i OP u sedimentu sa značajnošću od $p < 0,05$; $r = -0,565$; $N = 7$ (Slika 33cfl i Prilog, Slika P5 a-l).



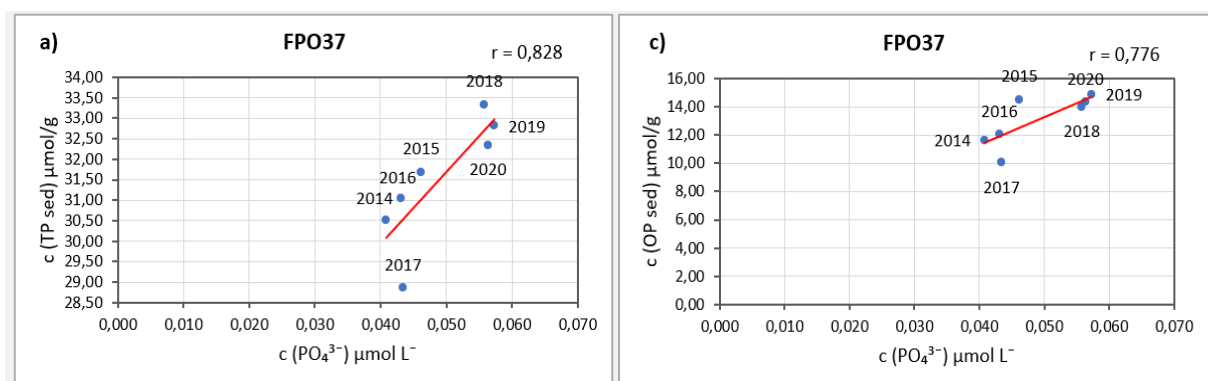
Slika 33. Statistički značajne korelacije ustanovljene u razdoblju 2014. - 2020. na postaji FPA37 između ortofosfata (PO_4^{3-}) u vodenom stupcu i organskog fosfora (OP) u sedimentu - c), klorofila *a* (Chl *a*) u vodenom stupcu i organskog fosfora (OP) u sedimentu - f) te ukupnog fosfora (TP) u vodenom stupcu i organskog fosfora (OP) u sedimentu - l).

Na postaji FPB37 statistički značajna korelacija ustanovljena je između Chl *a* u vodenom stupcu i TP u sedimentu sa značajnošću od $p < 0,05$; $r = -0,625$; $N = 7$, te između Chl *a* i OP u sedimentu sa značajnošću od $p < 0,05$; $r = -0,576$; $N = 7$ (Slika 34df i Prilog, Slika P6 a-l).

Statistički značajna korelacija na postaji FPO37 zabilježena je između ortofosfata u vodenom stupcu i TP u sedimentu sa značajnošću od $p < 0,05$; $r = 0,828$; $N = 7$, te između PO_4^{3-} i OP u sedimentu sa značajnošću od $p < 0,05$; $r = 0,776$; $N = 7$ (Slika 35ac i Prilog, Slika P7 a-l).

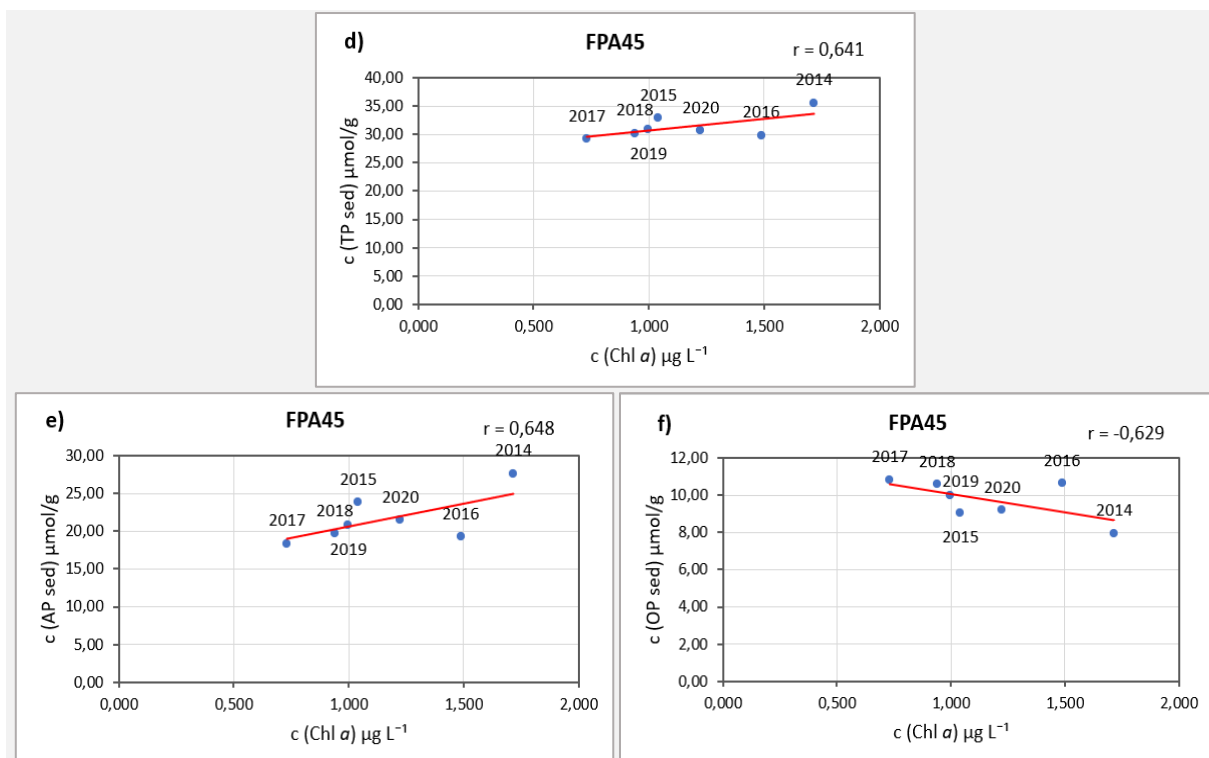


Slika 34. Statistički značajne korelacije ustanovljene u razdoblju 2014. - 2020. na postaji FPB37 između klorofila *a* (Chl *a*) u vodenom stupcu i ukupnog fosfora (TP) - d) te organskog fosfora (OP) u sedimentu - f).



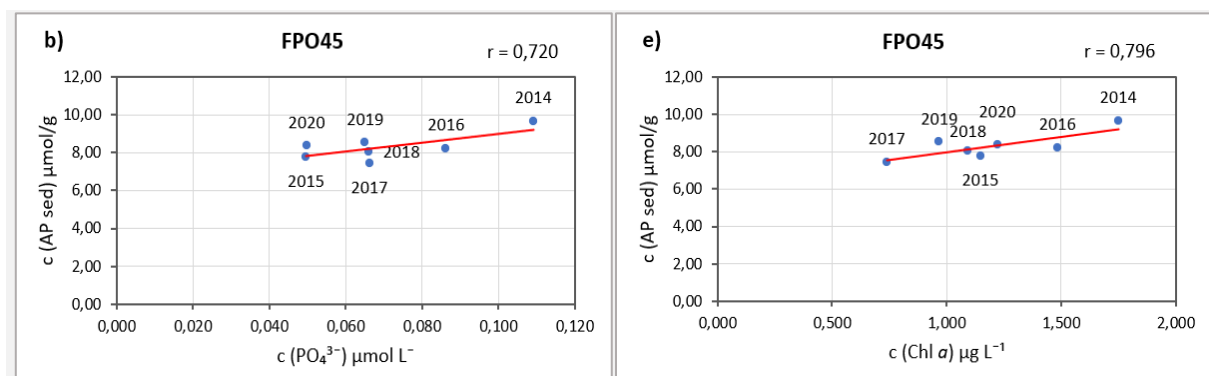
Slika 35. Statistički značajne korelacije ustanovljene u razdoblju 2014. - 2020. na postaji FPO37 između ortofosfata (PO_4^{3-}) u vodenom stupcu i ukupnog fosfora (TP) - a) te organskog fosfora (OP) u sedimentu - c).

Na postaji FPA45 između Chl *a* u vodenom stupcu i svih fosfornih frakcija u sedimentu ustanovljena je statistički značajna korelacija. Statistička značajnost između Chl *a* i TP u sedimentu bila je $p < 0,05$; $r = 0,641$; $N = 7$, između Chl *a* i AP u sedimentu bila je $p < 0,05$; $r = 0,648$; $N = 7$, a između Chl *a* i OP u sedimentu zabilježena je statistička značajnost od $p < 0,05$; $r = -0,629$; $N = 7$ (Slika 36def i Prilog, Slika P8 a-l).



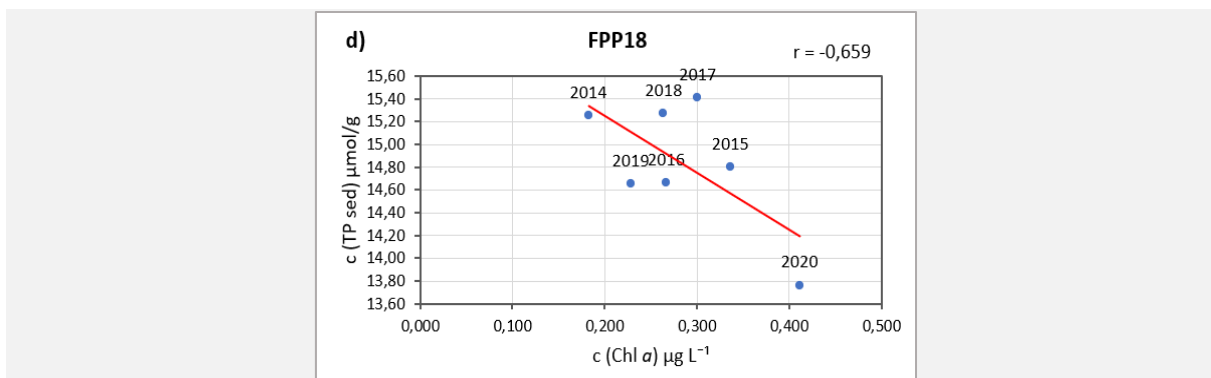
Slika 36. Statistički značajne korelacije ustanovljene u razdoblju 2014. - 2020. na postaji FPA45 između klorofila *a* (Chl *a*) u vodenom stupcu i ukupnog fosfora (TP) - d), anorganskog fosfora (AP) - e) te organskog fosfora (OP) u sedimentu - f).

Iz korelacijske analize na postaji FPO45 statistički značajna korelacija ustanovljena je između PO_4^{3-} u vodenom stupcu i AP u sedimentu sa značajnošću od $p < 0,05$; $r = 0,720$; $N = 7$, te između Chl *a* u vodenom stupcu i AP u sedimentu sa značajnošću od $p < 0,05$; $r = 0,796$; $N = 7$ (Slika 37be i Prilog, Slika P9 a-l).



Slika 37. Statistički značajne korelacije ustanovljene u razdoblju 2014. - 2020. na postaji FPO45 između ortofosfata (PO_4^{3-}) u vodenom stupcu i anorganskog fosfora (AP) u sedimentu - b) te klorofila *a* (Chl *a*) u vodenom stupcu i anorganskog fosfora (AP) u sedimentu - e).

Na postaji FPP18 statistički značajna korelacija ustanovljena je jedino između Chl *a* u vodenom stupcu i TP u sedimentu sa značajnošću od $p < 0,05$; $r = -0,659$; $N = 7$ (Slika 38d i Prilog, Slika P10 a-l).

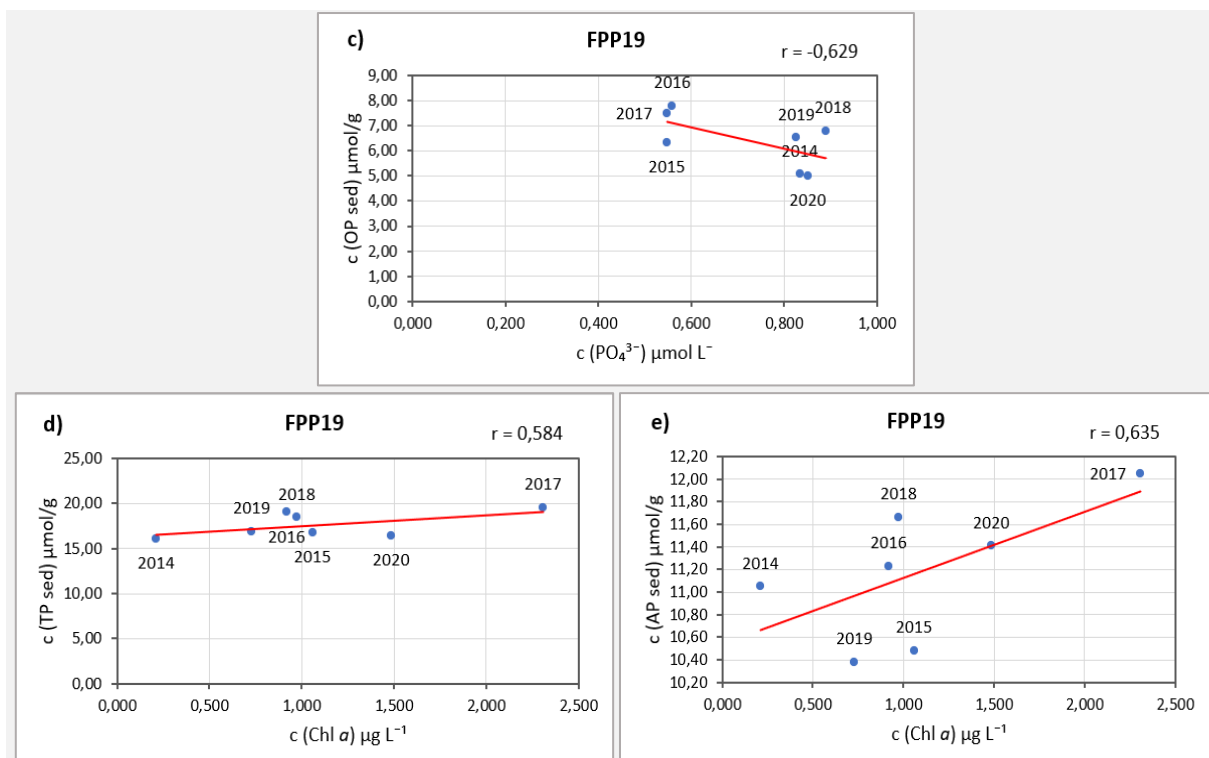


Slika 38. Statistički značajna korelacija ustanovljena u razdoblju 2014. - 2020. na postaji FPP18 između klorofila *a* (Chl *a*) u vodenom stupcu i ukupnog fosfora (TP) u sedimentu.

Statistički značajna korelacija na postaji FPP19 zabilježena je između PO_4^{3-} u vodenom stupcu i OP u sedimentu sa značajnošću od $p < 0,05$; $r = -0,629$; $N = 7$. Osim toga, na ovoj je postaji značajna korelacija ustanovljena i između Chl *a* u vodenom stupcu i TP u sedimentu sa značajnošću od $p < 0,05$; $r = 0,584$; $N = 7$, te između Chl *a* i AP u sedimentu sa značajnošću od $p < 0,05$; $r = 0,635$; $N = 7$ (Slika 39cde i Prilog, Slika P11 a-l).

Na postaji LKR02 nije ustanovljena statistički značajna korelacija između eutrofnih parametara u vodenom stupcu i fosfornih frakcija u sedimentu (Prilog, Slika P12 a-l).

Korelacijska analiza na postaji RIO19, kao i kod postaje LKR02, nije pokazala statistički značajnu povezanost između eutrofnih parametara u vodenom stupcu i promatranih fosfornih frakcija u sedimentu (Prilog, Slika P13 a-l).



Slika 39. Statistički značajne korelacije ustanovljene u razdoblju 2014. - 2020. na postaji FPP19 između ortofosfata (PO_4^{3-}) u vodenom stupcu i organskog fosfora (OP) u sedimentu - c), klorofila *a* (Chl *a*) u vodenom stupcu i ukupnog fosfora (TP) - d) te anorganskog fosfora (AP) u sedimentu - e).

Prema godišnjoj raspodjeli eutrofnih parametara ustanovljeni su značajniji trendovi porasta biološkog parametra klorofila *a* kao aproksimativne mjere za brojnost fitoplanktona tj. primarne proizvodnje (Slike 32 - 40 i Prilog, Slike P4 - P13) tijekom čitavog istraživanog razdoblja na svim postajama u Bakarskom i Limskom zaljevu, postajama u blizini ušća Raše i Rječine te u Pulsnoj luci (u razdobljima 2015. - 2016. te 2017. - 2020.). To i nije bilo neočekivano s obzirom da su i koncentracije hranjivih soli na tim postajama pokazivale uglavnom tendenciju rasta. Na tim su područjima i zabilježene najznačajnije korelacije između pojedinih frakcija fosfora u sedimentu s ovim parametrom, ukazujući da je trofički status definitivno utjecao na koncentracije ovog elementa (Slika 40).

a) FPA34									
2014. - 2020.									
2014. - 2020.		PO ₄ ³⁻	-	Chl a	↗	TRIX	-	TP	-
↘	TP			↘				↘	
↘	AP	↘		↘				↘	
-	OP								

b) FPA37									
2014. - 2020.									
2014. - 2020.		PO ₄ ³⁻	-	Chl a	↗	TRIX	-	TP	-
↘	TP								
↗	AP								
↘	OP	↘		↘				↘	

c) FPB37									
2014. - 2020.									
2014. - 2020.		PO ₄ ³⁻	-	Chl a	↗	TRIX	-	TP	-
↘	TP			↘					
↗	AP								
↘	OP			↘					

d) FPO37									
2014. - 2020.									
2014. - 2020.		PO ₄ ³⁻	-	Chl a	↗	TRIX	-	TP	-
↗	TP	↗							
↘	AP								
↗	OP	↗							

e) FPA45									
2014. - 2020.									
2014. - 2020.		PO ₄ ³⁻	↗	Chl a	↗	TRIX	↘	TP	↗
↘	TP			↗					
↘	AP			↗					
↗	OP			↘					

f) FPO45									
2014. - 2020.									
2014. - 2020.		PO ₄ ³⁻	-	Chl a	↗	TRIX	↘	TP	-
↗	TP								
↘	AP	↗		↗					
↗	OP								

g) FPP18									
2014. - 2020.									
2014. - 2020.		PO ₄ ³⁻	↗	Chl a	↗	TRIX	↗	TP	↗
↘	TP			↘					
-	AP								
↘	OP								

h) FPP19									
2014. - 2020.									
2014. - 2020.		PO ₄ ³⁻	↗	Chl a	↗	TRIX	↗	TP	↗
-	TP			↗					
-	AP			↗					
-	OP	↘							

i) LKR02									
2014. - 2020.									
2014. - 2020.		PO ₄ ³⁻	↘	Chl a	↗	TRIX	↗	TP	↘
↗	TP								
↗	AP								
↗	OP								

j) RIO19									
2014. - 2020.									
2014. - 2020.		PO ₄ ³⁻	↗	Chl a	↗	TRIX	↗	TP	↗
-	TP								
-	AP								
-	OP								

Slika 40. Shematski prikaz značajnih godišnjih trendova eutrofnih parametara ortofosfata (PO₄³⁻), klorofila *a* (Chl *a*), trofičkog indeksa (TRIX-a) i ukupnog fosfora (TP) u vodenom stupcu (plavo) i godišnjih trendova ukupnog (TP), anorganskog (AP) i organskog (OP) fosfora u sedimentu (žuto) u razdoblju 2014. - 2020., te međusobna korelacija između njih (bijelo). „↗“ pokazuje uzlazni trend (i pozitivnu korelaciju), „↘“ pokazuje silazni trend (i negativnu korelaciju) a „-“, pokazuje da nije ustanovljen ni značajan trend ni u slučaju praznog kvadratića značajna korelacija.

6. RASPRAVA

U ovom radu uspoređivano je 9 različitih postaja na području prijelaznih i priobalnih voda sjevernog Jadrana koje su potencijalno izložene ekološkim perturbacijama uslijed pojačanih antropogenih učinaka, u odnosu na jednu tzv. referentnu postaju za koju se pretpostavljalo i dokazalo da su perturbacije minimalne. Naime, kao što je već navedeno u opisu područja uzorkovanja (Poglavlje 3.) ove se postaje nalaze na vrlo različitim područjima u sjevernom Jadranu, nisu iste dubine, a ni udaljene od obale. Za očekivati je da su prema tome i izložene većem ili manjem utjecaju s kopna, s obzirom na njihovu udaljenost od obale, ali i njihovu dubinu, budući da je prema rezultatima vertikalnih raspodjela u vodenom stupcu ustanovljena veća ili manja sezonska raslojenost, a time i miješanje unutar stupca. Kako bi se ustanovile razlike utjecaja eutrofnih uvjeta u vodenom stupcu na sadržaj pojedinih frakcija fosfora u sedimentu između priobalnih i prijelaznih voda, analizirala sam različite kemijske i biološke (eutrofne) parametre iz vodenog stupca spomenutih postaja na temelju podataka prikupljenih u periodu od 2014. do 2020. godine i usporedila sa sadržajem fosfora u sedimentu.

Vertikalna sezonska raspodjela glavnih oceanografskih parametara kao što su temperatura, salinitet, gustoća, pH i prozirnost, dali su uvid u opće karakteristike vodnog tijela na istraživanim postajama. Ostali kemijski i biološki parametri pokazali su sezonsku izloženost pojedinih postaja eutrofnom pritisku na osnovu koncentracija hranjivih soli (uključujući i N/P omjer) i klorofila *a*, te trofičkog indeksa (TRIX-a) koji vrlo jednostavno može predočiti stanje nekog područja, upravo na osnovu tih vanjskih pritisaka. Iz vertikalne raspodjele temperature vidljiva je raslojenost vodenog stupca u proljetnoj, ljetnoj i jesenskoj sezoni i to u površinskom dijelu dok je zimi on više izmiješan te su tada površinske i pridnene temperature relativno ujednačene na svim postajama. Razlog tome je zagrijavanje površinskog sloja u kombinaciji sa intenzivnijim dotokom slatkih voda koje započinje u proljeće, a zimi se gubitkom topline razlike gustoće u vodenom stupcu postepeno smanjuju što dovodi do homogenosti istog (Precali i sur., 2008). Salinitet sjevernog Jadrana, posebice obalnog dijela je varijabilan te uvelike ovisi o protocima rijeka i cirkulaciji vodenih masa. Zimi su obično površinske vrijednosti više od 37 i zauzimaju veće područje sjevernog Jadrana dok se u ljetnim mjesecima vrijednosti saliniteta kreću oko 35, a ispred riječnih ušća su niže od 33 (Djakovac i sur., 2012). Vertikalna raspodjela saliniteta pokazala je da su se vrijednosti zabilježene na postajama koje spadaju u priobalne vode, izuzev postaja u Bakru (FPA37, FPB37 i FPO37) i postaje na Limu (LKR02) u ljetnoj sezoni, kretale između uobičajenih 35 i 38. Prema Precali i sur., (2008) vjerojatno su razlog nižeg površinskog saliniteta Bakarskih

postaja vrulje te mnogi izvori slatke vode koji se nalaze na sjeveroistočnoj obali Bakarskog zaljeva. Niže vrijednosti površinskog saliniteta na postaji u Limskom zaljevu tijekom ljetne sezone mogu se objasniti pojavom anticiklonskih vrtloga koji imaju značajan utjecaj na ovo područje, razvijajući vrlo intenzivnu jugoistočnu struju odnosno istarsku obalnu protustruju (ICCC) što u kombinaciji sa slabljenjem zapadno jadranske struje (WAC) ukazuje na dobro razvijene rotacije (Grilli i sur., 2005) čija posljedica je mogućnost značajnog smanjenja saliniteta (Djakovac i sur., 2012). Niži površinski salinitet u odnosu na referentnu (FPA34) i ostale postaje koje pripadaju priobalnim vodama vidljiv je i kod postaje FPP18 tj. postaje na ušću Rječine u svim sezonama iako je najveće odstupanje zabilježeno u proljeće, a definitivno najniže vrijednosti površinskog saliniteta bile su na postaji koja se nalazi na ušću Raše (FPP19). S obzirom na to da se radi o riječnim ušćima, ovakva situacija bila je i očekivana. Porast saliniteta popraćen je povećanjem gustoće te snižavanjem temperature što se može vidjeti iz vertikalne raspodjele ova tri parametra. Dakle gustoća prati trend saliniteta a piknoklina je određena kombinacijom termokline i halokline. Što se tiče hranjivih soli, pokazalo se da su najviše koncentracije zabilježene na postaji FPP19 (u neposrednoj blizini ušća Raše) tijekom svih sezona i uglavnom su rasle s dubinom osim u slučaju nitrata i silikata kada su se vrijednosti smanjivale s dubinom, te u jesen u slučaju ortofosfata i TP. Nakon FPP19 po najvišim vrijednostima hranjivih soli izdvaja se postaja LKR02 u Limskom zaljevu na kojoj je vidljiv značajan rast vrijednosti hranjivih soli s dubinom u ljetnim i jesenskim mjesecima kada je vodeni stupac raslojen, dok su zimi vrijednosti ujednačene u cijelom vodenom stupcu. U proljeće kada počinju više temperature, također je zabilježeno povećanje koncentracija hranjivih soli na ovoj postaji no ne toliko značajno u usporedbi s ljetom i jeseni. Ove se povišene vrijednosti mogu pripisati aktivnostima uzgajališta na ovom području, ali i uobičajenim proljetnim slatkovodnim donosima s kopna. Najniže vrijednosti zabilježene su na referentnoj postaji (FPA34) koja je najudaljenija od obale a ujedno i najdublja i na kojoj su utjecaji s kopna minimalni u odnosu na ostale postaje, te na postaji RIO19 (Riječki zaljev) koja je po karakteristikama najbližnja upravo toj referentnoj. Vrijednosti nitrata u površinskom sloju, nakon postaje FPP19 bile su najviše na području Bakarskih postaja (FPA37, FPB37 i FPO37), vjerojatno zbog prisutnosti vrulja te su se smanjivale s dubinom. Istraživanje koje su proveli Pisternick i sur., (2020) čiji cilj je bio procijeniti utjecaj podmorskih izvora podzemnih voda tj. vrulja na produktivnost ekosustava tropskih laguna, te jedna od aktivnosti prikupiti osnovne podatke o salinitetu, pH i koncentraciji hranjivih tvari kako bi odredili njihove učinke na hidrografiju lagune, pokazalo je da je dotok svježeg podzemne vode lokalno važan put za hranjive tvari te da su na područjima vrulja bile

povišene koncentracije nitrata i ortofosfata, što objašnjava povišene koncentracije u Bakarskom zaljevu. Po površinskim vrijednostima gotovo svih hranjivih soli, odmah iza postaja FPP19 i LKR02 ističu se i Pulske postaje (FPA45 i FPO45) vjerojatno zbog blizine obale, manje dubine te znatnog antropogenog utjecaja. Na ovim postajama kroz ljeto i jesen vrijednosti navedenih hranjivih soli rastu s dubinom. Zasićenost kisikom na svim je postajama bila očekivano viša u površinskom sloju tijekom svih sezona dok se s dubinom smanjivala. Veće površinske vrijednosti izmjerene su na dubljim i postajama udaljenijim od obale poput referentne FPA34 i postaje RIO19, a najniže vrijednosti na postaji FPP19 koja je ujedno i najplića i nalazi se na ušću rijeke Raše te na postaji LKR02 odnosno, na onim postajama na kojima su bile najviše vrijednosti hranjivih soli.

Navedene promjene u koncentracijama hranjivih soli između istraživanih postaja mogu se jednostavnije i slikovitije prikazati njihovom konkretnom klasifikacijom pomoću trofičkog indeksa. Gledajući referentnu postaju, iz vertikalne distribucije nije uočeno značajno odstupanje TRIX-a s obzirom na sezonu, iako su nešto niže vrijednosti zabilježene tijekom ljeta i jeseni. Naime, vrijednosti TRIX-a na referentnoj su se postaji kretale od površinskih 2,16 do pridnenih 3,64 (Tablica 2, 3, 4 i 5). Uzimajući u obzir i vrijednosti ostalih parametara koji zajedno definiraju trofički indeks, prema tablici 1 možemo ustanoviti da je područje referentne postaje oligotrofno s *vrlo dobrim* ekološkim stanjem. Slična situacija bila je i na postaji RIO19 (Riječki zaljev) koja je po ekološkom stanju i stupnju eutrofikacije gotovo jednaka referentnoj. Za razliku od ove dvije postaje, TRIX na postaji FPP18 (ušće Rječine) bio je nešto niži u pridnenom u odnosu na površinski sloj. Vrijednosti su se kretale između 2,70 i 3,72 što također ukazuje na oligotrofno područje *vrlo dobrog* ekološkog stanja, iako se neke pojedinačne vrijednosti približavaju granici s mezotrofnim uvjetima (Tablica 2, 3, 4 i 5). Isto pokazuju i svi ostali parametri temeljem kojih se dobiva trofički indeks, osim TIN-a koji po površinskim vrijednostima naginje ka mezotrofiji i koji je vjerojatno povisio taj indeks. Na Bakarskom području su vrijednosti TRIX-a također padale s dubinom tijekom svih sezona i upućivale na oligotrofiju tj. *vrlo dobro* ekološko stanje. Jedino su površinske vrijednosti tijekom proljeća i ljeta u kombinaciji s vrijednostima ostalih parametara koji definiraju trofički indeks ukazivale na mezotrofiju. Na temelju svih parametara koji oblikuju trofički indeks određenog područja, Pulske je postaje moguće svrstati u tipična mezotrofna područja *dobrog* ekološkog stanja. Naime, površinske vrijednosti definitivno ukazuju na mezotrofiju dok su pridnene vrijednosti na granici između oligotrofije i mezotrofije. Postaju LKR02 moguće je, tijekom ljeta i jeseni svrstati u mezotrofno područje s pojedinačnim vrijednostima

i prema eutrofnom, dok su u proljeće i zimi vrijednosti parametara koji su pokazatelji trofičkog indeksa nešto niže, odnosno na granici su između oligotrofnog i mezotrofnog. Postaja FPP19 koja se nalazi u blizini ušća Raše, vidljivo odskače od svih ostalih istraživanih postaja te ima karakteristike eutrofnog područja s *umjereno dobrim* ekološkim stanjem. Uzevši u obzir vrijednosti biološkog parametra koncentraciju klorofila *a* kao aproksimativnu vrijednost za fitoplanktonsku brojnost, očekivali bismo na ovoj postaji visoke vrijednosti s obzirom na izrazite koncentracije hranjivih soli. Međutim, one su relativno niske što se može naravno pripisati i vrlo niskim vrijednostima saliniteta, ali isto tako što dodatno sugerira da je ovakvo stanje visokih koncentracija hranjivih soli, naročito TIN-a na postaji FPP19, odraz antropogenih aktivnosti u području riječnog toka Raše. Na ostalim postajama vrijednosti klorofila *a* kretale su se u uobičajenim rasponima za istraživana vodna tijela (CIM-baza podataka) i najviše zabilježene su na postajama koje sad već možemo definitivno smatrati mezotrofno do eutrofnim kao što su LKR02 u Limskom zaljevu i postaje u Pulsnoj luci. Iako je izvor povišenih koncentracija hranjivih soli na tim područjima potpuno različit, tj. uzgajalište vs. luka sa smanjenom strujnom dinamikom i izrazitim obalnim ispuštima, činjenica je da se neovisno o njihovom porijeklu primarna proizvodnja odvija i raste fitoplanktonska brojnost. Povećano stvaranje organske tvari zahtjeva i veću potrošnju kisika na njenu razgradnju, ali je u tom slučaju i povećano taloženje i ugradnja u sediment što bi se onda posljedično moglo ustanoviti u povišenim koncentracijama pojedinih frakcija fosfora u njemu.

Opće je poznato da u plićim morskim ekosustavima, gdje različiti hidrodinamički uvjeti mogu promijeniti ravnotežu različitih parametara u vodenom stupcu u vrlo kratkim vremenskim intervalima, sedimenti se mogu smatrati svojevrsnim „zapisničarima“ bioloških procesa koji se odvijaju u vodenom stupcu (Dell'Anno i sur., 2002). Jedino gdje se takva korelacija nije pokazala kao statistički značajna bila je postaja LKR02 u Limskom zaljevu što se može pripisati potpuno drugačijem mehanizmu obogaćivanja, kako vodenog stupca, tako i sedimenta kemijskim tvarima, a time i biološkom komponentom, budući da je i dinamika u takvom sustavu kao što je uzgajalište školjkaša, a naročito riba vrlo specifično. No ni u kojem slučaju ne smiju se zanemariti povišene vrijednosti TRIX-a na tom području koje su osim zimskog razdoblja karakteristika mezotrofnog, a pojedinim vrijednostima tijekom ljeta i jeseni i eutrofnog područja što odgovara *umjereno dobrom* ekološkom stanju koje bi trebali, ako je ikako moguće, ipak pokušati dovesti i zadržati u *dobrom* stanju. Slično je i s postajama u Pulsnoj luci koje također u nekim sezonama pokazuju tendenciju prijelaza iz mezotrofnog u

gotovo eutrofno stanje, pogotovo u ljetnoj i jesenskoj sezoni što bi se vjerojatno moglo pripisati povećanom priljevu različitih ispusta s obale kao što je to npr. slučaj za vrijeme turističke sezone, ali i intenzivnijem razdoblju kretanja plovila u luci. Što se tiče godišnje raspodjele pojedinih frakcija fosfora u sedimentu nije ustanovljen naročiti trend ili ga gotovo i nije bilo u istraživanom razdoblju, ali opće je poznato da se sastav sedimenta ipak ne mijenja tako dinamično kao pojedini parametri u vodenom stupcu i da bi za takvu analizu trebalo uzeti u obzir puno duže vremensko razdoblje.

Međutim, ipak treba naglasiti i to da se na postajama koje smo uzeli kao one koje su potencijalno izložene ekološkim perturbacijama uslijed pojačanih antropogenih učinaka ipak uspostavio trend porasta koncentracije klorofila *a*, dakle primarne proizvodnje, a da se samim tim i korelacija s fosforom u sedimentu pokazala kao statistički značajna. Sve ustanovljene promjene uvelike mogu utjecati na ravnotežu ekosustava koji je ionako u priobalnim područjima posebno osjetljiv na različita opterećenja s kopna, ali i onih ostalih gdje osim s kopna možemo imati i utjecaj baš iz takvih ugroženih priobalnih vodnih tijela. U slučaju referentne postaje iz Kvarnerića (FPA34) i one iz riječkog zaljeva najbližije njoj (RIO19) nisu zabilježeni gotovo nikakvi trendovi rasta kako hranjivih soli u vodenom stupcu, tako ni bioloških parametara tj. primarne proizvodnje, ali ni korelacije između tih eutrofnih parametara sa sadržajem pojedinih frakcija fosfora u sedimentu. Osim što se radi o vrlo oligotrofnim i više otvorenim područjima, treba uzeti u obzir i da su to najdublje istraživane postaje i da sedimenti nisu tako intenzivni „zapisničari“ onoga što se nalazi iznad njih kao što je to slučaj za plitke i postaje sa smanjenom hidrodinamikom. U našem istraživanju unatoč trendova porasta koncentracije klorofila *a* nisu uočena izrazita smanjenja pridnenog sadržaja kisika što je naročito naglašeno u sjevernom Jadranu za vrijeme epizoda intenzivnih fitoplanktonskih cvatnji bio čest slučaj. Baš zbog toga je neupitno važno kontinuirano pratiti stanje eutrofnih uvjeta u ekosustavu sjevernog Jadrana na više različitih područja, što smo za jedno kraće, ali ipak reprezentativno istraživačko razdoblje i u ovom radu pokušali prikazati analizom i korelacijom različitih oceanografskih parametara u vodenom stupcu sa sadržajem fosfora u sedimentu.

7. ZAKLJUČCI

- 1) Usporedba istraživanih postaja na osnovu prikaza vertikalne raspodjele eutrofnih parametara vodenog stupca i PCA analize pokazala je da su postaje priobalnih voda u Limskom zaljevu (LKR02), pulskoj luci (FPA45 i FPO45), Bakarskom zaljevu (FPA37, FPB37 i FPO37) i prijelaznih voda u blizini ušća rijeka Raše (FPP19) i Rječine (FPP18) različite u odnosu na referentnu (FPA34) i postaju (RIO19) u riječkom zaljevu, naročito za trofički indeks što dokazuje da su prema pretpostavkama potencijalno izložene ekološkim perturbacijama.
- 2) Analizom godišnje raspodjele eutrofnih parametara vodenog stupca po postajama te eufotskom i pridnenom sloju, ustanovljeni su značajniji trendovi porasta biološkog parametra klorofila *a* kao aproksimativne mjere za brojnost fitoplanktona tj. primarne proizvodnje tijekom čitavog istraživanog razdoblja na svim postajama u Bakarskom i Limskom zaljevu, postajama u blizini ušća Raše i Rječine te pretežito u pulskoj luci što bi moglo ukazivati na intenzivnije antropogene aktivnosti na području tih postaja (npr. prekomjerno obogaćivanje s kopna), ali vjerojatno i donosom iz okolnih vodnih tijela. To je u skladu s pozitivnim trendom koncentracija hranjivih soli.
- 3) Analizom godišnje raspodjele pojedinih frakcija fosfora u sedimentu (anorganskog, organskog i ukupnog) po postajama nije ustanovljen izraziti trend u istraživanom razdoblju, ali opće je poznato da se sastav sedimenta ne mijenja tako dinamično kao pojedini parametri u vodenom stupcu i da bi za takvu analizu trebalo uzeti u obzir puno duže vremensko razdoblje.
- 4) Analizom korelacija eutrofnih parametara vodenog stupca i sadržaja fosfora u sedimentu nađene su najznačajnije korelacije između biološkog faktora koncentracije klorofila *a* (pa dakle indirektno i primarne proizvodnje) i ukupnog fosfora. To je u skladu s već ustanovljenim izrazitim eutrofnim pritiskom na postajama u Bakarskom i Limskom zaljevu, postajama u blizini ušća Raše i Rječine te u pulskoj luci, što ukazuje na direktni utjecaj trofičkog statusa ne samo na promjenu ravnoteže pojedinih parametara u vodenom stupcu već i na sadržaj fosfora u sedimentu.
- 5) Iako se osim biološkog parametra koncentracije klorofila *a* nisu ustanovili drugi značajniji trendovi u istraživanom razdoblju izrazito je važno kontinuirano pratiti stanje eutrofnih uvjeta u ekosustavu sjevernog Jadrana na različitim područjima ne samo na godišnjoj već i sezonskoj skali.

8. LITERATURA

- Aller, R.C., (1994) Bioturbation and remineralization of sedimentary organic matter: effects of redox oscillation. *Chemical Geology*, 114: 331-345.
- Anderson, L.D., Delaney, M.L., Faul, K.L., (2001) Carbon to phosphorus ratios in sediments: Implications for nutrient cycling. *Global Biogeochemical Cycles*, 15(1): 65-79.
- Aspila, K.I., Aghemian, H., Chau, A.S.Y., (1976) A Semi-automated Method for the Determination of Inorganic, Organic and Total Phosphate in Sediments. *The Analyst*, 101: 187-197.
- Balaños, R., Tornfeldt Sørensen, J.V., Benetazzo, A., Carniel, S., Sclavo, M., (2014) Modelling ocean currents in the northern Adriatic Sea. *Continental Shelf Research*, 87: 54-72.
- Beiras, R., (2018) Nonpersistent Inorganic Pollution: eutrophication and hypereutrophication. U: Beiras, R., (ur.), *Marine Pollution: Sources, Fate and Effects of Pollutants in Coastal Ecosystems*. 31-39.
- Bendschneider, K., Robinson, R.J., (1952) A new spectrophotometric method for the determination of nitrite in seawater. *Journal of Marine Research*, 11: 87-96.
- Benitez-Nelson, C.R., (2000) The biogeochemical cycling of phosphorus in marine systems. 51: 109-135.
- Canfield, D.E., (1994) Factors influencing organic carbon preservation in marine sediments. *Chemical Geology*, 114: 315-329.
- Canfield, D.E., Kristensen, E., Thamdrup, B., (2005) The Phosphorus Cycle. U: Canfield, D.E., Kristensen, E., Thamdrup, B., (ur.), *Advances in Marine Biology*. 48: 419-440.
- Carlson, R.E., Simpson, J., (1996) A Coordinator's Guide to Volunteer Lake Monitoring Methods. North American Lake Management Society, 96 str.
- Chiaudani, G., Gaggino, G.F., Marchetti, R., Vighi, M. (1982) Caratteristiche trofiche delle acque costiere Adriatiche: campagna di rilevamento 1978-79. CNR Progetto Finalizzato "Promozione della qualità dell'Ambiente". *Serie di Monografie AQ*, 2(14): 35 pp.

- Coelho, S., Gamito, S., Pérez-Ruzafa, A., (2007) Trophic state of Foz de Almargem coastal lagoon (Algarve, South Portugal) based on the water quality and the phytoplankton community. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 71: 218-231.
- Colman, A.S., Holland, H.D., (2000) The Global Diagenetic Flux of Phosphorus from Marine Sediments to the Ocean: Redox Sensitivity and the Control of Atmospheric Oxygen Levels. U: Glenn, C.R., Prévôt-Lucas, L., Lucas, J., (ur.), *Marine Authigenesis: From Global to Microbial. Society for Sedimentary Geology*, 66: 53-75.
- Cozzi, S., Giani, M., (2011) River water and nutrient discharges in the Northern Adriatic Sea: Current importance and long term changes. *Continental Shelf Research*, 31: 1881-1893.
- De La Rocha, C.L., Passow, U., (2014) The Biological Pump. *Treatise on Geochemistry*, 6: 93-122.
- Degobbis, D., Donazzolo, R., Ivancic, I., Pavoni, B., Marcomini, A., (1986) Nutrient analyses in natural waters: a critical revision. *Annali di Chimica*, 76: 179-194.
- Degobbis, D., Gilmartin, M., (1990) Nitrogen, phosphorus and biogenic silicon budgets for the northern Adriatic Sea. *Oceanologica Acta*, 13(1): 31-45.
- Degobbis, D., Precali, R., Ivančić, I., Smodlaka, N., Fuks, D., Kveder, S., (2000) Long-term changes in the northern Adriatic ecosystem related to anthropogenic eutrophication. *International Journal of Environment and Pollution*, 13(1-6): 495-533.
- Delaney, M.L., (1998) Phosphorus accumulation in marine sediments and the oceanic phosphorus cycle. *Global Biogeochemical Cycles*. 12(4): 563-572.
- Delaney, M.L., (1998) Phosphorus accumulation in marine sediments and the oceanic phosphorus cycle. *Global Biogeochemical Cycles*, 12: 563-572.
- Dell'Anno, A., Mei, M.L., Pusceddu, A., Danovaro, R., (2002) Assessing the trophic state and eutrophication of coastal marine systems: a new approach based on the biochemical composition of sediment organic matter. *Marine Pollution Bulletin*, 44: 611-622.
- Djakovac, T., Degobbis, D., Supić, N., Precali, R., (2012) Marked reduction of eutrophication pressure in the northeastern Adriatic in the period 2000-2009. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 115: 25-32.

- European Commission (2009) Water Framework Directive Intercalibration technical report, Part 3: Coastal and Transitional waters, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, str. 240.
- Fanning, K.A., Pilson, M.E.Q., (1973) On the spectrophotometric determination of dissolved silica in natural waters. *Analytical Chemistry*, 45(1): 136-140.
- Faul, K.L., Paytan, A., Delaney, M.L., (2005) Phosphorus distribution in sinking oceanic particulate matter. *Marine Chemistry*, 97: 307-333.
- Fiori, E., Zavatarelli, M., Pinardi, N., Mazziotti, C., Ferrari, C.R., (2016) Observed and simulated trophic indeks (TRIX) values for the Adriatic Sea basin. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 16: 2043-2054.
- Fölmi, K.B., (1996) The phosphorus cycle, phosphogenesis and marine phosphate-rich deposits. *Earth-Science Reviews*, 40: 55-124.
- François, L., Godd ris, Y., (2001) Cenozoic Oceans - Carbon Cycle Models. *Encyclopedia of Ocean Sciences*, 426-436.
- Froelich, P.N., Arthur, M.A., Burnett, W.C., Deakin, M., Hensley, V., Jahnke, R., Kaul, L., Kim, K.H., Roe, K., Soutar, A., Vathakanon, C., (1988) Early diagenesis of organic matter in Peru continental margin sediments: Phosphorite precipitation. *Marine Geology*, 80(3-4): 309-343.
- Froelich, P.N., Bender, M.L., Luedtke, N.A., Heath, G.R., Devries, T., (1982) THE MARINE PHOSPHORUS CYCLE. *American Journal of Science*, 282: 474-511.
- Giani, M., Djakovac, T., Degobbis, D., Cozzi, S., Solidoro, C., Umani, S.F., (2012) Recent changes in the marine ecosystems of the northern Adriatic Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 115: 1-13.
- Gray, J.S., (1992) Eutrophication in the sea: A general model of marine eutrophication. U: Colombo, G., Ferrari, I., Ceccherelli, V.U., Rossi, R., (ur.), Marine Eutrophication and Population Dynamics: Eutrophication in the marine environment. Fredenborg, Danksa. Olsen & Olsen, str. 3-15.
- Greve, W., Parsons, T.R., (1977) Photosynthesis and fish production: Hypothetical effects of climatic change and pollution. *Helgol nder wissenschaftliche Meeresuntersuchungen*, 30: 666-672.

- Grilli, F., Marini, M., Degobbis, D., Ferrari, C.R., Fornasiero, P., Russo, A., Gismondi, M., Djakovac, T., Precali, R., Simonetti, R., (2005) Circulation and horizontal fluxes in the northern Adriatic Sea in the period June 1999-July 2002. Part II: nutrients transport. *Science of the Total Environment*, 353: 115-125.
- Ingall, E., Jahnke, R., (1994) Evidence for enhanced phosphorus regeneration from marine sediments overlain by oxygen depleted waters. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 58(11): 2571-2575.
- Ingall, E.D., Van Cappellen, P., (1990) Relation between sedimentation rate and burial of organic phosphorus and organic carbon in marine sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 54(2): 373-386.
- Ivančić, I., Degobbis, D., (1984) An optimal manual procedure for ammonia analysis in natural waters by the indophenol blue method. *Water Res.*, 18: 1143-1147.
- Izzo, G., Silvestri, C., Creo, C., Signorini, A., (1997) Is nitrate an oligotrophication factor in Venice lagoon? *Marine Chemistry*, 58: 245-253.
- Jahnke, R.A., (2000) The Phosphorus Cycle. U: Jacobson, M., Charlson, R.J., Rodhe, H., Orians, G.H., (ur.), *Earth System Science: From Biogeochemical Cycles to Global Changes: Part Three: Biogeochemical Cycles*. UK: 72: 360-374.
- Jensen, H.S., Mortensen, P.B., Andersen, F.Ø., Rasmussen, E., Jensen, A., (1995) Phosphorus cycling in a coastal marine sediment. *Limnol. Oceanogr.*, 40(5): 908-917.
- Jońca, J.E, (2012) Electrochemical methods for autonomous monitoring of chemicals (oxygen and phosphate) in seawater: Application to the Oxygen Minimum Zone. Université de Toulouse, Francuska. Dostupno na <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00776773/document> (preuzeto 26.10.2021.)
- Karl, D.M., Björkman, K.M., (2015) Dynamics of Dissolved Organic Phosphorus. U: Hansell, D.A., Carlson, C.A., (ur.), *Biogeochemistry of Marine Dissolved Organic Matter (Second edition)*. USA: 233-334.
- Komatsu, T., Sakamoto, S.X., Sawayama, S., Murata, H., Sasa, S., Montani, S., Yatabe, H., Yokoji, N., Seko, H., Nakano, Y., Fujii, M., Ayman, A., Natsuike, M., Ito, H., Yoshimura, C., Sakamaki, T., Nishimura, O., (2019) Toward Realizing the Sustainable use of and Healthy Marine Environments in an Open-Type Enclosed Bay. U: Yanagi, T., (ur.),

- Integrated Coastal Management in the Japanese Satoumi. *Restoring Estuaries and Bays*, 15-57.
- Krom, M.D., Herut, B., Mantoura, R.F.C., (2004) Nutrient budget for the Eastern Mediterranean: Implications for phosphorus limitation. *Limnology and Oceanography*, 49(5): 1582-1592.
- Kušpilić, G., Precali, R., (2010) Karakterizacija područja i izrada prijedloga programa i provedba monitoringa stanja voda u prijelaznim i priobalnim vodama Jadranskog mora prema zahtjevima Okvirne direktive o vodama EU (2000/60/EC). Dio prvi: Karakterizacija i izrada prijedloga programa monitoringa. Split, Rovinj, str. 654. https://www.voda.hr/sites/default/files/dokumenti/kip_2010_i_kip_kartice.pdf (preuzeto 13.12.2021.)
- Kušpilić, G., Precali, R., (2014) Biološka kakvoća prijelaznih voda - klasifikacija prijelaznih voda (ekološki status) WEC1e. Institut za oceanografiju i ribarstvo, Split; Centar za istraživanje mora Instituta Ruđer Bošković, Rovinj. Dostupno na: http://baltazar.izor.hr/azopub/indikatori_podaci_sel_detalji2?p_id=467&p_ind_tekst=d&p_ind_br=2B05&p_godina=2014&p_prikaz_sli=d&p_opis=&p_definicija=&p_pravni_okvir=&p_prikaz_graf= (preuzeto 03.11.2021.)
- Kušpilić, G., Precali, R., Dadić, V., Šurmanović, D., Marjanović-Rajčić, M., (2011) Preliminarni rezultati nadzornog monitoringa prijelaznih i priobalnih voda Republike Hrvatske prema Okvirnoj direktivi o vodama EU, 5. Hrvatska konferencija o vodama, Zbornik radova, 601-608, Opatija, 18-21. svibnja 2011.
- Laarkamp, K.L., (2000) Organic Phosphorus in Marine Sediments: Chemical Structure, Diagenetic Alteration, and Mechanisms of Preservation. *The Pennsylvania State University*.
- Larsson, U., Elmgren, R., Wulff, F., (1985) Eutrophication and the Baltic Sea: Causes and Consequences. *Ambio*, 14(1): 9-14.
- Liao, H., Pan, C., Gan, L., Ke, Z., Tang, H., (2020) Distribution of Geochemical Fractions of Phosphorus in Surface Sediment in Daya Bay, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(12): 1-14.

- Lotze, H.K., Lenihan, H.S., Bourque, B.J., Bradbury, R.H., Cooke, R.G., Kay, M. C., Kidwell, S.M., Kirby, M.X., Peterson, C.H., Jackson, J.B.C., (2006) Depletion, Degradation, and Recovery Potential of Estuaries and Coastal Seas. *Science*, 312: 1806.
- Matijević, S., Kljaković-Gašpić, Z., Bogner, D., Gugić, A., Martinović, I., (2008) Vertical distribution of phosphorus species and iron in sediment at open sea stations in the middle Adriatic region. *Acta Adriatica*, 49(2): 165-184.
- Mullin, J.D., Riley, J.P., (1955) The colorimetric determination of silicate with special reference to sea and natural waters. *Analytica Chimica Acta*, 12: 162-176.
- Murphy, J., Riley, J.P., (1962) A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta*, 27: 31-36.
- Nixon, S.W., (1995) Coastal marine eutrophication: a definition, social causes, and future concerns. *Ophelia*, 41: 199-220.
- Parsons, T.R., Maita, Y., Lalli, C.M., (1985) A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis. *Pergamon Press*, Toronto, 173 str.
- Paytan, A., McLaughlin, K., (2007) The Oceanic Phosphorus Cycle. *Chemical Review*, 107: 563-576.
- Pisternick, T., Lilkendey, J., Audit – Manna, A., Dumur Neelayya, D., Neehaul, Y., Moosdorf, N., (2020) Submarine groundwater springs are characterized by distinct fish communities. *Marine Ecology*, 41(5): 1-15.
- Plan upravljanja vodnim područjima (2010) - Dodatak II. - Analiza značajki Jadranskog vodnog područja. str. 158. http://propisi.hr/files/file/633_903analiza2.pdf (preuzeto 13.12.2021.)
- Polimene, L., Pinardi, N., Zavatarelli, M., Colella, S., (2006) The Adriatic Sea ecosystem seasonal cycle: Validation of a three-dimensional numerical model. *Journal of Geophysical Research*, 111: 1-20.
- Poulain, P.M., Kourafalou, V.H., Chushman-Roisin, B., (2001) Northern Adriatic Sea. U: Chushman-Roisin, B., Gačić, M., Poulain, P.M., (ur.), Physical Oceanography of the Adriatic Sea. Past, Present and Future. *Springer, Dordrecht*, 143-165.
- Precali, R., (2014) Stanje eutrofikacije Jadranskog mora. Labin: Institut „Ruđer Bošković“, Centar za istraživanje mora, Rovinj, Dostupno na:

http://www.smb.hr/libraries/0000/6238/Kakvoca_naseg_mora_2014_0422.pdf

(pristupljeno 24.05.2022.)

- Precali, R., Travizi, A., Iveša, Lj., Dulčić, J., Matić-Skoko, S. (2008) Prijedlog tipova i referentnih uvjeta prijelaznih i priobalnih voda na Vodnom području Primorsko-istarskih slivova (TRU). Institut "R. Bošković", Centar za istraživanje mora, Rovinj, srpanj 2008, 98 str.
- Pusceddu, A., Dell'Anno, A., Fabiano, M., Danovaro, R., (2009) Quantity and bioavailability of sediment organic matter as signatures of benthic trophic status. *Marine Ecology Progress Series*, 375: 41-52.
- Richardson, K., Jørgensen, B.B., (1996) Eutrophication: Definition, History and Effects. *Coastal and Estuarine Studies*, 52: 1-19.
- Ruttenberg, K.C., (1992) Development of sequential extraction method for different forms of phosphorus in marine sediments. *Limnology and Oceanography*, 37(7): 1460-1482.
- Ruttenberg, K.C., (1993) Reassessment of the oceanic residence time of phosphorus. *Chemical Geology*, 107: 405-409.
- Ruttenberg, K.C., (2003) The Global Phosphorus Cycle. U: Schlesinger, W.H., (ur.), *Treatise on Geochemistry*. NY: 8: 585-643.
- Ruttenberg, K.C., Berner, R.A., (1993) Authigenic apatite formation and burial in sediments from non-upwelling, continental margin environments. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 57: 991-1007.
- Schenk, H.J., Jackson, R.B., (2002) Rooting depths, lateral root spreads and below-ground/above-ground allometries of plants in water-limited ecosystems. *Journal of Ecology*, 90: 480-494.
- Sundby, B., Gobei, C., Silverberg, N., Mucci, A., (1992) The phosphorus cycle in coastal marine sediments. *Limnology and Oceanography*, 37(6): 1129-1145.
- Tatara, K., (1991) Utilization of the biological production in eutrophicated sea areas by commercial fisheries and the environmental quality standard for fishing ground. *Marine Pollution Bulletin*, 23: 315-320.

- Thompson, J., Poulton, S.W., Guilbaud, R., Doyle, K.A., Reid, S., Krom, M.D., (2019) Development of a modified SEDEX phosphorus speciation method for ancient rocks and modern iron-rich sediments. *Chemical Geology*, 524: 383-393.
- Travizi, A., Metodika istraživanja meiofaune (predavanje iz kolegija Meiofauna morskih sedimenata), Centar za istraživanje mora, Rovinj, akad. god. 2016/2017.
- Tyrrell, T., (1999) The relative influences of nitrogen and phosphorus on oceanic primary production. *Nature*, 400: 525-531.
- Uredba o standardu kakvoće voda (Narodne Novine, broj 73/13), Zagreb. https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2013_06_73_1463.html (preuzeto 22.06.2022.)
- Van Cappellen, P., Ingall, E.D., (1994) Benthic phosphorus regeneration, net primary production, and ocean anoxia: A model of the coupled marine biogeochemical cycles of carbon and phosphorus. *Paleoceanography*, 9: 677-692.
- Van Cappellen, P., Ingall, E.D., (1996) Redox Stabilization of the Atmosphere and Oceans by Phosphorus-Limited Marine Productivity. *Science*, 271: 493-496.
- Vollenweider, R.A., Giovanardi, F., Montanari, G., Rinaldi, A., (1998) 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: 329-357.
- Wood, E.D., Armstrong, F.A.J., Richards, F.A., (1967) Determination of nitrate in seawater by cadmium-copper reduction to nitrite. *J. Mar. Biol. Assoc.*, UK, 47: 23-31.
- Yamada, M., Tsuruta, A., Yoshida, Y., (1980) Classification of eutrophic levels in several marine regions. *Bull. Jap. Sci. Soc. Fish*, 46: 1439-1444.
- Zakon o vodama (Narodne novine, broj 66/19 i 84/21) <https://www.zakon.hr/z/124/Zakon-o-vodama> (preuzeto 03.10.2021.)
- Zavatarelli, M., Baretta, J.W., Baretta-Bekker, J.G., Pinardi, N., (2000) The dynamics of the Adriatic Sea ecosystem. An idealized model study. *Deep-Sea Research*, 47: 937-970.

Internetski izvori:

<http://www.vliz.be/projects/iseca/en/science-for-all/what-is-eutrophication.html> (pristupljeno 05.12.2021.)

<https://www.google.com/search?q=5L+niskinov+crpac> (pristupljeno 29.12.2021.)

<https://www.google.com/search?q=CTD+SeaBird25+multiparametarske+sonde> (pristupljeno 29.12.2021.)

<https://www.google.com/search?q=Van+Veen+grabilo> (pristupljeno 29.12.2021.)

9. PRILOZI

Tablica P1. Usporedba površinskog sloja vodenog stupca istraživanih postaja studentovim t-testom po sezonama (proljeće - zelena boja, ljeto - žuta boja, jesen - crvena boja, zima - plava boja) na temelju koncentracije ortofosfata - PO_4^{3-} ($\mu\text{mol L}^{-1}$). Crvenom bojom (podebljano) označeni su brojevi koji ukazuju na statistički značajnu razliku među pojedinim postajama, dok su brojevi koji ne prikazuju statistički značajne razlike između postaja prikazani crnom bojom.

T-TEST - površinski sloj																							
PO_4^{3-} ($\mu\text{mol L}^{-1}$)																							
PROLJEĆE											JESEN												
	FPA34	FPA37	FPB37	FPO37	FPA45	FPO45	FPP18	FPP19	LKR02	RIO19		FPA34	FPA37	FPB37	FPO37	FPA45	FPO45	FPP18	FPP19	LKR02	RIO19		
LJETO	FPA34		0,62	0,17	0,13	0,14	0,01	0,73	0,00	0,37	0,87			0,17	0,20	0,08	0,00	0,00	0,19	0,00	0,00	0,97	
	FPA37	0,14		0,22	0,14	0,19	0,01	0,97	0,00	0,44	0,79			0,95	0,28	0,00	0,00	0,73	0,00	0,00	0,00	0,12	
	FPB37	0,02	0,36		0,59	0,94	0,16	0,33	0,00	0,85	0,19				0,27	0,00	0,00	0,78	0,00	0,00	0,00	0,15	
	FPO37	0,01	0,06	0,22		0,51	0,48	0,21	0,00	0,49	0,12				0,06	0,21	0,02	0,25	0,00	0,00	0,00	0,04	
	FPA45	0,09	0,15	0,26	0,65		0,10	0,30	0,00	0,89	0,15						0,10	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	
	FPO45	0,00	0,01	0,06	0,85	0,75		0,03	0,00	0,14	0,01					0,12	0,22		0,00	0,00	0,00	0,57	0,00
	FPP18	0,06	0,52	0,82	0,17	0,23	0,04		0,00	0,52	0,83				0,07	0,92	0,03	0,22		0,00	0,00	0,16	
	FPP19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00				0,00	0,00	0,00	0,00			0,00	0,00	
	LKR02	0,00	0,00	0,01	0,57	0,83	0,67	0,01	0,00		0,38				0,00	0,00	0,71	0,28	0,01	0,00		0,00	
	RIO19	0,36	0,74	0,24	0,05	0,13	0,00	0,37	0,00	0,00					0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
ZIMA	FPA34																						
	FPA37	0,02																					
	FPB37	0,07	0,74																				
	FPO37	0,00	0,09	0,06																			
	FPA45	0,00	0,00	0,00	0,00																		
	FPO45	0,00	0,01	0,01	0,12	0,22																	
	FPP18	0,00	0,10	0,07	0,92	0,03	0,22																
	FPP19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00																
	LKR02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,71	0,28	0,01	0,00														
	RIO19	0,82	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00													

Tablica P2. Usporedba pridnenog sloja vodenog stupca istraživanih postaja studentovim t-testom po sezonama (proljeće - zelena boja, ljeto - žuta boja, jesen - crvena boja, zima - plava boja) na temelju koncentracije ortofosfata - PO_4^{3-} ($\mu\text{mol L}^{-1}$). Crvenom bojom (podebljano) označeni su brojevi koji ukazuju na statistički značajnu razliku među pojedinim postajama, dok su brojevi koji ne prikazuju statistički značajne razlike između postaja prikazani crnom bojom.

T-TEST - pridneni sloj																						
PO_4^{3-} ($\mu\text{mol L}^{-1}$)																						
PROLJEĆE											JESEN											
	FPA34	FPA37	FPB37	FPO37	FPA45	FPO45	FPP18	FPP19	LKR02	RIO19		FPA34	FPA37	FPB37	FPO37	FPA45	FPO45	FPP18	FPP19	LKR02	RIO19	
LJETO	FPA34		0,80	0,88	0,26	0,64	0,55	0,12	0,01	0,05	0,13				0,14	0,00	0,78	0,74	0,00	0,03	0,10	0,10
	FPA37	0,01		0,78	0,56	0,55	0,46	0,40	0,00	0,03	0,52				0,32	0,60	0,05	0,01	0,77	0,01	0,04	0,00
	FPB37	0,11	0,56		0,56	0,80	0,85	0,50	0,00	0,07	0,55					0,45	0,21	0,12	0,33	0,02	0,05	0,01
	FPO37	0,04	0,52	0,89		0,36	0,21	0,71	0,00	0,02	1,00						0,05	0,01	0,49	0,01	0,03	0,00
	FPA45	0,89	0,03	0,15	0,08		0,89	0,33	0,00	0,08	0,35							0,96	0,08	0,01	0,07	0,63
	FPO45	0,09	0,32	0,85	0,68	0,13		0,16	0,00	0,04	0,18					0,63		0,02	0,01	0,05	0,46	
	FPP18	0,03	0,91	0,67	0,70	0,06	0,46		0,00	0,02	0,63					0,34	0,19		0,04	0,09	0,00	
	FPP19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00					0,10	0,03	0,04		0,24	0,02	
	LKR02	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,65		0,02					0,20	0,53	0,00	0,18		0,07	
	RIO19	0,44	0,10	0,37	0,23	0,54	0,38	0,16	0,00	0,01						0,96	0,51	0,49	0,01	0,23		
ZIMA	FPA34																					
	FPA37	0,11																				
	FPB37	0,20	0,47																			
	FPO37	0,87	0,00	0,00																		
	FPA45	0,85	0,20	0,34	0,61																	
	FPO45	0,67	0,10	0,16	0,60	0,63																
	FPP18	0,21	0,68	0,78	0,00	0,34	0,19															
	FPP19	0,04	0,02	0,02	0,01	0,10	0,03	0,04														
	LKR02	0,20	0,00	0,00	0,01	0,20	0,53	0,00	0,18		0,07											
	RIO19	0,81	0,35	0,49	0,64	0,96	0,51	0,49	0,01	0,23												

Tablica P3. Usporedba površinskog sloja vodenog stupca istraživanih postaja studentovim t-testom po sezonama (proljeće - zelena boja, ljeto - žuta boja, jesen - crvena boja, zima - plava boja) na temelju koncentracije klorofila *a* - Chl *a* ($\mu\text{g L}^{-1}$). Crvenom bojom (podebljano) označeni su brojevi koji ukazuju na statistički značajnu razliku među pojedinim postajama, dok su brojevi koji ne prikazuju statistički značajne razlike između postaja prikazani crnom bojom.

T-TEST - površinski sloj																						
Chl <i>a</i> ($\mu\text{g L}^{-1}$)																						
PROLJEĆE											JESEN											
	FPA34	FPA37	FPB37	FPO37	FPA45	FPO45	FPP18	FPP19	LKR02	RIO19		FPA34	FPA37	FPB37	FPO37	FPA45	FPO45	FPP18	FPP19	LKR02	RIO19	
LJETO	FPA34		0,10	0,71	0,02	0,00	0,00	0,68	0,00	0,00	0,72	FPA34		0,02	0,05	0,00	0,00	0,18	0,00	0,00	0,53	
	FPA37	0,00		0,11	0,11	0,00	0,00	0,13	0,00	0,10	0,04	FPA37	0,11		0,67	0,24	0,00	0,00	0,14	0,04	0,00	0,03
	FPB37	0,00	0,14		0,01	0,00	0,00	0,98	0,00	0,00	0,39	FPB37	0,32	0,44		0,10	0,00	0,00	0,26	0,02	0,00	0,07
	FPO37	0,00	0,13	0,02		0,55	0,17	0,02	0,14	0,38	0,01	FPO37	0,00	0,04	0,01		0,00	0,00	0,01	0,08	0,00	0,00
	FPA45	0,00	0,00	0,00	0,20		0,22	0,00	0,12	0,03	0,00	FPA45	0,01	0,01	0,01	0,02		0,34	0,00	0,02	0,09	0,00
	FPO45	0,00	0,00	0,00	0,10	0,50		0,00	0,71	0,00	0,00	FPO45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,60		0,00	0,03	0,03	0,00
	FPP18	0,01	0,05	0,34	0,01	0,00	0,00		0,00	0,00	0,33	FPP18	0,61	0,07	0,21	0,00	0,01	0,00		0,01	0,00	0,46
	FPP19	0,01	0,02	0,01	0,09	0,16	0,34	0,01		0,00	0,00	FPP19	0,46	0,24	0,35	0,08	0,18	0,01	0,64		0,28	0,00
	LKR02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,16	0,00	0,68		0,00	LKR02	0,00	0,00	0,00	0,41	0,26	0,08	0,00	0,00		0,00
	RIO19	0,30	0,02	0,10	0,01	0,00	0,00	0,41	0,00	0,00		RIO19	0,75	0,03	0,16	0,00	0,00	0,00	0,81	0,52	0,00	

Tablica P4. Usporedba pridnenog sloja vodenog stupca istraživanih postaja studentovim t-testom po sezonama (proljeće - zelena boja, ljeto - žuta boja, jesen - crvena boja, zima - plava boja) na temelju koncentracije klorofila *a* - Chl *a* ($\mu\text{g L}^{-1}$). Crvenom bojom (podebljano) označeni su brojevi koji ukazuju na statistički značajnu razliku među pojedinim postajama, dok su brojevi koji ne prikazuju statistički značajne razlike između postaja prikazani crnom bojom.

T-TEST - pridneni sloj																						
Chl <i>a</i> ($\mu\text{g L}^{-1}$)																						
PROLJEĆE											JESEN											
	FPA34	FPA37	FPB37	FPO37	FPA45	FPO45	FPP18	FPP19	LKR02	RIO19		FPA34	FPA37	FPB37	FPO37	FPA45	FPO45	FPP18	FPP19	LKR02	RIO19	
LJETO	FPA34		0,33	0,31	0,31	0,02	0,02	0,51	0,03	0,00	0,19	FPA34		0,10	0,12	0,04	0,00	0,00	0,25	0,07	0,02	0,04
	FPA37	0,00		0,62	0,94	0,47	0,51	0,43	0,05	0,15	0,71	FPA37	0,69		0,83	0,78	0,02	0,00	0,31	0,13	0,10	0,78
	FPB37	0,01	0,32		0,65	0,08	0,09	0,53	0,03	0,01	0,81	FPB37	0,50	0,71		0,60	0,01	0,00	0,38	0,12	0,08	0,60
	FPO37	0,00	0,91	0,37		0,38	0,42	0,43	0,05	0,11	0,75	FPO37	0,27	0,40	0,67		0,02	0,00	0,17	0,13	0,11	1,00
	FPA45	0,00	0,01	0,01	0,01		0,93	0,03	0,06	0,31	0,11	FPA45	0,02	0,02	0,07	0,11		0,25	0,00	0,52	0,98	0,02
	FPO45	0,01	0,02	0,01	0,02	0,78		0,03	0,05	0,27	0,12	FPO45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08		0,00	0,90	0,36	0,00
	FPP18	0,18	0,25	0,65	0,27	0,00	0,01		0,04	0,00	0,34	FPP18	0,94	0,72	0,51	0,28	0,02	0,00		0,13	0,06	0,16
	FPP19	0,02	0,03	0,02	0,03	0,27	0,22	0,02		0,08	0,03	FPP19	0,47	0,70	0,99	0,72	0,10	0,00	0,47		0,53	0,12
	LKR02	0,03	0,06	0,04	0,06	0,59	0,48	0,04	0,61		0,01	LKR02	0,00	0,00	0,01	0,02	0,52	0,22	0,00	0,02		0,11
	RIO19	0,02	0,42	0,92	0,47	0,01	0,01	0,62	0,02	0,05		RIO19	0,49	0,91	0,71	0,35	0,01	0,00	0,50	0,67	0,00	

Tablica P5. Usporedba površinskog sloja vodenog stupca istraživanih postaja studentovim t-testom po sezonama (proljeće - zelena boja, ljeto - žuta boja, jesen - crvena boja, zima - plava boja) na temelju koncentracije ukupnog fosfora - TP ($\mu\text{mol L}^{-1}$). Crvenom bojom (podebljano) označeni su brojevi koji ukazuju na statistički značajnu razliku među pojedinim postajama, dok su brojevi koji ne prikazuju statistički značajne razlike između postaja prikazani crnom bojom.

T-TEST - površinski sloj																									
TP ($\mu\text{mol L}^{-1}$)																									
PROLJEĆE											JESEN														
LJETO		FPA34	FPA37	FPB37	FPO37	FPA45	FPO45	FPP18	FPP19	LKR02	RIO19	ZIMA		FPA34	FPA37	FPB37	FPO37	FPA45	FPO45	FPP18	FPP19	LKR02	RIO19		
		FPA34		0,00	0,17	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00		0,19		FPA34		0,10	0,16	0,03	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,76
		FPA37	0,01		0,15	0,13	0,47	0,00	0,47	0,00	0,19		0,16		FPA37	0,02		0,91	0,43	0,00	0,00	0,82	0,00	0,00	0,14
		FPB37	0,42	0,09		0,02	0,05	0,00	0,44	0,00	0,01		1,00		FPB37	0,08	0,67		0,40	0,00	0,00	0,93	0,00	0,00	0,21
		FPO37	0,05	0,56	0,10		0,29	0,22	0,08	0,09	0,36		0,02		FPO37	0,01	0,65	0,40		0,00	0,00	0,34	0,00	0,00	0,03
		FPA45	0,00	0,02	0,00	0,13		0,01	0,19	0,01	0,68		0,05		FPA45	0,00	0,00	0,00	0,00		0,33	0,00	0,00	0,69	0,00
		FPO45	0,00	0,00	0,00	0,01	0,08		0,00	0,39	0,01		0,00		FPO45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,92		0,00	0,00	0,44	0,00
		FPP18	0,13	0,51	0,38	0,32	0,01	0,00		0,00	0,05		0,46		FPP18	0,02	0,27	0,18	0,41	0,03	0,01		0,00	0,00	0,17
		FPP19	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,38	0,00		0,00		0,00		FPP19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00
		LKR02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	0,48	0,00	0,11			0,01		LKR02	0,00	0,01	0,00	0,02	0,15	0,05	0,44	0,00		0,00
		RIO19	0,55	0,01	0,26	0,03	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00				RIO19	0,46	0,43	0,65	0,27	0,00	0,00	0,14	0,00	0,02	

Tablica P6. Usporedba pridnenog sloja vodenog stupca istraživanih postaja studentovim t-testom po sezonama (proljeće - zelena boja, ljeto - žuta boja, jesen - crvena boja, zima - plava boja) na temelju koncentracije ukupnog fosfora - TP ($\mu\text{mol L}^{-1}$). Crvenom bojom (podebljano) označeni su brojevi koji ukazuju na statistički značajnu razliku među pojedinim postajama, dok su brojevi koji ne prikazuju statistički značajne razlike između postaja prikazani crnom bojom.

T-TEST - pridneni sloj																									
TP ($\mu\text{mol L}^{-1}$)																									
PROLJEĆE											JESEN														
LJETO		FPA34	FPA37	FPB37	FPO37	FPA45	FPO45	FPP18	FPP19	LKR02	RIO19	ZIMA		FPA34	FPA37	FPB37	FPO37	FPA45	FPO45	FPP18	FPP19	LKR02	RIO19		
		FPA34		0,89	0,52	0,72	0,04	0,21	0,45	0,07	0,01		0,56		FPA34		0,77	0,36	0,89	0,10	0,03	0,73	0,01	0,04	0,17
		FPA37	0,08		0,80	0,96	0,29	0,36	0,55	0,05	0,02		0,82		FPA37	0,31		0,47	0,88	0,10	0,04	0,88	0,00	0,03	0,22
		FPB37	0,18	0,67		0,73	0,22	0,38	0,24	0,05	0,01		0,98		FPB37	0,19	0,66		0,40	0,21	0,15	0,69	0,01	0,04	0,63
		FPO37	0,10	0,87	0,62		0,08	0,25	0,31	0,05	0,01		0,76		FPO37	1,00	0,33	0,19		0,07	0,02	0,79	0,00	0,02	0,18
		FPA45	0,46	0,03	0,07	0,04		0,91	0,02	0,04	0,03		0,22		FPA45	0,43	0,11	0,08	0,48		0,74	0,21	0,01	0,10	0,31
		FPO45	0,34	0,04	0,06	0,04	0,72		0,11	0,04	0,08		0,38		FPO45	0,21	0,05	0,04	0,18	0,52		0,12	0,00	0,05	0,30
		FPP18	0,18	0,94	0,80	0,85	0,06	0,06		0,07	0,00		0,26		FPP18	0,29	0,84	0,84	0,31	0,12	0,08		0,02	0,07	0,42
		FPP19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,04		0,05		FPP19	0,08	0,04	0,03	0,04	0,17	0,13	0,07		0,34	0,00
		LKR02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,62			0,01		LKR02	0,94	0,36	0,26	0,95	0,49	0,37	0,34	0,23		0,04
		RIO19	0,80	0,19	0,35	0,20	0,34	0,25	0,30	0,00	0,01				RIO19	0,79	0,66	0,47	0,78	0,48	0,20	0,61	0,04	0,82	

Tablica P7. Usporedba površinskog sloja vodenog stupca istraživanih postaja studentovim t-testom po sezonama (proljeće - zelena boja, ljeto - žuta boja, jesen - crvena boja, zima - plava boja) na temelju trofičkog indeksa - TRIX. Crvenom bojom (podebljano) označeni su brojevi koji ukazuju na statistički značajnu razliku među pojedinim postajama, dok su brojevi koji ne prikazuju statistički značajne razlike između postaja prikazani crnom bojom.

T-TEST - površinski sloj																								
TRIX																								
PROLJEĆE											JESEN													
	FPA34	FPA37	FPB37	FPO37	FPA45	FPO45	FPP18	FPP19	LKR02	RIO19		FPA34	FPA37	FPB37	FPO37	FPA45	FPO45	FPP18	FPP19	LKR02	RIO19			
LJETO	FPA34		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	ZIMA	FPA34		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
	FPA37	0,00		0,35	0,37	0,61	0,07	0,38	0,00	0,54		0,01	FPA37	0,00		0,90	0,15	0,00	0,00	0,63	0,00	0,00	0,00	
	FPB37	0,00	0,25		0,09	0,10	0,01	0,98	0,00	0,56		0,03	FPB37	0,00	0,73		0,11	0,00	0,00	0,70	0,00	0,00	0,00	0,00
	FPO37	0,00	0,47	0,09		0,57	0,41	0,11	0,00	0,10		0,00	FPO37	0,00	0,21	0,38		0,01	0,03	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00
	FPA45	0,00	0,95	0,20	0,49		0,09	0,11	0,00	0,16		0,00	FPA45	0,00	0,01	0,02	0,12		0,96	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00
	FPO45	0,00	0,04	0,00	0,30	0,03		0,01	0,01	0,00		0,00	FPO45	0,00	0,00	0,00	0,02	0,36		0,00	0,00	0,09	0,00	0,00
	FPP18	0,00	0,03	0,25	0,01	0,02	0,00		0,00	0,57		0,03	FPP18	0,00	0,98	0,78	0,29	0,02	0,00		0,00	0,00	0,01	0,00
	FPP19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00		0,00	FPP19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00		0,00	0,00	0,00
	LKR02	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,38	0,00	0,00			0,00	LKR02	0,00	0,00	0,01	0,08	0,84	0,45	0,01	0,00		0,00	0,00
	RIO19	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00			RIO19	0,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tablica P8. Usporedba pridnenog sloja vodenog stupca istraživanih postaja studentovim t-testom po sezonama (proljeće - zelena boja, ljeto - žuta boja, jesen - crvena boja, zima - plava boja) na temelju trofičkog indeksa - TRIX. Crvenom bojom (podebljano) označeni su brojevi koji ukazuju na statistički značajnu razliku među pojedinim postajama, dok su brojevi koji ne prikazuju statistički značajne razlike između postaja prikazani crnom bojom.

T-TEST - pridnjeni sloj																							
TRIX																							
PROLJEĆE											JESEN												
	FPA34	FPA37	FPB37	FPO37	FPA45	FPO45	FPP18	FPP19	LKR02	RIO19		FPA34	FPA37	FPB37	FPO37	FPA45	FPO45	FPP18	FPP19	LKR02	RIO19		
LJETO	FPA34		0,11	0,33	0,11	0,23	0,97	0,04	0,00	0,60	0,32	ZIMA	FPA34		0,00	0,05	0,00	0,70	0,29	0,00	0,00	0,00	0,00
	FPA37	0,00		0,51	0,87	0,23	0,09	0,88	0,00	0,04	0,04		FPA37	0,59		0,51	0,41	0,00	0,00	0,70	0,00	0,00	0,00
	FPB37	0,00	0,41		0,58	0,69	0,31	0,54	0,00	0,16	0,14		FPB37	0,30	0,25		0,82	0,03	0,02	0,39	0,00	0,00	0,00
	FPO37	0,00	0,47	0,98		0,28	0,10	0,98	0,00	0,04	0,04		FPO37	0,95	0,37	0,11		0,00	0,00	0,26	0,00	0,00	0,00
	FPA45	0,88	0,00	0,00	0,00		0,35	0,17	0,00	0,14	0,07		FPA45	0,68	0,24	0,14	0,50		0,43	0,00	0,00	0,00	0,00
	FPO45	0,66	0,05	0,04	0,05	0,59		0,06	0,00	0,67	0,47		FPO45	0,17	0,01	0,01	0,05	0,46		0,00	0,00	0,01	0,01
	FPP18	0,00	0,56	0,89	0,92	0,01	0,06		0,00	0,02	0,01		FPP18	0,56	0,75	0,44	0,33	0,28	0,02		0,00	0,00	0,00
	FPP19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00		FPP19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,07	0,00		0,57	0,00
	LKR02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,66		0,73		LKR02	0,29	0,00	0,00	0,04	0,62	0,67	0,01	0,03		0,04
	RIO19	0,37	0,00	0,00	0,00	0,46	0,28	0,00	0,00	0,01			RIO19	0,18	0,04	0,44	0,03	0,09	0,01	0,12	0,00	0,00	

Tablica P9. Usporedba površinskog sloja vodenog stupca istraživanih postaja studentovim t-testom po sezonama (proljeće - zelena boja, ljeto - žuta boja, jesen - crvena boja, zima - plava boja) na temelju koncentracije ukupnog anorganskog dušika - TIN ($\mu\text{mol L}^{-1}$). Crvenom bojom (podebljano) označeni su brojevi koji ukazuju na statistički značajnu razliku među pojedinim postajama, dok su brojevi koji ne prikazuju statistički značajne razlike između postaja prikazani crnom bojom.

T-TEST - površinski sloj																									
TIN ($\mu\text{mol L}^{-1}$)																									
PROLJEĆE											JESEN														
LJETO		FPA34	FPA37	FPB37	FPO37	FPA45	FPO45	FPP18	FPP19	LKR02	RIO19	ZIMA		FPA34	FPA37	FPB37	FPO37	FPA45	FPO45	FPP18	FPP19	LKR02	RIO19		
		FPA34		0,01	0,05	0,02	0,01	0,02	0,10	0,00	0,02		0,36		FPA34		0,04	0,04	0,01	0,00	0,01	0,03	0,00	0,00	0,04
		FPA37	0,04		0,51	1,00	0,01	0,26	0,22	0,00	0,10		0,01		FPA37	0,01		0,76	0,96	0,26	0,59	0,50	0,00	0,80	0,06
		FPB37	0,04	0,68		0,53	0,06	0,63	0,53	0,00	0,38		0,04		FPB37	0,01	0,21		0,76	0,38	0,80	0,66	0,00	0,87	0,07
		FPO37	0,03	0,68	0,41		0,02	0,29	0,24	0,00	0,12		0,01		FPO37	0,01	0,16	0,96		0,17	0,54	0,43	0,00	0,81	0,02
		FPA45	0,05	0,27	0,45	0,14		0,05	0,20	0,00	0,08		0,03		FPA45	0,00	0,89	0,30	0,25		0,43	0,72	0,00	0,07	0,00
		FPO45	0,01	0,40	0,58	0,24	0,86		0,84	0,00	0,74		0,02		FPO45	0,00	0,99	0,30	0,24	0,83		0,79	0,00	0,55	0,03
		FPP18	0,11	0,51	0,77	0,30	0,72	0,84		0,00	0,96		0,10		FPP18	0,02	0,53	0,58	0,51	0,54	0,57		0,00	0,37	0,08
		FPP19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00		0,00		FPP19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00
		LKR02	0,00	0,68	0,92	0,37	0,25	0,36	0,64	0,00			0,02		LKR02	0,00	0,86	0,46	0,41	0,72	0,81	0,74	0,00		0,00
	RIO19	0,66	0,03	0,03	0,02	0,04	0,01	0,10	0,00	0,00			RIO19	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00			

Tablica P10. Usporedba pridnenog sloja vodenog stupca istraživanih postaja studentovim t-testom po sezonama (proljeće - zelena boja, ljeto - žuta boja, jesen - crvena boja, zima - plava boja) na temelju koncentracije ukupnog anorganskog dušika - TIN ($\mu\text{mol L}^{-1}$). Crvenom bojom (podebljano) označeni su brojevi koji ukazuju na statistički značajnu razliku među pojedinim postajama, dok su brojevi koji ne prikazuju statistički značajne razlike između postaja prikazani crnom bojom.

T-TEST - pridneni sloj																									
TIN ($\mu\text{mol L}^{-1}$)																									
PROLJEĆE											JESEN														
LJETO		FPA34	FPA37	FPB37	FPO37	FPA45	FPO45	FPP18	FPP19	LKR02	RIO19	ZIMA		FPA34	FPA37	FPB37	FPO37	FPA45	FPO45	FPP18	FPP19	LKR02	RIO19		
		FPA34		0,81	0,12	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00	0,71			FPA34		0,00	0,00	0,00	0,10	0,41	0,00	0,05	0,03	0,22	
		FPA37	0,00		0,53	0,29	0,29	0,33	0,35	0,08	0,46		0,86		FPA37	0,47		0,80	0,45	0,00	0,00	0,72	0,02	0,00	0,00
		FPB37	0,00	0,43		0,50	0,57	0,68	0,58	0,07	0,89		0,13		FPB37	0,31	0,47		0,68	0,01	0,00	0,92	0,02	0,00	0,00
		FPO37	0,00	0,86	0,36		0,73	0,56	0,91	0,07	0,14		0,00		FPO37	0,53	0,79	0,36		0,01	0,00	0,79	0,01	0,00	0,00
		FPA45	0,00	0,02	0,02	0,03		0,74	0,84	0,05	0,16		0,00		FPA45	0,86	0,36	0,25	0,40		0,48	0,03	0,02	0,00	0,02
		FPO45	0,00	0,05	0,03	0,06	0,31		0,66	0,05	0,30		0,00		FPO45	0,43	0,12	0,08	0,11	0,61		0,01	0,01	0,00	0,06
		FPP18	0,00	0,28	0,21	0,30	0,36	0,88		0,09	0,19		0,00		FPP18	0,54	0,98	0,56	0,80	0,44	0,18		0,05	0,00	0,00
		FPP19	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,04		0,08		FPP19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00		0,03	0,03
		LKR02	0,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01			0,01		LKR02	0,56	0,05	0,04	0,07	0,72	0,86	0,10	0,02		0,08
	RIO19	0,87	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,19			RIO19	0,86	0,27	0,15	0,31	0,95	0,40	0,34	0,00	0,57			

Tablica P11. Usporedba površinskog sloja vodenog stupca istraživanih postaja studentovim t-testom po sezonama (proljeće - zelena boja, ljeto - žuta boja, jesen - crvena boja, zima - plava boja) na temelju saliniteta - S·1. Crvenom bojom (podebljano) označeni su brojevi koji ukazuju na statistički značajnu razliku među pojedinim postajama, dok su brojevi koji ne prikazuju statistički značajne razlike između postaja prikazani crnom bojom.

T-TEST - površinski sloj																							
S·1																							
PROLJEĆE											JESEN												
	FPA34	FPA37	FPB37	FPO37	FPA45	FPO45	FPP18	FPP19	LKR02	RIO19		FPA34	FPA37	FPB37	FPO37	FPA45	FPO45	FPP18	FPP19	LKR02	RIO19		
LJETO	FPA34		0,02	0,04	0,02	0,60	0,13	0,04	0,00	0,06	0,10			0,02	0,04	0,01	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	
	FPA37	0,02		0,56	0,95	0,00	0,04	0,57	0,00	0,01	0,01			0,07	0,78	0,86	0,02	0,07	0,35	0,00	0,05	0,04	
	FPB37	0,03	0,56		0,53	0,02	0,10	0,99	0,00	0,06	0,04			0,02	0,38	0,89	0,04	0,12	0,50	0,00	0,10	0,08	
	FPO37	0,01	0,90	0,47		0,01	0,05	0,55	0,00	0,02	0,02			0,01	0,54	0,67	0,01	0,04	0,34	0,00	0,03	0,02	
	FPA45	0,01	0,02	0,04	0,01		0,13	0,02	0,00	0,04	0,18			0,11	0,17	0,07	0,05	0,16	0,04	0,00	0,07	0,15	
	FPO45	0,00	0,07	0,12	0,05	0,25		0,10	0,00	0,51	0,44			0,00	0,18	0,06	0,05	0,10	0,18	0,00	0,47	0,95	
	FPP18	0,12	0,33	0,65	0,26	0,16	0,33		0,00	0,06	0,04			0,12	0,59	0,19	0,24	0,26	0,31	0,00	0,27	0,14	
	FPP19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	LKR02	0,00	0,12	0,29	0,08	0,02	0,11	0,68	0,00		0,16			0,02	0,31	0,14	0,12	0,20	0,75	0,46	0,00		0,46
	RIO19	0,15	0,03	0,05	0,02	0,81	0,33	0,18	0,00	0,03				0,00	0,05	0,01	0,00	0,04	0,95	0,13	0,00	0,62	
ZIMA	FPA34		0,02	0,04	0,01	0,60	0,13	0,04	0,00	0,06	0,10			0,02	0,04	0,01	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	
	FPA37	0,02		0,56	0,95	0,00	0,04	0,57	0,00	0,01	0,01			0,07	0,78	0,86	0,02	0,07	0,35	0,00	0,05	0,04	
	FPB37	0,03	0,56		0,53	0,02	0,10	0,99	0,00	0,06	0,04			0,02	0,38	0,89	0,04	0,12	0,50	0,00	0,10	0,08	
	FPO37	0,01	0,90	0,47		0,01	0,05	0,55	0,00	0,02	0,02			0,01	0,54	0,67	0,01	0,04	0,34	0,00	0,03	0,02	
	FPA45	0,01	0,02	0,04	0,01		0,13	0,02	0,00	0,04	0,18			0,11	0,17	0,07	0,05	0,16	0,04	0,00	0,07	0,15	
	FPO45	0,00	0,07	0,12	0,05	0,25		0,10	0,00	0,51	0,44			0,00	0,18	0,06	0,05	0,10	0,18	0,00	0,47	0,95	
	FPP18	0,12	0,33	0,65	0,26	0,16	0,33		0,00	0,06	0,04			0,12	0,59	0,19	0,24	0,26	0,31	0,00	0,27	0,14	
	FPP19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	LKR02	0,00	0,12	0,29	0,08	0,02	0,11	0,68	0,00		0,16			0,02	0,31	0,14	0,12	0,20	0,75	0,46	0,00		0,46
	RIO19	0,15	0,03	0,05	0,02	0,81	0,33	0,18	0,00	0,03				0,00	0,05	0,01	0,00	0,04	0,95	0,13	0,00	0,62	

Tablica P12. Usporedba pridnenog sloja vodenog stupca istraživanih postaja studentovim t-testom po sezonama (proljeće - zelena boja, ljeto - žuta boja, jesen - crvena boja, zima - plava boja) na temelju saliniteta - S·1. Crvenom bojom (podebljano) označeni su brojevi koji ukazuju na statistički značajnu razliku među pojedinim postajama, dok su brojevi koji ne prikazuju statistički značajne razlike između postaja prikazani crnom bojom.

T-TEST - pridneni sloj																							
S·1																							
PROLJEĆE											JESEN												
	FPA34	FPA37	FPB37	FPO37	FPA45	FPO45	FPP18	FPP19	LKR02	RIO19		FPA34	FPA37	FPB37	FPO37	FPA45	FPO45	FPP18	FPP19	LKR02	RIO19		
LJETO	FPA34		0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,00	0,18			0,23	0,20	0,15	0,08	0,02	0,48	0,09	0,04	0,48	
	FPA37	0,17		0,83	0,85	0,67	0,76	0,77	0,02	0,89	0,15			0,03	0,94	0,82	0,94	0,41	0,77	0,07	0,72	0,46	
	FPB37	0,14	0,97		0,98	0,52	0,93	0,93	0,02	0,68	0,11			0,03	0,91	0,88	0,98	0,46	0,72	0,07	0,79	0,41	
	FPO37	0,11	0,77	0,79		0,52	0,91	0,91	0,02	0,69	0,11			0,02	0,65	0,73	0,83	0,56	0,63	0,05	0,94	0,07	
	FPA45	0,11	0,72	0,74	0,94		0,45	0,46	0,01	0,65	0,22			0,04	0,58	0,63	0,82	0,32	0,66	0,05	0,69	0,28	
	FPO45	0,01	0,19	0,19	0,32	0,35		0,99	0,01	0,59	0,09			0,00	0,18	0,21	0,32	0,60	0,30	0,04	0,50	0,07	
	FPP18	0,28	0,60	0,55	0,40	0,38	0,06		0,03	0,59	0,11			0,19	0,47	0,41	0,27	0,31	0,08	0,13	0,49	0,79	
	FPP19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,01	0,02			0,01	0,00	0,00	0,03	0,00	0,01	0,04	0,05		
	LKR02	0,10	0,99	0,95	0,72	0,66	0,12	0,53	0,00		0,07			0,05	0,41	0,44	0,57	0,78	0,93	0,26	0,07		0,15
	RIO19	0,61	0,29	0,25	0,18	0,17	0,02	0,53	0,00	0,20				0,03	0,77	0,86	0,88	0,75	0,28	0,35	0,00	0,53	
ZIMA	FPA34		0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,00	0,18			0,23	0,20	0,15	0,08	0,02	0,48	0,09	0,04	0,48	
	FPA37	0,17		0,83	0,85	0,67	0,76	0,77	0,02	0,89	0,15			0,03	0,94	0,82	0,94	0,41	0,77	0,07	0,72	0,46	
	FPB37	0,14	0,97		0,98	0,52	0,93	0,93	0,02	0,68	0,11			0,03	0,91	0,88	0,98	0,46	0,72	0,07	0,79	0,41	
	FPO37	0,11	0,77	0,79		0,52	0,91	0,91	0,02	0,69	0,11			0,02	0,65	0,73	0,83	0,56	0,63	0,05	0,94	0,07	
	FPA45	0,11	0,72	0,74	0,94		0,45	0,46	0,01	0,65	0,22			0,04	0,58	0,63	0,82	0,32	0,66	0,05	0,69	0,28	
	FPO45	0,01	0,19	0,19	0,32	0,35		0,99	0,01	0,59	0,09			0,00	0,18	0,21	0,32	0,60	0,30	0,04	0,50	0,07	
	FPP18	0,28	0,60	0,55	0,40	0,38	0,06		0,03	0,59	0,11			0,19	0,47	0,41	0,27	0,31	0,08	0,13	0,49	0,79	
	FPP19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,01	0,02			0,01	0,00	0,00	0,03	0,00	0,01	0,04	0,05		
	LKR02	0,10	0,99	0,95	0,72	0,66	0,12	0,53	0,00		0,07			0,05	0,41	0,44	0,57	0,78	0,93	0,26	0,07		0,15
	RIO19	0,61	0,29	0,25	0,18	0,17	0,02	0,53	0,00	0,20				0,03	0,77	0,86	0,88	0,75	0,28	0,35	0,00	0,53	

Tablica P13. Prikaz srednjih vrijednosti (S) pojedinih parametara u vodenom stupcu s pratećim standardnim devijacijama (SD) po postajama u proljetnoj sezoni.

PROLJEĆE																		
Postaje	Vodeni stupac	t°C	S-1	ρ (kg/m ³)	O ₂ (ml/L)	Saturacija O ₂ (%)	pH	PO ₄ ³⁻ (μmol L ⁻¹)	TP (μmol L ⁻¹)	TIN (μmol L ⁻¹)	Si(OH) ₄ (μmol L ⁻¹)	N/P omjer	Chl a (μg L ⁻¹)	TRIX	Prozirnost (m)	NO ₃ ⁻ (μmol L ⁻¹)	NO ₂ ⁻ (μmol L ⁻¹)	NH ₄ ⁺ (μmol L ⁻¹)
FPA34	S ± SD	14,42 ± 2,66	37,95 ± 0,58	28,35 ± 0,84	5,78 ± 0,23	102,15 ± 6,01	8,24 ± 0,03	0,03 ± 0,01	0,17 ± 0,03	0,97 ± 0,70	1,82 ± 1,10	27,15 ± 16,18	0,27 ± 0,14	2,77 ± 0,48	20 ± 6	0,65 ± 0,62	0,09 ± 0,06	0,24 ± 0,11
FPA37; FPB37; FPO37	S ± SD	13,58 ± 2,04	33,85 ± 7,66	25,38 ± 5,92	6,35 ± 0,40	107,49 ± 5,21	8,24 ± 0,04	0,04 ± 0,03	0,21 ± 0,07	4,65 ± 7,31	2,98 ± 3,46	107,54 ± 154,07	0,46 ± 0,40	3,32 ± 0,79	13 ± 3	4,27 ± 7,25	0,09 ± 0,04	0,29 ± 0,28
FPA45	S ± SD	14,24 ± 2,76	37,77 ± 0,51	28,24 ± 0,84	6,08 ± 0,27	106,39 ± 6,21	8,26 ± 0,05	0,05 ± 0,04	0,22 ± 0,05	1,38 ± 1,00	1,50 ± 1,10	39,77 ± 30,16	0,74 ± 0,35	3,46 ± 0,54	11 ± 5	0,82 ± 0,82	0,08 ± 0,04	0,48 ± 0,33
FPO45	S ± SD	14,79 ± 2,98	37,38 ± 1,31	27,82 ± 1,44	6,14 ± 0,26	109,10 ± 6,21	8,23 ± 0,08	0,06 ± 0,04	0,27 ± 0,09	2,69 ± 3,84	2,66 ± 3,19	60,54 ± 71,11	0,86 ± 0,50	3,73 ± 0,76	10 ± 3	2,14 ± 3,84	0,08 ± 0,04	0,47 ± 0,25
FPP18	S ± SD	13,48 ± 1,59	34,71 ± 6,59	26,07 ± 5,07	6,22 ± 0,37	105,85 ± 5,05	8,25 ± 0,02	0,03 ± 0,02	0,19 ± 0,04	2,61 ± 5,05	2,18 ± 2,41	69,69 ± 71,69	0,30 ± 0,10	3,13 ± 0,55	15 ± 5	2,10 ± 5,00	0,08 ± 0,05	0,43 ± 0,23
FPP19	S ± SD	15,11 ± 2,75	13,34 ± 14,10	9,25 ± 10,53	6,75 ± 0,68	104,29 ± 13,52	7,86 ± 0,23	0,49 ± 0,38	0,82 ± 0,98	31,57 ± 22,39	51,87 ± 34,25	132,87 ± 127,37	1,40 ± 1,02	5,15 ± 0,32	1 ± 1	29,53 ± 22,05	0,58 ± 0,59	1,47 ± 1,11
LKR02	S ± SD	13,61 ± 2,13	37,01 ± 1,90	27,81 ± 1,68	5,96 ± 0,28	103,03 ± 4,71	8,19 ± 0,12	0,07 ± 0,08	0,24 ± 0,07	2,63 ± 3,45	3,84 ± 4,85	81,90 ± 110,80	0,63 ± 0,28	3,35 ± 0,43	12 ± 4	2,01 ± 3,32	0,10 ± 0,08	0,52 ± 0,31
RIO19	S ± SD	14,06 ± 2,74	37,63 ± 0,67	28,18 ± 0,96	5,92 ± 0,31	103,88 ± 7,37	8,24 ± 0,03	0,03 ± 0,01	0,19 ± 0,05	1,10 ± 0,60	1,81 ± 0,98	37,83 ± 24,02	0,30 ± 0,16	3,02 ± 0,42	16 ± 5	0,69 ± 0,47	0,16 ± 0,22	0,25 ± 0,13

Tablica P14. Prikaz srednjih vrijednosti (S) pojedinih parametara u vodenom stupcu s pratećim standardnim devijacijama (SD) po postajama u ljetnoj sezoni.

LJETO																		
Postaje	Vodeni stupac	t°C	S-1	ρ (kg/m ³)	O ₂ (ml/L)	Saturacija O ₂ (%)	pH	PO ₄ ³⁻ (μmol L ⁻¹)	TP (μmol L ⁻¹)	TIN (μmol L ⁻¹)	Si(OH) ₄ (μmol L ⁻¹)	N/P omjer	Chl a (μg L ⁻¹)	TRIX	Prozirnost (m)	NO ₃ ⁻ (μmol L ⁻¹)	NO ₂ ⁻ (μmol L ⁻¹)	NH ₄ ⁺ (μmol L ⁻¹)
FPA34	S ± SD	19,30 ± 4,73	37,96 ± 0,46	27,12 ± 1,40	5,28 ± 0,38	102,96 ± 12,04	8,22 ± 0,04	0,04 ± 0,03	0,18 ± 0,04	1,08 ± 1,32	2,38 ± 2,48	28,85 ± 39,45	0,14 ± 0,07	2,64 ± 0,68	22 ± 3	0,86 ± 1,22	0,07 ± 0,10	0,15 ± 0,07
FPA37; FPB37; FPO37	S ± SD	20,34 ± 3,03	35,32 ± 5,36	24,89 ± 4,27	5,81 ± 0,41	113,12 ± 5,56	8,23 ± 0,04	0,04 ± 0,03	0,20 ± 0,08	2,77 ± 5,25	2,35 ± 2,61	58,59 ± 98,76	0,51 ± 0,54	3,34 ± 0,76	11 ± 3	2,45 ± 5,17	0,05 ± 0,04	0,27 ± 0,09
FPA45	S ± SD	22,84 ± 2,60	37,54 ± 0,60	25,88 ± 1,12	5,09 ± 0,42	105,13 ± 9,12	8,21 ± 0,04	0,06 ± 0,08	0,28 ± 0,12	1,75 ± 2,56	2,05 ± 1,31	30,91 ± 27,16	1,10 ± 0,67	3,55 ± 0,63	10 ± 0	0,71 ± 0,98	0,08 ± 0,07	0,96 ± 1,78
FPO45	S ± SD	23,94 ± 1,91	37,37 ± 0,59	25,44 ± 0,94	5,13 ± 0,35	107,96 ± 7,09	8,20 ± 0,03	0,05 ± 0,02	0,34 ± 0,15	1,69 ± 2,06	2,31 ± 1,66	36,69 ± 41,80	1,17 ± 0,70	3,86 ± 0,65	7 ± 0	1,08 ± 1,93	0,07 ± 0,04	0,54 ± 0,28
FPP18	S ± SD	19,99 ± 3,56	36,47 ± 4,45	25,84 ± 3,51	5,65 ± 0,58	109,64 ± 4,75	8,23 ± 0,03	0,04 ± 0,02	0,19 ± 0,07	1,98 ± 4,15	1,81 ± 2,25	44,56 ± 52,22	0,28 ± 0,22	2,99 ± 0,60	17 ± 7	1,67 ± 4,08	0,03 ± 0,02	0,28 ± 0,18
FPP19	S ± SD	22,70 ± 3,48	22,70 ± 15,24	14,65 ± 11,06	5,16 ± 1,07	96,25 ± 11,13	7,88 ± 0,14	0,51 ± 0,21	0,63 ± 0,27	30,36 ± 24,62	43,75 ± 29,15	85,45 ± 87,28	1,76 ± 2,01	5,16 ± 0,39	1 ± 0	27,53 ± 24,81	0,49 ± 0,14	2,34 ± 1,50
LKR02	S ± SD	22,01 ± 3,29	36,79 ± 1,82	25,54 ± 2,08	4,80 ± 0,77	97,91 ± 18,14	8,15 ± 0,07	0,18 ± 0,32	0,44 ± 0,28	3,18 ± 2,65	4,77 ± 4,19	48,86 ± 64,25	1,60 ± 1,04	4,35 ± 0,70	7 ± 2	1,85 ± 2,47	0,11 ± 0,07	1,22 ± 1,31
RIO19	S ± SD	19,48 ± 4,74	37,76 ± 0,93	26,92 ± 1,68	5,33 ± 0,72	104,09 ± 17,12	8,22 ± 0,04	0,04 ± 0,03	0,17 ± 0,07	1,03 ± 1,16	2,17 ± 2,70	28,16 ± 25,35	0,24 ± 0,27	2,87 ± 0,71	18 ± 4	0,63 ± 0,97	0,08 ± 0,14	0,32 ± 0,23

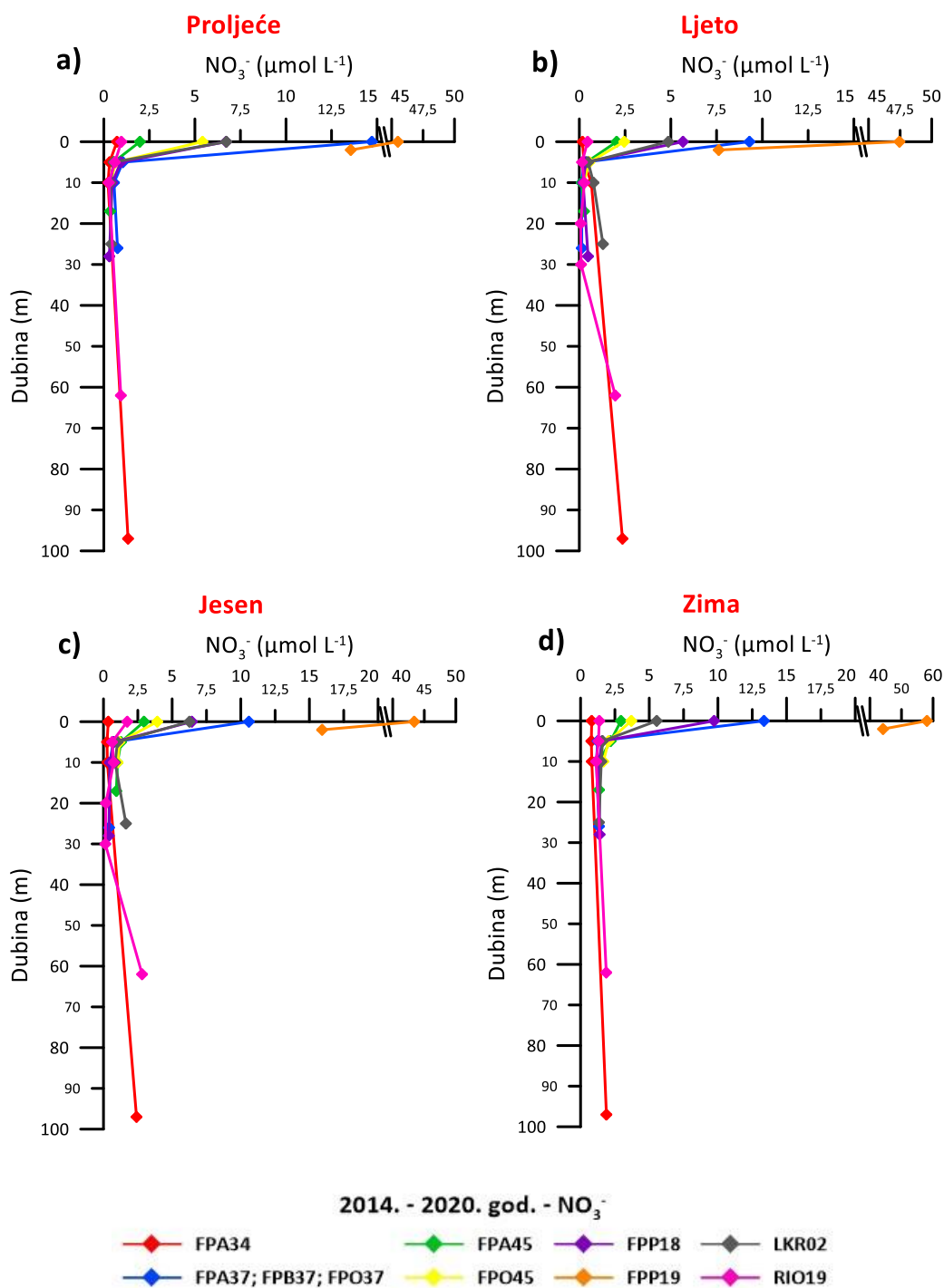
Tablica P15. Prikaz srednjih vrijednosti (S) pojedinih parametara u vodenom stupcu s pratećim standardnim devijacijama (SD) po postajama u jesenskoj sezoni.

JESEN																		
Postaje	Vodeni stupac	t°C	S-1	p (kg/m ³)	O ₂ (ml/L)	Saturacija O ₂ (%)	pH	PO ₄ ³⁻ (μmol L ⁻¹)	TP (μmol L ⁻¹)	TIN (μmol L ⁻¹)	Si(OH) ₄ (μmol L ⁻¹)	N/P omjer	Chl a (μg L ⁻¹)	TRIX	Prozirnost (m)	NO ₃ ⁻ (μmol L ⁻¹)	NO ₂ ⁻ (μmol L ⁻¹)	NH ₄ ⁺ (μmol L ⁻¹)
FPA34	S ± SD	18,15 ± 3,97	38,25 ± 0,29	27,67 ± 1,08	5,12 ± 0,28	97,92 ± 10,50	8,23 ± 0,04	0,04 ± 0,03	0,18 ± 0,06	1,05 ± 1,06	2,79 ± 2,87	25,83 ± 17,71	0,22 ± 0,12	2,58 ± 0,69	23 ± 3	0,82 ± 1,00	0,04 ± 0,04	0,18 ± 0,09
FPA37; FPB37; FPO37	S ± SD	18,59 ± 2,96	35,36 ± 5,78	25,35 ± 4,09	5,51 ± 0,52	103,69 ± 5,60	8,22 ± 0,05	0,04 ± 0,03	0,21 ± 0,07	3,47 ± 6,30	3,16 ± 3,39	90,41 ± 147,59	0,44 ± 0,30	3,12 ± 0,62	16 ± 3	3,04 ± 6,20	0,08 ± 0,10	0,34 ± 0,25
FPA45	S ± SD	18,92 ± 2,16	37,80 ± 0,65	27,17 ± 0,76	5,01 ± 0,31	96,50 ± 4,94	8,23 ± 0,03	0,07 ± 0,05	0,31 ± 0,13	2,45 ± 1,59	3,04 ± 1,19	48,04 ± 39,99	1,50 ± 0,71	3,87 ± 0,54	8 ± 2	1,55 ± 1,49	0,25 ± 0,22	0,65 ± 0,45
FPO45	S ± SD	19,46 ± 2,54	37,53 ± 0,91	26,82 ± 0,97	5,05 ± 0,42	98,19 ± 8,05	8,21 ± 0,03	0,09 ± 0,06	0,33 ± 0,12	3,04 ± 3,64	3,41 ± 1,69	41,45 ± 33,79	1,64 ± 0,96	3,94 ± 0,76	8 ± 1	2,04 ± 3,13	0,27 ± 0,22	0,74 ± 0,70
FPP18	S ± SD	18,15 ± 2,60	36,60 ± 3,33	26,43 ± 2,32	5,42 ± 0,34	102,25 ± 3,82	8,24 ± 0,03	0,03 ± 0,02	0,20 ± 0,06	2,46 ± 3,98	2,44 ± 1,69	72,49 ± 80,50	0,28 ± 0,11	2,90 ± 0,42	16 ± 5	2,01 ± 3,98	0,08 ± 0,11	0,37 ± 0,41
FPP19	S ± SD	17,15 ± 4,37	15,50 ± 16,33	10,42 ± 11,77	5,80 ± 1,03	93,00 ± 7,48	7,87 ± 0,21	0,83 ± 0,80	1,03 ± 0,76	32,85 ± 21,86	58,91 ± 42,85	86,88 ± 94,32	0,97 ± 0,90	5,09 ± 0,48	1 ± 0	29,66 ± 21,20	1,33 ± 2,06	1,86 ± 1,21
LKR02	S ± SD	18,84 ± 2,09	37,26 ± 1,56	26,77 ± 1,28	4,47 ± 0,74	85,83 ± 13,62	8,13 ± 0,09	0,17 ± 0,25	0,40 ± 0,29	4,30 ± 3,37	6,62 ± 4,86	42,60 ± 36,51	1,22 ± 0,82	4,36 ± 0,48	6 ± 2	2,44 ± 3,31	0,71 ± 0,63	1,14 ± 1,09
RIO19	S ± SD	17,97 ± 3,23	37,70 ± 1,03	27,30 ± 1,10	5,13 ± 0,62	97,50 ± 14,58	8,23 ± 0,06	0,04 ± 0,04	0,20 ± 0,07	1,46 ± 1,54	2,96 ± 3,12	41,85 ± 46,60	0,30 ± 0,18	2,90 ± 0,77	23 ± 3	1,21 ± 1,47	0,08 ± 0,12	0,17 ± 0,09

Tablica P16. Prikaz srednjih vrijednosti (S) pojedinih parametara u vodenom stupcu s pratećim standardnim devijacijama (SD) po postajama u zimskoj sezoni.

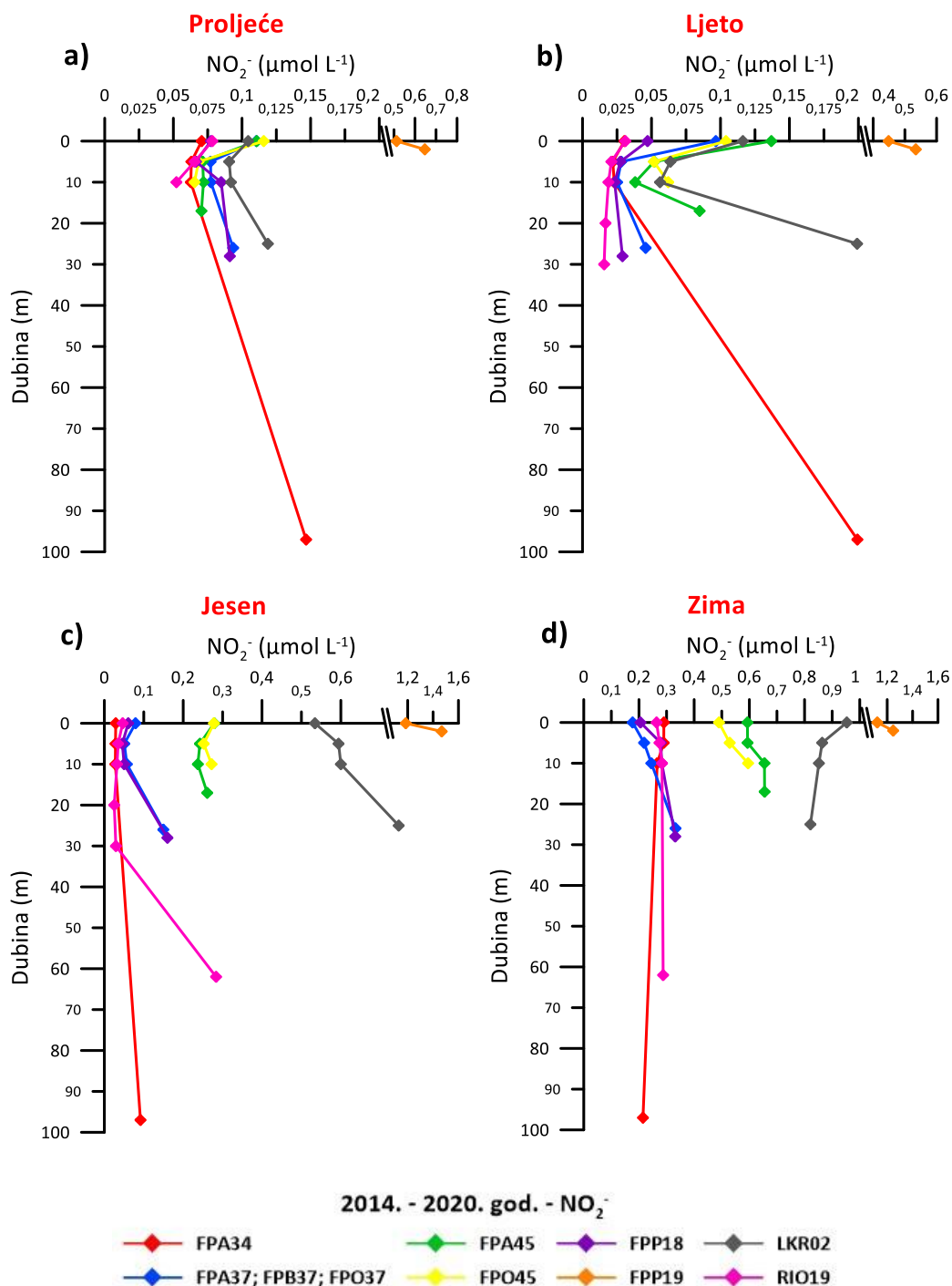
ZIMA																		
Postaje	Vodeni stupac	t°C	S-1	p (kg/m ³)	O ₂ (ml/L)	Saturacija O ₂ (%)	pH	PO ₄ ³⁻ (μmol L ⁻¹)	TP (μmol L ⁻¹)	TIN (μmol L ⁻¹)	Si(OH) ₄ (μmol L ⁻¹)	N/P omjer	Chl a (μg L ⁻¹)	TRIX	Prozirnost (m)	NO ₃ ⁻ (μmol L ⁻¹)	NO ₂ ⁻ (μmol L ⁻¹)	NH ₄ ⁺ (μmol L ⁻¹)
FPA34	S ± SD	13,31 ± 1,70	38,05 ± 0,33	28,68 ± 0,49	5,53 ± 0,55	95,67 ± 8,28	8,26 ± 0,07	0,03 ± 0,03	0,17 ± 0,04	1,47 ± 0,76	3,27 ± 2,38	53,90 ± 16,60	0,29 ± 0,09	2,84 ± 0,48	17 ± 1	1,07 ± 0,80	0,27 ± 0,08	0,13 ± 0,06
FPA37; FPB37; FPO37	S ± SD	13,36 ± 2,26	34,96 ± 6,48	26,25 ± 4,83	5,68 ± 0,64	96,08 ± 4,82	8,22 ± 0,06	0,04 ± 0,03	0,19 ± 0,05	4,74 ± 6,60	4,63 ± 3,50	111,31 ± 149,48	0,41 ± 0,28	3,25 ± 0,48	13 ± 4	4,27 ± 6,56	0,24 ± 0,11	0,22 ± 0,12
FPA45	S ± SD	12,94 ± 1,82	37,78 ± 0,36	28,55 ± 0,24	5,68 ± 0,41	97,00 ± 3,79	8,24 ± 0,07	0,11 ± 0,11	0,31 ± 0,17	3,38 ± 2,40	2,95 ± 1,66	56,03 ± 47,41	1,13 ± 1,46	3,71 ± 0,61	7 ± 0	1,95 ± 1,25	0,62 ± 0,33	0,80 ± 1,40
FPO45	S ± SD	13,19 ± 2,00	37,56 ± 0,46	28,32 ± 0,45	5,65 ± 0,45	97,05 ± 4,57	8,23 ± 0,07	0,08 ± 0,07	0,32 ± 0,13	3,58 ± 2,01	3,27 ± 1,31	65,27 ± 43,22	1,00 ± 0,54	4,04 ± 0,64	/	2,47 ± 1,61	0,54 ± 0,25	0,58 ± 0,40
FPP18	S ± SD	13,47 ± 2,13	36,54 ± 4,55	27,47 ± 3,42	5,63 ± 0,53	96,46 ± 4,97	8,26 ± 0,03	0,05 ± 0,03	0,20 ± 0,09	4,24 ± 6,09	3,99 ± 3,02	81,22 ± 54,73	0,28 ± 0,09	3,18 ± 0,45	12 ± 1	3,51 ± 5,73	0,27 ± 0,11	0,46 ± 0,51
FPP19	S ± SD	12,01 ± 1,73	7,59 ± 13,61	5,32 ± 10,26	6,77 ± 0,79	93,40 ± 1,51	7,66 ± 0,10	1,19 ± 0,89	1,31 ± 1,08	54,84 ± 18,89	63,45 ± 36,45	82,37 ± 94,30	0,27 ± 0,16	4,99 ± 0,55	0 ± 0	51,11 ± 17,87	1,18 ± 0,79	2,55 ± 1,37
LKR02	S ± SD	13,77 ± 1,51	37,47 ± 0,85	28,13 ± 0,74	5,36 ± 0,36	93,17 ± 3,61	8,21 ± 0,06	0,11 ± 0,06	0,23 ± 0,03	3,83 ± 3,06	5,04 ± 3,15	39,74 ± 20,73	0,67 ± 0,12	3,81 ± 0,51	7 ± 0	2,50 ± 2,99	0,87 ± 0,13	0,46 ± 0,13
RIO19	S ± SD	13,19 ± 1,71	37,58 ± 0,44	28,35 ± 0,52	5,64 ± 0,53	96,93 ± 7,00	8,25 ± 0,04	0,03 ± 0,04	0,18 ± 0,09	1,86 ± 0,69	3,32 ± 1,89	79,97 ± 30,66	0,29 ± 0,08	2,74 ± 0,24	18 ± 0	1,42 ± 0,71	0,28 ± 0,08	0,17 ± 0,09

2014. - 2020. god. - NO₃⁻



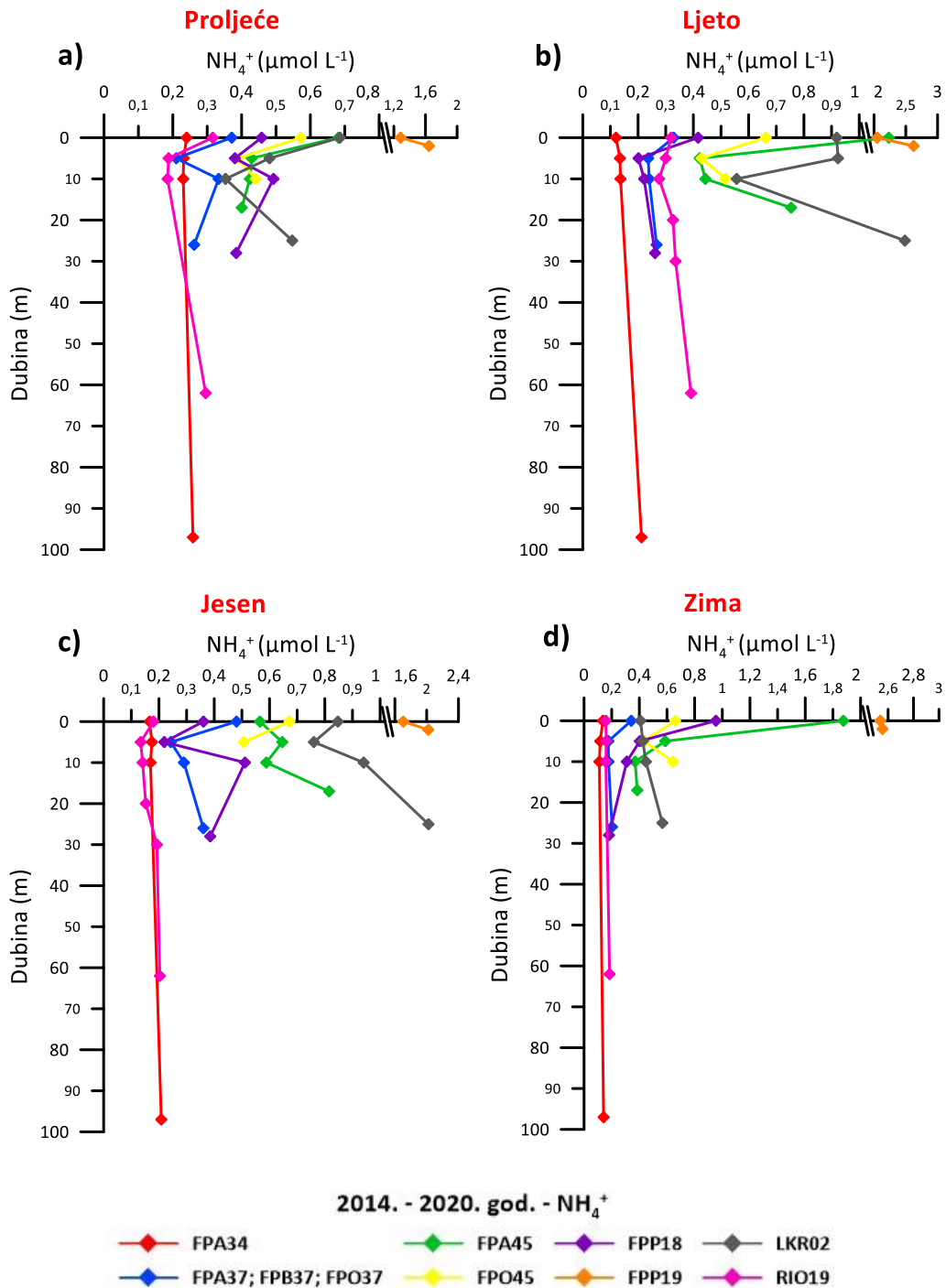
Slika P1. Vertikalna raspodjela nitrata po sezonama (proljeće - a, ljeto - b, jesen - c, zima - d) u razdoblju od 2014. do 2020. godine na istraživanim postajama (FPA34 - Kvarnerić, FPA37; FPB37; FPO37 - Bakarski zaljev, FPA45; FPO45 - Pulska luka, FPP18 - ušće Rječine, FPP19 - ušće Raše, LKR02 - Limski zaljev, RIO19 - Riječki zaljev).

2014. - 2020. god. - NO₂⁻

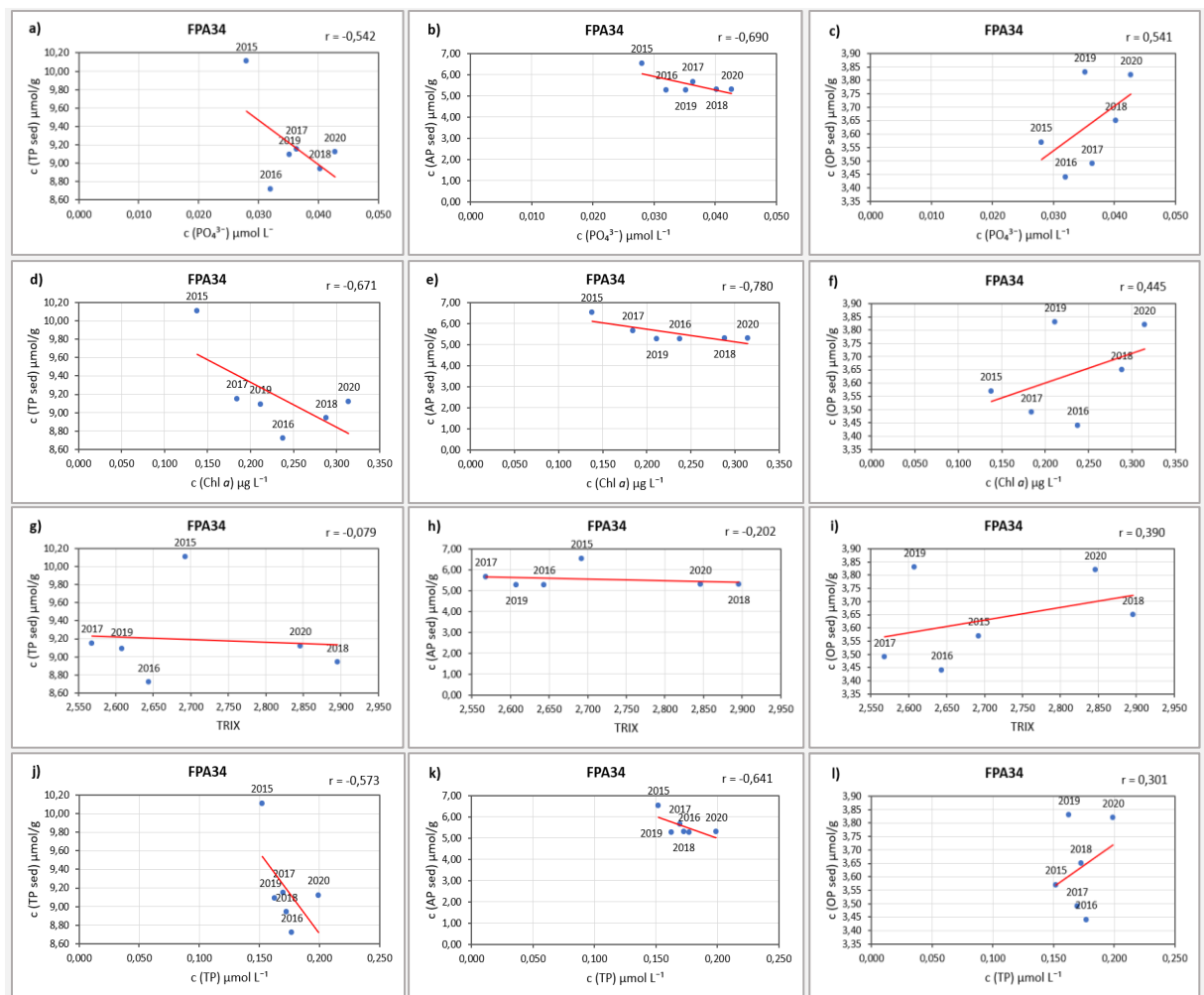


Slika P2. Vertikalna raspodjela nitrita po sezonama (proljeće - a, ljeto - b, jesen - c, zima - d) u razdoblju od 2014. do 2020. godine na istraživanim postajama (FPA34 - Kvarnerić, FPA37; FPB37; FPO37 - Bakarski zaljev, FPA45; FPO45 - Pulska luka, FPP18 - ušće Rječine, FPP19 - ušće Raše, LKR02 - Limski zaljev, RIO19 - Riječki zaljev).

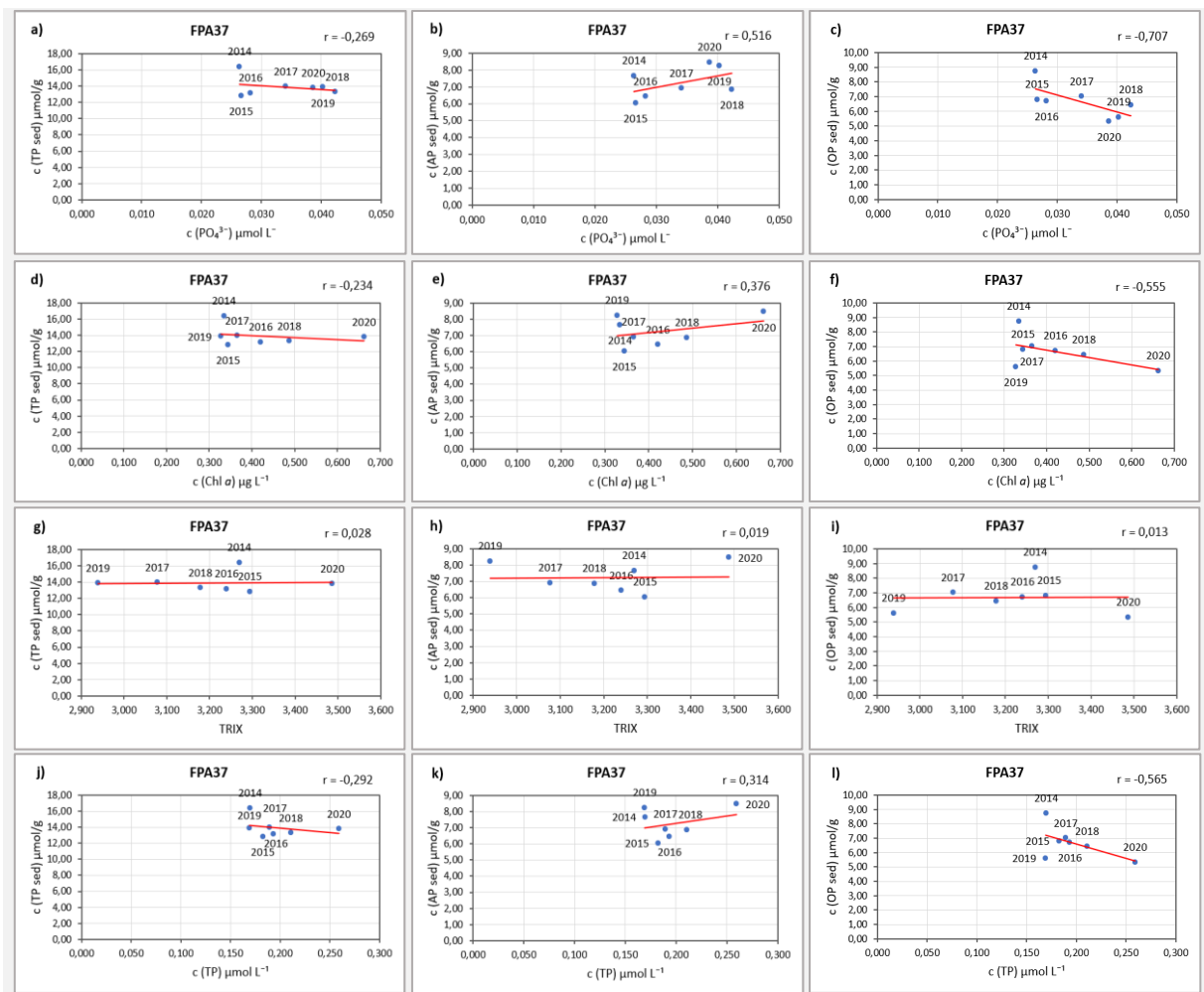
2014. - 2020. god. - NH₄⁺



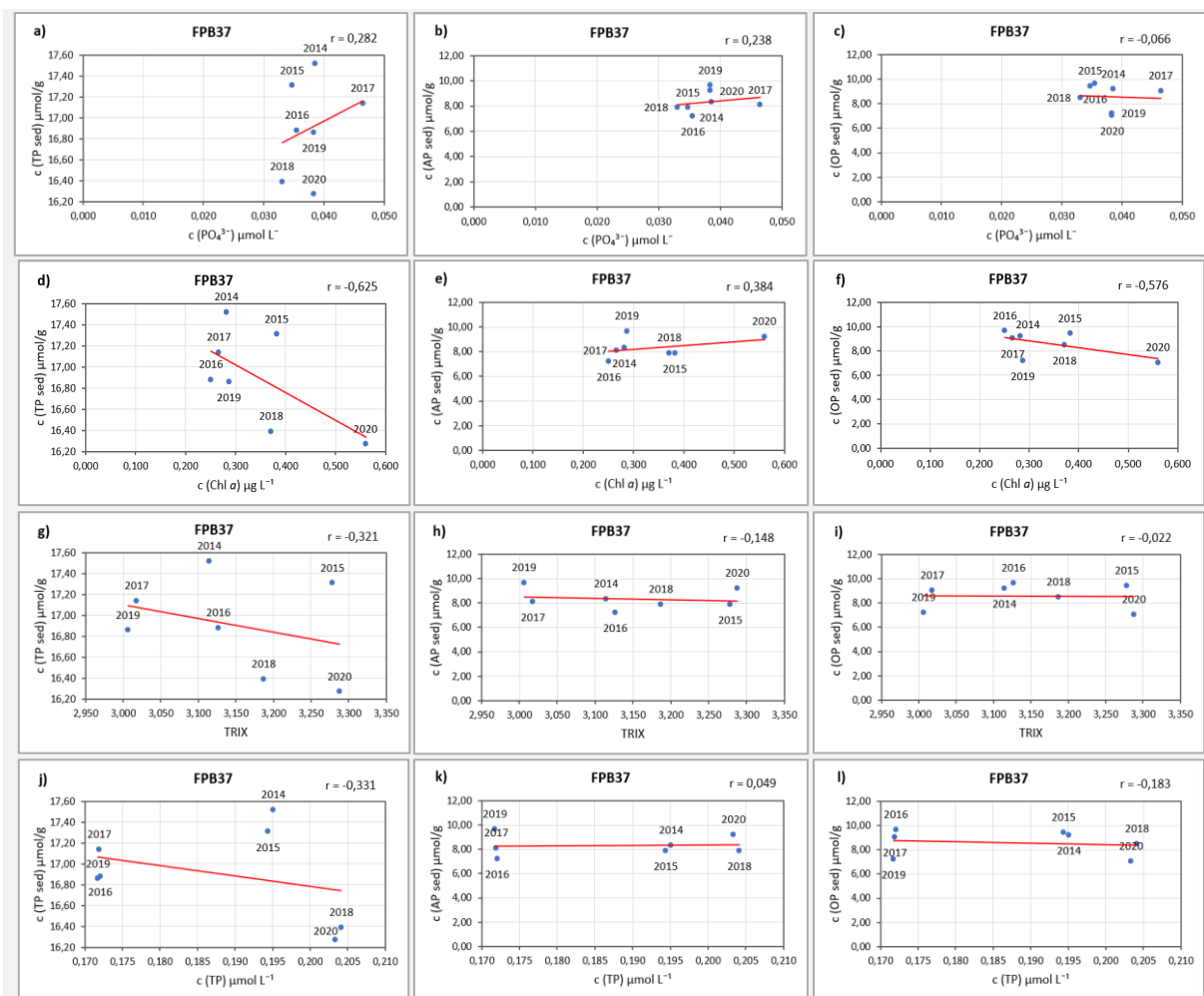
Slika P3. Vertikalna raspodjela amonijaka po sezonama (proljeće - a, ljeto - b, jesen - c, zima - d) u razdoblju od 2014. do 2020. godine na istraživanim postajama (FPA34 - Kvarnerić, FPA37; FPB37; FPO37 - Bakarski zaljev, FPA45; FPO45 - Pulska luka, FPP18 - ušće Rječine, FPP19 - ušće Raše, LKR02 - Limski zaljev, RIO19 - Riječki zaljev).



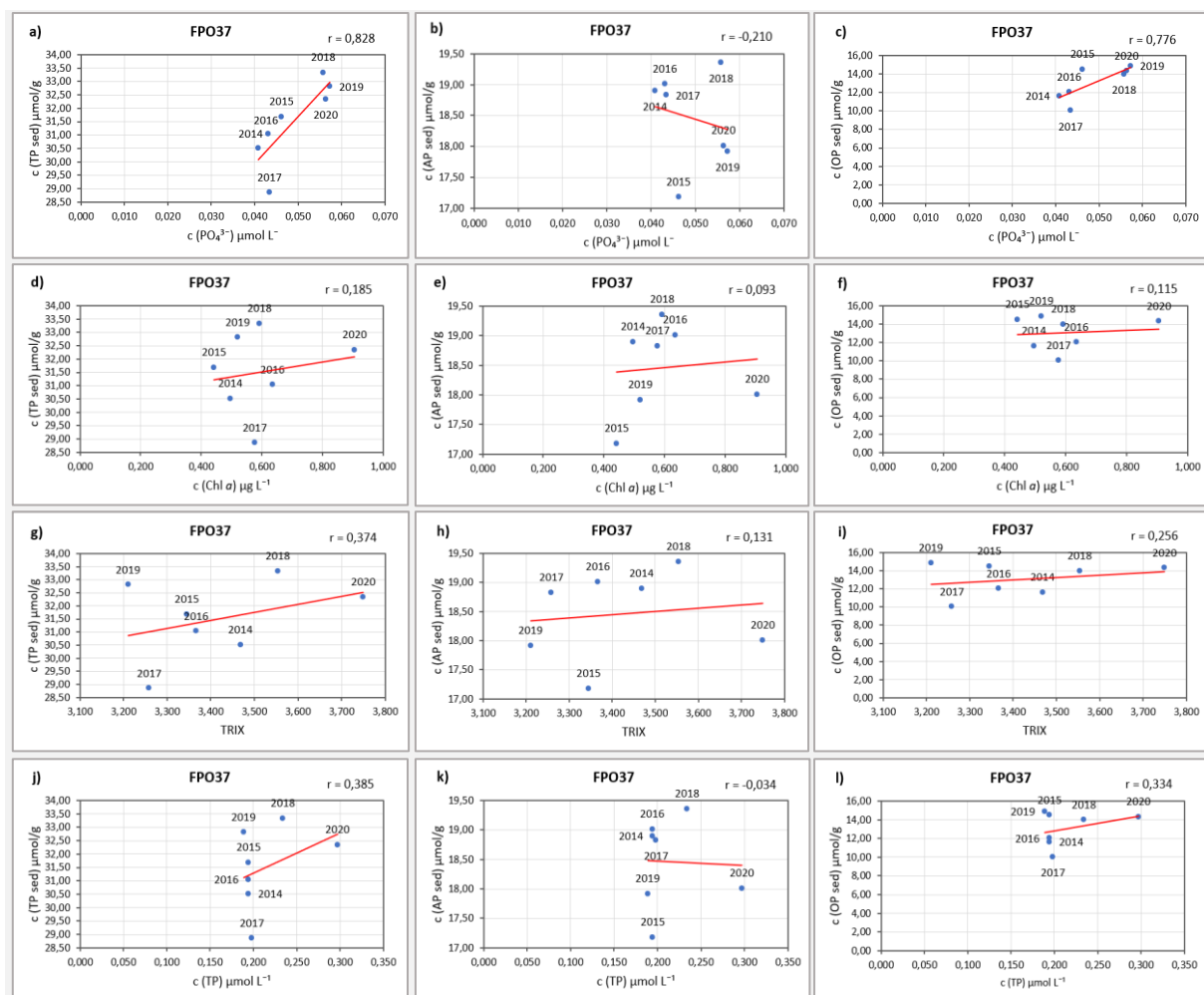
Slika P4. Korelacija ortofosfata (PO_4^{3-}), klorofila *a* (Chl *a*), trofičkog indeksa (TRIX) i ukupnog fosfora (TP) u vodenom stupcu s ukupnim (TP), anorganskim (AP) i organskim (OP) fosforom u sedimentu na postaji FPA34 u razdoblju 2015. - 2020.



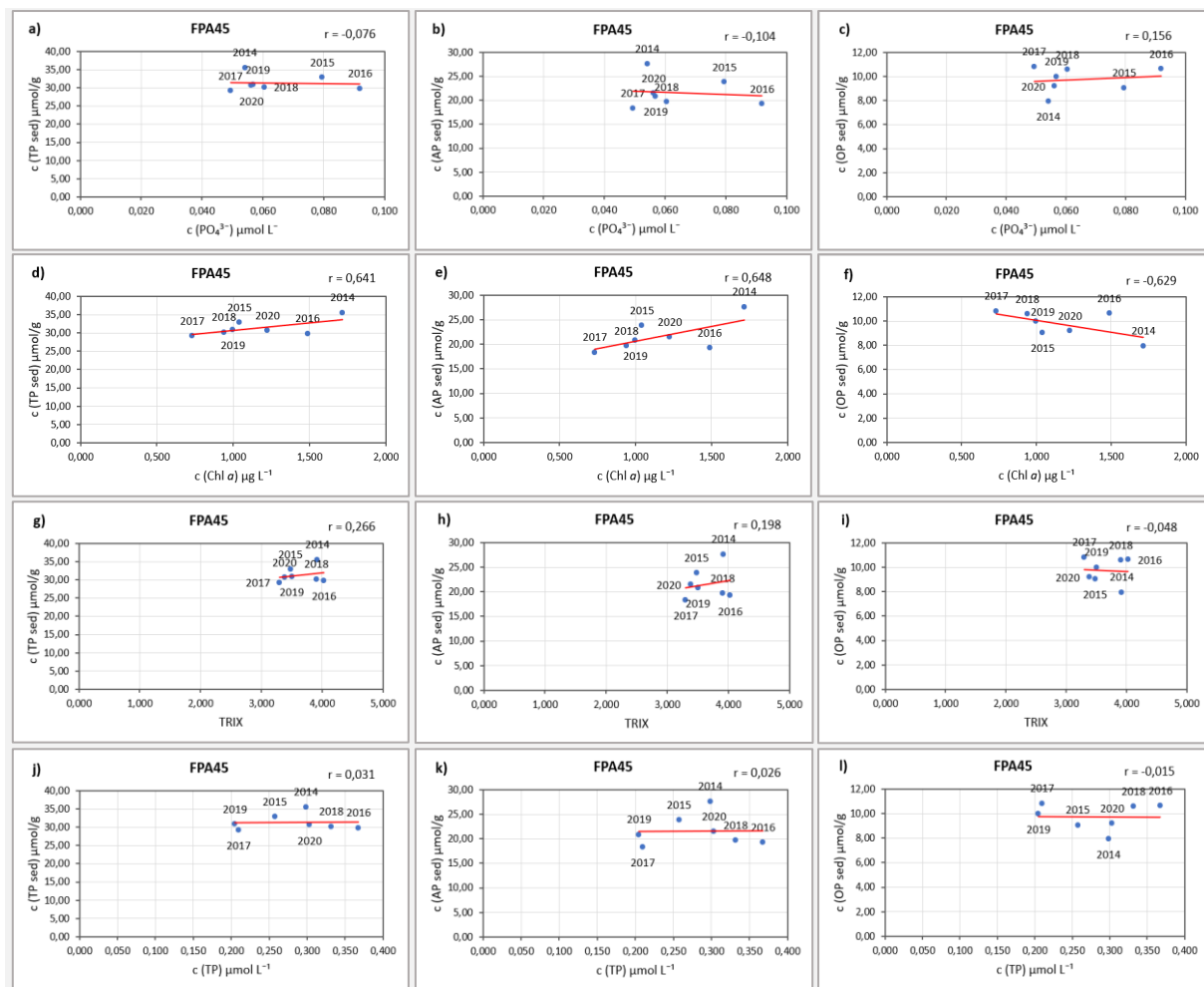
Slika P5. Korelacija ortofosfata (PO_4^{3-}), klorofila *a* (Chl *a*), trofičkog indeksa (TRIX) i ukupnog fosfora (TP) u vodenom stupcu s ukupnim (TP), anorganskim (AP) i organskim (OP) fosforom u sedimentu na postaji FPA37 u razdoblju 2014. - 2020.



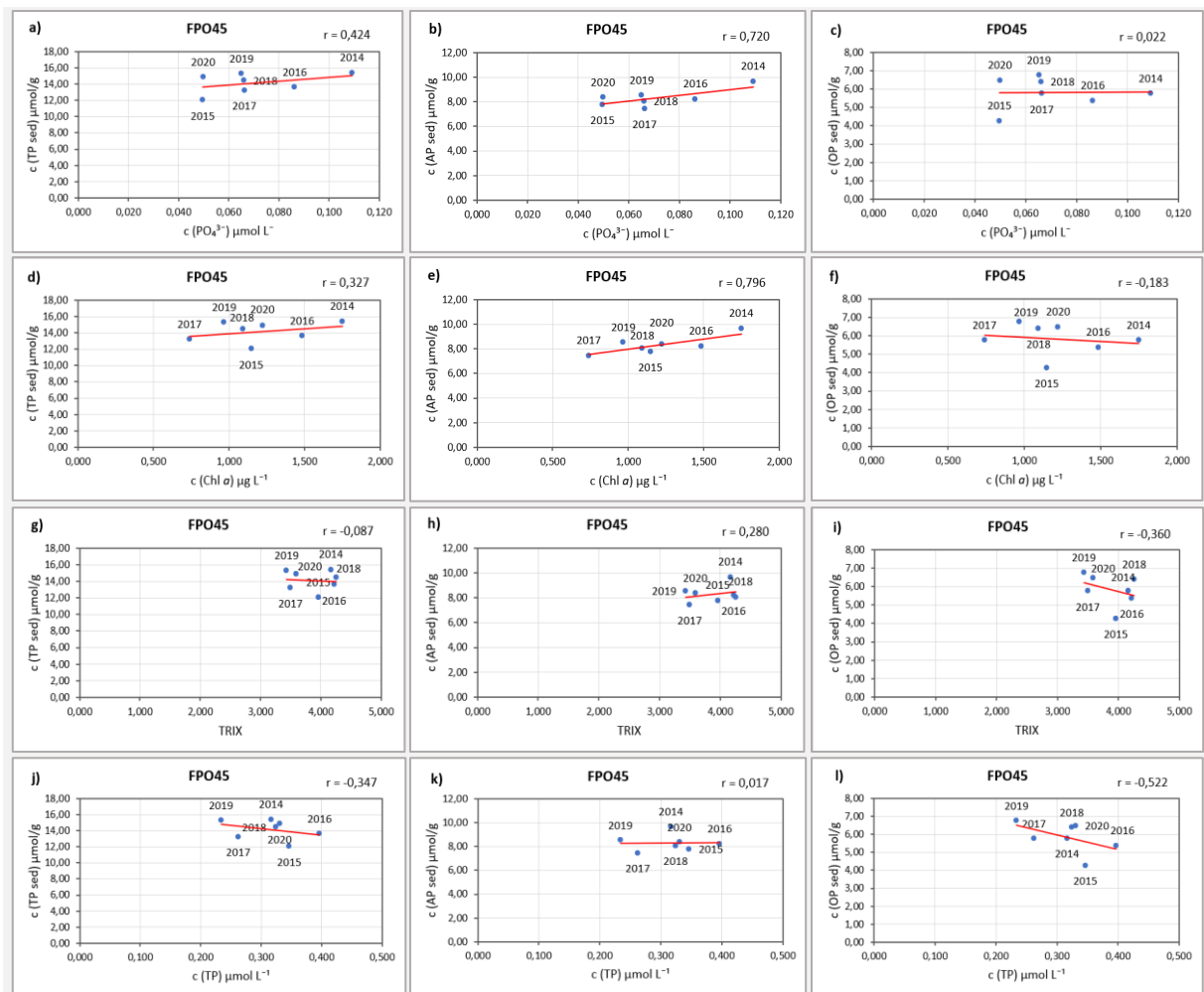
Slika P6. Korelacija ortofosfata (PO_4^{3-}), klorofila *a* (Chl *a*), trofičkog indeksa (TRIX) i ukupnog fosfora (TP) u vodenom stupcu s ukupnim (TP), anorganskim (AP) i organskim (OP) fosforom u sedimentu na postaji FPB37 u razdoblju 2014. - 2020.



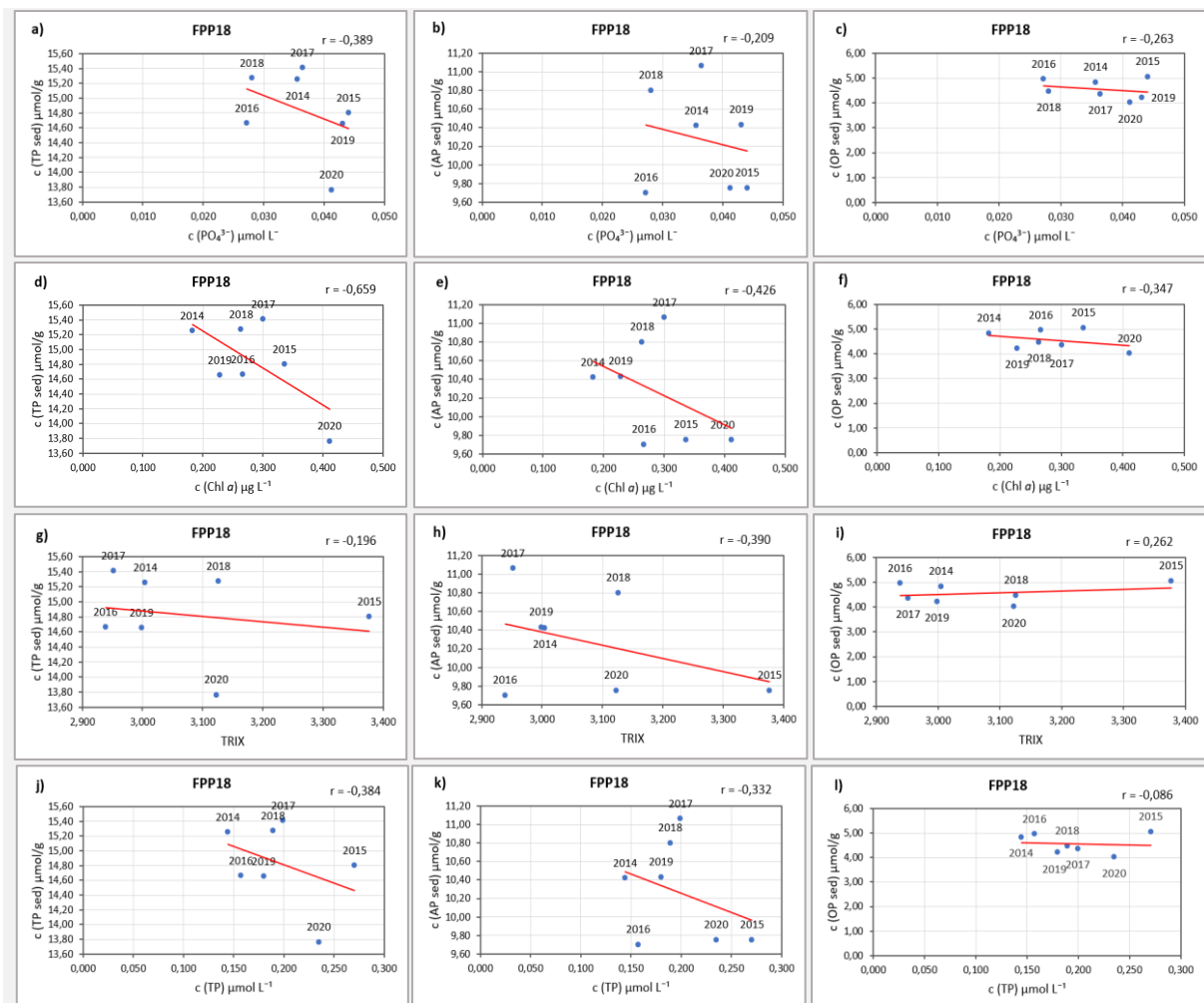
Slika P7. Korelacija ortofosfata (PO_4^{3-}), klorofila *a* (*Chl a*), trofičkog indeksa (TRIX) i ukupnog fosfora (TP) u vodenom stupcu s ukupnim (TP), anorganskim (AP) i organskim (OP) fosforom u sedimentu na postaji FPO37 u razdoblju 2014. - 2020.



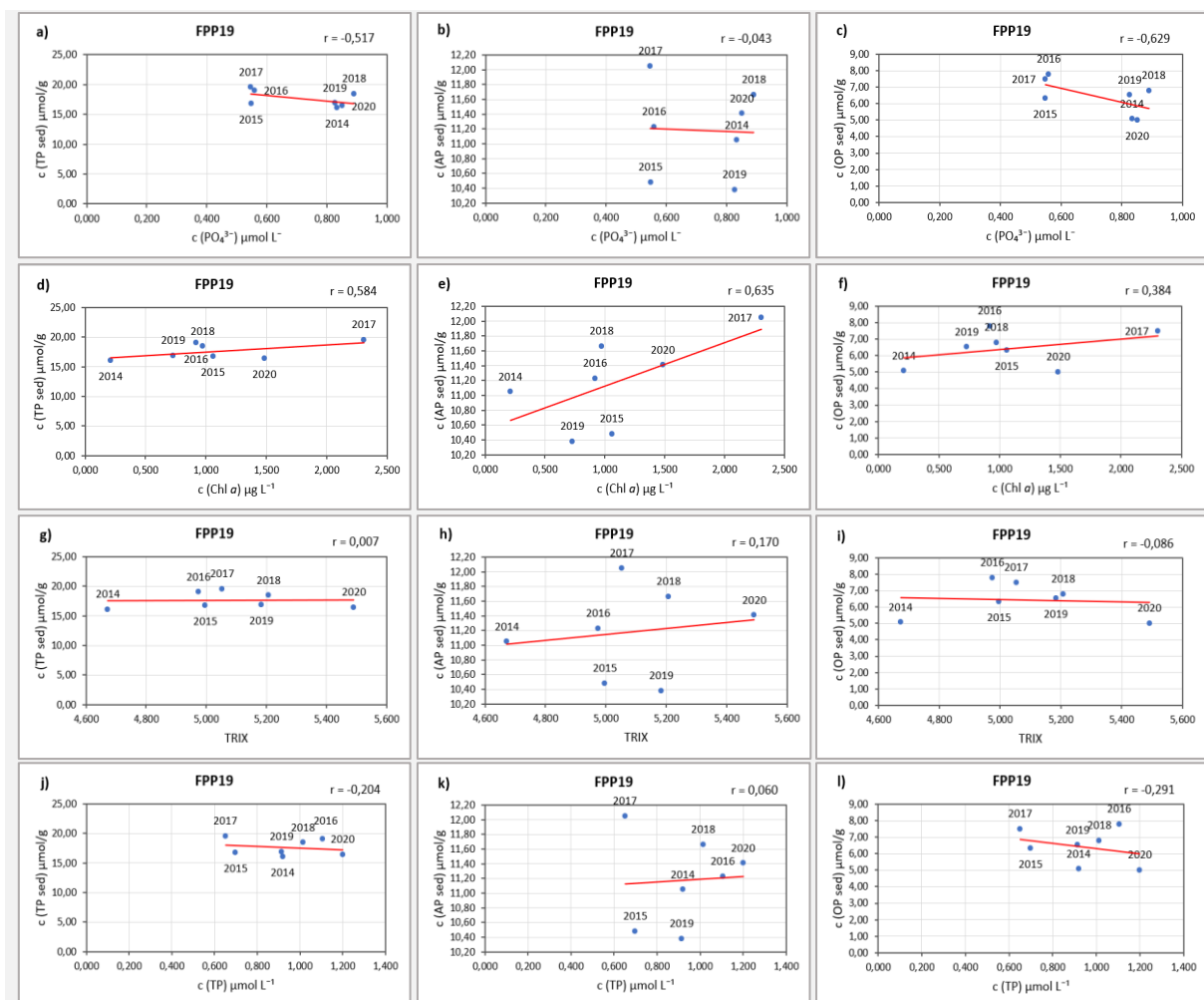
Slika P8. Korelacija ortofosfata (PO_4^{3-}), klorofila *a* (Chl *a*), trofičkog indeksa (TRIX) i ukupnog fosfora (TP) u vodenom stupcu s ukupnim (TP), anorganskim (AP) i organskim (OP) fosforom u sedimentu na postaji FPA45 u razdoblju 2014. - 2020.



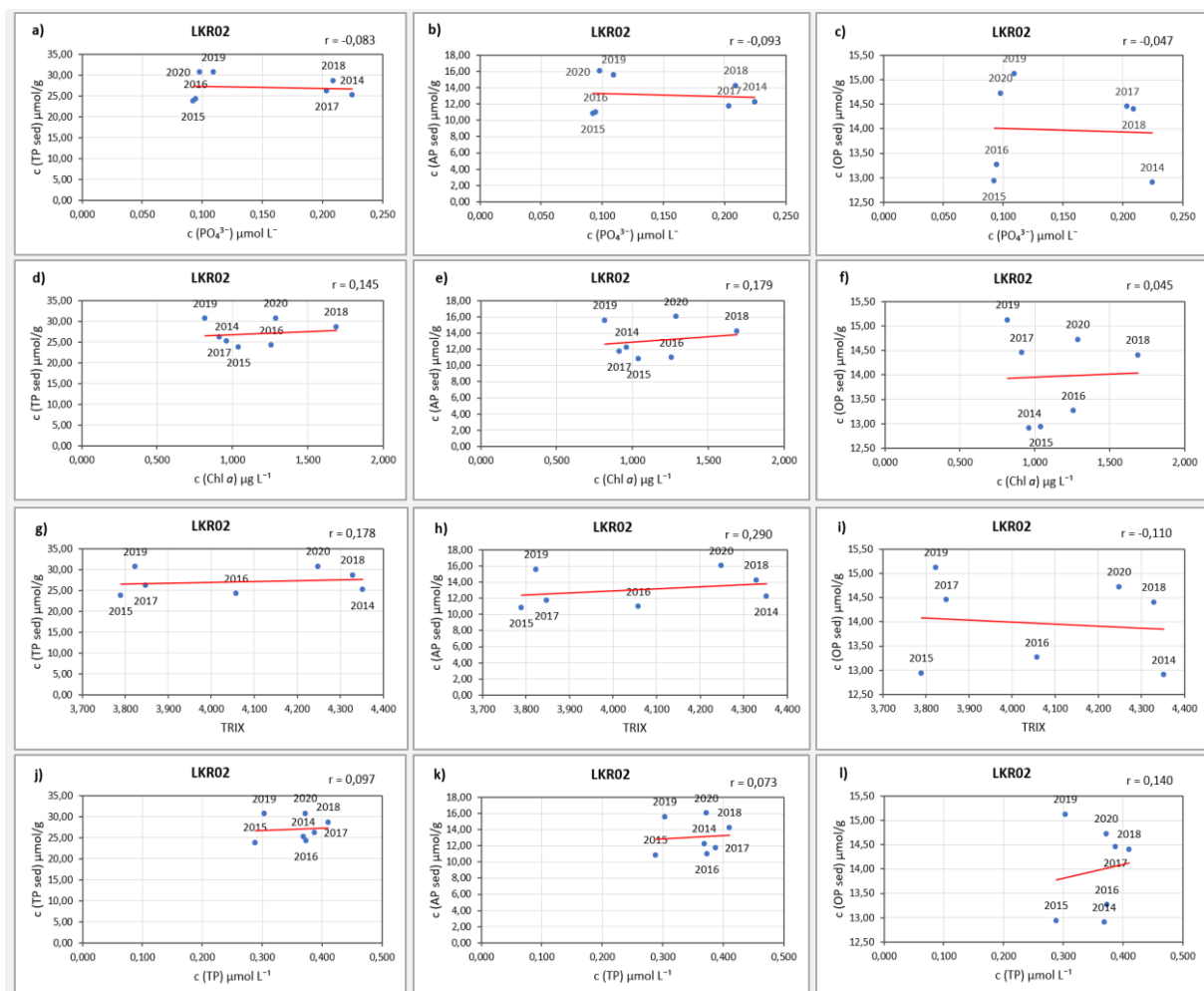
Slika P9. Korelacija ortofosfata (PO_4^{3-}), klorofila *a* (Chl *a*), trofičkog indeksa (TRIX) i ukupnog fosfora (TP) u vodenom stupcu s ukupnim (TP), anorganskim (AP) i organskim (OP) fosforom u sedimentu na postaji FPO45 u razdoblju 2014. - 2020.



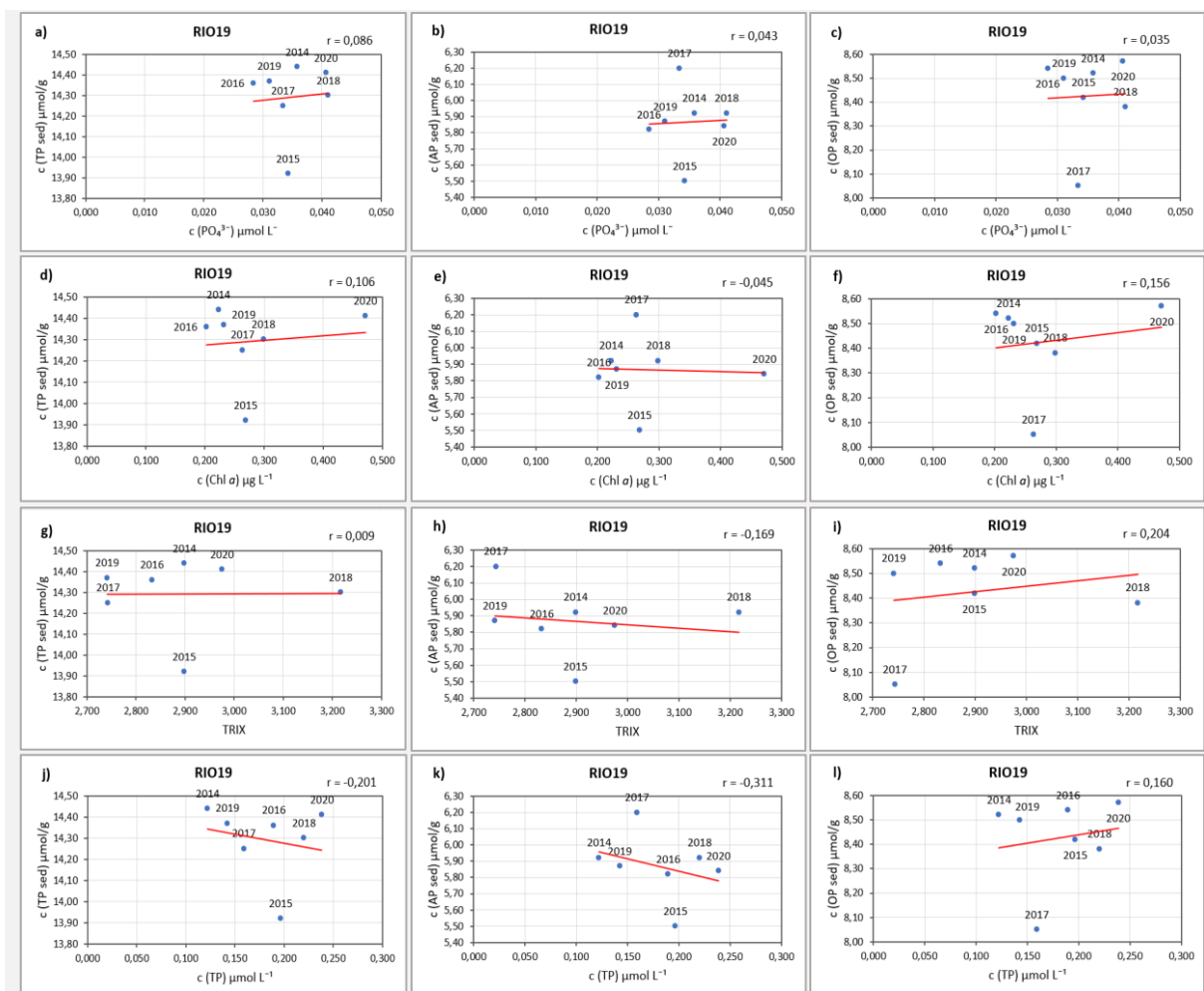
Slika P10. Korelacija ortofosfata (PO_4^{3-}), klorofila *a* (Chl *a*), trofičkog indeksa (TRIX) i ukupnog fosfora (TP) u vodenom stupcu s ukupnim (TP), anorganskim (AP) i organskim (OP) fosforom u sedimentu na postaji FPP18 u razdoblju 2014. - 2020.



Slika P11. Korelacija ortofosfata (PO_4^{3-}), klorofila *a* (*Chl a*), trofičkog indeksa (TRIX) i ukupnog fosfora (TP) u vodenom stupcu s ukupnim (TP), anorganskim (AP) i organskim (OP) fosforom u sedimentu na postaji FPP19 u razdoblju 2014. - 2020.



Slika P12. Korelacija ortofosfata (PO_4^{3-}), klorofila *a* (Chl *a*), trofičkog indeksa (TRIX) i ukupnog fosfora (TP) u vodenom stupcu s ukupnim (TP), anorganskim (AP) i organskim (OP) fosforom u sedimentu na postaji LKR02 u razdoblju 2014. - 2020.



Slika P13. Korelacija ortofosfata (PO_4^{3-}), klorofila *a* (Chl *a*), trofičkog indeksa (TRIX) i ukupnog fosfora (TP) u vodenom stupcu s ukupnim (TP), anorganskim (AP) i organskim (OP) fosforom u sedimentu na postaji RIO19 u razdoblju 2014. - 2020.

10. ŽIVOTOPIS

Rođena sam 22. svibnja 1994. godine u Puli. Osnovnu školu završila sam u Svetvinčentu, nakon čega sam 2009. godine upisala srednju Medicinsku školu u Rijeci smjera fizioterapeutske tehničar. Maturirala sam 2013. godine, a tijekom 2014. i 2015. sam u Općoj bolnici Pula odrađivala pripravnički staž. Po završetku pripravničkog staža položila sam stručni ispit pred povjerenstvom Ministarstva zdravlja Republike Hrvatske u Zagrebu te mi je 2016. godine, od strane Hrvatske komore fizioterapeuta izdana licenca tj. odobrenje za samostalan rad. Preddiplomski studij Znanost o moru na Sveučilištu Jurja Dobrile u Puli upisala sam 2015. godine, a završni rad pod naslovom „Eutrofni uvjeti u uzgajalištu Budava u 2017.“ i pod vodstvom izv. prof. dr. sc. Tamare Đakovac, obranila sam 2019. godine, čime sam stekla zvanje sveučilišne prvostupnice struke znanosti o moru (univ. bacc. mariscient.). Iste sam godine na Biološkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu upisala Diplomski sveučilišni studij ekologija i zaštita prirode, modul More.