

Promjene eutrofnih uvjeta u sjevernom Jadranu tijekom 2013. godine

Stankić, Matea

Undergraduate thesis / Završni rad

2015

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Pula / Sveučilište Jurja Dobrile u Puli**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:137:137246>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-27**



Repository / Repozitorij:

[Digital Repository Juraj Dobrila University of Pula](#)



SVEUČILIŠTE JURJA DOBRILE U PULI
SVEUČILIŠNI PREDDIPLOMSKI STUDIJ ZNANOST O MORU

MATEA STANKIĆ

**Promjene eutrofnih uvjeta u sjevernom Jadranu tijekom 2013.
godine**

ZAVRŠNI RAD

Rovinj, 2015.

SVEUČILIŠTE JURJA DOBRILE U PULI
SVEUČILIŠNI PREDDIPLOMSKI STUDIJ ZNANOST O MORU

MATEA STANKIĆ

**Promjene eutrofnih uvjeta u sjevernom Jadranu tijekom 2013.
godine**

ZAVRŠNI RAD

JMBAG: 49-ZM

Status: redovan student

Kolegij: Mehanizmi dugoročnih promjena u ekosustavu mora

Mentor: Izv. prof. dr. sc. Tamara Đakovac

Rovinj, 2015.

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, dolje potpisana Matea Stankić, kandidatkinja za prvostupnicu (*baccalaurea*) „Znanosti o moru“ ovime izjavljujem da je ovaj završni rad rezultat isključivo mogega vlastitog rada, da se temelji na mojim istraživanjima te da se oslanja na objavljenu literaturu kao što to pokazuju korištene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da niti jedan dio završnog rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz kojega necitiranog rada, te da i koji dio rada krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za koji drugi rad pri bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili radnoj ustanovi.

U Puli, 15.09.2015.

Student: Matea Stankić

Matea Stankić, rođena je 18.02.1992. u Puli. Osnovnu školu Tone Peruško i Medicinsku školu završila je u Puli, a 2011. godine upisala je preddiplomski studij Znanost o moru pri sveučilištu u Puli. Završni rad završetak je Sveučilišnog preddiplomskog studija „Znanost o moru“ pri Sveučilištu Jurja Dobrile u Puli pod naslovom „Promjene eutrofnih uvjeta u sjevernom Jadranu tijekom 2013. godine“ iz kolegija Mehanizmi dugoročnih promjena u ekosustavu mora. Praktični dio rada je napravljen na istraživačkom brodu „Vila Velebita“ i u Laboratoriju za procese u ekosustavu mora Centra za istraživanje mora Instituta „Ruđer Bošković“ u Rovinju, na osnovu obrade podataka sustavnog praćenja i dugogodišnjih oceanografskih mjerenja s krstarenja na profilu ušće rijeke Po-Rovinj u sjevernom Jadranu na kojem je i sama bila nekoliko puta. Voditelj Sveučilišnog preddiplomskog studija „Znanost o moru“ imenovao je mentora završnog rada.

Mentor: Izv. prof. dr. sc. Tamara Đakovac

Povjerenstvo za ocjenjivanje i obranu:

Predsjednik: Izv. prof. dr. sc. Nastjenska Supić

Institut Ruđer Bošković, Centar za istraživanje mora, Rovinj

Član: Doc. dr. sc. Ljiljana Iveša

Institut Ruđer Bošković, Centar za istraživanje mora, Rovinj

Član: Izv. prof. dr. sc. Tamara Đakovac

Institut Ruđer Bošković, Centar za istraživanje mora, Rovinj

Datum i mjesto obrane završnog rada: 15.09.2015.; Centar za istraživanje mora Instituta Ruđer Bošković u Rovinju.

Rad je rezultat samostalnog istraživačkog rada.

Matea Stankić

SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1. Hidrološka obilježja i dinamika mora sjevernog Jadrana.....	1
1.2. Protok rijeke Po	2
1.3. Ciklus hranjivih soli i procesi eutrofikacije u sjevernom Jadranu.....	3
1.4. Hipoksija (povremeno anoksija) kao posljedica eutrofikacije.....	5
1.5. Cvjetanje mora.....	6
2. METODE	8
2.1. Područje istraživanja i uzorkovanje.....	8
2.2. Mjerenje oceanografskih parametara.....	9
2.2.1. Mjerenje temperature	9
2.2.2. Određivanje saliniteta.....	9
2.2.3. Kisik	9
2.3. Određivanje hranjivih soli	9
2.3.1. Određivanje dušikovih hranjivih soli	10
2.3.2. Određivanje ortofosfata.....	10
2.4. Određivanje klorofila <i>a</i>	11
2.5. Obrada podataka	11
3. REZULTATI I DISKUSIJA	12
3.1. Protok rijeke Po	12
3.2. Usporedba podataka iz 2013. s prosječnim modelom za razdoblje za 1972.-2004... 13	
3.2.1. Temperatura	13
3.2.2. Salinitet.....	17
3.2.3. Udio zasićenja kisikom	21
3.2.4. Ortofosfat i anorganski dušik	26
3.2.5. Klorofil <i>a</i>	39

3.3. Procesi eutrofikacije i sniženje kisika tijekom 2013. godine	43
3.4. Cvjetanje mora tijekom 2013. godine.....	45
3.5. Značaj događaja u 2013. godini za dugoročna kolebanja procesa eutrofikacije u sjevernom Jadranu.....	46
4. ZAKLJUČCI.....	48
5. TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA	49
6. BASIC DOCUMENTATION CARD	50
7. LITERATURA.....	51

1. UVOD

Zbog znatnog antropogenog donosa hranjivih soli, prvenstveno rijekom Po, jednom od najvećih na području Sredozemlja, u sjevernom je Jadranu značajna eutrofikacija (npr. Giani i sur., 2012). Uslijed kombiniranog utjecaja tog procesa i prirodnih dugoročnih (klimatskih) kolebanja u pridnom sloju sjevernog Jadrana učestale su pojave hipoksije, dok se anoksija kao ekstremna posljedica eutrofikacije događa povremeno (Djakovac i sur., 2015). U zapadnom području, koje je pod direktnijim utjecajem donosa rijeke Po, hipoksija se javlja skoro svake godine, a često u većim područjima otvorenih voda. Osim te pojave, učestalo je i stvaranje sluzavih nakupina (cvjetanje mora). Masovno cvjetanje mora događa se u nizovima („grozdovima“) od više godina i to svakih 10-50 godina, dok su kratke i lokalizirane pojave češće (Deserti i sur., 2005).

1.1. Hidrološka obilježja i dinamika mora sjevernog Jadrana

Jadransko more je najsjeverniji dio Sredozemnog mora i povezano je s Jonskim morem preko Otrantskih vrata (dubine oko 800 m). Površina mu iznosi oko 139000 km², a volumen 35000 km³. Vrijeme izmjene vode Jadrana iznosi oko 3-10 godina (Zore-Armanda i Pucher-Petković, 1976; Mosetti, 1983).

U dio Jadrana, sjevernije od crte rt Premantura-Rimini koji predstavlja najplići dio kontinentalnog šelfa Jadranskog mora (dubine do 50 m; Degobbis i sur., 2000), ulijeva se oko 80% ukupnog dotoka slatkih voda u Jadranu. Obilježen je sezonskim i dugoročnim kolebanjima oceanografskih i bioloških uvjeta, uglavnom zbog atmosferskog utjecaja, slatkovodnih donosa, donosa voda visokog saliniteta iz istočnog Sredozemlja te složenog sustava morskih struja (Franco, 1982; Orlić i sur., 1992; Poulain i sur., 2001). Pretpostavlja se da kolebanja oceanografskih i bioloških uvjeta u velikoj mjeri pogoduju nastajanju pojava izrazite hipoksije i anoksije, odnosno, cvjetanja mora (Djakovac, 2006).

U kasno-jesenskom i zimskom razdoblju u otvorenim vodama sjevernog Jadrana vodeni je stupac dobro izmiješan zbog intenzivne izmjene topline i vlage između atmosfere i površine mora uz male prostorne razlike vrijednosti temperature i saliniteta između zapadnih i istočnih

dijelova (Franco i Michelato, 1992). U tom periodu prevladava ciklonalna cirkulacija karakterizirana ulaznom komponentom istočne jadranske struje (EAC - Eastern Adriatic Current), a izlaznom zapadnom jadranskom strujom (WAC - Western Adriatic Current) pri čemu je izmjena vode između sjevernog i srednjeg Jadrana vrlo intenzivna, a utjecaj dotoka zaslađene vode rijekom Po ograničen na uski pojas duž zapadne obale (Orlić i sur., 1992; Poulain i sur., 2001). Na većem dijelu sjevernog Jadrana može se tada naći voda izrazito visokog saliniteta ($>38,6$) podrijetlom iz jugoistočnog Sredozemlja koja u uvjetima bure znatno gubi toplinu i postaje «sjevernojadranska gusta voda» (Artegiani i sur., 1989 i 1997; Manca i sur., 2002; Vilibić i Orlić., 2001, 2002; Vilibić, 2003). Voda tih karakteristika se može zadržavati u pridnenom sloju sjevernog Jadrana i tijekom većeg dijela proljeća (Artegiani i sur., 1997; Gačić i sur., 2001).

U proljeće započinje raslojavanje vodenog stupca koje se nastavlja u ljetnom razdoblju do maksimuma u kolovozu. U uvjetima raslojenosti zaslađene vode iz rijeke Po šire se prema istoku, a u sjevernom Jadranu prevladava poluzatvoren sustav cirkulacije zbog razvoja ciklonalnih i anticiklonalnih vrtloga (Poulain i sur., 2001). Zaslađene vode dolaze i u istočni dio sjevernojadranskog bazena, uključujući i obalni pojas zapadne Istre. Raslojenost se zbog slatke vode u površinskom sloju dodatno pojača, a izmjena vode između sjevernog i srednjeg se Jadrana smanjuje (Poulain i sur., 2001; Giani i sur., 2012). Osim vertikalnih izražene su i horizontalne promjene svih oceanografskih obilježja, uključujući i koncentracije hranjivih soli, te biomase planktona (npr. Degobbis i sur., 2000). Takvi su uvjeti ključni za prekomjerno povećanje primarne proizvodnje zbog povećanog vanjskog donosa hranjivih soli u sjeverni Jadran (Degobbis i sur., 2000) te za nepoželjnu masovnu agregaciju organske tvari (cvjetanje mora) i znatno smanjenje sadržaja kisika u pridnenom sloju. (Đakovac, 2006).

1.2. Protok rijeke Po

Najznačajniji udio (više od 50%) od ukupnog slatkovodnog donosa u sjeverni Jadran ima rijeka Po (Cavazzoni-Galaverni, 1972). Sliv rijeke Po se nalazi na gusto naseljenom području, poljoprivredno jako produktivnom, što utječe na opterećenje sjevernog Jadrana hranjivim solima i drugim tvarima (Degobbis i Gilmartin, 1990; Degobbis i sur., 2000). Akumulacija hranjivih soli slatkovodnog podrijetla u moru najznačajnija je duž zapadne (najviše rijeka Po i Adige) i sjeverne obale sjevernog Jadrana, a pogoduje joj i raslojavanje vodenog stupca koje

se javlja već od kasnog proljeća pa do jeseni zbog zatvorenog sustava cirkulacije (npr. Degobbis i sur., 2000; Cozzi i Giani, 2011).

Dugoročne promjene koncentracija hranjivih soli u vodi rijeke Po vrlo su značajne. Tijekom sedamdesetih godina i u prvoj polovici osamdesetih prošlog stoljeća zabilježen je porast koncentracije nitrata (Marchetti i sur., 1985; Tartari i sur., 1991). Usporedo s koncentracijom nitrata povisila se i koncentracija ortofosfata, koja je međutim, postupno značajno snižena tijekom druge polovice osamdesetih godina (Tartari i sur., 1991), nakon primjene zakona o sniženju sadržaja polifosfata u deterdžentima u Italiji, s 8 % prije 1984. na 2,5 % 1986., te na 1 % 1988. Osim toga, ustanovljeno je da je usporedo sa sniženjem koncentracije ortofosfata u vodi rijeke Po u drugoj polovici osamdesetih došlo i do značajnog sniženja razine koncentracije klorofila *a* i u sjevernojadranskom ekosustavu u odnosu na sedamdesete i na prvu polovicu osamdesetih godina (Degobbis i sur., 2000).

Protok rijeke Po može značajno varirati tijekom godine ovisno o izmjeni kišnih i sušnih sezona, tj. o dinamici padalina na njezinom slivnom području (npr. Precali, 1995). Najviši zabilježeni protoci rijeke Po su u proljeće između svibnja i lipnja (prosječno oko $2100 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) zbog povećanja padalina i otapanja alpskog snijega, ali i u jesen između listopada i studenog (prosječno oko $1900 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) uglavnom zbog učestalijih kišnih dana. Minimalni protok je utvrđen u srpnju i kolovozu zbog visokih temperatura i sušnih razdoblja pri čemu je pojačano isparavanje rijeke i reduciran broj kišnih dana (prosječno oko $900 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$). Protok ove rijeke, osim sezonski, značajno ovisi o dugoročnim klimatskim kolebanjima.

Širenje zaslađene vode u proljeće i ljeti, kada se razvija zatvorena cirkulacija, obuhvaća i istočni dio sjevernojadranskog bazena, pa sve do zapadne obale Istre, dok u donjim slojevima prevladava ulaz voda visokog saliniteta s južnih područja Jadrana (Degobbis i sur., 2000).

U posljednjih 30-tak godina primijećene su promjene u hidrološkom režimu rijeke Po, obilježene smanjenim protokom, posebno drastično tijekom 2000-tih (Djakovac i sur., 2012).

1.3. Ciklus hranjivih soli i procesi eutrofikacije u sjevernom Jadranu

Hranjive soli su otopljeni anorganski spojevi fosfora (ortofosfati), dušika (amonijeve soli, nitriti, nitrati) i silicija (ortosilicijeva kiselina) koje predstavljaju važan izvor ovih elemenata

za procese primarne proizvodnje organske tvari, te su ujedno i regulatori brzine ovih procesa, odnosno ograničavaju rast algi i biljaka.

Završetkom zime, a posebno u rano proljeće, protok rijeke Po se značajno povećava. Raslojenost vodenog stupca postaje izraženija, posebno u zapadnom dijelu sjevernog Jadrana, zbog zagrijavanja površine mora i slatkovodnog donosa. U zapadnom području, koje je pod izravnim utjecajem slatkovodnog donosa, koncentracija hranjivih soli u površinskom sloju je povećana te se opaža izražen cvat fitoplanktona. U proljeće, širenjem voda rijeke Po prema istoku cvat se proširi i na istočnija područja. Istovremeno se na cijelom području postepeno smanjuje koncentracija hranjivih soli. Tijekom ljeta i početkom jeseni, koncentracija hranjivih soli je minimalna, zbog minimalnog slatkovodnog donosa i zbog povećane brzine njihovog kruženja. Tada se zasićenost kisika u pridnenom sloju, koji je izoliran od gornjeg vodenog stupca izraženom piknoklinom, postupno smanjuje, uglavnom zbog heterotrofne razgradnje organske tvari, a koncentracija regeneriranih hranjivih soli se povećava.

U jesen se protok rijeke Po povećava, ali se istovremeno i uspostavlja ciklonalna cirkulacija u sjevernom Jadranu. Povećanje vertikalnog miješanja povezano je s hlađenjem površine mora, gdje se, reoksigenacijom iz pridnenog sloja, regenerirane hranjive tvari skupljene tijekom ljeta i početkom jeseni uzdižu na površinu, te je omogućen jesenski fitoplanktonski cvat.

Tijekom kasne jeseni i početkom zime protok rijeke Po je minimalan, te prevladava zimska ciklonalna cirkulacija, uz transport slatkovodne vode samo na usko obalno područje duž talijanske obale. U ovom periodu u većem dijelu sjevernog Jadrana koncentracija hranjivih soli je minimalna, kao i fitoplanktonska aktivnost, a kisikom je zasićen cijeli vodeni stupac uslijed prevladavajućeg utjecaja oligotrofnih voda podrijetlom iz srednjeg Jadrana.

Kontinuirani vanjski donos hranjivih soli, odnosno organske tvari u neko područje mora, koji dovodi do porasta primarne proizvodnje iznad uobičajene razine, i to u širem području, naziva se eutrofikacija. Eutrofikacija može biti posljedica antropogenog unosa hranjivih soli, ali i prirodnih pojava kao što je uzdizanje mora ("upwelling"). Osim pozitivnog djelovanja eutrofikacije, kao što je povećanje proizvodnosti nekog područja, prekomjerna proizvodnja organske tvari može dovesti do poremećaja ekološke ravnoteže. Na taj način može doći do cvata otrovnih vrsta fitoplanktona i hipoksije, odnosno anoksije pri dnu uz masovni pomor bentonskih organizama.

Godišnji vanjski donos hranjivih soli u sjeverni Jadran istog je reda veličine kao i količina koja se regenerira u ekosustavu, što čini to područje vrlo osjetljivim glede eutrofikacije (Degobbis i Gilmartin, 1990).

Za procjenu stupnja eutrofikacije sjevernog Jadrana primijenjen je indeks TRIX koji kombinira koncentracije klorofila a, ukupnog fosfora i ukupnog anorganskog dušika te udjela zasićenja kisikom. Korištene su vrijednosti za površinski sloj, iznad piknokline, koje se mogu direktno korelirati s vanjskim donosom. U dubljim slojevima prevladavaju procesi remineralizacije i izmjene hranjivih soli sa sedimentom. Na temelju tog indeksa ustanovljeno je da u istočnom dijelu sjevernog Jadrana prevladavaju oligotrofni i mezotrofni uvjeti, dok u zapadnom dijelu prevladavaju mezotrofni i eutrofni. Područje oko ušća rijeke Po je ekstremno eutrofno.

1.4. Hipoksija (povremeno anoksija) kao posljedica eutrofikacije

Na vrijednosti zasićenja kisikom utjecaj imaju razni biološki procesi kao što su fotosinteza, heterotrofna razgradnja organske tvari, izmjena kisika između mora i atmosfere, kretanje vodenih masa, te raslojavanje vodenog stupca (Raymont, 1980). Morska se voda može obogatiti kisikom jedino procesima apsorpcije iz atmosfere i procesima fitoplanktonske fotosinteze. Međutim, ti procesi su ograničeni na površinski, odnosno eufotski sloj. Ipak, u normalnim oceanografskim uvjetima, miješanjem u vodenom stupcu otopljeni kisik se prenosi do dubljih slojeva. Dva osnovna čimbenika dovode do posljedice hipoksije, ponekad anoksije. Razgradnja prekomjerno proizvedene organske tvari (iznad granice kapaciteta razgradnje ekosustava) i raslojavanje vodenog stupca. Pojave su karakteristične za mnoga morska područja, naročito ona poluzatvorena, kao što su fjordovi, duboki bazeni, «upwelling zone» sa smanjenim koncentracijama kisika i sva ostala kod kojih je smanjena dinamika izmjene vode s otvorenim morem. Hipoksični se uvjeti definiraju kada koncentracija otopljenog kisika padne ispod 2 mg L^{-1} (~ 30% zasićenja). Anoksija je potpuni nedostatak kisika (Đakovac, 2006).

Kombinacijom remineralizacije i prekomjerne primarno proizvedene organske tvari, uglavnom uslijed znatno povećanog slatkovodnog donosa hranjivih soli rijekom Po, dugotrajnog raslojavanja vodenog stupca i minimalne horizontalne advekcije, dolazi do






progresivne potrošnje kisika u pridnenim slojevima ovog područja u razdoblju od kolovoza do studenog sve do nastajanja hipoksije ili anoksije (Degobbi i sur., 2000). Hipoksija je vrlo česta sezonska pojava zabilježena u pridnenim slojevima sjeverozapadnog Jadrana, a povremeno se rasprostire i na veći dio otvorenih voda (Djakovac i sur., 2015). Anoksija velikih prostornih razmjera je puno rjeđa te je u razdoblju od 1972. g. do danas zabilježena jedino 1977. i 1989. godine.

1.5. Cvjetanje mora

U sjevernom Jadranu dugoročno su učestale pojave sluzavih nakupina (cvjetanje mora), češće nego u drugim morima (Degobbi i sur., 1999).

Nakon prve pojave masovnog nastanka sluzavih nakupina između 1988. i 1991.g. znanstvene zajednice zainteresirale su se za istraživanje otopljene i partikularne organske tvari, uz mikroorganizme kako bi se shvatili mehanizmi nastanka tih nakupina.

Sluzave nakupine ili „mucillagine“ poznate su iz prošlih vremena pod nazivima: „mare sporco“ i cvjetanje mora u Jadranu (Degobbi i sur., 1999). Sluzave nakupine u moru su amorfne tvorevine anorganskog i pretežno organskog materijala, koje mogu sadržavati i žive planktonske stanice, zooplankton, anorganski detritus, fekalne pelete i ostale tvari koje se nalaze u vodenom stupcu. One su klasificirane prema njihovoj veličini i oblicima, te prostornom rasporedu u vodenom stupcu (Slika 1.5.1.; Precali i sur., 2005).

Tipologija	Boja	Dimenzije	
Pahuljice (sitne nakupine)	Bjeličasta	Promjer: 0.5 - 1 cm	
Makropahuljice (sferične ili nepravilne nakupine)	Bjeličasta	Promjer: 1 – 5 cm	
Niti (izdužene nakupine)	Bjeličasta	Dužina: 2 – 25 cm Debljina: nekoliko mm	
Trake (izdužene nakupine)	Bjeličasta do žućkasta	Dužina: 10 - > 100 cm Debljina: nekoliko cm	
Paučina (nakupine mrežaste strukture)	Bjeličasta	Nekoliko m	

«Lažno dno» (gusti sloj makropahuljica na piknoklini)	Bjeličasta		
Oblak (velika izdužena kompaktna nakupina)	Žućkasta	0.5 – 4 m	
Sedimentirane nakupine (različite vrste nakupina koje prekrivaju dno)	Žućkasta do smeđa		
Površinski «kremasti» sloj (sloj pahuljica i niti)	Bjeličasta do žućkasta	Debljina sloja: do 15 cm	
Površinski želatinozni sloj (kompaktni sloj koji pluta na površini)	Žućkasta do smeđa	>10 km	

Slika 1.5.1. Tipologija, boja, dimenzije i izgled sluzavih nakupina u sjevernom Jadranu (Precali i sur., 2005).

Dosadašnje znanje o mehanizmu nastajanja sluzavih nakupina može se sintetski rezimirati kako slijedi (Degobbis i Djakovac, predavanja iz kolegija „Štetne pojave u moru“; nastavna godina 2014-2015). Da se stvori megaagregat potrebno je da dođe do dovoljne akumulacije

osnovnog materijala, prvenstveno polisaharidnih izlučevina sa svojstvima gela u haloklinskim ili piknoklinskim slojevima. Za to su potrebna dva uvjeta:

A) da se proizvodi dovoljno tog materijala

B) da se prilikom te proizvodnje sinhronizira niz drugih fizikalnih situacija (meteoroloških, hidroloških, oceanografskih);

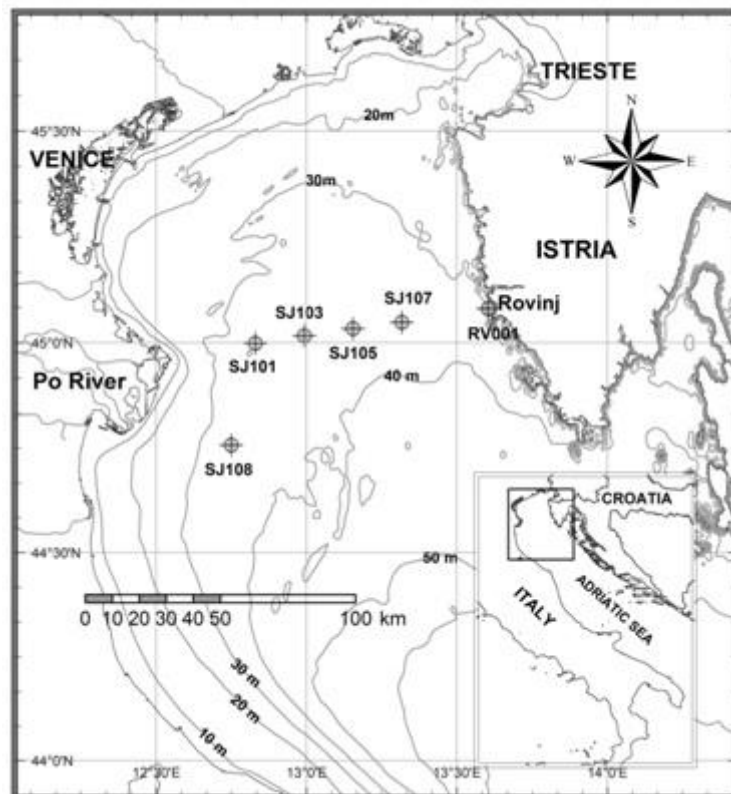
1. povećani protok rijeke Po u proljeće, obilježen izraženim pikovima maksimuma;
2. prijevremeno (već od ožujka) uspostavljanje transverzalnog transporta voda nižeg saliniteta uz stvaranje ciklonalnih i anticiklonalnih vrtloga. To dovodi do smanjene brzine izmjene vode sa srednjim Jadranom i do jačeg nakupljanja planktona i izlučenih tvari u sjevernom Jadranu;
3. izrazito raslojavanje u gornjem dijelu vodenog stupca s više haloklina u kojima se gel nagomilava i agregira do lažnog dna;
4. naglo povišenje temperature u kritičnom periodu makroakregacije (lipanj ili srpanj);
5. duža razdoblja visokog atmosferskog tlaka i mirnog mora, koji pogoduje raslojavanju vodenog stupca te isplivavanju i zadržavanju sluzavog materijala na površini.

2. METODE

2.1. Područje istraživanja i uzorkovanje

Parametri koji se koriste u ovom radu kontinuirano se mjere od 1972. godine sezonski do dvomjesečno na profilu Rovinj–delta rijeke Po. Profil uključuje 7 postaja na kojima se izvode mjerenja većine oceanografskih parametara. Mjesečna krstarenja su provedena istraživačkim brodom „Vila Velebita“ Centra za istraživanje mora. U radu su obrađivani osnovni oceanografski parametri: temperatura, salinitet, kisik te koncentracije ortofosfata, ukupnog anorganskog dušika i klorofila *a*. Uzorci su sakupljeni 5 L Niskinovim crpcima na 0 m, 5 m, 10 m, 20 m, 30 m i 35 m dubine navedenih postaja profila tijekom 2013. g. (Slika 2.1.).

U ovom radu pod nazivom sjeverni Jadran podrazumijeva se područje sjevernije od crte rt Premantura-Rimini, koje istraživani profil dobro reprezentira.



Slika 2.1. Oceanografske postaje u sjevernom Jadranu

2.2. Mjerenje oceanografskih parametara

2.2.1. Mjerenje temperature

Temperatura mora se mjeri pomoću digitalnih obrtnih termometra SIS RTM 4002, pričvršćenih na Niskinove crpce. Preciznost određivanja temperature je $\pm 0,003$ °C.

2.2.2. Određivanje saliniteta

Salinitet se određuje pomoću salinometra, uređaja koji mjeri vrijednost omjera konduktiviteta (R) uzorka morske vode u usporedbi s standardom Kopenhaškom morskom vodom saliniteta 35,000 čijim se uvrštavanjem u empirijske relacije računa salinitet (UNESCO, 1983). Takav mjereni salinitet ("practical salinity") nema mjernu jedinicu (jer se dobiva iz omjera konduktiviteta). Preciznost određivanja je $\pm 0,01$.

2.2.3. Kisik

Koncentracija otopljenog kisika određivana je po titraciji po Winkleru (Strickland i Parsons, 1972). U baždarene alikvote volumena (110 – 140 mL) dodaje se 1 mL otopine manganovog sulfata ($\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) i 1 mL lužnate otopine kalijevog jodida Nakon dodavanja spomenutih otopina u boci nastane talog manganova oksida koji se nakon mućkanja bočice i dekantiranja viška bistrog supernatanta otopi s 1 mL razrijeđene sumporne kiseline (H_2SO_4). Pri tome Mn^{4+} ion koji je proporcionalan sadržaju kisika oksidira jodidni ion (I^-) u elementarni jod (I_2). Elementarni jod se zatim titrira s otopinom natrijevog tiosulfata ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) uz škrob kao indikator. Udio zasićenja kisikom izračunava se kao omjer izmjerenog volumnog udjela kisika i volumnog udjela zasićenja kod određene temperature i saliniteta (UNESCO, 1986).

2.3. Određivanje hranjivih soli

Za određivanje koncentracija hranjivih soli u morskoj vodi primjenjuju se standardne oceanografske metode prema Parsons i sur. (1985) osim za amonijeve soli (amonij), za koje se koristi modificirana Solorzanova metoda (Ivančić i Degobbis, 1984). Određivanje hranjivih

soli zasniva se na kvantitativnim reakcijama kojima nastaju obojeni spojevi. Intenzitet boje mjeri se spektrofotometrijski očitavanjem apsorbancije na valnoj duljini na kojoj je maksimum apsorpcijskog spektra određenih obojenih spojeva. Dobivene vrijednosti apsorbancije (A) su linearno proporcionalne koncentraciji hranjive soli koja se određuje. Faktori preračunavanja vrijednosti apsorbancije u koncentraciju ($f = c/A$) određivani su standardnim otopinama za svaku pojedinu hranjivu sol. Tijekom analize nužno je redovito određivati slijepu probe. Za očitavanje apsorbancije korišten je spektrofotometar Shimadzu UV mini 1240 s kivetama dužine 10 cm, a kod uzoraka s višim koncentracijama korištene su kivete od 1 i 5 cm (Đakovac, 2003).

2.3.1. Određivanje dušikovih hranjivih soli

Metoda određivanja nitrita (NO_2) zasniva se na reakcijama diazotacije i kopulacije u kiselom mediju uz stvaranje crvene azo-boje. Ekstinkcija nastale boje mjeri se pri valnoj duljini od 543 nm.

Nitrati (NO_3) se određuju prolaskom uzorka morske vode kroz redukcijsku kolonu, u kojoj se nalaze strugotine kadmija prevučene bakrom. Na taj se način nitrat reducira u nitrit. Tijekom ovog procesa može doći do sedimentacije nastalih kadmijevih iona. Da bi se to izbjeglo, prije puštanja uzorka u kolonu, dodaje mu se 1 ml otopine amonijevog klorida (NH_4Cl). Do koncentracije nitrata dolazi se izračunavanjem razlike u ekstinkciji za nitrit, prije i nakon redukcije.

Amonij se određuje prema modificiranoj Solorzanovoj metodi (Ivančić i Degobbis, 1984), koja Bertholetovom reakcijom između fenola, amonijevih soli izocijanurata, u lužnatom mediju, s natrijevim nitroprusidom kao katalizatorom, dovodi do nastanka plavo obojenog indofenola. Ekstinkcija plave boje mjeri se nakon 3 sata na valnoj duljini od 640 nm.

Ukupni anorganski dušik (TIN) se određuje zbrajanjem koncentracija nitrita, nitrata i amonija.

2.3.2. Određivanje ortofosfata

Metoda određivanja ortofosfata zasniva se na stvaranju žutog fosfomolibdatnog kompleksa s amonijevim heptamolibdatom koji se u kiselom mediju uz prisutnost antimonil-tartarata reducira u plavi spoj.

Ekstinkcija plave boje mjeri se pri valnoj duljini od 890 nm.

2.4. Određivanje klorofila *a*

Klorofil *a* određuje se fluorimetrijski (Parsons i sur.,1985; Smodlaka, 1985) tako da se kroz Whatman GF/C filter promjera pora oko 1 μm profiltrira oko 0,5 L morske vode uz dodatak oko 2 mL suspenzije magnezijevog karbonata (MgCO_3). Filter se homogenizira u 5 mL acetona, a acetonski se ekstrakt od filtra odvaja centrifugiranjem oko 5 minuta na 2000 G. Na fluorimetru se mjeri fluorescencija supernatanta.

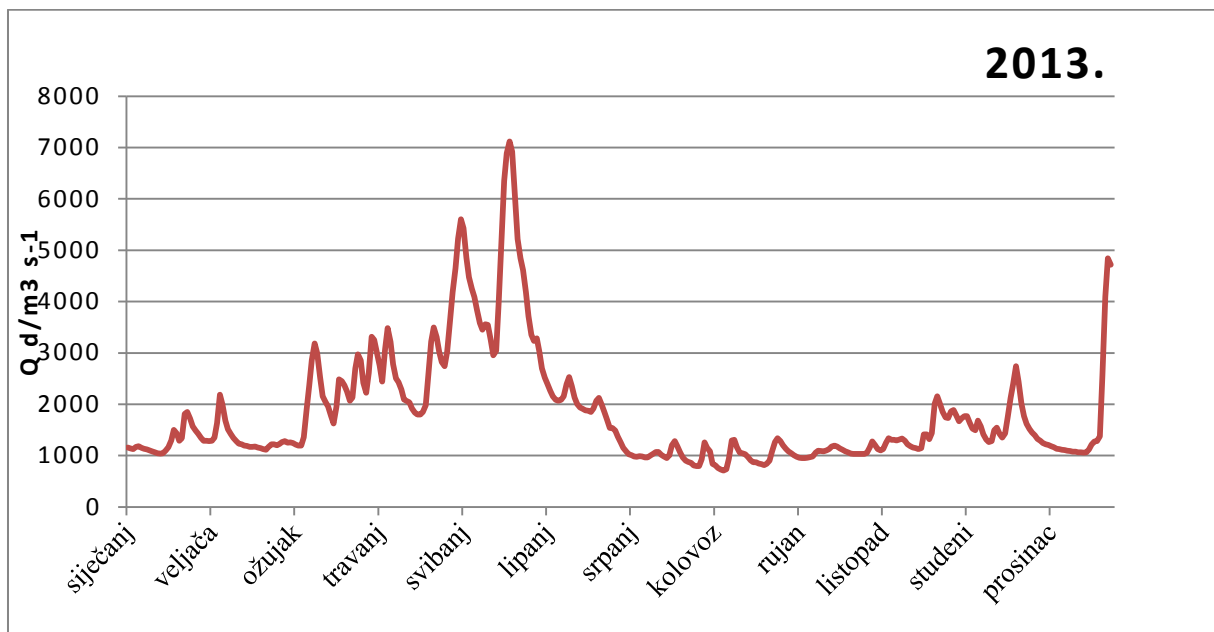
2.5. Obrada podataka

Niz podataka koji se koristi i obrađuje u ovom radu opisuje sezonsku raspodjelu tijekom 2013. g. koja se istovremeno uspoređuje i s podacima prosječnog višegodišnjeg statističkog modela za razdoblje 1972.-2004. da bi se ustanovilo da li je tijekom istraživane godine došlo do značajnijeg odstupanja u odnosu na ostale godine. Za zimu se kao predstavnik sezone uzeo mjesec siječanj, za proljeće - travanj, za ljeto - kolovoz, te za jesen - listopad. Model je određen za svaki pojedini dan u godini korištenjem Fourierove analize od koje su se oduzimale prosječne dnevne vrijednosti za određene godine (Đakovac, 2006). Na isti način pristupilo se i obradi podataka za protok rijeke Po čije su se dnevne vrijednosti usporedile sa višegodišnjim statističkim modelom za razdoblje 1917.-2002. Podaci su statistički i grafički obrađeni na PC koristeći program Microsoft Excel 2007 i Golden Software Surfer 9.

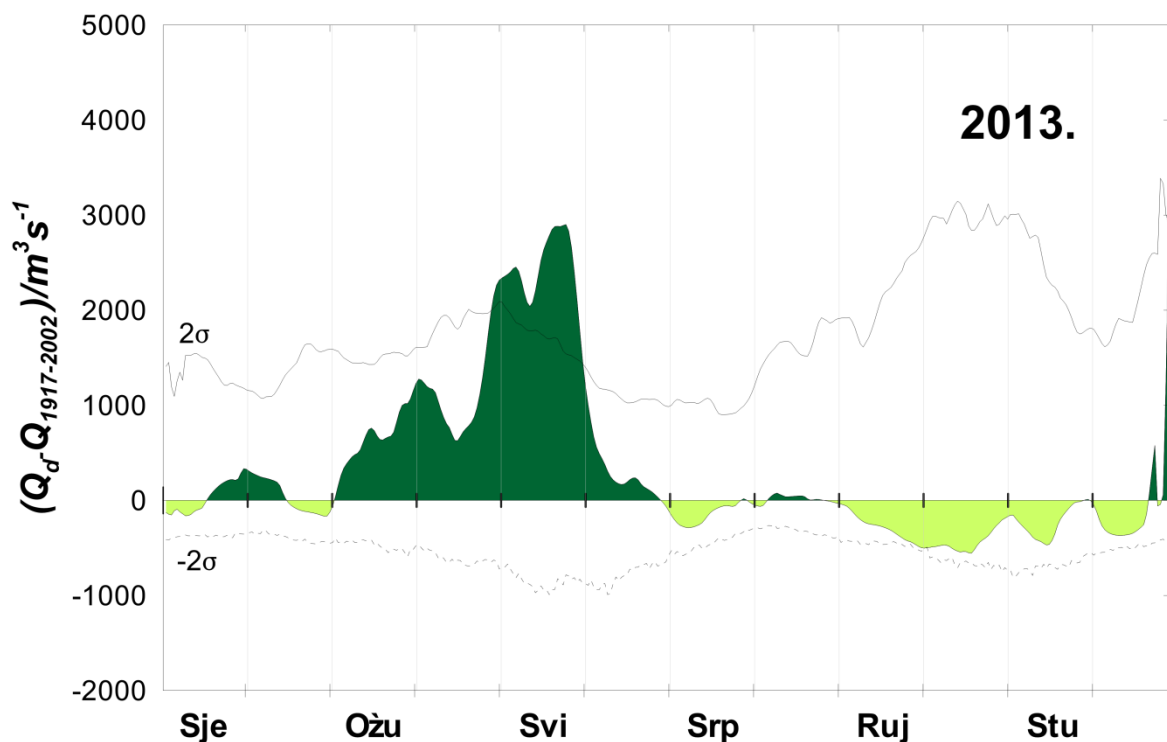
3. REZULTATI I DISKUSIJA

3.1. Protok rijeke Po

Tijekom proljetnih mjeseci 2013. g. protok rijeke Po bio je izrazito povišen, što se pripisuje povećanju padalina i otapanju alpskog snijega (Slika 3.1). U svibnju su vrijednosti bile znatno iznad dugoročnog prosjeka, odnosno i iznad dvije standardne devijacije ($>2\sigma$; Slika 3.2.) s pojedinačnim maksimumom $>7000 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, što spada među nekoliko najviših protoka od 1917. godine. Tijekom ljetnih i jesenskih mjeseci (od srpnja pa gotovo do kraja prosinca) protok je bio vrlo nizak, ispod prosjeka, ukazujući na izostali jesenski maksimum. Uzrok tome su vjerojatno visoke temperature i duga sušna razdoblja pri čemu je pojačano isparavanje rijeke i reducirani broj kišnih dana. Jedino se krajem prosinca ponovno pojavljuje značano povišenje ($\sim 5000 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$) zbog učestalijih kišnih dana.



Slika 3.1. Dnevni prosjeci protoka rijeke Po (Q_d) tijekom 2013. godine.

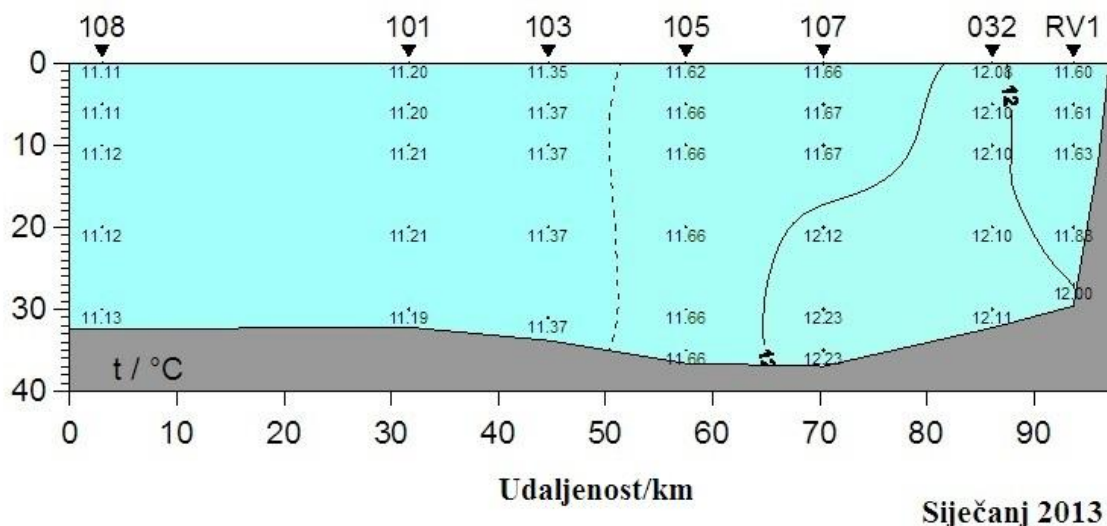


Slika 3.2. Razlike između dnevnog protoka rijeke Po u 2013. g. i srednjeg dnevnog protoka za razdoblje od 1917. – 2002. ($Q_d - Q_{1917-2002}$); crtkana i puna linija označavaju dvije standardne devijacije od dnevnih prosjeka za isto razdoblje (CIM baza podataka).

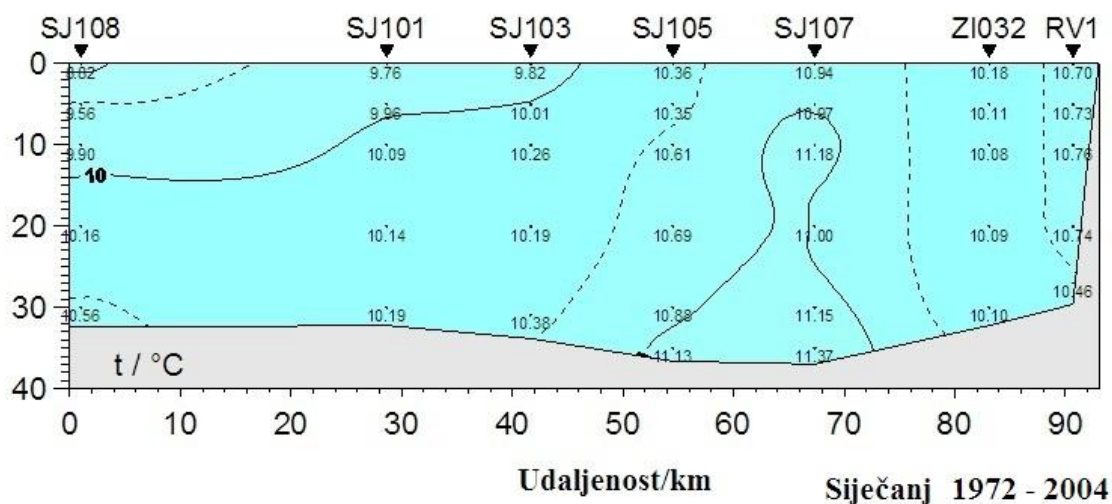
3.2. Usporedba podataka iz 2013. s prosječnim modelom za razdoblje za 1972.-2004.

3.2.1. Temperatura

U siječnju je vodeni stupac duž većeg dijela profila Rovinj-delta rijeke Po bio izmiješan, te je temperatura ($\sim 11,0$ °C) bila homogeno raspodijeljena u čitavom vodenom stupcu (Slika 3.2.1.). Vrijednosti su odstupale za $+1$ °C od višegodišnjeg prosjeka (Slika 3.2.2.). Razlog odstupanja mogao bi se pripisati zadržavanju topline u vodenom stupcu zbog minimalnog miješanja, te mirnog mora, što pogoduje akumuliranju topline.

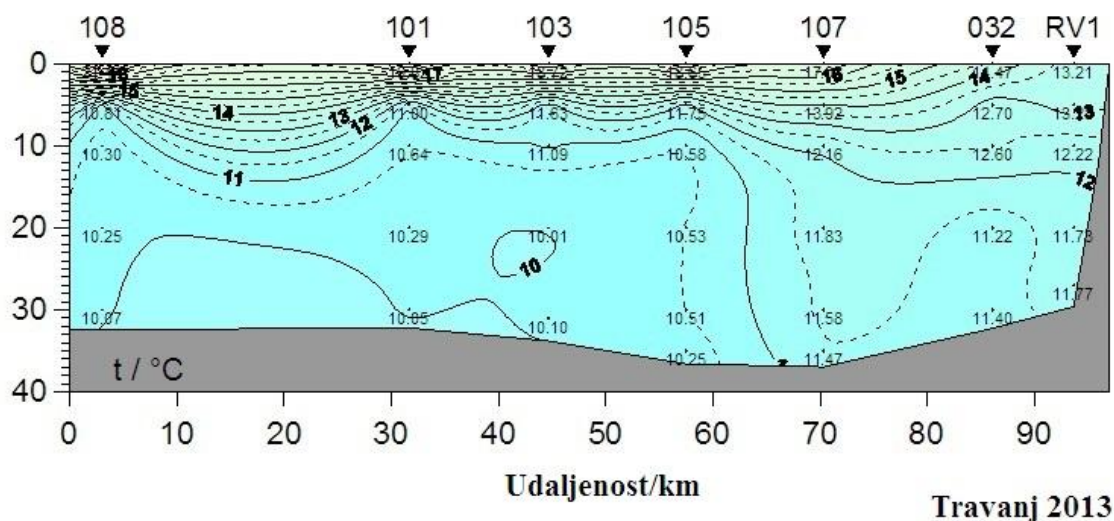


Slika 3.2.1. Temperatura mora u siječnju 2013. g.

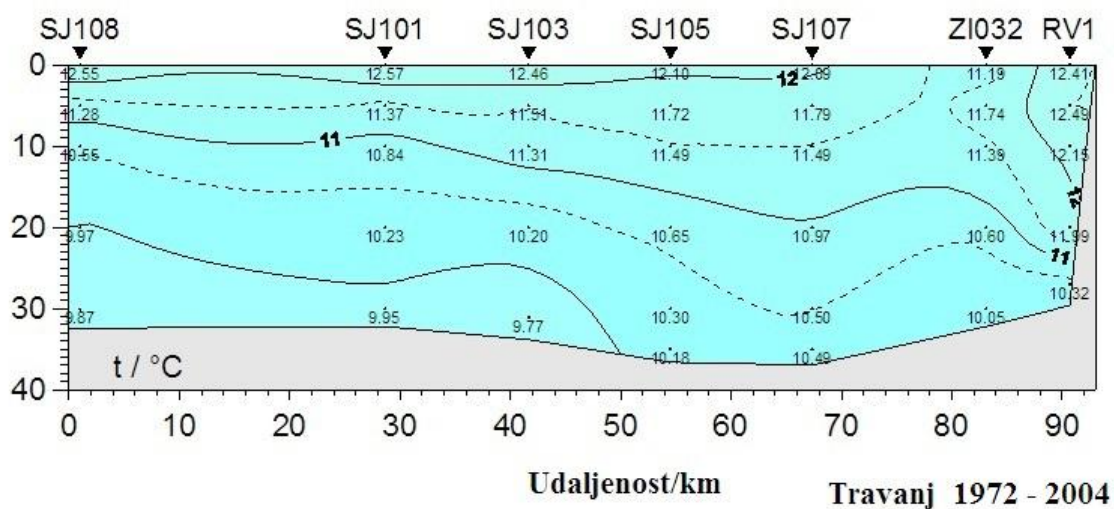


Slika 3.2.2. Višegodišnji (1972. – 2004.) prosjek temperature mora za siječanj.

U travnju je na postaji RV001 opažen početak raslojavanja vodenog stupca gdje je temperatura viša za $\sim 1^\circ\text{C}$ od višegodišnjeg prosjeka u površinskom, ali i u pridnenim slojevima (Slika 3.2.4.). Postaja SJ107 odstupa od višegodišnjeg prosjeka za 5°C , a postaja SJ108 za $\sim 9^\circ\text{C}$ (Slike 3.2.3. i 3.2.4.) što se može pripisati izraženom slatkovodnom donosu rijeke Po, većoj akumulaciji topline, te prevladavajućem poluzatvorenom sustavu cirkulacije uz smanjenu izmjenu vode između sjevernog i srednjeg Jadrana. Površinski sloj je jako raslojen i značajno odstupa od prosjeka, dok su na dnu odstupanja minimalna ($\sim 1^\circ\text{C}$).

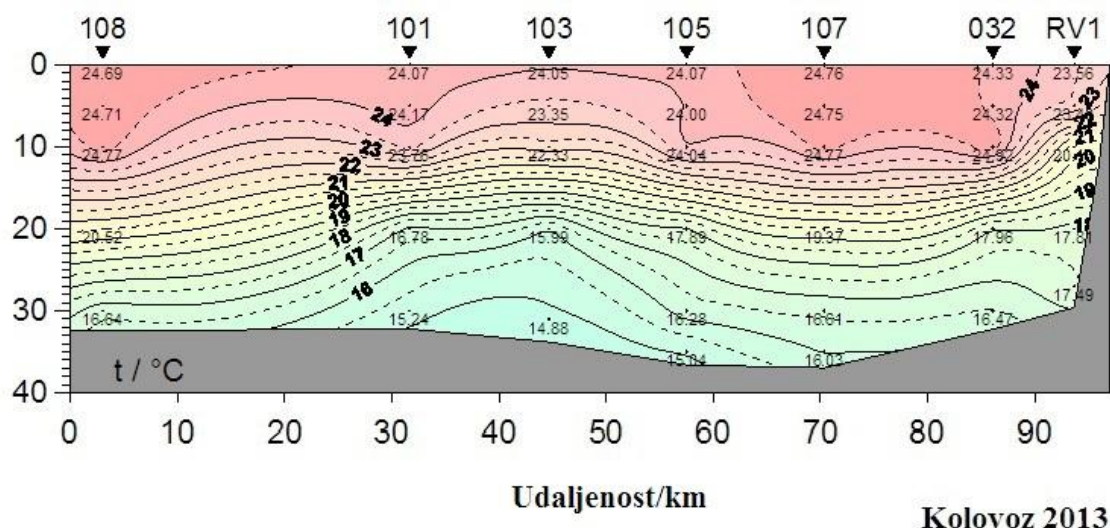


Slika 3.2.3. Temperatura mora u travnju 2013. g.

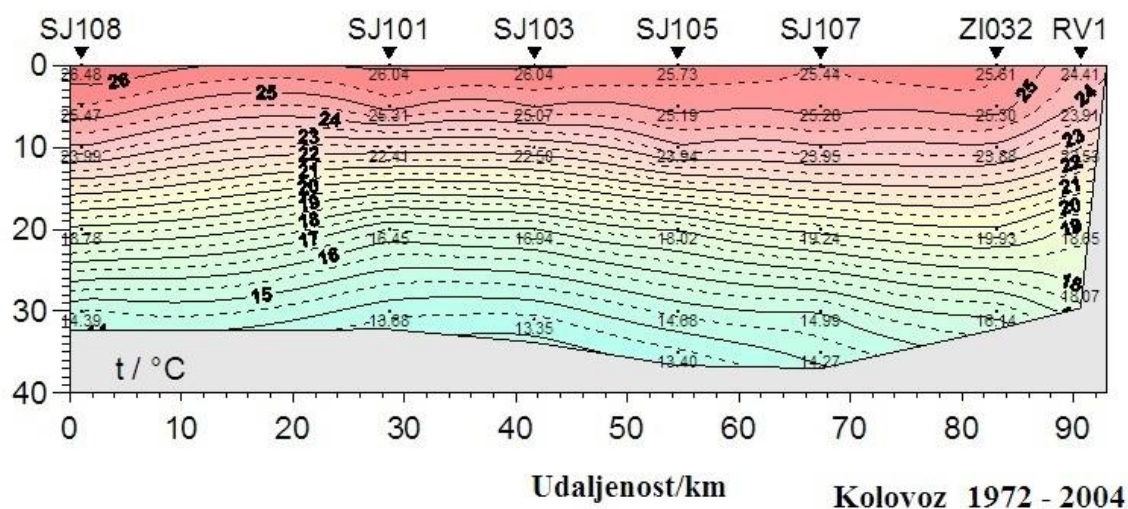


Slika 3.2.4. Višegodišnji (1972. – 2004.) prosjek temperature mora za travanj.

U kolovozu 2013. godine odstupanja od višegodišnjeg prosjeka su bila minimalna. U površinskom sloju ta razlika je iznosila $\sim 1^{\circ}\text{C}$, dok je pri dnu temperatura bila nešto viša, $\sim 2^{\circ}\text{C}$ od prosjeka (Slika 3.2.5.). Vodeni je stupac bio izrazito raslojen zbog zadržavanja zaslade vode u uvjetima poluzatvorene cirkulacije, iako donos rijeke Po nije bio izrazit. U gotovo čitavom vodenom stupcu do 20 m dubine, vrijednosti temperature bile su najviše u 2013. g. (oko 25°C) u srednjim i pridnenim slojevima. Iako su horizontalne razlike bile znatno manje, vertikalni gradijent bio je izrazit (Slike 3.2.5. i 3.2.6.).

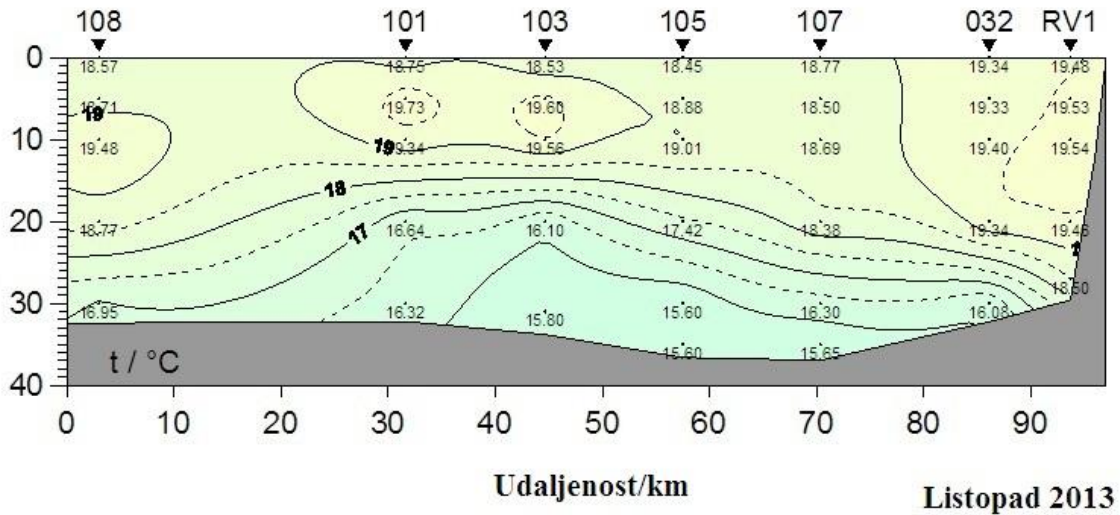


Slika 3.2.5. Temperatura mora u kolovozu 2013. g.

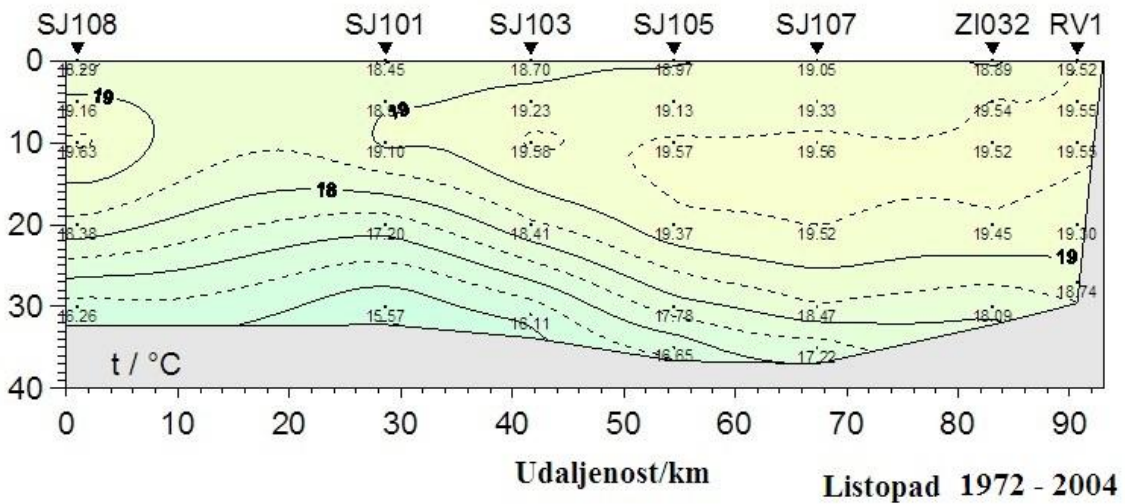


Slika 3.2.6. Višegodišnji (1972. – 2004.) prosjek temperature mora za kolovoz.

Početak jeseni promjena temperature je bila najizraženija u sloju između 10 i 20 m. Ispod 20 m raslojavanje je bilo znatno manje izraženo (Slike 3.2.7. i 3.2.8.). Vrijednosti su se na cijelom profilu kretale blizu prosjeka.



Slika 3.2.7. Temperatura mora u listopadu 2013. g.

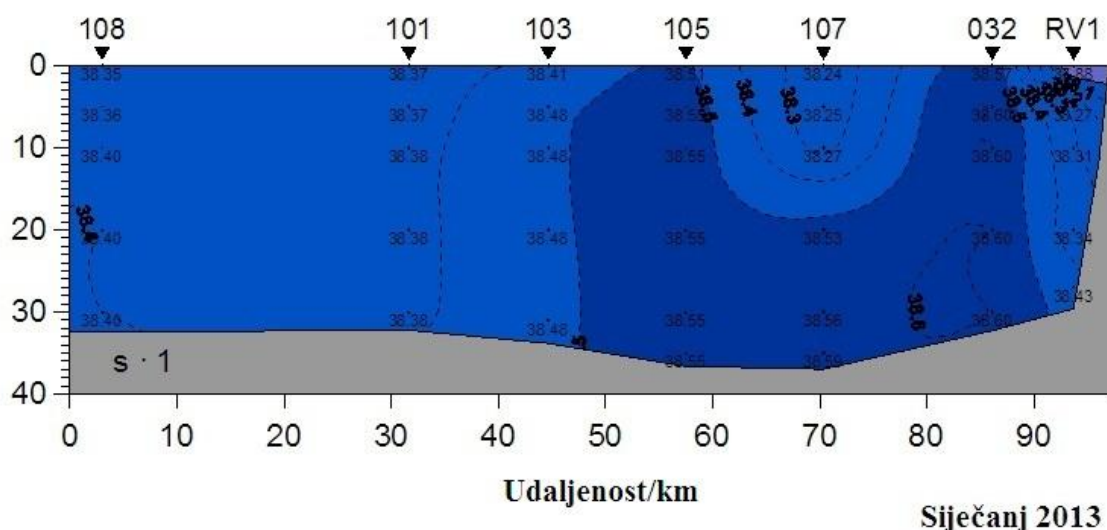


Slika 3.2.8. Višegodišnji (1972. – 2004.) prosjek temperature mora za listopad.

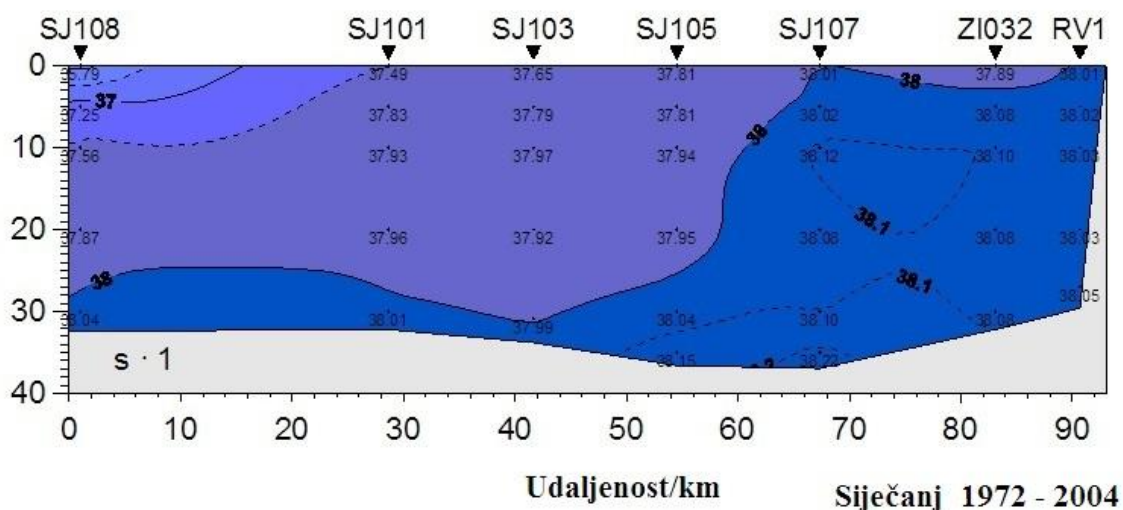
3.2.2. Salinitet

Tijekom zime u sjevernom Jadranu prevladava ciklonalna cirkulacija, pri čemu je izmjena vode sa srednjim Jadranom vrlo intenzivna, a utjecaj dotoka zaslađene vode rijeke Po ograničen na uski pojas duž zapadne obale. Na to ukazuju i rezultati iz siječnja 2013. kad je vodeni stupac bio dobro izmiješan, uz male razlike u salinitetu između istočnog i zapadnog dijela profila Rovinj-delta rijeke Po i iznimku najzapadnije postaje SJ108 (udaljene 12NM od ušća), na kojoj je površinski salinitet bio nizak (Slika 3.2.9.). Tipično zimsku cirkulaciju potvrđuju i vrijednosti izrazito visokog saliniteta do 38,6 naročito u srednjem i pridnom

sloju istraživanog profila (Slika 3.2.9.) uz značajan donos slanije vode podrijetlom iz jugoistočnog Sredozemlja. Ona je zahvatila i zapadne postaje profila, tako da je priobalna fronta između zaslađene i slane vode bila uža od prosjeka. Priliv slanije vode potvrđuje i činjenica da protok rijeke Po nije u tom mjesecu značajno odstupao (Slika 3.2.), pa je salinitet općenito trebao i u 2013. g. biti niži za oko 0,5-1, a izrazitije niži na površini postaje SJ108, koja je pod direktnim utjecajem rijeke Po.



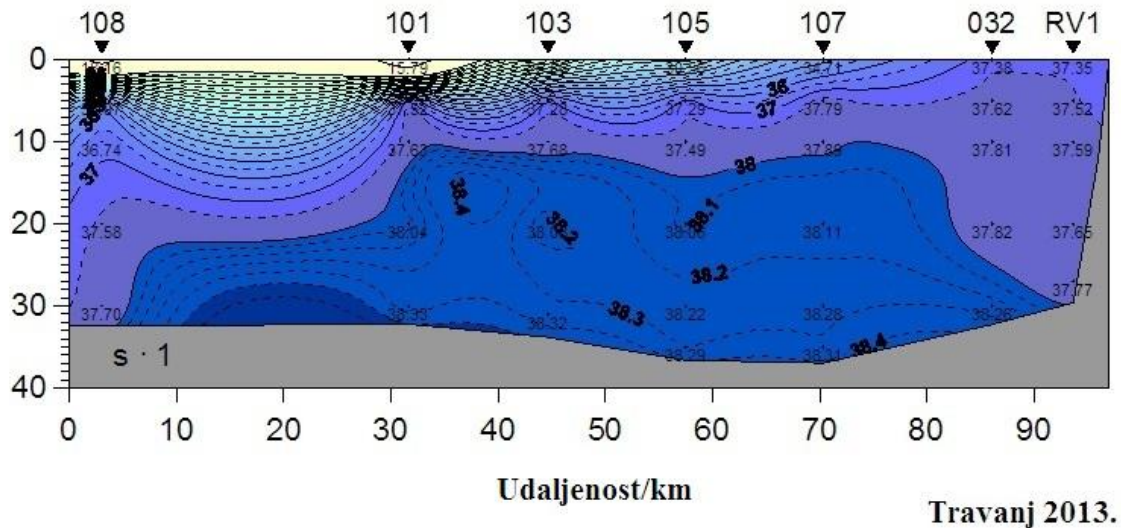
Slika 3.2.9. Salinitet mora u siječnju 2013. g.



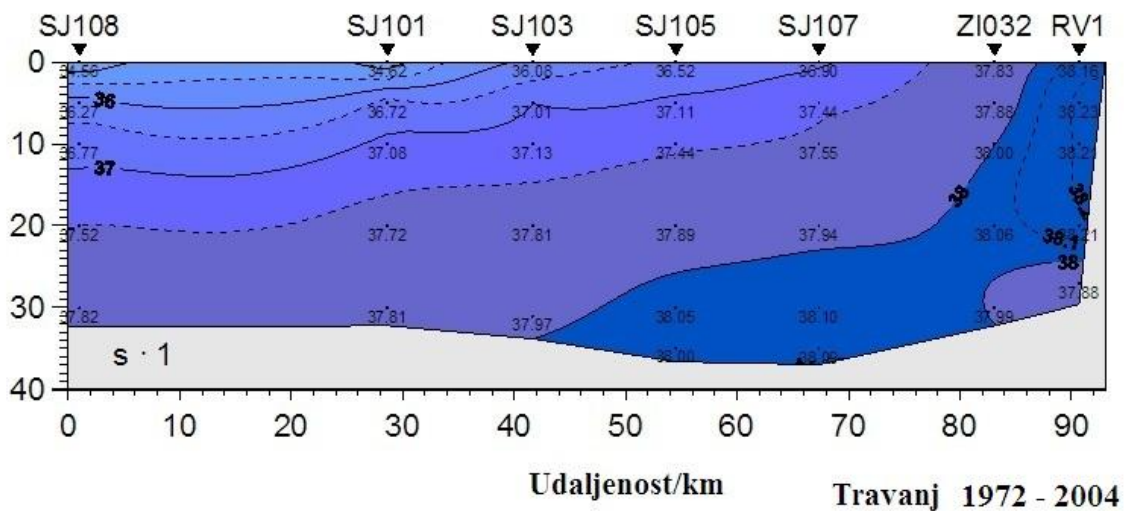
Slika 3.2.10. Višegodišnji (1972. – 2004.) prosjek saliniteta mora za siječanj.

Početkom travnja uspostavlja se raslojavanje vodenog stupca. U površinskom sloju bio je prisutan izraženi horizontalni gradijent zaslađene vode sve do obale zapadne Istre (Slika 3.2.11.). Promjene saliniteta bile su izraženije na postaji SJ108, koja je direktno pod utjecajem slatkovodnog donosa rijeke Po. Općenito su najniže vrijednosti saliniteta zabilježene u

površinskom sloju postaja SJ101 i SJ108 (16-18) i bile znatno niže od prosjeka (Slike 3.2.11. i 3.2.12.). To je u skladu s neuobičajeno visokim protokom rijeke Po u proljeće (Slika 3.2.). I na drugim postajama je također površinski salinitet bio značajno niži od prosjeka, uz iznimku obalnog području zapadne Istre. U slojevima ispod piknokline, međutim, salinitet je bio nešto viši od prosjeka (za 0,2-0,3) što ukazuje na djelomično miješanje vode više slanosti iz dubljih slojeva sa zaslađenom vodom.



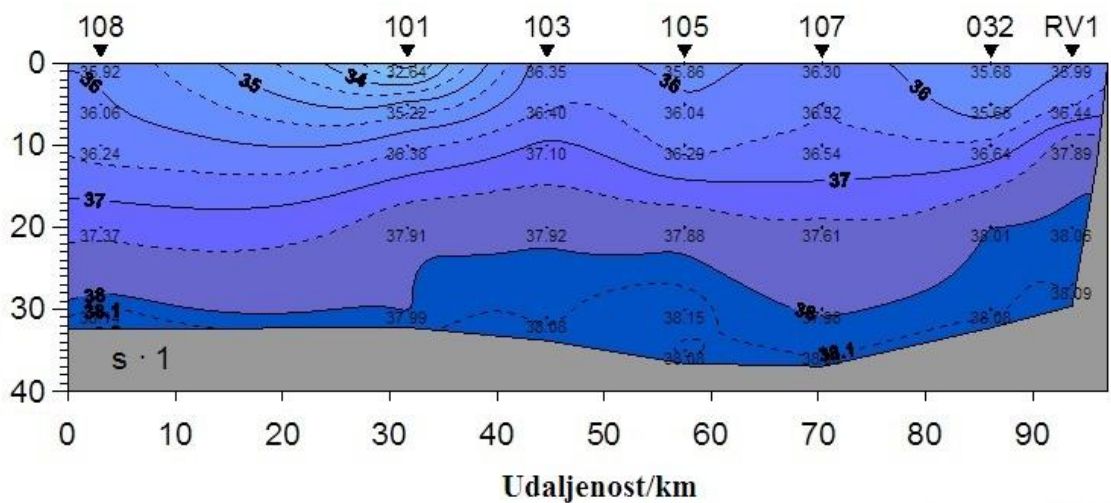
Slika 3.2.11. Salinitet mora u travnju 2013. g.



Slika 3.2.12. Višegodišnji (1972. – 2004.) prosjek saliniteta mora za travanj.

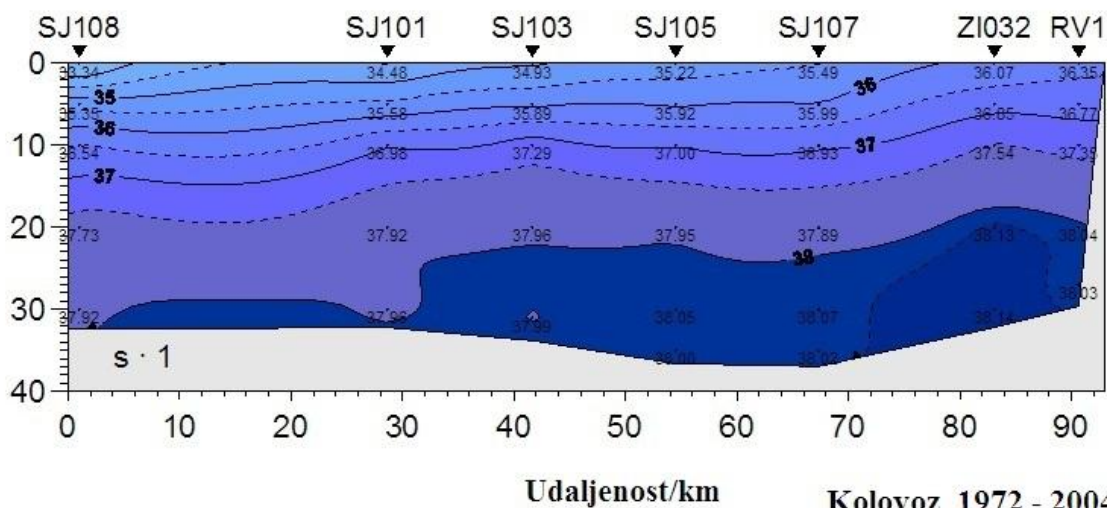
Tijekom kolovoza površinski je salinitet bio puno viši nego u travnju, ali i značajno viši od dugoročnog prosjeka, naročito na postaji SJ108. To je u korelaciji s izrazitim sniženjem

protoka rijeke Po u ovoj sezoni (Slike 3.1., 3.2.13. i 3.2.14.). U donjim slojevima i dalje se nalazila prosječno slanija voda, vjerojatno zbog njenog većeg unosa iz srednjeg Jadrana.



Kolovoz 2013

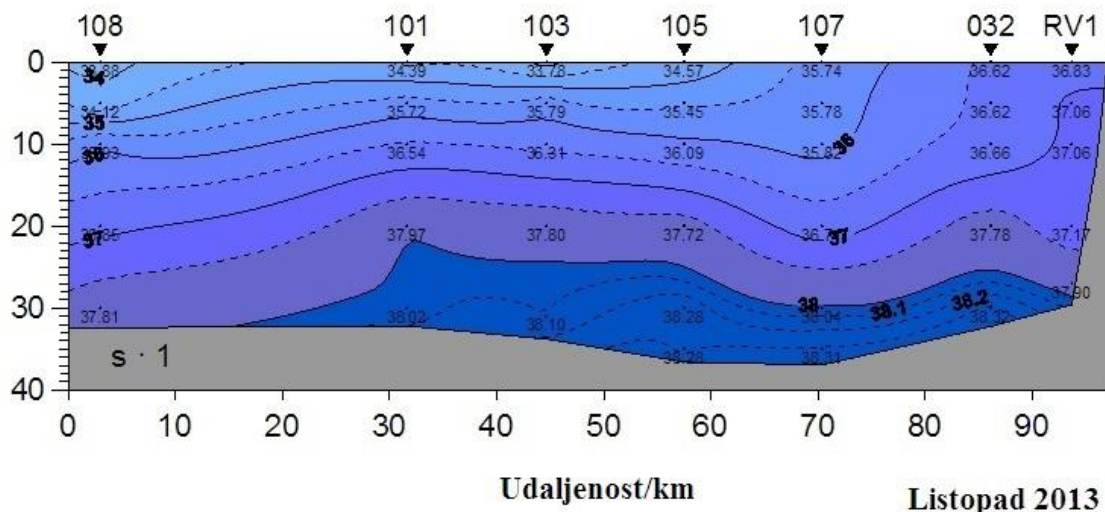
Slika 3.2.13. Salinitet mora u kolovozu 2013. g.



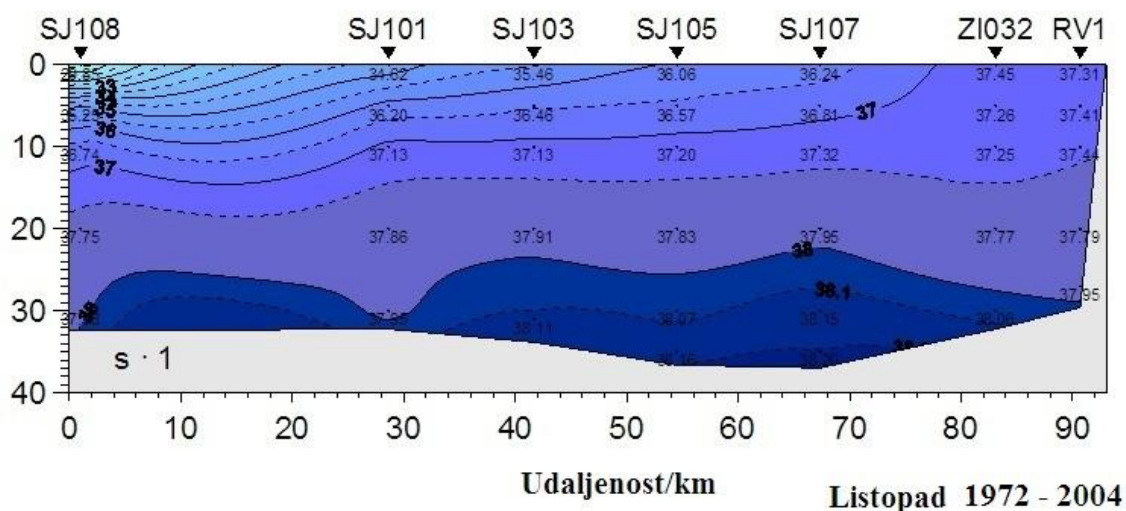
Kolovoz 1972 - 2004

Slika 3.2.14. Višegodišnji (1972. – 2004.) prosjek saliniteta mora za kolovoz.

U listopadu 2013. godine nije bilo velikih odstupanja od višegodišnjeg prosjeka. Općenito, tijekom jeseni površinski sloj predaje toplinu okolini pri čemu se hladi. Time se vodeni stupac konvektivno miješa, smanjujući vertikalne razlike u salinitetu i to počevši od istočne strane sjevernog Jadrana prema zapadnom (Slike 3.2.15. i 3.2.16.). U istočnom dijelu profila je salinitet pridnenog sloja bio po vrijednostima malo, ali značajno viši od prosjeka (za 0,1-0,2).



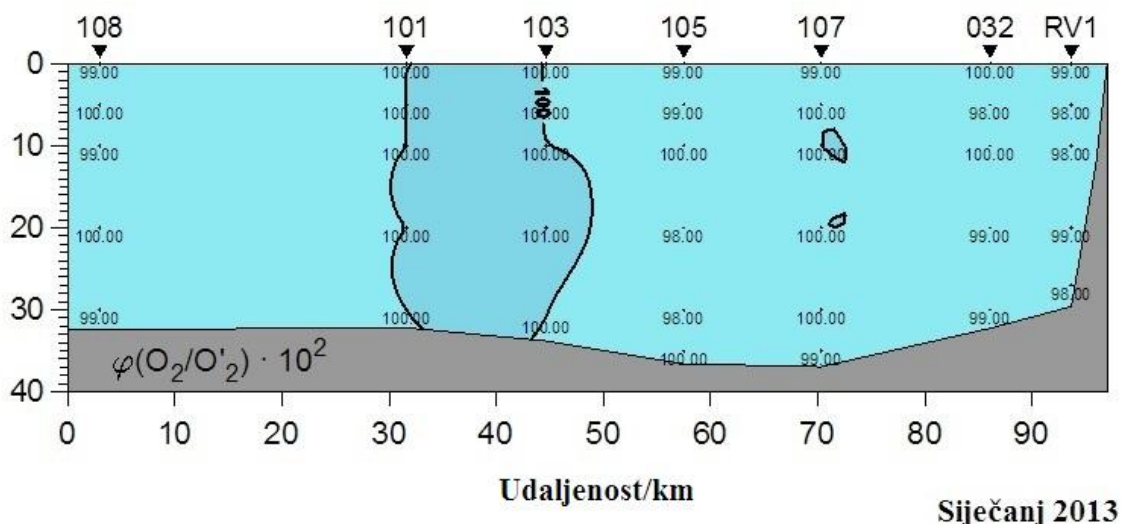
Slika 3.2.15. Salinitet mora u listopadu 2013. g.



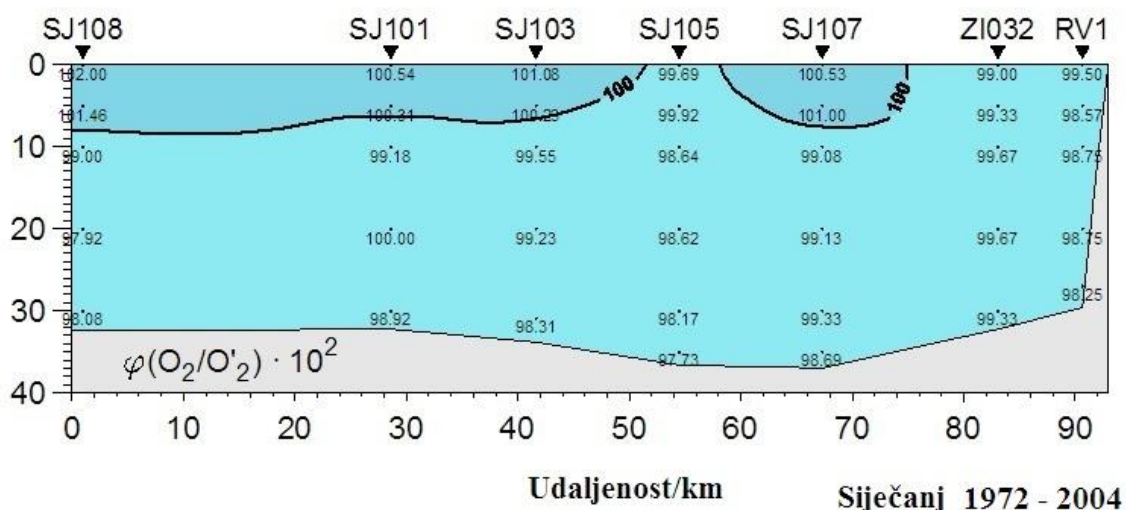
Slika 3.2.16. Višegodišnji (1972. – 2004.) prosjek saliniteta mora za listopad.

3.2.3. Udio zasićenja kisikom

U siječnju 2013. g. je zasićenost kisikom bila prosječna, osim nešto nižih vrijednosti u površinskom sloju postaje SJ108 (~2%; Slike 3.2.17. i 3.2.18.). U tom je periodu prevladavala izmjena kisika s atmosferom, a niža temperatura mora pogodovala je otapanju većih količina kisika.



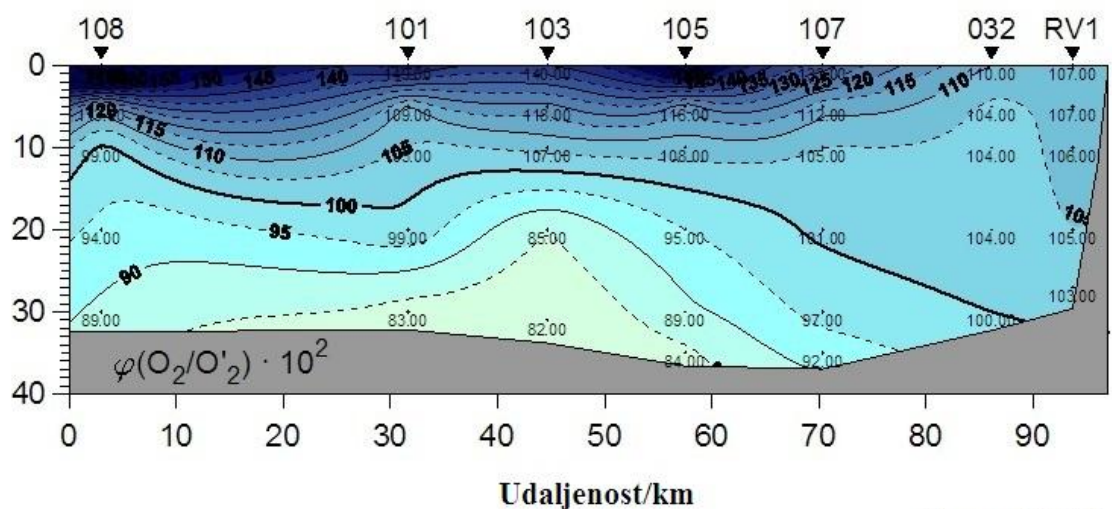
Slika 3.2.17. Otopljeni kisik za siječanj 2013. g.



Slika 3.2.18. Višegodišnji (1972. – 2004.) prosjek otopljenog kisika za siječanj.

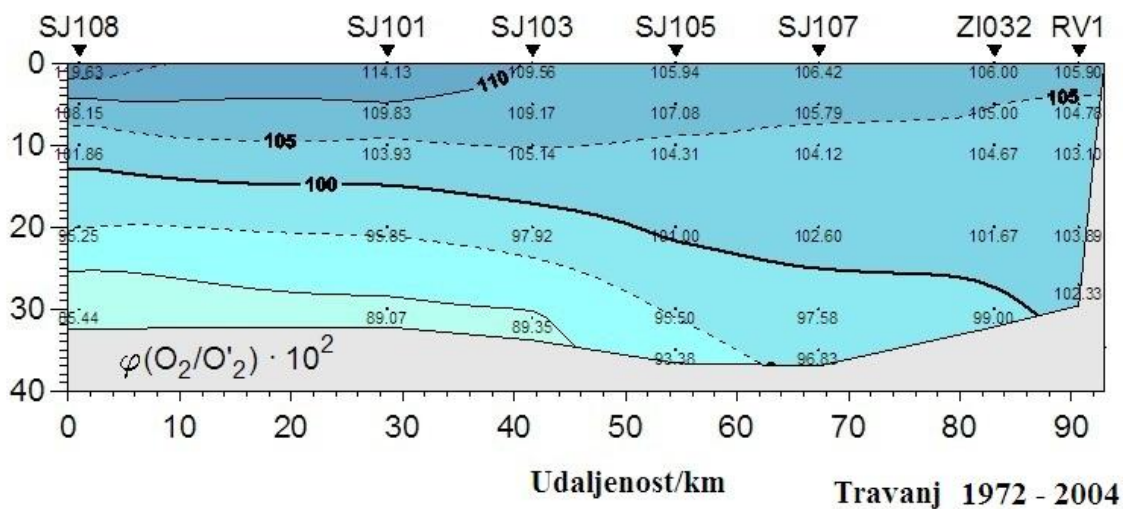
U travnju je udio zasićenja kisikom u površinskom sloju bio ekstremno visok, osim u obalnom području zapadne Istre (Slika 3.2.19.). Uspostavio se izražen gradijent zapad-istok s maksimum od 196% na postaji SJ108. Odstupanja od dugoročnog prosjeka bila su iznimno visoka: od oko 75% na postaji SJ108 do oko 30% na postaji SJ107 (Slike 3.2.19. i 3.2.20.). Iako je protok rijeke Po u ovom mjesecu bio manji nego u svibnju, slatkovodni donos hranjivih soli bio je znatan, što je dovelo do intenzivne primarne proizvodnje, odnosno i proizvodnje kisika procesom fotosinteze. Već je bila počela termička stabilizacija vodenog stupca, znatno pojačana dotokom slatke vode. U takvim uvjetima širenje zaslađene vode obuhvatilo je i istočni dio sjevernojadranskog bazena, a djelomično i područje uz zapadnu

obalu Istre. U pridnenom sloju udio zasićenja kisikom bio niži od višegodišnjeg prosjeka (za ~5-10%; Slike 3.2.19. i 3.2.20.). To se može pripisati prevladavanju procesa remineralizacije većeg dijela sedimentirane organske tvari nego u prosjeku. U obalnom području Istre udio zasićenja kisikom iznosio je ~105-110% u cijelom vodenom stupcu, uz malo odstupanje od višegodišnjeg prosjeka.



Travanj 2013.

Slika 3.2.19. Otopljeni kisik za travanj 2013. g.

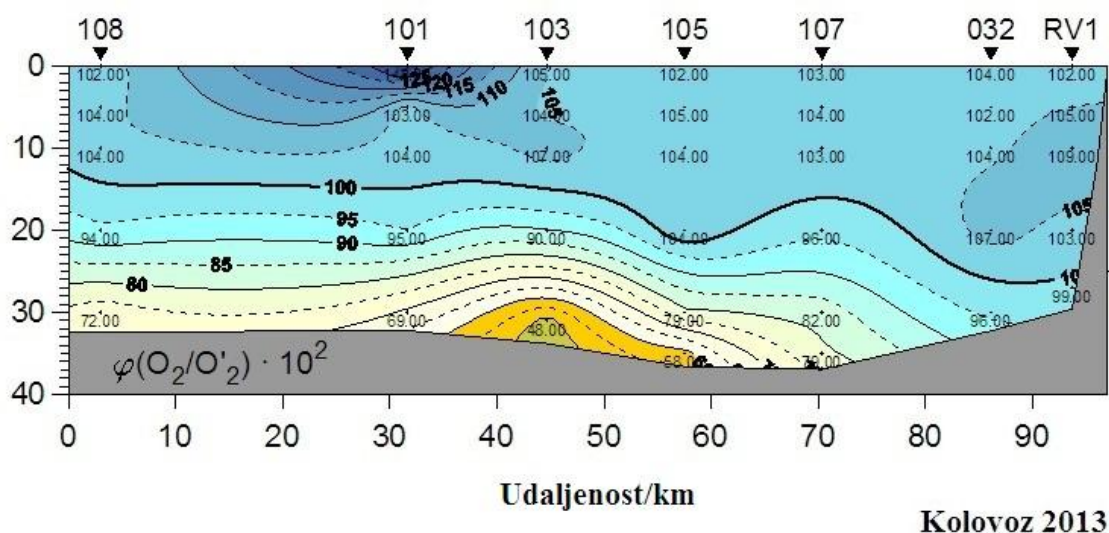


Travanj 1972 - 2004

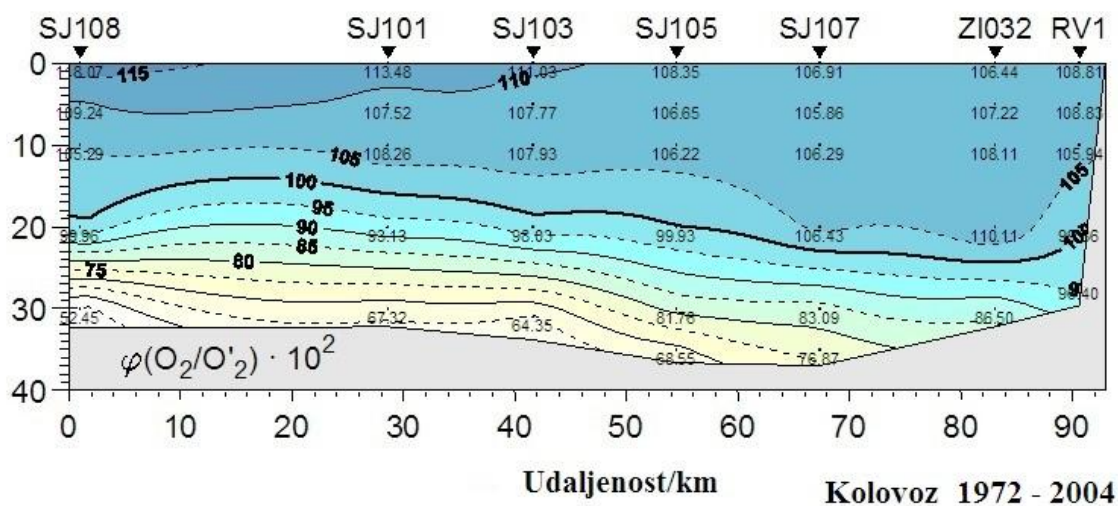
Slika 3.2.20. Višegodišnji (1972. – 2004.) prosjek otopljenog kisika za travanj.

U kolovozu 2013. godine vrijednosti udjela zasićenja kisikom su bila znatno niža nego u travnju, ali i od višegodišnjeg prosjeka i to na većini postaja u cijelom vodenom stupcu, uz iznimku pridnenih slojeva postaja SJ103 i SJ108 (Slike 3.2.21. i 3.2.22.). Tijekom ljeta u

slojevima ispod pnikokline, gdje je fotosinteza minimalna, uobičajeno je prevladavao proces remineralizacije uz trošenje kisika. Kisik je bio podzasićen, uglavnom na prosječnoj razini, osim na postaji SJ103 uz vrijednost od samo 48% (što je za oko 20% niže od prosjeka). Suprotno tome, na postaji SJ108 udio zasićenja kisikom bio je neuobičajeno viši od prosjeka (za oko 20%).



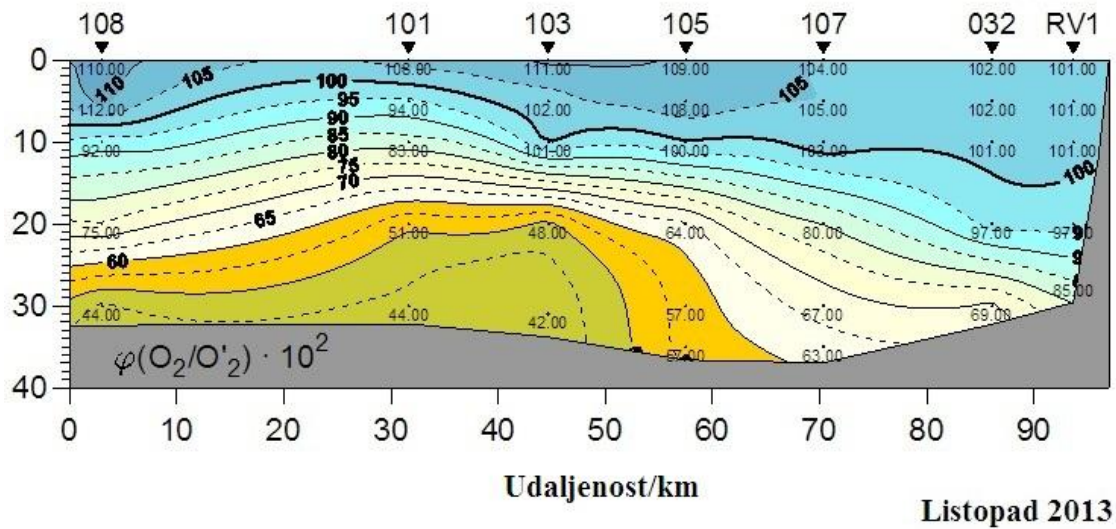
Slika 3.2.21. Otopljeni kisik za kolovoz 2013. g.



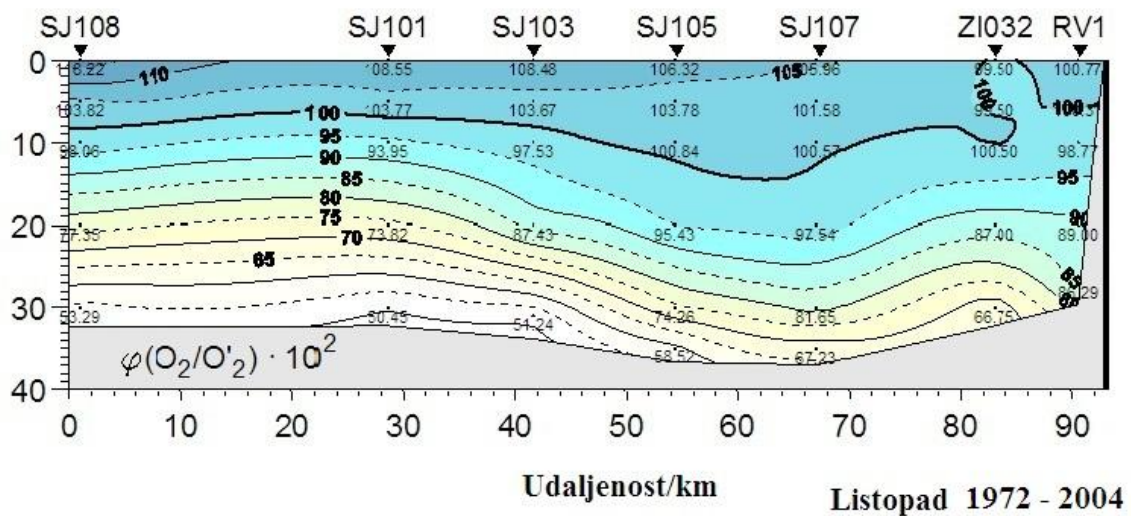
Slika 3.2.22. Višegodišnji (1972. – 2004.) prosjek otopljenog kisika za kolovoz.

U listopadu 2013. godine u površinskom sloju nije bilo većih odstupanja vrijednosti otopljenog kisika od višegodišnjeg prosjeka (Slike 3.2.23. i 3.2.24.). U pridnenom sloju zapadnog dijela profila vrijednosti su bile nešto niže od prosjeka pri dnu (za 9%), ali značajno

više od prosjeka u srednjem sloju (za ~20%). U jesen je fitoplanktonska aktivnost manja zbog smanjenja svjetla, tako da jače prevladava remineralizacija u odnosu na ljeto.



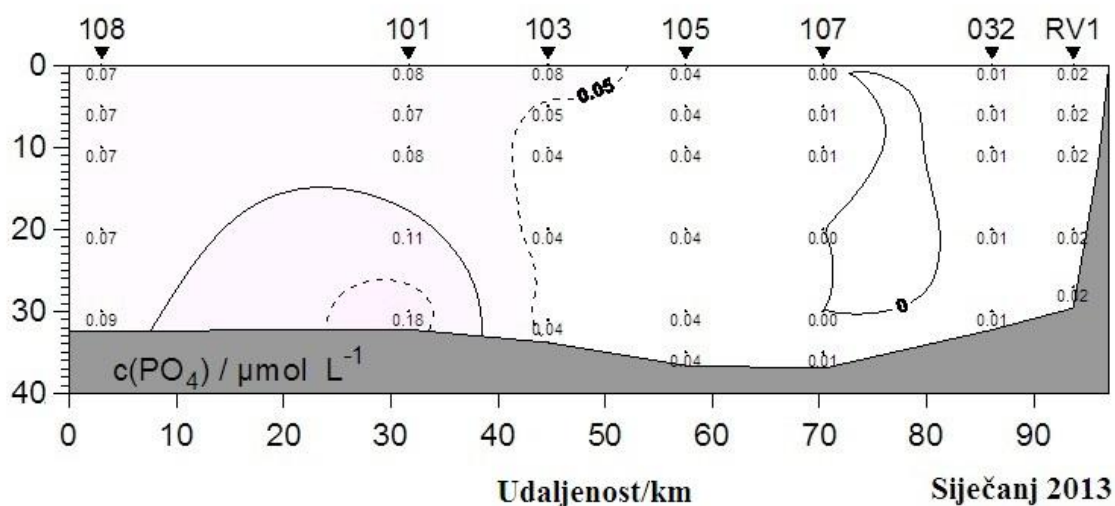
Slika 3.2.23. Otopljeni kisik za listopad 2013. g.



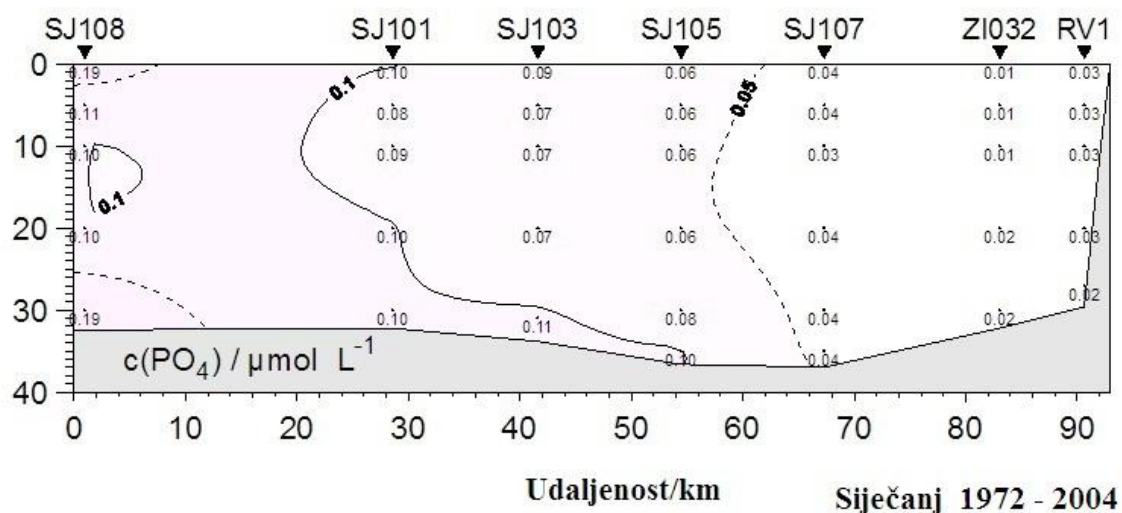
Slika 3.2.24. Višegodišnji (1972. – 2004.) prosjek otopljenog kisika za listopad.

3.2.4. Ortofosfat i anorganski dušik

Koncentracija ortofosfata u siječnju 2013. godine bila je niža od višegodišnjeg prosjeka, a najviše su vrijednosti zabilježene u površinskom sloju postaje SJ108 (Slike 3.2.25. i 3.2.26.), iako je protok rijeke Po bio prosječan. Vrijednosti su bile homogeno raspoređene u vodenom stupcu (uključujući i postaju SJ108), kao što je zimi uobičajeno. Treba imati i na umu da je već od kraja 1980-ih ortofosfat bio snižen u rijekama, pa dakle i u moru, primjenom zakona o sniženju sadržaja polifosfata u detergentima (Degobbis i sur., 2000.). Osim toga slanija voda sa srednjeg Jadrana sadrži minimalnu koncentraciju te hranjive soli (Degobbis i sur., 2005.).

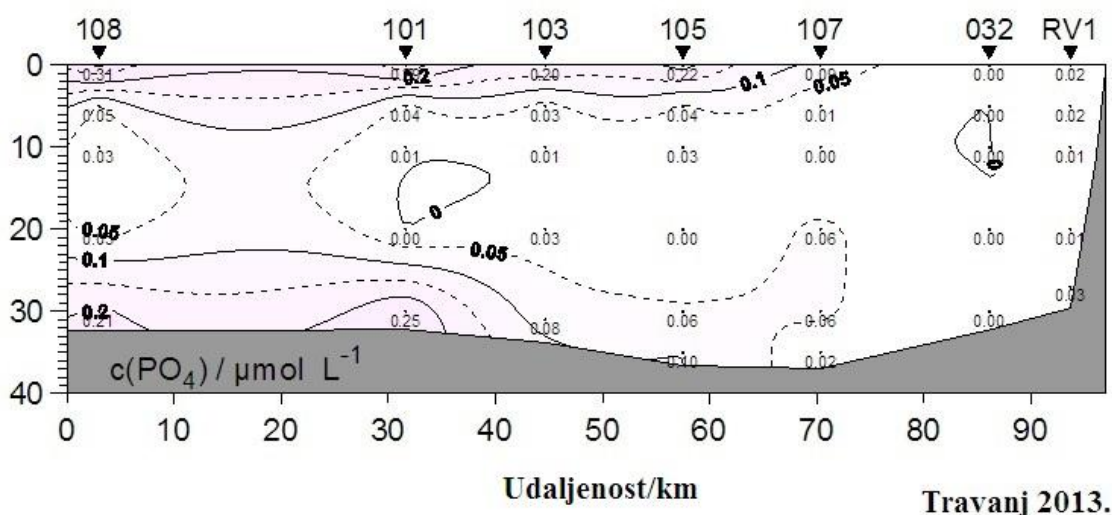


Slika 3.2.25. Koncentracija ortofosfata u siječnju 2013. g.

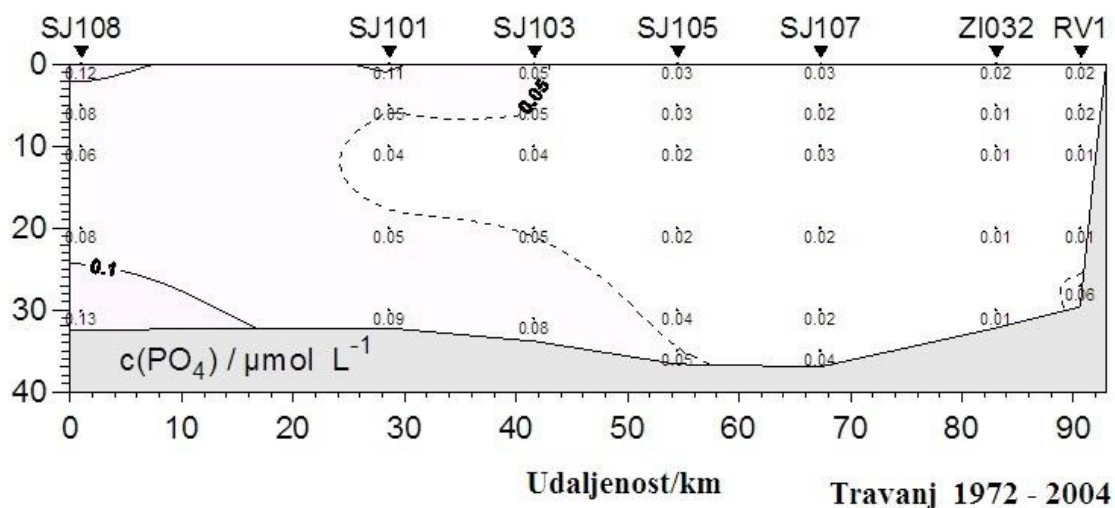


Slika 3.2.26. Višegodišnji (1972. – 2004.) prosjek koncentracije ortofosfata za siječanj.

U travnju je zbog povećanog protoka rijeke Po, koncentracija ortofosfata u površinskom sloju zapadnog i središnjeg dijela profila Rovinj-delta rijeke Po bila znatno viša nego u prethodnoj sezoni (Slike 3.2.27. i 3.2.28.). Vrijednosti u tom sloju bile su više za $\sim 0.2 \mu\text{mol L}^{-1}$ od višegodišnjeg prosjeka. Na istočnoj postaji SJ107 koncentracija ortofosfata je bila niža od vrijednosti na zapadnim postajama, ali i dalje je bila viša od prosjeka. Na postaji RV001 nije bilo značajnih odstupanja u odnosu na višegodišnji prosjek.



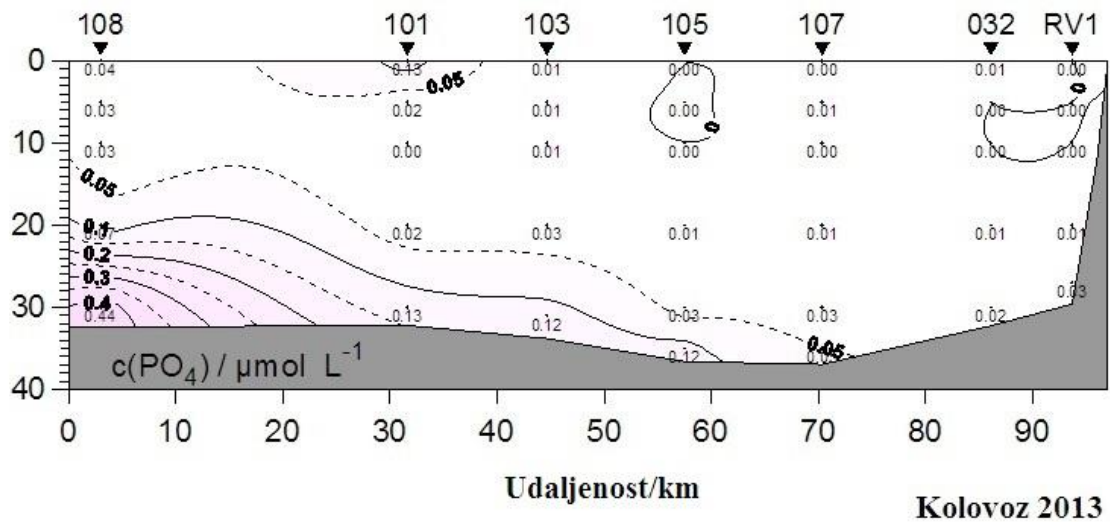
Slika 3.2.27. Koncentracija ortofosfata u travnju 2013. g.



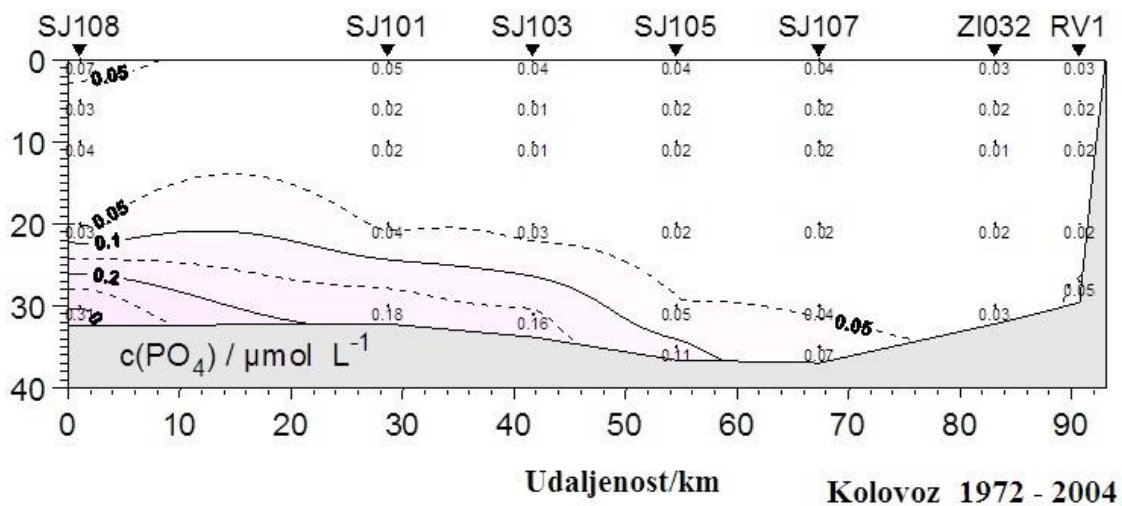
Slika 3.2.28. Višegodišnji (1972. – 2004.) prosjek koncentracije ortofosfata za travanj.

U kolovozu je koncentracija ortofosfata na postaji SJ108 bila značajno niža nego u travnju, što je u skladu sa sniženim protokom rijeke Po. Značajno povišene koncentracije hranjivih

soli unesenih tijekom proljeća bile su potrošene asimilacijom fitoplanktona. Osim toga, ljeti je brzina vertikalnog miješanja minimalna, a horizontalna advekcija znatno smanjena, dok su brzine asimilacije i regeneracije podjednake u površinskom sloju, što također pogoduje niskoj koncentraciji ortofosfata. U pridnenim slojevima prevladali su procesi regeneracije nad asimilacijom, uz nagomilavanje ortofosfata i to u koncentracijama sličnim prosječnim.



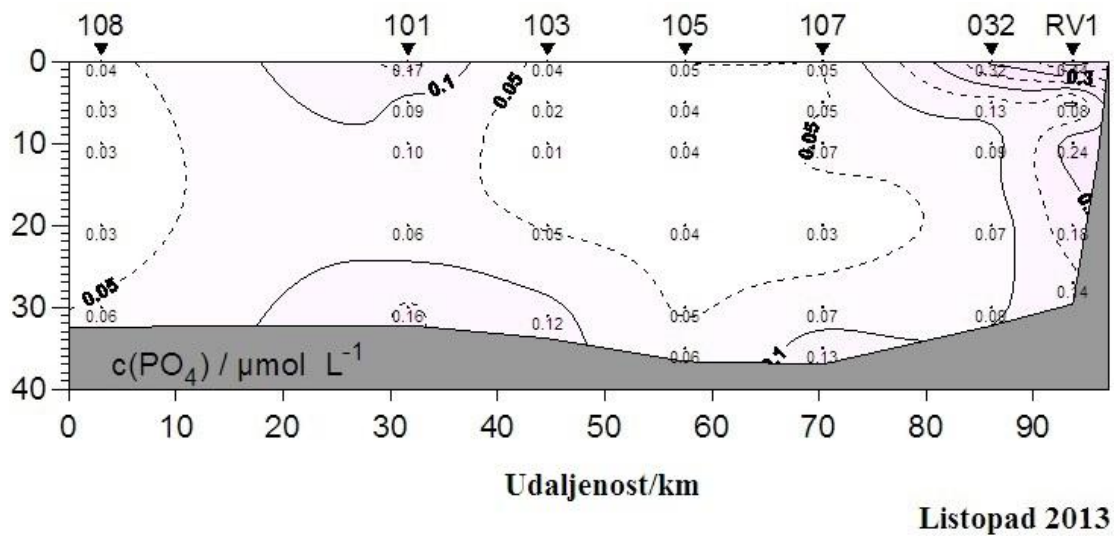
Slika 3.2.29. Koncentracija ortofosfata u kolovozu 2013. g.



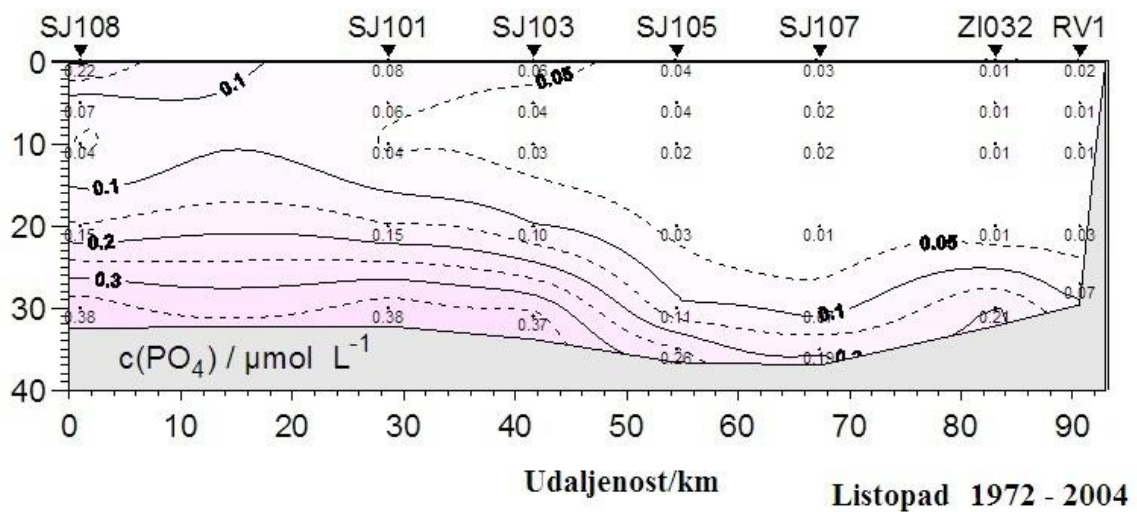
Slika 3.2.30. Višegodišnji (1972. – 2004.) prosjek koncentracije ortofosfata za kolovoz.

U listopadu 2013., slično kao i u siječnju, koncentracija ortofosfata je bila niža u odnosu na višegodišnji prosjek. Trend sniženja koncentracije ortofosfata tijekom ljeta i jeseni uzrokovan

je smanjenim donosom rijeke Po. Postoji mogućnost da su češća i dugotrajnija suša razdoblja bila posljedica recentnijih globalnih klimatskih promjena.



Slika 3.2.31. *Koncentracija ortofosfata u listopadu 2013. g.*



Slika 3.2.32. *Višegodišnji (1972. – 2004.) prosjek koncentracije ortofosfata za listopad.*

Iako su na slikama prikazani razni oblici anorganskog dušika (nitrata, nitrita i amonija), smatralo se da je za svrhu ovog rada bolje razmatrati zbroj njihove koncentracije (ukupni anorganski dušik-TIN). Naime, ovi oblici su u međusobno dinamičnim odnosima i svi sudjeluju u ciklusu asimilacije-regeneracije.

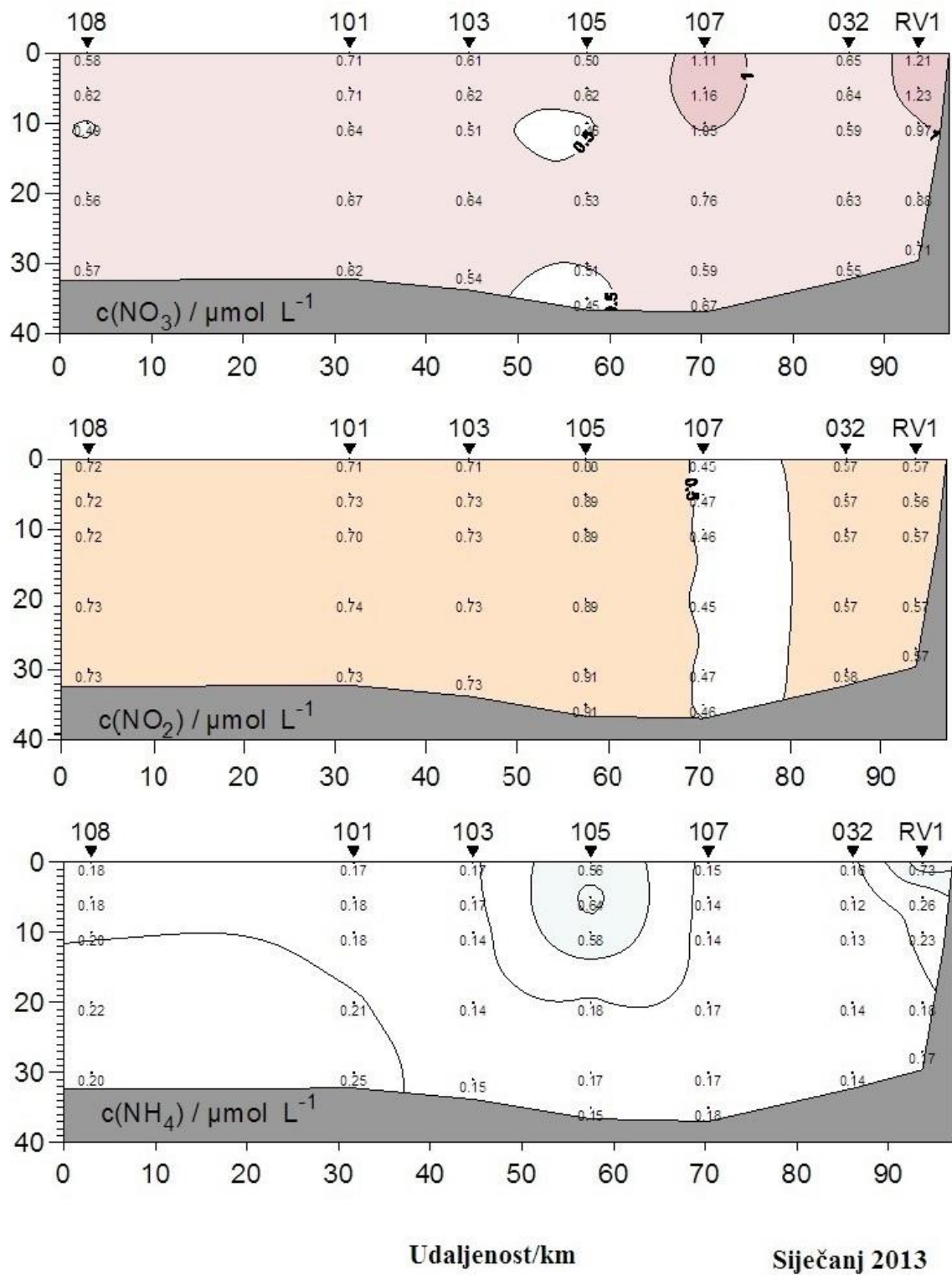
Koncentracije ukupnog anorganskog dušika (TIN-a) u siječnju 2013. godine bile su značajno niže od višegodišnjeg prosjeka (Slike 3.2.33. i 3.2.34.). Odstupanja su bila iznimno velika (do

oko 7 puta) na zapadnim postajama i to u čitavom vodenom stupcu, s obzirom da je u to doba on potpuno izmiješan. Budući da protok rijeke Po u siječnju 2013. g. nije bitno odstupao od prosjeka (Slika 3.2.), može se pretpostaviti da je intenzivan unos oligotrofne vode iz srednjeg Jadrana potisnuo frontu između zaslađene i slane vode mnogo bliže zapadnoj obali nego što je uobičajeno. Na taj je način i utjecaj slatkovodnih donosa bio gotovo beznačajan.

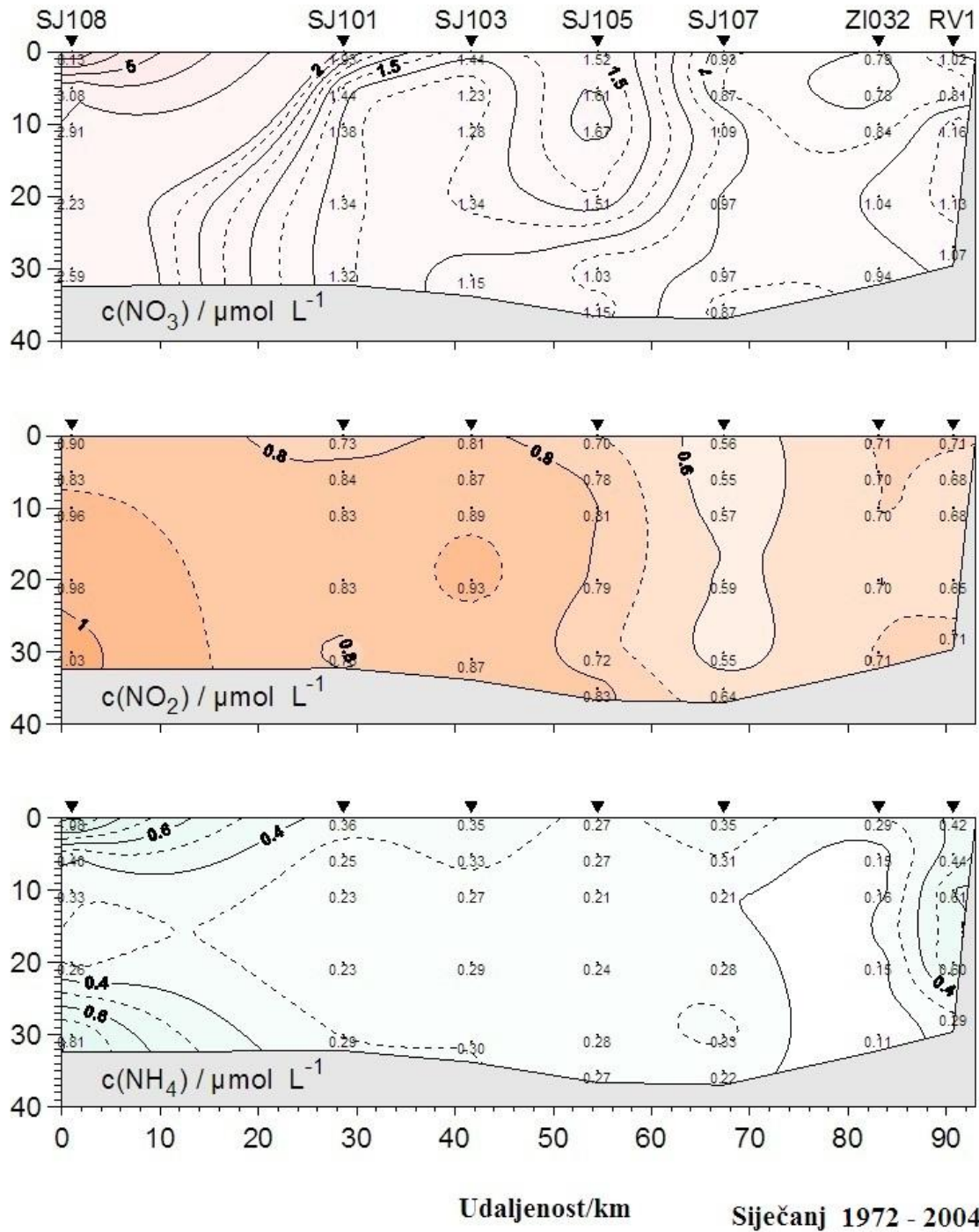
U travnju su koncentracije TIN-a u površinskom sloju iznimno varirale i bile znatno više od višegodišnjeg prosjeka (Slike 3.2.35. i 3.2.36.). To je u korelaciji s povećanim slatkovodnim donosom (Slika 3.2.). Najveće promjene zabilježene su na postaji SJ108 koja je pod direktnim utjecajem donosa rijeke Po, uz površinski maksimum TIN-a od $\sim 55 \mu\text{mol L}^{-1}$ koji odgovara minimumu površinskog saliniteta (Slika 3.2.11.). Međutim, u slojevima ispod piknokline, vrijednosti za TIN nisu bitno odstupale od prosjeka, što ukazuje na ravnotežu između procesa asimilacije i regeneracije.

Zbog poluzatvorenog sustava cirkulacije, koji je najstabilniji ljeti, zaslađena voda duže se zadržava u sjevernom Jadranu, te se transportira na šire područje, sve do zapadne obale Istre. Ovim putem se u površinskom sloju hranjive soli sve više asimiliraju i stvaraju izraženi gradijenti koncentracije, tako da je u obalnom području zapadne Istre u kolovozu 2013. koncentracija TIN-a bila za red veličine niša nego na zapadnoj postaji SJ108 (Slika 3.2.37.). Vrijednosti su bile u uvjetima minimalnog slatkovodnog donosa znatno niže nego u travnju, ali su bile blizu prosjeka (Slike 3.2.37. i 3.2.38.). U pridnenim slojevima prevladavali su procesi regeneracije nad asimilacijom, uz potrošnju otopljenog kisika i nagomilavanje TIN-a, isto kao i u slučaju ortofosfata.

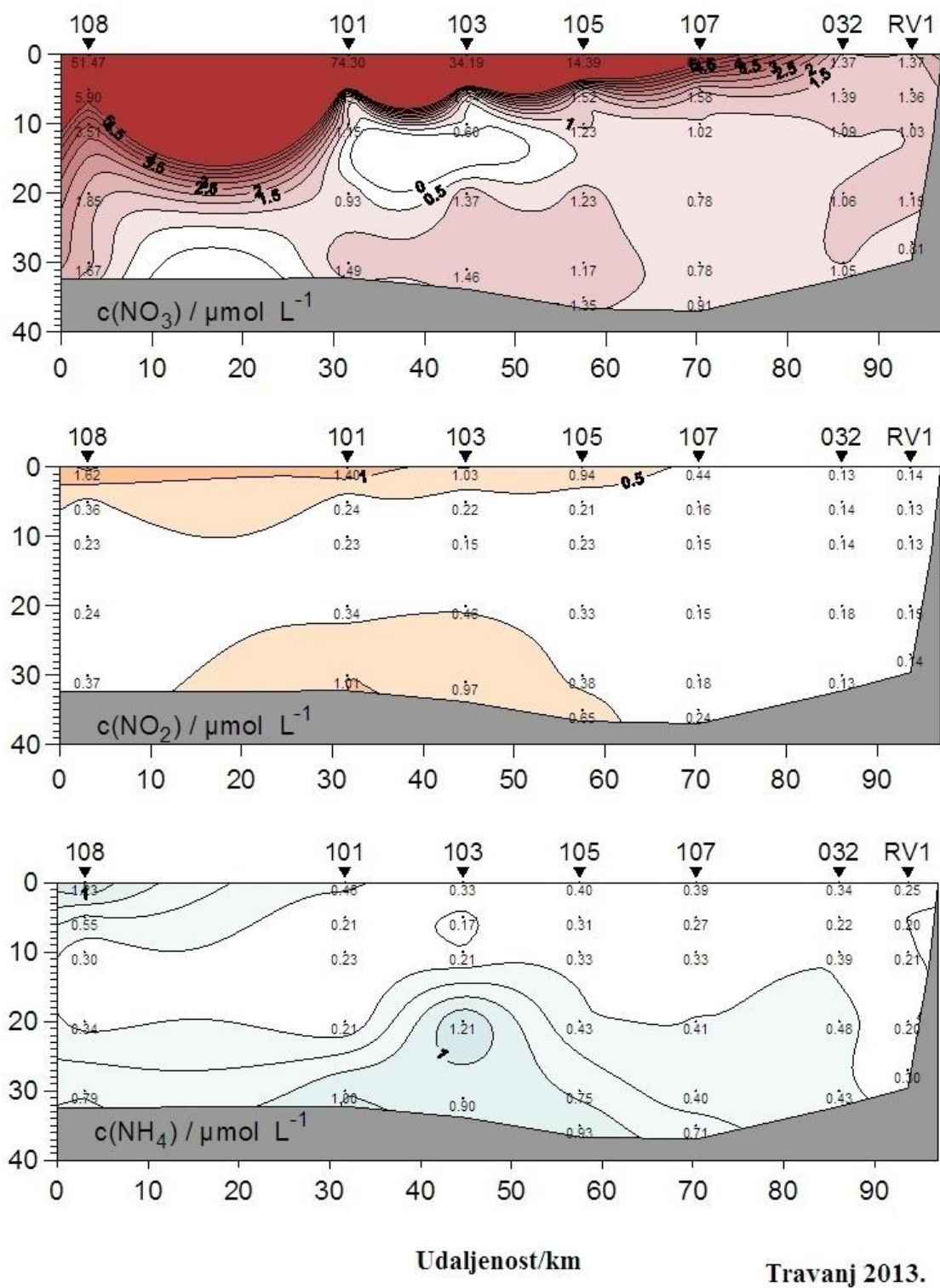
U listopadu je koncentracija TIN-a bila u čitavom području nešto viša od prosjeka (Slike 3.2.39. i 3.2.40.). U jesen je asimilacija manje intenzivna, jer je djelomično ograničena svjetlom, pa se u uvjetima potrošenog ortofosfata nagomilava TIN. Već započeto miješanje redistribuira nagomilane hranjive soli u pridnenom sloju u cijeli vodeni stupac.



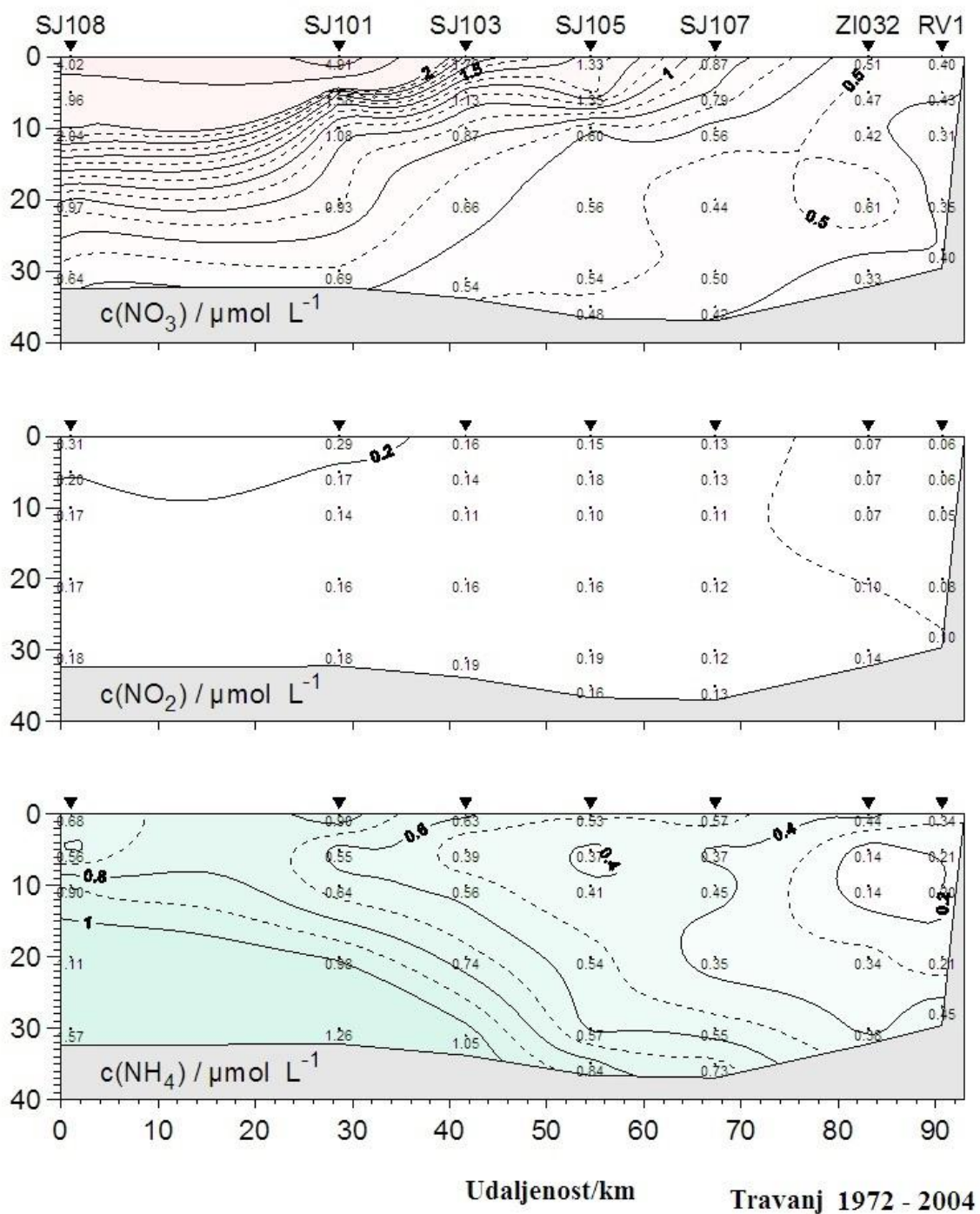
Slika 3.2.33. Koncentracija ukupnog anorganskog dušika (TIN-a) u siječnju 2013. g.



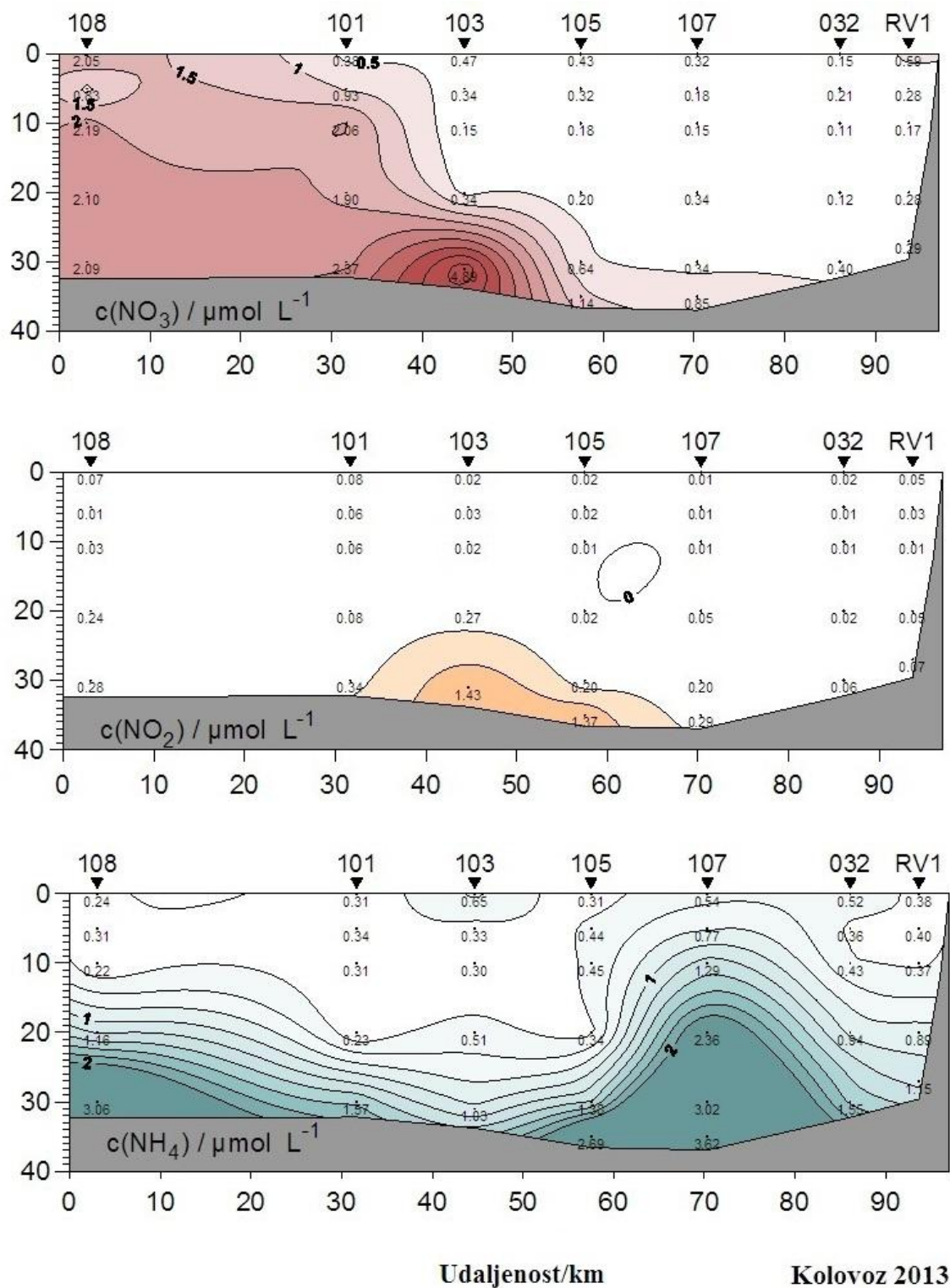
Slika 3.2.34. Višegodišnji (1972. – 2004.) prosjek koncentracije ukupnog anorganskog dušika (TIN-a) za siječanj.



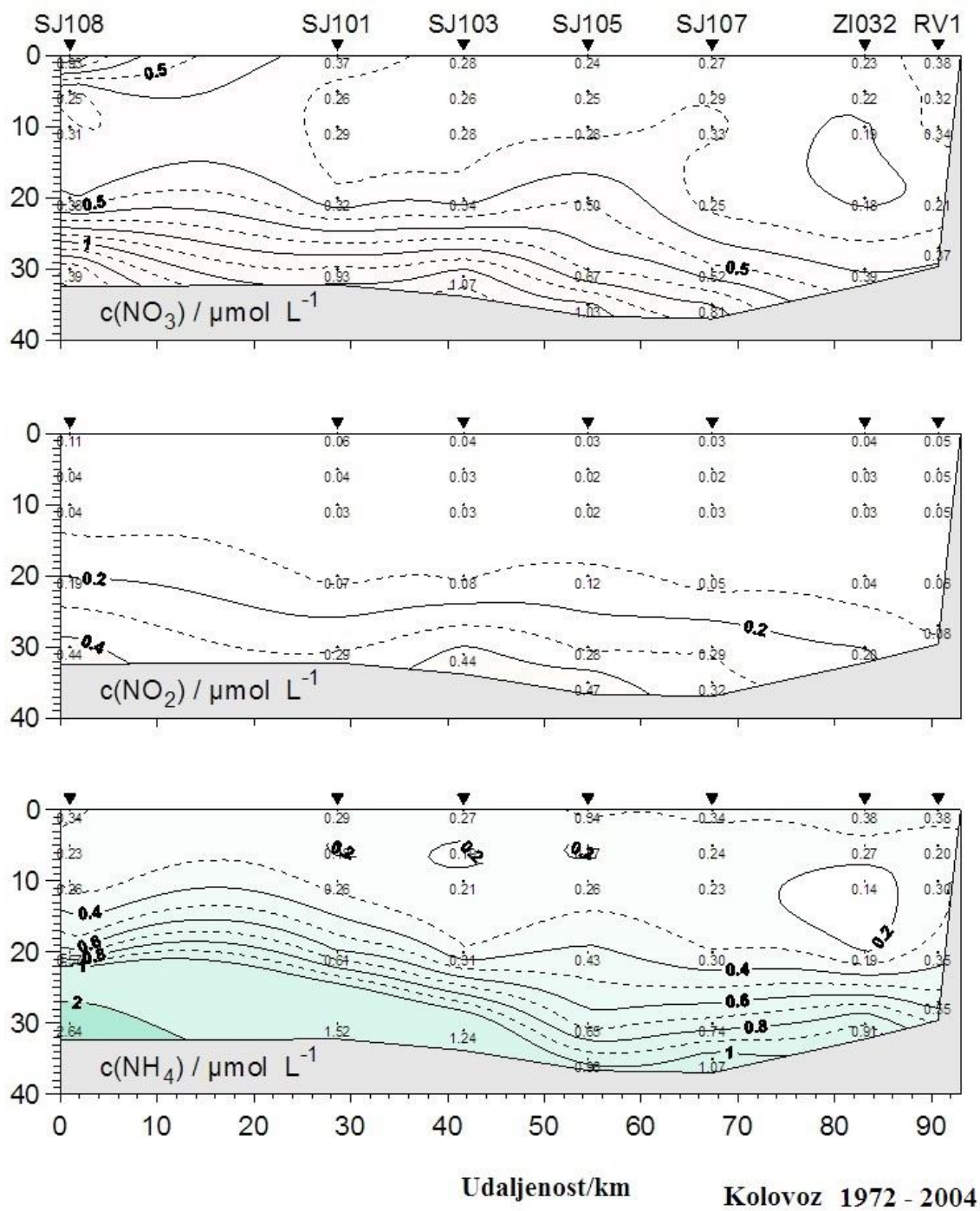
Slika 3.2.35. Koncentracija ukupnog anorganskog dušika (TIN-a) u travnju 2013. g.



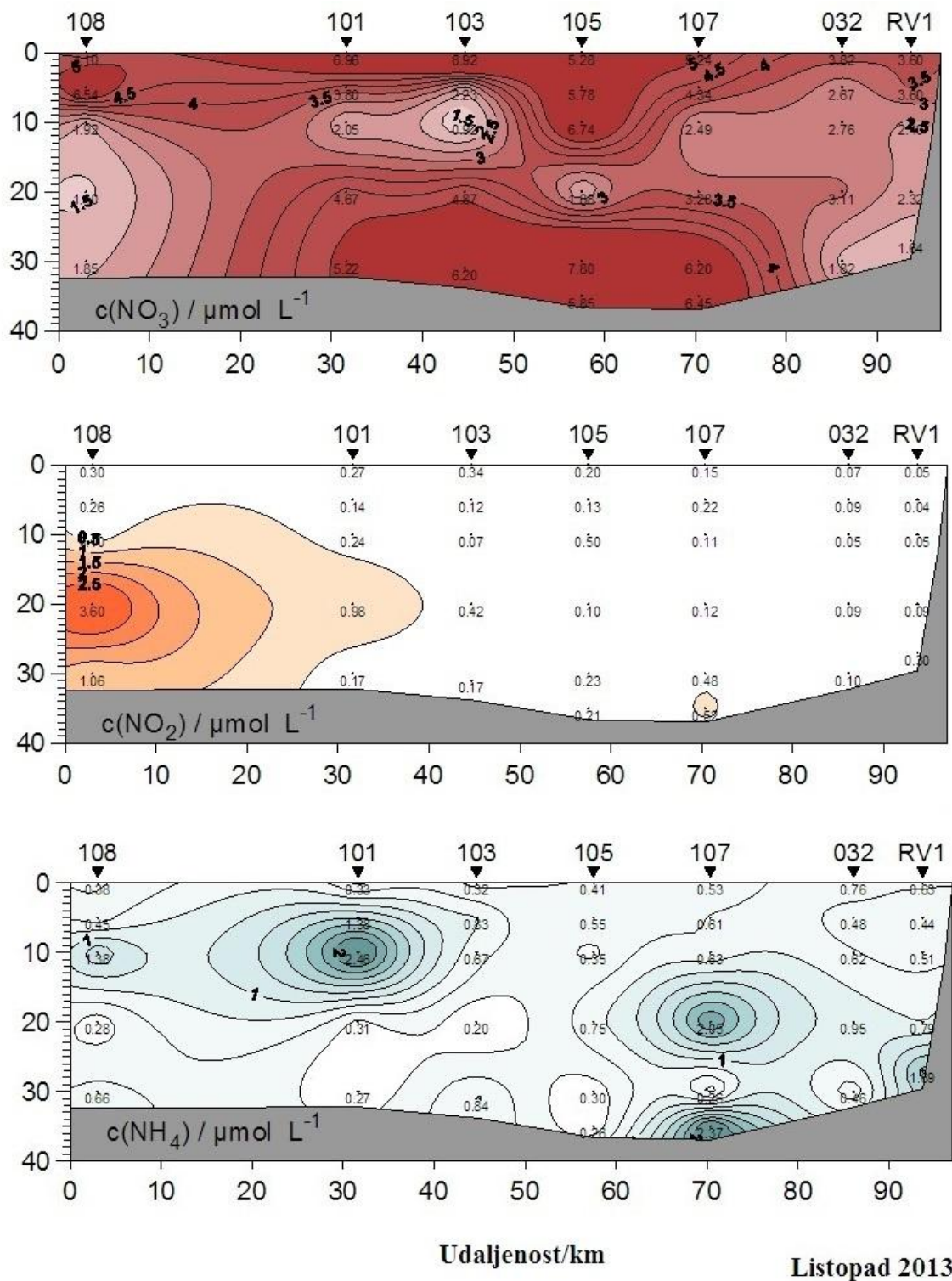
Slika 3.2.36. Višegodišnji (1972. – 2004.) prosjek koncentracije ukupnog anorganskog dušika (TIN-a) za travanj.



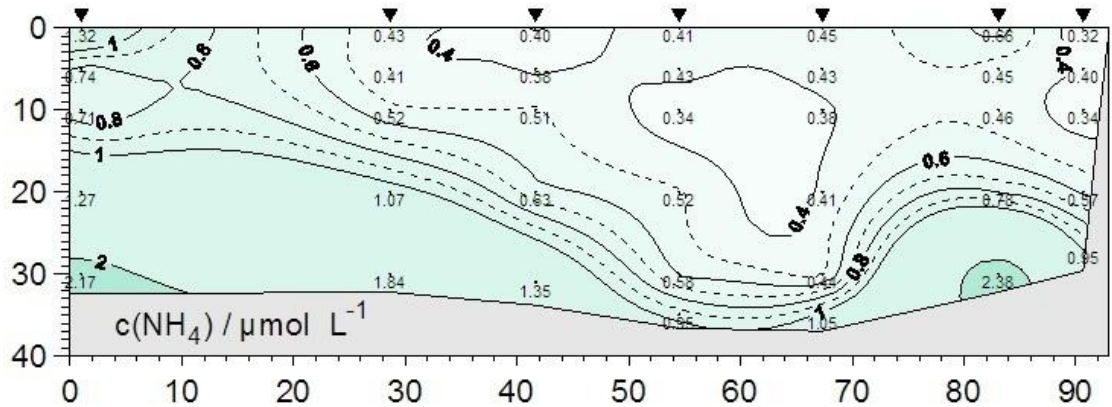
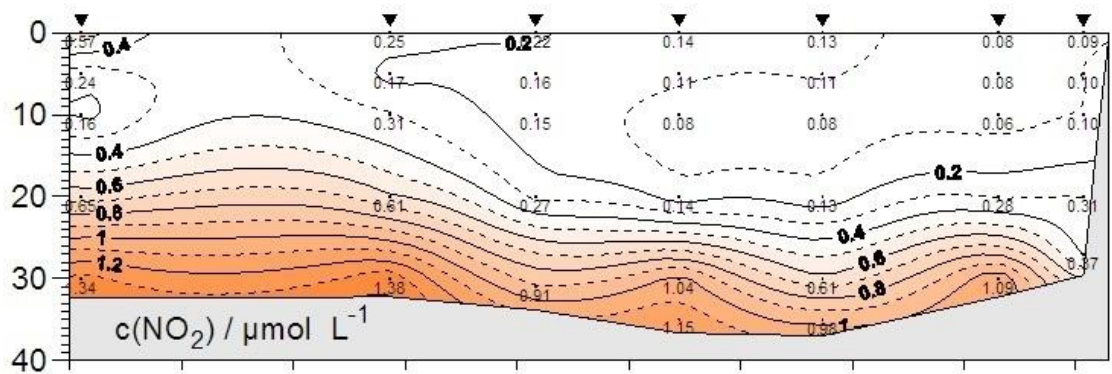
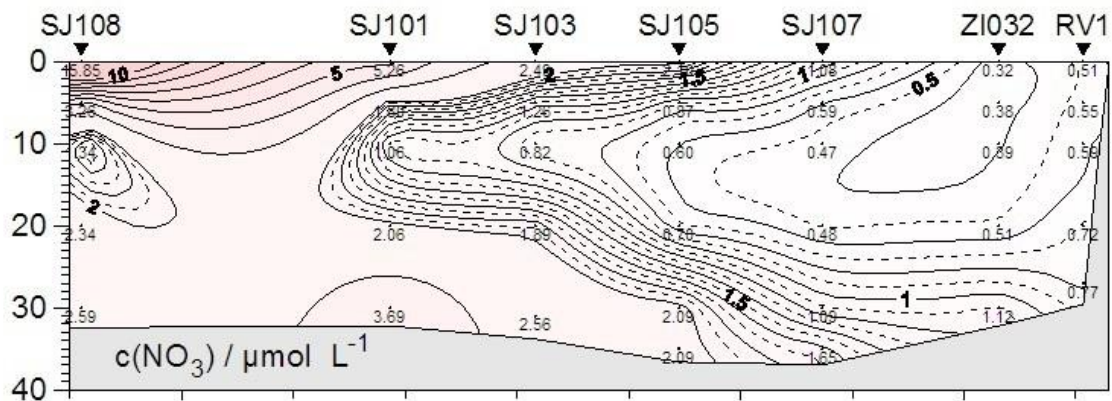
Slika 3.2.37. Koncentracija ukupnog anorganskog dušika (TIN-a) u kolovozu 2013. g.



Slika 3.2.38. Višegodišnji (1972. – 2004.) prosjek koncentracije ukupnog anorganskog dušika (TIN-a) za kolovoz.



Slika 3.2.39. Koncentracija ukupnog anorganskog dušika (TIN-a) u listopadu 2013. g.



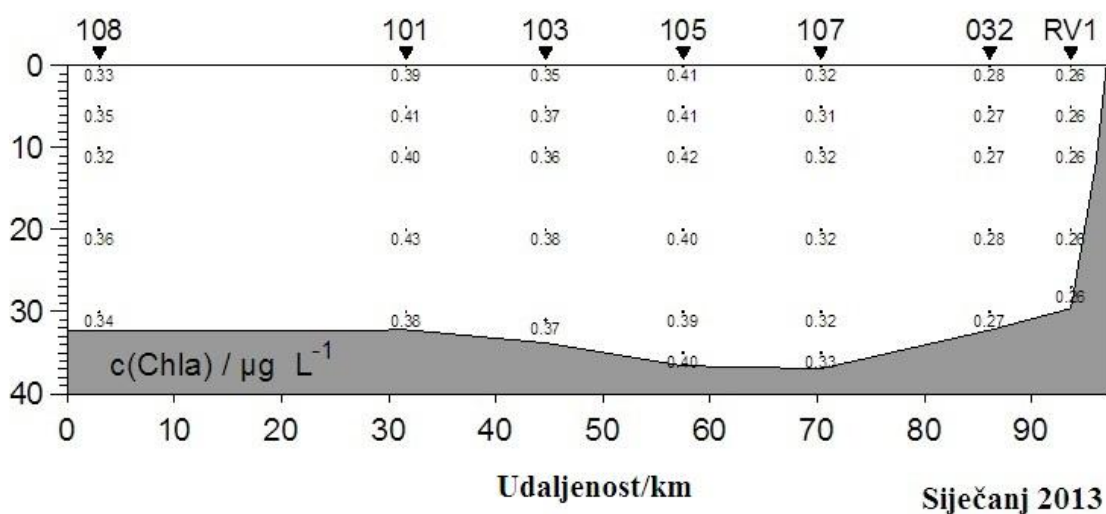
Udaljenost/km

Listopad 1972 - 2004

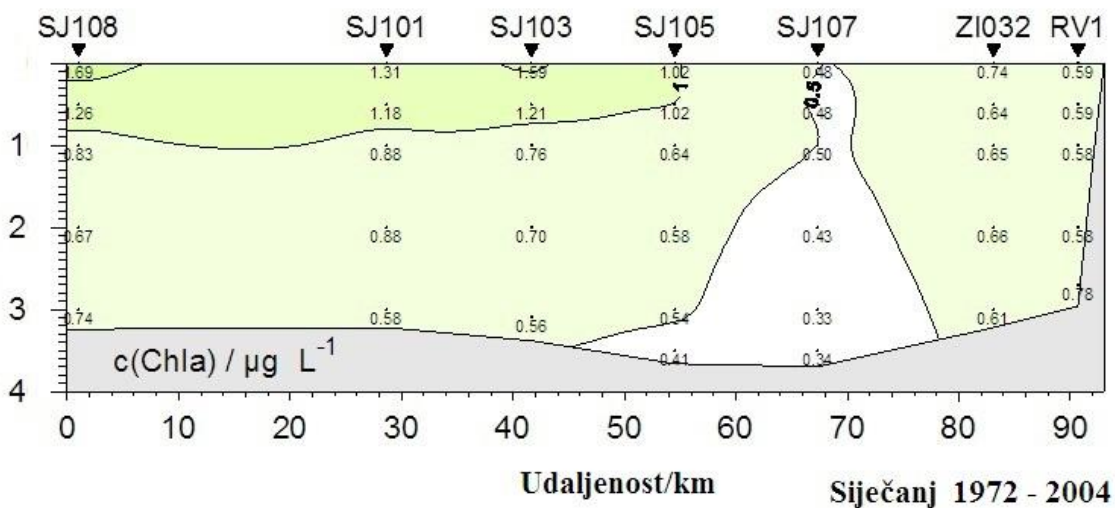
Slika 3.2.40. Višegodišnji (1972. – 2004.) prosjek koncentracije ukupnog anorganskog dušika (TIN-a) za listopad.

3.2.5. Klorofil *a*

Koncentracije klorofila *a* bile su niske u siječnju 2013. g. (Slika 3.2.41.), niže od višegodišnjeg prosjeka kroz cijeli vodeni stupac (Slika 3.2.42.). Zato je fotosintetska proizvodnja kisika bila minimalna i u ravnoteži s trošenjem kisika u procesima respiracije. Jednako su niske vrijednosti za klorofil *a* izmjerene i u površinskom sloju postaje SJ108, iako su koncentracije hranjivih soli na tom području bile značajno više nego na ostalim postajama. Vjerojatno je fitoplanktonski rast bio prvenstveno ograničen slabim sunčevim svjetlom.

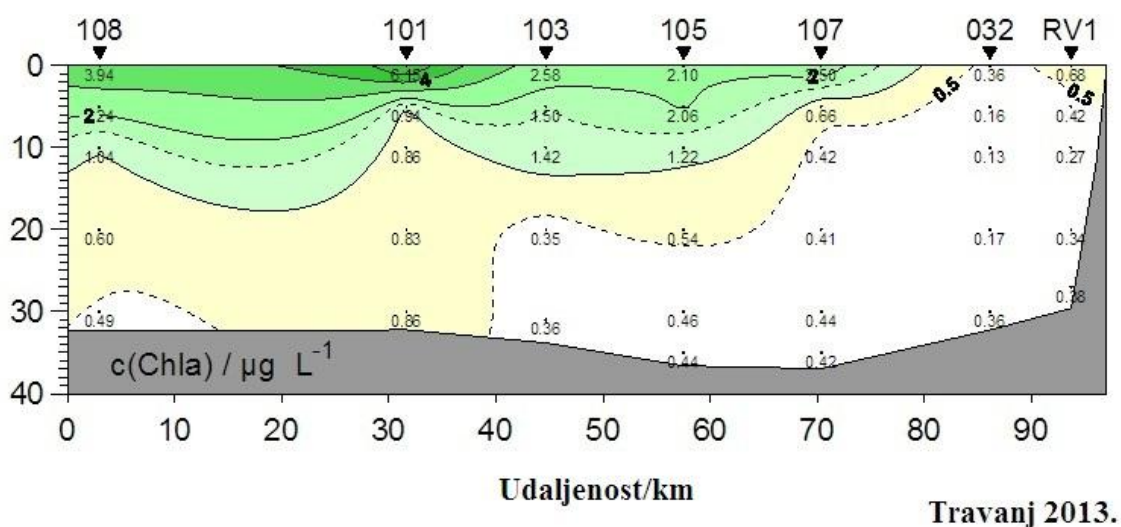


Slika 3.2.41. Koncentracija klorofila *a* u siječnju 2013. g.

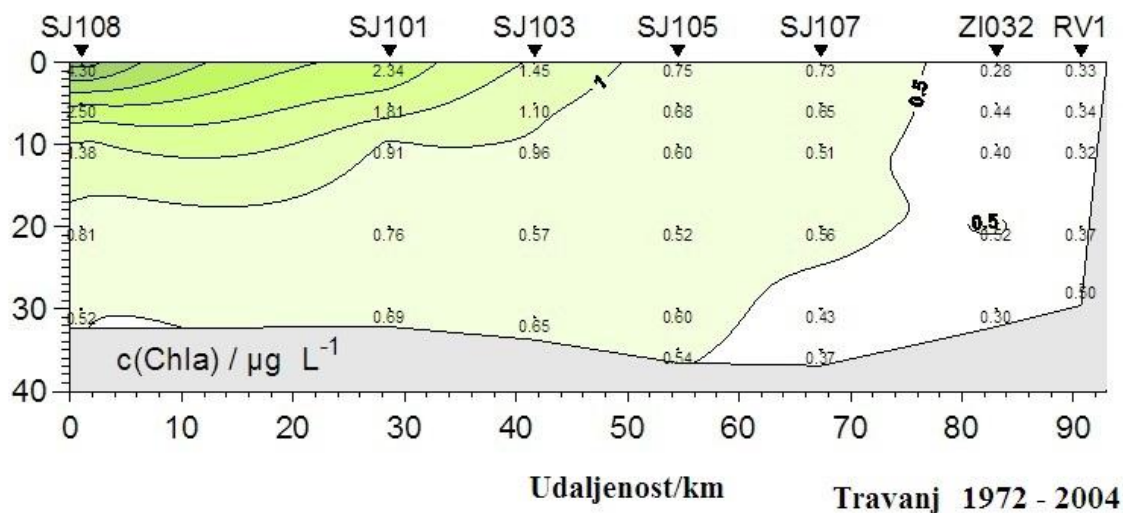


Slika 3.2.42. Višegodišnji (1972. – 2004.) prosjek koncentracije klorofila *a* za siječanj.

U travnju 2013. g. je koncentracija klorofila *a* bila znatno viša nego u siječnju u prvih 10 m dubine, ali je bila znatno niža i u odnosu na višegodišnji prosjek (Slike 3.2.43. i 3.2.44.), kao rezultat intenzivnog rasta fitoplanktona. Tada je proizvodnja kisika bila znatna gotovo duž cijelog profila i to u suvišku od njegove potrošnje u respiraciji. Međutim u donjem dijelu vodenog stupca fotosintetska proizvodnja bila je niža od potrebe za kisikom. Koncentracije hranjivih soli u površinskom sloju bile su veće nego u donjim slojevima zapadnog i središnjeg dijela profila, kao posljedica značajnog slatkovodnog donosa.

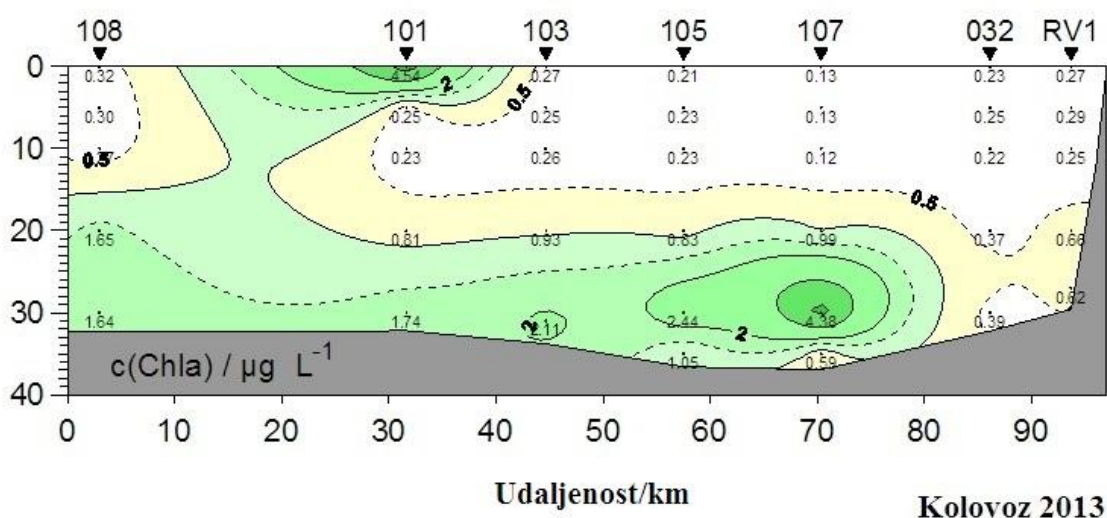


Slika 3.2.43. Koncentracija klorofila *a* u travnju 2013. g.

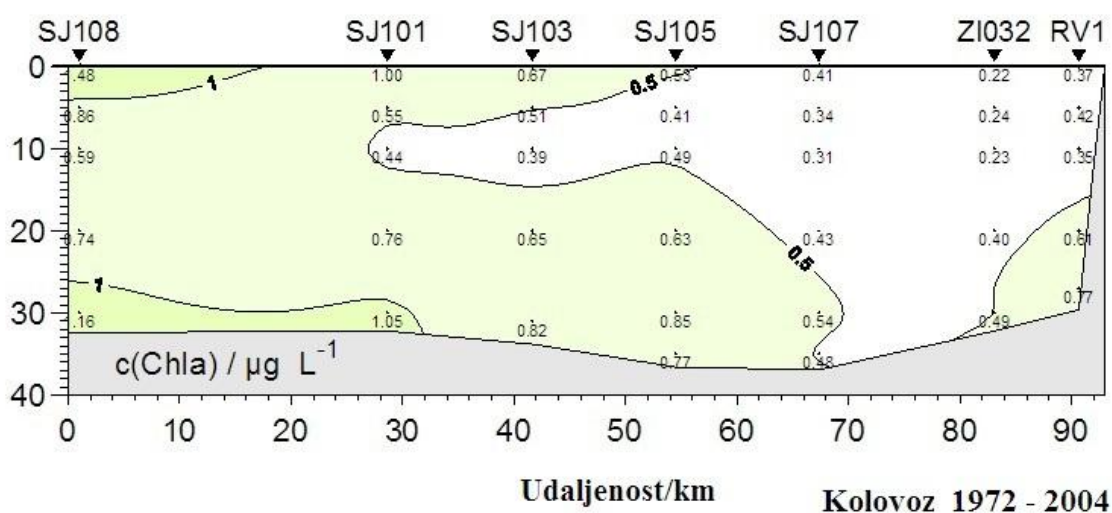


Slika 3.2.44. Višegodišnji (1972. – 2004.) prosjek koncentracije klorofila *a* za travanj.

Vrijednosti koncentracije klorofila *a* za kolovoz bile su u pridnom sloju više od višegodišnjeg prosjeka. To ukazuje na veću fitoplanktonsku aktivnost u dubljim slojevima vodenog stupca (Slike 3.2.45. i 3.2.46.) u kojima je došlo do akumulacije regeneriranih hranjivih soli. Međutim, trošenje kisika značajno je prevladavalo nad fotosintetskom proizvodnjom. Znatno sniženi slatkovodni donosi nisu nadomjestili potrošene hranjive soli u procesima primarne proizvodnje, tako da je koncentracija klorofila *a* bila čak i niža od prosjeka, osim na površini postaje SJ101, gdje je i koncentracija ortofosfata bila povišena.

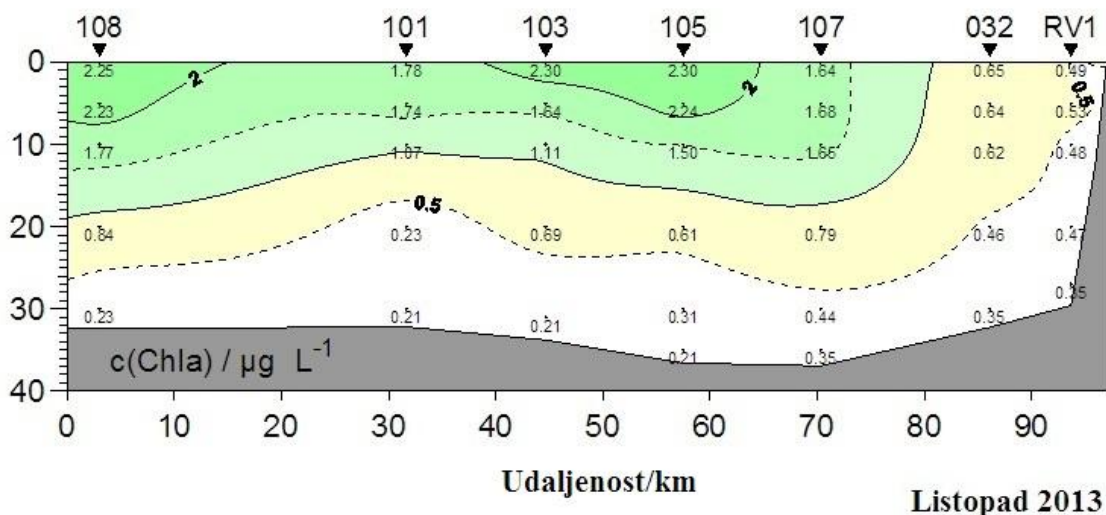


Slika 3.2.45. Koncentracija klorofila *a* u kolovozu 2013. g.

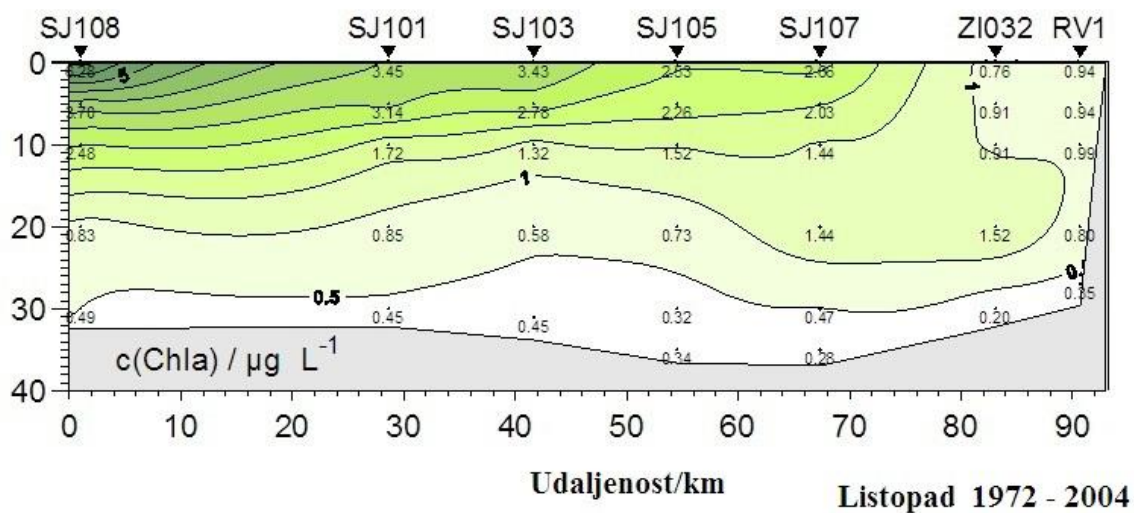


Slika 3.2.46. Višegodišnji (1972. – 2004.) prosjek koncentracije klorofila *a* za kolovoz.

Vrijednosti koncentracije klorofila a u listopadu 2013. godine (Slika 3.2.47.) bile su niže u odnosu na višegodišnji prosjek (Slika 3.2.48.), kao i koncentracija ortofosfata, koji je ograničavao rast fitoplanktona, bez obzira na relativno visoke vrijednosti anorganskog dušika. U tom mjesecu je protok rijeke Po bio znatno ispod prosjeka, što objašnjava u velikoj mjeri rezultate.



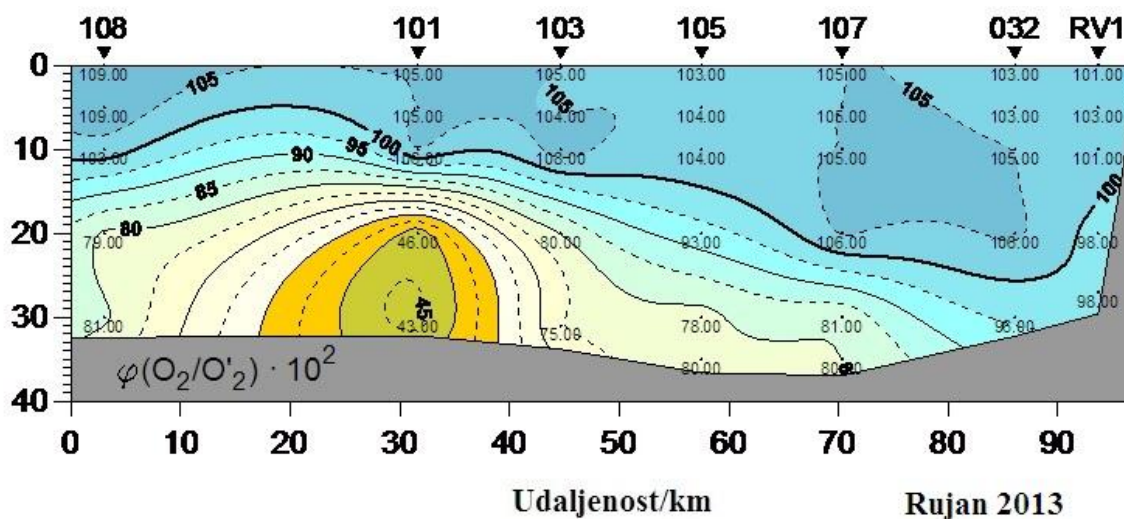
Slika 3.2.47. Koncentracija klorofila a u listopadu 2013. g.



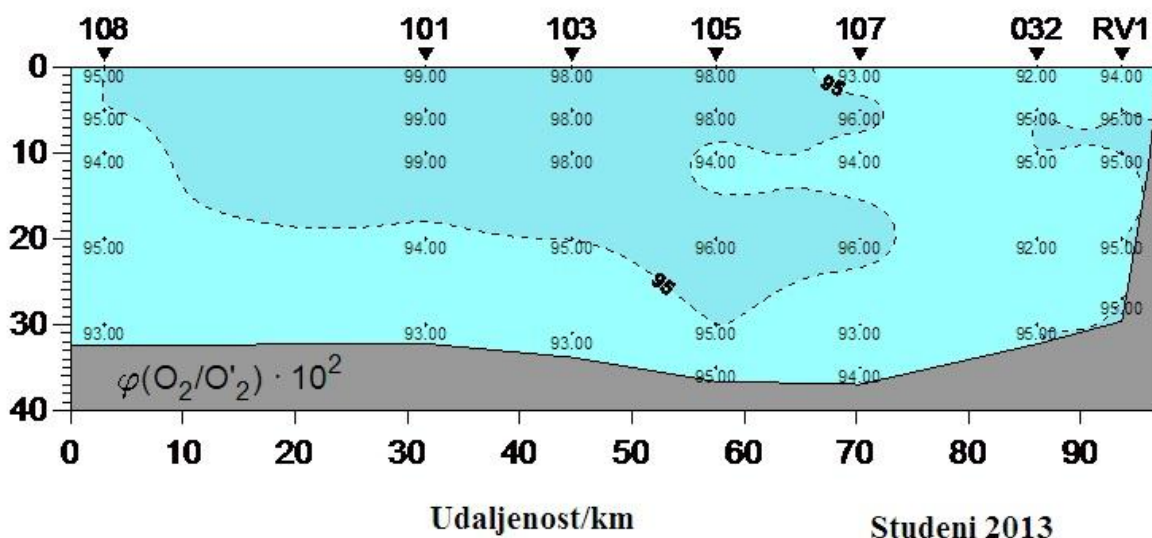
Slika 3.2.48. Višegodišnji (1972. – 2004.) prosjek koncentracije klorofila a za listopad.

3.3. Procesi eutrofikacije i sniženje kisika tijekom 2013. godine

Ekosustav sjevernog Jadrana je u 2013. godini čitavo proljeće bio pod iznimno intenzivnim utjecajem slatkih voda unosom rijeke Po. Tim unosom u ekosustav su dospjele znatne količine hranjivih soli što je pogodovalo procesima asimilacije uz znatno povećanje fitoplanktonske biomase. Naime, već u travnju je koncentracija klorofila *a* bila 2-3 puta viša od dugoročnog prosjeka na gotovo cijelom profilu, osim u priobalju zapadne Istre. Iako ne postoje podaci mjerenja u svibnju, može se pretpostaviti da je u proljeće 2013. došlo do prekomjerne eutrofikacije, slično kao na primjer 1977. g. ili 1983. g., kada je proljetni protok rijeke Po bio također neuobičajeno visok (Djakovac i sur., 2015). Proljetni slatkovodni donos hranjivih soli je glavni uzrok prekomjerne eutrofikacije u sjevernom Jadranu, jer se tada bitno smanjuje brzina izmjene vode sa srednjem Jadranom (Smodlaka i Degobbi, 1987). U tim uvjetima dolazi do nagomilavanja organske tvari za čiju se remineralizaciju prekomjerno troši kisik. U donjem dijelu raslojenog vodenog stupca kisik se ne može se potpuno nadomjestiti niti iz atmosfere niti miješanjem s prozračenim vodama iz srednjeg Jadrana. U tim je slojevima i fotosintetska proizvodnja kisika minimalna ili odsutna.



Slika 3.3.1. Otopljeni kisik u rujnu 2013. g.



Slika 3.3.2. Otopljeni kisik u studenom 2013. g.

Hipoksija, a posebno anoksija uz masovni pomor organizama predstavljaju najteže posljedice prekomjerne eutrofikacije za morski ekosustav. Za sjeverni Jadran smatra se hipoksijom volumni udio kisika niži od $2 \cdot 10^{-3}$, što odgovara udjelima zasićenja oko 30% (Djakovac i sur., 2015).

Početkom kolovoza 2013. godine udio zasićenja kisikom u pridnenom sloju većine postaja nije značajno odstupao od dugoročnog prosjeka (68-99%), osim na postaji SJ103 (48%, oko 15% niži od prosjeka). Štoviše, pri dnu postaje SJ108 neočekivana je bila vrijednost 72%, čak 20% viša od prosjeka. U slučaju kolovoza 1977. g. i 1983. g., u najvećem dijelu područja vrijednosti su bile znatno ispod prosjeka (15-40%; Slika 4. u Djakovac i sur., 2015). Hipoksija je degenerirala u anoksiju u studenom 1977., ali ne i 1983. godine.

U listopadu 2013. udio zasićenja kisikom (UZK) u pridnenom sloju zapadnog i središnjeg dijela profila bio je niži od prosjeka, ali ne znatno (do 10%). Epizodna vrijednost od 43% izmjerena je i u rujnu na postaji SJ101, dok u preostalom dijelu profila, uključujući postaju SJ108, vrijednosti su bile znatno više (75-98%; Slika 3.3.1.). Malo je vjerojatno da je u međuvremenu, dok se vodeni stupac u studenom potpuno izmiješao i prozračio (UZK oko 90%, Slika 3.3.2.), došlo do hipoksije, a još manje do anoksije kao što se npr, dogodilo 1977. godine, jer bi sigurno postojale informacije ribara o pomoru organizama i masovnim migracijama riba prema istarskoj zapadnoj obali.

Potrebno je istaknuti da se u studenom 1989. godine dogodila također anoksija i hipoksija u cijelom sjevernom Jadranu (Slika 4. u Djakovac i sur., 2015) iako je protok rijeke Po bio

znatno niži nego u 1977. g., a i u 2013. g. (iako je bio nešto viši od prosjeka). Za slučaj anoksije u 1989. g. zaključeno je da su minimalna brzina izmjene vode između sjevernog i srednjeg Jadrana kao i kašnjenje u reaktivaciji ciklonalnog strujanja u jesen bili važniji čimbenici od eutrofikacije (Djakovac i sur., 2015). Suprotno tome, očito je da je u 2013. g. dinamika vode bila intenzivnija nego u 1989. g. spriječavajući katastrofalnu pojavu anoksije.

3.4. Cvjetanje mora tijekom 2013. godine

Velike količine sluzavih nakupina primijećene su početkom srpnja na postaji SJ107, u sloju od 8 do 30 m (Slika 3.4.1.). U podpovršinskom sloju uočeno je nakupljanje organske tvari u obliku umreženih traka i manjih nakupina. Nakon nekoliko epizoda jake bure i nekoliko neverina u drugoj polovici srpnja pojava cvjetanja mora znatno je izgubila intenzitet i rasprostranjenost te se naglo prekinula. Djelovanjem bure miješa se površinski soli tako da se rasprše agregati nakupljeni u haloklinama, pa se na uzburkanoj površini ne mogu stvarati sluzavi slojevi.

Tijekom 2000-ih, kada je uočen trend oligotrofikacije, pojave cvjetanja mora bile su česte s različitim trajanjem i intenzitetom (2000. – 2004., 2006./2007.). Tada su bili ispunjeni svi potrebni hidrološki i oceanografski uvjeti (Degobbis i sur., 1999, 2005; vidi Uvod, 1.5.). Pojava je započela i 2013. godine kada je stupanj eutrofikacije bio znatno viši nego u tim godinama. To potvrđuje još jednom da eutrofikacija nije uzrok cvjetanja mora kao što je već bilo pretpostavljeno (npr. Degobbis i sur., 1999, 2005), nego je prirodna pojava koja nastaje kada se uspodtave gore navedeni uvjeti (Poglavlje 1.5.).



Slika 3.4.1. Snimak podvodnom kamerom na dubini od 12 m na postaji SJ107 (CIM, baza podataka).

3.5. Značaj događaja u 2013. godini za dugoročna kolebanja procesa eutrofikacije u sjevernom Jadranu

Dugoročna kolebanja eutrofikacijskog pritiska u sjevernom Jadranu u gruboj su korelaciji s protokom rijeke Po, više nego s promjenama koncentracije hranjivih soli u samoj rijeci (Giani i sur., 2012.). Od kasnih 1980-ih godina uočava se i jači utjecaj meteoroloških uvjeta i dinamike mora. Tako je koncentracija hranjivih soli u moru bila u prosjeku viša u razdoblju 1972. - 1978., kada je i protok bio viši, od razdoblja 1980. - 1985., iako je tada koncentracija hranjivih soli u rijeci bila najviša. Nakon 1986. godine, a sve do 2002., protok se u prosjeku održao na razini prethodnog razdoblja, ali je koncentracija fosfornih spojeva bila snižena otprilike na polovicu uslijed zabrane korištenja polifosfata kao punila u detergentima, što se odrazilo i na morski ekosustav, uz smanjenje eutrofikacije. Naime, ovi spojevi djeluju kao glavni ograničavajući čimbenik rasta fitoplanktona.

U razdoblju 2003. - 2007. g. proljetni protok rijeke Po je bio iznimno niži od dugoročnog prosjeka s minimalnim vrijednostima (Tablica 3.5.1.), nikad ranije zabilježenim od 1917. godine (Djakovac, osobno saopćenje). Tada se u znanstvenim radovima govorilo o oligotrofikaciji sjevernog Jadrana uz nadu da će se sanirati stanje u ekosustavu (Giani i sur., 2012). Podaci, međutim, pokazuju da je već od 2008. godine, proljetni protok rijeke Po opet postao znatno češće iznadprosječan, a posebno 2013. (Tablica 3.5.1.).

Godina	Q/ m ³ s ⁻¹	N<950/m ³ s ⁻¹	N=951-1900/m ³ s ⁻¹	N=1901-3800/m ³ s ⁻¹	N>3801/m ³ s ⁻¹
2003.	375-1450	71	20	0	0
2004.	534-5403	26	51	9	5
2005.	257-1667	60	31	0	0
2006.	230-1149	86	5	0	0
2007.	320-2101	62	25	4	0
2008.	837-6013	22	28	23	18
2009.	1015-8073	0	14	52	25
2010.	1280-6195	0	47	27	17
2011.	627-3150	41	40	10	0
2012.	740-3426	25	58	8	0
2013.	1798-7120	0	9	61	21

Tablica 3.5.1. Protok rijeke Po u proljeće za razdoblje 2003.-2013.(Q) i broj slučajeva dnevnih protoka određenih vrijednosti i raspona (N).

Važno je kod toga istaknuti da u ovom zadnjem razdoblju s visokim proljetnim protokom (nakon 2008. g.) nije zabilježena jesenska hipoksija, osim 2010. i to na granici od $2 \cdot 10^{-3}$ volumskog udjela kisika te u 2012. g. uz ograničenje samo na zapadne postaje profila. Vjerojatno je, za razliku od ranijih razdoblja u ovom, izmjena vode i uopće dinamika mora povoljnija i ograničava posljedice eutrofikacije. Sigurno je da u svemu tome ulogu igra i smanjenje donosa fosfora u more, što bi se trebalo i dalje temeljito provoditi pročišćavanjem otpadnih voda uz poduzimanje mjera za sprječavanje erozije poljoprivrednih površina.

Zbog toga su potrebna daljnja stalna praćenja da se utvrdi da li postoji trend u povoljnom djelovanju dinamike mora, koji je povezan i s klimatskim fluktuacijama, ali i u aktivnostima smanjivanja zagađenja u sjevernojadranskim slivovima.

4. ZAKLJUČCI

1. Protok rijeke Po u 2013. g. bio je izrazito visok u proljeće, uz pojedine maksimalne pikove ($>7000 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$) koji spadaju među nekoliko najviših vrijednosti protoka od kada postoje mjerenja (od 1917. g.). To potvrđuju i razlike $>2\sigma$ od višegodišnjeg prosjeka.
2. Sniženje udjela zasićenja kisikom u pridnenim slojevima tijekom ljeta i jeseni ukazivalo je na mogućnost nastajanja hipoksije, ali se zbog izmjene vode između sjevernog i srednjeg Jadrana u jesen (otvaranje cirkulacije) vodeni stupac potpuno izmiješao i prozračio, te je potencijalna hipoksija (pa tako i anoksija) u ovoj godini izostala.
3. U srpnju 2013. g. započelo je i cvjetanje mora. Iako je stupanj eutrofikacije bio znatno visok uz nagli skok temperature površinskog sloja, proces stvaranja sluzavih nakupina se nije nastavio jer je izostao jedan od važnih čimbenika koji pogoduju nastajanju sluzavih nakupina - duže razdoblje visokog atmosferskog tlaka i mirnog mora.
4. Sjeverni Jadran poznat je po procesima eutrofikacije zbog proljetnog slatkovodnog donosa hranjivih soli. Međutim, od 2002. do 2008. g. bio je izražen trend oligotrofikacije zbog višegodišnjeg, izrazito sniženog protoka rijeke Po. Ponovnim uspostavljanjem povećanog unosa hranjivih soli u sjeverni Jadran taj je trend oligotrofikacije prekinut. Tomu naročito ide u prilog 2013. godina.

5. TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

SVEUČILIŠTE JURJA OBRILE U PULI
SVEUČILIŠNI PREDDIPLOMSKI STUDIJ ZNANOST O MORU

SAŽETAK

Promjene eutrofnih uvjeta u sjevernom Jadranu tijekom 2013. godine

U ovom radu analizirani su podaci oceanografskih parametara (temperatura, salinitet, udio zasićenja kisikom, koncentracije hranjivih soli - ortofosfata i ukupnog anorganskog dušika te klorofila *a*) u sjevernom Jadranu tijekom 2013. godine. Podaci su sakupljeni na 7 postaja profila Rovinj delta rijeke Po. Osim toga, korišteni su i podaci o protoku rijeke Po. Svi su korišteni za definiranje eutrofnih uvjeta na istraživanom području. Podaci za 2013. g. su potom uspoređeni s dugoročnim prosjecima za razdoblje 1972. - 2004. g. kako bi se procijenilo da li je došlo do značajnijih odstupanja od višegodišnjeg prosjeka.

Ekosustav sjevernog Jadrana je u 2013. godini čitavo proljeće bio pod iznimno intenzivnim utjecajem slatkih voda unosom rijeke Po, pa su se očekivale posljedice eutrofnih uvjeta kao što su hipoksija i cvjetanje mora. Međutim, započete pojave nisu se nastavile, vjerojatno zbog intenzivnije cirkulacije i izmjena voda između sjevernog i srednjeg Jadrana.

Izražen trend oligotrofikacije, zabilježen u razdoblju od 2002. do 2008. g. zbog izrazito sniženog protoka rijeke Po, je prekinut ponovnim uspostavljanjem povećanog unosa hranjivih soli u sjeverni Jadran.

Rad je pohranjen u knjižnicama Sveučilišta Jurja Dobrile u Puli i Instituta „Ruđer Bošković“ u Rovinju.

(54 stranice, 55 slika, 1 tablica i 36 literaturna navoda; izvornik na hrvatskom jeziku)

Ključne riječi: eutrofikacija, oceanografska svojstva, protok rijeke Po, hipoksija, cvjetanje mora, sjeverni Jadran.

6. BASIC DOCUMENTATION CARD

JURAJ DOBRILA UNIVERSITY OF PULA
UNIVERSITY UNDEGRADUATE STUDY PROGRAMME - MARINE SCIENCES

ABSTRACT

Changes of eutrophic conditions in the northern Adriatic during 2013

In this paper, data of oceanographic parameters (temperature, salinity, oxygen saturation content, nutrient concentrations-orthophosphate and total inorganic nitrogen and chlorophyll *a*) in the northern Adriatic in 2013 were analyzed and related to the Po River flow rates. Oceanographic data were collected on 7 stations of the profile Rovinj-Po Delta. Data elaboration defined eutrophic conditions in the study area. Furthermore, long-term average statistical models (1972-2004) were used to determine possible significant deviations in values and/or seasonal patterns of all the studied parameters.

The ecosystem of the northern Adriatic during spring 2013 was under very intense influence of Po riverine fresh water, therefore, eutrophic conditions consequences, as hypoxia, as well as mucilage events were expected. However, started phenomena are not continued, presumably due to the favourable system of circulation and intensive exchange of the middle and northern Adriatic waters.

Significant oligotrofication trend evidenced in the period 2002-2008 due to markedly reduced Po River flow rate was interrupted by re-establishing increased nutrients inflow in the northern Adriatic.

The thesis is stored in the Libraries of Juraj Dobrila University of Pula and „Ruđer Bošković” Institute in Rovinj.

(54 pages, 55 figures, 1 table and 36 references; original in Croatian)

Keywords: eutrophication, oceanographic properties, Po River flow rate, hypoxia, mucilage, northern Adriatic.

7. LITERATURA

- Artegiani, A., Azzolini, R., Salusti, E. (1989) On the dense water in the Adriatic Sea. *Oceanol. Acta*, 12 (2), 151-160.
- Artegiani, A., Bregant, D., Paschini, E., Pinardi, N., Raicich, F., Russo, A. (1997) The Adriatic Sea General Circulation. Part I: Air-sea interactions and water mass structure. *J. Phys. Oceanogr.*, 27, 1492-1514.
- Cozzi, S., Giani, M. (2011) River water and nutrient discharges in the Northern Adriatic Sea: Current importance and long term changes. *Cont. Shelf Res.* 31, 1881-1893.
- Degobbi, D., Gilmartin, M. (1990) Nitrogen, phosphorus and silicon budgets for the northern Adriatic Sea. *Oceanol. Acta*, 13, 1-45.
- Degobbi, D., Malej, A., Fonda Umani, S. (1999) The mucilage phenomenon in the northern Adriatic Sea. A critical review of the present scientific hypotheses. *Ann. Ist. Super. Sanita*, 35(3): 373-383.
- Degobbi, D., Precali, R., Ivančić, I., Smodlaka, N., Fuks, D., Kveder, S. (2000) Long-term changes in the northern Adriatic ecosystem related to anthropogenic eutrophication. *Int. J. Envir. Poll.*, 13 (1-6), 495-533.
- Degobbi, D., Precali, R., Ferrari, C.R., Djakovac, T., Rinaldi, A., Ivančić, I., Gismondi, M., Smodlaka, N. (2005) Changes in nutrient concentrations and ratios during mucilage events in the period 1999-2002. *Sci. Total Environ.*, 353: 103-114.
- Deserti, M., Cacciamani, C., Chiggiato, J., Rinaldi, A., Ferrari, C.R., 2005. Relationships between northern Adriatic Sea mucilage events and climate variability. *Sci. Total Environ.* 353, 82-88.
- Djakovac, T., Degobbi, D., Supić, N., Precali, R. (2012) Marked reduction of eutrophication pressure in the northeastern Adriatic in the period 2000-2009. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 115, 25-32.
- Djakovac, T., Supić, N., Aubry, B.F., Degobbi, D., Giani, M. (2015) Mechanisms of hypoxia frequency changes in the northern Adriatic Sea during the period 1972-2012. *J. Mar. Syst.*, 141, 179-189.
- Đakovac, T. (2003) Promjene oceanografskih uvjeta i stupnja eutrofikacije u sjevernom Jadranu u razdoblju 1972.-2000. Magistarski rad, Sveučilište u Zagrebu, 107 pp.
- Đakovac, T. (2006) Učestalost i uvjeti nastajanja cvjetanja mora, izrazite hipoksije i anoksije u sjevernom Jadranu. Doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, 139 pp.
- Franco, P., Jeftić, L., Malanotte-Rizzoli, P., Michelato, A., Orlić, M. (1982) Descriptive model of the Northern Adriatic. *Oceanol. Acta*, 5, 379-389.
- Franco, P., Michelato, A. (1992) Northern Adriatic Sea: Oceanography of the basin proper and the western coastal zone. *Sci. Total Environ.* (Suppl.), 35-62.
- Gačić, M., Poulain, P.M., Zore-Armanda, M., Barale, V. (2001) Overview. In: Benoit CR, Gačić, M., Poulain, P.M., Artegiani, A., editors. Physical oceanography of the Adriatic Sea Past, present and future. Dordrecht 7 Kluwe Academic Publ.; pp. 1-44.
- Giani, M., Djakovac, T., Degobbi, D., Cozzi, S., Solidoro, C., Fonda Umani, S. (2012). Recent changes in the marine ecosystems of the northern Adriatic Sea. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 115, 1-13.

- Ivančić, I., Degobbi, D. (1984) An optimal manual procedure for ammonia analysis in natural waters by the indophenol blue method. *Water Res.*, 18, 1143-1147.
- Manca, B.B., Kovačević, V., Gačić, M., Viezzolo, D. (2002) Dense water formation in the Southern Adriatic Sea and spreading into the Ionian Sea in the period 1997-1999. *J. Mar. Syst.*, 33-34: 133-154.
- Marchetti, R., Pachetti, G., Provini, A. (1985) Tendenze evolutive della qualità delle acque del Po. *Nova Thalassia*, 7, 311-340.
- Mosetti, F. (1983) A tentative attempt at determining the water flow through the Otranto Strait: the mouth of the Adriatic Sea, Criterion for applying the computation of dynamics height anomalies on the water budget problems. *Boll. Oceanol. Teor. Appl.*, 1, 143-163
- Orlić, M., Gačić, M., La Violette, P.E. (1992) The currents and circulation of the Adriatic sea. *Oceanol. Acta*, 15, 109-124.
- Parsons, T.R., Maita, Y., Lalli, C.M. (1985) A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis. *Pergamon Press*. Oxford, New York, Toronto, Sydney and Frankfurt.
- Poulain, P.M., Kourafalou, V.H., Cushman-Roisin, B. (2001) Chapter 5. Northern Adriatic Sea. In *Physical oceanography of the Adriatic Sea Past, present and future*, Cushman-Roisin *i sur.*, eds., Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 143-165.
- Precali, R. (1995) Analiza višegodišnjih ciklusa primarne proizvodnje u sjevernom Jadranu i procjena stupnja eutrofikacije. Doktorska disertacija. Institut "Ruđer Bošković", Sveučilište u Zagrebu, Rovinj, 146 pp.
- Precali, R., Giani, M., Marini, M., Grilli, F., Ferrari, C. R., Pečar, O., Paschini, E. (2005) Mucilaginous aggregates in the northern Adriatic Sea in the period 1999-2002: Typology and distribution. *Sci. Total Environ.*, 353: 10–23.
- Raymont, J.E.G. (1980) Plankton and productivity in the ocean. vol. 1. Phytoplankton, 2nd edition, Pergamon Press, Oxford, 489 pp.
- Smodlaka, N. (1985) Primarna proizvodnja organske tvari kao indikator eutrofikacije u sjevernom Jadranu. Doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Institut "Ruđer Bošković", Rovinj, 262 pp.
- Smodlaka, N., Degobbi, D. (1987) Problemi di valutazione dell'effetto eutrofizzante del carico di nutrienti sulle acque al largo dell'Adriatico Settentrionale. *Acqua Aria*, 1: 53-60.
- Strickland, J.D.H., Parsons, T.R. (1972) A practical handbook of seawater analyses. *Fish. Res. Bd Canada Bull.*, 167, 311.
- Tartari, G., Milan, C., Elli, M. (1991) Idrochimica dei nutrienti. In: *La Qualità delle Acque del Fiume Po negli Anni '90*, Atti del convegno, Ferrara, 18-20 Aprile, *Quaderni*, 92, 6.1-6.29.
- UNESCO (1983) Algorithms for computation of fundamental properties of seawater. UNESCO Technical Papers in Marine Science, No. 44, 53 pp.
- UNESCO (1986) Progress on oceanographic tables and standards 1983-1986: Work and recommendations of the Unesco/SCOR/ICES/IAPSO Joint Panel., UNESCO Technical Papers in Marine Science, No. 50, 59 pp.
- Vilibić, I. (2003) An analysis of dense water production on the North Adriatic shelf. *Estuar. Coast. Shelf S.*, 56: 697-707.

- Vilibić, I., Orlić, M. (2001) Least squares tracer analysis of water masses in the South Adriatic (1967-1990). *Deep-Sea Res. Pt. I*, 48, 2297-2330.
- Vilibić, I., Orlić, M. (2002) Adriatic water masses, their rates of formation and transport through the Otranto Strait. *Deep-Sea Res. Pt. I*, 49, 1321-1340.
- Zore-Armanda, M., Pucher-Petković, T. (1976) Some dynamics and biological characteristics of the Adriatic and other basins of the eastern Mediterranean Sea. *Acta Adriat.*, 18, 17-27.

ZAHVALE

Veliku zahvalnost izražavam svojoj mentorici Izv. prof. dr. sc. Tamari Đakovac na pomoći i strpljenju, te na iskazanom povjerenju, vodstvu i korisnim diskusijama tijekom izrade ovog rada.

Također, zahvalu upućujem i dr.sc. Danilu Degobbisu na znanstvenim i stručnim savjetima.

Želim se zahvaliti Laboratoriju za procese u ekosustavu mora (CIM-Rovinj), te djelatnicima istraživačkog broda „Vila Velebita“ na stjecanju praktičnih terenskih iskustava u okviru znanstveno-istraživačkog rada.

Zahvaljujem se svojim roditeljima i prijateljima koji su me uvijek podržavali i motivirali.