

Utjecaj atmosferskih prilika na površinski salinitet i temperaturu mora u Jadranu u rujnu za razdoblje od 2010. do 2019. godine

Sršen, Daria

Master's thesis / Diplomski rad

2022

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:226:990851>

Rights / Prava: [Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International/Imenovanje-Nekomercijalno-Bez prerada 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-06-29**



Repository / Repozitorij:

[Repository of University Department of Marine Studies](#)



UNIVERSITY OF SPLIT



**SVEUČILIŠTE U SPLITU
SVEUČILIŠNI ODJEL ZA STUDIJE MORA
DIPLOMSKI STUDIJ MORSKO RIBARSTVO**

Daria Sršen

**UTJECAJ ATMOSFERSKIH PRILIKA NA
POVRŠINSKI SALINITET I TEMPERATURU MORA U
JADRANU U RUJNU ZA RAZDOBLJE OD 2010. DO
2019. GODINE**

Diplomski rad

Split, srpanj 2022.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
SVEUČILIŠNI ODJEL ZA STUDIJE MORA
DIPLOMSKI STUDIJ MORSKO RIBARSTVO

UTJECAJ ATMOSFERSKIH PRILIKA NA
POVRŠINSKI SALINITET I TEMPERATURU MORA U
JADRANU U RUJNU ZA RAZDOBLJE OD 2010. DO
2019. GODINE

Diplomski rad

Predmet: Osnove meteorologije

Mentor:

Doc. dr. sc. Frano Matić

Komentor:

Dr. sc. Tomislav Džoić, znanstveni suradnik

Student:

Daria Sršen

Split, srpanj 2022.

Sveučilište u Splitu
Sveučilišni odjel za studije mora
Diplomski studij Morsko ribarstvo

Diplomski rad

**UTJECAJ ATMOSFERSKIH PRILIKA NA POVRŠINSKI SALINITET I
TEMPERATURU MORA U JADRANU U RUJNU ZA RAZDOBLJE OD 2010. DO
2019. GODINE**

Daria Sršen

Sažetak

U ovom radu analiziran je utjecaj atmosferskih čimbenika (temperature zraka i oborine) na temperaturu mora i salinitet te strujanje u Jadranskom moru za mjesec rujan u razdoblju od 2010. do 2019. godine. Prikazana je višegodišnja varijabilnost prostorne raspodjele temperature mora i saliniteta na dubini od 5 m, te strujanja na 5 i 20 m dubine. Podatci saliniteta i temperature na 5 m dubine dobiveni su višegodišnjim terenskim uzorkovanjem korištenjem CTD sonde, polja struja su produkt numeričke reanalize Copernicus programa, dok su podatci o temperaturi zraka i oborina rezultat klimatološke analize mjerenja na postajama Državnog hidrometeorološkog zavoda. Za promatrano razdoblje uočena je iznimna višegodišnja varijabilnost srednje temperature zraka i količine oborina te površinske temperature. Osim atmosferskih čimbenika na svojstva Jadranskog mora je utjecalo i Sredozemno more kroz komunikaciju preko Otrantskih vrata. U promatranom razdoblju zabilježen je porast saliniteta što je rezultiralo rekordnim vrijednostima saliniteta koje su bile veće od ranije izmjerenih.

(41 stranica, 22 slike, 32 literaturnih navoda, jezik izvornika: hrvatski)

Ključne riječi: salinitet, temperatura mora, oborine, Jadransko more, morske struje, višegodišnja varijabilnost, klimatske promjene

Mentor: Doc. dr. sc. Frano Matić

Komentor: Dr. sc. Tomislav Džoić, znanstveni suradnik

Ocjenjivači: 1. Prof. dr. sc. Svjetlana Krstulović Šifner

2. Doc. dr. sc. Frano Matić

3. Dr. sc. Tomislav Džoić, znanstveni suradnik

University of Split
Department of Marine Studies
Graduate study Marine Fishery

MScThesis

**INFLUENCE OF ATMOSPHERIC CONDITIONS ON SURFACE SALINITY AND
SEA TEMPERATURE IN THE ADRIATIC IN SEPTEMBER FOR THE PERIOD
FROM 2010. TO 2019.**

Daria Sršen

Abstract

In this paper, the influence of atmospheric factors (air temperature and precipitation) on sea temperature and salinity and currents in the Adriatic Sea is analyzed for the month of September in the period from 2010 to 2019. Long-term variability of the spatial distribution of sea temperature and salinity at 5 m depth and currents at 5 and 20 m depth is presented. The data on salinity and temperature at 5 m depth were obtained by multi-year field sampling with CTD probes, the current fields are the product of numerical reanalysis of the Copernicus program, while the data on air temperature and precipitation are the result of climatological analysis of measurements at Croatian meteorological and hydrological service stations. Exceptional multiyear variability in the mean air temperature and precipitation, as well as in the surface temperature, was found for the observed period. In addition to atmospheric factors, the characteristics of the Adriatic Sea were also influenced by the Mediterranean Sea through the Strait of Otranto. An increase in salinity was observed during the observed period, leading to record salinity values, higher than those previously measured.

(41 pages, 22 figures, 32 references, original in: Croatian)

Keywords: salinity, sea temperature, precipitation, Adriatic Sea, sea currents, multi-year variability, climate changes

Supervisor: Frano Matić, PhD / Assistant Professor

Co-supervisor: Tomislav Džoić, PhD / Research Associate

Reviewers: 1. Svjetlana Krstulović Šifner, PhD / Full Professor

2. Frano Matić, PhD / Assistant Professor

3. Tomislav Džoić, PhD / Research Associate

SADRŽAJ:

| | |
|---|----|
| 1. UVOD | 1 |
| 1.1. Dosadašnja istraživanja..... | 4 |
| 1.2. Svrha i ciljevi rada | 6 |
| 2. MATERIJALI I METODE | 7 |
| 2.1. Obrada podataka..... | 9 |
| 3. REZULTATI | 12 |
| 3.1. Temperatura mora i salinitet..... | 12 |
| 3.2. Strujanja u Jadranskom moru..... | 21 |
| 3.2.1. Struje na dubini 5 m | 21 |
| 3.2.2. Struje na dubini 20 m | 24 |
| 3.3. Odstupanja srednje temperature zraka i količine oborina..... | 26 |
| 4. RASPRAVA..... | 35 |
| 5. ZAKLJUČCI..... | 37 |
| 6. LITERATURA..... | 39 |

1. UVOD

Jadransko more je zaljev Sredozemnoga mora smješten između Balkanskog i Apeninskog poluotoka, okružen gorskim lancima Apenina, Alpa, Dinarida i Helenida. Najsjevernije more Mediterana se može klasificirati kao usko, poluzatvoreno more. Pruža se u smjeru sjeverozapad-jugoistok, gdje se kroz Otrantska vrata spaja s Jonskim morem. Površina mu iznosi 138.595 km², duljina 783 km, prosječna širina 248,3 km, a prosječna dubina 173 m, što ga svrstava u plitka mora. Jadransko more dijeli se na tri područja: sjeverni Jadran i srednji Jadran, koji su relativno plitki jer su tijekom ledenih doba u prošlosti bili dio kopna, te južni Jadran koji je ujedno i najdublji. Najveća dubina izmjerena je u Južnojadranskoj kotlini i iznosi 1.228 m. Granicu između sjevernog i srednjeg Jadrana čini Jabučka kotlina, dok je granica između južnog i srednjeg Jadrana Palagruški prag (Cushman-Roisin i sur., 2001; Viličić, 2014).

Salinitet površinskog sloja mora je iznimno podložan dvjema vrstama vanjskih utjecaja: gubitku odnosno dobitku mase. Pod gubitkom prvenstveno mislimo na procese isparavanja koji uzrokuju povećanje sadržaja soli u morskoj vodi, dok se pod dobitcima smatraju procesi koji razrjeđuju more poput oborina i dotoka slatke vode u ušćima rijeka odnosno podmorskim vrućinama. Prema prosjeku saliniteta za Jadransko more se može reći da pripada slanim morima. U sjevernom dijelu utječe rijeka Po, koja pritom smanjuje salinitet u sjevernom Jadranu, što utječe na to da salinitet raste idući od sjevernog prema južnom Jadranu. Navedeno se ponajbolje vidi u prosječnim iznosima saliniteta, gdje salinitet u sjeverozapadnom dijelu Jadrana iznosi 35, dok je u jugoistočnom 38. Salinitet je podložan utjecajima na različitim vremenskim skalama: godišnjim koji su vezani s godišnjim hodom isparavanja pri čemu su ljeti iznosi saliniteta na površini veći, a zimi manji; višegodišnjim koji su povezani s jadranskim ingresijama, to jest pojačanim dotocima slanije Sredozemne vode u Jadransko more, te dugogodišnjima koje se očituju u pozitivnom trendu u salinitetu tijekom posljednjih nekoliko desetljeća (Artegiani i sur., 1997a; Viličić, 2014).

Povećanje saliniteta kontinuirano je prisutno u zadnjih nekoliko desetljeća, pri čemu je recentni porast od 0,14 zabilježen u razdoblju od 2015. do 2018. godine. U ljeto i jesen 2017. godine na području južnog Jadrana i na Palagruškom pragu po prvi put su zabilježene izrazito visoke vrijednosti saliniteta koje su iznosile preko 39 i obuhvaćale su prvih 30 metara vodenog stupca. Takva pojava je dosad bila karakteristična za slanije i toplije područje Levanta, gdje se stvara Levantinska intermedijarna voda, najslanija voda u Sredozemlju. Vrlo visoke vrijednosti saliniteta (iznad 38,9), nisu bile samo odlike ljeta i jeseni 2017. godine, već su izmjerene u

gornjih 100 m vodenog stupca u južnom Jadranu početkom ožujka 2017. godine i na dubinama od 200 do 300 m u Otrantskom tjesnacu i sjevernom Jonskom moru tijekom većeg dijela 2017. godine. Specifičnost vertikalne raspodjele takvog povišenog saliniteta je bila u tome da su najveće vrijednosti saliniteta uočavane u sloju koji je obuhvaćao prvih 25 do 40 m dubine. Vodene mase visokog saliniteta bile su praćene slabijim strujama, što ukazuje na njihovu relativnu stacioniranost. Pojavi visokog saliniteta prethodila je u siječnju 2017. godine vrlo jaka epizoda konvekcije otvorenog oceana, koju je obilježila jaka bura i izrazito hladno vrijeme duž Jadranskog mora. Riječni dotok slatke vode tijekom većeg dijela 2016. godine bio je manji od prosjeka. Vrlo niska stopa oborina pojačala je jadransko-jonsku termohalinu cirkulaciju tijekom kasne zime i proljeća 2017. godine. Uvažavajući spomenute procese smanjenog dotoka slatke vode i niskih stopa oborina, objašnjeno je u istraživačkim radovima da je pojava vodenih masa iznimno visokog saliniteta uzrokovana ne samo pojačanim dotokom vodenih masa visokog saliniteta iz Levanta i Jonskog mora, već dijelom i zbog procesa u samom Jadranu koji su poslužili kao prekondicijski čimbenici (Mihanović i sur., 2021).

Jadran je umjereno toplo more s izraženim sezonskim karakteristikama uvjetovanim površinskim protokom topline, što se manifestira u zagrijavanju Jadrana u ljetnom dijelu godine i njegovom hlađenju u zimskom dijelu (Grbec i sur., 2018). Zimi je površinska temperatura sjevernog Jadrana manja od 8 °C, dok je na južnom Jadranu oko 13 °C, dok je ljeti površinska temperatura izjednačena u cijelom bazenu i kreće se između 24 °C i 25 °C. Na dubini od 10 do 30 m temperatura naglo opada s dubinom (tzv. sloj termokline), a na većim dubinama temperatura poprima konstantnu vrijednost između 12 °C i 14 °C. Zbog međugodišnje promjenjivosti temperature u određenim zimskim razdobljima opažene su vrijednosti do 4 °C, a u pojedinim ljetnim razdobljima temperature su veće od 28 °C (Damijanić, 2019).

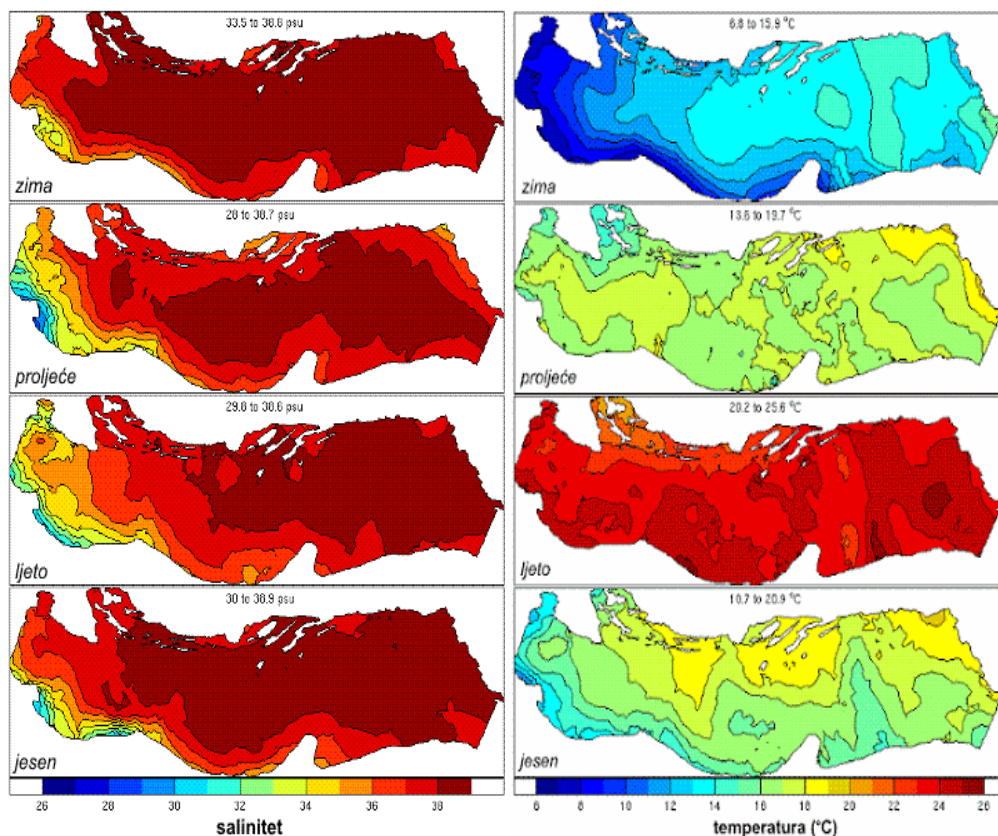
Izduženi oblik bazena i njegova uvučenost u kopno djeluje na strujanje u Jadranskom moru. U Jadranskom moru su važne dvije morske struje koje zajedno stvaraju obrazac ciklonalnog strujanja. Istočno jadranska je sporija struja koja prati istočnu obalu i pri tome donosi vodu iz Jonskog mora prema sjeveru. Zapadno jadranska je brža struja koja prati zapadnu obalu te odnosi vodu kroz Otrantska vrata (Artegiani i sur., 1997b).

Jadransko i Jonsko more usko su isprepleteni BiOS mehanizmom (eng. *Adriatic-Ionian Bimodal Oscillating System*). To se ponajbolje vidi na primjeru stvaranja vodene mase velike gustoće u sjevernom i južnom Jadranu koje potom dovodi do oscilacija u dinamici jadransko-jonskog bazena jer istjecanjem iz Jadrana gusta voda uzrokuje izmjenu režima cirkulacije u sjevernom dijelu Jonskog mora. Anticiklonalna cirkulacija u Jonskom moru utječe na veći dotok manje slane vode iz zapadnog Sredozemnog mora dok se ciklonalnom cirkulacijom

pojačava dotok Levantinske intermedijarne vode pa slanija voda ulazi u Jadransko more (Gačić i sur., 2011). Svi ovi procesi se događaju na vremenskoj skali od nekoliko desetljeća tako da opisane promjene su spore i dugotrajne (Civitarese i sur., 2010).

Vodeni stupac otvorenog dijela Jadranskog mora podijeljen je u tri sloja: površinski, intermedijarni i pridneni (Buljan i Zore-Armanda, 1976). Površinski sloj proteže se do 40 m dubine, iako ta vrijednost varira ovisno o sezoni i dijelu Jadrana. Zimi u površinskom sloju prevladava ulazna istočno-jadranska struja koja duž istočne obale Jadrana donosi topliju i slaniju mediteransku vodu, dok je ljeti prisutna izlazna zapadno-jadranska struja duž zapadne obale. U površinskom sloju javljaju se i odvojena ciklonalna strujanja nastala zbog utjecaja plime, oseke i vjetra. Najslanija voda je u intermedijarnom sloju jer je tijekom cijele godine u tom sloju prisutna ulazna struja iz Jonskog mora. Za pridneni sloj karakteristična je zapadno-jadranska pridnena struja tijekom cijele godine (Damijanić, 2019).

Srednji je Jadran područje koje ima vrlo izraženu vremensku i prostornu promjenjivost temperature i saliniteta uzrokovanu međudjelovanjem atmosfere i mora, slatkovodnim dotocima s kopna, vertikalnim miješanjem i sezonski promjenjivom cirkulacijom. U području bliže obali znatan je utjecaj rijeka, naročito Neretve i Cetine, dok udaljavanjem od obale utjecaj rijeka s istočne obale srednjeg Jadrana slabi. Neujednačenost horizontalne i vertikalne varijabilnosti temperature i saliniteta tijekom godina posljedica je vrlo razvedenog obalnog područja. Rijeke i vrulje također doprinose toj neujednačenosti. Osim što termohalinoj promjenjivosti vodenog stupca doprinose dotoci slatke vode rijekama i vruljama, u područjima manje dubine promjene termohalinih svojstava morske vode pod znatnim su utjecajem atmosferskih procesa. U takve procese ubrajamo apsorpciju globalnog zračenja, razliku evaporacije i oborine, te povratno zračenje. Ovi procesi utječu na prijenos toplinske energije i vlage između atmosfere i mora, stoga i na promjene površinskog saliniteta i temperature, dok advekcijom i miješanjem sudjeluju u mijenjanju termohalinih svojstava dubljih slojeva (Matić, 2005).



Slika 1. Sezonska promjenjivost površinske temperature i saliniteta Jadranskog mora (Artegiani i sur., 1997; preuzeto sa: <http://skola.gfz.hr>).

1.1. Dosadašnja istraživanja

U ranim fizikalno-oceanografskim istraživanjima Jadrana, u drugoj polovici 19. stoljeća, prednjačile su austro-ugarske i talijanske institucije, a od početka 20. stoljeća znatna je uloga hrvatskih sveučilišta i instituta. Mira Zore-Armanda, znanstvenica s Instituta za oceanografiju i ribarstvo u Splitu, u svom preglednom radu „Razvoj fizičke oceanografije na Jadranu”, navodi da prve pisane rasprave o nekim fizikalnim pojavama na Jadranu potječu iz 16. stoljeća, kada su se humanisti počeli zanimati za određene pojave na moru. Devetnaesto stoljeće karakterizira razvoj tehnike i pomorstva i tada počinju prva istraživanja otvorenog Jadrana brodovima Nautilus (1874.), Deli (1875., 1876. i 1877.) i Hertha (1880.). Austrijske pomorske vlasti organizirale su istraživanja i krstarenja, a profesori Riječke vojno-pomorske akademije Josef Luksch i Julius Wolf, uspješno su ih proveli i analizirali prikupljeni materijal. U tom razdoblju nije bilo adekvatnih uređaja za mjerenje saliniteta i temperature stoga njihove vrijednosti izmjerene u dubljim slojevima nisu bile u potpunosti pouzdane. Međutim, ipak se na osnovi prikupljenih podataka moglo zaključiti da Palagruški prag hidrografski odvaja

sjeverni i srednji Jadran od južnog Jadrana Osim toga, spomenuti profesori su na temelju površinske raspodjele temperature i saliniteta, uspjeli izraditi kartu površinskih struja za ljetno razdoblje. Iz podataka s početka 20. stoljeća utvrdilo se da Jadran pripada dijelovima Sredozemnog mora koji imaju pozitivnu razliku između oborina i isparavanja, to jest da je bazen dilucije. Iako dotok slane vode Mediterana kroz Otrantski tjesnac povećava salinitet, oborine i dotjecanje rijeka ipak smanjuju slanost jadranskih voda (Zore-Armanda, 2000).

U doktorskom radu „Termohalina svojstva i dinamički procesi u Jadranskom moru simulirani regionalnim klimatskim modelima“ autorica Natalija Dunić navodi kako dotoci slatke vode iz rijeka, zajedno s atmosferskim procesima i izmjenom vodenih masa tijekom zime utječu na ciklonalnu cirkulaciju Jadrana i na stvaranje guste vode u sjevernom i južnom dijelu Jadrana. Osim toga izmjena vodenih masa u Otrantskim vratima znatno utječe na ravnotežu soli i topline u Jadranu. Dakle manje hladnija, gušća i slana vodena masa izlazi iz Jadrana, a ulazi toplija i slanija voda (Dunić, 2019).

Sredinom 50-tih godina 20. stoljeća započelo je uspostavljanje oceanografskih postaja duž Jadrana. Jedna od namjena postaja je bilo praćenje i mjerenje saliniteta i temperature pri čemu se mjerenje radilo pomoću crpaca. Dugogodišnjim mjerenjem temperature i saliniteta na postaji Stončica uspjela se dobiti opća slika termohalinske varijabilnosti tijekom godine, odnosno prikaz srednjeg godišnjeg hoda temperature i saliniteta (Matić i sur., 2011). U istraživanju dugoročnih promjena površinske temperature mora na devet obalnih i jednoj postaji na otvorenom moru duž istočne obale Jadranskog mora, na svim istraživačkim stanicama uočen je trend hlađenja prije 1979. godine (od 0,28 °C do 0,56 °C). Negativan trend bio je izraženiji u srednjem Jadranu nego u njegovom sjevernom dijelu. Taj trend hlađenja je zaustavljen i preokrenut u razdoblju od 1979. do 2015. godine s pozitivnim vrijednostima u rasponu (od 0,22 °C do 0,32 °C) kroz desetljeća, a tijekom cijelog razdoblja površinska temperatura se povećala za oko 1,1 °C (Grbec i sur., 2018).

Praćenje temperature mora izuzetno je važno jer ukazuje na toplinsko stanje vodenih masa. Redovna mjerenja temperature mora obavljaju se na obalnim i brodskim postajama ili pomoću meteoroloških satelita. Kako bi se neprestano mogli pratiti meteorološki i oceanografski parametri te različiti fizikalni procesi u Jadranskom moru, razvija se automatski oceanografski mjerni sustav. U svrhu toga na rtu poluotoka Marjan u Splitu u blizini stalne meteorološke postaje bila je postavljena automatska mjerna postaja (AMOS). Svi rezultati analiza podataka navedenih postaja koriste se s ciljem praćenja stanja okoliša Jadranskog mora (Dadić i sur., 2006). Kontinuitet oceanografskih mjerenja u Jadranu održao se do današnjih

dana i temelj je mnogim saznanjima iz oceanografije. Postojanje dugačkih vremenskih nizova je rijetkost u svijetu, što daje neprocjenjivu vrijednost u današnjoj eri klimatskih promjena.

1.2. Svrha i ciljevi rada

Posljednjih godina svjedočimo različitim promjenama u temperaturi i salinitetu Jadranskog mora uzrokovanim antropogenim djelovanjem i klimatskim promjenama. Zbog procesa povećanja temperature mora u Jadran migriraju ribe tropskih područja. Primjer takvih invazivnih vrsta riba su srebrno prugasta četverozupka (*Lagocephalus sceleratus*) i riba papigača (*Sparisoma cretense*). Uz njih, toplije more pogoduje razvoju invazivnih vrsta algi kaulerpe: *Caulerpa taxifolia* i *Caulerpa cylindracea* (Dulčić i Dragičević, 2011).

Istraživanje u ovom diplomskom radu provodi se sa svrhom analize utjecaja atmosferskih čimbenika kao što su temperatura zraka i količina oborina na temperaturu mora, salinitet i strujanje u Jadranskom moru.

Glavni cilj rada je prikazati višegodišnju promjenjivost temperature i saliniteta u sloju na 5 m dubine na hrvatskom dijelu Jadranskog mora, proučiti karakteristično strujanje na dubinama od 5 i 20 m te povezati promjene u strujanju s temperaturom.

Analiza izmjerenih podataka napravljena je sa ciljem što bolje procjene utjecaja atmosferskih prilika na površinski salinitet i temperaturu mora. Provedena analiza trebala bi pokazati postoje li razlozi za zabrinutost za promjene koje se događaju u Jadranskom moru kao izravna posljedica globalnih klimatskih promjena posebice ako se uzme u obzir porast temperature i saliniteta koji utječe na sposobnost preživljavanja autohtonih vrsta u Jadranskom moru, odnosno ulazak u Jadranski ekosustav novih, invazivnih vrsta iz toplijih mora kojima navedene promjene odgovaraju.

2. MATERIJALI I METODE

Standardan instrument za mjerenje fizikalnih (temperature i saliniteta), kemijskih (kisik), optičkih (intenzitet svjetlosti različitih valnih duljina) i bioloških parametara (fluorescencija) jest multiparameterska CTD sonda. Skraćenica CTD dolazi od engleskih riječi *Conductivity, Temperature, Depth* koje znače vodljivost, temperatura i dubina. Ovakav tip instrumenta ima mogućnost autonomnog rada napajanjem iz vlastitog izvora ili je električnim kabelom povezan s brodskim računalom. Sonda se spušta u more pomoću oceanografskog vitla, a mjerenje se obavlja kvazikontinuirano više puta u sekundi. Senzor temperature je električno-otporni termometar. Princip mjerenja jest da se mjeri električni otpor u termometru koji se mijenja zbog promjene temperature mora. Električni otpor se konvertira u električni signal i pohranjuje u instrumentu. Pohranjenu vrijednost električnog otpora potrebno je pretvoriti u brojčani ekvivalent izmjerene temperature mora, a to se radi pomoću prethodno napravljenih kalibracijskih formula. Sličan postupak vrijedi i za sve ostale senzore na sondi. Mjeri se neki električni parametar koji se pohranjuje u instrumentu te pomoću kalibracijskih formula pretvara u ciljanu oceanografsku varijablu. Ovisno o načinu kako se osigurava protok morske vode tijekom uzorkovanja CTD sonde dijelom na sonde s i bez pumpe. Na Jadranu postoje sonde dva proizvođača, prvi proizvođač je tvrtka Idronaut i njene sonde nemaju pumpu, dok sonde proizvođača SeaBird su sustavi s pumpom. Pumpa instrumentima omogućuje stalan protok mora kroz senzore neovisno o brzini spuštanja instrumenta i valovitosti mora. Pumpa omogućuje kvalitetna mjerenja u plitkim estuarijima gdje je prostorno vremenska promjena oceanografskih parametara jako izražena kao i u velikim oceanografskim dubinama s vrlo homogenim slojevima mora (<https://salinometry.com/ctd-systems>).

U ovom radu korišteni su podaci o temperaturi i salinitetu prikupljeni oceanografskim CTD sondama tijekom znanstvenog krstarenja u mjesecu rujnu u periodu između 2010. i 2019. godine s manjom gustoćom uzorkovanja (oko 43 postaje) prije 2012. i većom gustoćom uzorkovanja (oko 90 postaja) nakon 2012. Godine. Ukupno je izvršeno 1136 različitih CTD. Analizirana je prostorna raspodjela temperature mora i saliniteta na dubini od 5 metara da se dobije temperaturna osobina podpovršinskog sloja koje nije pod direktnim utjecajem atmosferskih čimbenika i dolazećeg sunčevog zračenja.

Sve oceanografske sonde imale su točnost veću od $0,002^{\circ}\text{C}$ za temperaturu i $0,002$ za salinitet. CTD sonde rade na frekvenciji uzorkovanja od 8 Hz što omogućuje dobivanje uporabljivih i pouzdanih podataka s vertikalnom rezolucijom od pola metra. Prema uputama

proizvođača, nakon mjerenja svi prikupljeni vertikalni CTD profili su bili obrađeni istim postupkom, uključujući i medijanske filtere za detekciju šiljaka i različite postupke kontrole kvalitete (Matić, 2005). Za održavanje homogenosti uzorkovanja termohalinih podataka, sve CTD sonde su kalibrirane i interkalibrirane međusobno u pravilnim razmacima prije ili poslije krstarenja.



Slika 2. Sonda SeaBird SBE25 u trenutku spuštanja u more. Slika je napravljena tijekom krstarenja u rujnu 2021. godine. (autor: David Udovičić)



Slika 3. Računalna soba na istraživačkom brodu BIOS.

2.1. Obrada podataka

Postupak obrade podataka dobivenih oceanografskim CTD sondama mora biti precizno definiran pri čemu sam taj postupak ovisi o instrumentu koji se koristi. U mjerenju je potrebno koristiti CTD sonde visoke točnosti kako bi se dobili pouzdani podatci o fizikalnim svojstvima morske vode koji se kasnije mogu koristiti u znanstvenim istraživanjima i pisanju izvješća. Podatci dobiveni mjerenjem na terenu se pomoću programskih paketa napisanim za CTD sonde pretvaraju u digitalnu informaciju.

U ovom radu korištena su dva osnovna skupa podataka. Prvi skup čine podatci temperature i saliniteta, a drugi skup čine podatci srednjih mjesečnih struja mora na dubini od 7 m.

S ciljem preglednije analize Jadransko more podijeljeno je na 4 područja: sjeverni Jadran koji obuhvaća otvoreno more uz obalu Istre i južno do Dugog otoka, Kvarner, srednji Jadran koji obuhvaća otvoreno more i kanale od Dugog otoka pa do Visa, te južni Jadran koji

obuhvaća područje južno od otoka Visa. Posebna pozornost posvećena je području Jabučke kotline koje se nalazi u domeni srednjeg Jadrana.

Postupak obrade „sirovih podataka” (eng. *raw data*) dobivenih pomoću sonde SeaBird 25 bazira se na softwreu proizvođača sonde i sastoji se od osam koraka (Matić, 2005):

1. Pretvaranje podataka temperature i vodljivosti u ASCII format (eng. *data conversion*) - . Prvih stotinu vrijednosti izbacuje se jer je to vrijeme potrebno da se sonda aklimatizira na more kao fluid i njegovu temperaturu. Analizira se samo mjerenja kad se sonda spušta, mjerenje nastalo podizanjem sonde služi kao kontrolno mjerenje.
2. Upotreba niskopropusnog filtera s vremenskim korakom 0,5 za filtriranje podataka tlaka.
3. Korigiranje podataka vodljivosti za vremenski korak 0,1 zbog kašnjenja senzora za vodljivost.
4. Izbacivanje podataka (eng. *lopedit*) kad je sonda mirovala ili se spuštala (dizala) brzinom manjom od 0,2 m/s. *Loopedit* predstavlja korekciju zbog valova na površini mora.
5. Izračunavanje saliniteta iz podataka temperature i vodljivosti.
6. Uklanjanje eventualnih šiljaka (eng. *spike*) u podacima saliniteta pomoću medijan filtera s prozorom 10 ili u ljetnim mjesecima kad je formirana termoklina s prozorom veličine 20 vrijednosti. Šiljasti podaci nastaju zbog nesavršenosti senzora vodljivosti te zbog činjenice da na vodljivost mora utječe i temperatura i ioni u moru.
7. Usrednjavanje podataka na pola metra.
8. Ispis dubina, temperatura i salinitet u ASCII datoteku..

U ovom radu za izradu prostornih raspodjela i interpolacija koristio se programski paket Ocean Data View (ODV) za interaktivno istraživanje, analizu i vizualizaciju oceanografskih i drugih geografski navedenih profila, vremenskih nizova.

Osnovne značajke ODV programskog paketa su:

- format unosa su osnovne tablice podataka u obliku proračunske tablice,
- korisnici mogu prilagoditi svoje konfiguracije batimetrijom visoke rezolucije, obalama i drugim referentnim materijalom,
- podaci i konfiguracijske datoteke neovisne su o platformi i mogu se razmjenjivati između različitih sustava,
- koristi se za izradu grafova određenih svojstava i odabranih područja, za izradu poprečnih presjeka tijekom krstarenja (istraživanja brodom) i za raspodjelu boja na općim izopovršinama.

Podatci o temperaturi i slanosti korišteni u ovom radu prikupljeni su korištenjem i/b „BIOS DVA“ Instituta za oceanografiju i ribarstvo, tijekom godišnjih krstarenja za potrebe projekata eho-monitoringa (PELMON i DCF-MEDIAS) financiranih od Ministarstva poljoprivrede RH, Uprave za ribarstvo.

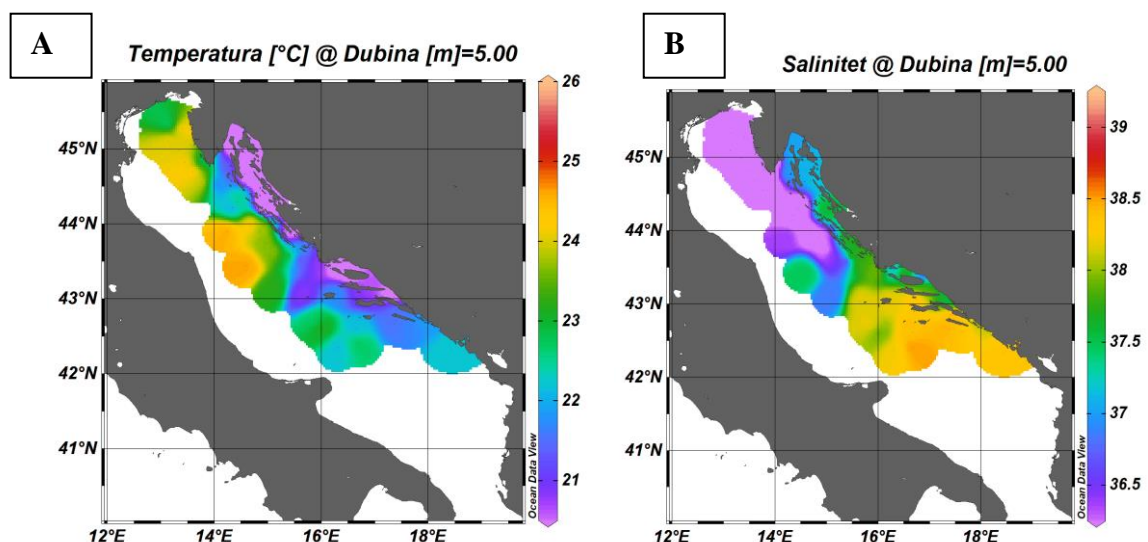
Srednje mjesečne struje mora proizvod su reanalize oceanografskog modela za Sredozemlje (Escudier i sur., 2020). U okviru Europske službe za praćenje morskog okoliša Copernicus (eng. *The Copernicus Marine Environment Monitoring Service*, CMEMS) razvijen je projekt GLORYS kojim se proizvodi i distribuira globalna reanaliza oceana s ciljem opisa srednjeg i vremenski promjenjivog stanja cirkulacije oceana tijekom posljednjeg desetljeća. Reanaliza oceana je znanstvena metoda koja proizvodi sveobuhvatni zapis o tome kako se oceani mijenjaju tijekom vremena. Rezultati numeričkog modela opće cirkulacije oceana koji simuliraju evoluciju fizikalnih svojstava oceana objektivno se kombiniraju s opažanjima kako bi se generirala sintetizirana procjena stanja oceana (temperatura, salinitet, trenutna brzina i smjer, razina mora, koncentracija i debljina leda). (https://resources.marine.copernicus.eu/productdetail/GLOBAL_REANALYSIS_PHY_001_030/INFORMATION)

3. REZULTATI

3.1. Temperatura mora i salinitet na dubini od 5 metara

Tijekom rujna 2010. godine prosječna temperatura mora na 5 m dubine u sjevernom Jadranu je bila iznad 22 °C, dok je Kvarner kao i obalno područje Srednjeg Jadrana bilo hladnije s temperaturom ispod 21 °C što je posljedica podmorskih izvora slatke vode, odnosno hlađenja uvjetovanog puhanjem bure (Slika 4a) (Meteorološki i hidrološki bilten, 2010). U Jabučkoj kotlini pojavilo se područje hladne morske vode koje je bilo i do 2 °C hladnije od okolnog što je rezultat pojave izranjanja (eng. *upwelling*) hladne morske vode koje nastaje kao posljedica puhanja sjeverozapadnog vjetra u toplijim dijelovima godine (Meteorološki i hidrološki bilten, 2010). Južni dio Jadrana je bio hladniji od otvorenog mora srednjeg i sjevernog Jadrana, s temperaturama mora nižim od 24 °C.

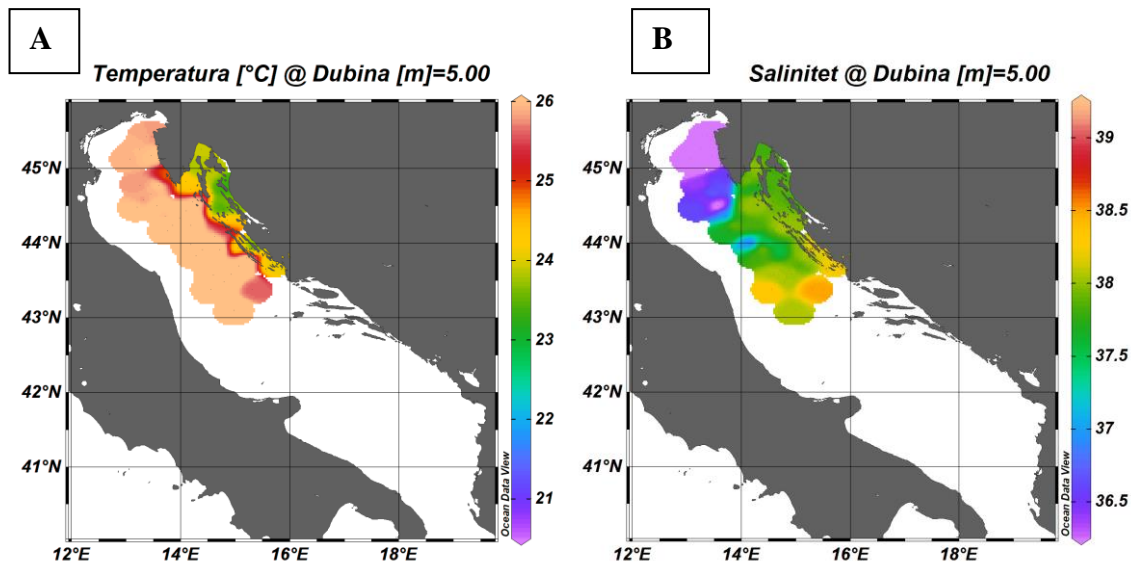
Prostorna raspodjela saliniteta za rujna 2010. godine je bila karakterizirana dominantnim postojanjem prostornog gradijenta na relaciji sjever – jug, gdje je sjeverni Jadran bio pod snažnim utjecajem rijeke Po što je rezultiralo u salinitetu manjem od 36,5, dok je u južnom Jadranu salinitet iznosio preko 38,5 °C (Slika 4b). U obalnim prostorima Kvarnera i srednjeg Jadrana salinitet se kretao u intervalu od 37,30 do 38,33.



Slika 4. Prikaz prostorne raspodjele temperature mora (A) i saliniteta (B) u Jadranu na 5 m dubine izmjerenih pomoću CTD sonde u razdoblju od 3. do 29. rujna 2010. godine.

U 2011. godini mjerenja su obuhvatila samo područje sjevernog Jadrana i Kvarnera te dijela srednjeg Jadrana (Slika 5A). Temperatura mora je na otvorenom moru iznosila preko 25 °C, dok je u Kvarneru temperatura dosegala i do 24 °C, što je za oba područja za 2 °C toplije negoli u prethodnoj godini.

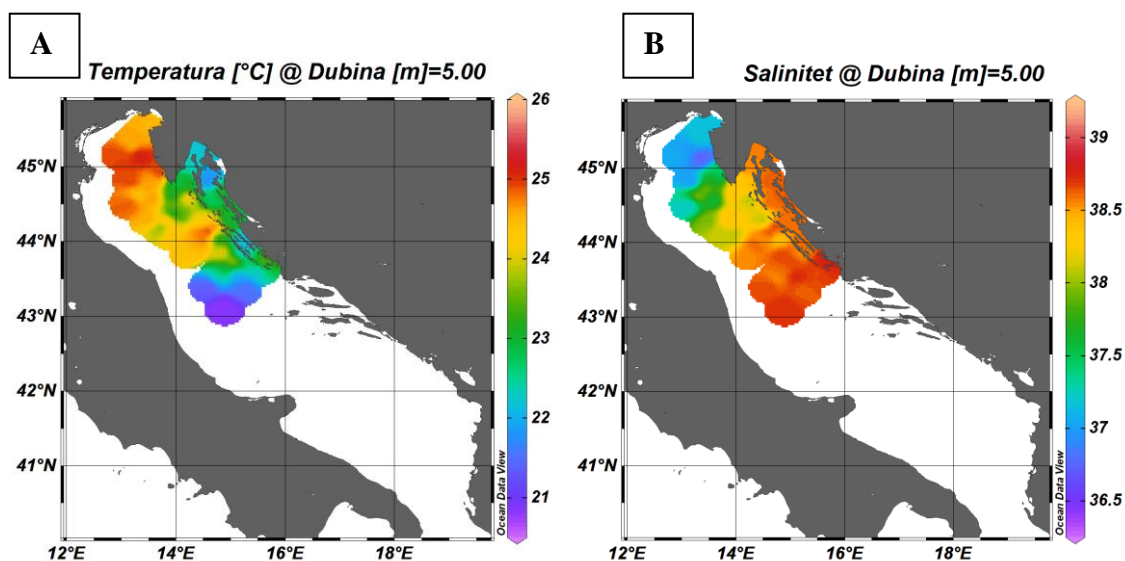
Područje saliniteta manjeg od 37 je obuhvaćalo samo zapadnu obalu Istre, za razliku od prethodne godine kad je obuhvaćalo područje sve do Dugog otoka (Slika 5B).



Slika 5. Prikaz prostorne raspodjele temperature mora (A) i saliniteta (B) na 5 m dubine izmjerenih pomoću CTD sonde u razdoblju od 3. do 29. rujna 2011. godine.

U 2012. godini mjerenja su obuhvatila samo područje sjevernog Jadrana, Kvarnera i dijela srednjeg Jadrana (Slika 6A). Kao i 2011. godine more uz zapadnu obale Istre je bilo toplo s temperaturama koje su dosezale preko 25 °C, dok je područje Kvarnera i srednjeg Jadrana bilo hladnije i do 3 °C u usporedbi sa sjevernim područjem.

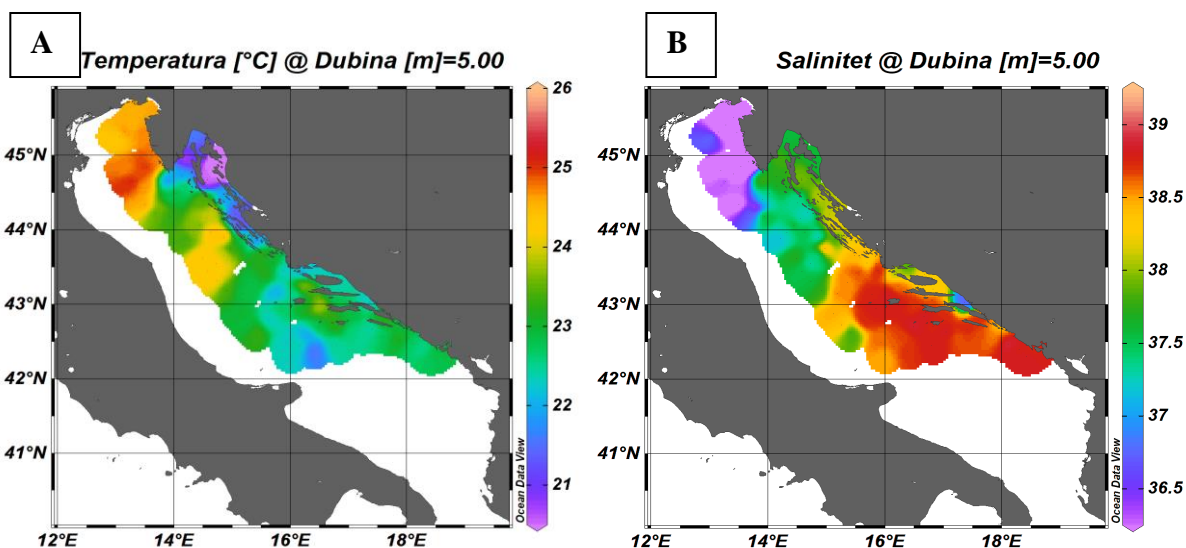
Područje saliniteta ispod 37 se povuklo još više prema sjeveru duž zapadne obale Istre, dok je južnu obalu Istre i Kvarner karakterizirao salinitet s iznosom preko 38, koji se u otvorenom moru srednjeg Jadrana kretao u intervalu od 38,6 do 38,8 (Slika 6B).



Slika 6. Prikaz prostorne raspodjele temperature mora (**A**) i saliniteta (**B**) na 5m dubine izmjerenih pomoću CTD sonde u razdoblju od 3. do 29. rujna 2012.godine.

Za 2013. godinu je bila karakteristična pojava prostornog gradijenta sjever - jug i za temperaturu i za salinitet na dubini od 5 metara (Slika 7A). Sjeverni Jadran je bio topliji, s temperaturama koje su iznosile i preko 25 °C, dok je južni Jadran bio obilježen s temperaturama oko 23 °C. Područje Kvarnera uz Velebit bilo je najhladnije s temperaturom manjom od 21 °C, što je posljedica puhanja bure (Meteorološki i hidrološki bilten, 2013).

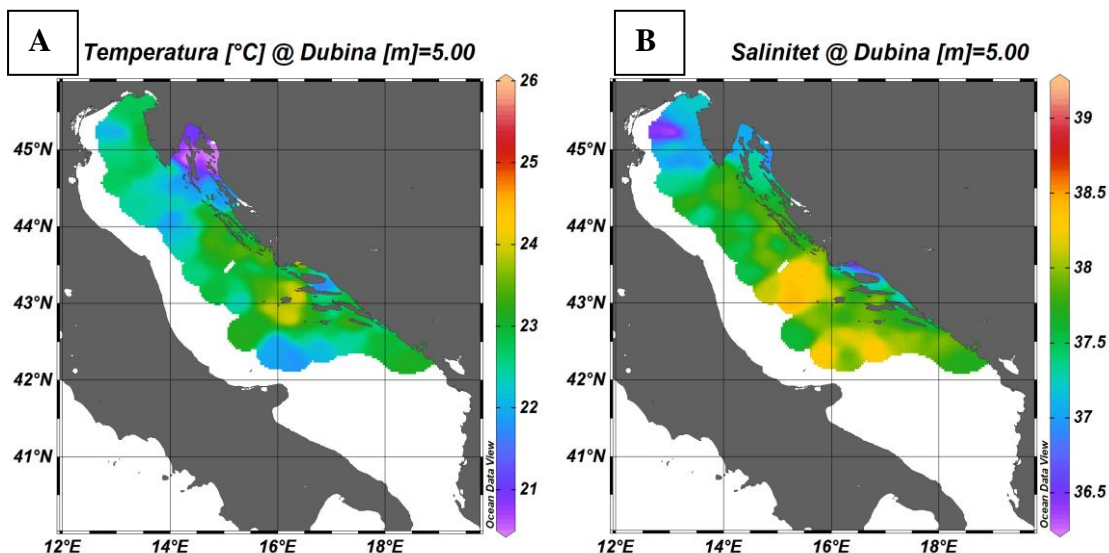
Vrijednosti saliniteta, u skladu s opaženim gradijentom sjever–jug, su iznosile od 36,5 na području sjevernog Jadrana do 39 u južnom Jadranu (Slika 7B).



Slika 7. Prikaz prostorne raspodjele temperature mora (A) i saliniteta (B) na 5 m dubine izmjerenih pomoću CTD sonde u razdoblju od 3. do 29. rujna 2013. godine.

U usporedbi s prethodnom godinom, 2014. je bila obilježena nižim temperaturama na dubini od 5 m u području sjevernog Jadrana što je dovelo do toga da se prostorna raspodjela temperature u rujnu mogla nazvati homogenom za cijelo područje mjerenja u Jadranu s prosječnom vrijednošću od 23 °C (Slika 8A). Iznimka je, kao i prijašnjih godina, bio Kvarner, uz Velebit, gdje je zbog puhanja hladnog vjetrova bure došlo do hlađenja velikog dijela mora u prvih 5 m dubine (Meteorološki i hidrološki bilten, 2014).

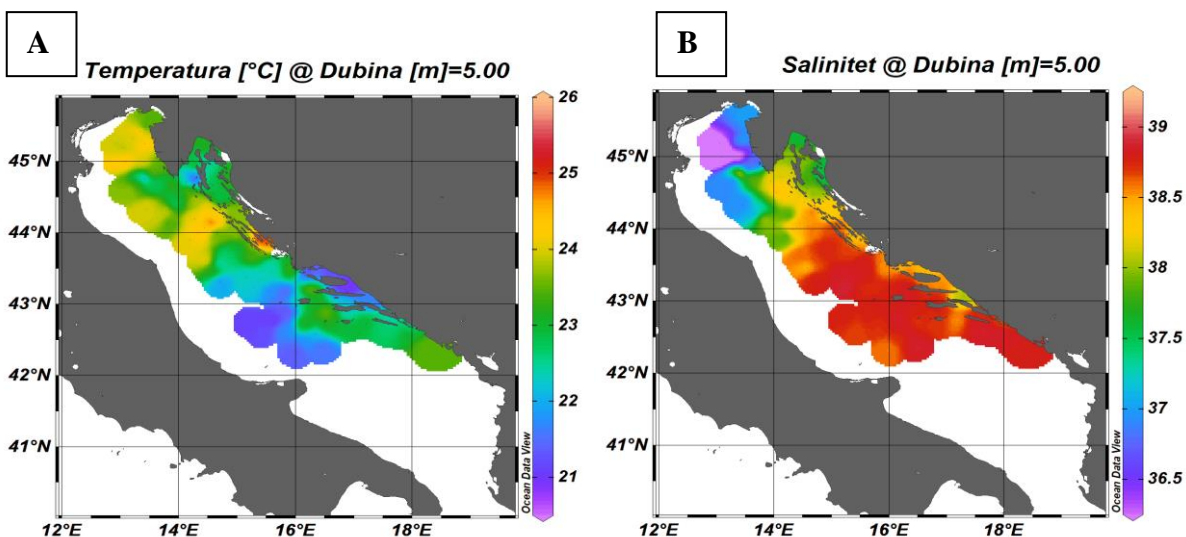
Iznos saliniteta na 5 m dubine je bio niži od klimatoloških vrijednosti izmjerenih za Jadransko more, što je posljedica velikih količina oborina koje su prethodile razdoblju mjerenja (Slika 8B) (Meteorološki i hidrološki bilten, 2014). Pri tome je sjeverni Jadran dosezao vrijednosti saliniteta i niže od 36,5, dok je ostatak bazena imao salinitet nešto manji od 38,5.



Slika 8. Prikaz prostorne raspodjele temperature mora (A) i saliniteta (B) na 5 m dubine izmjerenih pomoću CTD sonde u razdoblju od 4. do 30. rujna 2014. godine.

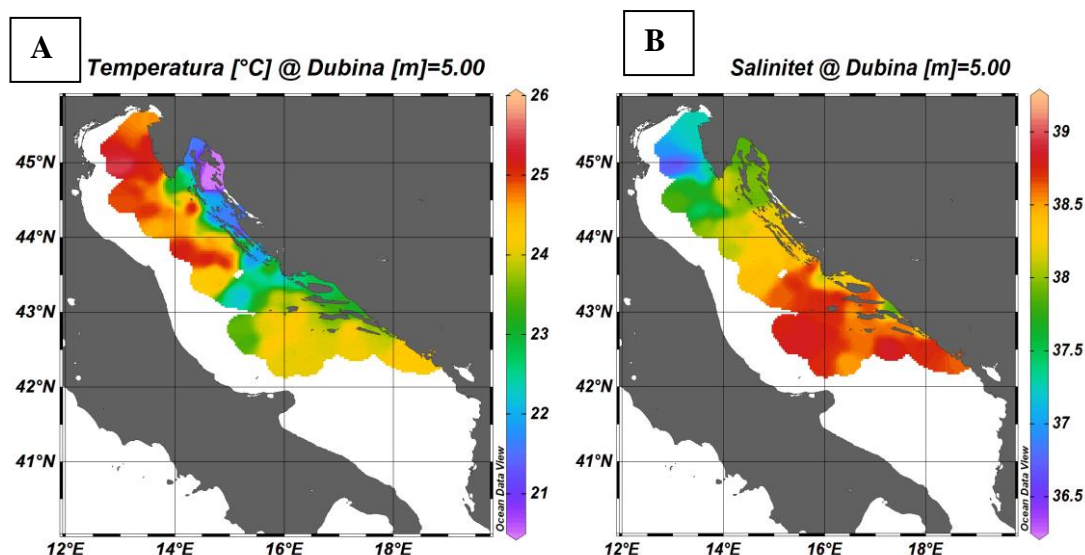
Zbog ekstremno toplog vremena tijekom rujna 2015. godine (Meteorološki i hidrološki bilten, 2015), površinska temperatura mora bila je veća od prosjeka (Slika 9A), što je dovelo do toga da je sjeverni Jadran bio topliji u usporedbi s prethodnim godinama.

Kao i temperatura, i salinitet je karakteriziran porastom, ne samo u iznosu već i u području kojeg je obuhvatio visoki salinitet. Područje visokog saliniteta, s vrijednošću i do 39, obuhvatilo je cijelo područje južnog i srednjeg Jadrana, uz malu iznimku u području pod utjecajem rijeke Neretve. Iznosi saliniteta u srednjem Jadranu su bili u intervalu od 38,2 do 38,7, dok su u južnom bili i veći od 38,7 (Slika 9B).



Slika 9. Prikaz prostorne raspodjele temperature mora (A) i saliniteta (B) na 5 m dubine izmjerenih pomoću CTD sonde u razdoblju od 4. rujna do 5. listopada 2015. godine.

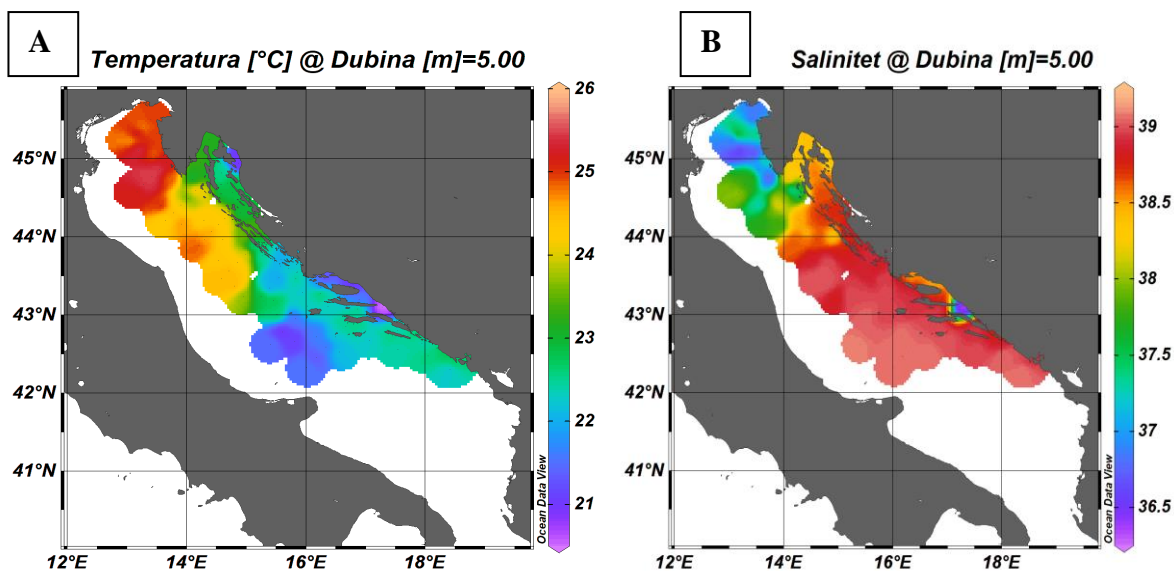
Temperatura mora izmjerena 2016. godine (Slika 10A) u području otvorenih voda sjevernog i srednjeg Jadrana je bila karakterizirana temperaturama između 24 i 25 °C. Niže vrijednosti temperature mora izmjerene su na postajama unutar Kvarnera i pokrivalo su interval od 18,30 do 21,38 °C, kao posljedica bure koja je puhala neposredno prije krstarenja (Meteorološki i hidrološki bilten, 2016). Također je bilo jasno vidljivo područje izranjanja hladne morske vode u području Jabučke kotline, nastalog zbog puhanja sjeverozapadnog vjetra. Promatrajući prostornu raspodjelu saliniteta 2016. godine lako se uoči izražen meridionalan gradijent, pri čemu je salinitet na prvom transektu u sjevernom Jadranu iznosio 37,28, dok je na posljednjem transektu u južnom Jadranu iznosio 38,64 (Slika 10B). U usporedbi s prethodnom 2015. godinom, područje visokog saliniteta s iznosima od preko 38,5 nije se rasprostiralo sjevernije od Jabučke kotline.



Slika 10. Prikaz prostorne raspodjele temperature mora (A) i saliniteta (B) na 5 m dubine izmjerenih pomoću CTD sonde u razdoblju od 24. kolovoza do 22. rujna 2016. godine.

Temperatura mora na dubini od 5 m u rujnu 2017. godine (Slika 11A) imala je slična obilježja prostorne raspodjele temperature kao 2016. godina (Slika 10A), s izraženim temperaturnim gradijentom na relaciji sjever-jug. U otvorenim vodama sjevernog Jadrana temperatura je imala vrijednost do 25 °C, a u južnom Jadraniu do 22 °C (Slika 11A). Niže vrijednosti temperature mora izmjerene na postajama otvorenog mora južnog Jadrana su bile posljedica vlažnog i hladnog zraka popraćenog ekstremnim oborinama tijekom krstarenja u rujnu (Meteorološki i hidrološki bilten, 2017). U temperaturnom polju vidljiva su tri hladnija područja koja su nastala zbog tri različita čimbenika: hladno područje Kvarnera uz Velebit koje nastaje zbog utjecaja podmorskih izvora hladne vode i puhanja bure, hladno područje pod utjecajem rijeke Neretve i hladno područje istočnog dijela Jabučke kotline koje je nastalo zbog izranjanja hladne vode pod utjecajem sjeverozapadnog vjetra.

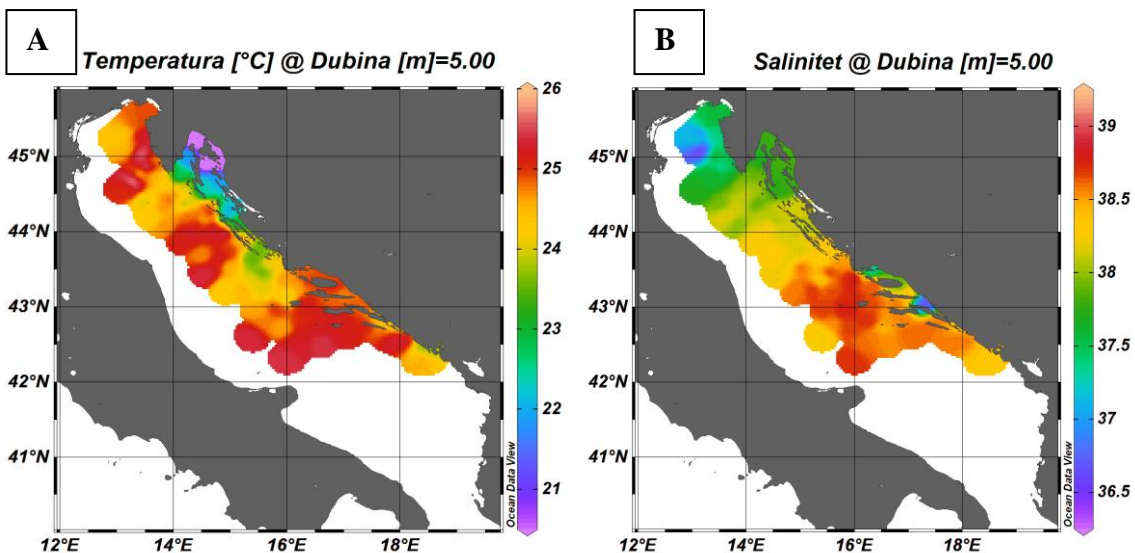
Dvije su odlike ponajbolje opisale prostornu raspodjelu saliniteta u 2017. godini: iznimno visoki iznosi saliniteta i prodor iznimno slane vode daleko na sjever, što nije bilo toliko zapaženo u prethodnim godinama (Slika 11B). Pri tome je snažno naglašen bio meridionalan gradijent, gdje je salinitet na drugom transketu koji se nalazio u sjevernom Jadraniu iznosio 36,58, dok je na postajama koje su se nalazile južnije od 12. transekta (sjeverno od Dugog otoka) bio veći od 39,0.



Slika 11. Prikaz prostorne raspodjele temperature mora (A) i saliniteta (B) na 5 m dubine izmjerenih pomoću CTD sonde u razdoblju od 30. kolovoza do 30. rujna 2017. godine.

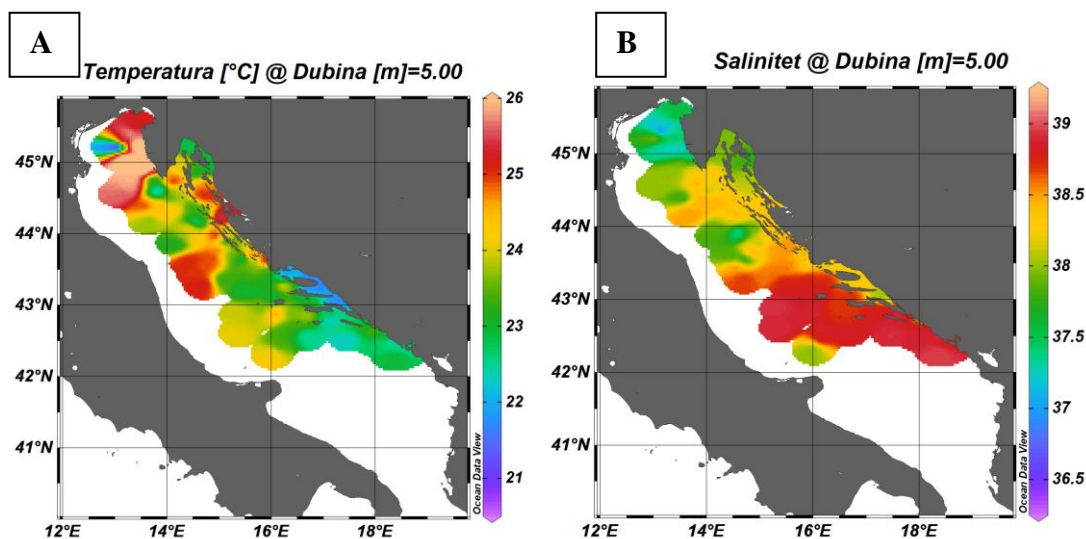
Temperatura mora za 2018. godinu pokazuje postojanje gradijenta na relaciji otvoreno more-obala, pri čemu je taj gradijent najizraženiji u području sjevernog Jadrana i Kvarnera, gdje na otvorenom moru imamo temperature u rasponu od 24 °C do 26 °C, dok u obalnom području, koje je pod utjecajem bure i podmorskih izvora slatke vode, temperature poprimaju vrijednosti i niže od 21 °C (Slika 12A). U istočnom dijelu Jabučke kotline, ispred otoka Žirja, temperatura na 5 m je bila niža i do 2 °C od okolnog područja što je dokaz postojanja procesa izranjanja.

Kao i u 2017. godini (Slika 11B), prostorna raspodjela saliniteta u 2018. godini ima izražen meridionalan gradijent (Slika 12B). Gradijent je slabiji nego u 2017. godini, što se može vidjeti promatranjem vrijednosti saliniteta: na drugom transektu u sjevernom Jadranu salinitet iznosi 36,53, dok je na postajama južnijim od 7. transekta, koji je u ravnini Krka, veći od 38,80.



Slika 12. Prikaz prostorne raspodjele temperature mora (A) i saliniteta (B) na 5 m dubine izmjerenih pomoću CTD sonde u razdoblju od 29. kolovoza do 23. rujna 2018. godine.

Raspon temperature izmjerene na 5 metara dubine 2019. godine pokriva je vrijednosti od 20,14 °C do 26,44 °C (Slika 13A). Najveće vrijednosti izmjerene su na područjima zapadne obale Istre i srednjeg Jadrana, dok su najmanje vrijednosti izmjerene u Bračkom i Neretvanskom kanalu. U usporedbi s prethodnim godinama obalno područje Kvarnera je iznimno toplo, dok je u području Jabučke kotline izmjerena temperatura koja je 1 do 2 °C hladnija od okoline, pri čemu temperaturna razlika nije bila dovoljno velika u usporedbi s okolinom što zajedno s izostankom sjeverozapadnog vjetrova u rujnu 2019. godine pokazuje da nije bilo izranjanja (Meteorološki i hidrološki bilten, 2019). Izmjerene vrijednosti saliniteta kretale su se u rasponu od 36,87 na području zapadne obale Istre i 39,0 u južnom Jadranu (Slika 13B). Sjeverni Jadran je bio pod snažnim utjecajem rijeke Po, dok je u južnom Jadranu snažan utjecaj na salinitet imala rijeka Neretva.



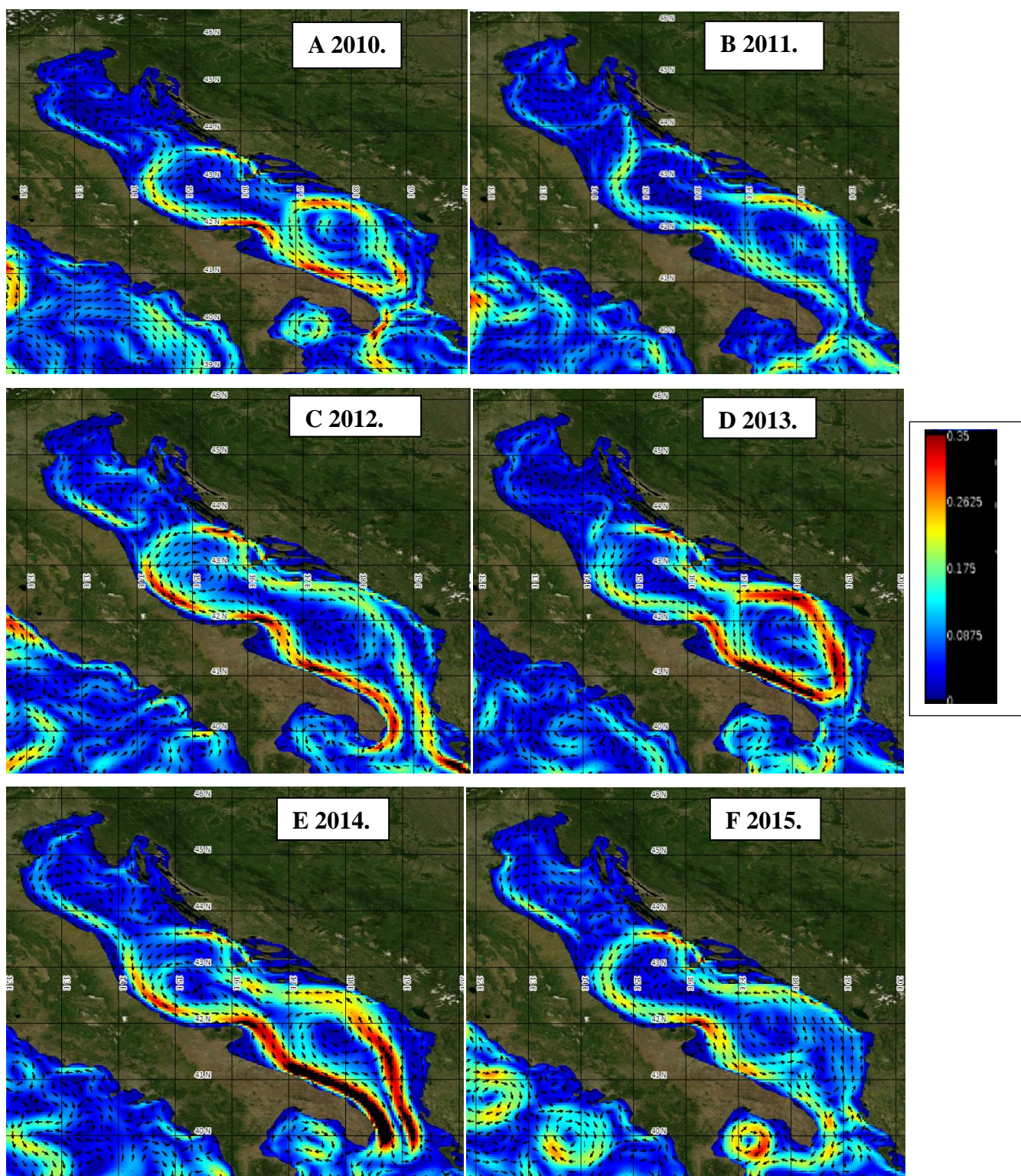
Slika 13. Prikaz prostorne raspodjele temperature mora (A) i saliniteta (B) na 5 m dubine izmjerenih pomoću CTD sonde u razdoblju od 28. kolovoza do 28. rujna 2019. godine.

3.2. Strujanja u Jadranskom moru

Struje u Jadranu na površini mora kao i u većim dubinama kreću se u smjeru suprotnom od kretanja kazaljki na satu, pri čemu ulazna struja se nalazi uzduž istočne obale, dok se izlazna struja nalazi uzduž zapadne. Gledajući po dubini raspodjelu strujanja, uočeno je da je za intermedijarni sloj karakteristična ulazna struja, dok u pridnenom sloju prevladava izlazna. Brzine strujanja koje nastaju pod utjecajem promjena saliniteta i temperature pokrivaju prosječan raspon između 10 i 20 cm/s. Struje koje nastaju pod utjecajem vjetrova bure i juga tzv. vjetrovne struje imaju daleko veći iznos brzine od termohalinih, i pritom mogu doseći i brzine od preko 50 cm/s (Cushman-Roisin i sur., 2001).

3.2.1. Struje na dubini 5 m

Upotrebom Copernicus podatkovnog portala prikazana je horizontalna raspodjela strujanja mora na dubini od 5 m u domeni koja je obuhvatila Jadransko i sjeverni dio Jonskog mora u razdoblju od 2010. do 2015. godine. Na slikama je jasno vidljiv karakteristični jadranski ciklonalni obrazac strujanja s ulaznom strujom koja ide duž istočne obale i izlaznu struju koja slijedi zapadnu, talijansku obalu (Slike 14 i 15).

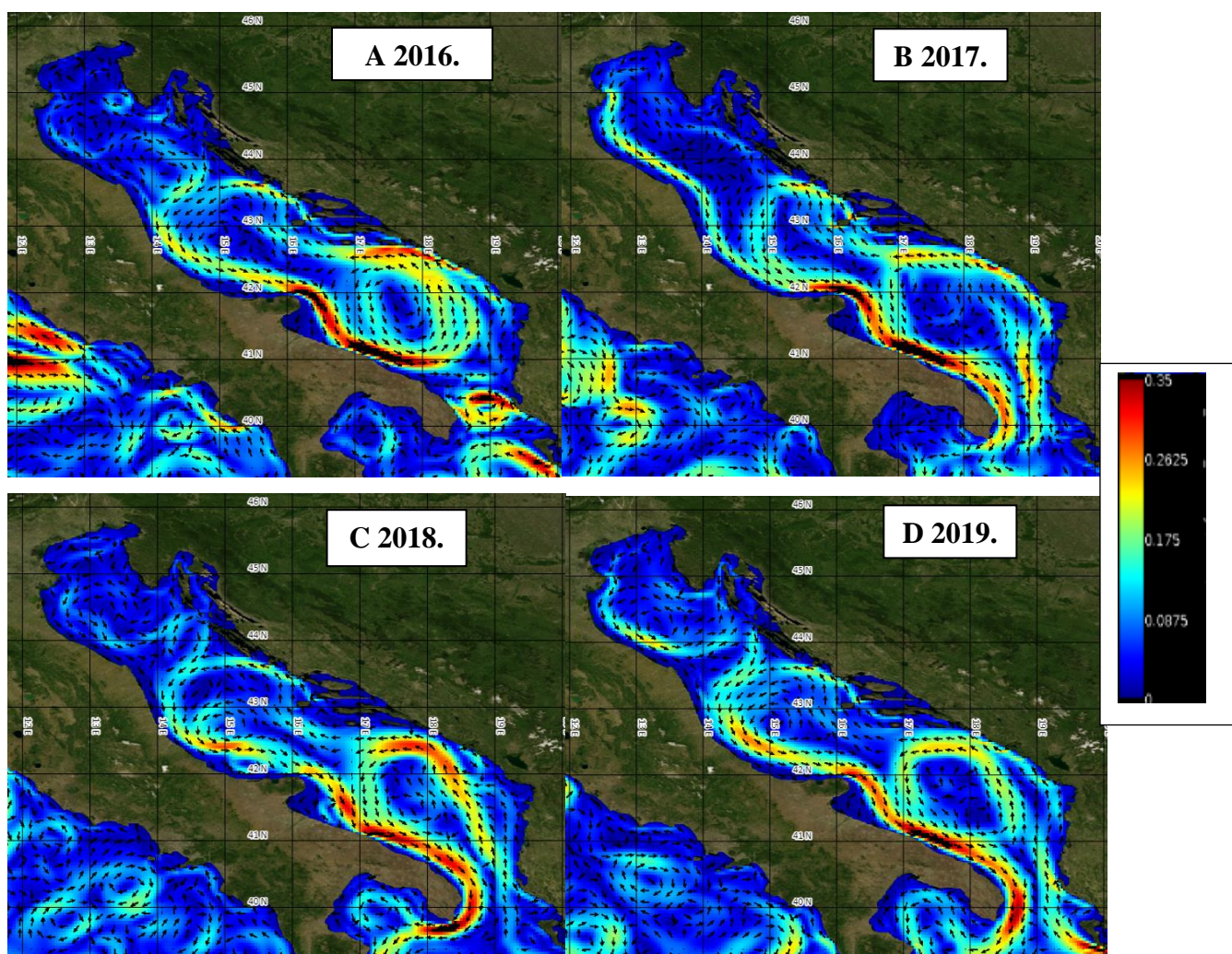


Slika 14. Srednje mjesečne struje u Jadranskom i sjevernom Jonskom moru za mjesec rujan na dubini od 5 m za razdoblje od 2010. do 2015. godine (A-F).

Na slici je vidljivo i da iznos strujanja u svim godinama nije jednak. Osim dominantnog ciklonalnog obrasca strujanja u Jadranu se uočava i pojava dva manja stalna ciklonalna vrtloga koji prate batimetriju Jadrana: vrtlog oko Jabučke kotline te vrtlog oko južnojadranske kotline. Najveće brzine strujanja postignute su 2013. i 2014. godine na području Otrantskih vrata. Za primijetiti je da je 2014. godine izuzetno jaka izlazna struja krenula visoko od rijeke Po i pritom se kretala cijelom dužinom talijanske obale bez prekida, dok je ulazna struja dolazila sve do otoka Žirja na srednjem Jadranu i pritom zahvatila veći dio otvorenog mora hrvatskog Jadrana (Slika 14E).

Tijekom 2010. i 2013. godine dogodila se situacija zatvaranja vrtloga na Otrantu (Slika 14a i 14d), što je rezultiralo prekidom dotjecanja mora iz Sredozemlja na dubini od 5 m.

Godina 2016. je bila obilježena postojanjem tri vrtloga na dubini od 5 m: u južnom Jadranu, u Otrantskim vratima te u Jonskom moru (Slika 15A). Ova situacija onemogućila je transport vodenih masa u rujnu između Jadranskog i Jonskog mora, jer je svaki vrtlog zatvarao komunikaciju s ostalim područjima. Slično stvaranje vrtloga puno slabijeg intenziteta uočeno je i 2011. godine kad struja iz Jonskog mora nije ulazila u Južni Jadran, već je skretala preko južne Italije i ulazila u Jonsko more, što je rezultiralo pojavom vrtloga u Jonskom moru (Slika 14B).



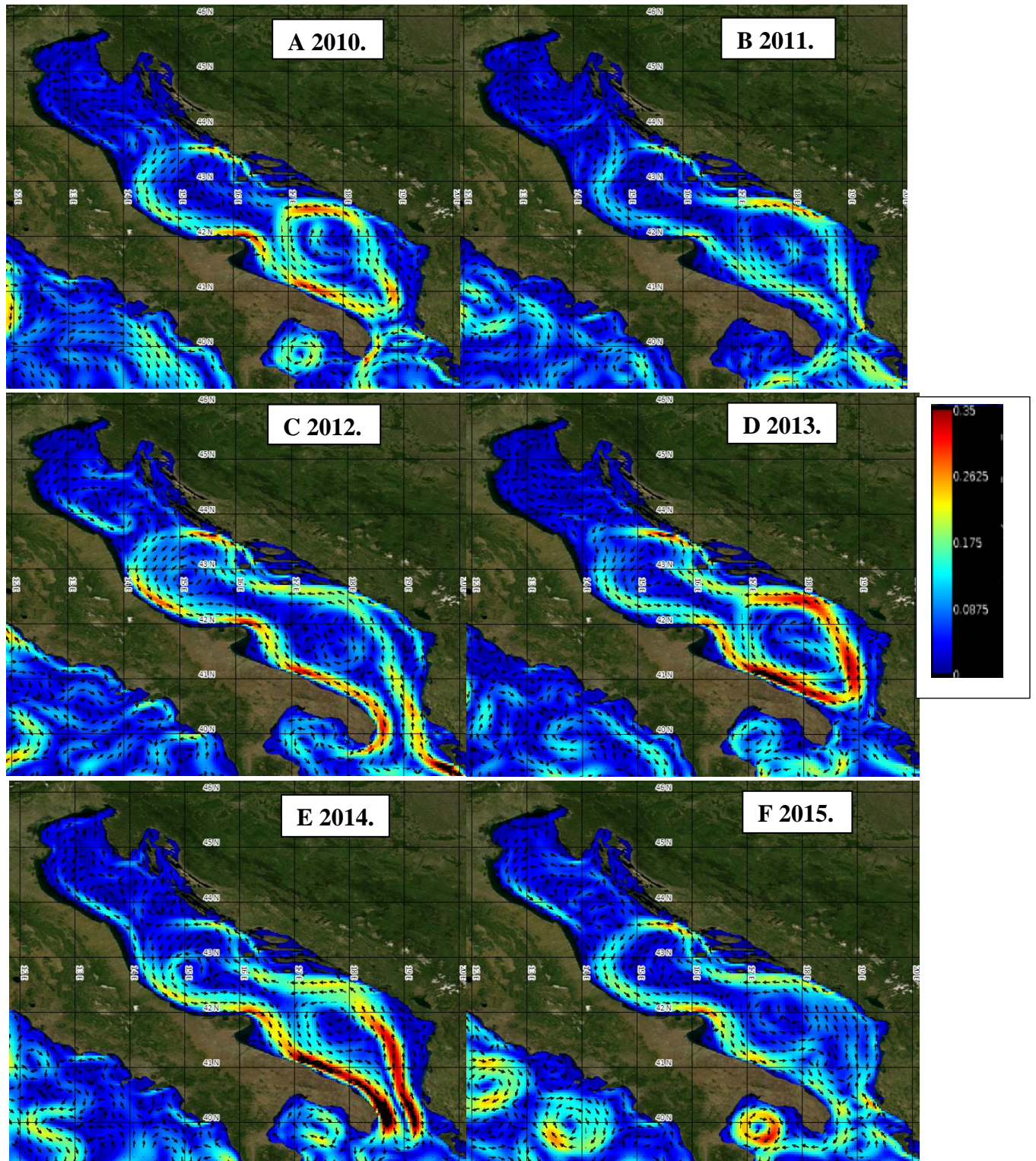
Slika 15. Srednje mjesečne struje u Jadranskom i sjevernom Jonskom moru za mjesec rujan na dubini od 5 m za razdoblje od 2016. do 2019. godine (A-D).

3.2.2. Struje na dubini 20 m

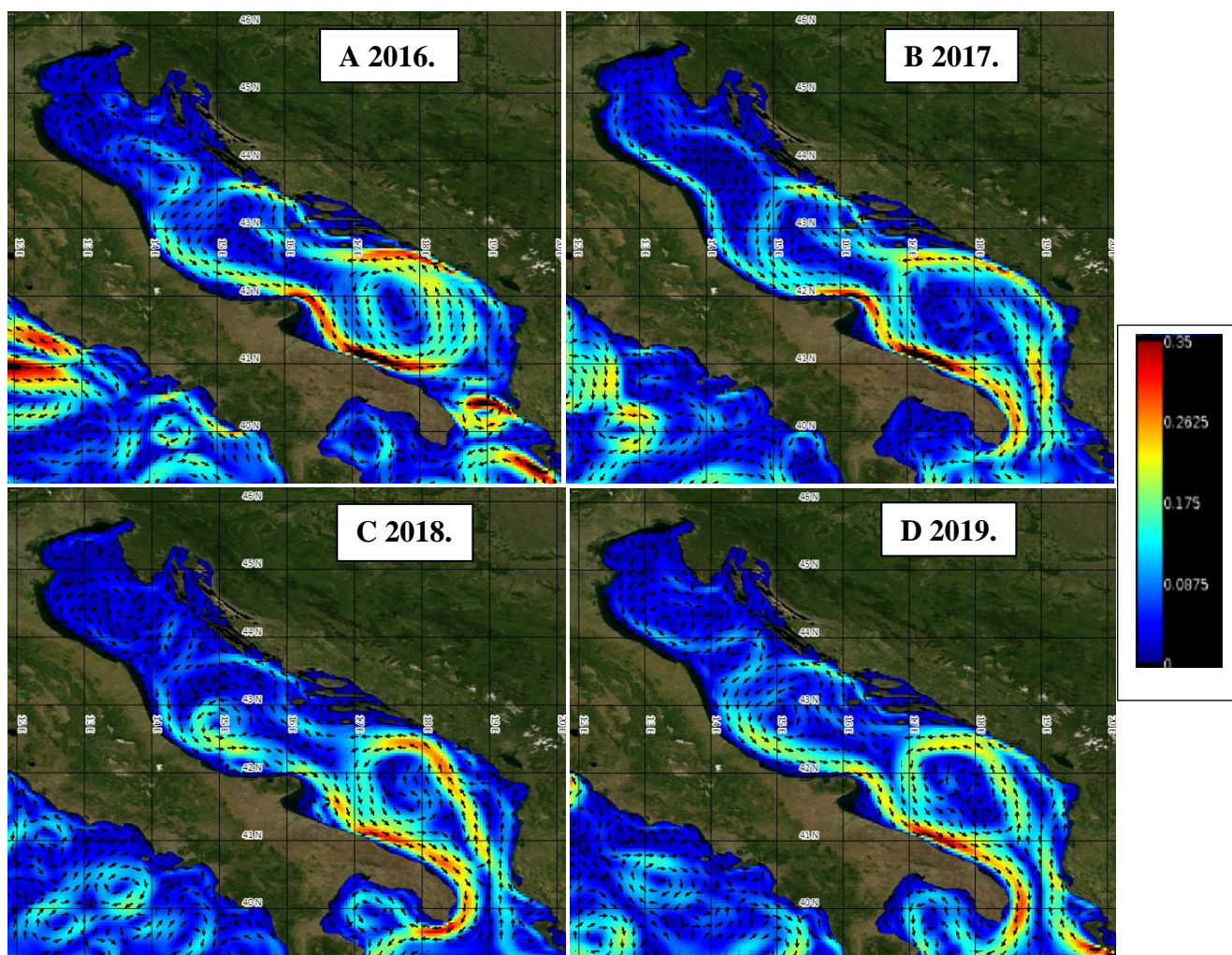
Promatranjem strujanja na dubini od 20 m za razdoblje od 2010. do 2019. godine (Slike 16 i 17) uočen je isti ciklonalni strujni obrazac kao i za struje na 5 m dubine: ulazna istočnojadranska struja te izlazna zapadnojadranska struja koje variraju u iznosima brzine tijekom godine, te ciklonalni vrtlozi u Jabučkoj i Južnojadranskoj kotlini.

U 2016. godini (Slika 17A) uočeno je zanimljivo odstupanje u strujanju na 20 m dubine u vidu postojanja strujanja po sredini sjevernog dijela Jadranskog mora koja je dolaskom u ravninu Dugog otoka zakrenula ka talijanskoj obali. Navedeno strujanje pratilo je nepostojanje

kontinuiranog zapadno-jadranskog strujanja u jugoistočnom smjeru duž talijanske obale. Na mjestu tog diskontinuiteta javila se protustruja u sjeverozapadnom smjeru.



Slika 16. Srednje mjesečne struje u Jadranskom i sjevernom Jonskom moru za mjesec rujnan na dubini od 20 m za razdoblje od 2010. do 2015. godine (A-F).



Slika 17. Srednje mjesečne struje u Jadranskom i sjevernom Jonskom moru za mjesec rujan na dubini od 20 m za razdoblje od 2016. do 2019. godine (A-D).

3.3. Odstupanja srednje temperature zraka i količine oborina

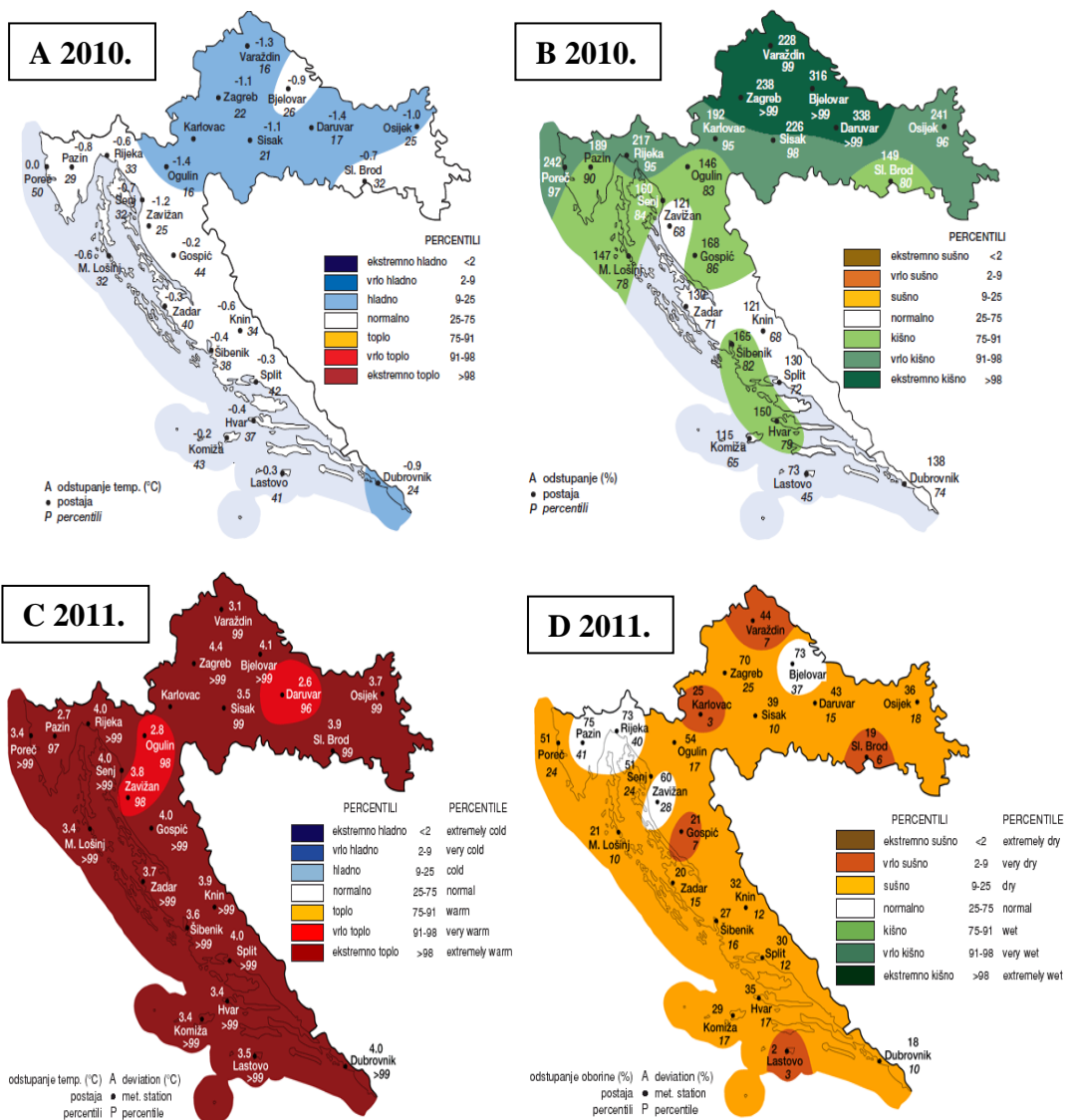
Klimatološka analiza temperature i oborina napravljena je korištenjem biltena Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZ) za mjesec rujan u razdoblju od 2010. do 2019. godine. Iz svakog biltena izvučena je karta klimatoloških percentila za cijelu Hrvatsku, ali je analiza napravljena samo za područje Jadranskog mora koje odgovara području znanstvenog krstarenja PELMON i DCF-MEDIAS.

Temperature u rujnu za 2010. godinu prema raspodijeli percentila možemo svrstati u dvije kategorije: normalno i hladno. Hladno vrijeme je bilo na području Sjeverne Hrvatske

(gradovi: Zagreb, Varaždin, Ogulin) te šire područje Dubrovnika. U ostatku Hrvatske prevladavalo je normalno vrijeme (Slika 18a).

Na području sjevernog Jadrana krajem rujna je bilo dosta oborina. U Dalmaciji i zaleđu su bile normalne oborinske prilike. Jedino je u Dubrovniku bilo sušno i vrlo sušno, ali je i tamo krajem rujna prešlo u kišno (Slika 18b). U rujnu 2010. godine nisu zabilježeni ni ekstremno topli niti hladni dani. Od 10. do 12. rujna na Jadranu je puhala jaka bura s olujnim udarima. 24. rujna puhalo je umjereno jugo i postupno je pojačavalo do vrlo jakog s olujnim udarima (Meteorološki i hidrološki bilten, 2010).

Obalna Hrvatska je u rujnu 2011. godine, kao i skoro cijela Hrvatska, bila svrstana u kategoriju ekstremno toplo (Slika 18c). Oborinske prilike za jadransku Hrvatsku za rujna 2011. godine nalazile su se uglavnom u rasponu kategorija sušnog osim područja Lastova koje je bilo u kategoriji vrlo sušnog (Slika 18d). Klimatološki gledano, u rujnu zbog smanjenja energije koju more primi kratkovalnim zračenjem prestaje zagrijavanje površinskog sloja mora. Početak jeseni je razdoblje kad more počinje predavati energiju atmosferi, a precipitacija prevladavati nad evaporacijom. Meteorološke prilike u rujnu 2011. godine nisu bile klimatološki očekivane, bilo je ekstremno vruće i sušno (Meteorološki i hidrološki bilten, 2011).

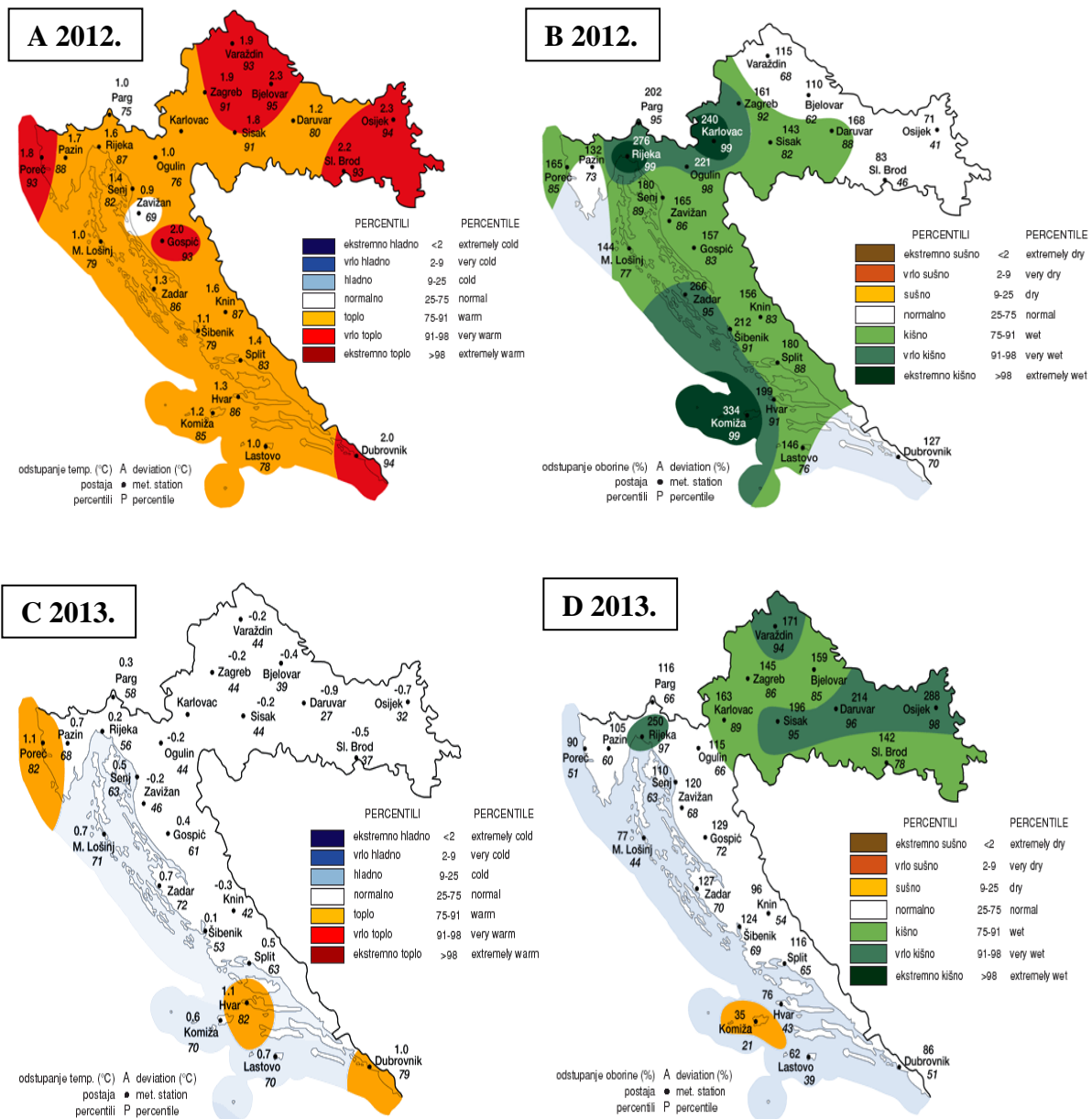


Slika 18. Odstupanja srednje temperature zraka i oborina na Jadranu za mjesec rujna 2010. (A i B) i 2011. godine (C i D) (Izvor: Meteorološki i hidrološki bilten, 2010, 2011).

Toplinske prilike u jadranskoj Hrvatskoj za rujna 2012. godine su u kategoriji toplo osim za područje sjeverne Istre i okolice Dubrovnika koje su u kategoriji vrlo toplo (Slika 19a). Oborinske prilike u promatranom području u Hrvatskoj za rujna 2012. godine opisane su sljedećim kategorijama: normalno (dio sjevernog i južnog Jadrana), ekstremno kišno (šire područje Rijeke, dio južnog Jadrana oko otoka Visa), vrlo kišno (dio srednjeg i južnog Jadrana) i kišno (Kvarner, okolica Splita, Brača, Hvara i Lastova) (Slika 19b). Na Jadranu, nakon sušnog (od 75. do 91. percentila) i ekstremno toplog ljeta (>98. percentila), temperatura zraka i količina oborina su u rujnu bili unutar klimatološki normalnih vrijednosti (Meteorološki i hidrološki bilten, 2012). Meteorološke prilike na Jadranu u razdoblju od 9. do 19. rujna bile su

karakterizirane prolaskom frontalnih sustava koji su uzrokovali kišu, pad temperature zraka, pojačan vjetar te izmjenu bure, tramuntane i juga.

Toplinske prilike za rujan 2013.godine opisane su dvjema kategorijama: toplo na području Istre, otoka Hvara i grada Dubrovnika, te normalno u ostalim područjima Hrvatske (Slika 19 c). Što se tiče oborinskih prilika za rujan 2013. godine, one su se mogle opisati trima kategorijama: sušno (mali dio južnog Jadrana, točnije kod otoka Visa), vrlo kišno (na području Rijeke) i normalno vrijeme koje je prevladavalo duž obale Jadrana (Slika 19d) (Meteorološki i hidrološki bilten, 2013).

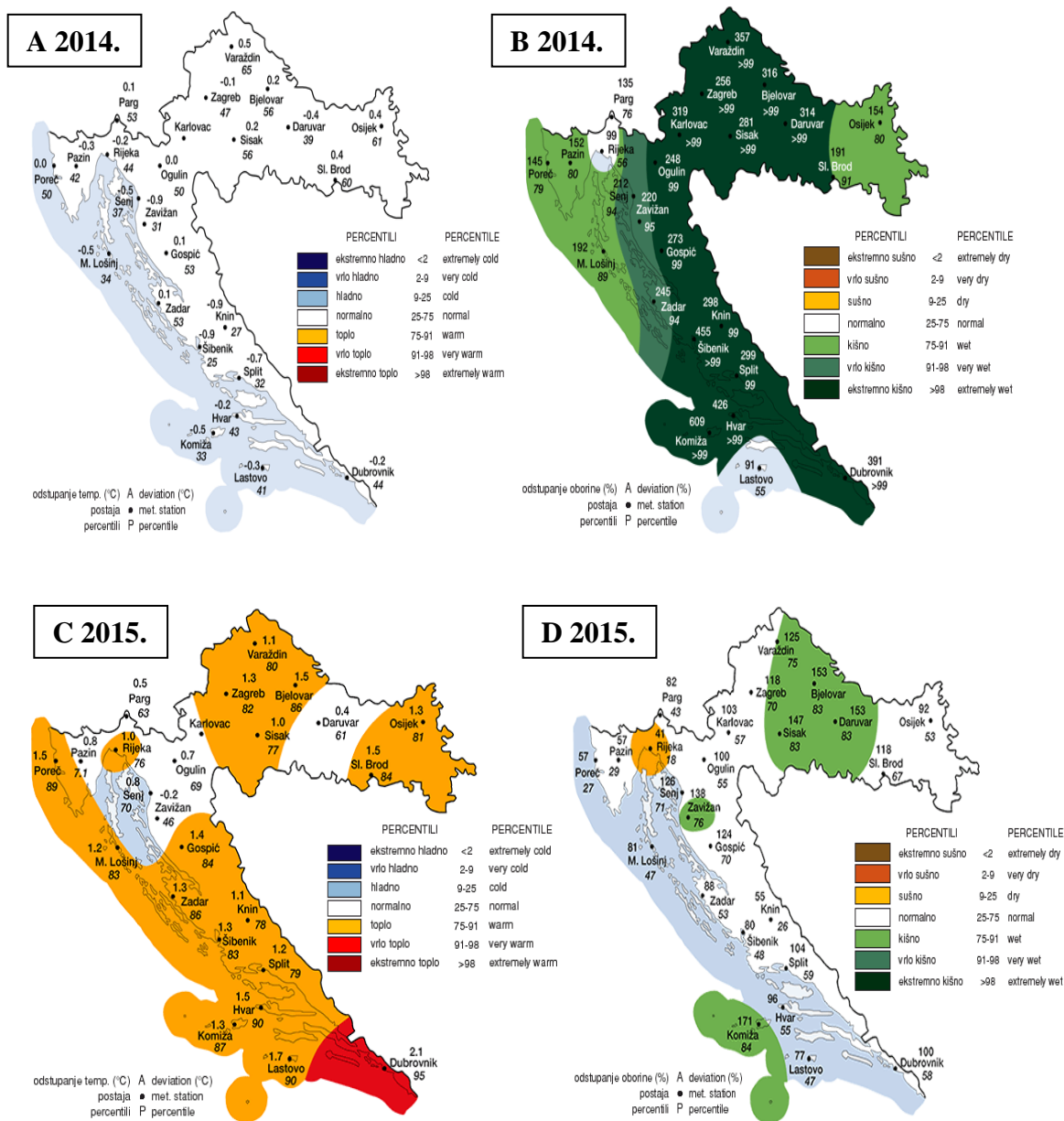


Slika 19. Odstupanja srednje temperature zraka i oborina na Jadranu za mjesec rujan 2012. (A i B) i 2013. godine (C i D) (Izvor: Meteorološki i hidrološki bilten, 2012, 2013).

Temperature u Hrvatskoj za rujan 2014. godine svrstane su u dominantnu kategoriju normalno (cijela Hrvatska) te nije bilo temperaturnih odstupanja (Slika 20A). U rujnu 2014. godine u većem dijelu obalne Hrvatske bilo je ekstremno kišno (Slika 20B). U kategoriju normalno moglo se svrstati Lastovo i šire područje Rijeke, u kišno dio sjevernog Jadrana, te u vrlo kišno dio sjevernog i srednjeg Jadrana s pripadnim zaleđem (Meteorološki i hidrološki bilten, 2014).

Prema raspodjeli percentila veći dio Hrvatske možemo svrstati u kategoriju toplo, dok je vrlo toplo bilo na području južnog Jadrana (Slika 20C), a normalno u području Kvarnera.

Veći dio Hrvatske, prema količini oborina, mogao se opisati kategorijom normalno. Kišno je bilo samo na području južnog Jadrana. Sušno vrijeme bilo je na širem području Rijeke (Slika 20D) (Meteorološki i hidrološki bilten, 2015).

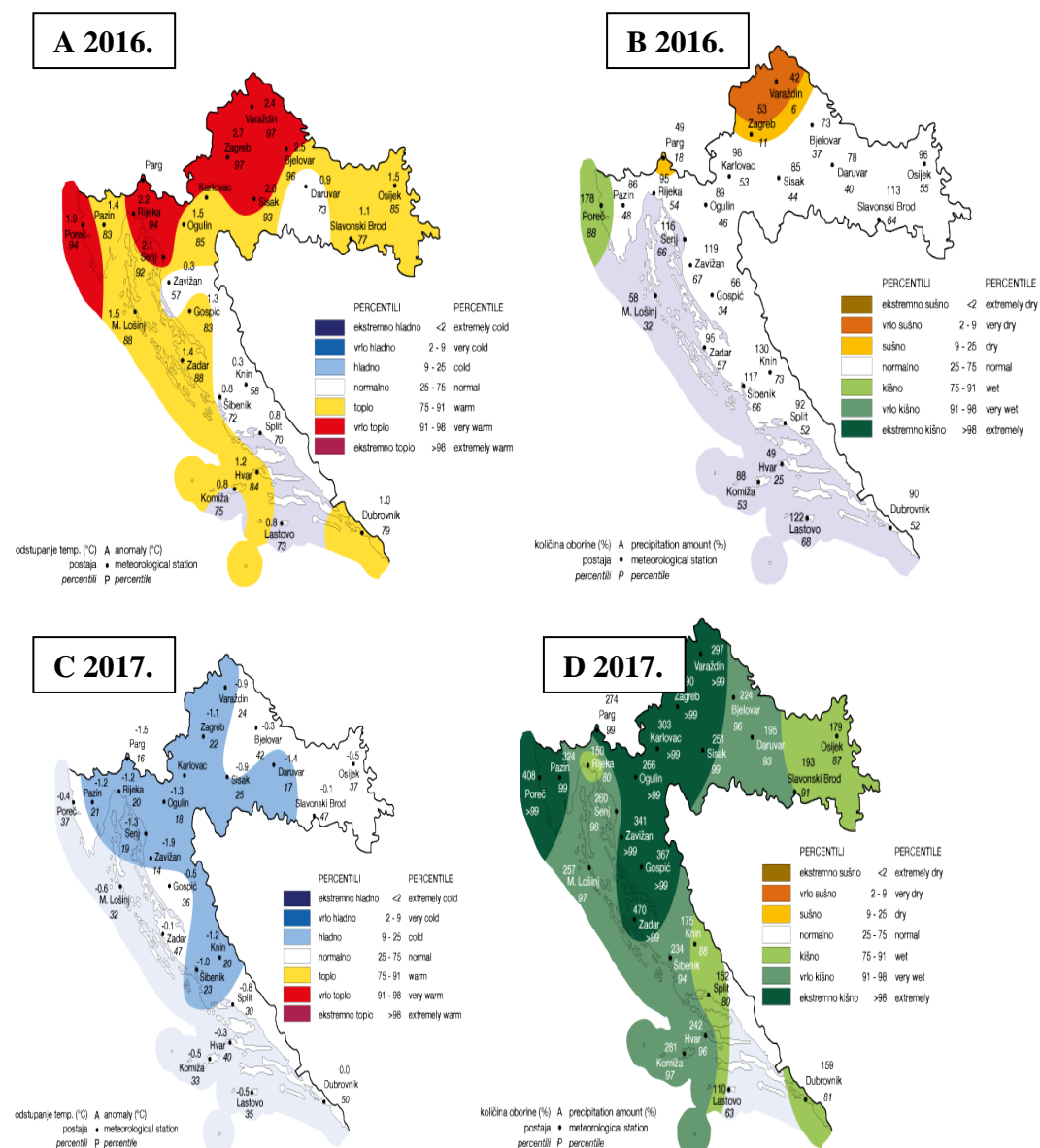


Slika 20. Odstupanja srednje temperature zraka i oborina na Jadranu za mjesec rujan 2014. (A, B) i 2015. godine (C, D) (Izvor: Meteorološki i hidrološki bilten, 2014, 2015).

Može se reći da je rujan 2016. godine bio generalno topao. Vrlo toplo vrijeme bilo je u dijelu sjevernog Jadrana. U kategoriju normalno pripadao je dio srednjeg i južnog Jadrana i zaleđa (Slika 21A). Oborinske prilike za rujan 2016. godine mogle su se opisati kao kišno (šire

područje Poreča) i normalno (preostali dio Hrvatske) (Slika 21B) (Meteorološki i hidrološki bilten, 2016.).

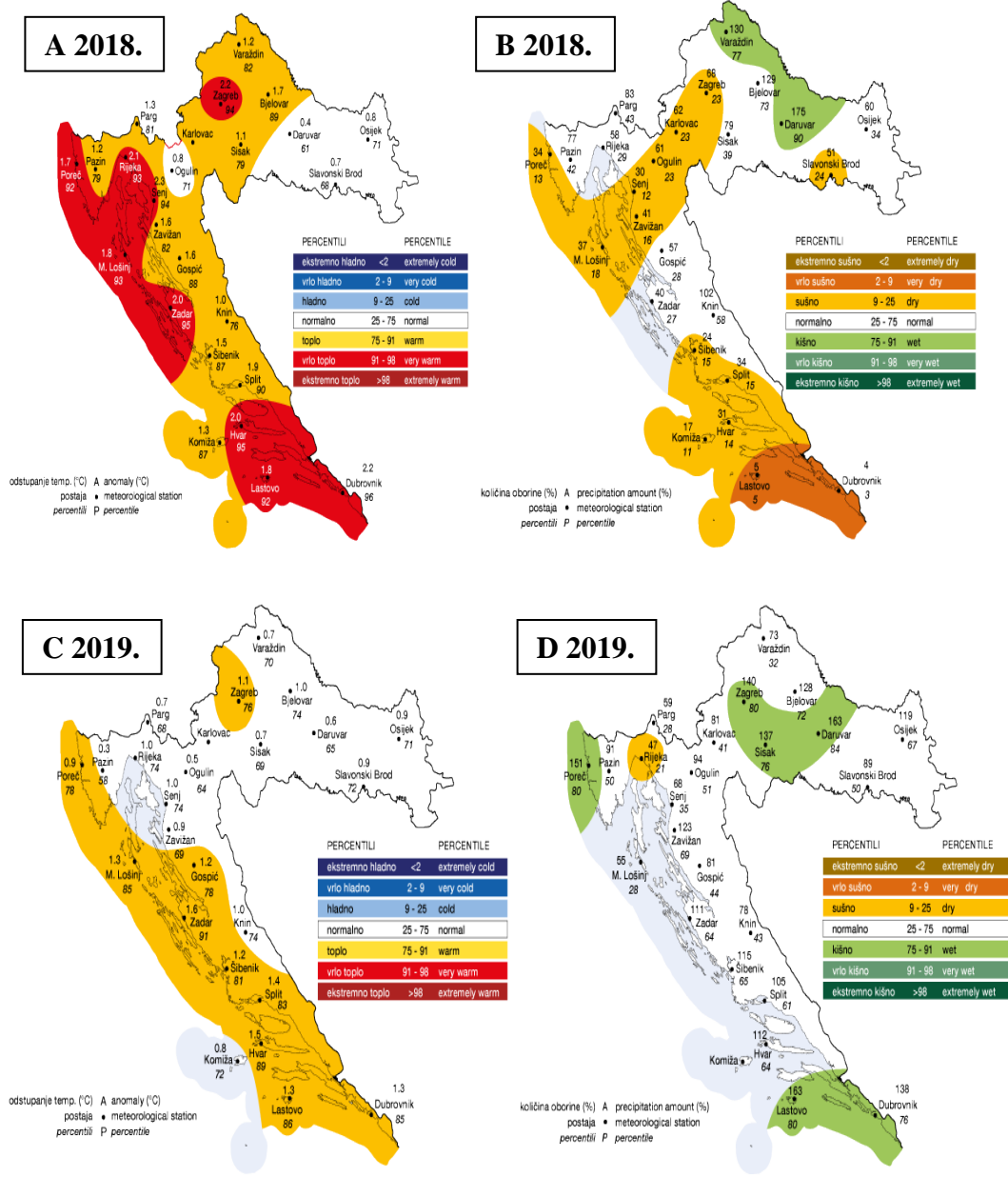
Prema raspodjeli percentila možemo u rujnu 2017. godine kategorijom hladno opisati dio sjevernog i srednjeg Jadrana i zaleđa. Preostali dio jadranske Hrvatske možemo opisati kategorijom normalno (Slika 21C). Rujan 2017. godine bio je uglavnom vrlo kišan. Najveća kišnost bila je na sjevernom Jadranu posebno oko područja Velebita i uz Istarsko područje. (Slika 21d) (Meteorološki i hidrološki bilten, 2017).



Slika 21. Odstupanja srednje temperature zraka i oborina na Jadranu za mjesec rujan 2016. (A, B) i 2017. godine (C, D) (Izvor: Meteorološki i hidrološki bilten 2016., 2017.).

U rujnu 2018. godine, izuzev prolaska hladnih fronti na samom početku krstarenja, može se reći da su se oceanografska mjerenja obavljana u meteorološkim uvjetima karakterističnim za ljeto, tj. pri stabilnom suhom i toplom vremenu. Cijeli Jadran bio je jako topao izuzev otoka srednjeg Jadrana te gradova Šibenika i Splita koji su bili vrlo topli (Slika 22A). Što se oborina tiče dubrovačko područje uključujući otok Lastovo bilo je najsušnije. Najmanje je sušno bilo šire područje Zadarskog akvatorija. Srednji Jadran bio je normalan i manje sušan, dok su sjeverni i južni Jadran bili sušni i vrlo sušni (Slika 22B).

Cijeli Jadran, zajedno sa zaleđem, u rujnu 2019. godine je bio topao (Slika 22C). Oborinske prilike u obalnoj Hrvatskoj za rujnu 2019. godine možemo svrstati u kategoriju normalno osim južnog Jadrana i područja oko Poreča koji su u kategoriji kišno, dok Rijeku i okolicu možemo svrstati u kategoriju sušno (Slika 22D) (Meteorološki i hidrološki bilten, 2019.).



Slika 22. Odstupanja srednje temperature zraka i oborina na Jadranu za mjesec rujna 2018. (A, B) i 2019. godine (C, D) (Izvor: Meteorološki i hidrološki bilten, 2018. i 2019.).

4. RASPRAVA

Promatranjem srednjih mjesečnih izmjerenih polja temperature i saliniteta na 5 m dubine, srednjih mjesečnih modeliranih struja na 5 i 20 m dubine, te klimatološke klasifikacije temperature i oborine za mjesec rujan za razdoblje od 2010. do 2019. godine, uočeno je nekoliko zanimljivih podudarnosti s do sad znanstveno potvrđenim spoznajama vezanim za Jadransko more.

Porast temperature mora na 5 m dubine se jako dobro uočava u promatranom razdoblju, posebice od 2016. do 2019. godine kad veliki dio Jadranskog mora na kojem je rađeno terensko istraživanje doseže temperature veće od 25 °C. Najveći utjecaj na temperaturu mora na 5 m dubine ima temperatura zraka za koju iz klimatoloških analiza vidimo da se možemo svrstati u klimatološku kategorije tople godine. Ponajbolji primjer za promatranje povezanosti temperature zraka i temperature mora je 2011. godina koja je cijela klasificirana kao ekstremno topla godina nakon analize temperature zraka što je rezultiralo time da je temperatura mora u cijelom sjevernom Jadranu i Kvarneru (nažalost terensko istraživanje nije provedeno u ostatku Jadrana što bi nam dalo širi okvir za diskusiju) bila najveća u ovih 10 godina koje se obrađene u ovom radu. Također, temperatura zraka je imala velik utjecaj i na oborine. 2011. godina, kao ekstremno topla, rezultirala je iznimno malom količinom oborina, što je navedenu godinu klasificiralo kao suhu, dok su 2014. i 2017. godine dijelovi obalne Hrvatske, koji su klasificirani temperaturno kao hladniji od prosjeka, imali iznimno veliku količinu oborina. Za očekivati je bilo da će utjecaj oborina imati utjecaj i na iznos i raspodjelu saliniteta u Jadranskom moru, to jest da će s velikim oborinama koje su se dogodile u 2014. i 2017. godini doći do smanjenja saliniteta. Za 2014. godinu se navedeno dogodilo, što smo mogli vidjeti iz prostorne raspodjele saliniteta, dok je 2017. godina dala potpuno suprotni rezultat. Iz prostorne raspodjele za 2017. vidimo da imamo ekstremne iznose saliniteta koji prelaze iznos od 39, što nam govori da ipak veći utjecaj od lokalnih oborina na iznos saliniteta ima upliv slane Levantinske intermedijarne vode kroz Otrantska vrata, to jest proces poznat kao jadranske ingresije. Razdoblje od 2015. do 2019. godine karakterizirano je iznimno visokim iznosima saliniteta za koje, ako promatramo njihovo rasprostiranje u Jadranskom moru, vidimo da njihov krajnji doseg za pojedinu godinu oscilira na osi sjever-jug u ravnini Primoštena, s iznimkom 2017. godine kad se visoki salinitet probio i do Kvarnera. Također, iz raspodjele saliniteta uočeno je da veliki utjecaj imaju podzemski izvori slatke vode posebice u Velebitskom kanalu, kao i protoci rijeka na hrvatskoj obali (Neretva, Cetina, Krka) te protok rijeke Po za cijeli sjeverni Jadran. Za detaljniju analizu

utjecaja dotoka slatke vode bilo bi potrebno proučiti informacije o godišnjim protocima spomenutih rijeka i podmorskih izvora koji su usko povezani s oborinama na kopnenom području.

Iz dosadašnjih znanstvenih istraživanja (Regner i sur., 1987) je poznato da se kod otoka Žirja i istočnog dijela Jabučke kotline povremeno javlja izrazito izranjanje hladne morske vode s dna koje je povezano sa sjeverozapadnim strujanjem zračnih masa, koje uzrokuje sjeverozapadni vjetar (tramontana). U analiziranim temperaturnim poljima, pojava izranjanja je uočena 2010., 2016., 2017. i 2018. godine. Pojava izranjanja je od iznimno velike koristi živom svijetu na spomenutom području jer izranjanje hladne morske vode s dna donosi na površinu veliku količinu hranjivih soli.

Promatranjem strujanja u Jadranskom moru na dubinama od 5 i 20 m uočena je varijabilnost u iznosu i smjerovima strujanja. Što se tiče smjerova strujanja, navedena varijabilnost se ponajbolje vidi u postojanju zatvorenih vrtloga u Jabučkoj i Južnojadranskoj kotlini. U 2010., 2013., 2016., 2017., 2018. i 2019. godini se na polju struja na dubini od 5 m jasno uočavalo postojanje navedena dva vrtloga dok su u ostalim godinama promatranog razdoblja ta dva vrtloga bila spojena u jedan veliki. Postojanje intenzivne izlazne zapadnojadranske struje je bilo usko povezano s postojanjem intenzivne ulazne istočnojadranske struje što je bilo u skladu s očuvanjem kontinuiteta masa.

5. ZAKLJUČCI

Oceanografska mjerenja koja provodi Institut za oceanografiju i ribarstvo u Splitu su od velike koristi za proučavanje promjena u Jadranskom moru, posebice za promatranje utjecaja globalnih klimatskih promjena i utjecaja tih promjena na morski ekosustav i živa bića u njemu. Zbog toga je iznimno dobro imati duge vremenske nizove istraživanja kao što su mjerenja koja su korištena u ovom diplomskom radu, jer ona omogućavaju kompletniju sliku onog što se događa u moru.

Rezultati ovog rada pokazuju da u 10 godina koje su pokrivena ovim istraživanjem dolazi do promjena temeljnih svojstava morske vode kao što su temperatura i salinitet pod utjecajem atmosferskih prilika i oceanografskih faktora kao što komunikacija s okolnim morima, u ovom slučaju Sredozemnim.

Opaženi procesi jedna su od izravnih posljedica klimatskih promjena, odnosno globalnog zatopljenja koje je uzrokovano povećanom koncentracijom stakleničkih plinova zbog ljudskih aktivnosti. U analiziranom desetogodišnjem razdoblju, od 2010. do 2019. godine, registrirano je povećanje učestalosti toplijih i sušnijih ljeta, manji protok rijeka, a sve to zajedno se odražava na klimu Jadrana uzrokujući porast temperature mora i saliniteta.

Porast temperature i saliniteta se uočava jasno, iako je u ovom istraživanju uočeno da se Jadran odlikuje izrazitom višegodišnjom promjenjivošću koja može donekle zamaskirati taj porast. Jedan od razloga te varijabilnosti je i geografski. Naime, Jadransko more je smješteno u području gdje su solarno zračenje, vjetar i oborine glavni uzročnici izmjene topline i vlage između atmosfere i mora.

Promjene u temperaturi zraka su značajne jer fizikalni procesi odgovorni za promjene u moru započinju uz njegovu površinu, odnosno u graničnom sloju između atmosfere i mora. Posljedično, javlja se izraženo isparavanje i gubitak vode s površine mora, što onda utječe na stupac morske vode koji se nalazi ispod površine ne samo porastom saliniteta već i pojavom procesa koji nastoji novonastali disbalans dovesti u ravnotežu.

Porast prosječne površinske temperature za više od 1° C osim na termohalina svojstva ima snažan utjecaj i na biogeokemijski ciklus u moru, a samim time i na živi svijet Jadranskog mora.

Osim klimatskih promjena na međugodišnju varijabilnost temperature i saliniteta u Jadranskom moru koja se mogla vidjeti u rezultatima ovog rada je utjecao i dotok veće ili manje količine Levantinske vode. Jadranske ingresije u kombinaciji s globalnim zatopljenjem su

dovele do toga da se promjene temperature mora i saliniteta uočavaju i u dubljim slojevima mora. Manjak oborina na širem području Jadrana će utjecati na smanjene protoka rijeka što će posljedično dovesti do pojave viših površinskih saliniteta.

Klimatske promjene koje neupitno djeluju na more poput Jadranskog, koje zbog svojih geografskih obilježja poput položaja i dubine iznimno brzo reagira na te promjene, mogle bi u budućnosti dovesti do novih odnosa u morskom svijetu i pri tome imati značajan utjecaj na život u Jadranu što bi se onda odrazilo na cijeli okoliš i živi svijet. Stoga je na nama da obavljamo i održavamo redovna mjerenja koja su preduvjet za procjene dugoročnih promjena u budućnosti i pratimo ekstreme za koje se smatra da će biti sve učestaliji, te da donesemo odluke na temelju znanstvenih istraživanja o najboljem načinu djelovanja kako bi se negativni utjecali smanjili na najmanju moguću mjeru.

6. LITERATURA

- Akcijnski program strategije upravljanja morskim okolišem i obalnim područjem. Sustav praćenja i promatranja za stalnu procjenu stanja Jadranskog mora. 2021. Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja, 128:54-57. Dostupno sa <https://mingor.gov.hr>, pristupljeno: siječanj 2022.
- Artegiani A, Bregant D, Paschini E, Pinardi N, Raicich F, Russo A. 1997a. The Adriatic Sea general circulation. Part I: Air–sea interactions and water mass structure. *Journal of Physical Oceanography*. 27: 1492–1514.
- Artegiani A, Paschini E, Russo A, Bregant D, Raicich F, Pinardi N. 1997b. The Adriatic Sea General Circulation. Part II: Baroclinic Circulation Structure. *Journal of Physical Oceanography*. 27: 1515-1532.
- Buljan M, Zore-Armanda M. 1976. Oceanographical properties of the Adriatic Sea. *Oceanography and Marine Biology: an annual review*. 14: 11-98.
- CMEMS2019.Global Ocean Physics Reanalysis. Dostupno sa: <https://resources.marine.copernicus.eu/productdetail>, pristupljeno: siječanj 2022.
- GLOBAL_REANALYSIS_PHY_001_030/INFORMATION), pristupljeno: siječanj 2022.
- Civitaresse G, Gačić M, Lipizer M, Eusebi Borzelli G.L. 2010. On the impact of the Bimodal Oscillating System (BiOS) on the biogeochemistry and biology of the Adriatic and Ionian Seas (Eastern Mediterranean). *Biogeosciences*, 7: 3987-3997. Dostupno sa:<https://doi.org/10.5194/bg-7-3987-2010>., pristupljeno: siječanj 2022.
- Cushman-Roisin B, Gačić M, Poulain P-M, Artegian A. 2001. *Physical Oceanography of the Adriatic Sea. Present and Future*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 304 str.
- Ćatipović L, Udovičić D, Džoić T, Matić F, Kalinić H, Juretić T, Tičina V. 2021. Adriatic mix layer depth changes in September in the recent years // EGU General Assembly 2021 Beč, Austrija: Copernicus GmbH, 2021. EGU21-2410,1. Dostupno sa: <https://doi:10.5194/egusphere-egu21-2410>, pristupljeno: siječanj 2022.
- Dadić V, Bone M, Beg Paklar G, Grbec B, Ivanković D, Matić F, Morović M. 2006. Automatska meteorološko-oceanografska postaja (AMOS): prihvata, provjera kvalitete i pohrana podataka u stvarnom vremenu i numeričko modeliranje. *Acta Adriatica*, 47 (Dodatak): 133-148. Dostupno sa:<https://hrcak.srce.hr/8548>, pristupljeno: siječanj 2022.

- Damijanić D. 2019. Utjecaj klimatskih promjena na Jadransko more. Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, 27 str.
- Dulčić, J, Dragičević, B. 2011. Nove ribe Jadranskog i Sredozemnog mora. Split: Institut za oceanografiju i ribarstvo: Državni zavod za zaštitu prirode, monografija, 160 str.
- Dunić N. 2019. Termohalina svojstva i dinamički procesi u Jadranskom moru simulirani regionalnim klimatskim modelima. Doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, 141 str.
- Escudier R, Clementi E, Omar M, Cipollone A, Pistoia J, Aydogdu A, Drudi M, Grandi A, Lyubartsev V, Lecci, R, Cretí S, Masina S, Coppini G, Pinardi N. 2020. Mediterranean Sea Physical Reanalysis (CMEMS MED-Currents) (Version 1) set. Copernicus Monitoring Environment Marine Service. Dostupno sa https://doi.org/10.25423/CMCC/MEDSEA_MULTIYEAR_PHY_006_004_E3R1, pristupljeno: siječanj 2022.
- Gačić M, Civitarese G, Eusebi Borzelli G.L, Kovačević V, Poulain P.M., Theocharis A, Menna M, Catucci A, Zarokanellos N. 2011, On the relationship between the decadal oscillations of the northern Ionian Sea and the salinity distributions in the eastern Mediterranean. *Journal of Geophysical Research*, 116, C12002. Dostupno sa: <https://doi.org/10.1029/2011JC007280>, pristupljeno: siječanj 2022.
- Grbec B, Matić F, Beg Paklar G, Morović M, Popović R, Vilibić I. 2018. Long-Term Trends, Variability and Extremes of In Situ Sea Surface Temperature Measured Along the Eastern Adriatic Coast and its Relationship to Hemispheric Processes. *Pure and applied geophysics* (0033-4553) 175, 11: 4031-4046. Springer International Publishing AG, part of Springer Nature. Dostupno sa: <https://doi.org/10.1007/s00024-018-1793-1>, pristupljeno: siječanj 2022.
- Matić F. 2005. Međudjelovanje atmosfere i mora u Splitskom, Bračkom i Neretvanskom kanalu. Magistarski rad. Sveučilište u Zagrebu, 71 str.
- Matić F. 2011. Utjecaj hemisferskih, atmosferskih procesa na termohaline osobine Jadrana. Doktorska disertacija, Zagreb, Prirodoslovno-matematički fakultet, 143 str.
- Matić F, Grbec B, Morović M. 2011. Indications of Climate Regime shifts in the Middle Adriatic Sea. *Acta Adriatica*, 52 (2): 235-245. Dostupno sa: <https://hrčak.srce.hr/89727>, pristupljeno : siječanj 2022.
- Matić F, Kovač Ž, Vilibić I, Mihanović H, Morović M, Grbec B, Leder N, Džoić T 2017. Oscillating Adriatic temperature and salinity regimes mapped using the Self-Organizing

- Maps method, *Continental Shelf Research*, 132, 11-18. Dostupno sa: <https://doi:10.1016/j.csr.2016.11.006>, pristupljeno: siječanj 2022.
- Matić F, Kalinić H, Vilibić I, Grbec B, Morožin K. 2019. Adriatic-Ionian air temperature and precipitation patterns derived from self-organizing maps: relation to hemispheric indices. *Climate Research*, 78, 2: 149-163. Dostupno sa: <https://doi:10.3354/cr01565>, pristupljeno: siječanj 2022.
- Meteorološki i hidrološki bilten. 2010. Državni hidrometeorološki zavod RH, 9, Zagreb
- Meteorološki i hidrološki bilten. 2011. Državni hidrometeorološki zavod RH, 9, Zagreb
- Meteorološki i hidrološki bilten. 2012. Državni hidrometeorološki zavod RH, 9, Zagreb
- Meteorološki i hidrološki bilten. 2013. Državni hidrometeorološki zavod RH, 9, Zagreb
- Meteorološki i hidrološki bilten. 2014. Državni hidrometeorološki zavod RH, 6-9, Zagreb
- Meteorološki i hidrološki bilten. 2015. Državni hidrometeorološki zavod RH, 6-10, Zagreb
- Meteorološki i hidrološki bilten. 2016. Državni hidrometeorološki zavod RH, 6-9, Zagreb
- Meteorološki i hidrološki bilten. 2017. Državni hidrometeorološki zavod RH, 9, Zagreb
- Meteorološki i hidrološki bilten. 2018. Državni hidrometeorološki zavod RH, 6-9, Zagreb
- Meteorološki i hidrološki bilten. 2019. Državni hidrometeorološki zavod RH, 6-9, Zagreb
- Mihanović H, Vilibić I, Šepić J, Matić F, Ljubešić Z, Mauri E, Gerin R, Notarstefano G, Poulain P-Marie. 2021. Observation, Preconditioning and Recurrence of Exceptionally High Salinities in the Adriatic Sea. *Frontiers in marine science*, 8, 672210, 22. Dostupno sa: <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.672210>, pristupljeno: siječanj 2022.
- Ministarstvo zaštite okoliša i prirode, Institut za oceanografiju i ribarstvo, Split, 2012. Početna procjena stanja i opterećenja morskog okoliša Hrvatskog dijela Jadrana. 396: 13-52. Dostupno sa: <https://acta.izor.hr/wp>, pristupljeno: siječanj 2022.
- Regner S., Regner D., Marasović I., Kršinić F. (1987). Spawning of sardine, *Sardina pilchardus*, (Walbaum, 1792), in the Adriatic under upwelling conditions. *Acta Adriatica*, 26(1-2): 161-198.
- Viličić D. 2014. Specifična oceanološka svojstva hrvatskog dijela Jadrana. *Hrvatske vode: časopis za vodno gospodarstvo*, 90: 297-314
- Zore-Armanda M. 2000. Razvoj fizičke oceanografije na Jadranu, *Pomorski zbornik* 38, Vilke S. (ur.), Udruga za proučavanje i razvoj pomorstva, Rijeka, str. 303-305.