

UTJECAJ KLIMATSKIH PROMJENA NA MORSKI OKOLIŠ

MAJA KRŽELJ*

Ovaj rad opisuje dio rezultata dobivenih istraživanjem dugoročnih ekoloških promjena u Jadranskom moru, s ciljem da pridonese boljem poznavanju trenutnog stanja ekosustava Jadranskog mora, kao posljedica utjecaja klimatskih promjena, temeljeći se na analizama dugoročnih nizova podataka i trendova različitih čimbenika u okolišu. Kako bi se to omogućilo, analizirano je više od 2.336.770 podataka iz različitih baza podataka, sa različitih aspekta promjena i brojnih parametara, pokušavajući shvatiti promjene koje su se dogodile i koje se trenutno događaju te odrediti vulnerabilnost Jadranskog mora, istodobno uzimajući u obzir kompleksnost sakupljenih podataka i međusobnu povezanost raznih parametara. Dobiveni rezultati pokazuju da je Jadransko more u zadnja dva desetljeća bilo pod utjecajem rasta temperature zraka u svim godišnjim dobima, zajedno sa promjenama u oborinama i varijacijama dotoka rijeke Po, te promjenama temperature mora, saliniteta i biogeokemijskih karakteristika, što je prouzrokovalo promjene u morskom ekosustavu, a neke od njih su vidljive u abundanciji i geografskoj rasprostranjenosti morskih vrsta. Svaka promjena u okolišu je potencijalni čimbenik koji utječe na kvalitetu zdravlja i življenja, stoga su istraživanja o klimatskim promjenama i promjenama u okolišu, te njihovom utjecaju na ljudsko zdravlje, neophodno potrebne kako bi se shvatile direktne i indirektne posljedice koje promjene u okolišu mogu imati na zdravlje ljudi.

Deskriptori: KLIMATSKE PROMJENE, JADRANSKO MORE, ZDRAVLJE I KVALITETA ŽIVOTA

UVOD

Zbog očitih promjena koje se događaju u okolišu, te sve češćih prirodnih katastrofa zabilježenih na različitim krajevima zemaljske kugle, javnost pridaje sve veću pažnju klimatskim promjenama i njihovom utjecaju na okoliš. U zadnjem desetljeću je zabilježen znatan porast znanstvenih istraživanja i radova o utjecaju klimatskih promjena na ekosustave, na globalnom, regionalnom i lokalnom nivou, ali unatoč tome poznavanje posljedica promjena je još uvijek ograničeno. Kada se govori o dugoročnim istraživanjima, važno je napomenuti da prikupljanje i usporedba postojećih podataka može biti glavni problem zbog toga što postoji nedovoljan broj dugoročnih nizova podataka, ograničenih u vremenu

i prostoru, a većina njih nije kontinuirana. Naime, prva istraživanja i mjerenja temperature zraka datiraju od polovice 19. stoljeća, dok podaci prikupljeni i zabilježeni u sklopu oceanografskih istraživanja uglavnom čine baze podataka ograničene na zadnjih sto godina, a u većini slučajeva zadnjih pedeset godina. Unatoč tome, pomoću paleoklimatskih istraživanja leda moguće je iščitati sastav zraka i temperaturu određenog perioda, te iz bušotina leda dobiti podatke o kakvoći zraka prije više od milijuna godina i rekonstruirati nastale promjene u okolišu. Nadalje, u nekim studijama se koriste stari arhivski zapisi (službeni dokumenti, novine, knjige, pisma, itd.) i umjetnička djela (slike, kipovi, vaze, freske, itd.) pomoću kojih se može rekonstruirati stanje okoliša u određenom razdoblju i na taj način pratiti razvoj čimbenika u ekosustavu. Prikupljene podatke zatim treba obraditi i uskladiti kako bi se, iako prikupljeni na različite načine, upotrebom različitih instrumenata i u različitim razdobljima, mogli zajedno koristiti i usporediti. Usprkos tome, najveći problem pri prikupljanju

podataka ostaje činjenica da je većina dugoročnih serija podataka pohranjena u bazama podataka koje nisu dostupne. Zbog tog razloga je neophodno nastaviti s prikupljanjem podataka, sastavljanjem zajedničkih baza podataka, provođenjem novih istraživanja i studija kako bi se što bolje i detaljnije proučila i shvatila kompleksna mreža veza među različitim dijelovima ekosustava koji utječu jedni na druge. Globalno zatopljenje, zajedno s promjenama u količini i vrsti oborina, uzrokuje promjene u biogeokemijskim karakteristikama mora i oceana, biološkoj raznolikosti, te geološkoj rasprostranjenosti organizama. Manja i zatvorena mora uglavnom reagiraju brže od oceana na novonastale promjene u okolišu, zbog čega je Jadransko more idealno područje za proučavanje promjena nastalih utjecajem antropogenih aktivnosti i/ili klimatskih promjena (1).

Za razliku od dosadašnjih istraživanja zagađenja i iskorištavanja morskih resursa kao najvažnijih antropogenih utjecaja na morske ekosustave i oceane, posljednjih godina sve veća pažnja se

*Sveučilišni studijski centar za studije mora
Sveučilište u Splitu

Adresa za dopisivanje:
Dr. sc. Maja Krželj
Sveučilišni studijski centar za studije mora
Sveučilište u Splitu
21000 Split, Livanjska 5/III
E-mail: maja.krzelj@unist.hr

pridaje istraživanjima pozitivnih i negativnih utjecaja oceana na ljudsko zdravlje (2-6). Klimatske promjene utječu na varijacije temperature, oborina, vjetrova i ostalih faktora koji direktno ili indirektno utječu na zdravlje ljudi, zbog toga je za očekivati da će klimatske promjene utjecati na zdravlje ljudi i kvalitetu života na Zemlji. Jedan od primjera su velike količine oborina u kratkom razdoblju koje uzrokuju sve češće poplave i smrt ljudi (npr. početkom travnja 2010. godine poplave u Brazilu usmratile su stotinjak osoba), dok njihove posljedice ostaju vidljive dugo nakon poplava zbog zagađenja pitke vode, te bujanja bolesti koje se javljaju u pogođenim područjima. U isto vrijeme na drugim krajevima svijeta se javljaju problemi uzrokovani nedostatkom padalina, te su sve veća područja zahvaćena sušom (npr. u ožujku 2010. zabilježena je katastrofalna suša u jugozapadnom području Kine) koja imaju kao posljedice nedostatak pitke vode i propadanje obrađenih poljoprivrednih područja kao izvora hrane i zarade.

Promjene u temperaturi zraka i oceana uzrokuju sve češće i jače oluje koje se manifestiraju razornim uraganima (npr. Mitch 1998.godine, te Katrina i Rita u rujnu 2005.godine), tornadima i orkanskim valovima, čije posljedice mogu biti katastrofalne. Osim toga, promjene u temperaturi mora i oceana, zajedno s unosom hranjivih tvari, uzrokuju toksične cvatnje morskog fitoplanktona, te bujanje mikrobioloških organizama koji mogu uzrokovati vrlo štetne posljedice za ljudsko zdravlje, dok njihovom širenju svjetskim morima može pogodovati i prijenos balastnih voda u kojima se ti organizmi prenose u nova područja, tzv. "mora domaćine" u kojima često nemaju prirodnog neprijatelja te se, nailazeći na njima pogodne uvjete, vrlo brzo šire. Toksične vrste fitoplanktona mogu uzrokovati teške posljedice po ljudsko zdravlje jer su bazalne vrste hranidbenih mreža u oceanu, pa se njihovi toksini bioakumuliraju i koncentriraju u organizmima na višem stupnju hranidbenih lanaca, u kojem je čovjek obično top predator. Klimatske promjene, zajedno sa prelovom organizama, utječu na promjene u ravnoteži hranidbenih lanaca i mreža, kako na kopnu, tako i u moru, o kojima

naposljetku ovise životne i prehrambene navike čovjeka, te izvor hrane i kvaliteta življenja stanovništva.

PROMJENE U OKOLIŠU NASTALE UTJECAJEM KLIMATSKIH PROMJENA

Globalno zatopljenje

Povezanost elemenata u okolišu i različitih čimbenika u ekosustavu, potvrđuje i činjenica da mi sami utječemo na promjene u okolišu, kao što i one utječu na nas, te ako se poremeti jedan dio biosfere, zbog neprestanog kruženja tvari u prirodi, refleksno se utječe na funkcioniranje preostalog dijela sustava. Jedan od primjera neprestane povezanosti i kruženja tvari u prirodi, te "lančanih reakcija" koje nastaju u okolišu uzrokovane poremećajem ravnoteže bilo kojeg dijela, je i globalno zatopljenje. Prirodne varijacije klime na Zemlji postoje već dugi niz godina, te se manifestiraju cikličkom izmjenom toplih i ledenih doba u kojima se atmosfera značajno grijala i hladila, mnogo prije čovjekovog utjecaja na okoliš. Globalno zatopljenje podrazumijeva porast temperature zraka, te porast temperature u morima i oceanima, koji je uzorkovan takozvanim efektom staklenika, nastalim zbog prevelike emisije stakleničkih plinova uslijed antropogenih aktivnosti izgaranja fosilnih goriva, zabilježenog pojavom industrijalizacije. Efekt staklenika je inače pozitivan mehanizam u kojem tanki sloj, sastavljen od stakleničkih plinova, zadržava dio Sunčevih zraka u atmosferi te na taj način omogućava održavanje povoljne temperature bez koje život na Zemlji ne bi bio moguć. Međutim, uslijed prevelike emisije stakleničkih plinova, nastalih kao nusprodukt ljudskih aktivnosti, taj sloj postaje sve deblji te zadržava veći postotak Sunčevog zračenja i omogućava porast temperature u atmosferi koja uzrokuje topljenje polarnih kapa i ledenjaka, rast nivoa mora i dezertifikaciju.

Mjerenja temperature zraka su započela mnogo prije mjerenja drugih parametara, ali unatoč tome dugoročne baze podataka koje sadrže kontinuirane nizove su dostupne tek od 1860-ih. Podaci prikupljeni na različitim krajevima svijeta pokazuju jasan porast temperature

u zadnjih sto godina, posebno izražen u razdobljima od 1910. do 1940. i od 1970. do danas, u kojima je zabilježen kontinuirani porast temperature (7). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) u svojim izvješćima navodi da je prosječna temperatura zraka porasla za +0,8°C od početka industrijalizacije, te da se prema klimatskim scenarijima i prognozama do 2100. godine očekuje daljnji porast temperature zraka od +1 do +6°C, zajedno sa značajnim promjenama u količini i vrsti oborina, te sve češćim pojavama poplava i suša (8). Posljednja istraživanja navode linearni trend zatopljenja od + (0.74 ± 0.18) °C u razdoblju od 1906. do 2005., sa značajnim zatopljenjem u zadnjih 50 godina (9). Slične promjene su opisane na Mediteranu gdje je porast prosječne godišnje temperature zabilježen kao jedan od najvažnijih trendova na cijeloj planeti (10-12).

Oceani i mora imaju važnu ulogu u održavanju života na Zemlji i reguliranju razmjene temperature, na način da pohranjuju toplinu i morskim strujama je raznose s jednog kraja svijeta na drugi, kontrolirajući klimu i temperaturu na svim krajevima svijeta, te zahvaljujući tom mehanizmu smanjuju utjecaj klimatskih promjena djelujući kao "tampon zona" koja ublažava promjene temperature. Zbog navedenog mehanizma promjene temperature na kopnu su mnogo izražajnije nego u morima i oceanima, što je potvrđeno i činjenicom da su brojne studije vezane za porast temperature u morima i oceanima zabilježile porast od +0,6°C u razdoblju od 1860. do 2008., znači malo niže od anomalija temperature zraka. Navedenim podacima idu u prilog i rezultati dobiveni usporedbom promjene temperature na globalnom nivou, te na Sjevernoj i Južnoj polutci, iz kojih je proizašlo da je na Sjevernoj polutci zabilježen najveći porast temperature, u usporedbi s temperaturom na Južnoj polutci i globalnom temperaturom, zbog toga što se na Sjevernoj polutci nalazi veći dio kopna s velikim urbanim centrima koji pridonose porastu temperature. Taj podatak potvrđuju i analize anomalija temperatura zraka koje prikazuju najznačajniji porast temperature na Sjevernoj polutci, dok je na istoj izmjeren značajan porast tempera-

ture u kopnenim područjima. Važno je naglasiti da rezultati dobiveni analizama podataka, sakupljenim na različitim krajevima svijeta, pokazuju da se važan pozitivan trend temperature dogodio u zadnja tri desetljeća, dok je samo u zadnjih deset godina zabilježen porast od $+0,5^{\circ}\text{C}$ temperature na površini mora, potvrđujući da su u zadnjem desetljeću izmjerene najviše godišnje temperature (7). Prema NASA podacima od 1850. godine, najviše odstupanje temperature je zabilježeno 2005. godine, s anomalijom od $+0,6^{\circ}\text{C}$ globalne temperature, te anomalijom od $+0,73^{\circ}\text{C}$ zabilježenoj na Sjevernoj polutci. Druga najtoplija godina u navedenom periodu je 1998. za koju stručnjaci smatraju da su neuobičajeno visoke temperature povezane s najjačim El-Niño efektom u posljednjih 100 godina (13). Analizirani podaci pokazuju i činjenicu da su 2002., 2003., i 2004. godina zabilježene kao treća, četvrta i peta najtoplija godina od 1850. godine, što potvrđuje da je posljednje desetljeće najtoplije desetljeće u navedenom razdoblju. Nadalje, analizama godišnjih doba na Sjevernoj polutci je zabilježen značajan porast temperature u zimskom periodu (Siječanj-Ožujak), zajedno s negativnim trendom zabilježenim za broj hladnih dana, dok su analize za ljetno razdoblje (Lipanj-Kolovoz) pokazala najviše temperature izmjerene u 2003. godini. Slična zapažanja su navedena i za Mediteransko područje gdje je zabilježen porast temperature i saliniteta, zajedno s promjenama u morskim strujama uzorkovanim prije svega promjenama u temperaturi i salinitetu vodenih masa (14-16).

Promjene u oborinama, riječnim dotocima i salinitetu

Fenomen globalnog zatopljenja je povezan s promjenama u oborinama, primijećenih u količini, intenzitetu, učestalosti i tipu oborina, zajedno sa značajnim smanjenjem volumena i rasprostranjenosti snježnog i ledenog pokrivača koji zatim uzrokuju promjene u dotocima rijeka koje se nalaze u planinskim područjima. Diljem svijeta je zabilježen porast udjela velikih količina oborina u kratkim vremenskim razdobljima koje uzrokuju poplave, dok je istodobno zabilježeno udvostručenje sušnih područja, te zna-

čajan pad pohranjivanja vode u planinskim glečerima i snježnim pokrivačima koji uzrokuju smanjenje riječnih dotoka. Stručnjaci u izvješću IPCC-a predviđaju da će učestalost velikih oborina u kratkim vremenskim razdobljima porasti, te uzrokovati sve učestalije poplave, dok će se istodobno povećati broj sušnih područja. Nadalje, brojna istraživanja potvrđuju da su promjene u riječnim dotocima uzrokovane prije svega promjenama u količini i vrsti oborina, te da je u Južnoj Europi zabilježen značajno smanjen dotok rijeka, sa značajnim promjenama u sezonskim dotocima. U područjima gdje su u zimskom razdoblju uobičajene snježne padaline, zabilježen je negativni trend proljetnog riječnog dotoka zbog manje količine snježnih padalina zimi te manje količine snijega koji se otapa u proljeće, dok je u istim područjima zabilježen pozitivan trend dotoka u zimskom i jesenskom razdoblju, što ukazuje na promjene u vrsti padalina u tim godišnjim dobima. U područjima bez značajnih snježnih padalina promjene riječnih dotoka ovise uglavnom o promjenama kišnih padalina. Anomalije riječnih dotoka znatno utječu na promjene u salinitetu morskog područja u koji se sliva rijeka, utječući na taj način na fizikalne, kemijske i biološke karakteristike morskog ekosustava, koje zajedno s promjenom temperature osim na promjene u morskim strujanjima utječu i na rasprostranjenost morskih organizama.

Prilagodbe morskih organizama na klimatske promjene

Najizraženiji fenomen koji se povezuje s globalnim zatopljenjem je sve veća geografska rasprostranjenost termofilnih vrsta, karakterističnih za topla tropska mora, koje se šire prema polovima (sjevernije na Sjevernoj polutci i južnije na Južnoj polutci) dok se vrste karakteristične za hladna mora povlače u hladnija područja i na taj način smanjuju svoju geografsku rasprostranjenosti, pa bi navedene promjene mogle ugroziti njihov opstanak i uzrokovati nestanak ovih vrsta (17, 18), što bi rezultiralo smanjenjem biološke raznolikosti i nepovratnim posljedicama štetnim po funkcioniranje morskog ekosustava. Fenomen širenja termofilnih i tropskih vrsta je zabilje-

žen u svim svjetskim morima, pa tako i u Mediteranskom i u Jadranskom moru (19-23). U Mediteranu je migriranje borealnih vrsta zabilježeno prema sjevernom morfološki ograničenom dijelu bazena, dok se u Jadranskom moru odvijaju vertikalne migracije prema dubljim i hladnijim vodama, pa će se na taj način, ako temperatura mora dalje nastavi rasti, geografska rasprostranjenost i područja obitavanja ovih vrsta sve više smanjivati dok ne dođe do potpunog izumiranja (18). Brojna istraživanja su zabilježila nestanak osjetljivih vrsta i masivno izumiranje organizama kao posljedice porasta temperature mora te fenomena hipoksije i anoksije koji se javljaju u određenim područjima. Osim toga, znanstvenici opisuju visoku abundanciju i širenje populacija termofilnih vrsta meduza kao najznačajniji primjer poremećene ravnoteže u morskome ekosustavu kao posljedica sinergije klimatskih promjena i preloma ribljih vrsta (predatora i kompetitora meduza), navodeći da se nekadašnja "mora puna riba" pretvaraju u "mora puna meduza".

Taj poremećaj u ravnoteži hranidbenih mreža, odnosno lanaca, bi mogao znatno utjecati na čovjeka, pogotovo ako uzmemo u obzir predviđanja znanstvenika čija istraživanja ukazuju na to kako bi za pedesetak godina moglo doći do potpunog nestanka riba iz oceana, a koje čine važnu kariku u ravnoteži morskih ekosustava, jer svojim brojem kontroliraju organizme u drugim nivoima hranidbenog lanca, dok za čovjeka znače jedan od najvažnijih izvora proteina za prehranu. Osim meduza, zabilježena su sve češća toksična cvjetanja morskog fitoplanktona, te širenje bakterija i termofilnih vrsta tropskih algi koje preko balastnih voda dospijevaju u mora u kojima prije nisu bile zabilježene. Kod toksičnih cvjetanja fitoplanktona, osim konzumiranjem zagađenih organizama, do trovanja i štetnog utjecaja na ljudsko zdravlje može doći već pri samom udisanju toksina koji se nalaze u aerosolu u tom području ili pri dodiru vode u kojoj se nalaze organizmi (npr. slučaj cvatnji tropske alge *Ostreopsis ovata* koja je u Ligurskom zaljevu u ljeto 2005. godine uzrokovala trovanje 225 kupača).

PROMJENE ZABILJEŽENE U
JADRANSKOM BAZENU

Jadransko more je smješteno u sjevernom dijelu Mediterana, okruženo Dinarškim, Alpskim i Apeninskim planinskim lancima. Prosječna dubina Jadrana iznosi 250 metara, a ukupna površina je 138.000 km², te se može podijeliti na:

1. vrlo plitki Sjeverni Jadran (prosječna dubina 35 metara) koji se pruža od obala talijanskih regija Veneto i Friuli do zamišljene linije između Ancone i Zadra;
2. srednji Jadran (prosječna dubina od 140 metara) ima maksimalnu dubinu od 280 metara u Jabučnoj kotlini, a smješten je između zamišljene linije Ancona-Zadar na sjeveru i linije Gargano-Lastovo na jugu;
3. južni Jadran je najdublji dio bazena s maksimalnom dubinom od oko 1300 metara zabilježenom u Južnoj jadranskoj kotlini, a pruža se od linije Gargano-Lastovo do Otrantskih vrata.

Na obje obale Jadrana se nalaze riječni slivovi koji unosom hranjivih tvari i slatke vode znatno utječu na ekosustav cijelog bazena. U sjevernom dijelu bazena nalazi se rijeka Po koja je, sa prosječnim godišnjim dotokom od 1500 m³/s, zaslužna za više od 70% donosa hranjivih tvari u cijelom bazenu, te ovisno o meteorološkim i hidrološkim uvjetima i o sezonskoj fluktuaciji dotoka koja pokazuje maksimume u proljeće i u jesen, utječe na granulometriju, hidrodinamiku, te kemijske i biološke procese sjevernog i zapadnog dijela bazena (24-27). Zbog navedenih geomorfoloških i hidrodinamičkih karakteristika, iako je kontinentalno gotovo zatvoreno more koje komunicira s ostatkom Mediteranskog bazena samo preko uskog Otrantskog kanala dubokog 800 metara, Jadran se može smatrati minijaturnim oceanom i idealnim područjem za proučavanje promjena u morskom ekosustavu.

Analizirajući promjene temperature zraka u Jadranskom bazenu u posljednjih 40 godina, usporedbom podataka sakupljenih dugogodišnjim mjerenjima na obje strane Jadrana, može se vidjeti da je prosječna godišnja temperature po-

rasla za +0,8°C u posljednjih 20 godina, što se podudara s rezultatima dobivenim analizama globalne temperature zraka i temperature zraka na Sjevernoj polutci. Nadalje, sezonske analize su pokazale da su u ljeto 2003. godine izmjerene najviše temperature, što je u skladu s gore navedenim podacima globalne temperature zraka i temperature zraka na Sjevernoj polutci. Rezultati koji se ne podudaraju s onima dobivenim za globalnu temperaturu i temperaturu na Sjevernoj polutci, je anomalija temperature zraka u 2005. godini, koja je na globalnom nivou zabilježena kao najtoplija godina u posljednjih 150 godina, dok podaci u Jadranskom bazenu pokazuju da je to najhladnija godina u zadnjem desetljeću, najvjerojatnije zbog hladne, suhe i vrlo vjetrovite zime koja je zabilježena te godine. Nadalje, analizirajući godišnja doba, statistički značajan pozitivni trend je zabilježen u ljeto, proljeće i jesen, uzimajući u obzir srednjak, maksimum i minimum izmjerenih temperatura zraka, dok zima pokazuje pozitivan ali statistički nejasan pozitivan trend temperature, najvjerojatnije zbog promjenjivih i hladnih zima zabilježenih u tom razdoblju. Zajedno s navedenim porastom temperature zraka u Jadranskom bazenu, zabilježene su promjene u količini, intenzitetu, učestalosti i vrsti oborina, pokazujući niže srednje vrijednosti ukupnih oborina u posljednja dva desetljeća u usporedbi s prethodnim razdobljem, koje su uzrokovale promjene u riječnom dotoku važnom za morski ekosustav zbog donosa hranjivih tvari i slatke vode. Najniže vrijednosti ukupnih godišnjih oborina su prikazane u 2003. godini kada su zabilježene neuobičajene atmosferske prilike, sa suhom i hladnom zimom (28). Općeniti negativni trend oborina je potvrđen statističkim analizama koje su prikazale i značajno negativni trend u zimskom periodu.

Kao što je već spomenuto, rijeka Po je glavni izvor hranjivih tvari i slatke vode u Jadranskom moru sa prosječnim godišnjim dotokom od 1490 m³/s, te uobičajena dva maksimuma, jedan u proljeće i jedan u jesen. Prvi je obično veći i uzrokovan kišnim padalinama i topljenjem snijega na planinama u okolnim područjima, dok je drugi manji i ovisi uglavnom o količini i vrsti padalina

na, zbog čega su s promjenama u oborinama zabilježene i promjene u riječnom dotoku, te iznad svega u sezonskim dotocima. U zadnja dva desetljeća godišnji dotok rijeke Po se smanjio, te je u istom razdoblju zabilježeno nekoliko godišnjih dotoka manjih od 1000 m³/s. Promjene u dotoku rijeke Po uzrokuju smanjeni donos slatke vode i hranjivih tvari u proljeće, te utječu na promjene u primarnoj proizvodnji, te na sastav i distribuciju različitih vrsta fitoplanktona i zooplanktona, pa prema tome može utjecati i na strukturu morskih zajednica i populacija, te na funkcioniranje cijelog morskog ekosustava u Sjevernom Jadranu. U 2003. godini je zabilježena ekstremno duga suša, koja je uzrokovala minimalni proljetni dotok rijeke Po, uspoređujući godišnje srednjake od 1970 do 2008, te minimalni donos slatke vode i hranjivih tvari, uzrokujući iznimno niske vrijednosti primarne proizvodnje i biomase fitoplanktona zabilježene u istom razdoblju. Važno je istaknuti da je minimalni dotok izmjeren u 2003. godini, sa samo 834 m³/s, treći najniži dotok u zadnjih 90 godina, nakon onih zabilježenih 1944. i 1945. godine koji bi mogli biti netočni jer su mjereni za vrijeme Drugog svjetskog rata. Nadalje, značajne promjene sezonskih dotoka pokazuju negativni trend u proljeće zbog manje količine oborina i otopljenog snijega u tom razdoblju, dok je u jesen zabilježen pozitivan trend.

Promjene u dotoku rijeke Po uzrokuju promjene u salinitetu za koji je u Sjevernom Jadranu zabilježen statistički značajan pozitivni trend u proljeće i ljeto, dok je statistički značajan negativni trend dobiven za jesen i zimu, što se podudara s promjenama riječnog dotoka. Nadalje, u ljetnom razdoblju 2003. godine su zabilježene najviše vrijednosti saliniteta u Jadranskom bazenu, koje se u potpunosti podudaraju s razdobljem visokih temperatura, niskih padalina, velike suše i niskih vrijednosti dotoka rijeke Po.

Osim promjena u temperaturi mora i saliniteta, u Jadranskom moru su zabilježene i promjene u kemijskim karakteristikama, te u geografskoj rasprostranjenosti i abundanciji organizama koje ovise prvenstveno o fizikalnim karakteristikama morske vode, te o raspoloživosti hranjive tvari. Vezano za toksična cvjetanja

fitoplanktona, a zahvaljujući pogodnim meteorološkim uvjetima i dovoljnoj količini hranjive tvari, važno je napomenuti da je tropska alga *Ostreopsis ovata*, koja je u ljeto 2005. godine uzrokovala 225 kupača u Ligurskom zaljevu, u ljeto 2006. godine zabilježena ispred Ancone na zapadnoj obali Jadrana, gdje su zbog toksične cvatnje i trovanja kupača političke vlasti morale u nekoliko navrata (pa tako i u ljeto 2008. i 2009. godine) donijeti odluku o zabrani kupanja i/ili ulovu, te konzumiranju morskih organizama iz tog područja, što je osim trovanja imalo negativne posljedice na lokalno gospodarstvo i ekonomsku zaradu lokalnog stanovništva. Nadalje, analize komercijalno važnih vrsta u Jadranskom moru pokazuju značajne alternacije, te ukazuju na to da bi sinergija klimatskih promjena i prevelikog iskorištavanja morskih organizama mogla uzrokovati negativne nepovratne posljedice za cijeli morski ekosustav, koji će zatim direktno i/ili indirektno utjecati na čovjeka.

ZAKLJUČAK

Zbog sve očitijih promjena u okolišu, nastalih utjecajem klimatskih promjena, uzročnici štetnih posljedica na ljudsko zdravlje, zajedno s uzročnicima teških bolesti (npr. malarija, kolera, itd.) šire se prema novim područjima u kojima, zahvaljujući nastalim promjenama, nailaze na pogodne uvjete te uzrokuju epidemije stanovništva u zahvaćenom području. Praćenje stanja nekog ekosustava, te njegovo dugoročno proučavanje može znatno pridonijeti shvaćanju svih promjena koje su nastale i/ili su u tijeku, te predvidjeti eventualne nove promjene. Pознаvanje morskog ekosustava i proučavanje dugoročnih promjena nekog područja moguće je zahvaljujući praćenju promjena i usporedbom povijesnih podataka sa trenutnim stanjem, pa zbog toga dugoročni nizovi podataka igraju važnu ulogu u shvaćanju prijašnjih stanja okoliša i trenutnih promjena, te nam omogućavaju da shvatimo kada, zbog čega i u kolikom omjeru je došlo do neke promjene. Posljednjih godina u svim svjetskim morima, pa tako i u Jadranu, zabilježen je značajan porast temperature zraka i morske vode, zajedno sa značajnim promjenama u oborinama, riječnim dotoci-

ma i salinitetu morske vode. Osim toga, uočene su i značajne alteracije kemijskih karakteristika vode, te geografske rasprostranjenosti i abundancije morskih vrsta. Unatoč sve očitijim promjenama u fizikalnim, kemijskim i biološkim karakteristikama, poznavanje utjecaja klimatskih promjena na morski ekosustav u Jadranskom bazenu je uglavnom ograničeno na proučavanja lokalnih promjena i zapažanja, koja imaju važnu ulogu u predviđanju novih promjena u morima i oceanima diljem svijeta. Zbog svega navedenog može se zaključiti da je neophodno važno nastaviti s istraživanjima u Jadranskom moru, te posvetiti veću pažnju studijima vezanim za direktni i/ili indirektni utjecaj morskog okoliša na ljudsko zdravlje, kako bi se na najbolji mogući način zaštitio morski okoliš, a samim tim i ljudsko zdravlje, te osigurala visoka kvaliteta zdravlja i življenja na Jadranu.

Željela bih zahvaliti Prof. dr. sc. Anieli Russu sa Politehničkog Sveučilišta Regije Marche u Italiji i Doc. dr. sc. Nedi Vrgoču s Instituta za oceanografiju i ribarstvo u Splitu na neizmjerljivoj pomoći tijekom istraživanja i izrade studija.

LITERATURA

- Boero F, Rinaldi A. La biodiversità e i macrodescrittori della storia dell' Adriatico. Biodiversity and macrodescriptors of the adriatic sea history. *Biol. Mar. Mediterr.* 2008; 15 (1): 450-6.
- Fleming LE, Broad K, Clement A, Dewailly E, Elmir S, Knap A, Pomponi SA, Smith S, Solo Gabriele H, Walsh P. Oceans and human health: Emerging public health risks in the marine environment. *Mar. Pollut. Bull.* doi: 10.1016/j.marpolbul.2006. 08. 012. 2006; 53 (10-12): 545-60.
- Stewart JR, Gast RJ, Fujioka RS, Solo-Gabriele HM, Meschke S, Amaral-Zettler LA, Del Castillo E, Polz MF, Collier TK, Strom MS, Sinigalliano CD, Moeller PDR, Holland AF. The coastal environment and human health: microbial indicators, pathogens, sentinels and reservoirs. *Environmental Health*, doi: 10.1186/1476-069X-7-S2-S3, 2008; 7(2): 3.
- Kite-Powell HL, Fleming LE, Backer LC, Faustman EM, Hoagland P, Tsuchiya A, Younglove LR, Wilcox BA, Gast RJ. Linking the oceans to public health: current efforts and future directions. *Environmental Health* doi: 10.1186/1476-069X-7-S2-S6, 2008; 7 (2): 6.
- Moore SK, Trainer VL, Mantua NJ, Parker MS, Laws EA, Backer LC, Fleming LE. Impacts of climate variability and future climate change on harmful algal blooms and human health. *Environmental Health*, doi: 10.1186/1476-069X-7-S2-S4, 2008; 7(2): 4.
- Davidson K, Bresnan E. Shellfish toxicity in UK waters: a threat to human health? *Environmental Health*, doi: 10.1186/1476-069X-8-S1-S12, 2009; 8 (1): 12.
- Trenberth KE, Jones PD, Ambenje P, Bojariu R, Easterling D, Klein Tank A, Parker D, Rahimzadeh F, Renwick JA, Rusticucci M, Soden B, Zhai P. Observations: Surface and Atmospheric Climate Change. U: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB, Tignor M and Miller HL ur.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007.
- IPCC Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB, Tignor M, Miller HL ur.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007; 996.
- Bates BC, Kundzewicz ZW, Wu S, Palutikof JP, Eds. *Climate Change and Water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, IPCC Secretariat, Geneva, 2008; 210.
- Quereda Sala J, Gilolcina A, Perez Cuevas A, Olcina Cantos J, Amoros R, Monton Chiva. Climatic warming In The Spanish Mediterranean: Natural Trend Or Urban Effect (Cicyt Project, National Climate Plan). *Climatic Change*, 2000; 46: 473-83.
- IPCC Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Houghton, JT et al ur.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2001; 881.
- Moisselin JM, Schneider M, Canellas C, Mestre O. Les changements climatiques en France au XX siècle : étude des longues séries homogénéisées de température et de précipitations. *La Météorologie*. 2002; 38: 45-56.
- Changnon SA, Bell GD. *El Niño, 1997-1998: The Climate Event of the Century* London, Oxford University Press, 2000.
- Béthoux JP, Gentili B, Raunet J, Tailliez D. Warming trend in the western Mediterranean deep water. *Nature*. 1990; 347: 660-2.
- Béthoux JP, Gentili B, Tailliez D. Warming and freshwater budget change in the Mediterranean since the 1940's, their possible relation to the greenhouse effect. *Geophys Res Lett*. 1998; 25 (7): 1023-6.

16. Béthoux JP, Gentili B, Morin P, Nicolas E, Pierre C, Ruiz-Pino D. The Mediterranean Sea: a miniature ocean for climatic and environmental studies and a key for the climatic functioning of the North Atlantic. *Progress in Oceanography*. 1999; 44: 131-46.
17. CIESM. Climate warming and related changes in Mediterranean marine biota. N°35. U CIESM Workshop Monographs (Briand F, ur.), Monaco, 2008; 152.
18. Bianchi CN. Biodiversity issues for the forthcoming tropical Mediterranean Sea. *Hydrobiologia* 2007; 580 (1): 7-21.
19. Bianchi CN, Morri C. Range extension of warm water species in the northern Mediterranean: evidence for climatic fluctuations? *Porcup. Newsletter*. 1993; 5 (7): 156-9.
20. Bianchi CN, Morri C. Southern species in the Ligurian Sea (northern Mediterranean): new records and a review. *Boll. Mus. Ist. Biol. Univ. Gen.*, 1994; (58, 59): 181-97.
21. Dulčić J, Grbec B. Climate change and Adriatic ichthyofauna. Short communication. *Fish. Oceanogr.* 2000; 9 (2): 187-91.
22. Boero F, Féral JP, Azzurro E, Cardin V, Riedel B, Despalatović M, Munda I, Moschella P, Zaouali J, Fonda Umani S, Theocharis A, Wiltshire K, Briand F. Executive summary of CIESM workshop - Climate warming and related changes in Mediterranean marine biota CIESM, 2008. N°35. U CIESM Workshop Monographs (Briand F ur.), Monaco, 2008; 152.
23. Féral JP. Are climate changes already threatening sessile species (or species with low mobility) in the North-Western Mediterranean Sea? Vulnerability of coastal ecosystems. CIESM, 2008. Climate warming and related changes in Mediterranean marine biota. N°35. U CIESM Workshop Monographs (F. Briand, ur.) Monaco, 2008; 152.
24. Degobbi D, Gilmartin M. Nitrogen, phosphorus, and biogenic silicon budgets for the northern Adriatic Sea. *Oceanologica acta* 1990; 13: 31-45.
25. Beg-Paklar G, Isakov V, Korain D, Kourafalou V, Orlić M. A case study of bora-driven flow and density changes on the Adriatic Shelf (January 1987) *Continental Shelf Research* 2001; 21 (16-17): 1751-83.
26. Marchetti R. Quadro di sintesi delle indagini svolte dal 1978 sul problema dell'eutrofizzazione delle acque costiere dell'Emilia-Romagna. *Atti Convegno: Eutrofizzazione dell'Adriatico: Ricerche e linee di intervento*. 18-20 Maggio 1983. 1984; 37-75.
27. Russo A, Maccaferri S, Djakovac T, Precali R, Degobbi D, Deserti M, Paschini E, Lyons DM. Meteorological and oceanographic conditions in the northern Adriatic Sea during the period June 1999-July 2002: Influence on the mucilage phenomenon, *Science of the Total Environment*. 2005; 353: 24-38.
28. Grbec B, Vilibić I, Bajić A, Morović M, Beg Paklar G, Matic F, Dadić V. Response of the Adriatic Sea to the atmospheric anomaly in 2003. *Ann. Geophys.* 2007; 25: 835-46.

Summary

IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON MARINE ENVIRONMENT

M. Krželj

This work describes a part of results obtained in study of the long-term ecological changes in the Adriatic Sea, carried on with the aim to contribute to a better understanding of the actual status of Adriatic Sea ecosystem in function of ongoing climate change, based on analysis of historical data and trends of different environmental factors. In order to do that, more than 2.336.770 data from different datasets have been analyzed, with different aspects of alterations and numerous parameters, trying to understand past and ongoing changes and to determine vulnerabilities of the Adriatic Sea, considering in the same time the complexity of available data and interconnections between different parameters. Obtained results show that the Adriatic Sea during the last two decades has been influenced by a generalized warming of air temperature in all seasons, together with changes in precipitation pattern and a varying of Po river runoff, variations of sea temperature, salinity and biogeochemical properties, which in turn drive marine ecosystems changes and some of them are evident in terms of the abundance and geographical distribution of marine species. Every new alteration in environment can have the potential impact factor on health and life quality, therefore the studies of environmental and climate change, together with their impact on human health, are necessary for understanding of direct and indirect consequences on human health caused by changes in environment.

Descriptors: CLIMATE CHANGE, ADRIATIC SEA, HEALTH AND LIFE QUALITY