

Jadran

I GLOBALNE PROMJENE

Složeni strojevi lako se kvare. A naše je Jadransko more itekako složen stroj: u njega utječu rijeke, iz njega isparava voda (pa slanija voda ponire u morske dubine), na njega utječe čovjek i njime donijete strane vrste. Zato se s pravom treba bojati da će nadolazeće globalne klimatske promjene utjecati i na naš Jadran. O tome govori članak dr. sc. Damira Viličića, profesora na Biološkom odsjeku zagrebačkog Prirodoslovno-matematičkog fakulteta što ga je napisao prema svojoj prezentaciji na radionici o istraživanjima u Jadranskom moru, koja se predviđaju u sklopu istraživačkog programa MERMEX, održanoj u lipnju ove godine u Zagrebu.

prof. dr. sc. Damir VILIČIĆ, Zagreb

Globalne promjene klime dokazuju paleološka mjerenja u posljednjih nekoliko tisućljeća, potom meteorološka mjerenja posljednjih stotinjak godina te oceanografska mjerenja u nekoliko proteklih desetljeća. Od početka industrijske revolucije bilježimo sve brže zagrijavanje atmosfere i oceana, porast kiselosti svjetskih mora, otapanje polarnog leda, porast razine mora i koncentracije zagađivača. Mijenja se režim oborina, a svjedoci smo i sve češćih ekstremnih atmosferskih i oceanografskih događaja poput toplih valova u atmosferi, pješčanih oluja (koje prenose fosfor i željezo u oceane) i poplava. Danas je goruće pitanje kako navedene promjene mogu djelovati na živi svijet našeg planeta. U traženju odgovora pomažu istraživanja procesa u hidrosferi, atmosferi i litosferi iz kojih doznajemo o biogeokemijskim procesima te njihovom utjecaju na globalne promjene.

Program MERMEX

Od 10. do 12. lipnja 2013. u Zagrebu je organizirana radionica o pokusnim istraživanjima odgovora morskih ekoloških sustava

na promjene u Sredozemnom moru, koja se predviđaju u sklopu istraživačkog programa MERMEX (*Marine Ecosystems' Response in the Mediterranean Experiment*). Radionicu su organizirali predstavnici Instituta Ruđer Bošković i francuskog programa koji se već provodi u drugim dijelovima Sredozemnog mora. Cilj je programa proširiti mrežu znanstvenika i budućih istraživanja u Sredozemnom moru, na područja koja do sad nisu uključena, kao što je Jadransko more. Naglašena je potreba koordiniranog mjerenja diljem promatračke mreže u obalnom području Sredozemnog mora kako bi se mogle predvidjeti promjene i projicirati rizici za stanovnike.

U suvremena istraživanja predviđeno je uvesti nove senzore, plutače i opremu za izravna mjerenja u moru (*in situ*), čime bi se dobilo mnogo podataka za dopunu i provjeru modela. Održane su prezentacije o postojećim istraživanjima u centrima koji već sudjeluju u programu i onih koji se žele priključiti. Raspravljali smo o potencijalnim istraživačkim postajama na kojima bi trebalo obavljati dugoročna istraživanja uzimajući u obzir specifičnosti pojedinih mora.

Istraživanja bi trebali pomagati međunarodni fondovi, ali i svaka zemlja uz Sredozemno more. Mreža postaja, izmjena informacija i podataka pomogla bi razumijevanju klimatskih promjena u ovom stoljeću. Uz predstavnike iz hrvatskih znanstvenih institucija, sudjelovali su kolege iz Francuske, Španjolske, Tunisa, Maroka, Alžira, Italije, Grčke, Libanona i Izraela.

Raznolikost Jadrana i Sredozemlja

Biološko-ekološka raznolikost kompleksan je pojam. Uz raznolikost sastava zajednica, razlikujemo raznolikost oblika organizama, genetičku raznolikost te raznolikost okoliša. Raznolikost vrsta (indeks raznolikosti vrsta) često se izračunava prema Shannonu i Weaveru (1963.) i Margalefu (1978.). Izračunava se iz ukupnog broja prisutnih vrsta, abundancije (brojnosti) pojedinih vrsta te abundancije svih jedinki zajednice. Niski indeksi

BIOLOŠKA RAZNOLIKOST SREDOZEMNOG MORA

Od svih vrsta organizama u Sredozemnom moru, životinje (Animalia) su mnogo brojnije od biljaka (kao i u drugim morima, za razliku od kopna): Crustacea (13,2 %), Mollusca (12,4 %), Annelida (6,6 %), Platyhelminthes (5,9 %), Cnidaria (4,5 %), dok je manje kralješnjaka (4,1 %), Porifera (4,0 %), Bryozoa (2,3 %), Tunicata (1,3 %) i Echinodermata (0,9 %). Ostalih beskralješnjaka ima 14 %. Biljnih vrsta ima 5 %.

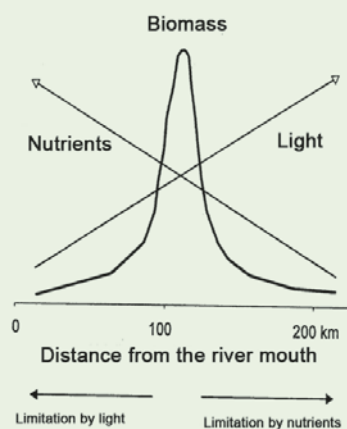
Najveći je broj endema kod Porifera (48 %), Mysidacea (36 %), Ascidiacea (35 %), Cumacea (32 %), Echinodermata (24 %), Bryozoa (23 %), alga i morskih cvjetnica (22 %), Aves (20 %), Polychaeta (19 %), Pisces (12 %), Cephalopoda (10 %) i Decapoda (10 %). Prosječno ima 20,2 % svih endema, što je manje nego u prošlosti.

pokazuju zajednice sastavljene od malog broja vrsta, a visoki indeksi zajednice bogate vrstama.

Najmanji indeks biološke raznolikosti nalazimo u područjima u kojima dolazi do obogaćivanja hranjivim tvarima; u obalnom moru, pogotovo u estuarijima i u blizini velikih naselja, ali i u onim dijelovima otvorenog mora gdje se uzdiže dubinsko more s hranjivim tvarima u fotički sloj povećavajući primarnu produkciju (fotosintetsku aktivnost i biomasu alga) i produkciju na njih vezanih potrošača sve do vršnih predatora.

Sredozemno more je biogeografska regija s bogatom biološkom raznolikošću na koju snažno utječu ljudi (engl. *biodiversity hotspot*). U tom je moru registrirano 17.000 vrsta; od toga barem jedna četvrtina (26 %) prokariota (Bacteria, Archaea) i protista (Coll i sur. 1010). Broj bakterija, arheja i protista, kao i nekih životinja (Chelicerata, Myriapoda, i Insecta) još nije utvrđen. Molekularne tehnike (metagenomika) pridonose određivanju prisutnosti i otkrivanju novih nanoplanktonskih i skoro svih pikoplanktonskih mikroorganizama, uključujući sve arheje i većinu bakterija. Za identifikaciju krupnijih protista najčešće je dovoljno mikroskopom odrediti morfologiju njihovih stanica. Protista u Sredozemnom moru ima otprilike 4400.

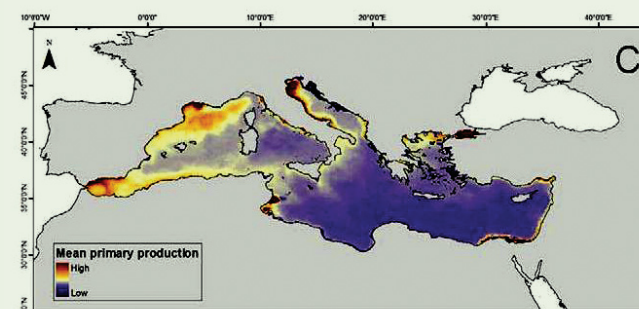
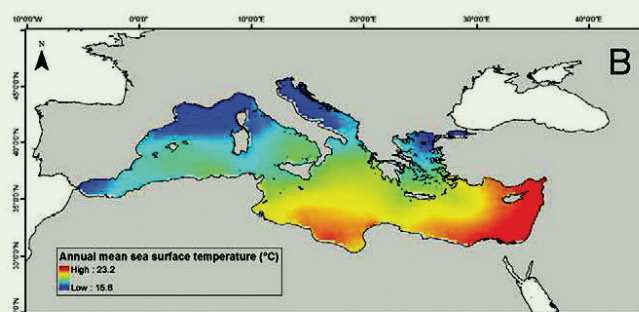
Fitoplankton je osnovica prehrambenih odnosa u moru. Najvažniji čimbenici rasta fitoplanktona jesu hranjive tvari i svjetlost (sl. 1.). No, ima i drugih regulatora fotosintetske aktivnosti, respiracije, raspodjele i raznolikosti fitoplanktona. To su, primjerice, biotičke interakcije (prehrambeni i drugi odnosi između populacija u zajednici), intenzitet i učestalost fizikalno-kemijskih poremećaja koji izazivaju fiziološki stres te temperatura. Najnovija procjena upozorava da zagrijavanje mora za 6 °C mnogo više ubrzava respiraciju (potrošnju CO₂) nego primarnu produkciju (proizvodnju primarne organske tvari – glukoze iz CO₂). To znači da bi postojala negativna sprega sa zagri-



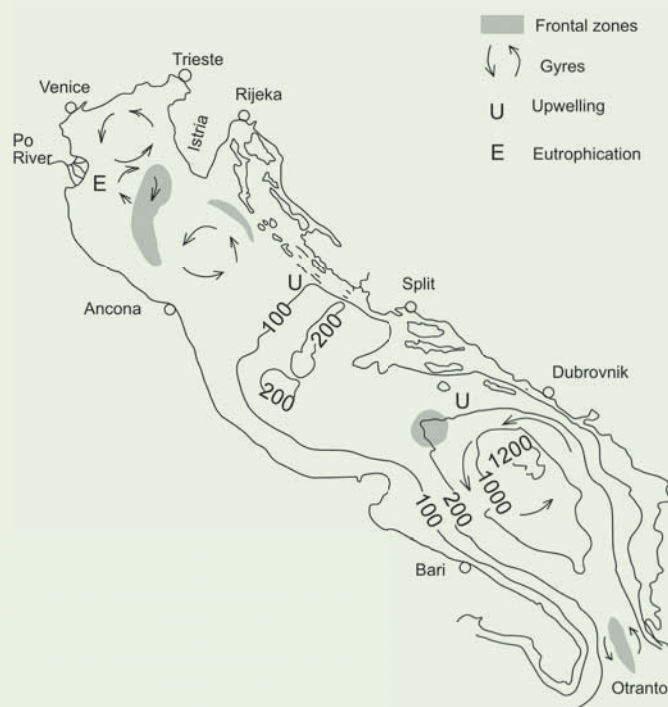
Slika 1. Uzajamno djelovanje količine hranjivih tvari i svjetlosti na razvoj fitoplanktonske biomase duž profila od ušća rijeke Yangtze prema otvorenom moru (prema Ning i sur. 1988.).

javanjem, pa bi zajednice u oceanu sve teže vezale ugljikov dioksid iz atmosfere (Vaquer-Sunier i Duarte 2013.).

Sredozemno more je 400 metara dubokim Sicilijanskim pragom podijeljeno na dva podbazena; zapadni i istočni, s odvojenom cirkulacijom. Ekološki se čimbenici postupno mijenjaju od zapada prema istoku i od sjevera prema jugu. Biološka produkcija opada od zapada prema istoku i od sjevera prema jugu. Ona je usto obrnuto proporcionalna porastu temperature i salinitetu mora (sl. 2.). Isparavanje premašuje količinu vode koja dotječe rijekama u istočnom podbazenu, što uzrokuje nižu razinu mora te porast saliniteta od zapada prema istoku.



Slika 2. Gradijenti temperature i primarne produkcije u Sredozemnom moru (Coll i sur. 2010.).

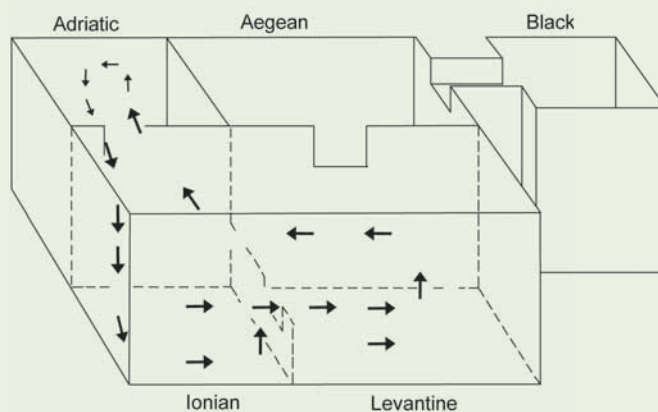


Slika 3. Raznolikost oceanografskih svojstva Jadrana (Vilicic 1994.). Prikazani su najčešći vrtlozi (engl. gyres), uzdizanje dubinske vode prema površini (engl. upwelling, U) i rijeka Po kao najznačajniji izvor hranjivih tvari i eutrofikacije (E).

Slično je i u Jadranskom moru. I ono je asimetrično u pogledu fizičkih, kemijskih i bioloških svojstava. Pod utjecajem je mnogih sila i kemijskih čimbenika (sl. 3.). U sjevernom dijelu rijeka Po donosi hranjive tvari. Zbog dotoka slatkih voda i djelovanja vjetrova nastaje osnovna ciklonalna cirkulacija u Jadranu. Za nju je važna Istočnojadranska struja koja s juga donosi vodu siromašnu hranjivim tvarima iz Jonskog mora i istočnog dijela Sredozemnog mora, te Zapadnojadranska struja koja odnosi vodu manjeg saliniteta prema Otrantskim vratima i Jonskom moru.

U takvim je okolnostima prisutan specifični (asimetrični) raspored primarne biomase i raspored cjelokupnog živog svijeta. Dotok rijeke Po, bura i morfologija jadranskog bazena (uz rotaciju Zemlje) reguliraju cirkulaciju; stvaranje kružnih struja – ciklonalnih i anticiklonalnih vrtloga (Zore-Armanda i Gačić 1987., Supić i sur. 2000., Kuzmić i sur. 2006.) i fotosintetsku aktivnost te raspodjelu fitoplanktona (Polimene i sur. 2006.).

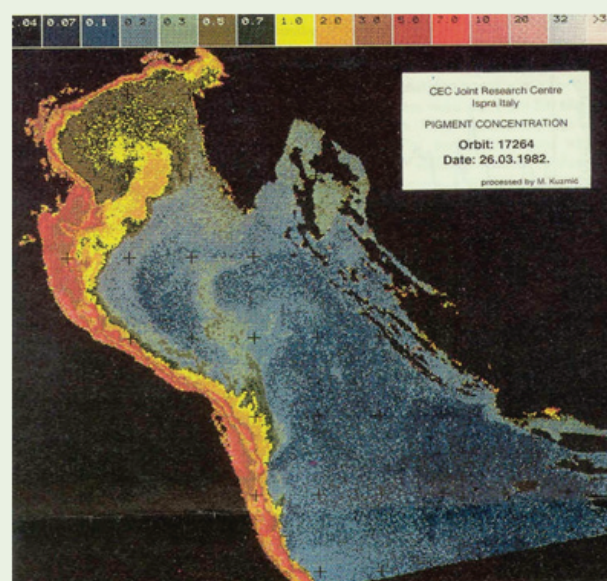
Depresije u Jadranu (Jabučka kotlina, Južnojadranska kotlina) nakupljaju autohtonu jadransku vodu. Riječ je o Sjevernojadranskoj gustom vodi koja nastaje djelovanjem bure u sjevernom Jadranu (Orlić i sur. 1994., Cushman-Roisin i sur. 2001., Mihanović i sur. 2013.). Vjetar, naime, pojačava isparavanje mora, pri čemu se stvara slanija (i gušća) voda koja tone prema dnu. U pridnenom sloju struji prema jugu te popunjava Jabučku ko-



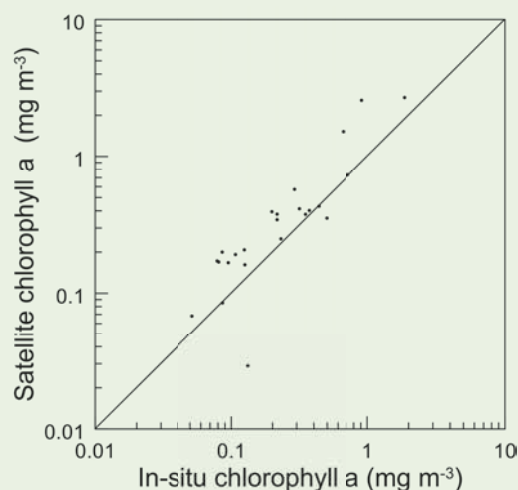
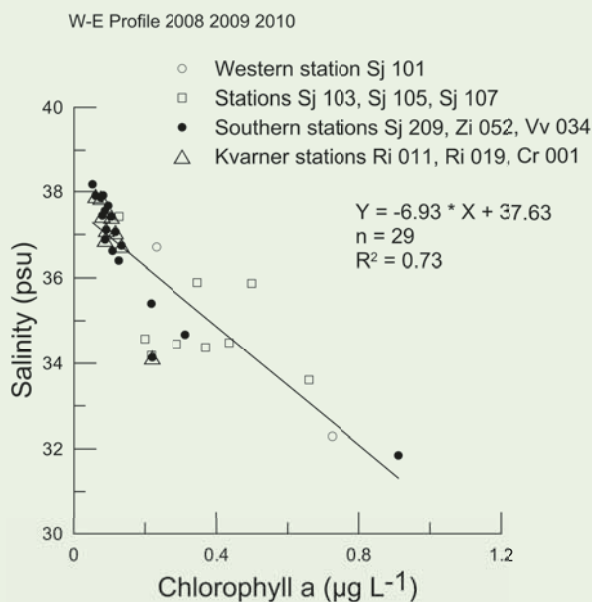
Slika 4. Cirkulacija vode u istočnom dijelu Sredozemnog mora i u Jadranu (prema Robinsonu i sur. 2003.).

tlinu i Južnojadransku kotlinu. Ta teška morska voda pokreće i regulira cirkulaciju u istočnom dijelu Sredozemnog mora (engl. *Eastern Mediterranean Conveyor*) (sl. 4.).

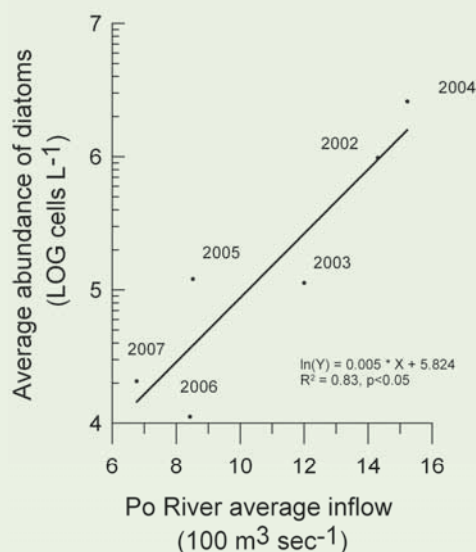
Na malom prostoru sjevernog Jadrana susrećemo veliku raznolikost okoliša. On se dramatično mijenja od zapadne do istočne obale. Duž stotinjak kilometara, koliko iznosi udaljenost od ušća rijeke Po do Kvarnera, susrećemo tri vodena tipa. Prvi, zapadni tip pod utjecajem je rijeke Po, oko vrha istarskog poluotoka susrećemo drugi tip, pod ujecajem Istočnojadranske struje, a između kvarnerskih otoka nalazimo treći vodeni tip, onaj koji je pod utjecajem oligotrofnih krških voda. Takve promjene možemo uočiti i na satelitskim slikama jer one bilježe raspodjelu temperature i biomase fitoplanktona (koncentracije klorofila) na površini mora (sl. 5.).



Slika 5. Asimetrična raspodjela površinske biomase fitoplanktona u sjevernom Jadranu indirektnim mjerenjem koncentracije klorofila A sa satelitom (Sturm i sur. 1992.).



N. Adriatic (Station Sj107)
January to May, 2002 - 2007



Što nam donosi budućost? Buduće promjene Sredozemnog mora bit će prvo uočljive u plitkim dijelovima sredozemnog bazena, kakvo je upravo Jadransko more, a prije svega u sjevernom Jadranu. No, za poznavanje procesa u sjevernom Jadranu potrebna su istraživanja i u njegovom srednjem i u južnom dijelu.

Očekivane promjene

Klimatske promjene mogu promijeniti režim oborina u južnoj Europi, dotok vode rijekom Po i režim vjetrova. Sve to može promijeniti donos hranjivih tvari u more te sastav i raspored biomase pelagičkih mikroorganizama (zajednicu u vodenom stupcu – između površine i dna nazivamo pelagijalom).

Sadašnji ekološki odnosi, kao što su odnosi između fitoplanktonske biomase, koncentracije hranjivih tvari i dotoka vode rijekom Po (sl. 6.), mogu se u budućnosti promijeniti. Stoga treba osigurati primjerena mjerenja. Hrvatski projekt istraživanja Jadrana je nažalost prekinut 2010. zbog nedostatka novca. Hrvatska mora dati prvenstvo istraživanju svoga prirodnog blaga, pa se nadamo da će ulaskom u EU odgovorni za strateška ulaganja prepoznati tu potrebu, to više što smo pomorska zemlja koja je svoju pomorsku orijentaciju deklarirala brojnim dokumentima, pa čak i u državnoj himni.

Promjene u hidrodinamičkim odnosima mogu djelovati na fiziološka svojstva i raspodjelu planktona, bentosa i nektona. Može se promijeniti omjer između biomase krupnijeg i sitnijeg fitoplanktona, te omjer između biomase bakterija i fitoplanktona (sl. 9.). Svjedoci smo migracije termofilnih vrsta iz Crvenog mora, ali također iz suptropskog dijela Atlantika u Sredozemno more. Pridošle vrste koje uspostave populaciju u nekom području mijenjaju biološku raznolikost i ekološke odnose između populacija i zajednica u Sredozemnom moru. Pojava je posebice izražena u istočnom podbazenu, gdje se vrste iz Crvenog mora brzo šire prema sjeveru i zapadu zbog zagrijavanja mora. Nove nam vrste dolaze i balastnim vodama.

Usto se mogu očekivati promjene vertikalne strukture vodenog stupca, termohalinih odnosa, dubine fotičkog sloja i nutrikline te sastava i razvoja mikroorganizama u specifičnom okolišu.

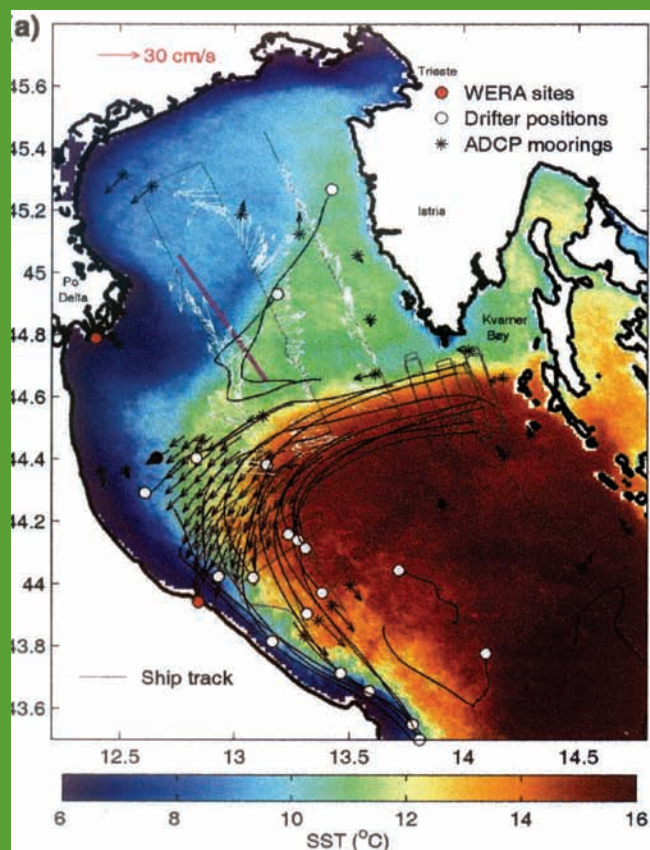
Utjecaj čovjeka dovodi do gubitka i degradacije staništa zbog intenzivnog izlova riba i drugih morskih organizama, zagađenja te zbog već spomenutog donosa stranih vrsta u balastnim vodama. Sve to negativno utječe na mnoge vrste morskih organizama. Usto neki toksični dinoflagelati razvijaju guste populacije

Slika 6. Korelacije ljetnih vrijednosti dotoka vode rijekom Po, saliniteta, biomase fitoplanktona (klorofila A) izmjerene *in situ* te satelitom u sjevernom Jadranu (Viličić i sur. 2013.).

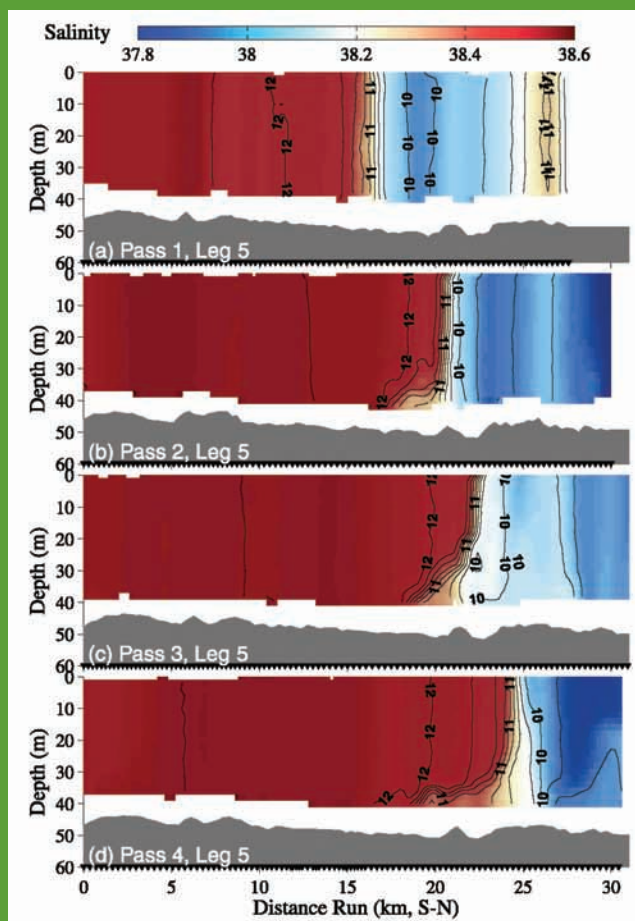
ISTARSKA FRONTA

Temeljni fenomen sjevernog Jadrana je Istarska fronta. Ona se stvara na granici između dva vodena tipa: vode pod utjecajem rijeke Po na sjeverozapadu i Istočnojadranske struje koja južno od vrha Istre skreće prema talijanskoj obali (sl. 7.). Njezin snažan termohalini gradijent (razlika u salinitetu i tempe-

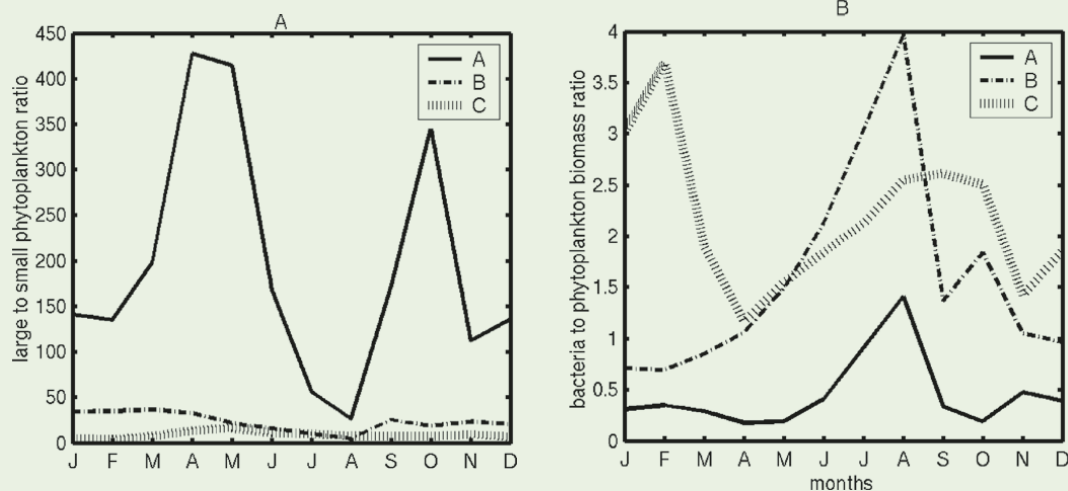
raturi u određenoj duljini) definiran je suvremenim metodama tijekom istraživanja američkim istraživačkim brodom *Knorr* u veljači 2003. godine (sl. 8.).



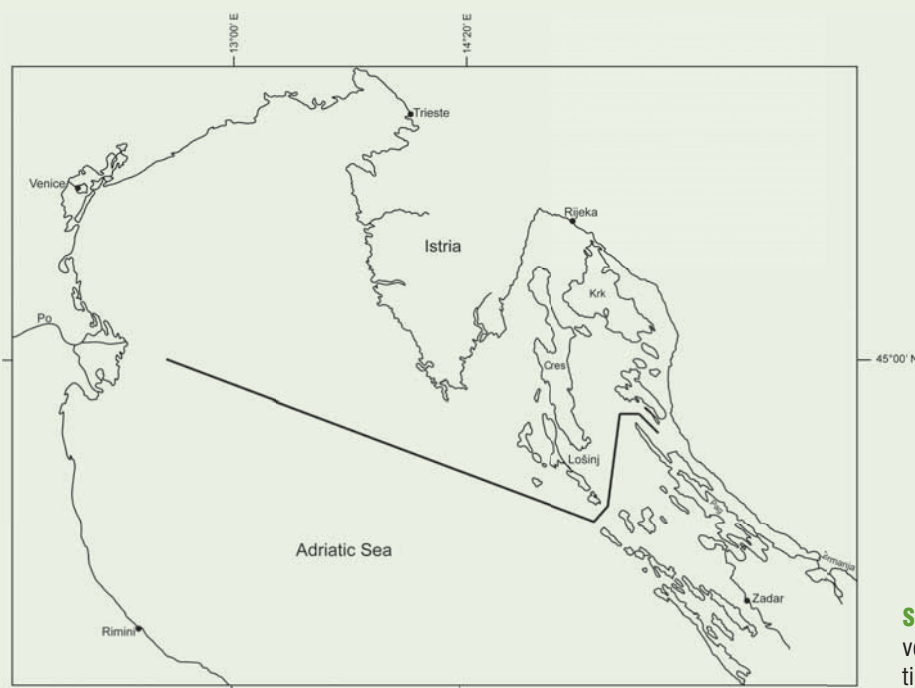
Slika 7. Položaj Istarske fronte pokazuje površinska temperatura u sjevernom Jadraniu. Podaci su dobiveni mjerenjem iz satelita (Jeffries i Lee 2007.).



Slika 8. Četiri vertikalna presjeka kroz Istarsku frontu u veljači 2003. pokazuju snažan gradijent saliniteta (u bojama) i temperature (s označnim vrijednostima) (Peters i sur. 2007.).



Slika 9. Sezonske promjene omjera između biomase krupnijeg fitoplanktona ($> 20 \mu\text{m}$) i sitnijeg fitoplanktona ($< 20 \mu\text{m}$)(A); između biomase bakterija i fitoplanktona (B). A – sjeverni Jadran (zapadni dio), B – sjeverni Jadran (istočni dio), C – južni Jadran (Polimene i sur. 2006.).



Slika 10. Prijedlog reprezentativnog profila sjevernog Jadrana koji siječe karakteristične vodene tipove.

(»cvjetanje mora«) tamo gdje je otežano strujanje mora zbog izgradnje luka, lukobrana i sličnih objekata (Vila i Maso 2005.).

Kako istraživati Jadran?

Istraživanja treba nastaviti na postajama na kojima su se do sada obavljala dugoročna istraživanja. Također treba uspostaviti reprezentativni profil sjevernog Jadrana (sl. 10.) duž kojega bismo istovremeno mogli pratiti svojstva triju navedenih vodenih tipova u sjevernom Jadranu te Istarsku frontu koja ih dijeli. Istraživanja trebaju biti interdisciplinarna kako bi velik broj raznovrsnih podataka omogućio vjerodostojnu interpretaciju rezultata.

Za istraživanja treba osigurati prikladan brod koji će omogućiti istraživanje ne samo ljeti, po lijepom vremenu nego i zimi, upravo kada se događaju bitni procesi u Jadranu. Za to već postoji istraživački brod *Palagruža*, koji jedini može zadovoljiti potrebe za istraživanja otvorenog mora zimi. No, za takav brod treba osigurati održivo financiranje – iz svih projekata koji se u Jadranu obavljaju brodom. Svi ostali istraživački brodovi u Hrvatskoj su manji te nisu prikladni za zimska oceanografska istraživanja.

Literatura

1. Coll, M., Piroddi, C., Steenbeek, J., Kaschner, K., Ben Rais Lasram, F. i sur., 2010.: The biodiversity of the Mediterranean Sea: estimates, patterns, and threats. *PLoS ONE* 5, e11842
2. Cushman-Roisin, B., Gačić, M., Poulain, P.-M., Artegiani, A., 2001.: *Physical oceanography of the Adriatic Sea*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
3. Jeffries, M. A., Lee, C. M., 2007.: A climatology of the northern Adriatic Sea's response to bora and river forcing. *J. Geophys. Res.*, 112, C03S02.
4. Kuzmić, M., Janeković, I., Book, J. W., Martin, P. J., Doyle, J. D., 2006.: Modeling the northern Adriatic double-gyre response to intense bora wind: A revisit. *J. Geophys. Res.* 111, C03S13.
5. Lee, C. M., Askari, F., Book, J., Carniel, S., Cushman-Roisin, B. i sur., 2005.: Northern Adriatic response to a wintertime bora wind event. *EOS, Trans. Am. Geophys. Un.* 86, 157–165.
6. Margalef, R., 1978.: *Diversity*. U: Sournia, A. (ur.) *Phytoplankton manual*. UNESCO, Paris, 251–260.
7. Mihanović, H., Vilibić, I., Carniel, S., Tudor, M., Russo, A. i sur., 2013.: Exceptional dense water formation in the Adriatic shelf in the winter of 2012. *Ocean Science* 9, 561–572.
8. Ning, X., Vault, D., Liu, Z., 1988.: Standing stock and production of phytoplankton in the estuary of the Changjiang (Yangtze river) and the adjacent China Sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 49, 141–150.
9. Orlić, M., Kuzmić, M., Pasarić, Z., 1994.: Response of the Adriatic Sea to bora and sirocco forcing. *Cont. Shelf Res.* 14, 91–116.
10. Peters, H., Lee, C. M., Orlic, M., Dorman, C. E., 2007.: Turbulence in the wintertime northern Adriatic Sea under strong atmospheric forcing. *J. Geophys. Res.* 112, C03S09, 1–21.
11. Polimene, L., Pinardi, N., Zavatarelli, M., Colella, S., 2006.: The Adriatic Sea ecosystem seasonal cycle: Validation of a three-dimensional numerical model. *J. Geophys. Res.* 111, man no. C03S19.
12. Robinson, A. R., Leslie, W. G., Theoharis, A., Lascaratos, A., 2003.: *Mediterranean Sea circulation*. U: Steele, J. H., Thorpe, S. A., Turekian, K. K. (ur.), *Encyclopedia of ocean sciences*, 1689–1705. Elsevier, Amsterdam.

13. Shannon, C. E., Weaver, W., 1963.: The mathematical theory of communication. University of Illinois Press, Urbana.
14. Sturm, B., Kuzmic, M., Orlić, M., 1992.: An evaluation and interpretation of CZCS-derived patterns on the Adriatic shelf. *Oceanol. Acta* 15, 13–24.
15. Supić, N., Orlić, M., Degobbi, D., 2000.: Istrian coastal counter-current and its year-to-year variability. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 50, 385–397.
16. Vaquer-Sunier, R., Duarte, C. M., 2013.: Experimental evaluation of the response of coastal Mediterranean planktonic and benthic metabolism to warming. *Estuaries and Coasts* 36, 697–707.
17. Vila, M., Maso, M., 2005.: Phytoplankton functional groups and harmful algal species in anthropogenically impacted waters of the NW Mediterranean Sea. *Sci. Mar.* 69, 31–45.
18. Viličić, D., 1994.: Distribution of phytoplankton biomass in relation to oceanographic conditions in the Adriatic Sea. *Period. Biol.* 96, 444–446.
19. Viličić, D., Kuzmić, M., Tomažić, I., Ljubešić, Z., Bosak, S., i sur., 2013.: Northern Adriatic phytoplankton response to short Po River discharge pulses during summer stratified conditions. *Mar. Ecol. – Evol. Persp.* u tisku (DOI: 10.1111/maec.12046)
20. Zore-Armanda, M., Gačić, M., 1987.: Effects of bura on the circulation in the North Adriatic. *Ann. Geophys.* 5B, 93–102.

Ti filozofi [kemičari] zaista čine čuda. Oni prodiru u zakutke prirode i pokazuju kako radi u skrovitosti. Uspinju se na nebo; otkrili su kako krv kola i narav zraka kojeg dišemo. Stekli su nove i gotovo neograničene moći; mogu zapovijediti nebeskim gromovima, oponašati potrese, pa čak se i igrati s nevidljivim svijetom njegovim vlastitim sjenama.

Mary Shelley, *Frankenstein*, moderni Prometej (1818.)