

Dr. sc. **Mira Zore-Armanda**  
Institut za oceanografiju i ribarstvo  
Ivana Meštrovića 63  
Split

---

## RAZVOJ FIZIČKE OCEANOGRFIJE NA JADRANU

### SAŽETAK

Historijski pregled obuhvaća stotinjak godina istraživanja: od osamdesetih godina devetnaestoga do osamdesetih godina dvadesetog stoljeća. U razdoblju do Prvog svjetskog rata istraživanja su bila svestrana i bazirana na intenzivnom ekspedicijskom radu. Između dva svjetska rata istraživanja su se svela na uža obalna područja: sjeverni Jadran i srednja Dalmacija. Od pedesetih godina ponovno se organiziraju istraživanja Jadrana kao cjeline i oživljava ekspedicijski rad. Istražuju se sezonske i višegodišnje fluktuacije raznih svojstava i definiraju vodene mase. Osnovno nastojanje je postavljanje fenomenoloških modela, koji bi se mogli upotrijebiti u biološkim istraživanjima. Također se nastoje istražiti uzroci raznih fenomena, naročito za neke dinamičke pojave. S najavom problema vezanih za poluciju mora, jadranska oceanografija se ponovno, od sedamdesetih godina, više orijentira na obalna područja zbog njihove veće ugroženosti. Mnogi međunarodni projekti su pomogli prikupljanju velikog broja podataka i boljem razumijevanju obalne dinamike i hidrografije.

Ključne riječi: Jadransko more, fizička oceanografija, povijest istraživanja

### 1. UVOD

Ovaj članak nastoji dati pregled razvoja fizičke oceanografije Jadrana. Rana istraživanja su samo spomenuta, a detaljnije je prikazan razvoj kroz jedno stoljeće - od osamdesetih godina devetnaestog do osamdesetih godina dvadesetog stoljeća. Novija istraživanja su samo naznačena, jer je za historijska razmatranja potreban odmak u vremenu. U promatranom razdoblju su postavljene osnove znanstvenog pristupa od prikupljanja podataka i opisa hidrografskih svojstava do pokušaja objašnjavanja raznih pojava kao što su višegodišnje fluktuacije, povezanost s biološkim pojavama, uzročnici strujanja i razne periodičke pojave. Ovdje se pod hidrografskim svojstvima

podrazumijevaju temperatura, slanost, gustoća i prozirnost mora. Pod hidrografijom se još inače podrazumijevaju izmjerene dubine mora. Terminologija u oceanografskoj literaturi još nije sasvim ujednačena.

## 2. RANI PRISTUP

Prve pisane rasprave o nekim fizikalnim pojavama na Jadranu potječu iz šesnaestog stoljeća, kada su se humanisti počeli zanimati za neke pojave na moru. Neki opisuju struje nastojeći sistematizirati podatke koje su prikupili pomorci, dok se drugi bave pojavom plime i oseke i pokušavaju naći objašnjenje za tu pojavu. To se nastavlja u sljedeća dva stoljeća.

Prema Magrinu [1], Cristoforo Sabbadino je opisao sustav strujanja 1550., a astronom i matematičar iz Modene Geminiano Montanari (1633 - ?) opisuje obalno strujanje krajem sedamnaestog stoljeća (djelo je tiskano posthumno 1684. pod naslovom: "Il mare Adriatico e sua corrente esaminata con la naturalezza de' fiumi scoperte e con nove forme di ripari corretta"). Zanimljivo je, da je 1663. u Hagu izašla knjiga Issaca Vossa "De motu marinum et ventorum liber" u kojoj su opisane i jadranske struje i to kao ciklonalni vrtlog [2]. V. Donati izdaje 1750. Knjižicu "Della storia marina dell'Adriatico" [3]. Kasnije još opisuju struje Bianchi (1739), Filiasi (1820) i Prina (1816). U peljaru iz 1830. kapetan Giacomo Marieni [4] opisuje glavnu jadransku struju, koja teče od Krfa, uz istočnu obalu, do Trsta i Venecije i dalje, uz zapadnu obalu. U dalmatinskim kanalima i Kvarneru moguća su odstupanja. Promjenljivo strujanje tu ovisi o morskim mijenama, trajnijim vjetrovima, sezoni i rijekama koje utječu u more. Nadalje, opet prema Magrinu, o strujanju još pišu Le Grass (1855), te istih godina još Cialdi, Paleocapa i Brighenti.

Zanimljivo je da su se naši humanisti bavili pojavom plime i oseke, premda na Jadranu ta pojava nije jače izražena i nije utjecala na plovidbu. Prema Dadiću [5 i 6] Federico Grisogono (1528), Nikola Sagrović (1574), Franjo Petrišević - Patricius (1591), Mark Antun Dominis (1624) i Ruđer Bošković (1747 i 1748) nastoje objasniti tu pojavu.

Opis svojstava mora u današnjem smislu na Mediteranu je utemeljio Luigi Ferdinando Marsigli (1658-1730) iz Bologne, a u svojim razmatranjima kratko se je osvrnuo i na Jadransko more. Različiti autori ga, također, navode još kao Marsilli i Marsili. O svom radu 1706. godine piše: Započeo sam svoja istraživanja o prirodnoj historiji mora u kojoj sam zamislio obraditi prirodu morske vode i njezina različita gibanja; zatim različitosti morskog dna, koje mi izgleda da strukturom podsjeća na planine; nadalje o utjecaju vjetrova iznad mora; o prirodni riba proizašloj iz istraživanja; o vegetaciji biljaka koje rastu na dnu mora. Djelo je dovršio 1710. i prezentirao Akademiji znanosti u Parizu pod naslovom "Saggio fisico dell'istoria del mare" (Fizikalno poznavanje povijesti mora). Međutim, tiskano je tek 1725. g. u Nizozem-

skoj pod naslovom "Histoire physique de la mer" (Fizikalna povijest mora) [7].

Kratkotrajna francuska okupacija Dalmacije početkom devetnaestog stoljeća, omogućila je poznatom francuskom hidrografu Charles François Beautemps-Beauprèu provesti prvi hidrografski premjer 1806.-1809. On je sazeo i ondašnje znanje o strujama, te plimi i oseci [8 i 9].

### 3. KLASIČNO RAZDOBLJE

Devetnaesto stoljeće je stoljeće tehnike i sve većeg razvoja pomorstva. Zbog lakšeg praćenja daljnjeg razvoja, zgodno je napomenuti, da istočna obala Jadrana početkom toga stoljeća doživljava važne političke promjene. Austrougarska je u prethodnom stoljeću držala samo dijelove istočne obale (Hrvatsko primorje). Sada je gotovo cijela istočna obala Jadrana (Trst, Istra, Hrvatsko primorje, Dalmacija, Dubrovnik, Boka Kotorska) od 1815. (Bečki kongres) do kraja Prvoga svjetskog rata u vlasti Austro-Ugarske. Istra i Dalmacija su upravno izravno pod Bečom, Rijeka je nakon Hrvatsko-ugarske nagodbe 1868. pod mađarskom upravom, a ostali dio Hrvatskog primorja ulazi u Bansku Hrvatsku. Do 1866. Austrija drži i Mletačku pokrajinu. Albanska obala je cijelo stoljeće u vlasti Turske.

Slijedeći svjetske trendove, kao i novonastale potrebe, Austrija, također, u tom stoljeću počinje ozbiljniju izgradnju ratne mornarice i želi se dokazati kao pomorska sila. Početkom stoljeća je komandni kadar flote bio pretežno talijanske nacionalnosti iz krajeva koje je držala Austrija. Kada je 1848.g. izbila talijanska revolucija, pokazalo se da građani talijanske nacionalnosti u floti nisu bili lojalni. Zato Austrija mijenja politiku prema floti i 1850. određuje Pulu kao glavnu ratnu luku, a u Rijeci 1852. osniva pomorsku školu ratne mornarice [10], koja do 1891. djeluje kao koledž, a od tada kao državna pomorska škola.

Trgovačka mornarica se na istočnoj obali, također, naglo razvija, što iziskuje bolje osiguranje plovnih ruta i izradu pouzdanih karata. Od pedesetih godina nadalje razvija se i civilno pomorsko školstvo, koje osigurava višu razinu pomorskog obrazovanja. Najstarija pomorska škola djeluje u Perastu (više od četiri stoljeća), a u Dubrovniku je 1852. osnovana državna nautička škola.

Od 1845. do 1861. prikupljeni su već neki podaci s otvorenog mora austrijskom fregatom NOVARRA [3].

S druge strane Jadrana, 1861. je uglavnom ostvareno ujedinjenje Italije. To je dalo poticaj za stvaranje snažne talijanske ratne flote. Kako je Austrija još držala dio talijanskog nacionalnog teritorija, nužno su se te dvije sile zaratile. Odlučna bitka kod Visa 1866.g. donijela je Austriji pobjedu na moru, premda je, ipak, bila primorana Mletačku pokrajinu ostaviti Italiji. Bitka pod Visom bila je poticaj daljnjem jačanju flote, ali i osiguranju pomorskih puteva izgradnjom svjetionika, te točnim premjerom obale i dna uz obalu zbog izrade preciznih pomorskih karata kao i organiziranjem

meteorološke službe. Svjetionik velikog dometa (50 km) i s najboljim optičkim sustavom na Palagruži izgrađen je 1875.g. i otad dalje Austrija izgrađuje povoljan broj svjetionika za osiguranje sigurne plovidbe uz istočnu obalu.

Prva meteorološka stanica na Jadranu osnovana je u Trstu 1841. a druga na otoku Hvaru 1858. Stanicu na Hvaru je vodio Grgur Bučić, koji je bilježio i neke oceanografske podatke [11].

U Trstu je 1860. osnovan Hidrografski zavod, a njegova podružnica u Puli 1862., da bi 1866. cijeli zavod bio prebačen u Pulu, tj. u glavnu ratnu luku. Taj je zavod razvio primjerenu aktivnost na zavidnoj razini i uposlio vrsne stručnjake. Izdavao je poznatu publikaciju "Mitteilungen aus dem Gebiete des Seewesens" (Izvjешća iz domene pomorstva). Od 1874. redovno izdaje dnevni meteorološki izvješćaj. Isti zavod postavlja gustu mrežu mareografskih stanica na istočnoj obali, pa su 1907.g. radile 33 stanice. Međutim, mareografi u Trstu i Puli su instalirani još 1850. Upotreb- ljivi podaci za mareograf u Trstu su od 1859. U Veneciji mareograf radi od 1871. Na obradi mareografskih podataka i razvijanju teorije morskih mijena radi niz poznatih istraživača kao W. von Kesslitz, O. von Gratzl, F. Hopfner, von Grabovitz i Kos. Oni su pretpostavili, da se jadranske morske mijene mogu opisati pomoću šest ili sedam harmonijskih konstituenata. Robert Daublebsky von Sterneck je 1908. [12] dao tumačenje sizigijskih mijena. On je postavio teoriju o dva stojna vala s međusobno okomitim nodalnim linijama i faznim pomakom od tri sata. On je pretpostavio da se lateralni val stvara pod utjecajem Coriolisove sile koja skreće kretanje vode zbog longitudinalne komponente u desno, što uzrokuje lateralnu elevaciju koja se izrav- nava stojnim valom. Takvo kretanje vala obnjašnjava amfidromijsku točku u sjeve- rnom Jadranu. Na teoriji morskih mijena do Prvog svjetskog rata su još dalje radili Sterneck [12a,13] i Defant [14]. Naročito je važan doprinos numeričkom računanju plimnih komponenta kao prethodnici suvremenim numeričkim modelima.

Profesor gimnazije u Rijeci J. Lorenz objavljuje svoj pionirski rad 1863. u Beču [15]. Taj je rad prvi moderan prikaz sustavno prikupljene građe o osobinama vode i organizama u Kvarneru, pa tako i na Jadranu. Uz ostalo, daje prikaz rasporeda temperature, slanosti, gustoće, boje i prozirnosti morske vode. Zanimljivo je bilo njegovo mišljenje da su niske pridnene temperature (7.28° C) glacijalni relik, što je bilo u skladu s tada općenitim shvaćanjem o statičnosti donjih slojeva mora.

Opisom hidrografskih svojstava Kvarnerskog zaljeva bave se još Alberto Fortis i Olivi [16].

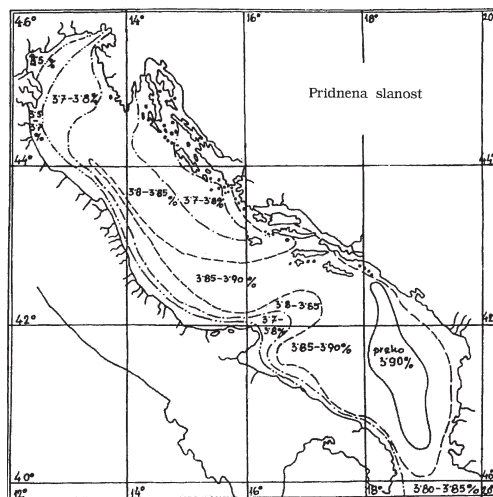
U Trstu je 1846. osnovano Prirodoslovno društvo (Unione di storia naturale), koje, uz ostalo, potiče istraživanje mora. Od 1850. djeluje kao Gabinetto zoologico-zooatomico (Kabinet za zoologiju i životinjsku anatomiju), od 1852. kao Museo zoologico civico (Narodni zoološki muzej), te od 1855. kao Civico Museo Ferdinando Massimiliano [17]. U istom gradu je 1874. osnovano Jadransko društvo za prirodne znanosti (Societá adriatica di scienze naturali), a 1875. je otvorena Zoološka stanica (Stazione zoologica - Zoologische Station), koja organizira krstarenja brodovima

ARGO i ADRIA, na kojima se prikupljaju i neki hidrografski podaci.

U Beču je 1865. osnovana Stalna komisija za istraživanje Jadrana - Jadranska komisija (Ständige kommission für Adria - Adria Kommission) pri Carskoj akademiji. Ta komisija provodi u razdoblju 1866. - 1872. hidrografski premjer Jadranskog mora uz veliki broj plovnih sredstava i brod-bazu FIUME [9]. Komisija se 1903. reorganizira u Društvo za unapređenje prirodoslovnih istraživanja Jadrana - Jadransko društvo (Verein zur Förderung der Naturwissenschaftlichen Erforschung der Adria - Adriaverein). Zanimljivo je napomenuti da je već spomenuti Grgur Bučić surađivao s tom komisijom kao iskusan motritelj na Hvaru [11].

Rijeka potpada 1868. pod mađarsku upravu. Već sljedeće godine Mađarska želi pokazati svoje prisustvo na Jadranu i 1869. osniva Stalnu mađarsku komisiju za znanstveno istraživanje mora (Allandó Magyar Tenderkutató Bizottság)[3].

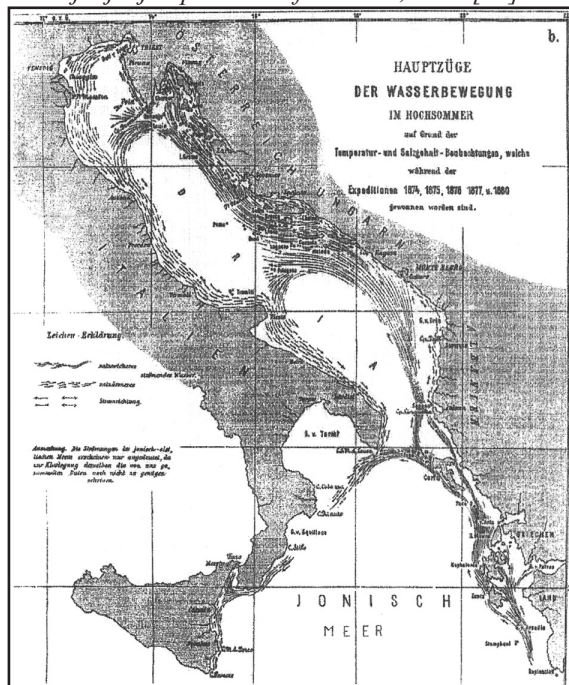
U takvom ozračju počinju prva sustavna istraživanja otvorenog Jadrana brodovima NAUTILUS (1874.), DELI (1875., 1876. i 1877.) i HERTHA (1880.), koja su organizirale austrijske pomorske vlasti, a proveli profesori riječke vojno-pomorske akademije Josef Luksch i Julius Wolf, koji su i analizirali prikupljeni materijal [18, 19, 20, 21 i 22]. Međutim, dubinske temperature na tim krstarenjima nisu bile mjerene prekretnim termometrima, pa izmjerene temperature donjih slojeva nisu pouzdane. Slanost je bila određivana pomoću areometara, tj. putem gustoće, pa ni to nije pouzdano za donje slojeve, zbog netočnog određivanja temperature. Ipak je na osnovi prikupljenih podataka bilo moguće pokazati da palagruški prag hidrografski odvaja sjeverni i srednji Jadran od južnog Jadrana (Sl. 1). Osim toga, Wolf i Luksch su, na osnovi površinske razdiobe temperature i slanosti, konstruirali kartu površinskih



Sl. 1. Pridnene slanosti Jadrana prema Wolf i Luksch, 1881 [20]

struja za ljetno razdoblje (Sl. 2).

Sl. 2. Površinsko strujanje ljeti prema Wolf i Luksch, 1887 [22]



U Zagrebu je 1885. osnovano Hrvatsko prirodoslovno društvo zaslugom prof. Spiridiona Brusine (1845 - 1908) i prof. Đure Pilara, koje potiče istraživanje mora. Nakon biologa, morem su se počeli baviti i zagrebački geografi, osobito Artur Gavazzi (1861 - 1944). Osim što je pisao o temperaturi mora, bio je kasnije aktivan u ekspedicijama VILA VELEBITA. Opsežno je djelatnost zagrebačkih biologa i geografa obradio Orlić [11 i 24].

Zoološka stanica Berlinskog akvarija osnovana je u Rovinju 1891. Organizira krstarenja brodom RUDOLF VIRCHOW [3].

Na svojem istraživačkom putu prema istočnom Mediteranu, brod POLA 1894. također prikuplja neke podatke na otvorenom Jadranu [25].

Kraća krstarenja brodovima ZVONIMIR i MARGITA (školski brod bakarske Nautičke škole) organiziraju 1893. i 1894. Hrvatsko sveučilište i Jugoslavenska akademija u Zagrebu [11], a opisuju I. Hoić [26] i S. Brusina [27].

U Rijeci je 1904. osnovana Mađarska ribarstveno-bioložka stanica (Magyar Halászati Biológiai Allomas) [28].

Konačno je 1909. Italija osnovala u Veneciji Kraljevski talijanski komitet za oceanografiju (Regio comitato talassografico italiano). Komitet izdaje časopis *Memorie*, koji izlazi do danas. Počinje i druge zapažene aktivnosti, pa organizira krstarenja brodovima torpiljarka S 107, MONTEBELLO i CICLOPE [1].

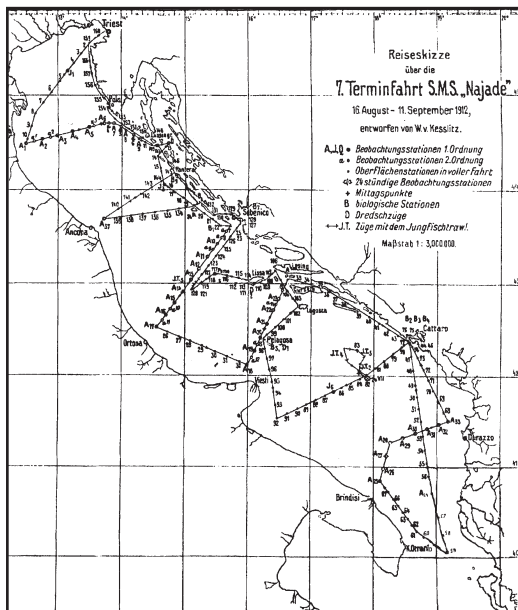
Sada su na Jadranu istraživački aktivne i Austrija i Italija, pa 1910. osnivaju Stalnu međunarodnu komisiju za istraživanje Jadrana (Permanente internationale Kommission für Erforschung der Adria, odnosno Commissione internazionale permanente per lo studio dell'Adriatico). U Rijeci je iste godine osnovano i Mađarsko jadransko društvo (Magyar Adria Egyesület).

Merz [29] je prikazao obimnu bibliografiju za desetljeće od kraja devetnaestoga i početka dvadesetoga stoljeća.

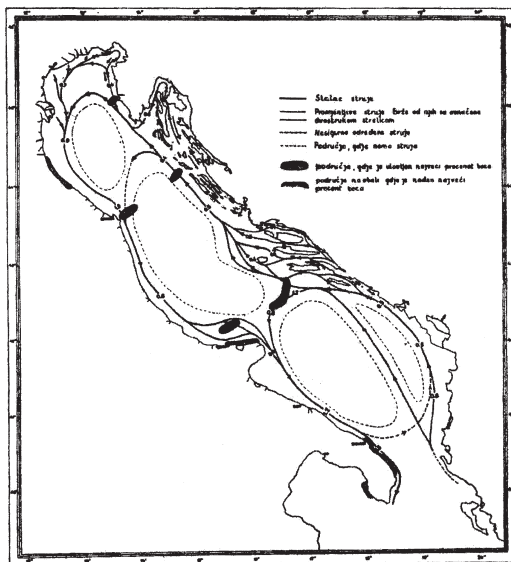
Međunarodna komisija za istraživanje Jadrana je zatim razvila zapaženu aktivnost. Od 1911 do 1914, tj. do početka Prvog svjetskog rata, traju sustavna sezonska krstarenja brodovima NAJADE<sup>1</sup> i CICLOPE [30 i 31]. Važno je da je tijekom tog ekspedicijskog rada ostvarena nova zamisao o trajnoj kontroli stanja mora na istim točkama u određenim razmacima, tj. u četiri sezone godišnje. Krstarenja su obuhvatila osam transverzalnih profila (Sl. 3). Prikupljeni podaci su vrlo kvalitetni i potpuno komparabilni sa suvremenim podacima. Na NAJADI su sudjelovali sljedeći istraživači: Ed. Bruckner, A. Grund, C.I. Cori, W.V. Kesslitz, J. Schiller, A. Steuer, B. Schussnig i H. Leder, a na CICLOPE sljedeći: L. de Marchi, G. Feruglio, R. Issel, G. Brunelli, G. Magrini, A. Manuelli, G. Brunni, D. Vinciguerra, D. Omodei i A. d'Arin. Uz prikupljanje osnovnih hidrografskih podataka, CICLOPE je, također, mjerila struje pomoću boca-plovaka [32], koje je analizirao Feruglio [33] te izradio novu kartu površinskih struja. Priložena karta struja (Sl. 4) je izrađena nešto kasnije na osnovi tih podataka. Dobro su uočene transverzalne struje u području pragova (Otrantski i Palagruški) i južno od Istre.

---

<sup>1</sup> Brod NAJADE ima zanimljiv radni vijek. Sagrađen je 1851. za potrebe austrijske ratne mornarice kao pomoćni brod i vodonosac. Pred početak ekspedicije 1911. bio je preuređen za potrebe oceanografskog istraživanja. Poslije Prvog svjetskog rata pripao je Jugoslavenskoj ratnoj mornarici, gdje pod imenom SITNICA u početku služi kao školski brod. Kao takav je korišten 1926. za oplovljavanje obale od Kotora do Sušaka za komisiju koja je odabirala lokaciju na kojoj će se izgraditi Oceanografski institut. Zatim je brod 1929. u splitskom brodogradilištu Jug preuređen za namjenu matičnog broda za podmornice i za hidrografski brod. Početkom Drugog svjetskog rata 1941. brod zaplijene Talijani i do pada Italije plovi pod imenom CURZOLA. Početkom 1944. vratili su ga partizani u luci Brindisi u sastav Jugoslavenske ratne mornarice i pripao je štabu baze N.O.V.J. Na brod su kao posada dobrovoljno dolazili Istrani, koji su prije služili u talijanskoj vojsci. Među njima i Alojz Brumljak, osobni konobar ondašnjeg predsjednika Talijanske vlade Badoglia. Njega je na brodu čak tražila saveznička vojska, ali se je on uspješno skrio. Na putu za Bari brod je 5. 2. 1944. doživio teško nevrijeme, te se nasukao u samoj luci Bari, ali nije bio teže oštećen, premda je u istom nevremenu stradao partizanski jedrenjak SVETI NIKOLA. Poslije rata plovi kao pomoćni brod u ratnoj mornarici pod imenom MINER. Korišten je na prvom oceanografskom krstarenju ekspedicije u sklopu Međunarodne geofizičke godine 1957. Zbog dotrajalosti nije se više mogao koristiti, te je kasiran 1960.



Sl. 3. Mapa sedmoga krstarenja ekspedicije NAJADE prema [30]



Sl. 4. Površinsko strujanje prema podacima boca-plovaka. Iz arhive Hidrografskog zavoda. Autor nepoznat

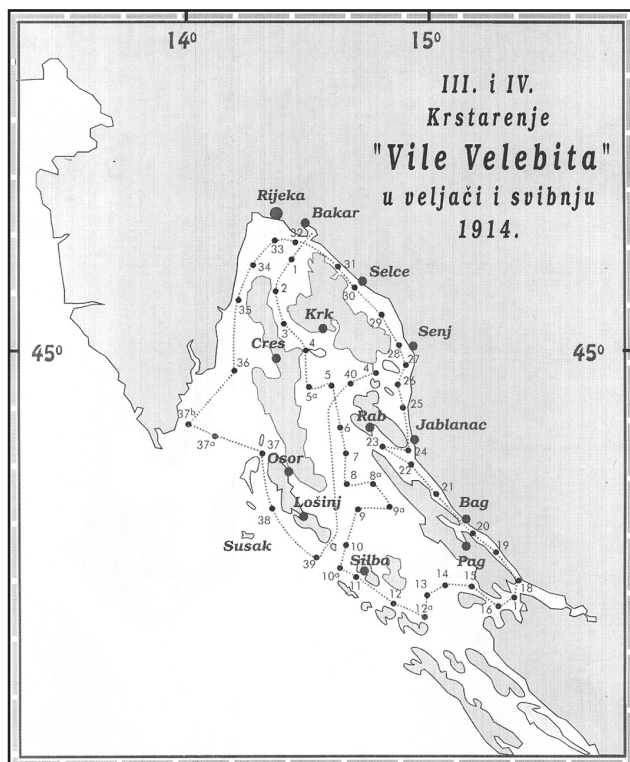


U sklopu tih istraživanja htjela je i banska Hrvatska dati svoj doprinos, pa su 1913. i 1914. Hrvatsko sveučilište i Jugoslavenska akademija u Zagrebu organizirali krstarenja u istim terminima u sjevernom Jadranu školskim brodom bakarske Nautičke škole VILA VELEBITA (Sl.5). Kapetan broda je bio N. Gerechtshammer, a u znanstvenoj ekipi profesori: A. Gavazzi, L. Car, M. Šenoa, J. Hadži, V. Vouk i F. Šandor [34 i 35]. Mađarska stanica u Rijeci je, također, organizirala krstarenje brodom NAJADE, ali, koliko je poznato, prikupljeni podaci nisu sačuvani. Međutim, bila je sreća, što su svi drugi podaci navedenih ekspedicija bili objavljeni, pa se koriste sve do danas.

U Dubrovniku je Cvjetković 1913. objavio prvu oceanografsku knjigu na našem jeziku [36].

Sl. 5. Treće i četvrto krstarenje brodom VILA VELEBITA prema Car i Hadži, 1914 [35]

Sredozemlje 1908.-1910. istražuje danska ekspedicija THOR, koja je u sklopu



tih istraživanja pohodila i južni Jadran. Na osnovi prikupljenih podataka Nielsen [37] je publicirao iscrpnu monografiju u kojoj je opisao raspored hidrografskih svojstava na Mediteranu, pa u sklopu toga i na Jadranu. U monografiji daje i iscrpan povijesni

razvoj do tog vremena. Opisujući južni Jadran, Nielsen je bio prvi koji je ukazao na to da pridnena voda južnog Jadrana ima slična svojstva kao duboka voda istočnog Mediterana, pa je pretpostavio da jadranska voda u pridnenom sloju prelazi u Jonsko more preko Otrantskog praga.

#### 4. ISTRAŽIVANJE IZMEĐU DVA RATA

Poslije Prvog svjetskog rata, Austrija je izgubila Jadran, pa tako i interes za njegovo istraživanje. Italija je ostvarila svoje teritorijalne pretenzije anektirajući dio slovenskog i hrvatskog nacionalnog teritorija. Na istočnoj obali Jadrana formirane su dvije nove države: Jugoslavija i Albanija. Posljednja nije bila spremna za istraživačke aktivnosti, a u novonastaloj Jugoslaviji je bila jaka želja za osnivanjem jedne oceanografske znanstvene ustanove.

Na inicijativu Pomorske oblasti u Bakru, u Zagrebu je već 1921. održana anketa o osnivanju Instituta za oceanografiju pod predsjedanjem akademika Andrije Mohorovičića. Osnovana je glavnicu za osnivanje instituta i komisija, koja je brodom SITNICA obišla cijelu obalu da odredi najbolju lokaciju. Od dviju predloženih lokacija (Split i Dubrovnik) prihvaćen je Split, jer je njegova tadašnja općina ponudila bolje uvjete.

Biolško-oceanografski institut počeo je radom 1930. Glavna zgrada stavljena je pod krov 1933., a Institut je potpuno završen i opremljen iza Drugog svjetskog rata [38]. Bila je svakako želja da Institut od samog početka bude dobro znanstveno i suvremeno koncipiran. Glavna znanstvena publikacija Instituta, *Acta Adriatica*, počinje izlaziti 1932. Malim brodom BIOS se sustavno radi na moru. Određuju se četiri stalne postaje u srednjedalmatinskom arhipelagu, na kojima se prikupljaju hidrografski, planktonološki i ihtiološki podaci. Novost je određivanje količine hranjivih soli, pionirsko na Mediteranu, zaslugom istaknutog znanstvenika Ante Ercegovića. Hidrografski ured je osnovan 1922. u Tivtu, zatim prelazi u Dubrovnik 1923., te u Split 1929. Uspostavlja mareograf u Splitu 1930. koji, s prekidom u Prvom svjetskom ratu, radi i danas [9].

U Splitu je 1922. osnovano udruženje "Jadranska straža", koje izdaje svoj glasnik pod istim imenom (1922. - 1941.), a uz ostalo, tretira i oceanografsku problematiku,

U Bakru Geofizički zavod iz Zagreba uspostavlja 1929. mareograf, koji je, također, još u funkciji. U Bakarskom zaljevu su profesori Geofizičkog zavoda Josip Goldberg i K. Kempni, 1936. proveli opsežna istraživanja slobodnih oscilacija uz razvoj vlastite metode računanja [39]. Isti zavod od 1923. izdaje publikaciju "Radovi".

Institut u Rovinju nastavlja rad i od 1931. djeluje kao Njemačko-talijanski institut za morsku biologiju. Organizira krstarenja u Sjevernom Jadranu brodovima AURO,

ADRIA i CLUPEA i izdaje dvije publikacije: *Thalassia* (1932. - 1943.) i *Note*.

U Trstu je 1919. osnovan Geofizički institut.

Na istočnoj obali je još u Fanu 1939. osnovana Stanica za morsku biologiju (Laboratorio di biologia marina).

Karakteristika međuratnog razdoblja je istraživanje obalnog područja, pri čemu se uvode neke nove metode. Istraživanje otvorenih voda je zamrlo.

## 5. RAZVOJ IZA DRUGOG SVJETSKOG RATA

### 5.1. *Razvoj institucionalne baze*

Italija je izgubila Istru, pa je tako i Institut u Rovinju, koji je 1943. bio zatvoren, pripao Jugoslaviji. Premda je bio izgubio gotovo sve osim gole zgrade, ipak, ponovno djeluje od 1948. godine. Poslije nekoliko organizacijskih promjena, konačno je 1969. uključen u Institut Ruđer Bošković iz Zagreba kao Centar za istraživanje mora. Ima istraživački brod VILA VELEBITA (23 m), kojim je, između ostalog, 1973.-74. ponovljeno uzimanje uzoraka na istim lokalitetima kao 1911.-14. brodom istog imena. Od 1952. do 1991. izdaje časopis *Thalassia Jugoslavica* (23 volumena). Institut Ruđer Bošković razvija istraživačku djelatnost i u Zagrebu, gdje od 1980. samostalno djeluje Centar za istraživanje mora, Zagreb.

Institut u Splitu nastavlja rad pod imenom Institut za oceanografiju i ribarstvo. Popunjava se plovnim objektima, pa od 1947. ima brod PREDVODNIK (19 m), izgrađen u Americi kao kočar. U Institutu je do 1981. g. Brod HVAR (25 m) je također došao 1947. kao pomoć UNRE i Institut ga koristi do 1953. Tim brodom je 1948.-49. izvedena prva ribarstveno-biološka ekspedicija, koja je obuhvatila veći dio otvorenog Jadrana sa 176 postaja. Istraživački brod BIOS (26m) počeo se graditi u brodogradilištu "Martinšćica" kod Rijeke za Institut u Rovinju. Kako u to doba nije bilo mogućnosti da se taj Institut razvije u znatniju ustanovu, to je brod BIOS (28 m) nastavljen gradnjom za Institut za oceanografiju i ribarstvo u Splitu. Ribarstvena stanica u Rijeci je obavljala nadzor nad izgradnjom, a nakon izgradnje 1953. preuzeo ga je Institut u Splitu. Tim brodom Institut prikuplja podatke već gotovo pola stoljeća a kao osnovni zadatak je rad na permanentnim postajama u srednjem i južnom Jadranu. Treba napomenuti da je do danas najviše podataka na jednoj postaji na Jadranu prikupljeno na postaji Stončica kod otoka Visa. Institut nastavlja s izdavanjem *Acta Adriatica* (do danas 41 volumen), ali također izdaje *Bilješke-Notes* (do danas 82 broja), *Ribarstveno-biološku ekspediciju "Hvar"* (6 volumena), *Faunu i floru Jadrana* (4 volumena) i *Posebna izdanja* (ukupno 8 knjiga).

U sklopu rada Instituta djelovalo je još nekoliko postaja. Postaja u Rijeci (Sušaku) je preseljena 1946. iz Kraljevice, gdje je bila osnovana 1942. za vrijeme Drugog svjetskog rata. Krajem 1948. preseljena je u Rovinj da bi se obnovio rad tamošnjeg

Instituta. Zatim je u Rijeci ponovno osnovana ribarstvena stanica, koja 1956. potpada pod kotar Rijeka i tako opstaje do 1964., kada je integrirana Prirodoslovnom muzeju u Rijeci. Postaja je imala brod BENTOS. Ribarstveno tehnobiološki postaja u Dubrovniku je do 1951. u sastavu Instituta u Splitu kada prerasta u Biološki zavod i djeluje samostalno do 1977., kada se opet priključuje Institutu u Splitu. Imala je brod BALDO KOSIĆ (12 m), koji je stradao prilikom bombardiranja Dubrovnika 1991..

U Splitu nastavlja rad i Hidrografski institut ratne mornarice. Publicira pomorske karte, peljare i druge korisne informacije koje osiguravaju sigurnost plovidbe. Redovno izdaje Oglas za pomorce, Nautičke godišnjake, Grafikone izlaza i zalaza Sunca i Mjeseca, mareografske podatke u Izvješćima o mareografskim mjerenjima na istočnoj obali Jadrana (od 1954. do danas) i prognozirane vrijednosti razine mora za sljedeću godinu. Izdaje i časopis Hidrografski godišnjak (1954-1991.). Istraživačkim brodom ANDRIJA MOHORVIČIĆ (1475 t deplasmana) obavlja opsežnu kontrolu otvorenog Jadrana. Tijekom 1974. do 1976. izvedeno je pet krstarenja, a od 1980. do 1990. 8 krstarenja, koja su obuhvatila cijeli Jadran. Za hidrografski premjer koristi hidrografski brod i manja plovila. Od 1991. djeluje kao Državni hidrografski institut i ima brod HIDRU (23 m).

Poboljšan stručni pristup omogućilo je, također, osnivanje Katedre za fizičku oceanografiju pri Geofizičkom zavodu Prirodoslovno-matematičkog fakulteta u Zagrebu (1950), za što je bio osobito zaslužan prof. Josip. Goldberg (1885. - 1960.) [11]. Ranije je oceanografija predavana u sklopu geografske grupe predmeta. Geofizički zavod izdaje publikaciju Rad Geofizičkog zavoda od 1948.g., koji postaje časopis Geofizika 1984.g. Časopis izlazi redovito i, uz ostalo, objavljuje radove iz oceanografije.

U Zadru je 1962. osnovano Društvo za unapređenje pomorstva Jugoslavije (od 1991. Društvo za proučavanje i unapređenje pomorstva Republike Hrvatske) koje izdaje godišnjak Pomorski zbornik. On izlazi u Zadru od 1962. do 1970., a otad do danas u Rijeci. Časopis, uz ostalo, objavljuje znanstvene i stručne oceanografske radove.

U novije vrijeme izlaze u Zagrebu časopisi Hrvatske vode (od 1993.) i Hrvatska vodoprivreda u kojima se objavljuju i stručni oceanografski radovi, a u Zadru od 1997. izlazi časopis Geoadria.

U Sloveniji od 1969. u Piranu djeluje Morski raziskovalni in izobraževalni center u Piranu u sastavu Inštituta za biologiju Univerze u Ljubljani.

U Crnoj Gori je 1961. osnovan Zavod za biologiju mora u Kotoru. Imao je brod ISTRAŽIVAČ (12 m). Suizdavač je publikacije Studia marina.

Na istočnoj obali 1954. radi 8 mareografa, 1970. 6 mareografa, a uoči domovinskog rata 11 mareografa. Sada na hrvatskoj obali radi 7 mareografa: Rovinj, Bakar, Zadar, Split (2), Sućuraj i Dubrovnik.

U Trstu djeluju Istituto sperimentale tallassografico (Eksperimentalni talasografski institut) i Osservatorio geofisico sperimentale (Eksperimentalni geofizički institut). Prvi izdaje Publikazioni di Istituto sperimentale tallassografico, a drugi Bolletino di

geofizika teorica e applicata, a nastavljaju radom mareograf i meteorološka stanica.

U Veneciji je 1969. osnovan Laboratorio per lo studio della dinamica delle grande massi (Laboratorij za studij dinamike velikih masa) s prvotnom zadaćom da ispituje mogućnosti zaštite Venecije od poplava.

Biološki laboratorij u Fanu nastavlja radom i izdaje Note di Laboratorio di Biologia Marina.

U Anconi od 1968. djeluje Laboratorio di tecnologia della pesca, koji kasnije mijenja ime u Istituto di ricerche sulla pesca maritima (Institut za istraživanje morskog ribarstva).

Na zapadnoj obali djelomično svoju aktivnost vezuje za istraživanje mora još niz institucija kao Istituto di geologia e paleontologia dell' Università di Trieste (Institut za geologiju i paleontologiju Sveučilišta u Trstu), Laboratorio di biologia marina dell' Università di Trieste, ENEL SPA Centro ricerca idraulica e strutturale (CRIS), Servizio idrologico. Satelitski podaci se obrađuju u centru europske zajednice Space Application Institute (SAI) u Ispri.

Albanija, također, započinje neke aktivnosti. Tako pojačana institucijska baza omogućila je interdisciplinarni pristup u oceanografskim istraživanjima kao i kontrolu obalnog i otvorenog mora.

## 5.2. Rad na moru

U razdoblju poslije Drugog svjetskog rata intenziviran je rad na moru. Ponovno je od 1949. uspostavljena trajna kontrola otvorenog Jadrana zaslugom Instituta u Splitu, koji prikuplja podatke na 6 postaja profila Split-Gargano, te na postajama u Jabučkoj kotlini i južnom Jadranu (Sl. 6).

Poseban poticaj istraživanja na moru dala je Međunarodna geofizička godina (MGG) 1957/58. Brodovima MINER i SPASILAC prikupljeni su podaci u srednjem i južnom Jadranu na NAJADINIM profilima. Krstarenja su se u 1957. g. organizirala u sljedećim terminima: 6.-18. 6., 2.-18. 9. I 4.-24. 12., a u 1958.g : 9.-30.3., 8.-23.6. i 18.-29.12.

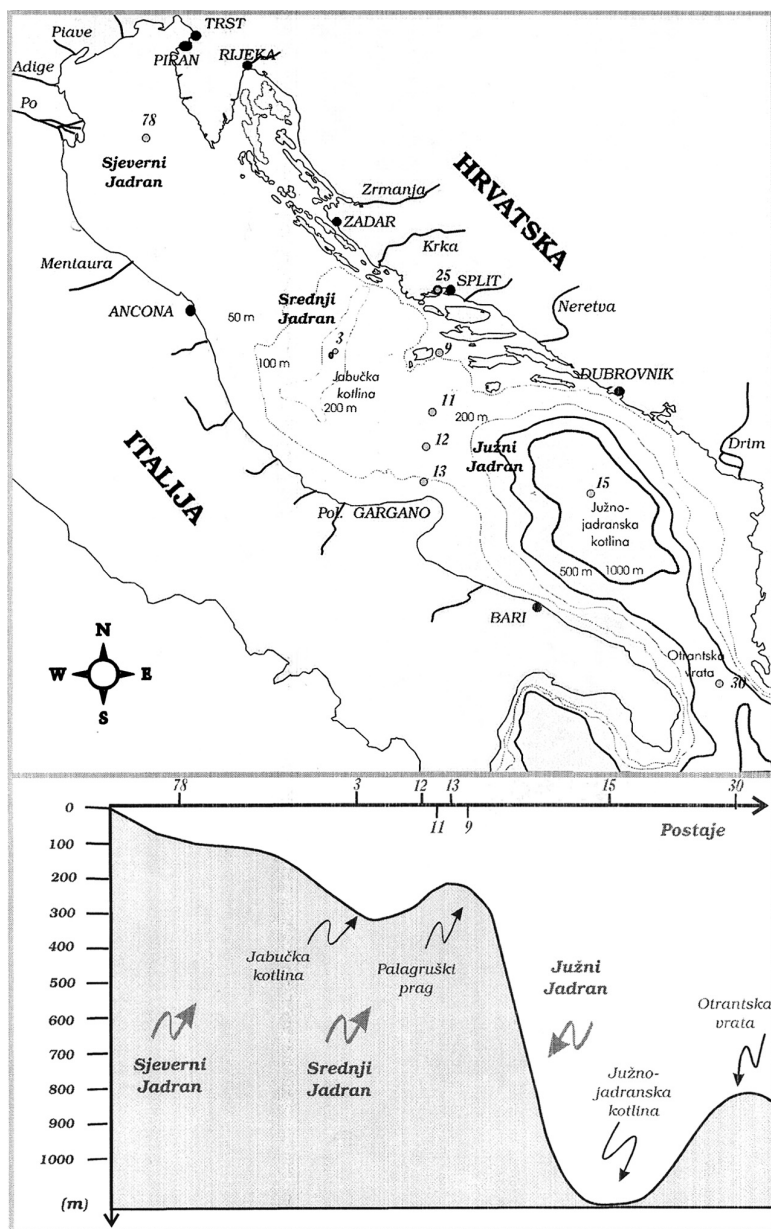
S talijanske strane u vrijeme MGG istražuju MANGO i STAFETTA, a nešto kasnije SCIMITARRA i GAZELLA. Od 1965. niz krstarenja izvodi brod BANOCK.

Velike sile, također, posjećuju Jadran svojim istraživačkim brodovima: ATLANTIS, AKADEMIK VAVILOV, AKADEMIK KOVALEVSKIJ.

*Sl. 6. Batimetrijska karta Jadrana i uzdužni profil. Označene su permanentne postaje Instituta za oceanografiju i ribarstvo u Splitu*

Karakteristika tog razdoblja je nastojanje za usavršavanjem i standardiziranjem klasičnih metoda rada na moru.

Sedamdesetih se godina oceanografija susreće s problemom polucije. To je



pojačalo interes za obalna istraživanja, ali je zahtijevalo uvođenje niza novih metoda, osobito u kemijsku oceanografiju. Uvodi se polako elektronička oprema, mjerenje s plutača, a počinju i opažanja iz satelita, premda ti podaci većim dijelom nisu dostupni

našim oceanografima. Jedan pokušaj novog načina rješavanja dinamičkih problema bio je međunarodni program ALPEX/MEDALPEX 1982/83.(4o). U sjevernom Jadranu je određen poligon postaja s uronjenim plutačama s kojih su prikupljeni podaci o temperaturi i strujanju. Kompjutori omogućavaju posve nov način u rješavanju problema.

Sve intenzivnije uvođenje sofisticiranih i skupih metoda mjerenja u novije doba uvjetuje međunarodne projekte, koje je ojačala i politička otvorenost završetkom hladnog rata. S druge strane, nedavna ratna zbivanja su, također, pojačala interes međunarodne zajednice za istraživanja na Jadranu. Zbog toga je devedesetih godina bio ili je još u tijeku niz međunarodnih projekata kao ALPE - JADRAN (1990.-1992.), ASCOOP (1979. - 1991.), POEM (1984. - 1996.), INTEREG ( 1997. -2001.) i mnogi drugi.

Na Tablici 1. dat je pregled istraživačkih brodova koji su djelovali na Jadranu. Prema Ovchinichovu [45] Jadran je jedno od najistraženijih područja Sredozemlja. U banci podataka Instituta u Splitu danas se nalaze podaci s više od 50.000 hidrografskih postaja (Tab 2).

*Tablica 1. Istraživački brodovi na Jadranu*

*prema [3] [11] [17] [18] [19] [31] [32] [38] [39] [40] [41] [42] [43] [44][45][46]*

*Tablica 2. Ukupni broj vertikalnih oceanografskih profila u banci pokataka Instituta za oceanografiju i ribarstvo u Splitu (V. Dadić)*

### 5.3. Rezultati istraživanja

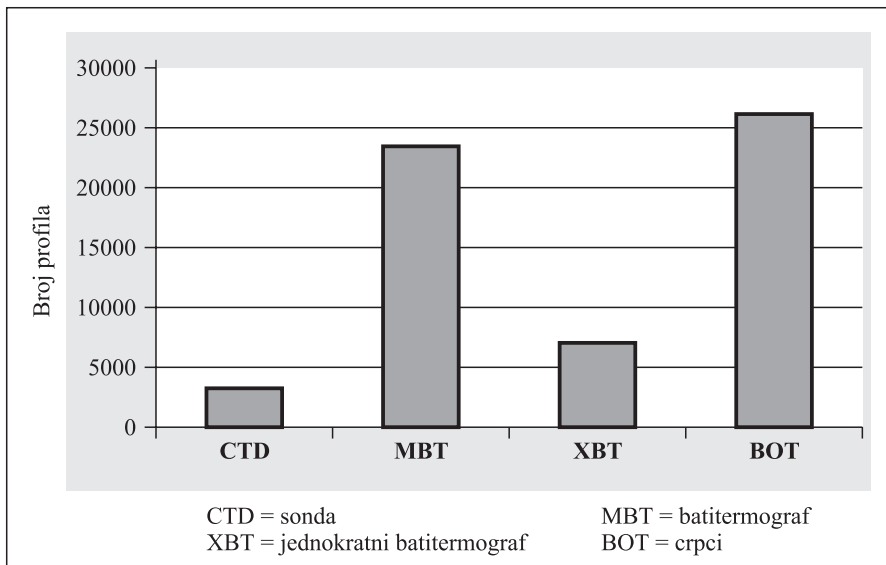
Pedesetih godina Miljenko Buljan je detaljnije analizirao podatke ekspedicija NAJADE i CICLOPE i shvatio da se hidrografska svojstva Jadrana znatno mijenjaju

BROD	GODINA	DRŽAVA
NAUTILUS	1874	ex AUSTRIJA
DELI	1875,1876,1877	ex AUSTRIJA
PELAGOSA	1877-1878	ex AUSTRIJA
HERTHA	1880	ex AUSTRIJA
ZVONIMIR	1893	ex AUSTRIJA (HRVATSKA)
POLA	1890-93, 1894	ex AUSTRIJA
MARGITA	1894	ex AUSTRIJA (HRVATSKA)
ELORE	1904	ex AUSTRIJA
THOR	1908 - 1909	DANSKA
S 107	1909	ITALIJA
RUDOLF VIRCHOW	1907 -1911	NJEMAČKA
ARGO	1909	ex AUSTRIJA (ITALIJA)
MONTEBELLO	1910	ITALIJA
ADRIA	1910	ex AUSTRIJA (ITALIJA)

BROD	GODINA	DRŽAVA
<i>CICLOPE</i>	1910, 1911-1914	ITALIJA
<i>NAJADE</i>	1911-1914	ex AUSTRIJA
<i>VILA VELEBITA</i>	1913 - 1914	ex AUSTRIJA (HRVATSKA)
<i>AURO</i>	1920 - 1940	ITALIJA
<i>ADRIA</i>	1920 - 1940	ITALIJA
<i>CLUPEA</i>	1920 - 1940	ITALIJA
<i>BIOS (I)</i>	1932 - 1940	ex JUGOSLAVIJA
<i>HVAR</i>	1948-1950	ex JUGOSLAVIJA (HRVATSKA)
<i>M (306)</i>	1951	ITALIJA
<i>SRDELA</i>	1952 - 1953	ex JUGOSLAVIJA (HRVATSKA)
<i>PREDVODNIK</i>	1950-1980	ex JUGOSLAVIJA (HRVATSKA)
<i>PLANKTON</i>	1955	ex JUGOSLAVIJA (HRVATSKA)
<i>MINER (ex NAJADE)</i>	1957	ex JUGOSLAVIJA
<i>BIOS II</i>	1953 - nadalje	ex JUGOSLAVIJA - HRVATSKA
<i>VERCELLI</i>	1956	ITALIJA
<i>MANGO</i>	1957	ITALIJA
<i>SPASILAC</i>	1957-1958	ex JUGOSLAVIJA
<i>BALDO KOSIĆ</i>	1962-1991	ex JUGOSLAVIJA - HRVATSKA
<i>STAFFETTA</i>	1957-1958	ITALIJA
<i>VILA VELEBITA</i>	1972 - nadalje	ex JUGOSLAVIJA - HRVATSKA
<i>FARFALLA</i>	1959-1960	ITALIJA
<i>SCIMITARA</i>	1959-1960	ITALIJA
<i>GAZELLA</i>	1959-1960	ITALIJA
<i>ATLANTIS</i>	1962	SAD
<i>BANNOCK</i>	1965, 1968, 1977-1991	ITALIJA
<i>ANDRIJA MOHOROVIČIĆ</i>	1974 - 1990	ex JUGOSLAVIJA
<i>AKADEMIK VAVILOV</i>	1960, 1962	SSSR
<i>AKADEMIK KOVALEVSKIJ</i>	1962	SSSR
<i>MARSILI</i>	1971, 1972	ITALIJA
<i>GEOMAR</i>	1973	ITALIJA
<i>PROFESOR BOGOROV</i>	1977	SSSR
<i>PROFESOR VODJANICKIJ</i>	1977, 1982	SSSR
<i>AKADEMIK PETROVSKIJ</i>	1977	SSSR
<i>MINERVA</i>	1991	ITALIJA
<i>URANIA</i>	1994, 1995	ITALIJA
<i>MAGNAGHI</i>	1995	ITALIJA



iz godine u godinu. Razdoblja povišene slanosti on je nazvao jadranskim ingresijama pretpostavljajući da su ona rezultat intenzivnijeg ulaska Jonske vode u Jadran [47]. Ta opcija je bila primijenjena na niz drugih istraživanja i pomogla je razrješavanju



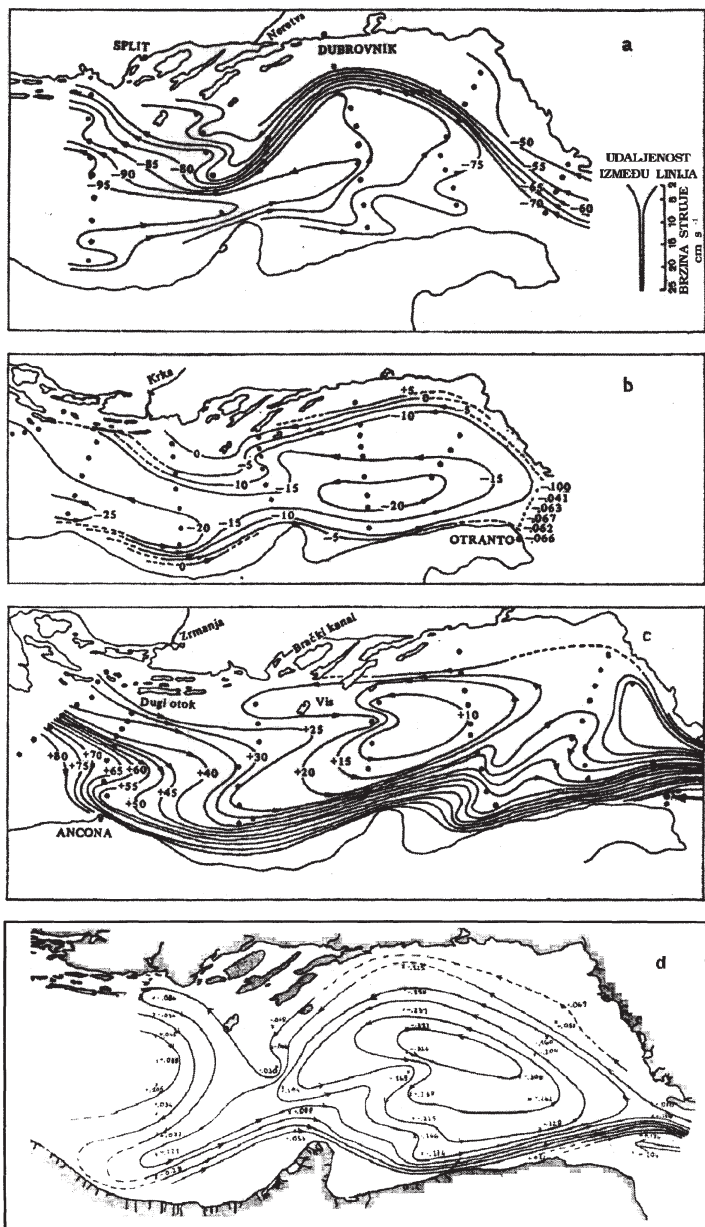
niza problema. Svakako je ukazala na veliku promjenljivost hidrografskih svojstava. Izračunate geostrofičke struje (Sl. 7) na bazi istih podataka [48] su, također, pokazale izrazitu sezonsku kao i višegodišnju promjenljivost. U generalno ciklonalnom strujanju, zimi je jača ulazna struja uz istočnu obalu, a ljeti izlazna uz zapadnu obalu. Te sezonske promjene su rastumačene vrlo izrazitom sezonskom razlikom u rasporedu temperature i slanosti između sjevernog, te srednjeg i južnog Jadrana. Višegodišnje fluktuacije su pripisane djelovanju meteoroloških faktora, posebno rasporedu tlaka zraka nad širim područjem [49]. Te osnove su dalje utjecale na postavljanje niza hipoteza o utjecaju fizikalnih faktora na stanje bioloških zajednica, uključujući riblje zajednice.

Neki drugi rezultati će u nastavku biti okvirno izneseni.

Sl. 7. Geostrofičke struje površinskog sloja prema podacima ekspedicija NAJADE i CICLOPE za zimu (a), proljeće (b), ljeto (c) i jesen (d) prema [48]

## 6. TEMPERATURA MORA

Izduženi oblik bazena i njegova uvučenost u kopno pogoduju kontinentalnim karakteristikama, tj. velikim godišnjim amplitudama temperature. Srednji godišnji rasponi površinske temperature mora se kreću od 18°C, na jugu, do 25°C, na sjeveru,



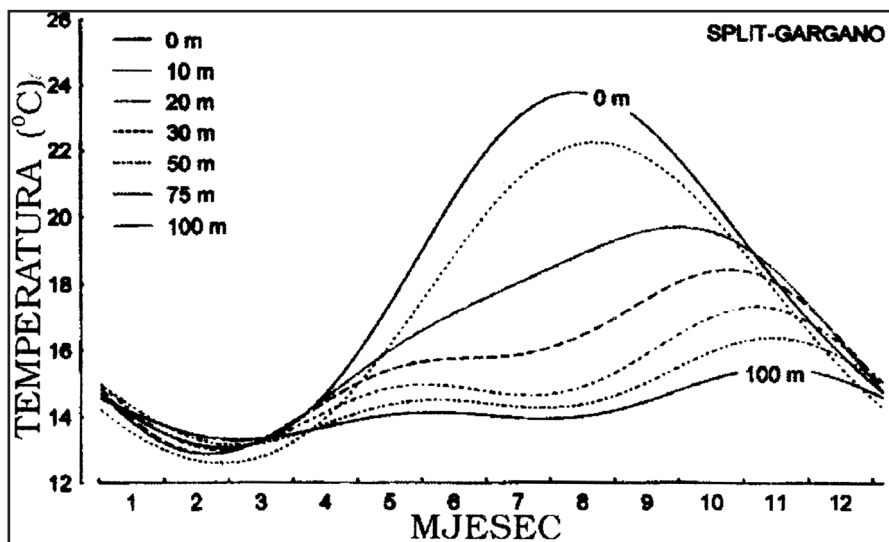
a zabilježene ekstremne temperature iznose 4°C i 28°C.

Jadran je umjereno toplo more, pa temperatura ni u pridnom sloju srednjeg i južnog Jadrana ne prelazi 11°C i 12°C.

Zimi je južni Jadran 8 do 10°C topliji od sjevernog, dok je u ostalim sezonama raspored temperature homogeniji. Općenito je otvoreno more toplije od obalnih voda. Na profilu Split-Gargano najviše temperature se javljaju u njegovom srednjem dijelu, a najniže površinske temperature na istočnoj obali, dok se najniže dubinske temperature javljaju na zapadnoj obali. Godišnji hod temperature mora na profilu na raznim dubinama je vidljiv na Sl. 8.

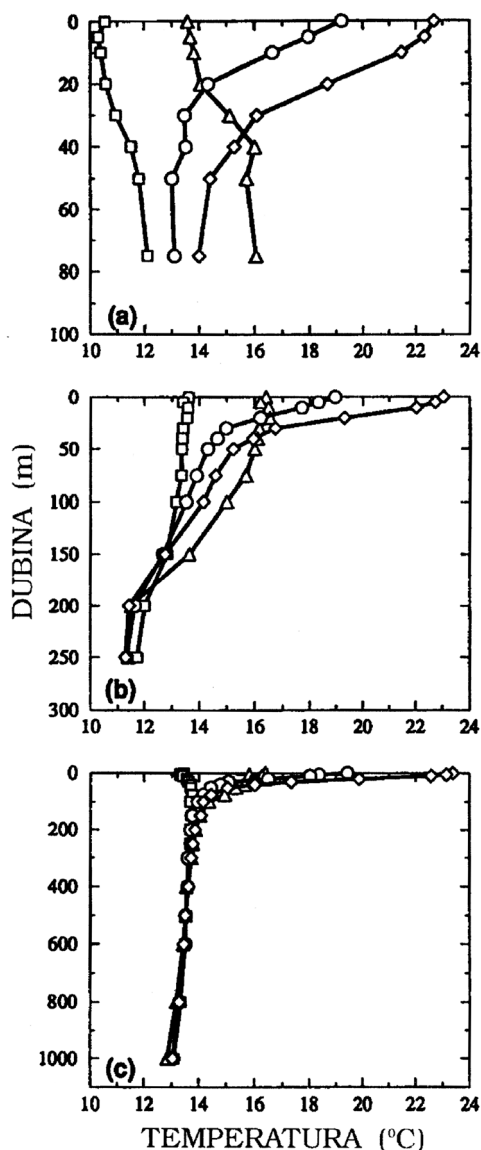
Sl. 8. Godišnji hod srednjih mjesečnih temperatura mora na raznim dubinama profila Split-Gargano prema [50]

Vertikalni raspored temperature na otvorenom moru srednjeg i južnog Jadrana ima tri karakteristična sloja (Sl. 9). Temperatura površinskog sloja je pod pretežnim utjecajem atmosfere, i to izrazitije u sjevernom, nego u srednjem i južnom Jadranu. Intermedijarni sloj je znatnije pod utjecajem advekcije, čiji intenzitet je kontroliran dužobalnim gradijentom tlaka zraka [50].



## 7. SLANOST MORA

Jadransko more, kao i cijeli Mediteran, pripada slanim morima. U sjevernom dijelu utječe rijeka Po, koja snižuje slanost, pa slanost raste idući od sjevernog prema južnom Jadranu. Nielsen je već 1912. [37] ustanovio da Jadran pripada području Mediterana u kojem je odnos precipitacije (uključujući priliv rijeka) i evaporacije pozitivan, pa u izmjeni vode s Jonskim morem djeluje kao bazen dilucije. Shematski, slađa voda iz Jadrana u Jonsko more struji u površinskom i pridnom sloju, a slanija



Sl. 9. Vertikalni profil višegodišnje srednje temperature mora u sjevernom (a), srednjem (b) i južnom (c) Jadranu za zimu (□), proljeće (○), ljeto (◇) i jesen (Δ) prema [51]

ulazi u intermedijarnom sloju [48].

Najveći dio jadranskog volumena, tj. otvorene vode srednjeg i južnog Jadrana, imaju slanost između 34,8 i 38,9 psu. Slanost je niža i promjenljivija u sjevernom Jadranu i u obalnim zonama.

Na većim dubinama srednjeg i južnog Jadrana jasno se ističu tri sloja. Srednji (intermedijarni) sloj je najslaniji. Višegodišnje srednje vrijednosti prikazane su na Sl. 10.

Višegodišnje fluktuacije slanosti bile su predmet mnogih studija. U razdoblju od šezdesetih do osamdesetih godina uočen je trend povišenja slanosti u cijelom bazenu, uključujući obalne zone (Sl. 11). To je bilo povezano sa smanjenjem priliva slatke vode Nila u istočno Sredozemlje zbog djelovanja Asuanske brane [52].

## 8. MORFOLOGIJA BAZENA I STRUJE

Specifičan duguljast oblik Jadranskog bazena i njegova uvučenost u kopno utječu na termohalina svojstva i strujanje. S druge strane vrlo promjenljivi režim vjetra tijekom godine, kao i odgovarajuće promjene tlaka zraka su također vidljivi u režimu strujanja.

Izračunate geostrofičke struje (Sl. 7) pokazale su utjecaj topografije na strujno polje. Općenito, struje slijede izobate. U području pragovala javlja se transverzalno strujanje. Osim toga, Palagruški prag u sred-

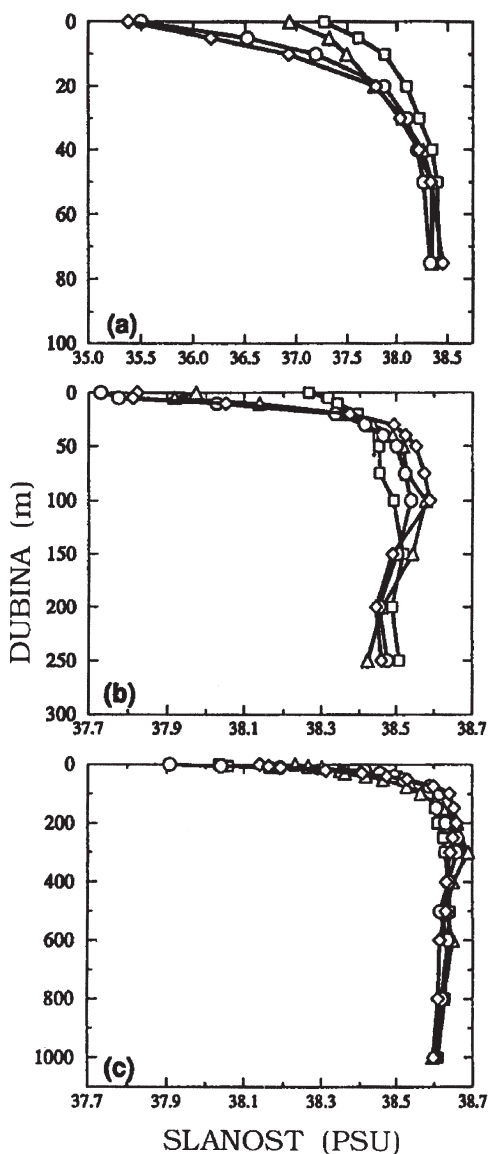
njem Jadranu, koji djeluje kao barijera u strujnom polju, uvjetuje i formiranje valovitih strujnica i meandera u inače jednostavnom strujnom režimu. Poremećaji su izraženiji ako su veće razlike karakteristika između sjevernog i južnog Jadrana. Jednostavni analitički model [53] je pokušao objasniti utjecaj topografije na strujno polje.

Tok strujanja povratno utječe na raspored slanosti na palagruškom pragu i, uz ostalo, također pokazuje valovitu formu.

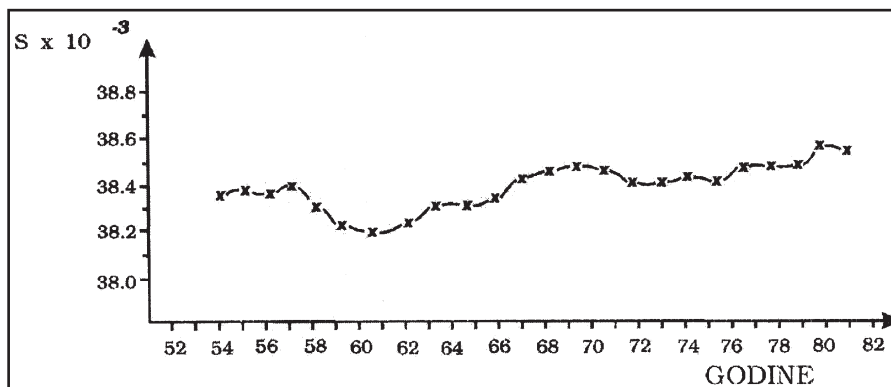
Glavni ciklonalni tok strujanja je najizraženiji na nekoj udaljenosti od obale, gdje je slaz u dubinu najstrmiji, odnosno gdje je najveća gustoća izobata. Horizontalni raspored površinske temperature i slanosti na istoj udaljenosti od obale ukazuje na postojanje fronte (nagle promjene karakteristika) koja je dobro potvrđena satelitskim opažanjima (Sl. 13). Obalna fronta mijenja položaj u raznim sezonama i raznim meteorološkim situacijama. U sjevernom Jadranu je tijekom 1982/83. studirana frontalna zona u okviru ALPEX-MEDALPEX projekta. Pokazalo se da, uz ostalo, fronta mijenja svoj položaj pod utjecajem bure (Sl. 12).

*Sl. 12. Pod utjecajem bure se u sjevernom Jadranu obalna frontalna zona formira južno od Istre [prema 54]. Anticiklonalni vrtlog zbog kojeg se formira tipičan strujni režim s dva vrtloga, također je uvjetovan burom.*

*Sl. 13. Shematski prikaz frontalnih*



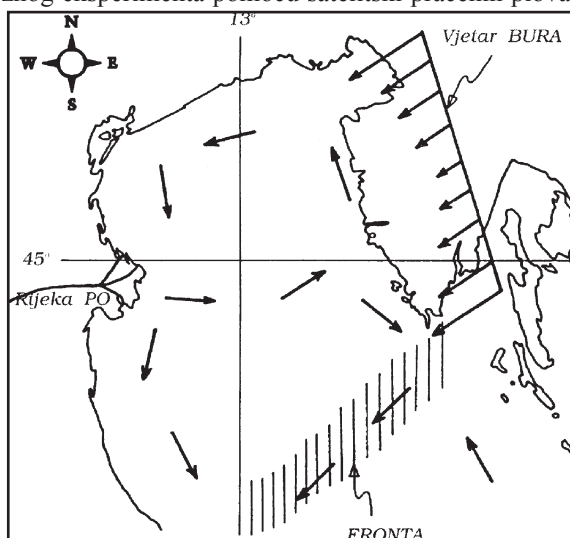
*Sl. 10. Vertikalni profil višegodišnjih srednjih slanosti mora u sjevernom (a), srednjem (b) i južnom (c) Jadranu za zimu (□), proljeće (○), ljeto (◇) i jesen (△) prema [51]*



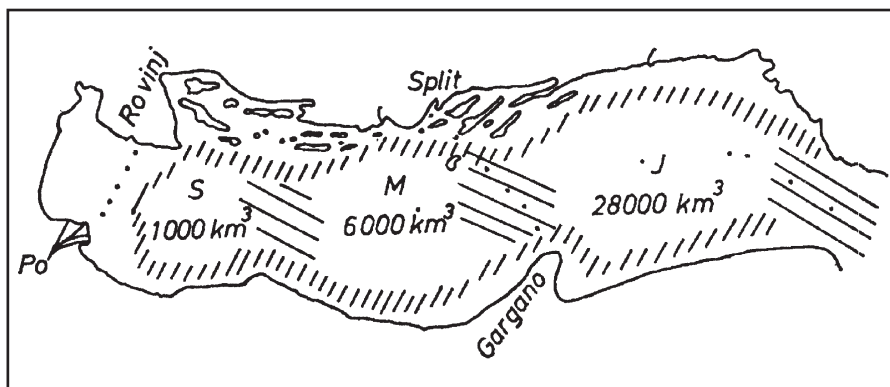
Sl. 11. Srednje godišnje vrijednosti slanosti mora na profilu Split-Gargano (6 postaja i standardne dubine) izgladene pomoću 5-godišnjeg kliznog srednjaka prema prema [70]

zona i mjesta formiranja vodenih masa prema [71]. Vodene mase vidi na Sl. 14

U novije vrijeme dosta je radova posvećeno istraživanju strujanja [55, 56, 57, 58], objektivnom analizom postojećih podataka, izradom dinamičkih modela, te analizom opsežnog eksperimenta pomoću satelitski praćenih plovaka. Prema svim



tim istraživanjima se čini da je općejadranski ciklonalni vrtlog najizraženiji u jesen, kada je i strujanje najbrže.



## 9. VODENE MASE I KLIMATSKE PROMJENE

Jadransko more je područje gdje se formira pridnena voda cijelog istočnog Mediterana, premda postoje i neke evidencije da se ta pridnena voda formira dijelom i u Egejskom moru. Pridnena voda mora biti teža od vode gornjih slojeva, budući da tone. Kako je Jadran najsjeverniji dio Mediterana, tu se formira najhladnija voda toga bazena. Crno more je još sjevernije, ali putem plitkih i uskih tjesnaca (Bospor i Dardanele) nema mogućnosti za djelotvornu izmjenu vode s Egejskim morem.

Pogodne meteorološke prilike za formiranje vodenih masa su periodi prodora hladnog i suhog zraka uz buru. Takve prilike pogoduju hlađenju i evaporaciji zbog čega se intenzivira termohalino miješanje i homogeniziranje u kotlinama (Sl. 14).

U Jadranu se formiraju tri vodene mase [62], koje neki autori drugačije označavaju:

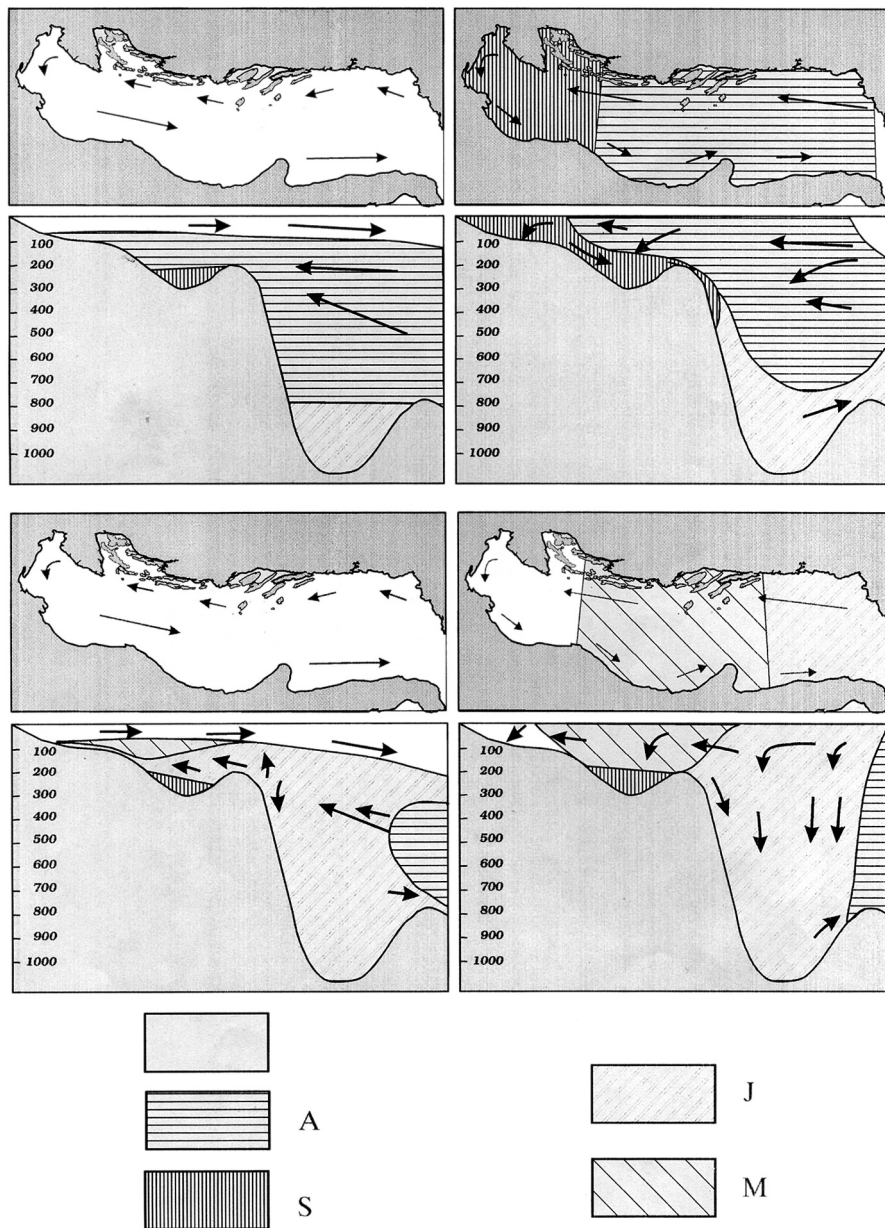
Sjevernojadranska S voda:  $T = 11^{\circ}\text{C}$ ;  $S = 38.5$  psu;  $\sigma_t = 29.52$

Srednjejadranska M voda:  $T = 12^{\circ}\text{C}$ ;  $S = 38.2$  psu;  $\sigma_t = 29.09$

Južnojadranska J voda:  $T = 13^{\circ}\text{C}$ ;  $S = 38.6$  psu;  $\sigma_t = 29.20$

Zbog svoje visoke gustoće, sjevernojadranska voda se povremeno spušta u dublje slojeve Jabučke kotline. Jedno teoretsko razmatranje [58] je pokazalo da se u sjevernom Jadranu tijekom zime formira ciklonalni vrtlog pod utjecajem gradijenata gustoće između teže vode središnjeg dijela i obalnih voda pod utjecajem riječnog priliva. U centru vrtloga se spušta voda. Iznesena je i hipoteza da je obalna fronta u sjevernom Jadranu ujedno zona konvergencije i tonjenja vode [54], pa može funkcionirati kao lokacija gdje se formira teška pridnena voda. Artegiani i Salusti [63] smatraju da jezgra te vode formira žilu (uski tok) slijedeći izobate uz zapadnu obalu i dijeleći se u dvije grane: jedna se spušta u Jabučku kotlinu, a druga se prelijeva preko Palagruškog praga.

Srednjejadranska voda se formira u Jadranskoj kotlini u uvjetima smanjenog sjeverozapadnog strujanja, tj. smanjenog utjecaja slanije mediteranske vode.

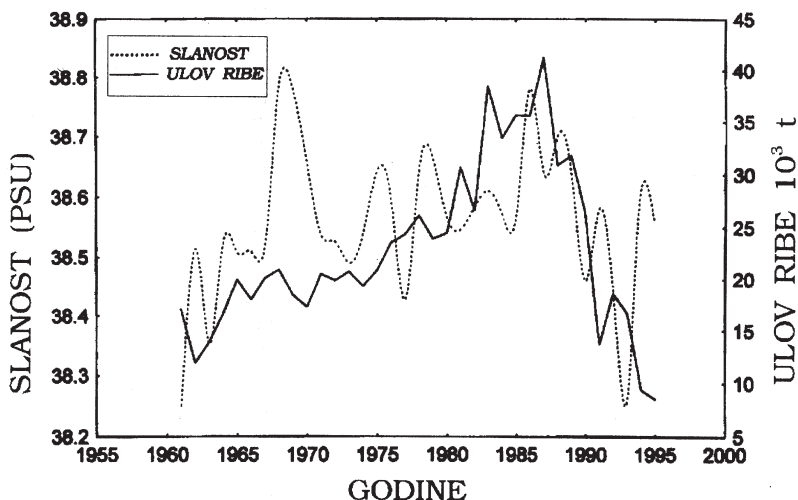


Sl. 14. Raspored vodenih masa ljeti (lijevo) i zimi (desno) u godinama većeg (gore) i manjeg (dolje) utjecaja istočnomediteranske vode [prema 68]



Južnojadranska voda se formira u južnojadranskoj kotlini u sličnim uvjetima. Zbog svoje visoke gustoće, ta se voda širi preko Otrantskog praga u pridnene slojeve istočnog Mediterana. Prema Ovchinnikovu i suradnicima [45] južnojadranska voda se formira u centru ciklonalnog vrtloga za vrijeme najvećeg hlađenja, Proces traje nekoliko dana i obuhvaća nekoliko desetaka nautičkih milja.

Osnovna je činjenica da hidrografska svojstva ovise o intenzitetu utjecaja četvrte vode, a to je istočno-mediteranska intermedijarna voda (A). Advekcija te vode putem Otrantskog praga se provodi prvenstveno u intermedijarnom sloju, koji zbog toga ima višu slanost, jer je glavna karakteristika istočno-mediteranske vode njezina visoka slanost (u izvornom području na Levantu i do 40 psu, a u Jadranu 38.7 psu). M. Buljan je još 1953. godine odredio dva aspekta Jadrana: ingresioni i normalan. Ingresioni aspekt je označavao pojačani utjecaj istočnomediteranske vode i povišenu slanost u cijelom bazenu. Raspored tipova vode u dva aspekta prikazan je na Sl. 14. Neki autori prikazuju strogo klimatski aspekt, pa se osrednjivanjem višegodišnjih podataka ne mogu jasno uočiti ovi razni aspekti, a i vodenim masama su pridane nešto drugačije karakteristike [51]. Međutim, ostaje činjenica, da su znatne višegodišnje promjene hidrografskih karakteristika osnovno obilježje Jadranskog mora. One nastaju zbog utjecaja meteoroloških čimbenika, a u prvom redu polja tlaka zraka nad Mediteranom i Atlantikom [49, 50, 52]. Promjene hidrografskih karakteristika odlučno utječu na živi svijet. Sl. 15 to jasno pokazuje, premda priroda veze između slanosti i sekundarne produkcije još nije sasvim jasna.



Sl. 15. Srednje godišnje vrijednosti slanosti u donjim slojevima postaje Stončica (9) kod otoka Visa i godišnji ulov pelagične ribe u Jadranu [prema 50]

## 10. UTJECAJ VJETRA NA STRUJANJE

Utjecaj vjetra na struje uočen je najprije u poluzatvorenim bazenima istočne obale [59, 60], kada su na tim lokacijama započeta sistematičnija mjerenja. Naime, ranije se je više mjerilo na otvorenom moru i to u pravilu po lijepom vremenu zbog nužnosti sidrenja broda. Tako dobiveni 24-satni nizovi mjerenja nisu ukazivali na utjecaj vjetra. Ekološke studije u obalnim bazenima zahtijevale su znatno duža mjerenja po svakom vremenu, što je bilo olakšano mjerenjima s plutača od sredine osamdesetih godina.

Vjetar uzrokuje tranzijentne struje, koje mogu biti i za red veličine većeg iznosa od ostalih komponenti strujnog polja [61]. Bura je vjetar koji vjerojatno najviše utječe na strujanje. Na sjevernom Jadranu (Sl. 12) i u pojedinim bazenima istočne obale (npr. Virsko more, Kaštelanski zaljev) pridonosi vrtložnosti strujnog polja, pa uzrokuje ili pojačava postojeće ciklonalne i anticiklonalne vrtloge, ovisno o konfiguraciji bazena.

## 11. OSCILACIJE U POLJU STRUJA

Na sjevernom Jadranu javljaju se u polju struja pod utjecajem vjetra također i oscilacije na inercijalnoj frekvenciji od 17 h [64, 65]. Očituju se kao rotacija strujnog vektora u smjeru kazaljke na satu. Pojavljuju se samo u toplom razdoblju, iako je zimi vjetar jači. Za pojavu tih oscilacija je, uz vjetar, presudna i vertikalna stratifikacija gustoće morske vode. Pogodna je tipično ljetna stratifikacija s lakšom vodom u površinskom sloju i izraženom piknoklinom. Brzina tog strujanja može premašiti ostale komponente [64, 65]. U strujnom polju se javljaju i oscilacije na dnevnim i poludnevnim plimnim frekvencijama.

U polju struja se javljaju još i dugoročne oscilacije u trajanju od nekoliko dana, koje su u uskoj vezi s promjenama u polju vjetra. Dosadašnja istraživanja su pokazala da takve oscilacije ljeti prevladavaju neposredno uz obalu [66] a zimi u znatno širem pojasu.

## 12. PLIMA I OSEKA

Plima i oseka su na Jadranu, a posebno u njegovom sjevernom dijelu, istaknutije nego u ostalom dijelu Mediterana. Morske mijene su mješanog tipa, a u osnovi se mogu opisati sa sedam harmonijskih konstanti. Amplituda dnevne komponente raste od južnog (srednja amplituda 11 cm) prema sjevernom (srednja amplituda 18 cm) Jadranu. Raspodjela harmonijskih konstanti poludnevne komponente ukazuje na postojanje amfidromije u sjevernom Jadranu. Direktna mjerenja struja u blizini amfidromijske točke su pokazala da se poludnevna komponenta može opisati kao stojni val.

Harmonijske konstante za razne jadranske luke je računalo niz autora i prognoze razine mora se danas redovito objavljuju.

Specifičnost Jadranskog bazena je da modovi njegovih slobodnih oscilacija imaju periode bliske periodima morskih mijena, pa dolazi do pojave rezonancije. Već su rani autori shvatili da zbog toga morske mijene Jadrana imaju veće amplitude od drugih sredozemnih bazena.

Srednje brzine plimnih struja iznose oko  $5 \text{ cm s}^{-1}$ . Strujanje izazvano morskim mijenama je na otvorenom moru polarizirano u smjeru prostiranja jadranskog bazena (NW - SE) te je u pravilu ciklonalno i nezavisno o dubini [67].

Većina autora smatra da su jadranske morske mijene inducirane putem Otranta odgovarajućim impulsima iz Jonskog mora, dok neki autori smatraju da je uzrok jadranskih morskih mijena direktno gravitacijsko djelovanje Mjeseca i Sunca [68].

### 13. SEŠI

Vjetar inducira slobodne oscilacije u cijelom bazenu Jadrana, kao i u njegovim brojnim zaljevima i kanalima. Najistaknutiji seši cijelog bazena imaju periode od oko 22 i 11-12 sati. Zbog tih vrijednosti, bliskih poludnevnom i dnevnim morskim mijenama, one se na njih superponiraju. U pojedinim bazenima se javljaju razni periodi, od nekoliko minuta do nekoliko sati. Seši s periodom od oko 6 i 8 sati mogu se shvatiti kao osnovni periodi jadranskog šelfa [69]. Srednje amplitude seša u sjevernom Jadranu imaju oko 20 cm, u srednjem 10 cm, a u južnom oko 5 cm.

### LITERATURA

- [1] G. Magrini, "Gli scopi e l'attività del R. Comitato talassografico Italiano", Memoria 21, R. Com. talass. ital. Venezia, 1916. 116 str.
- [2] M. Orlić, "Jedan opis jadranskih struja iz 17. stoljeća". Geofizika 10, Zagreb, 1993, str. 69-71.
- [3] D. Zavodnik, "400 years of the Adriatic marine science". Thalassia Jug. 19(1-4), 1983, str. 405-429
- [4] G. Marieni, "Portolano del Mare Adriatico compilato sotto la direzione dell'Istituto geografico militare", Milano, 1830.
- [5] Ž. Dadić, "The history of the theories of tide introduced by Yugoslav scientists until XVIIIth century". Bull. Inst. Oceanogr. Monaco, No special 2, Monaco, 1968, str. 49-54.
- [6] Ž. Dadić, "Tumačenja pojave plime i oseke mora u djelima autora s područja Hrvatske do kraja 18. stoljeća". Rasprave i građa za povijest nauka 2, 1965, str. 147-180.
- [7] A. Calegari, "Il mare nella natura". Biblioteca popolare di coltura Antonio Vallardi, 148, Milano, 1934, 152 str.
- [8] M. Kozličić, "Beautemp - Beauprč o Jadranu 1806. g." Pomorski zbornik 33, Rijeka, 1959. str.259-279.
- [9] M. Grakalić, "Hydrografska služba na našoj obali", Hydrografski godišnjak 1961, Split, 1962, str. 59-94.

- [10] B. Prikrič, "3000 godina pomorskih ratova", Drugi dio, Otokar Keršovani, Opatija, 1985, 362 str.
- [11] M. Orlić, "Razvoj fizičke oceanografije u Hrvatskoj i Josip Goldberg", Geofizika 2, Zagreb, 1985, 51 str.
- [12] R. v. Sterneck, "Das Fortschreiten der Flutwelle im Adriatischen Meere", Sber. Akad. Wiss. 117 (2a), Wien, 1908, str. 151 - 203.
- [12a] R. v. Sterneck, "Über "Seiches" an den Küsten der Adria". Akad. Wiss. 123 (2a) Wien, Dezember 1914, str. 1-34.
- [13] R. v. Sterneck, "Zur hydrodynamische Theorie der Adriagezeiten", Sber. Akad. Wiss. 124 (2a, 3, 4), Wien, 1915, str. 147 - 180.
- [14] A. Defant, "Zur Theorie der Gezeiten des Adriatischen Meeres", Ann. Hydr. Mar. Met. 42, Berlin, 1914, str. 270-281.
- [15] J. Lorenz, "Physikalische Verhältnisse und Organismenverteilung in Quarnero," Wien, 1863, 382 str.
- [16] U. D'Ancona, "La provincia del Carnaro", ed. G. Depoli, Fiume (Rijeka), 1928, str. 136-157.
- [17] Atti del Museo Civico di Storia Naturale, Trieste 194/P -96 str.
- [18] Wolf, J. Luksch, "Bericht an die Seebehörde in Fiume über die am Bord der Dampfyacht "Deli" während des Sommers 1876 durchgeführten physikalischen Untersuchungen im adriatischen Meere", III Bericht, Fiume, 1878 a, 41 str.
- [19] J. Wolf, J. Luksch, "Bericht an die Seebehörde in Fiume über die am Bord der Dampfyacht "Deli" und des Dampfbootes "Nautilus" in Zeiträume von 1875 - bis 1877 durchgeführten physikalischen Untersuchungen im adriatischen Meere", III Bericht, Fiume, 1878 b, 39 str.
- [20] J. Wolf, J. Luksch, "Physikalische Untersuchungen in adriatischen und sicilisch-jonischen Meere während des Sommers 1880 an bord des Dampfers "Hertha"". Beilage zu Mitteilungen aus dem Gebiete des Seewesens, 8 und 9, 1881, str. 1-79.
- [21] J. Wolf, J. Luksch, "Bericht an die Seebehörde in Fiume über die Vorexpedition "Nautilus" im Sommer 1874 zum Zwecke physikalischer Untersuchungen des adriatischen Meeres", I Bericht, Fiume, 1887, 55 str.
- [22] J. Wolf, J. Luksch, "Bericht an die Seebehörde in Fiume über die am Bord der Dampfyacht "Deli" und des Dampfbootes "Nautilus" während des Sommers 1875 durchgeführten physikalischen Untersuchungen in Nord becken der Adria", II. Bericht, Fiume, 1887, 29 str.
- [23] A. Gavazzi, "La temperatura della superficie del mare Adriatico", Rivista geografica Italiana 4/5-6, 1897, str. 1 -16.
- [24] M. Orlić, "Zagrebački prirodoslovci, a napose Josip Goldberg i istraživanje Jadrana". Geofizika 14, 1997, str. 83 - 117.
- [25] EXPÉDITION S. M. SCHIFF "POLA" in das Rothe Meer, Denkschriften der Kais. Academie der Wissenschaften, 65 Band, Wien, 1898, 571 str.
- [26] I. Hoić, "Prvo naučno putovanje sa "Margitom", jahtom nautičke škole u Bakru". Glasnik Hrvatskog naravnoslovnog društva 9, Zagreb, 1896, str. 151 - 260.
- [27] S. Brusina, "Faunistički prilozi sa putovanja jahte Margite po Jadranskom moru". Glasnik Hrvatskog naravnoslovnog društva 9, Zagreb, 1896, str. 261 - 297.
- [28] J. Stiller-Rüdiger, D. Zavodnik, "Hungarian Research in the Adriatic Sea", Proc. 4th Int. Congr. Hist. Oceanogr. Hamburg 1987, Dt. hydrogr. Z. Erg. H.B., 22, 1990, str. 230-231.
- [29] A. Merz, "Die meereskundliche Literatur über die Adria mit Besonderer Berücksichtigung der Jahre 1897 - 1909", Geografischer Jahresbericht aus Österreich, Wien, 1910, str. 33 -69.
- [30] NAJADE, 1911-1914, Berichte über die Terminfahrten, 1-12, Wien, 1912-1915.
- [31] CICLOPE, 1911-1914, Boll. Croc. period., 1,2,3, Venezia, 1912-1914.
- [32] E. Mazelle, "Flächenposten in der Adria zur Bestimmung der Oberflächenströmungen", Denkschr. akad. Wiss. Naturwiss. Klasse, 91, Wien, 1914, 46 str.
- [33] G. Feruglio, "Risultati di esperienze con galleggianti per lo studio delle correnti del Mare Adriatico negli anni 1910-1914", Memoria LV, Real. Com. Talass. Ital., 92, str.
- [34] M. Šenoa, A. Gavazzi, F. Šandor, L. Car, J. Hadži, V. Vouk, "Prvo i drugo krstarenje brodom Vila Velebita", Prirod. istraživanja - mat.-prirod. razred JAZU, 2, Zagreb, 1914, str. 1-36.

- [35] M. Šenoa, A. Gavazzi, F. Šandor, L. Car, J. Hadži, V. Vouk, "Treće i četvrto krstarenje brodom Vila Velebita", Prirod. istr. mat.-prir. razred JAZU, 5, Zagreb, 1914, str. 1-30.
- [36] B. Cvjetković "Oceanografija". Matica Dalmat. Dubrovnik, 1913, 309 str.
- [37] J. N. Nielsen, "Hydrography of the Mediterranean and adjacent waters", Rep. Danish oceanogr. Exped. Medit. 1908-1910. vol. 1, Copenhagen, 1912, str. 77-191.
- [38] M. Zore-Armanda, M. Alajbeg, "65 godina Instituta za oceanografiju i ribarstvo Split", Monografija, Split, 1995, 144 str.
- [39] J. Goldberg, K. Kempni, "O oscilacijama Bakarskog zaljeva i općem problemu zaljevskih seša", Prirod. istr. JAZU 21, Zagreb, 1938, str. 129-235.
- [40] MEDALPEX, The Mediterranean - Alpine Experiment, Annales Geophysicae 5(1), 1987, 115 pp.
- [41] M. Buljan, M. Zore-Armanda, "Oceanographical properties of the Adriatic Sea", Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev., 14, 1976, str. 11-98.
- [42] A. Faganelli, Boll. Soc. Adriat. Sci. Nat. Trieste 50, Trieste, 1959.
- [43] M. Picotti, "Crociera talassografica adriatica 1955. III Tabele delle osservazioni fisiche, chimiche, biologiche e psammografiche," Archo Oceanogr. Limnol. 11(3) Trieste, 1960, str. 371-377.
- [44] F. Mosetti, A. Lavenia, "Ricerche oceanografice in Adriatico nel periodo 1966 -1968". Boll. Geof. Teor. Appl. 11(43), Trieste, 1969. str. 1-28.
- [45] I.M. Ovchinnikov, E.A. Plakhin, L.V. Moskalenko, K.V. Neglyad, A.S. Osadchiy, A.F. Fedoseyev, V.G. Krivosheya, K.V. Voytova, "Gidrologija Sredozemnoga morja", Gidrometeoizdat, Leningrad, 1967, 375 str.
- [46] A. Mancuso, S. Scoto di Santillo, "Notizie tecniche sulle navi oceanografiche e sui mezzi navali minori del C.N.R.". Consiglio nazionale delle ricerche, Armamento navi oceanografiche, Roma, 1982, 59 str.
- [47] M. Buljan, "Fluctuations of salinity in the Adriatic". Izvješća-Reports, Rib. Biol. Eksp" Hvar" 1948-1949, 2 (2), 1953, 63 str.
- [48] M. Zore-Armanda, "The System of Currents in the Adriatic Sea". Stud. Rev. gen Fish. Coun. Médit., 34, 1968, 48 str.
- [49] M. Zore-Armanda, "Raspored tlaka zraka i cirkulacija vode u istočnom Mediteranu". Hidrografski godišnjak 1967, 1968, str. 67-78.
- [50] B. Grbec, "Influence of climatic changes on oceanographic properties of the Adriatic Sea", Acta Adriat. 38 (2), 1999, str. 39-54.
- [51] A. Artegiani, D. Bregant, E. Paschini, N. Pinardi, F. Raichich, A. Russo, "The Adriatic Sea General Circulation. Part I: Air-Sea Interactions and Water Mass Structure", Journal of Physical Oceanography 27(8), 1997, str. 1492-1514.
- [52] M. Zore-Armanda, B. Grbec, M. Morović, "Oceanographic properties of the Adriatic Sea - A point of view", Acta Adriat. 40 (Suppl.) 1999, str. 39-54.
- [53] M. Zore-Armanda, M. Bone, "The effect of bottom topography on the current system of the open Adriatic Sea", Boll. di Oceanologia Teorica ed Applicata 5(1), 1987, str. 3-18.
- [54] M. Zore Armanda, M. Gačić, "Effects of bura on the circulation in the North Adriatic", Annales Geophysicae 5B(1), 1987, str. 93-102.
- [55] A. Artegiani, D. Bregant, E. Paschini, N. Pinardi, F. Raichich, A. Russo, "The Adriatic Sea General Circulation. Part II: Baroclinic Circulation Structure", Journal of Physical Oceanography 27(8), 1997, str. 1515-1532.
- [56] N. Limić, M. Orlić, "Objective analysis of geostrophic currents in the Adriatic Sea", Geofizika 3, 1986, str. 75-84.
- [57] P.M. Poulain, "Drifter observations of surface circulation in the Adriatic Sea between December 1994 and March 1996", Journal of Marine Systems, 20, 1999, str. 231-253.
- [58] M.C. Hendershott, P. Rizzoli, "The winter circulation of the Adriatic Sea", Deep-Sea Res. 1976, str. 353-370.
- [59] M. Gačić, M. Orlić, V. Dadić, M. Karabeg, "Temporal variations of current field in Rijeka Bay", Vies Journées d' études sur la pollutions marines en Méditerranée, Cannes, 1982, str. 165-171.

- [60] M. Zore-Armanda, V. Dadić, "Some dynamical properties of the chanel Virsko more (eastern Adriatic coast)", *Acta Adriat.* 25, 1984, str. 139-159.
- [61] M. Orlić, M. Kuzmić, Z. Pasarić, "Response of the Adriatic Sea to the bora and sirocco forcing", *Continent. Shelf Res.* 14, 1994, str. 91-116.
- [62] M. Zore-Armanda, "Les masses d'eau de la mer Adriatique", *Acta Adriat.* 10(3), 1963, 94 str.
- [63] A. Artegiani, E. Salusti, "Field observation of the flow of dense water of the Adriatic Sea during the winter of 1981", *Oceanologica Acta*, 10(4), str. 387-391.
- [64] M. Gačić, Z. Vučak, "Note on inertial oscillations in the North Adriatic", *Notes, Institute of Oceanography and Fisheries*, 46, 1982, 7 str.
- [65] M. Orlić, "Oscillations of the inertia period on the Adriatic Sea shelf", *Continent. Shelf Res.* 7, 1987, str. 577-589.
- [66] M. Gačić, "Some characteristics of the response of the Adriatic Sea coastal region to the atmospheric forcing", *Acta Adriat.* 21(2), 1983, str. 239-254.
- [67] M. Zore-Armanda, M. Bone, V. Dadić, Z. Vučak, "Neka nova saznanja o strujanju u sjevernom Jadranu", *Pomorski zbornik* 33, 1995, str. 305-328.
- [68] P. Franco, L. Jeftić, P. Malanotte-Rizzoli, A. Michelato, M. Orlić, "Descriptive model of the Northern Adriatic", *Oceanol. Acta* 5(3), 1982, str. 379-389.
- [69] M. Bone, N. Leder, "Seiche of eight and six hour periods in the Adriatic Sea", *Rapp. Comm. int. Mer Medit.* 33, 1992, str.330.
- [70] M. Zore-Armanda, M. Bone, V. Dadić, M. Morović, D. Ratković, L. Stojanoski, I. Vukadin, "Hydrographic properties of the Adriatic Sea in the period from 1971 through 1963," *Acta Adriat.*, 31 (1), 1991, 547 str.
- [71] M. Zore-Armanda, V. Dadić, M. Gačić, M. Morović, T. Vučićić, *MEDALPEX in the North Adriatic, Preliminary report, Bilješke - Notes, Inst. Oceanogr. Rib.* 50, 1983, 8 str."

Mira Zore-Armanda

## DEVELOPMENT OF PHYSICAL OCEANOGRAPHY OF THE ADRIATIC SEA

### SUMMARY

This historical review embraces about hundred years of research: from the eighteen-eighties to the nineteen-eighties. In the period until the First World War, the oceanographic research was engaged in different aspects based on the large expeditional work. In between two world wars the research has been focused on some parts of the coastal region: the north Adriatic and central Dalmatia. Since fifties the whole Adriatic again was the primary subject of interest together with the corresponding expeditional work. Seasonal and year-to-year variations of the basic characteristics have been understood and water masses defined. The main interest was to develop such phenomenological models which may be of help to solve some of the biological and fishery problems. Different dynamical problems as well as their causes have been examined. Since the time that showed increasing interest to the pollution for the coastal region, coastal oceanography again is in the center of the research programs. Number of international programs help to collect large number of data followed by better understanding of coastal hidrography and dynamics.



