

UDK 551.464 (262.3)

Priljeno (Received): 19. 10. 1992.

Prihvaćeno (Accepted): 10. 12. 1992.

Izvorni znanstveni članak

Original Scientific Paper

TERMOHALINSKI ODNOSI U SJEVERNOM JADRANU

ZLATKO BIČANIĆ

Analizirana su termohalinska svojstva u sjevernom Jadranu glede utjecajnih činitelja. Posebno klimatskih, hidroloških i maritimnih. Naročita pozornost posvećena je uzročno posljedičnim odnosima. Predstavljena su termohalinska stanja registrirana u četiri sezonska krstarenja u razdoblju 1974-76., analiza i sinteza Klimatoloških podataka temperature, slanosti i gustoće u sjevernom Jadranu (1909 do 1989.) i njihov višegodišnji hod u mikropodručjima Piran, Rovinj i istočni dio Tršćanskog zaljeva.

Thermohaline properties in the Northern Adriatic

Different influences on the thermohalinic properties of the Northern Adriatic were analysed. Special attention were payed on climate, hydrological and marine properties. Interconnection between different influences were discussed. Represented thermohalinic properties were registrated during four seasonally cruises from 1974 do 1976., climatological series of temperature, salinity and density of the Northern Adriatic (1909-1989.) were investigated and especially time series data from micro areas of Piran, Rovinj and Eastern Trieste gulf.

Uvod

Namjena ovog rada prezentacija je proširenog sažetka doktorske disertacije »Nova saznanja o termohalinskim svojstvima sjevernog Jadrana (Novi pristup analizi u funkciji fizičko geografskih obilježja)«. U cilju predstavljanja nekih novih saznanja o termohalinskim svojstvima mora u sjevernom Jadranu. Na ovu je temu do sada objavljeno puno radova. Obraduju mikropodručja, a uzorke nedostat-

no objašnjavaju. Sugeriraju da se u posljednjih 100 godina vrijednosti termohalinskih parametara nisu znatnije mijenjale. Analizom podataka prikupljenih u četiri sezonska krstarenja, tzv. »MOHO«-program s i/b »Andrija Mohorovičić«, napravljen je stanoviti presjek i usporedba tih sinoptičkih s klimatološkim podacima.

U istraživačkim krstarenjima, čiji se rezultati predstavljaju u ovom ra-

du, neprekidno su praćena hidrometeorološka stanja i registrirani podaci. Novi pristup u istraživanjima predstavlja i usporedno mjerenje morskih struja, posebno s usidrenog broda. Neprekidno su mjereni smjer i brzina struje u petominutnim intervalima/24 sata. Na taj način dobijen je globalni uvid u vladajući strujni sustav. Površinske struje određivane su drift karticama.

Osim analize podataka iz »MOHO«-programa (1974 do 1976.) u radu je napravljena statistička analiza klimatoloških podataka vrijednosti termohalinskih parametara za razdoblje od 1909 do 1990. Također i analiza/sinteza termohalinskih svojstava morske vode u mikropodručjima Piran i Rovinj na temelju podataka iz višegodišnjih nizova. Iz 40-togodišnjeg niza podataka o površinskim temperaturama morske vode u Trstu, obrađen je tarmalni hod u korelaciji sa sunčevom radijacijom, temperaturom zraka i vjetrom.

U analizama korišteno je oko 28000 podataka. Ovakav pristup omogućio je korektan uvid u:

- česte pojave pozitivne termokline,
- pojave enklava, rezultat obilježja strujnog režima,
- razdoblja intenzivnog utjecaja južnojadranske vode,
- pojave diskontinuiranih hidroloških zona,
- česte ekstremne vrijednosti parametara,
- uvid u prostornu i vremensku komponentu raslojenosti,
- termoklina stanja,

- anomalije u rasporedu parametara glede geografskog utjecaja,
- vrijednosti težinskih srednjaka za tumačenje nekih pojava,
- utjecaj hidrometeoroloških elemenata,
- ulogu generatora i korektora u formiranju termohalinskih struktura i drugo.

U radu je razmatrano područje otvorenog dijela sjevernog Jadrana (sl. 1). Na temelju različitih interesnih kriterija autori provode različita razgraničenja. Glede fizičko kemijskih i klimatskih karakteristika, za obradu podataka u naslovu najprihvatljivija je međa sa srednjim Jadranom: luka Ancona - otok Premuda.

Sjeverni Jadran najplići je dio u bazenu. Samo u jugozapadnom dijelu prodire izobata 70 m. Najveća izmjerena dubina je 75 m. Na kontinent-skom je šelfu. Dno je poglavito zaravnjena površina sekundarnog nanosa. Blago je nagnuto prema jugu. Dubine uz obalu odgovaraju orografskom obliku kopna. Česti reljefni oblici na obalama su rijasi. U njihovom podmorskom produžetku potopljeni su dijelovi korita starih ušća.

Jedan od najznačajnijih činitelja na raspored temperature i slanosti je dinamika morske vode. Uvjetuje premještanje vodenih masa. Temeljni su im pokretači morske struje, morske dobi i valovi. U skladu s međunarodnom podjelom, za Jadran su najznačajnije geostrofičke (termohalinska gibanja), drift (vjetar) i struje morskih dobi.

U sjevernom Jadranu srednje mjesečne vrijednosti brzina struja kreću se od 0.05 do 0.23 ms^{-1} u površinskom sloju. U intermedijarnom su 0.05 do 0.19 , a u pridnenom oko 0.03 do 0.11 ms^{-1} . Rezultantne brzine veće su na postajama na kojima je smjer stabilniji. Male su, pa je njihov obol u transportu vodenih masa umanjem. U uvjetima kada se superponiraju utjecaji različitih činitelja nastaju vrlo jaka strujanja. Površinske brzine su do 0.70 ms^{-1} . U intermedijarnom sloju 0.56 ms^{-1} , a u pridnenom 0.63 ms^{-1} (Vučak, 1985.) Uz istarsku obalu najveće brzine su od 0.29 do 0.77 ms^{-1} . Prevladavaju SE i NW smjerovi, paralelni s obalom. Idući prema sjeveru brzine se povećavaju (Vučak, 1985.).

Slijedeći utjecajni čimbenik na termohalinska svojstva je hidrološki element. U užoj oblasti ušća utjecaj riječne vode na morsku je povratan proces. Prostorni utjecaj ovisi o strujnom režimu. Riječna voda lakša je od morske. U dodiru s njom zauzima gornji položaj. Dodirna ploha je sloj diskontinuiteta s velikim termalnim i halinskim gradijentima.

Slatku vodu transportiraju samo površinske struje. Izuzetak su slučajevi kad joj je temperatura izuzetno niska, pa tone prema dnu. Također i u procesu formiranja intermedijarne i pridnene vode.

Znatnije količine slatke vode u sjeverni Jadran unosi rijeka Po. Prosječan godišnji dotok je 49.6 km^3 . Od drugih rijeka još Adige i Brenta. Na istočnoj obali najveći vodni potencijal ima Soča, $7.7 \text{ km}^3/\text{god}$. (Nožina, 1973.). Ukupan slatkovodni dotok u

sjeverni Jadran je oko 90.65 km^3 (Vučak, 1985.).

Posljednja tri najznačajnija činitelja u formiranju vrijednosti parametara temperature i slanosti je klimatski. Sjeverni Jadran je dio Mediterana, pa je klima uvjetovana tom činjenicom. Međutim, istovremeno je izravno podložan kontinentskim klimatskim utjecajima. Smješten je na granici subtropskog (mediteranskog) i umjerenog (europskog) klimatskog pojasa. Utjecaji se miješaju.

Od klimatskih elemenata u termohalinskim analizama posebna pozornost posvećuje se vjetrovima, temperaturi zraka, isparavanju i oborini.

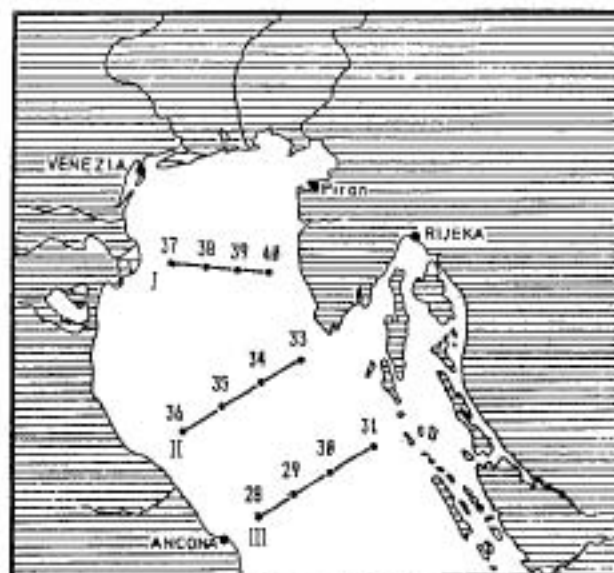
Na termalna stanja mora najveći utjecaj ima vjetar. U istraživanom području najučestaliji vjetrovi su iz sjevernih kvadranta. Ohlađuju morsku površinu i termohalinski destabiliziraju vodeni stupac. Pospješuju ciklonski smjer u najsjevernijem dijelu bazena, ulazno NW i izlazno SE strujanje. U tom području, zbog malih dubina, vjetar djeluje na cijeli vodeni stupac.

Mjerenja i podaci

Neposredna mjerenja i uzrokovana morske vode obavljena su u četiri sezonska krstarenja (»MOHO«-program) s i/b »A. Mohorovičić«. Imala su multidisciplinarna interinstitutska obilježja.

1. Krstarenje 25.9. do 28.9.1974.,
2. Krstarenje 21.4. do 24.4.1975.,
3. Krstarenje 25.2. do 26.2.1976. i
4. Krstarenje 8.7. od 10.7.1976.

Drugim krstarenjem nije obuhvaćeno područje sjevernog Jadrana. Mjerenja na presjecima (I, II, III), odnosno na pojedinim postajama obavljena su kako je to prikazano na slici 1.



Sl. 1. Raspored presjeka i postaja
Fig. 1. Disposition of the profiles and stations

Presjeci su smješteni:

- I rt Maestra - Rovinj
(postaja 37, 38, 39 i 40),
- II rt Pesaro - rt Kamenjak
(postaje 36, 35, 34 i 33),
- III rt Ancona - o. Premuda
(postaje 28, 29, 30 i 31).

Mjerenja su obavljena po jedan put na svakoj postaji u tijeku pojedinog krstarenja, na standardnih oceanografskim i izabranim dubinama. Napravljeno je ukupno 48 i priključeno oko 300 podataka za svaki parametar.

Temperatura morske vode mjerena je prekretnim termometrima. Monti-

rani su na Nansenovim i Niskinovim prekretnim crpicima. Temperatura je još mjerena batitermografom.

Slanost je određivana induktivnim salinometrom Bissett- Borman, metodom električne provodljivosti.

Struje su mjerene s usidrenog broda i usidrenim autonomnim strujomjernim stanicama.

Meteorološka služba obavljala je neprekidna mjerenja i motrenja meteoroloških parametara u sinoptičkim terminima. Mjereni su podaci o vjetru, stanju mora i valovima, temperaturi zraka, naponu vodene pare, relativnoj vlazi, vrsti i količini naoblake, oborini i drugim (Vučak, 1974.).

Završna računarska obrada rezultirala je podacima o dubini, vrijednostima temperature, slanosti, gustoće morske vode, mijenjanju gustoće u ovisnosti o temperaturi, slanosti i gustoći »in situ«, promjeni gustoće u funkciji temperature i slanosti, statičkoj stabilnosti gradijentu gustoće »in situ«.

Parametri temperature, slanosti i gustoće razmatraju se odvojeno. Na način da se naprave analize rasporeda vrijednosti na horizontalnim presjecima i pri dnu, vertikalnih rasporeda na postajama i na vertikalnim presjecima (profilima). Stečene zaključke upotpunjuju T-S analize.

Dalje, obavljena je analiza i sinteza vrijednosti temperature, slanosti i gustoće iz ukupnog fonda podataka s kojima raspolaže banka podataka Državnog hidrografskog instituta u Splitu.

Zbog kvalitetnije prezentacije termohalinskih stanja u pojedinim dije-

lovima sjevernog Jadrana analiziran je višegodišnji hod temperature, slanosti i gustoće u dva mikropodručja. Za područje Piran obuhvaćeno je vremensko razdoblje od 1973 do 1989. Za Rovinj od 1968 do 1987. Vrijedne rezultate dala je usporedba termohalinskih odnosa u ta dva područja.

Takav pristup uvjetovao je interes za još jedno područje – istočni dio Tršćanskog zaljeva. Analiza višegodišnjeg hoda površinske temperature mora obavljena je na temelju podataka iz 40-togodišnjeg niza (1950 do 1989.).

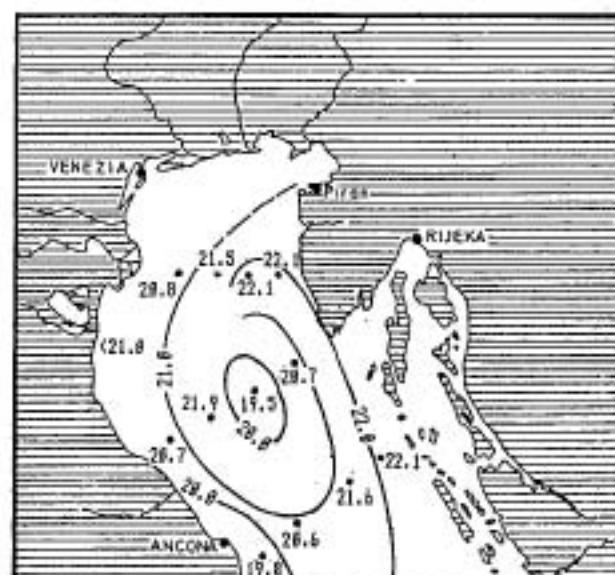
Temperatura

Na termalnu strukturu morske vode prevladavajući utjecaj imaju klimatski čimbenici. Tipično stanje, kad na površinski raspored parametra temperature izravno utječe strujno

polje, registrirano je u rujnu, 1974. (sl. 2). pod utjecajem sjeveroistočnog i sjeverozapadnog vjetera formira se ciklonsko površinsko strujanje. Temperatura opada od periferije prema središtu. Površinsko strujanje mijenja se iz tipično ljetnog, longitudinalnog u tipično jesensko, transverzalno. Uz istočnu obalu još su vidljivi zaostali elementi uzdužnog ljetnog površinskog strujanja.

Veza sjevernog sa srednjim dijelom jadranskog bazena naročito se uočava na primjeru analize jesenskih termalnih vrijednosti u intermedijarnom sloju (sl. 3). I ovdje je strujni sustav uvjetovao raspored izoterma.

Mjerenje morskih struja u ovom jesenskom krstarenju (rujna, 1974.) ustanovljen je ciklonski smjer u cijelom vodenom stupcu. To je uvjetovano generalnim strujanjem u bazenu.



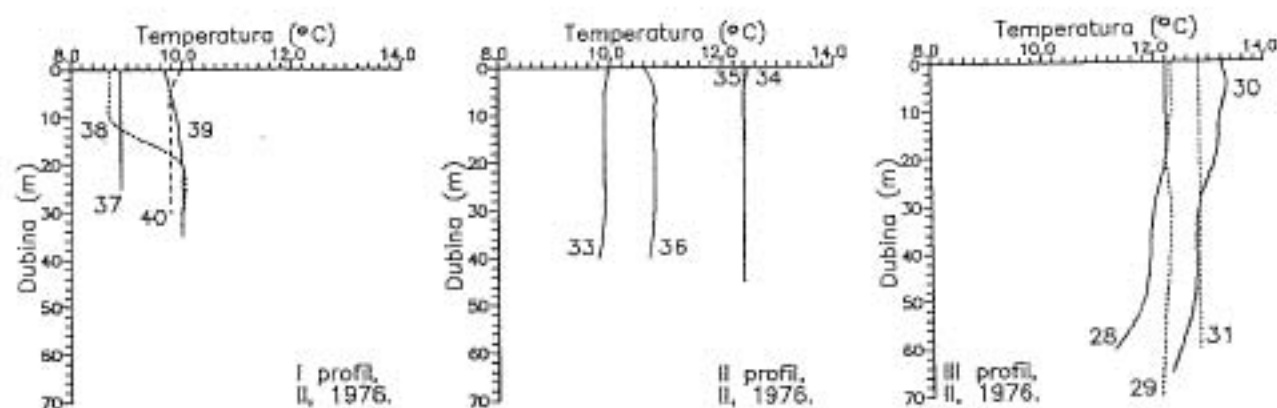
--- Pridobna vrijednost

Sl. 2. Površinski raspored temperature u jesenskom krstarenju

Fig. 2. Surface layer temperature distribution during autumn

Sl. 3. Raspored temperature na dubini 30 m u jesenskom krstarenju

Fig. 3. Distribution of temperature in autumn (30 meters)



Sl. 4. Vertikalni raspored temperature u zimskom krstarenju

Fig. 4. Vertical distribution of the temperature in winter

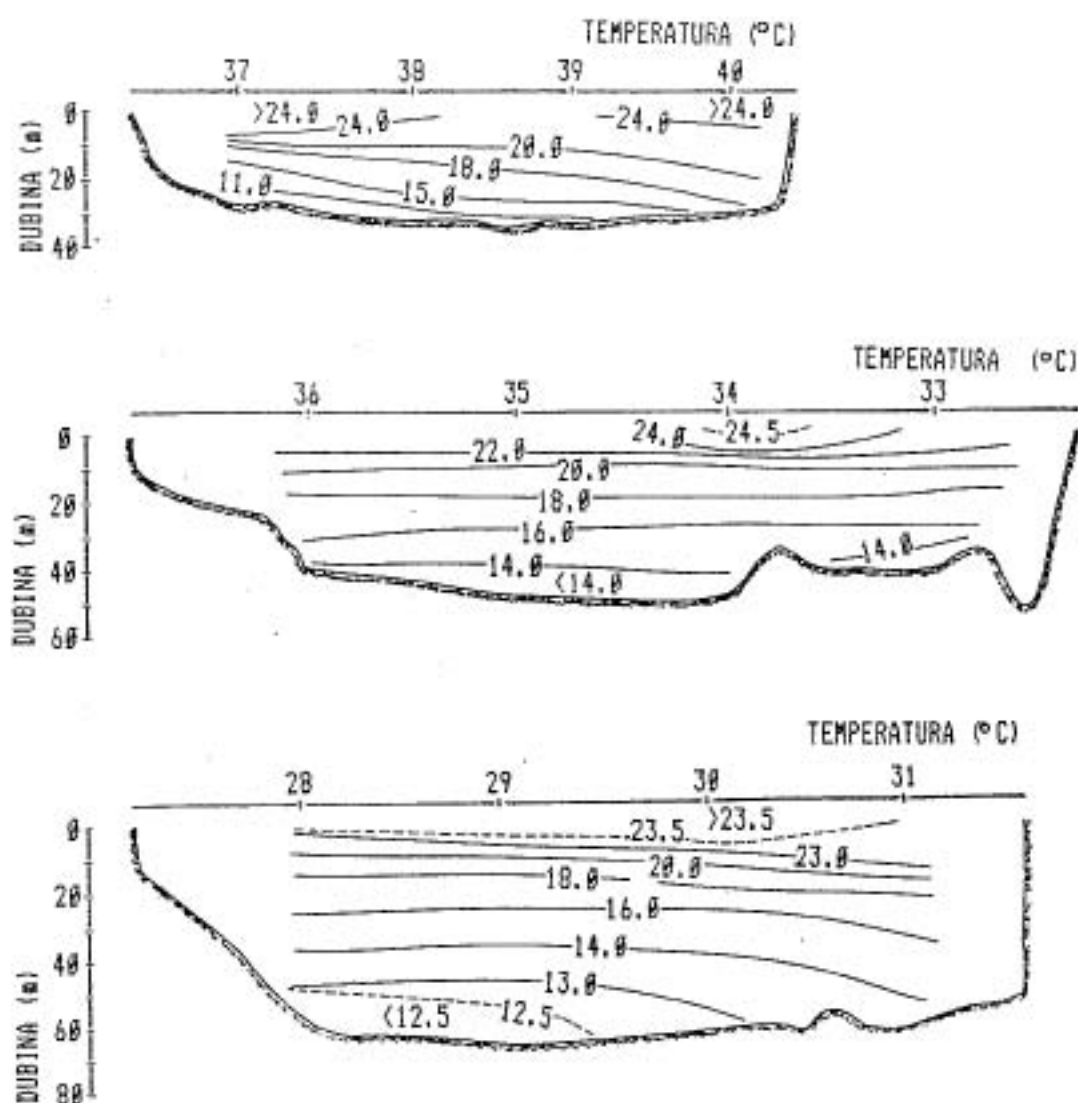
U proljeće, travnja, 1975., vjetar je imao neznatnu jačinu, pa je dotok slatkih voda došao do punog izražaja. Slatkovodni dotok iz Poa djeluje na širokom prostoru, sve do istočne obale. Površinsko strujanje je transverzalno i ima istočni smjer koji se grana u ciklonski i anticiklonski vrtlog. Tako je zaslađena voda prisutna u površinskom sloju sjeveroistočnog dijela sjevernog Jadrana.

Zimi u vodenom stupcu prevladava izotermalno stanje. Izraženije je na dva južnija presjeka. Na sjevernom presjeku (sl. 4.) izotermija je uz istočnu obalu stabilna. Uz zapadnu, nastoji 38 postojeći termohalinski premećaj uvjetovan dinamičkim parametrom. Formirana je pozitivna termoklina. Ovaj fenomen javlja se u područjima izloženim slatkovodnim utjecajima. Obilježava ga vertikalna termalna inverzija, a na otvorenom dijelu srednjeg i južnog Jadrana rijetko se uočava. Registrira se u godinama obilnog slatkovodnog dotoka iz sjevernojadrijskih rijeka, u skoro cijelom priobalnom području.

Za ljeto, 1976. na vertikalnim presjecima karakteristične su paralelne i horizontalno položene izoterme (sl. 5). U ovoj sezoni posebno se miješaju klimatski i dinamički utjecaji, te djelovanje geomorfoloških čimbenika (male dubine). Površinska temperatura na dva sjevernija presjeka viša je glede južnog. To dokazuje kontinentski utjecaj na plići, sjeverniji i maritimni na dublji, južniji dio sjevernog Jadrana.

Slanost

Za razliku od termalnog parametra na formiranje halinskih vrijednosti u sjevernom Jadranu prevladavajući utjecaj imaju dinamički i hidrološki čimbenici. U načelu, slanost se povećava od površine prema dnu. Česti poremećaji u rasporedu uvjetovani su adekvatnim prodorima vodenih masa drugačijih termohalinskih obilježja. Indiferentna stanja traju kratko, jer konvekcije uspostavljaju ravnotežu, statičku stabilnost u vodenom stupcu. Zbog najčešće ciklonskog obilježja strujnog polja, u središtu po-



Sl. 5. Raspored temperature na vertikalnim presjecima u sjevernom Jadranu u ljetnom krstarenju (prema Vučak et al., 1982.)

Fig. 5. Distribution of the temperature in the North Adriatic in summer (toward Vučak et al., 1982.)

dručja stvaraju se enklave više ili manje slane vode.

Jesenske površinske halinske vrijednosti relativno su visoke, od 37,9 do 38,8‰. Ovako visoka vrijednost indicira prisustvo čak južnojadranske vode. Pridnene vrijednosti visoke su također, preko 38,0‰. Takav halinski raspored uvjetuje nadomjesno (kom-

penzirajuće) strujanje i/ili ciklonsko u cijelom vodenom stupcu. Ovaj fenomen nagovješćuje postojanje početnih uvjeta za formiranje teške jadranske vode.

Proljetne površine halinske vrijednosti kreću se u velikom opsegu, od 23,6 do 38,0‰. To je početak generiranja vodene mase najniže slanosti.

Izohalina 38,0‰ hidrološka je zona diskontinuiteta, fronta (sl. 6). U pridnom sloju zadržala se slanija zimska voda (38,3 do 38,4‰). Tu su dinamički procesi manje intenzivni, pa je i hidrološki diskontinuitet manje izražen.



Sl. 6. Površinski raspored slanosti u proljetnom krstarenju

Fig. 6. Distribution of the salinity at surface in spring

Zimska površinska slanost ekstremno je visoka, do 38,7‰. Po mnogim autorima to je vrijednost srednje slanosti u južnom Jadranu. Ta je voda zimskim longitudinalnim strujanjem dospjela u sjeverni dio bazena. Razlog je u intenzivnijem jesenskom strujanju kroz Otrantska vrata.

Ljetni halinski raspored (srpanj, 1976.) pokazuje netipično stanje. Slanost je veća od uobičajene. Uzrok su neuobičajeni meteorološki uvjeti koji su vladali u vrijeme krstarenja. Česte nevere, a hladna zračna masa sa sjevera proširila se iza hladne fronte. Re-

gistrirani su jaki udari vjetra, pa je nastupilo miješanje u, inače stabilnom, vodenom stupcu. Inače, tipično ljetno stanje bilježi znatno niže površinske halinske vrijednosti.

U jesen je uočen fenomen halinske horizontalne inverzije. Uz istočnu sjevernojadransku obalu voda je bila manje slana glede vode uz zapadnu. Takova horizontalna inverzna stanja nastala su premještanjem vodenih masa, uvjetovana strujama iz sjevernijih područja.

Analiza vertikalnog rasporeda parametara temperature i slanosti pokazuje faze u stratifikaciji vodenog stupca i njegovo homogeniziranje. Raslojavanje teče od sjevera prema jugu, a homogeniziranje u obratnom smjeru. Stratifikacija se vremenski odvija od zapadne prema istočnoj obali. Ova pojava pokazuje da je južni dio sjevernog Jadrana više maritimnog obilježja glede najsjevernijeg dijela.

Općenito, horizontalni gradijenti vrijednosti termohalinskih parametara usmjereni su od istočne prema zapadnoj obali, ali se to ne može smatrati pavilom. Ranije je spomenuto horizontalno halinsko inverzno stanje, ili površinska enklava slanije vode u središtu područja.

T-S analiza

Unatoč stanovitim rezultatima, T-S analiza nije se pokazala pouzdanim načinom u istraživanju termohalinskih odnosa u plitkom sjevernom Jadranu. Ta činjenica bila je poznata i ranije, ali pokušaj je ipak napravljen. Uspješno se određuje stratifikacija, ali je teško razgraničiti slojeve. Ipak, regi-

P	T e m p e r a t u r a							
	Površina		Dno		Tež. sred.		Apsolutni	
	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.
29	23.38 VIII	11.80 II	15.86 XI	12.30 II	19.32 VIII	11.82 III	24.58 VIII	9.91 II
30	23.65 VIII	10.56 II	14.80 XII	10.57 II	19.72 VIII	10.55 II	25.70 VIII	8.95 II
31	23.30 VIII	11.94 III	15.38 IX	11.43 III	18.06 IX	11.72 III	25.82 VIII	11.79 II
34	23.68 VIII	10.18 II	15.57 X	10.51 II	20.73 VIII	10.17 II	25.52 VIII	11.20 II
35	25.82 VIII	10.47 II	17.55 IX	10.12 II	20.40 VIII	10.14 II	25.96 VIII	8.88 II
37	23.22 VIII	8.09 II	15.29 IX	8.67 III	20.26 VIII	8.57 III	26.00 VIII	6.30 II
38,39	23.78 VIII	8.41 II	16.88 X	8.91 II	19.96 VIII	8.73 II	26.33 VIII	0.77 II

Tab. 1. – Srednje površinske, pridnene, težinski srednjaci i ekstremne vrijednosti temperature ($^{\circ}\text{C}$), slanosti (‰) i gustoće morske vode u sjevernom Jadranu za razdoblje od 1911 do 1989. (banka podataka Državnog Hidrografskog instituta)

Tab.1. – Mean surface, near depth and extreme values of temperature, salinity and density in the North Adriatic from 1911 to 1989 (Hydrographic institute of the republic of Croatia, data base)

P	S l a n o s t								G u s t o ć a							
	Površina		Dno		Tež. sred.		Apsolutni		Površina		Dno		Tež. sred.		Apsolutni	
	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.
29	38.48 III	37.53 XI	38.96 VI	37.03 XI	38.49 III	38.69 IX	38.96 VII	35.30 V	29.32 III	25.83 VIII	29.51 III	28.29 XI	29.43 III	27.81 IX	29.43 III	27.79 XI
30	38.47 I	36.12 VIII	38.49 VIII	38.02 XII	38.43 I	36.62 XII	39.22 VI	35.58 VII	29.28 II	24.56 VIII	29.41 III	28.36 XII	29.35 II	27.68 VIII	29.79 VI	28.93 XI
31	38.46 XI	37.30 VIII	38.65 X	38.10 XII	38.53 X	38.11 VIII	38.80 X	36.20 VII	29.20 III	25.66 VIII	29.46 III	28.29 XI	29.36 III	27.64 IX	29.60 III	24.01 VIII
34	38.27 IV	36.62 VIII	38.57 III, X	38.21 VIII	38.25 I, IV	37.34 VIII	38.78 III	35.28 IX	29.25 II	24.98 VIII	29.52 III	28.51 IX	29.43 III	26.76 VIII	29.70 II, XII	23.60 VIII
35	38.44 I	34.93 VIII	38.60 X	37.77 VIII	38.44 I	36.68 VIII	38.53 I	34.18 VIII	29.26 II	23.05 VIII	29.35 II	27.65 IX	29.28 II	26.85 IX	29.45 II	22.51 VIII
37	37.73 I	31.48 VI	38.11 VI	36.02 IV	37.79 I	36.73 XI (VII)	38.87 VIII	17.05 XI	29.12 I	21.63 VI	29.38 II	27.79 X	29.15 I	26.27 VIII	29.76 III	28.03 XI
38,39	37.55 I	34.83 IX	38.11 IV	36.38 II	37.63 I	36.51 IX	38.77 V	21.03 II	28.98 I	23.80 VIII	29.49 III	27.64 XI	29.21 III	26.33 VIII	30.12 II	28.19 XI

strirane su T-S- σ_t anomalije, faze u raslojavanju vodenog stupca, nastupi izotermalnih stanja, dinamički utjecaji iz južnog dijela bazena, hidrološki i klimatsko-kontinetski utjecaji, advektivna premještanja vodenih masa i drugo.

Analiza i sinteza postojećih podataka (Odnosi se na razdoblje od 1911 do 1990.)

Najniže površinske temperature u području sjevernog Jadrana su u veljači, osim u jugoistočnom dijelu. Tu je minimum u ožujku. Razlog je u

zimskoj površinskoj advekciji i vremenski dužem trajanju transporta toplije vode iz srednjeg Jadrana. Minimalna srednja vrijednost u rajonu je ušća Poa, oko $8,09^{\circ}\text{C}$. Srednje maksimalne površinske vrijednosti reodvito su u kolovozu (tablica 1, banka podataka DHI). Istovremeno javljaju se srednje maksimalne vrijednosti u stupcu, a u veljači ili ožujku minimumi. Ovisno o klimatskim čimbenicima u pojedinim godinama.

Termalni apsolutni maksimumi su u kolovozu, a minimumi u veljači.

Najniža izmjerena temperatura je u veljači, a 1965., 6,3°C na postaji 37 (sl. 1). Najviša na istoj postaji, 26,48°C u lipnju 1967. U području te postaje najviše do izražaja dolazi zimski klimatsko-kontinentski utjecaj i ljetno zagrijavanje manje slane vode u plitkom moru.

Slanost se povećava od sjevera prema jugu. Najviše površinske vrijednosti su zimi, a najniže u kolovozu. Pridnene su vrijednosti uvjetovane brojnim fizičko geografskim utjecajima. Vremena javljanja najviših i najnižih za sada se ne mogu podvrći nikakvoj zakonitosti.

Halinski težinski srednjaci najviši su zimi, a najniži krajem ljeta, na kraju sušnih razdoblja. Najviši ekstremi su od 38,53 do 38,96‰, a najniži od 33,43 do 38,38‰ (tab. 1).

Potpovršinski minimum slanosti i duboka jadranska voda

Fenomenom potpovršinskog minimuma slanosti i podrijetlom duboke jadranske vode bavilo se više autora.

Proces formiranja duboke jadranske vode, radi povoljnih meteoroloških i geomorfoloških uvjeta, najintenzivniji je u sjevernom dijelu bazena. Nakon energičnog miješanja površinska voda tone i rasprostire se u pridnom sloju. Ohlađena, manje slana površinska voda tone do dubine neposredno ispod termokline. Dinamičkom aktivnošću transportira se do južnojadranske kotline i Sredozemlja. U početnoj fazi tonuća površinska voda registrira se kao potpovršinski minimum slanosti.

Zimskim prodorima hladnih kontinentskih i polarnih zračnih masa ohlađuje se površinski sloj. Time je omogućeno površinsko isparavanje. Tako se na posredan način površinskom sloju povećava slanost i gustoća, temeljni uvjeti za konvekciju. U toj je sezoni smanjen i slatkovodni dotok, a longitudinalnim površinskim strujanjem iz srednjeg Jadrana transportira se slanija voda. Još uvijek manje slana, ali hladnija i gušća površinska sjevernojadranska voda biva potisnuta ispod površine i prekrivena nadošlom slanijom.

Manje slanoj površinskoj vodi, zbog ohlađenja, povećava se gustoća. Tako je narušena statička stabilnost u vodenom stupcu, pa površinska voda tone.

U prvoj fazi gušća sjevernojadranska površinska voda tone do dubine neposredno ispod termokline. Neko vrijeme postoji kao intermedijarna, kasnije tone do dna. Istovremeno se kreće prema palagruškom pragu i preljeva na južnojadransku kotlinu. Zaključci iz nekih istraživanja govore da ta voda gotovo nikad ne prelazi otrantski prag, da u pravilu gotovo nikad ne sudjeluje u vodoizmjeni sa Sredozemljem (Ovčnikov et al., 1985.).

Nasuprot gornjem, više novijih istraživanja polučila su drugačije rezultate. Analizom vertikalnog rasporeda slanosti, na temelju podataka prikupljenih u ekspediciji »Atlantis«, 1972., registriran je izražen potpovršinski minimum slanosti u Otrantskim vratima (Zore-Armanda, 1972.). Vjerojatno je nastao površinskim transportom slanije i toplije vode iz Jon-

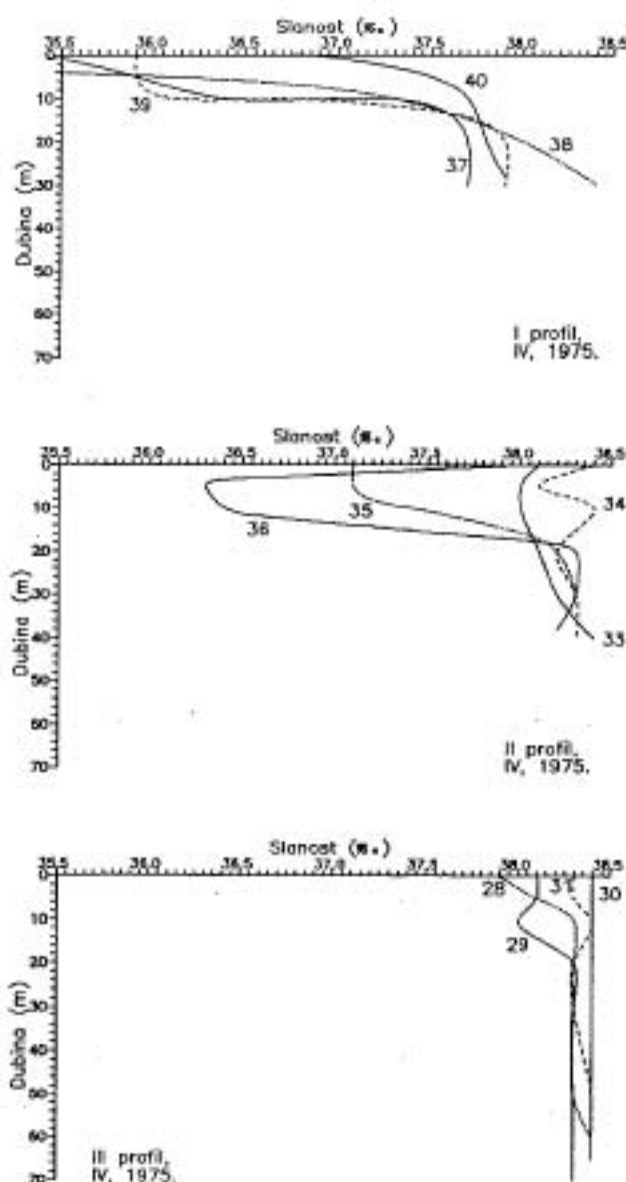
skog mora. Potisnula je manje slanu i manje toplu, težu južnojadransku površinsku vodu u potpovršinski sloj. Dakle, potonula voda ima autohtono jadransko podrijetlo. Naime, Ovčinkov (1976.) drži da hladnija i manje slana voda iz Atlantika dotječe u Levant, tone do dubine neposredno ispod termokline i u tom sloju advekcijom dospijeva u južni Jadran. Tu sudjeluje u formiranju duboke vode.

Kasnija istraživanja (Zore-Armanđić, 1986., Bičanić, 1987.) argumentiraju autohtonost duboke jadranske vode.

U »MOHO« istraživanjima (1974 do 1976.) potpovršinski minimum slanosti registriran je u tri sezone. Ljetni intenzitet je mali. Moguće se radi o kinematičkim poremećajima.

Jesenske pojave nemaju veći prostorni značaj. Najveći intenzitet je u NW dijelu sjevernog Jadrana, na postaji 38 (Bičanić, 1992.). U proljeće (sl. 7) izražen je na tri postaje, 36, 34 i 29 (sl. 1). Ovi potpovršinski minimumi slanosti zonalnog su obilježja i nemaju međusobnog utjecaja. Najintenzivniji je na postaji 36, manje intenzivan na 29, a netipičan vertikalni raspored slanosti registriran je na postaji 34. Postoje dva minimuma. Prvi na pet i drugi na 20 m dubine. Takovo su stanje vjerojatno uvjetovali kinematički i meteorološki poremećaji i/ili ritmičke advekcije.

Nema sumnje da duboka jadranska voda ima autohtono podrijetlo i da se formira u cijelom bazenu. Mehanizam njezinog nastanka nije potpuno razjašnjen.

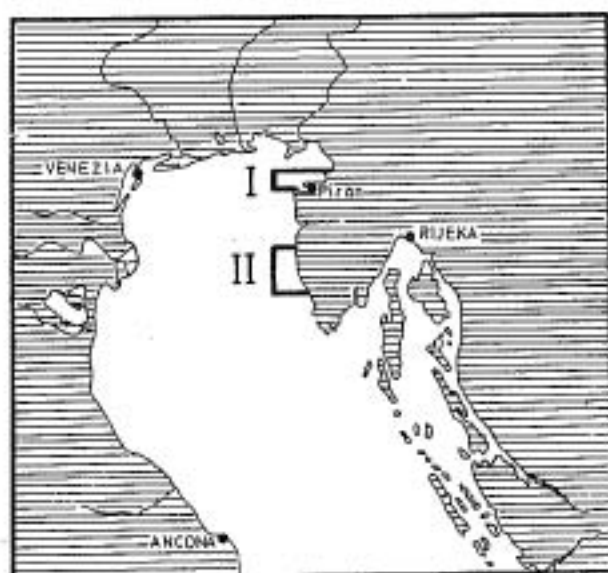


Sl. 7. Vertikalni raspored slanosti u proljetnom krstarenju

Fig. 7. Vertical distribution of salinity in spring

Mikropodručja Piran, Rovinj i istočni dio Tršćanskog zaljeva

Šira područja Piran i Rovinj, unatoč maloj geografskoj udaljenosti, najčešće funkcioniraju kao dva potpuno samostalna termohalinska sustava. U takovim okolnostima međutjecaja gotovo i nema. Izuzetak su stanja kad



Sl. 8. Karta područja

Fig. 8. The plan of the area

nastupaju intenzivna miješanja vodenih masa u širem području. Jedan od uzroka mogu biti inercijalne oscilacije. U ovom području period im je 17,2 sati (Vučak, 1985.). Izazivaju energično advektivno miješanje. Obuhvaćena su velika područja. Također i intenzivne konvekcije. Najintenzivnija miješanja su u termoklinom sloju, pa voda u oba područja imade približna termohalinska obilježja.

Druga situacija, u kojoj ova dva mikropodručja termohalinski ne funkcioniraju samostalno, vrijeme je puhanja jakog juga. Uvjetuje strujanje u debelom sloju ili u cijelom vodenom stupcu (male dubine). Ta struja, radi utjecaja Coriolisove sile, oko rta Savudrija skreće u Tršćanski zaljev. Rezultat je izmiješana voda u zaljevu s onom iz otvorenog mora.

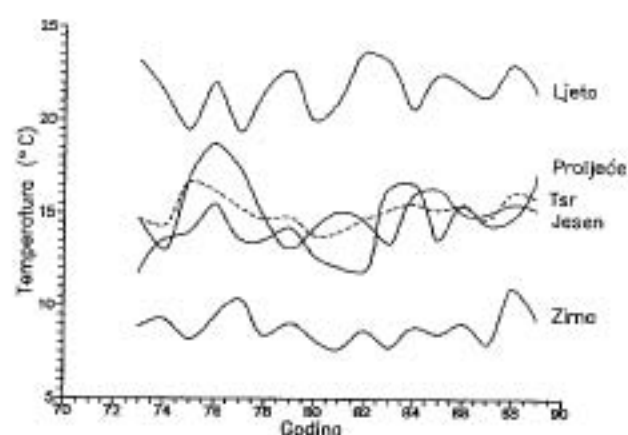
Slijedeći čimbenik koji u termohalinskom pogledu povezuje mikropodručja Piran i Rovinj su struje mor-

skih dobi. Slobodne oscilacije otpočinju prestankom puhanja jakih dugotrajnih vjetrova. Radi nastalog nagiba površine uspostavlja se strujanje i miješanje vode. Na pr. dugotrajna bura nagomila vodu u širem području ušća Poa. Prestankom puhanja uspostavljaju se struje nagiba. U područja Piran i Rovinj transportira se voda drugačijih termohalinskih obilježja glede autohtone.

Analize stanja u razdoblju od 1973 do 1989. pokazuju da primarni utjecaj na termohalinska svojstva morske vode u mikropodručju Piran imadu meteorološki i hidrološki čimbenici (u mikropodručju Rovinj maritimni). Maritimni u manjoj mjeri. Primarni čimbenici povremeno podstiču ekstremna i netipična termohalinska stanja. Javlja se fenomen ljetne izotermije u vodenom stupcu. Nastupa nakon višednevnog puhanja bure. Ekstremi su česti i kod slanosti. Registrirana su znatna oslađenja i zaslanjenja (hidrološki utjecaj, isparavanje i transport slanije vode iz srednjeg Jadrana). U ovom području evaporativni efekti, radi male vodene mase i ograničene kinematičke sveze s otvorenim morem, vrlo su veliki.

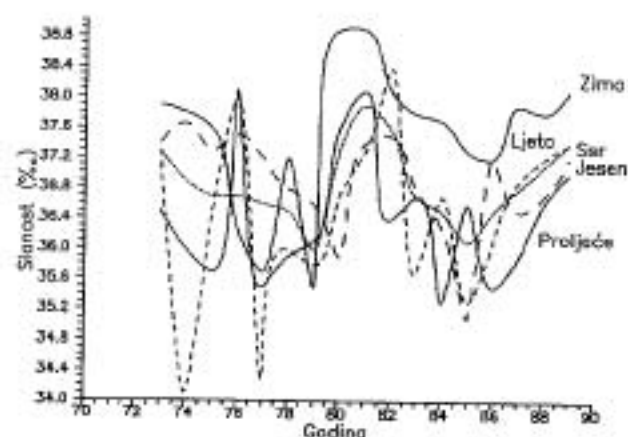
Najniža srednja godišnja termalna vrijednost zimska je 7,7, a najviša ljetna, 26,64 °C (sl. 9). Najniža srednja višegodišnja slanost ljetna je, 34,14, a najviša zimska, 38,89‰ (sl. 10). Ukupna srednja vrijednost temperature za cijelo razdoblje je 15,02 °C, a slanosti 36,888‰ i gustoće 27,43.

Maritimni utjecaj na mikropodručje Rovinj ima primarni značaj, a kontinentski sekundarni. Ima znatno



Sl. 9. Višegodišnji hod srednjih godišnjih i sezonskih vrijednosti temperatura morske vode u području Piran

Fig. 9. Mean annual and seasonal values of sea temperature in Piran area



Sl. 10. Višegodišnji hod srednjih godišnjih i sezonskih vrijednosti slanosti morske vode u području Piran

Fig. 10. Mean annual and seasonal values of salinity in Piran area

veću vodenu masu glede područja Piran (sl. 8). U zaslanjivanju isparavanje ima sekundarnu ulogu. Ono većim dijelom ovisi o dinamičkom elementu, transportu slanije vode iz srednjeg Jadrana. I temperatura je u funkciji dotoka toplije vode s juga. Slatkovodni dotok je minimalan, a uzrok većim oslađenjima povremeni je dotok površinskom istočnom strujom iz područja ušća Poa.

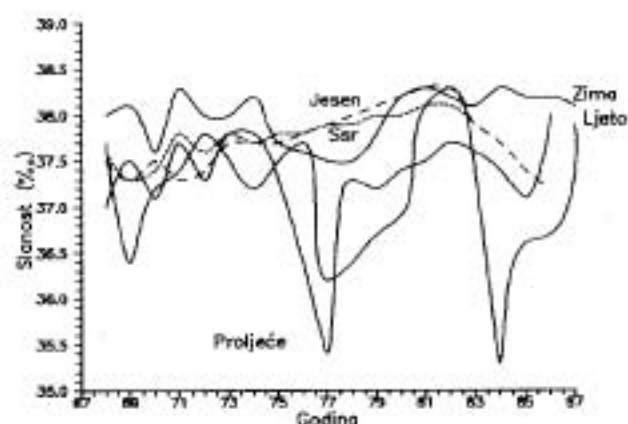
Analize višegodišnjeg niza termohalinskih podataka (1968 do 1987.) pokazuju da je najniža srednja temperatura zimska, $8,48^{\circ}\text{C}$. Znatno viša glede područja Piran ($7,7^{\circ}\text{C}$). Najviša je ljetna, $23,31^{\circ}$ (sl. 11). Niža glede područja Piran ($26,64^{\circ}\text{C}$)

U oba područja vrijednosti parametara najviše mijenjaju se u proljeće i jesen. U vertikalnom rasporedu povremeno se registriraju inverzna stanja. Halinskim inverzijama uzrok je ograničeni »upwelling«, a termalnim

jake bure. Prisilne promjene tipičnih rasporeda vrijednosti parametara su kratkotrajne.

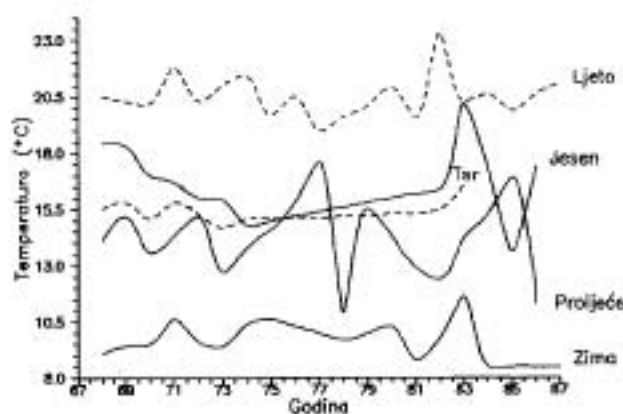
Višegodišnji hod vrijednosti parametara u području Rovinj indiciraju intenzivnija kolebanja od 1975/76. do kraja razdoblja (1987.). U području Piran je obratno. Intenzivnija su od početka istraživanog razdoblja (1973.) do oko 1980/81.

Vrlo pouzdan statistički skup podataka iz 40-togodišnjeg niza (1950 do 1989.) prezentira termalne trendove u površinskom sloju morske vode. Djelomice i trendove u kretanju klimatskog parametra. Izravno utječu na površinsku temperaturu mora. Od klimatskih elemenata analiziraju se vrijednosti sunčeve radijacije, temperature zraka i vjetar. Svrha ove analize neposredna je potvrda ili argumentirana negacija sve učestalijih mišljenja da površinska temperatura morske vode u posljednjoj dekadi, ili dvije, ima znatan negativni trend. Isto



Sl. 11. Višegodišnji hod srednjih godišnjih i sezonskih vrijednosti temperatura morske vode u području Rovinj

Fig. 11. Mean annual and seasonal values of sea temperature in Rovinj area



Sl. 12. Višegodišnji hod srednjih godišnjih i sezonskih vrijednosti slanosti morske vode u području Rovinj

Fig. 12. Mean annual and seasonal values of salinity in Rovinj area

i sezonske vrijednosti nekih klimatskih elemenata.

Registriraju se znatno više proljetne vrijednosti sunčeve radijacije glede jesenskih. Kod morske vode je obratno. Više su jesenske. Srednja proljetna vrijednost u 40-togodišnjem razdoblju je 8,4, a jesenska čak 16,6 °C. Samo 1951. registrirano je neuobičajeno stanje. Proljetna temperatura morske vode bila je viša od jesenske (sl. 13).

Analiza sezonskih vrijednosti površinske temperature mora i sunčeve radijacije isključuje sunčevu radijaciju kao temeljni generator toplinske energije u moru za istraživano područje.

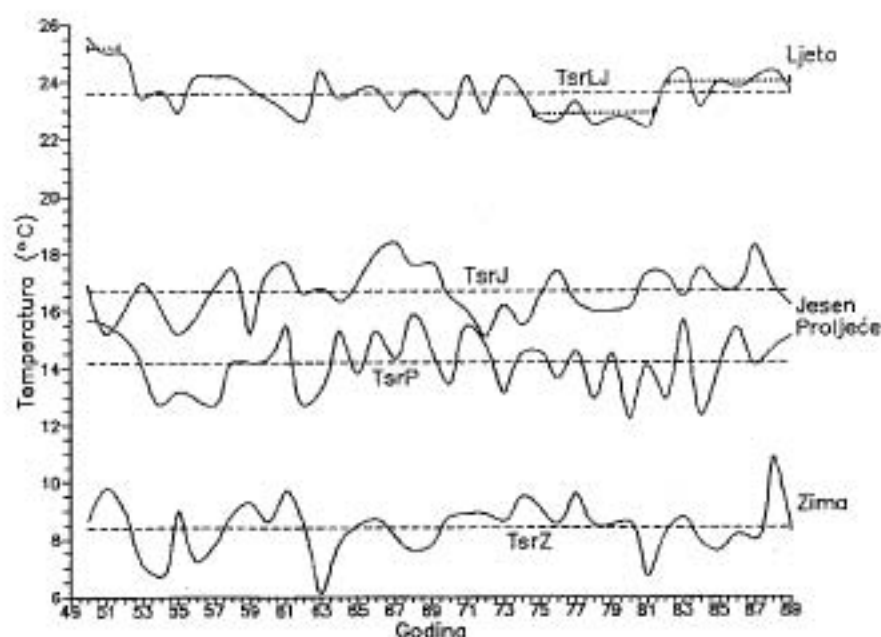
Pregled godišnjih hodova površinske temperature morske vode pokazuje minimalne vrijednosti u veljači, rjeđe u siječnju, a češće u ožujku. Najviše godišnje su u srpnju i kolovozu.

Od vjetrova u Tršćanskom zaljevu najveću učestalost ima bura, 21,3%. Srednja brzina joj je 6,0 m/s (Stravisi, 1977.). Skupa s drugim hladnim vjetrovima iz sjevernih kvadranta, razlog je da se intenzitet sunčeve radijacije ne odražava proporcionalno na zagrijavanje morske površine, iako ih, u glavnom, prati vedro vrijeme i »čista atmosfera«.

Zaključak o intenzivnijem utjecaju vjetrova na površinsku temperaturu morske vode, glede druga dva rečena klimatska elementa, nameću i geografsko fizički parametri. Zbog malih dubina vjetrovi djeluju na cijeli vodeni stupac. Hladni izravno uvjetuju kinematičke promjene. Podstiču advekcije, nadomjesna strujanja i konvekcije.

Zaključak

Na termalnu strukturu morske vode u sjevernom Jadranu prevladajućí utjecaj imaju klimatski čimbenici.



Sl. 13. Višegodišnji hod srednjih sezonskih vrijednosti površinske temperature morske vode u užem području Trst

Fig. 13. Mean seasonal values surface temperature in the Trst area

Međutim, i utjecaji maritimnih uvjetuju tipična stanja. Posebno kad se superponiraju na klimatske.

Raspored temperature indicira obilježje vladajućeg strujnog polja. Jasno su vidljivi sezonski prijelazi iz ljetnog i zimskog longitudinalnog površinskog strujanja u bazenu u proljetno odnosno jesensko transverzalno. U području se, naročito pod utjecajem sjeveroistočnog i sjeverozapadnog vjetra, formira površinsko strujanje ciklonskog smjera. To uvjetuje i geomorfološka struktura bazena.

Veza sa srednjim Jadranom registrira se i u intermedijarnom sloju. Najčešće u jesen. Jesensko strujanje odvija se u cijelom vodenom stupcu.

U nekim sezonama formira se istočno površinsko strujanje od ušća Poa prema Rovinju.

Zimi vlada izotermalno stanje. Povremene poremećaje prouzrokuju dinamički i hidrološki činitelji. Na pr. formiranje pozitivne termokline u području ušća Poa. Nastaje pod utjecajem hladnije površinske slatke vode. Uvjetuje nastanak vertikalne termalne inverzije.

Ljeti je voda raslojena. Isprepliću se utjecaji dinamičkih i klimatskih elemenata.

Na raspored halinskog parametra prevladavajući utjecaj imaju dinamički i hidrološki činitelji. Česte poremećaje u vertikalnom rasporedu uvjetuju advektivni transporti vodenih masa iz srednjeg Jadrana. Konvektivna strujanja uspostavljaju statičku stabilnost u stupcu. Visoke jesenske halinske vrijednosti indiciraju prisustvo južnojadranske vode. Zimske površinske vrijednosti ekstremno su visoke.

Registrira se fenomen halinske horizontalne inverzije. Viša površinska slanost uz istočnu glede zapadne obale.

Godišnje raslojavanje u vodenom stupcu teče od sjevera prema jugu. Homogeniziranje u obratnom smjeru. Horizontalni halinski gradijenti usmjereni su od istočne prema zapadnoj obali.

Uočen je fenomen potpovršinskog minimuma slanosti. Predstavlja prvu fazu u formiranju duboke jadranske vode. Skupa s registracijama u drugim dijelovima bazena, dokazuje da se formiranje ove vode odvija u cijelom bazenu i da teška južnojadranska voda ima autohtono podrijetlo.

Istraživanja termohalinskih međudnosa u mikropodručjima Piran i Rovinj pokazala su potpunu samostalnost u njihovom funkcioniranju. Osim

u vrijeme nekih globalnih termohalinskih gibanja. Odnosi se na inercijalne oscilacije, dinamiku u cijelom vodenom stupcu, za jakog i dugotrajnog juga i djelovanje struja morskih dobi.

Analiza 40-togodišnjeg niza termalnih vrijednosti površinske morske vode u istočnom dijelu Tršćanskog zaljeva i utjecajnih čimbenika na ovaj parametar dokazuje da, suprotno mišljenjima o drastičnim promjenama površinske temperature morske vode u posljednjoj dekadi ili dvije, nema ni govora. Registrirane su manje ili veće godišnje i sezonske oscilacije, ali znatniji trendovi nisu zapaženi.

Dakle, riječ je o prividu. More je toplo kao i prije, samo je nama više hladno.

Literatura

1. Banka podataka Državnog Hidrografskog instituta, Split.
2. BIČANIĆ, Z., 1987: Prilog poznavanju termohalinskih svojstava srednjeg Jadrana. Magistarski rad 205-2057, Zagreb.
3. BIČANIĆ, Z., 1992: Nova saznanja o termohalinskim svojstvima sjevernog Jadrana; Novi pristup analizi u funkciji fizičko geografskih obilježja. Doktorska disertacija, Ljubljana.
4. NOŽINA, I., 1973: Rijeke sjevernog Jadrana i njihov utjecaj na fizičke osobine mora. Magistarski rad 20-21, Beograd.
5. OVČINIKOV, I. M. et al., 1976: Hidrologija Sredozemnog morja, 163-211, Lenjingrad.
6. OVČINIKOV, I. M., 1985: Formiranje glubinskih vostočnosredozemnomorskih vod u Adriatičeskom more. Okeanologija, 6, 911-918, Moskva.
7. STRAVISI, F., 1977: Il regime dei venti a Trieste (1951- 1975.). Boll. Soc. Adr. Sc., LXI, 87-104, Trieste.
8. VUČAK, Z., 1974: Krstarenje istraživačkim brodom »Andrija Mohorovičić« u septembru-oktobru, 1974.god. Hidrografski godišnjak 155-157, Split.
9. VUČAK, Z., et al., 1982: »Andrija Mohorovičić« 1974-1976, Izvještaj, Split.
10. VUČAK, Z., 1985: Strujanje u sjevernom Jadranu u vidu uzroka i posljedica. Doktorska disertacija 43-57, 225 pp. Ljubljana.
11. ZORE-ARMANDA, M., 1972: Processus de formation des eaux oceaniques profondes en Mediterranee occidentale 127-130, Paris.
12. ZORE-ARMANDA, M., et al., 1986: Some features of the early and late phase of the deep water formation in the Adriatic Sea. Rapp. Com. int. Medit. 2, 30 pp.

Summary

THERMOHALINE PROPERTIES IN THE NORTHERN ADRIATIC

by

Zlatko Bićanić

The thermal structure of sea water of the Northern Adriatic has been dominantly effected by the climate factors. However, the maritime factors also condition the typical state. Specially so, if they are superponded on climate factors.

Distribution of temperature indicates the characteristic of the governing current area. The seasonal transitions from summer and winter longitudinal surface streaming in basin to spring or autumn transversal streaming are evident.

The surface streaming of the cyclonic direction has been formed within the area specially under the influence of north east and north west wind. This provides for the geomorphological shape of the basin.

The connection with the Middle Adriatic has been registered even in the intermediary layer, most frequently in autumn. The autumn streaming proceeds over the whole water column.

In some seasons the surface streaming has been formed from the Po towards Rovinj.

In winter dominates isothermal condition. Periodical disorders have been caused by dynamic and hydrological factors. For example, positive termoclimate within the area of Po

has been formed under the influence of colder surface fresh water and condition the development of the vertical thermal inversion.

In summer water is stratified, and influences of dynamic and climate elements have been interwoven.

Dynamic and hydrological factors dominantly effects distribution of halinic parameter. The frequent disorders in the vertical distribution have been caused by the advective transports of water masses from the Middle Adriatic. The convective streaming establishes static stability in column. High autumnal halinic values indicate the presence of South Adriatic waters. Winter surface values are extremely high.

Halinic horizontal inversion has been registered, higher surface salinity along eastern coast in relation to the western coast.

The annual stratification in water column has been proceeding from North to South and homogenisation inversely. Horizontal halinic gradients have been directed from eastern to western coast.

The phenomenon of the under surface minimum salinity has been found out. It is the first phase of forming the deep Adriatic water. Together with registrations in other basin

areas it proves that the forming of such water has been processing in the whole basin and that the deep South Adriatic water are of the masive (autochthonous) origin.

Researchers of thermohalinic interrelations within microareas of Piran and Rovinj ponited at the complete independance of their functioning, except duting some global thermohalinic motions. In regard to inertialy oscillations, dinamyc in water column, during stormly south east winds and influence of tide streams.

Analysis of the 40 year series of thermal velues regarding surface sea water in the eastern part of the Trst bay and influential factors of this parameter prove that, contradictory to opinions on drastic changes of sea water surface temperature in last decade or two, the have not been well found. Annual and seasonal oscillations, less or greedy, have been registered, but more considerable trends have not been found out. Sea is as warm as before and we seem to be more cold.

Dr. Zlatko Bićanić
Državni hidrografski institut
Hrvatska, 58000 Split
Zrinsko-frankopanska bb

Recenzenti:
Dr. Zoran Vučak, znanstveni savjetnik
Split
Dr. Josip Ridanović, red. prof. PMF