

## TERMOHALINSKA SVOJSTVA MORSKE VODE U PAŠKOM ZALJEVU I VELEBITSKOM KANALU

ZLATIMIR BIČANIĆ

ZVONKO HELL

Pomorski fakultet u Splitu

*Faculty of Maritime sciences in Split*

DRAŽEN JAŠIĆ

UDC: 551.464 (497.5)

Izvorni znanstveni članak

*Original scientific paper*

Primljeno: 1998-10-15

Received:

Problem rijetkih oceanografskih mjerenja u zemljopisno vrlo zanimljivom akvatoriju Paškog zaljeva i Velebitskog kanala, uvjetovao je izradbu ovog rada. Namjera je predstaviti termohalinske značajke područja, jer to može biti temelj za potpunija istraživanja u području fizičke, a osobito biološke oceanologije, hidrologije i dr. Autori su na temelju klimatoloških podataka (od 1911. do 1989.) napravili djelomičnu analizu vrijednosti termohalinskih parametara, njihovih godišnjih hodova i vertikalnih rasporeda u vodenom stupcu te analizu sinoptičkih podataka iz dva oceanografska mjerenja obavljenih u lipnju 1989. Rezultati pokazuju postojanje uobičajenih i netipičnih stanja u termohalinskoj strukturi vodenog stupca, te se pokušavaju otkriti i objasniti uzroci njihovog nastanka.

**Ključne riječi:** temperatura, slanost, gustoća, termohalinski, inverzija

On the basis of climatological data (from 1911 to 1989) the authors have made the analysis of thermohaline values, their annual and vertical distribution in the Pag Bay and Velebitski channel, and also the analysis of synoptic data obtained from two oceanographic measurements in June 1989. The results show usual and nontypical conditions in the thermohaline structure in the water column. Explanation of phenomena are presented.

**Key words:** temperature, salinity, density, thermohaline, inversion

### Uvod

Za područje Paškog zaljeva i Velebitskog kanala, koji u većem dijelu godine djeluje (funkcionira) kao zaljev, postoji dostatno podataka za strukturnu analizu vrijednosti termohalinskih jedinica (parametara), odnosno njihovog rasporeda u vodenom stupcu. Ova su dva područja u izravnoj dinamičnoj vezi te na obadva približnim intenzitetom utječu *vanjski* i *unutarnji* čimbenici. Pregled vrijednosti više oceanografskih jedinica potvrđuje metodološki pristup po kojemu ih se može promatrati kao cjelinu.

Svrha ovog rada odrediti je temeljna termohalinska obilježja istraživanog područja, a rezultati mogu predstavljati opće stanje u određeno vrijeme (1989.). Bilo bi dobro ponoviti mjerenja, npr. 1999., u isto vrijeme i na istim postajama. Na taj način bilo bi moguće napraviti vrsnu usporedbu u 10-godišnjem pomaku.

U mjerenjima 1989., osim temperature, slanosti i gustoće morske vode, obradilo se još parametre: struje u moru, prozirnost, boja i ekstremna kolebanja morske razine. Od meteoroloških mjerenja izgledalo je najpotrebnijim mjeriti temperaturu zraka, naoblaku, vlagu i oborinu, čestinu smjera i jakost vjetra, te pojave jakog i olujnog vjetra. Također se

napravilo i batimetrijski premjer akvatorija u širem području Pag (elaborat DHI, 1989.). Na žalost, veliki dio analiza napravilo se na temelju klimatoloških podataka, pa se rezultati ne mogu primjerno koristiti u analizama termohalinskih stanja, odnosno za tumačenja sinoptičkih situacija.

U ovom radu obrađuju se samo podaci o temperaturi, slanosti i gustoći morske vode. Zbog malog broja sinoptičkih, obrađeni su klimatološki podaci. Dobiveni podaci mogu poslužiti samo za opći uvid u termohalinska stanja u istraživanom području. Za temeljitije analize valja raspolagati sa znatno više podataka iz sustavnih sezonskih oceanografskih premjera. Očekivati je da će se to moći ostvariti već za nekoliko godina jer su u tijeku oceanografski premjeri u Velebitskom kanalu.

### Istraživano područje

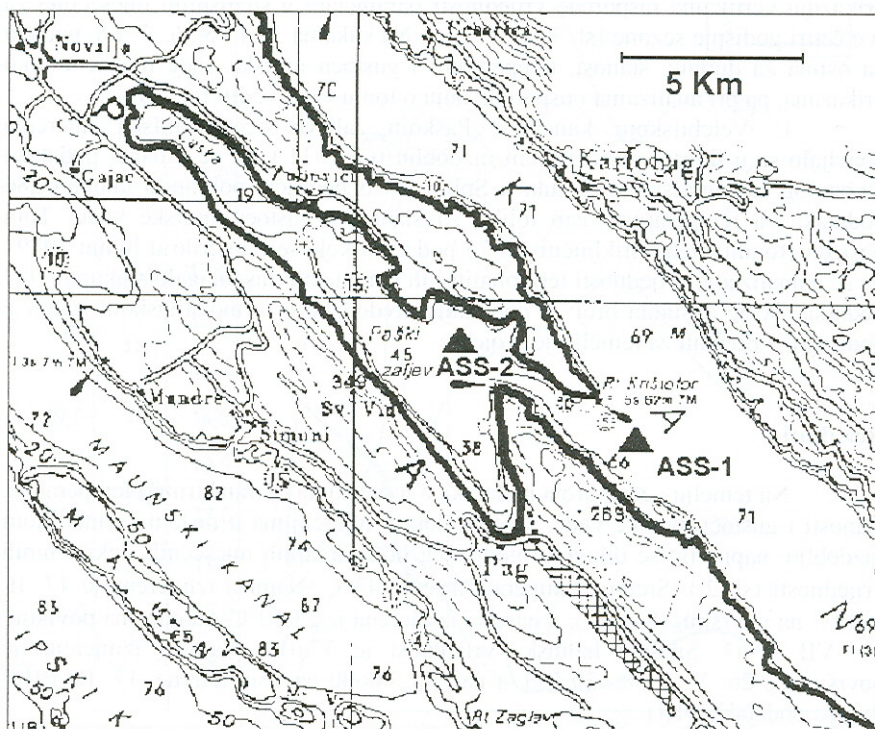
Paški je zaljev velika uvala duboko usječena u paško kopno. Dužina uvale je oko 8,5 milja, a od Velebitskog kanala odvojena je Paškim vratima. Široka su oko 780m. Dubine u zaljevu ne prelaze 50m, a u Vratima su veće od 57m.

Područje između sjeveroistočne obale otoka Paga i obale Velebitski je kanal. Prema sjeveru nastavlja se Vinodolski, a prema jugu je ulaz u Novigradsko more. Zemljopisni položaj kanala odredio mu je karakterističnu ulogu u općem mehanizmu dinamike morske vode u tom području. Unatoč povezanost s Virskim morem, konfiguracija obale i južnog dijela otoka Paga ne omogućuje intenzivniji optok (cirkulaciju) vodenih masa, pa stoga Velebitski kanal djeluje kao duboki zaljev. Tomu pridonose i specifične kontinentaskoklimatske prilike. Značajan utjecaj na termohalinska svojstva morske vode u tom području imaju slatkovodni dotoci s kopna i iz podzemskih izvora (vrulja).

11. i 25. lipnja, 1989. obavilo se mjerenja temperature i slanosti na postajama ASS-1 i ASS-2. Prva je u Velebitskom kanalu, na ulazu u Paška vrata ( $\varphi=44^{\circ}28,0'N$   $\lambda=15^{\circ}05,0'E$ ), a druga u Paškom zaljevu ( $\varphi=44^{\circ}29,2'N$   $\lambda=15^{\circ}02,2'E$ , Sl. 1..).

### Metode rada i podaci

Temperaturu morske vode mjerilo se prekretnim zaštićenim termometrima *Richter Wiesse* s točnošću  $0,02^{\circ}C$ , batitermografima *Neil Brown*, te *CSTD* sondom s točnošću  $0,01^{\circ}C$ . Slanost se određivalo iz uzoraka prikupljenih *Nansenovim* i *Niskinovim* crpcima, laboratorijskom titracijom, indukcijskim salinometrom i *CSTD* sondom. Iz podataka temperature i slanosti računalo se vrijednosti gustoće iskustvenom *Knudsen - Ekamnovom* jednadžbom.



Sl. 1 Paški zaljev i Velebitski kanal

Fig. 1 Pag Bay and Velebit Channel

Osim podataka, koje se prikupilo u lipnju 1989., u analizama odnosa termohalinskih jedinica koristili su se i klimatološki podaci, prikupljeni u duljem vremenskom razdoblju. U takvim analizama vrlo važno utvrditi je godišnje hodove vrijednosti pojedinih parametara na temelju izračunanih srednjih vrijednosti iz većeg broja podataka, te krajnje (ekstremne) vrijednosti.

Valja naglasiti da se u oceanologiji zimskim mjesecima smatraju siječanj, veljača i ožujak (najniže zimske temperature morske vode su u veljači), proljetnima travanj, svibanj i lipanj itd.

U analizama termohalinskih vrijednosti i obradi podataka koristili su se iskustveno provjereni načini prikaza i objašnjenja stanja:

- godišnjeg hoda srednjih mjesečnih i ekstremnih vrijednosti temperature, slanosti i gustoće morske vode i
- vertikalnog rasporeda vrijednosti temperature, slanosti i gustoće.

Odvojeno se obradilo klimatološke podatke (srednje vrijednosti i ekstremi, banka podataka DHI) od podataka dobivenih dvokratnim mjerenjima u lipnju 1989.

Klimatološke podatke koristilo se još radi određenja (definiranja) termohalinskih obilježja morske vode u cijelom godišnjem razdoblju. Slike prikazuju vertikalne rasporede vrijednosti parametara u središnjim mjesecima za sve četiri godišnje sezone (sl. 3., 4., 5. i 6.). Na slikama 3., 4., 5., 6., 7. i 8. podjela na osima za dubinu, slanost,

temperaturu i gustoću morske vode nije jednoliko prikazana, pa pri analizama i uspoređivanju o tomu valja voditi računa.

U Velebitskom kanalu i Paškom zaljevu oceanografska mjerenja obavljalo se u dužem vremenskom razdoblju (od 1911.), pa se u banci podataka Državnog hidrografskog instituta u Splitu za to područje pohranilo ukupno 286 podataka za temperaturu, isto toliko za slanost i gustoću morske vode. Tom posjedu (fondu) treba priključiti još 75 podataka koje se izmjerilo u lipnju 1989., pa se u analizama vrijednosti termohalinskih parametara raspolagalo s ukupno 933 podatka. To je dostatan broj za dobivanje predodžbe o termohalinskom stanju u području, a premali za temeljitije projekte.

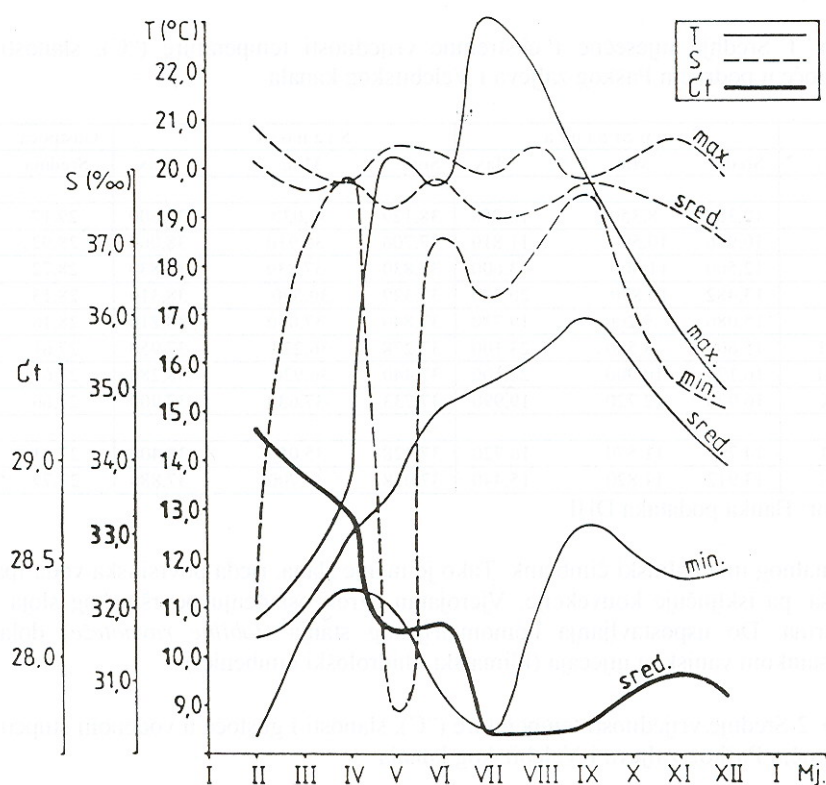
## Rezultati

Na temelju većeg broja podataka o jedinicama (parametrima) temperaturi, slanosti i gustoći morske vode, koje se dobilo mjerenjima u dužem vremenskom razdoblju, napravilo se dijagram godišnjeg hoda srednjih mjesečnih i ekstremnih vrijednosti (sl. 2.). Srednja temperatura je 13,43°C. Najniža izmjerena je 17. II. 1914., na površini, (8,45°C), a najviša izmjerena je 23,10°C, također na površini, 29. VII. 1963. Srednja halinska vrijednost je 37,612. Najniža izmjerena je površinska, 26. V. 1958., 30,590, a najviša 38,600 na 95m dubine, 17. II. 1914. (banka podataka DHI).

Godišnja kolebanja svih parametara, osim srednje i najviše izmjerene slanosti (sl. 2.) intenzivna su. Srednje i najviše izmjerene halinske vrijednosti kreću se u opsegu od 37,018 do 38,600. Krivulja za najnižu izmjerenu slanost izuzetno jako koleba, osobito u prvom polugodištu. U veljači je slanost vrlo niska, 32,030, u ožujku i travnju raste do 37,830, a u svibnju opada na tek 30,590. Razlog ovako velikom oslađenju je obilan slatkovodni dotok s obale (oborina i proljetno otapanje snijega). Stanje se u lipnju normalizira i do listopada kolebanja su umjerena. Do prosinca najniža slanost postupno opada do 34,700 (tab. 1.). Veći dotok slatke vode (kišovito razdoblje) prouzrokovao je jesensko oslađenje.

U godišnjem hodu termalnih vrijednosti osobito kolebaju najviše izmjerene. Najnižu maksimalnu vrijednost izmjerilo se u veljači (10,75°C), a najvišu u srpnju (23,10°C). Kolebanja najnižih izmjerenih vrijednosti kreću se od 8,35 (veljača) do 12,72°C (rujan). Srednje su vrijednosti najniže u veljači također (10,38°C), a najviše u rujnu, 16,92°C (sl. 2., tab. 1.). Krivulja koja prikazuje najviše izmjerene vrijednosti temperature morske vode najstrmiji porast ima od travnja do svibnja. Porast je čak 6,60°C (tab. 1.). Drugi veliki porast je od lipnja do srpnja, nakon čega nastupa ravnomjeran pad do kraja godine.

Analizom vertikalnog rasporeda vrijednosti parametara temperature, slanosti i gustoće morske vode na najpogodniji način moguće je steći predstavu o termohalinskom stanju u vodenom stupcu, rasporedu vodenih masa određenih termohalinskih struktura, raslojavanju, statičnoj stabilnosti vodenog stupca, utjecaju strujnog polja na raspored vrijednosti termohalinskih jedinica, utjecaju klimatskih elemenata i dr.



Sl. 2 Godišnji hod srednjih mjesečnih i ekstremnih vrijednosti temperature, slanosti i gustoće morske vode u području Paškog zaljeva i Velebitskog kanala

Fig. 2 Monthly averages and extreme values of temperature, salinity and density of the sea water in the Paškov Bay and the Velebit Channel (annual distribution)

Na sl. 3. predstavlja se raspored srednjih vrijednosti temperature, slanosti i gustoće morske vode u vodenom stupcu u veljači (zimsko razdoblje). Zanimljivo je da se je, na temelju srednjih termohalinskih vrijednosti, došlo do podatka o prevladavajućem stanju pozitivne slabe termokline. Odnosi se na činjenicu da je površinska voda hladnija (9,40°C), a prema dnu se temperatura povisuje (tab. 2.). U površinskom sloju, oko 10m debelom, bilježi se veći termalni skok, a do dna je povišenje temperature umjerenije. U stvari, od oko 30m dubine do dna, vrijednosti termohalinskih jedinica su približne. To je tipično zimsko stanje.

Razlog takvom povišenju vjerojatno je u klimatskom utjecaju, odnosno u naglim zahladnjenjima površinskog sloja morske vode zbog djelovanja vjetrova (bura). Tim procesom narušava se uobičajena zimska homogenija (ujednačene vrijednosti od površine do dna). Statična se stabilnost u vodenom stupcu nije poremetila, unatoč hladnijem, gušćem i specifično težem površinskom sloju. Na gustoću, odnosno specifičnu težinu

vodene mase prevladavajući utjecaj glede termalnog ima halinski čimbenik.

Tab. 1 Srednje mjesečne i ekstremne vrijednosti temperature (°C), slanosti i gustoće u području Paškog zaljeva i Velebitskog kanala

Mj.	Temperatura			Slanost			Gustoća
	Sred.	Min.	Max.	Sred.	Min.	Max.	Srednja
I							
II	10,388	8,350	10,750	38,129	32,030	38,600	29,17
III	10,986	10,500	11,810	37,706	36,910	38,060	28,92
IV	12,500	11,400	13,600	37,830	37,830	37,830	28,72
V	13,482	10,870	20,200	37,329	30,590	38,310	28,13
VI	15,086	9,200	19,710	37,840	37,050	38,210	28,16
VII	15,600	8,500	23,100	37,278	36,220	37,950	27,61
VIII	16,174	10,900	22,100	37,440	36,920	38,280	27,61
IX	16,926	12,720	19,990	37,733	37,630	37,900	27,66
X							
XI	14,798	11,570	16,720	37,428	35,050	38,400	27,91
XII	13,912	11,820	15,440	37,018	34,700	37,880	27,79

Izvor: Banka podataka DHI

Tako je manje slana, rjeđa površinska voda ipak lakša, pa isključuje konvekcije. Vjerojatan uzrok oslađenju površinskog sloja je oborina. Do uspostavljanja homometrijskog stanja (*labilne ravnoteže*) dolazi prestankom vanjskog utjecaja (klimatski i hidrološki čimbenici).

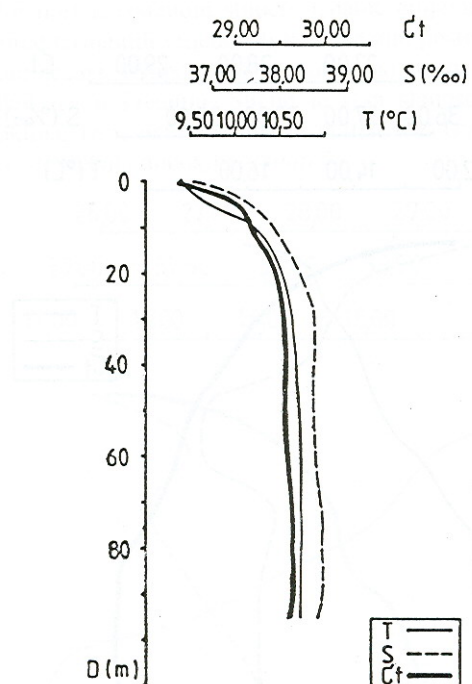
Tab. 2 Srednje vrijednosti temperature (°C), slanosti i gustoće u vodenom stupcu u području Paškog zaljeva i Velebitskog kanala

D-m	Veljača			Svibanj			Kolovoz			Studenj		
	T	S	$\sigma$	T	S	$\sigma$	T	S	$\sigma$	T	S	$\sigma$
0	9,40	36,680	28,38	16,05	35,400	26,05	20,54	37,090	26,22	14,36	36,230	27,08
5	9,71	37,570	29,03	14,82	36,670	27,31	21,00			14,99	36,840	27,39
10	10,23	37,900	29,19	14,63	37,130	27,71	19,46	37,530	26,83	15,40	37,370	27,72
20	10,54	38,330	29,47	13,93	37,480	28,13	18,52	37,350	26,91	15,64	37,650	27,89
30	10,63	38,450	29,55	13,53	38,850	28,51	17,12			16,21	37,840	27,90
40	10,68	38,480	29,56	12,77	38,880	28,69	15,24	37,610	27,94	15,78	38,260	28,70
50	10,71	38,500	29,58	12,12	37,990	28,90	12,27			15,35	37,980	28,20
60	10,73	38,530	29,59	11,23	38,150	29,20	11,60			12,43	37,880	28,76
63							11,10					
70	10,74	38,580	29,63	11,16	38,210	29,26						
75							11,10	38,030	19,13	11,70	37,970	28,97
80	10,74	38,580	29,63	11,12	38,210	29,27						
90	10,72	38,600	29,65									
95	10,72	38,540	29,60	11,27	37,910	29,01	11,26	37,570	28,73	12,46	37,900	28,76

Izvor: Banka podataka DHI

U svibnju, dakle u proljeće, u vodenom stupcu dolazi do postupnog raslojavanja. Površinska je voda najtoplija, najmanje slana i najmanje gusta. Vanjski, klimatski sezonski poremećaji ne utječu na statičnu stabilnost, pa je raspored vrijednosti termohalinskih parametara relativno pravilan. Srednja površinska temperatura je 16,05°C i postupno se smanjuje do dna. Jedino je u površinskom sloju skok nešto veći (začetak površinske termokline, sl. 4.). Debljina termoklinog sloja je oko 5m, a gradijent joj je

0,25°C/m (tab. 2.).



Sl. 3 Vertikalni raspored srednjih mjesečnih vrijednosti temperature, slanosti i gustoće u veljači u području Paškog zaljeva i Velebitskog kanala.

Fig. 3 Vertikal distribution of monthly values of temperature, salinity and density in the Pag Bay and Velebit Channel in February.

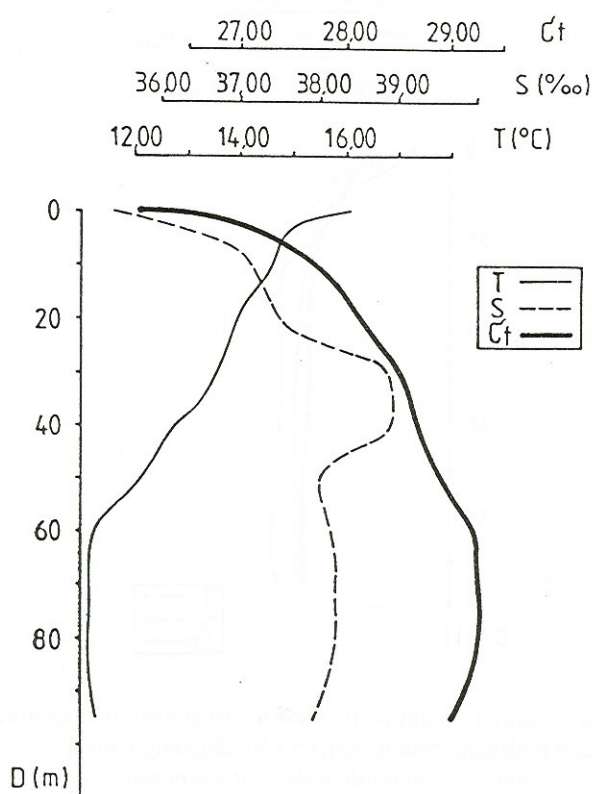
U sloju od oko 60m dubine do dna još uvijek postoji izmješana voda (ima ujednačene termalne vrijednosti). U samom pridnenom sloju (od 80m do dna) uočava se blagi poremećaj kod sva tri parametra. Naime, tu vlada stanovita termalna i halinska inverzija (tab. 2.).

Najviše su halinske vrijednosti od 30 do 40m dubine. To se može objasniti sezonskim *specifikumom* (proljeće). U proljeće se mijenja opći strujni sustav u Jadranu pa i raspored vrijednosti temperature, slanosti i gustoće morske vode u vodenom stupcu. Naime, to je prijelazno razdoblje od zimske homogenije do ljetne raslojenosti (stratifikacije). Čestina dinamičnih poremećaja vrlo je visoka.

Najviše su halinske vrijednosti od 30 do 40m dubine. To se može objasniti sezonskim *specifikumom* (proljeće). U proljeće se mijenja opći strujni sustav u Jadranu pa i raspored vrijednosti temperature, slanosti i gustoće morske vode u vodenom stupcu. Naime, to je prijelazno razdoblje od zimske homogenije do ljetne raslojenosti (stratifikacije). Čestina dinamičnih poremećaja vrlo je visoka.

Raspored vrijednosti gustoće morske vode u vodenom stupcu je pravilan. Bilježi se ravnomjerno povećanje do oko 80m dubine na kojoj nastupa već rečeno neznatno sniženje. Pod utjecajem površinske termokline i halokline nastala je i površinska

piknoklina s većim intenzitetom (sl. 4.).



Sl. 4 Vertikalni raspored srednjih mjesečnih vrijednosti temperature, slanosti i gustoće u svibnju u području Paškog zaljeva i Velebitskog kanala

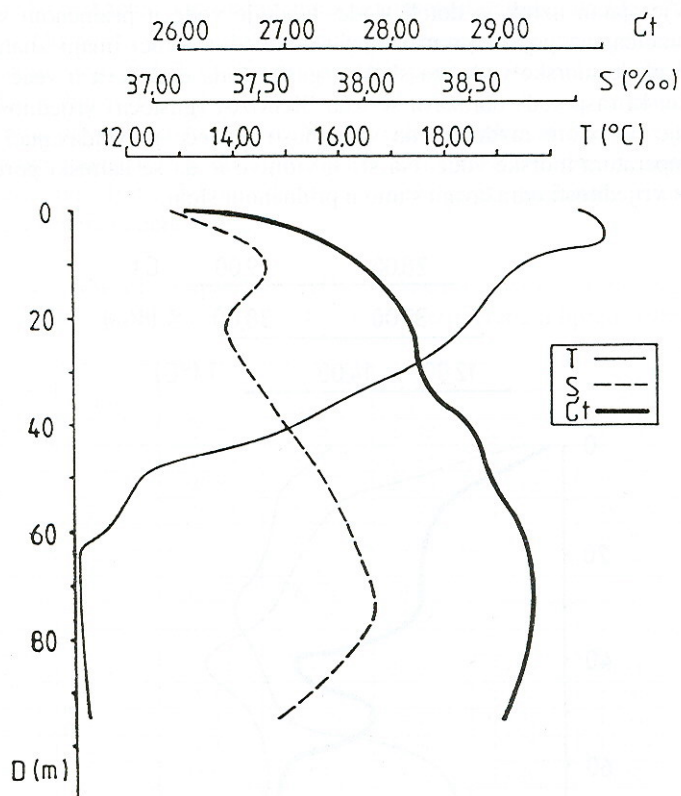
Fig. 4 Vertical distribution of monthly values of temperature, salinity and density in the Pag Bay and Velebit Channel in May.

Raspored vrijednosti termohalinskih jedinica u vodenom stupcu, odnosno poremećaji, uobičajeni su u proljeće. Uvjetuju konvektivna strujanja i stvaranje dinamične stabilnosti (ravnoteže).

Stanje u kolovozu (sl. 5., tab. 2.) pokazuje raslojenost vodenog stupca s manje intenzivnim poremećajima. Površinska se temperatura ravnomjerno mijenja do oko 60m dubine, a u pridnenom sloju, oko 35m debelom, gotovo je istih vrijednosti. U ohlađenom površinskom sloju temperatura je niža za 0,46°C glede stanja na 5m dubine (tab. 2.). Nastao je ispodpovršinski termalni maksimum. Njegovo je opstojanje vrlo kratko jer će se advekcijским miješanjem ponovno brzo uspostaviti raslojenost u vodenom stupcu. Unatoč činjenici da se radi o ljetnom razdoblju, raspored termalnih vrijednosti ne pokazuju postojanje termokline. Osim površinskog poremećaja, temperatura ravnomjerno



opada do oko 60m dubine i nema naglih skokova u kretanju. Slično je i sa slanošću, osim što se bilježi površinska haloklina. To je netipično stanje za kolovoz. U *normalnim* okolnostima ova je haloklina već trebala duboko *potonuti*.



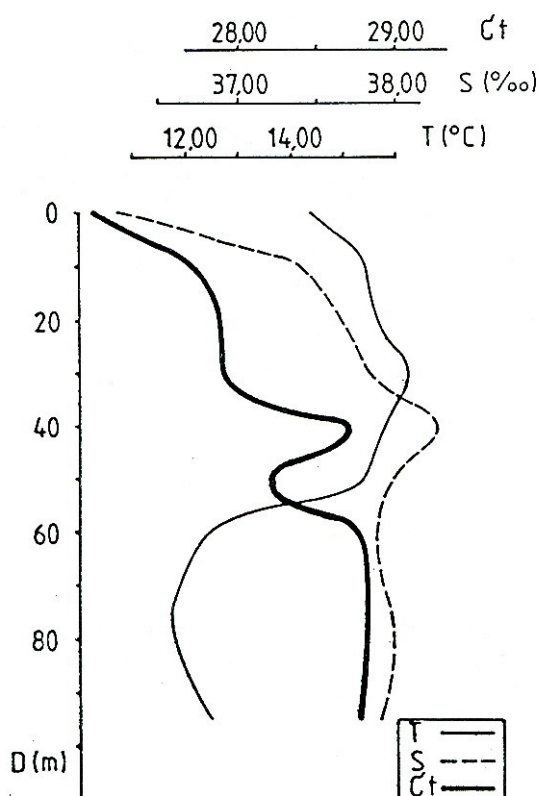
Sl. 5 Vertikalni raspored srednjih mjesečnih vrijednosti temperature, slanosti i gustoće u kolovozu u području Paškog zaljeva i Velebitskog kanala

Fig. 5 Vertical distribution of monthly values of temperature, salinity and density in the Pag Bay and Velebit Channel in August.

Dogodilo se oslađenje površinskog sloja. Uzrok nije potpuno jasan, budući da se u tom razdoblju slatkovodni dotok znatno smanjio (Zrmanja), a tako i oborine. Na 20m dubine pojavljuje se ispodpovršinski halinski minimum znatno smanjenje slanosti (Z. Bićanić, 1998.). Budući da se radi o *srednjacima* halinskih vrijednosti očigledno je da se ova pojava gotovo redovito javlja ljeti, pa je to stanoviti *fenomen*, netipično stanje koje daje prostora i razloga temeljitijim istraživanjima. Rečenom procesu općenito ne pogoduju niti geomorfološka obilježja područja (zatvoreni Paški zaljev i kanalsko

područje koje djeluje kao zaljev, također), kao ni strujni režim u tom razdoblju (elaborat DHI, 1989.). Međutim, valja naglasiti da bi sustavno istraživanje *fenomena* ispodpovršinskog minimuma slanosti u kolovozu nedvojbeno polučilo odgovore o prevladavajućem (dominantnom) čimbeniku (temperatura/slanost) kao uzročniku pojave.

U pridnenom sloju (oko 20m debelom, sl. 5.) slanost se do dna znatno smanjuje. Vjerojatan uzrok je dotok slađe, hladnije vode u pridnenom sloju. U ljeto je to uobičajena pojava prema kojoj slatkovodni dotoci imaju znatno nižu temperaturu glede morske vode, pa slatka, gušća voda dospijeva u veće dubine. Ovakav halinski raspored odražava se i na SIGMA-t (gustoća) vrijednosti, iako znatno manje. U ovom razdoblju na vrijednosti gustoće prevladavajući utjecaj imala je temperatura morske vode. Na sl. 3. vidljivo je da se halinski poremećaji na SIGMA-t vrijednosti odražavaju samo u pridnenom sloju.



Sl. 6 Vertikalni raspored srednjih mjesečnih vrijednosti temperature, slanosti i gustoće u studenome u području Paškog zaljeva i Velebitskog kanala

Fig. 6 Vertical distribution of monthly values of temperature, salinity and density in the

*Pag Bay and Velebit Channel in February.*

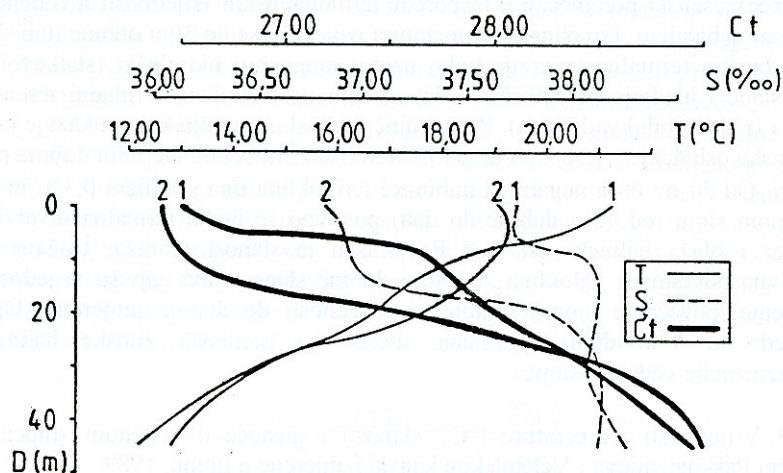
Zapažaju se dinamični poremećaji u vodenom stupcu i u studenome (sl. 6.). Kao i u proljeće, jesenski poremećaji u rasporedu termohalinskih vrijednosti u vodenom stupcu su uobičajeni. Površinska temperatura povećava se do 30m dubine (tab. 2.). Dakle, opstoji termalna inverzije kojoj uzroci mogu biti hidrološki (slatkovodni dotok slađe i hladnije površinske vode) ili klimatski čimbenici (hladni jesenski vjetrovi iz sjevernih kvadranta). Promatajući halinsku krivulju koja pokazuje jako površinsko oslađenje, vjerojatan uzrok je hidrološki čimbenik. Do 50m dubine pad je blaži. Od 50 do 60m negativna dubinska termoklina ima gradijent  $0,3^{\circ}\text{C}/\text{m}$ . U pridnom sloju (od 75m dubine do dna) ponovno se javlja termalna inverzija. Također i blaža halinska (sl. 6.). Površinska je slanost najniža. Uočava se intenzivna površinska haloklina. Na 40m dubine slanost ima najvišu vrijednost. Smanjenje, povećanje i opet smanjenje vrijednosti do dna je umjereno. Opći raspored, od 40m dubine do dna, može biti predznak zimske halinske homogenizacije vodenog stupca.

Tab. 3 Vrijednosti temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ), slanosti i gustoće u vodenom stupcu u području Paškog zaljeva i Velebitskog kanala izmjerene u lipnju, 1989.

Mjerenje	D(m)	ASS-1			ASS-2		
		T	S	$\sigma$	T	S	$\sigma$
11.6.1989.	0	20,31	37,359	26,49	21,21	37,703	26,51
	5	20,14	37,284	26,48	20,27	37,699	26,76
	10	20,87	37,427	26,40	18,19	38,067	27,59
	20	17,53	38,254	27,89	16,70	38,115	28,00
	30		38,135		14,55	38,067	28,45
	45				12,79	38,250	28,97
	50	13,07	38,175	28,84			
	60	11,93	38,330	29,08			
25.6.1989.	0	18,52	36,175	26,06	19,03	36,816	26,42
	5	19,15	37,500	26,92	19,24	36,900	26,43
	10	18,43	37,799	27,32	18,91	36,939	26,54
	20	16,35	37,839	27,86	17,57	37,875	27,60
	30	15,88	37,970	28,08	14,50	38,123	28,50
	45				12,16	38,119	28,99
	50	12,50	37,918	28,76			

Nešto drugačije rezultate postigla su obavljena mjerenja u lipnju, 1989. Takva razlika bila je očekivana, budući da se ranije predstavilo *srednjake* vrijednosti parametara temperature, slanosti i gustoće morske vode, podatke dobivene iz klimatoloških izvora. U području Paškog zaljeva i Velebitskog kanala obavilo se dvokratna mjerenja u razmaku 14 dana na postajama ASS-2 i ASS-2 (sl. 1.). Rezultati pokazuju sve značenje potrebe analiza jer su razlike u vrijednostima termohalinskih jedinica u tako malom vremenskom pomaku znatne.

Vrlo zanimljivo stanje u termohalinskoj strukturi vodenog stupca ustanovilo se u dva lipanjska mjerenja, 1989. na postaji ASS-2 (sl. 1. i sl. 7.). Termalne krivulje imaju prilično ujednačene tijekove vrijednosti od oko 10m dubine do dna. Međutim, površinske im se vrijednosti razlikuju za  $2,18^{\circ}\text{C}$  (tab. 3.).



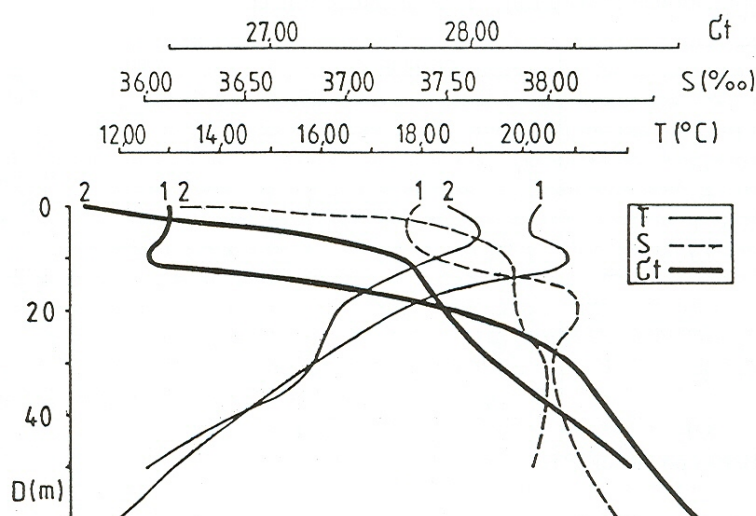
Sl. 7 Vertikalni raspored temperature, slanosti i gustoće na postaji ASS-2 (Paški zaljev; oznakom 1 obilježene su termohalinske vrijednosti iz mjerenja 11.6.1989., a oznakom 2 od 25.6.1989.)

Fig. 7 Vertical distribution of temperature, salinity and density on the ASS-2 station (Pag Bay); number 1: termohaline values of the measures in 11.6 1989, number 2: in 25. 6 1989.

Uzrok tako velikoj termalnoj razlici je hidrološki čimbenik, dakle, dotok velikih količina hladnije slatke vode iz Zrmanje, osobito od 1. do 2. mjernog roka (termina). To potvrđuje i raspored halinskih vrijednosti u površinskom sloju, čak 20m debelom (sl. 7.). Naime, u 2. lipanjskom mjerenju površinska slanost smanjila se za čak 0,887. Budući da se radi o debelom površinskom sloju, isključuje se oborina kao mogući utjecajni čimbenik. Tek od oko 25 m dubine do dna halinske su vrijednosti približne kao i termalne tj. vlada stanovita termohalinska ravnoteža.

SIGMA-t krivulja vjerno prati T-S vrijednosti i pokazuje da u vodenom stupcu vlada visok stupanj statične stabilnosti. U sloju od 10 m do oko 30 m dubine intenzivna je pynoklina. U drugom mjerenju zabilježilo se slabu termalnu inverziju, a u prvom halinsku. U 2. mjerenju haloklina je intenzivnija i na većoj je dubini (od 10 do 20m) glede 1. mjerenja (sl. 7.). Tipičan termoklini oblik u ovom razdoblju još ne nalazimo.

Obadva lipanjska mjerenja (sl. 8., tab. 3.) na postaji ASS-1 pokazuju približne temperature u vodenom stupcu od oko 30 m dubine do dna. Kao i na postaji ASS-2 površinske su temperature niže u 2. mjerenju glede prvog, ali je razlika nešto manja već na ASS-2. Razlika površinskih halinskih vrijednosti u dva mjerenja na ASS-1 veća je glede ASS-2, 1,184 (tab. 3.). Međutim, na ovoj postaji halinske krivulje do dna pokazuju znatnu razliku, osim u dubinama na kojima se presijecaju/dodiruju (3, 14 i 32m, sl. 8.).



Sl. 8 Vertikalni raspored temperature, slanosti i gustoće na postaji ASS-1 (Velebitski kanal; oznakom 1 obilježene su termohalinske vrijednosti iz mjerenja 11.6.1989., a oznakom 2 od 25.6.1989.)

Fig. 7 Vertikal distribution of temperature, salinity and density on the ASS-1 station (Velebit Channel); number 1: termohaline values of the measures in 11.6 1989, number 2: in 25. 6 1989.

U drugom mjerenju zabilježilo se vrlo jaku površinsku haloklinu (hidrološki utjecaj), raspored slanosti je poglavito pravilan. U 1. mjerenju ustanovilo se slabi ispodpovršinski minimum slanosti na oko 5 m dubine, pa još jedan na oko 35 m dubine. Dakle, u cijelom vodenom stupcu vladaju halinski poremećaji.

Halinske i termalne površinske inverzije na ASS-1 u prvom mjerenju uvjetovale su i SIGMA-t inverziju u površinskom sloju, debelom oko 10 m. Od oko 10 do 30 m dubine intenzivna je piknoklina i znatnije povećanje gustoće do dna. U drugom je mjerenju piknoklina površinska zbog velikog oslađenja. U vodenom stupcu vlada vrlo visok stupanj statične stabilnosti.

Značajan podatak, npr. u hidrograđevnom projektiranju mogu biti srednje vrijednosti površinske i pridnene temperature i slanosti (tab. 4.). Iz izračunanih srednjih mjesečnih vrijednosti ovih parametara, proizlazi da je najniža površinska temperatura u veljači, 9,40°C, a najveća u srpnju (21,22°C). Najniža pridnena temperatura je u lipnju (9,20°C), a najviša u prosincu, 14,14°. Najniža površinska slanost je u prosincu (34,940 promila), a najviša u rujnu (37,630 promila). Najniža pridnena slanost je u kolovozu, 37,570 promila, a najviša (38,540), u veljači.

Tab. 4 Srednje mjesečne površinske i pridnene vrijednosti temperature (°C) i slanosti u području Paškog zaljeva i Velebitskog kanala

Mjesec	Temperatura		Slanost	
	Površ.	Dno	Površ.	Dno
I				
II	9,40	10,72	36,680	38,540
III	11,81	10,50	36,910	38,060
IV	13,60	11,40		37,830
V	16,05	11,27	35,400	37,910
VI	19,71	9,20	37,050	38,210
VII	21,22	9,27	36,770	37,970
VIII	22,54	11,26	37,090	37,570
IX	19,99	12,72	37,630	37,900
X				
XI	14,36	12,46	36,230	37,900
XII	13,11	14,14	34,940	37,680

Izvor: Banka podataka DHI

Predstavljeno stanje potvrđuje teoretskog predviđanja termohalinske strukture morske vode u stupcu i općih termohalinskih odnosa. Izuzetak su krajnje (ekstremne) vrijednosti, izazvane vanjskim (klimatskohidrološkim) i unutarnjim (maritimnim) utjecajima. Prikazano stanje uklapa se u sustav uobičajenog termohalinskog dinamičnog ritma.

### Zaključak

Unatoč povezanosti s Virskim morem, konfiguracija obale i južnog dijela otoka Paga ne omogućuju intenzivniji optok (cirkulaciju) vodenih masa, pa stoga Velebitski kanal djeluje kao zaljev. Za to se područje, zbog malog broja sinoptičkih podataka, u analizama se koristilo i klimatološke. Klimatološki podaci govore da je najviša izmjerena površinska temperatura 23,10°C (srpnja 1963.). U usporedbi s drugim dijelovima hrvatskog Jadrana i otvorenim morem, to je vrlo niska vrijednost. Uzrok je ljetni dotok hladnije slatke vode i brojni podmorski izvori (vrulje). Također iznenađuje i podatak o najvišoj izmjerenoj slanosti (38,600 promila u veljači 1914.) stoga jer istraživano područje nije pod utjecajem otvorenoga mora, pa na njega ne može utjecati moguća ingresija. Osim toga, ne zna se je li te godine ingresija u Jadranu uopće nastupila. Zna se da je nastupila godinu dana ranije, 1913. (M. Buljan - M. Zore-Armanda, 1971.). Jedino objašnjenje može biti u krajnje oskudnom slatkovodnom dotoku.

Na temelju podataka o srednjim termalnim vrijednostima može se utvrditi postojanje stalne pozitivne površinske termokline u veljači. Razlog većem površinskom ohlađenju morske vode klimatskog je značenja (hladni vjetrovi iz sjevernih kvadranta). Zanimljivo je da se statična stabilnost vodenog stupca ipak nije poremetila, jer prevladavajući utjecaj je halinski. Vjerojatno je obilnija oborina više osladila površinsku

vodu.

Proljeće je prijelazno razdoblje iz stabilnog zimskog u stabilno ljetno. Zamjećuju se netipična stanja i poremećaji u rasporedima sva tri termohalinska parametra, npr. u samom pridnenom sloju vlada slaba vertikalna inverzija vrijednosti. U kolovozu se bilježi površinska haloklina. To je netipično ljetno stanje, jer se u normalnim okolnostima haloklina trebala spustiti u neku dubinu. Nije jasno koji je izvor tako jako osladio površinski sloj, budući da se u ljetnom razdoblju slatkovodni dotok znatno smanjuje, kao i oborina. Još je ustanovljeno i gotovo redovito pojavljivanje ispodpovršinskog minimuma slanosti (Z. Bićanić, 1998.) u vertikalnom rasporedu. To je također netipično stanje i predstavlja svojevrzni fenomen. U pridnenom se sloju slanost znatno smanjuje, a uzrok je dotok slatke i znatno hladnije riječne vode. Unatoč činjenici da je slatka, ova je voda specifično teža od morske zbog znatno niže temperature.

U zimskom razdoblju (studeni) bilježe se termalna i halinska inverzija. Ovi poremećaji uzrokovani su jesenskom dinamikom vodenih masa i predznak su zimske homogenizacije vodenog stupca.

Rezultati dvaju mjerenja u lipnju 1989. pokazuju velike razlike u vrijednostima termohalinskih jedinica, osobito u površinskom sloju oko 20m debelom. Tako termalne i halinske vrijednosti na obadvije mjerne postaje (ASS-2 i ASS-1) u prvom, imaju više vrijednosti glede mjerenja u drugom roku. Očigledno je da je u vremenskom razdoblju između mjerenja nastupio osobito jak utjecaj slatkovodnih dotoka. U pridnenom sloju su vrijednosti parametara manje različite i pokazuju da u vodenom stupcu još vlada visok stupanj statične stabilnosti.

## LITERATURA

- BIĆANIĆ, Z. (1998): Ispodpovršinski minimum slanosti (sudjelovanje u procesu stvaranja duboke jadranske vode), Hrvatski geografski glasnik, HGD, (u pripremi za tisak), Zagreb.
- BULJAN, M. - Zore-Armanda, M. (1971): Osnovi oceanografije i pomorske meteorologije, Institut za oceanografiju i ribarstvo, 142-144, Split.

## IZVORI

- Banka podataka, Državni hidrografski institut, Split.
- Elaborat istraživačkih radova Paškog zaljeva, Hidrografski institut, 1989., Split.
- Međunarodna karta, INT 3410, *Rijeka - Venezia*, 1 : 250 000, Novo izdanje 1. 1. 1994., Državni hidrografski institut, Split.

**SUMMARY**

Zlatimir Bićanić: Termohaline characteristics of the sea water in the Bay of Pag and Velebitski kanal channel

Termohaline characteristics of the sea water in the Bay of Pag and Velebitski kanal channel are similar. Therefore, as far as oceanographic measurements are concerned, these two areas are researched systematically as a whole. Both areas are equally subject to the maritime influences from the open sea, as well as hydrological and continental climatic factors.

Analysis of annual courses of mean monthly and extreme values of the sea water temperature, salinity and density (climatological data) shows great annual oscillations of the values of all parameters, except mean and maximum salinity values (Fig. 2.). Particular great oscillations are noticed in the minimum salinity (hydrological influence, or inflows of great quantities of fresh water by the river Zrmanja). Annual oscillations of temperature and typical of this area, except the minimum values, because secondary minimum is recorded in July.

Vertical distributions of mean monthly values of termohaline parameters in all seasons show chronological development of the process of summer stratification and winter homogeneization of the water column. Due to a characteristic geographic position of this area, geomorphology, and a strong hydrological and continental climatic influence, a number of disturbances in the parameter distribution are recorded in spring and autumn. There occurs a phenomenon of subsurface minimum of salinity and vertical inversion of values.

On the basis of synoptic data (two measurements in June 1989), a worthy analysis of the vertical distribution of termohaline values was made at one station in the Bay of Pag and one in the exterior part of the passage of Paška vrata. Great differences between the values obtained from the two measurements were discovered, in spite of a time interval of just 14 days. Particularly great differences were recorded in the surface layer, which is comparatively thick.