

A C T A A D R I A T I C A

INSTITUT ZA OCEANOGRFIJU I RIBARSTVO — SPLIT
SFR JUGOSLAVIJA

Vol. X No. 3a

TIPOVI VODE U JADRANU

MIRA ZORE-ARMANDA

S P L I T 1 9 6 4

TIPOVI VODE U JADRANU

Mira Zore-Armanda
*Institut za oceanografiju i ribarstvo,
Split*

UVOD

U oceanografiji se pod tipom vode podrazumijeva homogen volumen vode karakteriziran određenim odnosom fizičko-kemijskih svojstava. Pri tome se prvenstveno misli na temperaturu i salinitet, a zatim na sadržaj kisika i sl. Neko more promatramo kao da je sastavljeno od različitih tipova vode. U prirodi se rijetko susreću mase vode sasvim homogenih svojstava. Neki tip vode može stoga biti definiran i određenim odnosom temperature i saliniteta. Za određivanje tipova vode kao najprikladnija upotrebljava se metoda pomoću koje se direktno grafički odredi odnos između temperature i saliniteta. To je metoda T-S dijagrama koja se u oceanografiji smatra jednom od najkorisnijih metoda analize podataka.

Na dijagramu se temperatura unese na apscisu, a salinitet na ordinatu. Pri tom se, s obzirom na stvarne odnose u moru, kao najpogodnije uzima da budu jednaki intervali za 1°C i $0,1\text{‰}$ saliniteta.

Podaci za svaku postaju unesu se na dijagram i spoje krivuljom, a uz točke na dijagramu se unesu odgovarajuće dubine. Zbog bolje usporedbe i jasnije preglednosti, na isti T-S dijagram često se ucrtta više T-S krivulja za različita razdoblja na istoj postaji, ili za isto razdoblje na različitim postajama.

Drugi način crtanja T-S dijagrama je unosenje svih raspoloživih podataka za neko veće područje. Prednost takvog dijagrama je dobijanje uvida u karakteristike vode cijelog područja i njihove opće promjene u različitim sezonama. Na takvim dijagramima se ne vidi raspored svojstava u odnosu na dubinu.

Homogen tip vode na T-S dijagram je prikazan tačkom. To se obično misli tačkom u širem smislu, tj. krugom. Koliki se interval u praksi uzme za prikazivanje određenog tipa vode, ovisi o karakteru istraživanog mora. U području s općenito manjim promjenama karakteristika taj će interval biti manji.

Dva različita tipa vode na dijagramu su prikazana s dvije tačke. Međutim, ako su ta dva tipa vode u međusobnom kontaktu i ako nastupi miješanje, izmiješana voda će poprimiti takve karakteristike, koje će na dijagramu pasti negdje na spojnicu između tačaka, koje označuju dva prvotna tipa vode. Kojoj će se od dvije prvotne tačke na dijagramu približiti tačka rezultatnog tipa vode, ovisi o procentualnom učešću volumena dotičnog tipa vode.

U prirodi se dva volumena vode, koji odgovaraju različitim tipovima, nikada idealno ne izmiješaju da bi na cijelom prostoru bili prikazani tačkom na T-S dijagramu. Karakteristike potpuno izmiješane vode poprime na kontaktnoj površini. Što se više udaljujemo od te površine, prvotni tipovi vode u sve većoj mjeri zadržavaju svoje karakteristike. Tako su dva izmiješana tipa vode na T-S dijagramu prikazana ravnom crtom. Na sličan način parabolična T-S krivulja ukazuje da je voda, koju prikazuje, formirana od izvorno tri tipa vode.

Sva voda dobiva svoje prvotne karakteristike na površini u kontaktu s atmosferom koja, zbog izmjene topline s morem, ima određenu ulogu na stvaranje karakteristika. Nadalje tu djeluje grijanje vode zbog apsorpcije sunčeva zračenja, te hlađenje emitiranjem zračenja, evaporacijom itd. Ove primarno stečene karakteristike vode se mijenjaju miješanjem vode. Pri tom miješanje može biti lateralno ili vertikalno. Ako je lateralno, odvija se uzduž σ_t površina; ako je vertikalno, odvija se uz presijecanje σ_t ploha. Do danas još nije općenito riješeno koji je od ovih procesa važniji za stvaranje određenih tipova vode.

Poznato je da u našim širinama zimi dolazi do znatnog konvekcijskog strujanja zbog hlađenja gornjih slojeva vode u moru. U zatvorenim morima, kakav je npr. Jadran, takvo miješanje se zimi odvija od površine do dna i djeluje kao najznačajniji faktor za stvaranje određenih tipova vode kao i pridnene vode uopće. U oceanima se u umjerenim širinama pridnena voda obnavlja advekcijom iz polarnih područja, međutim, zbog njene znatno veće gustoće ne može doći do konvektivnog miješanja do dna.

Kod razmatranja cijelog problema, važno je uočiti i upliv advekcije koja periodički, ili trajno donosi vodu različitog porijekla u određeno područje, pa prema tome djeluje i na lateralno i na vertikalno miješanje vode.

S obzirom da na stvaranje tipova vode djeluje vrlo mnogo faktora, danas još nije moguće među njima odrediti stvaran kvantitativni odnos. Kvalitativna istraživanja, a djelomično i kvantitativna vrše se pomoću T-S dijagrama koji se analiziraju na više načina.

Prvenstveno se iz skupnih T-S dijagrama za neko područje nađu tipovi koji se pojavljuju u tom području. Iz pojedinačnih T-S krivulja se zatim odredi u kojim se dubinama i sezonama ti tipovi vode pojavljuju. Kada je to ustanovljeno, mogu se izračunati srednje vrijednosti temperature i saliniteta u području rasprostranjenosti dotičnog tipa vode i tako odrediti njegove karakteristike.

Iz T-S dijagrama se nadalje odredi područje rasprostranjenosti određenih tipova vode, što daje mogućnost zaključivanja o strujanju na raznim dubinama. Pritom je od interesa metoda koju je u oceanografiji uveo Wüst pod imenom »metoda jezgre«. Sloj vode označen kao »jezgra« predstavlja sloj koji u vertikalnoj stratifikaciji ima najvišu temperaturu, ili salinitet, ili oboje. Ako se razmatraju takva dva basena vode, gdje se u jednom pojavljuje trajno viši salinitet ili temperatura vode nego u drugom, prilikom izmjene vode između ta dva basena, voda s ekstremno visokim vrijednostima u basenu općenito nižih vrijednosti karakteristika označavat će vodu porijeklom iz susjednog basena. Tako u vezi izmjene vode višeg saliniteta iz Mediterana i vode nižeg saliniteta iz Atlantika, sloj maksimalnog saliniteta u Atlantiku označuje dokle dopire mediteranska voda u Atlantik. Svakako, salinitet sloja maksimalnih vrijednosti smanjuje se udaljavanjem od izvornog područja zbog djelovanja procesa miješanja.

Slično razmatranje je poslužilo Jacobsenu (1927) i kasnije Stockmanu (1946) za određivanje koeficijenta miješanja u slučaju vertikalne stratifikacije u tri sloja vode različite temperature i saliniteta. Tri tipa vode su prije početka miješanja na dijagramu prikazana s tri tačke. U toku procesa miješanja voda postepeno gubi svoje prvotne karakteristike, pa se na dijagramu tri tačke spoje krivuljom. U daljem razvoju se postepeno gubi ta zakrivljenost, a potpuno izmiješana voda bi opet bila prikazana jednom tačkom. Problem se može posta-

viti tako da se razmatraju tri tipa vode koji se na određenom mjestu miješaju tokom vremena, a da iz izvornih područja ne pridolazi nova voda, ili da se prati prostorna rasprostranjenost jednog tipa vode. Ako se promatraju promjene u jednom području u vremenskom slijedu, polazi se od jednadžbi

$$\frac{\partial \vartheta}{\partial t} = K \frac{\partial \vartheta}{\partial z^2}; \quad \frac{\partial s}{\partial t} = K \frac{\partial^2 s}{\partial z^2}$$

gdje je ϑ temperatura, s salinitet, a K koeficijent turbulentne kondukcije, odnosno difuzije.

Promatra se samo vertikalna difuzija, odnosno kondukcija uz pretpostavku da su koeficijent difuzije i kondukcije jednaki. Voda intermedijarnog tipa je ograničena površinskom i dubinskom vodom koje se neograničeno rasprostiru prema gore, odnosno prema dolje. Integriranjem jednadžbi uz početne vrijednosti temperature očitane na T-S dijagramu, tj. Θ_1 , Θ_2 i Θ_3 dobiju se jednadžbe tipa

$$\vartheta = \frac{1}{2} \left[\Theta_1 + \Theta_3 + (\Theta_1 - \Theta_2) \varphi \left(\frac{z-h}{2\sqrt{Kt}} \right) + (\Theta_2 - \Theta_3) \varphi \left(\frac{z+h}{2\sqrt{Kt}} \right) \right]$$

gdje je

$$\varphi(x) = \frac{2}{\pi} \int_0^x e^{-\eta^2} d\eta$$

Promatrajmo dvije krivulje dobivene u različito vrijeme. Ako se na prvu povuče tangenta na mjestu gdje siječe težišnicu trokuta miješanja, ona siječe prvu krivulju u dvije tačke, koje imaju istu vrijednost (protivnog predznaka) parametra dubine z u odnosu na centralnu tačku. Temperatura i salinitet se izraze prvim članovima Taylorovog reda, npr.

$$\vartheta_A = \vartheta_0 - \frac{\Delta z}{2} \left(\frac{d\vartheta}{dz} \right)_0 + \frac{(\Delta z)^2}{8} \left(\frac{d^2\vartheta}{dz^2} \right)_0$$

Jednadžba tangente, koja siječe prvu krivulju u dvije tačke koje imaju istu vrijednost parametra z u odnosu na centralnu tačku, glasi:

$$\vartheta_A - \vartheta_B = \left(\frac{d\vartheta}{dz} \right)_0 (s_A - s_B)_1$$

gdje su A i B tačke kroz koje prolazi tangenta. Nagib tangente izražen je formulom:

$$\frac{d\vartheta}{ds} = \frac{\frac{d\vartheta}{dz}}{\frac{ds}{dz}}$$

Ova se jednadžba diferencira po z i unese u jednadžbu tangente isto kao i jednadžba turbulentne difuzije, te se uredi i dobije formula za računanje koeficijenta turbulentne difuzije iz T-S dijagrama:

$$K = \frac{(\Delta z)^2}{8 \Delta t}$$

Na T-S dijagramu se može pomoću tzv. dijagrama miješanja prikazati i procenat učešća tri određena tipa vode koji se pojavljuju u nekom području.

TIPOVI VODE U JADRANU

Kod određivanja karakteristika vode u Jadranu (Zore, 1963) pokazalo se zgodnim podijeliti područje Jadrana u tri dijela: sjeverni, srednji i južni (Sl. 1). Sjeverni dio od južnog je odijeljen linijom Ancona — Zadar, a srednji od južnog podmorskim pragom kod otoka Palagruže, odnosno linijom Split — Monte Gargano. U sva tri područja određena su ukupno četiri tipa vode koja se tu pojavljuju. To su S tip vode s karakteristikama $T = 11^{\circ}\text{C}$, $S = 38,5\text{‰}$ i $\sigma_t = 29,52$, M tip s karakteristikama $T = 12^{\circ}\text{C}$, $S = 38,2\text{‰}$ i $\sigma_t = 29,09$, J tip s karakteristikama $T = 13^{\circ}\text{C}$, $S = 38,6\text{‰}$ i $\sigma_t = 29,20$ i A tip s karakteristikama $T = 14^{\circ}\text{C}$, $S = 38,7\text{‰}$ i $\sigma_t = 29,06$. Od ta četiri tipa vode tri su porijeklom iz Jadrana, a četvrti je mediteranski. Sva tri jadranska tipa vode stvaraju se u zimskom razdoblju, i to u svakom dijelu Jadrana po jedan. Razmotrit ćemo detaljnije uslovi pod kojima dolazi do stvaranja tri tipa vode. Ovdje je najprije potrebno iznijeti neke dinamičke osobine jadranske vode. M. Buljan (1953) je u proučavanju saliniteta i temperature vode otvorenog Jadrana ustanovio višegodišnje fluktuacije saliniteta i temperature. Postoje razdoblja s prosječno višim salinitetom i temperaturom morske vode i razdoblja s nižim salinitetom i temperaturom. Također je iznio mišljenje da su te fluktuacije u vezi s nejednakim prilivom slanije mediteranske vode u Jadran, odnosno s tzv. ingresijama te vode.

Prilikom računanja površinskih gradijentnih struja (Zore, 1956) uočene su odgovarajuće fluktuacije u sistemu strujanja. Osim toga su nađene i sezone fluktuacije. Općenito je površinsko strujanje na Jadranu ciklonalno. Međutim, ljeti je uočena naglašenija tendencija izlaženja vode iz Jadrana, a zimi tendencija ulaženja vode u Jadran uz istočnu obalu, kako se to vidi iz dinamičkih topografija za površinu mora (Sl. 26 i 27). Pri tom postoje godine s jače i slabije izraženom tendencijom ulaženja, odnosno izlaženja vode iz Jadrana. To je u vezi s reljefom topografije. Ako se zimi u sjevernom Jadranu pojavi niži minimum dinamičkih dubina, i ulazna struja je bolje izražena, a ako se ljeti pojavi u sjevernom Jadranu viši maksimum dinamičkih dubina, i izlazna tendencija strujanja u površinskom sloju je jače izražena. Minimum dinamičkih dubina zimi i maksimum ljeti je ovisan o gustoći vode, odnosno o karakteristikama vode u sjevernom Jadranu. Prema tome je već prilikom studija gradijentnih struja bila uočena povezanost između karakteristika vode i sistema strujanja u Jadranu.

S tip vode ima svoje izvorno područje zimi u sjevernom Jadranu. Tu se svake zime pojavljuje voda drugih karakteristika (Sl. 3), a da se pri tom ne uočava međusobna povezanost u promjenama temperature i saliniteta. To znači da npr. povećani salinitet na T-S dijagramu nije povezan s povećanom temperaturom, pa se promjene tih dviju karakteristika u slijedu godina nezavisno mijenjaju. Zbog toga je za karakteriziranje vode u pojedinim godinama uzeta srednja vrijednost za σ_t . Kao višegodišnja srednja, odnosno granična vrijednost uzeta je $\sigma_t = 29,3$. Voda s većom gustoćom od gornje se pojavljuje u godinama kada je otvoreni Jadran karakteriziran višim salinitetom vode. Voda sa $\sigma > 29,3$ a ujedno s najvišim salinitetom predstavlja S vodu.

Studirane su okolnosti pod kojima se zimi u sjevernom Jadranu pojavljuje voda sa σ_t većim, odnosno manjim od 29,3. Uspoređene su srednje vrijednosti temperature zraka i mora za četiri uzastopne zime (1911—1914) kao i količine oborina i srednji salinitet. Nađeno je da se uz višu temperaturu zraka pojavljuje viša srednja temperatura mora. Ovaj odnos je mnogo bolje izražen u godinama karakteriziranim vodom sa $\sigma_t < 29,3$. Slično se tih godina vidi veći upliv oborina na salinitet. Ipak taj odnos nije toliko izražen, a vjerojatno je salinitet pod znatnijim uplivom količine priliva slatke vode sjevernotalijanskih rijeka, za što se nisu mogli dobiti odgovarajući podaci. Općenito se može reći da je u sjevernom Jadranu u zimama, kada se pojavljuje voda sa $\sigma_t < 29,3$, uočen veći upliv vanmorskih faktora na stvaranje karakteristika vode. Iz T-S dijagrama je također vidljivo da ne postoji uočljiva korelacija između temperature i saliniteta u tim zimama (Sl. 3, godine 1911. i 1912). Ovo je vrlo značajno jer ukazuje na smanjeni upliv advekcije na karakteristike vode u tim zimama. Naime, očito je da će se pod djelovanjem vanmorskih faktora karakteristike vode međusobno nezavisno mijenjati, pa u uzastopnim zimama može npr. temperatura zraka poprimiti različite srednje vrijednosti pod uplivom različitog stupnja insolacije, a salinitet pod uplivom različite količine oborina. Međutim, u izmiješanoj vodi otvorenog mora postoji određen odnos između temperature i saliniteta. Prema tome, ako bi do stvaranja karakteristika došlo pod povećanim uplivom advekcije vode, one bi se istovremeno mijenjale u smislu određene korelacije između temperature i saliniteta vode koja advekcijom ulazi u dotični basen.

Sve okolnosti ukazuju da u sjevernom Jadranu, u godinama sa $\sigma_t < 29,3$, veći upliv na stvaranje vode imaju vanmorskih faktori, a zimi sa vodom sa $\sigma_t > 29,3$ veći upliv ima advekcija vode iz južnog Jadrana. Zbog toga se može kazati da se S voda stvara konvektivnim miješanjem zimi u sjevernom Jadranu u razdoblju povećane advekcije vode. To je i uzrok da je salinitet te vode relativno visok u odnosu na srednji salinitet sjevernojadranske vode. Također značajna karakteristika S vode je njezina relativno vrlo visoka gustoća (29,52), pa od svih definiranih tipova vode u Jadranu ima najveću gustoću, što je važan podatak za razumijevanje kretanja te vode.

Prostorno se S voda stvara na istočnoj strani sjevernog Jadrana (Sl. 4).

M voda ima izvorno područje u srednjem Jadranu. U tom području se također mijenjaju karakteristike vode u različitim godinama (Sl. 6—11). U zimama kada se u sjevernom Jadranu pojavljuje voda sa $\sigma_t > 29,3$, u srednjem Jadranu se pojavljuje voda višeg saliniteta i temperature. Voda nižeg srednjeg saliniteta od višegodišnje srednje vrijednosti definirana je kao M voda. Statistički su vrijednosti karakteristika dobivene kao srednje vrijednosti saliniteta i temperature za niz godina sa srednjim salinitetom ispod višegodišnjeg srednjaka.

U srednjem Jadranu nije nađen nikakav međusobni odnos između temperature mora i zraka, te saliniteta morske vode i količine oborina, te je izveden zaključak da je upliv vanmorskih faktora u srednjem Jadranu, općenito, manji nego u sjevernom Jadranu.

Višegodišnji srednjak saliniteta u srednjem Jadranu zimi je 38,4‰, a temperature 12,5° C, pa su to granične vrijednosti za određivanje aspekta jadranske vode u odnosu na salinitet.

Zima je pogodno godišnje doba za stvaranje veće mase vode homogenih karakteristika, odnosno određenog tipa vode zbog hlađenja na površini i konvektivnog miješanja. Da M voda dobiva svoje karakteristike zimi upravo hlađenjem sa površine i konvektivnim miješanjem, vidi se iz hoda karakteristika tokom godine na T-S dijagramu (Sl. 8).

J voda na sličan način kao M voda poprima svoje karakteristike u južnom Jadranu. Razlika je u tome što se J voda redovito svake zime pojavljuje u tom basenu (Sl. 16, 17).

U godinama karakteriziranim višim salinitetom jadranske vode zimi, u površinskom sloju srednjeg i južnog Jadrana, pojavljuje se još jedna voda višeg saliniteta i temperature. To je najslanija voda koja se pojavljuje u Jadranu, a nazvana je A voda.

Za razumijevanje kretanja i rasprostranjenosti pojedinih tipova vode, potrebno je razmotriti stratifikaciju vode u različitim sezonama. Zima i ljeta pokazuju se kao karakterističnije sezone, a područje Jabučke kotline u srednjem Jadranu kao najtipičnije.

Iz T-S dijagrama se u tom području zimi vide dva sloja vode (Sl. 6 i 7), od kojih površinski dopire otprilike do 150 m dubine. U pridnomom sloju, koji dopire do dna, trajno, u uzastopnim zimama, pojavljuje se voda istih karakteristika. To je upravo S voda, kojoj je izvorno područje određeno u sjevernom Jadranu. Prema tome je očito da se S voda zimi advekcijom spušta kao relativno teška voda u pridneni sloj Jabučke kotline. Budući da se S voda u sjevernom Jadranu ne pojavljuje svake godine, to se advekcija vode iz sjevernog u srednji Jadran također ne može odvijati svake godine. Jedan dokaz ove tvrdnje je srednje zasićenje kisikom u različitim godinama u pridnomom sloju Jabučke kotline. Naime, u moru se kisik nadoknađuje direktno u kontaktu s atmosferom, a u gornjim slojevima, gdje živi fitoplankton, također, i biološkim procesima. Međutim, u dubljim slojevima mora kisik se biološkim procesima jedino troši, a nadoknađuje se procesima miješanja, ili advekcijom iz područja bogatijih kisikom. Ako su procesi vertikalnog miješanja zbog stabilne stratifikacije smanjeni, stara voda, tj. takva koja duže vremena nije bila u kontaktu sa zrakom, imat će niže zasićenje kisikom. Srednje vrijednosti zasićenja kisikom su u pridnomom sloju Jabučke kotline u zimama kada se pojavljuje S voda mnogo više (96‰), nego u zimama kada se S voda ne nadoknađuje advekcijom iz sjevernog Jadrana i kada padne i ispod 70‰. Na taj način u zimama, kada se osjeća u sjevernom Jadranu veći upliv advekcije iz srednjeg Jadrana, u srednjem Jadranu u pridnomom sloju također postoji povećana advekcija vode iz sjevernog Jadrana. Prema tome u Jadranu zime s višim salinitetom vode možemo karakterizirati i kao zime s povećanom advekcijom vode. S voda se može trajno neizmješana održati u pridnomom sloju srednjeg Jadrana zbog svoje relativno velike gustoće, uslijed koje dolazi do stabilne stratifikacije i smanjenog vertikalnog miješanja.

U površinskom sloju srednjeg Jadrana u različitim zimama pojavljuje se voda drugih karakteristika. U razdoblju slabije advekcije M voda, a u razdoblju

povećane advekcije A voda. Kao slanija, A voda je očito porijeklom iz Mediterana. Geopotencijalne topografije za zimu (Sl. 26 i 27) ukazuju na tendenciju ulazanja vode iz Mediterana u površinskom sloju. Pri tom je ta tendencija mnogo jače izražena u godinama, kada se u sjevernom Jadranu pojavljuje teža voda sa $\sigma_t > 29,3$. Geopotencijalne topografije, prema tome, također potvrđuju da je, u godinama s općenito višim salinitetom vode u Jadranu, razmjena vode također znatno povećana.

Ljeti u srednjem Jadranu nalazimo tri sloja vode (Sl. 6, 7, 9, 11).

Površinski sloj je karakteriziran vodom, relativno visoke temperature i niskog saliniteta. Na dubini od približno 50 m vidimo vrlo veliki vertikalni gradijent temperature i saliniteta, koji se u razdoblju zagrijavanja pojavljuje svugdje u moru (piknoklina). Piknoklina je vrlo značajna jer, zbog velike stabilnosti, umanjuje prenos topline u donje slojeve. Ona odijeljuje gornji sloj zagrijane vode od dubljih slojeva te je izrazitija, što je zagrijavanje površinskog sloja veće. U površinskom sloju do termokline se ljeti odvija strujanje sa izlaznom tendencijom pretežno uz zapadnu obalu. Ljeti u sjevernom Jadranu dolazi do relativno vrlo znatnog zagrijavanja (Sl. 2 i 5) jer se tu radi o plitkom basenu zatvorenom unutar kopna. Osim toga u proljeće i ljeti se salinitet sjeverno-jadranske vode vrlo smanji zbog većeg priliva vode sjevernotalijanskih rijeka, zbog otapanja snijega u Alpama. Prema tome površinskim sistemom strujanja ljeti u cijelom površinskom sloju Jadrana se rasprostire voda relativno visoke temperature i nižeg saliniteta.

Intermedijarni sloj u dubini od 50 do 150 m (Sl. 14) je karakteriziran vodom višeg saliniteta. Ovdje se u godinama karakteriziranim općenito vodom višeg saliniteta pojavljuje A voda, a inače J voda. Očito je da voda u tom sloju dolazi advekcijom iz južnog Jadrana.

U pridnenom sloju ljeti kao i zimi se nalazi trajno prisutna teža i hladnija S voda.

Na sličan način mogli bismo razmotriti stratifikaciju vode u južnom Jadranu, a ta se stratifikacija malo razlikuje od one u srednjem Jadranu, jedino ljeti intermedijarni sloj dopire do dubine od približno 500 m (Sl. 15, 16, 17, 18, 21, 22 i 23).

Pomoću T-S dijagrama, na taj način je učinjen shematski raspored tipova vode u Jadranu zimi i ljeti u razdoblju višeg i nižeg saliniteta (Sl. 28, 29, 30 i 31).

S voda se formira zimi u sjevernom Jadranu u razdoblju višeg saliniteta vode i odavde struji u pridnenom sloju u srednji Jadran. U južnom Jadranu se ne pojavljuje, premda se iz nekih pojedinačnih podataka o salinitetu može zaključiti da postoji izvjesna advekcija te vode i u južni Jadran. S voda se trajno nalazi u pridnenom sloju srednjeg Jadrana.

M voda se formira u zimama nižeg saliniteta u površinskom sloju srednjeg Jadrana u uvjetima vrlo smanjene advekcije vode iz sjevernog i južnog Jadrana. Ova voda također ima neki upliv na stvaranje karakteristika južnojadranske vode, gdje se povremeno pojavljuje.

J voda se formira u zimama nižeg saliniteta u južnom Jadranu. Ona se trajno nalazi u pridnenom sloju južnojadranske kotline, a u ljetima nižeg saliniteta advekcijom se širi u intermedijarni sloj srednjeg Jadrana, a u zimama

s povećanom advekcijom vode u pridneni sloj Mediterana. Ovo strujanje južno-jadranske vode bogate kisikom, zbog nastajanja u uslovima snažnih konvektivnih strujanja, je vrlo značajno za obnavljanje pridnenog sloja mediteranske vode jer je južni Jadran jedno od glavnih izvornih područja mediteranske pridnene vode.

A voda je u stvari voda intermedijarnog sloja susjednog Jonskog mora. Ta voda dobiva svoje karakteristike na Levantu, gdje zbog vrlo snažnog isparavanja poprima vrlo visoke vrijednosti za salinitet (do 40‰) i tako predstavlja jednu od najslanijih voda svjetskog mora. Ova voda se na putu od Levanta do Jonskog mora spušta u intermedijarni sloj, a zbog miješanja sa slađom vodom salinitet joj je u Jonskom moru već nešto niži (Sl. 24).

U cijeloj dinamici i promjenama karakteristika vode je značajno da li će se A voda pojaviti u Jadranu ili ne. Zimi se ona, kada se pojavljuje, rasprostire u površinskom sloju srednjeg i južnog Jadrana. U tim godinama općenito strujanje ulazne struje površinskog sloja je brže. U pridnenom sloju se iz sjevernog u srednji i južni Jadran spušta S voda, a u Mediteran J voda (Sl. 29).

U zimama, kada se A voda ne pojavi u Jadranu, dolazi u uslovima smanjene advekcije vode do stvaranja M i J tipa vode u srednjem, odnosno južnom Jadranu, a u sjevernom Jadranu se stvara voda manje gustoće uz znatniji upliv vanmorskih faktora na stvaranje karakteristika (Sl. 28).

Ako se A voda pojavi u Jadranu ljeti, ona struji u intermedijarnom sloju do srednjeg Jadrana. U takvim ljetima površinsko strujanje je smanjeno, a u pridnenom sloju također se vide indicije za advekciju vode iz sjevernog u južni Jadran (Sl. 31).

U ljetima, kada se u Jadranu ne pojavljuje A voda, površinsko strujanje s izlaznom tendencijom je naglašenije, a također se u pridnenom sloju uočuje advekcija južno-jadranske vode u Mediteran (Sl. 30). Karakteristično je da su u takvim ljetima površinske temperature više, a pridnene niže, tj. da su amplitude vertikalnih promjena temperature veće (Sl. 5. i 16a).

Da bi se dobila slika o kvantitativnim razlikama u transportu vode u godinama kada se u Jadranu pojavljuje A voda i kada se ne pojavljuje, iz podataka o dinamičkim dubinama izračunat je transport vode u različitim slojevima, sezonama i godinama. U zimama s povećanom advekcijom vode transport vode iznosi čak 30 puta više nego u zimama kada se u Jadranu ne pojavljuje A voda. Teško je kazati koliko je taj omjer realan, ali sve ostale analize ukazuju da je u zimama, kada se u Jadranu ne pojavljuje A voda, advekcija vode općenito vrlo slaba.

Pojavljivanje A vode u Jadranu ljeti je u vezi s razvojem intermedijarnog sloja. On se pojavljuje u proljeće, a maksimalno je razvijen u jeseni, dok zimi nestaje. Može se shvatiti da je pojavljivanje intermedijarnog sloja u razdoblju zagrijavanja dinamička kompenzacija površinske izlazne struje. Strujanje u intermedijarnom sloju mogli bismo shvatiti i kao nastavak zimskog ulaznog strujanja u cijelom gornjem sloju. Ipak je intermedijarna struja ljeti mnogo izrazitija od zimske u istim dubinama.

U Otrantskim vratima je A voda trajno prisutna (Sl. 20—23). Međutim, ukoliko se pojavljuje u Jadranu, u Otrantskim vratima se nalazi u površinskom i intermedijarnom sloju, a ukoliko se ne pojavljuje u Jadranu, u Otrantskim

vratima je nalazimo u intermedijarnom i pridnenom sloju (Sl. 20—23). Iz toga zaključujemo da se u godinama zaslanjenog aspekta, tj. u godinama povećanog priliva A vode u Jadran, intermedijarni sloj slane vode u Jonskom moru digne. Ako se taj sloj u Jonskom moru digne, a to znači da se digne i u Otrantskim vratima, on zimi s obzirom na povećane gradijente saliniteta i temperature, tj. gustoće u horizontalnom smjeru, pospješuje zimsku ulaznu struju u Jadran. Ljeti bi dizanje intermedijarnog sloja u Otrantskim vratima sprečavalo da se razvije površinska ljetna struja iz Jadrana svojom obrnutom tendencijom strujanja. Tako bi sve pojave povezane sa dva aspekta jadranske vode bile u vezi sa spuštanjem i dizanjem intermedijarnog sloja slaniye vode u Jonskom moru.

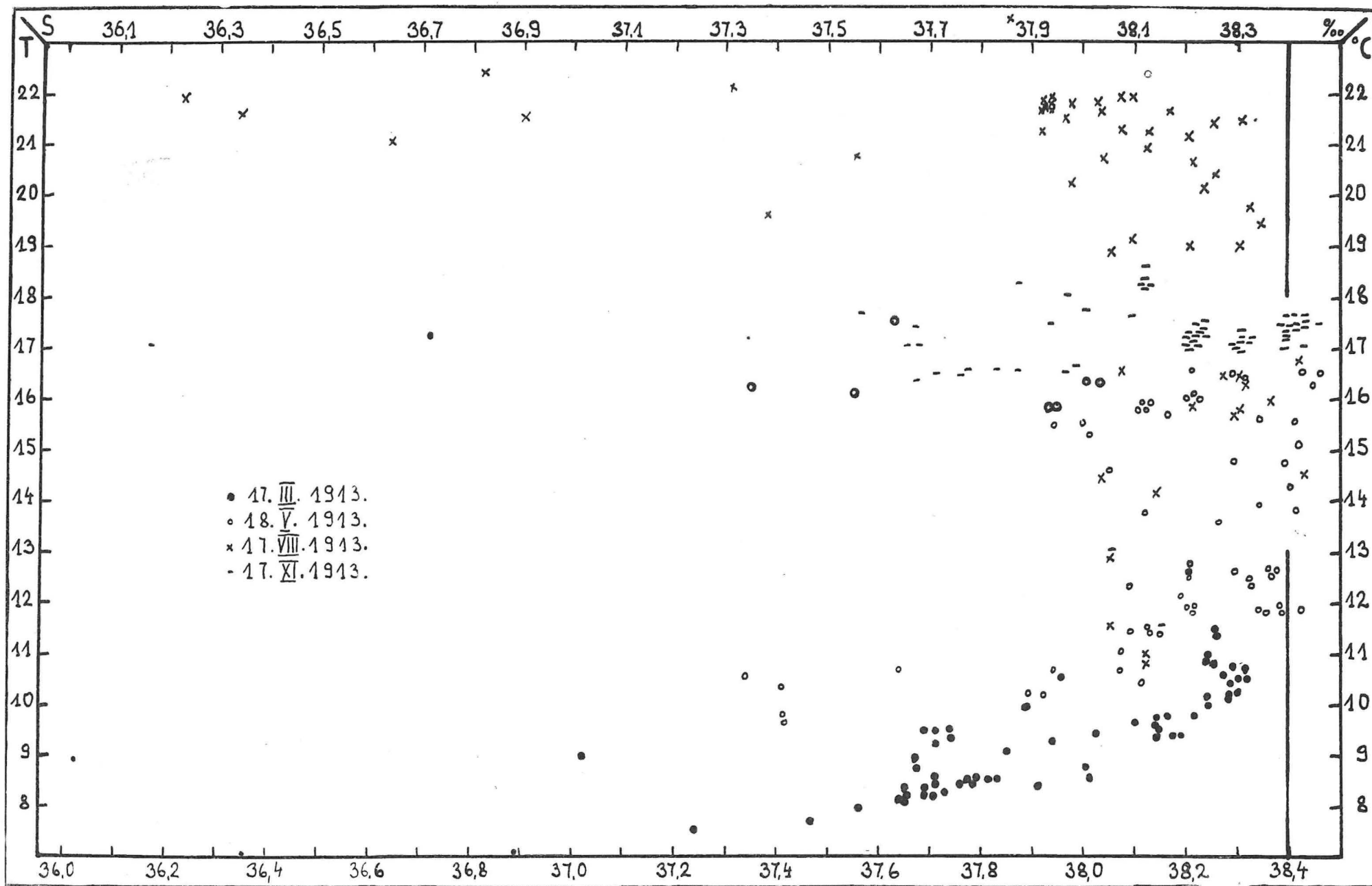
S obzirom da pojavljivanje A vode u Jadranu izaziva čitav niz promjena karakteristika vode, jer joj poveća salinitet, a zimi i temperaturu, dok ljeti smanji amplitude vertikalnih promjena temperature, te znatno djeluje na veličinu transporta vode, sigurno ima određeni upliv i na biološke karakteristike. Zbog svega toga je za jadransku oceanografiju vrlo važno znanje o tome da li se neke određene godine A voda pojavljuje u Jadranu ili ne. Iz tehničkih razloga nije moguće pratiti karakteristike vode svake sezone u cijelom Jadranu, nego se to trajno radi na jednom profilu, koji je najdostupniji. Zbog toga je važno utvrditi uolikoj mjeri postoji istovremenost nastupa određenih karakteristika u cijelom Jadranu. Za 4 transverzalna profila kroz sjeverni, srednji i južni Jadran uspoređene su srednje vrijednosti temperature i saliniteta zimi i amplituda temperature i saliniteta ljeti, pa je nađeno da se u srednjem i južnom Jadranu istovremeno pojavljuju temperatura i salinitet, odnosno amplitude temperature i salinitet viši, odnosno niži od dugogodišnjih srednjih, odnosno graničnih vrijednosti za dotične profile. Pri tom je granični salinitet u južnom Jadranu nešto viši nego u srednjem, gdje iznosi 38,4‰. Na putu od Otrantskih vrata do srednjeg Jadrana A voda zbog miješanja sa slalom površinskom i pridnenom vodom, prvenstveno ljeti, gubi postepeno svoje karakteristike. Za neke situacije Jacobsenovom metodom je izračunat koeficijent miješanja te iznosi oko 20 cgs jedinica u proljeće, a 1 cgs jedinicu ljeti (Sl. 14), kada se zbog stvaranja termokline i može očekivati smanjeno miješanje. Učešće pojedinog tipa vode na nekoj postaji ili području u Jadranu može se odrediti pomoću dijagrama miješanja (Sl. 25).

LITERATURA

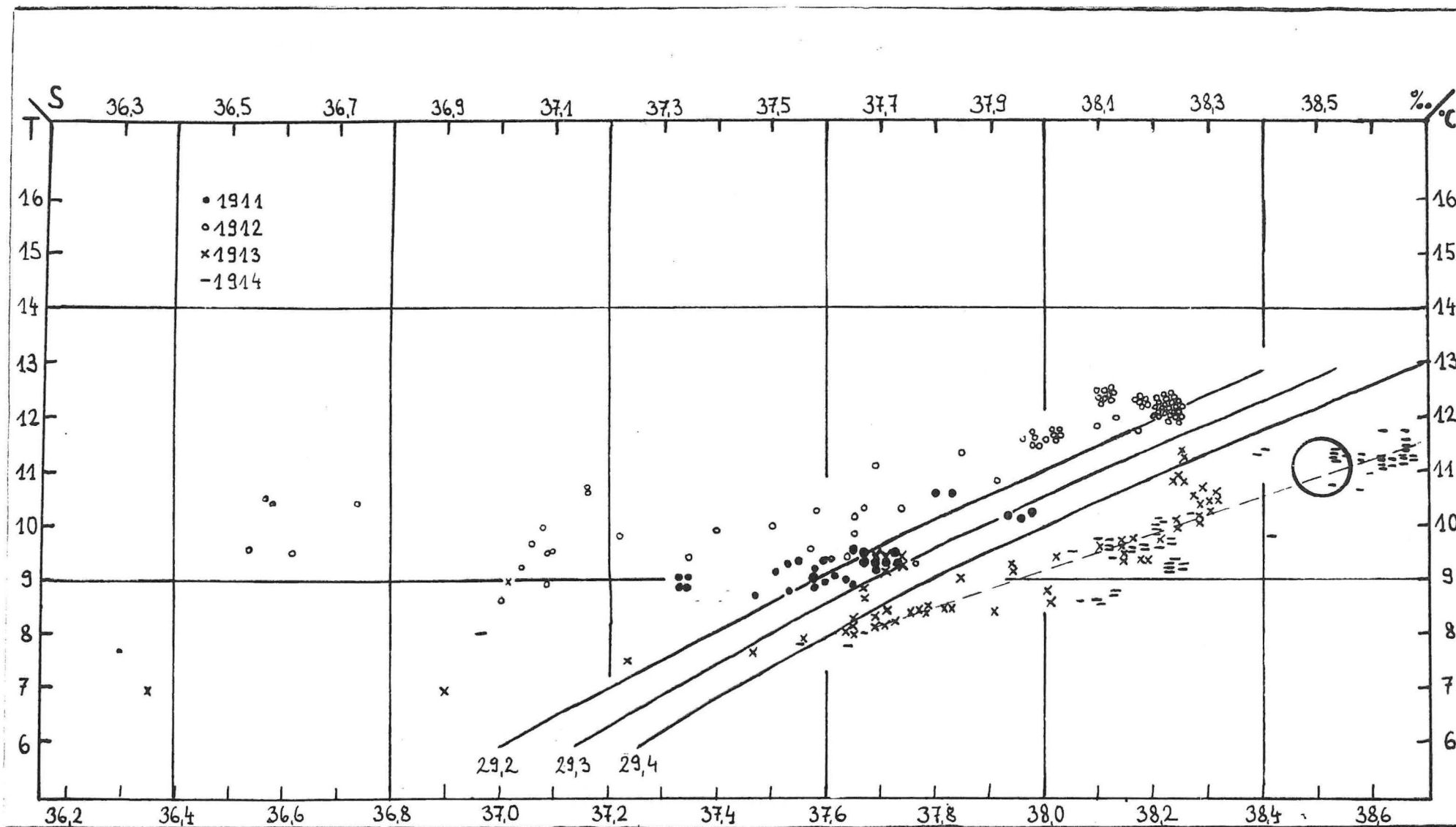
- Buljan M., 1952. — Some notes on the use of the term »thermocline«, *Acta Adriatica*, Vol. IV/10, Split.
- Buljan M., 1953. — Fluctuations of salinity in the Adriatic, *Rib.-biol. eksp. »Hvar«*, Izvešća - Reports Vol. II/3, Split.
- Buljan M., 1957. — Fluctuation of temperature in the waters of the open Adriatic, *Acta Adriatica*, Vol. VI/7, Split.
- Buljan M. & Marinković M., 1956. — Some data on hydrography of the Adriatic, *Acta Adriatica*, Vol. VII/12, Split.
- Buljan M. & Zore-Armanda M. — *Hidrografski podaci Jadrana* (manuscript).
- De Marchi L., 1911. — Risultati fisico-chimici delle prime cinque crociere adriatiche, *Memorie Comit. Talassogr. Ital.* No 3.
- Ercegović A., 1934. — Température, salinité, oxygène et phosphates dans les eaux côtières de l'Adriatique orientale moyenne, *Acta Adriatica*, Vol. I/5, Split.
- Ercegović A., 1940. — Weitere Untersuchungen über einige hydrographische Verhältnisse und über die Phytoplanktonproduktion in den Gewässern der Ostlichen Mitteladria, *Acta Adriatica*, Vol. II/3, Split.
- Feruglio G. e de Marchi L., 1920. — Le correnti dell'Adriatico secondo la distribuzione superficiale della salsedine et della temperatura (Appendice), *Memoria LV, R. Comit. Talass. Ital., Venezia*.
- Heland-Hansen B., 1930. — Physical oceanography and meteorology, *Micheal Sars North Atlantic Exp. Rept. Sci. Res. V. I.*
- Jacobsen J. P., 1927. — Eine grafische Methode zur Bestimmung des Vermischungs-koeffizienten in Meere, *Gerland Beiträge Geophysik*, V. 16.
- Jacobsen J. P., 1929. — Contribution to the Hydrography of the North Atlantic. The danish »DANA« exp., Copenhagen.
- Lacombe H. et Tchernia P., 1960. — Quelques traits généraux de l'hydrologie méditerranée d'après diverses campagnes hydrologiques récentes en Méditerranée, dans le proche Atlantique et dans le détroit de Gibraltar, *Cah. Océanog.* XII/3, Paris.
- Lacombe H. et Tchernia P., 1959. — Stations hydrologiques effectuées à bord de la »CALYPSO« en 1955 et 1956. *Cah. Océan. du C. O. E. C.*, Vol. XI No. 5 et 6.
- Nielsen J. N., 1912. — Hydrography of the Mediterranean and adjacent waters, *Rep. on the Dan. Oc. Exp.*, 1908—1910, Vol. I.
- Pollak M., 1951. — The deep water of the Mediterranean Sea, *Journ. Mar. Res.* Vol. X.
- Stockman W. B., 1946. — A theory of T-S curves as a method for studying the mixing of water in the sea, *Journ. Mar. Res.* Vol. VI/1.
- Sverdrup H. U., Johnson M. W. & Fleming R. H., 1942. — *The Oceans*, New York.
- Tchernia P., 1960. — Hydrologie d'hiver en Méditerranée occidentale. *Cah. Océan.* XII/3.
- Wolf J. & Luksch J., 1881. — *Physikalische Untersuchungen in adriatischen und sicilisch-jonischen Meere während des Sommers 1880 and Bord des Dampfers »HERTA«*, Beilage Mitt. Geb. Seewesens, Heft VIII und IX, Pola.
- Zore M., 1956. — On gradient currents in the Adriatic sea, *Acta Adriatica*, Vol. VI/7, Split.
- Zore M., 1960. — Preliminary results of direct current measurements in the Adriatic, *Rap. Proc. Verb. des Réunions C.I.E.S.M.N.* Vol. XV, Paris.
- Zore M., 1960. — Variations of the sea level along the eastern Adriatic coast and the system of gradient currents in the Adriatic, *Hidrografski godišnjak* 1959, Split.
- Zore-Armanda M., 1963. — Les masses d'eau de la Mer Adriatique, *Acta Adriatica*, Vol. 10/3, Split.

EKSPEDICIJE

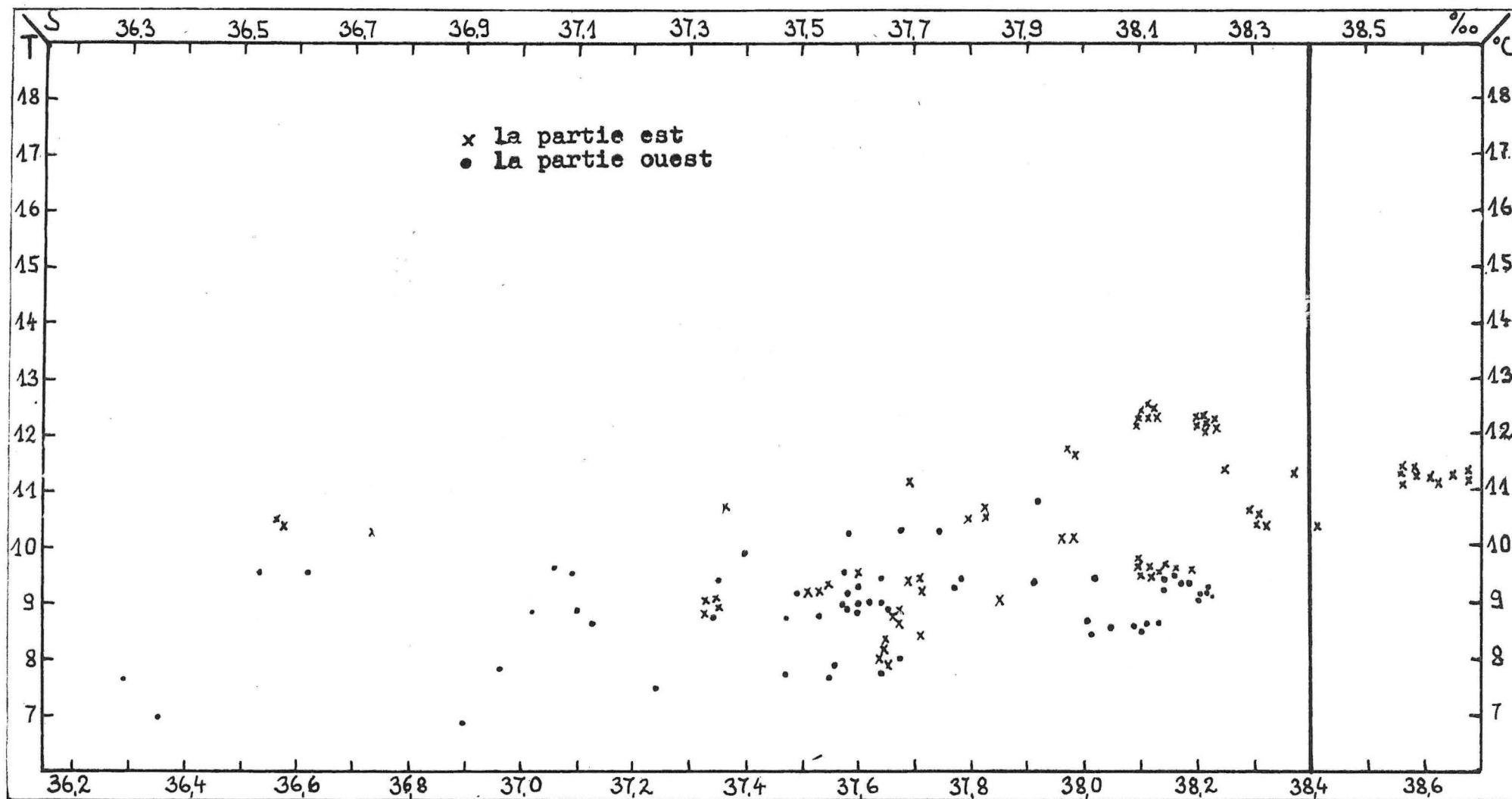
- »CICLOPE« 1911—1914. — Bollettino delle crociere periodiche, Fasc. I, II e III, Ricerche Ital. R. Comit. Talass. 1912, 1913, 1914.
- »DANA« 1937. — Hydrographical observations made during the »DANA« expeditions 1928—1930, Dana - Report No 12.
- IZVJEŠTAJ sa prvog, drugog, trećeg, četvrtog, petog i šestog oceanografskog krstarenja, Nacionalna komisija za MGG, Potkomisija za oceanografiju, Split 1957, 1958, 1959.
- JAHRBUCH der Met. Erdmagn. u. seism. Beobach., Veröff. d. Hydrogr. amter d. K. K. Kriegsmar. in Pola, Beobach. des Jahres 1911, 1912, 1913, 1914, Pola 1912, 1913, 1914, 1915.
- »NAJADE« 1911—1914. — Berichte über die Terminfahrten, Österreichischen Teitl, No 1—12, Perm. Int. Komm. Erforsch. Adria, 1912, 1913 und 1915.
- »THOR« 1908—1910. — Hydrographical Observations, Report on the Danish Oceanographical Expeditions, Vol. I. 1912.



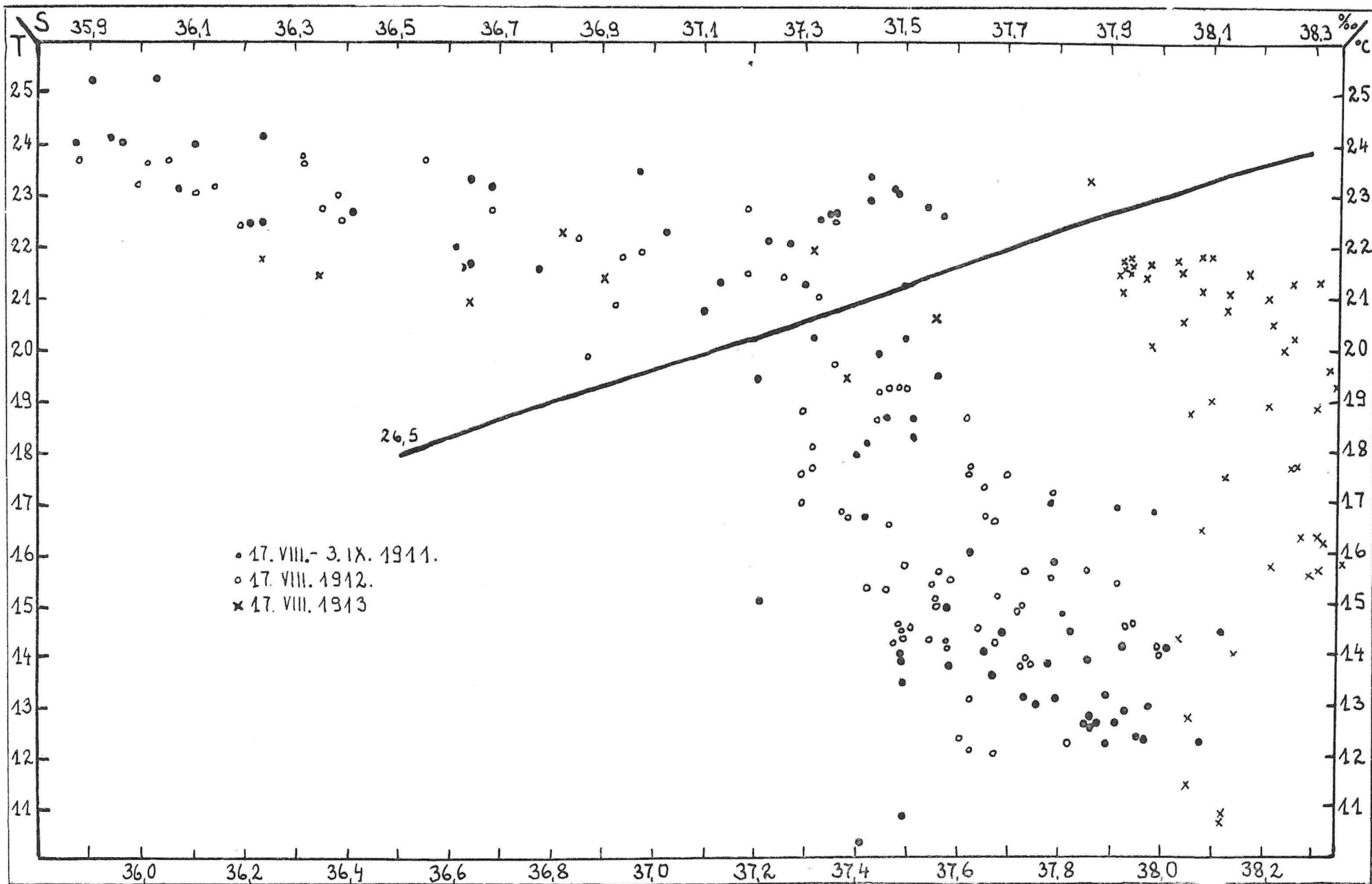
Sl. 2. T-S dijagram za drugi profil za sve sezone 1913. godine.



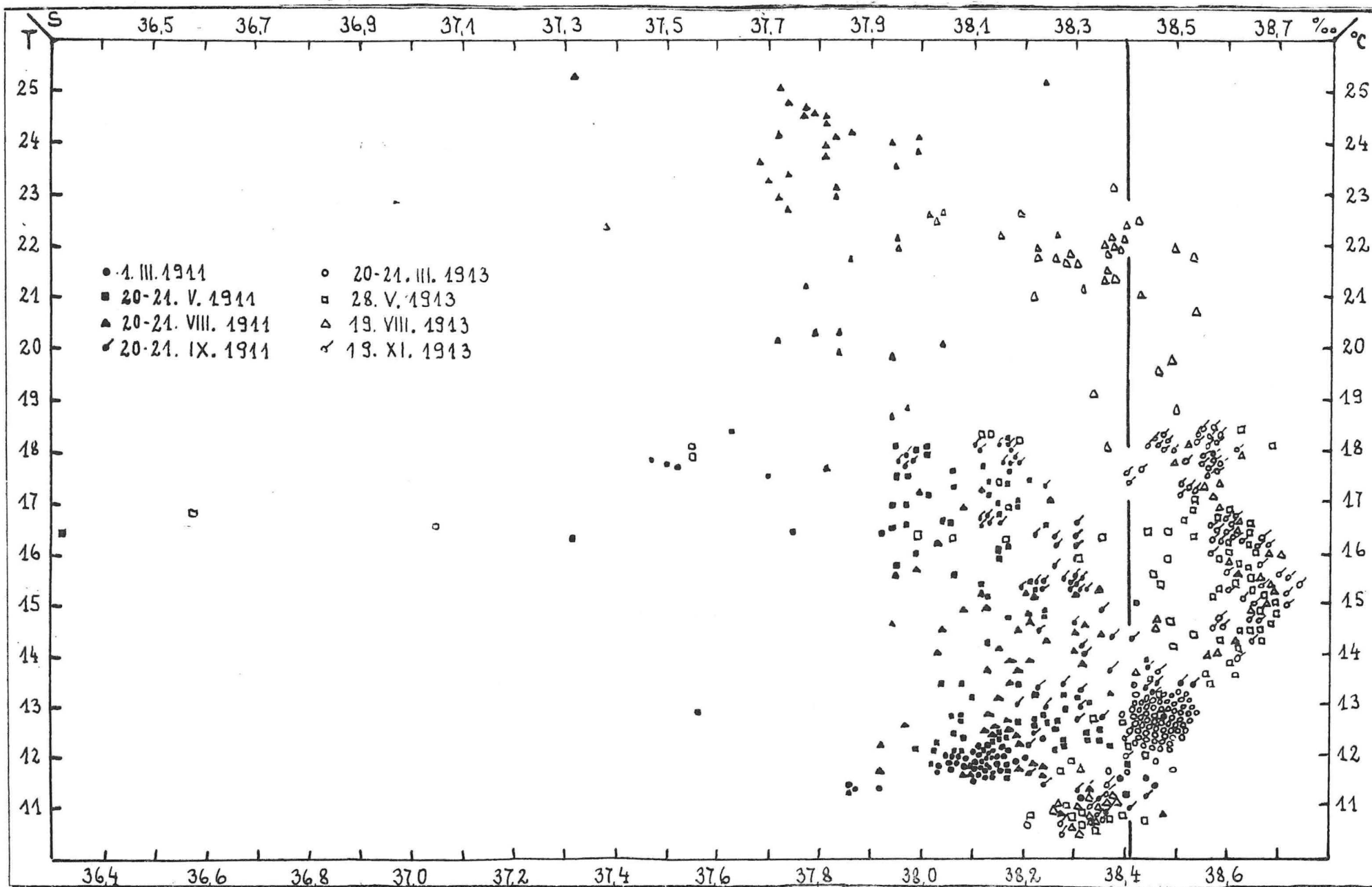
Sl. 3. T-S dijagram za drugi profil za 4 uzastopne zime (1911—1914). Tip vode S je označen kružićem. Izvučene su i linije za σ_t . Linija $\sigma_t = 29.3$ odjeljuje vodu iz 1911. i 1912. od vode iz 1913. i 1914. godine.



Sl. 4. T-S dijagram za 3 istočne (križić) i tri zapadne postaje (točka) drugog profila za zime 1911—1914. Na zapadnoj strani profila se općenito nalazi hladnija i slađa voda pod uplivom sjevernotalijanskih rijeka.

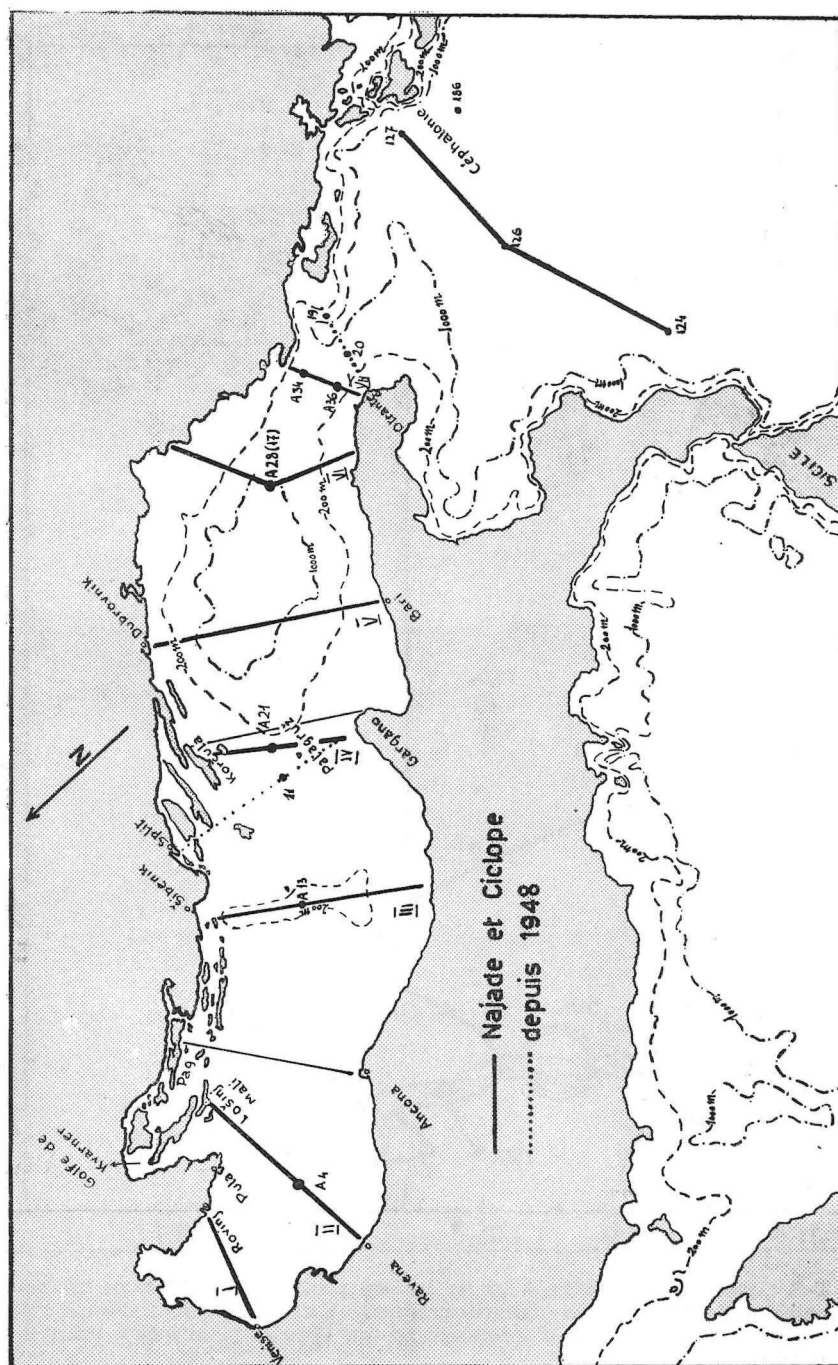


Sl. 5. T-S dijagram za drugi profil za ljeta 1911. do 1913.

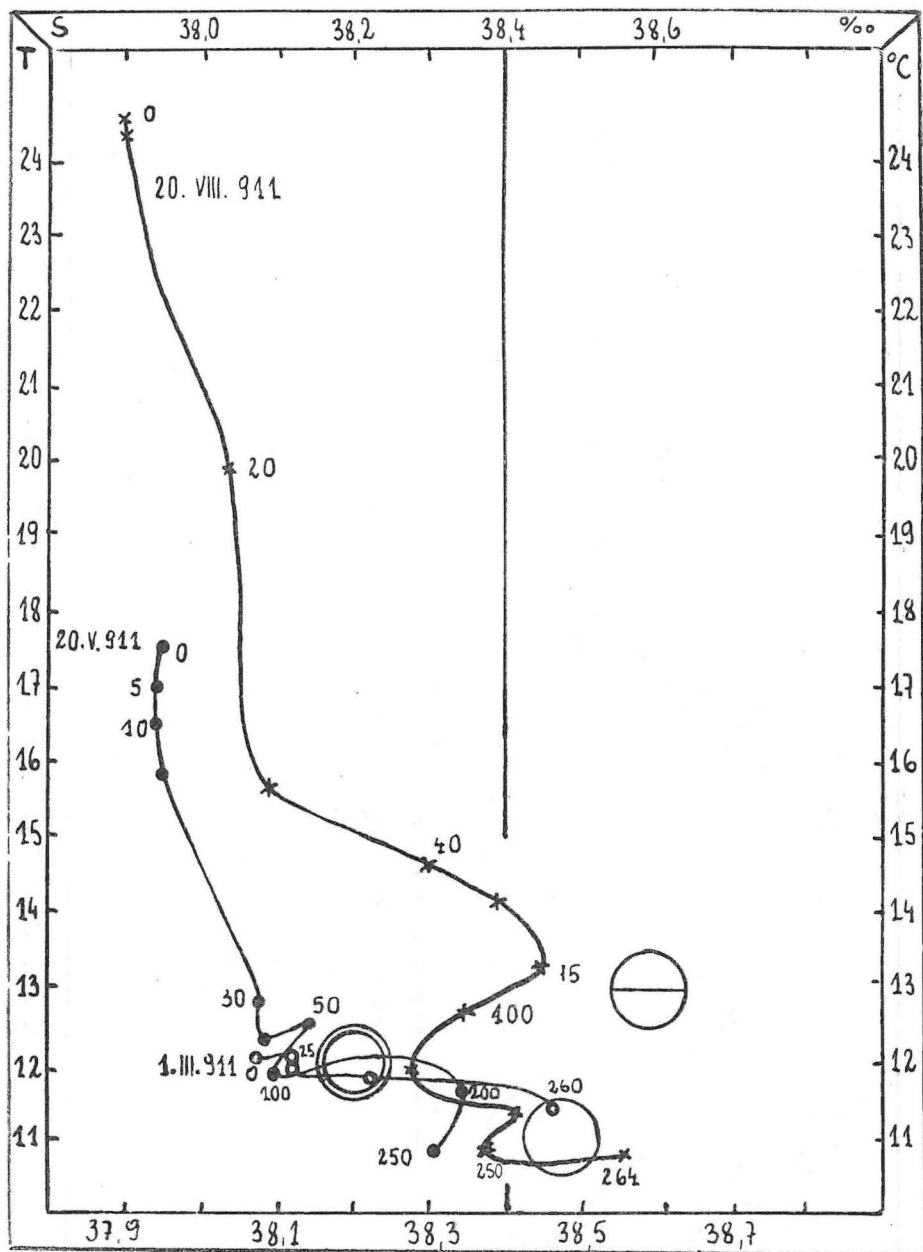


Sl. 8. T-S dijagram za III profil i za sve sezone 1911. i 1913. godine. Uočava se različit godišnji hod koncentracije...

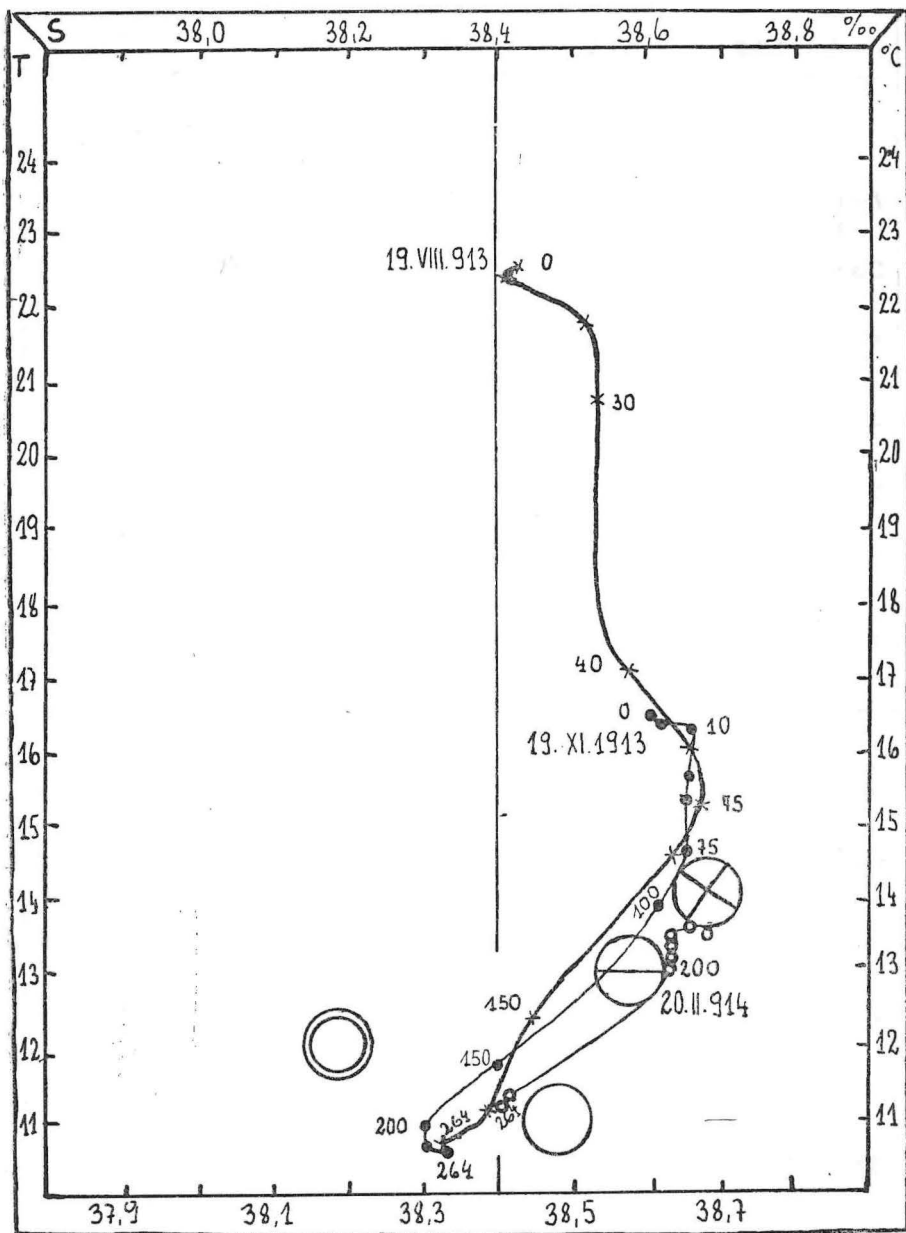
DIJAGRAMI



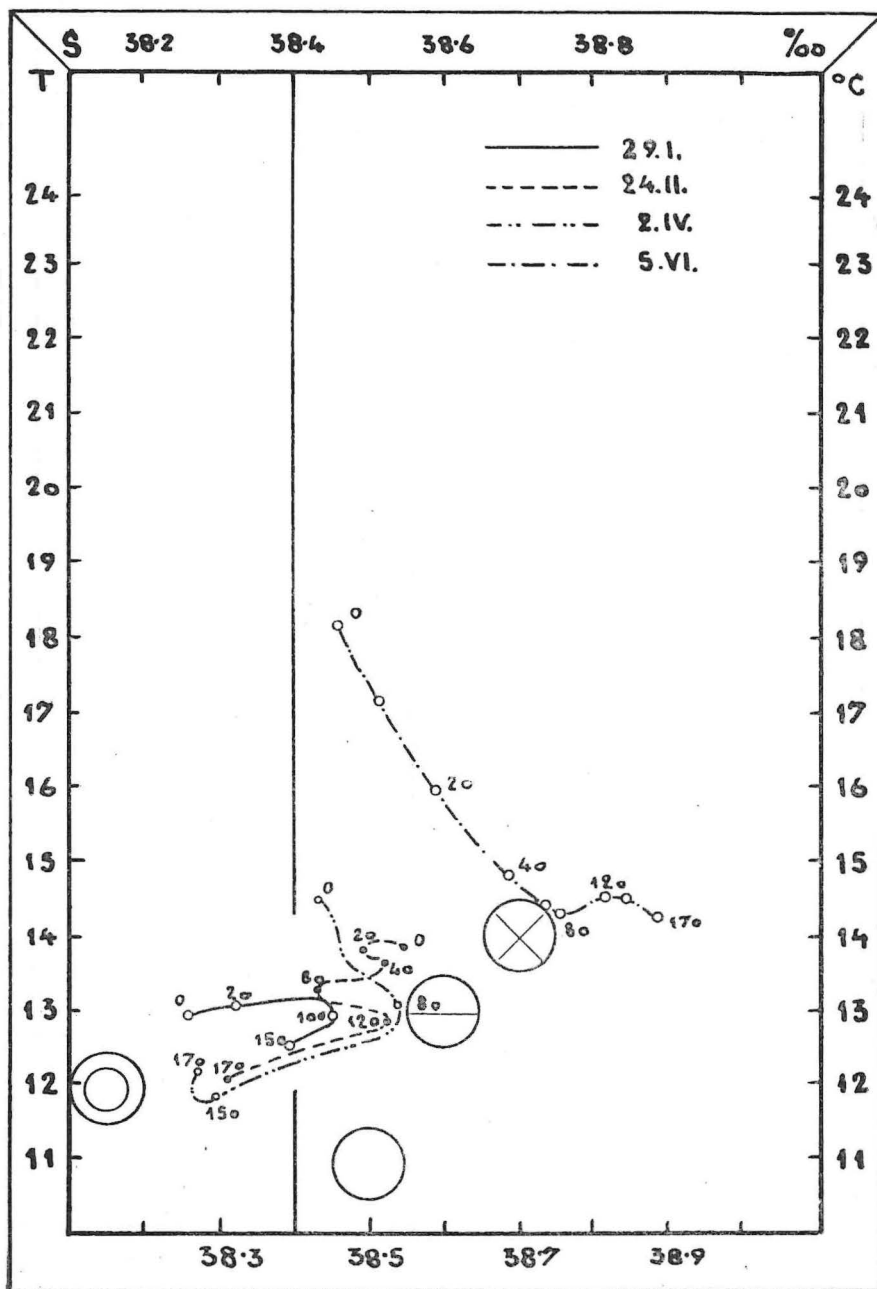
Sl. 1. Profili i postaje za koje su crtani T-S dijagrami.



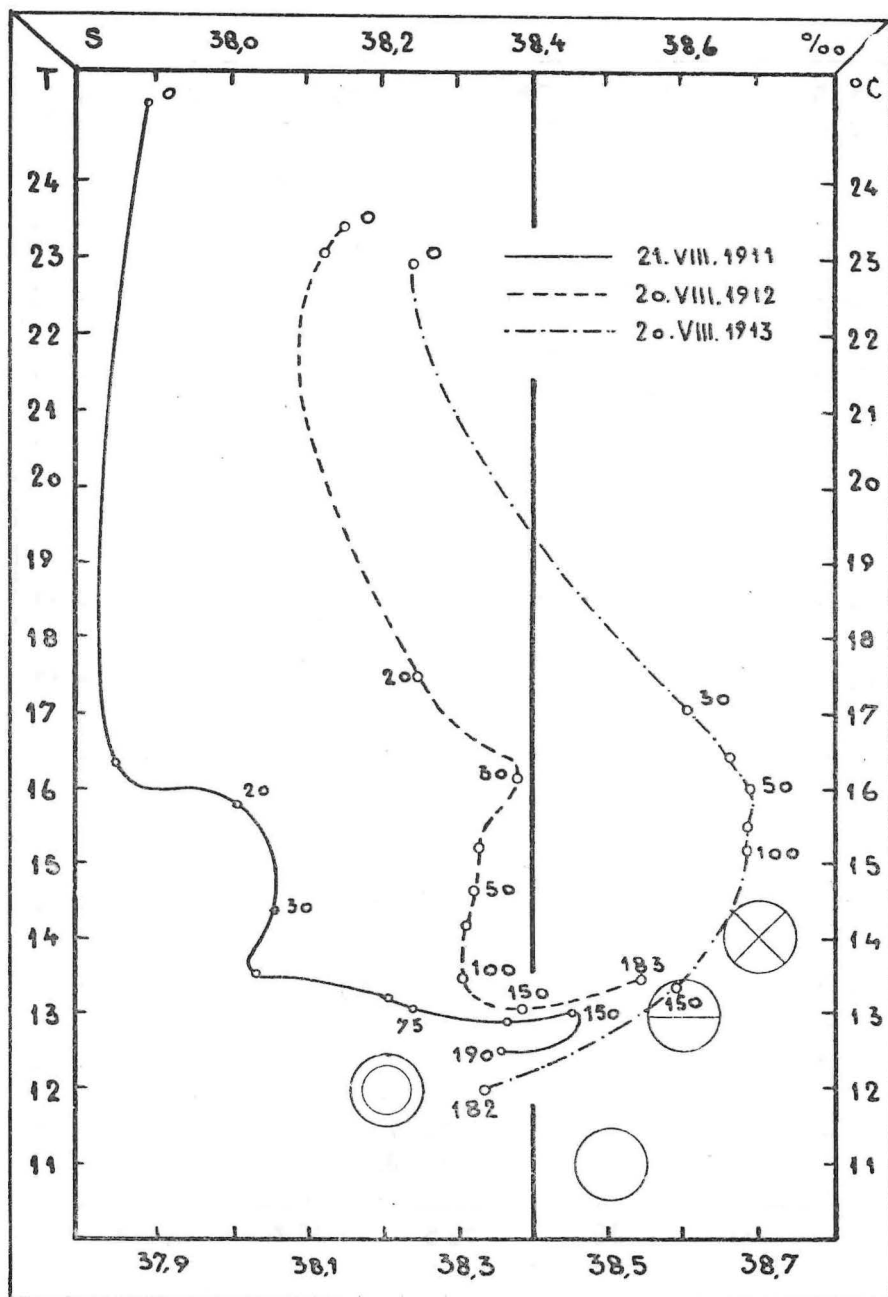
Sl. 6. T-S dijagram za postaju A 13 na trećem profilu. Zimi 1911. se na površini nalazi voda M tipa (dva koncentrična kruga), a u pridnom sloju S tip vode (krug). Ljeti iste godine u intermedijarnom sloju se primjećuje upliv J vode (prekriženi krug).



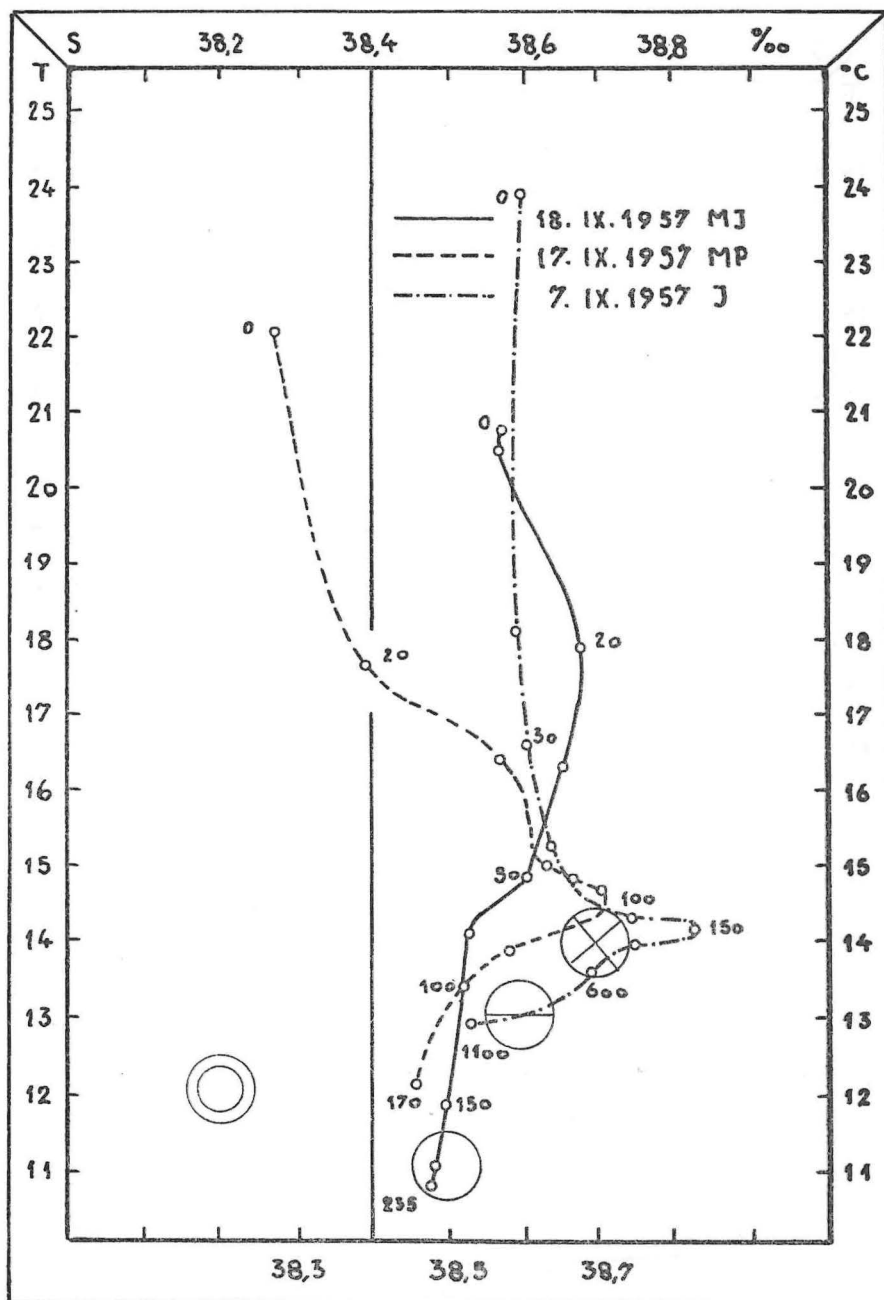
Sl. 7. T-S dijagram za postaju A 13 na trećem profilu. S tip vode je trajno prisutan u pridnenom sloju (krug). 1913. i 1914. godine se ne osjeća upliv M vode (dva koncentrična kruga). Umjesto nje zimi u površinskom sloju, a u ostalim sezonama u intermedijarnom sloju se nalazi A voda (dva puta prekriveni krug). A voda je porijeklom iz Mediterana.



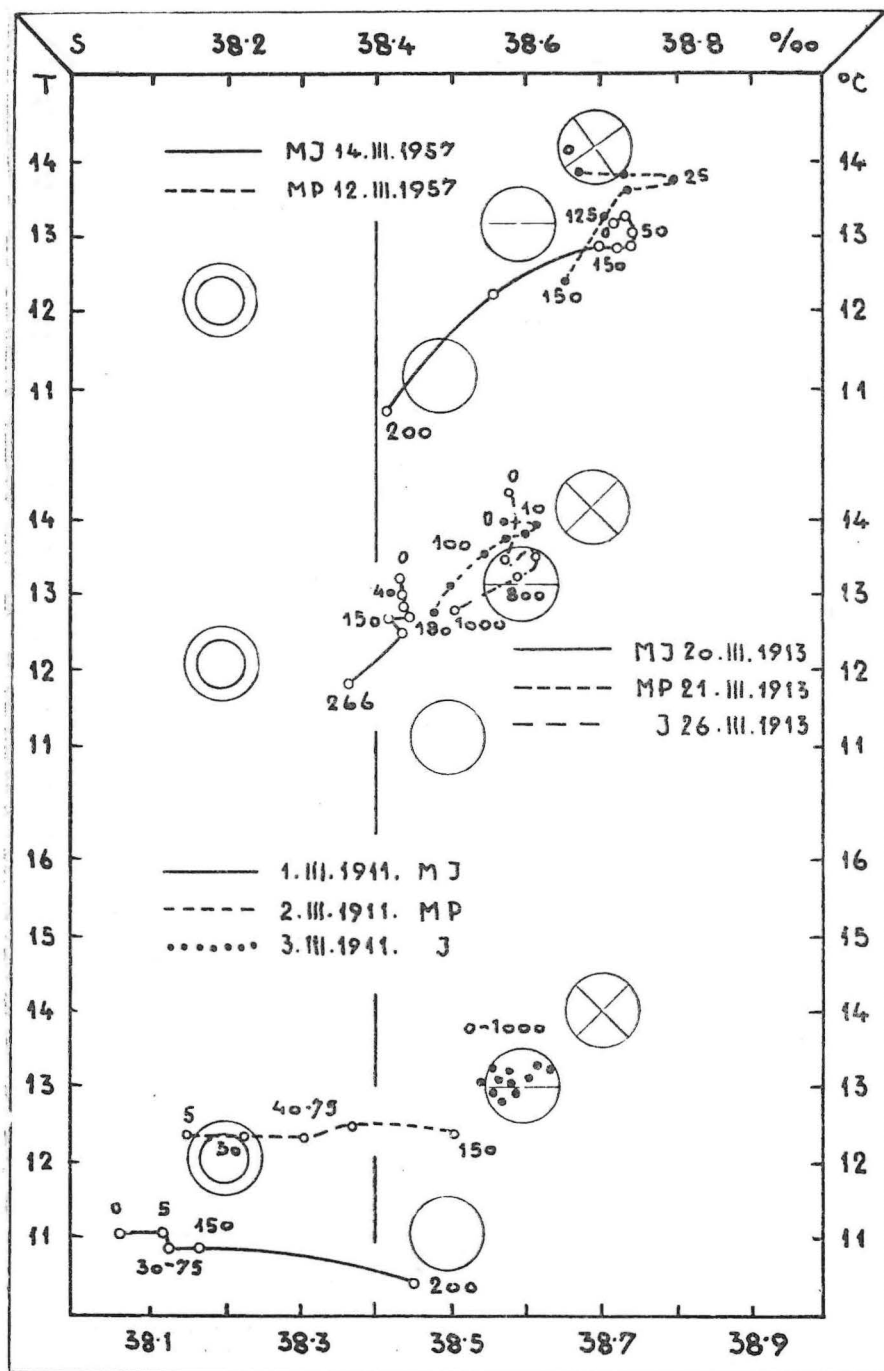
Sl. 9. T-S krivulje za uzastopne mjesece 1953. godine za postaju A 21 na četvrtom profilu. Na tom tranzitnom profilu osjeća se upliv sva 4 tipa vode definirana u Jadranu (S, M, J i A) u toku jedne godine.



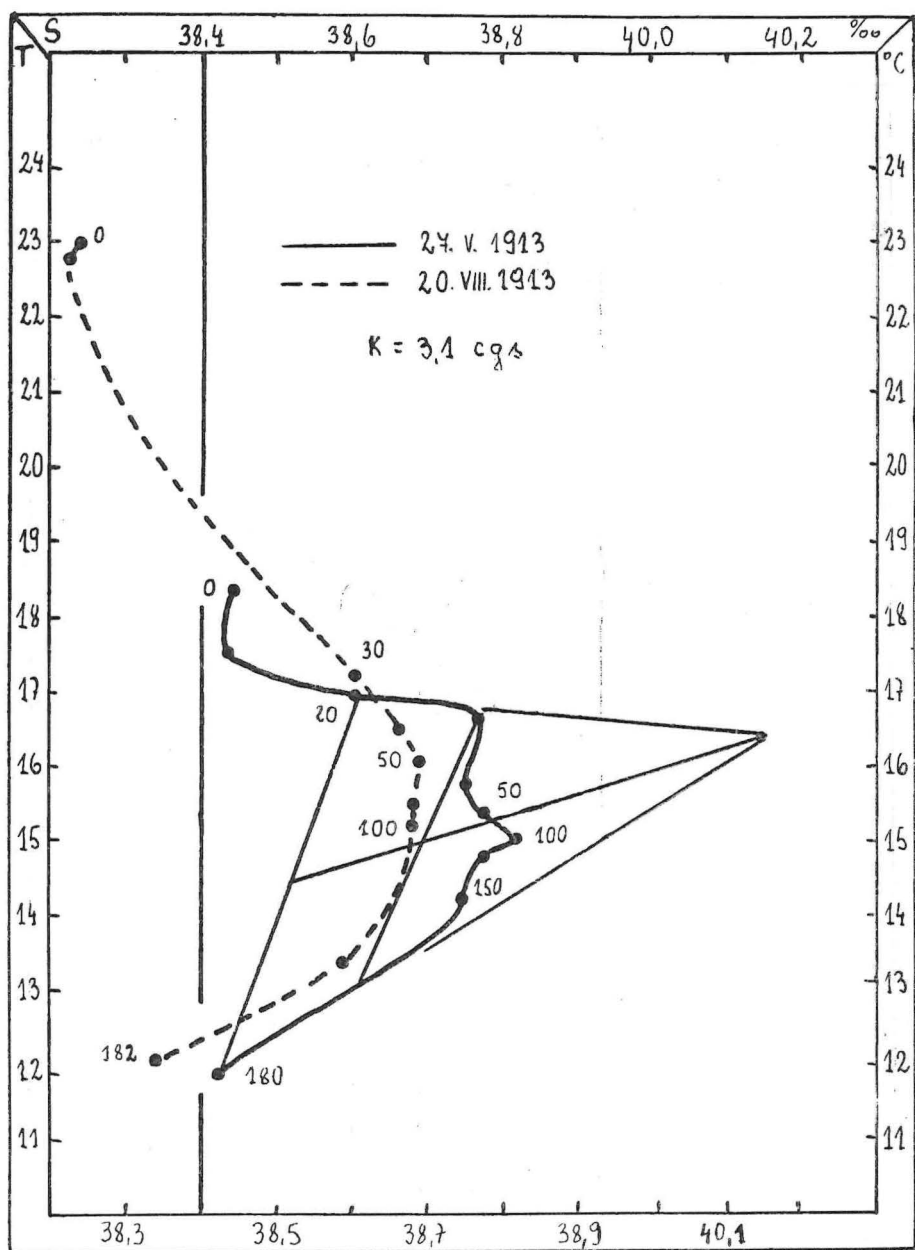
Sl. 11. Dijagram T-S za ljetne mjeseci za postaju A 21 na četvrtom profilu. Trajno se opaža intermedijarni sloj slanije vode, ali je on razvijeniji u godinama višeg saliniteta (1913). U pridnom sloju se nalazi izmiješana voda.



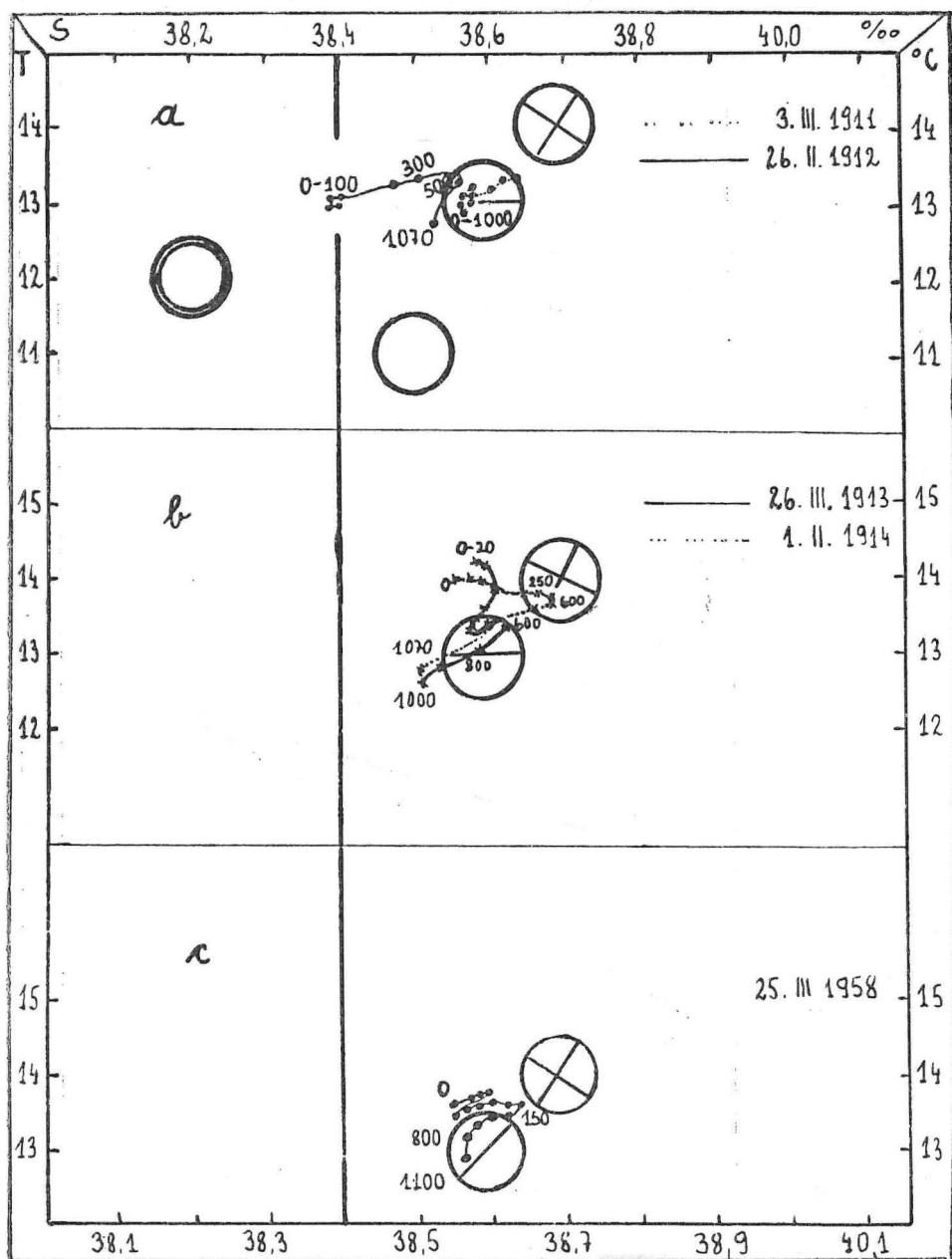
Sl. 12. T-S dijagram za postaju A 13 u Jabučkoj kotlini (MJ), postaju 11 na palagruškom pragu (MP) i postaju 17 u južnojadranskoj kotlini (J) za ljetu u razdoblju višeg saliniteta. Na dijagramu se može vidjeti koje modifikacije doživljava A voda na putu od južnog do srednjeg Jadrana.



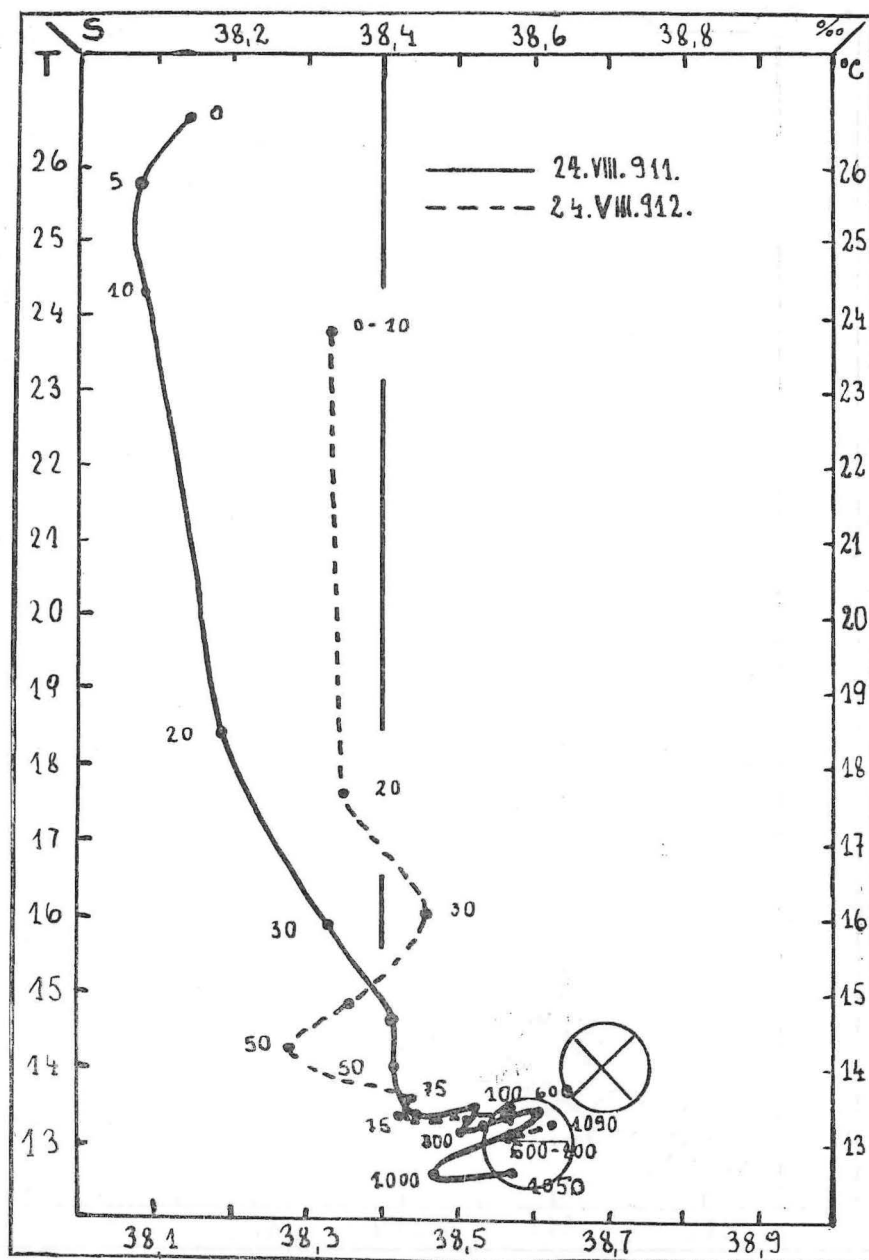
Sl. 13. T-S dijagram za postaju A 13 u Jabučkoj kotlini (MJ), postaju A 21, odnosno 11 na palagruškom profilu (MP) i za postaju A 28 (17) u južno-jadranskoj kotlini (J) za jednu zimu u razdoblju nižeg saliniteta (1911) i dvije zime u razdoblju višeg saliniteta (1913. i 1957.). U prvoj zimi se vidi upliv M vode (dvostruki krug) i J vode (prekriženi krug), dok se u druge dvije zime osjeća upliv A vode (dvostruko prekriženi krug) i S vode (krug).



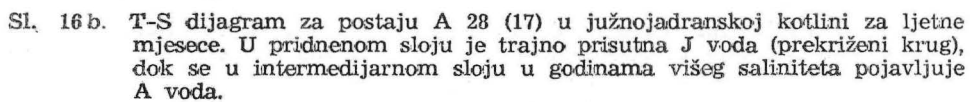
Sl. 14. Pomoću Stockmanove metode (modificirane Jacobsenove) izračunati su koeficijenti miješanja prema T-S dijagramima za postaju A 21 na palagruškom profilu uzevši u obzir promjene u intermedijarnom sloju između proljeća i ljeta 1913. Također su grafički određene gornja i donja granica intermedijarnog sloja.

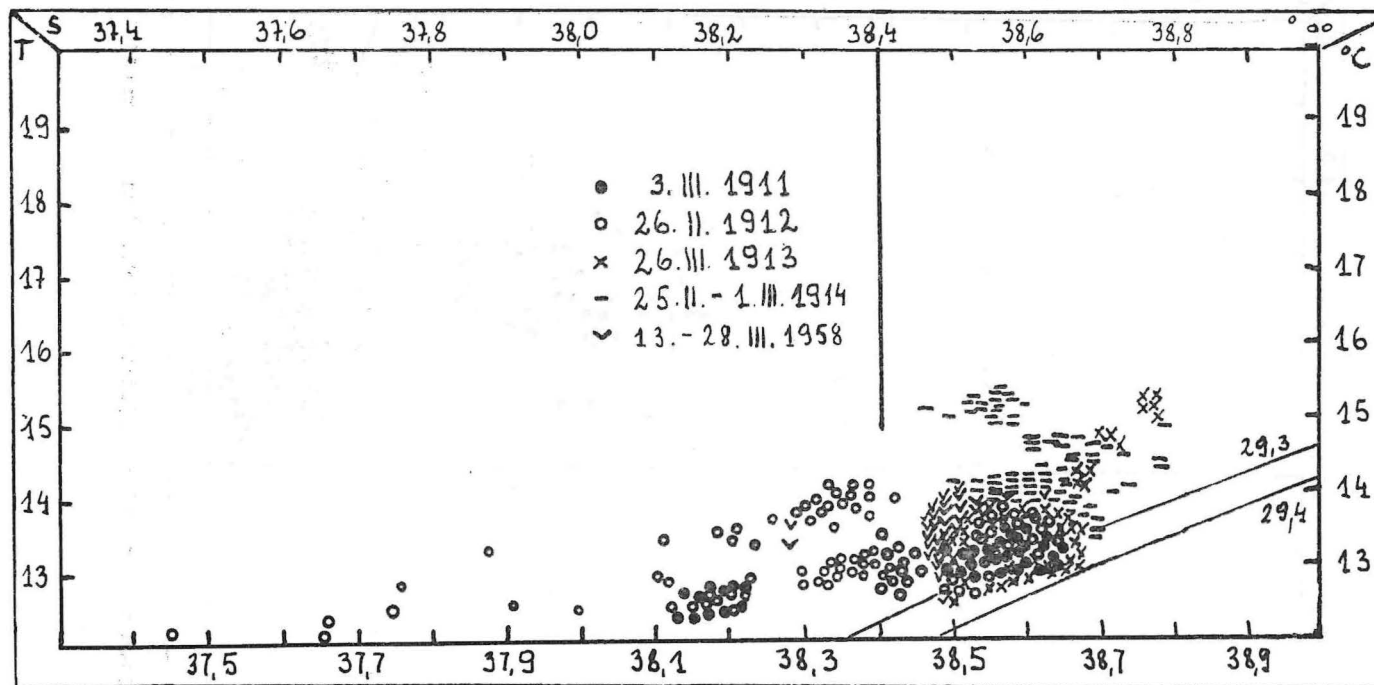


Sl. 15. T-S dijagram za postaju A 28 (17) u južnojadranskoj kotlini za zimske mjesece. Vidi se upliv A vode (dvostruko prekriveni krug) u gornjim slojevima u periodu višeg saliniteta (1913 i 1914).

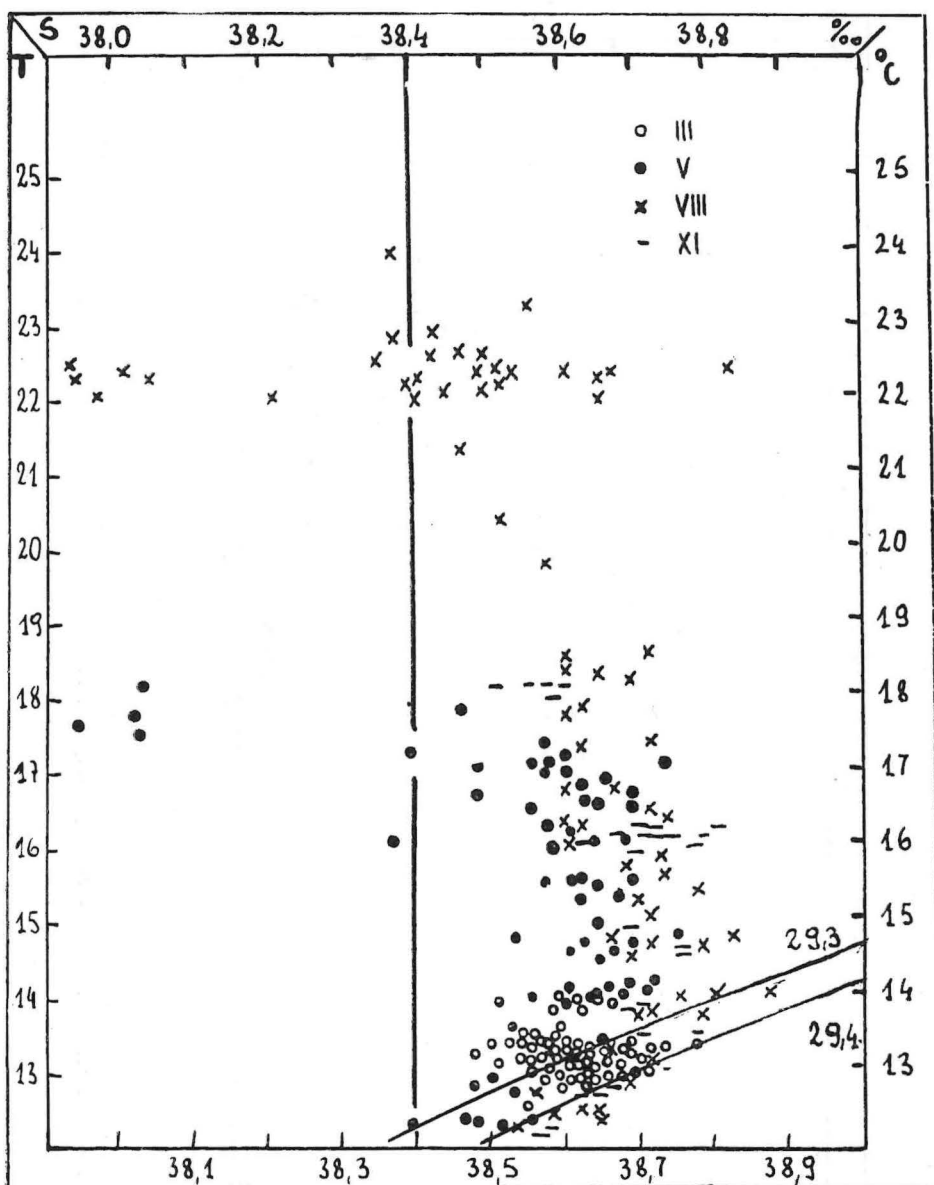


Sl. 16 a. T-S dijagram za postaju A 28 u južnojadranskoj kotlini za ljetne mjesece.
U razdoblju nižeg saliniteta dobro je izražena termoklina i uočuju se samo dva tipa vode: površinski i pridnjeni.

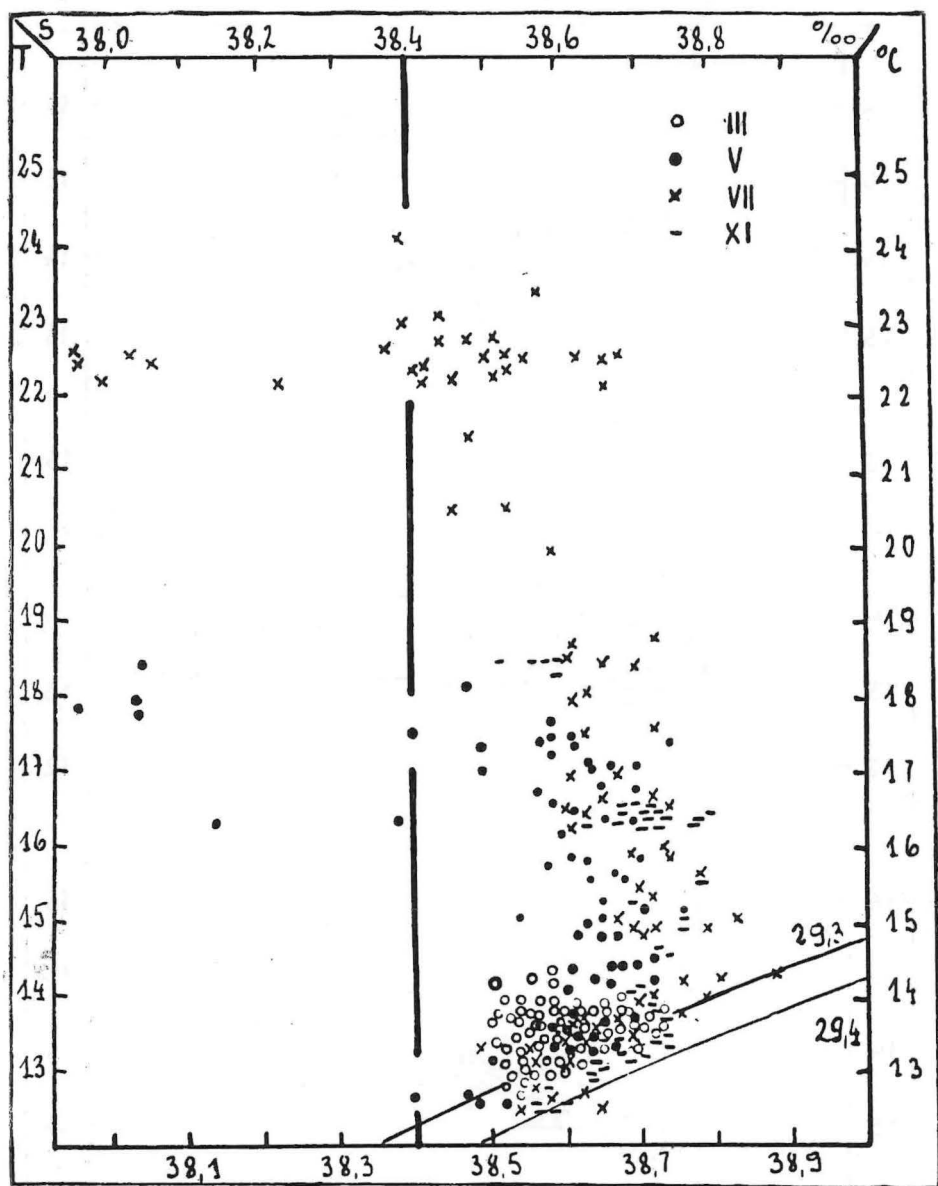




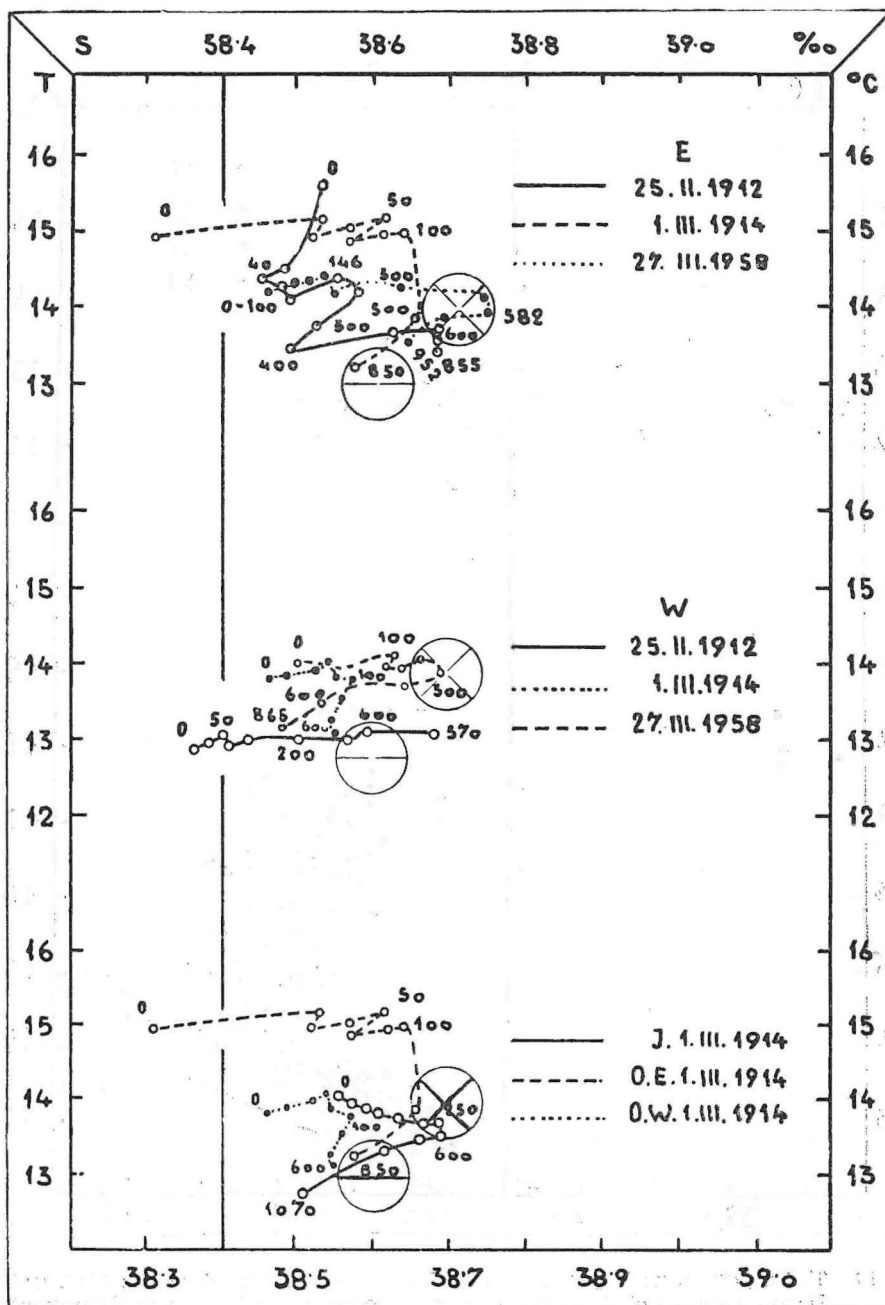
Sl. 17. T-S dijagram za VI profil (južnojadranska kotlina) za zimske mjesece. Dijagram nije potpun, jer nije bilo moguće ucrtati sve vrijednosti koncentrirane na $T = 13^{\circ}\text{C}$ i $S = 38,6\text{‰}$ (J tip). J voda se pojavljuje uvijek. U godinama nižeg saliniteta (1911, 1912) se uz nju pojavljuje i hladnija voda nižeg saliniteta, a u zimama s općenito višim salinitetom se uz J vodu pojavljuje i A tip (viša temperatura i salinitet).



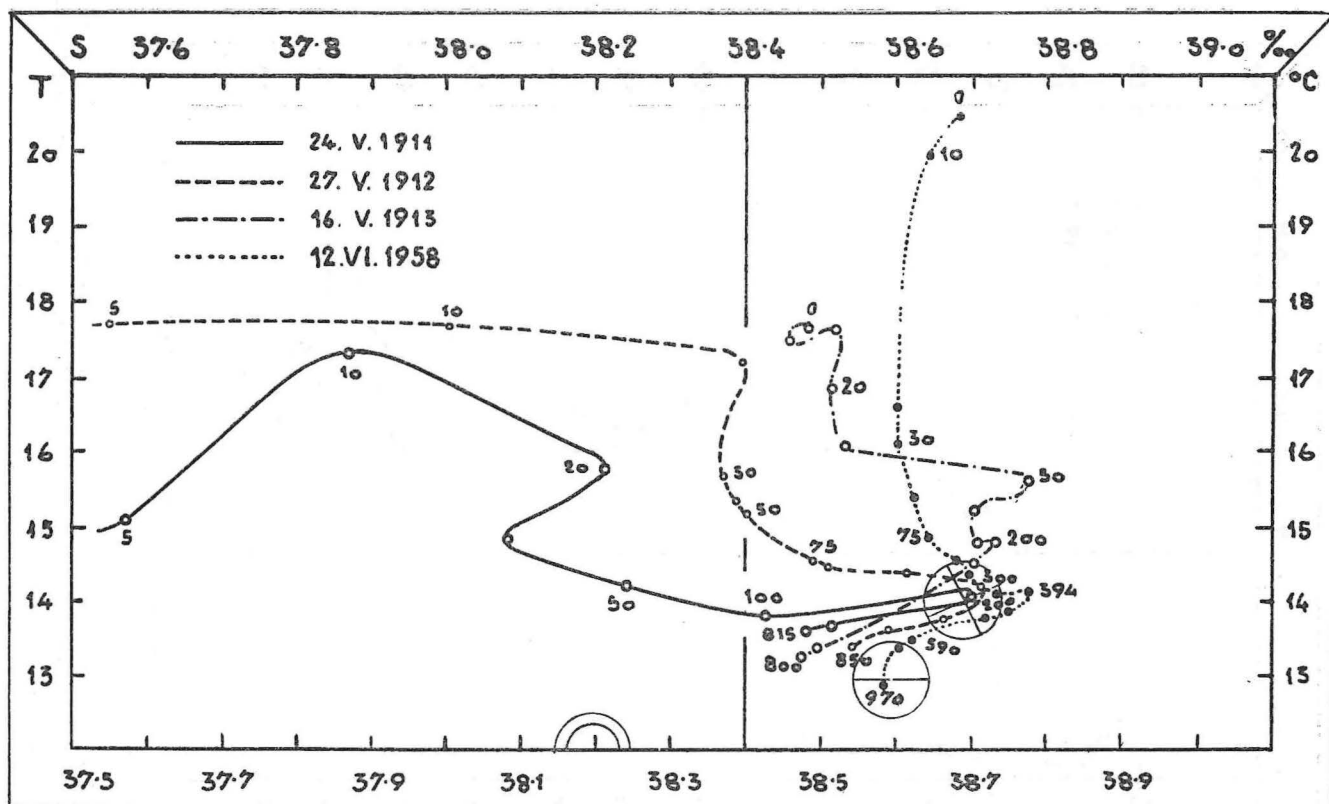
Sl. 18. T-S dijagram za VI profil (južnojadranska kotlina) za 4 sezone 1913. godine.



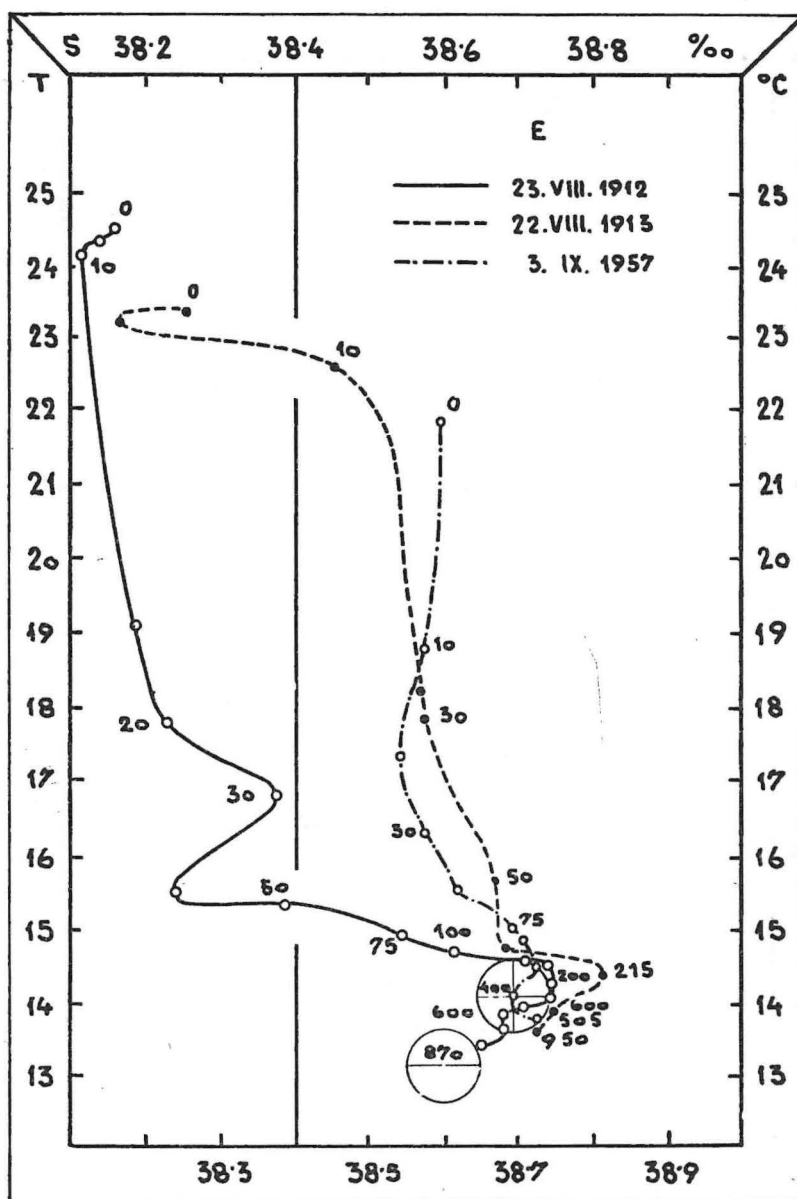
Sl. 19. T-S dijagram za V profil (južnojadranska kotlina) za 4 sezone 1913. godine. Usporedbom sa sl. 18 se vidi da se južnojadranska kotlina može promatrati kao cjelina, jer na dva profila ne postoji nikakva značajna razlika u karakteristikama.



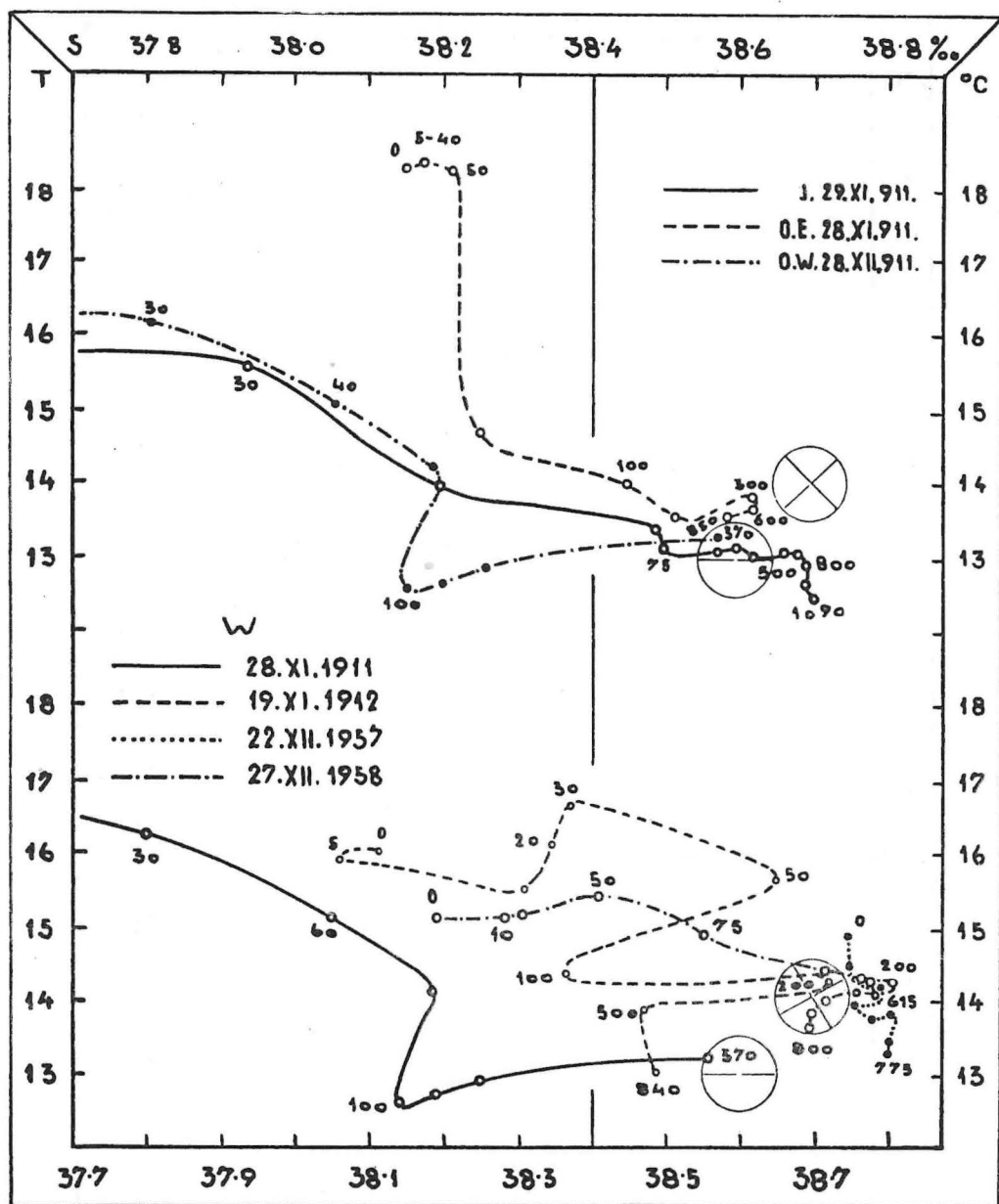
Sl. 20. T-S dijagram za istočnu E stranu (postaje A 34 i 19) i zapadnu W stranu (postaje A 36 i 20) Otrantskih vrata za zimske mjesec. Na trećoj slici su dijagrami iz južnojadranske kotline (J), te istočne (O.E.) i zapadne (O.W.) strane Otrantskih vrata. Voda A je trajno prisutna u području vrata (dvostruko prekriveni krug).



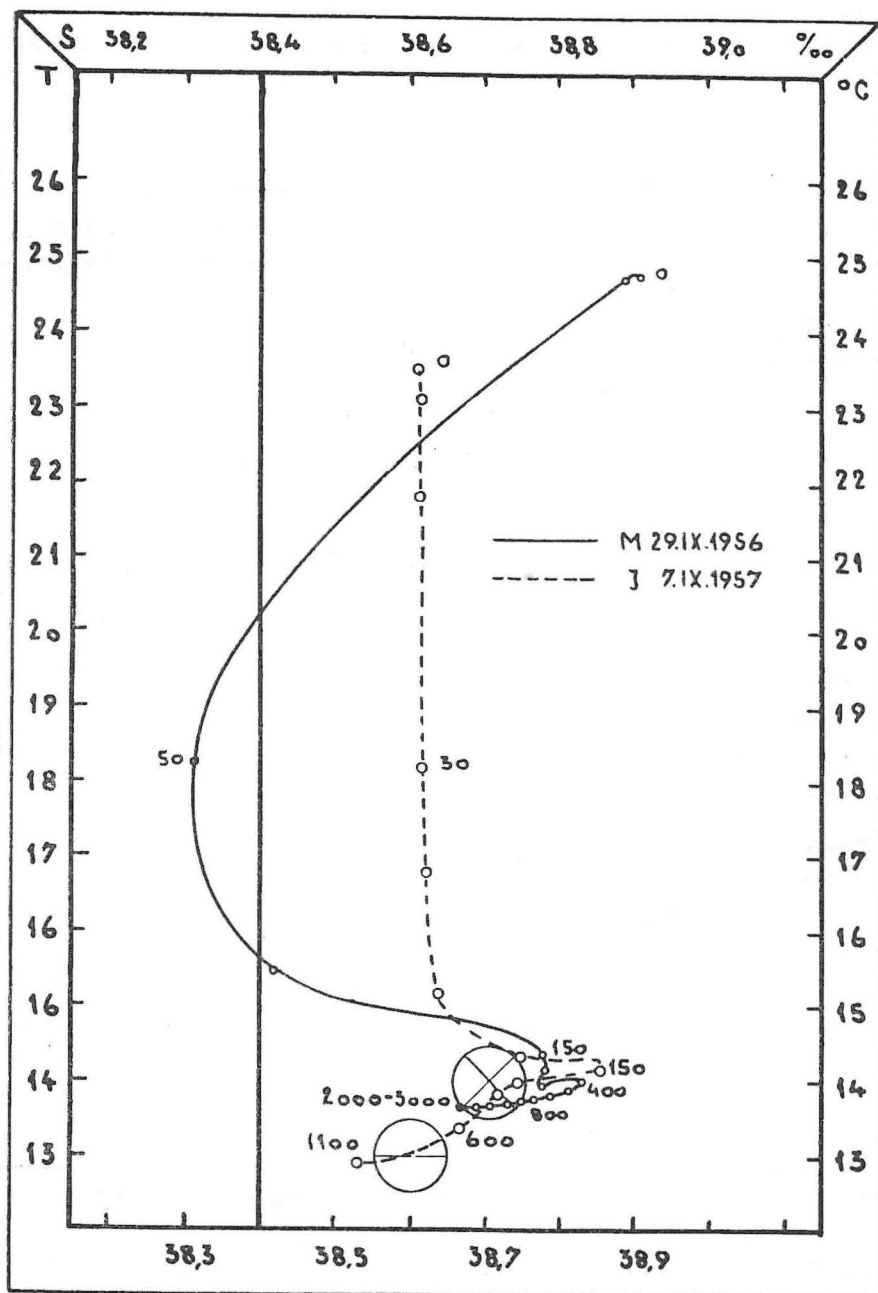
Sl. 21. T-S dijagram za istočnu stranu Otrantskih vrata (postaje T 52, A 34, T 1, 19) za proljetne mjesece. A tip vode je trajno prisutan u intermedijarnom sloju.



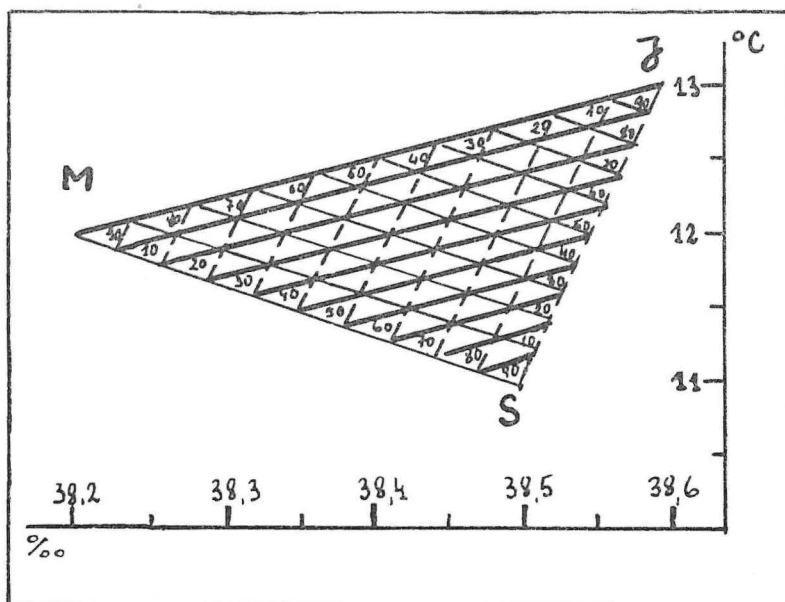
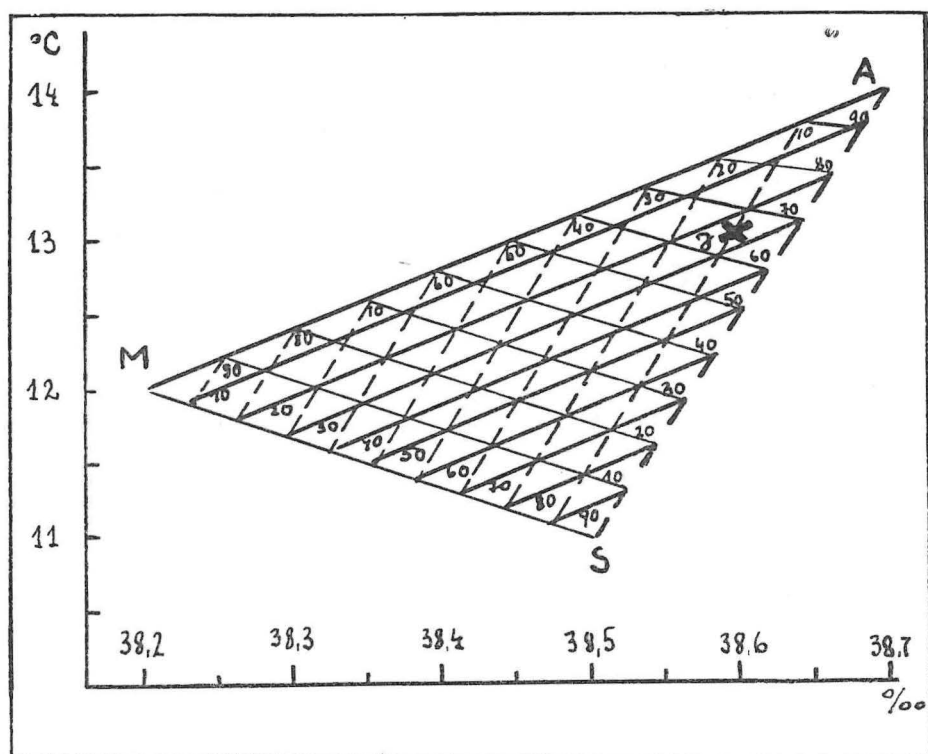
Sl. 22. T-S dijagram za istočnu stranu Otrantskih vrata (postaje A 34, T 54, 19) za ljetne mjesec. Upliv J vode u pridnom sloju se više osjeća u razdoblju nižeg saliniteta (1912).



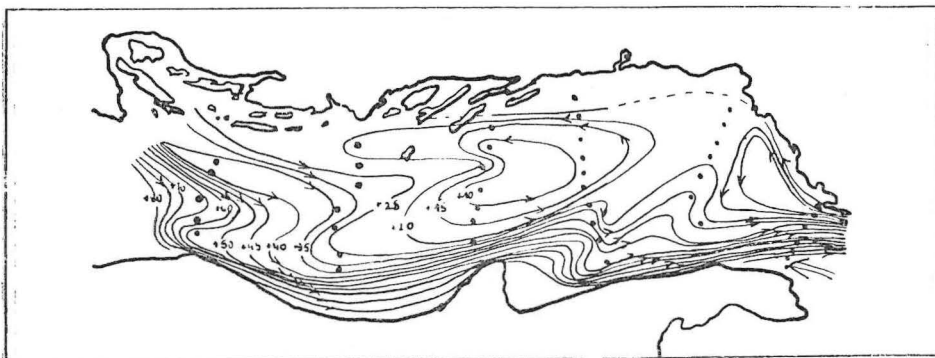
Sl. 23. T-S dijagram za zapadnu (W i O.W.) stranu Otrantskih vrata (postaja A 36, T 6 i 20) istočnu O. E. stranu (postaja A 34), te za južnojadransku kotlinu J (postaja A 28) za jesen.



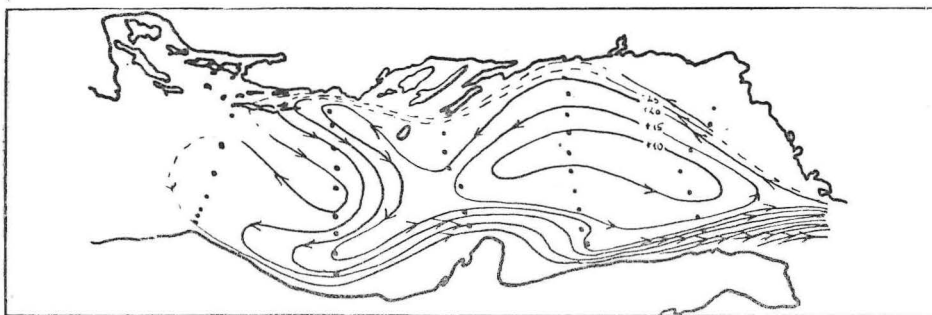
Sl. 24. T-S dijagram za postaju 17 u južnojadranskoj kotlini (J) i za postaju 186 u Jonskom moru (M) za ljeto u razdoblju višeg saliniteta.



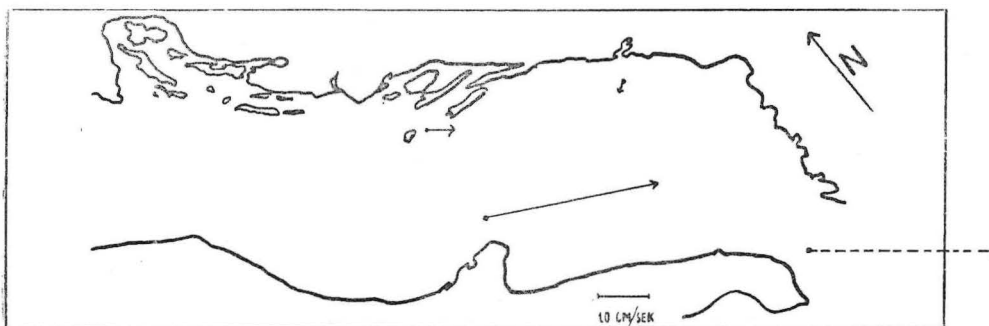
Sl. 25. Dijagram miješanja za izračunavanje udjela tri određena tipa vode u određenom području i razdoblju:
a) dijagram za A, S i M tip vode,
b) dijagram za J, S i M tip vode.



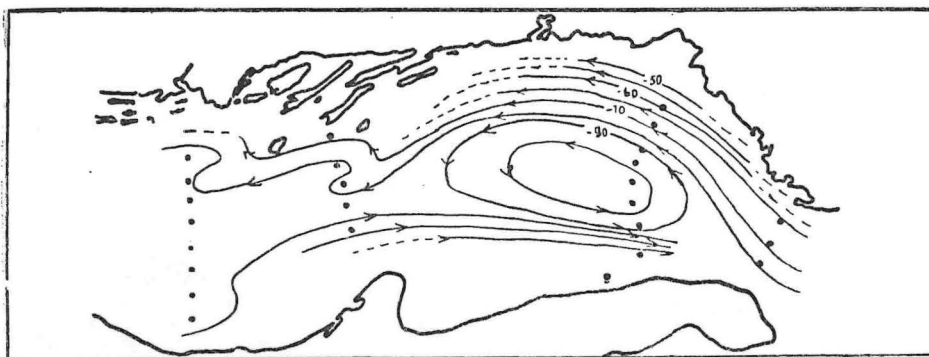
Sl. 26 a. Geopotencijalna topografija površine mora u odnosu na 50 m za mjesece august-septembar 1911. Izolinije su izvučene za po 5 din. mm. Izlazna ljetna struja uzduž zapadne obale je vrlo izrazita.



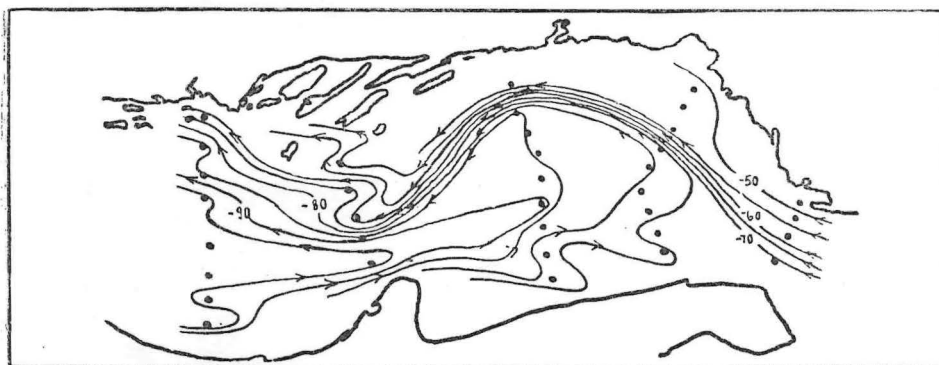
Sl. 26 b. Geopotencijalna topografija površine mora u odnosu na 50 m. za august-septembar 1913. Izolinije su izvučene za po 5 din. mm. Izlazna ljetna struja uz zapadnu obalu je slabije izražena.



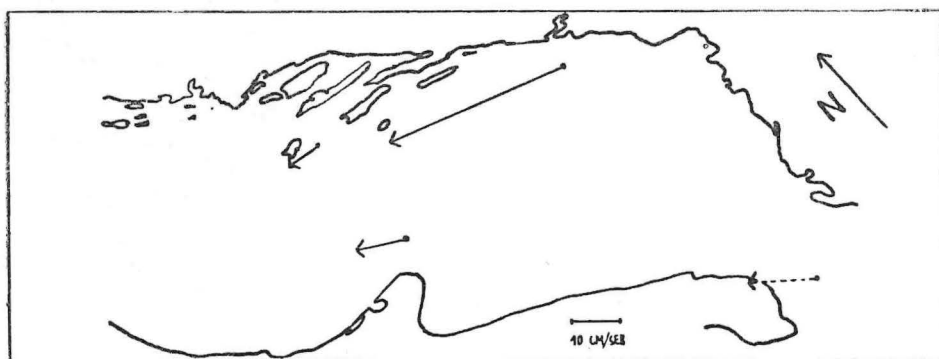
Sl. 26 c. Rezultatne struje dobivene prema 24-satnim mjerenjima (iscrtkana linija označuje da je mjerenje vršno samo 6 sati) za septembar. Direktna mjerenja potvrđuju generalnu tendenciju za izlazno strujanje u površinskom sloju ljeti, a pokazuju da se i brzina stalne struje ne razlikuje znatnije od brzine gradijentske struje.



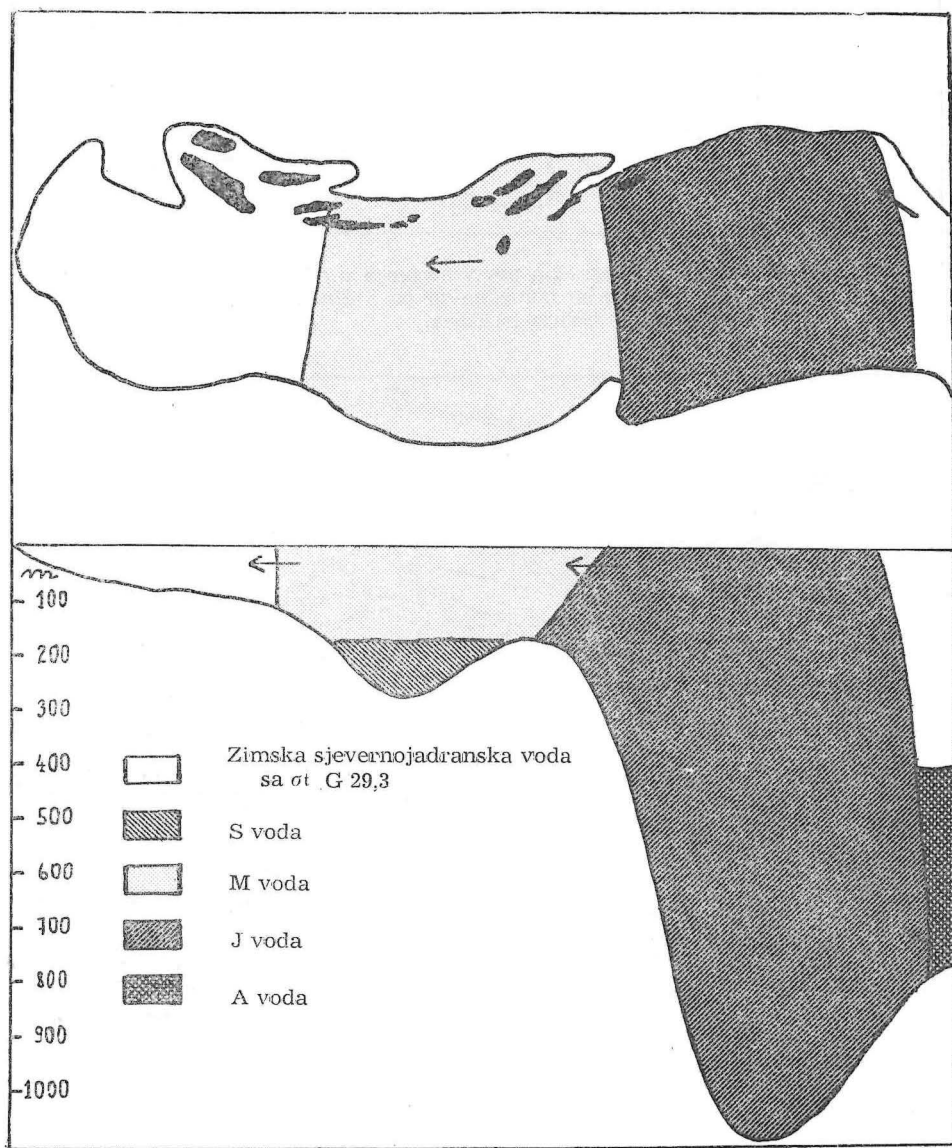
Sl. 27 a. Geopotencijalna topografija površine mora u odnosu na 100 m za februar-mart 1912. Izolinije su izvučene za po 5 din. mm. Ulazna zimska struja uz istočnu obalu je slabije izražena.



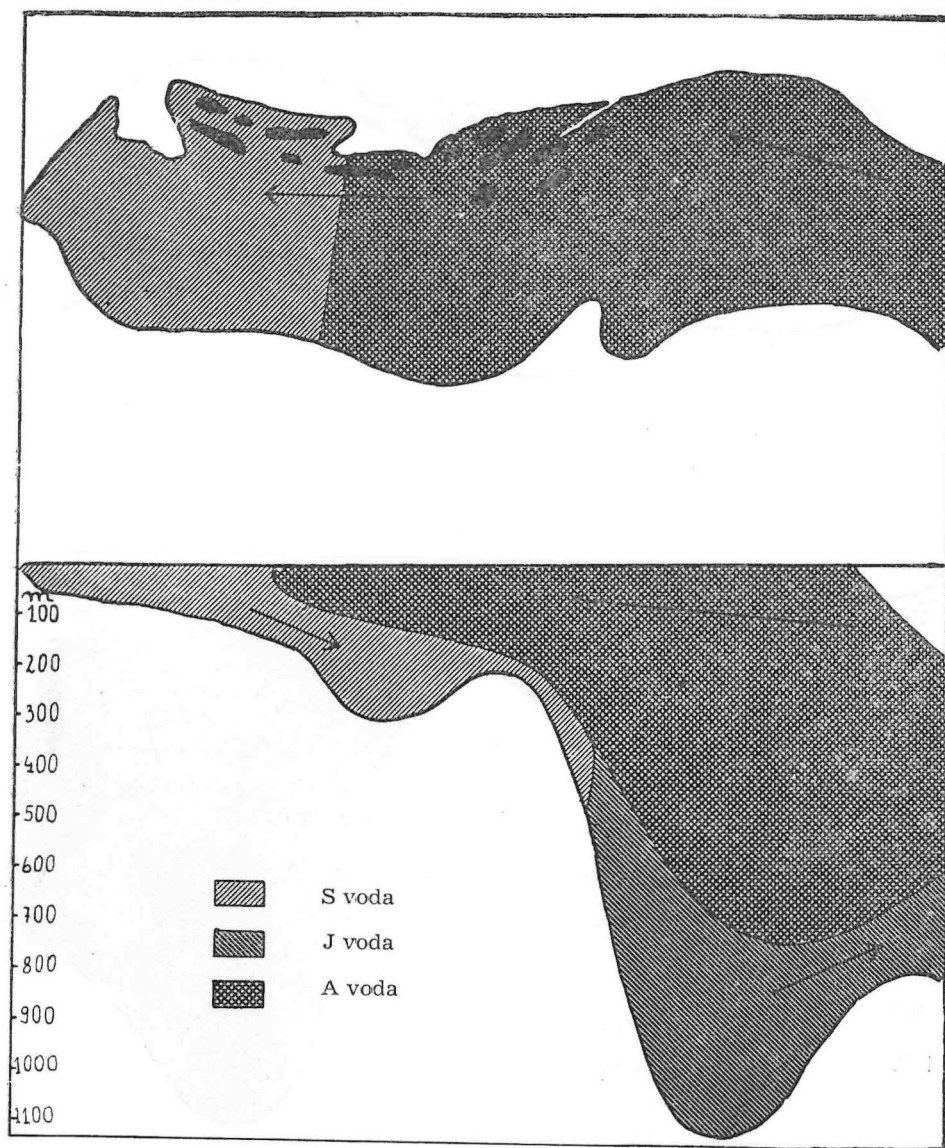
Sl. 27 b. Geopotencijalna topografija površine mora u odnosu na 100 m za februar-mart 1914. Ulazna zimska struja uzduž istočne obale je dobro izražena.



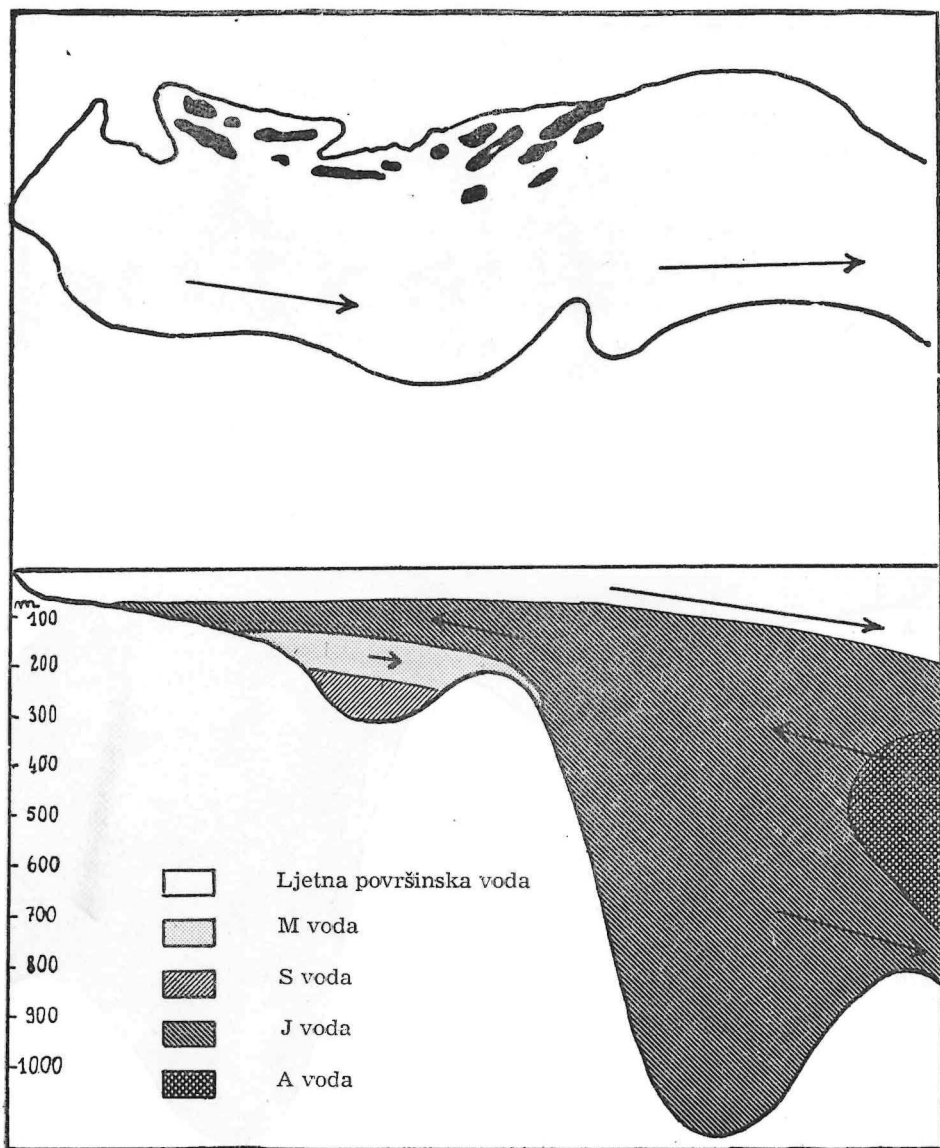
Sl. 27 c. Rezultatne struje dobivene prema 24-satnim mjerenjima za mart. Iscrtkana linija označuje kraću seriju mjerenja. Direktna mjerenja pokazuju kao i gradijentske struje da zimi postoji jedna tendencija ulaženja vode pretežno uz istočnu obalu Jadrana. Brzine gradijentskih i rezultatnih struja se dobro slažu.



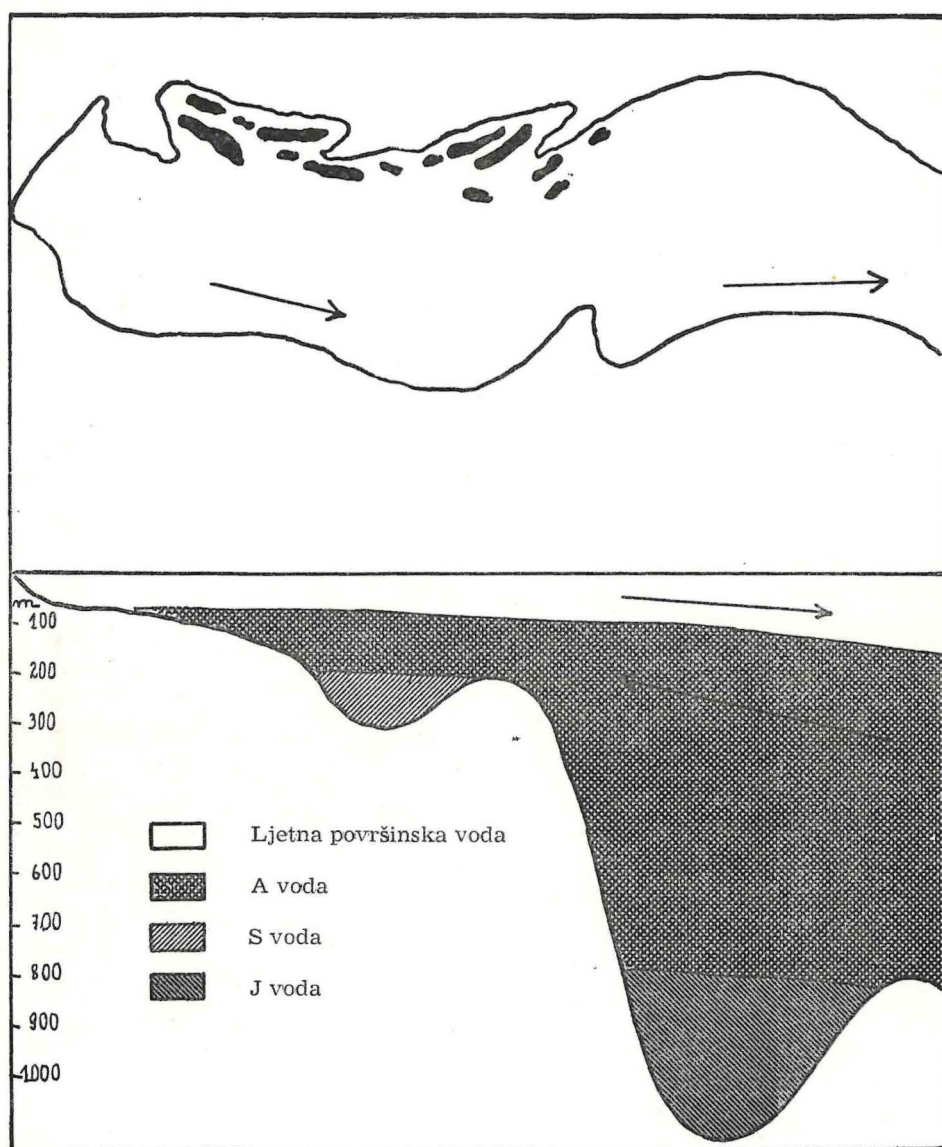
Sl. 28. Shematski prikaz rasprostranjenosti određenih tipova vode na površini i vertikalnom longitudinalnom profilu uzduž Jadrana zimi u razdoblju nižeg saliniteta.



Sl. 29. Shematski prikaz rasprostranjenosti određenih tipova vode na površini i na longitudinalnom vertikalnom profilu uzduž Jadrana zimi u razdoblju višeg saliniteta.



Sl. 30. Shematski prikaz rasprostranjenosti određenih tipova vode na površini i vertikalnom longitudinalnom profilu uzduž Jadrana ljeti u periodu nižeg saliniteta.



Sl. 31. Shematski prikaz rasprostranjenosti određenih tipova vode na površini i na longitudinalnom vertikalnom profilu uzduž Jadrana ljeti u razdoblju višeg saliniteta.

