

REZULTATI ISTRAŽIVANJA POVRŠINSKIH STRUJA JADRANSKOG MORA U RAZDOBLJU OD 1979—1980. GODINE METODOM DRIFT KARTICA

SOME RESULTS OF DRIFT CARD EXPERIMENTS IN THE ADRIATIC
DURING THE PERIOD 1979—1980.

Marijan Ferenčak, Dušan Ilić, Tonko Smirčić i Zoran Vučak

Hidrografski institut RM — Split

U razdoblju od januara 1979. do jula 1980. god. na 128 postaja u Jadranskom moru bačeno je ukupno 9.245 drift kartica. Od toga je pronađeno 1.279 kartica, što iznosi 13,8%.

Pronađene kartice poslužile su kao podaci za iscertavanje karata sektora vjerovatnih kretanja drift kartica, te karata strujnica za četiri godišnje sezone (proljeće, ljeto, jesen i zimu).

Rezultati su diskutirani i upoređivani sa strujomjernim podacima kao i s rezultatima proračuna gradijentskih struja za neke situacije. Usporedba je dala vrlo dobru podudarnost rezultata dobivenih drift pokusom s onima iz direktnih mjerenja i proračuna gradijentskih struja.

Dobivena su kvantitativna i kvalitativna obilježja sezonskih drift strujanja.

During the period January 1979 through July 1980 drift card experiments were done on 128 stations in the Adriatic sea with 9245 drift cards.

It was recovered 1279 drift cards or 13.8%

Recovered drift cards are used to construct streamlines for four seasons, giving qualitative and quantitative characteristics of drift currents.

Results are discussed and compared with data obtained by current meters and with geostrophic current calculations. The comparison was satisfactory.

UVOD

Postoji podatak, da je o strujama Jadranskog mora pisano već 1663. godine. U knjizi »De motum marium« I. Vossius je dao opis površinske cirkulacije vode u Jadranu (Klemenec, 1980.).

Ipak, značajnija istraživanja iz područja te problematike datiraju od kraja 19. stoljeća. Proučavanje rasporeda temperature i slanosti, kao i neki iskustveni podaci, omogućili su autorima Volfu i Lukchu (1887.) iscertavanje prve

karte struja mora za Jadran. Njihov rad sadrži podatke strujanja za ljetnu sezonu i prikazan je na karti kao ciklonalno cirkuliranje sa dva transverzalna odvojka.

Početkom 20. stoljeća, u toku višegodišnjih oceanografskih ekspedicija (NAJADE, 1911—1914; CICLOPE, 1911—1914. i VILA VELEBITA, 1913—1914.), vršena su i direktna mjerenja struja pomoću boca plovaka. Ti podaci korišteni su pri izradi karte strujanja koju je objavio Hydrographisches Amt. Seekarten-depot u Puli 1915. godine. Kvantitativna obilježja ove karte su uneseni podaci o brzini struje, koji su dobiveni na osnovu brzine kretanja boca-plovaka.

Ove podatke koristili su također u svojim radovima Mazelle (1914) i Feruglio (1920). Koristeći podatke direktnih mjerenja iz tog razdoblja, kao i karte izoterma i izohalina, Feruglio je u svom radu dao karte strujanja za pojedine mjesece.

Tokove strujanja u Kvarnerskom zaljevu prema podacima sakupljenim za vrijeme ekspedicije »VILA VELEBITA« opisao je u svom radu Gavazzi (1915.).

Karta J. Krčmara, koju je objavio Hidrografski ured JRM 1928. godine, predstavlja dopunu karte iz 1915. godine sa dosta preciznih detalja. Nije međutim poznato, na osnovu kojih podataka je Krčmar te detalje unosio na kartu.

Osnovna značajka svih karata je, da su gotovo svi autori utvrdili ciklonalno obilježje strujanja u Jadranskom moru.

Novija istraživanja struja mora u Jadranu direktnim i indirektnim metodama (Buljan i Zore-Armanda, 1971; Zore, 1956; Zore-Armanda, 1966; Vučak, 1964, 1978; Vučak, Škrivanić, 1980.) sadrže nove aspekte pristupu ovoj problematici.

U tim radovima, naglašen je sezonski ritam strujanja u Jadranu, što se objašnjava dominantnim utjecajem gradijentskih struja. Smanjeni horizontalni gradijent gustoće u proljeće i jesen čine ulazni i izlazni tok strujanja u tom razdoblju nešto slabije izraženim. Zimsko-ljetne izmjene vode u Jadranu diktira na neki način i sistem strujanja, koji je u određenoj mjeri modificiran učinkom režima preovlađujućih vjetrova. Naravno, na rezultatno strujanje utječu i ostali faktori kao dopunski generatori opće cirkulacije vodenih masa u Jadranskom moru (raspored tlaka zraka, periodičnog gibanja, utjecaj kopnenih voda, geomorfološke karakteristike itd.). Na taj se način i strujanje u površinskom sloju može shvatiti kao posljedica sezonske promjene opće dinamike.

NAČIN ISTRAŽIVANJA I OBRADE PODATAKA

U okviru redovnih djelatnosti radi proučavanja površinskih struja mora u Jadranu, Hidrografski institut RM vrši redovito eksperimente sa drift karticama.

Istraživanje površinskog strujanja sastavni je dio proučavanja morskih struja uopće. Neriješeno je i danas pitanje kako determinirati strujanje u tankom površinskom sloju mora do 20 cm dubine. Naime, tehnički je nemoguće ostvariti kontinuirana direktna mjerenja mora u tako tankom sloju i to iz razloga što u tako tankom sloju ne možemo postaviti niti jedan mjerni instrument zbog njihovih konstrukcijskih nepodobnosti. Prilikom mjerenja s usidre-

nog broda dubina mjerenja uvjetovana je gazom broda. Pored toga, ako bi se i riješila neka konstrukcijska pitanja, ogromni materijalni izdaci, da se mjerenjem obuhvati tako veliki akvatorij, svakako bi se radije zamijenili jeftinijim načinima i metodima.

Ranijih se godina ovaj problem pokušavalo riješiti sličnom metodom i to sa »bocama-plovcima« (za vrijeme Međunarodne geofizičke godine 1957/58). Koliko je poznato, sada se sa ovom problematikom bavi povremeno na pojedinim lokacijama ekipa Instituta za oceanografiju i ribarstvo iz Splita. Time je, međutim, i dalje ostalo neriješeno pitanje problema determiniranja strujanja u tankom površinskom sloju, jer se bocama plovcima obuhvaća sloj debljine do 1 metar. Zbog toga je usvojen način primjene metode mjerenja sa drift karticama. Naime, moderan pristup rješavanju ove problematike zahtijeva određivanje karakteristika u tankom površinskom sloju zbog određivanja rasprostiranja polutanata, površinskih aktivnih tvari, ribljih larvi i jaja itd. Pored navedenog, ta istraživanja imaju vrlo veliki značaj za rješavanje specifičnih zadataka u okviru problematike vezane za RM (praćenje širenja kontaminirane vode, lutajućih mina, polaganja mina i protivmiske odbrane itd.).

U posljednjih nekoliko godina, u okviru ostalih naučnoistraživačkih radova vezanih za istraživanje ekološke problematike na Jadranu uvršteni su i eksperimenti sa drift karticama (Ilić, Smirčić i Vučak, 1978; Smirčić i Ilić, 1980.). Tako je u periodu od januara 1979. godine do jula 1980. godine bačeno na 128 postaja Jadrana (slika 1) ukupno 9245 kartica. Kartice su redovito bacane na platformi INE »Panon« (HI), a periodski na 3 postaje u Koparskom zaljevu (MBP) i 2 postaje u južnom Jadranu (BZ, Dubrovnik). Eksperiment sa drift karticama proširen je također na sva krstarenja i vožnje vezane uz djelovanje Hidrografskog instituta JRM.

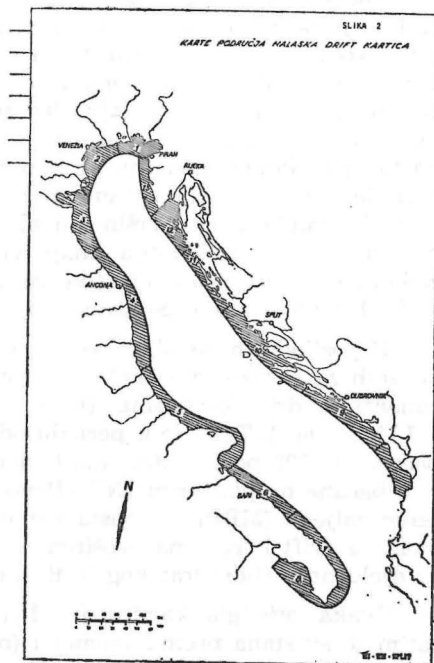
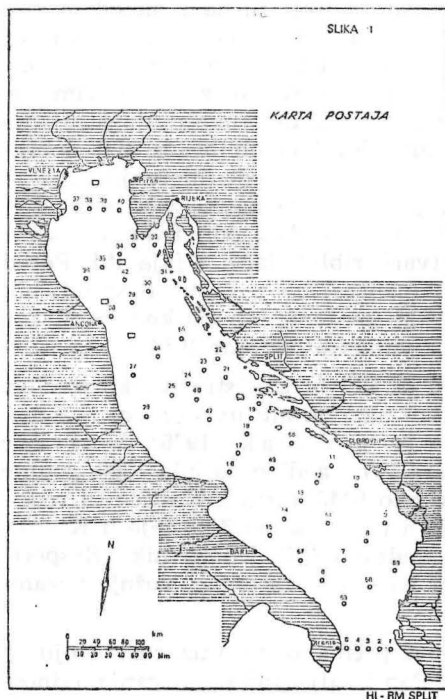
Svaka pristigla kartica je identificirana prema odgovarajućem broju, a zatim je svrstana prema vremenu (mjesec, dan i sat) i mjestu bacanja, odnosno, mjestu gdje je pronađena. Na osnovu tih podataka načinjene su tabele identifikacije po mjesecima, koje sadrže ove podatke:

- postaje na kojoj je kartica bačena,
- broj bačenih kartica i
- broj nađenih kartica sa naznakom sektora pronalaženja.

Radi što jednostavnijeg svrstavanja podataka i njihove kasnije analize, čitav Jadran je podijeljen u 12 sektora pronalaska kartica (slika 2). Tome su pridodata i 2 sektora izvan Jadrana i to Tarantski zaljev i predio W obale Grčke.

Iz navedenih podataka iscrtane su karte strujnica za svaki mjesec posebno bez obzira na broj postaja, odnosno, broj kartica koji je bačen. Te karte, poslužile su za iscrtavanje karata sektora mogućih kretanja drift kartica po sezonama. Budući, da su razmatranja općenito svedena na sezonska promatranja ponašanja površinskih struja, to su posebno iscrtane karte strujnica za pojedine sezone (proljeće, ljeto, jesen i zimu). Na tim kartama ucrtani su i neki podaci dobiveni direktnim instrumentalnim mjerenjima mora, i to za dubinu od 3 metra. Podaci direktnih mjerenja prikazani su na kartama punom strelicom i brojčanom vrijednošću iznosa brzine. Na taj način, mogu se komparirati rezultati dobiveni pokusom sa drift karticama s onima koji su dobiveni direktnim mjerenjima.

Za analizu korišćeni su i podaci anemografskih stanica HI RM, kao i pregledi vremenske situacije. Ovo se koristilo u slučajevima koji su bili podobni za ova upoređenja.



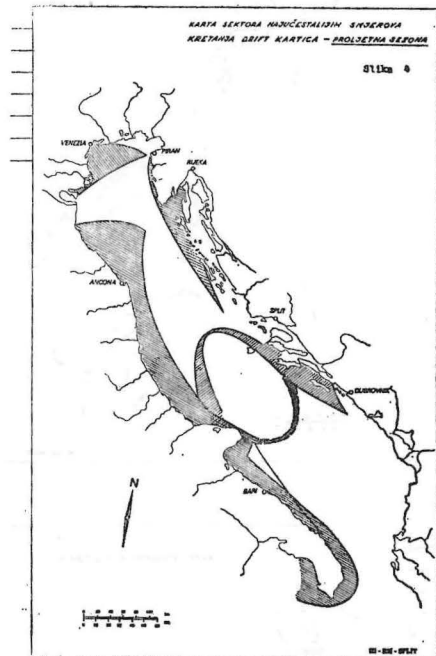
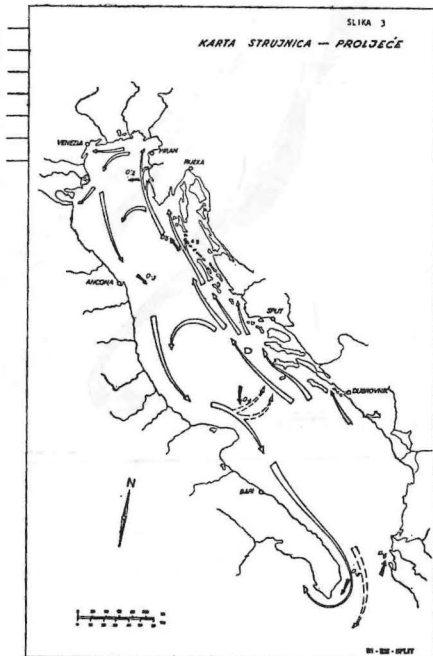
REZULTATI MJERENJA

Proljeće:

Analizom podataka područja pronalaženja drift kartica (slika 3 i 4) uočljiv je transverzalni tok od E ka W obali, kao i od W ka E obali i to u području srednjeg i sjevernog Jadrana. Transverzalni tokovi od E ka W obali podudaraju se sa već poznatom općom cirkulacijom, dok oni smjera od W ka E obali mogu se protumačiti kao posljedica vjetrova iz smjerova koji pogoduju ovom strujanju, te utjecaju sjeverno-jadranskih rijeka. To je osobito izraženo u sjevernom Jadranu. Generalni tok strujanja okarakteriziran je ciklonalnim tokom sa učestalijim transverzalnim tokovima od E ka W obali i to osobito u cijelom području od Venecije do spojnice Premuda—Ankona, kao i u području Jabučke kotline.

Može se pretpostaviti, da su transverzalni tokovi od W ka E obali manje učestali, a pojavljuju se u području zapadne obale Istre, te Kvarneru i Kvarneriću. Značajan je i transverzalni tok istog smjera koji je lociran nešto južnije od Palagruškog praga.

Analizom većeg broja kartica dobivene su vrijednosti brzine transversalnih tokova od 0,2 do 0,4 čv, što se dobro slaže sa rezultatima direktnih mjerenja u sloju od 3 do 5 metara. Dobivene su i ekstremne vrijednosti brzina struja i to iz podataka o nađenim drift karticama koje su pronađene u veoma kratkom vremenskom periodu nakon bacanja. Vrijednosti ovih ekstremnih brzina struja dostižu i 1,4 čv. (područje Ankone).



Ljeto:

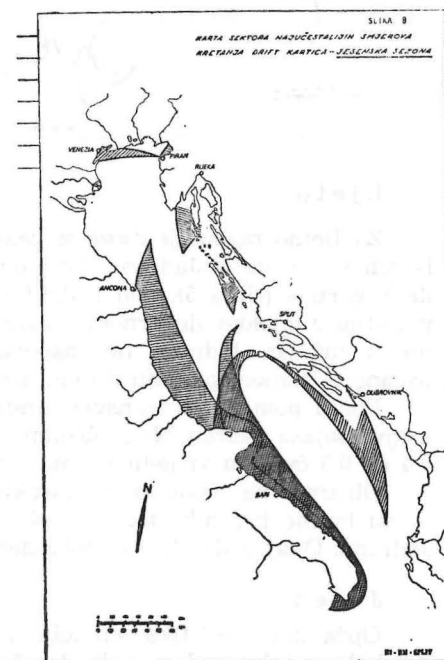
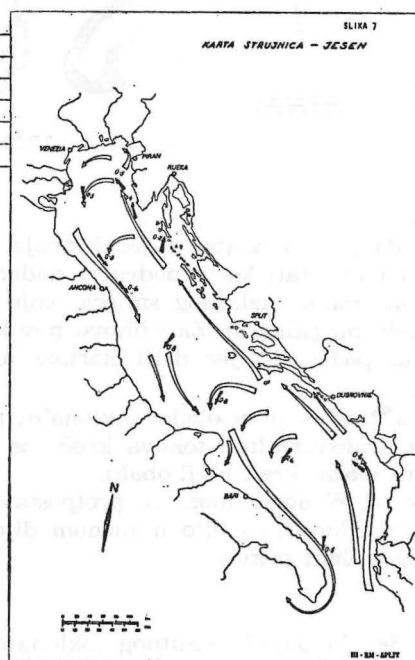
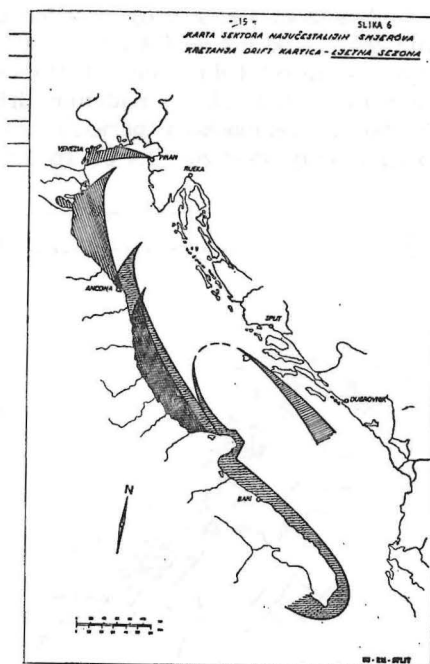
Za ljetno razdoblje može se zaključiti, da je dominantan utjecaj struja izlaznih smjerova iz Jadrana. Ovo potvrđuju i rezultati karte područja nađenih drift kartica (slika 5), kao i strujnice transversalnog izlaznog smjera, koje su prisutne u cijelom sjevernom i srednjem Jadranu (slika 6). Za njihovo postojanje u južnom Jadranu ne raspolažemo sa podacima, jer drift kartice nisu bacane u ljetnom periodu u ovm području.

Pored pomenutih transversalnih tokova, uočljiv je priobalni ciklonalni tok uskog pojasa lociran bliže obalama. Brzine transversalnih tokova kreću se od 0,4 do 0,5 čv. Istu vrijednost ima i priobalni ulazni krak uz E obalu.

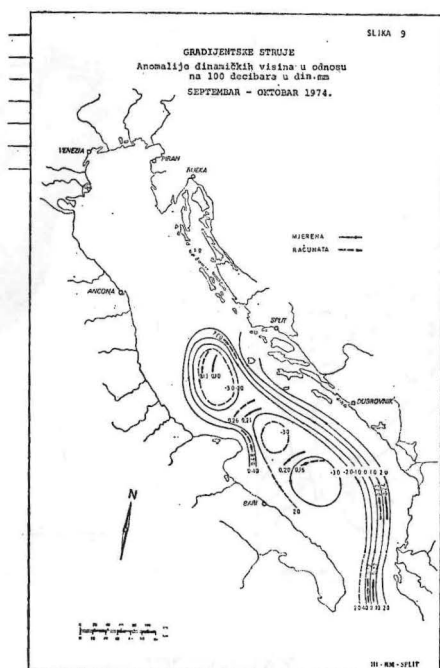
Obzirom na topografske karakteristike uz W obalu može se pretpostaviti, da su brzine izlaznih struja i nešto većih vrijednosti, osobito u južnom dijelu Jadrana. Ovaj podatak nije potvrđen analizom drift pokusa.

Jesen:

Opća karakteristika situacije u jesen je, da pored prisutnog ciklonalnog priobalnog toka, vidimo jako izraženo trasverzarno strujanje od E ka W obali (slika 7 i 8).



Brzine transversalnih strujanja dostižu vrijednosti i do 0,8 čvorova. Ta strujanja prisutna su od krajnjeg dijela sjevernog Jadrana do Južnojadranske kotline. Ovakvu situaciju potvrđuju i gradijentske struje izračunate za početak jesenskog perioda (oktobar 1974, slika 9). Gradijentske struje ukazuju na postojanje širokog pojasa ulaznih struja u južnom Jadranu, kao i transversalnih tokova u području Jabučke kotline. Palagruškog praga i Južnojadranske kotline, što se u potpunosti slaže sa rezultatima dobivenim drift eksperimentima.



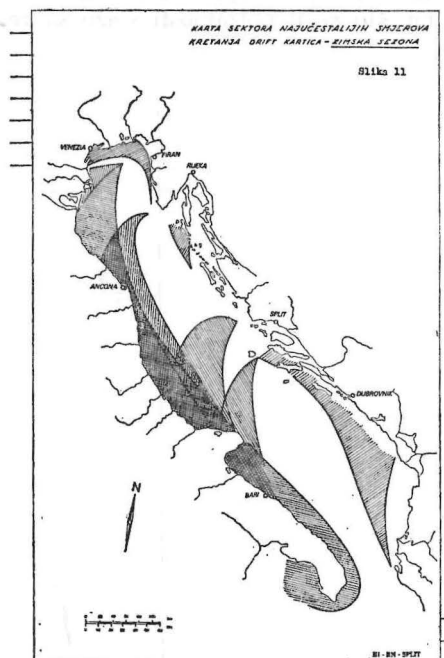
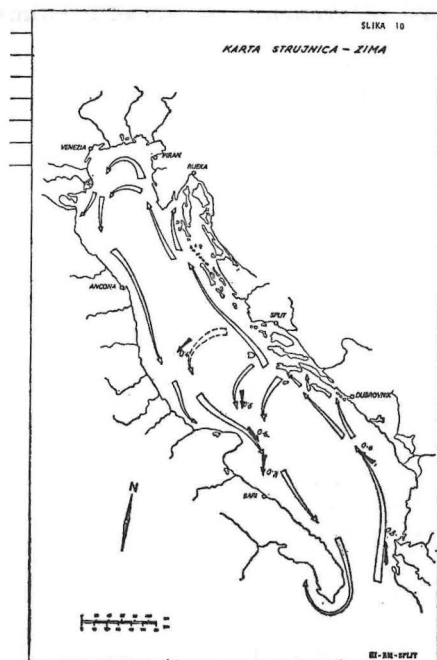
Valjanost proračuna gradijentskih struja potvrđuju i rezultati direktnih mjerenja struja, jer se brzine neznatno razlikuju (do 0,05 čv), a smjerovi u potpunosti podudaraju.

Zima:

Zimska situacija strujanja je slična jesenjoj. Može se primijetiti, da su ulazne struje u južnom Jadranu nešto većih brzina (oko 0,8 čv). Izlazne struje uz W obalu su nešto užeg pojasa brzine oko 0,7 čv. Ovaj zaključak, je donesen na osnovu podataka direktnih mjerenja, kao i pronađenih drift kartica relevantnih za ovakve proračune.

Raspored transversalnih tokova ukazuje na nešto intenzivnije transversalno strujanje u sjevernom Jadranu, kao i u području Jabučke kotline i Palagruškog praga.

U ovom periodu, kao i u jesen, zbog utjecaja vjetrova iz južnih smjerova, postoji strujanje ka E obali, što je osobito izraženo u području južnog Jadrana, srednjodalmatinskih otoka, Kornatskog arhipelaga, Kvarnerića, Kvarnera i zapadne obale Istre (slika 10 i 11).



ZAKLJUČCI

U svim sezonama izlazni krak struje iz Jadrana skreće, u većini slučajeva, u Tarantski zaljev, u kojem je i nađen najveći broj drift kartica, koje su izašle iz Jadrana (oko 95%). Svega oko 5% drift kartica je pronađeno na obalama Sicilije i Grčke.

Iz prethodne analize može se zaključiti slijedeće:

— ciklonalni tok strujanja je prisutan u svim sezonama. Najmanjeg je intenziteta u ljetnjem razdoblju, a najintenzivniji u jesen i zimu;

— transverzalni tokovi od E ka W obali prisutni su u svim sezonama sa značajnim razlikama u intenzitetu i prostoru. U proljetnoj sezoni ova strujanja su locirana od sjevernog Jadrana do Jabučke kotline. Ljeti i u jesen proširuju se sve do Južnojadranske kotline, dok su zimi najintenzivnija u područja krajnjeg dijela sjevernog Jadrana, te od Jabučke kotline do Palagruškog praga;

— transverzalna strujanja od W ka E obali pojavljuju se samo u proljetnoj sezoni i to u području srednjeg Jadrana, nešto južnije od Palagruškog praga;

- u ljetnjem razdoblju preovladava izlazno strujanje;
- zbog utjecaja južnih vjetrova u jesen i zimi prisutne su i struje ka istočnoj obali i to u južnom dijelu srednjeg i u sjevernom Jadranu;
- izlazna struja uz W obalu najčešće skreće iz Otranta u Tarantski zaljev;
- premda su podaci o brzinama struja diskutabilni zbog nepoznavanja stvarnih trajektorija kretanja bačenih drif kartica, ipak se mogu uočiti neke karakteristike brzina struja. Brzine struja proračunate su iz podataka onih drift kartica koje su nađene 3 do 5 dana nakon bacanja.
- Brzine struja ciklonalnog toka kreću se prosječno u granicama od 0,2 do 0,5 čv, a onih transverznog toka od 0,2 do 0,8 čv;
- najveći iznosi brzina struja ulaznog toka od 0,8 čv utvrđeni su u zimskom i jesenjem razdoblju, a dosežale su i vrijedosti do 1,4 čv za vrijeme jakih južnih vjetrova;
- brzine struja izlaznog toka kretale su se u granicama od 0,5 do 0,7 čv. U zimskom periodu brzine struja dosežale su vrijednosti do oko 0,7 čv, dok su u ostalim sezonama bile nešto manjeg iznosa;
- brzine struja transverznog toka, približno SSE smjera, dosežale su najveći iznos od 0,8 čv u jesen u području Jabučke kotline i Palagruškog praga. Zimi su iznosile oko 0,6 čv, a u proljeće i ljeto od oko 0,4 do 0,5 čv;
- struje ulaznog smjera su šireg pojasa i izraženijih brzina od onih izlaznog smjera. Ova pojava je najizraženija u zimskom i jesenskom razdoblju.

LITERATURA

- Buljan, M. i M. Zore-Armanda, 1971, Osnovi oceanografije i pomorske meteorologije. Institut za oceanografiju i ribarstvo, Split, 424 p.
- Gačić, M. i T. Smirčić, 1971, Statistička analiza dinamike površinskog sloja Kaštelanskog zaljeva. Hidrografski godišnjak 1971: 89—102.
- Ilić D., T. Smirčić i Z. Vučak, 1978, Some results of drift card experiments in middle and south Adriatic. Rapp. Comm. int. Mer. Médit.
- Klemenc, B., 1980, Morski tokovi u Jadranu, diplomski rad, Ljubljana.
- Smirčić T. i D. Ilić, 1980, Neki rezultati istraživanja površinskih struja u Riječkom zaljevu metodom drift kartica, Hidrografski godišnjak 1976/77; 69—96.
- Vučak Z., 1978, Mjerenje struja u području Otrantskih vrata, Magistarski rad, Centar za postdiplomski studij Sveučilišta u Zagrebu, 104 p.
- Vučak Z. i A. Škrivanić, 1980, Results of oceanographical transadriatic January 1980 cruise at the r/V »Andrija Mohorovičić«. Rapp. Comm. int. Mer. Médit.
- Vučak Z., 1964, Istraživanje struja pomoću boca-plovaka, Hidrografski godišnjak 1964: 119—140.
- Zore M., 1956, On gradient currents in the Adriatic Sea. Acta Adriat. 8 (6): p. 38.
- Zore-Armanda, M., 1966, O sezonskim promjenama površinskog strujanja u Jadranu, Hidrografski godišnjak 1966: 69—74.

SOME RESULTS OF DRIFT CARD EXPERIMENTS IN THE ADRIATIC DURING THE PERIOD 1979—1980

Marijan Ferenčak, Dušan Ilić, Tonko Smirčić and Zoran Vučak

Hydrographic Institute of the Navy, Split

SUMMARY

The drift card experiment was carried out between January 1979 and July 1980, in order to study surface circulation of the Adriatic Sea.

In all, 9,245 drift cards were released at 128 stations and 1279 (i.e. 15.8%) were recovered. This percentage of recoveries is the usual one when this kind of experiments is carried out in rather large aquatic areas.

Recovered drift cards yielded the information on the probable courses they have followed as well as on current directions for four seasons.

Results were compared with the direct current measurement data (from some of the Adriatic stations), as well as with gradient current calculations for different situations. Results showed good agreement with both direct current measurement data and gradient current calculations.

This experiment gave the qualitative and quantitative characteristics of surface layer circulation by seasons. Cyclonic current flow was established in all seasons, with the highest intensity in winter — autumn and considerably lower intensity in summer. Transversal E-V and W-E flows were also recorded in all seasons. However, they varied considerably with respect to their intensity and direction. Transversal flows of W-E direction were considerably less intensive and occurred only in spring.

Data on current speeds obtained by this experiment are not quite reliable due to the poor knowledge of actual drift card trajectories. Nevertheless, some surface flow properties could be inferred from the data obtained by the cards recovered relatively short time after they were released (3—5 days).

Speeds of cyclonic flow currents ranged between 0.2 and 0.5 knots. Transversal current flow had the speed of 0.2—0.8 knots.

Inflow current speeds of 0.8 knots were recorded in winter-autumn, while outgoing current speeds ranged between 0.5—0.7 knots.