

**Opis eksperimenta i neki preliminarni rezultati
oceanografskih istraživanja u području Velebitskog kanala,
Senjskih vrata i Kvarnerića – ožujak 1986***

Ante Smirčić, Zoran Vučak,* Zvonko Gržetić,* Nenad Leder,*
Marijan Ferenčak* i Miroslav Gačić***

**Hidrografski institut JRM, Split i **Institut za oceanografiju i ribarstvo,
Split, Jugoslavija*

Radi istraživanja nekih osnovnih značajki površinskih valova bure u području Senjskih vrata organizirana su intenzivna oceanografska mjerenja u ožujku i travnju 1986. godine. Pri tome se posebno nastojalo utvrditi utjecaj duljine privjetrišta na spektralne karakteristike površinskih valova uzrokovanih burom. Stoga su na potezu Senjska vrata – rt Sv. Duh (o. Cres) usidrene tri ondografske plutače na razmaku od 7 M. Podaci o vjetru mjereni su na dvjema stanicama u tom području. Da bi se uočio utjecaj bure na hod nekih drugih oceanoloških parametara, mjereni su smjer i brzina struje mora (na dvjema postajama), te temperatura, slanost, prozirnost i boja mora na nekoliko profila u tom akvatoriju. Neki preliminarni rezultati mjerenja i obrade podataka prikazat će se u ovom radu.

**Some preliminary results of an oceanographic experiment in the region
of Velebit Channel, Senj Gate and Kvarnerić – March 1986**

In order to study the fetch dependence of wind wave energy, intensive oceanographic measurements have been undertaken in the coastal area of Senj during the period March/April 1986. This area is characterized by strongest NE wind (bora) in the Adriatic Sea. Three wave rider buoys were deployed at different positions along the line normal to the coast. The distance between the two buoys was 7 M. The wind speed and direction were recorded at two positions in the area. At the same time, current measurements as well as several hydrographic surveys were also undertaken. The data collected during the experiment are analyzed and some preliminary results of the analysis are presented.

* Prikazano na simpoziju "Observations and Modelling in Geophysics" što ga je organizirao Geofizički zavod Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Simpozij je održan od 11. do 13. lipnja 1986. godine u Zagrebu.

1. Uvod

Dosadašnja mjerenja parametara površinskih valova uzrokovanih vjetrom obavljaju se u okviru redovnih djelatnosti HI JRM i to na tri ondografske stanice u području sjevernog, srednjeg i južnog dijela otvorenog Jadrana.

Pri planiranju istraživanja karakteristika površinskih valova Jadrana predviđena su, osim redovnih mjerenja na otvorenom moru, i mjerenja na pojedinim mikrolokacijama međuotočnog i obalnog područja, značajna s gledišta generiranja i razvoja određenih stanja mora pri najjačim i najfrekventnijim vjetrovima – jugo i bura, npr. Senjska vrata, Kvarner, Kvarnerić, područje svjetionika Grujica, rt Ploča itd.

Ta mjerenja predviđena su kao zasebni eksperimenti za vrijeme kojih bi se, osim mjerenja parametara površinskih valova, mjerili i ostali oceanološki i hidrometeorološki parametri.

Realizacija tog plana počela je u ožujku 1986. godine, a neki preliminarni rezultati mjerenja i istraživanja bit će prikazani u ovom radu.

2. Prikaz eksperimenta

Za vrijeme eksperimenta korišten je brod BH-12, a sudjelovali su uz Hidrografski institut JRM i suradnici Fakultete za naravoslovje in tehnologijo iz Ljubljane, te suradnik iz Instituta za oceanografiju i ribarstvo iz Splita. Cilj je istraživanja bio dobiti neke osnovne spoznaje o značajkama površinskih valova bure na području istraživanja (Senjska vrata, Velebitski kanal i Kvarnerić) i uočiti utjecaj bure na hod nekih drugih oceanoloških parametara. Posebno se nastojalo utvrditi utjecaj duljine privjetrišta na spektralne karakteristike površinskih valova uzrokovanih burom.

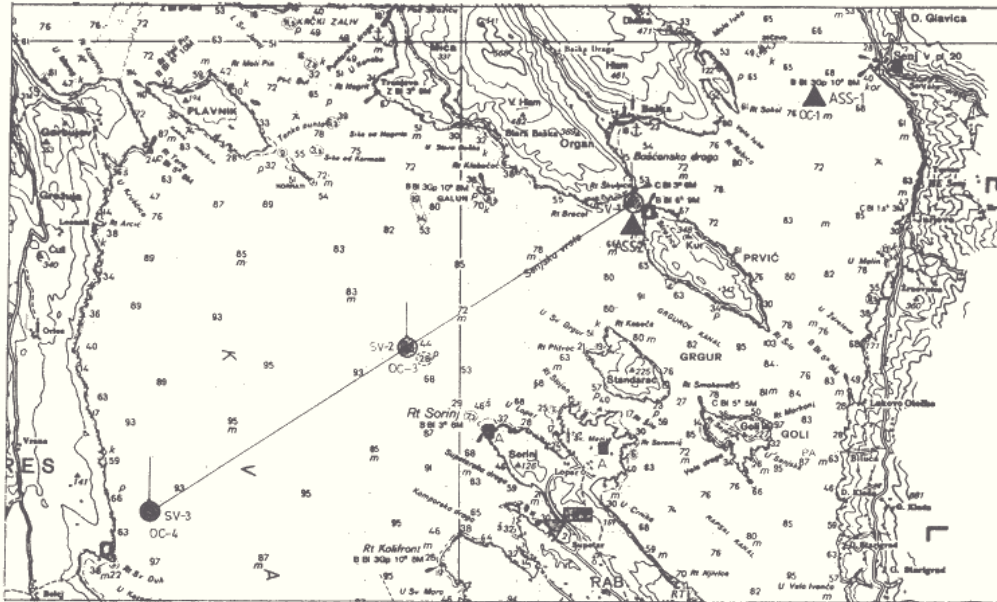
Dosadašnja istraživanja površinskih valova, kao što je poznato, odnosila su se na valove otvorenog Jadrana i to s gledišta vremenske evolucije u uvjetima dubokog mora, dakle za dubine mora kad je zadovoljen uvjet (Hasselmann et al., 1973):

$$d = \frac{1}{4} L_{\max}$$

Stoga su mjerne jedinice (plutače) ondografa usidrene duž osi paralelne sa smjerom puhanja bure na spojnici Senjska vrata – rt Sv. Duh (o. Cres), a prirast privjetrišta iznosio je oko 7 M (sl. 1).

Batimetrijske su karakteristike područja istraživanja, posebno na ondografskoj postaji SV-2 (blizu pličine Sorinj), takve da se može očekivati znatniji utjecaj dubine na spektralne karakteristike površinskih valova. Također se s obzirom na topografske značajke obale i otoka koji okružuju istraživani akvatorij, može očekivati utjecaj difrakcije i refleksije površinskih valova.

Denivelacije površine mora uzrokovane vjetrom registrirane su ondografima DATA-WELL nizozemske proizvodnje redovito u sinoptičkim terminima (01, 04, 07... itd. sati). Za izuzetnih situacija (jače bure ili juga) mjerenja su bila frekventnija, tako da su podaci registrirani i između redovnih termina. Dužina registracija iznosila je 5, 10 ili više minuta, ovisno o jačini stanja mora.



Slika 1. Shema postaja

Figure 1. Experiment design

Brzina i smjer vjetra registrirani su anemografom tipa SIAP VT 1450 na rtu Sorinj na visini 10 metara iznad morske površine. Podaci s ove lokacije u situacijama s burom reprezentativni su za cijelo područje istraživanja. U mjestu Lopar (o. Rab) postavljen je anemograf „Jožef Štefan”, kao i uređaj za mjerenje mahova bure.

U Supetarskoj Dragi (o. Rab) registrirana je temperatura, tlak i vlaga zraka, a u mjestu baziranja broda (najčešće Supetarska Draga) mjerena je također i površinska temperatura mora radi dobivanja značajki stabilnosti atmosfere neposredno uz morsku površinu, što omogućuje studij eventualnog utjecaja stabilnosti atmosfere na spektralne značajke površinskih valova.

Na karakteristike površinskih valova mogu znatno utjecati smjer i brzina struje te vertikalno smicanje, pa su zbog toga bile postavljene dvije autonomne strujomjerne stanice:

- ASS-1, u Velebitskom kanalu na sredini spojnice rt Sokol (o. Krk)–Senj, sa 4 strujomjera RCM-4 na razinama 3, 20, 45 i 65 metara,
- ASS-2, u Senjskim vratima sa tri strujomjera istog tipa na razinama 3, 20 i 45 metara.

Osim toga na pozicijama sidrenja strujomjernih i ondografskih plutača (postaje OC₁ do OC₄) mjerni su i drugi oceanografski parametri:

- temperatura mora (prekretnim termometrima, batitermografom i OTS sondom),
- slanost mora (uzroci Nansen crpicima, salinometar),
- kisik (O₂) i pH faktor,
- prozirnost i boja mora (Secchi bijelom i crnom pločom promjera 30 cm).

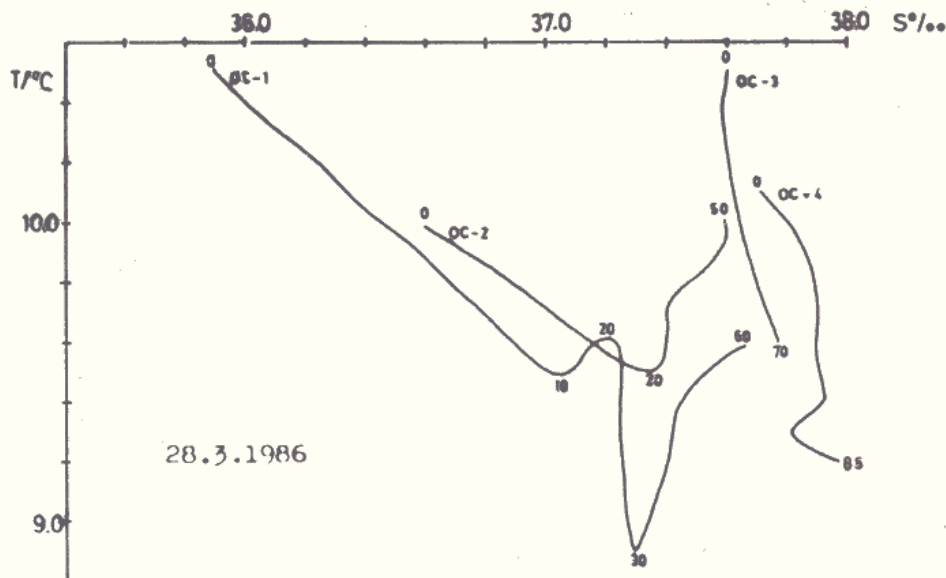
U mjestu baziranja broda, neposredno uz lukobran marine Supetarska Draga, bio je postavljen prijenosni mareograf tipa DNT-2. U Supetarskoj Dragi bile su također smještene prijemne antene i registratori ondografa.

3. Termohalina svojstva istraživnog područja, mjerenja O_2 i pH

Područje istraživanja se nalazi, s jedne strane, pod snažnim kontinentalnim utjecajem s tendencijom stvaranja hladne i teže vode koja tone i čije su intruzije registrirane tokom eksperimenta, a s druge strane pod djelovanjem nadolazeće struje s otvorenog dijela Jadrana.

Opća je karakteristika istraživnog područja, analizirajući sakupljene podatke, lako razbijanje termokline i teško uspostavljanje potpune izotermije u cijelom vodenom stupcu. Tako se npr. i u ljetnom periodu može pri dnu naći vodeno tijelo s temperaturom 11°C i gustoćom 1.0294 g/cm^3 . Jesensko uspostavljanje izotermije i produbljivanje termokline u tom području nije osobito izraženo, jer i u tom razdoblju postoje pri dnu advektivni tokovi različitih TS indeksa.

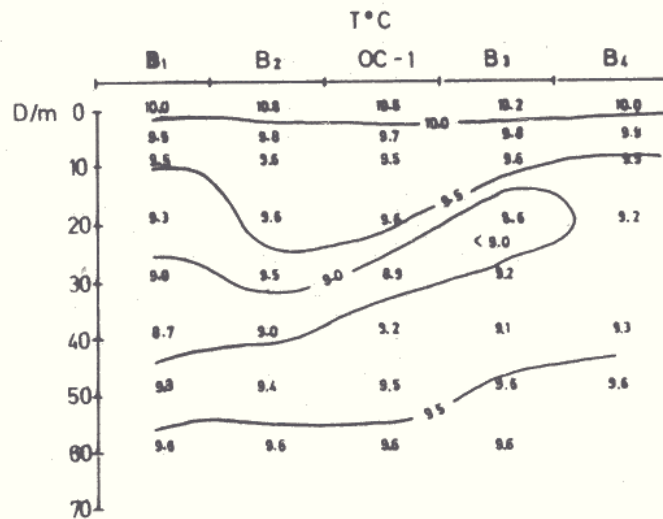
Radi istraživanja termohalinih svojstava tog područja odabrane su četiri karakteristične pozicije (OC_1 do OC_4). Pokazalo se da se postaje OC_3 i OC_4 nalaze pod jačim utjecajem otvorenog mora, a postaje OC_1 i OC_2 pod intenzivnim kontinentalnim utjecajem (sl. 2). Ukupna stratifikacija pokazuje primjer tipične zimske situacije s niskim temperaturama i malim razlikama TS karakteristika od površine do dna. Radi se uglavnom o



Slika 2. T-S dijagrami za postaje OC-1, OC-2, OC-3 i OC-4

Figure 2. T-S diagrams for stations OC-1, OC-2, OC-3 and OC-4

jednoslojnoj strukturi čitavog vodenog stupca od površine do dna. Ipak na nekim postajama u Velebitskom kanalu registrirana su uklinjenja hladnije vode (za oko 1°C) na dubini od 30 do 50 metara (sl. 3). Ta uklinjenja su vjerojatno rezultat advektivnih dotoka iz sjevernijeg dijela Velebitskog kanala. Porast slanosti prema dnu kompenzira ove temperaturne anomalije što rezultira stabilnom stratifikacijom s gustoćama od 1.0270 do 1.0295 g/cm^3 .



Slika 3. Raspored temperature na profilu rt Sokol-Senj (28. 3. 1986)

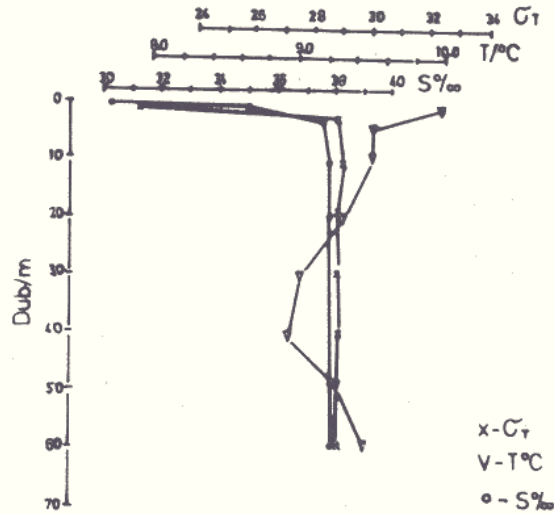
Figure 3. Temperature as a function of horizontal distance and depth at the profile Sokol-Senj (28 March 1986)

Na površini uz obalu registriran je lakši površinski sloj s niskim slanostima kao posljedica utjecaja snažnih podmorskih izvora slatke vode. Ovu činjenicu potvrdila su višekratna mjerenja temperature i slanosti na nekoliko postaja Velebitskog kanala izvršena multisondom.

Utjecaji manje slane vode primjećuju se samo u površinskom sloju (sl. 4).

Mjerenja kisika pokazuju karakteristike izrazito zimske situacije s jednakim sadržajem kisika na svim dubinama (oko 6.5 ml/l) i zasićenjem oko $100\text{--}105\%$. Nisu se mogle uočiti gotovo nikakve prostorne razlike, pa se može reći da je jedini faktor koji kontrolira sadržaj kisika u ovoj situaciji intenzivno miješanje i prijenos otopljenog kisika duž cijelog vodenog stupca u cijelom istraživanom akvatoriju.

Analogna je situacija i s registriranim pH vrijednostima koje se kreću u rasponu od 8.2 do 8.3 na svim dubinama i na svim postajama.



Slika 4. Vertikalni raspored temperature, slanosti i gustoće (postaja OC-1)

Figure 4. Vertical distribution of temperature, salinity and density (station OC-1)

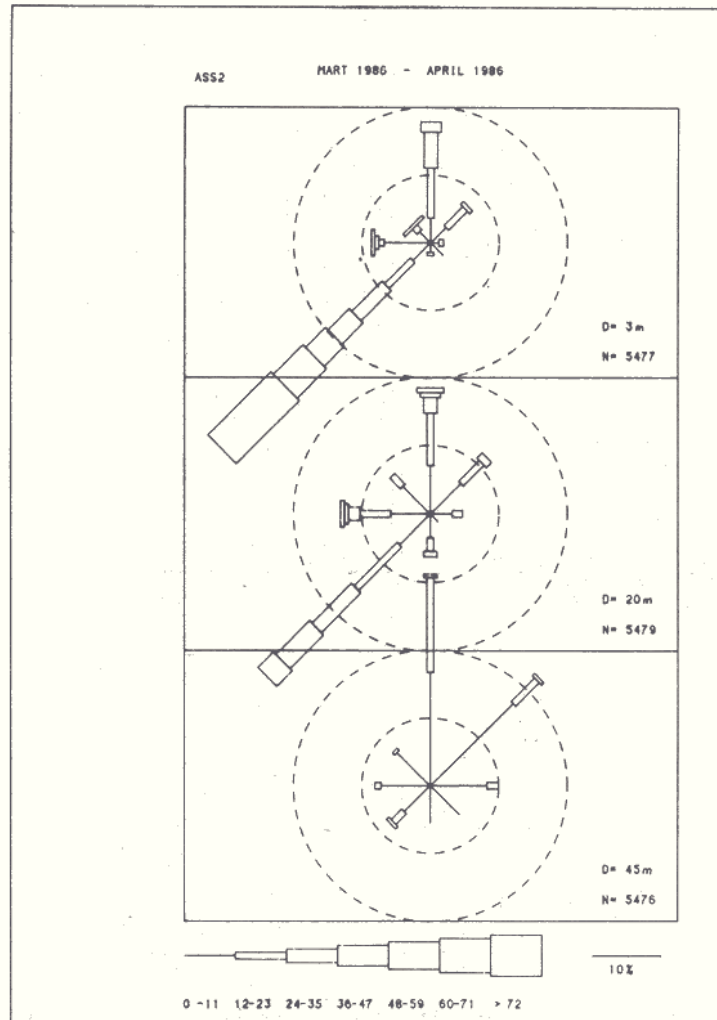
4. Neke značajke strujanja u moru istraživanog područja

Izmjereni podaci smjera i brzine struje u predjelu Senjskih vrata pokazuju značajke dvoslojnog strujanja (sl. 5). U površinskom sloju do dubine preko 20 metara struja je smjera SW (rezultirajuća struja je smjera 232° , brzine 33 cm s^{-1}), dok u pridnenom sloju prevladava kompenzacijska struja smjera N i NE. Ovo se posebno odnosi na situacije s burom kad taj vjetar inducira izlaznu struju iz Velebitskog kanala u površinskom sloju. Na intenzivno strujanje površinskog sloja u smjeru SW ukazuju i podaci srednje brzine struje (44 cm s^{-1}), odnosno maksimalne brzine struje koja iznosi 95 cm s^{-1} .

U situacijama bez vjetra u Senjskim vratima strujanje je uglavnom posljedica plimnih oscilacija koje su polarizirane u smjeru N–S (sl. 6).

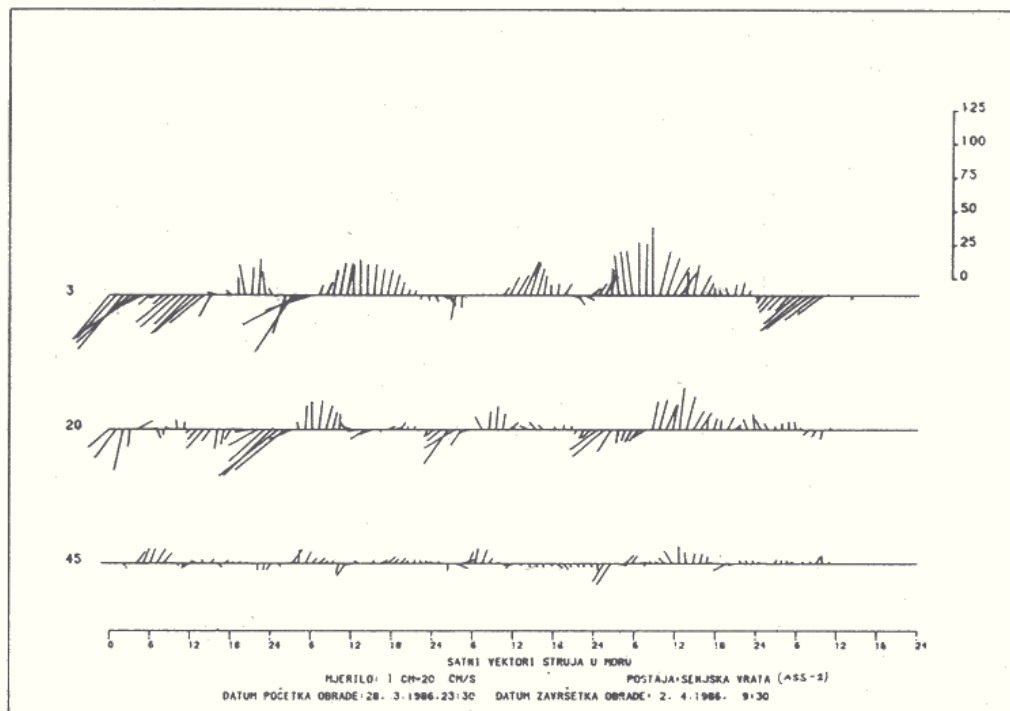
Istovremeno na postaji u Velebitskom kanalu bura inducira strujanje u smjeru NW u sloju od oko 10 metara debljine (sl. 7). Srednja brzina tog sloja je 33 cm s^{-1} , a maksimalna registrirana brzina iznosi 78 cm s^{-1} . U srednjem i pridnenom sloju strujanje pod utjecajem bure je smjera SW (sl. 8). Pri dnu se, međutim, utjecaj vjetra veoma slabo osjeća, što se može objasniti stabilnom stratifikacijom uzrokovanom dotokom slatkih voda s kopna.

Brzina struje idući od površine prema dnu postepeno opada što najbolje pokazuju numeričke vrijednosti srednjih brzina. Na nivou 20 metara srednja brzina iznosi 23 cm s^{-1} , na nivou 45 metara 18.5 cm s^{-1} , a na nivou 65 metara svega 14 cm s^{-1} . Maksimalne brzine u srednjem i pridnenom sloju kreću se u intervalu od 50 do 62 cm s^{-1} .



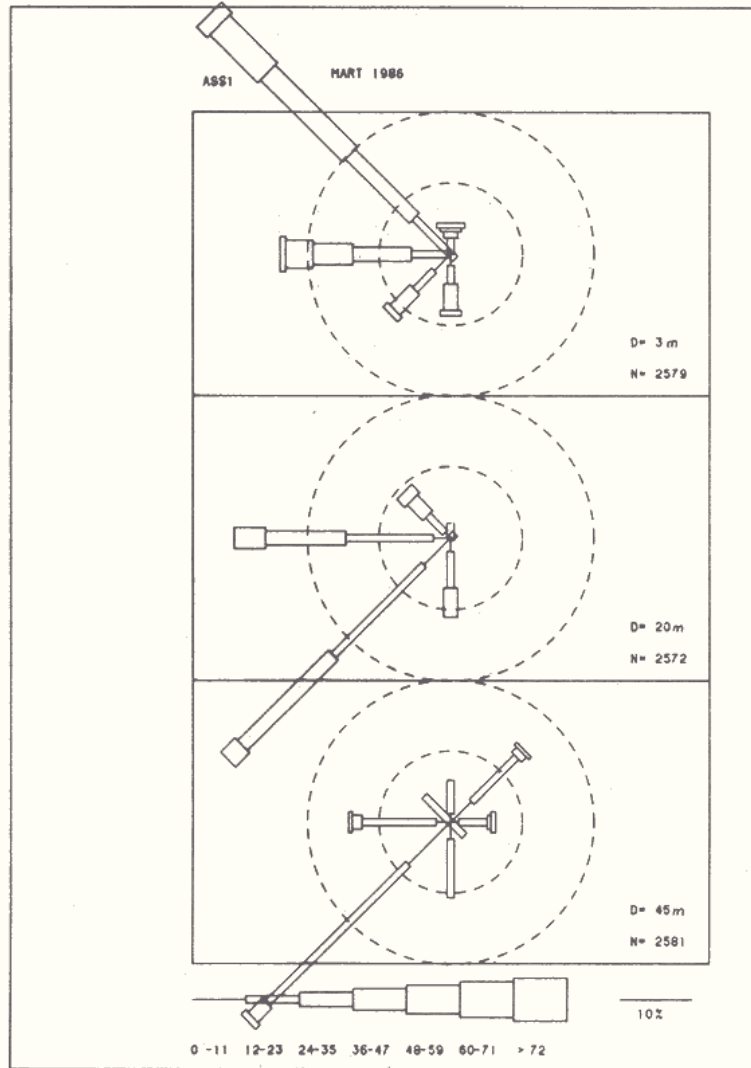
Slika 5. Čestine smjera i brzine struje na postaji ASS-2 (Senjska vrata)

Figure 5. Frequency of current direction and speed at the station ASS-2



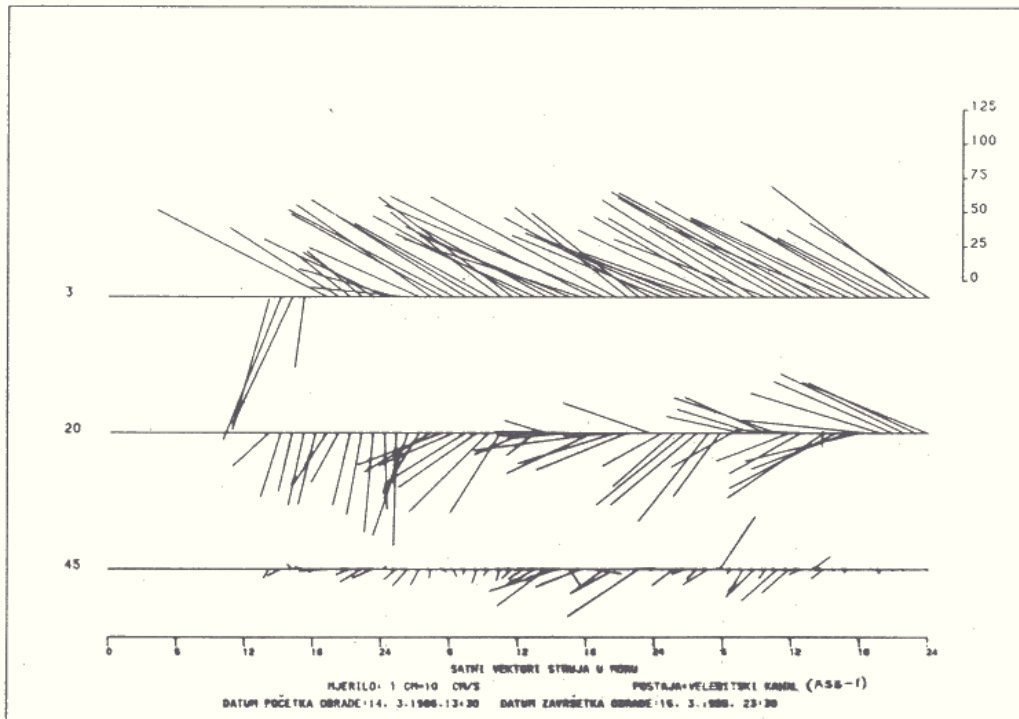
Slika 6. Satni vektori struja na ASS-2 (period mjerenja od 28. 3. do 2. 4. 1986)

Figure 6. Mean hourly current vectors at the station ASS-2 (28 March – 2 April 1986)



Slika 7. Čestine smjera i brzine struje na postaji ASS-1 (Velebitski kanal)

Figure 7. Frequency of current direction and speed at station ASS-1



Slika 8. Sätni vektori struja na ASS-1 (period mjerenja od 14. 3. do 16. 3. 1986)

Figure 8. Mean hourly current vectors at the station ASS-1 (14 March – 16 March 1986)

5. Neke značajke površinskih valova uzrokovanih vjetrom

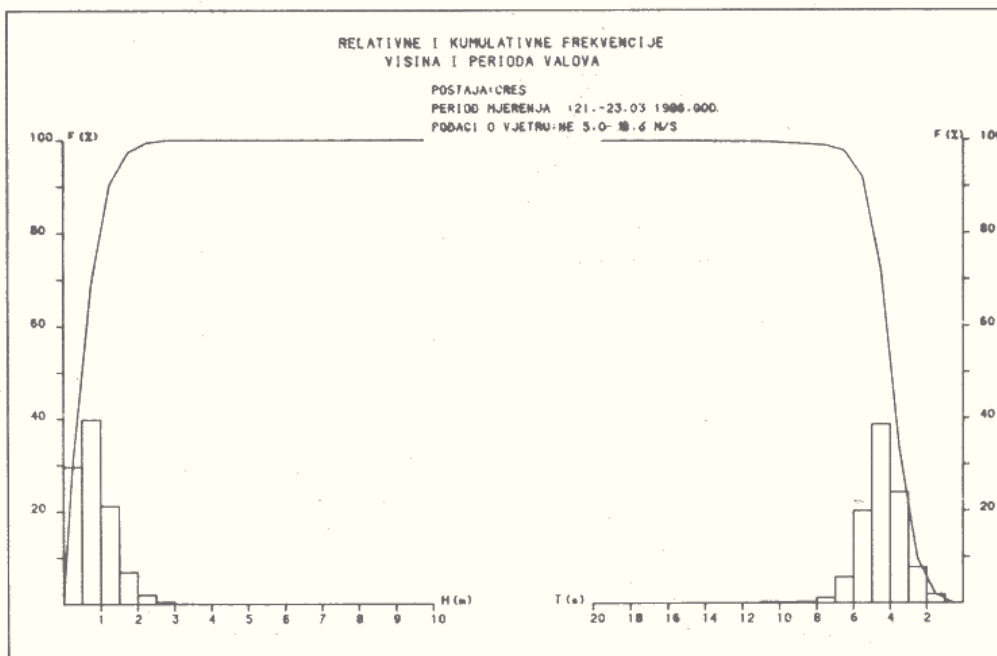
Preliminarna obrada i analiza podataka obavljena je na podacima situacije s burom registrirane na ondografskoj stanici Cres (SV-3). Ovdje će se dati samo karakteristike vremenske evolucije spektra površinskih valova, te izvršiti preliminarna usporedba tih spektara sa spektrima valova otvorenog mora za slične brzine vjetra. Također će se opisati razlike između mjerenih spektara u ovom području i parametarskih aproksimacija koje su korištene za opis spektara otvorenog mora (JONSWAP-ov i modificirani SG spektar).

Analiza funkcije raspodjele visina i perioda i njena usporedba s odgovarajućim funkcijama za otvoreni Jadran pokazuje da je ona za iste vremenske uvjete nešto uža u otočnom području, što je vjerojatno posljedica malih energija zbog kratke dužine privjetrišta (sl. 9).

Osnovna karakteristika razvoja oblika analiziranih spektara površinskih valova uzrokovanih djelovanjem vjetra je porast energije valova (odnosno iznosa maksimuma) s porastom brzine vjetra (sl. 10a i b), što se podudara sa značajkama spektara za otvoreno more. Istovremeno se položaj maksimuma pomiče prema nižim frekvencijama, tj. prema većim periodima. Takav razvoj karakterističan je za period od trenutka početka puhanja

vjetra pa do trenutka kad vjetar, odnosno energija valova, dosegne maksimum. Tipičan period maksimuma za analiziranu situaciju je oko 5.5 sekundi.

Oblik mjerenih spektara pokazuje postojanje relativno slabo izraženog sekundarnog maksimuma na visokim frekvencijama koji bi mogao biti posljedica složenog valnog sustava nastalog pod utjecajem blizine obale i topografije dna. Usporedba mjerenih spektara s dvjema parametarskim aproksimacijama općenito pokazuje da JONSWAP-ov spektar uz korištenje parametara računatih za spektre otvorenog mora, potcjenjuje mjerne

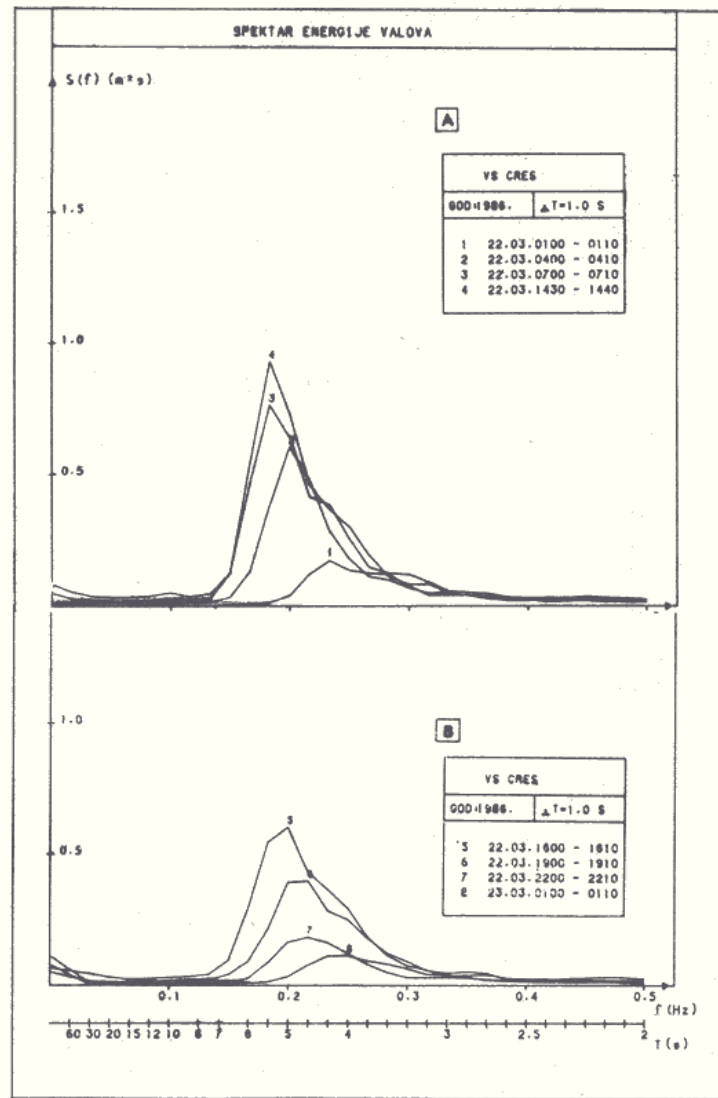


Slika 9. Relativne i kumulativne frekvencije visina i perioda za situaciju 21. – 23. 3. 1986. g. (SV-3)

Figure 9. Functions of relative and cumulative frequencies of wave heights and periods for the wind event of 21–23 March 1986 (SV-3)

spektre, a SG spektar procjenjuje (sl. 11). SG spektar procjenjuje mjerene spektre jer energija valova kod te parametarske aproksimacije zavisi o brzini vjetra. Na otvorenom moru, naime, ista brzina vjetra uzrokuje valove veće energije nego na istraživanom području zbog različite dužine privjetrišta (sl. 12 i tab. 1).

Radi boljeg aproksimiranja mjerenih spektara tom parametarskom aproksimacijom trebalo bi dakle posebno izračunati parametre za otočno i priobalno područje (a i γ).

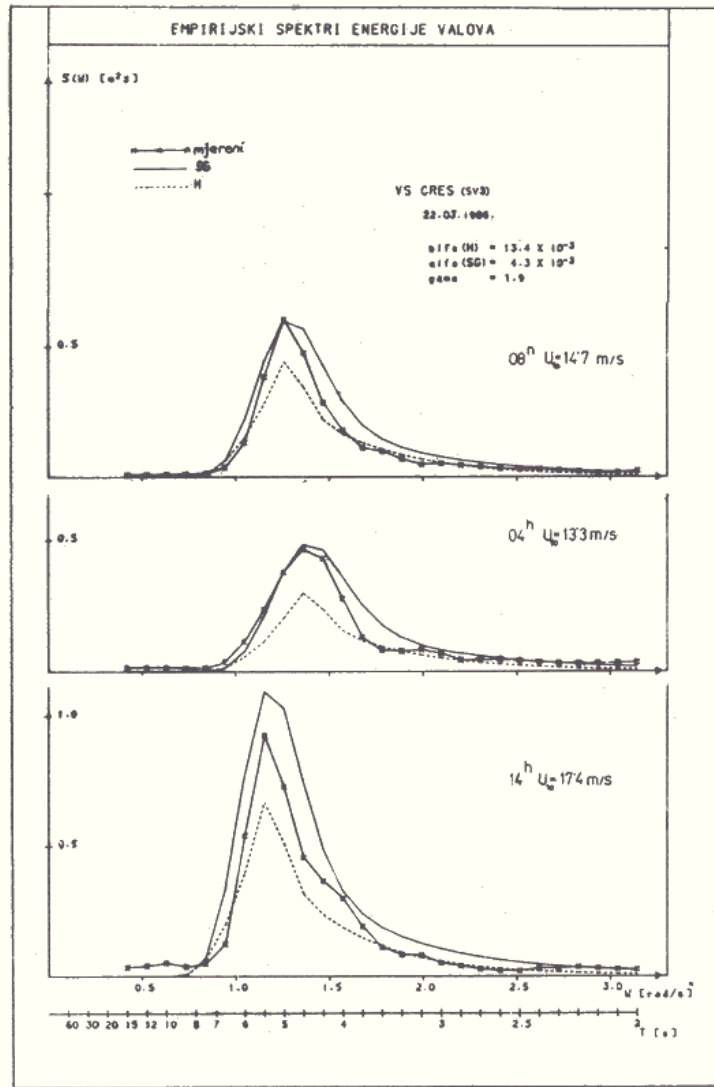


Slika 10. Grafički prikaz evolucije spektra snage površinskih valova bure (SV-3, od 21. do 23. 3. 1986):

- a) period porasta energije do maksimuma
- b) period pada energije

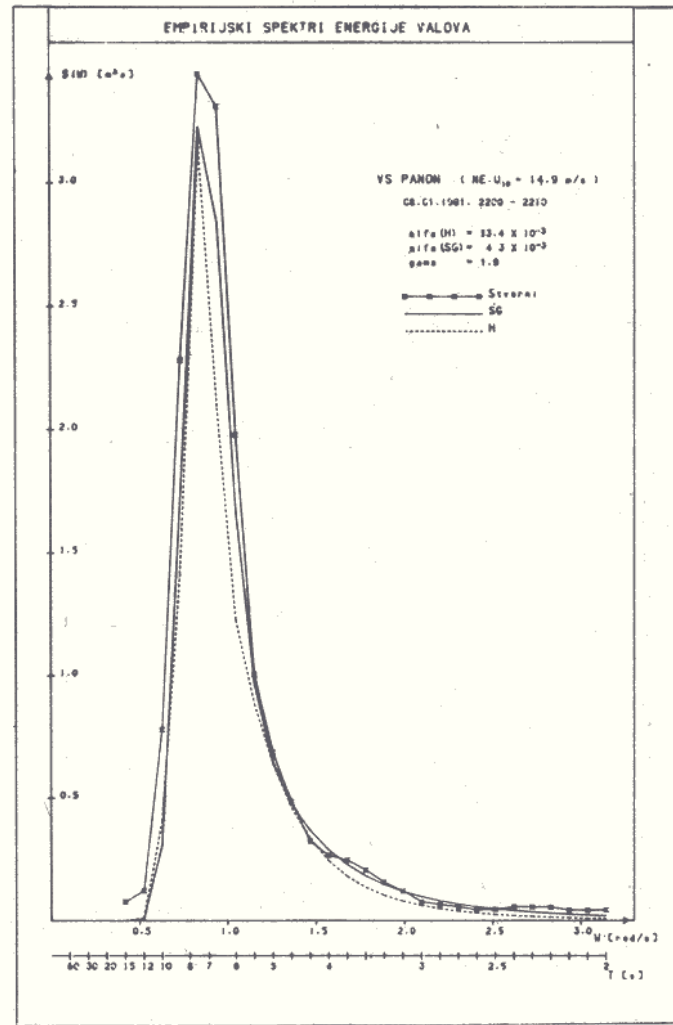
Figure 10. Evolution of wind wave spectra between 21–23 March 1986 (SV-3):

- a) period of wave energy increase,
- b) period of wave energy decrease



Slika 11. Usporedba empirijskih spektara (SG i Hasselmann-ov spektar) sa mjenim spektima za tri termina mjerenja

Figure 11. Measured and parametric spectra (SG and JONSWAP) for three wave records



Slika 12. Usporedba empirijskih spektara i mjenog spektra na postaji otvorenog Jadrana

Figure 12. Empirical and measured spectra for one open sea station

Tablica 1. Usporedba podataka srednjeg perioda (\bar{T}), značajne visine ($H_{1/3}$) i maksimalne visine (H_{max}) za iste vjetrovne uvjete, na poziciji otvorenog Jadrana ($P = 70 M$) i u Kvarneriću ($P = 21 M$)

Table 1. Wave parameters (mean period, significant and maximum wave height) for the same wind conditions at one open sea station and in Kvarnerić

		Mjereni spektar	SG spektar	Hasselmann spektar	Privjetrište
CRES (SV-3)	\bar{T} (s)	4.0	3.8	3.8	
22.3.1986. u 0830	$H_{1/3}$ (m)	1.6	1.6	1.2	$P = 21 M$
$U_{10} = 14.7$ m/s	H_{max} (m)	2.8	2.9	2.1	
PANON	T (s)	5.4	5.6	5.7	
8.1.1981. u 1500	$H_{1/3}$ (m)	3.6	3.4	3.2	$P = 70 M$
$U_{10} = 14.9$ m/s	H_{max} (m)	6.4	6.1	5.7	

Date su neke karakteristike mjerenih spektara i njihove evolucije i kvalitativna usporedba tih spektara sa spektrima otvorenog mora na osnovi obrađenih podataka situacije s burom registrirane na postaji SV-3. Rad na analizi podataka, nakon izvršene kompletne obrade, bit će usmjeren na utjecaj duljine privjetrišta, topografije dna i obale, te kinematičkih karakteristika područja (strujno polje) na spektralne značajke površinskih valova istraživanog područja.

Literatura

- Hasselmann, K., T. P. Barnett, E. Bouws, H. Carlson, D. E. Cartwright, K. Enke, J. A. Ewing, H. Gienapp, D. E. Hasselmann, P. Kruseman, A. Meerburg, P. Muller, D. J. Olbers, K. Richter, W. Sell, H. Walden (1973): Measurements of wind-wave growth and swell decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP). Deutsche Hydrographische Zeitschrift A8/12, 95 pp.
- Smirčić, A., M. Gačić (1982): Istraživanje spektralnih karakteristika površinskih valova uzrokovanih vjetrom na otvorenom dijelu Jadranskog mora. Inter. publikacija, Hidrografski institut JRM, Split, 79 pp.
- Smirčić, A., M. Gačić, B. Krstulović (1983): Parametarska aproksimacija spektra površinskih valova sjevernog Jadrana. Dinamika vjetra i strujanja u sjevernom Jadranu — ALPEX rezultati, Split, 27 pp.