

SEDAM DESETLJEĆA MAREOGRAFSKIH MJERENJA U BAKRU**SEVEN DECADES OF TIDE-GAUGE MEASUREMENTS AT BAKAR**

Mirko Orlić i Miroslava Pasarić
Geofizički zavod "Andrija Mohorovičić",
Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Horvatovac bb
HR-10000 Zagreb, Hrvatska

Primljeno: 11. 12. 1996.

Prihvaćeno: 23. 04. 1997.

SAŽETAK

Mareograf je postavljen u Bakru 1929. godine i, uz prekid za vrijeme drugog svjetskog rata, instrument bilježi vodostaje na istom mjestu do danas. Prikupljeni vremenski niz - najdulji niz jednog oceanografskog parametra mjenjenog u Hrvatskoj - omogućuje da se istraže različiti procesi u Jadranskom moru. Tako su opisani i modelirani seši Bakarskog zaljeva i cijelog Jadrana. Morske mijene razmotrene su analitički i prognostički. Istraživan je i odziv mora na atmosfersko djelovanje, na sinoptičkoj i planetarnoj skali. Sezonska i međugodišnja promjenjivost vodostaja objašnjena je razmjenom impulsa između atmosfere i mora te uzgonskim djelovanjem na more. Naposljetku, analizirani su trendovi relativnih pomaka mora prema kopnu, čime su razlučena tri procesa u Jadranu: (a) globalno uzdizanje razine mora, (b) regionalne promjene vodostaja, te (c) lokalni tektonski pomaci. Naglašava se važnost stalnog rada Mareografske postaje u Bakru, ne samo zato što njene podatke koristi međunarodna znanstvena zajednica pri analizi nekih aktualnih problema kao što su npr. antropogene klimatske promjene, već i stoga što su ti podaci korisni za regulaciju plovidbe u Bakarskom zaljevu, za određivanje referentnih ploha pri hidrografskim i geodetskim premjerima kvarnerskog područja, za utvrđivanje ekstremnih vodostaja o kojima treba voditi računa kod priobalne gradnje u cijeloj regiji, itd.

Gljučne riječi: mareograf, Bakar, Jadran.

ABSTRACT

Tide gauge was installed at Bakar in 1929 and, with a break during the World War II, it has been operating there until the present day. The time series collected - the longest of an oceanographic parameter measured in Croatia - enables various processes in the Adriatic Sea to be analyzed. Thus seiches, of the Bakar Bay and the whole Adriatic, have been diagnosed and reproduced with the aid of numerical models. Tides have likewise been considered, both diagnostically and prognostically. Response of the sea to atmospheric forcing also attracted some interest, at synoptic and planetary scales. Seasonal and interannual sea-level variability has been interpreted in terms of momentum exchange between atmosphere and sea and of buoyancy forcing as well. Last but not least, relative sea-level trends have been analyzed, revealing that three processes are at work in the Adriatic area: (a) global sea-level rise, (b) regional sea-level change, and (c) local tectonic movements. The importance of the continuous operation of the Bakar tide-gauge station is emphasized, not only because it provides data that are employed by the international scientific community while tackling some urgent problems as are, for example, anthropogenic climatic changes, but also due to its usefulness in aiding ship navigation in the Bakar Bay, in providing reference level for hydrographic and geodetic surveys of the Kvarner area, in securing information on extreme levels for civil engineering purposes throughout the region, etc.

Key words: tide gauge, Bakar, Adriatic.

UVOD

U času kad se obilježava pedeseta obljetnica rada Prirodoslovnog muzeja u Rijeci, valja se prisjetiti još jedne institucije slične starosti - Mareografske postaje u Bakru. Tu je Postaju uspostavio zagrebački Geofizički

zavod 1929. godine i ona je radila do 1939. godine. Nakon prekida u vrijeme drugog svjetskog rata Postaja je obnovljena 1949. godine te radi i danas (Slika 1). Na taj način zabilježen je najdulji vremenski niz jednog oceanografskog parametra u Hrvatskoj.

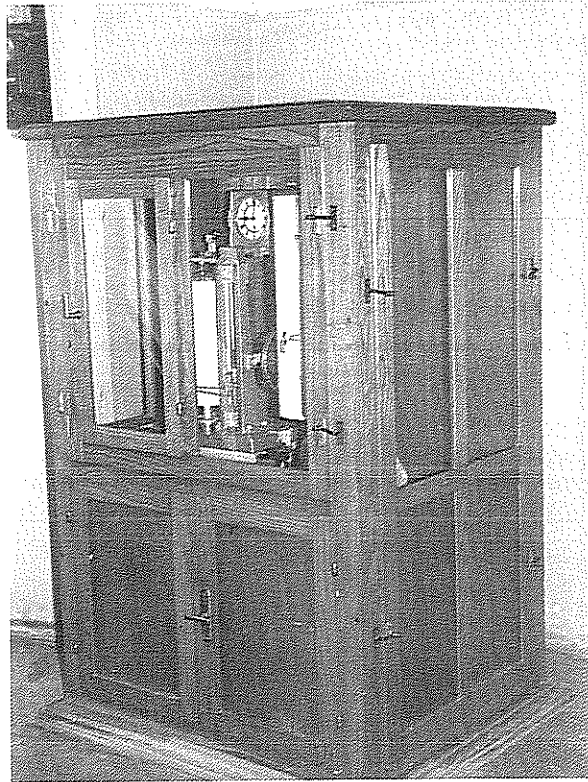
Bakarska Mareografska postaja jedina je

takva stalna postaja na području Kvarnera. Povremena, kratkotrajna mjerenja vodostaja vršena su i na nekim drugim mjestima (Rijeka, Baška, Cres, Mali Lošinj ...), ali se jedino Postaja u Bakru održala kroz dugi niz godina. Na osnovi bakarskih registracija provedena su brojna znanstvena istraživanja, u Hrvatskoj i u svijetu, a mareografski su se podaci koristili i koriste se u različitim područjima neposredne primjene. U ovom radu prikazat će se ponajprije sama Postaja. Nadalje, dat će se pregled znanstvenih rezultata koji su proistekli iz mareografskih mjerenja u Bakru. Također, opisat će se kakva je praktična korist bakarskih mareografskih podataka. Naposljetku, ukratko će se prodiskutirati što je potrebno poduzeti da bi Postaja nesmetano nastavila s radom.

MAREOGRAFSKA POSTAJA U BAKRU

Mareograf je smješten u prostoriji Lučke kapetanije odnosno Carinarnice u Bakru ($\varphi = 45^{\circ}18.3' N$, $\lambda = 14^{\circ}32.4' E$), uz zdenac koji je spojnom cijevi povezan s morem (Slika 2). U zdencu se nalazi plovak. Njegovo dizanje i spuštanje prenosi se preko spojne žice i prenosnog mehanizma na pisaljku mareografa. Na registrirnom valjku koga pokreće satni mehanizam namješten je dijagramski papir i na njemu pisaljka bilježi kolebanje razine mora, reducirano u omjeru 1:5. Vodostaji se broje od mareografske nule (MN), tj. od one razine koja odgovara nultom položaju pisaljke. Položaj mareografske nule definira se prema jednom znaku visine (ZV) uz mareograf: njihova udaljenost naziva se konstantom mareografa i za bakarsku Mareografsku postaju ona iznosi 311.8 cm. Uz mareograf postavljen je još i biljeg visine (BV 15663, na pročelju zgrade u kojoj je smještena Postaja), preko kojeg se instrument veže na geodetsku mrežu. Naglasimo ulogu zdenca i spojne cijevi: oni djeluju kao niskopropusni filter, tj. omogućuju registraciju samo dugoperiodičkih oscilacija razine mora. Promjer zdenca u Bakru je 50 cm, visina zdenca je 2.7 m, promjer spojne cijevi je 10 cm, a njena duljina oko 10.8 m. Mareograf bilježi oscilacije vodostaja perioda većeg od oko 1 min.

Redovito, svakodnevno održavanje mareografske postaje uključuje zamjenu dijagramskog papira, navijanje sata i brigu o pisaljci. Od uspostavljanja bakarske Postaje te poslove savjesno obavljaju službenici Lučke kapetanije u Bakru (A. Antić, M. Pezelj, I. Pavačić, Ž. Ježić, a danas S. Suserić). Godišnje



Slika 1. Mareografska postaja u Bakru, snimljena 1985. godine.

Figure 1. Tide-gauge station in Bakar, photographed in 1985.

održavanje mareografske postaje obuhvaća čišćenje instrumenta, zdenca i spojne cijevi, te provjeru konstante mareografa. Ovo je održavanje u nadležnosti zagrebačkog Geofizičkog zavoda, čiji su službenici - unatoč prekida u radu za vrijeme drugog svjetskog rata - osigurali usporedivost predratnih i poratnih podataka. Naposljetku, važno je povremeno provjeravati i udaljenost između znaka visine i biljega visine, radi uočavanja mogućih promjena u položaju mareografa. Geodetska mjerenja, napose ona poslijeratna, pokazuju da nije došlo do nikakvih pomaka koji bi mogli utjecati na kvalitetu mareografskih podataka.

Kad se jednom raspolaže mareografskim zapisima, u okviru osnovne obrade što se provodi na Geofizičkom zavodu oni se izgledaju, tako da se uklone oscilacije perioda manjeg od 2 h, i digitaliziraju s jednosatnim intervalom uzorkovanja. Iz satnih vrijednosti najčešće se potom određuju dnevni, mjesečni i godišnji srednjaci. Svi podaci arhiviraju se u Geofizičkom zavodu u Zagrebu i po potrebi stavljaju na raspolaganje istraživačima iz te i drugih znanstvenih institucija. Jedan dio obrađenih podataka objavljuje se u domaćim publikacijama (Državni hidrografski institut, 1954-1994), što ih čini pristupačnima širokom

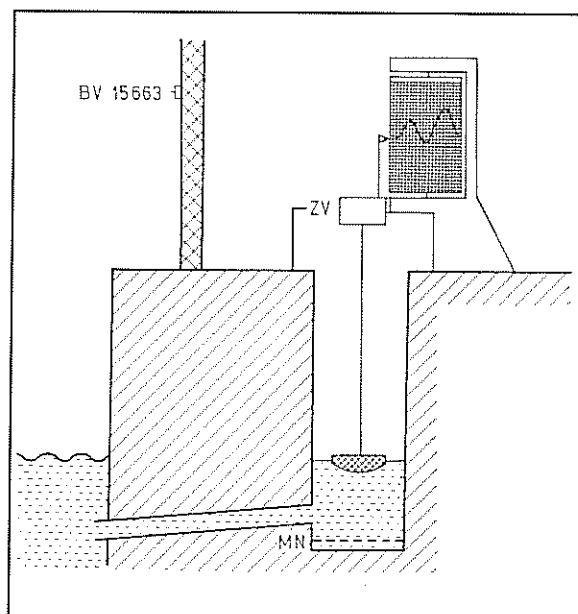
krugu korisnika u Hrvatskoj. Osim toga, mjesečni i godišnji srednjaci vodostaja registriranog u Bakru dostavljaju se, od samog početka mjerenja, u Permanent Service for Mean Sea Level, Birkenhead, Velika Britanija (Spencer i Woodworth, 1993), čime postaju lako dostupni međunarodnoj znanstvenoj javnosti.

ZNANSTVENI REZULTATI

Podaci prikupljeni na Mareografskoj postaji u Bakru tijekom proteklih sedam desetljeća intenzivno su se koristili u znanstvenim istraživanjima. Ovdje će se ukratko prikazati rezultati postignuti na osnovi tih podataka u izučavanju različitih fizikalnih procesa u Jadranu, s time da će se procesi svrstati po pripadnim periodima - od manjih prema većima.

Seši

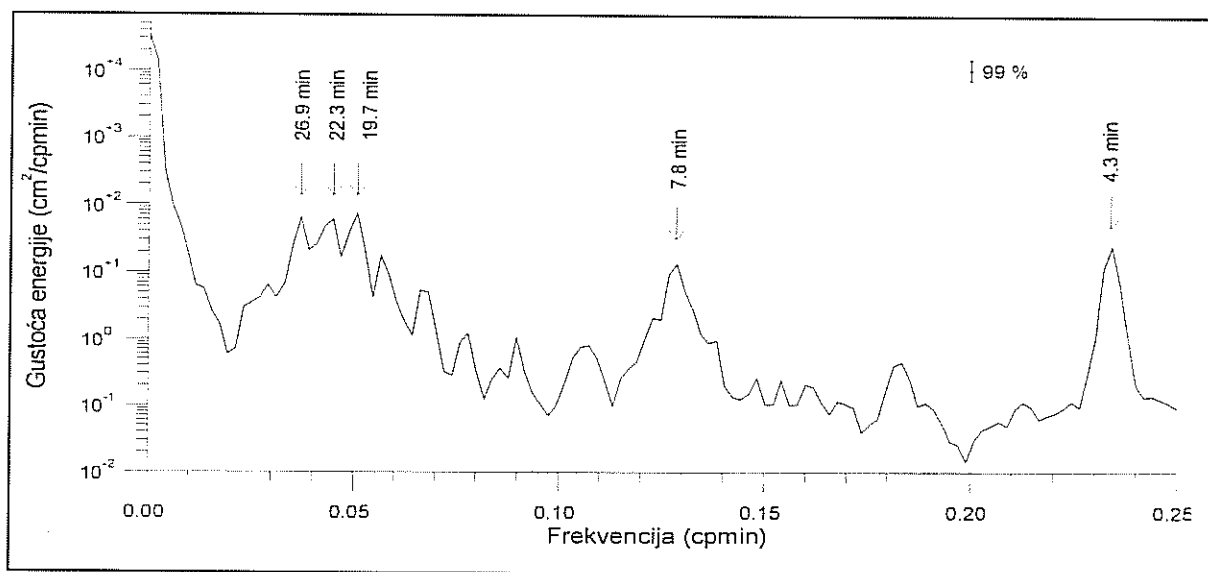
Čim se započelo s mareografskim mjerenjima u Bakru uočena je na zapisima prisutnost znatnih kratkoperiodičkih oscilacija. Da bi se te oscilacije detaljnije istražile, Geofizički zavod organizirao je 1936. godine poseban eksperiment u Bakarskom zaljevu. Pored stalnog mareografa pribavljen je i prijenosni instrument, za potrebe ekspedicije konstruirana su još dva mareometra, a na terenu su se vršila i meteorološka mjerenja. Kombinirajući prikupljene podatke i rezultate jednodimenzionalnog numeričkog modela



Slika 2. Shematski prikaz Mareografske postaje u Bakru.

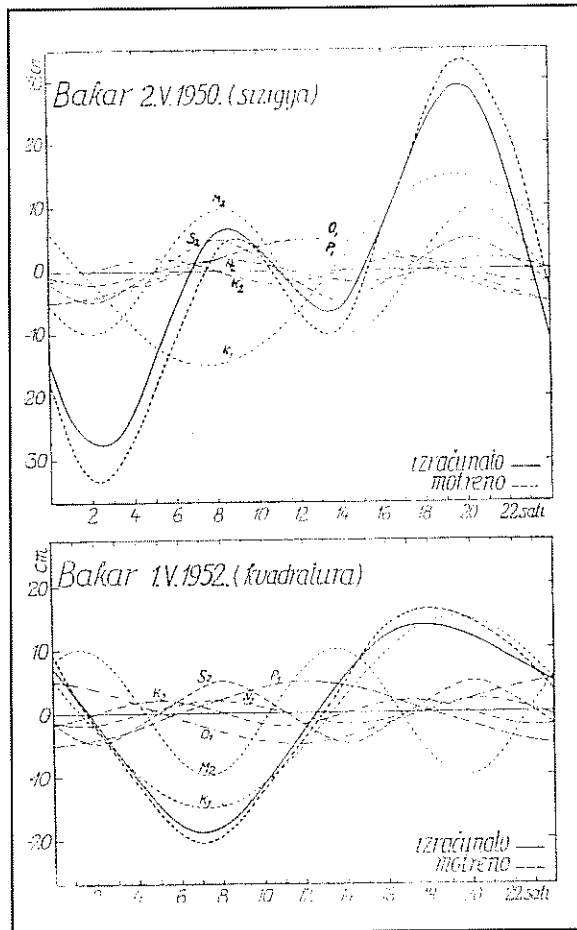
Figure 2. Schematic presentation of tide-gauge station at Bakar.

razvijenog za Bakarski zaljev, Goldberg i Kempni (1938) odredili su različite periode oscilacija i povezali ih sa sešima Bakarskog zaljeva. Problem mehaničkog mareografa s analognim zapisom, kakav je stalno postavljen u Bakru, jest da je teško izvršiti fino uzorkovanje koje je potrebno za dokumentiranje kratkoperiodičkih oscilacija i, posljedično, da takav zapis nije pogodan za određivanje



Slika 3. Spektralni dijagram visokofrekventnih oscilacija vodostaja u Bakarskom zaljevu, prema mjerenjima elektroničkim mareografskim postajama obavljenim od 22. travnja do 10. svibnja 1992. godine.

Figure 3. Spectrum of the high-frequency sea-level oscillations in the Bakar Bay, according to measurements carried out by an electronic tide gauge between 22 April and 10 May 1992.



Slika 4. Morske mijene u Bakru za vrijeme sizigija (gore) i kvadratura (dolje): sedam parcijalnih oscilacija (M_2 , S_2 , N_2 , K_2 , K_1 , O_1 , P_1), njihova superpozicija (puna krivulja) i izmjereni vodostaj (crtkana krivulja). Prema Kasumoviću (1952).

Figure 4. Spring (up) and neap (down) tides at Bakar: seven partial oscillations (M_2 , S_2 , N_2 , K_2 , K_1 , O_1 , P_1), their superposition (full line) and measured sea levels (dashed line). According to Kasumović (1952).

spektra spomenutih oscilacija. Stoga je u razdoblju od 22. travnja do 10. svibnja 1992. godine Geofizički zavod organizirao novi eksperiment u Bakarskom zaljevu, izvevši istovremeno mjerenja klasičnim mareografom na Mareografskoj postaji i elektroničkim mareografom koji je položen u more 50-ak metara ispred Postaje. Usporedba dviju registracija pokazala je da elektronički mareograf, koji je radio s intervalom uzorkovanja od 2 min, dobro bilježi kratkoperiodičke oscilacije, pa su njegove registracije poslužile da se po prvi put odredi spektar tih oscilacija. Kao što se razabire iz Slike 3, najizraženije su oscilacije perioda 26.9, 22.3 i 19.7 min, zatim oscilacije perioda 7.8 min i naposljetku one čiji je period 4.3 min. Taj je nalaz sukladan rezultatima ranijih autora.

Oslonimo li se na njihovu interpretaciju, oscilacije perioda oko 20 min potjecale bi od seša cijelog Bakarskog zaljeva, dok bi manji periodi (7.8 i 4.3 min) bili povezani s uninodalnim i binodalnim sešima unutarnjeg dijela Zaljeva.

Bakarski su podaci poslužili za istraživanje ne samo kratkoperiodičkih oscilacija Bakarskog zaljeva već i oscilacija većeg perioda koje potječu od seša cijelog Jadrana. U početku pozornost je posvećena određivanju perioda i njihovom objašnjenju. Tako je Kasumović (1963) utvrdio da postoje oscilacije perioda 23, 20, 12 i 8 sati i pripisao ih sešima cijelog Jadrana (najveći period) odnosno jadranskog šelfa (preostali periodi). U novije vrijeme Cerovečki et al. (1997) istražili su procese prigušenja jadranskih seša. Odredili su vrijeme gušenja osnovnog jadranskog moda (3.2 ± 0.5 dana) i pokazali da se može pripisati dijelom utjecaju trenja o dno a dijelom transmisiji oscilatorne energije kroz Otrantska vrata.

Morske mijene

Prvu analizu morskih mijena za Bakar načinio je Kasumović (1952, 1955). Ručno analizirajući mareografske registracije iz 1950. godine utvrdio je da se plima i oseka u toj luci mogu dobro opisati sa sedam harmonijskih konstituenata (M_2 , S_2 , N_2 , K_2 , K_1 , O_1 , P_1). Ujedno je pokazao da se harmonijskom sintezom vodostaji mogu uspješno prognozirati za dane u kojima je meteorološki utjecaj na more zanemariv (Slika 4). Morske mijene u Bakru kombiniranog su tipa, što znači da u vrijeme sizigija nastupaju po dvije visoke i niske vode u danu, a u vrijeme kvadratura samo po jedan maksimum i minimum. Dobro su izražene dnevne nejednakosti u visini. Također se opaža i jedan godišnji hod: naime, u ljetnom dijelu godine osnovna jednodnevna oscilacija ima minimum u prvoj a maksimum u drugoj polovici dana, dok je u zimskom dijelu godine redoslijed ekstrema obrnut. Sve su ove značajke plime i oseke u Bakru potvrđene kad je harmonijska analiza provedena na elektroničkom računalu uz korištenje novijih mareografskih registracija, najprije kratkih (Rickards, 1985), a potom i jednogodišnjih (Kovačević i Orlić, 1988).

Amplitude i faze harmonijskih konstituenata određenih za Bakar poslužile su pri verifikaciji hidrodinamičkih modela plime i oseke u Jadranu i Sredozemlju. Tako je Kasumović (1960) na osnovi jednodimenzionalnog modela Jadranskog mora potvrdio da morske mijene u tom bazenu potječu od

impulsa iz Jonskog mora, da imaju karakter stojnih valova i da amplitude oscilacija na pojedinim mjestima ovise o konfiguraciji i dimenzijama bazena te o amplitudi oscilacija u Otrantskim vratima. Tsimplis et al. (1995) te Lozano i Candela (1995) razvili su dvodimenzionalne modele za cijelo Sredozemlje i tako na uvjerljiv način pokazali da morske mijene - posebno jednodnevne - imaju najveće amplitude u Jadranu i da su mjerenja iz tog akvatorija, pa i ona bakarska, važna za provjeru numeričkih simulacija koje se odnose na mnogo šire područje.

Odziv mora na atmosfersko djelovanje

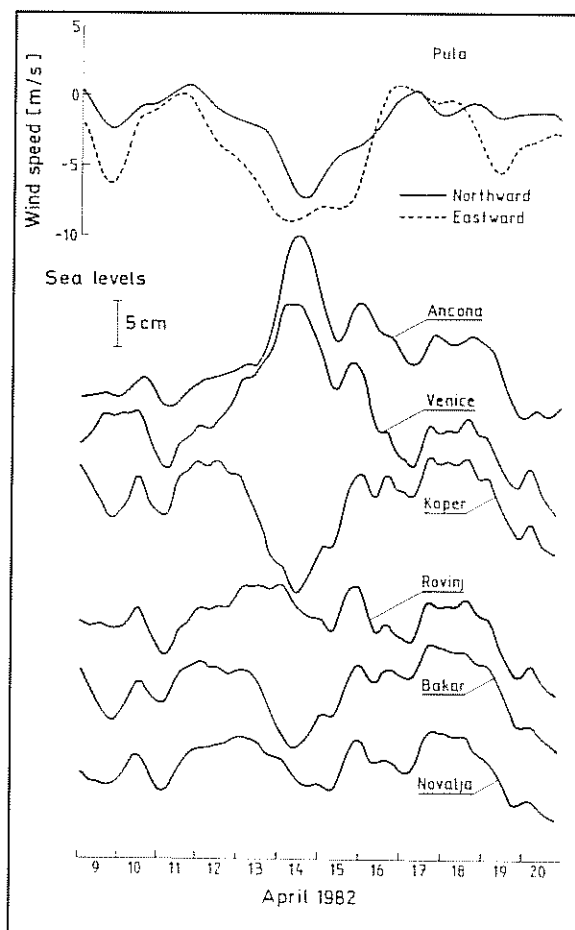
Koristeći bakarske mareografske podatke Kasumović (1958) je pokazao da ciklonalna stanja u atmosferi dovode do povećanja vodostaja u Jadranu, a anticiklonalna do sniženja. Također je utvrdio da maksimalni vodostaji nastaju zbog kombiniranog djelovanja niskog tlaka zraka i južnog vjetera, dok su minimalni vodostaji vezani prvenstveno uz visoki tlak zraka. Na osnovi nekoliko odabranih sinoptičkih situacija Kasumović je naposljetku provjerio i iznos barometarskog faktora za Bakar. Cerovečki i Orlić (1989) razvili su jednodimenzionalni hidrodinamički numerički model za Jadran, kojim su uspješno reproducirali jednu pojavu olujnog uspora zabilježenog u Bakru. Orlić et al. (1994) uočili su pak da bura dovodi do povišenja vodostaja uz zapadnu jadransku obalu i do sniženja uz istočnu obalu, pri čemu se minimalne denivelacije registrirane na hrvatskim mareografskim postajama silno razlikuju međusobno (Slika 5). Ta je varijabilnost objašnjena efektom prostorne promjenjivosti u polju bure, koja na nekim dijelovima jadranskog šelfa implicira divergenciju Ekmanovih transporta, a na drugim dijelovima dovodi do konvergencije. Posljedično, u Jadranu se stvaraju izmjenična područja visokih i niskih vodostaja, kako je to potvrđeno i trodimenzionalnim hidrodinamičkim numeričkim modelom. Mjerenja izvršena na hrvatskoj mareografskoj mreži uz dobru prostornu rezoluciju pokazala su se bitnima za empirijsko dokumentiranje opisane pojave, koja - zbog svoje povezanosti sa strujnim poljem jadranskog šelfa - ima dalekosežne ekološke posljedice.

Osim za istraživanje utjecaja sinoptičkih atmosferskih poremećaja na more, registracije bakarskog mareografa poslužile su i pri izučavanju odziva mora na djelovanje planetarnih atmosferskih valova. Pasarić i Orlić (1992) načinili su poprečnu spektralnu analizu

dugih vremenskih nizova zabilježenih u Bakru i Rijeci i tako pokazali da u području niskih frekvencija (0.01-0.1 cpd) postoji statistički signifikantna veza između tlaka zraka i vodostaja, ali i da reakcija mora na utjecaj atmosfere znatno nadmašuje inverzni barometarski efekt. Zaključeno je da u niskofrekventnom području na more ne utječe samo tlak zraka nego i neka druga djelujuća sila (npr. tangencijalna napetost vjetera) koherentna s atmosferskim tlakom.

Sezonske i međugodišnje promjene

Sezonskim oscilacijama Jadrana i Sredozemlja bavili su se, rabeći pri tom i bakarske podatke, brojni autori (Polli, 1941, 1946; Pattullo et al., 1955; Woodworth, 1984;



Slika 5. Dvije komponente vjetera izmjereno u Puli (gornji dio slike) i vodostaj zabilježen na šest postaja duž obale Jadrana (donji dio slike) tijekom travnja 1982. godine. Vremenski nizovi obrađeni su niskopropusnim filtrom (Orlić et al., 1994).

Figure 5. Two components of wind measured at Pula (up) and sea levels registered at six stations along the Adriatic coast (down) during April 1982. Time series were subjected to a low-pass filter (Orlić et al., 1994).

Mazzarella i Palumbo, 1989; El-Gindy i Eid, 1990; Tsimplis i Woodworth, 1994). U istraživanju su korištene različite metode, od računanja mjesečnih prosjeka za niz godina, preko harmonijske analize pa sve do spektralne analize. Za Bakar se pokazalo da se najniži vodostaji javljaju u ožujku, najviši u studenom, te da je raspon tog godišnjeg hoda oko 10 cm. Prema objavljenim interpretacijama za područje Sredozemlja, takav bi se godišnji hod imao pripisati prije svega steričkom, posebno termalnom efektu i utjecaju atmosferskog tlaka (Pattullo et al., 1955), a donekle bi se mogao dovesti u vezu i s isparavanjem, oborinom te advekcijom (Mazzarella i Palumbo, 1989).

Zore (1960, 1965) je istraživala sezonske promjene nagiba razine mora, određujući razlike vodostaja izmjerenih u Bakru te na nekim južnijim postajama (Split, Dubrovnik). Pokazala je da se nagib razine mora može povezati s prostornim promjenama dinamičkih dubina i geostrofičkim strujama u Jadranu.

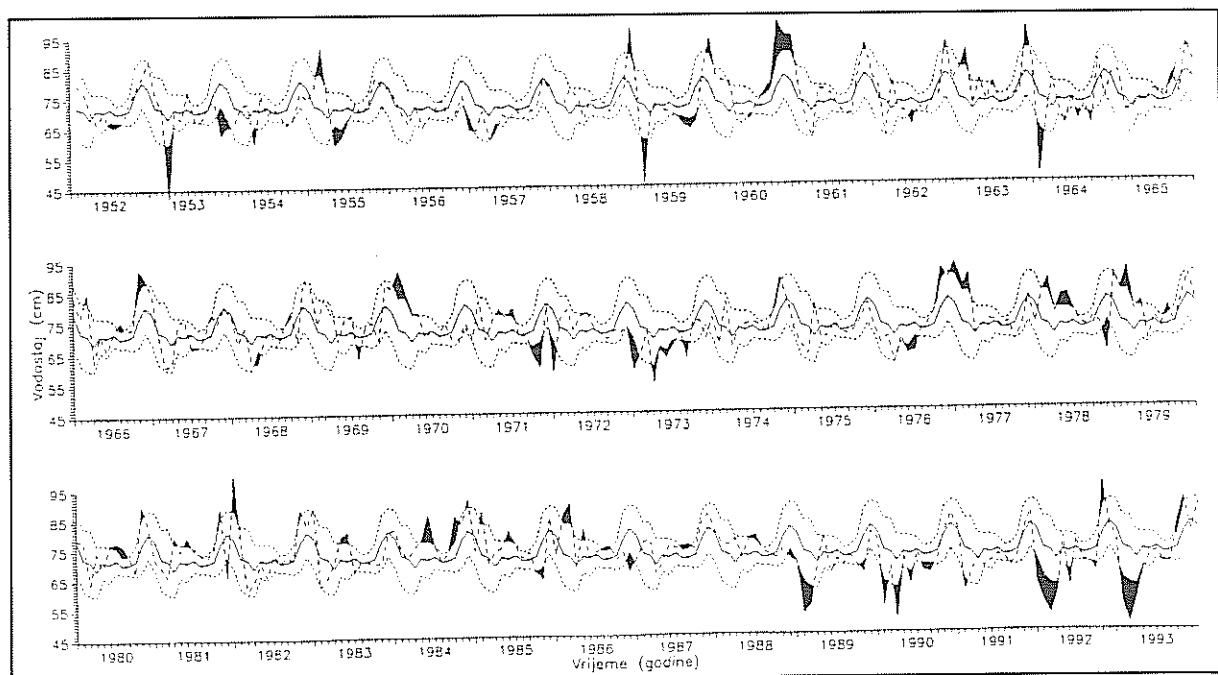
Međugodišnje promjene vodostaja izučavane su ili na izglađenim vremenskim nizovima (Mazzarella i Palumbo, 1989) ili pak na osnovi anomalija, tj. odstupanja vodostaja od prosječnog godišnjeg hoda (Orlić, 1990; Pasarić i Orlić, 1992; Orlić i Pasarić, 1994). Ovaj potonji pristup (Slika 6) pokazao je da se

anomalije ne javljaju s nekom pravilnošću: ponekad se odstupanja različitog predznaka relativno brzo smjenjuju, u drugim situacijama odstupanja istog predznaka mogu dugo potrajati. Posebno je interesantan niz anomalno niskih zimskih vodostaja, koji je zabilježen od 1988/1989. do 1992/1993. godine. Analize su razotkrile da se taj niz može objasniti dominacijom zimskih anticiklonalnih stanja nad Europom i da je more reagiralo na usklađeno djelovanje nekoliko meteoroloških čimbenika.

Na osnovi mjesečnih srednjaka vodostaja zabilježenih tijekom niza godina u Bakru i nekim drugim jadranskim i sredozemnim lukama istražene su i višegodišnje promjene u nagibu razine mora (Zore-Armanda, 1968, 1969; Zore-Armanda et al., 1991). Pokazano je da se te promjene mogu dovesti u vezu s analognim promjenama gradijenta tlaka zraka i da more reagira na atmosfersko djelovanje ne samo nagibom površine već i strujanjem te advekcijom voda različitog saliniteta.

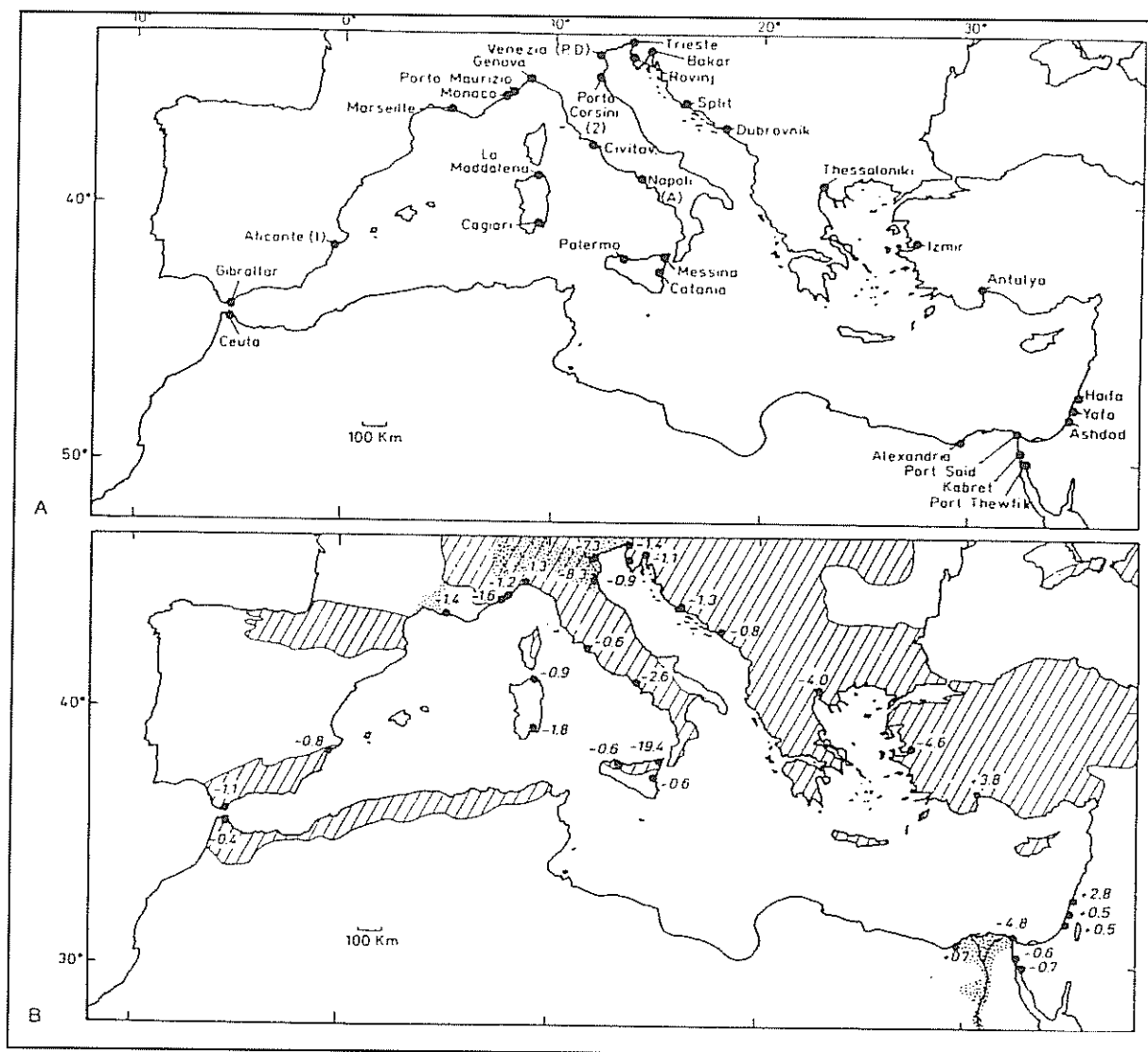
Srednja razina mora i trendovi

Prvi radovi u kojima se razmatra srednja razina mora na osnovi bakarskih podataka usmjereni su na određivanje jedne vrijednosti vodostaja te na usporedbu te vrijednosti s N. N. Trst i odgovarajućim veličinama za druge



Slika 6. Mjesečni srednjaci vodostaja u Bakru (crtkana krivulja), superponirani na 42-godišnje prosjeke (puna krivulja) i pripadne standardne devijacije (točkaste krivulje). Značajnije anomalije su zacrnjene (Orlić i Pasarić, 1994).

Figure 6. Monthly mean sea levels at Bakar (dashed line), superimposed on the 42-year averages (full line) and corresponding standard deviations (dotted lines). Significant anomalies are shaded (Orlić and Pasarić, 1994).



Slika 7. Mareografske postaje u Sredozemlju za koje se mogu odrediti relativni pomaci mora prema kopnu (A) i trendovi izraženi u mm/a (B). Negativne vrijednosti znače da se kopno spušta u odnosu na razinu mora. Na donjem dijelu slike naznačene su i različite geološke tvorevine (Emery i Aubrey, 1991).

Figure 7. Tide-gauge stations in the Mediterranean for which sea-to-land movements may be determined (A) and trends expressed in mm/a (B). Negative values imply that land is subsiding relative to the sea surface. In the lower part of the figure various geological formations are also indicated (Emery and Aubrey, 1991).

mareografske postaje u Jadranu (Škreb, 1936; Kasumović, 1950, 1959). Pokazano je da su nadmorske visine određene u odnosu na N. N. Trst za oko 9 cm prevelike, budući da je referentni vodostaj izveden iz niza registracija od samo jedne godine (1875) u kojoj je razina mora bila naročito niska. Također je utvrđeno da je srednja razina Jadrana horizontalna.

Sljedeću grupu radova čine oni u kojima se promatraju vremenske promjene srednjeg vodostaja, i to prvenstveno kao linearan proces (Tešić, 1958; Šegota, 1976; Barnett, 1984; Pirazzoli, 1986; Bilajbegović i Marchesini, 1991; Emery i Aubrey, 1991). Najčešće, vremenskom nizu srednjih mjesečnih ili

godišnjih vodostaja prilagodava se pravac i iz nagiba pravca zaključuje o trendu uzdizanja razine mora u odnosu na kopno. Iz jedne novije takve analize, čiji su rezultati prikazani na Slici 7, proizlazi da se duž istočne obale Jadrana more uzdiže u odnosu na kopno brzinom od oko 1 mm/a i da su tu relativne brzine znatno manje nego li u području delte rijeke Po.

Naposljetku, objavljeni su i rezultati istraživanja u kojima se pomicanje razine mora u odnosu na kopno tretira kao nelinearan proces, bilo da su vremenski nizovi filtrirani (Mosetti, 1969; Mosetti i Purga, 1991) ili da su pravci prilagođavani podacima unutar kliznih otvora odnosno da su vodostaji aproksimirani

polinomima drugog stupnja (Orlić i Pasarić, 1994, 1997). U potonjim radovima pokazano je da - ukloni li se iz vodostaja lokalni utjecaj atmosfere - razina mora u odnosu na kopno raste brzinom od oko 1 mm/a na sjevernom dijelu hrvatske obale i da gotovo miruje na južnom njenom dijelu. Također je uočeno usporavanje u porastu relativnih vodostaja početkom 1970-ih godina. Takvo je gibanje objašnjeno (a) globalnim uzdizanjem razine mora, (b) regionalnom međudekadnom promjenjivošću vodostaja, te (c) lokalnim tektonskim pomacima.

PRAKTIČNA PRIMJENA

Bakarski mareografski podaci često se koriste u praktične svrhe. Međutim, takva primjena - za razliku od one znanstvene - uglavnom nije dokumentirana publikacijama. Mareografski podaci nužni su za određivanje nadmorskih visina i dubina (npr. Jovanović, 1989). Međutim, dok se pri određivanju nadmorskih visina - prihvatimo li nalaz da je srednja razina Jadrana horizontalna - može rabiti bilo koji od naših mareografa, dubine se određuju u odnosu na tzv. hidrografsku nulu čiji je položaj različit na raznim dijelovima hrvatske obale. Hidrografska se nula u nas definira kao srednjak nižih niskih voda na dane sizigija i ona se prema dugogodišnjim mjerenjima u Bakru nalazi na udaljenosti od 33 cm ispod srednje razine mora.

Podaci o ekstremnim vodostajima važni su za planiranje gradnje u priobalnim područjima (Pršić i Smirčić, 1989). Statistika ekstrema, primijenjena na ekstremne vodostaje zabilježene u Bakru od 1956. do 1990. godine, pokazuje da se s povratnim periodom od 100 godina može očekivati maksimalni vodostaj koji za 116 cm premašuje srednju razinu mora i minimalni vodostaj koji je za 86 cm niži od prosjeka. Dakako, ovakva statistika, zasnovana na postojećem empirijskom materijalu, ne uzima u obzir moguće efekte budućih klimatskih promjena.

Mareografski podaci rabe se i pri regulaciji plovidbe. Tako je jednom od autora ovog teksta Đ. Čović iz Brodogradilišta "3. maj" u Rijeci 1990. godine posvjedočio da pri porincu brodova telefonski dobavlja informaciju o vodostaju iz Bakra. U drugu ruku, kap. Ž. Ježić, svojedobno službenik Lučke kapetanije u Bakru i motritelj pri Mareografskoj postaji, izjavio je: "...određujući nastup visoke vode određujemo vrijeme veza i početka iskrcaja brodova za rasuti teret s velikim gazom, ovdje

u Bakru. Mnogi se čude kako je bilo moguće da je brod s velikim gazom uopće ušao u Bakarski zaljev ..." (Karmelić, 1992). Na sličan način upotrebljavaju se i prognoze morskih mijena, koje se na osnovi prethodno određenih harmonijskih konstanti redovito objavljuju - ne samo za Bakar, već i za ostale hrvatske mareografske postaje (Državni hidrografski institut, 1974-1995).

ZAKLJUČAK

Iz svega iznesenog jasno se razabire da su podaci Mareografske postaje u Bakru često korišteni u znanstvenim istraživanjima. Bibliografija znanstvenih radova koji se oslanjaju na bakarske podatke obuhvaća do sada četrdesetak jedinica i ona se svake godine povećava. Upravo preko mareografskih mjerenja Bakar je upisan na znanstvenu kartu svijeta. Nadalje, Mareografska postaja važna je za realizaciju nastavnog procesa u različitim srednjim školama i fakultetima: obilazak Postaje mnogim je srednjoškolcima kao i studentima geofizike bio prvi doticaj s istraživanjem mora i oceanografskim instrumentarijem. Mareografski podaci pokazali su se korisnima i u različitim područjima praktične primjene, u Bakru i na širem riječkom području. Naposljetku, mareografska mjerenja u Bakru poslužila su kao poticaj i osnova za organizaciju cijele hrvatske mareografske mreže. Prof. dr. sc. M. Kasumović, dugogodišnji voditelj Mareografske postaje u Bakru, na Konferenciji o hidraulici Jadrana održanoj u Splitu 1954. godine predložio je da se uskladi rad pojedinih mareografa i da se svi podaci objavljuju jednom godišnje u posebnoj publikaciji (Hidrografski institut, 1954). Na poticaj i uz aktivno sudjelovanje prvog autora ovog teksta, voditelja Postaje tijekom posljednjih petnaestak godina, spomenuta publikacija od 1991. godine tiska se dvojezično (na hrvatskom i na engleskom jeziku). Usklađivanje rada mareografa i prikupljanje svih podataka u Državnom hidrografskom institutu u Splitu radi redovitog objavljivanja osigurali su visoku kvalitetu i široku upotrebljivost hrvatskih mareografskih mjerenja. Tako npr. Mosetti i Purga (1991), u istom članku u kojem se kritički osvrću na talijansku i gotovo svu sredozemnu mareografiju, kažu za našu mrežu: "Even if some series are not very long, and begin mainly after the war or in more recent years, the observations are performed with care, the series are without gaps, and the data regularly published in international

reports." A dr. sc. P. L. Woodworth, ravnatelj Permanent Service for Mean Sea Level (Birkenhead, Velika Britanija), u pismu što ga je 1991. godine poslao na Geofizički zavod u Zagrebu konstatira da su naši podaci vrlo dobri u usporedbi s onima drugih zemalja.

Mareografska mjerenja u svijetu silno su intenzivirana unatrag desetak godina. Zbog povećane koncentracije tzv. plinova staklenika u atmosferi očekuje se da će doći do globalnog zatopljenja i, posljedično, do ubrzanog porasta razine mora u odnosu na kopno tijekom sljedećeg stoljeća. Stoga su mnoge priobalne države započele nova mareografska mjerenja i, dakako, s osobitom pozornošću održavaju postaje koje imaju dugogodišnji niz mjerenja. Kako smo vidjeli, bakarska Mareografska postaja spada među one na koje se računa u tom međunarodnom naporu da se prate

klimatske promjene. Instrument na Postaji kao i uređaj za mjerenje konstante u dobrom su stanju i odgovaraju suvremenim standardima. Međutim, podaci se zapisuju lokalno u analognom obliku, što traži dosta truda oko održavanja, pa će prvom prilikom trebati preći na daljinsku registraciju. Nadalje, pomake tla uz mareograf trebat će stalno pratiti primjenom suvremenih geodetskih tehnika (kao što je npr. Global Positioning System). No, svakako najvažniji zadatak koji bi trebalo obaviti u skoroj budućnosti je pregradnja zdenca i spojne cijevi te uređenje prostorije u kojoj se nalazi instrument. Za nadati se je da će se u Bakru i cijelom riječkom području naći snage za potrebne radove i da će bakarska Mareografska postaja ostati u krugu najboljih svjetskih postaja.

ZAHVALA

Zahvalni smo kolegama iz Geofizičkog zavoda u Zagrebu, koji su pomagali i još uvijek pomažu u održavanju bakarske Mareografske postaje te pri obradi podataka. Ovdje treba posebno istaknuti pokojnog prof. dr. sc. Marijana Kasumovića, koji je vodio postaju tijekom više od trideset godina. Također, zahvalnost dugujemo bivšim i sadašnjim službenicima Lučke kapetanije u Bakru, gg. A. Antiću, M. Pezelju, I. Pavačiću, Ž. Ježiću i S. Suseriću, na brizi oko mareografa. Financijska sredstva za rad Mareografske postaje u Bakru i za mjerenja elektroničkim mareografom 1992. godine osiguralo je Ministarstvo znanosti i tehnologije Republike Hrvatske.

IZVORI

- Barnett, T. P. 1984: The estimation of "global" sea level change: a problem of uniqueness. *Journal of Geophysical Research* 89: 7980-7988.
- Bilajbegović, A. & Marchesini, C. 1991: Jugoslavenski vertikalni datumi i preliminarno povezivanje nove jugoslavenske nivelmanske mreže s austrijskom i talijanskom. *Geodetski list* 7-9: 233-248.
- Cerovečki, I. & Orlić, M. 1989: Modeliranje rezidualnih vodostaja Bakarskog zaljeva. *Geofizika* 6: 37-57.
- Cerovečki, I., Orlić, M. & Hendershott, M. C. 1997: Adriatic seiche decay and energy loss to the Mediterranean. *Deep-Sea Research*, u tisku.
- Državni hidrografski institut. 1954-1994: Izvješće o mareografskim mjerenjima na istočnoj obali Jadrana, Split.
- Državni hidrografski institut. 1974-1995: Tablice morskih mijena - Jadransko more - istočna obala, Split.
- El-Gindy, A. A. H. & Eid, F. M. 1990: Long-term variations of monthly mean sea level and its relation to atmospheric pressure in the Mediterranean Sea. *International Hydrographic Review* 67: 147-159.
- Emery, K. O. & Aubrey, D. G. 1991: *Sea Levels, Land Levels and Tide Gauges*. Springer Verlag, New York, 237 pp.
- Goldberg, J. & Kempni, K. 1938: O oscilacijama Bakarskog Zaljeva i općem problemu zaljevskih seša. *Prirodoslovna istraživanja Kraljevine Jugoslavije* 21: 129-234.
- Hidrografski institut. 1954: Stenografske bilješke sa Konferencije o hidraulici Jadrana održane u Splitu 28-30. srpnja 1954., Split.
- Jovanović, B. 1989: Istraživanja geodetske i hidrografske nule, njihova primena i važnost. *Hidrografski godišnjak* 87: 115-134.
- Karmelić, J. 1992: Bakarski mareograf. *Jugolinija* 31: 23.
- Kasumović, M. 1950: Srednja razina Jadranskog mora i geodetska normalna nula Trst. *Rad Geofizičkog zavoda u Zagrebu* II/3: 1-22.
- Kasumović, M. 1952: Harmonička analiza plime i oseke luke Bakar. *Radovi Geofizičkog instituta u Zagrebu* III/1: 1-9.
- Kasumović, M. 1955: O komponentama duge periode morskih mijena Jadranskog mora. *Hidrografski godišnjak* 54: 171-180.
- Kasumović, M. 1958: O utjecaju tlaka zraka i vjetra na kolebanje razine Jadrana. *Hidrografski godišnjak* 56/57: 107-121.
- Kasumović, M. 1959: O srednjoj razini Jadranskog mora i njenom utvrđivanju. *Geodetski list* 7-9: 159-169.
- Kasumović, M. 1960: Prilog hidrodinamičkoj teoriji morskih doba Jadranskog mora. *Rasprave Odjela za matematičke, fizičke i tehničke nauke JAZU* II/2: 49-82.
- Kasumović, M. 1963: Slobodne oscilacije dugog perioda u Jadranskom moru. *Rasprave Odjela za matematičke, fizičke i tehničke nauke JAZU* II/4: 121-166.
- Kovačević, V. & Orlić, M. 1988: Harmonijska analiza i sinteza morskih doba u Bakru. *Hidrografski godišnjak* 86: 47-62.
- Lozano, C. J. & Candela, J. 1995: The M2 tide in the Mediterranean Sea: dynamic analysis and data assimilation. *Oceanologica Acta* 18: 419-441.
- Mazzarella, A. & Palumbo, A. 1989: Recent changes of mean sea level in the Mediterranean area. *Bollettino di Oceanologia Teorica ed Applicata* 7: 285-293.
- Mosetti, F. 1969: Le variazioni relative del livello marino nell' Adriatico dal 1896 al 1967 e il problema dello sprofondamento di Venezia. *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata* 11: 243-254.
- Mosetti, F. & Purga, N. 1991: Mean sea level evolution in the Mediterranean Sea. *Bollettino di Oceanologia Teorica ed Applicata* 9: 305-344.

- Orlić, M. 1990: Planetarne klimatske promjene uzrokovale niski vodostaj Jadranskog mora. *Ekološki glasnik* 1: 48-54.
- Orlić, M., Kuzmić, M. & Pasarić, Ž. 1994: Response of the Adriatic Sea to the bora and sirocco forcing. *Continental Shelf Research* 14: 91-116.
- Orlić, M. & Pasarić, M. 1994: Vodostaj Jadranskog mora i globalne klimatske promjene. *Pomorski zbornik* 32: 481-501.
- Orlić, M. & Pasarić, M. 1997: Sea-level changes and crustal movements recorded along the east Adriatic coast. U tisku.
- Pasarić, M. & Orlić, M. 1992: Response of the Adriatic sea level to the planetary-scale atmospheric forcing. In: Woodworth, P. L. (ed), *Sea Level Changes: Determination and Effects*, Geophysical Monographs 69: 29-39.
- Pattullo, J., Munk, W., Revelle, R. & Strong, E. 1955: The seasonal oscillation in sea level. *Journal of Marine Research* 14: 88-155.
- Pirazzoli, P. A. 1986: Secular trends of relative sea-level changes indicated by tide-gauge records. *Journal of Coastal Research* 1: 1-26.
- Polli, S. 1941: L'oscillazione annua del mare Mediterraneo. *Archivio di oceanografia e limnologia* 1: 21-30.
- Polli, S. 1946: Correzioni stagionali nella previsione della marea calcolate per 25 porti del Mediterraneo. *Istituto geofisico di Trieste - Pubblicazioni* 180: 1-8.
- Pršić, M. & Smirčić, A. 1989: Metode prognoza ekstremnih povratnih vrijednosti parametara denivelacija površine mora i njihova usporedba. *Hidrografski godišnjak* 87: 63-71.
- Rickards, L. J. 1985: Report on sea level data collected during the MEDALPEX experiment from September 1981 - September 1982: Institute of Oceanographic Sciences Report 209: 1-170.
- Spencer, N. E. & Woodworth, P. L. 1993: Data Holdings of the Permanent Service for Mean Sea Level (November 1993). Permanent Service for Mean Sea Level, Birkenhead, 81 pp.
- Šegota, T. 1976. Promjena razine Jadranskog mora prema podacima mareografa u Bakru i Splitu. *Geografski glasnik* 38: 301-312.
- Škreb, S. 1936: Morska razina. *Priroda* 26: 271-274.
- Tešić, M. 1958: O postdiluvijalnom pomeranju istočne obale Jadrana. *Hidrografski godišnjak* 56: 1-57.
- Tsimplis, M. N. & Woodworth, P. L. 1994: The global distribution of the seasonal sea level cycle calculated from coastal tide gauge data. *Journal of Geophysical Research* 99, C8: 16031-16039.
- Tsimplis, M. N., Proctor, R. & Flather R. A. 1995: A two-dimensional tidal model for the Mediterranean Sea. *Journal of Geophysical Research* 100, C8: 16223-16239.
- Woodworth, P. L. 1984: The worldwide distribution of the seasonal cycle of mean sea level. *Institute of Oceanographic Sciences Report* 190: 1-94.
- Zore, M. 1960: Promjena razine mora uzduž naše obale u vezi sa sistemom strujanja u Jadranu. *Hidrografski godišnjak* 59: 59-65.
- Zore-Armanda, M. 1965: Les variations saisonnières du niveau de la mer le long de la cote orientale Adriatique. *Rapports et proces-verbaux de reunions CIESMM* 18/3: 807-810.
- Zore-Armanda, M. 1968: Raspored tlaka zraka i cirkulacija vode u istočnom Mediteranu. *Hidrografski godišnjak* 67: 67-78.
- Zore-Armanda, M. 1969: Water exchange between the Adriatic and the Eastern Mediterranean. *Deep-Sea Research* 16: 171-178.
- Zore-Armanda, M., Bone, M., Dadić, V., Morović, M., Ratković, D., Stojanoski, L. & Vukadin, I. 1991: Hydrographic properties of the Adriatic Sea in the period from 1971 through 1983. *Acta Adriatica* 32: 5-547.

