

Sedamdeset peta obljetnica Mareografske postaje u Bakru

Dr. sc. Mirko ORLIĆ

Stručni rad

Geofizički zavod "Andrija Mohorovičić"

Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu

UDK 551.46.07/.08 (497.5 Bakar)

Ključne riječi: mareograf, Bakar, Jadran.

Mareograf je postavljen u Bakru 1929. godine i, uz prekid za vrijeme Drugoga svjetskoga rata, instrument bilježi vodostaje na istom mjestu do danas. Prikupljeni vremenski niz – najdulji niz jednog oceanografskog parametra mjerenog u Hrvatskoj – omogućuje da se istraže različiti procesi u Jadranskome moru. Tako su opisani i modelirani seši Bakarskoga zaljeva i cijelog Jadrana, morske mijene, odziv mora na atmosfersko djelovanje, sezonska i međugodišnja promjenjivost vodostaja te trendovi relativnih pomaka mora prema kopnu. Naglašava se važnost stalnog rada Mareografske postaje u Bakru, ne samo zato što njene podatke koristi medunarodna znanstvena zajednica pri analizi nekih aktualnih problema kao što su npr. antropogene klimatske promjene, već i stoga što su ti podatci korisni za regulaciju plovidbe u Bakarskome 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. U okviru priprema za 75. obljetnicu Mareografske postaje u Bakru, starom, analognom instrumentu pridodan je novi, digitalni uređaj, cijela je postaja obnovljena, a u njenoj je neposrednoj blizini postavljen i radarski mareograf – prvi takav instrument na Jadranu. Time je u Bakru uspostavljen mali mareografski opservatorij.

1. UVOD

Nedavno je obilježena sedamdeset peta obljetnica Mareografske postaje u Bakru. To je bio povod za temeljito obnavljanje postaje kao i za prisjećanje na njen prošli razvoj te razmišljanje o budućnosti.

Postaja je utemeljena nakon što je dr. Stjepan Škreb, tadašnji upravitelj Geofizičkoga zavoda u Zagrebu, u ožujku 1928. godine obišao Sušak, Bakar, Kraljevicu i Senj te zaključio da je Bakar najpogodniji za postavljanje mareografa (slika 1). Pritom je, kako izgleda, prije svega uzeo u obzir praktične razloge, napose mogućnost da se mareograf postavi u već postojeću zgradu. Treba, međutim, naglasiti da je Bakar bio prirodan izbor za zagrebačkog prirodoslovca koji želi započeti rad na moru. U Bakru je od 1882. do 1891. godine na Kr. nautičkoj školi djelovao

Izvještaj dr. Stjepana Škreba o putu na Sušak u Senj, Bakar i Kraljevcu,
dat - 30 III. 1928.

Nakon pregleđivanja luka na Sušaku uz posao g. lučkog poglavara Cetinje i kapetana Policijskog konstitutivnog je namjera, da se u Sušackoj luci postavi mareograf. Kad bi se izjavljen cijev do lučkog uredu bio bi trošak prevelik, a portni mogućnost, da će lučki ujeti omilje mernice kontavljene posebnim kućicem na obali rijeke, nije izričajeno jer bi smatralo pristojanju i prometu, a i trošak ne bi nikako mogao pokriti. Zato je zaključeno da potpisani podje u Bakar pa je dan nalog lučkom kapetanu u Bakru predan, ali obavijesti o tom i razvratnike nautičke skolske g. r. Cvjetkovici. Nakon što potpisanih posavjeta s Senjom i Bakrom mogao je uz pomoć g. Željaniću mogli zgoditi način tako da će sparat mjeriti u kancelariji lučkog ureda i cijevju spojiti sa normom (Vidi epiz hrv. 493./1928). Ovaj će se epoz omotati između, a lučka će mjeritvena zatruditi zato posesni kredit, dok će momentani udaljak othod pokriti prelujnjac Geofizički zavod.

U Senju je konstatovano, da se postaja može prenesti u prvu lagarsku kućicu u Drugu, kojih 400 metara dalje od svrige postaje. No kako inspekcijski stajl u pregovoru s heliografskim naduvjetom glasnikom i smjednjom zahtijete, to će heliograf ne moći prenesti dok se to pitanje ne riješi.

U Bakru je pozavljeno, da je heliograf u opće pokrenut, pa je dan nalog, a se pošalje u Bakrskoj uvo je određeno kako će se postaviti mareograf na neuspjelu zaštitu za krišnjere.

Na povratak zatrudeno je atleti nje lučku kapetaniju za ravnje u Bakru i dogovoren o postavljanju meteorološke stanice i, reka na Sušaku.

Zagreb, 5. ožujka 1928.

Direktor:

Neka postava je
dr. Stjepan Škreba
Bakar

Slika 1. Izvještaj dr. Stjepana Škreba o putu na Sušak te u Bakar, Kraljevcu i Senj od 30. ožujka 1928. godine. Temeljem tog izvještaja Bakar je odabran za smještaj mareografske postaje

godine radi do danas. Na taj je način zabilježen najdulji vremenski niz jednog oceanografskog parametra u Hrvatskoj.

Bakarska Mareografska postaja jedina je takva stalna postaja na području Kvarnera. Povremena, kratkotrajna mjerenja vodostaja obavljana su i na nekim drugim mjestima (Rijeka, Baška, Cres, Mali Lošinj ...), ali se jedino postaja u Bakru održala kroz dugi niz godina. To je čini najstarijom mareografskom postajom u Hrvatskoj i jednom od najstarijih u Sredozemlju. Na osnovi bakarskih registracija provedenih su brojna znanstvena istraživanja, u Hrvatskoj i u svijetu, a mareografski su se podatci 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

- 1 D. Skoko i J. Mokrović: Andrija Mohorovičić. Državni hidrometeorološki zavod i Školska knjiga, Zagreb, 1998, 111 pp.
2 M. Orlić: Zagrebački prirodoslovci, a napose Josip Goldberg, i istraživanje Jadran. Geofizika, 14, 1997, 83-117.

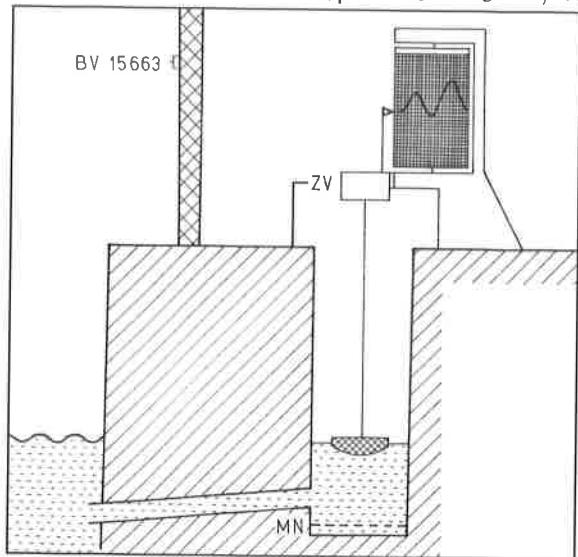
Andrija Mohorovičić.¹ U to je vrijeme Mohorovičić započeo svoj znanstveni rad, baveći se meteorologijom na postaji koju je sam utemeljio. Iz Bakra je prešao u Zagreb, gdje je postao upravitelj Geofizičkoga zavoda, proširio svoj rad na područje seizmologije te se proslavio otkrićima u tom području. Škreb je bio Mohorovičićev asistent i nasljednik na položaju upravitelja. Uz Bakar i brodove Kr. nautičke škole vezani su i početci razvoja hrvatske oceanografije: brodom „Margita“ obavljeno je 1894. godine znanstveno putovanje hrvatskih istraživača Jadranskim morem, a brodom „Vila Velebita“ 1913. i 1914. godine prve hrvatske oceanografske ekspedicije u pravom smislu te riječi.²

Mareografska je postaja započela s radom u Bakru 5. prosinca 1929. godine te je bila operativna do 15. svibnja 1939. godine. Nakon prekida u vrijeme Drugoga svjetskoga rata postaja je obnovljena uz kalibraciju koja je osigurala usporedivost predratnih i poratnih podataka pa od 29. kolovoza 1949.

će se kakva je praktična korist bakarskih mareografskih podataka. Naposljetku, ukratko će se prikazati kako je postaja obnovljena te što je preostalo da se obavi u budućnosti.

2. MAREOGRAFSKA POSTAJA U BAKRU

Mareograf je smješten u zgradi 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 koji 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 znaku visine (ZV) uz mareograf: njihova udaljenost naziva se konstantom mareografa i za bakarsku



Slika 2. Shematski prikaz Mareografske postaje u Bakru

Mareografsku postaju ona iznosi 311,8 cm. Uz mareograf postavljen je još i bilje visine (BV 15663, na pročelju zgrade u kojoj je smještena postaja), preko kojeg se instrument veže na geodetsku mrežu. Naglasimo ulogu zdanca i spojne cijevi: oni djeluju kao niskopropusni filter, tj. omogućuju registraciju samo dugoperiodičkih oscilacija razine mora, dakle onih čiji je period veći od oko 1 min. Promjer zdanca u Bakru je 50 cm, visina zdanca je 2,7 m, promjer spojne cijevi je 10 cm, a njena duljina oko 10,8 m.

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 (Antun Antić, Marijan Pezelj, Ivan Pavačić, Željko Ježić, a danas Srećko Suserić). Godišnje održavanje mareografske postaje obuhvaća čišćenje instrumenta, zdanca i spojne cijevi te provjeru konstante mareografa. Ovo održavanje nadgledaju voditelji postaje s Geofizičkoga zavoda u Zagrebu, a to su u predratnom razdoblju bili dr. Josip Goldberg (slika 3) i dr. Karlo Kempni (slika 4), a u poratnom prof. dr. Marijan Kasumović (do 1983. godine, slika 5) i prof. dr. Mirko Orlić (od 1983. godine). Naposljetku, važno je povremeno provjeravati i udaljenost između znaka visine i biljevisine, radi uočavanja mogućih promjena u položaju mareografa. Geodet-



Slika 3. Dr. Josip Goldberg, opservator na Geofizičkom zavodu u Zagrebu, s mornarom koji opslužuje prijenosni mareograf za vrijeme ekspedicije u Bakarskom zaljevu 1936. godine

ska mjerenja, napose ona poslijeratna, pokažuju da nije došlo do ikakvih pômaka 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 izglađuju, tako da se uklone oscilacije perioda manjeg od 2 h, i digitaliziraju s jednosatnim intervalom uzorkovanja. Iz satnih vrijednosti najčešće se potom određuju različiti srednjaci kao i ekstremne

vrijednosti (neki su rezultati mjerenja i obrade dati u tablicama 1 – 3). Svi podatci arhiviraju se u Geofizičkom zavodu u Zagrebu i po potrebi stavljuju na raspolaganje istraživačima iz te i drugih znanstvenih institucija. Jedan dio obradenih podataka objavljuje se u domaćim publikacijama,³ što ih čini pristupačnima širokom krugu korisnika u Hrvatskoj. Osim toga, mjesecni i godišnji srednjaci vodostaja registriranog u Bakru dostavljaju se, od samog početka mjerenja, u Permanent Service for



Slika 4. Dr. Karlo Kempni, asistent na Geofizičkom zavodu u Zagrebu (desno), sa službenikom Lučke kapetanije u Bakru 1936. godine

³ Hrvatski hidrografski institut: Izvješće o mareografskim mjerjenjima na istočnoj obali Jadranu. Split, 1954-2002.

Mean Sea Level, Birkenhead, Velika Britanija (slika 6), čime postaju lako dostupni međunarodnoj znanstvenoj zajednici.⁴

3. ZNANSTVENI REZULTATI

Podatci prikupljeni na Mareografskoj postaji u Bakru 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.

Stojni valovi – seši

Čim se započelo s mareografskim mjeranjima u Bakru uočena je na zapisima prisutnost znatnih oscilacija s periodom reda veličine 10 min. Da bi se te oscilacije detaljnije istražile, Geofizički zavod organizirao je 1936. godine poseban eksperiment u Bakarskom zaljevu. Uz stalni mareograf pribavljen je i prijenosni instrument, za potrebe ekspedicije konstruirana su još dva mareometra, a na terenu su se obavljala i meteorološka mjerjenja. Kombinirajući prikupljene podatke i rezultate jednodimenzionalnog numeričkog modela razvijenog za Bakarski zaljev, J. Goldberg i K. Kempni su odredili različite periode oscilacija i povezali ih sa sešima Bakarskoga zaljeva.⁵ Tim mjerjenjima, kao i nekim novijima, utvrđeno je da periodi oscilacija iznose 26.9, 22.3 i 19.7 min, zatim 7.8 min i naposljetku 4.3 min. Prema prihvaćenoj interpretaciji, oscilacije perioda oko 20 min potjecale bi od seša cijelog Bakarskoga zaljeva, dok bi manji periodi bili povezani s uninodalnim i binodalnim sešima unutarnjeg dijela zaljeva. Zasluga je J. Goldberga i K. Kempnija da su utemeljili izučavanje takvih pojava u Jadranu te da su ujedno uveli matematičko modeliranje u suvremenu hrvatsku oceanografiju. Inače, seši predstavljaju jedan doprinos pojavi koja je poznata pod nazivom meteorološki tsunami i koja može ugroziti neka jadranska naselja (Vela Luka, Stari Grad, Mali Ston).



Slika 5. Dr. Marijan Kasumović i dr. Dragutin Skoko, profesori na Geofizičkom zavodu u Zagrebu, prilikom baždarenja mareografa krajem 1960-ih godina.

4 N. E. Spencer and P. L. Woodworth: Data Holdings of the Permanent Service for Mean Sea Level (November 1993). Permanent Service for Mean Sea Level, Birkenhead, 1993, 81 pp.

5 J. Goldberg i K. Kempni: O oscilacijama Bakarskog Zaljeva i općem problemu zaljevskih seša. Prirodoslovna istraživanja Kraljevine Jugoslavije, 21, 1938, 129-234.

Bakarski su podatci poslužili za istraživanje ne samo seša Bakarskoga zaljeva već i oscilacija većeg perioda koje potječu od seša cijelog Jadrana. Tako su npr. I. Cerovečki *et al.* istražili procese prigušenja osnovnog jadranskog seša čiji period iznosi oko 21 h.⁶ Odredili su vrijeme gušenja (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 M. Kasumović.⁷ Analizirajući mareografske registracije iz 1950. godine utvrdio je da se plima i oseka u toj luci mogu dobro opisati sa sedam harmonijskih konstituenata. Ujedno je pokazao da se harmonijskom sintezom vodostaji mogu uspješno prognozirati za dane u kojima je meteorološki utjecaj na more zanemariv. Morske mijene u Bakru kombiniranog su tipa, što znači da u vrijeme mlađaka i punog Mjeseca nastupaju po dvije visoke i niske vode u danu, a u vrijeme prve i zadnje četvrti samo po jedan maksimum i minimum. Dobro su izražene dnevne nejednakosti u visini. Također se opaža i godišnji hod: naime, u ljetnom dijelu godine osnovna jednodnevna oscilacija ima minimum u prvoj a maksimum u drugoj polovini dana, dok je u zimskom dijelu godine redoslijed ekstrema obrnut. Po uzoru na Kasumovićev postupak harmonijska je analiza kasnije provedena i za druge hrvatske luke, što je predstavljalo

osnovu za izradu prognoza koje se redovito objavljaju od 1974. godine.⁸

Amplitude i faze harmonijskih konstituenata poslužile su pri verifikaciji hidrodinamičkih modela plime i oseke u Jadranu i Sredozemlju. Tako su primjerice M. N. Tsimplis *et al.* razvili dvodimenzionalni model za cijelo Sredozemlje i njime definitivno pokazali da morske mijene Sredozemnoga mora – posebno jednodnevne – imaju najveće amplitude u Jadranu te da su mjerena iz tog akvatorija,

Slika 6. Pismo čuvenog britanskog oceanografa prof. dr. Josepha Proudmana od 6. siječnja 1938. godine, kojim zahvaljuje za primljene bakarske podatke te u prilogu šalje neke svoje znanstvene članke

- 6 I. Cerovečki, M. Orlić and M. C. Hendershott: Adriatic seiche decay and energy loss to the Mediterranean. Deep-Sea Research I, 44, 1997, 2007-2029.
- 7 M. Kasumović: Harmonička analiza plime i oseke luke Bakar. Radovi Geofizičkog instituta u Zagrebu, III/1, 1952, 1-9.
- 8 Hrvatski hidrografski institut: Tablice morskih mijena – Jadransko more – istočna obala. Split, 1974-2005.

pa i ona bakarska, važna za provjeru numeričkih simulacija koje se odnose na mnogo šire područje.⁹ Ujedno je potvrđeno da morske mijene u Jadranu potječu od impulsa iz Jonskoga mora, da imaju karakter stojnih valova i da amplitudne oscilacije na pojedinim mjestima ovise o konfiguraciji i dimenzijama bazena te o amplitudi oscilacija u Otrantskim vratima.

Odziv mora na atmosfersko djelovanje

Koristeći bakarske mareografske podatke, M. Kasumović je pokazao da ciklonačna stanja u atmosferi dovode do povećanja vodostaja u Jadranu, a anticiklonalna do sniženja.¹⁰ Također je utvrdio da maksimalni vodostaji nastaju zbog kombiniranog djelovanja niskog tlaka zraka i južnog vjetra – to su tzv. olujni uspori koji mogu dovesti do poplavljivanja sjevernojadranskih naselja, dok su minimalni vodostaji vezani prvenstveno uz visoki tlak zraka. Na osnovi nekoliko odabralih sinoptičkih situacija Kasumović je naposljetku provjerio i iznos barometarskog faktora za Bakar. M. Orlić *et al.* 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 međusobno razlikuju.¹¹ Ta je varijabilnost objašnjena efektom prostorne promjenjivosti u polju bure, zbog čega se stvaraju izmjenična područja visokih i niskih vodostaja kako je to potvrđeno i trodimenzionalnim numeričkim modelom. Mjerenja izvršena na hrvatskoj mareografskoj mreži uz dobru prostornu rezoluciju pokazala su se bitnima za empirijsko dokumentiranje te 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. M. Pasarić *et al.* načinili su poprečnu spektralnu analizu dugih vremenskih nizova zabilježenih na mareografskim postajama u Bakru, Splitu i Dubrovniku te tlaka zraka i vjetra i tako pokazali da u području niskih frekvencija (0.01-0.1 ciklusa po danu) postoji statistički signifikantna veza između meteoroloških parametara i vodostaja.¹²

Sezonske i međugodišnje promjene

Sezonskim oscilacijama Jadrana i Sredozemlja bavili su se, rabeći pri tom i bakarske podatke, brojni autori. U istraživanju su korištene različite metode, od računanja mjesecnih prosjeka za niz godina, preko harmonijske analize pa sve do spektralne analize. Za Bakar se pokazalo da se najniži vodostaji javljaju u ožujku, a 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

9 M. N. Tsimplis, R. Proctor and R. A. Flather: A two-dimensional tidal model for the Mediterranean Sea. *Journal of Geophysical Research*, 100/C8, 1995, 16223-16239.

10 M. Kasumović: O utjecaju tlaka zraka i vjetra na kolebanje razine Jadranu. *Hidrografski godišnjak*, 56/57, 1958, 107-121.

11 M. Orlić, M. Kuzmić and Z. Pasarić: Response of the Adriatic Sea to the bora and sirocco forcing. *Continental Shelf Research*, 14, 1994, 91-116.

12 M. Pasarić, Z. Pasarić and M. Orlić: Response of the Adriatic sea level to the air pressure and wind forcing at low frequencies (0.01-0.1 cpd). *Journal of Geophysical Research*, 105/C5, 2000, 11423-11439.

pripisati prije svega termalnom učinku i utjecaju atmosferskog tlaka,¹³ a donekle bi se mogao dovesti u vezu i s isparavanjem, oborinom te strujanjem.¹⁴

M. Zore-Armanda je istraživala sezonske promjene nagiba razine mora, određujući razlike vodostaja izmjerениh u Bakru te na nekim južnijim postajama (Split, Dubrovnik).¹⁵ 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 ili pak na osnovi anomalija, tj. odstupanja vodostaja od prosječnog godišnjeg hoda. Ovaj je potonji pristup pokazao 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.¹⁶ 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 uskladeno djelovanje nekoliko meteoroloških čimbenika.

Na osnovi mjesecenih srednjaka vodostaja zabilježenih tijekom niza godina u Bakru i nekim drugim jadranskim i sredozemnim lukama istražene su i višegodišnje promjene u nagibu razine mora.¹⁷ 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 prijenosom 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 tršćanskom normalnom nulom i odgovarajućim veličinama za druge mareografske postaje u Jadranu. Pokazano je da su nadmorske visine određene u odnosu na tršćansku normalnu nulu za oko 9 cm prevelike, budući da je referentni vodostaj izведен iz niza registracija od samo jedne godine (1875) u kojoj je razina mora bila naročito niska.¹⁸ 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. Najčešće se vremenskom nizu srednjih mjesecnih ili godišnjih vodostaja prilagođava pravac i iz nagiba pravca zaključuje o trendu uzdizanja razine mora u odnosu na kopno. Iz jedne novije takve analize proizlazi da se duž istočne obale Jadrana more uzdiže u odnosu na

13 J. Pattullo, W. Munk, R. Revelle and E. Strong: The seasonal oscillation in sea level. *Journal of Marine Research*, 14, 1955, 88-155.

14 A. Mazzarella and A. Palumbo: Recent changes of mean sea level in the Mediterranean area. *Bollettino di Oceanologia Teorica ed Applicata*, 7, 1989, 285-293.

15 M. Zore-Armanda: Les variations saisonnières du niveau de la mer le long de la côte orientale Adriatique. *Rapports et proces-verbaux de réunions CIESMM*, 18/3, 1965, 807-810.

16 M. Orlić i M. Pasarić: Vodostaj Jadranskog mora i globalne klimatske promjene. *Pomorki zbornik*, 32, 1994, 481-501.

17 M. Zore-Armanda: Water exchange between the Adriatic and the Eastern Mediterranean. *Deep-Sea Research*, 16, 1969, 171-178.

18 M. Kasumović: Srednja razina Jadranskog mora i geodetska normalna nula Trst. *Rad Geofizičkog zavoda u Zagrebu*, II/3, 1950, 1-22.

kopno brzinom od oko 1 mm godišnje i da su tu relativne brzine znatno manje negoli u području delte rijeke Po.¹⁹

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 ili da su pravci prilagođavani podatcima unutar kliznih otvora odnosno da su vodostaji aproksimirani polinomima drugog stupnja. 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 godišnje 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.²⁰ Takvo je gibanje objašnjeno (a) globalnim uzdizanjem razine mora, (b) regionalnom međudekadnom promjenjivošću vodostaja te (c) lokalnim tektonskim pomacima.

4. PRAKTIČNA PRIMJENA

Bakarski mareografski podatci često se koriste u praktične svrhe. Međutim, takva primjena – za razliku od one znanstvene – uglavnom nije dokumentirana publikacijama. Mareografski podatci nužni su za određivanje nadmorskih visina i dubina.²¹ Međutim, dok se pri određivanju nadmorskih visina – prihvativimo 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 mlađaka i punog Mjeseca i ona se prema dugogodišnjim mjerenjima u Bakru nalazi na udaljenosti od 33 cm ispod srednje razine mora.

Podatci o ekstremnim vodostajima važni su za planiranje gradnje u priobalnim područjima.²² Statistika ekstrema, primjenjena 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, ova kva statistika, utemeljena na postojećem empirijskom materijalu, ne uzima u obzir moguće učinke budućih klimatskih promjena.

Mareografski podatci rabe se i pri regulaciji plovidbe. Tako je autoru ovog teksta Đ. Čović iz Brodogradilišta "3. maj" u Rijeci 1990. godine posvjedočio da pri porinuću brodova telefonski dobavlja informaciju o vodostaju iz Bakra. U drugu

- 19 K. O. Emery and D. G. Aubrey: *Sea Levels, Land Levels and Tide Gauges*. Springer Verlag, New York, 1991, 237 pp.
- 20 M. Orlić and M. Pasarić: Sea-level changes and crustal movements recorded along the east Adriatic coast. *Il Nuovo Cimento*, 23, 2000, 351-364. M. N. Tsimplis and T. F. Baker: Sea level drop in the Mediterranean Sea – an indicator of deep water salinity and temperature changes? *Geophysical Research Letters*, 27/12, 2000, 1731-1734.
- 21 B. Jovanović: Istraživanja geodetske i hidrografske nule, njihova primjena i važnost. *Hidrografski godišnjak*, 87, 1989, 115-134.
- 22 M. Pršić i A. Smrčić: Metode prognoza ekstremnih povratnih vrijednosti parametara denivelacija površine mora i njihova usporedba. *Hidrografski godišnjak*, 87, 1989, 63-71.

ruku, kapetan Ž. Ježić, svojedobno službenik Lučke kapetanije u Bakru i motritelj pri Mareografskoj postaji, izjavio je: "...određujući nastup visoke vode određujemo vrijeme veza i početka iskrcanja 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 ...".²³ Na sličan način upotrebljavaju se i prognoze morskih mijena.

5. ZAKLJUČAK

Iz svega iznesenog jasno se razabire da su podatci Mareografske postaje u Bakru često korišteni u znanstvenim istraživanjima. Bibliografija znanstvenih radova koji se oslanjaju na bakarske podatke obuhvaća velik broj jedinica i ona se svake godine povećava. Upravo preko mareografskih mjerena Bakar je ucrtan 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 podatci pokazali su se korisnima i u različitim područjima praktične primjene, u Bakru i na širem riječkom području. Naposljetku, mareografska mjerena u Bakru poslužila su kao poticaj i osnova za organizaciju cijele hrvatske mareografske mreže. Prof. dr. M. Kasumović, dugogodišnji voditelj Mareografske postaje u Bakru, na Konferenciji o hidraulici Jadranu održanoj u Splitu 1954. godine predložio je da se uskladi rad pojedinih mareografa i da se svi podatci objavljuju jednom godišnje u posebnoj publikaciji.²⁴ Na poticaj i uz aktivno sudjelovanje autora ovog teksta spomenuta se publikacija od 1991. godine tiska dvojezično (na hrvatskom i na engleskom jeziku).

Uskladljivanje rada mareografa i prikupljanje svih podataka u Hrvatskom hidrografskom institutu u Splitu radi redovitog objavljivanja osigurali su visoku kvalitetu i široku upotrebljivost hrvatskih mareografskih mjerena. Tako npr. F. Mosetti i N. Purga, u istom članku u kojem se kritički osvrću na talijansku i gotovo svu sredozemnu mareografiju,²⁵ 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."²⁶ Slično, 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 podatci vrlo dobri u usporedbi s onima drugih zemalja. To uvažavanje kvalitete hrvatskih mareografskih podataka imalo je i konkretnih posljedica: kad je krajem 1990-ih godina

23 J. Karmelić: Bakarski mareograf. Jugolinija, 31, 1992, 23.

24 Hidrografski institut: Stenografske bilješke sa Konferencije o hidraulici Jadranu održane u Splitu 28-30. srpnja 1954., Split, 1954.

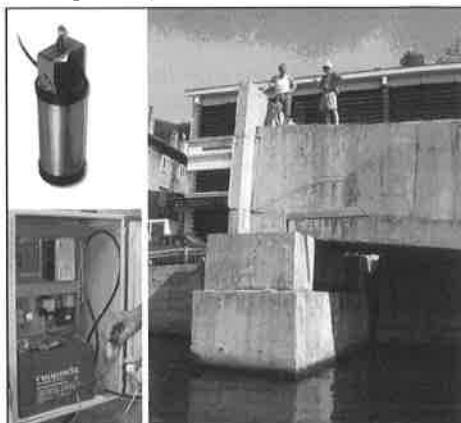
25 F. Mosetti and N. Purga: Mean sea level evolution in the Mediterranean Sea. Bollettino di Oceanologia Teorica ed Applicata, 9, 1991, 305-344.

26 "Premda neki nizovi nisu osobito dugački, te uglavnom započinju nakon rata ili kasnije, mjerena se obavljaju pažljivo, nizovi su neprekidni, a podaci se redovito objavljaju u međunarodnim publikacijama."

organizirana europska mareografska mreža u okviru projekta COST 40 Hrvatska je dobila poseban poziv da se priključi tom projektu, a kad se na njega kasnije nadovezao projekt ESEAS-RI Petog programskog okvira Europske komisije Hrvatska je uključena i u njega. Treba napomenuti da je ovaj potonji bio jedan od prvih europskih projekata kojima su financirane hrvatske institucije.

Mareografska mjerjenja 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 mjerjenja i, dakako, s osobitom pozornošću održavaju postaje koje imaju dugogodišnji niz mjerjenja. Kako smo vidjeli, bakarska Mareografska postaja spada među one na koje se računa u tom međunarodnom naporu da se prate klimatske promjene. Da bismo se pripremili za budućnost postaju smo, uz analogni instrument koji je u pogonu od 1929. godine, opremili i digitalnim instrumentom (2003. godine), a u neposrednoj blizini postavili smo i radarski mareograf (2004. godine, slika 7) – prvi takav instrument na Jadranu. Time je u Bakru uspostavljen pravi mali mareografski opservatorij. U okviru priprema za obilježavanje sedamdeset pete obljetnice Mareografske postaje u razdoblju od 2003. do 2005. godine obnovljena je spojna cijev mareografa, uređena je prostorija u kojoj se nalazi mareograf kao i pristupni hodnik, a na pročelje zgrade postavljena je ploča koja obilježava položaj postaje. Jedan posao koji će trebati započeti u budućnosti jest praćenje pomaka tla uz mareograf primjenom suvremenih geodetskih tehnika (kao što je npr. Global Positioning System). Međutim, bakarska Mareografska postaja već je sada znatno osuvremenjena te se s pravom može očekivati da ostane u krugu najboljih svjetskih postaja.

Slika 7. Radarski mareograf postavljen 1. listopada 2004. godine u Bakru u neposrednoj blizini klasičnog instrumenta



ZAHVALA

Kolege iz Geofizičkoga zavoda u Zagrebu, napose dr. Miroslava Pasarić i gospodin Zlatko Matica, pomažu u održavanju bakarske Mareografske postaje te pri obradi podataka. Kapetan Srećko Suserić svakodnevno u Bakru vodi brigu o mareografu. Financijska sredstva za rad Mareografske postaje u Bakru osiguralo je Ministarstvo znanosti, obrazovanja i športa (projekt 0119330), a za unapređenje i obnavljanje postaje Europska komisija (projekt ESEAS-RI), Ministarstvo znanosti, obrazovanja i športa (projekt "Jadran") te Grad Bakar. Carinarnica i Ministarstvo finansija odobrili su potrebne radove i stavili na raspolaganje prostoriju u kojoj se nalazi instrument isključivo za mareografska mjerjenja. Svima zahvaljujem!

Tablica 1. Srednje mjesecne i godišnje vrijednosti vodostaja u Bakru za razdoblje od 1993. do 2002. godine. Vodostaji su dani u centimetrima, a odnose se na lokalnu mareografsku nulu

Mjesec Godina	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Godišnji srednjak
1993	52.7	47.2	55.5	65.4	70.1	70.9	67.0	67.6	79.8	89.0	77.7	87.0	69.3
1994	77.2	73.5	61.2	77.9	75.3	68.3	68.2	76.1	79.0	76.5	81.7	76.2	74.2
1995	74.9	74.5	69.4	67.5	72.4	72.9	72.7	73.1	82.5	70.1	80.9	86.3	74.8
1996	86.5	79.9	71.9	69.7	81.4	65.8	68.3	71.3	77.7	83.1	93.1	89.5	78.2
1997	81.6	61.7	62.5	63.5	76.7	81.4	74.6	71.7	72.6	81.4	96.2	92.6	76.5
1998	76.4	66.1	60.8	85.5	77.2	75.4	80.6	78.3	85.5	89.4	83.6	71.5	77.6
1999	72.4	75.9	75.1	79.5	78.1	75.0	76.3	81.8	82.7	83.8	82.3	80.8	78.6
2000	66.9	67.9	70.5	88.1	77.4	72.4	79.7	72.1	81.9	87.4	100.7	87.6	79.4
2001	92.3	77.0	93.3	76.7	79.9	75.2	77.5	75.8	85.9	80.1	78.3	70.0	80.2
2002	63.0	77.4	79.7	81.7	76.9	77.2	77.7	82.8	87.9	89.2	100.2	90.3	82.0

Tablica 2. Mjesečni apsolutni maksimumi vodostaja u Bakru za razdoblje od 1993. do 2002. godine. Iznosi su dani u centimetrima, a odnose se na lokalnu mareografsku nulu

Mjesec Godina	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1993	89	91	97	103	111	112	115	125	136	170	126	159
1994	148	99	114	121	137	118	104	139	139	134	126	140
1995	150	129	118	117	138	116	113	132	130	103	126	152
1996	143	142	109	122	126	166	126	135	123	135	169	145
1997	158	109	106	107	173	144	126	110	106	126	169	161
1998	122	116	96	124	124	132	134	113	132	156	148	142
1999	138	128	118	139	123	118	115	125	124	142	167	172
2000	119	119	136	140	112	114	141	121	138	143	159	163
2001	151	127	152	118	126	131	127	130	133	130	141	141
2002	108	115	116	125	123	149	115	126	135	146	160	151

Tablica 3. Mjesečni absolutni minimumi vodostaja u Bakru za razdoblje od 1993. do 2002. godine. Iznosi su dani u centimetrima, a odnose se na lokalnu mareografsku nulu

Mjesec Godina	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1993	4	-9	13	22	26	20	12	22	37	36	22	33
1994	-12	31	18	27	30	22	21	33	29	31	34	19
1995	0	29	20	25	27	33	32	19	43	35	28	33
1996	23	32	10	31	31	22	15	30	37	42	40	33
1997	31	12	12	12	32	33	28	23	33	39	44	35
1998	25	19	8	38	35	26	38	23	46	46	39	23
1999	20	21	19	36	27	25	35	35	31	58	29	18
2000	12	15	48	47	39	30	24	26	38	42	54	24
2001	38	23	53	35	35	23	29	33	31	37	27	19
2002	12	32	25	46	34	18	24	36	45	41	46	35

Seventy-fifth anniversary of tide-gauge station at Bakar Summary

Key words: tide gauge, Bakar, Adriatic.

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 were diagnosed and modelled as were tides, response of the sea to atmospheric forcing, seasonal and interannual sea-level variability and relative sea-level trends. The importance of 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. In the framework of preparations for the 75th anniversary of tide-gauge station at Bakar the old, analog instrument has been supplemented by a new, digital one, the whole station has been renovated, and in its close vicinity a radar tide gauge has been installed – the first such instrument in the Adriatic. Thus, a small tide-gauge observatory has been established at Bakar.