

# Razina Jadranskog mora prema podacima mareografa u Bakru

Tomislav Šegota\*

Zbog smještaja bakarskog mareografa u reljefno izoliranom Bakarskom zaljevu odnos između morske razine i klimatskih elemenata je drukčiji nego na ravnoj obali. U godišnjem hodu tlaka zraka ne vrijedi u svim mjesecima "efekt inverznog barometra". Najviši je vodostaj u jeseni i u prosincu kad je i tlak zraka najviši. Niži vodostaj u ljetnim mjesecima odgovara nižem tlaku zraka. Jesenski visoki vodostaj podudara se s jesenskim maksimumom padalina. U višegodišnjem trendu postoji opći porast vodostaja. To se ne podudara s temperaturom koju karakterizira silazni trend. Zatim, postoji trend pada tlaka zraka, a porast vodostaja. Veća godišnja količina padalina najčešće povećava godišnji vodostaj. Veća čestina NE+E bure uzrokuje porast vodostaja zbog nagomilavanja vode u sjeverozapadnom dijelu Bakarskog zaljeva. Vodostaj pokazuje postojanje ciklusa od oko 18 godina superponiranog na glacioeustatičko izdizanje razine svjetskog mora.

**Cljučne riječi:** Bakarski mareograf, recentne promjene morske razine, klimatske promjene.

## Sea Level of the Adriatic Sea Indicated by Bakar Tide-gauge Data, Croatia.

Bakar tide-gauge is located in isolated Bakar Bay. This is the reason that the "effect of inverse barometre" is only partly valid. The highest sea level in the autumn and in December is accompanied by the highest air pressure. The lower sea level in the summer months corresponds to lower air pressure. The autumn high sea level corresponds to precipitation maximum. The general rise in sea level is accompanied by downward temperature trend. The sea level curve excellently corresponds to precipitation curve. The good agreement is also shown between the bora wind frequency and annual sea level. In the sea level curve is possible to discern a cycle of about 18 years superimposed on a general (glacio)eustatic sea level rise.

**Key Words:** Bakar tide-gauge station, recent sea level changes, climatic changes.

## UVOD

Poznata je činjenica da se mnogo piše i govori o klimatskim promjenama. To se odražava u obilnoj literaturi o promjenama morske razine, njenom odnosu prema općim klimatskim (prije svega temperaturnim) promjenama. Recentno izdizanje mor-

\* Dr. sc., red. prof., Geografski odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Marulićev trg 19, 10.000 Zagreb, Hrvatska/Croatia.

ske razine općenito se smatra da bi uskoro mogao postati problem u ravničarskim zemljama na obalama svjetskog mora.

Morska razina posljedica je djelovanja faktora vrlo različitog trajanja, odnosno, perioda; osim toga, neki faktori djeluju u istom smjeru, jedni druge pojačavaju, dok drugi djeluju u suprotnom smjeru, pa se mogu poništavati.

Mareografski podaci su objektivni dokaz već odavno poznate činjenice da se morska razina neprekidno mijenja. Ove su promjene posljedica djelovanja astronomskih (privlačna sila Mjeseca i Sunca), meteoroloških (radijacija, temperatura zraka, tlak zraka, vjetar, padaline itd.), hidrogeografskih promjena (pritjecanje voda s kopna, evaporacija itd.), te procesa u moru (temperatura morske vode, morske struje, salinitet itd.). (M. Kasumović, 1977; J. Ridanović, 1993).

Nas će posebno zanimati recentna razina Jadranskog mora koja se može dokumentirati mareografskim podacima iz Bakra. Istražit ćemo tendenciju promjene morske razine prije svega kao odraza promjene nekih meteoroloških elemenata. Naime, današnji položaj morske razine je konačna posljedica djelovanja više desetaka faktora; koliki je udio pojedinih faktora trenutno najčešće nije moguće točnije odrediti.

Danas se općenito uzima da je glavni uzrok suvremenog izdizanja morske razine kopnjenje leda na Antarktičkom i Grenlandskom ledenom pokrovu, ali je u ovom kratkom razdoblju možda važnije nestajanje planinskih ledenjaka (glacioeustatizam). Znatno broj istraživača smatra da je suvremeno izdizanje morske razine posljedica zagrijavanja površinskog sloja svjetskog mora kao posljedice otopljanja klime.

U tektonski aktivnim područjima ne može se zanemariti vertikalno gibanje (izdizanje ili spuštanje) kopna u odnosu na Zemljin radijus. Upravo je tako na istočnoj obali Jadrana, a teško se može odvojiti od ostalih faktora.

Znatne teškoće proizlaze iz činjenice da se uspoređuju podaci mareografa raznog trajanja. To znači da se moraju uspoređivati samo nizovi iz istog razdoblja. Slično tome, ne preporuča se izvoditi opće zaključke na temelju prekratkih nizova; potreban je niz od barem 50-ak godina.

Mareografski i klimatski podaci analizirani su najelementarnijim statističkim metodama.

1. Standardna devijacija je najegzaktnija mjera disperzije individualnih jedinica neke statističke mase. Ako je

$$v_1, v_2, \dots, v_n, v_n$$

niz podataka o vodostaju,  $\bar{v}$  je njihov prosjek, a  $N$  = broj godišnjih vodostaja, onda će standardna devijacija biti

$$S = \sqrt{\frac{(v_1 - \bar{v})^2 + (v_2 - \bar{v})^2 + \dots + (v_{n-1} - \bar{v})^2 + (v_n - \bar{v})^2}{N}}$$

ili kraće pisano

$$S = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (v_i - \bar{v})^2}$$

2. Zbog velike varijabilnosti godišnjih vodostaja i analiziranih klimatskih elemenata promjene se lakše uočavaju upotrebom tzv. pokretnih srednjaka. Ako su

$$y_1, y_2, \dots, y_{n-1}, y_n$$

podaci o godišnjim veličinama onda se 5-godišnji klizni srednjaci izračunavaju kako slijedi

$$y'_3 = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 y_i ; \quad y'_4 = \frac{1}{5} \sum_{i=2}^6 y_i ; \quad y'_5 = \frac{1}{5} \sum_{i=3}^7 y_i$$

i tako dalje do kraja niza.

3. Sve varijacije unutar promatranog niza uklanjaju se linearnom aproksimacijom s pretpostavkom da su promatrani podaci dio jednog razvoja za koji se uzima da je linearan. Parametri  $a$  i  $b$  u jednadžbi pravca izračunati su pomoću izraza:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - \bar{x}_i \sum_{i=1}^n y_i}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \bar{x}_i \sum_{i=1}^n x_i}$$

$x_1, x_2, \dots, x_{n-1}, x_n$  su godine, a

$y_1, y_2, \dots, y_{n-1}, y_n$  su vrijednosti godišnjih vodostaja ili klimatskih elemenata.

4. Egzaktna mjera za odnos između zavisne i nezavisne varijable je koeficijent korelacije. Ako su

$$x_1, x_2, \dots, x_{n-1}, x_n$$

godišnje veličine nezavisne varijable, a

$$y_1, y_2, \dots, y_{n-1}, y_n$$

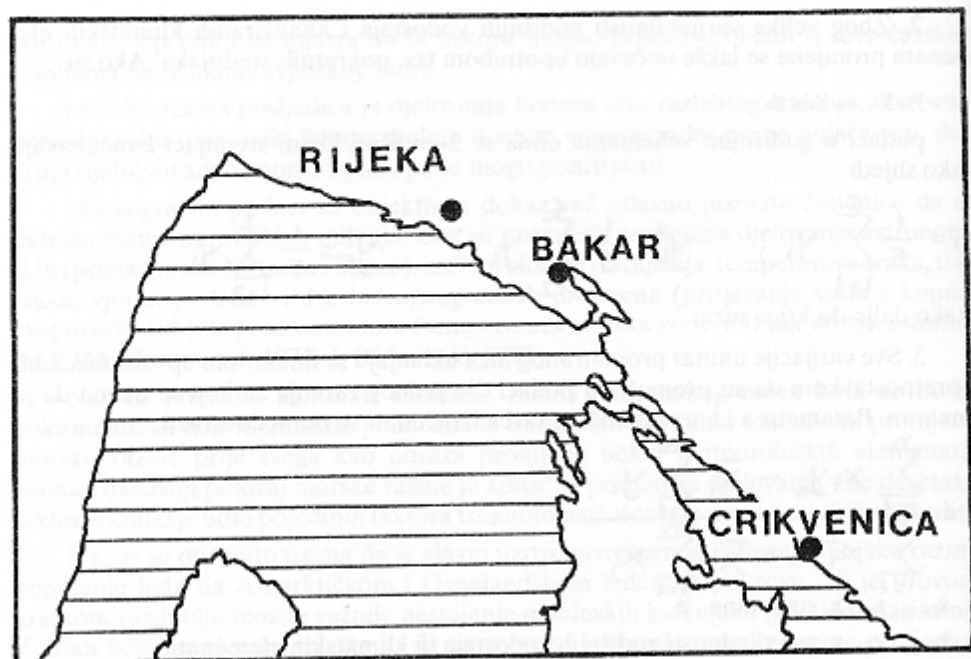
su godišnje vrijednosti zavisne varijable, onda se koeficijent korelacije  $r$  izračunava pomoću izraza

$$r = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \cdot \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}}$$

## MORSKA RAZINA U BAKRU

**Mareografska postaja u Bakru.** Svi dalekosežni zaključci o vodostaju mora temelje se na satnim vrijednostima. To najbolje upućuje na činjenicu da su potrebna pedantna mjerenja i izračunavanja, kontrola mareografa i uvjeta mjerenja te obrada podataka. Zato se uzima da je jedan od mogućih izvora grešaka netočnost mareografskih, ali i meteoroloških podataka. Još je veći izvor grešaka interpolacija nedostajućih podataka iz udaljenijih postaja koje rade u drukčijim prirodnim uvjetima.

Mareograf u Bakru (M. Kasumović, 1950) počeo je raditi u prosincu 1929. u zgradi Lučke ispostave. Nakon nekoliko prekida 1949. se nastavljaju sistematska mjerenja



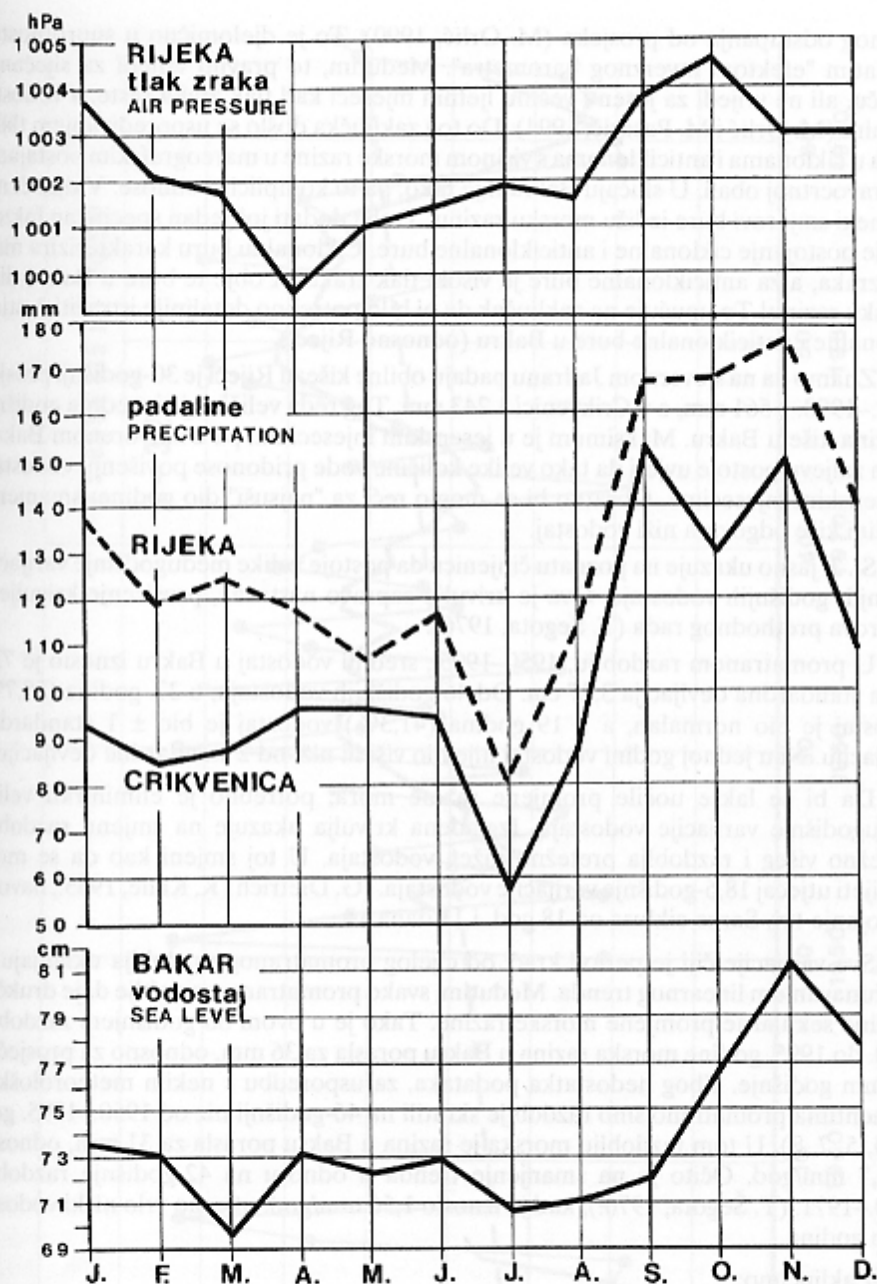
Sl. 1. Geografski položaj Bakra, Rijeke i Crikvenice

*Fig. 1. Geographical position of Bakar tide-gauge station and Rijeka and Crikvenica meteorological stations*

koja su kratkovremeno prekinuta samo 1953. godine. Da bi se omogućila što potpunija analiza interpolirani su neki vodostaji, a prema podacima mareografa u Trstu. Tako je izračunato da je srednji godišnji vodostaj u Bakru 1934. iznosio 68,0 cm, 1936. god. 75,4 cm, a 1951. 79,0 cm. Provjerom je utvrđeno da je srednji vodostaj u veljači 1983. mogao iznositi 65,2 cm, pa je izračunato da je srednji godišnji vodostaj iznosio 72,2 cm.

Ključno značenje u ovom radu pridaje se geografskoj činjenici da se bakarski mareograf nalazi u prilično izoliranom Bakarskom zaljevu (sl. 1) koji se pruža u dinarskom smjeru, a sa gotovo svih je strana okružen visokim reljefom. To znači da postoji mogućnost da neki (jači i trajniji) vjetrovi nagomilavaju vodu u njegovu sjeverozapadnom dijelu, upravo ondje gdje se nalazi mareografska postaja. Budući da u Bakru ne postoji meteorološka postaja korišteni su meteorološki podaci iz Rijeke i Crikvenice. I to može biti izvor nepouzdanosti zaključaka.

Počet ćemo s analizom odnosa godišnjeg hoda tlaka zraka u Rijeci, te padalina u Rijeci i Crikvenici (sl. 2). Da bi se razumjeli prikazani odnosi potrebno je stalno imati na umu činjenicu da se utjecaji pojedinih klimatskih elemenata isprepliću, pa nije moguće zahtijevati savršeno slaganje grafova. Zato je potrebno ukazati samo na opće odnose. Jasno se vidi da najviše, jesenskom visokom tlaku zraka u Rijeci odgovara najviši vodostaj u Bakru. Zbog suprotnog utjecaja drugih meteoroloških elemenata, visokom tlaku zraka u siječnju i veljači odgovara niži vodostaj. Obratno je ljeti; pretežno niži tlak zraka uzrokuje niži vodostaj. Jasno je da u svakoj pojedinoj godini dolazi i do



Sl. 2. Godišnji hodovi atmosferskog tlaka u Rijeci, padalina u Rijeci i Crikvenici, te vodostaja u Bakru. Srednjaci iz 30-godišnjeg razdoblja 1960.-1991. godine

Fig. 2. Variations in mean monthly air pressure at Rijeka, the variation of precipitation at Rijeka and at Crikvenica. The lowest graph presents the variation in mean monthly sea level at Bakar

znatnog odstupanja od prosjeka (M. Orlić, 1990). To je djelomično u suprotnosti s poznatim "efektom inverznog barometra". Međutim, to pravilo vrijedi za siječanj i veljaču, ali ne vrijedi za jesen i većinu ljetnih mjeseci kad tlak zraka raste, a vodostaj stagnira (M. Orlić i M. Pasarić, 1994). Do tog zaključka došlo se uspoređivanjem tlaka zraka u ciklonama i anticiklonama s visinom morske razine u mareografskim postajama na pravocrtnoj obali. U slučaju Bakra nije tako, pa to komplicira odnose. Vidjet ćemo da i neki smjerovi bure izdižu morsku razinu. Treba dodati još jedan specifičan faktor, a to je postojanje ciklonalne i anticiklonalne bure. Ciklonalnu buru karakterizira niski tlak zraka, a za anticiklonalne bure je visoki tlak zraka. A obje te bure u Bakru dižu morsku razinu! To upućuje na zaključak da bi bilo potrebno detaljnije istražiti čestinu ciklonalne i anticiklonalne bure u Bakru (odnosno Rijeci).

Znamo da na sjevernom Jadranu padaju obilne kiše; u Rijeci je 30-godišnji prosjek 1961.–1990. 1 561 mm, a u Crikvenici 1 243 mm. Tog reda veličine je i srednja godišnja količina kiše u Bakru. Maksimum je u jesenskim mjesecima, pa u zatvorenom Bakar-skom zaljevu postoje uvjeti da tako velike količine vode pridonose povišenju vodostaja u jesenskim mjesecima. Obratno bi se moglo reći za "najsušni" dio godine; smanjenoj količini kiše odgovara niži vodostaj.

Sl. 3. jasno ukazuje na poznatu činjenicu da postoje velike međugodišnje varijacije srednjih godišnjih vodostaja. Ova je krivulja zapravo nastavak, proširenje krivulje iz autorova prethodnog rada (T. Šegota, 1976).

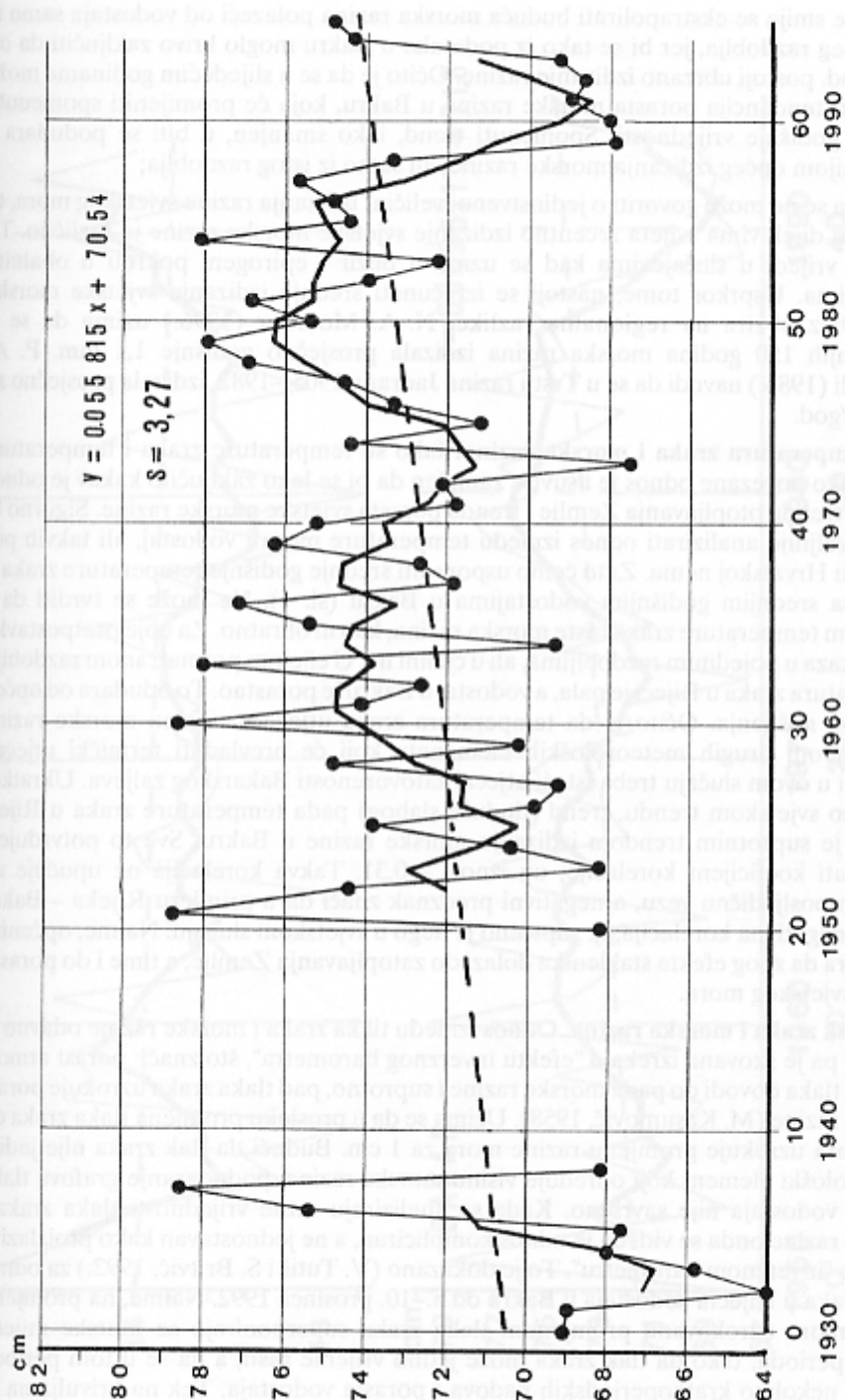
U promatranom razdoblju, 1950–1995., srednji vodostaj u Bakru iznosio je 73,2 cm, a standardna devijacija 3,27 cm. Od 46 godišnjih vodostaja, u 27. godina (58,7%) vodostaj je bio normalan, a u 19 godina (41,3%) vodostaj je bio  $\pm 1$  standardnu devijaciju. Ni u jednoj godini vodostaj nije bio viši ili niži od 2 standardne devijacije.

Da bi se lakše uočile promjene razine mora, potrebno je eliminirati velike međugodišnje varijacije vodostaja. Izgladena krivulja ukazuje na smjenu razdoblja pretežno višeg i razdoblja pretežno nižeg vodostaja. U toj smjeni kao da se može nazrijeti utjecaj 18,6-godišnje varijacije vodostaja. (G. Dietrich i K. Kalle, 1965., navode postojanje tzv. Saros-ciklusa od 18 god. i 11 dana.)

Sve varijacije čiji je period kraći od cijelog promatranog razdoblja uklanjaju se izračunavanjem linearnog trenda. Međutim, svako promatrano razdoblje daje drukčije veličine sekularne promjene morske razine. Tako je u ovom 66-godišnjem razdoblju 1930. do 1995. godine morska razina u Bakru porasla za 36 mm, odnosno za prosječno 0,6 mm godišnje. Zbog nedostatka podataka, za usporedbu s nekim meteorološkim elementima promatrano smo razdoblje skratili na 46-godišnji niz od 1950.–1995. god. (sl. 4, 5, 7, 8). U tom razdoblju morska je razina u Bakru porasla za 31 mm, odnosno za 0,7 mm/god. Očito je na smanjenje trenda u odnosu na 42-godišnje razdoblje 1930.–1971. (T. Šegota, 1976.), kad je iznosio 1,56 mm/god. utjecao vrlo niski vodostaj 90-ih godina.

Zaključimo:

- pouzdaniji podaci o izdizanju morske razine mogu se dobiti samo iz duljeg razdoblja;
- mareografski podaci iz raznih postaja smiju se uspoređivati samo iz istog razdoblja;



Sl. 3. Srednji godišnji vodostaji Jadranskog mora u Bakru s 5-godišnjim pokretnim srednjacima. Isprekidanom je crtom prikazan linearni trend vodostaja.

Fig. 3. Variations in mean annual sea level at Bakar tide-gauge station with 5-year moving averages and linear trend indicated by broken line

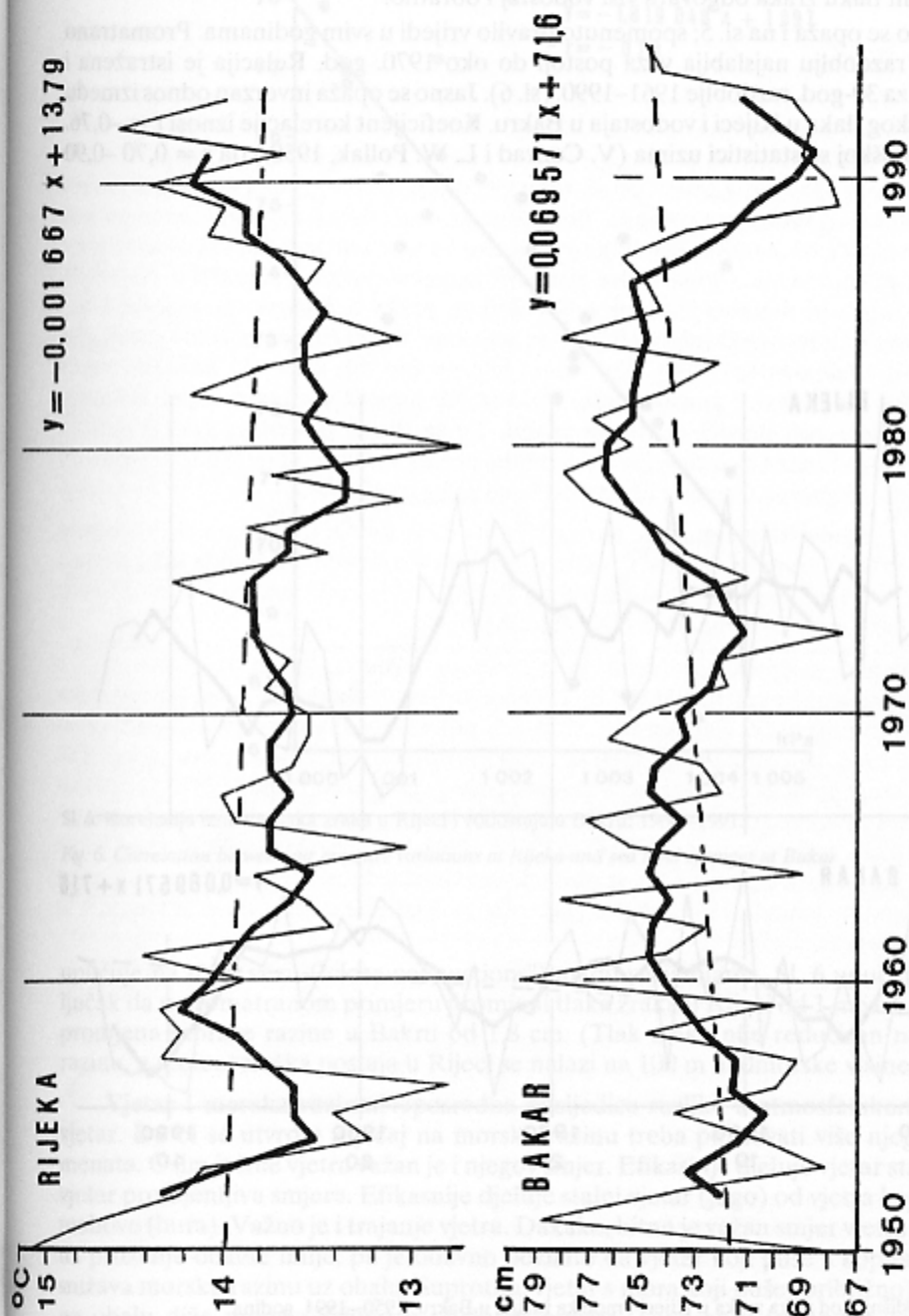
– ne smije se ekstrapolirati buduća morska razina polazeći od vodostaja samo iz najnovijeg razdoblja, jer bi se tako iz podataka u Bakru moglo krivo zaključiti da od 1989. god. postoji ubrzano izdizanje razine. Očito je da se u slijedećim godinama može očekivati tendencija porasta morske razine u Bakru, koja će promijeniti spomenute srednje godišnje vrijednosti. Spomenuti trend, iako smanjen, u biti se podudara s tendencijom općeg izdizanja morske razine, ali samo iz istog razdoblja;

– da se ne može govoriti o jedinstvenoj veličini izdizanja razine svjetskog mora, tj. u raznim dijelovima svijeta recentno izdizanje svjetske morske razine je različito. To osobito vrijedi u slučajevima kad se uzmu u obzir i epirogeni pokreti u obalnim područjima. Usprkos tome, nastoji se izračunati srednje izdizanje svjetske morske razine bez obzira na regionalne razlike. N.-A. Moerner (1996.) uzima da se u posljednjih 150 godina morska razina izdizala prosječno godišnje 1,1 mm. P. A. Pirazzoli (1986.) navodi da se u Trstu razina Jadrana 1905.–1982. izdizala prosječno za 1,3 mm/god.

**Temperatura zraka i morska razina.** Iako su temperature zraka i temperature mora usko povezane odnos je i suviše zamršen da bi se lako zaključilo kakav je odnos između trenda otopljanja Zemlje i trenda porasta svjetske morske razine. Sigurno bi bilo povoljnije analizirati odnos između temperature mora i vodostaj, ali takvih podataka u Hrvatskoj nema. Zato ćemo usporediti srednje godišnje temperature zraka u Rijeci sa srednjim godišnjim vodostajima u Bakru (sl. 4). Ne može se tvrditi da s porastom temperature zraka raste morska razina, kao ni obratno. Za obje pretpostavke ima dokaza u pojedinim razdobljima, ali u cjelini ne. U cijelom promatranom razdoblju temperatura zraka u Rijeci je pala, a vodostaj u Bakru je porastao. To odudara od općeg svjetskog mišljenja. Očito je da temperatura zraka utječe na visinu morske razine posredstvom drugih meteoroloških elemenata koji će prevladati termički utjecaj. Možda i u ovom slučaju treba istaći utjecaj zatovorenosti Bakarskog zaljeva. Ukratko, suprotno svjetskom trendu, trend (duduše slabog) pada temperature zraka u Rijeci praćen je suprotnim trendom izdizanja morske razine u Bakru. Sve to potvrđuje i izračunati koeficijent korelacije; on iznosi  $-0,31$ . Takva korelacija ne upućuje na uzročno-posljedičnu vezu, a negativni predznak znači da u primjeru Rijeka – Bakar postoji negativna korelacija, tj. suprotno je nego u svjetskom slučaju. Naime, općenito se smatra da zbog efekta staklenika dolazi do zatopljanja Zemlje, a time i do porasta razine svjetskog mora.

**Tlak zraka i morska razina.** Odnos između tlaka zraka i morske razine odavno je poznat, pa je skovana izreka o "efektu inverznog barometra", što znači: porast atmosferskog tlaka dovodi do pada morske razine i suprotno, pad tlaka zraka uzrokuje porast morske razine (M. Kasumović, 1958). Uzima se da u prosjeku promjena tlaka zraka od 1 milibara uzrokuje promjenu razine mora za 1 cm. Budući da tlak zraka nije jedini meteorološki element koji određuje visinu morske razine, podudaranje grafova tlaka zraka i vodostaja nije savršeno. Kada se analiziraju satne vrijednosti tlaka zraka i morske razine onda se vidi da je odnos kompliciran, a ne jednostavan kako proizlazi iz izreke o "inverznom barometru". To je dokazano (V. Tutiš i S. Britvić, 1992.) za odnos tlaka zraka u Rijeci i vodostaja u Bakru od 5.–10. prosinca 1992. Naime, na promjenu razine mora uzrokovanu promjenom tlaka zraka superponiraju se morske mijene kraćeg perioda, tako da tlak zraka može jedno vrijeme rasti, a da se u tom periodu smijeni nekoliko kratkoperiodskih padova i porasta vodostaja. Tek na krivuljama sa



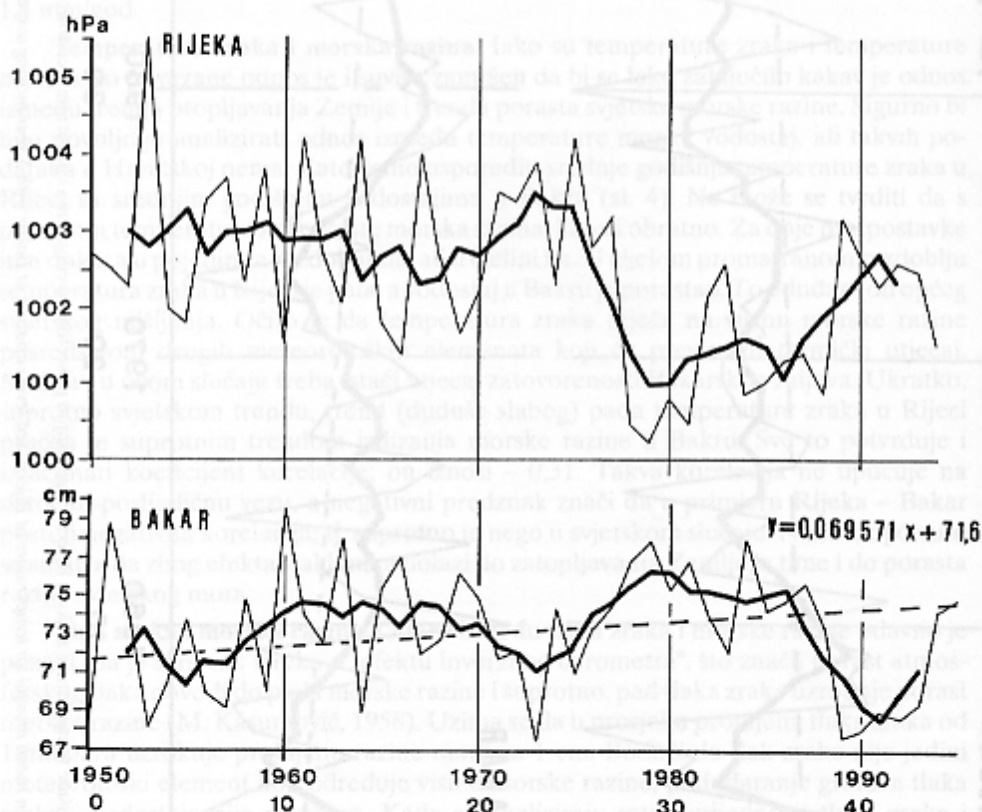


Sl. 4. Srednje godišnje temperature zraka u Rijeci s 5-godišnjim pokretnim srednjacima i linearnim trendom, 44-godišnje razdoblje 1950.-1993.

Fig. 4. Variations in mean annual air temperature at Rijeka, sea level variation at Bakar with 5-year moving averages and linear trend

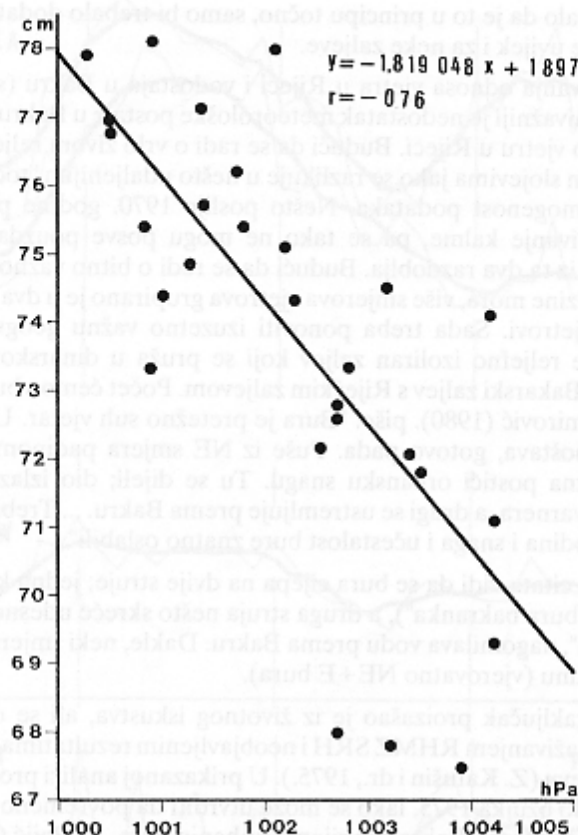
izgladenim 24-satnim pokretnim srednjacima manifestira se spomenuto pravilo da smanjenom tlaku zraka odgovara viši vodostaj i obratno.

Slično se opaža i na sl. 5; spomenuto pravilo vrijedi u svim godinama. Promatrano u duljem razdoblju najslabija veza postoji do oko 1970. god. Relacija je istražena i statistički za 30-god. razdoblje 1961–1990. (sl. 6). Jasno se opaža inverzan odnos između atmosferskog tlaka u Rijeci i vodostaja u Bakru. Koefficient korelacije iznosi  $r = -0,76$ . U klimatološkoj se statistici uzima (V. Conrad i L. W. Pollak, 1950.) da  $r = 0,70 - 0,90$



Sl. 5. Višegodišnji hod tlaka zraka u Rijeci i morska razina u Bakru; 1950.–1994. godina

Fig. 5. Changes in atmospheric pressure at Rijeka and sea level position at Bakar



Sl. 6. Korelacija između tlaka zraka u Rijeci i vodostaja u Bakru; 1960.–1991.

*Fig. 6. Correlation between air pressure variations at Rijeka and sea level changes at Bakar*

upućuje na usku vezu ("close connections") među varijablama. Sl. 6 upućuje na zaključak da u promatranom primjeru promjeni tlaka zraka u Rijeci od 1 mbara odgovara promjena morske razine u Bakru od 1,8 cm. (Tlak zraka nije reduciran na morsku razinu, a meteorološka postaja u Rijeci se nalazi na 100 m nadmorske visine.)

**Vjetar i morska razina.** Nepsredna posljedica razlike u atmosferskom tlaku je vjetar. Da bi se utvrdio utjecaj na morsku razinu treba poznavati više njegovih elemenata. Osim jačine vjetra važan je i njegov smjer. Efikasnije djeluje vjetar stalna nego vjetar promjenljiva smjera. Efikasnije djeluje stalni vjetar (jugo) od vjetra koji puše na mahove (bura). Važno je i trajanje vjetra. Dakako, bitno je važan smjer vjetra u odnosu na pružanje obalne linije, pa je odavno poznato da vjetar koji puše s kopna na more snižava morsku razinu uz obalu. Suprotno, vjetar s mora koji puše (približno) okomito na obalu diže morsku razinu u obalnom pojasu. Tako se u istočnom jadranskom primorju odavno utvrdilo da bura snižava morsku razinu, dok ju jugo podiže. Naše je

istraživanje pokazalo da je to u principu točno, samo bi trebalo dodati da to vrijedi za ravnu obalu, ali ne uvijek i za neke zaljeve.

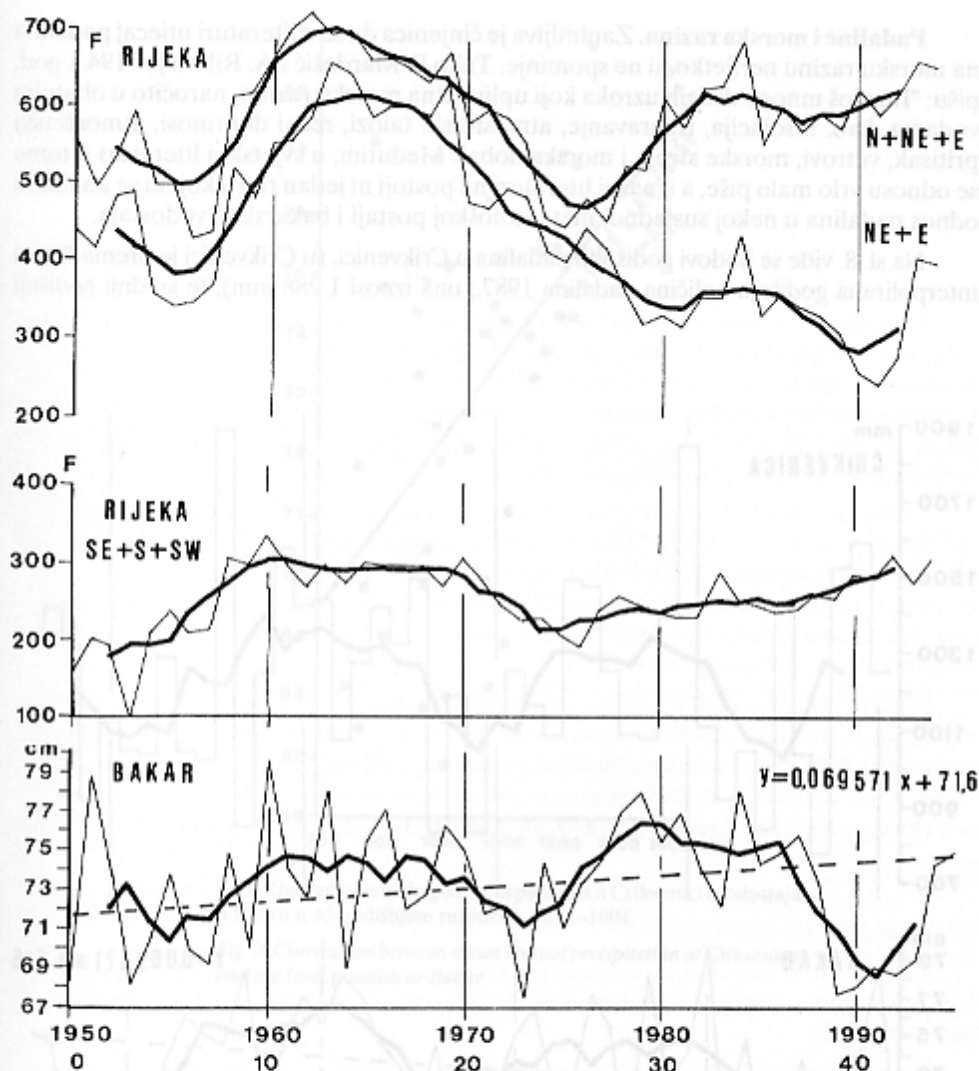
Prije upoznavanja odnosa vjetra u Rijeci i vodostaja u Bakru (sl. 7) treba istaći neke činjenice. Najvažniji je nedostatak meteorološke postaje u Bakru. Zato se moralo koristiti podatke o vjetru u Rijeci. Budući da se radi o vrlo živom reljefu, smjer "istog" vjetra u prizemnim slojevima jako se razlikuje u nešto udaljenijim "točkama". Poseban je problem nehomogenost podataka. Nešto poslije 1970. godine promijenili su se kriteriji za određivanje kalme, pa se tako ne mogu posve pouzdano uspoređivati pojedini smjerovi iz ta dva razdoblja. Budući da se radi o bitno važnom elementu koji utječe na visinu razine mora, više smjerova vjetrova grupirano je u dva osnovna smjera: sjeverni i južni vjetrovi. Sada treba ponoviti izuzetno važnu geografsku činjenicu: Bakarski zaljev je reljefno izoliran zaljev koji se pruža u dinarskom smjeru. Uska "Vrata" povezuju Bakarski zaljev s Riječkim zaljevom. Počet ćemo s burom (gornji graf na sl. 7.) M. Vukmirović (1980). piše: "Bura je pretežno suh vjetar. U Bakarski zaljev se naprosto štropoštava, gotovo pada. Puše iz NE smjera padinom iznad Bakarca. Ispred Bakarca zna postići orkansku snagu. Tu se dijeli; dio izlazi kroz Vrata na otvoreno more Kvarnera, a drugi se usmjeruje prema Bakru. ... Treba napomenuti da su u zadnjih 15 godina i snaga i učestalost bure znatno oslabili".

Iz gornjeg se citata vidi da se bura cijepa na dvije struje; jedna kroz Vrata otječe u Riječki zaljev ("bura bakranka"), a druga struja nešto skreće udesno pa tako povlači za sobom ili "gura", nagomilava vodu prema Bakru. Dakle, neki smjerovi bure u Bakru izdižu morsku razinu (vjerovatno NE+E bure).

Spomenuti zaključak proizašao je iz životnog iskustva, ali se on dobro slaže s kratkotrajnim istraživanjem RHMZ SRH i neobjavljenim rezultatima o strujanju zraka u Bakarskom zaljevu (Z. Katušić i dr., 1975.). U prikazanoj analizi prosječnog strujanja od travnja 1974. do ožujka 1975. lako se može utvrditi da povremeno postoje uvjeti za nagomilavanje vode ispred Bakra za vrijeme puhanja bure. A. Bajić (1989.) je analizirala samo olujnu buru u Senju, Omišlju i Puli; iz njenih numeričkih podataka konstruiran je grafikon koji prikazuje (N. Brozović i M. Benković, 1994) višegodišnji hod broja situacija olujne bure u Senju. Oba se grafa dobro slažu, odnosno egzaktno je dokazano da je od sredine između 1970. i 1980. god. znatno oslabila čestina NE + E vjetra, a to je "prava" bura i u Bakru.

Kombiniranjem smjerova bure vidi se da se čestina "prave" bure (NE + E) smanjila krajem 70-ih godina. Znatno povoljnije rezultate daje kombinacija N + NE + E smjer (gornji graf na sl. 7.). Jasno se vide dva razdoblja povećane čestine bure i tri razdoblja smanjene čestine bure kojima odgovaraju razdoblja više, odnosno niže razine mora u Bakru. Zaključimo: jača i trajnija NE+E bura u Bakru izdiže morsku razinu. To potvrđuje i izračunati koeficijent korelacije za NE + E vjetar koji iznosi  $r = 0,41$ . (Uzima se da  $r = 0,30$  do  $0,70$  ukazuje na umjerenu zavisnost među varijablama).

Morsku razinu u Bakarskom zaljevu izdižu i južni vjetrovi, SE + S + SW vjetrovi (srednji graf na sl. 7.). To je odavno poznata činjenica. Promjena kriterija za određivanje kalme oko 1973. godine razlog je da se za analizu ne može koristiti taj dio krivulje. Dio podataka koji se odnose na razdoblje 1950.–1973. daju koeficijent korelacije  $r = 0,53$ . I to je koeficijent koji ukazuje na umjerenu zavisnost među varijablama. Zanimljiv je detalj da je koeficijent korelacije između čestine juga i razine mora ( $0,53$ )



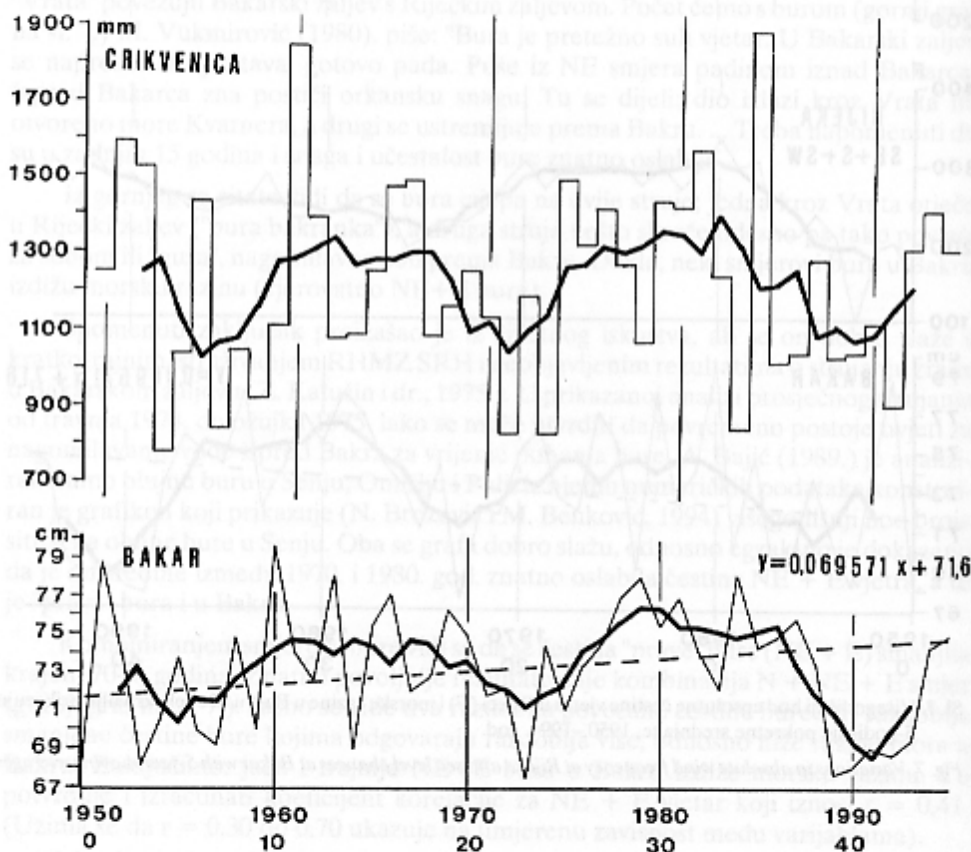
Sl. 7. Višegodišnji hod apsolutne čestine vjeta u Rijeci (F) i morske razine u Bakru. Debele krivulje prikazuju 5-godišnje pokretne srednjake; 1950.–1994. god.

Fig. 7. Variations in absolute wind frequency at Rijeka and sea level changes at Bakar with 5-year moving averages

veći od koeficijenta korelacije između bure i razine mora (0,41). To potvrđuje tvrdnju M. Kasumovića (1977.) da bura manje utječe na morsku razinu jer puše na mahove, a njena snaga naglo opada prema pučini. Budući da je mjerilo na osi y (vodostaj) jednako, lako se zapaža da je apsolutna čestina bure mnogo veća od apsolutne čestine juga.

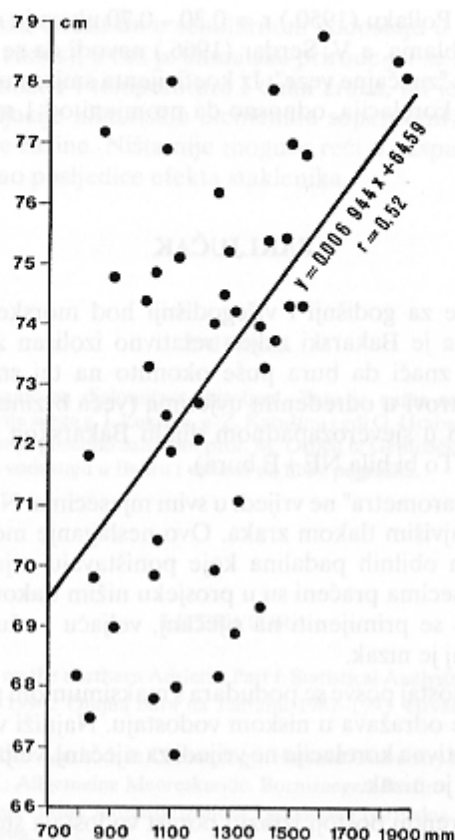
**Padaline i morska razina.** Zanimljiva je činjenica da se u literaturi utjecaj padalina na morsku razinu nerijetko ni ne spominje. Tako P. Mardešić i A. Riboli još 1943. god. pišu: "Ima još mnogo drugih uzroka koji uplivišu na morsku razinu, naročito u obalnim vodama, kao: insolacija, isparavanje, atmosferski talozi, rečni doprinosi, atmosferski pritisak, vetrovi, morske struje i morska doba". Međutim, u svjetskoj literaturi o tome se odnosu vrlo malo piše, a u našoj literaturi ne postoji ni jedan rad u kojem se analizira odnos padalina u nekoj susjednoj meteorološkoj postaji i bakarskog vodostaja.

Na sl. 8. vide se hodovi godišnjih padalina u Crikvenici, (u Crikvenici je prema Rijeci interpolirana godišnja količina padalina 1987.; ona iznosi 1 288 mm), te srednji godišnji



Sl. 8. Godišnje padaline u Crikvenici i vodostaj u Bakru. Debela krivulja prikazuje 5-god. pokretne srednjake; 1950.–1994.

Fig. 8. Variations in mean annual precipitation at Crikvenica and sea level changes at Bakar with 5-year moving averages



Sl. 9. Korelacija između godišnjih padalina u Crikvenici i vodostaja u Bakru u 45-godišnjem razdoblju 1950.–1994.

Fig. 9. Correlation between mean annual precipitation at Crikvenica and sea level position at Bakar

vodostaj u Bakru. Već se na prvi pogled vidi da postoji izvanredno dobro podudaranje obiju krivulja. Određene manje razlike postoje zato što je važan utjecaj broja padalinskih dana, odnosno u kojim je mjesecima pala maksimalna ili minimalna količina kiše jer se to može povezati s veličinom evaporacije. Još više, nije zanemarivo koliko je sati padala kiša u padalinskom danu. Treba dodati i druge izvore atmosfertske vode koja dotiče u Bakarski zaljev. Poznato je (A. Magdalenić i dr., 1992) da za jačih kiša teku bujice s okolnih strmih padina, da u Bakarskom zaljevu izbijaju vruļje. I iz Vinodola povremeno pritječe potok Bujica (indikativnog li hidronima!). Tako bi se moglo uzeti da u Bakarski zaljev pritječe znatno više atmosfertske vode nego što je direktno padne.

Sve to potvrđuje i izračunati koeficijent korelacije između godišnjih količina padalina u Crikvenici i vodostaja u Bakru (sl. 9.). Koeficijent korelacije iznosi  $r = 0,52$ .

Izgleda da se može tvrditi da u sekularnom vodostaju u Bakru postoji ciklus od oko 18 godina (Saros ciklus); u biti je klimatske prirode jer se nazire i u višegodišnjem hodu bure i juga, a možda i temperature i tlaka zraka, ali je osobito izrazit u hodu padalina. Ove su varijacije klimatskih elemenata superponirane na glacioeustatičko opće izdizanje morske razine. Ništa nije moguće reći o ekspanziji morske vode zbog njenog zagrijavanja kao posljedice efekta staklenika.

#### ZAHVALA

Podaci za ovaj rad samo su djelomično objavljeni. Zato je autor zahvalan Državnom hidrometeorološkom zavodu RH, prije svega g. I. Lukšiću, g. Z. Katušinu i gdi G. Hrabak-Tumpa da se koriste podaci iz arhive DHMZ RH. Autor je posebno zahvalan prof. M. Orliću iz Geofizičkog zavoda PMF-a koji je vrlo ljubavno ustupio podatke o vodostaju u Bakru i ukazao na neke pogreške.

#### LITERATURA

- Bajić, A. 1989.: Severe bora on the northern Adriatic, Part I: Statistical Analysis. *Rasprave – Papers* 24, 1–24.
- Brozović, N., M. Benković 1994.: Olujna bura na Jadranu 1987–1993. *Hrvatski meteorološki časopis* 29, 65–74.
- Conrad, V., L. W. Pollak 1950.: *Methods in Climatology*. Harvard University Press, Cambridge.
- Dietrich, G., K. Kalle, 1965.: *Allgemeine Meereskunde*. Borntraeger, Berlin.
- Kasumović, M. 1950.: Srednja razina Jadranskog mora i geodetska normalna nula Trsta. *Rad Geofizičkog zavoda u Zagrebu, II serija, br. 3*, 3–22.
- Kasumović, M. 1958.: O utjecaju tlaka zraka i vjetra na kolebanje razine Jadrana. *Hidrografski godišnjak* 1956–1957, 107–121.
- Kasumović, M. 1977.: Osnovne karakteristike kolebanja razine Jadranskog mora. *Priroda* 66 (4–5), 104–107.
- Katušin, Z., E. Lončar, D. Poje, N. Šinik 1975.: Istraživanje meteoroloških parametara na širem području Bakarskog zaljeva. *RHMZ SRH*, elaborat.
- Magdalenić, A., V. Jurak, Č. Benac 1992.: Inženjerskogeološka problematika izgradnje luke u jugoistočnom dijelu Bakarskog zaljeva. *Pomorski zbornik* 30, 633–654.
- Mardešić, P., A. Riboli 1943.: *Okeanografija*, Zemun.
- Moerner, N.-A. 1996.: Sea Level Variability. *Z. Geomorph. N. F. Suppl.-Band* 102, 223–232.
- Orlić, M. 1990.: Planetarne klimatske promjene uzrokovale niski vodostaj Jadranskog mora. *Ekološki glasnik* 1 (7–8), 48–54.
- Orlić, M., Z. Pasarić 1994.: Vodostaj Jadranskog mora i globalne klimatske promjene. *Pomorski zbornik* 32, 481–501.
- Pirazzoli, P. A. 1986.: Secular Trends of Relative Sea-Level (RSL) Changes, Indicated by Tide-Gauge Records. *Journal of Coastal Research*, Sl. (1), 1–26.
- Ridanović, J. 1993.: *Hidrogeografija*. 2. izd. Školska knjiga, Zagreb.
- Serdar, V. 1996.: *Udžbenik statistike*. Školska knjiga, Zagreb.
- Šegota, T. 1976.: Promjena morske razine Jadranskog mora prema podacima mareografa u Bakru i Splitu. *Geografski glasnik* 38, 301–312.
- Tutiš, V., S. Britvić 1993.: Olujno jugo na Jadranu, 5–10. prosinca 1992. Izvanredne meteorološke i hidrološke prilike *Hrvatske* 16, 27–34.
- Vukmirović, M. 1980.: Bakar nekad i danas. *Geografski horizont* 26 (1–4), 48–58.



## SUMMARY

## Sea Level of the Adriatic Sea Indicated by Bakar Tide-gauge Data, Croatia

by  
Tomislav Šegota

Bakar tide-gauge station possesses the longest and most continuous tide-gauge record in Croatia. We must start the analysis of Bakar tide-gauge data with very important geographical fact that Bakar Bay is relatively strongly isolated bay. It stretches in the Dinaric direction. The result is that bora wind blows perpendicularly on this direction. The majority of winds piles up the water at the northwesternmost part of Bakar Bay. The Bakar tide-gauge is located just in this northwestern part of the Bay (Fig. 1).

The "inverse barometer effect", that is the variation of sea level inversely with atmospheric pressure, is not valid in all months. The highest air pressure in autumn and in December (Fig. 2) is not followed by the lowest sea level; inversely, the highest sea level is accompanied by the highest atmospheric pressure. This is probably the effect of copious rains at the same months. Lower sea level in the summer months is accompanied by relatively low air pressure. The "inverse barometer effect" can be discerned in January, February and March when the air pressure is relatively high, and the sea level is low. In autumn high sea level excellently corresponds with abundant rains; contrary, much smaller rainfall in the summer months resulted in much lower sea level. The lowest sea level is in July, the month with little rain and strong evaporation. Correlation is negative in January, February and March, the months with much rain but the sea level is not high.

In the annual trend (Fig. 3) it is clearly seen that the sea level at Bakar is rising which coincides with a world-wide process.

However, the temperature trend (Fig. 4) is declining. This is not in accord with the general world temperature rise as a consequence of so called greenhouse effect. The relationship between air temperature at Rijeka and sea level in shorter periods is not always clear.

Annual course of atmospheric pressure at Rijeka (Fig. 5) reflects complex general atmospheric circulation pattern. So the fall of sea level corresponds to periods of relatively higher air pressure and vice versa. A period of higher sea level between 1958 and 1970 corresponds to slightly lower air pressure without a pronounced trend. The coefficient of correlation between air pressure at Rijeka and sea level at Bakar (Fig. 6) is negative:  $r = -0.76$ ; this is a close connection.

Bora is much more frequent than scirocco wind (Fig. 7). It is a known that the frequency of bora wind diminished after about 1975. However, it is not possible to discern what is the effect of new regulations defining calm. Each period of higher bora frequency was accompanied by a period of higher sea level. Contrary, the period of lower bora frequency was followed by a fall of sea level. One can say the same for scirocco wind which is long known causing a high sea level at Bakar.

The closest relationship existed between precipitation at Crikvenica and sea level at Bakar (Fig. 8). Each rise in sea level was a consequence of precipitation rise at certain period. Contrary, each period of mainly low sea level was caused by frequently decreased precipitation.

To explain the complexity of sea level position at Bakar one must to comprise simultaneously all climatic elements. However, the relative importance of certain climatic elements is constantly changing.

It is a deeply founded assumption that in the secular course of sea level variations at Bakar is possible to discover a 18-year fluctuation (so called Saros cycle). It is fundamentally climatically determined because the same type of fluctuation is not difficult to discern in secular fluctuations of precipitation, bora and scirocco frequency and partly in other analysed climatic elements. These climatically induced fluctuations are superimposed on general glacioeustatic sea level rise in recent decades.

Primljeno: 18. listopada 1996.

Received: October 18, 1996