

ISTRAŽIVANJE NASTUPA LOKALNOG VJETRA BURE METODOM  
MEZOANALIZE

INVESTIGATION OF THE BEGINNING OF THE LOCAL WIND, THE BORA,  
BY THE MESOANALYSIS METHOD

551.555.4

Milan SJERKOVIĆ  
Republički hidrometeorološki zavod SR Hrvatske, Zagreb

SUMMARY

The objective of this paper is research on the local wind known as the Bora beginning at the Adriatic sea-coast. For this investigation the mesoanalysis method, mainly based on hourly mesomaps, was used. The method is applied to a typical case of the Bora on the northern Adriatic coast. The analysis uncovered the characteristic differences in time, as well as in the manner of the appearance of the Bora. They depend on the topographical and orographical circumstances and also on the characteristic synoptic situation. It is characteristic that in a very short time interval after the appearance of the Bora (less than ten minutes) the mean speed can increase by more than a factor of two and the wind can change its direction by more than  $45^{\circ}$ .

POVZETEK

V članku je opisano raziskovanje začetka pojava lokalnega vetra - burje v Jadranskem primorju. Uporabili smo metodo mezoanalize, ki ima za osnovo predvsem urne mezokarte. Metoda je prikazana na enem karakterističnem primeru burje na severnem Jadranu. Analiza je pokazala, da se pri nastanku burje kažejo stalne razlike, tako v času, kakor v načinu njenega nastanka, kar je odvisno od topografskih in orografskih značilnosti okolice in tudi od sinoptičnih razmer. Pomembno je, da se lahko srednja hitrost vetra v zelo kratkem času po nastanku burje dvakrat poveča, smer pa spremeni tudi za več kot  $45^{\circ}$ .

## UVOD

Bura je najpoznatiji i najjači lokalni vjetar u našim krajevima. Pojavljuje se na cijelom primorju kao poseban oblik polja vjetra, što nastaje uslijed djelovanja primorskih planina na kretanje hladnog zraka koje je usmjereno od unutrašnjosti prema Jadranu. Bura ima izrazito fiziološko djelovanje, a zbog velike jačine i naglosti pojave nerijetko prouzroči štetu i predstavlja opasnost u područjima gdje najčešće i najjače puše.

Zbog takvih osobina, bura je odavno predmet proučavanja velikog broja znanstvenika. Velika većina istraživanja provedena je klimatološkim i sinoptičkim metodama i omogućila su mnoge korisne spoznaje o tom značajnom lokalnom vjetru. Međutim, unatoč tome, još nisu dovoljno poznate brojne pojedinosti o načinu pojave bure, o njezinim promjenama u toku vremena, kao i karakteristike prostorne raspodjele bure i meteoroloških elemenata u toku njezina trajanja. Takva se saznanja mogu dobiti gotovo isključivo primjenom metoda mezoanalize, budući da bura prema svojim razmjerima spada u karakteristične atmosferske sisteme srednjih razmjera. U nas takvih istraživanja dosad nije bilo.

Neki mezosistemi povezani s burom otkriveni su pomoću drugih metoda, kao što je to pokazano u radovima Čadeža /1,2/, Lukšića /3/, Makjanića /4/, Paradiža /5/, Yoshinoa i suradnika /7/.

U radu Sijerkovića /6/ prvi put u nas definirana je metoda mezoanalize za istraživanje lokalnih vjetrova, što pruža mogućnost da se i bura proučava na taj način.

U ovom je radu, pomoću navedene metode mezoanalize, istražen nastup bure na sjevernom Jadranu u jednoj karakterističnoj vremenskoj situaciji.

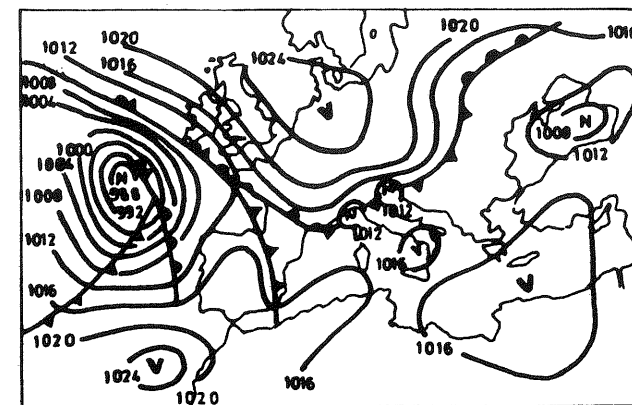
## NASTUP BURE NA SJEVERNOM JADRANU

### Karakteristike makrovremenske situacije

Za uočavanje osobitosti nastupa bure odabrana je vremenska situacija dana 12.X.1973. godine, koja je karakteristična za veliki broj pojava bure na Jadranu, pa stoga rezultati njezina istraživanja mogu imati općenitije značenje. Na sl. 1 i 2 prikazana je makrovremenska situacija neposredno prije početka bure na Jadranu.

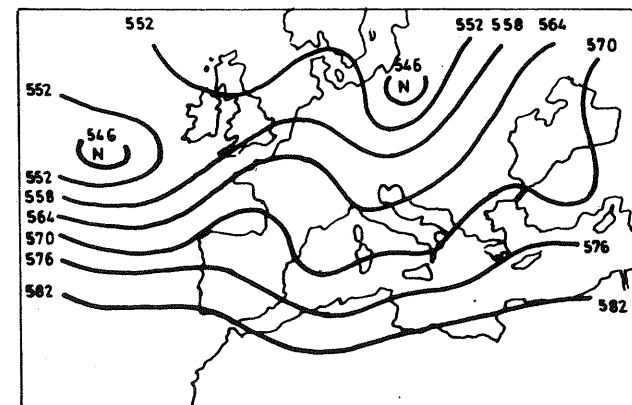
Bura je bila posljedica prodiranja maritimne polarne zračne mase, koje se glavnina kretala preko sjeverne i srednje Evrope na istok, što se uočava i prema položaju visinske ciklone na području Poljske. Manja količina hladnog zraka došla je i u zapadno Sredozemlje, uz stvaranje sekundarnih ciklona na polarnoj fronti. Pokretna anticiklona, stvorena u hladnoj zračnoj masi, premiještala se preko srednje Evrope na istok. U daljnjem toku vremena, hladna je fronta prešla preko naših krajeva, a sekundarna ciklona kretala se duž Jadrana. Prodiran-

je hladnog zraka bilo je praćeno jačanjem utjecaja anticiklone i pojavom bure na Jadranu.



Slika 1 Prizemna sinoptička karta, 12.X.1973, 13<sup>h</sup> SEV

Fig. 1 Surface synoptic map, 12.X.1973, 1200 GMT



Slika 2 Karta AT 500 mbara, 12.X.1973, 13<sup>h</sup> SEV

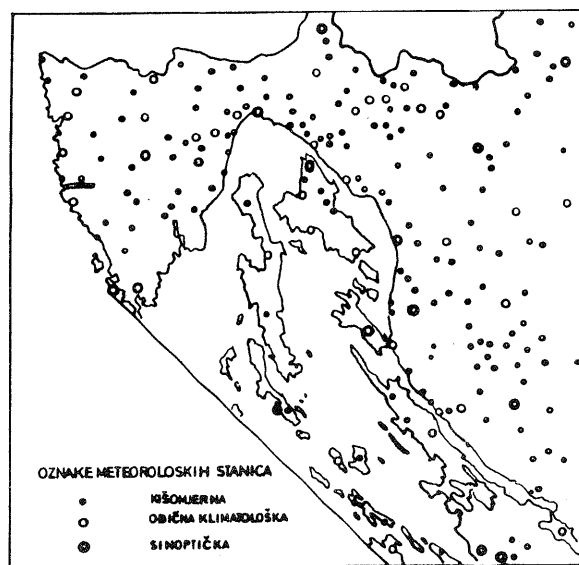
Fig. 2 500 mbar map, 12.X.1973, 1200 GMT

### Područje mezoanalize

Pojava bure istraživana je na području sjevernog Jadrana, koje je poznato prema najčešćem puhanju bure u nas, kako je to pokazano i u radu /7/. Na izbor područja mezoanalize utjecalo je i to, što se tu nalazi najveći broj anemografa na našoj obali i razmjerno gusta mreža meteoroloških stanica s češćim motrenjima i registratorima najznačajnijih meteoroloških elemenata.

Da bi se dobila cjelovitija slika o pojavi bure, analiza je provedena na širem području, koje obuhvaća i dio unutrašnjosti Hrvatske (slika 3).

Na promatranom području postojalo je ukupno 210 meteoroloških stanica, od kojih 15 glavnih meteoroloških i 35 običnih meteoroloških, s 11 anemografa, 17 barografa i 21 termografa. Barografi i termografi bili su sa sedmodnevnim hodom. Mreža meteoroloških stanica, napose registriranih instrumenata, nije bila ravnomjerne gustoće i nije pružala optimalne uvjete za provođenje mezoanalize.



Slika 3 Područje mezoanalize s položajem meteoroloških stanica

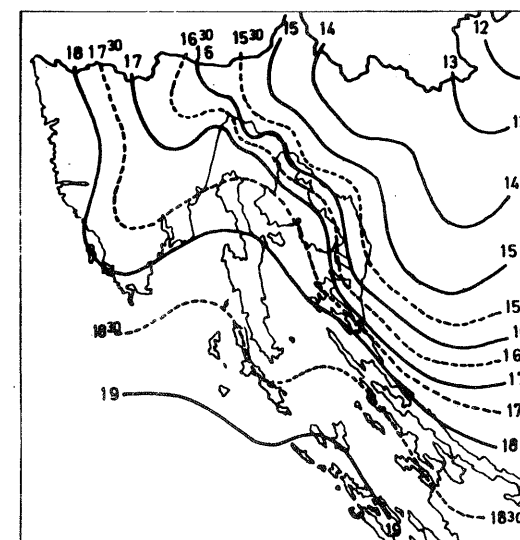
Fig. 3 Area for mesoanalysis with the position of meteorological stations

### Analiza početka pojave bure

Vrijeme početka bure i način njezine pojave značajni su elementi svake bure i napose imaju značenje za lokalnu prognozu vremena. Premda su te karakteristike bure uvelike ovisne o općoj vremenskoj situaciji koja uvjetuje njezinu pojavu, može se pretpostaviti da će i na razmjerno malim područjima biti, u sličnim makrovremenskim situacijama, karakterističnih razlika, ovisno o položaju i topografskim prilikama.

Vrijeme nastupa bure može se pratiti pomoću izohrona. Izohrone se za ovu svrhu konstruiraju, kako je to pokazano u radu /6/, na temelju anemografskih podataka i drugih motrenja u mreži meteoroloških stanica. Pri tome se kao vrijeme nastupa bure smatra trenutak skretanja vjetrova na neki od smjerova iz sjeveroistočnog kvadranta, uz istovremeni porast brzine.

Na sl. 4 izohrone u unutrašnjosti pokazuju vrijeme skretanja vjetrova na sjeverne smjerove, što je pratilo prodiranje hladnog zraka.



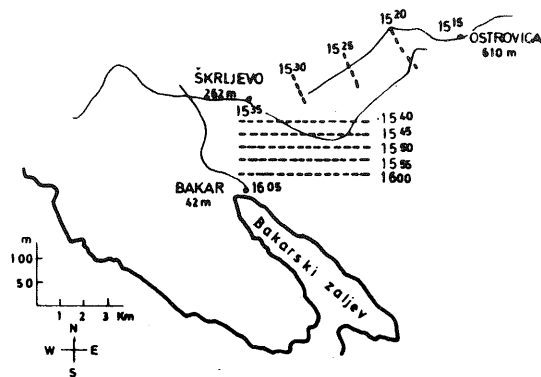
Slika 4 Izohrone prodora hladnog zraka i nastupa bure

Fig. 4 The isochrones of the cold air out-break and the beginning of the Bora

Na temelju opće orijentacije izohrona može se zaključiti da je prodiranje hladnog zraka, što je dovelo do pojave bure na Jadranu, bilo sa sjeveroistoka prema jugozapadnom dijelu područja. Položaj izohrona u najsjevernijim krajevima ukazuje na brzo premještanje hladnog zraka. U južnijim, planinskim krajevima

unutrašnjosti kretanja hladnog zraka bilo je usporeno, što je prema Čadežu/2/u vezi sa stvaranjem tzv. zona zastoja na navjetrenim stranama gorja.

Taj se utjecaj osjeća i u planinskim sedlima. Od Ostrovice do Bakra, zračne udaljenosti od oko 11 km, bilo je potrebno oko 50 minuta vremena između pojava bure u ta dva mjesta, što znači da se hladan zrak u tom dijelu područja kretao brzinom od oko 13 km na sat, dok je brzina vjetra skoro odmah nakon početka bure bila dvostruko veća.



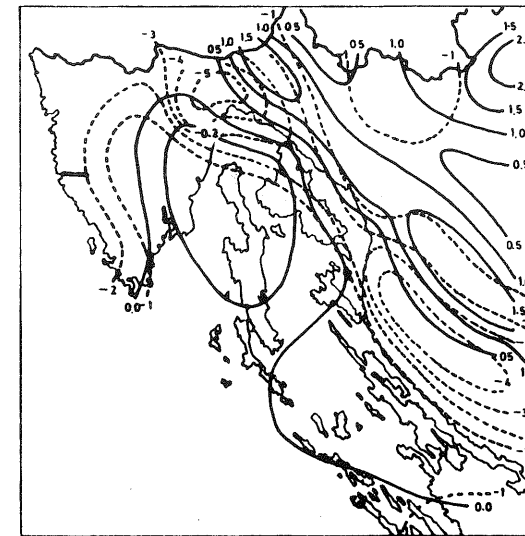
Slika 5 Nastup bure na presjeku Bakar-Škrljevo-Ostrovica

Fig. 5 Onset of the Bora on the cross-section Bakar-Škrljevo-Ostrovica

Na karakterističnom presjeku (sl. 5), s prikazom topografije terena u okolini Bakra (u smjeru S-N), Škrljeva i Ostrovice (u smjeru W-E), označen je shematizirani položaj izohrona nastupa bure u tom planinskom prijevoju.

Značajna je spoznaja, kad je riječ o vremenu pojave bure na promatranom području sjevernog Jadrana, da bura pokazuje karakteristične razlike u vremenu nastupa. Najprije se pojavila kraj Senja, a samo kratko vrijeme kasnije u sjevernom dijelu Riječkog zaljeva. Dakle, bura je najprije zapuhala ispod istaknutih prijevoja u tom dijelu Dinarskog gorja. Uočena je pojava u skladu s očekivanjem da će hladan zrak iz unutrašnjosti najprije prodirati preko nižih dijelova planinskog sustava.

Daljnje kretanje hladnog zraka, što je uzrokovalo pojavu bure, može se pratiti na kombiniranoj satnoj mezokarti međusatnih odstupanja tlaka ( $p_0 - p_{-1}$ ; puna linija) i temperature zraka ( $t_0 - t_{-1}$ ; crtkana linija) u 17<sup>h</sup> (sl. 6).

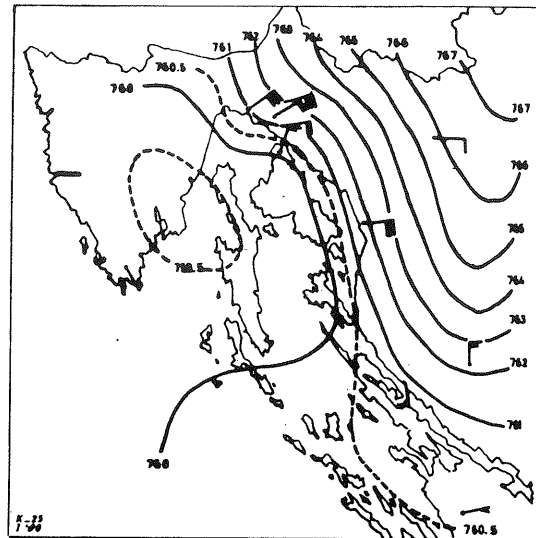


Slika 6 Kombinirana satna mezokarta međusatnih odstupanja tlaka i temperature, 12.X.1973, 17<sup>h</sup> SEV

Fig. 6 The combined hourly mesomap of the pressure and temperature inter-hourly differences, 12.X.1973, 1600 GMT

Zamjećuju se dvije jezgre hladnog zraka. Jedna od njih nalazila se iznad sjevernog dijela Riječkog zaljeva i na sjeveroistoku Istre, odakle se premiještala na jugozapad. To se događalo dosta sporo, tako da je u Puli bura nastupila gotovo dva i pol sata kasnije u odnosu na krajeve koji su najprije bili zahvaćeni burom.

Druga jezgra hladnog zraka nalazila se u području Like, ispod sjevernih obronaka Velebita, koji je uzrokovao karakterističnu zonu zastoja, tako da je bura u Karlobagu, ispod planinskog prijevoja u južnom dijelu Velebitskog kanala, počela skoro istovremeno kad i na krajnjem jugu Istre. Međutim, podatak da je bura u Rabu, samo 28 km jugoistočno od Senja, nastupila oko dva i pol sata kasnije, ukazuje na mogućnost postojanja drugog razloga za zakašnjenje nastupa bure u jugoistočnom dijelu područja.

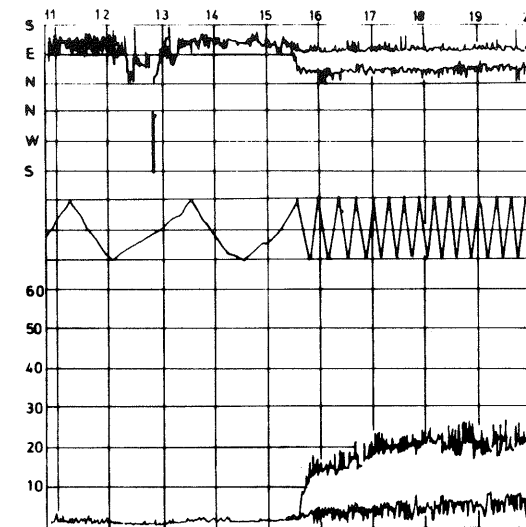


Slika 7 Kombinirane satne mezokarte tlaka i vjetra, 12.X.1973, 17<sup>h</sup> i 18<sup>h</sup> SEV  
 Fig. 7 The combined hourly pressure and wind mesomaps, 12.X.1973, 1600 and 1700 GMT

Na sl. 7 uočava se prisutnost mezociklone u sjevernom Jadranu, čije je središte u toku jednog sata promijenilo svoj položaj od istočne obale Istre, prema jugozapadu, do južnog dijela Kvarnerića. To je premještanje mezociklone, koja

na redovitim sinoptičkim kartama nije bila uočena, vjerojatan razlog kasnijem nastupu bure u jugoistočnom dijelu promatranog područja. S druge strane, zanimljivo je zamijetiti da je bura u sjevernom dijelu područja puhala dok su se ti krajevi nalazili na prednjoj strani bliske mezociklone.

Daljnje pojedivosti o nastupu bure i načinu njezine pojave mogu se dobiti na temelju analize anemografskih podataka. Ta je analiza pokazala da se bura na sjevernom Jadranu pojavila naglo i da su se u kratkom intervalu vremena dogodile značajne promjene vjetra. To se može uočiti i na isječku anemografske trake u Senju na početku pojave bure (sl. 8).

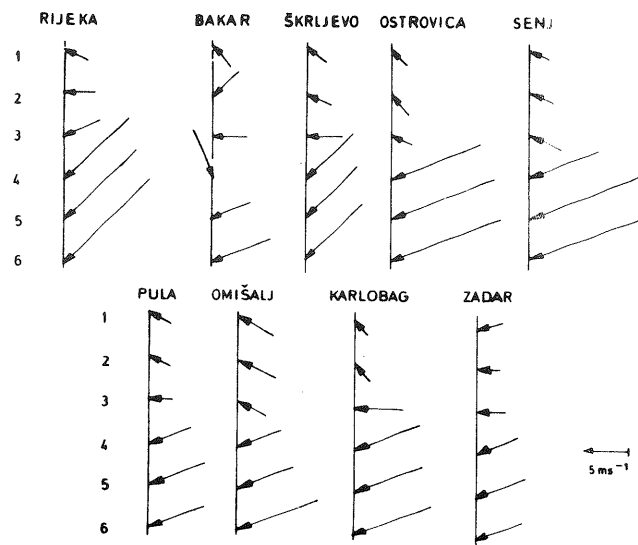


Slika 8 Isječak anemografske trake u Senju, 12.X.1973

Fig. 8 Copy of anemogram in Senj, 12.X.1973, 11-20 hours; indicated onset of the Bora

Na temelju anemografskih traka izvršena je analiza smjera i brzine vjetra u desetminutnim intervalima, u toku jednosatnih razdoblja koji sadrže prvih pola sata puhanja bure i pola sata prije desetminutnog intervala u kojem je bura postala prevladavajući vjetar. Podaci o tome prikazani su na sl. 9, na kojoj je strelicom naznačen prevladavajući smjer vjetra, dok je brzina vjetra predočena odgovarajućom duljinom strelice.

Na gotovo svim meteorološkim stanicama promjena je vjetra, u toku pola sata prije početka bure, bila postupna, uz skretanje vjetra suprotno od kretanja kazaljke na satu. Većinom je uočeno skretanje vjetra sa SE smjera, preko ESE i E, na smjer bure, ali je i u tome bilo stanovitih razlika. Na nekim je stanicama prijelaz na buru uslijedio nakon postojanog prethodnog smjera i dosta nag-



Slika 9 Desetminutne promjene vjetra pri nastupu bure

Fig. 9 Ten minute interval wind changes at the onset of the Bora

lo, tako da se promjena smjera od  $45^\circ$  ili veća dogodila u toku jednog desetminutnog intervala.

Na većini stanica opažen je manji porast brzine vjetra prije nastupa bure. Sa skretanjem vjetra na buru srednja je brzina osjetno porasla, u prosjeku 2-3 puta.

#### ZAKLJUČAK

Analiza jednog tipičnog slučaja bure na području sjevernog Jadrana pokazala je da se i na takvom, razmjerno malom području uočavaju karakteristične razlike u vremenu i načinu njezina nastupa.

Bura se najprije pojavila na onom dijelu obale koji se nalazi ispod nižih planinskih prijevoja u Dinarskom gorju, i to kraj Senja i u sjevernom području Riječkog zaljeva. Drugdje je nastupila znatno kasnije, što je bilo uvjetovano kretanjem hladne zračne mase u dva smjera, prema području Istre i prema Velebitu, kao i premještanjem mezociklone sa zapada prema istočnom dijelu sjevernog Jadrana.

Prije pojave bure uočeno je skretanje vjetra, većinom u suprotnom smjeru od kretanja kazaljke na satu, uz slab porast brzine. Nakon nastupa bure srednja je brzina vjetra porasla 2-3 puta, a promjena smjera od  $45^\circ$  ili veća dogodila se ponegdje u toku jednog desetminutnog intervala.

Rezultati analize vjerojatno nemaju općenitije značenje. Oni prije svega ukazuju na to da se primjenom metoda mezoanalize mogu dobiti vrlo korisni podaci o osobitostima nastupa bure, što je doprinos boljem poznavanju naravi, kao i lokalnoj prognozi tog značajnog vjetra.

#### LITERATURA

- /1/ ČADEŽ, M., 1948: Jezera hladnog zraka. Hidrometeorološki glasnik 1, SUHMZ, Beograd
- /2/ ČADEŽ, M., 1964: Vreme u Jugoslaviji. PMF u Beogradu-Meteorološki zavod, Rasprave 4
- /3/ LUKŠIĆ, I., 1969: Interesantan slučaj bure u Senju 9.XII.1968. "Vijesti" Hidrometeo. službe SRH, 3-4, Zagreb
- /4/ MAKJANIĆ, B., 1970: O dnevnom hodu bure. Jugosl. akad. znan. i umjetnosti, Rasprave, III ser., No. 16, Zagreb
- /5/ PARADIŽ, B., 1957: Burja v Sloveniji. 10 let HMS, Hidrometeo. zavod LR Slovenije, Ljubljana
- /6/ SIJERKOVIĆ, M., 1976: Istraživanje lokalnih vjetrova u Hrvatskoj metodom mezoanalize. Magistarski rad, Zagreb
- /7/ YOSHINO, M.M., i suradnici, 1976: Local Wind Bora. University of Tokyo Press