

## IDENTIFIKACIJA ZDOLCA NA BRDOVITOJ HRVATSKOJ OBALI JADRANA

### The identification of upslope wind on the mountainous Adriatic coast of Croatia

IVO LUKŠIĆ

Državni hidrometeorološki zavod  
Grič 3, 10000 Zagreb, Hrvatska

*Primljeno 13. svibnja 1998, u konačnom obliku 20. lipnja 1998.*

**Sažetak:** Zdolac na brdovitoj hrvatskoj obali Jadrana identificiran je pomoću ove bitne razlike između zdozca i zmorca: u 14<sup>h</sup> zdozac je češći u listopadu nego u travnju, a zmorac je češći u travnju nego u listopadu.

Između obuhvaćenih 28 primorskih postaja zdozac je nađen na 7 postaja. Primorske postaje sa zdozcom nalaze se na izrazito brdovitoj obali (Makarska, Split Marjan, Senj, Rijeka) ili su u blizini brda i podalje od aktivnog mora (Šestanovac, Šibenik, Novigrad u Dalmaciji). Zdozac je izrazitiji na primorskim postajama koje su uzdignute iznad okoliša, tj. podalje od mora u vertikalnom smjeru. To sve ukazuje na to da se zdozac u primorju pojavljuje gdje je utjecaj brda jači, a utjecaj termičkog kontrasta more–kopno slabiji. To se moglo i očekivati.

Prema prizemnim podacima primorskih postaja utjecaj zdozca ipak je i na brdovitoj obali prosječno slabiji od utjecaja zmorca. Na visini, gdje je utjecaj termičkog kontrasta more–kopno slabiji, vjerojatno je suprotno.

**Ključne riječi:** kopnenjak, zmorac, zgorac, zdozac, gorski vjetar, dolinski vjetar, Hrvatska

**Abstract:** The upslope wind on the mountainous Adriatic coast of Croatia is identified by the following fundamental difference between upslope wind and sea breeze: at 14<sup>h</sup> the upslope wind is more frequent in October than in April while the sea breeze is more frequent in April than in October.

Between the 28 coastal stations included the upslope wind was found at 7 stations. The seaside stations with upslope wind are situated in a particularly mountainous part of the coast (Makarska, Split Marjan, Senj, Rijeka) or near to mountains and slightly away from the active sea (Šestanovac, Šibenik, Novigrad in Dalmatia). The upslope wind is more marked at stations more elevated relative to their neighbourhood, i.e. slightly farther from the sea in the vertical direction. All this shows that the upslope wind at the seaside appears where the influence of the mountains is stronger and the influence of the sea-land thermal contrast is weaker. This was to be expected.

According to surface data for the seaside stations, the influence of the upslope wind on the mountainous coast is, nevertheless, weaker on average than the influence of the sea breeze. At higher elevations, where the influence of the sea-land thermal contrast is weaker, it is probably the opposite.

**Key words:** land breeze, sea breeze, downslope wind, upslope wind, down-valley wind, up-valley wind, Croatia

## 1. UVOD

Nazivi vjetrova obalne i planinske cirkulacije u ovom su radu prema Geli i suradnicima (1998),

tj. nazivi i njihova značenja jesu:

- kopnenjak: noćna grana obalne cirkulacije, puše od aktivnog kopna prema aktivnom moru (Lukšić, 1995),

- zmorac: danja grana obalne cirkulacije, puše od aktivnog mora prema aktivnom kopnu,
- zgorac: noćna silazna grana planinske cirkulacije na obronku,
- zdolac: danja uzlazna grana planinske cirkulacije na obronku,
- gorski vjetar: noćna silazna grana planinske cirkulacije uzduž doline,
- dolinski vjetar: danja uzlazna grana planinske cirkulacije uzduž doline.

U slučajevima kada se tekst odnosi i na zgorac i na gorski vjetar upotrebljavat će se zajednički naziv zgorac/gorski vjetar. Slično, kada se tekst odnosi i na zdolac i na dolinski vjetar upotrebljavat će se zajednički naziv zdolac/dolinski vjetar.

Planinska i obalna cirkulacija zajedno daju veće brzine nego kada djeluju odvojeno (Mahrer and Pielke, 1977). Smjer vjetra prilagođava se objema cirkulacijama; brda također mogu utjecati na skretanje vjetra obalne cirkulacije tijekom dana u smjeru kazaljke na satu ili u suprotnom smjeru (Simpson, 1994). Ipak, odnosi između planinske i obalne cirkulacije nisu u potpunosti dokučeni (Banta et al., 1993).

U ovom radu opisuje se postupak kojim je namjera identificiranje planinske cirkulacije na brdovitoj obali pomoću bitnih razlika između obalne i planinske cirkulacije, a uz korištenje prizemnih meteoroloških podataka. Prvi pokušaj s tom namjerom (Lukšić, 1989a) ukazao je na sljedeće razlike:

- na obali je noćni kopnenjak češći u listopadu nego u travnju, a u unutrašnjosti je noćni zgorac/gorski vjetar češći u travnju nego u listopadu,
- na obali je danji zmorac češći u travnju nego u listopadu, a u unutrašnjosti je danji zdolac/dolinski vjetar češći u listopadu nego u travnju.

Za kopnenjak je listopad povoljniji od travnja, jer je srednja dnevna temperatura kopna u listopadu niža od srednje dnevne temperature mora, dok su u travnju ta dva srednjaka približno jednaka. To se može zaključiti iz radova Stipaničića (1977) i Zore-Armanda (1978, slike 7 i 8). Zbog takvih odnosa između temperature kopna i mora za zmorac je travanj povoljniji od listopada.

Za zgorac/gorski vjetar travanj je povoljniji od listopada, jer u travnju gotovo i nema razlike u dnevnom srednjaku temperature između zraka uz brdo i zraka u slobodnoj atmosferi, dok je u listopadu dnevni srednjak temperature zraka uz brdo veći. To se zaključuje iz dostupnih podataka (Poje, 1959, tablica 1, slika 1). Zbog takvih odnosa za zdolac/dolinski vjetar listopad je povoljniji od travnja.

Na temelju spomenutih razlika ocjenjivao se doprinos obalne i planinske cirkulacije na brdovitoj obali u Senju (Lukšić, 1989a). Dobiveni rezultati nisu potpuno zadovoljili. Razlozi bi mogli biti:

- metoda je bila jednostavna, a meteorološke prilike u Senju složene,
- izabrani slučajevi nisu bili najpovoljniji za obalnu i planinsku cirkulaciju, jer je bila uključena naoblaka 9 i 10 desetina neba, te velika brzina vjetra za noćni vjetar iz Senjske drage ( $0,3-5,4 \text{ ms}^{-1}$ ).

Rješenje problema tražilo se zatim u boljem poznavanju odlika obalne i planinske cirkulacije i u poboljšanju postupka identifikacije planinske cirkulacije na brdovitoj obali. Nastojanja u tom smjeru potvrdila su da je na velikom broju postaja kopnenjak češći u listopadu nego u travnju, a zmorac češći u travnju nego u listopadu. Utvrđeno je također da je kopnenjak čest i zimi. Razlozi su: veća srednja dnevna temperatura mora nego kopna, kraće i slabije sunčevo zračenje i dulje noći u zimskim mjesecima (Lukšić, 1995, 1996). Došlo se i do drugih spoznaja, koje su ugrađene u prezentirajući postupak identifikacije planinske cirkulacije na brdovitoj obali.

Nije mi poznato da bi bilo nekih drugih uspješnih pokušaja takve identifikacije.

Do zadanog cilja išlo se postupno u nekoliko faza:

I. Izbor postaja na primorju Hrvatske. Postaja mora raspolagati podacima o naoblaci, smjeru i jačini vjetra u 7, 14 i 21<sup>h</sup> za barem 1400 dana. Toliki broj podataka zadovoljavajući je minimum za postaju gdje meteorološke prilike nisu složene i u slučaju analize po grupama postaja, što je najčešći slučaj u ovom radu. Na takav minimum trebalo je ići da bi se uključilo što više postaja na srednjem Jadranu. Među

njima treba biti postaja i na brdovitoj i na ravničarskoj obali, te u dubini kopna i prema moru. Postupak identifikacije dobar je, ako se dobije da je planinska cirkulacija na primorju izrazitija na postajama gdje je utjecaj brda jači, a utjecaj termičkog kontrasta more-kopno slabiji.

II. Izbor slučajeva u kojima će vjetrovi obalne cirkulacije kopnenjak i zmorac doći više do izražaja.

III. Izbor postaja u unutrašnjosti Hrvatske. Te postaje trebaju dati samo što jasniju sliku o planinskoj cirkulaciji. Stoga je za njih najvažnije da broj raspoloživih podataka bude što veći, njihova kvaliteta što bolja, a meteorološke prilike na postaji što jednostavnije. Zato postaja treba raspolagati potrebnim meteorološkim podacima za barem 8000 dana, te biti na obronku ili blizu njega, odnosno u dolini, tako da na njoj prevladavaju ili zgorac i zdozac ili gorski i dolinski vjetar.

IV. Izbor slučajeva u kojima će vjetrovi planinske cirkulacije zgorac i zdozac ili gorski i dolinski vjetar doći više do izražaja.

V. Utvrđivanje razlika između odlika vjetrova obalne cirkulacije na primorju Hrvatske i vjetrova planinske cirkulacije u unutrašnjosti Hrvatske.

VI. Utvrđivanje bitnih razlika među razlikama navedenim u točki V. Bitne razlike u najužoj su vezi s uzrocima obalne ili planinske cirkulacije. Stoga su bitne razlike moguće i na brdovitoj jadranskoj obali, te se pomoću njih može identificirati planinska cirkulacija na toj obali. Nebitne razlike nastaju djelovanjem različitih lokalnih faktora, koji su samo modifikatori obalne ili planinske cirkulacije. Pomoću nebitnih razlika ne može se identificirati planinska cirkulacija na brdovitoj obali.

VII. Identifikacija planinske cirkulacije na brdovitoj obali hrvatskog dijela Jadrana pomoću bitnih razlika između obalne i planinske cirkulacije.

Klimatološki podaci za 7, 14 i 21<sup>h</sup> koristit će se zbog ovih njihovih prednosti:

— obuhvaćaju važnije meteorološke elemente,

- imaju duge nizove,
- imaju relativno veliku prostornu gustoću,
- velikim dijelom nalaze se na magnetnom mediju, odnosno mogu se lakše prebaciti na taj medij.

Za danje grane dnevnih periodičkih cirkulacija termin 14<sup>h</sup> dobar je, dok za noćne grane tih cirkulacija termini 7 i 21<sup>h</sup> nisu najpovoljniji. S obzirom na direktan i neposredan utjecaj Sunca termin 21<sup>h</sup> povoljniji je od termina 7<sup>h</sup>, koji u velikom dijelu godine pada poslije izlaska Sunca. Međutim, posljedice utjecaja Sunca javljaju se s manjim ili većim kašnjenjem. Stoga za velike i tromne sustave dnevnih periodičkih cirkulacija termin 7<sup>h</sup> može biti povoljniji od termina 21<sup>h</sup>, dok za male sustave vrijedi suprotno (Lukšić, 1995).

## 2. OSNOVNI PODACI I ALATI

Na primorskim postajama u 7 i 21<sup>h</sup> česta je bura, a u 14<sup>h</sup> etezija. Etezija je osobito česta na širem području Zadra (Lukšić, 1996). U unutrašnjosti Hrvatske, osobito u 14<sup>h</sup>, čest je jugozapadnjak, koji se javlja za vrijeme juga na Jadranu, i sjeveroistočnjak, koji je povezan s burom na Jadranu. Svi ti vjetrovi imaju dnevni i godišnji hod, te mogu zamagliti sliku o dnevnom periodičkom vjetru. Zbog toga je uputno izabrati posebne slučajeve (dalje: izabrani slučajevi), u kojima je veći utjecaj obalne ili planinske cirkulacije, a manji utjecaj drugih vjetrova. Izabrani slučajevi definiraju se jačinom vjetera i naoblakom.

Kopnenjak i zmorac na jadranskoj obali pojavljuju se i pri povećanoj naoblaci (Lukšić, 1997, 1998). U sustavu obalne cirkulacije može čak biti i kiše (Šegota i Filipčić, 1996). Stoga u izabranim slučajevima za kopnenjak i zmorac može biti i povećane naoblake.

Izabrani slučajevi za kopnenjak u 7 i 21<sup>h</sup> na primorskim postajama imaju naoblaku 0–8 desetina neba i jačinu vjetera 1–2 bofora. Pri tako slabim jačinama vjetera ne očekuje se znatniji utjecaj bure.

Za zmorac u 14<sup>h</sup> izabrani slučajevi imaju naoblaku 0–8 desetina neba i jačinu vjetra 1–4 bofora.

Izabrani slučajevi za zgorac/gorski vjetar u 7 i 21<sup>h</sup> na kontinentalnim postajama imaju naoblaku 0–5 desetina neba i jačinu vjetra 1–2 bofora. Na tim postajama izabrani slučajevi za zdo-lac/dolinski vjetar u 14<sup>h</sup> imaju naoblaku 0–8 desetina neba i jačinu vjetra 1–3 bofora.

Glavni smjer nekog vjetra obalne ili planinske cirkulacije jest smjer vjetra koji najbolje zadovoljava zemljopisni uvjet i većinu meteoroloških uvjeta za taj vjetar u izabranim slučajevima. Ti uvjeti jesu:

- za glavni smjer kopnenjaka:
  - približno je jednak strani svijeta na kojoj je aktivno kopno,
  - u većem dijelu godine u 7 i 21<sup>h</sup> ima veću čestinu nego u 14<sup>h</sup>,
  - u 7 i 21<sup>h</sup> ima veću čestinu u listopadu nego u travnju;
- za glavni smjer zmorca:
  - približno je jednak strani svijeta na kojoj je aktivno more,
  - u većem dijelu godine u 14<sup>h</sup> ima veću čestinu nego u 7 i 21<sup>h</sup>,
  - u 14<sup>h</sup> u ljetnom polugodištu (travanj–rujan) ima povećanu čestinu,
  - u 14<sup>h</sup> ima veću čestinu u travnju nego u listopadu;
- za glavni smjer zgorca:
  - približno je jednak strani svijeta prema kojoj se obronak uzdiže,
  - u većem dijelu godine u 7 i 21<sup>h</sup> ima veću čestinu nego u 14<sup>h</sup>;
- za glavni smjer zdo-lca:
  - približno je jednak strani svijeta prema kojoj se obronak spušta,
  - u većem dijelu godine u 14<sup>h</sup> ima veću čestinu nego u 7 i 21<sup>h</sup>,
  - u 14<sup>h</sup> u ljetnom polugodištu ima povećanu čestinu;
- za glavni smjer gorskog vjetra:
  - približno je jednak strani svijeta prema kojoj se dno doline uzdiže,
  - u većem dijelu godine u 7 i 21<sup>h</sup> ima veću čestinu nego u 14<sup>h</sup>;
- za glavni smjer dolinskog vjetra:
  - približno je jednak strani svijeta prema

kojoj se dno doline spušta,

- u većem dijelu godine u 14<sup>h</sup> ima veću čestinu nego u 7 i 21<sup>h</sup>,
- u 14<sup>h</sup> u ljetnom polugodištu ima povećanu čestinu.

Na temelju izabranih slučajeva i uvjeta za glavni smjer kopnenjaka (zmorca) određen je glavni smjer kopnenjaka (zmorca) za svaku primorsku postaju. Slično je na temelju izabranih slučajeva i uvjeta za glavni smjer zgorca (zdo-lca, gorskog vjetra, dolinskog vjetra) određen glavni smjer zgorca (zdo-lca, gorskog vjetra, dolinskog vjetra) za svaku kontinentalnu postaju.

Uvažavanje samo glavnog smjera vjetra ima i dobru i slabu stranu. Dobra strana jest to što u glavnom smjeru najviše dolaze do izražaja od-like obalne ili planinske cirkulacije. Slaba strana jest to što veće rasipanje smjera može ostaviti dojam manje čestine obalne ili planinske cirkulacije. To treba imati na umu kada se promatraju čestine glavnog smjera u tablicama 1 i 3. Osim toga, zbog neprecizna određivanja smjera vjetra, jačine vjetra i naoblake (Lukšić, 1989b), stvarni glavni smjer ne mora biti baš onaj koji je dobiven iz nepreciznih podataka, već to može biti neki drugi susjedni smjer.

Određivanje glavnog smjera dnevnog periodičkog vjetra nije uvijek jednostavno. Na postajama gdje je obalna ili planinska cirkulacija izrazita glavni je smjer upadan, jer je obično njegova čestina najveća. Međutim, na postajama gdje je obalna ili planinska cirkulacija slabo izražena često nije lako odrediti smjer vjetra koji najbolje zadovoljava uvjete za glavni smjer. Nepreciznost podataka još više otežava određivanje glavnog smjera. Daljnja je poteškoća nemogućnost potpunog eliminiranja bure, etezije i drugih utjecaja, koji mogu smanjiti jasnoću slike o obalnoj ili planinskoj cirkulaciji.

Postupkom identifikacije obuhvaćeno je 28 postaja na primorju Hrvatske (dvije na južnom Jadranu, 23 na srednjem, tri na sjevernom) i 6 postaja uz brdovito tlo u središnjoj Hrvatskoj (tablica 1). Podaci za postaju Zagreb Grič podijeljeni su u tri grupe, da se vidi ima li promjena u režimu vjetra tijekom dugog razdoblja rada te postaje (1861–1994).

Tablica 1. Nadmorska visina  $H$ , zemljopisna širina, zemljopisna duljina, razdoblje raspoloživosti podataka, glavni smjer kopnenjaka (zgorca/gorskog vjetra) i njegova čestina  $F$  (%) u 21<sup>h</sup> u srpnju, glavni smjer zmorca (zdolca/dolinskog vjetra) i njegova čestina  $F$  (%) u 14<sup>h</sup> u srpnju za obuhvaćene postaje.

Table 1. Elevation  $H$ , latitude, longitude, data availability period, principal land breeze (downslope/down-valley wind) direction and its frequency  $F$  (%) at 21<sup>h</sup> in July, principal sea breeze (upslope/up-valley wind) direction and its frequency  $F$  (%) at 14<sup>h</sup> in July for the stations included.

primorske postaje	$H$ (m)	zemljopisna širina ( $N$ )	zemljopisna duljina ( $E$ )	razdoblje	glavni smjer kopnenjaka i čestina $F$	glavni smjer zmorca i čestina $F$
Dubrovnik	52	42° 39'	18° 05'	1946–1994	N (5,8)	SW (11,4)
Govedari	30	42° 47'	17° 22'	1960–1994	N (10,4)	SW (18,2)
Makarska	9	43° 18'	17° 01'	1941–1994	NE (3,5)	SW (12,7)
Split Firule	20	43° 30'	16° 28'	1969–1975	NE (9,1)	SW (47,8)
Split Lazarica	46	43° 30'	16° 27'	1961–1969	NE (5,5)	SW (36,4)
Split Gripe	40	43° 31'	16° 27'	1957–1963	NE (12,9)	SW (67,7)
Split Marjan	122	43° 31'	16° 26'	1946–1994	NE (4,7)	SW (38,0)
Kaštel Stari	24	43° 33'	16° 21'	1941–1971	NE (14,7)	SW (52,1)
Split aerodrom	21	43° 32'	16° 18'	1966–1994	N (9,1)	SW (26,9)
Jelsa	3	43° 10'	16° 42'	1963–1994	SW (18,2)	NE (16,0)
Hvar	20	43° 10'	16° 26'	1946–1994	N (12,0)	SSE (10,9)
Bol	50	43° 16'	16° 40'	1963–1994	NE (9,0)	WSW (8,3)
Sutivan	10	43° 23'	16° 29'	1957–1994	SW (37,8)	SW (34,4)
Šestanovac	240	43° 27'	16° 55'	1962–1994	N (22,9)	S (16,0)
Šibenik	77	43° 44'	15° 55'	1946–1994	NE (2,9)	SW (14,5)
Biograd	8	43° 56'	15° 27'	1953–1994	N (16,3)	SW (16,8)
Zadar	5	44° 08'	15° 13'	1946–1994	NE (4,3)	SW (0,8)
Žirje	25	43° 39'	15° 39'	1963–1967	NE (1,6)	SW (32,3)
Vela Sestrica	35	43° 51'	15° 12'	1971–1994	NE (6,6)	SW (6,2)
Drniš	304	43° 52'	16° 10'	1958–1991	NE (19,6)	SW (13,4)
Benkovac	179	44° 02'	15° 37'	1957–1986	N (13,1)	SW (17,9)
Vrana	35	43° 58'	15° 28'	1958–1992	NE (5,3)	SW (16,3)
Zadar aerodrom	82	44° 06'	15° 21'	1969–1991	NE (7,6)	SW (10,8)
Novigrad (Dalm.)	15	44° 11'	15° 33'	1963–1991	NE (21,2)	WSW (1,2)
Božava	20	44° 08'	14° 54'	1960–1976	NE (3,0)	SW (4,7)
Senj	26	45° 00'	14° 54'	1946–1994	ESE (14,2)	SSW (8,8)
Rijeka	104	45° 20'	14° 27'	1946–1994	NE (15,5)	SW (26,5)
Rovinj	20	45° 05'	13° 38'	1949–1994	NE (13,8)	SW (10,0)
kontinentalne postaje	$H$ (m)	zemljopisna širina ( $N$ )	zemljopisna duljina ( $E$ )	razdoblje	glavni smjer zgorca/gorskog vjetra i čestina $F$	glavni smjer zdozca/dolinskog vjetra i čestina $F$
Zagreb Maksimir	128	45° 49'	16° 02'	1946–1994	N (33,2)	S (12,4)
Zagreb Grič	157	45° 49'	15° 59'	1861–1900	NW (4,5)	SE (12,7)
Zagreb Grič	157	45° 49'	15° 59'	1901–1945	NNE (20,5)	SE (12,4)
Zagreb Grič	157	45° 49'	15° 59'	1946–1994	NNE (19,7)	SSE (11,0)
Samobor	146	45° 49'	15° 43'	1972–1994	NW (2,2)	SE (11,1)
Jastrebarsko	138	45° 40'	15° 39'	1954–1994	NW (15,5)	SE (10,1)
Karlovac	112	45° 30'	15° 33'	1946–1994	SW (5,3)	NE (29,8)
Ogulin	328	45° 16'	15° 14'	1946–1994	WNW (16,4)	ENE (9,3)

Za primorske postaje glavni su smjerovi kopnenjaka i zmorca u tablici 1 suprotni ili približno suprotni. Slično vrijedi za zgorac i zdolac te gorski i dolinski vjetar na kontinentalnim postajama. Izuzetak su postaje Senj i Sutivan. U Senju je meteorološka situacija dosta složena (Lukšić, 1989a), a u Sutivanu su prisutna dva izrazita sustava obalne cirkulacije (Lukšić, 1968, 1979, 1991). Glavni SW smjer kopnenjaka u Sutivanu pripada obalnoj cirkulaciji između bračkog kopna i Bračkog kanala, a glavni SW smjer zmorca obalnoj cirkulaciji između kontinenta i Jadrana.

Postaje na kontinentalnoj obali imaju dobro razvijenu obalnu cirkulaciju. Izuzetak je Zadar, gdje je zbog razmještaja kopna i mora, etezija gotovo potpuno potisnula obalnu cirkulaciju (Lukšić, 1996).

Obalna cirkulacija između kontinenta i Jadrana prema moru dopire do otočnih postaja: Govedari, Sutivan, Žirje, Vela Sestrica i Božava. Međutim, na otočnim postajama Jelsa, Hvar i Bol prevladava obalna cirkulacija između otočnog kopna i obližnjeg mora. Na području Dubrovnika nema većih otoka, a more je duboko, te se tu očekuje nešto veći domet obalne cirkulacije prema moru. Procjenjuje se da je domet obalne cirkulacije između kontinenta i Jadrana prema moru 20–30 km. To je u skladu s podacima za umjerene zemljopisne širine (Atkinson, 1981).

Obalna cirkulacija između kontinenta i Jadrana u dubinu kopna dopire do postaja Šestanovac, Drniš, Benkovac, Vrana, Zadar aerodrom i Novigrad. Domet te cirkulacije u dubinu kontinenta mogao bi također biti 20–30 km. I to je u skladu s podacima Atkinsona (1981) za umjerene zemljopisne širine.

Prevladavajući dnevni periodički vjetrovi na postajama Zagreb Maksimir, Zagreb Grič, Jastrebarsko i Karlovac jesu zgorac i zdolac, a na postajama Samobor i Ogulin gorski i dolinski vjetar.

Na postaji Zagreb Grič došlo je do promjene glavnog smjera. U najstarijem razdoblju glavni smjer NW pripada gorskom vjetru, koji puše iz gornjeg toka Save, a u srednjem i najnovijem

razdoblju glavni smjer NNE pripada zgorcu. Tu veliku promjenu tumačimo malom debljinom sloja zgorca i slabom izgrađenošću Zagreba u ravnici prije stotinjak godina. Tada se naime glavnina zgorca lakše probijala prema toj ravnici uz tlo dolinama na istoku i zapadu od Griča, te je noću na povišenom Griču bio jači utjecaj gorskog NW vjetra. Danas zgrade u ravnici otežavaju takvo probijanje zgorca, te se njegova zona utjecaja uzdigla. Zbog toga se brdo Grič danas češće nađe u toj zoni. Manje promjene glavnog smjera zdolca na Griču (od SE na SSE) vjerojatno su velikim dijelom posljedica preciznijeg određivanja smjera vjetra u razdoblju 1946–1994. U novije doba gorski NW vjetar slabije je izražen na Griču, ali po svemu sudeći ipak je prisutan (Lisac, 1984).

Relativne čestine  $F$  i  $F'$  glavnog smjera kopnenjaka (zmorca, zgorca, zdolca, gorskog vjetra, dolinskog vjetra) na nekoj postaji za neki mjesec i termin određene su relacijama

$$F(\%) = \frac{G}{N} 100 \quad \text{i} \quad F'(\%) = \frac{G}{N_i} 100$$

Značenja oznaka u tim relacijama jesu:

- $G$ : Apsolutna čestina glavnog smjera nekog vjetra obalne ili planinske cirkulacije u izabranim slučajevima za neku postaju, mjesec i termin.
- $N$ : Apsolutna čestina svih slučajeva za neku postaju, mjesec i termin, tj.  $N$  je jednak ukupnom broju dana s raspoloživim podacima naoblake, smjera i jačine vjetra za neku postaju, mjesec i termin. Za neku postaju i mjesec  $N$  je isti u 7, 14 ili 21<sup>h</sup>. Za postaju Žirje, koja ima najmanje dana s raspoloživim podacima,  $N$  se po mjesecima kreće između 90 i 155, a za postaju Split Marjan između 1384 i 1519. Približna vrijednost od  $N$  za neki mjesec i termin jednaka je umnošku broja godina s raspoloživim podacima u tablici 1 i broja dana u tom mjesecu.
- $N_i$ : Apsolutna čestina izabranih slučajeva za neki vjetar obalne ili planinske cirkulacije za neku postaju, mjesec i termin. Za kopnenjak u 7<sup>h</sup> na postaji Žirje  $N_i$  se po mjesecima kreće između 33 i 90, a za kopnenjak u 7<sup>h</sup> na postaji Split Marjan između 321 i 801.  $N_i$  bit će manji ako se ukaže potreba da se raspon naoblake ili jačine vjetra u izabranim slučajevima sma-

nji. Tišina ne ulazi među izabrane slučajeve. Svih slučajeva  $N$  ima više nego izabranih slučajeva  $N_i$ , te je  $F < F'$ .

Na čestinu  $F$  više utječe čestina povoljnih ili nepovoljnih tipova vremena za dnevne periodičke vjetrove, a na čestinu  $F'$  više neki povoljni ili nepovoljni faktor unutar izabranih slučajeva.

Pokazat će se to na primjeru kopnenjaka. Ljeti je apsolutna čestina glavnog smjera kopnenjaka povećana zbog češćih neporemećenih dana. To povećava čestinu  $F$ . Ali zbog češćih neporemećenih dana ljeti može biti povećana i čestina drugih smjerova vjetra u izabranim slučajevima. Povećanje čestine tih drugih smjerova vjetra može čak biti veće nego povećanje čestine glavnog smjera kopnenjaka, jer ljeti djeluju na kopnenjak i nepovoljni faktori (odnos temperature kopna i mora, dulje i jače sunčevo zračenje). U tom slučaju čestina  $F'$  za kopnenjak bit će smanjena. Povećana čestina  $F$  pokazuje dakle da se povećao broj povoljnih situacija za kopnenjak, a smanjena čestina  $F'$  da unutar tih povoljnih situacija ipak djeluju neki nepovoljni faktori. Relativne čestine  $F$  i  $F'$  mogu dakle dati različite informacije o glavnom smjeru.

Čestine  $F$  i  $F'$  korištene su pri određivanju glavnog smjera.

### 3. ČESTINE $F$ I $F'$ ZA VJETROVE OBALNE I PLANINSKE CIRKULACIJE

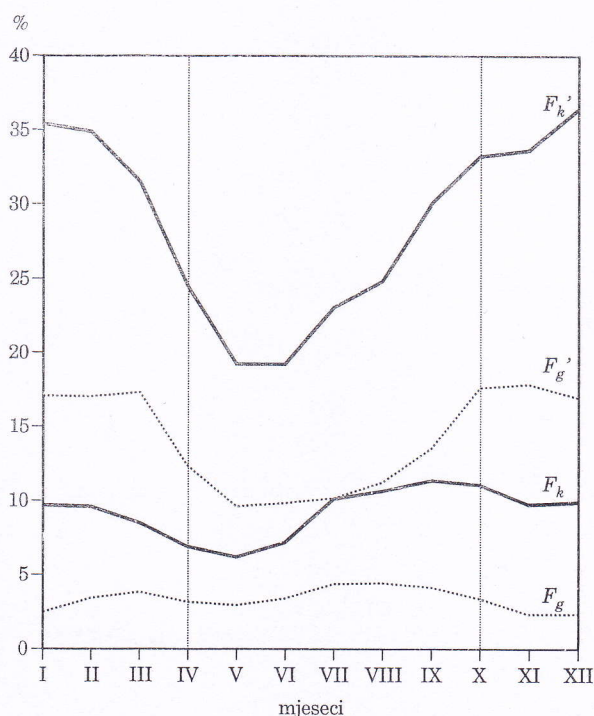
Čestine  $F$  i  $F'$  odnose se na glavni smjer nekog vjetra obalne ili planinske cirkulacije. One će u daljnjem tekstu biti kraće nazivane čestinom nekog vjetra tih cirkulacija. Osim toga, u daljnjem tekstu čestine  $F$  i  $F'$  za kopnenjak u 7 i 21<sup>h</sup> dobivaju indeks  $k$ , za zmorac u 14<sup>h</sup> indeks  $z$ , za zgorac/gorski vjetar u 7 i 21<sup>h</sup> u unutrašnjosti indeks  $g$ , za zdozac/dolinski vjetar u 14<sup>h</sup> u unutrašnjosti indeks  $d$ , a za zdozac u 14<sup>h</sup> na primorju indeks  $p$ . U drugim slučajevima čestine  $F$  i  $F'$  neće imati indeks.

Na slici 1 srednji godišnji hodovi čestina  $F_k$  i  $F_k'$  odnose se na kopnenjak 28 primorskih po-

staja u 7<sup>h</sup>. Srednji godišnji hodovi čestina  $F_g$  i  $F_g'$  odnose se na zgorac/gorski vjetar u 7<sup>h</sup> za 8 postaja u unutrašnjosti. Podaci za Zagreb Grič uvažavaju se kao podaci triju postaja. Na iste primorske i kontinentalne postaje odnose se i slike 2 i 3. Na slici 2 dodani su još i srednji godišnji hodovi čestina  $F_p$  i  $F_p'$ , koji se odnose na zdozac u 14<sup>h</sup> za 7 primorskih postaja.

Srednje čestine  $F_k$  i  $F_k'$  u 7<sup>h</sup> veće su u listopadu nego u travnju (slika 1). Ta odlika posljedica je uvjeta za izbor glavnog smjera kopnenjaka. Važno je da čak na 27, tj. na 96% primorskih postaja glavni smjer kopnenjaka u 7<sup>h</sup> zadovoljava uvjet o odnosu čestina listopad-travanj. To vrijedi i za čestine  $F_k$  i za čestine  $F_k'$ . Taj uvjet ne zadovoljava samo glavni smjer kopnenjaka na postaji Božava, gdje je obalna cirkulacija slabija.

Srednji godišnji hod čestine  $F_k$  ima porast na početku godine i u drugoj polovici godine. To je poznata odlika kopnenjaka (Lukšić, 1996). Po-



Slika 1. Srednji godišnji hodovi čestina kopnenjaka  $F_k$  i  $F_k'$ , te zgorca/gorskog vjetra u unutrašnjosti  $F_g$  i  $F_g'$  u 7<sup>h</sup>.

Figure 1. The mean annual courses of the land breeze frequencies  $F_k$  and  $F_k'$ , and the inland down-slope/down-valley wind frequencies  $F_g$  and  $F_g'$  for 7<sup>h</sup>.

većanu srednju čestinu  $F_k$  od srpnja do listopada dovodimo u vezu s češćim i za kopnenjak povoljnim konvektivnim anticiklonalnim tipovima vremena u tim mjesecima (Penzar, 1963, tablice 3 i 4). U srednjem godišnjem hodu čestine  $F_k'$  to ne dolazi do izražaja zbog povoljnih faktora za kopnenjak u zimskim mjesecima, a nepovoljnih u ljetnim. Nepovoljan utjecaj sunčeva zračenja u ljetnim mjesecima u  $7^h$  posebno je djetvoran kod malih sustava kopnenjaka. Takav je sustav kopnenjaka u Sutivanu. Debljina njegova sloja ljeti iznosi samo 40 m (Lukšić, 1979, slika 4), te ga u tom dijelu godine sunčevo zračenje često razori prije  $7^h$ . Zbog toga je srednja čestina  $F_k'$  zimi izrazito povećana.

Za glavni smjer zgorca/gorskog vjetrova nije bilo uvjeta da njegova čestina bude veća u travnju nego u listopadu, tj. da odnos čestina bude suprotan odnosu čestina kopnenjaka. Očekivalo se da će to samo po sebi doći. Prema slici 1, očekivanja se nisu ispunila. Razlog nalazimo u nepovoljnom zračenju Sunca za zgorac/gorski vjetar, koje je u  $7^h$  utjecajnije u travnju nego u listopadu (Penzar, 1977a, 1977b). Moglo bi se pomisliti, da je isti uzrok razlog i manjoj čestini kopnenjaka u travnju nego u listopadu.

Pojašnjenje daju čestine  $F$  i  $F'$  za  $1^h$ , i to za zgorac na postaji Zagreb Maksimir (1966–1997) i za kopnenjak na postaji Split Marjan (1958, 1961–1966, 1978, 1985–1997). Čestine  $F$  i  $F'$  odnose se na izabrane slučajeve, koji zadovoljavaju iste uvjete za jačinu vjetrova i naoblaku u  $1^h$  kao i izabrani slučajevi za zgorac i kopnenjak u terminima 7 i  $21^h$ . Jačina vjetrova dobivena je iz brzine vjetrova prema anemografu za interval 0– $1^h$ . Glavni smjer zgorca za Zagreb Maksimir i kop-

nenjaka za Split Marjan jest prema tablici 1. U  $1^h$  nema sunčevog zračenja, posljedice njegova utjecaja gotovo su minimalne, a noćne su prilike blizu maksimalnog razvoja. Prema tome, ako je objašnjenje u prethodnom stavku dobro, zgorac na postaji Zagreb Maksimir u  $1^h$  imat će u travnju veću čestinu nego u listopadu, a ako je pomisao u prethodnom stavku neopravdana, kopnenjak na postaji Split Marjan bit će i u  $1^h$  češći u listopadu nego u travnju.

Neočekivanom odnosu srednjih čestina  $F_g$  i  $F_g'$  u  $7^h$  na slici 1 sličan je i odnos (nenavedenih) čestina  $F_g$  i  $F_g'$  za Zagreb Maksimir u  $7^h$ : i te čestine veće su u listopadu nego u travnju. Međutim, čestine  $F$  i  $F'$  u tablici 2 za postaju Zagreb Maksimir i  $1^h$  prema očekivanju su u travnju veće nego u listopadu.

Na postaji Split Marjan kopnenjak je prema čestinama  $F$  i  $F'$  i u  $1^h$  u skladu s očekivanjem češći u listopadu nego u travnju. Prema tome, kopnenjak nije češći u listopadu zbog jačeg utjecaja Sunca u travnju. Čestina kopnenjaka  $F$  veća je u srpnju nego u siječnju, dok je čestina kopnenjaka  $F'$  veća u siječnju nego u srpnju. Razlozi su spomenuti pri obrazloženju srednjeg godišnjeg hoda čestina  $F_k$  i  $F_k'$  na slici 1.

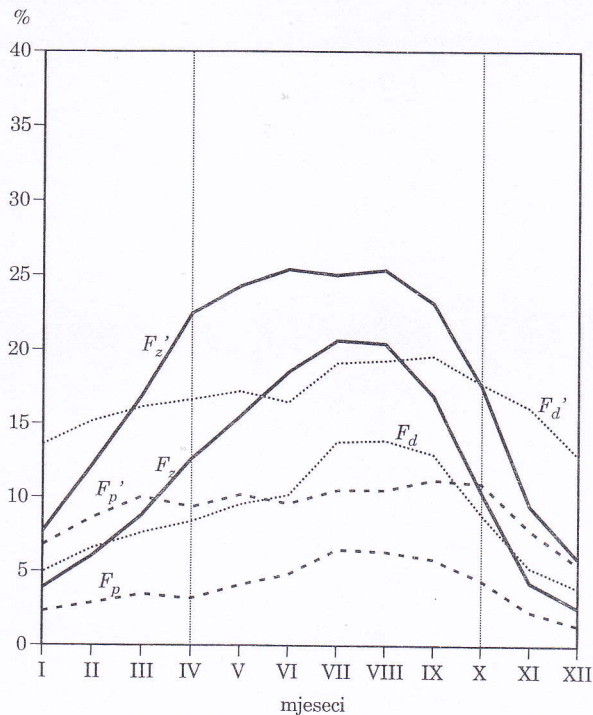
Srednji godišnji hod čestine  $F_g$  za  $7^h$  na slici 1 nije izrazit. Smanjenje srednje čestine  $F_g$  u svibnju dovodimo u vezu sa smanjenom čestinom anticiklonalnih tipova vremena u tom mjesecu, a povećanje srednje čestine  $F_g$  u srpnju i kolovozu s tada povećanom čestinom tih tipova vremena (Penzar, 1963, slika 17). Srednji godišnji hod čestine  $F_g'$  za  $7^h$  ima sasvim drukčiji oblik i sličan je srednjem godišnjem hodu čestine  $F_k'$ .

Tablica 2. Čestine  $F$  i  $F'$  (%) za zgorac na postaji Zagreb Maksimir i kopnenjak na postaji Split Marjan za  $1^h$ .

Table 2. Frequencies  $F$  and  $F'$  (%) of downslope wind for Zagreb Maksimir and of land breeze for Split Marjan at  $1^h$ .

postaja	mjesec							
	siječanj (I)		travanj (IV)		srpanj (VII)		listopad (X)	
	$F$	$F'$	$F$	$F'$	$F$	$F'$	$F$	$F'$
Zagreb Maksimir	9,8	46,6	24,9	57,3	37,0	64,2	18,8	53,8
Split Marjan	4,1	15,1	3,7	10,4	4,5	8,0	7,8	21,5





Slika 2. Srednji godišnji hodovi čestina zmorca  $F_z$  i  $F_z'$ , zdolca/dolinskog vjetra u unutrašnjosti  $F_d$  i  $F_d'$ , te zdolca na primorju  $F_p$  i  $F_p'$  za  $14^h$ .

Figure 2. The mean annual courses of the sea breeze frequencies  $F_z$  and  $F_z'$ , the inland upslope/up-valley wind frequencies  $F_d$  and  $F_d'$ , and the seaside upslope wind frequencies  $F_p$  and  $F_p'$  for  $14^h$ .

Osnovni je uzrok sunčevo zračenje, koje je u ljetnom polugodištu u  $7^h$  nepovoljno za zgorac/gorski vjetar, te smanjuje srednju čestinu  $F_g'$ . U prilog tome govore sljedeći odnosi za postaju Zagreb Maksimir: iako čestina  $F_g'$  u  $7^h$  u srpnju iznosi samo 11,7% a u siječnju čak 34,0%, što je slično odnosima srednjih čestina  $F_g'$  na slici 1, čestina  $F'$  u  $1^h$  u tablici 2 najveća je u srpnju, a najmanja u siječnju.

Godišnji hodovi na slici 2 imaju povećanje uglavnom u ljetnom polugodištu. To je posljedica zadovoljavanja uvjeta za glavne smjerove. Dublji razlozi takvih godišnjih hodova navest će se u daljnjem tekstu.

Prema očekivanju srednje čestine zmorca  $F_z$  i  $F_z'$  za  $14^h$  veće su u travnju nego u listopadu (slika 2). Uvjet da je čestina u travnju veća nego u listopadu zadovoljava glavni smjer zmorca na

25, tj. na 89% primorskih postaja. To vrijedi i za čestinu  $F_z$  i za čestinu  $F_z'$ .

Povećane srednje čestine zmorca  $F_z$  i  $F_z'$  u  $14^h$  u ljetnom polugodištu posljedica je jačeg i duljeg zračenja Sunca, češćih neporemećenih dana te povoljnog odnosa temperature kopna i mora u tom polugodištu. Tada dakle svi važniji faktori djeluju u prilog zmorcu, te srednje čestine  $F_z$  i  $F_z'$  imaju prilično sličan hod.

Srednja čestina  $F_z$  najviše je povećana u srpnju i kolovozu, uglavnom zbog češćih konvektivnih anticiklonalnih tipova vremena. Srednja čestina  $F_z'$  je u odnosu na  $F_z$  više povećana u travnju i svibnju. To je vjerojatno zbog manje čestih i za zmorac povoljnih konvektivnih anticiklonalnih tipova vremena, što više smanjuje srednju čestinu  $F_z$  nego  $F_z'$ .

Prema očekivanju srednje čestine zdolca/dolinskog vjetra  $F_d$  i  $F_d'$  za  $14^h$  na slici 2 veće su u listopadu nego u travnju. Takvu odnosu srednjih čestina  $F_d$  i  $F_d'$  doprinos je dalo 6, tj. 75% kontinentalnih postaja. Taj odnos suprotan je od onog kod zmorca. Procjenjuje se da je ta razlika između zmorca na primorju i zdolca/dolinskog vjetra u unutrašnjosti bitna, tj. može se očekivati slična razlika između zmorca na brdovitoj obali i zdolca/dolinskog vjetra na toj istoj obali.

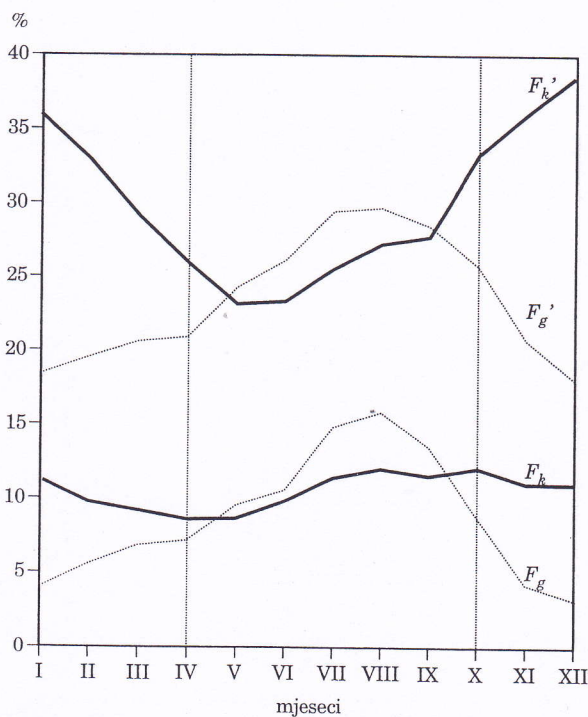
Srednje čestine  $F_d$  i  $F_d'$  za zdolac/dolinski vjetar u  $14^h$  povećane su u ljetnom polugodištu zbog jačeg i dužeg zračenja Sunca, češćih neporemećenih dana te veće razlike između dnevnog srednjaka temperature zraka uz brdo i odgovarajućeg srednjaka u slobodnoj atmosferi. Usporeni porast srednjih čestina  $F_d$  i smanjenje srednjih čestina  $F_d'$  u lipnju pripisujemo evropskom monsunu.

I u  $21^h$  srednje čestine kopnenjaka  $F_k$  i  $F_k'$  prema očekivanju su veće u listopadu nego u travnju (slika 3). Takav odnos za čestine  $F_k$  ima glavni smjer kopnenjaka na 26, tj. na 93% primorskih postaja, a za čestine  $F_k'$  na 27, tj. na 96% primorskih postaja. Srednje čestine  $F_k$  i  $F_k'$  imaju hod sličan kao i u  $7^h$ .

Slično kao i za  $7^h$ , nije se ostvarilo očekivanje da će srednje čestine zgorca/gorskog vjetra  $F_g$  i

$F_g'$  u 21<sup>h</sup> biti veće u travnju nego u listopadu. Možda se to postigne prikladnijim definiranjem izabranih slučajeva. Naime, u ovom radu uvjeti naoblake i jačine vjetra za izabrane slučajeve isti su za sve primorske postaje, a također i za sve kontinentalne postaje. Prikladnije bi bilo da su ti uvjeti prilagođeni meteorološkoj i motriteljskoj situaciji na svakoj pojedinoj postaji. Bile bi npr. prikladnije manje vrijednosti naoblake ako motritelj naoblaku podcjenjuje, odnosno veće vrijednosti ako motritelj naoblaku precjenjuje. Slično vrijedi i za jačinu vjetra.

Srednje čestine zgorca/gorskog vjetra  $F_g$  i  $F_g'$  u 21<sup>h</sup> povećane su ponajviše od svibnja do listopada, uglavnom zbog češćih neporemećenih dana. Zbog tih povećanja nema sličnosti u srednjem godišnjem hodu čestina zgorca/gorskog vjetra  $F_g$  i  $F_g'$  između 7 i 21<sup>h</sup>. Osim toga, srednje



Slika 3. Srednji godišnji hodovi čestina kopnenjaka  $F_k$  i  $F_k'$ , te zgorca/gorskog vjetra u unutrašnjosti  $F_g$  i  $F_g'$  u 21<sup>h</sup>.

Figure 3. The mean annual courses of the land breeze frequencies  $F_k$  and  $F_k'$ , and the inland down-slope/down-valley wind frequencies  $F_g$  and  $F_g'$  for 21<sup>h</sup>.

čestine  $F_g$  i  $F_g'$  u 21<sup>h</sup> veće su nego u 7<sup>h</sup> tijekom čitave godine. Dva uzroka za to mogu biti:

- U ljetnom polugodištu u 7<sup>h</sup> utjecaj sunčeva zračenja značajan je, te su uvjeti za zgorac/gorski vjetar u 7<sup>h</sup> nepovoljniji nego u 21<sup>h</sup>. Na slično upućuju i drugi izvori (Poje, 1982, slike 1 i 2; Lisac, 1984, tablica 5). Ta osjetljivost zgorca/gorskog vjetra na sunčevo zračenje u 7<sup>h</sup> posljedica je malih dimenzija i male tromosti tog sustava.
- U zimskom polugodištu česta je u 7<sup>h</sup> izrazita prizemna inverzija, jer su prilike za nju često povoljne tijekom čitave prethodne duge noći. Zgorac/gorski vjetar teže prodire u takvu inverziju. Rezultat je manja čestina tog vjetra.

Jedna analiza pokazuje da je na postaji Zagreb Maksimir čestina zgorca manja u 4<sup>h</sup> nego u 1<sup>h</sup>. To se također može objasniti prizemnom inverzijom češćom i izrazitijom u 4<sup>h</sup> nego u 1<sup>h</sup>.

Znatna je razlika u 21<sup>h</sup> također i između srednjih godišnjih hodova čestina kopnenjaka  $F_k$  i  $F_k'$  na jednoj i čestina zgorca/gorskog vjetra  $F_g$  i  $F_g'$  na drugoj strani. U siječnju i prosincu srednje su čestine kopnenjaka  $F_k$  i  $F_k'$  otprilike dvostruko veće od odgovarajućih srednjih čestina zgorca/gorskog vjetra  $F_g$  i  $F_g'$ . Međutim, od svibnja do rujna srednje čestine zgorca/gorskog vjetra  $F_g$  i  $F_g'$  veće su od odgovarajućih srednjih čestina kopnenjaka  $F_k$  i  $F_k'$ .

Nisu primijećene bitne razlike između godišnjih hodova čestina  $F$  ( $F''$ ) za postaje gdje prevladavaju zgorac i zdolac (Zagreb Maksimir, Zagreb Grič, Jastrebarsko i Karlovac) i za postaje gdje prevladavaju gorski i dolinski vjetar (Samobor i Ogulin).

#### 4. ZDOLAC NA JADRANSKOJ OBALI

Ako je neka razlika između obalne cirkulacije na Jadranu i planinske cirkulacije u unutrašnjosti bitna, onda je takva razlika moguća i na nekoj obalnoj postaji s brdovitim terenom. A to omogućava identifikaciju planinske cirkulacije na toj postaji.

Pretpostavlja se da je razlika u odnosu čestina travanj-listopad u 14<sup>h</sup> između zmorca i zdol-

ca/dolinskog vjetera bitna. Stoga su za svaku primorsku postaju izabrani slučajevi s naoblakom 0–5 desetina neba i jačinom vjetera 1–3 bofora. U tim izabranim slučajevima glavni smjer zdozca/dolinskog vjetera u 14<sup>h</sup> na primorskoj postaji traži se među glavnim smjerom zmorca i dva njemu najbliža susjedna smjera vjetera po ruži od 16 smjerova. Među ta tri smjera za glavni smjer odabire se onaj koji u izabranim slučajevima ima najveću razliku

$$D = F'' \text{ za listopad u } 14^{\text{h}} - F'' \text{ za travanj u } 14^{\text{h}}$$

Tako odabrani glavni smjer zdozca/dolinskog vjetera u 14<sup>h</sup> na primorskoj postaji mora zadovoljavati još i ove uvjete:

- razlika  $D$  mora biti pozitivna,
- u većem dijelu godine ima čestinu  $F''$  u 14<sup>h</sup> veću nego u 7 i 21<sup>h</sup>,
- u 14<sup>h</sup> u ljetnom polugodištu ima povećanu čestinu  $F''$ ,
- umnožak razlike  $D$  i broja dana s raspoloživim podacima za odgovarajuću postaju ( $n$ ) veći je od 10000.

Posljednjim uvjetom eliminiraju se postaje s malim brojem podataka i relativno malom nepouzdanom razlikom  $D$ . Iznos umnoška odabran je tako da uvjet zadovolji samo 7, tj. samo 25% primorskih postaja, pretpostavljajući da samo toliko primorskih postaja ima izražen zdozca/dolinski vjetar. Taj uvjet eliminirao je postaje: Split Lazarica ( $D=0,6\%$ ), Kaštel Stari ( $D=0,8\%$ ), Žirje

( $D=2,7\%$ ), Vela Sestrica ( $D=1,1\%$ ), Drniš ( $D=0,2\%$ ), Benkovac ( $D=0,1\%$ ) i Vrana ( $D=0,4\%$ ). Ostale primorske postaje nisu zadovoljile sve prethodne uvjete.

Na svih 7 primorskih postaja, na kojima glavni smjer zdozca/dolinskog vjetera zadovoljava navedena 4 uvjeta (tablica 3), taj je smjer upravljen prema obronku. Na tim postajama puše dakle zdozca a ne dolinski vjetar. To ne znači da opisani postupak ne može identificirati dolinski vjetar na primorju ili da na primorju nema dolinskog vjetera, već znači samo to da nije bilo primorske postaje s izrazitim dolinskim vjetrom. Čestina  $F''$  pripada dakle zdozczu na primorju u 14<sup>h</sup>, te se označava s  $F_p''$ .

Postaje u tablici 3 nalaze se na izrazito brdovitoj obali (Makarska, Split Marjan, Senj, Rijeka) ili u blizini brda i podalje od aktivnog mora (Šestanovac, Šibenik, Novigrad u Dalmaciji).

Očekuje se da je utjecaj zdozca povećan na primorskim postajama koje su uzdignutije iznad okoliša, tj. iznad mora. Mjera za to uzdignuće može biti veličina  $U$ , koja se definira kao

$$U = H - (H_E + H_S + H_W + H_N) : 4$$

gdje je  $H$  nadmorska visina postaje (m), a  $H_E$ ,  $H_S$ ,  $H_W$  i  $H_N$  nadmorske visine (m) točaka udaljenih 1 km istočno, južno, zapadno i sjeverno od postaje. Koeficijent korelacije između veličina

Tablica 3. Glavni smjer zmorca i njegova čestina  $F_z'$  (%) u 14<sup>h</sup> u srpnju, glavni smjer zdozca i njegova čestina  $F_p''$  (%) u 14<sup>h</sup> u srpnju, razlika  $D$ , broj dana s raspoloživim podacima ( $n$ ) te umnožak  $Dn$  za primorske postaje sa zdozczem.

Table 3. Sea breeze principal direction and its frequency  $F_z'$  (%) at 14<sup>h</sup> in July, upslope wind principal direction and its frequency  $F_p''$  (%) at 14<sup>h</sup> in July, the  $D$  difference, the number of days with available data ( $n$ ) and the  $Dn$  product for the seaside stations with upslope wind.

postaja	glavni smjer zmorca i čestina $F_z'$	glavni smjer zdozca i čestina $F_p''$	$D$ (%)	$n$	$Dn$ (%)
Makarska	SW (16,1)	SSW (2,9)	0,8	15382	12306
Šestanovac	S (17,6)	SSW (7,6)	2,2	11812	25986
Split Marjan	SW (45,7)	SSW (30,3)	7,7	17897	137807
Šibenik	SW (18,9)	WSW (13,2)	1,7	17896	30423
Novigrad (Dalmacija)	WSW (1,7)	SW (1,3)	1,0	10318	10318
Senj	SSW (13,0)	S (5,8)	0,8	17897	14318
Rijeka	SW (35,4)	WSW (10,4)	0,6	17895	10737

$U$  i  $D$  iznosi 0,90 i signifikantan je. Prema tome, postaje s većim uzdignućem iznad okoliša i mora imaju veću razliku  $D$ .

Koeficijent korelacije između nadmorske visine postaje i veličine  $D$  iznosi samo 0,36. Velik koeficijent korelacije između  $U$  i  $D$ , a malen između nadmorske visine i  $D$  objašnjavamo ovako: Na svim obuhvaćenim primorskim postajama puše zmorac. On mora imati svoj prostor, a to su niži slojevi. Ako postaja nije uzdignuta iznad svog okoliša, ona se nalazi uglavnom u tom prostoru zmorca i na njoj je utjecaj zdolca slabije izražen. Međutim, ako je postaja uzdignuta iznad okoliša, sloj ispod postaje ostaje više pod utjecajem zmorca, a na postaji je relativno jači utjecaj zdolca. Što je uzdignutost postaje navise veća, veći je utjecaj zdolca, a također su veće veličine  $U$  i  $D$ . To vrijedi u području relativno malih nadmorskih visina. U našem slučaju najveća nadmorska visina je samo 240 m (Šestanovac). Kada bismo imali na raspolaganju postaje sa zdocem i s većim nadmorskim visinama vjerojatno bi koeficijent korelacije između nadmorske visine i veličine  $D$  bio veći.

Prema tome, zdoc se na primorju pojavljuje gdje je povećan utjecaj brda, odnosno gdje je utjecaj termičkog kontrasta more-kopno smanjen zbog veće vertikalne ili horizontalne udaljenosti od mora. To se moglo i očekivati.

Na postaji Split Marjan zmorac SW smjera puše prema Kliškim vratima, gdje se brda najblaže uzdižu te je i njihov utjecaj slabiji. Zdoc SSW smjera puše točno prema strmim obroncima Kozjaka.

Susjedni smjerovi vjetra na postajama u tablici 3 pripadaju različitim tipovima vjetra, koji se pojavljuju u sličnim meteorološkim situacijama. To pokazuje od kolike je važnosti precizno određivanje smjera vjetra pomoću vjetrokaza ili anemograma. Pri jako nepreciznim smjerovima vjetra bilo bi teško identificirati zdoc na primorju.

Na slici 2 ucrtane su srednje čestine zdolca  $F_p$  i  $F_p'$  u 14<sup>h</sup> za 7 primorskih postaja. Te čestine imaju godišnji hod sličan kao i srednje čestine  $F_d$  i  $F_d'$  za zdoc/dolinski vjetar u unutrašnjo-

sti. Slični su i njihovi uzroci. Srednje čestine  $F_p'$  znatno su niže od srednjih čestina  $F_d'$  i  $F_z'$ . Na te čestine nejednaki interval naoblake i jačine vjetra za izabrane slučajeve nema većeg utjecaja, te navedeni odnosi između  $F_p'$  i  $F_z'$  ukazuju na to da je i na brdovitom dijelu jadranske obale u srednjaku zdoc slabije izražen od zmorca. Slično se vidi i u tablici 3: sve su čestine  $F_z'$  za zmorac veće od čestina  $F_p'$  za zdoc. Tako je pri tlu, ali na većoj visini, gdje je utjecaj termičkog kontrasta more-kopno slabiji, vjerojatno je suprotno.

Srednja čestina  $F_p'$  na slici 2 ima slabije izraženo povećanje u ljetnom polugodištu. U srpnju i kolovozu razlika između srednjih čestina  $F_p'$  i  $F_p$  naročito je smanjena. Očito zmorac djeluje kao nepovoljan faktor, jer je tada povećana srednja čestina zmorca  $F_z$ . Vrijedi i obrnuto: zdoc na primorju djeluje kao nepovoljan faktor za zmorac. Naime, u srpnju i kolovozu povećana je srednja čestina zdolca na primorju  $F_p$ , a smanjena razlika između srednjih čestina zmorca  $F_z'$  i  $F_z$ .

Postaje Dubrovnik, Bol, Kaštel Stari i Split aerodrom nalaze se na brdovitoj obali a ipak nemaju izrazitiji zdoc ili dolinski vjetar. Teško je sagledati sve uzroke toga, ali se ipak neki mogu naznačiti. Na moru ispred Dubrovnika nema većih i brojnih otoka, more je duboko, a postaja je i u horizontalnom i u vertikalnom smjeru blizu mora. Sve to ide u prilog obalnoj cirkulaciji a protiv planinske. Na postaji Bol veoma je jak utjecaj etezije tako da je i obalna cirkulacija u drugom planu. Postaja je također blizu mora. Zbog toga, na Bolu ima malo prostora za planinsku cirkulaciju. Postaje Kaštel Stari i Split aerodrom također se nalaze blizu mora. Konačno, u nižim slojevima utjecaj zmorca na primorju jači je od utjecaja zdolca. To može biti još jedan razlog zašto neke postaje u blizini brda nemaju zdoc/dolinski vjetar.

## 5. ZAKLJUČAK

Izneseni podaci pokazuju da se opisanim postupkom doista identificirao zdoc na brdovitoj obali

Jadrana, tj. da je pretpostavka o bitnoj razlici između zdozca i zmorca opravdana.

Srednji godišnji hodovi čestine za zgorac/gorski vjetar u unutrašnjosti i za kopnenjak na primorju znatnije se razlikuju samo u 21<sup>h</sup>. To ukazuje da te razlike nisu bitne. Stoga nije obavljena identifikacija zgorca/gorskog vjetra na brdovitoj jadranskoj obali pomoću tih razlika. Rješavanje će se prvo potražiti u prikladnijim uvjetima za izabrane slučajeve. Očekuje se da će se tada pokazati bitne razlike između kopnenjaka i zgorca/gorskog vjetra. Treba također poboljšati i postupak određivanja glavnog smjera vjetrova obalne i planinske cirkulacije.

U ovom radu ponovno se pokazalo da klimatološki podaci za 7, 14 i 21<sup>h</sup> mogu dati jasnu sliku o nekom procesu u atmosferi. Ne moraju ti podaci imati zadnju riječ; korisni su i onda kada dadu samo dobre preliminarne rezultate i dobro usmjere neko istraživanje. Nije im dakle mjesto u kutu ili na sporednom kolosijeku, što nažalost nije rijetkost. Što svijest o tome bude življa, bit će više pažnje prema kvaliteti klimatoloških podataka, različiti recepti za korištenje tih podataka bit će češći, duhovitiji i učinkovitiji, a ogromna masa klimatoloških podataka korisnija. Ako se od tih podataka više traži, više će se od njih i dobiti, a tada će biti i više spremnosti u njih i više uložiti.

**Zahvala:** Zahvaljujem dr. Branki Penzar na brojnim i veoma korisnim primjedbama. Također hvala i dipl. ing. Andriji Brataniću.

## 6. LITERATURA

- Atkinson B.W., 1981: Meso-scale atmospheric circulations. Academic Press, 495 pp.
- Banta R. M., L. D. Olivier, and D. H. Levinson, 1993: Evolution of the Monterey Bay sea-breeze layer as observed by pulsed Doppler lidar. *J. Atmos. Sci.*, **50**, 3959–3982.
- Gelo B. i suradnici, 1998: Višejezični pojmovnik meteorološkog nazivlja (rukopis). Zagreb.
- Lisac I., 1984: Vjetar u Zagrebu. *Geofizika*, Zagreb, **1**, 47–134.
- Lukšić I., 1968: Zmorac i kopnenjak u Sutivanu na otoku Braču. *Hidrografski godišnjak 1967*, Split, 125–136.
- Lukšić I., 1979: Lokalni vjetrovi i problem zagađenja u Sutivanu na otoku Braču. Konferencija o zaštiti Jadrana (druga knjiga), Hvar, 151–159.
- Lukšić I., 1989a: Dnevni periodički vjetrovi u Senju. *Geofizika*, Zagreb, **6**, 59–74.
- Lukšić I., 1989b: Preciznost klimatoloških podataka. *Rasprave*, Zagreb, **24**, 39–45.
- Lukšić I., 1991: Obalna cirkulacija u Sutivanu na otoku Braču. *Priroda* br. 8, Zagreb, 31–33.
- Lukšić I., 1995: Zmorac i kopnenjak u Govedarima na otoku Mljetu. *Hrvatski meteorološki časopis*, Zagreb, **30**, 39–53.
- Lukšić I., 1996: Zmorac i kopnenjak na Kornatima. *Hrvatski meteorološki časopis*, Zagreb, **31**, 103–119.
- Lukšić I., 1997: Kopnenjak i onečišćenje zraka u Sutivanu. *Prvi hrvatski znanstveno-stručni skup Zaštita zraka '97*, Priopćenja, Crikvenica, 467–471.
- Lukšić I., 1998: Zmorac, kopnenjak i naoblaka u Kaštelima. *Znanstveno-stručni kulturološki skup „Kaštela”*, Kaštela, (u pripremi za publiciranje).
- Mahrer Y., and R. A. Pielke, 1977: The effects of topography on sea and land breezes in a two-dimensional numerical model. *Mon. Wea. Rev.*, **105**, 1151–1162.
- Penzar B., 1963: Neki podaci o tipovima vremena uz istočnu obalu Jadrana. *Hidrografski godišnjak 1963*, Split, 111–157.
- Penzar I., 1977a: Sunčevo zračenje. *Radovi Geofizičkog zavoda*, Zagreb, **III/18**, 1–29.
- Penzar I., 1977b: Trajanje insolacije. *Radovi Geofizičkog zavoda*, Zagreb, **III/18**, 61–77.
- Poje D., 1959: Neke razlike između meteoroloških elemenata na visinskom opservatoriju Sljeme i slobodne atmosfere nad Zagrebom. *Rasprave i prikazi*, Zagreb, **4**, 103–120.
- Poje D., 1974: Einige Merkmale des Einflusses des Gebirges Medvednica auf das Windregime. *Zbornik meteoroloških i hidroloških radova*, Beograd, **5**, 259–265.
- Poje D., 1982: Prilog proučavanju lokalnih vjetrova na području Zagreba. *Zbornik meteoroloških i hidroloških radova*, Beograd, **8**, 33–43.
- Simpson J. E., 1994: Sea breeze and local winds. University Press, Cambridge, 234 pp.
- Stipaničić V., 1977: Temperatura zraka i mora u primorju istočne obale Jadrana. *Hidrografski godišnjak 1975*, 57–65.
- Šegota T. i A. Filipčić, 1996: Klimatologija za geografe. Zagreb, 471 pp.
- Zore-Armanda M., 1978: Temperatura mora. *Prilozi poznavanju vremena i klime SFRJ*, Savezni hidrometeorološki zavod, Beograd, **4**, 103–138.