

Dnevni periodički vjetrovi u Senju

Ivo Lukšić

Republički hidrometeorološki zavod SR Hrvatske, Zagreb

Primljeno 16. prosinca 1988, u konačnom obliku 21. travnja 1989.

Česta bura u Senju ostavlja manje vremena za dnevne periodičke vjetrove. Ipak, u Senju se pojavljuje neobično mnogo vrsta tih vjetrova: zmorac i kopnenjak, uzlazni i silazni vjetar obronka te dolinski i planinski vjetar. Zmorac se javlja s uzlaznim vjetrom obronka kao jugozapadnjak ili s dolinskim vjetrom kao sjeverozapadnjak, a kopnenjak s planinskim vjetrom i slabom burom kao jugoistočnjak ili sa silaznim vjetrom obronka kao slab sjeveroistočnjak. Tako komplicirana situacija posljedica je djelovanja mora, kopna, obronka, doline i prijevoja Vratnik na lokalnu cirkulaciju zraka. Redoslijed djelovanja tih faktora izmjenjuje se tijekom dana tako da vjetar skreće suprotno kazaljci na satu.

U srpnju je u Senju izrazit još i utjecaj tzv. zaljevske cirkulacije, koja nastaje zato što se zrak u morskom zaljevu između Istre i Hrvatskog primorja danju jače ugrije, a noću jače ohladi od zraka na jugu izvan tog zaljeva. Zaljevska cirkulacija u Senju pri tlu danju ima SSE smjer vjetra, a noću NNW smjer vjetra.

Na osnovi nekih općih osobina obalne i planinske cirkulacije razrađena je metoda procjene prevladavajuće cirkulacije u prije navedenim kombinacijama. Također je izrađena i metoda provjere te procjene.

Diurnal winds at Senj

The frequent bora in Senj leaves less time for diurnal periodic winds development. Nevertheless there exist several wind systems with a diurnal period. They are pronounced especially on the undisturbed days, when the particular branches of the systems are exchanging or superimposing such as: the sea and land breezes, the upslope and downslope wind, the valley and the mountain wind. All of these diurnal periodic wind systems exist in Senj as a consequence of the sea, land, mountain slope and valley influence (Fig. 1). The order of influence of the mentioned factors is exchanging during a day causing the counterclockwise change of wind direction, which is unusual on the Adriatic coast.

Several approaches were applied in the study of diurnal winds in Senj:

A) A choice of days was made, on the basis of the following criteria: insolation ≥ 12.0 hours, cloudiness in all of the terms $< 2/10$, the average hourly wind velocity < 5.0 m/s, and finally the diurnal air pressure amplitude < 4.0 hPa. Only 30 days could fulfill such rigorous criteria during the 1959-1967 time interval in Senj. All of the selected days fall within four warm months between May and August.

On the basis of the wind hodograph (Fig. 2) and the diurnal course of the wind direction frequencies (Fig. 3) for the selected days, the following can be concluded:

- during night-time the wind from SE quadrant (called here SE wind) is prevailing; it is the combination of the land breeze, the mountain wind blowing from Senjska draga valley and also of the weak bora wind,

- early in the morning the weak wind from NE quadrant (NE wind) prevails, which consists of the downslope wind and the land breeze,
- later during the morning the wind from NW quadrant (NW wind) develops, which is the combination of the sea breeze and the valley wind,
- in the middle of a day the wind from SW quadrant (SW wind) prevails as a combination of the sea breeze and the upslope wind.

In the selected days the diurnal winds are developed over the broader area of Senj as well (Tab. 1 and 2).

B) The diurnal and annual frequency distribution of SE, NE, NW and SW wind in all days of time interval 1966-1975 is satisfactorily presented by the isolines on Figs. 6-9. An obvious and unexpected decrease of the SE, NE, NW and SW wind frequencies can be found in July. It is the consequence of the diurnal periodic circulation system of a bigger scale, named here as the bay circulation. The bay circulation develops in the bay east from Istra peninsula. The sea/land breeze and the mountain circulation on the coast of the bay together with the significant island area (Fig. 5) increase the air temperature in the bay with respect to the air temperature south of it during daytime and reduced it in the night. The bay circulation develops in such a way that lower air layer moves from south towards the bay around the middle of a day and in the opposite direction at night. The bay circulation in Senj has a direction parallel to the coast - SSE during daytime and NNW at night. The favourable conditions for the bay circulation in July (Tab. 3) result in the frequency reduction of SE, NE, NW and SW winds in that month.

C) According to some general properties of the sea/land breeze and mountain circulation, a method has been developed for estimation of the prevailing circulation branch in the SE, NE, NW and SW wind. Daily branches of sea/land breeze and mountain circulation have the opposite properties: the sea breeze is more frequent in April than in October, and the upslope and valley wind is more frequent in October than in April. The night branches have just the opposite characteristics too: the land breeze is more frequent in October than in April, but the downslope wind and mountain wind is more frequent in April than in October.

The mentioned features of the sea/land breeze circulation are explained by the warmer land in April and warmer sea in October. The opposite features of the mountain circulation result from more often snow cover in mountains in April, and by heating of the deeper ground layers in April and their cooling in October.

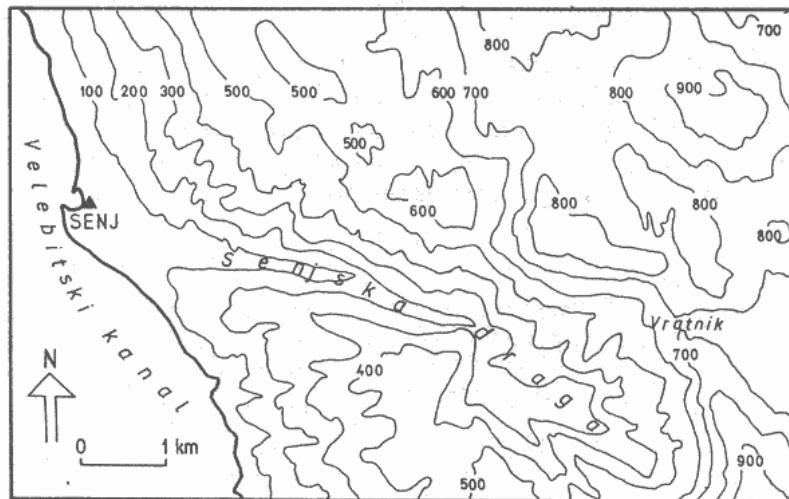
The estimation method consists in finding out whether the SE, NE, NW and SW wind is more frequent in April or in October according to Figs. 6-9, i.e. is a particular wind behaving as a branch belonging to the sea/land breeze or to the mountain circulation.

The results of the estimation method should be tested. For that purpose two extreme groups of 10 selected days were separated. In the first of these the $R - O$ value is increased, and in the second one it is decreased. R is the true diurnal air temperature average for the sea station Rab, and O is the same temperature for the land station Ogulin (Fig. 5). The greater difference $R - O$ means that the selected day is favourable for the land breeze and for the bora wind. If the difference $R - O$ is smaller, the selected day is favourable for the sea breeze. The test consists in finding out if the SE, NE, NW and SW wind is more frequent in the selected days favourable for the land breeze and bora or in the selected days favourable for the sea breeze, i.e. whether the SE, NE, NW and SW wind behaves as the land breeze and bora or as the sea breeze.

The estimation results are not good in the case of SE, NE and NW wind. The main cause is in the bora influence on the frequencies according to Figs. 6-8. The test results are completely acceptable and it can be concluded: in the SE wind the mountain wind prevails, the land breeze prevails in the NE wind, the valley wind prevails in the NW wind and the sea breeze prevails in the SW wind.

1. Uvod

U toplom dijelu godine za lijepa vremena na Jadranu danju često puše vjetar s mora (zmorac), a noću vjetar s kopna (kopnenjak). Ta dva vjetra mogu se izmjenjivati danima. U Senju je međutim bura toliko česta da joj čak u lipnju, kada je ima najmanje, pripada 23% ukupnog vremena (Lukšić, 1975). Česta bura ostavlja manje vremena za obalnu cirkulaciju. U danima povoljnim za tu cirkulaciju u Senju se također mogu, zbog blizine obronka i doline Senjska draga (slika 1), očekivati i komponente planinske cirkulacije: uzlazni vjetar obronka, silazni vjetar obronka, dolinski vjetar i planinski vjetar (Defant, 1951). Očito režim dnevnih periodičkih vjetrova u Senju ne može biti jednostavan.



Slika 1. Senj i bliža okolica; izohipse su u metrima
Figure 1. Senj and its near-surroundings; isohypses are in metres

Nekoliko autora osvrće se na dnevne periodičke vjetrove Senja ili Hrvatskog primorja (Makjanić, 1966; Penzar, 1977; Katušin, 1978; Penzar i dr., 1978; Orlić i dr., 1988).

2. Izbor dana s dnevnim periodičkim vjetrovima u Senju

Zbog bure, složenih topografskih osobina senjskog područja te slabog poznavanja osobina dnevnih periodičkih vjetrova u Senju, prvi korak u ovom radu je izbor dana s vrlo povoljnim prilikama za razvoj takvih vjetrova.

U izabranim danima mora biti što veći utjecaj danjeg zagrijavanja i noćnog hlađenja, a što manji utjecaj bure i sinoptičkih poremećaja. Stoga izabrani dani zadovoljavaju ove uvjete u Senju:

- a) dnevni zbroj trajanja sijanja Sunca iznosi barem 12.0 sati,
- b) naoblaka u svim terminima motrenja na stanici Senj, tj. u 7, 10, 13, 14, 16, 19 i 21^h, nije veća od 2 desetine neba,
- c) sve 24 srednje satne brzine vjetra manje su od 5.0 m/s,
- d) dnevna amplituda tlaka zraka manja je od 4.0 hPa.

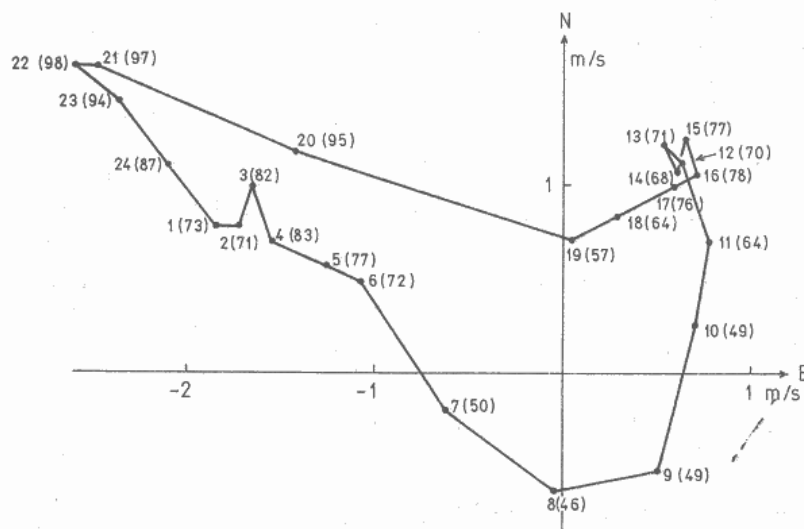
Uvjeti su strogi, jer ih zadovoljava samo 30 dana u razmatranom razdoblju 1959-1967. Svibnju pripada 5 izabranih dana, lipnju 3, srpnju 14, a kolovozu 8 izabranih dana. Takva je razdioba čestine izabranih dana po mjesecima prihvatljiva, jer su prilike za dnevne periodičke vjetrove na Jadranu najpovoljnije u srpnju i kolovozu.

Za 14 od ukupnog broja izabranih dana može se odrediti tip vremena za sjeverni Jadran prema kalendaru tipova vremena za razdoblje 1949-1962 (Penzar, 1963). Od toga 6 dana pripada H tipu, 1 dan H_r tipu, 1 dan F tipu, a 2 dana F_a tipu vremena. Svi ti tipovi vremena su u toplom dijelu godine povoljni za dnevne periodičke vjetrove.

Razdoblje 1959-1967. uzeto je zbog raspoloživosti podataka heliografa u Senju i pilotbalonskih podataka za Pulu.

3. Vjetar u izabranim danima u Senju

Na slici 2 ucrtani su završeci vektorskih srednjaka vjetra za sve sate izabranih dana. Vektorski srednjak vjetra izračunao se iz satnih vrijednosti vjetra prema anemografu. Taj srednjak se odnosi na jednosatni interval između dva puna sata a pridružen je punom satu na kraju intervala. Takvo pridruživanje primjenjuje se u ovom radu na sve podatke dobivene iz satnih vrijednosti vjetra prema anemografu.



Slika 2. Hodograf vektorskog srednjaka vjetra za izabrane dane, Senj, 1959-1967; u zagradi je upisana stalnost vektorskog srednjaka u %

Figure 2. Hodograph of the average wind vector calculated for the selected days, Senj, 1959-1967; the wind steadiness in % is given within the parentheses

Smjer vektorskog srednjaka vjetra od 20 do 6^h je unutar SE kvadranta (slika 2). Tada u izabranim danima izrazito prevladava vjetar ESE, SE ili SSE smjera. Taj vjetar naziva se SE vjetrom u daljnjem tekstu. SE vjetar puše od kopna i Senjske drage prema toplijem moru, te je u njemu sadržan kopnenjak i planinski vjetar. Osim toga, u SE vjetru ponekad ima i slabe bure. Naime, ako gornja granica hladnog zraka u unutrašnjosti tek neznatno nadvisuje prijevoj Vratnik, preko njega se prelijeva glavina hladnog zraka i Senjskom dragom pristiže u Senj kao slaba bura iz SE kvadranta. Prema tome, SE vjetar

može biti posljedica triju uzroka. Kad je pak vertikalni domet hladnog zraka u unutrašnjosti osjetno viši od prijevoja Vratnik, glavina tog zraka pristiže u Senj kao bura iz ENE ili E smjera. To je ona poznata senjska bura.

Manji vertikalni domet bure iz SE kvadranta uvjetuje manji horizontalni domet, odnosno manje brzine te bure. Takva se bura često pojavljuje poslije slabljenja, odnosno prije jačanja bure iz ENE ili E smjera. Tako je bilo 10. I 1981. g. Tog dana između 6 i 7^h bura je u Senju imala srednju brzinu 16.3 m/s i smjer ENE. Nakon toga se srednja brzina bure smanjivala, da bi između 10 i 11^h uz smjer ESE iznosila 10.9 m/s. Zatim je srednja brzina bure uglavnom rasla, da bi između 18 i 19^h iznosila 13.9 m/s uz smjer ENE. Tog dana između 10 i 11^h na Rijeci je srednja brzina vjetra bila 2.2 m/s uz smjer NNW, a u 10^h na Rabu jačina vjetra bila je 1 B uz smjer NNW. U Zagrebu između 10 i 11^h nije bilo sjeveroistočnog vjetra karakterističnog za izrazitu buru na Hrvatskom primorju. Na tom području bure je tada dakle moglo biti samo uz obalu, gdje je planinska prepreka dovoljno niska, tj. na području Senja i Kraljevice.

U 7 i 8^h izabranih dana u vektorskom srednjaku vjetra prevladava sjeveroistočnjak. Taj vjetar male brzine i čestine puše s obronka i kopna prema toplijem moru. To je dakle kombinacija silaznog vjetra obronka i kopnenjaka. U daljnjem tekstu taj vjetar naziva se NE vjetrom. To je vjetar prijelaznog dijela dana, kada utjecaj SE vjetra zbog danjeg zagrijavanja zraka slabi, a utjecaj vjetrova toplog dijela dana raste.

U 9^h izabranih dana prevladava slab sjeverozapadnjak. To je vjetar s mora prema toplijem kopnu i Senjskoj dragi. Taj je vjetar kombinacija zmorca i dolinskog vjetra. U daljnjem tekstu naziva se NW vjetrom.

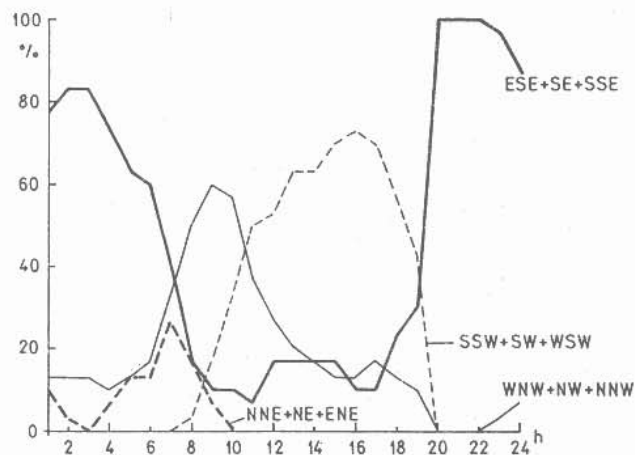
Od 10 do 19^h u izabranim danima prevlast ima jugozapadnjak. To je vjetar od mora prema toplijem kopnu i obronku. On je kombinacija zmorca i uzlaznog vjetra obronka. U daljnjem tekstu naziva se SW vjetrom. Taj vjetar po čestini i brzini dolazi na drugo mjesto u izabranim danima, tj. iza SE vjetra.

Zbog velikog broja različitih utjecaja, promjena smjera vjetra kao na slici 2 potpuno je ostvarena samo u 12 izabranih dana. U preostalim izabranim danima najčešće nedostaje NE vjetar.

Približnu čestinu SE, NE, NW i SW vjetra pokazuje slika 3. SE vjetar najčešći je u 20, 21 i 22^h. Tada se javljaju samo smjerovi vjetra ESE, SE ili SSE.

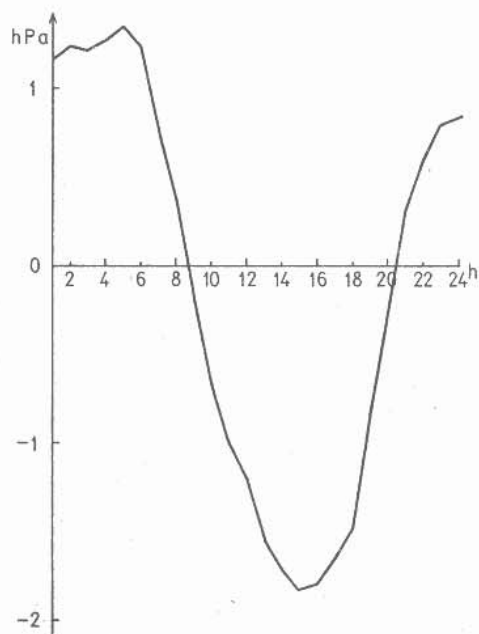
NE vjetar najčešći je u 7^h, jer je to najpovoljnije vrijeme s obzirom na SE i NW vjetar. Osim toga, početak zagrijavanja smanjuje tada stabilnost atmosfere pri tlu, što je donekle povoljno za NE vjetar, odnosno za popratno spuštanje zraka niz obronak. Čestina NE vjetra tada je ipak manja od čestine SE ili NW vjetra. Prevladavanje NE vjetra u vektorskom srednjaku vjetra moguće je zbog međusobnog poništavanja utjecaja SE i NW vjetra.

Čestina NW vjetra najveća je u 9^h, tj. na početku toplijeg dijela dana, dok u najtoplijem dijelu dana prevladava SW vjetar. Razlog može biti jači utjecaj najbliže okolice (pružanje obale prema NNE, Senjska draga) na početku toplijeg dijela dana, a šire okolice (pružanje obale prema NW, jugozapadni obronci dinarskog lanca) u najtoplijem dijelu dana. Osim toga, veća stabilnost atmosfere na početku toplijeg dijela dana može biti nepovoljna za SW vjetar, odnosno za popratno dizanje zraka uz obronak. Čestina NW vjetra ponovno se povećava u 17^h.



Slika 3. Dnevni hod suma relativnih čestina naznačenih smjerova vjetra za izabrane dane, Senj, 1959-1967
 Figure 3. Daily run of the relative frequency sums of denoted wind directions for selected days, Senj, 1959-1967

Srednja razlika između tlaka zraka Ogulina i Raba u izabranim danima ima maksimum u 5^h, a minimum u 15^h (slika 4). Ta razlika ne može djelovati na strujanje zraka između Ogulina i Raba, jer se tu uzdiže planinska prepreka visoka oko 1000 m. Ipak, ta



Slika 4. Dnevni hod srednje razlike tlaka zraka između Ogulina i Raba za izabrane dane, 1959-1967; tlak zraka je reduciran na razinu mora
 Figure 4. Average daily run of the air pressure difference between Ogulin and Rab calculated for selected days, Senj, 1959-1967; air pressure is reduced to the sea level

razlika je približan pokazatelj odnosa između tlaka zraka kopnene i morske stanice u izabranim danima na tom području. Naime, povećana razlika od 21 do 8^h može se dovesti u vezu sa SE i NE vjetrom, a smanjena od 9 do 19^h s NW i SW vjetrom.

Pri jednostavnim topografskim i meteorološkim uvjetima smjer vjetra na obalnim stanicama tijekom dana skreće u smislu kazaljke na satu. Vektorski srednjak vjetra na slici 2 skreće međutim suprotno od kazaljke na satu. To skretanje određeno je redoslijedom pojavljivanja SE, NE, NW i SW vjetra, odnosno redoslijedom pojavljivanja njihovih uzroka. Na skretanje vjetra suprotno od kazaljke na satu i složenost situacije u Senju upozorili su Orlić i dr. (1988). U istom smislu skreće i vjetar u Sutivanu na otoku Braču, gdje djeluju dva sustava obalne cirkulacije (Lukšić, 1979).

4. Vjetar u izabranim danima na širem području oko Senja

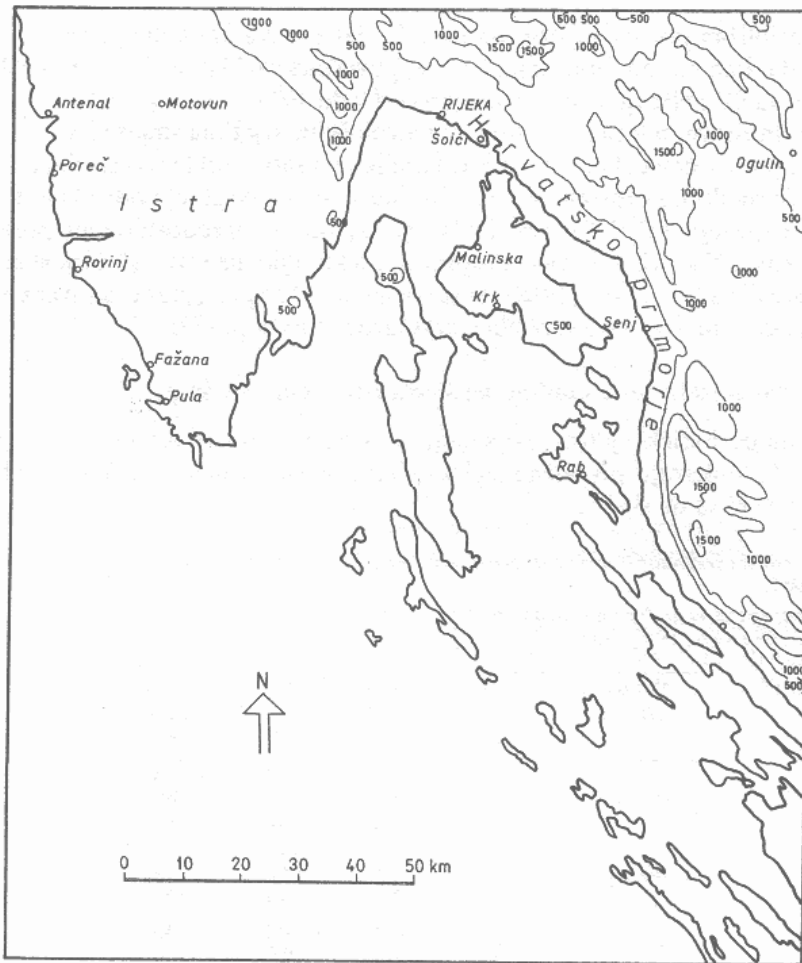
Dnevni periodički vjetrovi pojavljuju se u izabranim danima i na širem području oko Senja. To pokazuju promjene smjera vjetra na stanicama u tablici 1. Položaji tih stanica označeni su na slici 5.

Tablica 1. Vektorski srednjaci vjetra za izabrane dane na obalnim stanicama šireg područja oko Senja, 1959-1967.

Table 1. Average wind vector on the coastal stations situated in the broader area of Senj, calculated for the selected days, 1959-1967.

stanica station	termin time (h)	modul modulus (m/s)	smjer direction (°)	stalnost steadiness (%)
Poreč	7	1.2	90	55
	14	3.3	241	69
	21	1.2	102	71
Rovinj	7	0.3	145	75
	14	0.5	292	33
	21	0.2	114	100
Fažana	7	0.4	109	40
	14	1.6	252	62
	21	0.7	79	78
Pula	7	0.9	98	75
	14	0.9	219	32
	21	0.3	87	33
Krk	7	0.4	356	57
	14	0.9	177	82
	21	0.9	353	90
Malinska	7	0.1	250	12
	14	0.9	331	56
	21	0.6	125	75
Rijeka	7	0.6	37	86
	14	1.1	220	92
	21	0.7	27	88

Vertikalni domet kopnenjaka i zmorca u izabranim danima iznad Pule pokazuje tablica 2. Vrijednosti su dobivene iz pilotbalonskih podataka za 28 izabranih dana. Sjeveroistočni kopnenjak uopće ne dopire do visine 500 m. Na toj visini u 13^h vrijednosti modula i stalnosti su smanjene, a promjena smjera je značajna. To pokazuje da je u blizini te visine gornja granica jugozapadnog zmorca. Na visini 1000 m prevladava opće zapadno strujanje.



Slika 5. Šire područje Senja s označenim stanicama čiji podaci su uzeti u obzir; izohipse su u metrima.
 Figure 5. The broader area of Senj with stations supplying the data used in the study; isohypses are in metres

Tablica 2. Vektorski srednjaci vjetra iznad Pule za izabrane dane, 1959-1967.

Table 2. Average wind vector on different heights over Pula calculated for the selected days, 1959-1967.

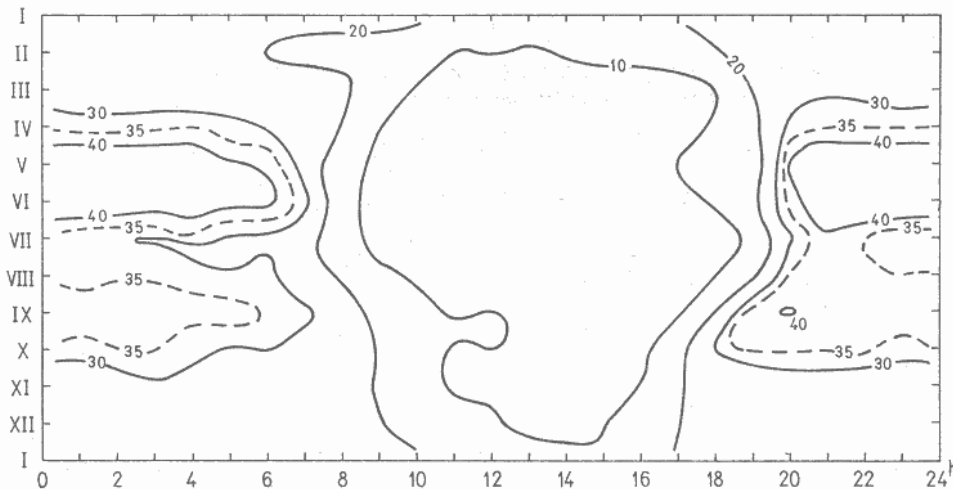
visina height (m)	1 ^h			13 ^h		
	modul modulus (m/s)	smjer direction (°)	stalnost steadiness (%)	modul modulus (m/s)	smjer direction (°)	stalnost steadiness (%)
tlo	0.9	62	56	1.8	231	62
500	1.6	236	47	1.5	197	52
1000	2.1	258	62	2.0	233	64
1500	3.4	275	76	3.5	239	80
2000	4.1	271	80	4.3	249	80
2500	4.1	276	76	5.2	255	84
3000	4.7	278	73	5.3	261	83

5. Čestina SE, NE, NW i SW vjetra u svim danima

Informacije o čestini SE, NE, NW i SW vjetra u svim danima mogu pružiti mjerodavni predstavnici tih vjetrova u tim danima. Takav predstavnik SE vjetra je vjetar ESE ili SE smjera i brzine 0.3–5.4 m/s, predstavnik NE vjetra je vjetar NNE, NE ili ENE smjera i brzine 0.3–1.5 m/s, predstavnik NW vjetra je vjetar NW ili NNW smjera i brzine 0.3–3.3 m/s, a predstavnik SW vjetra je vjetar SSW ili SW smjera i brzine 0.3–3.3 m/s. Navedeni intervali brzine djelomice su uvjetovani zatečenim grupiranjem podataka u osnovnoj obradi.

Dnevne promjene čestine SE, NE, NW i SW vjetra na slici 3 pripadaju toplom dijelu godine. Te promjene veoma su slične dnevnim promjenama čestine odgovarajućeg predstavnika u istom dijelu godine na slikama 6-9:

– čestina SE vjetra i njegovog predstavnika povećava se u hladnom dijelu dana (slika 3 i 6),



Slika 6. Izoplete relativne čestine (%) vjetra ESE ili SE smjera i brzine 0.3–5.4 m/s prema podacima anemografa, Senj, 1966-1975; postoci su računani prema ukupnom broju raspoloživih podataka u dotičnom satu i mjesecu

Figure 6. Isopleths of the relative frequency (%) for the ESE or SE wind direction in the 0.3–5.4 m/s velocity interval according to anemograph data, Senj, 1966-1975; percentages were calculated according to the total number of wind data available in a particular hour and month

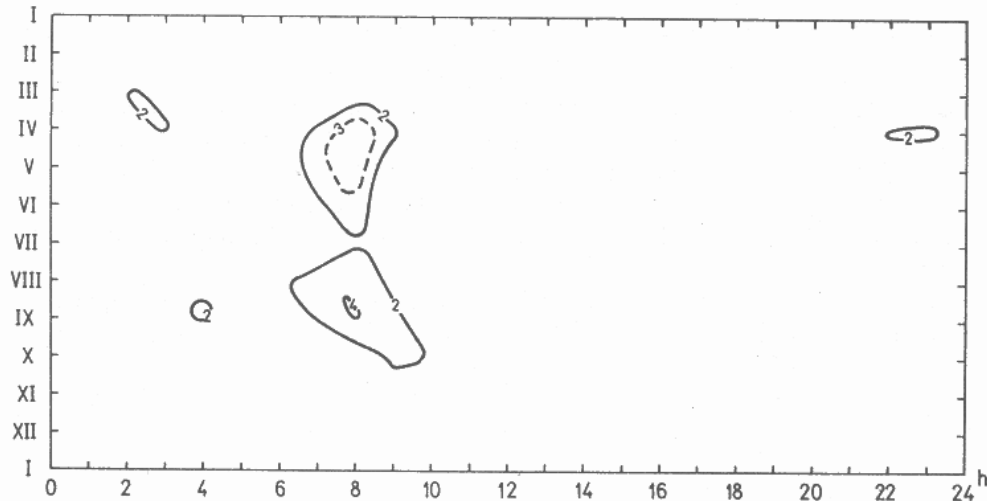
– čestina predstavnika NE vjetra prema slici 7 povećava se oko 8^h; NE vjetar prema slici 3 najčešći je sat ranije, zbog jačeg danjeg zagrijavanja u izabranim danima, odnosno ranijeg iščezavanja noćnih uvjeta i NE vjetra,

– čestina NW vjetra i njegovog predstavnika povećava se oko 9^h i kasno poslijepodne (slika 3 i 8),

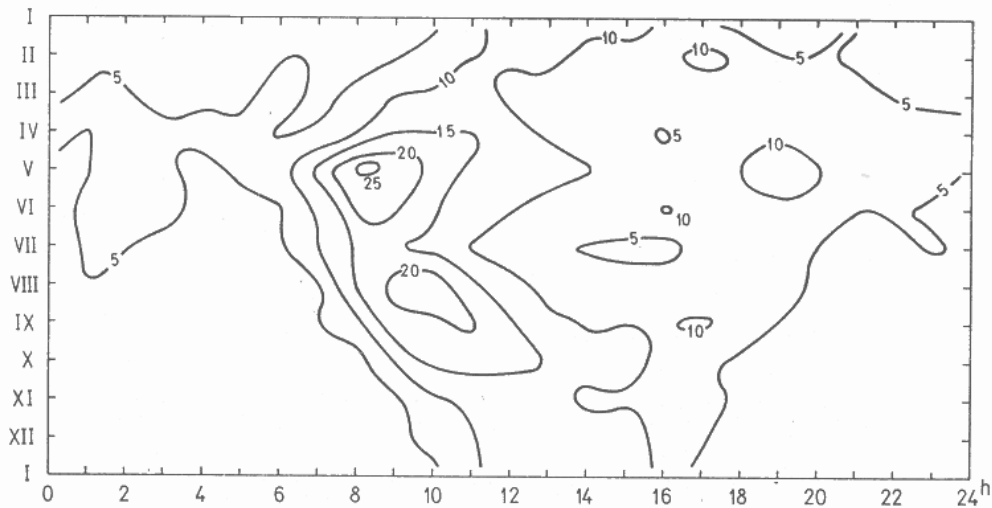
– SW vjetar i njegov predstavnik najčešći su poslijepodne (slika 3 i 9).

Najveća čestina predstavnika SE, NE, NW i SW vjetra pada u topli dio godine (slike 6-9).

Navedene činjenice pokazuju da slike 6-9 prikazuju čestinu mjerodavnih predstavnika SE, NE, NW ili SW vjetra. Stoga će se te slike, uz stanovit oprez, koristiti kao da prikazuju čestinu SE, NE, NW ili SW vjetra.



Slika 7. Isto kao na slici 6, ali za vjetar NNE, NE ili ENE smjera i brzine 0.3–1.5 m/s
 Figure 7. The same as figure 6 but for NNE, NE or ENE wind direction and 0.3–1.5 m/s velocity interval

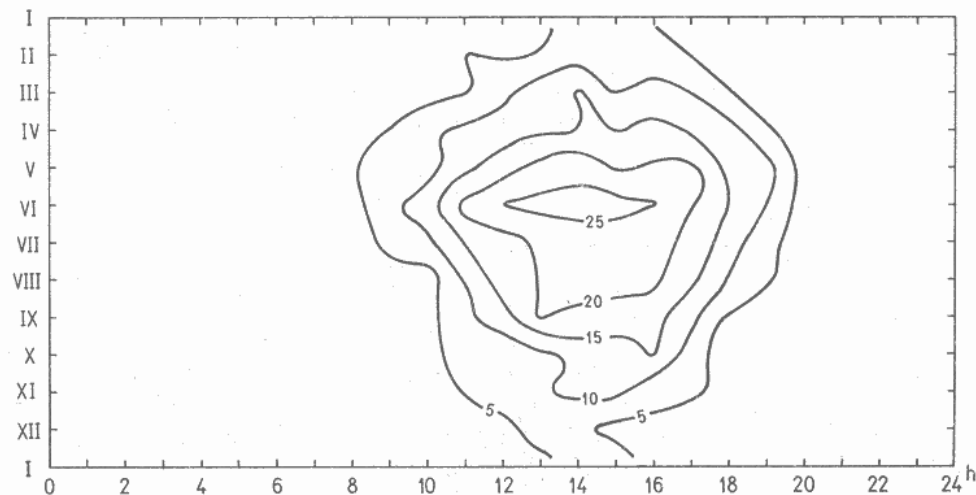


Slika 8. Isto kao na slici 6, ali za vjetar NW ili NNW smjera i brzine 0.3–3.3 m/s
 Figure 8. The same as figure 6 but for NW or NNW wind direction and 0.3–3.3 m/s velocity interval

Već na prvi pogled iz slika 6-9 vidi se da je odnos čestina SE, NE, NW i SW vjetra u svim danima sličan kao i u izabranim danima: najčešći je SE vjetar, a najrjeđi NE vjetar. Također se vidi da je SE, NW i SW vjetar u svim danima povoljnog dijela godine čest s obzirom na veliku čestinu bure u Senju.

Iznenaduje smanjenje čestine SE, NE, NW ili SW vjetra u srpnju prema slikama 6-9. Stoga se pojavila sumnja da bi to smanjenje moglo biti posljedica jačanja SE, NE, NW i SW vjetra u tom mjesecu, tj. češćeg izlaska brzine tog vjetra iz intervala koji je određen za njegova predstavnika. Međutim, osnovni podaci vjetra pokazuju da ta sum-

nja nije opravdana. Osim toga, smanjenje čestine SW vjetra u srpnju prema slici 9 slaže se s tvrdnjom Makjanića (1966) da je u Senju zmorac najčešći u lipnju.



Slika 9. Isto kao na slici 6, ali za vjetar SSW ili SW smjera i brzine 0.3–3.3 m/s

Figure 9. The same as figure 6 but for SSW or SW wind direction and 0.3–3.3 m/s velocity interval

U čestini bure, naoblaci, trajanju sisanja Sunca, temperaturi zraka i temperaturi mora za stanicu Senj nije nađeno objašnjenje smanjenja čestine SE, NE, NW i SW vjetra u srpnju.

Objašnjenje je utjecaj morskog zaljeva između Istre i Hrvatskog primorja. Obalna i planinska cirkulacija na obalama tog zaljeva te otoci, koji pokrivaju velik dio tog zaljeva, danju povećavaju, a noću smanjuju temperaturu zraka u zaljevu u odnosu na temperaturu zraka južno od njega. Zbog toga se uspostavlja cirkulacija zraka koji se u donjem dijelu giba danju od juga prema zaljevu, a noću u suprotnom smjeru. Ta se cirkulacija u daljnjem tekstu naziva zaljevskom cirkulacijom. U radu B. Penzar i dr. (1978) na slici 40 vidi se potpuno razvijena danja grana zaljevske cirkulacije u 14^h i početna faza noćne grane u 21^h u kojoj je izraženo gomilanje hladnijeg zraka u zaljevu. U Senju je zaljevska cirkulacija paralelna s obalom, tj. ona danju ima SSE, a noću NNW smjer.

Zaljevska cirkulacija u Senju je češća u srpnju nego u lipnju ili kolovozu. To pokazuje povećanje čestine SSE smjera vjetra sredinom dana i NNW smjera vjetra sredinom noći u srpnju (tablica 3). Zbog toga u srpnju ostaje manje vremena za SE, NE, NW i SW vjetar.

Utjecaj zaljevske cirkulacije trebao bi doći do izražaja i u izabranim danima, to više što je u tim danima bilo dnevnih periodičkih vjetrova i na širem području oko Senja. Zaista, na slici 2 vide se u 1, 2 i 14^h promjene smjera, modula i stalnosti vektorskog srednjaka vjetra, koje se mogu objasniti češćim NNW smjerom vjetra u 1 i 2^h te češćim SSE smjerom vjetra u 14^h. Uostalom, povećanje čestine vjetra iz NW kvadranta sredinom noći i vjetra iz SE kvadranta sredinom dana u izabranim danima vidi se na slici 3.

Obratimo pažnju na dnevni hod čestine SE, NE, NW i SW vjetra zimi. Čestina SE, NW i SW vjetra tada ima slabije izražen dnevni hod, dok NE vjetra praktički i nema (slike

6-9). NW vjetar najčešći je sredinom toplog dijela dana, kada je češći od SW vjetra. Takav je odnos između NW i SW vjetra i u jutarnjim satima izabranih dana. Inače, u najpovoljnijim danjima uvjetima za dnevne periodičke vjetrove SW vjetar je češći od NW vjetra.

Tablica 3. Srednje relativne čestine (%) vjetra SSE i NNW smjera i brzine 0.3—3.3 m/s u lipnju, srpnju i kolovozu prema anemografu u Senju, 1966-1975.

Table 3. Average relative frequencies (%) of the wind from SSE and NNW direction in the velocity interval 0.3—3.3 m/s in June, July and August, according to anemograph data, Senj, 1966-1975.

dio dana part of a day	SSE			NNW		
	VI	VII	VIII	VI	VII	VIII
11-15 ^h	83	95	75	42	23	56
22-02 ^h	13	10	6	42	48	32

SE i NW vjetar nisu uvijek dobro predstavljeni na slici 6 odnosno 8. U toplom dijelu dana čestina predstavnika SE vjetra trebala bi približno biti 0%. Međutim nije, zbog slabe bure iz SE kvadranta, juga ili zaljevske cirkulacije. Osobito je u siječnju ta čestina povećana, vjerojatno zbog slabe bure iz SE kvadranta. Prema tome, čestina na slici 6 u toplom dijelu dana uopće ne predstavlja čestinu SE vjetra.

Proljetno povećanje čestine u hladnom dijelu dana na slici 8 upućuje na češću zaljevsku cirkulaciju. To može biti zbog veće čestine noćne grane planinske cirkulacije u zaljevu. Ta grana u proljeće ima pogodnosti. O tome se raspravlja u narednom poglavlju. Povećana čestina u srpnju u 1 i 2^h na slici 8 u vezi je sa češćom zaljevskom cirkulacijom u tom mjesecu. Prema tome, u proljeće i ljeto čestina u hladnom dijelu dana na slici 8 uopće se ne odnosi na NW vjetar.

6. Doprinos pojedinih dnevnih periodičkih vjetrova u SE, NE, NW i SW vjetru

U ovom poglavlju procijenit će se odnosi doprinosa pojedinih grana dnevnih periodičkih vjetrova u SE, NE, NW i SW vjetru u Senju. Procjena se temelji na nekim rezultatima proučavanja dnevnih periodičkih vjetrova u našim krajevima i u Alpama. Ti će se rezultati ukratko opisati i objasniti.

Anemografski podaci Šoića kod Bakra pokazuju da vjetar s mora u proljeće traje duže nego u jesen, dok vjetar s kopna u jesen traje duže nego u proljeće (Katušin, 1978). Uzrok je brže zagrijavanje i hlađenje kopna od mora. Stoga je kopno u proljeće prosječno toplije od mora, a u jesen prosječno hladnije od mora. To se na izvjestan način slikovito vidi u radu Stipaničića (1977). Zbog toga se zmorac u proljeće lakše uspostavlja i održava nego u jesen te je za zmorac proljeće povoljnije od jeseni. Suprotno vrijedi za kopnenjak.

Podaci Zagreba (Lisac, 1984, slika 14) upućuju na to da je za silazni vjetar obronka proljeće povoljnije od jeseni, a za uzlazni vjetar obronka jesen povoljnija od proljeća. Uzrok tome može biti veći utrošak sunčeve energije za topljenje snijega na planini u proljeće te češće jako noćno hlađenje planinskog zraka iznad snijega u proljeće. Osim toga, u proljeće se dio sunčeve energije troši na zagrijavanje dubljih slojeva tla, a u jesen priteče toplina iz dubljih slojeva tla. Razmjena topline između površine tla i dubljih slojeva tla osjetno može utjecati na temperaturu zraka iznad tla (Milosavljević, 1972).

Slično vrijedi za dolinski i planinski vjetar. Tako za stanicu Bucheben u alpskoj dolini suma čestina vjetrova koji pušu niz dolinu između 22 i 7^h u travnju iznosi 697% a u listopadu 678% (Steinhauser, 1966, izračunato iz tablice 4). Suprotno tome, suma čestina vjetrova koji pušu uz dolinu između 10 i 15^h u travnju iznosi samo 288%, a u listopadu 351%.

Razlike između travnja i listopada obično su izrazitije od razlika između proljeća i jeseni. Stoga se na temelju navedenih rezultata proučavanja može ovako zaključiti o danjim granama obalne i planinske cirkulacije: za zmorac je travanj povoljniji od listopada, dok za uzlazni vjetar obronka i dolinski vjetar vrijedi suprotno. O noćnim granama može se zaključiti: za kopnenjak je travanj manje povoljan od listopada, dok za silazni vjetar obronka i planinski vjetar opet vrijedi suprotno.

Upravo na tim suprotnim pogodnostima za obalnu i planinsku cirkulaciju može se temeljiti procjena udjela tih cirkulacija u smjerovima vjetra na nekoj stanici. Ta se procjena sastoji u ovome:

Treba odrediti smjerove vjetra kojima obalna i planinska cirkulacija značajno povećavaju čestinu. Neki od tih smjerova vjetra imaju veću čestinu danju. Ako je ta čestina u travnju veća nego u listopadu, u tom smjeru vjetra vjerojatno prevladava zmorac. U suprotnom slučaju u tom smjeru vjetra vjerojatno prevladava uzlazni vjetar obronka ili dolinski vjetar, zavisno o obliku terena oko stanice. Drugi smjerovi vjetra imaju veću čestinu noću. Ako je ta čestina u travnju veća nego u listopadu, u tom smjeru vjetra vjerojatno prevladava, zavisno o obliku terena, silazni vjetar obronka ili planinski vjetar. U suprotnom slučaju u tom smjeru vjetra vjerojatno prevladava kopnenjak.

Procjena će se primijeniti na već pripremljene podatke za Senj, tj. na čestine predstavnika SE, NE, NW i SW vjetra u travnju i listopadu prema slikama 6-9, i to za dio dana u kojem pojedini vjetar prevladava na slici 2. U tom slučaju procjena se primjenjuje dakle na sumu čestina više smjerova vjetra određenih brzina. Pri procjeni treba imati u vidu da je bura u listopadu češća nego u travnju (Lukšić, 1975, tablica 1), jer razlika temperature kopno-more djeluje na buru kao i na kopnenjak. Stoga čestina SE vjetra u listopadu može biti povećana i zbog doprinosa slabe bure u tom vjetru.

Od 20 do 6^h na slici 6 čestine su u travnju i listopadu približno jednake. Na osnovi takvog odnosa čestina procjenjuje se da je u SE vjetru zajednički doprinos kopnenjaka i slabe bure približno jednak doprinosu planinskog vjetra.

U 7 i 8^h na slici 7 čestina u travnju je veća nego u listopadu. Takav odnos čestina upućuje na to da je u NE vjetru, koji pripada noćnoj situaciji ili njenom kratkotrajnom produžetku ujutro, utjecaj silaznog vjetra obronka veći od utjecaja kopnenjaka.

U 9^h na slici 8 čestina je u travnju veća nego u listopadu. Takve čestine upućuju na to da je doprinos zmorca u NW vjetru veći od doprinosa dolinskog vjetra.

Od 10 do 19^h čestina na slici 9 u travnju je veća nego u listopadu. Na osnovi toga procjenjuje se da je doprinos zmorca u SW vjetru veći od doprinosa uzlaznog vjetra obronka.

Opisana procjena temelji se na nekim osobinama vjetra u Šoićima, Zagrebu i Buchebenu. To nisu izuzetne osobine, jer su prisutne na nekim stanicama širom svijeta (Atkinson, 1981, tablice 13, 16a, 16b i 29). Takve osobine ima i stanica Antenal na ušću rijeke Mirne u Istri. Tamo je jugozapadni zmorac u travnju češći nego u listopadu, a sjeveroistočni kopnenjak je u listopadu češći nego u travnju. Duboko u unutrašnjosti Istre, u doli-

ni Mirne, na stanici Motovun zapadni dolinski vjetar u listopadu je češći nego u travnju, a istočni planinski vjetar u travnju je češći nego u listopadu.

Te osobine u našim krajevima i Alpama objašnjene su utjecajima koji mogu biti prisutni i u Senju. Zbog toga su te osobine moguće i u Senju. Međutim, u Senju može biti i specifičnih utjecaja, kojih na spomenutim stanicama nema ili nisu toliko značajni. Takav specifični utjecaj može biti bura. Možda je upravo češća bura u listopadu smanjila čestinu na slikama 7-9 u tom mjesecu, a ne utjecaji na kojima se temelji procjena. Zbog toga rezultate procjene treba provjeriti.

U tu svrhu poslužiti će izabrani dani iz poglavlja 2-4. Za svaki izabrani dan odredit će se pogodnost za zmorac ili kopnenjak i buru pomoću veličine $R - O$. R je pravi dnevni srednjak temperature zraka za Rab, a O isti srednjak za Ogulin. Rab predstavlja morskiju, a Ogulin kopnenu stanicu. Podaci stanice Ogulin upotrijebljeni su zato što za ovo područje nema pogodnije kopnene stanice. Slika 4 pokazuje da stanica Ogulin ipak reprezentira kopnenu stanicu u izabranim danima.

Što je vrijednost $R - O$ u nekom izabranom danu veća, to su prilike u tom danu za kopnenjak i buru povoljnije, te se kopnenjak i bura u tom danu lakše uspostavljaju i održavaju. Suprotno vrijedi za zmorac u tom danu. Izabrani dan s povećanom vrijednošću $R - O$ sličan je prosječnom listopadskom danu, koji je za kopnenjak i buru povoljniji nego za zmorac.

Ako je vrijednost $R - O$ u nekom izabranom danu manja, prilike su u tom danu za zmorac povoljnije nego za kopnenjak i buru. Takav dan sličan je prosječnom travanj-skom danu.

Prema vrijednostima $R - O$ formirane su dvije ekstremne grupe od po 10 izabranih dana. U prvoj grupi vrijednosti $R - O$ su povećane, a u drugoj su smanjene. To znači da su u prvoj grupi prilike povoljnije za kopnenjak i buru, a u drugoj za zmorac. Srednji datum u prvoj grupi je 3. VIII, a u drugoj 24. VI. Prva grupa dakle više naginje jeseni, a druga proljeću. To je u skladu s pogodnošću za kopnenjak i buru u prvoj grupi i za zmorac u drugoj. Ujedno to potvrđuje da veličina $R - O$ reprezentira razliku između temperature zraka nad morem i kopnom u području Senja.

Za obje grupe određene su čestine SE, NE, NW i SW vjetra i to za interval dana u kojem dotični vjetar prevladava prema slici 2.

Kao čestina SE vjetra uzeta je suma čestina ESE, SE i SSE smjerova vjetra. Slično su određene čestine NE, NW i SW vjetra. Odgovarajući smjerovi vjetra naznačeni su u tablici 4.

SE vjetar češći je u izabranim danima povoljnijim za zmorac nego u izabranim danima povoljnijim za kopnenjak i buru (tablica 4). To pokazuje da u SE vjetru ne prevladava kopnenjak i bura. Prevladava dakle planinski vjetar. Procjena prema slici 6 dala je neodlučan rezultat, jer je čestina na toj slici u listopadu i u hladnom dijelu dana povećana zbog češće slabe bure iz SE kvadranta, koja puše nezavisno od SE vjetra. Takva bura umanjuje pouzdanost određivanja čestine SE vjetra prema slici 6. Inače, utjecaj takve bure u toplom dijelu dana vidi se na toj slici: čestina manja od 10% u listopadu traje samo 5 sati, dok u travnju traje 9 sati dnevno.

Čestina NE vjetra povećana je u izabranim danima povoljnijim za kopnenjak i buru. Povećanje bi bilo i izrazitije da veličina $R - O$ bolje reprezentira razliku temperatura zraka nad morem i kopnom. Prema tome, u NE vjetru ipak prevladava kopnenjak. Pro-

cjena prema slici 7 nije dala dobar rezultat, jer je čestina NE vjetra u listopadu smanjena zbog češće bure u tom mjesecu.

NW vjetar češći je u izabranim danima povoljnijim za kopnenjak i buru nego u izabranim danima povoljnijim za zmorac. Prema tome, u tom vjetru ne prevladava zmorac. Prevladava dakle dolinski vjetar. Procjena prema slici 8 nije dobra, jer je čestina NW vjetra u listopadu smanjena zbog češće bure u tom mjesecu.

SW vjetar češći je u izabranim danima s povoljnijim prilikama za zmorac. Povećanje bi bilo veće da je veličina $R - O$ reprezentativnija. Prema tome, u SW vjetru prevladava zmorac. Isto daje i procjena prema slici 9.

Tablica 4. *Relativne čestine (%) SE, NE, NW i SW vjetra u naznačenom dijelu dana za grupu od 10 izabranih dana s $R - O > 2.17^{\circ}\text{C}$ i za grupu od 10 izabranih dana s $R - O < 1.48^{\circ}\text{C}$, 1959-1967.*

Table 4. *Relative frequencies (%) of SE, NE, NW and SW wind at the designated time of a day for two groups of 10 selected days: with $R - O > 2.17^{\circ}\text{C}$ and with $R - O < 1.48^{\circ}\text{C}$, 1959-1967.*

vjetar <i>wind</i>	smjerovi vjetra <i>wind directions</i>	dio dana <i>part of a day</i>	$R-O > 2.17^{\circ}\text{C}$	$R-O < 1.48^{\circ}\text{C}$
SE	ESE + SE + SSE	20-06 ^h	77	95
NE	NNE + NE + ENE	07-08 ^h	35	20
NW	WNW + NW + NNW	09 ^h	70	30
SW	SSW + SW + WSW	10-19 ^h	49	55

7. Zaključak

Kopno, obronak, dolina i prijevoj Vratnik na jednoj a more na drugoj strani Senja te morski zaljev između Istre i Hrvatskog primorja s velikom ukupnom površinom otoka stvaraju izuzetno složene uvjete za dnevne periodičke vjetrove u Senju. Rezultat te složenosti su zmorac i kopnenjak, uzlazni i silazni vjetar obronka, dolinski i planinski vjetar te danji SSE vjetar prema zaljevu i suprotni noćni NNW vjetar. Redoslijed pojavljivanja tih vjetrova, odnosno njihovih kombinacija, daje Senju još jednu neobičnost: skretanje vjetra tijekom dana suprotno kazaljci na satu.

Zahvala

Zahvaljujem dr. Ingi Lisac na pomoći i korisnim savjetima pri izradi ovog rada. Hvala i dr. Mirku Orliću koji je potaknuo moje zanimanje za dnevne periodičke vjetrove u Senju.

Literatura

- Atkinson, B. W. (1981): Meso-scale atmospheric circulations, Academic Press, London, 495.
- Defant, F. (1951): Local winds, Compendium Meteor., Am. Met. Soc., Boston, 655-672.
- Katušić, Z. (1978): Stanja atmosfere, pogodna za maksimalne koncentracije zagađenosti zraka, u danima sa dnevno periodičnom cirkulacijom vjetra na području Bakar-

- skog bazena, Savetovanje o zaštiti od atmosferskih elementarnih nepogoda, Arandelovac, 13-15. 11. 1978, RHMZ SR Srbije, VIII-1, 1-12.
- Lisac, I. (1984): Vjetar u Zagrebu (Prilog poznavanju klime grada Zagreba, II), Geofizika, 1, Zagreb, 47-134.
- Lukšić, I. (1975): Bura u Senju, Senjski zbornik VI, Senj, 467- 494.
- Lukšić, I. (1979): Lokalni vjetrovi i problem zagađenja u Sutivanu na otoku Braču, Konferencija o zaštiti Jadrana (druga knjiga), Hvar, 1979, 151-159.
- Makjanić, B. (1966): Prilog poznavanju klime grada Senja, Pomorski zbornik, br. 4, Zagreb, 603-624.
- Milosavljević, M. (1972): Klimatologija, Naučna knjiga, Beograd, 261.
- Orlić, M., B. Penzar and I. Penzar (1988): Adriatic sea and land breezes: clockwise versus anticlockwise rotation, J. Appl. Meteor., 27, 675-679.
- Penzar, B. (1963): Neki podaci o tipovima vremena uz istočnu obalu Jadrana, Hidrografski godišnjak 1963, Split, 111-157.
- Penzar, B. (1977): Vjetar, Prilozi poznavanju vremena i klime SFRJ, Sv. 2, SHMZ, Beograd, 41-117.
- Penzar, B. i B. Makjanić (1978): Uvod u opću klimatologiju, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb, 206.
- Steinhauser, F. (1966): Methodische Bemerkungen zur Bearbeitung von Berg- und Talwinden im Gebirgsland, 3. Konferencija za karpatsku meteorologiju, Beograd, 17-48.
- Stipaničić, V. (1977): Temperature zraka i mora u primorju istočne obale Jadrana, Hidrografski godišnjak 1975, Split, 57-65.