

GEOFIZIKA	Vol. 2	1985
-----------	--------	------

*Izvorni znanstveni rad  
UDK 551.553*

## **Lokalni režim vjetra na području Zagreba i planinska cirkulacija**

*Vesna Jurčec*

*Republički hidrometeorološki zavod SRH Zagreb*

*Primljeno 18. prosinca 1984., u konačnom obliku 28. lipnja 1985.*

Proučavan je lokalni režim vjetra u donjoj troposferi do 3 km visine na području Zagreba, u proljetnim mjesecima, na osnovu radiosondažnih podataka za Zagreb-Maksimir, u 01 i 13 h (SEV) za razdoblje 1972–1981. Pokazano je da je dnevno zagrijavanje, koje uzrokuje vjetar obronka i cirkulaciju planina-dolina, izraženije u travnju i svibnju kroz cijelu donju troposferu. U rano proljeće je lokalna cirkulacija ograničena na plitki sloj uz tlo, ali se u višim slojevima primjećuje utjecaj planinske cirkulacije u mezorazmjerima na području Alpa.

Efekti cirkulacije većih razmjera na modifikaciju lokalnih vjetrova su ispitivani u toplom razdoblju svibnja 1979. Radiosondažni podaci u 6-satnim vremenskim intervalima u Zagrebu pokazuju u tom razdoblju još veća dnevna kolebanja temperature i vjetra u donjoj troposferi. Pokazano je da danja istočna komponenta u prizemnom graničnom sloju slabi u 19 h, ali je u to vrijeme u višim slojevima već razvijen noćni režim sa sjevernom komponentom vjetra. Početak visinskog danjeg režima se primjećuje već u ranim jutarnjim satima (07 h) dok još uvijek u prizemnom sloju nalazimo noćni vjetar obronka zbog sporog razaranja prizemne inverzije temperature.

Analize promjena geostrofičkog i termalnog vjetra u 6-satnim vremenskim intervalima na osnovu prizemnih podataka temeprature i tlaka istočno od Zagreba pokazuju neke karakteristike dnevnog kolebanja vjetra, pa se čini da bi takve analize mogle pridonijeti boljem razumijevanju lokalnog režima vjetra u Zagrebu i njegovim uzrocima.

### Local wind regime in the Zagreb area and mountain circulation

Local wind regime in Zagreb is studied in lower tropospheric layer up to the height of 3 km for the spring months. Radiosounding data for Zagreb-Maksimir are used at 00 and 12 GMT for the period 1972–1981. It is shown that daytime heating, affecting the slope wind and mountain-valley circulation, is more expressed in April and May throughout the lower troposphere. In early springtime the local circulation is confined to the shallow surface layer, but the influence of mesoscale circulation of the Alpine region is noticed at higher levels.

The effects of larger scale circulation on the modification of local winds are examined in a warm period of May 1979. 6-hourly upper air data in Zagreb indicate even larger daily variation of wind and temperature structure in the lower troposphere during this time. It is shown that easterly daytime component in the surface boundary layer weakens at 18 GMT, but the nighttime upper level regime with northerly winds is already developed at that time. The onset of upper level daytime regime appears in the early morning (06 GMT) while the downslope winds still persist in the surface boundary layer due to a slow break-down of the surface temperature inversion.

The analyses of 6-hourly geostrophic and thermal wind variations based on the surface data in the area to the east of Zagreb give new information on the changes in daily wind regime, which seems to make additional contribution to future studies of local wind regime in Zagreb.

## 1. Uvod

Klasična teorija lokalnog vjetra, uvjetovanog termičkim efektima u planinskom području, potječe iz prve polovine ovog stoljeća (Defant, 1951), a osnova teorije (Bjerknesov teorem cirkulacije) je baroklinost atmosfere koja nastaje uslijed različitog zagrijavanja ili hlađenja nehomogene zemljine površine.

Obronci planina se kratkovalnom Sunčevom radijacijom danju jače zagrijavaju od slobodne atmosfere na istoj visini i uvjetuju razlike tlaka i cirkulaciju u vertikalnoj ravnini okomitoj na obronak čiji je prizemni ogranak strujanja usmjeren iz doline prema planini, uz kompenzirajuću struju suprotnog smjera na visini. Noćno dugovalno zračenje uvjetuje cirkulaciju u obrnutom smjeru pa prizemni ogranak cirkulacije prikazuje strujanje niz planinu.

Studije o postanku lokalnih vjetrova u planinskom području razlikuju dva tipa: vjetar obronka i vjetar planina-dolina. Većina obronaka je reda veličine od nekoliko kvadratnih kilometara, pa prema tome mogu uvjetovati lokalni vjetar slabijeg intenziteta koji pokriva sličnu površinu (Petkovšek, 1982; Lisac, 1984). Povijesni pregled ove problematike dali su Taylor i Gent (1980) i Atkinson (1981).

Veći masivi ili ukupni planinski kompleksi imaju horizontalne dimenzije od nekoliko desetaka do nekoliko stotina kilometara pa mogu uzrokovati mezocirkulaciju istih dimenzija i time značajno utjecati na modifikaciju režima vjetra pojedinog lokaliteta. Petkovšek (1978) je među prvima ukazao na bitni utjecaj reljefa na planinski vjetar, što su potvrdila novija istraživanja (Steinacker, 1984; Banta, 1984; Bernhofer i McKee, 1984).

Numeričkim eksperimentima s dvodimenzionalnim modelom za simulaciju razvoja jutarnjeg graničnog sloja Bader i McKee (1983) su ukazali na bitne fizikalne procese koji uvjetuju razaranje temperaturne inverzije u dolini i omogućavaju postupni razvoj planinske cirkulacije. Fitzjarrald (1984) je proučavao razvoj katabatičkog vjetra pri suprotnom strujanju okolne atmosfere i pokazao da hlađenje duž obronka u slučaju strujanja prema obronku može dovesti do mirnog stanja atmosfere.

Statističke analize prizemnog vjetra u Zagrebu (Lisac, 1978, 1984; Poje, 1978, 1982; Lončar, 1982) jasno odražavaju utjecaj Medvednice na dnevni hod vjetra sa sjevernom komponentom velike stalnosti noću i južnom komponentom mnogo manje stalnosti danju. Katušin (1980) je ukazao na značajne razlike u smjeru i brzini vjetra na visinskoj stanici Sljeme i vjetra u slobodnoj atmosferi prema radiosondažnim podacima Zagreb-Maksimir.

Niti jedna od dosadašnjih studija režima vjetra u Zagrebu ne zahvaća detaljnije problem visinskog režima vjetra i njegovu povezanost s prizemnim strujanjem. Ne postoje niti publicirane statističke analize visinskog vjetra u Zagrebu iz kojih bi se moglo zaključiti do koje visine se opaža utjecaj planinske cirkulacije, većih ili manjih razmjera, i kako je danji i noćni režim vjetra u donjoj troposferi povezan s vertikalnim promjenama temperature i dnevnim kolebanjem stabilnosti pojedinih slojeva. To je cilj ovoga rada kojemu se pristupilo posebnim pitanjem; mogu li srednje vrijednosti vektora vjetra i polja temperature kroz relativno kraće vremensko razdoblje pružiti uvid u solenoidalno

polje donje troposfere i planinsku cirkulaciju, ili su komponente ove cirkulacije iznad tla suviše male u odnosu na promjene vjetra uvjetovane atmosferskim gibanjem makro-razmjera?

Moja diplomatska radnja, koju je vodio prof. Goldberg, nosila je naslov: „Termodinamički solenoidi i njihova primjena”. To je razlog za izbor ove teme u prigodnoj publikaciji.

## 2. Srednje promjene vjetra i temperature u donjoj troposferi u proljetnom razdoblju

Za ovu analizu su odabrana tri proljetna mjeseca s obzirom da je to razdoblje općenito interesantno za ispitivanje lokalne cirkulacije zbog naglog zagrijavanja kopna u proljeće.

Tabl. 1 prikazuje srednje vrijednosti potencijalne temperature,  $\Theta$ , i srednje skalarnе brzine vjetra,  $v_s$ , na različitim visinama u 01 i 13 h, za razdoblje 1972–1981, iz radio-sondažnih mjerenja Zagreb-Maksimir. Svi termini u ovom radu su izraženi u srednjoevropskom vremenu (SEV).

Dnevna kolebanja temperature 01–13 h, pored intenzivnijeg zagrijavanja donje troposfere u svibnju, pokazuju da su razlike  $\Theta$  u tom 12-satnom periodu manje od  $0.5^\circ\text{K}$  u travnju i svibnju tek iznad 828 m, dok iste razlike u ožujku nalazimo na 500 m visine. Od značajnijih karakteristika prikazanih temperatura za naša istraživanja još primjećujemo da je na 1500 m  $\Theta$  u travnju niža u 13 nego u 01 h, dok na istoj visini u ožujku razlika  $\Theta$  u ovim terminima već ponovo raste.

Iz vertikalne razdiobe skalarnе brzine vjetra vidi se da je brzina vjetra u 13 h u sloju do 200 m iznad tla u sva tri mjeseca veća nego u 01 h, a obrnuto je na većim visinama. U sloju 328–828 m nalazimo najjači vjetar u travnju, što povećava vrijednost internog Froudovog broja u noćnom terminu veće stabilnosti i pokazuje tendenciju zračne mase da prelazi preko planinske prepreke (Jurčec, 1982).

Slika 1 prikazuje hodografe vektorskih srednjaka vjetra za svakih 500 m visine u 01 i 13 h. Uz vektore pri tlu i na 3 km označena je stalnost vjetra kao omjer vektorskog i skalarnog srednjaka, koja ističe mnogo veću postojanost noćnog vjetra pri tlu u odnosu na danji. Vrijednosti stalnosti na ostalim visinama, koje ovdje nisu prikazane, pokazuju manje vrijednosti iznad tla u sva tri mjeseca, a zatim ponovni porast.

U ožujku je karakteristično izrazito smicanje noćnog vjetra u prvih 500 m, što nije slučaj u ostala dva mjeseca. Posebno travanj pokazuje malo smicanje vrlo postojane noćne komponente do 1500 m. Vertikalna promjena danjeg vjetra u travnju se bitno razlikuje od svibnja. Ako pretpostavimo da vektor smicanja vjetra iznad 1 km visine možemo aproksimirati termalnim vjetrom, onda i danji hodograf poput noćnog odražava advekciju hladnog zraka sa sjevera, iako su ovi advektivni procesi slabiji danju nego noću. Međutim, mnogo veću sličnost u dnevnom kolebanju vjetra između travnja i svibnja nalazimo ako odredimo vektorske razlike noćnog i danjeg vjetra na svakoj visini. Ove razlike, posebno prikazane na sl. 1, navode na zaključak da je utjecaj dubokog sloja zagrijavanja (istaknut u

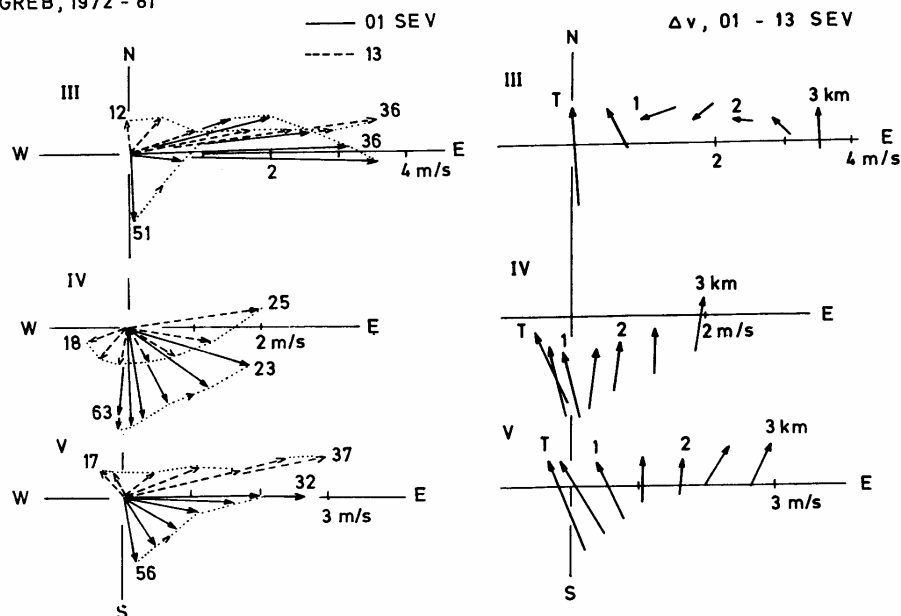
prethodnom poglavlju) na promjenu od noćnog na danji vjetar podjednak u travnju i u svibnju, ali taj termički efekt nije dovoljan da promijeni smjer vektorskog srednjaka sjevernog vjetra u travnju na lokaciji Maksimira niti u najnižim slojevima uz tlo.

Tablica 1. Srednje potencijalne temperature,  $\Theta$  u  $^{\circ}K$  (gore), i skalarni srednjaci vjetra,  $V_s$  u m/s (dolje), na odabranim visinama donje troposfere, za proljetne mjeseca 1972–1981, za Zagreb–Maksimir.

Table 1. Mean potential temperature,  $\Theta$  in  $^{\circ}K$  (above), and mean scalar wind,  $V_s$  in m/s (below), at selected heights of the lower troposphere, for the spring months 1972–1981, at Zagreb–Maksimir.

	OŽUJAK MARCH		TRAVANJ APRIL		SVIBANJ MAY	
$\Theta$						
SEV Visina (m)	01	13	01	13	01	13
128	277.7	283.7	280.6	286.7	284.8	292.2
178	280.2	283.5	282.8	286.5	287.5	292.0
228	281.3	283.4	283.7	286.4	288.8	291.9
328	282.2	283.4	284.5	286.4	289.7	291.9
500	283.1	283.6	285.3	286.5	290.6	292.0
828	284.4	284.5	286.5	287.1	291.7	292.2
1000	285.1	285.2	287.1	287.4	292.2	292.4
1500	287.0	287.3	289.0	288.8	293.6	293.7
2000	289.2	289.6	290.7	290.8	295.1	295.4
2500	291.4	291.8	292.6	293.0	296.9	297.3
3000	293.5	293.9	294.9	295.3	299.1	299.4
$V_s$						
128	2.0	3.3	2.2	3.4	1.6	2.9
178	2.1	3.4	2.4	3.5	1.8	3.0
228	2.3	3.5	2.7	3.6	2.0	3.1
328	3.0	3.7	3.4	3.8	2.6	3.3
500	4.3	4.3	4.7	4.3	3.8	3.7
828	5.9	5.4	6.2	5.0	5.3	4.4
1000	6.4	6.0	6.6	5.4	5.7	4.7
1500	7.8	7.5	7.6	6.4	6.7	5.9
2000	8.7	8.6	8.0	7.1	7.4	6.9
2500	9.4	9.3	8.1	7.6	7.9	7.6
3000	10.0	9.9	8.3	8.0	8.3	8.1

ZAGREB, 1972 - 81



Slika 1. Hodografi vektorskih srednjaka vjetra od tla do 3 km, u vertikalnim razmacima od 500 m, u 01 i 13 h (SEV) za ožujak, travanj i svibanj 1972–1981 za Zagreb–Maksimir. Brojevi označuju stalnost u % pri tlu i na 3 km. Strijelice na točkastoj liniji noćnog hodografa vjetra pokazuju smjer promjene vjetra s visinom. Brojevi na liniji W-E označuju brzinu vjetra u m/s. Desna slika prikazuje vektor razlike od noćnog (01 h) do danjeg (13 h) vektora vjetra za svakih 500 m visine.

Figure 1. Hodographs of mean wind vectors from the surface to 3 km in vertical sections of 500 m, at 01 h (00 GMT) and 13 h (12 GMT) for March, April and May 1972–1981 in Zagreb–Maksimir. Numbers indicate wind steadiness in % at the surface and 3 km heights. Arrows on dotted line of night's hodograph indicate the direction of wind changes with height. Right side figure depicts the vector difference from the night (01 h) to the daytime (13 h) wind vector for each 500 m height.

Time smo već došli do prvog zaključka ove analize. Pokazuje se da se promjena vjetra od 01–13 h pri tlu očituje u izraženijoj južnoj komponenti vjetra u ožujku i svibnju, te slabijem intenzitetu sjevernog vjetra u travnju. U travnju i svibnju se u donjim slojevima primjećuje utjecaj istočne komponente vjetra u toku dana, a zapadne noću, za koje pretpostavljamo da predstavljaju utjecaj prizemnog ogranka mezocirkulacije većih razmjera. U ožujku se taj utjecaj odražava danju u smanjenju zapadnog vjetra

u sloju 1–2 km. Visinski ogranak mezocirkulacije s danjim zapadnim vjetrom jedino se nazire pri vrhu promatranog sloja u svibnju, gdje vektor razlike vjetra 01–13 h zakreće na SW smjer. Ove pretpostavke provjeravat ćemo u idućim poglavljima.

### 3. Dnevni hod temperature i vjetra 7. – 31. svibnja 1979.

U razdoblju specijalnih opažanja (SOP) Prvog eksperimenta iz Programa globalnog istraživanja atmosfere (GARP) 7. – 31. svibnja 1979. raspolagali smo dodatnim radiosondažnim mjerenjima u 07 i 19 h u Maksimiru, pomoću kojih možemo izvršiti detaljniju analizu dnevnog hoda temperature i vjetra.

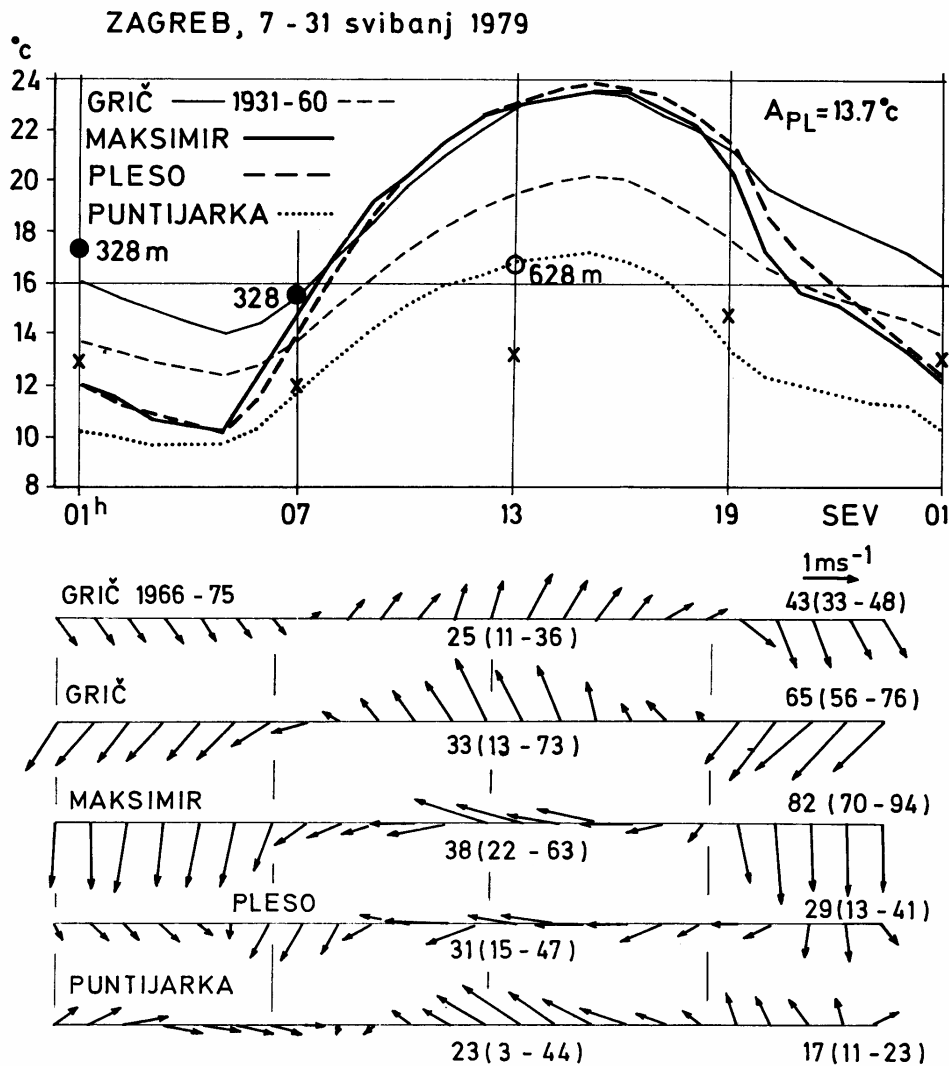
Sinoptička situacija u ovom razdoblju bila je karakterizirana sporo pokretnom anticiklonom pri tlu u srednjoj i istočnoj Evropi (Jurčec, 1980), pa se činila gotovo idealnom za ispitivanje lokalne cirkulacije u Zagrebu. Rezultati, međutim, nisu opravdali ovo očekivanje, ali su pružili niz novih informacija o pretpostavljenom utjecaju mezo-cirkulacije većih razmjera na lokalni režim vjetra u Zagrebu.

Slika 2 prikazuje dnevne hodove prizemne temperature i vjetra za promatrano 25-dnevno razdoblje za Opservatorije Zagreb-Grič (159 m) i Maksimir (123 m), te aerodrom Pleso (107 m) u dolini i planinski Opservatorij Puntijarku (988 m) na Medvednici. Položaji ovih postaja detaljnije su opisani u radovima Lisac (1984) i Jurčec (1982). Na slici su prikazani i podaci o visini temperaturne inverzije i temperature na 1000 m iz radiosondaže, što približno odgovara nadmorskoj visini Puntijarke. Za Grič su također prikazani duge godišnji srednjaci temperature (Geofizički zavod, 1970) i 10-godišnji srednji dnevni hod vjetra za svibanj (Poje, 1982).

Ekstremi temperature u Maksimiru i na Plesu se bitno ne razlikuju, a pri minimumu i temperatura na Puntijarki je neznatno niža. Temperatura Griča u 07 h odgovara srednjoj temperaturi na 328 m u slobodnoj atmosferi, a na istoj visini radiosondažni podaci pokazuju vrh inverzije u tom terminu. To znači da na režim noćnog vjetra u Maksimiru i na Plesu utječe „dolinska inverzija” koja nema bitnog utjecaja na vjetar obronka na Griču. Srednja temperatura Puntijarke odgovara temperaturi na 628 m u slobodnoj atmosferi u 13 h, koja je prema tome hladnija u tom terminu na visini planinskog grebena Medvednice.

Izraženija istočna komponenta vjetra na Griču, u usporedbi sa srednjim hodom za svibanj, otkriva prisutnost anomalnog strujanja većih razmjera u promatranom razdoblju. Ove anomalije nemaju bitnog utjecaja na noćni vjetar u Maksimiru koji, pod utjecajem jake inverzije temperature, pokazuje izrazito veliku stalnost u noćnim terminima. Danju istočnu komponentu nalazimo na Plesu do kasnih večernjih sati, a sjeverozapadni vjetar iza ponoći kratko traje i vrlo je slab. Zapadni vjetar se pojavljuje na Puntijarki samo u ranim jutarnjim satima kada je donja troposfera najhladnija, ali je općenito stalnost vjetra ovdje manja nego na ostalim lokacijama.

Vertikalni profili vjetra i srednje potencijalne temperature prikazani su na sl. 3. Podaci vektorskog i skalarnog srednjaka odražavaju malu stalnost vjetra, naročito na većim visinama. Glavne karakteristike ovih profila su: 1. relativno duboki sloj noćnog sjevernog vjetra, koji je iznad tla još izraženiji u 07 nego u 01 h uslijed daljnjeg pada tem-



Slika 2. Dnevni hodovi srednje temperature i vektora vjetra za navedene stanice šireg područja Zagreba. Ispunjeni kružići označuju visinu maksimalne temperature (na ordinati) iz radiosondažnih mjerenja u Maksimiru, neispunjeni kružić na krivulji temperature Puntijarke označuje visinu na kojoj je ista temperatura u radiosondaži, a križići označuju iz istih podataka temperaturu na 1000 m.  $A_{PL}$  označuje amplitudu temperature na Plesu. Gornji hod satnih vektorskih srednjaka prikazuje srednji dnevni hod vektora vjetra za Observatorij Zagreb-Grič, svibanj 1966-1975, a ostali hodovi su srednjaci za razdoblje 7-31. svibanj 1979. Brojevi označuju stalnost vjetra u %, srednjak



za danje razdoblje (u sredini) i noćno (desno) od 21 h do 06 h. Brojevi u zagradi označuju raspon stalnosti (%).

Figure 2. Daily courses of mean temperature and wind vectors for indicated stations in the area of Zagreb. Filled dots indicate the height of temperature maximum (on the ordinate) from the radiosoundings of Zagreb–Maksimir, empty circle on the temperature curve of Puntijarka indicates the height with the same temperature in the sounding, and crosses indicate temperature at 1000 m.  $A_{PL}$  is the value of temperature amplitude at Pleso. The upper course of the hourly mean vectors shows the daily course of the mean wind vectors for the Observatory Zagreb–Grič, May 1966–1975, and the other courses are for the period 7–31. May 1979. Numbers indicate wind steadiness in %, mean for the day time (in the middle) and the night time (to the right) from 21 h to 06 h. Numbers in parentheses indicate extreme values (%).

perature iznad tla, 2. duboki sloj istočnog danjeg vjetra u 13 h i njegovo slabljenje do 19 h uz postupno skretanje na NE smjer iznad tla, 3. u srednjem sloju 1.5 – 2.5 km vektorski srednjak je izrazito malen, ali ukazuje na promjenu smjera vjetra na određenoj visini koja je najviša u 13, a najniža u 19 h, 4. visinski noćni režim sa NW vjetrom u sloju 2 – 3 km počinje prije 19 h, dok se visinski danji režim na visini od 3 km primjećuje već u 07 h s pojavom vektorskog srednjaka iz SW smjera, ali vrlo malog intenziteta, 5. Vertikalni profil temperature pokazuje da je od 4 promatrana termina temperatura najviša u 19 h na svim visinama iznad tla, 6. na 1.5 km je temperatura u 13 h jednaka temperaturi u 01 h. 7. Skalarni srednjak vjetra na 2.5 km visine u 07 i 19 h pokazuje srednju maksimalnu brzinu vjetra.

Navedene karakteristike vertikalnog profila temperature i skalarnog srednjaka vjetra mogu se prikazati parametrima stabilnosti,  $N^2$ , i Richardsonovog broja,  $R_i$ , u obliku:

$$N^2 = \frac{g}{\bar{T}} \frac{\partial \Theta}{\partial z} \quad \text{i} \quad R_i = \frac{N^2}{(\partial V / \partial z)^2} \quad (1)$$

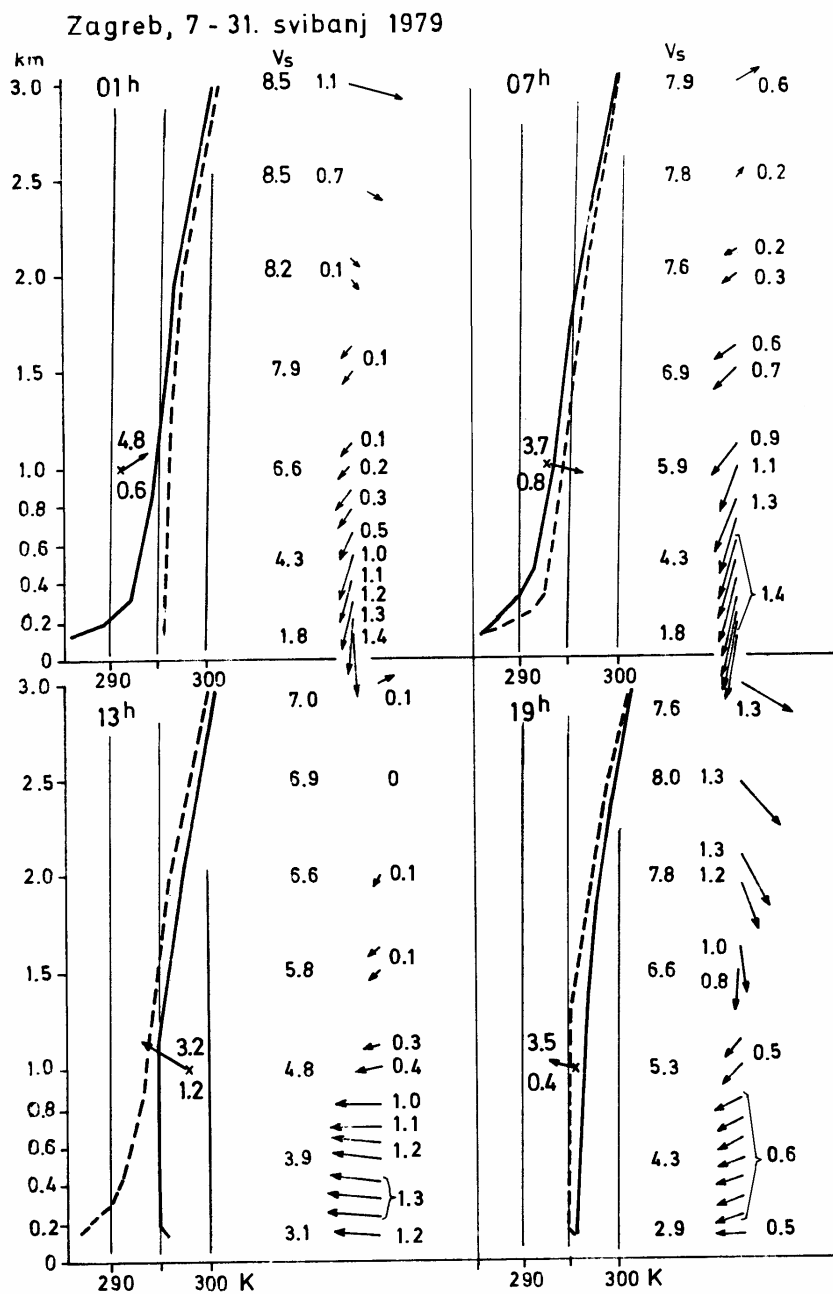
gdje je  $\bar{T}$  srednja temperatura sloja, a  $g/\bar{T}$  označava parametar uzgona (Zhou i dr., 1985). Ove vrijednosti za 4 termina promatranog razdoblja u svibnju 1979, i za 2 termina u 10-godišnjem srednjaku svibnja prikazane su u tab. 2. U razdoblju svibnja 1979. ističu se: 1. velike vrijednosti  $N$  i  $R_i$  u prizemnom sloju do 50 m iznad tla u 01 h i nestabilnost u 13 h, u usporedbi sa srednjim vrijednostima, i njihovo naglo smanjenje u slijedećih 50 m, 2. duboki sloj neutralne atmosfere u 13 h u usporedbi s plićim neutralnim slojem u istom terminu u svibanjskom srednjaku, 3. znatno manje vrijednosti  $R_i$  iznad 1.5 km u 19 h u odnosu na  $R_i$  u drugim terminima istih slojeva, i 4. veća stabilnost u sloju 2.5 – 3 km u 07 i 13 h nego u 01 i 19 h, što poput promjene smjera vjetra u tom terminu (sl. 3) ukazuje da visinski danji režim počinje već u ranim jutarnjim satima. Srednje vrijednosti svibnja ne pokazuju ovu karakteristiku, a vrijednosti  $R_i$  iznad 1.5 km u 01 i 13 h su mnogo manje.

Tablica 2. Srednje vrijednosti parametara stabilnosti izraženih frekvencijom  $N^2$  ( $10^{-4} \text{ s}^{-2}$ ) i Richardsonovim brojem  $Ri$ , prema relacijama (1) u tekstu, za označene slojeve u 6-satnim terminima radiosondažnih mjerenja za razdoblje 7–31. svibnja 1979, i u 01 i 13 h za svibanj 1972–1981, za Zagreb–Maksimir. \* označuje vrijednosti  $Ri$  veće od 1000.

Table 2. Mean values of stability parameters expressed by the frequency  $N^2$  ( $10^{-4} \text{ sec}^{-2}$ ) and the Richardson number  $Ri$ , calculated from the relations (1) in the text, for indicated layers at 6-hourly observations for the period 7–31. May 1979, and the monthly mean for May, 1972–1981, at Zagreb–Maksimir. \* indicates values of  $Ri$  larger than 1000.

SEV Sloj	h	7.– 31. svibanj (May) 1979.				svibanj 1972–1981 May	
		01	07	13	19	01	13
m							
128–228	$N^2$	26.6	8.2	-3.3	0.7	18.5	-1.3
	$Ri$	665	51	-83	17	116	-34
178–228	$N^2$	6.1	7.5	-1.3	0.7	8.9	-0.7
	$Ri$	38	47	-33	4	56	-17
228–328	$N^2$	5.7	7.6	0.0	0.3	3.1	0.0
	$Ri$	9	12	0	2	1	0
328–828	$N^2$	1.2	1.8	0.0	0.3	1.4	0.2
	$Ri$	2	7	0	3	5	4
km							
1.0–1.5	$N^2$	0.8	1.0	0.6	0.4	1.0	0.9
	$Ri$	19	26	14	6	24	16
1.5–2.0	$N^2$	0.8	0.9	1.1	0.7	1.1	1.2
	$Ri$	77	47	44	12	54	30
2.0–2.5	$N^2$	1.3	1.2	1.1	1.2	1.3	1.4
	$Ri$	361	750	306	188	128	69
2.5–3.0	$N^2$	1.4	1.7	1.7	1.3	1.6	1.5
	$Ri$	*	*	*	203	248	152

Velika promjenljivost vjetra i izrazita odstupanja vrijednosti  $N$  i  $R_i$  u pojedinim slojevima od srednjaka ukazuje da nije svaka anticiklonalna situacija povoljna za istraživanje „normalnog” režima vjetra u Zagrebu. Što je utjecalo na anomalije lokalnog strujanja u toplom razdoblju svibnja 1979?



Slika 3. Vertikalni profili srednje potencijalne temperature (pune linije) i vektorskih srednjaka vjetra, s oznakom brzine u m/s, u 01, 07, 13 i 19 h (SEV) za Zagreb-

-Maksimir. Crtkane linije pokazuju 6-satne promjene iz vertikalnih profila prethodnog termina.  $V_g$  označuje srednje skalarne brzine vjetra (m/s) na odgovarajućim visinama. Križići označuju položaj Puntijarke (988 m), vektorski srednjak za isto razdoblje (s oznakom brzine dolje) i skalarni srednjak vjetra (gore), a ucrtani su na odgovarajućoj potencijalnoj temperaturi Puntijarke (na apscisi) u tom terminu.

Figure 3. Vertical profiles of mean potential temperature (solid lines) and mean wind vectors, with the indication of wind speed in m/s, at 01, 07, 13 and 19 h (L.T.) for the period 7–31 May 1979, in Zagreb–Maksimir. Dashed lines illustrate 6-hourly changes from the previous potential temperature profile.  $V_g$  indicates mean scalar wind speed (m/s) at the corresponding heights. Crosses indicate the position of Puntijarka (988 m), mean wind vectors (indicating speed below) and scalar mean wind (above) for the same period, and they are plotted at the corresponding potential temperature (on abscissa) in each hour of observation.

#### 4. Dnevna kolebanja baroklinosti i geostrofičnog vjetra istočno od Zagreba

Iako je povezanost planinske cirkulacije s baroklinosti atmosfere teoretski dobro poznata, kvantitativni pokazatelji ove veze su općenito oskudni u literaturi (Atkinson, 1981), a na području Zagreba još nisu istraživani. U nedostatku prikladnih podataka za ovakvu analizu pokušat ćemo izvesti neke zaključke o dnevnom kolebanju baroklinosti, barem uz grube pretpostavke.

Horizontalna komponenta vektora baroklinosti proporcionalna je termalnom vjetru koji je, pod uvjetima hidrostatske ravnoteže, definiran vertikalnim smicanjem geostrofičkog vjetra,  $V_g$ , ili horizontalnim gradijentom temperature  $\nabla T$ . Integracijom termalnog vjetra u izobarnom sloju od  $p_1$  do  $p_2$  ( $p_1 > p_2$ ) dobiva se (Holton, 1972):

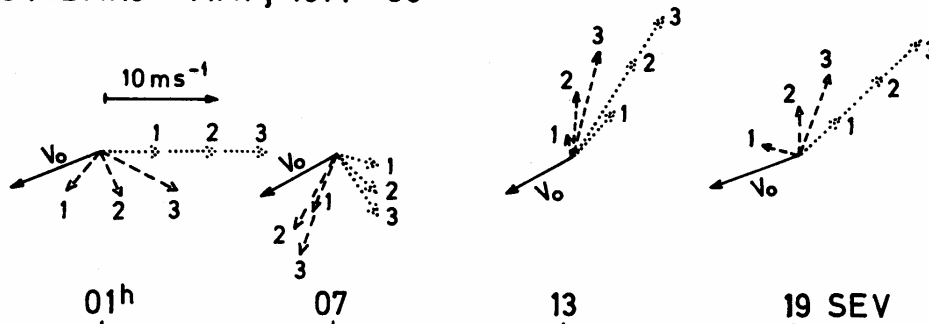
$$\mathbf{V}_T = \mathbf{V}_g(p_2) - \mathbf{V}_g(p_1) = -\frac{R}{f} \int_{p_1}^{p_2} (\mathbf{k} \times \nabla T) d \ln p \quad (2)$$

gdje je  $R$  plinska konstanta, a  $f$  Coriolisov parametar.

Kao primjer dnevnog hoda geostrofičkog i termalnog vjetra malih razmjera u donjoj troposferi promatrat ćemo srednje razlike tlaka i temperature pri tlu za svibanj 1971–80. za Zagreb (Maksimir) – Bjelovar ( $v$ -komponenta) i Varaždin–Sisak ( $u$ -komponenta). Uz pretpostavku da se horizontalni gradijent temperature pri tlu ne mijenja s visinom i da se srednje vrijednosti tlaka na visini (svibanj, 1972–81) ne mijenjaju od 01–07 h i 13–19 h, možemo izračunati srednje vrijednosti geostrofičkog i termalnog vjetra za područje istočno od Zagreba u slojevima od tla do 1, 2 i 3 km.

Rezultati prikazani na sl. 4 pokazuju da  $V_g$  ima NE smjer u sva 4 promatrana termina s najvećom brzinom (9 m/s) u 01 h, a najmanjom (5 m/s) u 13 h. U dnevnom ko-

## SVIBANJ - MAY, 1971 - 80



Slika 4. Vektorski srednjak geostrofičkog vjetra pri tlu ( $V_o$ ) za područje istočno od Zagreba, izračunat iz srednjeg prizemnog polja tlaka u 01, 07, 13 i 19 h za svibanj u razdoblju 1971–1980.  $u_g$ -komponenta: Varaždin–Sisak, a  $v_g$ -komponenta: Bjelovar–Zagreb (Maksimir), i vektorski srednjak termalnog vjetra (točkaste linije) u m/s s istom oznakom brzine na strijelici, izračunat iz srednjeg prizemnog polja temperature u istom razdoblju i s komponentama za iste stanice, prema relaciji (2) u tekstu, za izobarne slojeve s odgovarajućim visinama od tla do 1, 2 i 3 km visine. Crtkane linije označuju odgovarajuće promjene geostrofičkog vjetra za iste slojeve do 3 km visine označene brojkama na kraju strijelice.

Figure 4. Mean geostrophic wind vector at the surface ( $V_o$ ) for the area to the east of Zagreb, calculated from the mean surface pressure field at 01, 07, 13 and 19 h for May 1971–1980.  $u_g$ -component: Varaždin–Sisak, and  $v_g$ -component: Bjelovar–Zagreb (Maksimir), and mean thermal wind vector (dotted lines) in m/s with the same indication of wind speed at the arrow, calculated from the mean surface temperature field during the same period and with the components obtained from the same stations, from the relation (2) in the text, for the isobaric layers with the corresponding heights from the surface to 1, 2 and 3 km heights. Dashed lines indicate the corresponding changes of the geostrophic wind for the same layers up to 3 km indicated by the numbers at the ends of arrows.

lebanju  $V_T$  posebno se ističe promjena od sjevernog smjera u 01 i 07 h na južni u 13 i 19 h. U terminima 07 i 13 h izračunati geostrofički vjetar bitno ne mijenja smjer za dublji sloj kao što je to slučaj u 01 i 19 h. Brzina termalnog vjetra u 07 h se (zbog malog horizontalnog gradijenta temperature) bitno ne mijenja, i za sloj 0–3 km iznosi 6 m/s za razliku od ostalih termina s brzinom od 14 m/s u tom sloju.

Isti proračun izveden je za razdoblje 7. – 31. svibnja 1979, a rezultati su prikazani u tab. 3. Zajednička karakteristika sa srednjakom svibnja (sl. 4) je N-komponenta termalnog vjetra u 07 h, i S-komponenta u 13 h. Bitna je razlika u ponašanju geostrofičkog

vjetra koji je, zbog gotovo bezgradijentnog polja tlaka pri tlu u srednjaku promatranog razdoblja, izrazito mali. Prema tome termalni vjetar karakterizira smjer i brzinu geostrofičkog vjetra u pojedinim slojevima i pokazuje njegovo skretanje od SW smjera u 13 h prema SE u 19 i 01 h, uz smanjenje brzine u posljednjem terminu.

*Tablica 3. Geostrofički i termalni vjetar (m/s) na području istočno od Zagreba za 6-satne termine u razdoblju 7–31. svibnja 1979. a. Srednja temperatura pri tlu za četiri odabrane stanice ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $p_0$  je srednji prizemni tlak za sve četiri stanice,  $p_1$  je srednji tlak iz radiosondažnih mjerenja Zagreb–Maksimir na 1 km,  $p_2$  na 2 km i  $p_3$  na 3 km. b. Komponente geostrofičkog i termalnog vjetra,  $u_g$  i  $u_T$ : Varaždin – Sisak,  $v_g$  i  $v_T$ : Zagreb (Maksimir) – Bjelovar. Komponente termalnog vjetra su računane za slojeve od tla do 1.2 i 3 km, prema relaciji (2) u tekstu.*

*Table 3. Geostrophic and thermal wind (m/s) in the area to the east of Zagreb at 6-hourly observations for the period 7–13. May 1979. a. Mean surface temperature for four selected stations ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $p_0$  is the mean surface pressure for all four stations,  $p_1$  is the mean pressure from the radiosoundings of Zagreb–Maksimir at 1 km,  $p_2$  at 2 km and  $p_3$  at 3 km. b. Geostrophic and thermal wind components,  $u_g$  and  $u_T$ : Varaždin – Sisak,  $v_g$  and  $v_T$ : Zagreb (Maksimir) – Bjelovar. Thermal wind components are calculated for layers from the surface to 1,2 and 3 km, according to the relation (2) in the text.*

a.	Temperatura pri tlu $^{\circ}\text{C}$				Tlak zraka hPa			
	Zagreb	Bjelovar	Varaždin	Sisak	$p_0$	$p_1$	$p_2$	$p_3$
01	12.1	12.5	12.1	11.8	1019.2	904.2	800.8	707.1
07	14.8	14.3	14.9	14.5	1019.9	905.4	802.2	708.6
13	22.9	23.8	22.6	23.5	1018.7	905.0	801.6	707.9
19	20.1	22.0	20.3	20.2	1017.7	905.4	802.9	709.8

b.	$V_g$				$V_T$			
	tlo – 1 km				tlo – 2 km		tlo – 3 km	
	$u_g$	$v_g$	$u_T$	$v_T$	$u_T$	$v_T$	$u_T$	$v_T$
01	0.9	0.0	-1.2	2.4	-2.3	4.7	-3.5	7.1
07	2.6	-2.6	-1.6	-3.0	-3.1	-5.9	-4.7	-8.9
13	2.6	0.0	3.5	5.3	7.0	10.5	10.6	15.9
19	0.0	2.6	-0.4	5.2	-0.8	10.5	-1.2	15.8

Premda pretpostavka o konstantnom gradijentu temperature kroz dublji sloj troposfere nije realna, pokazat ćemo neke zajedničke karakteristike geostrofičkog i termalnog vjetra u ovim razmjerima s istim u većim razmjerima u terminima 01 i 13 h.

### 5. Planinska cirkulacija na području Alpa

Za grubu procjenu termičkog utjecaja alpskog masiva na planinsku cirkulaciju istočno od Alpa promatrat ćemo promjene  $V_g$  i  $V_T$  na izobarnim površinama 850 i 700 hPa u istom razdoblju svibnja 1979. prema radiosondažnim podacima za Zagreb, Beč i München. Termalni vjetar računat je prema relaciji:

$$\frac{\partial V_g}{\partial z} = - \frac{g}{fT} \nabla T \times \mathbf{k} \quad (3)$$

koja se može izvesti iz (2), uz zanemarivanje vertikalnog gradijenta temperature (npr. Haltiner i Martin, 1957).

Zonalna ( $u$ -) komponenta geostrofičkog i termalnog vjetra računata je iz podataka geopotencijala i temperature za Zagreb i Beč, a meridionalna ( $v$ -) komponenta za Beč i München.

Tablica 4 sadrži srednje vrijednosti geopotencijala i temperature na ovim lokacijama u 01 i 13 h. Mnogo manji gradijenti ovih veličina između Zagreba i Beča, nego Beča i Münchena, odražavaju izraženiju meridionalnu komponentu geostrofičkog i termalnog vjetra od zonalne. Znatno niža temperatura na 850 hPa i viša na 700 hPa u Münchenu nego u Beču ukazuje da je zonalni gradijent temperature jednak nuli unutar promatranog sloja na nešto višem tlaku od 700 hPa. Zagreb i Beč imaju nižu (višu) temperaturu u 13 nego u 01 h na 850 hPa (na 700 hPa), a obrnut je slučaj u Münchenu. Vertikalni gradijent potencijalne temperature u Münchenu odražava veliku stabilnost toga sloja nad Alpama što uz slabiji vjetar označava tendenciju zračne mase da obilazi Alpe. Ova analiza pokazuje da dnevna promjena cirkulacije uglavnom ovisi o promjenama stanja atmosfere istočno od Alpa.

Za analizu geostrofičkog i termalnog vjetra određene su vrijednosti geopotencijala i temperature za svaki dan i iz njih su izračunate  $u$ - i  $v$ -komponente za oba vjetra, vektorski srednjaci  $V_g$  i  $V_T$ , i srednjaci njihovih apsolutnih vrijednosti  $|V_g|$  i  $|V_T|$  koji odgovaraju skalarnim srednjacima vjetra (b. u tablici 4).

Komponente geostrofičkog vjetra (c. u tablici 4) odražavaju slabljenje istočne struje s visinom u skladu s pozitivnom vrijednosti  $u_T$ -komponente. Ova zonalna komponenta termalnog vjetra je na 850 hPa veća u 13 nego u 01 h, a na 700 hPa u 13 h iščezava zajedno s  $u_g$ -komponentom. Time geostrofički vjetar poprima južni smjer. Meridionalne komponente su za oba vjetra veće od zonalnih, a posebno je izražena  $v_T$ -komponenta velike stalnosti na 850 hPa. To pokazuje izrazitu baroklinost donje troposfere na istočnom području Alpa koja se ističe velikom perzistencijom (stalnost od 90% u b. tablica 4).

Na 700 hPa je  $v_T$ -komponenta negativna u skladu s prije spomenutom promjenom smjera zonalnog gradijenta temperature. Promjene komponenata geostrofičkog vjetra pokazuju da  $V_g$  od 01–13 h skreće od SSE na jači S vjetar na obje plohe. To znači da je vektorska razlika ove promjene vektor SW smjera, koji smo na visini od 3 km u svibnju nad Zagrebom (sl. 1) našli kod dnevne promjene stvarnog vjetra, bez obzira što je u

Tablica 4. Geostrofički i termalni vjetar na istočnom području Alpa za razdoblje 7–31. svibnja 1979. a. Srednje vrijednosti geopotencijala ( $\phi$  u m), i temperature ( $t$  u  $^{\circ}\text{C}$ ) za 01 i 13 h, i potencijalne temperature ( $\Theta$  u  $^{\circ}\text{K}$ ) za oba termina na 850 i 700 hPa za Zagreb–Maksimir, Beč i München. b. Vektorski srednjak geostrofičkog  $\mathbf{V}_g$  i termalnog  $\mathbf{V}_T$  vjetra, skalarni srednjaci  $|\mathbf{V}_g|$  i  $|\mathbf{V}_T|$  i odgovarajuće stalnosti  $S$  u %. c. Komponente geostrofičkog i termalnog vjetra,  $u_g$  i  $u_T$ : Zagreb–Beč,  $v_g$  i  $v_T$ : Beč – München. Komponente termalnog vjetra su računane prema relaciji (3) u tekstu, i izražene u m/s/km.

Table 4. Geostrophic and thermal wind in the eastern Alpine region for the period 7–31. May 1979. a. Mean geopotential values ( $\phi$  in m), and temperature ( $t$  in  $^{\circ}\text{C}$ ) and potential temperature ( $\Theta$  in  $^{\circ}\text{K}$ ) for both 01 and 13 h mean at 850 and 700 hPa for Zagreb–Maksimir, Wien and München. b. Mean geostrophic wind vector  $\mathbf{V}_g$  and thermal wind vector  $\mathbf{V}_T$ , and the corresponding values of steadiness  $S$  in %. c. Geostrophic and thermal wind components,  $u_g$  and  $u_T$ : Zagreb–Wien,  $v_g$  and  $v_T$ : Wien–München. Thermal wind components are calculated from the relation (3) in the text, and expressed in m/sec/km.

Izvor podataka – Data source: Wien – Aerologische Berichte, Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik.

Publikation Nr. 169, Wien, 1979.

München: Europäischer Wetterberichte, Deutscher Wetterdienst, Offenbach, 1979.

a.	Zagreb		Beč		München					
	hPa	850	700	850	700	850	700	850	700	
$\phi$	01 h	1530	3107	1535	3109	1518	3094			
	13 h	1539	3117	1543	3117	1522	3100			
$t$	01 h	9.0	-1.5	8.6	-1.6	0.8	-0.1			
	13 h	8.9	-1.0	8.0	-1.0	0.9	-0.2			
$\Theta$		296	301	295	301	287	302			
b.		$V_g$				$V_T$				
	hPa	850		700		850		700		
	h	01	13	01	13	01	13	01	13	
	$\mathbf{V}_g$	4.0	5.0	3.4	3.9	$\mathbf{V}_T$	6.1	5.7	1.2	0.7
	$ \mathbf{V}_g $	7.1	6.9	7.4	6.7	$ \mathbf{V}_T $	6.6	6.3	3.4	3.2
	$S$	56	72	46	58	$S$	92	90	35	22
c.										
	$u_g$	-1.9	-1.5	-0.8	0.0	$u_T$	0.4	1.0	0.2	0.0
	$v_g$	3.6	4.7	3.3	3.9	$v_T$	6.1	5.6	-1.2	-0.7



tom slučaju vjetar mijenjao smjer od W na WSW. Na iste promjene ukazuje izračunati geostrofički vjetar istočno od Zagreba (sl. 4 i tab. 3).

Preostaje nam još nekoliko napomena o promjenljivosti vjetra na vrhu promatranog sloja, naročito u 13 h. Manje stalnosti geostrofičkog i termalnog vjetra na 700 hPa (b. u tablici 4) ukazuju na promjenljivost geostrofičkog vjetra i njegovog vertikalnog smicanja, a to se odražava i na lokalnim promjenama stvarnog vjetra i akceleraciji gibanja. Detaljnije, svakodnevne, analize stvarnog i geostrofičkog vjetra pokazuju promjene makrostrujanja na tim visinama koje su utjecale na malu stalnost njihovih vektorskih srednjaka. Međutim, mi smo i promatrali srednja stanja atmosfere u nadi da bismo time mogli eliminirati utjecaj makrogibanja i naći *očekivano malu* komponentu planinske cirkulacije. Ova analiza pokazuje da bi za prikaz gornjeg ogranka cirkulacije trebalo promatrati još dublji sloj troposfere, a to je očito i iz nedavno publiciranih rezultata Richnera i Phillipsa (1984) prema kojima se dnevna kolebanja temperature iznad Alpa primjećuju i do 500 hPa.

Konačno, iz ove analize se može pretpostaviti da je glavni uzrok većem kolebanju vjetra i horizontalnog gradijenta temperature u višim slojevima kolebanje planetarnog graničnog sloja koji je danju i u toploj sezoni deblji nego noću i zimi. Detaljniji prikaz ovog utjecaja na režim vjetra na području Zagreba je izvan okvira ovoga rada i bit će publiciran kasnije. Napomenimo jedino da značajnu ulogu u varijabilnosti graničnog sloja imaju brzina trenja, koja pored stabilnosti ovisi i o geostrofičkom vjetru, i vertikalne komponente gibanja koje su maksimalne u navjetrini i zavjetrini planine. Međutim, navjetrinu i zavjetrinu definira smjer geostrofičkog vjetra pa je u tome bitna povezanost lokalnog režima vjetra s geostrofičkim vjetrom na vrhu graničnog sloja.

## 6. Zaključak

Analiza srednjih vertikalnih profila temperature i vjetra u donjoj troposferi nad Zagrebom odražava utjecaj dva poznata sustava planinske cirkulacije: vjetra obronka u malim razmjerima i vjetra planina-dolina u većim mezorazmjerima. Ovi sustavi su jasno izraženi u dnevnim promjenama vektorskog srednjaka vjetra od 01 do 13 h u promatranim proljetnim mjesecima, ali odražavaju različiti intenzitet planinske cirkulacije većih razmjera na promjenu smjera i jačine vjetra u pojedinom mjesecu. Stalnost noćnog vjetra obronka veća je u Maksimiru nego na Griču zbog utjecaja izrazite noćne inverzije temperature. Utjecaj vjetra obronka na promjenu smjera danjeg i noćnog vjetra pri tlu najizraženiji je u ožujku. U tom mjesecu se utjecaj planinske cirkulacije većih razmjera, s istočnom danjom komponentom u donjoj troposferi, očituje na smanjenju brzine zapadnog vjetra u sloju od 1.0 – 2.5 km visine. Na 3 km su danji i noćni vjetar iste jačine, ali se jasno ističe južnija danja komponenta, što je karakteristika sva tri mjeseca na toj visini. Dnevno zagrijavanje je intenzivnije u travnju i svibnju pa je promjena u danjem i noćnom režimu izražena kroz cijeli sloj donje troposfere. Ovaj termički efekt još uvijek nije dovoljan da izmijeni sjevernu komponentu danjeg vektora vjetra u travnju. Utjecaj baroklinosti i planinske cirkulacije većih razmjera očituju se u travnju i svibnju u modifikaciji danjeg vjetra s izraženijom istočnom komponentom od tla do 1 km visine. Efekt

visinskog ogranka mezocirkulacije primjećuje se u srednjaku svibnja, a očituje se u povećanju (smanjenju) zapadne komponente vektora vjetra danju (noću).

U toplom svibnju 1979, s jače izraženom baroklinosti donjeg sloja troposfere i perzistentnijom planinskom cirkulacijom većih razmjera, gore opisani efekti na modifikaciju lokalnog režima vjetra u Zagrebu su još očitiji. Baroklinost donje troposfere izražena je južnom komponentom termalnog vjetra velike stalnosti na plohi 850 hPa. Analiza ukazuje na promjenu smjera zonalnog horizontalnog gradijenta temperature (München–Beč) i skretanju meridionalne komponente termalnog vjetra na sjeverni smjer, ali je stalnost termalnog i geostrofičkog vjetra na 700 hPa mnogo manja nego na 850 hPa. To je u skladu s vrlo malom stalnošću vektorskog srednjaka vjetra u sloju 2–3 km visine u Zagrebu, naročito u 13 h. Ova se pojava pripisuje vertikalnoj promjeni nivoa nultog horizontalnog gradijenta temperature, a time i debljini sloja donjeg ogranka planinske mezocirkulacije, u skladu s pretpostavkom o dnevnom i međudnevnom kolebanju debljine planetarnog graničnog sloja atmosfere na području Alpa.

Prikazana analiza mezocirkulacije se osniva na podacima u 01 i 13 h, što odgovara najvećim promjenama lokalnog režima vjetra pri tlu i ekstremnim vrijednostima statičke stabilnosti u plitkom graničnom sloju uz tlo. Međutim, 6-satne promjene temperature i vjetra u donjoj troposferi istog razdoblja u svibnju 1979 i promjene geostrofičkog i termalnog vjetra pri tlu istočno od Zagreba, u usporedbi sa srednjim stanjem atmosfere u svibnju, ukazuju na još veća dnevna kolebanja temperature i vjetra u donjoj troposferi nad Zagrebom. Posebno se ističe promjena vjetra i stabilnosti pri vrhu promatranog sloja koja sugerira da se visinski danji režim vjetra u toplom razdoblju uspostavlja već u ranim jutarnjim satima, a noćni režim započinje već u toku poslijepodneva. Da li su ove pojave karakteristične samo za promatrano razdoblje svibnja 1979. ili imaju veće značenje za povezanost lokalnog režima vjetra u Zagrebu i planinske cirkulacije većih razmjera, preostaje da se ispita u budućim istraživanjima.

## Literatura

- Atkinson B. W. (1981): *Meso-scale Atmospheric Circulations*. Academic Press, 495 pp.
- Bader D. C. and T. B. McKee (1983): Dynamic model simulation of the morning boundary layer development in deep mountain valleys. *Journal of Climate and Applied Meteorology* 22, 341–351.
- Banta R. M. (1984): Daytime boundary-layer evolution over mountainous terrain. Part I: Observations of the dry circulations. *Monthly Weather Review* 112, 340–356.
- Banta R. M. and W. R. Cotton (1981): An analysis of the structure of local wind systems in a broad mountain basin. *Journal of Applied Meteorology* 20, 1255–1266.
- Bernhofer C. and T. B. McKee (1984): Nocturnal Mass budget in a well drained widening valley. *Zbornik Meteoroloških i Hidroloških Radova* 10, 164–168.
- Defant F. (1951): Local winds. *Compendium of Meteorology*, American Meteorological Society, 655–672.

- Fitzjarrald D. R. (1984): Katabatic wind in opposing flow. *Journal of the Atmospheric Sciences* 41, 1143–1158.
- Geofizički zavod, (1970): Klimatski podaci Opservatorija Zagreb–Grič za razdoblje 1862–1967. Sveučilište u Zagrebu.
- Haltiner G. J. and F. L. Martin (1957): *Dynamical and Physical Meteorology*. McGraw-Hill Book Company, Inc., New York – Toronto – London, 470 pp.
- Holton J. R. (1972): *An Introduction to Dynamic Meteorology*. International Geophysics Series, Volume 16. Academic Press New York and London, 319 pp.
- Jurčec V. (1980): Weather characteristics over the Alps region during FGGE-SOP II. XVI International Conference for Alpine Meteorology, AIX-LES-BAINS, France, 371–375.
- Jurčec V. (1982): Mezoefekti orografije na povećanje i razdiobu konvektivne oborine na području Zagreba. *Rasprave* 17, Zagreb, 39–49.
- Katušin Z. (1980): Korištenje podataka vjetra sa visinske stanice Sljeme u usporedbi sa strujanjem u slobodnoj atmosferi. Savjetovanje o vremenu, klimi i agroklimatskim uslovima i karakteristikama u brdsko-planinskim područjima SFRJ, Kopaonik, knjiga I, 165–176.
- Lisac I. (1978): Struktura prizemnog strujanja zraka u Zagrebu. Disertacija, PMF, Sveučilište u Zagrebu, 115 str.
- Lisac I. (1984): Vjetar u Zagrebu. *Geofizika* 1, 47–134.
- Lončar E. (1982): Prilog poznavanju karakteristika vjetra u SR Hrvatskoj. *Rasprave* 17, Zagreb, 5–22.
- Petkovšek Z. (1978): Relief meteorologically relevant characteristics of basins. *Zeitschrift für Meteorologie* 28, 333–340.
- Petkovšek Z. (1982): Ein einfaches Modell des Tages-Hangwindes. *Zeitschrift für Meteorologie* 32, 1, 31–41.
- Poje D. (1978): Die Lokalwinde in Zagreb. XV Tagung für Alpine Meteorologie, Grindelwald, 1 Teil, 97–99.
- Poje D. (1982): Prilog proučavanju lokalnih vjetrova na području Zagreba. *Zbornik meteoroloških i hidroloških radova* 8, 33–43.
- Reiter E. R. and M. Tang (1984): Plateau effects on diurnal circulation patterns. *Monthly Weather Review* 112, 638–651.
- Richner H. and P. D. Phillips (1984): A comparison of temperatures from mountaintops and the free atmosphere – Their diurnal variations and mean difference. *Monthly Weather Review* 112, 1328–1340.
- Steinacker R. (1984): Area – Hight distribution of a valley and its relation to the valley wind. *Contributions to Atmospheric Physics* 57, 64–71.

Taylor P. A. and P. R. Gent (1980): Modification of the boundary layer by orography. Chapter 5 in: Orographic effects in planetary flows. GARP Publication Series No. 23, WMO/ICSU Joint Scientific Committee, 143–165.

Zhou Ming Yu, D. H. Lenschow, B. B. Stankov, J. C. Kaimal and J. E. Gaynor (1985): Wave and turbulence structure in a shallow baroclinic convective boundary layer and overlying inversion. *Journal of the Atmospheric Sciences* 42, 47–57.