

NEKE RAZLIKE IZMEĐU METEOROLOŠKIH ELEMENATA
NA VISINSKOM OPSERVATORIJU SLJEME I SLOBODNE
ATMOSFERE NAD ZAGREBOM

Poje Dražen - Zagreb

S a d r ž a j - U ovom referatu razmatraju se neke razlike između vrijednosti meteoroloških elemenata na planinskom opservatoriju Sljeme i radiosondaznih podataka na istoj visini. Planinski opservatorij Sljeme (1000 m NN) smješten je blizu vrha planine Medvednica, koja leži u smjeru NW od aeroloske stanice Zagreb - Borongaj. Na ovoj stanici (114 m NN) u redovnoj je upotrebi američka sonda AN/AMT-4. Osnova ovog rada je 739 radiosondaze, koje su izvršene u slijedećim periodima:

- a) od 1. juna do 15. juna 1955 u 03^h(SGV)
- b) od 16. juna 1955 do 28. februara 1956 u 15^h(SGV)
- c) od 1. marta 1956. do 31. marta 1957. u 03^h(SGV)
- d) od 1. aprila do 31. jula 1957. u 00^h(SGV).

Treba primjetiti da se na opservatoriju Sljeme nisu vršila noćna motrenja, pa je stoga za usporedbu sa noćnim sondazama upotrebljena naoblaka u 04 i 05^h(SGV). U prvom dijelu ovog referata opisani su rezultati istraživanja o ovisnosti temperaturne razlike Sljeme - radiosondaza na visini od 890 m iznad Zagreba. Tablica I. sadrži srednje mjesečne razlike za noćne i dnevne sondaze. Vrijednosti za proljetne mjesece dnevnih sondaza su interpolirane sa grafa godišnjih vrijednosti temperaturnih razlika (sl.l.). Opservatorij Sljeme je noću u godišnjem prosjeku za 2,2°C hladniji i popodne za više od 4° topliji od okolne atmosfere. Pozitivna razlika u toplijem dijelu godine popodnevni sondaza uzrokovana je insolacijom na Sljemenu.

Slika 2. do 22. predstavljaju histograme temperaturnih razlika za svaki mjesec godine, sa temperaturnim klasama od 1°C. Disperzija je osobito velika u decembru i čini se da je uzrokovana anticiklonalnim inverzijama.

Ovisnost temperaturne razlike o količini naoblake predočena je na tablici 2 (popodnevna sondaza) i na tablici 3 (noćne sondaze). U godišnjem prosjeku Sljeme je uslijed radijacije hladnije za vedrih noći više od 1 stupnja nego za oblačnih noći. Radijacioni efekt je osobito izražen za vedrih noći pri slabim vjetrovima na Sljemenu (tabl.4.).

Temperaturna razlika ovisi o brzini vjetra na Sljemenu: pri jačim vjetrovima razlika postaje veća uslijed intenzivnijeg adiabatskog ohladivanja. Nakon maksimalne razlike u intervalu od 5-6,9 m/sec kod noćnih sondaza (tabl.5.) i u toplijem dijelu godine kod dnevnih sondaza (tabl.6.), razlika opada.

Masiv planine Medvednica smješten je u smjeru ENE-WSW i najveća razlika se pojavljuje noću pri vjetrovima iz W-WNW (tabl.8.), i popodne pri vjetrovima iz SE-SSE vjetrova (tabl.7.). Izvjesno smanjenje pozitivne razlike tokom popodneva može se pripisati utjecaju SE-SSE vjetrova, u koje je uključena i lokalna cirkulacija na južnim padinama planine.

Ovisnost temperaturne razlike o vertikalnom temperaturnom gradijentu u sloju 500 - 1000 m je analizirana u tab.9. (noćne sondaze) i u tab.10 (dnevne sondaze).

Temperaturna razlika se smanjuje povećanjem stabilnosti atmosfere. U podacima relativne vlage postaju značajne razlike Sljemena i slobodne atmosfere. Tab.11 daje srednje mjesečne razlike. Apsolutni ekstremi leže između -34 i + 48%.

Na kraju su opisane neke karakteristike razlika u vjetru na Sljemenu i u slobodnoj atmosferi. U analiziranom periodu vjetar na Sljemenu je u prosjeku bio za 4,34 m/sec polaganiji nego u slobodnoj atmosferi nad Zagrebom.

Mjesečni srednjaci leže između -2,63 i 7,07 m/sec. Iako je postojao mali broj slučajeva pozitivnih razlika, nekoliko mjerenja dala su negativne razlike i veće od 20 m/sec.

Velika razlika u smjeru vjetra između Sljemena i slobodne atmosfere postaje osobito izrazita pri slabim vjetrovima na Sljemenu. Kod pozitivnih i negativnih razlika većih od 70° brzina vjetra na Sljemenu bila je ≤ 2 m/sec (osim 3 iznimke).

SOME DIFFERENCES BETWEEN METEOROLOGICAL ELEMENTS AT THE MOUNTAIN OBSERVATORY SLJEME AND THE FREE ATMOSPHERE ABOVE ZAGREB

S u m m a r y - In this work some differences between the value of meteorological elements at the mountain observatory Sljeme and the radiosonde data at the same level are discussed. The mountain observatory Sljeme (1000 m NN) is situated near the top of the mountain Medvednica which lies in the NW direction of the aerological station Zagreb-Borongaj. At this station (114 m NN) the American radiosonde AN/AMT-4 is in routine use. The 739 radiosoundings, the basis of this work, were made during the following periods:

- a) June 1st - June 15th 1955 - at 03^h (GMT)
- b) June 16th 1955 - February 28th 1956 - at 15^h (GMT)
- c) March 1st 1956 - March 31st 1957 - at 03^h (GMT)
- d) April 1st - July 31st, 1957 - at 00^h (GMT)

It should be noticed that there are no night observations at the observatory Sljeme: therefore, in the comparison for night soundings the cloudiness at 04^h and 05^h (GMT) was used.

In the first part of this work the results of the research on the dependence of the temperature difference Sljeme - radiosounding at 890 m above Zagreb are described.

In table I. there are the mean monthly values of the tempe-

perature difference for the night and daily soundings. The values, for spring months of daily soundings are interpolated from the graph of annual values of temperature differences (fig.1.). The observatory Sljeme is during the night in annual average for 2,2°C colder and in the afternoon more than 4°C warmer than the free atmosphere. The positive difference in the warmer part of the year of the afternoon soundings is caused by insolation at Sljeme.

The figures Nr.2 to 22 represent hystograms of temperature differences for each month of the year, with temperature class of 1°C. The dispersion in December is especially large and seems to be caused by anticyclonic inversions.

The dependence of temperature difference of the amount of cloudiness is represented on table 2 (afternoon soundings) and on table 3 (night soundings). In annual mean owing to radiation Sljeme is colder during clear nights for more than one degree than on cloudy nights. The radiation affect is remarkably distinct on clear nights by winds at Sljeme (tab.4.).

The temperature difference depends on wind speed at Sljeme: with greater wind speeds the difference becomes larger owing to more intense adiabatic cooling. After maximum difference in interval of 5-6,9 m/sec in night soundings (tab.5.) and in warmer part of the year in daily soundings (tab.6.), the difference decreases.

The massif of the mountain Medvednica is situated in a ENE - WSW direction and the greatest difference comes during the night by winds from W - WNW (tab.8.) and in the afternoon by winds from SE - SSE (tab.7.). During the afternoon certain decrease of positive difference may be attributed to the influence of SE - SSE winds which include the local circulation the southern mountain slopes too. The dependence of temperature difference of the vertical temperature gradient in the layer of 500 - 1000 m is analysed in table 9 (night soundings) and in table 10 (daily soundings).

With increase of stability the temperature difference becomes smaller.

In relative humidity data there is a remarkable difference between Sljeme and the free atmosphere. Table 11 gives the mean monthly differences. The absolute extremes are between -34 and +48%.

At last, several characteristics of differences in wind at Sljeme and in the free atmosphere are described. In the analyzed period, the wind at Sljeme was on the average for 4,34 m/sec slower than in the free atmosphere above Zagreb. The monthly means lie between -2,63 and -7,07 m/sec. Although there was a very small number of positive difference cases, few measurements gave the negative difference greater than 20 m/sec.

The large difference in wind direction between Sljeme and the free atmosphere becomes evident especially by light winds at Sljeme. By the positive and negative differences greater than 70° the wind speed at Sljeme was ≤ 2 m/sec (with 3 exceptions).

Problem razlika između vrijednosti meteoroloških elemenata registriranih na planinskim stanicama i podataka sondaza slobodne atmosfere na visini stanice bio je zahvaćen u meteorološkim istraživanjima već prije dosta dugo vremena. Poznati su radovi SCHMAUSSA, de QUERVAINA, v. FICKERA, HANNA, KLEINSCHMIDTA, PEPLERA i drugih o različitim aspektima tog problema. Radovi obuhvaćaju predratni period i pokazuju, da su bregovi u prosjeku za 0,5 do 1°C hladniji od okolne slobodne atmosfere. Osobito su zanimljiva istraživanja W. PEPLERA (1), koja se temelje na dugogodišnjim mjerenjima meteorografom podignutom pomoću zmaja na Bodenskom jezeru, a uspoređena su s mjerenjima visinskog opservatorija na Zugspitzeu. U ovom referatu učinit ću neke usporedbe s rezultatima prikazanim u spomenutom radu, koji je obavljen 1931. godine.

Nije potrebno posebno isticati, kolika je važnost podataka visinskih stanica. Za analizu vremenskih situacija, a prema tome i za prognozu vremena, ti su podaci od osobita značenja. Karakter stvaranja, promjena zračnih masa, prolaz vremenskih poremećaja daju se vrlo često ustanoviti na temelju podataka reprezentativnih visinskih stanica i zato je korisno da se pri tom poslu ima u vidu, koliko ti podaci zapravo odgovaraju stanju susjedne slobodne atmosfere. To treba imati na umu i kad se ističe velika gustoća mreže aeroloških stanica posebno u srednjoj Evropi. Ni dvije radiosondaze dnevno na dosta znatnom broju mjesta u Evropi ne mogu dati tako detaljnu sliku promjena u slobodnoj atmosferi, kao što to mogu registrirati visinske stanice, gdje se nalazi velik broj autograma.

Za ovaj rad stajali su mi na raspolaganju podaci radiosondaža izvršenih na aerološkoj stanici Zagreb-Borongaj, a dobiveni su američkom sondom AN/AMT-4 za slijedeća razdoblja:

- 1) 1.VI.1955. - 15.VI.1955. u 04 sata (SEV);
- 2) 16.VI.1955.- 28.II.1956. u 16 sati (SEV);
- 3) 1.III.1956.- 31.III.1957.u 04 sata (SEV);
- 4) 1.IV.1957. - 31.VII.1957.u 01 sat (SEV),

te podaci registracija visinskog opservatorija Sljeme kraj Zagreba (temperatura, vlaga, tlak i vjetar) za isti period. U citavu razdoblju od preko 2 godine izvršeno je ukupno 739 radiosondaža, od kojih je relativno vrlo malen broj bez podataka o vjetru, ili su izvršene izvan naznačenih termina.

Kod usporedbe uzete su vrijednosti temperature, vlage i vjetera dobivene radiosondazama na visini od 1000 m i vrijednosti istih meteoroloških elemenata na Sljemenu dobivene linearnom interpolacijom između satnih vrijednosti (početak sondaža u dosta velikom broju bio je između punog sata).

Napomenimo, da se aerološka stanica Zagreb-Borongaj nalazi oko 12 km udaljena u jugoistočnom smjeru od visinskog opservatorija na Sljemenu. Nadmorska visina stanice Zagreb-Borongaj iznosi 114 m.

Godišnji hod temperaturnih razlika

Pri promatranju temperaturnih razlika između Sljemena i slobodne atmosfere potrebno je odvojiti noćne (termin 01 sat) i jutarnje

(termin 04 sata) od popodnevnihi sondaža (u terminu 16 sati).
Godišnji hod vrijednosti razlika po mjesecima je slijedeći:

Tabela 1. Srednjaci razlike temp. Sljeme-RS. Zagreb
po mjesecima (VI.55. - VII.57.)

	I	II	III	IV	V	VI	
noć 01,04 ^h	-1,84	-2,67	-2,49	-1,77	-2,29	-2,38	
dan 16 ^h	-0,91	-0,35	(+1,0)	(2,87)	(4,4)	6,17	
	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God.
noć 01,04 ^h	-2,09	-2,53	-2,48	-2,02	-1,74	-2,30	-2,22
dan 16 ^h	7,40	8,11	8,12	6,58	4,57	1,34	(4,05)

U toku noći Sljeme je hladnije od okolne atmosfere i to u godišnjem prosjeku za više od 2,2°C. Najveća negativna razlika pada na mjesec veljacu, a najmanja je razlika u travnju i studenom. PEPPLER je nasao, da je Zugspitze u godišnjem prosjeku za 1,2° hladnije od slobodne atmosfere.

Nasuprot tome Sljeme je poslije podne gotovo kroz čitavu godinu toplije od okolne atmosfere. Iako nazalost nedostaju podaci za tri ljetna mjeseca (u tabeli 1 interpolirane su vrijednosti za te mjesece), ipak se iz raspoloživog materijala može vidjeti, da je Sljeme uslijed insolacije toplije od slobodne atmosfere u godišnjem prosjeku za više od 4 stupnja. Minimum razlike pada na siječanj i iznosi -0,9°C, dok je razlika u toplijem dijelu godine stalno u prosjeku pozitivna, tako da dostiže maksimum od 8,1°C u VIII. i IX. mjesecu (vidi sl.1.). Interesantno je, da kod PEPPLERa maksimalna srednja mjesečna razlika Zugspitze-Bodensee pada na mjesec lipanj i iznosi 1,1°C, dok je u godišnjem prosjeku popodne Zugspitze nešto malo hladniji od okolne atmosfere (-0,05°C).

Kao što se vidi, postoji znatna razlika između PEPPLERovih rezultata i mojih istraživanja. Ima li se međutim u vidu dugi niz mjerenja, koje je PEPPLER uzeo u obzir, kao i činjenica, da je Sljeme oko 8 puta bliže mjestu sondiranja atmosfere nego Zugspitze, može se pretpostaviti, da su povećane razlike u temperaturi tokom poslijepodnevnihi mjerenja posljedica manje udaljenosti.

Omjer godišnjih srednjaka temperaturnih razlika popodnevnihi sondaža Zagreba i Bodenskog jezera iznosi 4,05 : 0,05 = 8,2, a to se poklapa s omjerom udaljenosti Zugspitze-Bodensee prema Zagreb-Sljeme. Na sl.2 do 22 prikazani su histogrami temperaturnih razlika Sljeme-RS Zagreb. Histogrami su izrađeni posebno za svaki mjesec za noćne i dnevne sondaže sa klasom od 1°C. Smatram, da je niz motrenja prekratak za dublju statističku analizu, pa ističem samo neke osobitosti.

Oblik histograma nesumljivo je rezultat složenih faktora, o kojima će kasnije biti govora. Postojanost pojedinog tipa vremen-

ske situacije u nekom mjesecu posebno anticiklona s jakim inverzijama u zimskom periodu dovodi do veće disperzije razlika. To se uočava naročito u mjesecu prosincu. Interesantno je istaći i ljetne mjesece kod noćnih i popodnevni sondaza, gdje se relativno velik procenat cestina nalazi u uskom intervalu od 2-3 stupnja.

Ovisnost temperaturne razlike o naoblaci

Iz sl.1. može se kod popodnevni sondaza uočiti izrazit godišnji hod srednjaka temperaturnih razlika.

Tabela 2. Ovisnost t Sljeme RS-Zagreb o naoblaci na Sljemenu u 16 sati

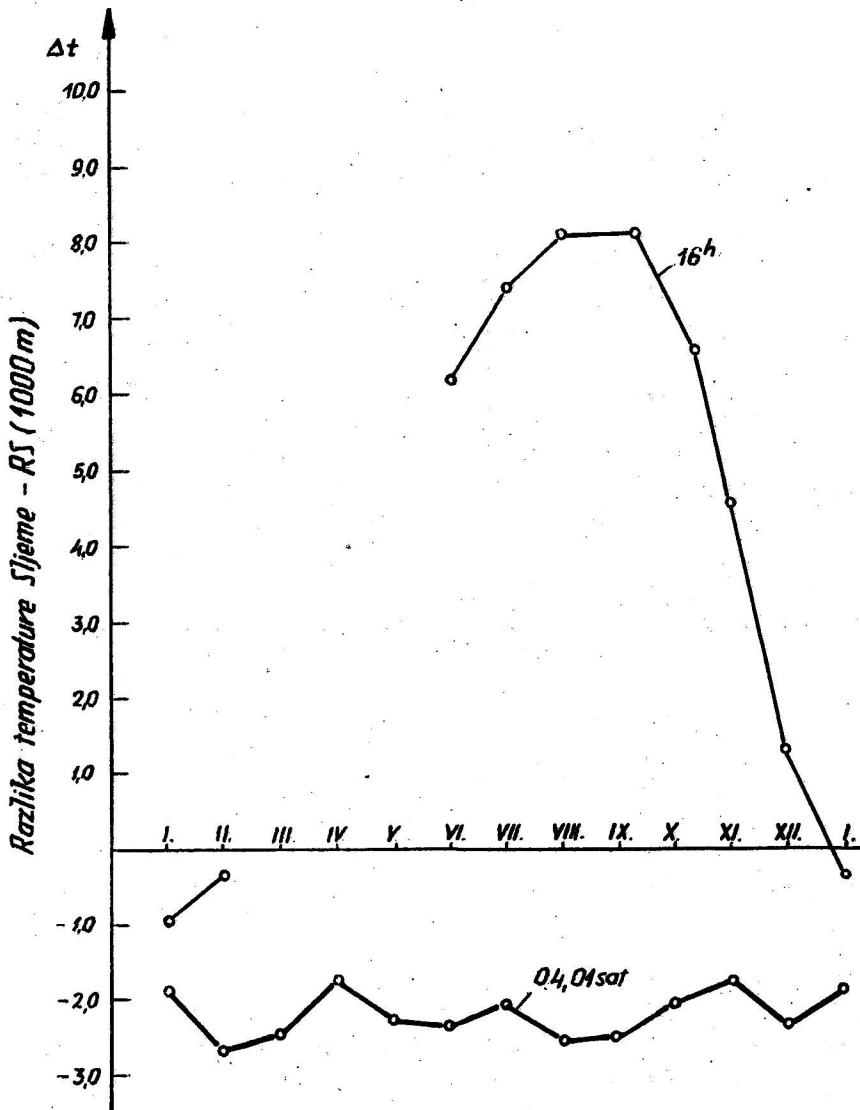
	0 - 1	2 - 3	4 - 5	6 - 7	8 - 9	10
Ljeto (VI, VII, VIII. 55.) n	+6,6 7	9,1 13	7,6 11	8,0 10	7,4 19	9,4 29
Jesen (IX, X, XI. 1955.) n	6,2 14	7,1 15	8,3 8	7,4 12	6,0 2	5,6 35
Zima (XII. 55. I, II. 56.) n	-0,07 14	-0,13 6	0,50 2	1,39 5	0,49 12	0,16 49

Kod tih se sondaza (tab. 2.) uočava maksimalna razlika ljeti kod male naoblake i potpuno oblačnog neba. Za vrijeme jeseni i zime maksimum razlika nastaje pri umjerenoj naoblaci. Iz gornje tabele se osim toga vidi da pored insolacije mora da djeluju i drugi faktori, koji smanjuju odnosno povećavaju razlike. Zimi poslije podne u 16 sati razlika temperatura pri potpuno vedrom i potpuno oblačnom vremenu iznosi svega 0,2°C, kad se o utjecaju insolacije ne može gotovo uopće govoriti.

Kod noćnih odnosno jutarnjih sondaza uzeta je u promatranje naoblaka u 05 odnosno 06 sati, jer se na stanici Sljeme ne vrše noćna motrenja. To je doduše 2 do 5 sati kasnije nego što je izvršena radiosondaža, ali vjerujem, da će se podaci o veličini jutarnje naoblake u manjem broju slučajeva razlikovati od stvarne naoblake na Sljemenu u momentu vršenja sondaze.

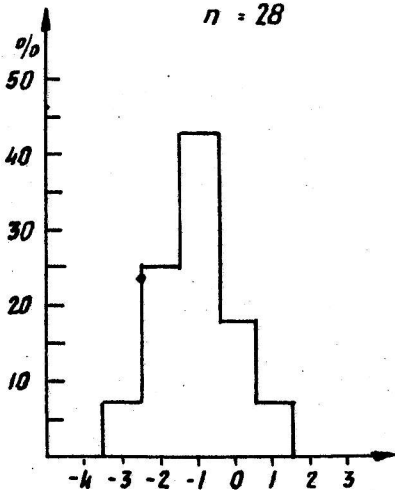
U doba proljeća i zime općenito se kod male i umjerene naoblake zapaza veća negativna razlika nego kod oblačnog vremena. Kad je vrijeme potpuno vedro ta razlika u toku proljeća dosegne preko 2 stupnja. Utjecaj izaravanja topline prema tome izrazito se osjeća u proljeću i zimi, a ljeti minimum razlike nastaje kad je nebo pretežno oblačno.

Uzevši godinu u cjelini, Sljeme je za vrijeme noći hladnije od slobodne atmosfere bez obzira na naoblaku. Najveća negativna razlika javlja se, kad je vedrina i malo oblačno nebo, dok je razlika kod potpuno oblačnog neba za više od jednog stupnja manja nego kad je nebo vedro.

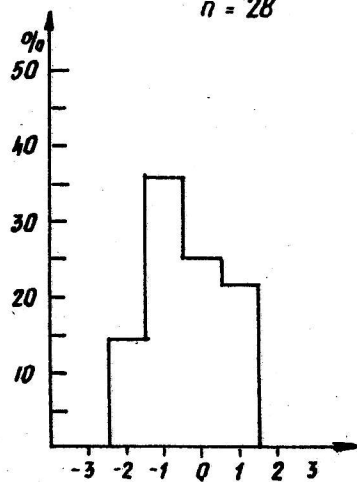


Sl. 1. Godišnji hod razlika temperatura Sljeme - RS Zagreb

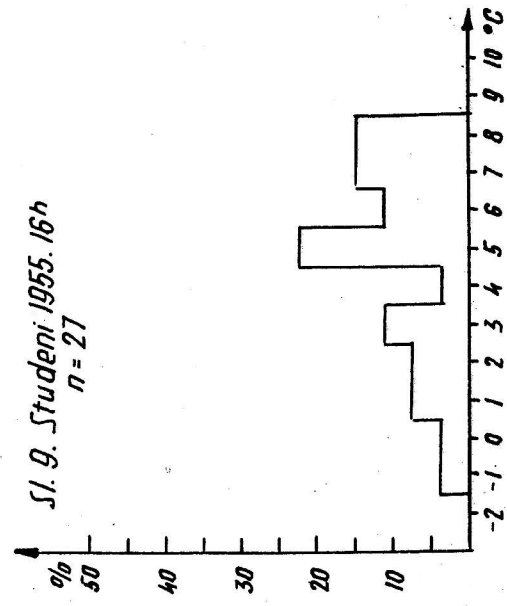
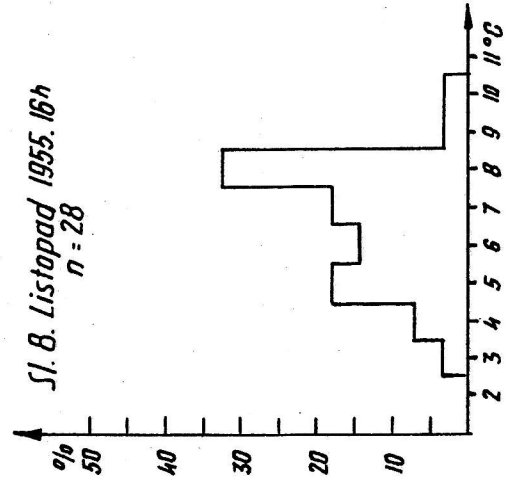
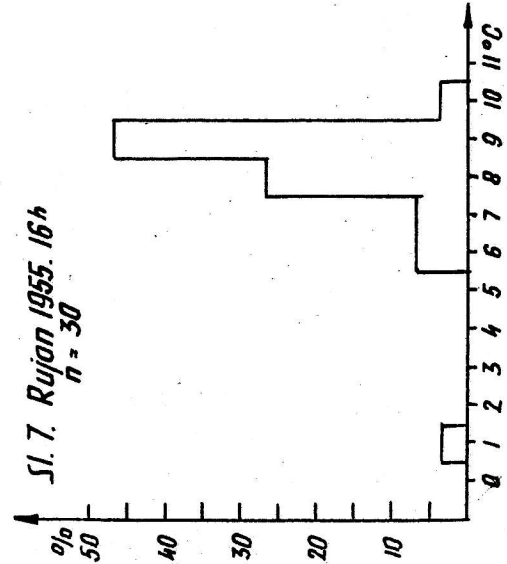
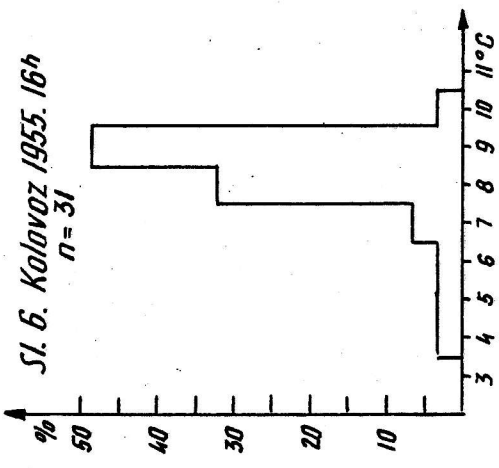
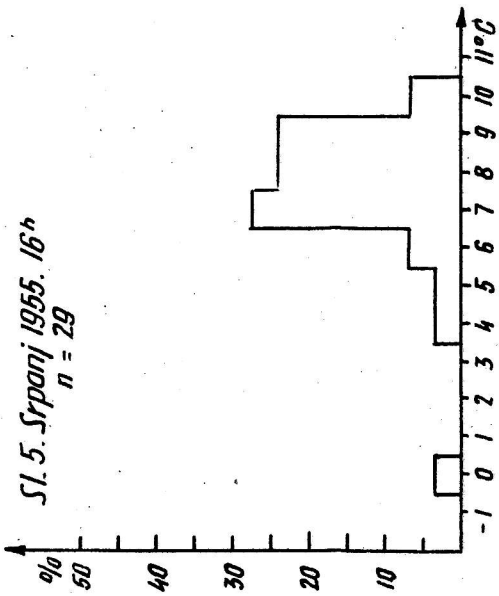
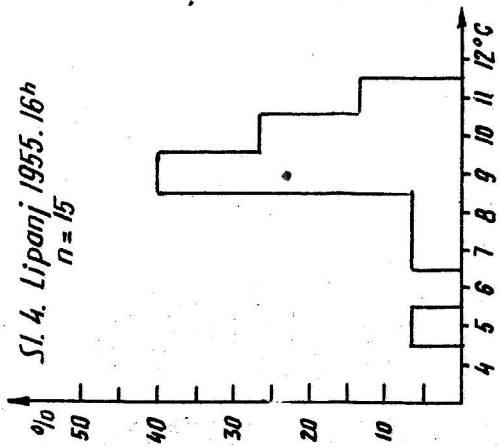
Sl. 2. Siječanj 1956. 16h
n = 28



Sl. 3. Veljača 1956. 16h
n = 28

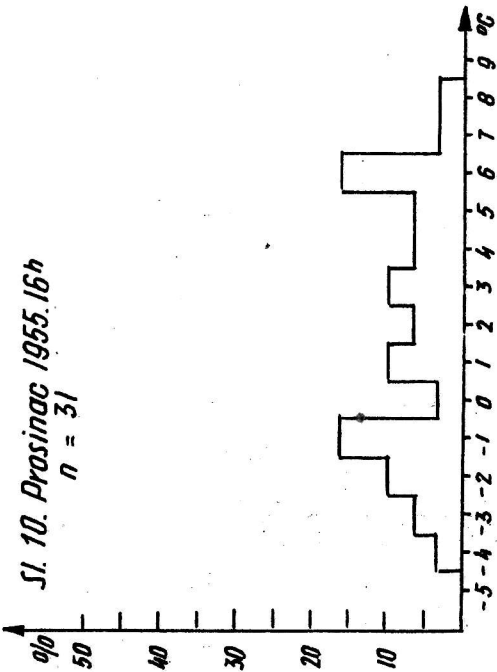


ČESTINA TEMPERATURNIH RAZLIKA SLJEME-RS u %

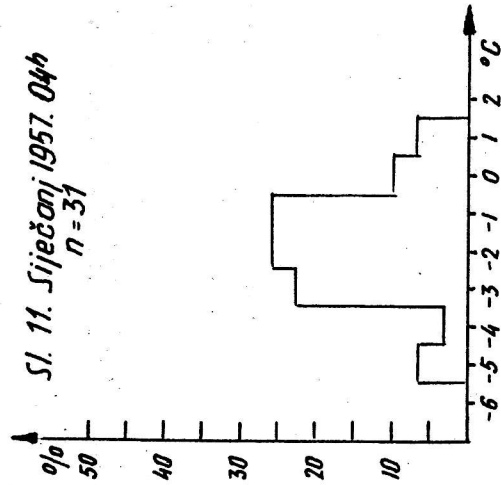


ČESTINE TEMPERATURNIH RAZLIKA SJEME-RS U %

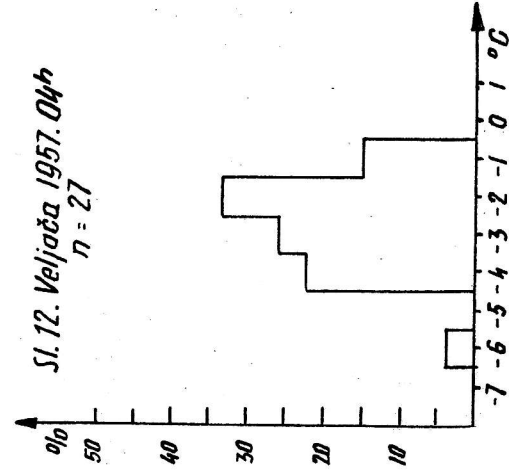
Sl. 10. Prosinac 1955. 16h
n = 31



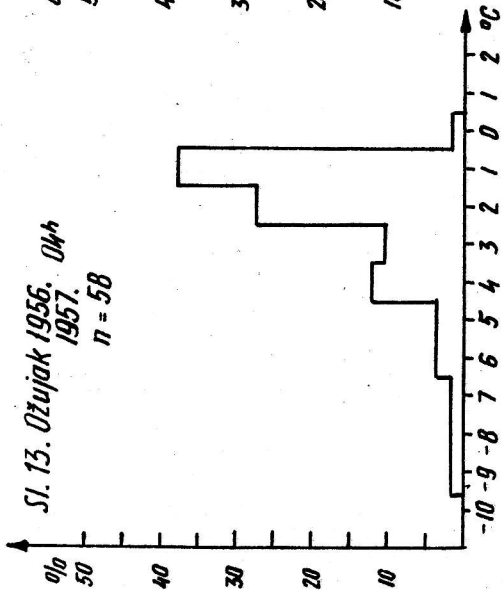
Sl. 11. Siječanj 1957. 04h
n = 31



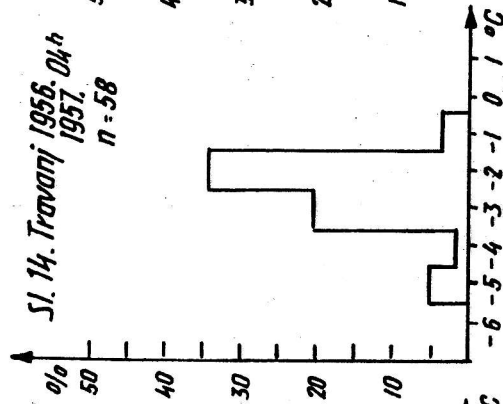
Sl. 12. Veljača 1957. 04h
n = 27



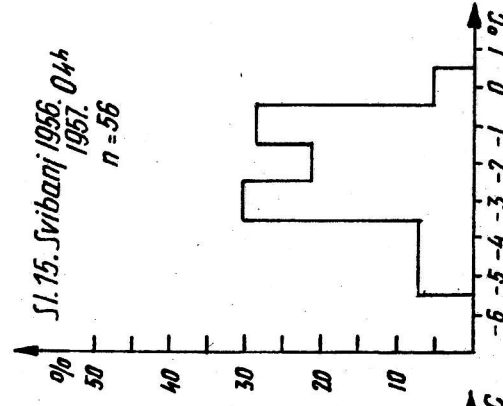
Sl. 13. Ožujak 1956. 04h
n = 58



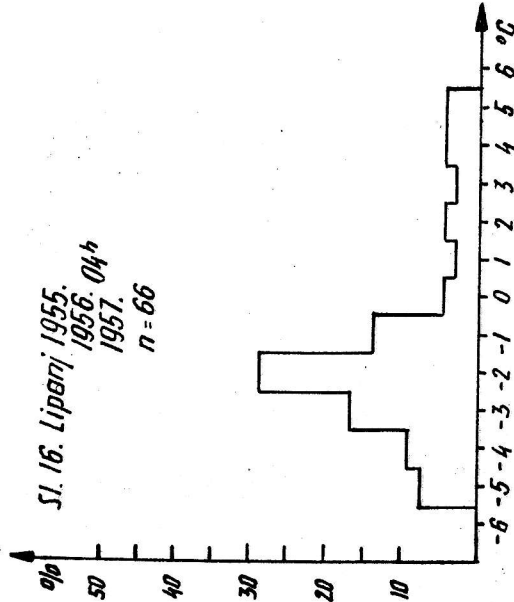
Sl. 14. Travanj 1956. 04h
n = 58



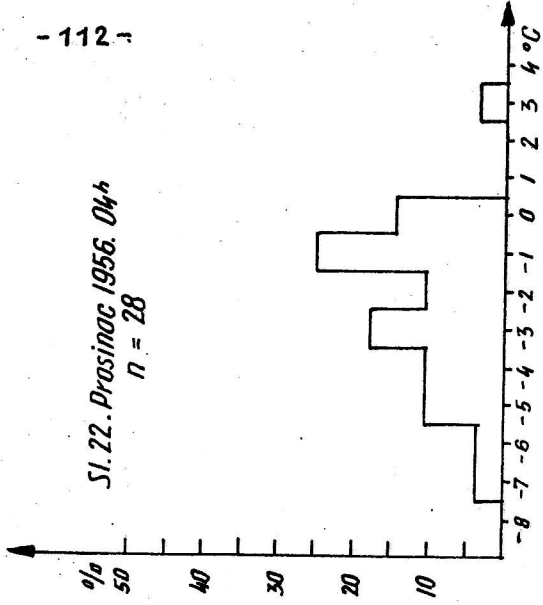
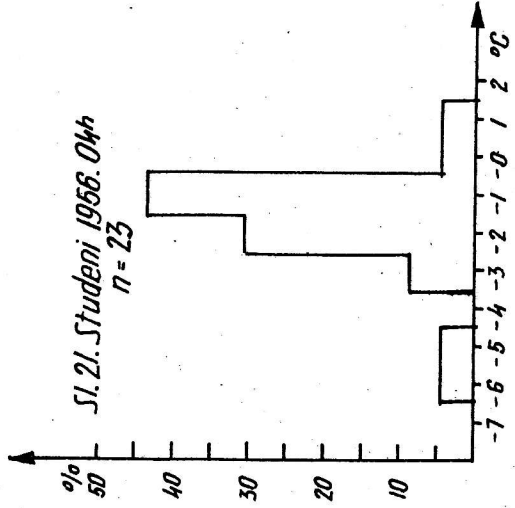
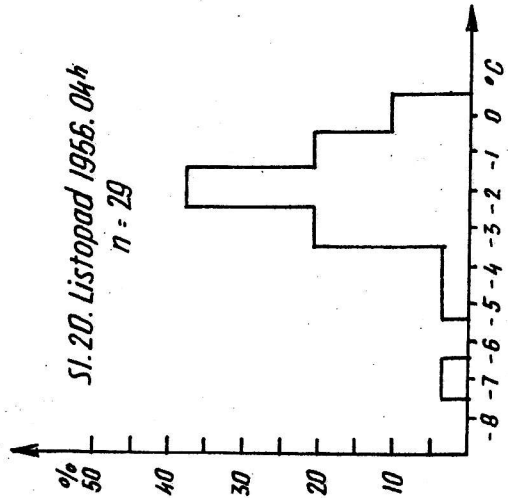
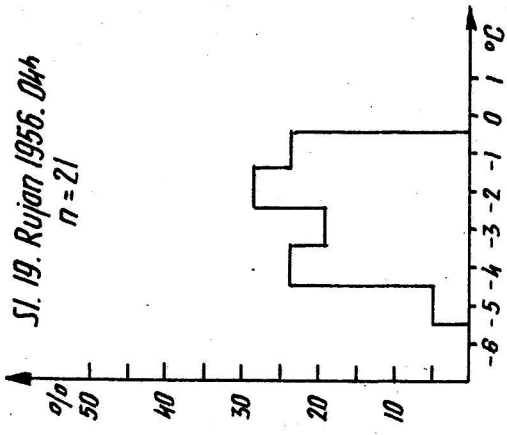
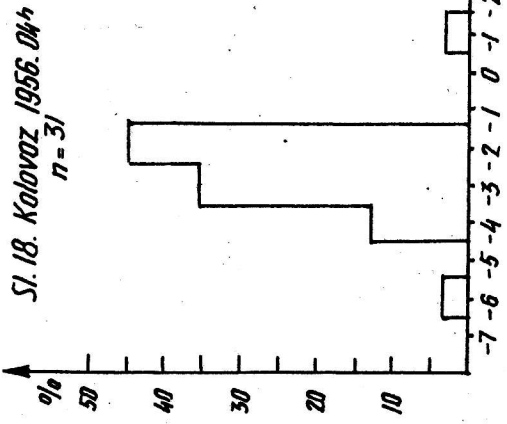
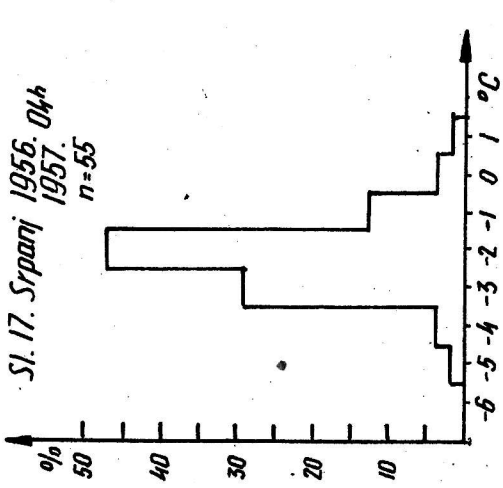
Sl. 15. Svibanj 1956. 04h
n = 56



Sl. 16. Lipanj 1955.
1956. 04h
1957.
n = 66



ČESTINE TEMPERATURNIH RAZLIKA SLJEME-RS u ‰



ČESTINE TEMPERATURNIH RAZLIKA SJEME-RS U %

Broj mjerenja u pojedinim godišnjim dobima pri određenom stupnju naoblake relativno je malen, tako da se ni ovdje ne smiju povući definitivni zaključci o utjecaju naoblake, to više sto je temperaturna razlika ovisna i o drugim faktorima.

Tabela 3. Ovisnost Δt Sljeme-RS.Zagreb o naoblaci na Sljemenu (5^h, 6^h) 01, 04^h

	0 - 1	2 - 3	4 - 5	6 - 7	8 - 9	10
Proljeće (III.-V.1956,1957.) n	-4,0 40	-2,9 10	-3,1 13	-2,9 4	-2,5 24	-1,9 76
Ljeto (VI.-VIII.1956,1957.) n	-2,2 54	-2,9 11	-2,1 10	-3,0 8	-1,9 14	-2,4 43
Jesen (IX.-XI.1956.) n	-2,8 30	-3,0 2	-2,0 3	-1,7 4	-3,3 3	-1,2 31
Zima (XII.-II.1956,1957.) n	-2,3 25	-3,0 4	-4,0 1	-2,0 1	-3,0 8	-1,6 47
Godina	-2,83	-2,90	-2,65	-2,38	-2,55	-1,73

Tabela 4. Ovisnost temperaturne razlike Sljeme-RS Zagreb o naoblaci pri brzinama vjetrova na Sljemenu 0-2 m/sec(04 i 01 sat)

Naoblaka Period	0 - 1	2 - 3	4 - 5	6 - 7	8 - 9	10
Mart - Oktobar n	-2,36 55	-2,46 8	-1,38 5	-2,24 11	-1,31 20	-1,56 38
Novembar-Februar n	-1,21 9	-5,0 1	+1,0 1	. .	-2,67 3	-1,21 32

Uz pretpostavku da se u vedrim noćima uslijed izjaravanja ohladuju prizemni slojevi zraka nad brdom prema slobodnoj atmosferi - za vrijeme tišina i slabih vjetrova ta bi razlika morala doći jasno do izražaja. Tablica 4.pokazuje, da je u toplijem dijelu godine (III.-X.mj.) kod noćnih sondaža zaista pri vedrom ili malo oblacnom

vremenu Sljeme za $0,8-0,9^{\circ}\text{C}$ hladnije od okolne atmosfere nego kad je nebo potpuno oblačno.

Ovaj se rezultat, međutim, slaže s PEPPLERovim nalazom samo djelomično, jer PEPPLER već pri naoblaci 8-9 nema nikakve razlike između brijega i slobodne atmosfere, dok pri potpuno oblačnom nebu postoji pozitivna razlika i iznosi $+0,6^{\circ}\text{C}$.

Vrlo zanimljivo pitanje, da li kondenzacioni procesi utječu na temperaturnu razliku, nisam mogao istražiti, jer na Sljemenu nije u promatranom periodu bilo motrenja vremenskih pojava u noći poslije 21 sat, a registracije oborine nisu mogle dati podatak o posve slabim oborinama.

PEPPLER, V.FICKER i KLEINSCHMIDT su našli, da se uslijed oslobađanja latentne topline kondenzacije temperaturna razlika planina slobodna atmosfera znatno smanjuje, a u slučaju magle razlika iscezava.

Ovisnost temperaturne razlike o brzini vjetra

Pri uzdizanju zračnih masa na obronke planine dolazi do dinamičkog hlađenja, koje povećava temperaturne razlike između bregova i slobodne atmosfere. Pri tom igra značajnu ulogu i vertikalna izmjena, pa se može očekivati, da će se s porastom brzine strujanja povećati temperaturne razlike.

Tabela 5 pokazuje, da je i u hladnijem i u toplijem dijelu godine kod noćnih sondaža temperaturna razlika najmanja kad su tisine, a kod brzine vjetra od 5 do $6,9\text{ m/sec}$ dosegnut će maksimum od blizu -3°C . S povećanjem brzine strujanja zraka preko Medvednice razlika se međutim smanjuje, tako da gotovo ponovo dostiže vrijednosti pri tisinama. Ovaj se rezultat slaže s istraživanjima FICKERA i PEPPLERA, od kojih je posljednji našao, da se na pr. u hladnijem dijelu godine temperaturna razlika za Zugspitze-Bodensee penje od $0,1^{\circ}\text{C}$ (kod 0 Beauforta) na čak $2,3^{\circ}\text{C}$ (kod 4 stupnja Beauforta).

Kod popodnevnihi sondaža osjeća se također utjecaj dinamičkog hlađenja, ali manje je izrazit uslijed dnevne insolacije.

Tabela 5. Ovisnost Δt o brzini vjetra na Sljemenu

Period \ brzina m/sec	0-0,9	1-2,9	3-4,9	5-6,9	7-8,9	9-10,9
III.- X.1956. 04 ^h	-2,03	-2,06	-2,36	-2,79	-2,15	-2,16
III.-VII.1957.04 ^h	14	12	13	72	20	5
n						
XI.- XII.1956.04 ^h	-1,27	-1,61	-2,59	-2,95	-1,95	-
I.- II. 1957.04 ^h	3	43	36	22	5	-
n						

Tabela 6. Ovisnost temperaturne razlike $\Delta t^{\circ}\text{C}$ brzini vjetra na Sljemenu

Period \ brzina m/sec	0	1-2,9	3-4,9	5-6,9	7-8,9	9-10,9	11-12,9
Juni - Septembar 1955. 16 ^h	8,86	7,81	6,88	6,41	7,60	-	-
n	21	57	24	11	1	-	-
Oktobar-Februar 16 ^h	3,68	3,15	1,76	2,27	0,02	1,90	7,20
n	7	46	46	28	9	2	1

U toku toplijeg dijela godine pozitivna temperaturna razlika između Sljemena i slobodne atmosfere smanjuje se porastom brzine sve do nekih 7 m/sec. Za vrijeme zime dinamički utjecaj najizrazitiji u intervalu brzina od 3-4,9 m/sec i 7-8,9 m/sec.

Ovisnost temperaturne razlike o smjeru vjetra

Masiv planine Medvednice, na kojoj je smješten opservatorij Sljeme, položen je uglavnom u smjeru WSW-ENE. S obzirom na takav položaj očekivao bi se najjači dinamički utjecaj ohlađivanja za one situacije, kad pušu vjetrovi okomito na hrbat Medvednice. Od vrha Medvednice-Sljemena planina se blago spušta prema W i E, tako da se mora pretpostaviti, da ni kod tih smjerova vjetra dinamički utjecaj ne će isčeznuti.

Tabela 7. Ovisnost temperaturne razlike Sljeme-RS. Zagreb o smjeru vjetra na Sljemenu (popod. sondaze)

Period \ Smjer	N-NNE	NE-ENE	E-ESE	SE-SSE	S-SSW	SW-WSW	W-WNW	NW-NNW
Jun-Septembar 16 ^h	9,00	7,12	7,57	7,48	8,03	8,63	8,24	8,07
n	17	5	8	19	13	3	14	17
Oktobar-Februar 16 ^h	3,90	1,23	2,97	0,84	2,74	2,15	1,43	4,47
n	24	4	15	24	21	6	28	8

U toku poslijepodneva opaža se najjači utjecaj dinamičkog hlađenja kod vjetrova iz NE-ENE i iz SE-SSE smjera (okomito na glavni smjer protezanja Medvednice). Omjer vrijednosti temperaturnih razlika kod vjetrova iz SE-SSE smjera prema vrijednostima razlike iz NW-NNW smjera (dakle za 180° razlike) je u ljetnom periodu 1:1,08, dok je u zimskom periodu čak 1:5,4.

Tabela 8. Ovisnost temperaturne razlike o smjeru vjetrova na Sljemenu - noćne sondaze

Smjer Period	N-NNE	NE-ENE	E-ESE	SE-SSE	S-SSW	SW-WSW	W-WNW	NW-MNW
April-Septembar 01-04 ^h n	-2,06 45	-1,88 25	-1,73 21	-2,03 61	-2,01 33	-1,96 19	-2,94 54	-2,47 37
Oktobar-Mart 01-04 ^h n	-1,67 24	-1,84 17	-1,34 13	-1,81 26	-1,70 19	-1,87 10	-3,97 36	-3,37 12

Pri noćnim i jutarnjim sondazama postoji prema tab.8.najjači dinamički utjecaj kod vjetrova iz W-WNW smjera, dakle gotovo posve suprotno nego pri popodnevni sondazama. Mora se, dakle, uzeti da osim vrlo složenog utjecaja reljefa planine ima u toku popodneva značajnu ulogu i lokalna cirkulacija gornjaka, koja se stvara na južnim padinama Medvednice.

Ovisnost temperaturne razlike o vertikalnom temperaturnom gradijentu

Analiza iznesenih tabela pokazuje, da temperaturna razlika Sljeme - slobodna atmosfera ovisi na dosta složen način o dinamičkom ohlađivanju pri prisilnom uzdizanju zraka uz obronke brda. Ta temperaturna razlika mora ovisiti i o vertikalnom temperaturnom gradijentu u slobodnoj atmosferi. Iskljuci li se utjecaj insolacije, uzevši u obzir noćne odnosno jutarnje sondaze, tad bi teoretski morala temperaturna razlika iscezavati u slučaju, da u okolnoj slobodnoj atmosferi postoji suhadijabatski vertikalni gradijent. Sa smanjenjem gradijenta morala bi se povećavati razlika i kod izotermije trebala bi za svaki loc m uzdizanja zraka u vis stvarati po 1 stupanj razlike, odnosno u našem slučaju Zagreb-Sljeme, citavih 9 stupnjeva razlike. Obradeni materijal međutim uglavnom ne pokazuje takve razlike, tako da se mora uzeti, da se u slučaju Medvednice vrši u velikoj mjeri obilazanje brda, te da se citav stup zraka iz Savske doline ne diže u vis do razine Sljemena.

Da bi se izbjegao utjecaj prizemnih inverzija, promatran je vertikalni temperaturni gradijent u sloju od 500 do 1000 m u slobodnoj atmosferi nad Zagrebom.

Pri noćnim sondazama u toplijem dijelu godine opaža se zaista porast negativne razlike smanjenjem gradijenta, tako da se u 17 slučajeva inverzije razlika u srednjaku penje čak na $-3,5^{\circ}\text{C}$ (dne 20.III. 1957. temperaturna razlika iznosila je na pr. $-9,3^{\circ}\text{C}$ kod $\gamma = -0,16^{\circ}\text{C}$, dakle kod slabe inverzije, a dan kasnije $-6,3^{\circ}\text{C}$, kod $\gamma = -0,10^{\circ}\text{C}$). Izuzme li se 5 slučajeva sa gradijentima od $0,99$ do $0,80^{\circ}\text{C}/100$ m, tad i u hladnijem dijelu godine postoji povećanje negativne razlike, koja je po apsolutnoj vrijednosti nešto manja nego u toplijem dijelu godine.

Tabela 9. Ovisnost Δt Sljeme-RS.Zagreb o vertikalnom temperaturnom gradijentu

γ °C/100 m		0,99	0,79	0,59	0,39	0,19	
Period	1,00	do 0,80	do 0,60	do 0,40	do 0,20	do -0,09	< -0,10
III.-VIII.1956. 01 ^h	-2,20	-1,56	-2,04	-2,23	-2,59	-2,79	-3,36
III.-VII. 1957. 04 ^h n	4	31	107	85	37	26	17
IX.-XII. 1956. I.-II. 1957. 04 ^h n	.	-2,09	-1,64	-2,00	-2,41	-2,14	-2,74
	.	5	32	40	26	29	23

Tabela 10. Ovisnost Δt °C Sljeme-RS.Zagreb o vertikalnom temperaturnom gradijentu

γ °C/100 m		0,99	0,89	0,79	0,69	0,59	0,49	0,39	0,29	0,19	
Period	1,00	do 0,90	do 0,80	do 0,70	do 0,60	do 0,50	do 0,40	do 0,30	do 0,20	do 0,10	< 0,1
Ljeto 16 ^h VI.VII. VIII.1955. n	8,16 19	8,54 25	8,08 15	7,40 9	6,80 2	5,85 2	5,30 1	4,70 1	.	4,40 1	.
Jesen 16 ^h IX.X.XI. 1955. n	8,75 15	8,27 13	7,60 14	6,78 6	5,94 9	5,45 4	5,43 11	4,56 5	1,10 1		1,82 7
Zima 16 ^h XII.1955. I.II.1956. n	0,20 1	-0,05 2	1,70 7	-0,14 12	0,02 12	1,26 12	-0,32 9	-0,78 10	0,40 5	0,98 4	-1,97 11

Za razliku od noćnih sondaža, utjecaj vertikalnog temperaturnog gradijenta jako se osjeća kod popodnevnihi sondaža (tab.10.). Dok kod superadijabatskih gradijenata razlika iznosi 8,16°C (a ta se poklapa ujedno sa maksimumom razlike za VIII. i IX. mjesec), već kod gradijenata od 0,39 do 0,30°C/100 m razlika pada na blizu polovinu prve vrijednosti. Kod gradijenata ispod 0,3°C/100 m tokom jeseni razlika se smanji prema superadijabatskim gradijentima za oko 8 puta,

što bi odgovarale osnovnoj pretpostavci adijabatičkog hlađenja zraka, koji se prisilno diže u gotovo izotermnoj atmosferi.

U toku zime ne može se uočiti nikakva pravilna veza temperaturnih razlika s gradijentima, a to se možda može svesti na povećanu cestinu naoblake na Sljemenu i procesa oborina.

Prema onom što smo dosad kazali zaključujemo, da se i za noćnih i dnevnih sondaža povećanjem stabilnosti atmosfere povećava negativna, odnosno smanjuje pozitivna razlika temperature između Sljemena i slobodne atmosfere. Smisao promjena je u oba slučaja isti tako da zimi po podne kod inverzija dovodi do negativnih razlika.

Isti smisao promjena temperaturnih razlika povećanjem stabilnosti našao je PEPLER promatrajući razlike Zugspitze-Bodensee. Kod jutarnjih sondaža PEPLER je pri gradijentima od $0,8$ do $1,0^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ našao srednju razliku $0,6^{\circ}$, dok nas povećanjem stabilnosti razlika pada, te kod gradijenata bližih izotermiji ($0,1$ do $0,2^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$) dosegne čak $-3,6^{\circ}\text{C}$. Za računanje gradijenata uzeo je sloj od 1000 do 3000 m . Kad je uzeo sloj od $2500 - 3000\text{ m}$, razlika je bila negativna i pri velikim gradijentima ($0,8$ do $1,0^{\circ}\text{C}/1000\text{ m}$), da bi kod izotermije ($0,0$ do $0,2^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$) narasla ponovo na $-3,6^{\circ}\text{C}$.

Neke razlike drugih elemenata

Relativna vlaga

Procesi kondenzacije na obroncima Medvednice kao i znatna vlaga u šumi, koja okružuje meteorološki opservatorij na Sljemenu, uzroci su razlika između podataka relativne vlage na Sljemenu i radiosondažnih mjerenja na istoj visini. U mjesečnom prosjeku one iznose:

Tabela 11. Srednjaci razlike relativne vlage Sljeme
RS. Zagreb po mjesecima (VI.55.-VII.57.)

	I	II	III	IV	V	VI	VII
noć 01^{h} 04^{h}	8,26	13,70	14,2	12,5	12,4	13,9	14,0
dan 16^{h}	14,0	12,5	11,3

	VIII	IX	X	XI	XII	God.
noć 01^{h} 04^{h}	16,4	11,5	10,4	13,2	10,4	12,6
dan 16^{h}	9,2	8,5	11,4	5,8	11,0	.

Izrazit godišnji hod srednjaka razlika dostiže maksimum u VIII. mjesecu (u toku noći), odnosno minimum u I. mjesecu. Apsolutni ekstremi razlika kreću se u intervalu od -34% do +48%.

Vjetar

Između podataka radiosondaže o strujanju zraka (dakle momentane vrijednosti) i mjerenja na Sljemenu pomoću anemografa (dobivene interpolacijom između srednjih satnih vrijednosti, a za moment puštanja sonde) postoje dosta znatne razlike.

U periodu od 26 mjeseci brzina vjetra na Sljemenu je prosječno za 4,34 m/sec manja nego u slobodnoj atmosferi na istoj visini. Mjesečni srednjaci razlika kreću se između -2,63 i -7,07 m/sec. U istom razdoblju je brzina vjetra na Sljemenu bila svega dva puta za okruglo 3 m/sec veća nego u slobodnoj atmosferi, četiri puta za 2 m/sec veća, a jedanaest puta za 1 m/sec veća nego u okolnoj atmosferi na istoj visini. Najveća negativna razlika iznosi čak 24 m/sec, dok je srednjak apsolutnih negativnih skstrema svih 26 mjeseci -13,6 m/sec.

Između smjera vjetra na Sljemenu i podataka radiosondaže postoje razlike, koje mogu već prema danom smjeru i brzini doseći veliki raspon vrijednosti. Apsolutni ekstremi kreću se između -180° i +180°, ali od ukupno 26 mjeseci i 15 ekstremnih vrijednosti razlika pada unutar intervala -70° do +70°. Svega u jednom slučaju zabilježena je razlika od 140° u smjeru kod brzine od 5 m/sec na Sljemenu, jednom od 130° kod brzine od 3 m/sec, dok su kod svih ostalih razlika, koje su bile po apsolutnoj vrijednosti veće od -70°, brzine vjetra na Sljemenu bile ≤ 1 m/sec.

Što se tiče pozitivnih razlika, t.j. kad je smjer vjetra na Sljemenu bio veći od smjera u slobodnoj atmosferi nad Zagrebom, samo je u jednom slučaju i to pri razlici od 170°, bila brzina vjetra na Sljemenu 4 m/sec. U svim ostalim slučajevima kod razlika u smjeru većih od 70° brzine vjetra na Sljemenu bile su ≤ 2 m/sec.

Zaključak

Na osnovu dosta skromnog materijala aeroloških mjerenja u Zagrebu pomoću radiosonda u razdoblju od nešto preko 2 godine dobivene su usporedbom sa podacima visinskog opservatorija Sljeme slijedeći rezultati:

1. Postoji izrazit godišnji hod temperaturnih razlika Sljeme - slobodna atmosfera kod popodnevni sondaza sa maksimumom u VIII. i IX. mjesecu. U toku noći ne postoji nikakav pravilan godišnji hod razlika, ali razlike su u prosjeku negativne. Pri popodnevnim sondazama pozitivne razlike svode se na utjecaj insolacije.

2. Utjecaj naoblake na temperaturne razlike postoji: kod vedrog i malo oblačnog vremena zapaza se veća temperaturna razlika pri popodnevnim sondazama, dok se kod noćnih sondaza ocituje umjeren efekat izaravanja.

3. Brzina strujanja vjetra smanjuje pozitivne, odnosno povećava negativne temperaturne razlike sve do cca 7 m/sec uslijed dinamičkog hlađenja pri dnevnim i noćnim sondazama.

4. Veličina temperaturne razlike ovisi o smjeru vjetra: pri popodnevnim sondazama najveće je smanjenje temperaturne razlike kod vjetrova iz SE do SSE smjera, pri noćnima nestaju najveće negativne razlike kod vjetrova iz W do WNW smjera.

5. Povećavanjem stabilnosti atmosfere smanjuje se pozitivna razlika kod popodnevnih, odnosno povećavaju (po apsolutnoj vrijednosti) negativne razlike.

6. Razlike u relativnoj vlazi variraju u intervalu od -34 do +48%. Srednjaci razlika pokazuju dosta slabe izražen godišnji hod sa maksimumom u VIII. mjesecu (noćne sondeže).

7. Brzina vjetra na Sljemenu je u prosjeku za više od 4 m/sec manja od brzine vjetra u slobodnoj atmosferi. Vrlo je malen broj slučajeva sa pozitivnom razlikom brzina; negativne razlike mogu doći i vrijednosti od 20 m/sec.

8. Razlike u smjeru vjetra između Sljemena i slobodne atmosfere mogu biti osobite velike kod brzina vjetra manjih od 2 m/sec (čak do 180°).

L i t e r a t u r a

- (1) W. PEPPLER: Zur Frage des Temperaturunterschiedes zwischen dem Berggipfel und der freien Atmosphäre, Beitr. zur Physik d.f. Atm. 1931. p. 247-263.