

**Rasprave i prikazi**

DK 551.521  
551.58

**ENERGETSKA RAVNOTEŽA  
PRIZEMNOG SLOJA ATMOSFERA -TLO  
U HRVATSKOJ**

**NADEZDA ŠINIK**

**NADA PLESKO**

Zagreb, 1976.

Ovo istraživanje financirao je Republički fond za naučni rad Socijalističke Republike Hrvatske, Samoupravna interesna zajednica za znanost – SIZ III, Direkcija za Savu i Elektroprivreda, Zagreb.

Glavni i odgovorni urednik:

Mile Šikić, dipl. inž.

Recenzenti:

Dr V. Jurčec

Dr I. Penzar

Dr D. Poje

Lektura i tehnička suradnja:

Marko Zeljak, prof.

Izdavač, tisak i uvez:

Republički hidrometeorološki zavod SR Hrvatske, Zagreb, Grič 3



REPUBLICAN HYDROMETEOROLOGICAL INSTITUTE  
of the  
SOCIALISTIC REPUBLIC CROATIA

---

No 12

**Memoirs**

551.521  
551.58

**ENERGY BALANCE  
OF THE NEARGROUND ATMOSPHERE  
IN CROATIA**

**NADEZDA SINIK**

**NADA PLEŠKO**

Zagreb, 1976

Zahvaljujemo institucijama, koje su financiranjem omogućile realizaciju ovog istraživanja, kao i recenzentima na korisnim stručnim diskusijama i sugestijama. Instruktivne savjete u završnoj fazi rada dao je prof. dr. B. Makjanić, na čemu se također zahvaljujemo.

Posebno zahvaljujemo na suradnji meteorolozima i tehničarima, kao i daktilografu i crtaču.

Računske operacije potrebne za ovaj rad izvedene su u Sveučilišnom računskom centru na UNIVAC-u 1110, pomoću programa koje je izradio inž. I. Mlaker iz Direkcije za Savu.

**Adresa autora:**

M. Sc. Nadežda Šinik, dipl. inž, M. Sc. Nada Pleško, dipl. inž.  
Republički hidrometeorološki zavod SR Hrvatske, Zagreb, Grič 3

## SADRŽAJ - CONTENTS

	Strana
SAŽETAK - ABSTRACT	VII
1. OPIS TEORIJE Nadežda Šinik	1
1.1 Općenito	1
1.2 Sumarna radijacija	3
1.3 Albedo površine aktivnog sloja tla	4
1.4 Efektivno izžaravanje	5
1.5 Temperatura aktivnog sloja tla	6
1.6 Razmjena topline u tlu	8
1.7 Turbulentna razmjena topline	9
1.8 Toplina isparavanja	11
1.9 Zaključne napomene	16
1.10 Primjena	16
2. IZRAČUNAVANJE KLIMATSKIH ENERGETSKIH KOMPONENATA Nadežda Šinik i Nada Pleško	
2.1 Općenito	18
2.2 Modifikacije pri izračunavanju	19
2.3 Diskusija tabelarnih podataka	25
3. TEMPERATURNI REŽIM Nada Pleško	
3.1 Općenito	30
3.2 Ispitivanje ovisnosti $t = f(LE, P, B)$	32
3.3 Diskusija rezultata	38

4.	KLIMATSKA RAJONIZACIJA Nadežda Šinik	40
5.	LOKALNI POTENCIJAL RAZVOJA KONVEKTIVNE NAOBLAKE Nadežda Šinik	
5.1	Uvod	46
5.2	Statistička analiza	47
	<i>Konvektivna naoblaka u Hrvatskoj i ravnoteža energija prizemnog sloja atmosfere</i>	52
	<i>Analitička razmatranja lokalnog potencijala konvektivne naoblake</i>	56
	<i>Diskusija grafikona</i>	56
	<i>Multi potencijal čestine Cu</i>	63
5.3	Diskusija prosječne čestine konvektivne naoblake u Zagrebu	65
	<i>Ocjena P i LE pomoću klimatskih elemenata pojedinog lokaliteta</i>	65
	<i>Klimatogena formula konvektivne naoblake u Zagrebu</i>	70
	<i>Zaključne napomene</i>	73
	<b>Literatura</b>	74
	Summary	79
	List of Tables	82
	List of Figures	84
	List of Symbols	87

## SAŽETAK

Komponente energetske ravnoteže prizemnog sloja atmosfere izračunate su metodom Budyka pomoću srednjih mjesečnih vrijednosti (razdoblje 1949-73) meteoroloških elemenata na 29 meteoroloških stanica u SR Hrvatskoj. To su: neto fluks radijacije  $R$ , latentna toplota isparavanja  $LE$ , turbulentna razmjena topline  $P$  i fluks topline u tlu  $B$ . Te veličine su baza jedne klimatske podjele Hrvatske. Ujedno je pronađena korelacija između  $P$ ,  $LE$  i  $B$  te srednjeg temperaturnog režima kao i razvoja konvektivne naoblake.

## ABSTRACT

Components of a nearground atmosphere energy balance have been computed by the method of Budyko using mean monthly values of meteorological elements (period 1949-73) at 29 meteorological stations in Croatia. These are: net radiation  $R$ , Latent heat of vaporization  $LE$ , turbulent heat exchange  $P$  and heat flux in the soil  $B$ . They are a basis of a climatic regioning of Croatia. Also a correlation between  $P$ ,  $LE$  and  $B$  and the mean temperature regime as well as the convective cloudiness development has been found.

# 1. OPIS TEORIJE

N. Šinik

## 1.1 Općenito

Svi procesi u atmosferi odvijaju se tako da koriste određeni vid energije uz ravnotežno stanje između primljene i utrošene energije u vremensko-prostornim koordinatama.

U makro-smislu, opća cirkulacija atmosfere je izraz ravnotežnog stanja energije u sistemu atmosfera - oceani - tlo, te se kao takva i proučava dijagnostički i prognostički (Manabe, 1969) numeričkom integracijom kompleksa termodinamičkih jednažbi. Nasuprot ovako velikom sistemu, u mikroklimatologiji se proučavaju energetske ravnoteže npr. jedne šume, kao zatvorenog sistema ili čak samo jednog lista koji prima i gubi određene količine energije (Lowry, 1969).

Jednažba ravnoteže energija\*, koja se koristi u klimatskim istraživanjima, najopćenitije glasi:

$$Q - I = LE + P + B \quad (1-1)$$

gdje je:

- Q - količina kratkovalne energije sa Sunca, koju u jedinici vremena prima jedinična površina,
- I - količina energije dugovalnog zračenja zemljine površine,
- LE - toplina, koja sudjeluje u procesima isparavanja i kondenzacije,
- P - energija, koja se turbulencijom razmjenjuje između tla i atmosfere,
- B - razmjena topline s nižim slojevima tla.

Ukoliko se razmatraju kraći vremenski intervali, u jednažbu (1-1) ulazi i član advekcije A.

Najsvestranije se ispituje balans energija tzv. graničnog sloja atmosfere. Razni autori daju razne definicije tog sloja odnosno njegove debljine. Možda je najprikladnije (Outcalt, 1972) tretirati sloj u atmosferi do visine na kojoj se već gubi dnevni hod temperature, ali koji je još uvijek dovoljno nizak, da u njemu vrijede pretpostavke logaritamskih gradijenata vjetra. U tlu se sloj proteže do razine na kojoj se gube dnevne varijacije temperature. Myrup (1969) predlaže, da se s graničnim slojem ide u atmosferi do oko 300 m, a u tlu do 20 cm, što se u grubom poklapa i s ostalim autorima na polju proučavanja toplinske, odnosno energetske ravnoteže (Budyko, 1956 i kasnije).

---

\* "energy balance equation", die "Energiehaushaltsgleichung", "uravnenie teplovogo balansa".

U ovom je radu odredjivana ravnoteža energija u najnižem dijelu graničnog sloja, tzv. "prizemnom" sloju, karakterističnom upravo po logaritamskoj promjeni vjetera s visinom, zatim po tome, da se fluks topline u njemu može smatrati konstantnim i da su vertikalni gradijenti svih elemenata u njemu veliki i promjenljivi (*Lajhtman, 1970*). Njegova se visina mijenja tijekom dana i godine, zadržavajući se pretežno u granicama od nekoliko desetaka metara iznad tla. Taj je sloj pod neposrednim uplivom aktivnog sloja tla, čija debljina uglavnom odgovara pretežnoj dubini korijenja u tlu.

Jednadžbu (1-1) može se napisati i kao:

$$R = LE + P + B \quad (1-2)$$

gdje je:  $R$  rezultatni (neto) fluks radijacije u razmatranom sloju ili kroz razmatranu površinu. Veličina  $R$  je pozitivna u slučaju priliva radijacione energije,  $LE > 0$  kod isparavanja,  $P > 0$  ako je tok topline u smjeru povećanja ( $z$ ) koordinate u atmosferi, a  $B > 0$  ako se toplina prenosi prema nižim slojevima tla.

Jednadžbe tipa (1-1) odnosno (1-2) danas se mnogo primjenjuju. Uz intenzivnu primjenu u proučavanju opće cirkulacije atmosfere one se svestrano koriste u numeričkom simuliranju klime i klimatskih promjena (*Sellers, 1969; Jacobs i Brown, 1973; Budyko, 1971 i dr.*), zatim u proučavanju klime gradova ("toplinska kapa" - *Myrup, 1969*), u mikroklimatologiji, a u Sovjetskom Savezu (i nekim drugim socijalističkim zemljama) izradjuju se karte prostorne razdiobe pojedinih komponenata toplinskog (energetskog) balansa po metodi Budyka (GGO, Lenjingrad).

U svakom pojedinom slučaju, ovisno o sistemu u kome se jednadžba (1-1) definira, njene se komponente odredjuju različitim metodama, počevši od eksperimentalnih (najčešće u mikroklimatologiji) do čisto teoretskih s nizom različitih pretpostavki. Jednadžba energetske ravnoteže može se koristiti u razne svrhe pa se s time u vezi njene komponente odredjuju na različite načine.

U ovom istraživanju korištena je dijagnostička metoda Budyka (*Budyko 1956, 1961, 1971*). Ta je metoda izradjivana i usavršavana tijekom posljednje dvije decenije, a koristi izmjerene podatke raznih meteoroloških elemenata. Metoda je veoma kompleksna i sadržajna i zadire u više naučnih disciplina, u čemu i jeste njena vrijednost. Budući da su energetske komponente ovdje izražene u toplinskim jedinicama koristi se izraz "komponente toplinske ravnoteže".

Metodom Budyka komponente energetske ravnoteže mogu se u osnovi izračunati za vremenski osrednjena stanja i za veća područja, međjutim, u svom proširenom vidu ova se metoda već primjenjuje u mikroklimatologiji i biometeorologiji.

## 1.2 Sumarna radijacija

Lijevu stranu jednadžbe (1-2), tj. radijacionu bilancu može se izraziti kao:

$$R = Q_n (1-\alpha) - I_n - \delta I_n \quad (1-3)$$

Rezultantna radijaciona energija  $R$ , koju prima pogranični sloj atmosfera - tlo, izračunava se tako, da se od sumarne sunčeve radijacije  $Q_n$ , koja je prošla kroz naoblaku količine  $n$ , došla do tla i djelomično se reflektirala zbog albeda površine  $\alpha$ , zbog čega je površina tla prima u obliku smanjenom za faktor  $1-\alpha$ , odbije efektivno dugovalno izžaravanje tla  $I_n$ , koje je to slabije što je gušća naoblaka  $n$  i što je manja razlika između temperature atmosfere  $T$  i temperature tla  $T_w$ , o čemu ovisi član  $\delta I_n$ .

Sumarno, odnosno globalno sunčevo zračenje (direktno i difuzno) mjeri se specijalnim instrumentima. Takvih je instrumenata najčešće malo (u Hrvatskoj postoji solarigraf u Zagrebu, na Medvednici, na otoku Lastovo i u Splitu). Zato u odgovarajućoj naučnoj literaturi postoji veliki broj poluteoretskih izraza, koji indirektnim putem određuju globalnu radijaciju pojedinog mjesta. Ona je ovisna o geografskoj širini i o naoblaci, karakterističnoj za dano mjesto. Na smanjenje globalne radijacije najviše djeluje gusta, niska naoblaka, a obzirom da kod povećanja ukupne naoblake obično osjetno raste učestalost niske naoblake, u ovom radu korišten je izraz od T.G. Berljan-  
da, u kome je definirana kvadratična ovisnost  $Q_n$  o naoblaci (Budyko, 1971)

$$Q_n = Q_0 (1 - an - bn^2) \quad (1-4)$$

gdje je  $Q_n$  mjesečna količina globalne radijacije uz srednju mjesečnu naoblaku  $n$ ,  $Q_0$  je globalna radijacija pri vedrom nebu. Veličine  $Q_0$  i  $Q_n$  date su u  $\text{kcal cm}^{-2} \text{mj}^{-1}$ , a  $n$  je u dijelovima jedinice. Te vrijednosti su nakon usporedbe s mjerenim podacima na Griču (Penzar 1959), u našem radu zamijenjene s vrijednostima globalne radijacije pri vedrom nebu po Albrecht-u (Albrecht, 1955), koje su prikazane u tabeli 1.1.

U Glavnom geofizičkom opservatoriju (GGO) u Lenjingradu, koristeći podatke mjerenja  $Q_n$  na različitim geografskim širinama, određene su vrijednosti bezdimenzionalnih koeficijenata  $a$  i  $b$ , kakve su upotrijebljene i u našem radu. Koeficijent  $b = 0,38$ , dok  $a$  ovisi o geografskoj širini na slijedeći način:

$\varphi$	35	40	45	50°N
$a$	0.38	0.38	0.40	0.41



Tabela 1.1. -  $Q_0$ , kcal cm<sup>-2</sup> mj<sup>-1</sup> (uz n = 0)

mj. $\psi^{\circ}N$	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
50	4.4	6.4	11.5	16.1	20.7	21.9	21.9	18.4	13.6	9.2	5.3	3.5
45	6.1	7.9	12.9	17.0	21.1	22.0	22.2	19.1	14.8	10.7	6.9	5.2
40	7.8	9.4	14.3	17.9	21.5	22.1	22.5	19.8	15.9	12.2	8.5	6.9
35	9.4	10.9	15.7	18.6	21.8	22.1	22.6	20.4	16.9	13.6	10.1	8.6

### 1.3 Albedo površine aktivnog sloja tla

Daljnja veličina, koja ulazi u izračunavanje, jest albedo površine  $\alpha$ . Albedo je poznat za različite tipove površina (tlo, raslinstvo i td. i mijenja se s visinom Sunca i s promjenom svojstva površine (suho, vlažno i td.), međutim, za relativno shematizirano indirektno određivanje komponenata energetske ravnoteže pomoću srednjih mjesečnih vrijednosti meteoroloških elemenata određene su u GGO-u srednje vrijednosti  $\alpha$  (Budyko, 1961 i 1971; Berljand, 1956 i dr.). Te vrijednosti uzete su kao osnova u našem radu, pri čemu je srednja mjesečna vrijednost  $\alpha$  za svaku pojedinu stanicu i svaki mjesec određivana u godinama toplinskih ekstrema pomoću broja dana s određenim stanjem tla, tj. prema podacima o snježnom pokrivaču i broju dana s kišom. Kriterij nije dovoljno objektivan ni precizan, ali bez specijalnog mjernog određivanja albeda na svakom odabranom mjestu daje jedinu mogućnost približne ocjene gubitka sunčeve radijacije zbog refleksije na tlu. Za prosječne godišnje hodove kriterij za ocjenu  $\alpha$  još je više pojednostavljen. Ovdje smo na osnovu godišnjih hodova albeda za godine s ekstremima temperatura izveli približan srednji godišnji hod  $\alpha$ , koji se pokazao zajednički za grupu stanica u unutrašnjosti. Mjesta na jadranskoj obali takodjer imaju svoj zajednički godišnji hod albeda, a isto tako i stanice s većom nadmorskom visinom (Sljeme i Zavižan).

Tabela 1.2 - Mjesečna procjena albeda,  $\alpha$ 

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Unutrašnjost Hrvatske											
0.60	0.50	0.35	0.25	0.20	0.18	0.15	0.18	0.20	0.25	0.35	0.50
Istočna obala Jadrana											
0.25	0.20	0.15	0.15	0.12	0.10	0.10	0.10	0.12	0.15	0.18	0.20
Visinska mjesta (Sljeme, Zavižan)											
0.65	0.60	0.45	0.30	0.20	0.20	0.18	0.18	0.20	0.25	0.35	0.50
Unutrašnjost Istre											
0.50	0.40	0.30	0.20	0.18	0.15	0.15	0.18	0.22	0.22	0.28	0.35

#### 1.4 Efektivno ižaravanje

Slijedeći član radijacione bilance u jednadžbi (1-3) je efektivno dugovalno ižaravanje tla  $I_n$ . Taj gubitak je najveći uz vedro nebo ( $I_0$ ), a uz naoblaku  $n$  ovisan je i o vlazi zraka. Dugovalno ižaravanje takodjer se može mjeriti, te je na osnovu već postojećih mjerenja i istraživanja ustanovljeno više sličnih poluempiričkih ovisnosti  $I_0$  o temperaturi i vlazi, od kojih se u praksi najpogodniji pokazao izraz

$$I_0 = S\sigma T^4 (0,254 - 0,0066e) \quad (1-5)$$

(Efimova, 1961). Ovdje je  $S$  koeficijent "sivoće" koji pokazuje za koliko se ižaravanje tijela razlikuje od ižaravanja crnog tijela.  $S$  se malo mijenja te se najčešće uzima  $S=0,95$ . Faktor  $\sigma$  je Stefan-Boltzman-ova konstanta ( $\sigma = 8,14 \cdot 10^{-11}$  cal cm<sup>-2</sup> min<sup>-1</sup> st<sup>-4</sup>),  $T$  je temperatura u apsolutnoj skali, a  $e$  je tlak pare u mm stupca žive. Mjesečna količina  $I_0$  izračunava se pomoću jednadžbe:

$$I_0 = \sigma T^4 (11,0 - 0,29e) \text{ kcal cm}^{-2} \text{ mjesec}^{-1} \quad (1-6)$$

Veličina  $I_0$  predstavlja ižaravanje za vedra neba i uz pretpostavku, da su temperature tla i atmosfere u prizemnom sloju jednake. Kod oblačnog neba zbog protužarenja atmosfere ižaravanje tla smanjeno je za faktor  $1-cn^\tau$ , tako da je konačno

$$I_n = I_0 (1 - cn^\tau) \quad (1-7)$$

gdje je  $c$  faktor ovisan o geografskoj širini, a  $\tau$ , ovisno o klimi pojedinih područja odnosno o količini pojedinih vrsta naoblake, varira između 1 i 2. Uz dovoljan broj mjerenja  $I_n$  može se  $\tau$  odrediti za svako mjesto, međjutim uz opće pomanjkanje mjernih podataka najbolje je za  $\tau$  uzeti konstantu i to zbog jednostavnosti  $\tau = 1$ , čime se pretpostavlja linearna ovisnost  $I_n$  o naoblaci. Koeficijent  $c$  varira s geografskom širinom (Budyko, 1971) i iznosi:

$\psi$	40°N	45°N
$c$	0,68	0,70

Utjecaj promjene temperature u prizemnom sloju atmosfere sadržan je u jednadžbi:

$$\delta I_n = 4S\sigma T^3 (T_w - T) \quad (1-8)$$

$$S = 3,52 \cdot 10^{-9} \text{ kcal cm}^{-2} \text{ min}^{-1} \text{ st}^{-4}$$

gdje je  $T_w$  temperatura tla, a  $T$  temperatura zraka izmjerena u termometrijskoj kućici. Jednadžba (1-8) dobivena je derivacijom po  $T$  izraza za  $I_o$  bez utjecaja vlage i pokazuje, da je  $\delta I_n$  ovisan samo o gradijentu temperature u sloju zraka pri tlu.

Prema tome, konačna vrijednost efektivnog izžaravanja prizemnog sloja je

$$I_n + \delta I_n = I_o (1 - cn) + 0,95 \cdot 4\sigma T^3 (T_w - T) \quad (1-9)$$

### 1.5 Temperatura aktivnog sloja tla

Temperaturu aktivnog sloja tla  $T_w$  treba odredjivati na osnovi mjerenja u raznim dubinama tla, što se na kopnu provodi samo u veoma malom broju mjesta. Zato ta veličina predstavlja poseban problem u metodici odredjivanja komponenata energetske ravnoteže i u načinu njenog indirektnog odredjivanja dolazi do izražaja kompleksnost čitave metode.

Problem se rješava dvojako.

1.- Jednadžbe (1-4) i (1-9) uvrste se u (1-3) te se iz kompletne jednadžbe energetske ravnoteže izrazi  $\Delta T = T_w - T$  kao funkcija svih ostalih veličina u jednadžbi (1-3). Na taj način dolazi se do jednadžbe u kojoj je radijaciona bilanca  $R$  prikazana u vezi s ostalim komponentama toplinske ravnoteže:

$$R = f (S, \rho, c_p, D, T, LE, B, P) \quad (1-10)$$

gdje je  $\rho$  gustoća atmosfere,  $c_p$  specifična toplina pri konstantnom tlaku,  $D$  integralni koeficijent turbulentne difuzije (jedn. 1-19), a ostalo je već definirano. Prema tome, uz poznati  $LE$  i  $B$  može se odrediti  $R$  za svaki mjesec.

Takav način korišten je u praksi za izračunavanje radijacione bilance prilikom izrade Svjetskog atlasa toplinske ravnoteže pograničnog sloja atmosfere.

2.- Temperatura  $T_w$  odnosno razlika  $\Delta T = T_w - T$  može se odrediti indirektnim, računskim putem na osnovi fizikalne činjenice, da je i turbulentna razmjena topline  $P$  ovisna o gradijentu temperature  $\Delta T$ , kao što je i isparavanje ovisno o gradijentu vlage  $\Delta q$ . Stoga se veličina  $P$  može prikazati izrazom:

$$P = \rho c_p D \Delta T \quad (1-11)$$

Isparavanje  $E$  ovisno je o gradijentu vlage i o temperaturi  $T_w$  površine, koja se isparava, te ga se može prikazati izrazom:

$$E = \rho D (q_w' - q) \quad (1-12)$$

gdje je  $q$  specifična vlaga kod temperature zraka  $T$ , a  $q_w'$  specifična vlaga zasićenog zraka kod temperature  $T_w$ .

Izraz za  $P$  i  $E$  uvrštavamo u jednadžbu toplinske bilance:

$$R = L\rho D (q_w' - q) + \rho c_p D (T_w - T) + B \quad (1-13)$$

Iz radijacione bilance može se odvojiti onaj dio, koji ovisi o razlici temperature između tla i zraka u prizemnom sloju, dakle  $\delta I_n$ , tako da je:

$$R = R_o - 4\sigma T^3 (T_w - T) \quad (1-14)$$

gdje je  $R_o = Q_n (1 - \alpha) - I_n \quad (1-15)$

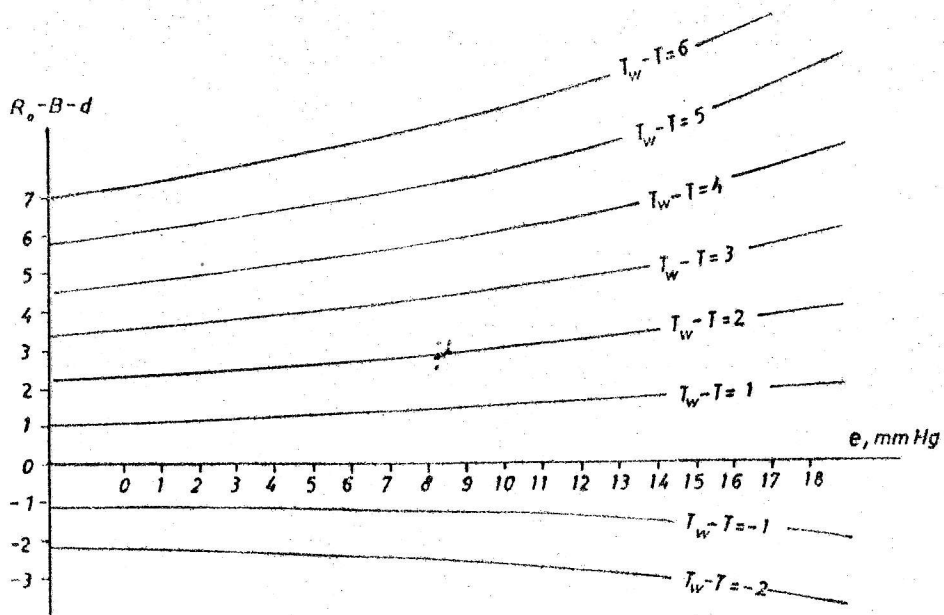
Jednadžbe (1-13) i (1-14) zajedno daju

$$R_o - B = L D \rho (q_w' - q) + (\rho c_p D + 4\sigma T^3) (T_w - T) \quad (1-16)$$

Sve veličine u ovoj jednadžbi su poznate na osnovi mjerenja ili se mogu izračunati, a obzirom da je  $q_w'$  jednoznačna, eksponencijalna funkcija od  $T_w$ , iz jednadžbe (1-16) može se izračunati  $T_w$ .

Medjutim, nepoznata veličina  $T_w$  javlja se u sredjenom obliku jednadžbe (1-16) u vidu sume linearne veličine i eksponencijalne funkcije, koja se u okviru (1-16) najuspješnije rješava iteracijom. U GGO-u je izradjen nomogram za određivanje veličine  $\Delta T = T_w - T$ . U nomogram se ulazi s tlakom pare  $e$  u mm Hg i sa veličinom  $R_o - B - d$ , gdje je  $d$  - deficit zasićenosti zraka, a neto fluks radijacije  $R_o$  i količinu topline u tlu  $B$  treba prethodno izračunati. Pomoću takvog nomograma određivane su srednje mjesečne vrijednosti  $T_w$  (sl. 1.1).

Temperatura  $T_w$  je u stvari teoretska veličina, koja definira tzv. "higro-toplotno" stanje tla u ravnotežnom stadiju prizemnog graničnog sloja atmosfera-tlo.



Sl. 1.1 Skica nomograma za odredjivanje  $T_w$   
(prema GGO - Lenjingrad)

Kod poznatog  $T_w$  mogu se dalje izračunati sve veličine u energetskoj ravnoteži, koje ovise o gradijentu temperature u najnižem dijelu graničnog sloja atmosfera-tlo. To u prvom redu vrijedi za veličinu dugovalnog izžaravanja tla, prikazanu u potpunom obliku jednačzbom (1-9), čime je konačno određena ukupna radijaciona bilanca ili neto fluks radijacije  $R$  prema jednačzbi (1-3).

## 1.6 Razmjena topline u tlu

U izraz koji omogućava odredjivanje  $T_w$  ulazi i veličina  $B$ , odnosno razmjena topline u tlu. Ta veličina ovisna je o gradijentu temperature u tlu te je možemo tim putem i odrediti. Međutim, i u ovom slučaju mjerenja su veoma rijetka, te se  $B$  određuje indirektnim putem.

Na osnovi mnogobrojnih mjerenja pronadjena je korelacija izmedju godišnje amplitude temperature zraka i godišnjeg hoda veličine  $B$  (Budyko, 1971). Pritom je ustanovljeno, da su mjesečne vrijednosti  $B$  uvijek u stalnom odnosu prema sumi  $B$  za topli ili hladni period, unutar kojeg se smjer od  $B$  nije mijenjao, a ta suma jednaka je polovini godišnje amplitude od  $B$ .

Postupak je, prema tome, slijedeći: Iz srednjih mjesečnih vrijednosti godišnjeg hoda temperature odredi se godišnja amplituda od  $T$ . Pomoću te vrijednosti odredi se godišnja amplituda od  $B$  (tab. 1.3), a iz ove pomoću tabele 1.4 mjesečne vrijednosti  $B$ .

Tabela 1.3 - Veza godišnje amplitude temperature zraka i godišnje amplitude  $B$

god. amplituda temperature zraka (iz sred. mjes.), °C	10	15	20	25	30	40	50
god. amplituda od $B$ , kcal cm <sup>-2</sup> $A_B$	1.8	2.8	3.7	4.6	5.5	7.4	9.2

Polovina godišnje amplitude  $B$  jednaka je sumi  $B$  za topli ili za hladni dio godine. Množeći je omjerima u tablici 1.4 dobijamo mjesečne vrijednosti  $B$ . Godišnja suma  $B = 0$ .

Tabela 1.4 - Omjer mjesečnih vrijednosti  $B$  i sume  $B$  toplog ili hladnog perioda

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
-0.23	-0.15	0.08	0.15	0.23	0.23	0.19	0.12	-0.08	-0.12	-0.19	-0.23

$$B = a \frac{A_B}{2}$$

$A_B$  - godišnja amplituda od  $B$

Opisani postupak korišten je u ovom radu, pri čemu treba naglasiti, da vrijedi za veća područja s istom amplitudom ako se zanemare mikroklimatski utjecaji.

### 1.7 Turbulentna razmjena topline

Količina topline  $P$ , koja se troši na turbulentne procese u pograničnom sloju atmosfere, veoma je varijabilna u vremenu i prostoru. U njenom određivanju poseban problem predstavlja činjenica, da je turbulentni prijenos bilo kojeg elementa, koji pripada tzv. "pasivnim primjesama", jednostavnije odrediti od turbulentnog prijenosa topline koja sama djeluje na proces. Ta se veličina određuje na osnovu teoretskog, općeg izraza:

$$P' = -\rho c_p k \frac{\partial T}{\partial z} \quad (1-17)$$

gdje je  $k$  koeficijent turbulentne razmjene, a ostale su veličine poznate. Niz eksperimentalnih ispitivanja, kod kojih je u određivanju  $k$  uzeta u obzir promjena vjetera i temperature s visinom, izražena Richardsonovim kriterijem, pokazalo je, pogotovo nad kopnom, izraziti dnevni hod te veličine, kao i znatni i promjenljivi vertikalni gradijent od  $k$ . Zato je za procjenu prosječnog  $P$  u pograničnom sloju izvedena integracija

\*  $P'$  u (1-17) razlikuje se od  $P$  u (1-18) i dalje po različitim



jednadžbe (1-17) kroz razmatrani sloj, dakle:

$$P \cdot \frac{1}{k} = -\rho c_p \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_0^z dz$$

$$P = \frac{\rho c_p (T_w - T)}{\int_0^z \frac{dz}{k}} \quad (1-18)$$

gdje je  $P$  tražena prosječna veličina turbulentne razmjene topline u pograničnom sloju, a veličina:

$$D = \frac{1}{\int_0^z \frac{dz}{k}} \quad (1-19)$$

koja se danas mnogo koristi u istraživanjima toplinske ravnoteže, naziva se "integralni koeficijent turbulentne difuzije" (Budyko, 1956). Ova veličina pokazuje u cjelini mnogo manju vremensku i prostornu promjenljivost od koeficijenta turbulentne difuzije  $k$ , te se za određivanje mjesečnih i godišnjih vrijednosti  $P$  nad kopnom uzimaju njene približne vrijednosti 0.6 do 0.7 cm s<sup>-1</sup>, dok je nad većim vodenim površinama potrebno uzeti u obzir ovisnost  $D$  o brzini vjetra.

Prema tome, za potrebe ovog istraživanja u izrazu:

$$P = \rho c_p D (T_w - T) \quad (1-20)$$

problem čini razlika temperature aktivnog sloja tla  $T_w$  i temperature prizemnog sloja atmosfere  $T$ , čija vrijednost se uzima na visini od 2 m. Ukoliko odredimo  $T_w$  na ranije opisan način vrijednost  $P$  se vrlo lako izračunava.

Na taj način je  $P$  određen pomoću razlike temperature u prizemnom sloju od 2 m, što se u praksi dosta često upotrebljava. Međutim, radi svih aproksimacija koje su ušle u izraz (1-20), što se odnosi ne samo na veličinu  $D$  nego i na osrednjavanje vertikalnog gradijenta temperature, uputno je određivati mjesečne, a pogotovo godišnju vrijednost od  $P$ , kao preostalog člana u jednadžbi energetske ravnoteže, što je u našem radu također upotrebljavano.

## 1.8 Toplina isparavanja

Količina topline  $LE$ , koja sudjeluje u procesima isparavanja i kondenzacije, predstavlja najznačajniju komponentu toplinske ravnoteže zbog svoje uloge u modificiranju klime i vremena. Metode njenog određivanja vezane su uz fizikalne karakteristike pojave isparavanja. Najviše su u upotrebi slijedeće:

a) Mjerenje isparavanja evaporimetrima nad većim akumulacijama vode. Sumiranjem tijekom dužeg vremenskog razdoblja (dekada, mjesec) dobijaju se tražene količine, koje dalje ulaze u jednadžbu (1-1). Međutim, ako treba odrediti količinu isparavanja iz tla, a podaci mjerenja su malobrojni, koriste se indirektne metode.

b) Najviše se koriste tzv. "gradijentne metode", bazirane na činjenici, da je isparavanje funkcija gradijenta vlage u prizemnom sloju, tj.

$$E = -\rho k \frac{\partial q}{\partial z} \quad (1-21)$$

gdje je  $\rho$  gustoća vlažnog zraka,  $q$  specifična vlaga, a  $k$  koeficijent turbulentne difuzije vodene pare, za koga je niz mjerenja pokazalo (*Budyko, 1971*), da se za klimatološke potrebe može izjednačiti s analognim koeficijentom turbulentne difuzije, koji ulazi u član  $P$ .

c) najpouzdaniji način korišćenja podataka gradijentnih mjerenja je u njihovoj kombinaciji s jednadžbom energetske ravnoteže. Uvrstivši u (1-2) izraze za  $P$  i  $E$  dobivamo:

$$R = -L\rho k \frac{\partial q}{\partial z} - \rho c_p k \frac{\partial T}{\partial z} + B \quad (1-22)$$

Kombinacija (1-21) i (1-22) daje

$$E = \frac{R - B}{L + c_p \frac{\frac{\partial T}{\partial z}}{\frac{\partial q}{\partial z}}} \quad (1-23)$$

odnosno, nakon zamjene konačnim diferencijama:

$$E = \frac{R - B}{L + c_p \frac{T_w - T}{q_w - q}} \quad (1-24)$$

Jednadžbe (1-23) i (1-24) se dosta često upotrebljavaju gdje postoje gradijentna mjerenja temperature i vlage, ali njihovu upotrebu treba ograničiti na vremenske periode kraće od jednog dana. Naime, temperatura i vlaga pokazuju izraziti



dnevni hod, a pri tome su međusobno povezane, zbog čega upotreba srednjih dnevnih ili mjesečnih vrijednosti  $T$  i  $\sigma$  u (1-24) može dovesti do znatnih grešaka u određivanju isparavanja.

d) Isparavanje je u biti ovisno o količini oborine  $r$  i o radijacionoj bilanci  $R$ , tj.

$$E = \varnothing (r, R) \quad (1-25)$$

Na taj način isparavanje u sebi povezuje toplinsku ravnotežu s tzv. "vodnom ravnotežom". Iskoristivši tu činjenicu Budyko je 1956. izveo svoju poznatu "jednadžbu veze" iz koje se može odrediti oblik funkcije  $\varnothing$ , prema kome je:

$$E = r \left( 1 - e^{-\frac{R}{Lr}} \right) \quad (1-26)$$

Ovakav indirektan način određivanja mjesečnih količina isparavanja iz tla, uz poznati mjesečni neto fluks radijacije i količinu oborine, korišten je u mnogim radovima (*Sakači, 1970 i td.*). Međutim, jednadžba veze (1-26) izvedena je za godišnje vrijednosti zadanih veličina. Dakle,  $Lr$  predstavlja količinu topline, koja je potrebna da bi se potpuno isparila godišnja količina oborine  $r$  uz datu godišnju radijacionu bilancu  $R$ . Zato sam autor jednadžbe veze smatra da je, za određivanje količine  $E$  za vremenske periode kraće od jedne godine, danas najperspektivnija metoda "vodne ravnoteže". Rezultati te metode mogu se u godišnjoj sumi provjeravati pomoću jednadžbe veze (1-26).

e) Pitanje određivanja mjesečnih količina isparavanja iz tla indirektnim putem pomoću odgovarajućih mjesečnih vrijednosti meteoroloških elemenata konačno je riješeno kompleksnom metodom uporednog rješavanja jednadžbi energetske i vodne ravnoteže. Taj je način upotrijebljen u našem radu te će ovdje biti opisani postepeni koraci u izračunavanju. Fizičkalnu podlogu metode (*Budyko, Zubenok, 1961*) čini jednadžba "vodne ravnoteže":

$$r = E + \Delta w + f, \quad (1-27)$$

koja pokazuje, da se mjesečna količina pale oborine  $r$  troši na isparavanje  $E$ , proticanje vode u tlu  $f$  i promjenu dubine vlage aktivnog sloja tla od početka do kraja mjeseca ( $\Delta w = w_2 - w_1$ ). U krajnje suhim klimama proticanje vode  $f = 0$  te je:

$$r = E + (w_2 - w_1) \quad (1-28)$$

U (1-27) je poznato jedino  $w$ . Sve ostale veličine treba odrediti. Postupak se u principu svodi na to, da se pretpostavi neka početna dubina vlage  $w_1$ , a onda se pomoću (1-27) odredi  $w_2$ . Pri tome je potrebno nepoznate  $E$  i  $f$  izraziti pomoću poznatih veličina.

Isparavanje  $E$  može se prikazati pomoću tzv. "isparivosti"  $E_0$ , odnosno maksimalno mogućeg isparavanja pri danoj temperaturi. Ako isparavanju  $E$  odgovara dubina vlage  $w$ , onda  $E_0$  odgovara neka kritična dubina  $w_0$ , tako da je za:

$$w < w_0 \rightarrow E = E_0 \frac{w}{w_0} \quad (1-29)$$

$$w \geq w_0 \rightarrow E = E_0$$

pri čemu se  $w$  može prikazati kao:

$$w = \frac{w_1 + w_2}{2} \quad (1-30)$$

tako da je

$$E = E_0 \frac{w_1 + w_2}{2w_0} \quad (1-31)$$

Isparivost  $E_0$  je funkcija gradijenta vlage u prizemnom sloju, te se na nju može primijeniti jednadžba (1-12), koja u konačnim diferencijama i u sredjenom obliku za određivanje mjesečne vrijednosti glasi:

$$E_0 = 1,67 (e_w - e) \quad (1-32)$$

Ovdje je  $e_w$  maksimalni tlak pare u mmHg kod temperature  $T_w$  koja se određuje nomogramom izrađenim na osnovi jednadžbe (1-16), a  $e$  je tlak pare uz temperaturu zraka  $T$ . U izračunavanju  $E$  jednadžba vodne bilance povezuje se s jednadžbom energetske ravnoteže.

Slijedeća veličina u (1-27) je proticanje vode u tlu  $f$ , koje se mjeri na veoma malom broju mjesta, te je i za njeno određivanje izvedena posebna indirektna metoda. Njena fiziikalna osnova je slijedeća: proticanje je to veće što je tlo vlažnije, te je zato "koeficijent proticanja"  $\frac{f}{r}$  ovisan o omjeru  $\frac{w}{w_k}$ , gdje je  $w_k$  dubina sloja s maksimalnim kapacitetom

vlage, pri kome još ne dolazi do spajanja, odnosno povezivanja s podzemnim vodama. Mjerenja su pokazala, da se za mjesečne procjene može uzeti  $w_k \leq 20 \text{ cm}$ .

Općenito vrijedi:

$$\frac{f}{r} = (\alpha) \frac{w}{w_k} \quad (1-33)$$

gdje bezdimenzionalni koeficijent ( $\alpha$ ) raste u područjima gdje su češći pljusкови. Izračunavanja su pokazala, da se  $\alpha$  kreće uglavnom od 0.1 do 0.7, i da je za krajeve oko  $45^\circ N$  uputno uzeti ( $\alpha$ ) = 0.2 - 0.3, pri čemu se on mijenja s promjenom intenziteta oborine tijekom godine.

Jednadžba (1-33) vrijedi za  $E_0 \geq r$ . Međutim, ako je  $E_0 < r$ , onda se pri potpuno vlažnom tlu ( $\frac{w}{w_k} = 1$ ), proticanje  $f$  približava razlici  $r - E_0$  i biti će to veće što je veća razlika  $E_0 - E$ . Međutim, pri  $\frac{w}{w_k} < 1$  biti će  $\frac{f}{r} < 1 - \frac{E_0}{r}$  tako da (1-33) poprima oblik:

$$\frac{f}{r} = \beta \frac{w}{w_k} \quad (1-34)$$

gdje je  $\beta$  definiran kao:

$$\beta = \sqrt{(\alpha)^2 (1 - \gamma^2) + \gamma^2} \quad (1-35)$$

a  $\gamma = 1 - \frac{E_0}{r}$ . Na taj se način, konačno, dobija izraz za izračunavanje proticanja, i to:

I za  $r \leq E_0$ :  $f = (\alpha) \frac{w}{w_k} \quad (1-36)$

II za  $r > E_0$ :  $f = r \frac{w}{w_k} \sqrt{(\alpha)^2 \left[ 1 - \left( 1 - \frac{E_0}{r} \right)^2 \right] + \left( 1 - \frac{E_0}{r} \right)^2} \quad (1-37)$

#### Napomena:

Kvadratična, a ne linearna, suma u (1-35) odnosno (1-37) uzeta je zato, da bi kod osjetne promjene tipa I na II prvi tip ubrzo postao beznačajan.

Time su određene sve veličine koje ulaze u jednadžbu (1-27). Iz svega do sada iznesenog slijedi, da će se izračunavanje  $w_2$ , kojeg se može eksplicite izraziti iz (1-27), odvijati za četiri specifična slučaja:

uz  $r \leq E_0$  te  $w < w_0$  i  $w \geq w_0$

uz  $r > E_0$  te  $w < w_0$  i  $w \geq w_0$

Uvrstivši za svaki od tih slučajeva odgovarajuće izraze u (1-28) može se za odabrani  $w_1$  izračunati  $w_2$ . U I mjesecu pretpostavi se neka vrijednost za  $w_1$  i to obično takva, da je  $w_1 = w_0$ , jer je u zimskim mjesecima najčešće  $E = E_0$ .

Na osnovu mnogobrojnih mjerenja pokazalo se, da  $w_0$  varira uglavnom između 10 i 20 cm, ovisno o  $E$ , o količini oborine  $r$ , te o temperaturi zraka. Općenito za

$$\frac{E_0}{r} < 1.3 \quad w_0 = 15 \text{ cm}$$

$$\frac{E_0}{r} > 1.3 \quad w_0 = 10 \text{ cm}$$

Nakon dobivenog  $w_2$  za svaki mjesec izračunava se  $E$  po formuli (1-31) i  $f$  po formuli (1-33) ili (1-34). Sve ove veličine, dakle, odabrani  $w_1$  i izračunati  $w_2$ ,  $E$  i  $f$ , moraju uz izmjereni  $r$  zadovoljavati jednadžbu vodne ravnoteže za svaki mjesec. Međutim, obzirom na po volji odabrani početni  $w_1$ , može se dogoditi da (1-27) ne bude zadovoljeno. Tada se račun ponavlja s novom vrijednošću  $w_1$ , i taj se postupak iteracije  $w_1$  ponavlja tako dugo dok jednadžba (1-27) ne bude zadovoljena. Tek tada prelazi se u slijedeći mjesec i to tako, da se konačni  $w_2$  iz prethodnog mjeseca uzima za  $w_1$  slijedećeg mjeseca. Cijeli se postupak iteracije dalje ponavlja iz mjeseca u mjesec. Konačno, za čitavu godinu mora biti zadovoljeno:

$$\sum_1^{12} r = \sum_1^{12} (E + f) \quad (1-38)$$

Ako godišnji kriterij (1-38) nije zadovoljen, čitav se račun ponavlja počevši s novom vrijednošću  $w_1$  za prvi mjesec.

U ovom radu je izračunavanje  $w_2$  obavljeno pomoću elektronskog računara, u koju svrhu je izradjen specijalni program iteracije  $w_1$ .

### 1.9 Zaključne napomene

a) Opisana metoda izračunavanja mjesečnih veličina komponenata energetske ravnoteže vrijedi za višegodišnje prosjeke i veće površine i daje klimatske procjene, koje se već mnogo koriste kao granični uvjeti u numeričkim modelima simulacije klima.

b) Metoda GGO-ane koristi eksplicite parametar brzine vjetra u odredjivanju  $E$ . Medjutim, utjecaj vjetra očituje se implicite u osnovnim klimatološkim podacima temperature i tlaka pare.

c) Prilikom izračunavanja znatan utjecaj na konačne rezultate pokazuje lokalitet, odnosno mikroklima pojedinih mjesta. Ta se činjenica u općem računskom postupku, istom za sva mjesta, ne može primijeniti, ali se uzima u obzir kod tumačenja rezultata, posebno kod specifičnosti radijacione ravnoteže visinskih mjesta i velikih horizontalnih mikroklimatskih gradijenata obalnog pojasa.

U više radova opisana je modifikacija metode pri primjeni na planinske predjele (*Borzenkova 1970, Belous-Čičasov 1971*), kao i za odredjivanje komponenata energetske ravnoteže nad slobodnom vodenom površinom, a posebno u obalnom pojasu (*Dubov, Romanov i Troicin 1973, Tuller 1972*).

### 1.10 Primjena

Ravnoteža energija u prizemnom sloju, u kome se odvijaju svi životni procesi biljki, životinja i ljudi, čini bit svih manifestnih oblika energije, koje osjećamo i mjerimo. Zato se njeno poznavanje može svestrano iskoristiti u raznim studijama vremena i klime kao i ostalih pojava, koje su s njima u vezi (*Budyko, 1971*).

Navesti ćemo ovdje nekoliko češćih slučajeva korištenja jednadžbe energetske ravnoteže.

U studijama makrovremenskih procesa numeričkom integracijom sistema termodinamičkih jednadžbi, vrijednosti temperature u pojedinim koracima integracije moraju zadovoljavati jednadžbu energetske ravnoteže (*Manabe 1969, Outealt 1972*).

Pomoću održavanja, odnosno poremećenja energetske ravnoteže, objašnjavaju se varijacije klime u prošlosti, trendovi u sadašnjosti, širenje i povlačenje ledenog pokrova i td. (*Budyko 1971, Sellers 1969, Lamb 1966 i dr.*).

Pomoću pojedinih parametara, koji su sadržani u jednadžbi energetske ravnoteže (npr.  $\frac{R}{I_r}$ ,  $T_w - T$ ), proučavaju se klimatske zone i izradjuju klimatske klasifikacije (*Budyko 1971, Sakali 1970*).

Povezivanje toplinske i vodne ravnoteže ima svestranu primjenu u poljoprivredi. Pomoću jednadžbe energetske ravnoteže može se odrediti potencijalno isparavanje  $E_0$ , relativno isparavanje  $E/E_0$ , uz koje je u velikoj mjeri vezana produktivnost pojedinih poljoprivrednih kultura, temperatura tla  $T_w$ , potrebna za rast biljki i td. Posebno se proučava uloga prirodnih faktora klime, odnosno energetske klimatskog potencijala u procesu fotosinteze, koji koristi radijacionu energiju za pretvaranje anorganske materije u organsku. Na osnovi radijacione bilance proučavana je fizikalna opravdanost upotrebe sume temperatura u agrometeorologiji i td. (Budyko 1971).

Velik broj radova, pogotovo u SSSR-u i Bugarskoj, posvećen je ispitivanju energetske ravnoteže prizemnog sloja u području raznih prirodnih lječilišta u vezi efikasnosti takvog lječilišta za određenu bolest. Nadalje, proučavane su zone komfora čovjeka pomoću temperature površine tijela te je određena jednadžba toplinske ravnoteže za površinu tijela u raznim klimama (Liopo 1968, i dr.).

Simulacija klime i promjene, koje mogu nastati (i već nastaju) djelovanjem čovjeka na vrijeme i klimu, intenzivno se proučavaju (de Vries, 1959) upravo pomoću jednadžbe energetske ravnoteže, kao: promjene  $T_w$  zbog navodnjavanja i povećanog  $r$  umjetnom stimulacijom, smanjenje turbulentne razmjene  $P$  i integralnog koeficijenta  $D$  pošumljivanjem, smanjenje dugovalnog izžaravanja  $I_n$  zagađivanjem atmosfere i dr.

Ispituju se povezanosti između mikroklimе manjih površina i pridružene klime regiona (Tuller, 1972).

Proučavanje manifestnih oblika klime, kao rezultata ravnoteže energija, opisano je u 3. dijelu ovog rada.

## 2. IZRAČUNAVANJE KLIMATSKIH ENERGETSKIH KOMPONENATA

Nadežda Šinik i Nada Pleško

### 2.1 Općenito

U prethodnom poglavlju naglašeno je da se teorija određivanja komponenata energetske ravnoteže prema Budyku bazira na raznim pojednostavljenjima, aproksimacijama poluempirijskog karaktera, zatim da koristi razne konstante, izvedene na osnovi eksperimenata u Sovjetskom Savezu i da uzevši u cjelini daje *procjene* traženih veličina, koje vrijede za veće područje i dulja vremenska razdoblja.

Ispravan put primjene ovakve teorije u nekoj drugoj zemlji, konkretno u Hrvatskoj, zahtijeva u prvom redu velik broj specijalnih mjerenja za određivanje numeričkih vrijednosti pojedinih konstanti u našoj zemlji. Nažalost, financijski i kadrovski aspekti nisu omogućili takve eksperimente, tako da su u našem radu korištene vrijednosti konstanti, navedenih u sovjetskoj stručnoj literaturi. Iz tog razloga naš pristup određivanju komponenata energetske ravnoteže nužno se razlikovao od uobičajenog. Naime, u svrhu ocjene veličine utjecaja konstanti na numeričke vrijednosti pojedinih komponenata, u prvoj fazi studije nisu obradjivani podaci višegodišnjih prosječnih vrijednosti meteoroloških elemenata, nego njihove vrijednosti za dvije konkretne godine, odabrane tako, da se po nekom svom svojstvu što više razlikuju. To su godina 1950. s veoma toplim ljetom i izostankom proljetnih oborina i godina 1963. s veoma hladnom zimom i izrazito velikim oborinama u VIII i IX mjesecu.

Temperaturna svojstva ovih godina karakteristična su za cijelu Hrvatsku, dok se oborinska svojstva odnose samo na njene sjeverne, kontinentalne dijelove. Za te godine izračunate su komponente energetske ravnoteže odabranih mjesta, koja svojim podacima reprezentiraju klimatske prilike raznih krajeva Hrvatske.

Rezultati ovih izračunavanja dali su odgovore o mogućnosti korištenja "sovjetskih" konstanti, odnosno koeficijenata za naše krajeve, a ujedno je tijekom samog procesa izračunavanja osvijetljeno mnogo praktičnih detalja u vezi valjanosti same metode kao i tumačenja dobivenih vrijednosti.

U slijedećoj fazi rada primjenjena je ova, na osnovi naših iskustava upotpunjena, metodika na prosječne godišnje hodove meteoroloških elemenata za razdoblje 1949-1973. Konačno izračunate komponente energetske ravnoteže prizemnog sloja atmosfera-tlo prikazane su grafički, kartografski i tabelarno. Komponente energetske ravnoteže prosječnih klimatskih



prilika određene su za 28 stanica: Osijek, Slavonski Brod, Slavonska Požega, Daruvar, Lipik, Varaždin, Križevci, Sljeme-Puntijarka, Zagreb-Maksimir, Zagreb-Grič, Sisak, Karlovac, Skrad, Ogulin, Zavižan, Pazin, Pula, Rijeka, Senj, Mali Lošinj, Zadar, Knin, Šibenik, Sinj, Split-Marjan, Hvar, Opuzen, Dubrovnik i Gospić.

S obzirom da već postoji mogućnost eksperimentalnog određivanja komponenata energetske ravnoteže, u sovjetskoj literaturi navodi se niz usporedbi izmjerenih i izračunatih vrijednosti, kao i druge opće mogućnosti provjeravanja njihove točnosti. Opći je zaključak, da greške računski dobivenih vrijednosti ne prelaze 10%, a najčešće se kreću oko 5%, što je "manje od vjerojatnih pogrešaka klimatoloških podataka nekih osnovnih meteoroloških elemenata" (Budyko 1971).

U ovom radu smo usporedili i izračunate vrijednosti globalne radijacije s mjerenim podacima na Griču. Greške se kreću između 2% i 12%, pri čemu su najveće tijekom posljednja 3 mjeseca u godini. Sve ostale veličine u jednadžbi energija mogle su biti provjeravane usporedbom s približnim vrijednostima sa Svjetskom atlasu toplinske ravnoteže, izradjenom u GGO-u u Lenjingradu (Budyko, 1971).

## 2.2. Modifikacije pri izračunavanju

Sve komponente energetske ravnoteže određivane su prema opisanoj metodi. Pri tom su "ručno" izračunate veličine  $Q_0$ , albedo,  $B$  i  $T_w$ , a za sve ostale veličine izradjen je program izračunavanja pomoću elektronskog računara.

Turbulentna razmjena topline  $P$  određivana je kao "preostali" član iz jednadžbe toplinske ravnoteže.

Najveći problem predstavlja izračunavanje dijela energije, koji sudjeluje u procesima isparavanja, pomoću kompleksne metode toplinske i vodne ravnoteže, što je u slučaju prosječnih mjesečnih vrijednosti  $LE$  jedini fizikalno ispravan način. Dugotrajni proces iteracije dubine vlage u tlu riješen je konačno izradom programa za elektronski računar, koji sadrži čitav niz fizikalno opravdanih kombinacija elemenata, koji ulaze u jednadžbu vodne ravnoteže. Program je tijekom rada više puta nadopunjavan i korigiran, da bi konačno došao do oblika, koji sadrži sve mogućnosti kompleksa toplinsko-vodne ravnoteže. Na taj način je izbjegnuta greška koja se ponavlja u mnogim radovima u inozemstvu, da se za mjesečne procjene topline isparavanja  $LE$  koristi "gradijentna" metoda, što u većini slučajeva daje nepouzdana ili neprihvatljive rezultate (Budyko 1971, Brojdo 1973).

Kao što je već navedeno, mjesečne vrijednosti isparavanja  $E$  i toka  $f$  moraju svaki mjesec zadovoljavati jednadžbu vodne ravnoteže, što je navedenim programom u potpunosti



riješeno za sve stanice. Međutim, nakon što su izračunate sve mjesečne vrijednosti, njihova suma za cijelu godinu mora zadovoljavati jednadžbu:

$$r = \Sigma (E + f) \quad (2-1)$$

odnosno, zbog mnogobrojnih izračunavanja i zaokruživanja dozvoljavaju se razlike između lijeve i desne strane gornje jednadžbe, koje iznose najviše do 5% od godišnje količine oborine.

Taj zahtjev je u potpunosti zadovoljen za sva mjesta u unutrašnjosti, za koje je čitava metoda određivanja komponenta toplinske ravnoteže u potpunosti prihvatljiva. Međutim, zakonitosti energetske ravnoteže modificiraju se na većim nadmorskim visinama, kao i u obalnom pojasu, zbog čega u tim područjima kriterij zadovoljavanja vodne jednadžbe za godinu nije bio ispunjen za neka mjesta, i to tako da je godišnja suma oborine bila veća od godišnje  $\Sigma(E + f)$  za 5-10%, što pokazuje, da upotrijebljena metoda čini sličnu grešku i za visinska mjesta i za mjesta na obali. Zato je bilo potrebno, ili modificirati opću metodu izračunavanja, ili izvršiti naknadne korekcije s odgovarajućom fizikalnom podlogom, što je i učinjeno u ovom radu na slijedeći način:

1. Proticanje ili "pokretni sadržaj vode u tlu"  $f$  slijedi u osnovi promjene u količini oborine iz mjeseca u mjesec (*Budyko, 1971*). Ta činjenica je grafički ispitana i potvrđena za sva obradivana mjesta. U mjesecima kada je  $f$  znatno zaostajao za količinom oborine  $r$ , te vrijednosti su korigirane, tako da su uklopljene u navedenu zakonitost.

2. Za sva mjesta je ispitana i potvrđena "jednadžba veze". Ukoliko je ona i u slučaju:

$$\Sigma r > \Sigma (E + f) \quad (2-2)$$

bila zadovoljena, korekcije su provedene samo pomoću  $f$  na opisani način. Međutim, bilo je slučajeva, da je godišnja količina isparavanja, izračunata jednadžbom veze, bila veća od godišnje sume  $E$  prema vodnoj jednadžbi. U tom slučaju su korigirane, tj. povećane mjesečne količine isparavanja u proljetnim mjesecima, kada se zbog još veoma malog upliva na opću energetske ravnoteže može zanemariti komponenta turbulentne razmjene topline  $P$ , a isparavanje je jednako "isparivosti"  $E_0$ . Nova vrijednost  $E$  može se tada izračunati direktno iz jednadžbe ravnoteže energija:

$$E = \frac{R - B}{L} \quad (2-3)$$

Ovako izračunate vrijednosti  $LE$  unesene su u tabelu 2.6 u zagradama. Za istu vrijednost, samo u suprotnom smislu, korigirane su i vrijednosti  $P$  u tabeli (2.7).

Tab.2.1 - Popis mjesta, s nadmorskom visinom (H), geografskim koordinatama ( $\varphi$ ;  $\lambda$ ) i razdobljem

M j e s t o	H, m	$\varphi$ , N	$\lambda$ , E	razdoblje
X OSIJEK	90	45° 33'	18° 41'	1949-1973.
SLAVONSKI BROD	95	45° 09'	18° 01'	-"
SLAVONSKA POŽEGA	152	45° 20'	17° 41'	-"
LIPIK	154	45° 25'	17° 10'	-"
DARUVAR	161	45° 36'	17° 14'	-"
✓ KRIŽEVCI	153	46° 02'	16° 33'	-"
VARAŽDIN	169	46° 18'	16° 21'	-"
X SLJEME	999	45° 54'	15° 57'	-"
X ZAGREB-MAKSIMIR	120	45° 49'	16° 01'	-"
ZAGREB-GRİČ	157	45° 49'	15° 59'	-"
SISAK	98	45° 30'	16° 22'	-"
KARLOVAC	112	45° 30'	15° 33'	-"
✓ SKRAD	668	45° 26'	14° 55'	-"
K OGULIN	325	45° 16'	15° 14'	-"
✓ GOSPIĆ	566	44° 32'	15° 23'	-"
✓ ZAVIŽAN	1594	44° 49'	14° 59'	1954-1973.
✓ PAZIN	291	45° 14'	13° 56'	1949-1973.
✓ PULA	30	44° 52'	13° 51'	-"
✓ RIJEKA	104	45° 20'	14° 27'	-"
✓ SENJ	26	44° 59'	14° 54'	-"
✓ ZADAR	1	44° 07'	15° 14'	-"
✓ ŠIBENIK	77	43° 44'	15° 54'	-"
✓ KNIN	234	44° 02'	16° 12'	-"
SINJ	298	43° 42'	16° 39'	1950-1973.
X SPLIT	122	43° 31'	16° 26'	1949-1973.
OPUZEN	2	43° 01'	17° 34'	-"
✓ DUBROVNIK	49	42° 39'	18° 06'	-"
MALI LOŠINJ	53	44° 32'	14° 28'	-"
X HVAR	20	43° 10'	16° 27'	-"

Tab.2.2 - Sumarna radijacija,  $Q_n$ , kcal cm<sup>-2</sup> mj<sup>-1</sup>

M j e s t o	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God.
OSIJEK	3.04	4.31	7.58	10.68	13.68	15.06	16.98	15.15	10.96	7.48	3.45	2.38	110.75
SLAVONSKI BROD	2.74	4.07	7.24	10.00	12.79	13.96	16.16	14.47	10.48	6.85	3.04	2.17	103.97
SLAVONSKA POŽEGA	3.15	4.52	7.87	10.96	14.03	15.23	16.82	15.15	11.03	7.39	3.63	2.58	112.36
LIPIK	2.64	3.79	6.83	9.64	12.60	13.96	15.65	14.05	10.13	6.61	3.24	2.07	101.21
DARUVAR	3.04	4.31	7.58	10.68	13.86	15.06	16.98	15.15	11.06	7.24	3.45	2.33	110.74
KRIŽEVCI	2.72	4.06	7.30	10.33	13.62	14.45	16.33	14.40	10.34	6.83	3.14	2.14	105.66
VARAŽDIN	2.88	4.13	7.19	9.88	12.91	13.33	15.75	13.98	10.34	6.83	3.29	2.33	102.84
SLJEME	3.15	4.44	7.65	10.21	13.52	14.40	16.38	14.42	10.55	7.05	3.58	2.76	108.11
ZAGREB-MAKSIMIR	2.72	4.18	7.13	10.33	13.79	14.70	16.33	14.40	10.67	6.83	3.34	2.33	106.75
ZAGREB-GRİČ	2.77	4.18	7.36	10.33	13.44	14.70	16.33	14.26	10.45	6.74	3.14	2.24	105.94
SISAK	2.70	4.09	7.30	10.30	13.15	14.33	16.50	14.47	10.41	6.45	3.13	2.13	104.96
KARLOVAC	2.70	4.09	7.42	10.45	13.51	14.70	16.66	14.47	10.29	6.27	3.51	2.13	106.20
SKRAD	3.09	4.45	7.76	11.10	14.71	15.92	17.76	15.28	10.92	6.96	3.57	2.67	114.19
OGULIN	2.81	4.09	7.07	9.94	12.97	14.15	16.33	14.33	10.13	6.33	3.31	2.33	103.79
GOSPIĆ	2.89	4.32	7.42	10.21	13.03	14.52	16.98	14.96	10.62	6.73	3.38	2.52	107.58
ZAVIŽAN	3.31	4.09	6.92	9.77	12.90	13.95	16.43	14.42	10.29	6.76	3.24	2.68	104.76
PAZIN	3.69	4.92	8.26	10.74	13.86	15.06	17.30	15.02	11.03	7.63	4.00	3.11	114.62
PULA	3.64	4.86	8.37	11.31	14.71	16.26	18.49	15.79	11.45	7.71	4.06	3.01	119.66
RIJEKA	3.52	4.66	7.76	10.24	13.68	14.70	17.45	15.02	10.70	7.31	3.76	2.96	111.94
SENJ	3.48	4.65	7.93	10.59	13.86	15.23	17.76	15.41	11.03	7.46	3.81	2.92	114.13
ZADAR	4.66	5.97	10.00	13.08	16.67	18.27	20.05	17.14	12.69	8.95	5.19	3.90	136.57
ŠIBENIK	4.10	5.31	7.71	11.58	14.95	16.42	19.00	16.56	11.98	8.33	4.42	3.40	123.76
KNIN	4.04	5.18	8.56	10.95	14.27	15.75	18.29	16.08	11.69	8.17	4.36	3.34	120.68
SINJ	3.99	5.10	8.63	11.15	14.61	16.26	18.86	16.32	11.98	8.33	4.42	3.35	123.00
SPLIT	4.16	5.38	8.95	11.72	15.11	17.06	19.27	16.91	12.18	8.41	4.55	3.40	127.10
OPUZEN	4.12	5.37	8.98	11.79	15.35	17.68	19.54	17.00	12.36	8.48	4.54	3.47	128.68
DUBROVNIK	4.24	5.35	8.82	11.57	15.18	17.45	19.76	17.20	12.24	8.55	4.60	3.59	128.55
MALI LOŠINJ	3.86	5.25	8.75	12.06	15.59	17.06	19.19	16.36	11.82	8.10	4.30	3.18	125.52
HVAR	4.29	5.58	9.30	12.33	15.83	17.68	19.93	17.34	12.47	8.64	4.67	3.57	131.63

Tab.2.3 - Efektivno izžaravanje,  $I_n$ , kcal cm<sup>-2</sup> mj<sup>-1</sup>

M j e s t o	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God.
OSIJEK	2.18	2.35	2.61	2.77	2.74	2.72	2.99	3.14	3.08	3.01	2.25	2.09	31.93
SLAVONSKI BROD	2.00	2.24	2.48	2.64	2.63	2.60	2.96	3.06	3.00	2.74	2.04	1.90	30.29
SLAVONSKA POŽEGA	2.25	2.45	2.64	2.79	2.77	2.72	2.96	3.09	3.04	2.92	2.32	2.18	32.13
LIPIK	1.97	2.15	2.36	2.53	2.56	2.55	2.76	2.90	2.82	2.65	2.14	1.87	29.26
DARUVAR	2.20	2.39	2.62	2.81	2.84	2.80	3.08	3.23	3.16	2.94	2.29	2.08	32.44
KRIŽEVCI	2.07	2.29	2.53	2.72	2.78	2.69	2.94	3.02	2.93	2.78	2.13	1.97	30.85
VARAŽDIN	2.22	2.36	2.55	2.68	2.76	2.62	2.99	3.07	3.03	2.85	2.28	2.11	31.52
SLJEME	2.26	2.33	2.48	2.61	2.75	2.72	3.08	3.13	3.01	2.82	2.30	2.32	31.81
ZAGREB-MAKSIMIR	2.06	2.34	2.47	2.72	2.83	2.74	2.97	3.04	3.02	2.78	2.23	2.10	31.30
ZAGREB-GRIČ	2.14	2.39	2.61	2.82	2.86	2.83	3.09	3.14	3.07	2.81	2.17	2.07	32.00
SISAK	2.02	2.29	2.52	2.69	2.69	2.65	2.96	3.02	2.92	2.62	2.11	1.93	30.42
KARLOVAC	2.04	2.31	2.61	2.82	2.89	2.90	3.22	3.26	2.99	2.65	2.35	1.97	32.01
SKRAD	2.21	2.40	2.59	2.85	3.02	3.01	3.33	3.33	3.11	2.79	2.29	2.25	33.18
OGULIN	2.08	2.28	2.44	2.63	2.70	2.69	3.03	3.09	2.88	2.58	2.18	2.04	30.62
GOSPIĆ	2.03	2.27	2.49	2.66	2.70	2.80	3.25	3.31	3.02	2.67	2.14	2.05	31.39
ZAVIŽAN	2.19	2.11	2.21	2.40	2.59	2.65	3.08	3.14	2.92	2.63	2.03	2.13	30.08
PAZIN	2.61	2.66	2.79	2.78	2.81	2.79	3.16	3.19	3.10	3.02	2.53	2.55	33.99
PULA	2.63	2.67	2.84	2.90	2.96	2.98	3.38	3.32	3.20	3.07	2.56	2.54	35.05
RIJEKA	2.65	2.66	2.75	2.77	2.88	2.85	3.39	3.38	3.16	3.05	2.49	2.59	34.62
SENJ	2.58	2.64	2.79	2.85	2.92	2.97	3.51	3.53	3.30	3.10	2.51	2.52	35.22
ZADAR	3.14	3.14	3.29	3.31	3.31	3.32	3.64	3.56	3.45	3.47	3.08	3.01	39.72
ŠIBENIK	2.83	2.85	2.66	3.05	3.14	3.22	3.79	3.80	3.45	3.33	2.70	2.66	37.48
KNIN	2.73	2.76	2.90	2.90	2.98	3.02	3.53	3.59	3.36	3.25	2.67	2.62	36.31
SINJ	2.68	2.68	2.86	2.90	3.04	3.13	3.72	3.72	3.42	3.26	2.64	2.55	36.60
SPLIT	2.86	2.88	3.03	3.09	3.20	3.37	3.88	3.94	3.52	3.36	2.73	2.68	38.54
OPUZEN	2.70	2.78	2.94	3.02	3.13	3.32	3.69	3.63	3.39	3.21	2.64	2.60	37.05
DUBROVNIK	2.78	2.76	2.91	2.99	3.02	3.20	3.64	3.70	3.32	3.29	2.66	2.66	36.93
MALI LOŠINJ	2.72	2.82	2.95	3.07	3.13	3.15	3.51	3.43	3.21	3.18	2.64	2.59	36.40
HVAR	2.84	2.90	3.06	3.12	3.18	3.27	3.68	3.65	3.39	3.29	2.73	2.70	37.81

Tab.2.4 - Korekcija  $\delta I_n$ , kcal cm<sup>-2</sup> mj<sup>-1</sup>

M j e s t o	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God.
OSIJEK	-0.22	-0.11	0.12	0.50	0.92	0.99	1.18	0.90	0.59	0.25	-0.06	-0.17	4.89
SLAVONSKI BROD	-0.16	-0.14	0.12	0.34	0.72	0.81	1.00	0.75	0.56	0.19	-0.12	-0.17	3.90
SLAVONSKA POŽEGA	-0.22	-0.11	0.26	0.68	1.14	1.25	1.40	1.19	0.82	0.34	-0.06	-0.22	6.47
LIPIK	-0.19	-0.17	0.15	0.37	0.91	1.01	1.30	1.01	0.68	0.31	-0.12	-0.14	5.12
DARUVAR	-0.25	-0.23	0.09	0.44	0.91	0.98	1.30	0.92	0.59	0.22	-0.24	-0.28	4.45
KRIŽEVCI	-0.22	-0.14	0.15	0.49	1.00	1.04	1.30	1.05	0.68	0.28	-0.12	-0.22	5.29
VARAŽDIN	-0.35	-0.06	-0.06	0.28	0.62	0.60	0.95	0.71	0.49	0.06	-0.26	-0.33	2.65
SLJEME	-0.29	-0.13	0.25	0.70	1.20	1.37	1.59	1.20	0.82	0.33	-0.06	-0.27	6.71
ZAGREB-MAKSIMIR	-0.22	-0.17	0.12	0.47	0.91	0.95	1.13	0.89	0.69	0.19	-0.12	-0.25	4.59
ZAGREB-GRIČ	-0.30	-0.28	-0.12	0.13	0.26	0.65	0.76	0.48	0.27	0.00	-0.27	-0.34	1.24
SISAK	-0.25	-0.23	0.09	0.34	0.85	0.91	1.21	0.96	0.66	0.25	-0.15	-0.20	4.44
KARLOVAC	-0.33	-0.28	-0.12	0.22	0.56	0.54	0.76	0.55	0.49	-0.12	-0.30	-0.34	1.63
SKRAD	-0.19	-0.11	0.28	0.75	1.23	1.38	1.60	1.16	0.80	0.30	-0.12	-0.25	6.83
OGULIN	-0.16	-0.22	0.12	0.25	0.84	0.94	1.19	0.88	0.58	0.19	-0.18	-0.22	4.21
GOSPIĆ	-0.19	-0.08	0.20	0.54	0.95	1.09	1.31	0.93	0.67	0.24	-0.12	-0.17	5.37
ZAVIŽAN	-0.21	-0.13	0.22	0.73	1.30	1.38	1.69	1.35	0.76	0.35	-0.03	-0.19	7.22
PAZIN	-0.31	-0.14	0.23	0.71	1.16	1.21	1.30	0.98	0.66	0.31	-0.09	-0.23	5.79
PULA	-0.23	0.00	0.45	0.82	1.25	1.24	1.17	0.88	0.54	0.16	-0.19	-0.30	5.79
RIJEKA	-0.44	-0.24	0.18	0.38	0.83	0.72	0.67	0.46	0.07	-0.16	-0.37	-0.51	1.59
SENJ	-0.41	-0.24	0.18	0.35	0.73	0.59	0.39	0.07	-0.10	-0.26	-0.50	-0.48	0.32
ZADAR	-0.24	0.00	0.64	1.05	1.50	1.52	1.38	1.06	0.72	0.23	-0.16	-0.30	7.40
ŠIBENIK	-0.41	-0.24	0.12	0.48	0.84	0.70	0.46	0.11	0.03	-0.23	-0.44	-0.45	0.97
KNIN	-0.52	-0.44	-0.03	0.28	0.69	0.78	0.67	0.31	0.17	-0.06	-0.40	-0.53	0.92
SINJ	-0.49	-0.35	0.06	0.44	0.82	0.88	0.77	0.35	0.33	0.03	-0.27	-0.41	2.16
SPLIT	-0.51	-0.30	0.28	0.48	0.67	0.60	0.25	-0.18	-0.14	-0.30	-0.47	-0.58	-0.20
OPUZEN	-0.27	-0.12	0.43	0.61	0.94	1.05	0.79	0.54	0.31	0.10	-0.25	-0.33	3.80
DUBROVNIK	-0.58	-0.27	0.28	0.33	1.14	1.19	1.07	0.54	0.28	-0.27	-0.51	-0.62	2.58
MALI LOŠINJ	-0.30	-0.06	0.46	0.89	1.29	1.25	1.17	0.78	0.48	0.07	-0.32	-0.43	5.28
HVAR	-0.49	-0.18	0.31	0.74	1.14	1.19	1.08	0.68	0.28	-0.13	-0.38	-0.59	3.65

Tab.2.5 - Radijaciona bilanca, R, kcal cm<sup>-2</sup> mj<sup>-1</sup>

M j e s t o	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God.
OSIJEK	-0.75	-0.09	2.20	4.74	7.28	8.64	10.26	8.39	5.09	2.35	0.05	-0.73	47.43
SLAVONSKI BROD	-0.74	-0.06	2.11	4.52	6.88	8.04	9.78	8.05	4.82	2.21	0.05	-0.65	45.01
SLAVONSKA POŽEGA	-0.77	-0.08	2.21	4.74	7.32	8.52	9.93	8.15	4.97	2.28	0.10	-0.67	46.70
LIPIK	-0.73	-0.08	1.94	4.33	6.62	7.88	9.25	7.61	4.60	2.00	0.09	-0.69	42.82
DARUVAR	-0.74	-0.01	2.21	4.76	7.34	8.57	10.06	8.27	5.10	2.27	0.19	-0.64	47.38
KRIŽEVCI	-0.77	-0.12	2.07	4.53	7.11	8.12	9.64	7.74	4.66	2.07	0.03	-0.68	44.40
VARAŽDIN	-0.71	-0.24	2.18	4.46	6.95	7.70	9.44	7.68	4.75	2.21	0.12	-0.61	43.93
SLJEME	-0.87	-0.20	1.86	4.34	6.86	7.72	9.26	7.49	4.62	2.13	0.08	-0.67	42.62
ZAGREB-MAKSIMIR	-0.76	-0.08	2.05	4.56	7.29	8.37	9.78	7.88	4.83	2.16	0.06	-0.68	45.46
ZAGREB-GRIČ	-0.72	-0.01	2.29	4.80	7.64	8.58	10.02	8.07	5.02	2.25	0.14	-0.61	47.47
SISAK	-0.69	-0.02	2.14	4.69	6.98	8.19	9.86	7.90	4.75	1.98	0.07	-0.67	45.18
KARLOVAC	-0.63	-0.02	2.33	4.80	7.36	8.61	10.18	8.06	4.75	2.17	0.23	-0.57	47.31
SKRAD	-0.78	-0.07	2.17	4.72	7.52	8.67	10.17	8.04	4.83	2.13	0.14	-0.66	46.88
OGULIN	-0.79	-0.01	2.04	4.59	6.84	7.97	9.66	7.79	4.64	1.99	0.14	-0.46	44.40
GOSPIĆ	-0.68	-0.02	2.13	4.46	6.77	8.02	9.88	8.03	4.81	2.13	0.18	-0.62	45.72
ZAVIŽAN	-0.82	-0.34	1.38	3.71	6.43	7.13	8.70	7.33	4.55	2.09	0.11	-0.60	39.67
PAZIN	-0.46	0.43	2.76	5.10	7.39	8.80	10.24	8.14	5.07	2.62	0.44	-0.30	50.23
PULA	0.33	1.22	3.82	5.89	8.73	10.41	12.10	10.02	6.34	3.32	0.95	0.17	63.30
RIJEKA	0.43	1.30	3.67	5.55	8.33	9.65	11.64	9.68	6.19	3.32	0.96	0.28	61.00
SENJ	0.43	1.32	3.77	5.81	8.54	10.14	12.08	10.27	6.51	3.50	1.11	0.29	63.77
ZADAR	0.59	1.63	4.57	6.76	9.86	11.60	13.02	10.81	7.00	3.91	1.33	-0.42	71.50
ŠIBENIK	0.65	1.64	3.77	6.31	9.18	10.86	12.84	11.00	7.06	3.98	1.37	0.51	69.17
KNIN	-0.59	0.26	2.70	5.03	7.75	9.11	11.35	9.28	5.82	2.95	0.56	-0.42	53.80
SINJ	-0.60	0.22	2.69	5.03	7.83	9.32	11.54	9.32	5.83	2.95	0.51	-0.47	54.17
SPLIT	0.77	1.73	4.31	6.39	9.42	11.39	13.21	11.46	7.33	4.08	1.47	0.62	72.18
OPUZEN	0.66	1.63	4.26	6.39	9.43	11.54	13.11	11.13	7.18	3.90	1.34	0.51	71.08
DUBROVNIK	0.98	1.79	4.31	6.52	9.20	11.32	13.07	11.25	7.17	4.25	1.63	0.83	72.32
MALI LOŠINJ	0.47	1.44	4.03	6.29	9.30	10.96	12.59	10.52	6.71	3.64	1.20	0.38	67.53
HVAR	0.86	1.75	4.54	6.62	9.60	11.45	13.18	11.27	7.30	4.20	1.49	0.75	73.01

Tab.2.6 - Toplina isparavanja, LE, kcal cm<sup>-2</sup> mj<sup>-1</sup>

M j e s t o	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God.
OSIJEK	0.10	0.49	1.85	3.61	6.13	3.60	6.54	3.48	2.23	1.45	0.66	0.10	30.24
SLAVONSKI BROD	0.19	0.58	1.75	3.64	5.65	5.62	5.69	3.72	2.77	1.14	0.68	0.19	31.62
SLAVONSKA POŽEGA	0.19	0.49	1.56	3.45	5.39	5.59	5.45	3.76	2.55	1.95	0.68	0.19	31.25
LIPIK	0.19	0.58	1.56	3.12	5.07	6.04	8.18	4.66	2.07	1.95	0.68	0.19	34.29
DARUVAR	0.28	0.68	1.56	3.86	5.53	6.03	8.13	4.52	2.94	2.24	0.88	0.39	37.04
KRIŽEVCI	0.29	0.58	1.64	3.48	5.30	5.63	7.76	4.38	2.18	1.85	0.58	0.29	33.96
VARAŽDIN	0.49	1.17	2.03	3.80	5.51	5.75	8.38	4.00	3.15	2.26	1.17	0.49	38.20
SLJEME	0.19	0.39	(1.72)	2.82	4.77	5.84	7.69	6.23	3.70	(2.30)	0.58	0.29	(36.52)
ZAGREB-MAKSIMIR	0.19	0.58	1.66	3.65	5.40	5.85	7.90	4.54	2.45	1.85	0.68	0.29	35.04
ZAGREB-GRIČ	0.49	0.97	2.24	4.07	4.82	7.79	6.47	4.56	2.41	2.38	0.97	0.58	37.75
SISAK	0.29	0.78	1.75	3.57	5.35	7.20	6.04	4.19	2.24	1.95	0.68	0.19	34.23
KARLOVAC	0.58	0.88	2.24	4.28	5.98	7.89	6.55	4.97	2.86	2.43	1.17	0.58	40.41
SKRAD	0.09	0.49	0.68	3.24	5.65	7.27	8.17	7.01	4.19	1.85	0.68	0.29	39.61
OGULIN	0.39	0.68	1.66	3.02	2.43	6.86	7.43	7.00	4.19	2.05	0.78	0.10	36.59
GOSPIĆ	0.17	0.49	1.66	3.31	5.26	6.82	5.96	4.23	4.19	1.85	0.68	0.19	34.81
ZAVIŽAN	0.08	0.29	(1.06)	(2.48)	3.80	4.77	6.24	5.45	(4.27)	(2.00)	0.49	0.19	(31.12)
PAZIN	0.52	0.88	2.14	3.89	5.51	7.59	6.01	4.07	4.58	2.43	0.88	0.58	39.08
PULA	1.07	1.46	2.92	4.44	7.31	4.53	3.31	2.90	2.37	3.35	1.56	1.07	36.29
RIJEKA	1.45	1.85	3.31	4.87	7.40	6.33	6.08	4.81	6.13	3.60	1.85	1.36	49.04
SENJ	1.38	1.95	3.41	5.06	7.59	6.15	5.10	4.78	3.81	3.89	2.04	1.36	46.52
ZADAR	1.25	(1.80)	(4.22)	5.74	5.18	3.78	2.75	2.37	2.39	3.80	1.85	1.27	(36.40)
ŠIBENIK	1.66	2.14	3.50	5.15	7.67	4.95	3.76	2.69	2.65	4.13	2.04	1.56	41.90
KNIN	0.69	1.27	2.63	4.42	6.82	5.79	4.67	3.03	3.07	3.21	1.46	0.88	37.97
SINJ	0.65	1.17	2.34	(3.94)	6.82	5.87	5.12	3.13	2.28	3.02	1.17	0.68	(36.19)
SPLIT	1.79	2.34	3.80	5.84	5.43	4.16	2.98	1.87	2.33	1.86	2.24	1.66	36.30
OPUZEN	1.39	1.95	(4.00)	5.50	8.47	4.69	3.16	2.26	2.57	3.99	1.85	1.36	(41.19)
DUBROVNIK	1.81	2.34	3.80	5.83	8.28	5.12	3.25	2.45	2.73	4.48	2.34	2.24	44.67
MALI LOŠINJ	1.05	1.75	(3.61)	5.26	5.29	3.88	3.10	2.94	2.89	3.80	1.85	1.27	(36.69)
HVAR	1.75	2.14	3.60	5.55	4.82	2.81	1.98	1.46	2.05	1.66	2.34	1.66	31.82



Tab.2.7 - Turbulentna razmjena topline, P, kcal cm<sup>-2</sup> mj<sup>-1</sup>

M j e s t o	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God.
OSIJEK	-0.35	-0.26	0.18	0.80	0.66	4.55	3.32	4.66	3.03	1.15	-0.20	-0.33	17.21
SLAVONSKI BROD	-0.46	-0.34	0.20	0.57	0.77	1.95	3.70	4.08	2.21	1.32	-0.24	-0.37	18.39
SLAVONSKA POZEGA	-0.50	-0.27	0.49	0.99	1.47	2.47	4.10	4.15	2.58	0.57	-0.20	-0.40	15.45
LIPIK	-0.47	-0.38	0.22	0.93	1.10	1.40	0.70	2.71	2.69	0.28	-0.22	-0.44	8.52
DARUVAR	-0.57	-0.39	0.50	0.60	1.35	2.09	1.56	3.51	2.32	0.27	-0.31	-0.57	10.29
KRIŽEVCI	-0.60	-0.41	0.27	0.76	1.36	2.04	1.51	3.12	2.64	0.46	-0.18	-0.52	10.45
VARAŽDIN	-0.75	-1.11	-0.01	0.36	0.99	1.51	0.69	3.44	1.76	0.19	-0.67	-0.65	5.75
SLJEME	-0.67	-0.34	0.00	1.27	1.70	1.49	1.24	1.06	1.06	0.03	-0.18	-0.57	(6.09)
ZAGREB-MAKSIMIR	-0.49	-0.36	0.23	0.61	1.43	2.04	1.50	3.10	2.54	0.55	-0.24	-0.51	10.40
ZAGREB-GRİČ	-0.76	-0.69	-0.11	0.44	2.37	0.34	3.17	3.27	2.77	0.10	-0.45	-0.75	9.70
SISAK	-0.53	-0.50	0.23	0.82	1.17	0.52	3.44	3.46	2.66	0.27	-0.23	-0.41	10.90
KARLOVAC	-0.75	-0.55	-0.07	0.21	0.92	0.25	3.25	2.86	2.05	-0.02	-0.55	-0.68	6.92
SKRAD	-0.45	-0.28	1.34	1.21	1.45	0.98	1.66	0.81	0.79	0.50	-0.20	-0.54	7.27
OGULIN	-0.74	-0.42	0.23	1.29	3.96	0.68	1.87	0.56	0.60	0.17	-0.28	-0.12	7.80
GOSPIĆ	-0.42	-0.23	0.33	0.87	1.08	0.77	3.57	3.57	0.77	0.50	-0.15	-0.39	10.27
ZAVIŽAN	-0.54	-0.40	0.20	1.00	2.27	2.00	2.15	1.69	0.41	0.28	-0.08	-0.44	(9.24)
PAZIN	-0.60	-0.19	0.49	0.96	1.50	0.83	3.91	3.88	0.62	0.38	-0.11	-0.51	11.16
PULA	-0.35	0.01	0.77	1.21	1.04	5.49	8.47	6.92	4.10	0.18	-0.29	-0.51	27.04
RIJEKA	-0.64	-0.30	0.22	0.44	0.55	2.94	5.25	4.67	0.18	-0.08	-0.57	-0.71	11.95
SENJ	-0.55	-0.37	0.22	0.48	0.55	3.60	6.65	5.28	2.85	-0.18	-0.60	-0.67	17.26
ZADAR	-0.29	0.07	0.22	0.77	4.30	7.44	9.97	8.24	4.74	0.30	-0.22	-0.48	(35.06)
ŠIBENIK	-0.61	-0.26	0.14	0.92	1.12	5.53	8.77	8.11	4.54	0.05	-0.35	-0.65	27.31
KNIN	-0.88	-0.73	-0.07	0.33	0.52	2.92	6.34	6.04	2.89	-0.06	-0.56	-0.89	15.85
SINJ	-0.85	-0.69	0.21	0.82	0.62	3.05	6.10	5.98	3.69	0.14	-0.33	-0.75	20.57
SPLIT	-0.64	-0.36	0.38	0.30	3.61	6.85	9.91	9.39	5.13	2.42	-0.45	-0.66	35.88
OPUZEN	-0.34	-0.06	0.12	0.63	0.58	6.46	9.62	8.67	4.75	0.11	-0.19	-0.46	(29.89)
DUBROVNIK	-0.49	-0.33	0.39	0.47	0.58	5.86	9.54	8.61	4.57	-0.05	-0.43	-1.07	27.65
MALI LOŠINJ	-0.22	-0.08	0.30	0.80	3.65	6.72	9.20	7.39	3.93	0.03	-0.36	-0.53	30.83
HVAR	-0.55	-0.17	0.83	0.85	4.45	8.30	10.92	9.63	5.37	2.71	-0.57	-0.56	41.21

Tab. 2.8 - Razmjena topline u tlu, B, kcal cm<sup>-2</sup> mj<sup>-1</sup>

M j e s t o	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
OSIJEK	-0.49	-0.32	0.17	0.32	0.49	0.49	0.40	0.25	-0.17	-0.25	-0.40	-0.49
SLAVONSKI BROD	-0.47	-0.31	0.16	0.31	0.47	0.47	0.39	0.25	-0.16	-0.25	-0.39	-0.47
SLAVONSKA POZEGA	-0.46	-0.30	0.16	0.30	0.46	0.46	0.38	0.24	-0.16	-0.24	-0.38	-0.46
LIPIK	-0.45	-0.29	0.16	0.29	0.45	0.45	0.37	0.23	-0.16	-0.23	-0.37	-0.45
DARUVAR	-0.45	-0.30	0.16	0.30	0.45	0.45	0.37	0.24	-0.16	-0.24	-0.37	-0.45
KRIŽEVCI	-0.45	-0.30	0.16	0.30	0.45	0.45	0.37	0.24	-0.16	-0.24	-0.37	-0.45
VARAŽDIN	-0.45	-0.30	0.16	0.30	0.45	0.45	0.38	0.24	-0.16	-0.24	-0.38	-0.45
SLJEME	-0.39	-0.25	0.14	0.25	0.39	0.39	0.32	0.20	-0.14	-0.20	-0.32	-0.39
ZAGREB-MAKSIMIR	-0.46	-0.30	0.16	0.30	0.46	0.46	0.38	0.24	-0.16	-0.24	-0.38	-0.46
ZAGREB-GRİČ	-0.45	-0.30	0.16	0.30	0.45	0.45	0.38	0.24	-0.16	-0.24	-0.38	-0.45
SISAK	-0.46	-0.30	0.16	0.30	0.46	0.46	0.38	0.24	-0.16	-0.24	-0.38	-0.46
KARLOVAC	-0.47	-0.31	0.16	0.31	0.47	0.47	0.39	0.24	-0.16	-0.24	-0.39	-0.47
SKRAD	-0.42	-0.27	0.15	0.27	0.42	0.42	0.34	0.22	-0.15	-0.22	-0.34	-0.42
OGULIN	-0.44	-0.28	0.15	0.28	0.44	0.44	0.36	0.23	-0.15	-0.23	-0.36	-0.44
GOSPIĆ	-0.43	-0.28	0.15	0.28	0.43	0.43	0.35	0.22	-0.15	-0.22	-0.35	-0.43
ZAVIŽAN	-0.36	-0.23	0.12	0.23	0.36	0.36	0.30	0.19	-0.12	-0.19	-0.30	-0.36
PAZIN	-0.38	-0.25	0.13	0.25	0.38	0.38	0.32	0.20	-0.13	-0.20	-0.32	-0.38
PULA	-0.39	-0.25	0.13	0.25	0.39	0.39	0.32	0.20	-0.13	-0.20	-0.32	-0.39
RIJEKA	-0.38	-0.25	0.13	0.25	0.38	0.38	0.32	0.20	-0.13	-0.20	-0.32	-0.38
SENJ	-0.40	-0.26	0.14	0.26	0.40	0.40	0.33	0.21	-0.14	-0.21	-0.33	-0.40
ZADAR	-0.37	-0.24	0.13	0.24	0.37	0.37	0.30	0.19	-0.13	-0.19	-0.30	-0.37
ŠIBENIK	-0.39	-0.25	0.13	0.25	0.39	0.39	0.32	0.20	-0.13	-0.20	-0.32	-0.39
KNIN	-0.41	-0.27	0.14	0.27	0.41	0.41	0.34	0.21	-0.14	-0.21	-0.34	-0.41
SINJ	-0.40	-0.26	0.14	0.26	0.40	0.40	0.33	0.21	-0.14	-0.21	-0.33	-0.40
SPLIT	-0.38	-0.25	0.13	0.25	0.38	0.38	0.32	0.20	-0.13	-0.20	-0.32	-0.38
OPUZEN	-0.39	-0.25	0.14	0.25	0.39	0.39	0.32	0.20	-0.14	-0.20	-0.32	-0.39
DUBROVNIK	-0.34	-0.22	0.12	0.22	0.34	0.34	0.28	0.18	-0.12	-0.18	-0.28	-0.34
MALI LOŠINJ	-0.39	-0.23	0.12	0.23	0.36	0.36	0.29	0.19	-0.12	-0.19	-0.29	-0.36
HVAR	-0.34	-0.22	0.12	0.22	0.34	0.34	0.28	0.18	-0.12	-0.18	-0.28	-0.34

### 2.3 Diskusija tabelarnih podataka

U tabelama su prikazane veličine osnovnih komponenata energetske ravnoteže prizemnog sloja atmosfera-tlo, karakteristične za prosječne klimatske prilike. Sve veličine su izražene u toplinskim jedinicama, kao odraz činjenice, da energetske podlogu svih procesa u atmosferi čini toplinska energija, primljena sa Sunca.

Prvi dio podataka su komponente radijacione ravnoteže, čiji je rezultat neto fluks radijacije  $R$  ili radijaciona bilanca, a drugi dio čine podaci u posljednje tri tabele (tab. 2.6, 2.7 i 2.8), koji prikazuju razdiobu primljene energije  $R$  na procese u prizemnom sloju atmosfere. Ovi podaci otkrivaju energetske podlogu klime u Hrvatskoj, pomoću kojih se mogu dalje ispitivati uzroci odredjenih manifestnih oblika energije, koje mi osjećamo kao klimu, odnosno vrijeme, a kompleksna metoda njihovog odredjivanja otkriva, već u samom procesu izračunavanja, klimatske zakonitosti i specifičnosti pojedinih naših krajeva, koje nam ranije nisu bile poznate.

Podaci o globalnoj radijaciji  $Q_n$  u tabeli 2.2 služe ovdje kao potreban element za sva daljnja izračunavanja. Globalna, odnosno sumarna radijacija na području Hrvatske istraživana je u drugim studijama (*Penzar, 1959 i dalje*) detaljno i sveobuhvatno. Nama su ti radovi poslužili kao baza za upoznavanje prostorno-vremenske razdiobe  $Q_n$  kao i za ocjenu valjanosti naših izračunavanja  $Q_n$ . Upravo radi usporedbe s već postojećim podacima o  $Q_n$ , podaci u tabeli 2.2 ne uzimaju u obzir albedo  $\alpha$ . Zato ovdje posebno napominjemo, da su u daljnjoj primjeni smanjivani faktorom  $1-\alpha$  prema podacima o albedu  $\alpha$ .

Veličina efektivnog izžaravanja  $I_n$  u tabeli 2.3, koja je ovisna o temperaturi zraka i o naoblaci, pokazuje kombinirani efekt ova dva elementa i može poslužiti kao klimatski indikator, posebno važan u poljoprivredi i gradjevinarstvu. Njene su promjene tijekom godine zanemarivo male (ako se ne uzme u obzir  $\delta I_n$ ) i pokazuju, da od primljene energije  $Q_n$  atmosfera u Hrvatskoj gubi oko 2-4 kcal cm<sup>-2</sup> mjesečno. Gubitak je najveći ljeti u obalnom području, zbog visokih temperatura i etezijske vedrine, ali on ovdje nije značajan zbog velikih količina primljene toplinske energije  $Q_n$ . Mnogo je značajnije efektivno izžaravanje naših sjevernih kontinentalnih krajeva tijekom hladnijeg dijela godine, kada atmosfera dugovalnim izžaravanjem gubi više nego što je primila, što je osnovni uzrok veoma hladnih zima. Zato je u ispitivanjima klime i usporedbi raznih krajeva važniji omjer  $I_n/Q_n$  od samih veličina  $I_n$  i  $Q_n$ .

Dodavanje korekcije  $\delta I_n$ , koja rezultira iz razlike temperatura tla  $T_w$  i prizemnog sloja atmosfere  $T$ , veličina

efektivnog izgaravanja donekle se mijenja i poprima određeni-ji godišnji hod od minimuma zimi do maksimuma ljeti. Efektivno izgaravanje je veće, ako je tada  $\delta I_n$  pozitivan, a smanjuje se u hladnim zimskim mjesecima ( $\delta I_n < 0$ ). Veličina  $\delta I_n$  nije toliko važna kao korekcija  $I_n$ , već je mnogo značajnija kao klimatogeni faktor nastanka radijacionih magli, modifikacije advektivnih magli te kao indikator potencijalne mogućnosti razvoja vertikalnih strujanja u najdonjim slojevima atmosfere. U tom bi je smislu trebalo koristiti u daljnjim istraživanjima.

U izračunavanje  $\delta I_n$  ulazi temperatura tla  $T_w$ . Iz metode kompleksnog izračunavanja  $T_w$  očito je, da ova veličina ne označava neku određenu temperaturu tla na određenoj dubini (premda se s tim temperaturama može usporedjivati), nego predstavlja jednu mjeru energetskog potencijala površinskih slojeva tla, koji djeluju na procese u prizemnom sloju atmosfere. Mogućnosti njenog korištenja u daljnjim studijama su velike, i još nisu dovoljno ispitane.

Rezultantna količina (neto fluks) radijacije, koju prima prizemni sloj, ili radijaciona bilanca  $R$  prikazana je po mjesecima u tabeli 2.5. To je ona količina energije, koja se dalje dijeli i transformira u razne vidove atmosferskih procesa. Ona je najveća u našim južnim krajevima, a opada prema sjeveru i s nadmorskom visinom. U godišnjoj sumi radijaciona bilanca  $R$  je pozitivna u čitavoj Hrvatskoj i kreće se od 40-70 kcal cm<sup>-2</sup> godišnje. Time se naša zemlja uklapa u odgovarajuće vrijednosti, karakteristične za umjerene širine sjevernije od 30°N, gdje postoji stalni fluks topline prema sjeveru.

Godišnji hod  $R$  sličan je za sva mjesta s maksimumom u VII mjesecu i minimumom u siječnju za mjesta u unutrašnjosti, a u prosincu za obalno područje. U unutrašnjosti tijekom zime  $R$  poprima i negativne vrijednosti, jer je gubitak topline dugovalnim izgaravanjem čitavog razmatranog sloja atmosfera-tlo veći od primitka. U obalnom području vrijednosti  $R$  su zimi male, ali ipak pozitivne, radi utjecaja toplinskog kapaciteta mora, a ujedno je većina stanica južnije smještena.

Kada bi se sistem, u kome određujemo jednadžbu ravnoteže energija, proširio preko cijele Zemlje godišnja suma energija sistema atmosfera-tlo bila bi jednaka nuli.

Ako ne nastupaju značajnije promjene klime, godišnje vrijednosti neto fluksa radijacije  $R$  su kvazikonstantne, i to bi se svojstvo moglo koristiti u prognozi bitnih karakteristika godišnjih doba. Konkretno, suma  $R$  tijekom toplijeg dijela godine ili ljeta mogla bi dati indikaciju o intenzitetu nastupajuće zime. Medjutim, u takvoj studiji ljeto se nebi smjelo definirati kalendarski, već njegovu duljinu

odredjuju sami podaci o  $R$ , ili primjena spektralne analize (Šinik, 1967). Prema podacima u tabeli 2.5, u ljetno doba godine u svim našim krajevima uključuje se i mjesec svibanj.

U klimatološkim ispitivanjima radijaciona bilanca  $R$  u kombinaciji s pojedinim komponentama energetske ravnoteže može poslužiti za klimatske rajonizacije i za ocjenu intenzivnosti atmosferskih procesa u pojedinim područjima (vidi četvrti dio ove studije).

Usporedba podataka u tri posljednje tabele pokazuje, da se najveći dio primljene toplinske energije troši na procese isparavanja. Međutim, podaci o toplini isparavanja u tabeli 2.6 predstavljaju numeričku ilustraciju klimatskog potencijala jednog vida energije, koji sudjeluje u tim procesima i ne moraju biti jednaki podacima instrumentalnog odredjivanja  $LE$ , pogotovo ako se ima u vidu, da su podaci u tabeli 2.6 dobiveni kompleksnom metodom toplinsko-vođne ravnoteže u aktivnom sloju tla. To vrijedi i za mjesta u obalnom području, pri čemu je povećana vlažnost zbog blizine mora, pogotovo u hladnijem dijelu godine, sadržana u osnovnim meteorološkim podacima, pomoću kojih se računa  $LE$ . Mjernim podacima isparavanja sličniji su rezultati izračunavanja isparavanja gradijentnom metodom u kraćim vremenskim razdobljima i uz pretpostavku točnijih mjerenja gradijenata vlage i temperature u prizemnom sloju atmosfere.

Vrijednosti  $LE$  pozitivne su po definiciji, ako označavaju utrošak toplinske energije na procese isparavanja. One rastu s porastom radijacione bilance  $R$  i povećanjem oborine  $r$ . Zato njihov godišnji hod ne mora biti pravilan, ovisno o tome, čiji upliv prevladava na  $E$  u mjesečnoj sumi. Uzevši u cjelini, najveće količine toplinske energije troše se na procese isparavanja tijekom toplijeg dijela godine u cijeloj našoj zemlji, pri čemu se glavni maksimum pomiče iz mjeseca u mjesec, ovisno o oborinskom režimu. Najmanje energije sudjeluje u procesima isparavanja tijekom zime u mjestima s izrazitijom kontinentalnošću, kada je opći primitak topline  $R$  najmanji, ili je neto fluks radijacije čak usmjeren van prizemnog sloja.

Godišnja amplituda  $LE$  ( $\Delta LE$ ) može poslužiti za ocjenu kontinentalnosti klime. Zbog miješanja kontinentalnih i maritimnih utjecaja u Hrvatskoj, izrazitijom maritimnošću po ovom kriteriju u odnosu na sva ostala mjesta izdvajaju se jedino otoci Hvar s  $\Delta LE = 4.09$  i Mali Lošinj s  $\Delta LE = 4.24$ , što je osjetno manje u odnosu npr. na Zagreb-Maksimir s  $\Delta LE = 7.71$ .

Toplina isparavanja unutar razmatranog sloja po definiciji je pozitivna, zbog čega su svi podaci u tabeli 2.6 pozitivni. Toplina, koja se oslobadja kondenzacijom, definirana je, suprotno, kao negativna. U ovom istraživanju toplina kondenzacije, koja se oslobadja nastajanjem rose ili magle u prizemnom sloju, tretirana je kao zanemarivo mala, premda



bi, da je ušla u račun, smanjila u nekom procentu vrijednosti  $LE$  u toplijem dijelu godine u unutrašnjosti, odnosno u mjestima, gdje je pojava rose česta i intenzivna. Proširenjem ovih istraživanja na cijeli stupac atmosfere, odnosno toliko visoko da u sebi sadrži i oblake, javljaju se po red veličine  $LE$  i veličine  $-Lr$ , koje se u godišnjoj sumi poništavaju.

Što su veće količine topline  $LE$ , koje se troše na procese isparavanja, to intenzivniji će biti procesi vezani uz prisustvo vodene pare u prizemnom sloju zraka. Na tom principu treba u međusobnoj usporedbi razmatrati i dalje koristiti podatke u tabeli 2.6.

Količina topline, koja se zbog premalih količina oborine, odnosno nedovoljne vlage tla ne utroši na procese isparavanja, širi se kroz prizemni sloj atmosfere turbulentnom razmjenom topline  $P$  (tabela 2.7). Ova komponenta energetske ravnoteže je veoma važna za sva zbivanja u prizemnom sloju, koja su vezana uz vertikalna gibanja. Veličina  $P$  ovdje igra ulogu energetskog pokretača takvih gibanja, a njene mjesečne vrijednosti izražavaju klimatski potencijal mogućnosti razvoja vertikalnih strujanja i vertikalne razmjene ne samo u prizemnom sloju atmosfere nego i iznad njega.

Turbulentna razmjena topline najveća je tijekom toplijeg dijela godine, kada je i rezultatni primitak toplinske energije najveći, zbog čega podaci u tabeli pokazuju pad idući prema sjeveru i porastom nadmorske visine. Uz veličinu  $P$  vezana je mogućnost razvoja konvektivne naoblake ukoliko je prizemni sloj zraka dovoljno vlažan, što ovisi o veličini  $LE$ .

Razmotrimo li u tu svrhu podatke tabela 2.6 i 2.7 zajedno uočavamo, da najvećim vrijednostima  $P$  u tabeli 2.7 u obalnom području u srpnju i kolovozu odgovaraju relativno male vrijednosti  $LE$ , što ukazuje na činjenicu, da ovdje ne treba očekivati intenzivniji razvoj naoblake, osim u području Senja, gdje se vrijednosti  $LE$  i  $P$  približavaju. Opravdanost takvih pretpostavki kao i povezanost sume  $P+LE$  s razvojem konvektivne naoblake i s labilnošću vremena u određenoj klimatskom području posebno je ispitana u 5. dijelu ovog rada.

Negativne vrijednosti  $P$  u tabeli 2.7 označavaju, da u tim mjesecima nema potencijalne energetske podloge za razvoj turbulentnih gibanja. Obzirom da je turbulentna razmjena topline proporcionalna s gradijentom temperature u prizemnom sloju, njene negativne vrijednosti u tabeli 2.7 označavaju slučajeve kada je u mjesečnom srednjaku temperatura aktivnog sloja tla niža od temperature zraka. Odavde slijedi, da vrijednosti  $P$  u zimskim mjesecima treba ispitati u vezi sa čestinom i intenzitetom inverzija u danom području. Inverzije su rezultat makrovremenskih procesa, osim specifičnosti u kotlinama i dolinama, i prema tome veličina  $P$  može u daljnjim istraživanjima korisno poslužiti kao indikator lokalne modifikacije makroprocesa.

Najmanja komponenta u energetskej ravnoteži je toplina  $B$ , koja je zadržana u aktivnom sloju tla (tabela 2.8). Razmjena topline u tlu pozitivna je ako odgovara fluksu topline prema nižim slojevima, a negativna u obrnutom slučaju. Vrijednosti u tabeli dobivene su kao rezultat izračunavanja ravnotežnog stanja prizemnog sloja atmosfera-tlo, te ih s tog stanovišta treba tretirati kao u tlu "sakrivenu" energetske komponentu. Veličina  $B$ , iako mala po apsolutnoj vrijednosti, ulazi, unutar kompleksne metode, u izračunavanje komponentata  $LE$  i  $P$ , što ukazuje na njen utjecaj na sve procese u prizemnom sloju. Veličinu tog utjecaja treba u svakom razmatranom slučaju posebno ispitati. Posebno bi trebalo usporediti vrijednosti  $B$  sa stvarnim fluksom topline u tlu, izračunatim na osnovu mjerenja temperature tla u pojedinim slojevima, a koji ovisi o vrsti tla.

Na kraju treba naglasiti, da veličine  $LE$ ,  $P$  i  $B$  čine tri osnovne komponente energetske ravnoteže i dominiraju u svim procesima u prizemnom sloju atmosfere i aktivnom sloju tla. Medjutim, rezultatni neto fluks  $R$  transformira se i na druge procese, relativno manje, iako ne i manje važne. U klimatološkim razmatranjima trebalo bi kao prvo uzeti u obzir količinu topline koja se u proljeće troši na topljenje snijega i leda u unutrašnjosti i na planinama, kao i što bi, posebno u obalnom području, trebalo ispitati horizontalne gradijente  $LE$  i  $P$ .

### 3. TEMPERATURNI REŽIM

Nada Pleško

#### 3.1 Općenito

Toplinska ravnoteža u atmosferi danas se mnogo koristi pri proučavanju geneze klime različitih teritorija, pri istraživanjima procesa velikih razmjera, u radovima o klasifikaciji i teoriji klime (*Budyko, 1974*) i nizu drugih naučnih područja. U ovom radu iskorištene su izračunate komponente energetske ravnoteže za prikaz fizikalne podloge jednog od osnovnih klimatskih elemenata - temperature zraka.

Temperatura zraka je baza klimatskih klasifikacija, ali se u radovima koji tretiraju problematiku klime najčešće ne ide tako daleko da se temperatura zraka promatra kao manifestni oblik prosječnog energetske stanja atmosfere. U SSSR-u je nešto radjeno na takvoj interpretaciji, pa je npr. u radu E.M. Šahlinskog nadjena veza godišnje radijacione bilance s temperaturom zraka za Kavkaz i srednju Aziju (*Sakali, 1970*), koja glasi:

$$R = 3.4 t - 16.4 \quad (3-1)$$

Srednja temperatura Zemlje, odnosno srednja planetarna temperatura nižeg sloja atmosfere (*Budyko, 1971*) izračunava se uz pomoć elemenata sadržanih također u energetskim jednadžbama (globalna radijacija, albedo i naoblaka). Koristeći iste veličine, izračunavaju se i srednje godišnje temperature zraka na različitim geografskim širinama. *Chang i Root [1975]* su statistički proučavali korelaciju između srednje mjesečne globalne radijacije i temperature zraka u raznim klimatskim područjima i samo općenito diskutirali utjecaj koeficijenta refleksije, efektivne dugovalne radijacije, Bowen-ovog omjera, fluksa topline u tlu i advekcije na temperaturni režim.

Inače u svijetu postoji više načina da se temperatura zraka, ne kao klimatska karakteristika, nego za neko kraće vremensko razdoblje, ili njena prognostička vrijednost, izračuna teoretskim putem. U raznim modelima koriste se različite fizikalne zakonitosti iz kojih se može uz određene pretpostavke izračunati temperatura zraka. Velik dio tih modela sadrži u sebi i jednadžbe energetske ravnoteže. To su obično kompleksni modeli za istraživanje graničnog sloja atmosfere ili globalne cirkulacije. Tako na primjer (*Jakobs and Brown, 1973*) se temperatura prizemnog sloja četverodnevnog razdoblja bilo nad zemljom bilo nad vodom

dobiva rješenjem nelinearne jednadžbe toplinske ravnoteže oblika:

$$T = \frac{1}{\epsilon\sigma} \left[ (R_H + R_a + R_x + P_T - A - S - LE) \right]^{\frac{1}{4}} \quad (3-2)$$

gdje je:

- $\epsilon$  - sposobnost emisije,
- $\sigma$  - Stefan-Boltzmann-ova konstanta,
- $R_H$  - neto solarna energija apsorbirana u prizemnom sloju minus količina energije predana nižim slojevima,
- $R_a$  - atmosferska radijacija prizemnog sloja,
- $R_x$  - radijacija umjetnih izvora topline sagorijevanjem,
- $P_T$  - toplinska energija sadržana u oborini,
- $A$  - fluks topline od prizemnog sloja u atmosferu,
- $S$  - fluks topline od prizemnog sloja u vodu i tlo,
- $L$  - latentna toplina,
- $E$  - površinsko isparavanje.

Digitalni ravnotežni temperaturni model koji se koristi (*Outcalt, 1972*) za simulaciju dnevnih površinskih termičkih prilika i energetskog režima baziran je na zakonu očuvanja energije:

$$R_N + LE + H + S = 0 \quad (3-3)$$

- gdje je prema autoru:
- $R_N$  - suma neto radijacije,
  - $LE$  - evaporacija - kondenzacija,
  - $H$  - fluks topline u zrak,
  - $S$  - fluks topline u tlo.

U tom modelu, uz niz jednadžbi koje definiraju  $H$ ,  $LE$  i  $S$ , koristi se i Fick-ova difuziona jednadžba za temperaturu, na osnovi kojih se onda  $t$  i izračunava. Numerički model "toplinskog otoka" u gradovima (*Myrup, 1969*) također izračunava temperaturu zraka pomoću jednadžbi za pojedine komponente toplinske ravnoteže. Judin M.I. je, na primjer, proučio pitanje utjecaja dnevnih kolebanja turbulentnog toka topline na promjenu temperature zraka (*Berljand, 1956*).

Iz ovog kratkog pregleda očito je, da razni autori sve češće koriste ravnotežno stanje sunčeve radijacije i njenih preobrazbi u uvjetima zemljine površine i atmosfere kao faktore, koji se rezultatno odražavaju u temperaturi zraka, pa se pomoću njih ona može i prikazati ili izračunati. Sličnim putem se pošlo i u ovom radu, ali primijenjeno na prosječne klimatske prilike, da bi se na osnovi ravnoteže energija ustanovilo s kojim udjelom pojedini dijelovi energije, odnosno pojedini atmosferski procesi, sudjeluju u postojećoj slici termičkog režima na području Hrvatske.

### 3.2 Ispitivanje ovisnosti $t = f(LE, P, B)$

Poznata je činjenica, da je temperatura zraka prizemnog sloja atmosfere ovisna o neto fluksu radijacije u tom sloju, odnosno o radijacionoj bilanci. U ranije spomenutom radu za Kavkaz i srednju Aziju (*Sakali, 1970*) pokazano je, da je ta ovisnost za godinu linearna:

$$t = 0.3 R + 4.8 \quad (3-4)$$

Ispitivanja u RHMZ SRH pokazala su, da za naše sjeverne kontinentalne krajeve vrijedi gotovo ista ovisnost, čak i za mjesečne srednjake temperature i  $R$ . Međutim, pored korelacije temperature zraka i ukupne energije koju prima promatrani prizemni sloj zraka treba ispitati kako se u temperaturi zraka očituje ta energija, razložena u komponente toplinske energije  $LE$ ,  $P$  i  $B$ , jer one pokazuju udio pojedinih atmosferskih procesa u temperaturnom režimu.

U prvom poglavlju ovog rada detaljnije je objašnjeno da se neto fluks radijacije  $R$  u aktivnom sloju transformira u energiju raznih procesa u atmosferi. Dio te energije troši se kao toplina na procese isparavanja ( $LE$ ), drugi dio toplinske od zagrijanog tla turbulentnom razmjenom odlazi u atmosferu ( $P$ ) i sudjeluje u vertikalnim kretanjima atmosfere, a dio se razmjenjuje između viših i nižih slojeva tla ( $B$ ). Zato je najprije ispitan odnos prosječnih mjesečnih temperatura zraka i svake komponente toplinske ravnoteže, dakle, ispitano je:

$$t = f(LE)$$

$$t = f(P) \quad (3-5)$$

$$t = f(B)$$

Na slici 3.1 prikaz je tih odnosa za Osijek. Rasap podataka temperature u odnosu na samo jednu komponentu toplinske ravnoteže je velik, što pokazuje da temperatura zraka nije funkcija samo jedne energetske komponente. Osim toga, te veze i nisu jednostavne. Ovisnost  $t = f(LE)$ , koja se

vidi na sl. 3.1 vrijedi u obrnutom smislu, jer je ustvari isparavanje funkcija temperature zraka, što je i obuhvaćeno kasnije u kompleksnoj vezi svih energetskih komponenata s temperaturom zraka. Veza temperature zraka i razmjene toplinske energije u tlu  $t = f(B)$  je linearna. Mnogo izrazitija je povezanost temperature zraka s onim dijelom toplinske energije koji u atmosferu dopijeva procesima turbulentne razmjene.

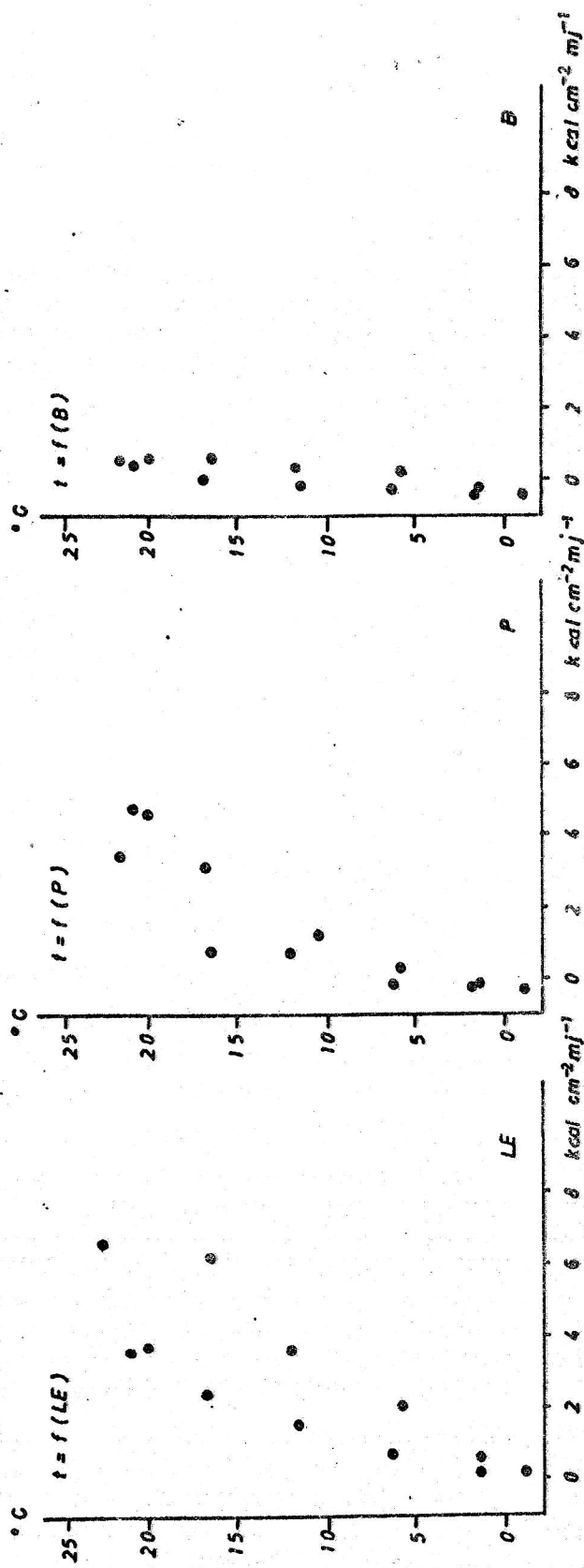
Ovakvi odnosi temperature zraka s pojedinačnim energetskim komponentama sugeriraju, da se parcijalno djelovanje tih komponenti poveže u cjeloviti izraz, koji će prikazivati njihov zajednički utjecaj na temperaturu zraka u prizemnom sloju, kakav u biti u atmosferi jedino i postoji.

Budući da na komponente  $LE$  i  $P$  otpada mnogo veći dio neto fluksa radijacije nego na komponentu  $B$ , to je prije svega ispitana veza temperature zraka s ovim komponentama i to povezanim u omjeru  $\frac{P}{LE}$ , odnosno "Bowen-ovom omjeru".

Neki autori (*Jen-Hu Chang, Barry Root, 1975*) su konstatairali takodjer, da Bowenov omjer signifikantno djeluje na odnos između radijacije i temperature zraka. Iz omjera slijedi, da će temperatura zraka biti to viša što je više od primljene topline došlo u atmosferu turbulencijom i što je manje utrošeno na procese isparavanja.

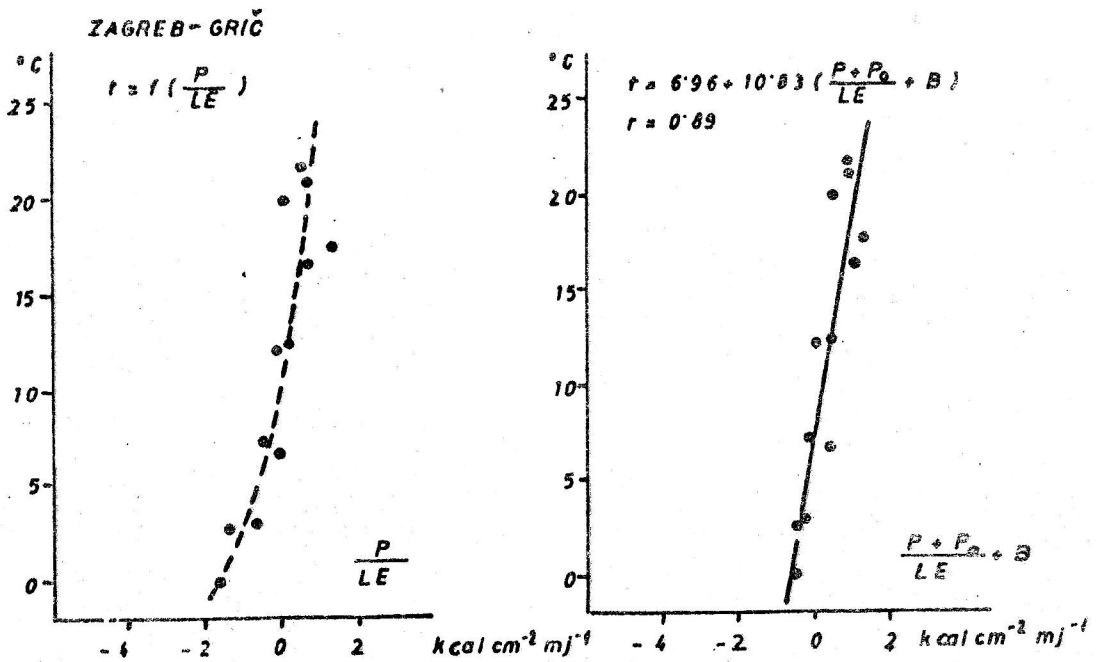
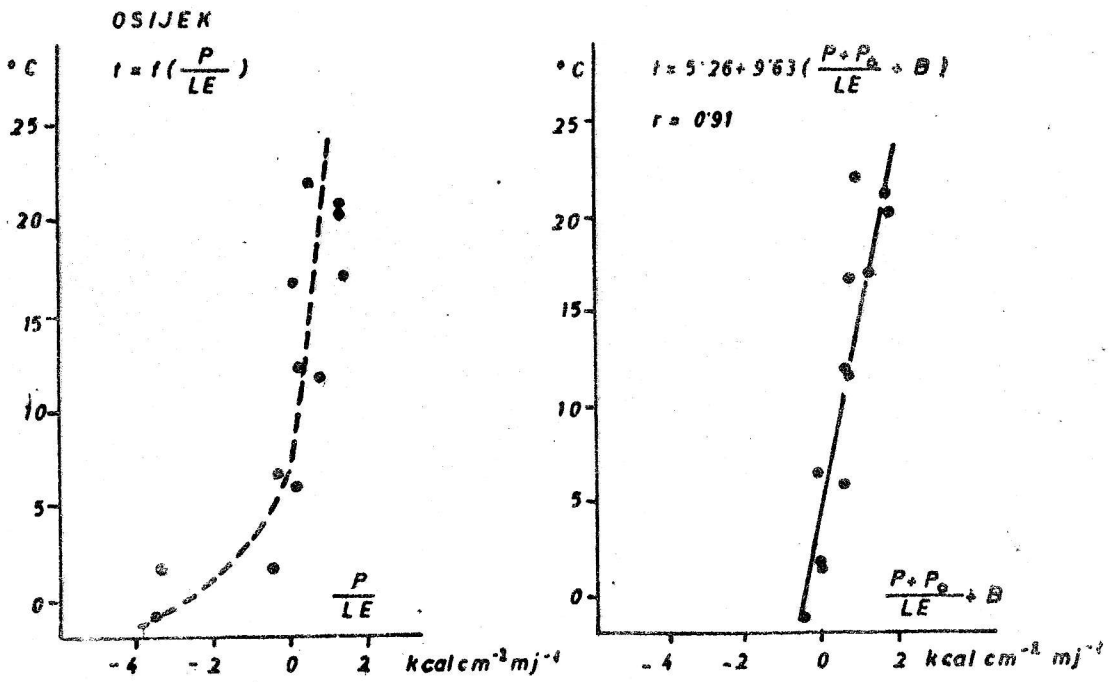
Ovo ispitivanje je pokazalo, da je jednostavna veza  $t = f\left(\frac{P}{LE}\right)$  dosta dobra za neke stanice, pogotovo one u obalnom području. Za stanice u unutrašnjosti ta veza je slabija, osobito u toplijem dijelu godine, kada istim vrijednostima omjera  $\frac{P}{LE}$  pripada vrlo širok raspon temperature zraka. Zato je ispitan odnos temperature zraka prema kombinaciji svih triju energetskih komponenata  $P$ ,  $LE$  i  $B$ . I u toj kombinaciji zadržan je Bowen-ov omjer, ali u modificiranom obliku. Istraživanje je pokazalo, da je utjecaj turbulentne razmjene topline  $P$  na temperaturni režim veći nego što pokazuje sam omjer  $\frac{P}{LE}$ . Zato je  $P$  uvećan za vrijednost  $P_0$  na svakoj stanici. Ta vrijednost predstavlja bazni turbulentni potencijal različit za razne stanice, a ovisan je o geografsko fizičkim karakteristikama promatranog područja. On je uvijek pozitivan, a uputno je uzeti da po apsolutnoj vrijednosti odgovara najnižoj zimskoj (negativnoj) vrijednosti  $P$ . Na taj način je došla do izražaja činjenica da je zimi, u mjesecima s najmanjom negativnom vrijednošću  $P$ , kada je suma  $P + P_0 = 0$ , temperatura zraka u klimatskom smislu ovisna samo o razmjeni topline u tlu. Kako je fluks topline u tlu zimi usmjeren od nižih prema višim slojevima, jasno je, da je u to doba godine uloga upravo ove energetske komponente značajna. Za sve stanice u unutrašnjosti modificiran Bowen-ov omjer  $\left(\frac{P + P_0}{LE}\right)$ , uz dodatak energetskog





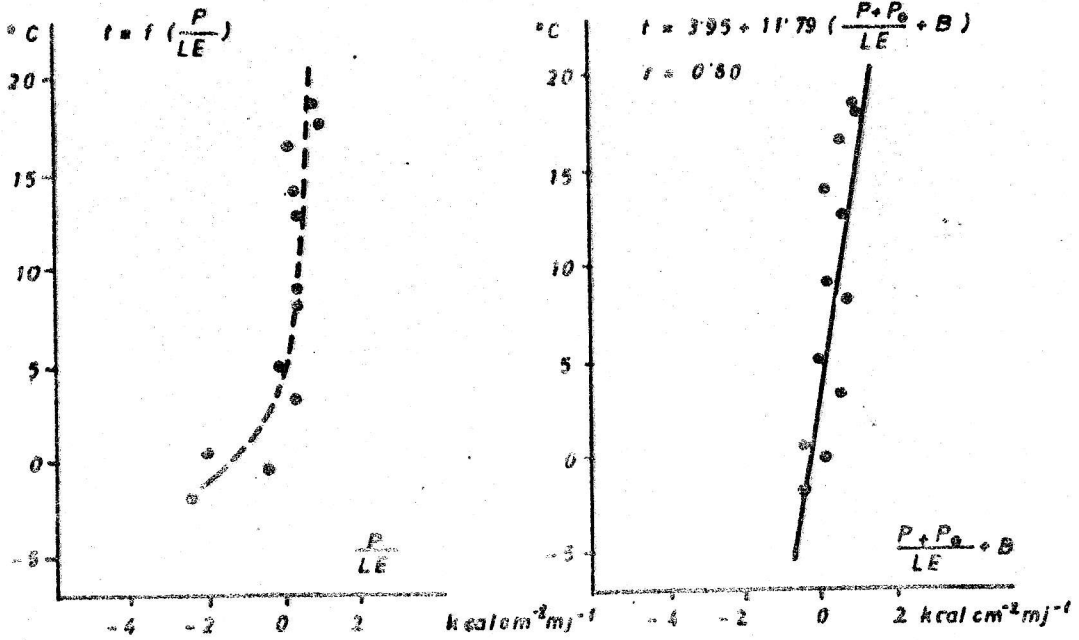
SL. 3.1 --- VEZA TEMPERATURE ZRAKA S TOPLINOM ISPARAVANJA (LE), TURBULENTNOM RAZMJENOM TOPLINE (P) I RAZMJENOM TOPLINE U TLU (B), OSIJEK (1949 - 1973)



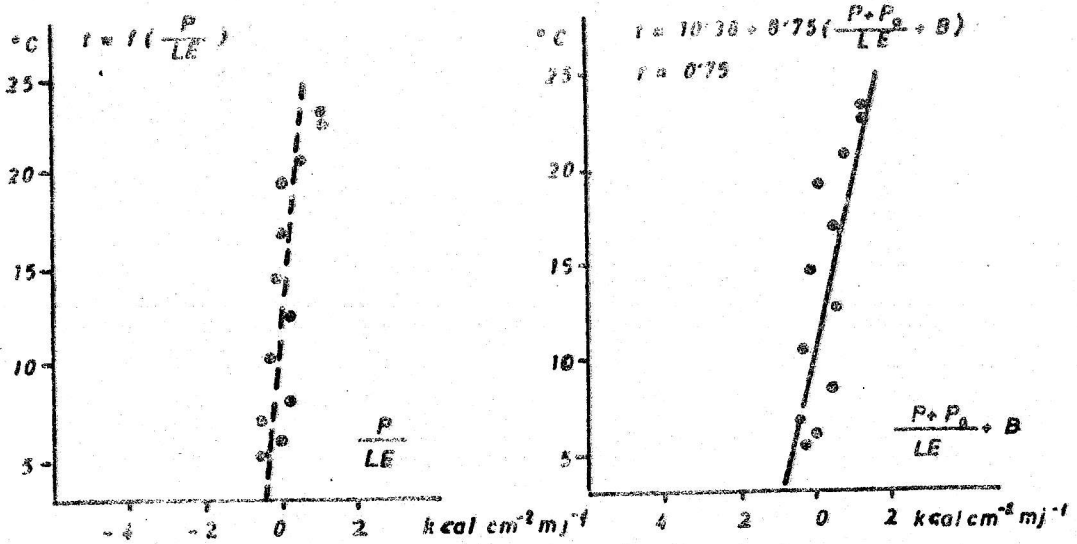


SL. 3.2 — VEZA TEMPERATURE ZRAKA I KOMPONENTATA ENERGETSKE RAVNOTEŽE (OSIJEK, ZAGREB-GRIČ)

GOSPIĆ

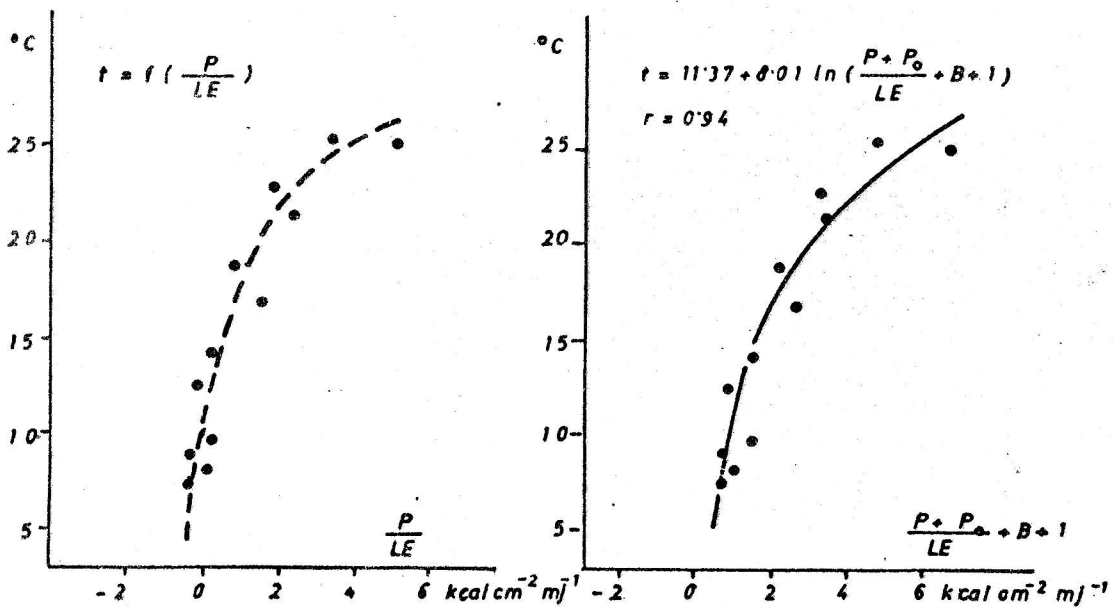


RIJEKA

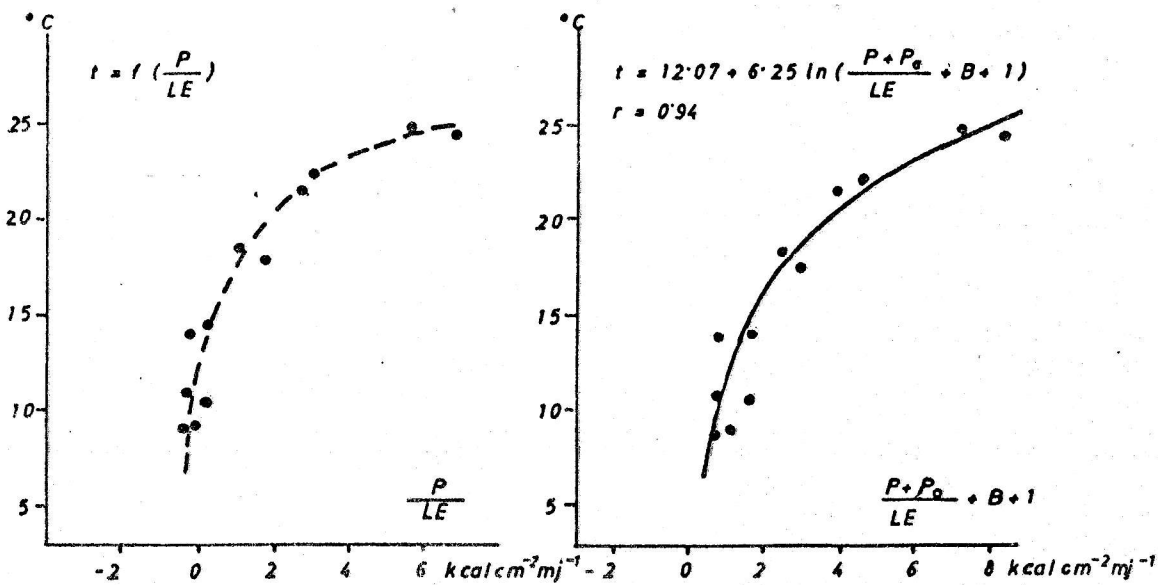


SL. 3.3 - VEZA TEMPERATURE ZRAKA I KOMPONENTATA ENERGETSKE RAVNOTEŽE (GOSPIĆ, RIJEKA)

## SPLIT-MARJAN



## HVAR



SL. 3.4 — VEZA TEMPERATURE ZRAKA I KOMPONENATA  
 ENERGETSKE RAVNOTEŽE  
 (SPLIT-MARJAN, HVAR)

energetskog utjecaja topline tla, dakle kombinacija  $\frac{P + P_0}{LE} + B$ , pokazuje izvjesnu povezanost s temperaturom zraka (sl. 3.2 - 3.3). Idući prema maritimnom području ovakva linearna veza se mijenja, kao što se vidi iz koeficijenata korelacije ( $r_k$ ) i postepeno prelazi u dobru logaritamsku vezu (sl. 3.4). Provedena modifikacija Bowen-ovog omjera i uključivanje komponente  $B$  u kompleksnu povezanost s temperaturom zraka pokazalo se općenito mnogo značajnije u unutrašnjosti nego u obalnom pojasu.

U mjerenim podacima temperature, čiju smo ovisnost o energetskoj ravnoteži tražili, sadržan je sigurno i advektivni toplinski doprinos, što naša razmatranja nisu obuhvatila eksplicite. Međutim, treba imati na umu da već samo izračunavanje komponenata  $LE$ ,  $P$  i  $B$ , uz pomoć godišnjih hodova meteoroloških elemenata, sadrži u sebi implicite i utjecaj advektivnog doprinosa topline. Povećanjem duljine razmatranog klimatskog razdoblja advektivni upliv na ravnotežno toplinsko stanje naglo se smanjuje.

Na opisan način je ispitivanje ovisnosti temperature zraka o toplinskoj ravnoteži u razdoblju 1949-1973. godine provedeno za 6 stanica na području Hrvatske, odabranih tako, da su zastupljena naša razna klimatska područja reprezentirana stanicama u kontinentalnoj unutrašnjosti, istočnoj obali Jadrana i otocima. To su slijedeće stanice: Osijek, Zagreb-Grič, Gospić, Rijeka, Split-Marjan i Hvar. Veza temperature zraka i komponenata energetske ravnoteže prizemnog sloja atmosfera - tlo na planinskim stanicama mnogo je kompliciranija i zahtijeva dodatna istraživanja.

### 3.3 Diskusija rezultata

Proučavanu ovisnost temperature zraka o energetskim komponentama za razne krajeve Hrvatske definiraju slijedeće jednadžbe:

$$\text{OSIJEK} \quad t = 5.26 + 9.63 \left( \frac{P+P_0}{LE} + B \right) \quad r_k = 0.91$$

$$\text{ZAGREB-GRIČ} \quad t = 6.96 + 10.83 \left( \frac{P+P_0}{LE} + B \right) \quad r_k = 0.89$$

(3-6)

$$\text{GOSPIĆ} \quad t = 3.95 + 11.79 \left( \frac{P+P_0}{LE} + B \right) \quad r_k = 0.80$$

$$\text{RIJEKA} \quad t = 10.38 + 8.75 \left( \frac{P+P_0}{LE} + B \right) \quad r_k = 0.75$$

$$\text{SPLIT-MARJAN } t = 11.37 + 8.01 \ln\left(\frac{P+P_0}{LE} + B + 1\right) r_k=0.94 \quad (3-6)$$

$$\text{HVAR } t = 12.07 + 6.25 \ln\left(\frac{P+P_0}{LE} + B + 1\right) r_k=0.94$$

Napomena: u jednadžbama veze za Split-Marjan i Hvar izračunavanje logaritamske veze tražilo je dodavanje broja 1 izrazu u zagradi.

U kontinentalnom području veza temperature zraka i kompleksnog djelovanja komponenata energetske ravnoteže je linearna, te istom porastu izraza  $\frac{P+P_0}{LE} + B$  odgovara i ljeti i

zimi isti porast temperature zraka na nekoj stanici (sl. 3.2-3.3). U sjevernom primorju, kao što se vidi kod Rijeke (sl. 3.3), linearna veza je već slabija ( $r_k=0.75$ ), da bi u južnijim predjelima obale i otocima poprimila logaritamski oblik (sl. 3.4). Ovaj oblik ukazuje na činjenicu, da isti porast spomenute energetske kombinacije izaziva izrazitije povišenje temperature zraka zimi nego u toplom dijelu godine. Ili: tokom hladnijeg dijela godine dovoljno je relativno malo poremećenje ravnotežnog toplinskog stanja da izazove osjetnu promjenu temperature.

Različit oblik krivulja veze temperature zraka i efekta iste kombinacije komponenata energetske ravnoteže na kontinentalnom i maritimnom području, specijalno tijekom toplijeg dijela godine, nastaje zbog ogromnog utjecaja podloge na termički režim. Vodena masa akumulirajući ljeti velike količine topline ne dozvoljava tako visok porast temperature zraka kao u unutrašnjosti, unatoč tome što je neto fluks radijacije veći nego u unutrašnjosti. Zahvaljujući toj istoj akumuliranoj toplinskoj energiji, koju vodena masa zimi predaje zraku, zimske temperature zraka u maritimnom području su više, ali je njihov porast u vezi s porastom kombiniranog efekta  $P$ ,  $LE$  i  $B$  u to vrijeme gotovo isti kao u unutrašnjosti. Kako su vrijednosti  $P$  i  $LE$  tijekom zime zanemarivo male, jasno je, da je upravo fluks topline u tlu najznačajniji za termički režim. No on je očito veoma značajan i u toplom dijelu godine, jer je veličina omjera  $\frac{P}{LE}$  i ljeti malena, iako su pojedinačne komponente  $P$ , a pogotovo  $LE$  u toplom dijelu godine znatno povećane.

Na kraju treba dodati da je uz fizikalnu činjenicu usporenog porasta temperature zraka na moru u toplijem dijelu godine, odstupanje veze  $t = f\left(\frac{P+P_0}{LE} + B\right)$  od linearne, koja vrijedi u kontinentalnom zaledju, možda i rezultat nedovoljne adekvatnosti primijenjene metode izračunavanja komponenata energetske ravnoteže na moru.

#### 4. KLIMATSKA RAJONIZACIJA

Nadežda Šinik

U klimatskim atlasima toplinske ravnoteže uglavnom su prikazane prostorne razdiobe pojedinih komponenata radijacije i energetske ravnoteže. U ovoj fazi naše studije smatrali smo dovoljnom tabelarnu ilustraciju spomenutih komponenata. Medjutim, služeći se rezultatima istraživanja provedenih u GGO-u posljednjih dvadeset godina iskoristili smo podatke u tabelama 2.5 i 2.9, da bi pokušali provesti jednu klimatsku klasifikaciju Hrvatske pomoću tzv. "radijacionog indeksa suhoće" (Budyko, 1971).

Radijacioni indeks suhoće određuje odnos toplinske i vodne ravnoteže nekog područja te je definiran kao  $R/Lr$ . Ako je  $R/Lr < 1$  klima je vlažna, jer je neto fluks radijacije slab da ispari svu palu količinu oborine; ako je  $R/Lr = 1$  rezultatna primljena radijacija upravo je dovoljna za isparavanje ukupne pale oborine, a u slučaju  $R/Lr > 1$  primamo više radijacione energije nego što je potrebno za isparavanje, te s porastom ove veličine iznad 1 raste i suhoća klimatskih prilika. Istraživanja Budyka i Grigor'eva pokazala su usku povezanost između geobotaničkih zona i tipova tla s radijacionim indeksom suhoće, zbog čega on može poslužiti za ocjenu općih zonalnih uslova prirodnih procesa. Medjutim, intenzivnost prirodnih procesa u tim zonama određuje apsolutna vrijednost samog neto fluksa radijacije  $R$ . Zato je za geobotaničku klimatsku rajonizaciju nekog područja potrebno razmatrati kombinaciju tih veličina, tj. radijacionog indeksa suhoće i neto fluksa radijacije. Takva istraživanja provedena su u GGO-u, rezultirajući u tabeli "geografske zonalnosti" prikazanoj u (Budyko, 1971). Vlažnost klime ocjenjuje radijacioni indeks suhoće, a njenu toplinsku, energetske osnovu radijaciona bilanca. Tabela je izradjena na osnovi godišnjih vrijednosti  $R$  i  $R/Lr$ , a prikazuje promjene klime na našoj planeti od vječnog snijega ( $R$  i  $R/Lr < 0$ ) do tropskih pustinja ( $R > 75 \text{ kcal cm}^{-2} \text{ god}^{-1}$  i  $R/Lr > 3$ ).

Na sličan način ispitane su radijacione klimatogene karakteristike raznih područja u Hrvatskoj. Osnovu tog istraživanja čine podaci o radijacionom indeksu suhoće (tab. 4.1) i radijacionoj bilanci (tab. 2.5).

Na osnovi tih podataka izradjeni su grafikoni (sl. 4-1, 4-2, 4-3), na kojima su opće klimatske karakteristike iz spomenute tabele geografske zonalnosti primijenjene na naše područje uz izvjesne modifikacije i detaljiziranje, vezano uz naše specifične klimatske prilike.



Na slici 4.1 unesena su sva razmatrana mjesta slijedećim kraticama.

OS - Osijek	KA - Karlovac	ŠI - Šibenik
SB - Slav. Brod	SK - Skrad	KN - Knin
SP - Slav. Požega	OG - Ogulin	SINJ - Sinj
LI - Lipik	GO - Gospić	SPL - Split
DA - Daruvar	ZA - Zavižan	OP - Opuzen
KR - Križevci	PA - Pazin	DU - Dubrovnik
VA - Varaždin	PU - Pula	ML - Mali Lošinj
SLJ - Sljeme	RI - Rijeka	HV - Hvar
ZG - Zagreb-Grič	SE - Senj	
SI - Sisak	ZD - Zadar	

Prema godišnjim vrijednostima veličine  $R$  i  $R/Lr$  ta se mjesta tako grupiraju, da omogućavaju jednostavnu shematsku podjelu. Naziv mjesta ukazuje na dio Hrvatske, koji pripada pojedinoj zoni.

Prema vrijednostima  $R$ , mjesta u Hrvatskoj grupiraju se u područje šuma (Šu) na sjeveru i planinskim predjelima Like i Gorskog kotara, zatim dva prijelazna područja od šumske do suprotropske vegetacije ( $S_1$  i  $S_2$ ) te u područje suprotropske vegetacije (S), kojoj je potrebna najveća količina topline. Razvoj vegetacije u tim područjima ovisan je o vrsti tla (što ovdje nije razmatrano) te o indeksu suhoće  $R/Lr$ . On dijeli našu republiku u vlažna (V), optimalno vlažna (O) područja te u područja sa umjerenim manjkom vlažnosti (U). Na taj način je Hrvatska podijeljena na priloženoj karti (sl. 4.2) na 10 regiona, čije su osnovne klimatske i geobotaničke karakteristike, označene slovima sa sl. 4.1. Ovakva podjela, izvedena na osnovu 29 meteoroloških stanica, daje samo grubu orijentaciju prema godišnjim srednjim vrijednostima.

Obzirom da se radijaciona bilanca kao i radijacioni indeks suhoće mijenjaju tijekom godine potrebno je geobotaničku i klimatsku podjelu na slici 4.2 ispitati barem u mjesecima najvećih i najmanjih vrijednosti  $R$  i  $R/Lr$ , a to su srpanj i siječanj. Ovdje je grupiranje mjesta prema kombinacijama njihovih klimatogenih faktora još izrazitije.

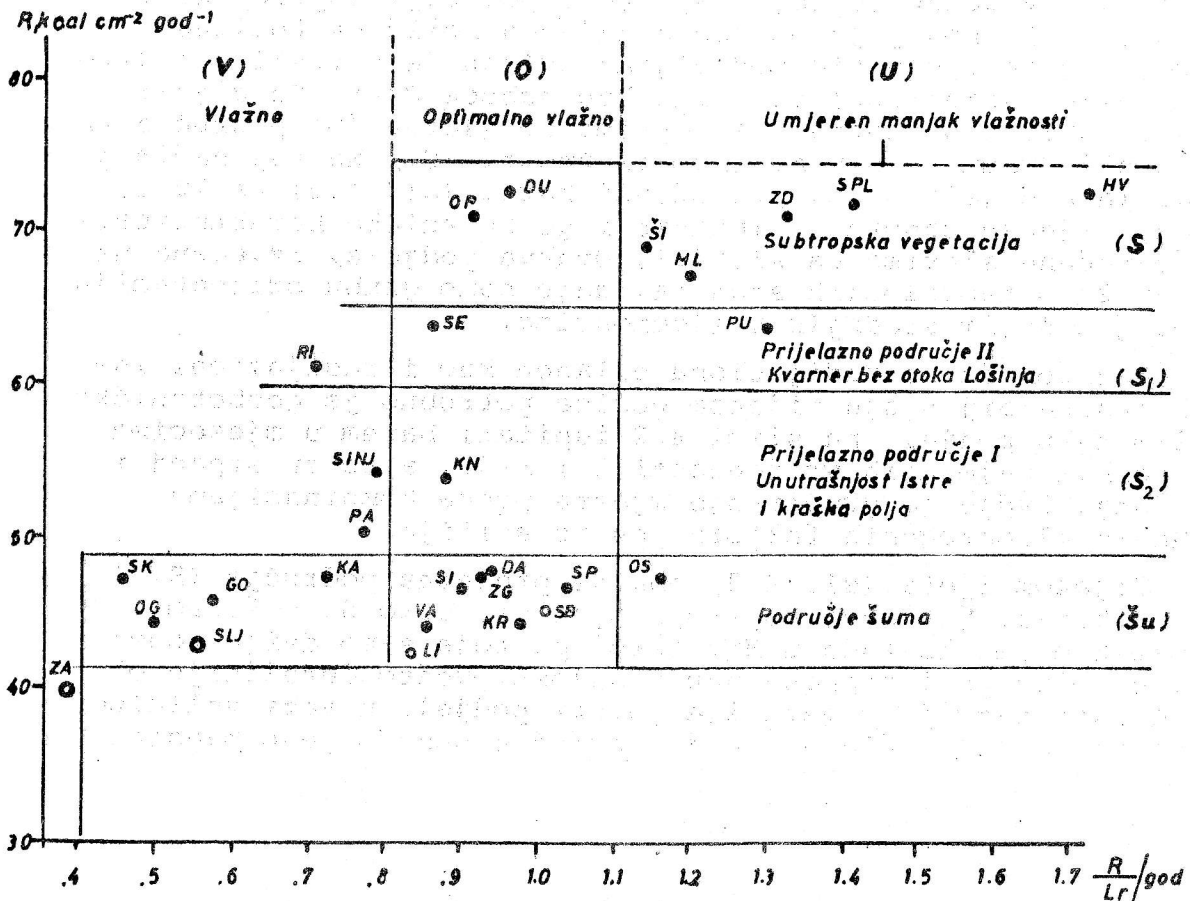
Tijekom ljeta (sl. 4.3) oba se prelazna područja ( $S_1$  i  $S_2$ ) približavaju našoj suprotropskoj zoni, tako da u širem klimatskom smislu tada u Hrvatskoj postoje samo dvije zone: obalno područje i kopnena unutrašnjost. Nešto detaljnije o mogućnosti razvoja vegetacije govori podjela u vezi veličine  $R/Lr$ . Upada u oči činjenica da područje zastupljeno mjestom Skrad (Gorski kotar) i tijekom ljeta ima klimu gotovo optimalno vlažnu za razvoj vegetacije za razliku od Osijeka, koji prima sličnu količinu neto fluksa radijacije kao Skrad, ali ga radijacioni indeks suhoće svrstava u nedovoljno vlažnu zonu. Utjecaj etezijske ljetne vedrine i suhoće na našem obalnom području najjači je na južno-jadranskim otocima.

Zimska shema na slici 4.4 razlikuje se od ljetne po tome, što unutrašnjost Istre (Pazin) i Dalmatinska zagora (Knin i Sinj) poprimaju klimatske osobine kontinentalne unutrašnjosti uz nešto više temperature zbog većih količina radijacione bilance  $R$ . Crtkanom linijom na grafikonu ograničeno je područje negativnih vrijednosti  $R$  i  $R/Lr$ , međutim, kao što pokazuje grupiranje mjesta na grafikonu, do hladne zime u našim krajevima neće doći, ako rezultatni gubitak toplinske energije ne padne ispod  $-0.4 \text{ kcal cm}^{-2} \text{ mj}^{-1}$ . Ovisno o kombinaciji  $R$  i  $R/Lr$ , a na osnovi podataka o snježnom pokrivaču, najveću vjerojatnost snježnih zima imaju krajevi, čije zimske kombinacije  $R$  i  $R/Lr$  padaju unutar donjeg trokuta na grafikonu. Ovu bi činjenicu trebalo potvrditi (ili korigirati) dodatnim istraživanjima.

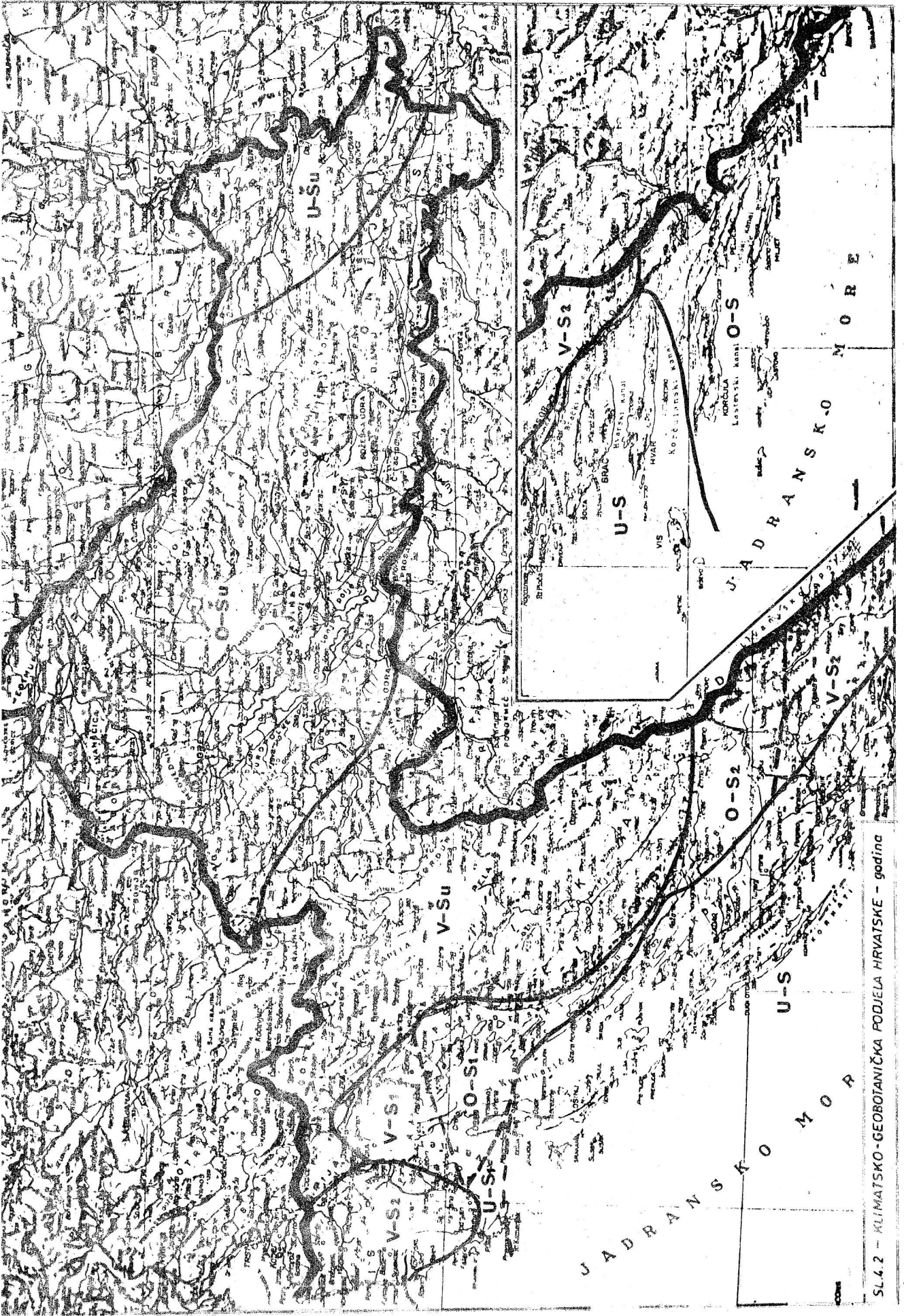
U obalnom području vlažnost klime je podjednaka za sva mjesta, a uočljiv je i porast  $R$ , iako malen i to od sjeverozapada (Pula) do jugoistoka (Dubrovnik).

Napomena:

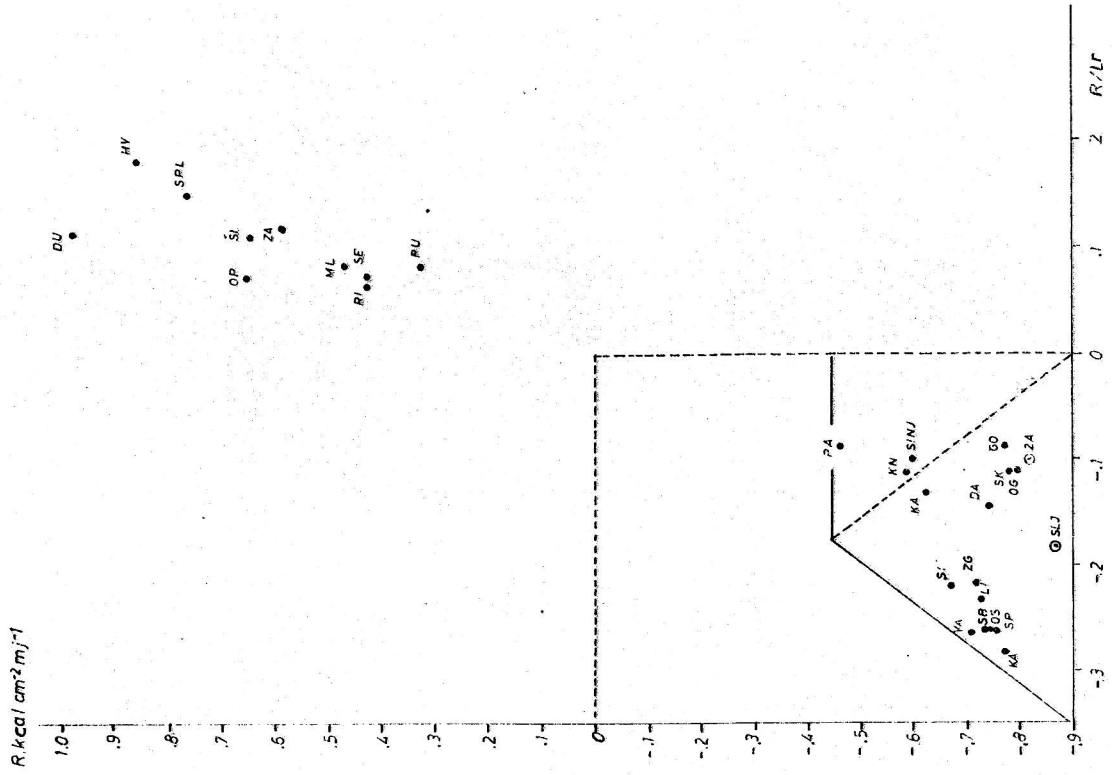
Planinske meteorološke stanice Sljeme i Zavižan označene su na grafikonima kružićem, da se istakne da te podatke treba razmatrati s rezervom, jer prilikom njihovog izračunavanja nije uzet u obzir utjecaj nadmorske visine.



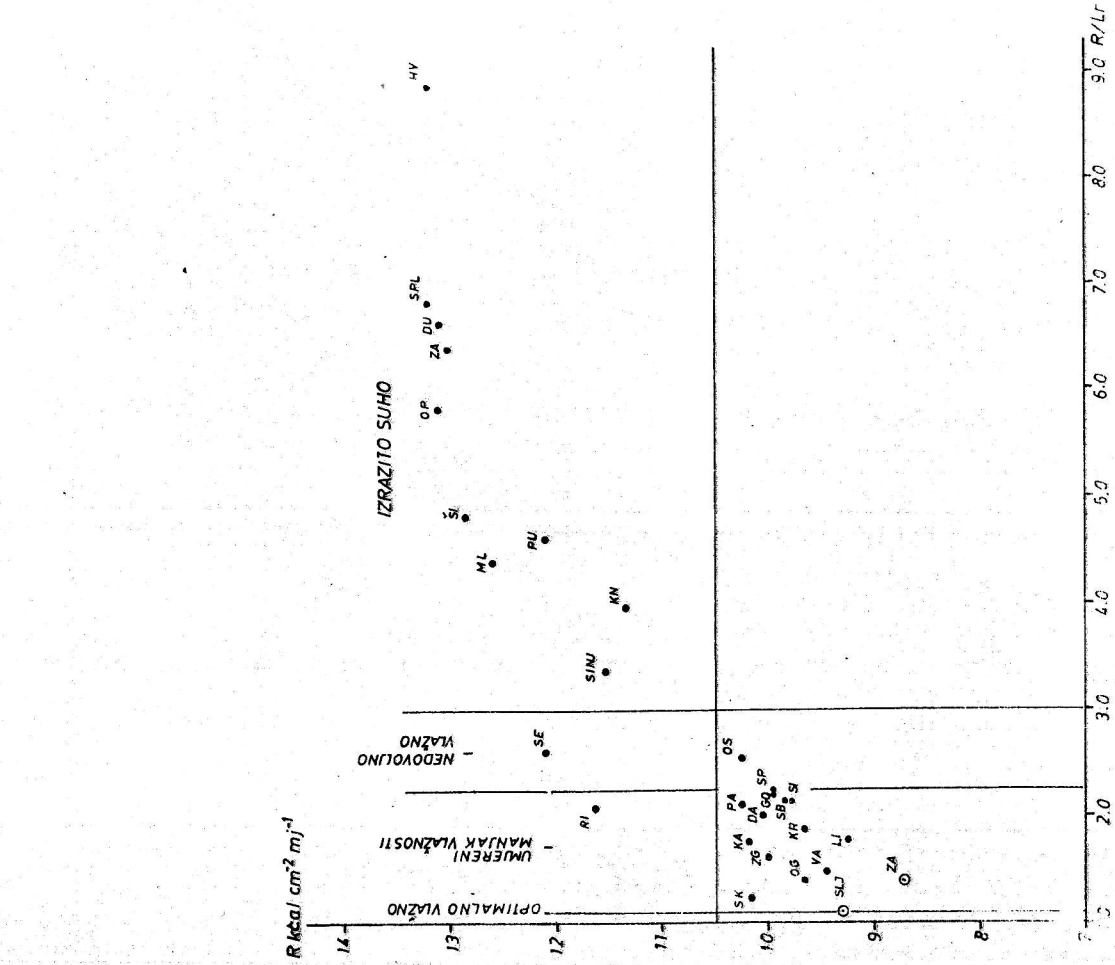
SL. 4.1 - SHEMA GLAVNIH GEOBOTANIČKIH PODRUČJA HRVATSKE (godina)



SL.4.2 - KLIMATSKO-GEOBOTANIČKA PODJELA HRVATSKE - godine



SL.4.3-SHEMA GLAVNIH GEOBOTANIČKIH PODRUČJA HRVATSKE ( srpanj)



SL.4.4-SHEMA GLAVNIH GEOBOTANIČKIH PODRUČJA HRVATSKE (siječanj)



Tab. 4.1- Radijacioni indeks suhoće,  $\frac{R}{Lr}$ 

M j e s t o	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God.
OSIJEK	-0.26	-0.03	0.90	1.32	2.01	1.73	2.55	2.41	1.77	0.92	0.01	-0.19	13.14
SLAVONSKI BROD	-0.26	-0.02	0.80	1.25	1.66	1.47	2.14	2.10	1.34	0.78	0.01	-0.15	11.12
SLAVONSKA POZEGA	-0.26	-0.03	0.82	1.32	1.74	1.58	2.24	1.96	1.51	0.75	0.02	-0.16	11.49
LIPIK	-0.23	-0.02	0.68	0.96	1.29	1.24	1.77	1.61	1.30	0.59	0.02	-0.15	9.06
DARUVAR	-0.14	-0.00	0.81	1.02	1.49	1.37	2.02	1.64	1.48	0.65	0.04	-0.15	10.23
KRIŽEVCI	-0.28	-0.17	0.81	1.19	1.44	1.50	1.87	1.62	1.15	0.70	0.01	-0.19	9.65
VARAŽDIN	-0.26	-0.09	0.80	1.04	1.29	1.38	1.48	1.37	1.06	0.59	0.02	-0.17	8.51
SLJEME	-0.18	-0.05	0.38	0.63	0.95	0.88	1.12	1.02	0.73	0.42	0.01	-0.12	5.79
ZAGREB-MAKSIMIR	-0.25	-0.03	0.72	1.15	1.47	1.44	1.87	1.61	1.01	0.67	0.01	-0.17	9.50
ZAGREB-GRIČ	-0.22	-0.00	0.78	1.16	1.52	1.45	1.82	1.62	1.08	0.68	0.03	-0.15	9.77
SISAK	-0.22	-0.01	0.75	1.07	1.42	1.49	2.18	1.55	1.11	0.56	0.01	-0.16	9.75
KARLOVAC	-0.13	-0.00	0.52	0.87	1.29	1.51	1.75	1.45	0.92	0.43	0.03	-0.10	8.54
SKRAD	-0.11	-0.01	0.35	0.51	0.83	1.12	1.24	0.96	0.49	0.23	0.01	-0.07	5.55
OGULIN	-0.11	-0.00	0.31	0.56	0.90	1.25	1.40	1.11	0.65	0.26	0.01	-0.05	6.29
GOSPIĆ	-0.10	-0.03	0.38	0.72	1.14	1.54	2.22	1.50	0.75	0.27	0.02	-0.06	8.35
ZAVIŽAN	-0.10	-0.04	0.16	0.35	0.74	0.96	1.42	0.95	0.55	0.21	0.01	-0.06	5.15
PAZIN	-0.09	0.08	0.66	1.01	1.53	1.73	2.13	1.69	0.74	0.44	0.05	-0.06	9.91
PULA	0.08	0.34	1.10	1.47	2.81	3.36	4.61	2.57	1.27	0.74	0.14	0.03	18.52
RIJEKA	0.06	0.19	0.66	0.81	1.49	1.84	2.10	1.92	0.60	0.39	0.09	0.03	10.18
SENJ	0.07	0.24	0.71	1.02	1.56	2.21	2.66	1.68	0.93	0.46	0.11	0.04	11.69
ZADAR	0.12	0.41	1.23	1.96	3.11	3.83	6.40	3.34	1.30	0.59	0.17	0.07	22.53
SIBENIK	0.11	0.35	0.90	1.46	2.54	2.62	4.81	3.33	1.19	0.62	0.16	0.07	18.16
KNIN	-0.11	0.06	0.66	1.04	1.61	1.82	3.97	2.33	1.23	0.51	0.07	-0.05	13.14
SINJ	-0.10	0.04	0.56	0.92	1.78	1.73	3.37	2.48	1.18	0.51	0.05	-0.05	12.47
SPLIT	0.15	0.42	1.11	1.57	2.87	3.17	6.82	5.04	1.94	0.94	0.19	0.08	24.30
OPUZEN	0.07	0.21	0.71	1.16	2.83	3.17	5.81	4.02	1.14	0.50	0.11	0.04	19.77
DUBROVNIK	0.11	0.23	0.67	1.10	2.49	2.92	6.61	3.23	1.18	0.55	0.15	0.09	19.33
MALI LOSINJ	0.08	0.32	0.96	1.82	2.76	3.94	4.39	2.87	1.03	0.69	0.15	0.06	19.07
HVAR	0.18	0.44	1.26	2.00	4.51	5.37	8.83	6.38	2.03	1.10	0.24	0.14	32.48

## 5. LOKALNI POTENCIJAL RAZVOJA KONVEKTIVNE NAOBLAKE

Nadežda Šinik

### 5.1 Uvod

"Energija i vodni režim površinskih slojeva uvelike određuju uvjete za razvoj lokalne naoblake" (*Konstantinov i dr, 1971*). Počevši od te pretpostavke, u Sovjetskom Savezu obavljeno je niz ispitivanja povezanosti razvoja konvektivne naoblake s energetsom ravnotežom u prizemnom sloju atmosfera - tlo. Pronađena je npr. ovisnost razine kondenzacije o Richardson-ovom broju  $R_i$  u sloju od 500 m i parametru  $LE/R$  (omjeru latentne topline kondenzacije i neto fluksu radijacije). Smanjenjem  $R$  i porastom  $LE/R$  ta se razina smanjuje. U Ukrajini i Moldaviji specijalno su ispitane komponente toplinske ravnoteže u uslovima sa i bez konvektivne naoblake (*Sakali, 1970*) i ustanovljeno je, da se višegodišnje srednje vrijednosti  $R$  ne razlikuju mnogo u oba slučaja. Međutim, uz konvektivnu naoblaku osjetno raste količina topline isparavanja  $LE$ . Količina topline turbulentnog miješanja  $P$  također je u prosjeku iznad vrijednosti  $P$  pri vedrom nebu, međutim, kod "moćnih i konvektivno kišnih oblaka veličine  $P$  smanjivale su se na 17-19 cal cm<sup>-2</sup> sat<sup>-1</sup>" (*Sakali, 1970*).

Studije konvektivne naoblake, odnosno olujnih oblaka s klimatološkog stanovišta, provode se u drugim zemljama uglavnom pomoću statističkih analiza. Tako je npr. pokazano (*Cehak, 1975*), da se vjerojatnost pojave olujnih oblaka u raznim područjima Austrije može aproksimirati negativnom binomnom razdiobom, ako se razmatra godišnji broj dana s grmljavinama ili sezonski brojevi dana, osim zime, kada treba koristiti Poisson-ovu razdiobu. U drugim slučajevima razmatraju se prostorne razdiobe konvektivne naoblake (*Sharon, 1974*) pomoću korelacija oborinskih podataka međusobno različito udaljenih mjesta.

U Republičkom hidrometeorološkom zavodu SR Hrvatske izradjena je statistika raznih vrsti naoblake, dakle i konvektivne, na području Like za potrebe stimulacije oborine (*Stimulacija oborine ..., 1969*), a ujedno su u okviru borbe protiv tuče ispitivane mogućnosti prognoze nestabilnosti (vidi npr. (*Lončar, 1969*)).

U ovom radu izradjena je statistika konvektivne naoblake za 10 odabranih stanica u Hrvatskoj. Rezultati statističke analize povezani su s komponentama energetske ravnoteže u prizemnom sloju zraka i izvedene su empirijske relacije, koje definiraju lokalni potencijal nestabilnosti, odnosno razvoja konvektivne naoblake svakog od razmatranih mjesta.



## 5.2 Statistička analiza

Statistika konvektivne naoblake izradjena je na osnovu podataka motrenja iz razdoblja 1949-73 za slijedeće meteorološke stanice:

1. OSIJEK	( $\varphi=45^{\circ}33'N$ , $\lambda=18^{\circ}41'E$ , H= 90 m)
2. SLAVONSKI BROD	( $\varphi=45^{\circ}09'N$ , $\lambda=18^{\circ}01'E$ , H= 95 m)
3. VARAŽDIN	( $\varphi=46^{\circ}18'N$ , $\lambda=16^{\circ}21'E$ , H=169 m)
4. ZAGREB*	( $\varphi=45^{\circ}49'N$ , $\lambda=16^{\circ}01'E$ , H=120 m)
5. SISAK	( $\varphi=45^{\circ}30'N$ , $\lambda=16^{\circ}22'E$ , H= 98 m)
6. KARLOVAC	( $\varphi=45^{\circ}30'N$ , $\lambda=15^{\circ}33'E$ , H=112 m)
7. GOSPIĆ	( $\varphi=44^{\circ}32'N$ , $\lambda=15^{\circ}23'E$ , H=566 m)
8. PAZIN	( $\varphi=45^{\circ}14'N$ , $\lambda=13^{\circ}56'E$ , H=291 m)
9. RIJEKA	( $\varphi=45^{\circ}20'N$ , $\lambda=14^{\circ}27'E$ , H=104 m)
10. HVAR	( $\varphi=43^{\circ}10'N$ , $\lambda=16^{\circ}27'E$ , H= 20 m)

Na osnovu postojećih termina motrenja, čiji se broj tijekom razdoblja mijenjao, određivan je po mjesecima i godinama broj dana sa slijedećim oblacima vertikalnog razvoja: kumululus + kumululus mediokris (Cu+Cu med), kumululus kongestus (Cu con) i kumululonimbus (Cb). Kao dan s određenom vrstom oblaka definiran je dan, kada je oblak zabilježen barem jedanput dnevno. Ako su u danu zabilježene dvije grupe oblaka, što je dosta čest slučaj u toplijem dijelu godine, događa se, da je mjesečni zbroj slučajeva pojave Cu, Cu med i Cu con oblaka veći od broja dana u mjesecu. U takvom slučaju je naknadno smanjen broj oblaka grupe Cu+Cu med za iznos potreban, da mjesečna suma broja dana s pojavom konvektivne naoblake tipa Cu, Cu med i Cu con bude najviše jednaka broju dana u tom mjesecu.

Ta je statistika prikazana u tabelama 5.1 do 5.10.

---

\* Mjesto Zagreb ima obradjene podatke o konvektivnoj naoblaci za kraći niz tj. 1960-73. Razlog je u tome što su za analizu naoblake uzeti podaci stanice u Maksimiru zbog otvorenosti na cijelom horizontu, a ta stanica ima dobra motrenja upravo u tom razdoblju.

Tab. 5.1 - Srednji broj dana s pojavom oblaka - Osijek (1949-1973)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God.
1) Cu+Cu med	1.7	2.4	5.0	6.7	10.0	9.7	9.0	8.0	7.2	4.8	2.3	1.2	68.00
2) Cu con	-	1.0	3.2	6.6	10.1	14.0	13.4	9.2	5.7	2.8	0.8	0.3	67.10
Cb	-	0.1	0.2	1.2	2.9	5.0	4.3	3.3	1.1	0.2	0.1	-	18.40
1) + 2)	1.7	3.4	8.2	13.3	20.1	23.7	22.4	17.2	12.9	7.6	3.1	1.6	135.10
P kcal cm <sup>-2</sup> mj <sup>-1</sup>	-0.40	-0.20	0.20	0.80	1.40	1.45	1.70	1.30	0.90	0.40	-0.10	-0.30	7.15
LE kcal cm <sup>-2</sup> mj <sup>-1</sup>	0.10	0.49	1.85	3.61	6.13	3.60	6.54	3.48	2.23	1.45	0.66	0.10	30.24
P + LE	-0.30	0.29	2.05	4.41	7.53	5.05	8.24	4.78	3.13	1.85	0.56	-0.20	37.39
R kcal cm <sup>-2</sup> mj <sup>-1</sup>	-0.75	-0.09	2.20	4.74	7.28	8.64	10.26	8.39	5.09	2.35	0.05	-0.73	47.42

Tab. 5.2 - Srednji broj dana s pojavom oblaka - Sl.Brod (1949-1973)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God.
1) Cu+Cu med	1.0	2.4	5.8	9.8	10.8	12.8	11.8	11.2	8.4	4.2	1.7	0.9	80.00
2) Cu con	0.2	0.4	1.0	3.2	5.5	7.2	6.5	4.7	3.2	0.5	0.3	-	32.70
Cb	-	0.1	0.1	1.1	2.9	4.8	4.8	3.6	0.9	0.2	0.1	-	18.60
1) + 2)	1.2	2.8	6.8	13.0	16.3	20.0	18.3	15.9	11.6	4.7	2.0	0.9	113.50
P kcal cm <sup>-2</sup> mj <sup>-1</sup>	-0.30	-0.25	0.20	0.55	1.10	1.20	1.45	1.10	0.85	0.30	-0.20	-0.30	5.70
LE kcal cm <sup>-2</sup> mj <sup>-1</sup>	0.19	0.58	1.75	3.64	5.65	5.62	5.69	3.72	2.77	1.14	0.68	0.19	31.62
P + LE	-0.11	0.33	1.95	4.19	6.75	6.82	7.14	4.82	3.62	1.44	0.48	-0.11	37.32
R kcal cm <sup>-2</sup> mj <sup>-1</sup>	-0.74	-0.06	2.11	4.52	6.88	8.04	9.78	8.05	4.82	2.21	0.05	-0.65	45.01

Tab. 5.3 - Srednji broj dana s pojavom oblaka - Varaždin (1949-1973)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God.
1) Cu+Cu med	1.5	4.7	7.9	12.4	13.8	11.9	14.0	14.0	11.6	7.7	4.7	1.9	106.10
2) Cu con	0.1	0.8	2.4	5.2	8.9	11.2	9.8	7.1	5.6	2.6	1.2	0.2	55.10
Cb	-	0.04	0.3	1.4	3.2	5.5	4.9	3.3	0.8	0.2	0.1	-	19.70
1) + 2)	1.6	5.5	10.3	17.6	22.7	23.1	23.8	21.1	17.2	10.3	5.9	2.1	161.20
P kcal cm <sup>-2</sup> mj <sup>-1</sup>	-0.65	-0.10	-0.10	0.45	0.95	0.90	1.40	1.05	0.75	0.10	-0.45	-0.60	3.70
LE kcal cm <sup>-2</sup> mj <sup>-1</sup>	0.49	1.17	2.03	3.80	5.51	5.75	8.38	4.00	3.15	2.26	1.17	0.49	38.20
P + LE	-0.16	1.07	1.93	4.25	6.46	6.65	9.78	5.05	3.90	2.36	0.72	-0.11	41.90
R kcal cm <sup>-2</sup> mj <sup>-1</sup>	-0.71	-0.24	2.18	4.46	6.95	7.70	9.44	7.68	4.75	2.21	0.12	-0.61	43.93

Tab. 5.4 - Srednji broj dana s pojavom oblaka - Zagreb-Maksimir (1960-1973)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God.
1) Cu+Cu med	1.9	5.8	12.4	16.4	19.1	14.9	18.4	18.6	16.2	11.9	4.3	1.8	141.70
2) Cu con	-	0.9	2.3	5.7	9.5	14.0	11.2	8.3	5.4	2.0	0.4	0.1	59.80
Cb	-	0.1	0.4	0.9	3.2	6.0	5.2	4.6	1.8	0.5	0.3	0.2	23.20
1) + 2)	1.9	6.7	14.7	22.1	28.6	28.9	29.6	26.9	21.6	13.9	4.7	1.9	201.50
P kcal cm <sup>-2</sup> mj <sup>-1</sup>	-0.40	-0.30	0.20	0.75	1.40	1.40	1.65	1.30	1.05	0.30	-0.20	-0.45	6.70
LE kcal cm <sup>-2</sup> mj <sup>-1</sup>	0.19	0.58	1.66	3.65	5.40	5.87	7.90	4.54	2.45	1.85	0.68	0.29	35.06
P + LE	-0.21	0.28	1.86	4.40	6.80	7.27	9.55	5.84	3.50	2.15	0.48	-0.16	41.76
R kcal cm <sup>-2</sup> mj <sup>-1</sup>	-0.76	-0.08	2.05	4.56	7.29	8.37	9.78	7.88	4.83	2.16	0.06	-0.68	45.46

Tab. 5.5 - Srednji broj dana s pojavom oblaka - Sisak (1949-1973)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God.
1) Cu+Cu med	5.0	6.8	12.8	16.1	17.7	17.5	18.6	17.8	15.6	12.2	8.0	5.1	153.20
2) Cu con	0.1	0.3	1.2	2.8	5.9	7.6	6.3	4.1	2.5	0.9	0.4	0.2	32.30
Cb	0.04	0.2	0.5	1.4	4.0	6.3	6.0	5.5	2.2	0.7	0.6	0.1	27.50
1) + 2)	5.1	7.1	14.0	18.9	23.6	25.1	24.9	21.9	18.1	13.1	8.4	5.3	185.50
P kcal cm <sup>-2</sup> mj <sup>-1</sup>	-0.45	-0.40	0.15	0.55	1.30	1.35	1.75	1.40	1.00	0.40	-0.25	-0.35	6.45
LE kcal cm <sup>-2</sup> mj <sup>-1</sup>	0.29	0.78	1.75	3.57	5.35	7.20	6.04	4.19	2.24	1.95	0.68	0.19	34.23
P + LE	-0.24	0.38	1.90	4.12	6.65	8.55	7.79	5.59	3.24	2.35	-0.43	-0.16	40.68
R kcal cm <sup>-2</sup> mj <sup>-1</sup>	-0.69	-0.02	2.14	4.69	6.98	8.19	9.86	7.90	4.75	1.98	0.07	-0.67	45.18

Tab. 5.6 - Srednji broj dana s pojavom oblaka - Karlovac (1949-1973)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God.
1) Cu+Cu med	1.2	2.6	5.8	12.2	16.2	17.2	17.6	15.1	13.4	6.6	3.0	1.2	112.10
2) Cu con	-	-	0.1	0.7	2.5	3.6	2.4	2.0	0.5	0.1	-	-	11.90
Cb	0.1	0.2	0.4	1.1	3.5	5.5	4.9	4.0	1.8	0.6	0.6	0.4	23.10
1) + 2)	1.2	2.6	5.9	12.9	18.7	20.8	20.0	17.1	13.9	6.7	3.0	1.2	124.00
P kcal cm <sup>-2</sup> mj <sup>-1</sup>	-0.6	-0.5	-0.2	0.35	0.85	0.80	1.10	0.80	0.75	-0.20	-0.50	-0.60	1.25
LE kcal cm <sup>-2</sup> mj <sup>-1</sup>	0.58	0.88	2.24	4.28	5.98	7.89	6.65	4.97	2.86	2.43	1.17	0.58	40.41
P + LE	-0.02	0.38	2.04	4.63	6.83	8.69	7.75	5.77	3.61	2.23	0.67	-0.02	41.66
R kcal cm <sup>-2</sup> mj <sup>-1</sup>	-0.63	0.02	2.33	4.86	7.36	8.61	10.18	8.06	4.75	2.17	0.23	-0.57	47.49

Tab. 5.7 - Srednji broj dana s pojavom oblaka - Gospić (1949-1973)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	XI	X	XI	XII	God.
1) Cu+Cu med	3.2	5.1	8.7	15.2	18.7	19.4	20.3	19.5	15.8	10.8	8.2	3.5	148.40
2) Cu con	0.1	0.2	1.0	2.5	5.8	8.2	8.6	5.5	3.4	1.1	0.6	0.1	37.10
Cb	1.3	1.2	1.4	2.2	4.0	5.2	5.4	4.7	3.7	2.6	3.7	2.0	37.40
1) + 2)	3.3	5.3	9.7	17.7	24.5	27.6	28.9	25.0	19.2	11.9	8.8	3.6	185.50
P kcal cm <sup>-2</sup> mj <sup>-1</sup>	-0.35	-0.15	0.35	0.90	1.50	1.65	1.95	1.40	1.05	0.40	-0.20	-0.30	8.20
LE kcal cm <sup>-2</sup> mj <sup>-1</sup>	0.17	0.49	1.66	3.31	5.26	6.82	5.96	4.23	4.19	1.85	0.68	0.19	34.81
P + LE	-0.18	0.34	2.01	4.21	6.76	8.47	7.91	5.63	5.24	2.25	0.48	-0.11	43.01
R kcal cm <sup>-2</sup> mj <sup>-1</sup>	-0.68	-0.02	2.13	4.46	6.77	8.02	9.88	8.03	4.81	2.13	0.18	-0.62	45.09

Tab. 5.8 - Srednji broj dana s pojavom oblaka - Pazin (1949-1973)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God.
1) Cu+Cu med	3.9	6.6	11.6	14.3	16.0	13.0	16.0	16.1	15.4	11.0	8.2	4.6	136.70
2) Cu con	0.2	0.5	1.8	6.3	10.8	15.6	13.9	11.5	7.2	2.8	1.6	0.4	72.60
Cb	0.3	0.4	0.8	1.5	3.8	6.4	7.0	5.0	3.9	4.4	1.3	0.3	35.10
1) + 2)	4.1	7.1	13.4	20.6	26.8	28.6	29.9	27.6	22.6	13.8	9.8	5.0	209.30
P kcal cm <sup>-2</sup> mj <sup>-1</sup>	-0.55	-0.25	0.40	1.15	1.80	1.80	1.90	1.45	1.00	0.45	-0.15	-0.40	8.60
LE kcal cm <sup>-2</sup> mj <sup>-1</sup>	0.52	0.88	2.14	3.89	5.51	7.59	6.01	4.07	4.58	2.43	0.88	0.58	39.08
P + LE	-0.05	0.63	2.54	5.04	7.31	9.39	7.91	5.52	5.58	2.88	0.73	0.18	47.68
R kcal cm <sup>-2</sup> mj <sup>-1</sup>	-0.46	0.43	2.76	5.10	7.39	8.80	10.24	8.14	5.07	2.62	0.44	-0.30	50.23

Tab. 5.9 - Srednji broj dana s pojavom oblaka - Rijeka (1949-1973)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God.
1) Cu+Cu med	5.4	5.1	8.8	10.8	12.7	12.2	12.8	12.8	11.3	7.2	6.0	4.3	109.40
2) Cu con	1.1	1.9	3.6	8.4	11.6	14.6	15.6	12.1	8.0	5.1	3.8	1.8	87.60
Cb	0.7	1.0	1.1	2.6	4.3	6.7	7.9	6.6	5.0	2.9	2.8	1.5	43.10
1) + 2)	6.5	7.0	12.4	19.2	24.3	26.8	28.4	24.9	19.3	12.3	9.8	6.1	197.00
P kcal cm <sup>-2</sup> mj <sup>-1</sup>	-0.75	-0.40	0.30	0.60	1.25	1.05	0.95	0.65	0.10	-0.25	-0.60	-0.85	2.05
LE kcal cm <sup>-2</sup> mj <sup>-1</sup>	1.48	1.85	3.31	4.87	7.40	6.33	6.08	4.81	6.13	3.60	1.85	1.36	49.07
P + LE	0.73	1.45	3.61	5.47	8.75	7.38	7.03	5.46	6.23	3.35	1.25	0.51	51.12
R kcal cm <sup>-2</sup> mj <sup>-1</sup>	0.43	1.30	3.67	5.55	8.33	9.65	11.64	9.68	6.19	3.32	0.96	0.28	61.00

Tab. 5.10 - Srednji broj dana s pojavom oblaka - Hvar (1949-1973)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God.
1) Cu+Cu med	15.3	13.3	14.6	14.6	15.1	14.9	13.4	12.0	13.4	14.8	15.3	15.4	172.10
2) Cu con	4.7	4.5	5.2	6.6	6.8	7.4	4.8	5.3	5.1	5.3	8.4	6.2	70.30
Cb	2.2	2.3	1.3	2.3	2.3	3.8	4.2	3.3	3.6	3.6	4.3	3.8	37.00
1) + 2)	20.0	17.8	19.8	21.2	21.9	22.3	18.2	17.3	18.5	20.1	23.7	21.6	242.40
P kcal cm <sup>-2</sup> mj <sup>-1</sup>	-0.80	-0.30	0.50	1.15	1.70	1.70	1.50	0.95	0.40	-0.20	-0.60	-0.95	5.05
LE kcal cm <sup>-2</sup> mj <sup>-1</sup>	1.75	2.14	3.60	5.55	4.82	2.81	1.98	1.46	2.05	1.66	2.34	1.66	31.82
P + LE	0.95	1.84	4.10	6.70	6.52	4.51	3.48	2.41	2.45	1.46	1.74	0.71	36.87
R kcal cm <sup>-2</sup> mj <sup>-1</sup>	0.86	1.75	4.54	6.62	9.60	11.45	13.18	11.27	7.30	4.20	1.49	0.75	73.01

U rubriku "Cu+Cu med" spadaju sve vrste kumulusa, od najslabije razvijenih do uključivši i Cu mediokris. Pritom u 1 dan u ovoj rubrici ubraja se slučaj, kada je zabilježen barem jedan od tih oblaka (isto kao da su u jednom danu zabilježene i sve vrste tih oblaka).

U tabelama su dodane i srednje vrijednosti (za promatranje razdoblje) neto fluksa radijacije  $R$ , turbulentne razmjene topline  $P$  i topline isparavanja i kondenzacije  $LE$ .

Ove vrijednosti uzete su iz tabela 2.5 i 2.6, osim komponente  $P$ . Naime, u tabeli 2.7 je  $P$  određen iz jednadžbe:

$$P = R - LE - B \quad (5-1)$$

a ovdje je zbog ocjene upliva temperature stratifikacije u prizemnom sloju atmosfere na stupanj stabilnosti tog sloja računat gradijentnom metodom tj.

$$P = \bar{\rho} c_p D (T_w - T) \quad (5-2)$$

( $\bar{\rho} = 1,23 \cdot 10^{-3} \text{ gcm}^{-3}$ ,  $c_p = 0,24 \text{ cal g}^{-1} \text{ st}^{-1}$ ,  $D = 0,65 \text{ cms}^{-1}$ ,  $T_w$  je temperatura "aktivnog sloja tla",  $\cdot K$ )\*

Svaka tabela ilustrira određeni režim konvektivne naoblake vezan uz pojedini lokalitet. To se posebno odnosi na oblake Cu, Cu med i Cu con, dok bi čestine Cb trebale biti više povezane s čestinama prolaza frontalnih poremećenja nego s fizikalno-energetskim osobinama danog lokaliteta. Ova činjenica, nažalost, nije uvijek evidentna, jer u dosta slučajeva motritelji ne razlikuju Cu con i Cb, pa su u studiji lokalnog utjecaja na razvoj konvektivne naoblake kumulonimbusi izuzeti iz daljnjeg razmatranja.

Radi orijentacione usporedbe, dodajemo tabelu sumarnih godišnjih vrijednosti.

Tab. 5.11 - Godišnje sume srednjeg broja dana s oblacima vertikalnog razvoja (1949-1973)

Stanica	Vrste oblaka		1+2
	(1) Cu+Cu med (dani)	(2) Cu con (dani)	
Osijek	68.0	67.1	135.1
Slavonski Brod	80.8	32.7	113.5
Varaždin	106.1	55.1	161.2
Zagreb	141.7	59.8	201.5
Sisak	153.2	32.3	185.5
Karlovac	112.1	11.9	124.0
Gospić	148.4	37.1	185.5
Pazin	136.7	72.6	231.9
Rijeka	109.4	87.6	197.0
Hvar	172.1	70.3	242.4

\* Vrijednosti  $P$ , izračunate gradijentnom metodom pomoću formule (5-2) i prikazane u tab. 5.1 do 5.10, razlikuju se od odgovarajućih veličina u tab. 2.7. To ukazuje na nesigurnost metoda, zbog čega vrijednosti  $P$  treba uzimati s rezervom.

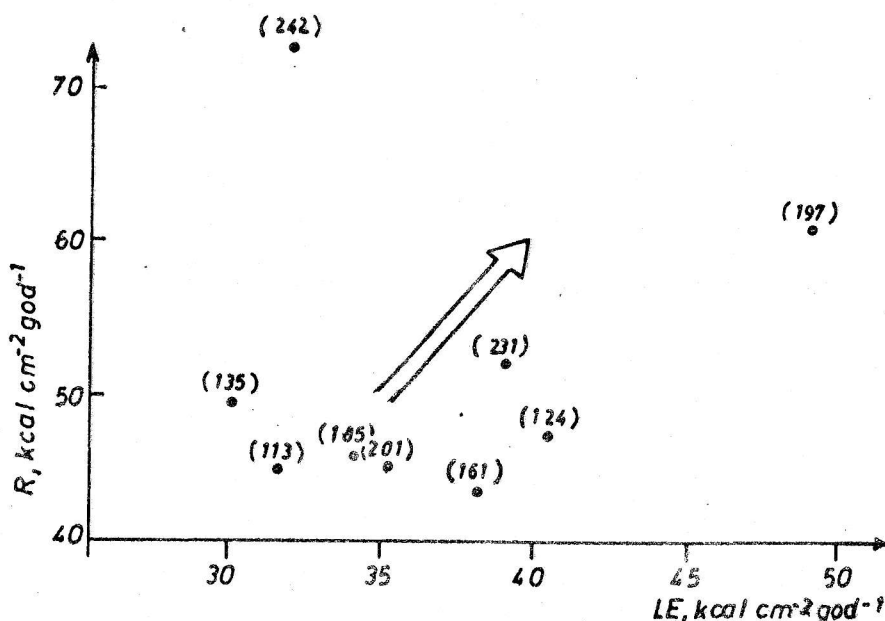
Razlike u numeričkim pokazateljima gornje tabele vrlo je teško objasniti. Dosta veliki udio u tim razlikama čine greške i subjektivnost u motrenju naoblake, razlike u broju termina motrenja između pojedinih stanica, kao i razlike u radu jedne te iste stanice. Taj smo udio odnosno nehomogenost nizova nastojali smanjiti prilikom osnovne analize podataka, ali ga ipak treba imati na umu kod daljnjih studija konvektivne naoblake.

Naša daljnja razmatranja nisu išla smjerom izrade statističkih razdioba, nego ispitivanjem utjecaja pojedinog lokaliteta na razvoj konvektivne naoblake unutar zračne mase. Osnovni faktori, koji tu djeluju biti će konfiguracija terena i karakteristike ravnotežnog energetskog stanja u prizemnom sloju atmosfera - tlo. Konfiguraciju terena, kao stalan i nepromijenjen faktor, izuzeli smo iz daljnjeg razmatranja i ograničili se na istraživanje utjecaja pojedinih komponenata energetske ravnoteže na razvoj konvektivne naoblake.

*Konvektivna naoblaka u Hrvatskoj i ravnoteža energija prizemnog sloja atmosfere*

U ovom istraživanju najprije se pošlo od metoda koje su upotrebljene u Ukrajini (Sakali, 1970), dakle od traženja ovisnosti razvoja Cu-oblaka o neto fluksu radijacije  $R$  i toplini isparavanja  $LE$ .

Takva ovisnost kod nas samo se nazire na sl. 5.1 u smislu, koji pokazuje strelica, što je ukazalo na potrebu detaljnijeg proučavanja.



SL. 5.1 - OVISNOST GODIŠNJEG BROJA DANA S KONVEKTIVNOM NAOBLAKOM (Cu + Cu med + Cu con) U SR HRVATSKOJ O RADIJACIONOJ BILANCI „R“ I TOPLINI ISPARAVANJA „LE“ (1949-73)



Neto fluks radijacije  $R$  predstavlja ukupnu resultantnu količinu energije u nekom kraju. Sasvim je sigurno, da će on djelovati na sve procese u atmosferi, ali različitim intenzitetom. To nas je navelo, da ispitamo utjecaj pojedinih komponenata, koje drže ravnotežu neto fluksu radijacije na razvoj konvektivne naoblake. Po svojoj prirodi to je turbulentna razmjena topline  $P$ , odnosno onaj dio od  $R$ , koji se turbulentnim procesima prenosi u atmosferu. Veličina  $P$  predstavlja klimatski potencijal nestabilnosti. Medjutim, za razvoj oblaka u zraku mora biti dovoljno vlage, što ukazuje na važnost komponente  $LE$  odnosno onog dijela  $R$ , koji je sadržan u procesima isparavanja i kondenzacije.

Prema tome, tretirajući  $P$  i  $LE$  kao bitne komponente energetske ravnoteže, koje djeluju na razvoj konvektivne naoblake, ispitana je u daljnjem radu njihova povezanost s oblacima  $Cu+Cu\ med$  i  $Cu\ con$ . Posebno su razmatrani oblaci  $Cu\ con$ ,  $Cu+Cu\ med$  i sve tri ispitivane vrste oblaka vertikalnog razvoja zajedno, dakle  $Cu+Cu\ med+Cu\ con$ .

Grafikoni (sl. 5.2, 5.3 i 5.4) ilustriraju navedeno istraživanje.

Turbulentna razmjena topline  $P$  pokazuje izvjestan utjecaj na ukupnu konvektivnu naoblaku ( $Cu+Cu\ med+Cu\ con$ ), čija godišnja čestina pokazuje trend porasta uz porast  $P$ . U skladu s istraživanjima u Ukrajini i u našim krajevima komponenta  $P$  donekle se smanjuje uz porast čestine najrazvijenijih konvektivnih oblaka  $Cu\ con$ .

Nasuprot veličini  $P$ , toplina isparavanja  $LE$  ne pokazuje direktan upliv na čestinu ukupne konvektivne naoblake, ali zato uz porast  $LE$  raste i čestina  $Cu\ con$ .

Oдавде bi se općenito moglo zaključiti, da turbulentna razmjena topline djeluje doista kao početni stimulans nestabilnosti odnosno razvoja kumulusnih oblaka. U daljnjem stadiju, kada je određen stupanj nestabilnosti već postignut, potrebna je preraspodjela toplinske energije od  $P$  prema  $LE$ , što dovodi u atmosferu ogromne količine vlage, potrebne za razvoj oblaka  $Cu\ con$ .

U logičnom slijedu ispitivanje se nastavlja na zajednički utjecaj obje komponente, dakle,  $P+LE$  (sl. 5.4), na čestinu konvektivne naoblake. U ovom slučaju, ako se izuzme mjesto Hvar, povezanost je najočitija, i to u smislu porasta čestine razvoja konvektivnih oblaka uz porast parametara  $P+LE$ .

I u ovom slučaju rasap točaka na grafikonu je velik, što je opravdano zbog utjecaja lokalnog reljefa i tla svakog pojedinog mjesta, kao i spomenute nehomogenosti nizova podataka konvektivne naoblake. Odstupanje podataka Hvara od opće zavisnosti nije vezano samo uz njegove lokalne specifičnosti, nego i uz činjenicu, da upotrijebljena metoda određivanja energetske ravnoteže nad kopnom nije dovoljno precizna za mjesta na moru, pogotovo na otocima. Ovdje posebno treba istaknuti odraz etezijske suhoće u malim vrijednostima  $LE$  Hvara.

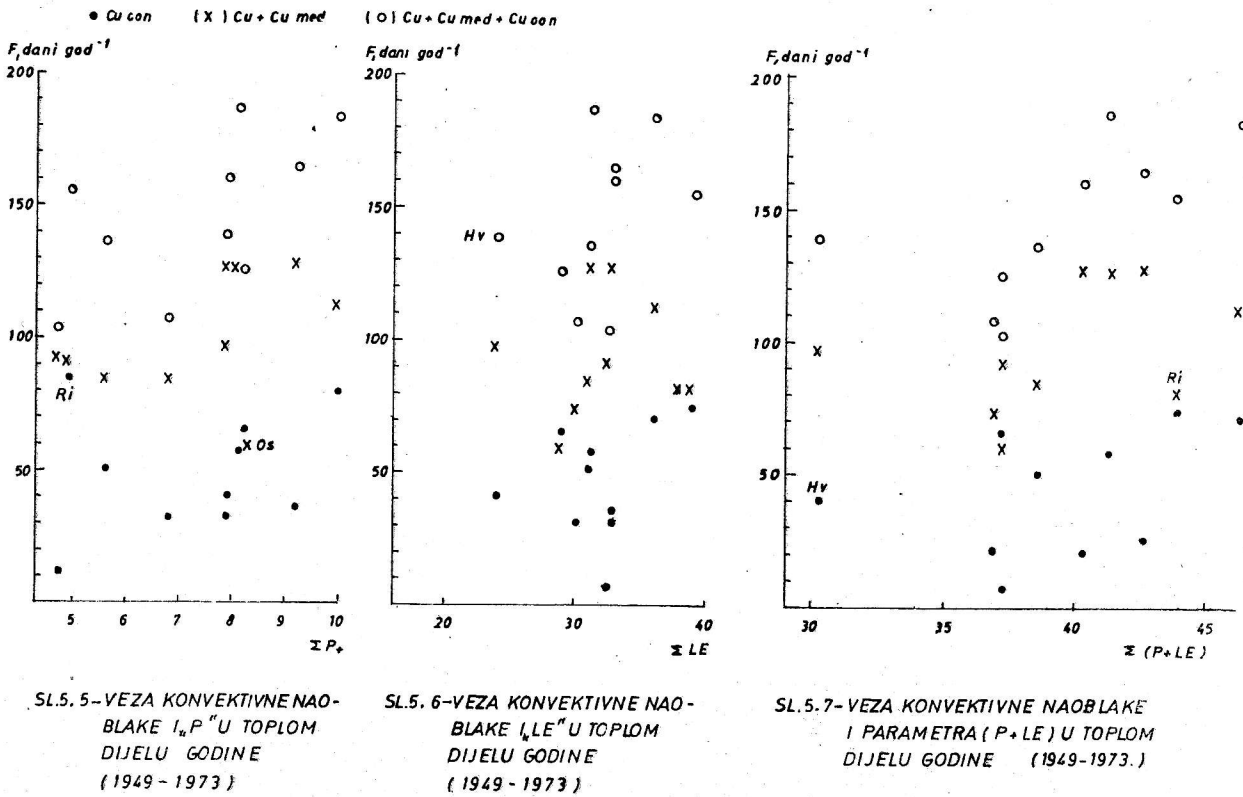
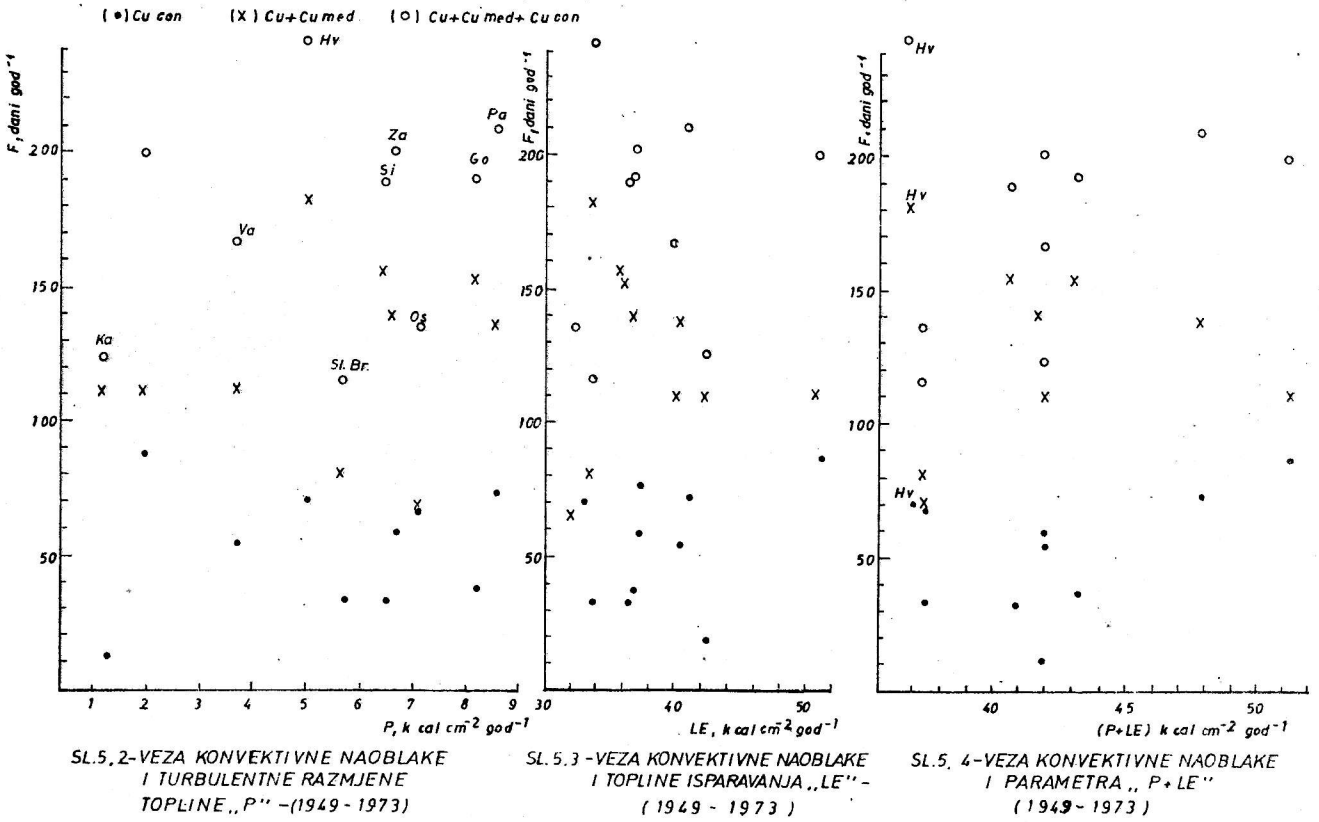
Razvoj konvektivne naoblake nekog lokaliteta biti će intenzivniji u vrijeme jačeg zagrijavanja (porast  $t_w$  °C), u toplijem dijelu godine, naročito nad kopnom. Zato je posebno ispitano, da li se godišnja veza zadržava ili mijenja u onom dijelu godine kada je  $t_w > t$  odnosno kada je  $P > 0$  ( $P_+$ ). Rezultati su ilustrirani u tabeli 5.12 i na slikama 5.5, 5.6 i 5.7.

Tab. 5.12 - Sume srednjeg broja dana s konvektivnom naoblakom i komponentata  $P$  i  $LE$  u toplijem dijelu godine ( $t_w > t$ ) - (1949-1973)

Stanica	Mjesec	$\Sigma P$	$\Sigma LE$	$\Sigma (P + LE)$	$\Sigma Cu\ con$	$\Sigma Cu + Cu\ med$	$\Sigma Cu + Cu\ med + Cu\ con$
OSIJEK	III-X	8.2	28.9	37.1	65.0	60.4	125.4
SL.BROD	III-X	6.8	30.0	36.8	31.8	74.8	106.6
VARAŽDIN	IV -X	5.6	32.9	38.5	50.4	85.4	135.8
ZAGREB	III-X	8.1	33.3	41.4	58.4	127.9	186.3
SISAK	III-X	7.9	32.8	40.2	31.3	128.3	159.6
KARLOVAC	IV -X	4.7	32.5	37.2	11.7	91.7	103.4
GOSPIĆ	III-X	9.2	33.3	42.5	36.1	128.4	164.5
PAZIN	III-X	10.0	36.2	46.2	69.9	113.4	183.3
RIJEKA	III-X	4.9	38.9	43.8	73.9	81.4	155.3
HVAR	III-X	7.9	22.3	30.2	41.2	98.0	139.2

U toplijem dijelu godine, definiranom u našem radu pozitivnim vrijednostima komponente  $P$ , ovisnost razvoja konvektivne naoblake o lokalnom potencijalu turbulentne topline miješanja i topline isparavanja još je izrazitija (izuzev mjesta Hvar).

**ZAKLJUČAK:** U međusobnoj usporedbi različitih krajeva, u kopnenom dijelu Hrvatske veću vjerojatnost za razvoj konvektivne naoblake imaju mjesta s većim klimatskim energetske potencijalom pojave turbulentnog miješanja zraka i isparavanja.



*Analitička razmatranja lokalnog potencijala konvektivne naoblake*

Rezultati do sada opisanih istraživanja sugeriraju nastavak studije za svaki pojedini od razmatranih lokaliteta. U tu svrhu ispitani su godišnji hodovi čestine ukupne konvektivne naoblake  $F(\text{Cu}) = F(\text{Cu} + \text{Cu med} + \text{Cu con})$  u vezi sa simultanim godišnjim hodovima  $P$ ,  $LE$  i  $P+LE$  iz tabela 5.1 do 5.10.

Završni stadij tog istraživanja prikazan je na slikama 5.8 do 5.17. Grafikoni su izradjeni pomoću srednjih mjesečnih vrijednosti i ilustriraju ovisnost čestine konvektivne naoblake o klimatsko-energetskom potencijalu prizemnog sloja atmosfera - tlo svakog pojedinog mjesta. Na slikama je posebno označena ovisnost  $F(\text{Cu})$  o  $P$ ,  $LE$  i o  $P+LE$ . Analitičke krivulje, najčešće pravci, koji aproksimiraju ovisnost  $F(\text{Cu}) = f(P)$ ,  $F(\text{Cu}) = f(LE)$  ucrtane su "od oka" crtkanom linijom. Funkcija  $F(\text{Cu}) = f(P+LE)$  izradjena je metodom najmanje sume kvadrata odstupanja i ucrtana je na grafikonu punom linijom. U slučaju da je samo jedna točka, odnosno podatak, jako odstupala od očigledne povezanosti, ona je stavljena u zagradu i nije uzeta u obzir kod određivanja aproksimativne krivulje.

Uz jednadžbe dodane su i vrijednosti koeficijenta korelacije radi ocjene povezanosti čestine konvektivne naoblake s energetskim komponentama  $P$  i  $LE$ .

Na svakoj krivulji označeno je, kojoj komponenti pripada, što je označeno i uz skale na apscisi. Dimenzije na apscisi uz jedan element vrijede i za druga dva. Dani na ordinati dobiveni su kao suma srednjih mjesečnih dana s oblacima  $\text{Cu} + \text{Cu med}$  i s oblacima  $\text{Cu con}$ . Ukoliko se prilikom osnovne obrade podataka pojavio oblak iz dvije grupe, vremenska jedinica "dan" pridružena je jednom i drugom oblaku.

*Diskusija grafikona*

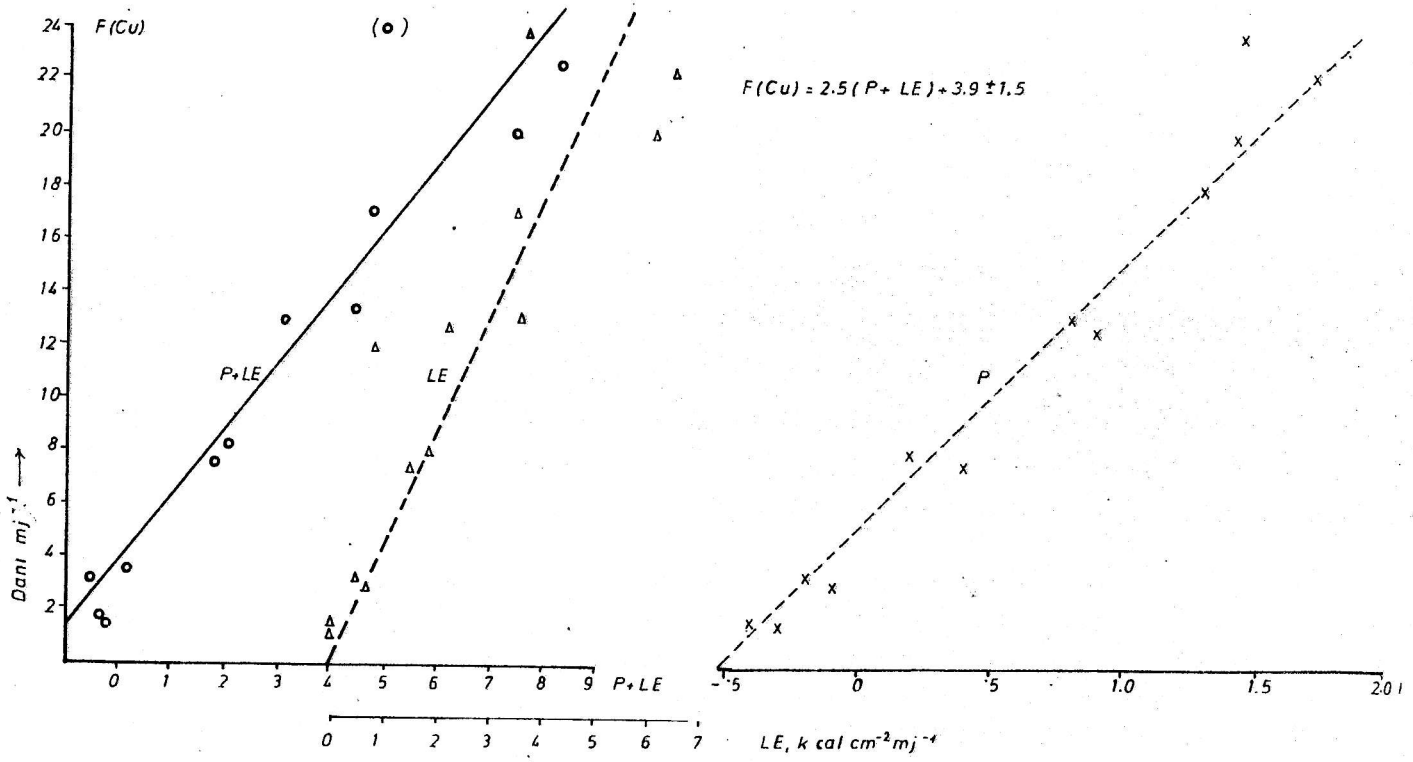
Pogodnost pojedinog lokaliteta za razvoj konvektivne naoblake u ovisnosti o lokalnom potencijalu energetske ravnoteže prizemnog sloja atmosfera - tlo može se za većinu razmatranih mjesta izraziti odgovarajućim jednadžbama, kako slijedi:

		$r_k$	
1. OSIJEK	$F(\text{Cu}) = 2.5(P+LE)+3.9\pm 1.5$	0.95	
2. SL. BROAD	$F(\text{Cu}) = 2.7(P+LE)+1.7\pm 0.7$	0.99	
3. VARAŽDIN	$F(\text{Cu}) = 3.6(P+LE)+2.5\pm 0.7$	0.95	
4. ZAGREB	$F(\text{Cu}) = 7.6(P+LE+0.5)^{0.65}\pm 1.2$	0.95	
5. SISAK	$F(\text{Cu}) = 6.3(P+LE+1.5)^{0.64}\pm 1.3$	0.97	
6. KARLOVAC	$F(\text{Cu}) = 4.8(P+LE)^{0.7}\pm 1.1$	0.99	(5-1)
7. GOSPIĆ	$F(\text{Cu}) = 3.4(P+LE)+4.9\pm 2.0$	0.99	
8. PAZIN	$F(\text{Cu}) = 3.6(P+LE)+5.5\pm 1.6$	0.97	
9. RIJEKA	ovisnost linearna uz veliki rasap točaka (svi pravci na sl. 5.16 izvučeni "od oka")	$r_k = 0.93$	
10. HVAR	korelacija veoma slaba	$r_k = 0.22$	

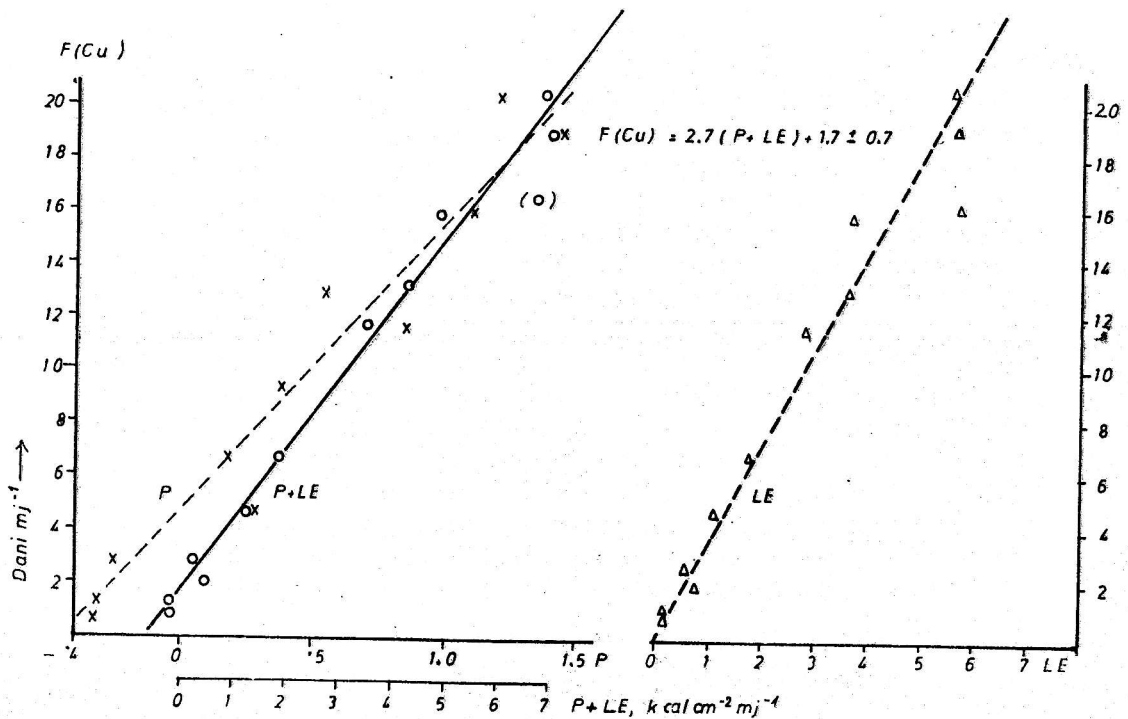
Vrijednosti s predznakom  $\pm$  označavaju standardnu devijaciju odstupanja pojedinih stvarnih čestina  $F(\text{Cu})$  od računski dobivenih pomoću (5-1).

Napomena: Činjenica, da kod Rijeke korelacija slabi, a da je kod Hvara zanemarivo mala, ne označava da čestina konvektivne naoblake ne ovisi o energetskej ravnoteži, nego ranije spomenutu činjenicu da metoda za određivanje  $P$  i  $LE$  ne zadovoljava u obalnom pojasu.

Gornje jednadžbe razmatranih lokaliteta spadaju u klimatogene jednadžbe s empiričkim koeficijentima. One pokazuju, da energetska ravnoteža prizemnog sloja atmosfera - tlo određuje stupanj nestabilnosti razmatranog lokaliteta i dirigira razvoj konvektivne naoblake. Pritom koeficijent uz  $P+LE$  pokazuje brzinu promjene čestine pojave konvektivne naoblake uz određeni porast ili pad veličine  $P+LE$ . Ti su koeficijenti kod razmatranih mjesta najveći u Zagrebu i Sisku, pogotovo za  $P+LE < 1$ , (zbog krivulja oblika potencije s eksponentom  $< 1$ ). To znači, da je porast konvektivne naoblake uz isto povećanje količine topline sadržane u komponentama  $P$  i  $LE$  najbrži u ta dva mjesta. To se najvjerojatnije odražava i kod advektivnog doprinosa veličini  $P+LE$ , koji će u području Zagreba i Siska lakše poremetiti postojeću toplinsku ravnotežu i izazvati nastajanje konvektivne naoblake. Ovu pretpostavku treba u daljnjim radovima detaljno ispitati na dnevnim podacima pojedinih meteoroloških stanica.

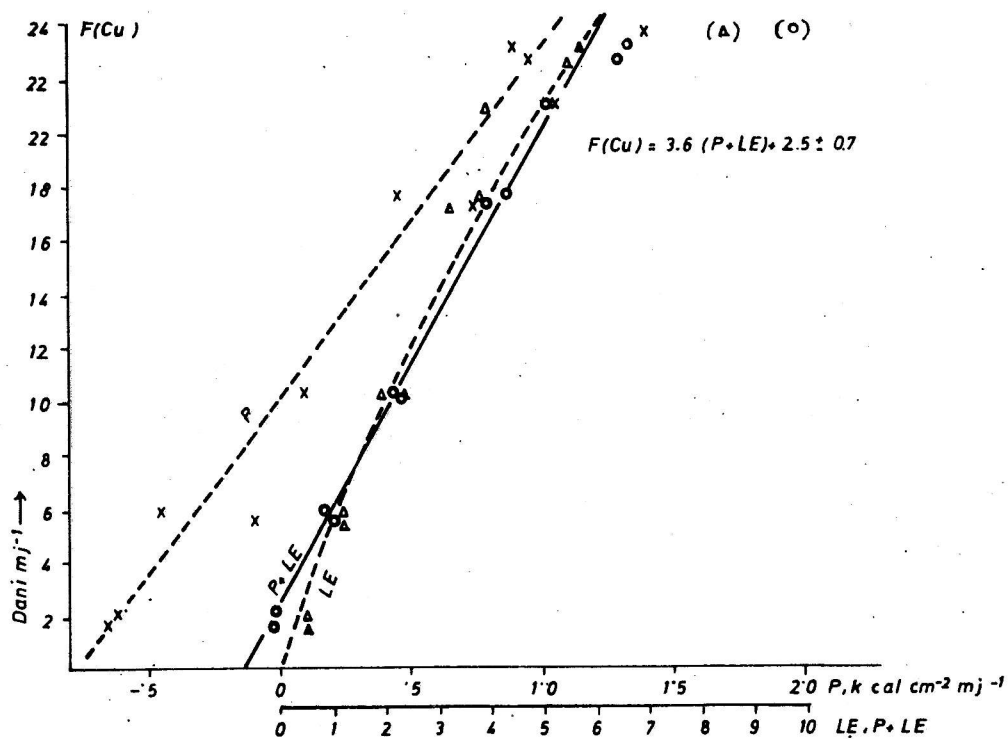


SL. 5.8 — OVISNOST ČESTINE KONVEKTIVNE NAOBLAKE  $F(Cu)$  O VELIČINAMA  $P$ ,  $LE$  I  $P+LE$  — OSIJEK (1949-1973)

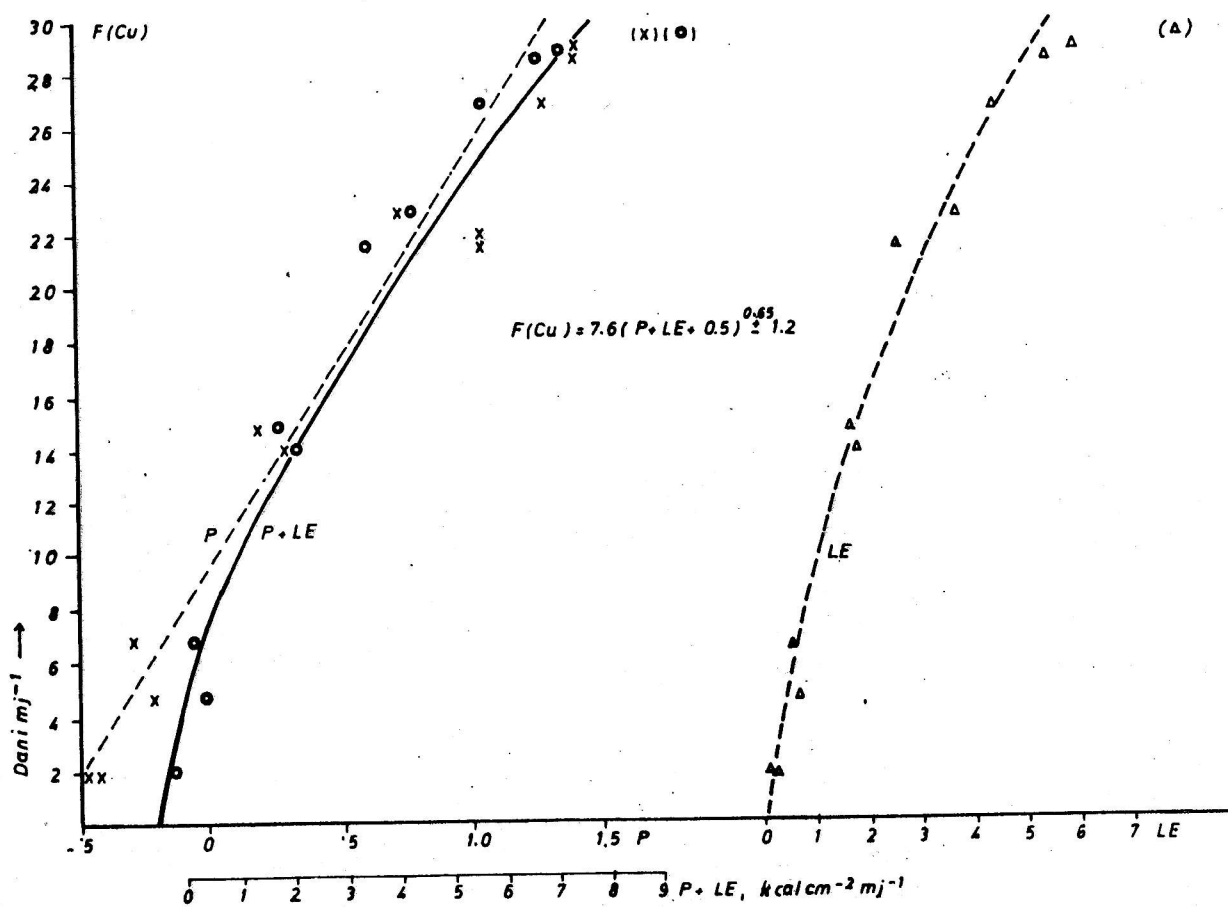


SL. 5.9 — OVISNOST ČESTINE KONVEKTIVNE NAOBLAKE  $F(Cu)$  O VELIČINAMA  $P$ ,  $LE$  I  $P+LE$  — SL. BROD (1949-1973)

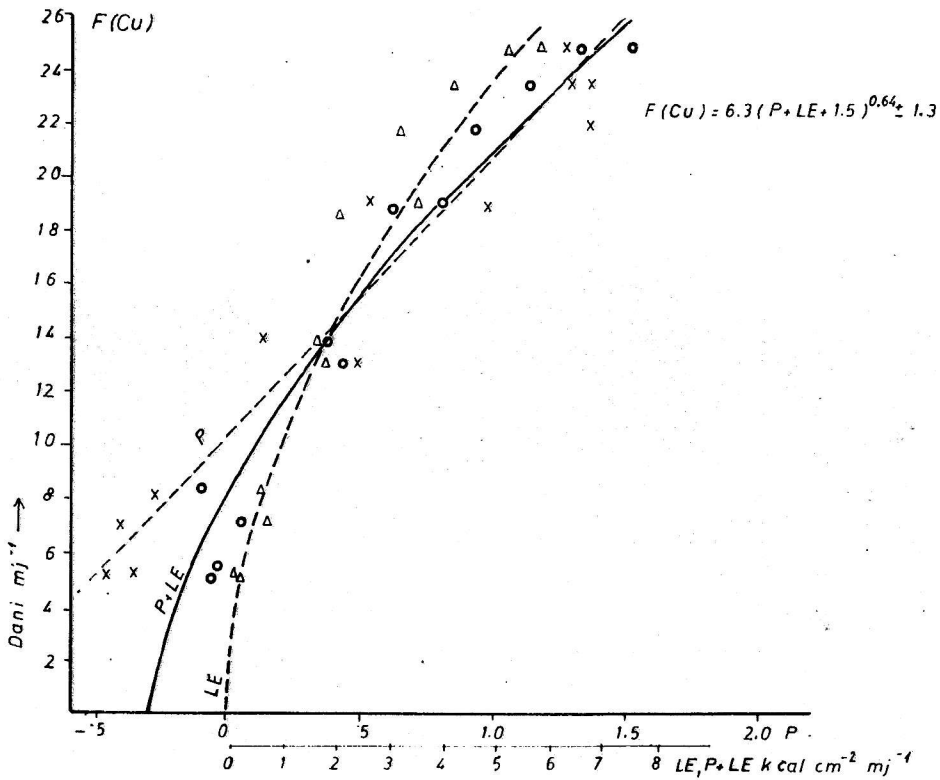




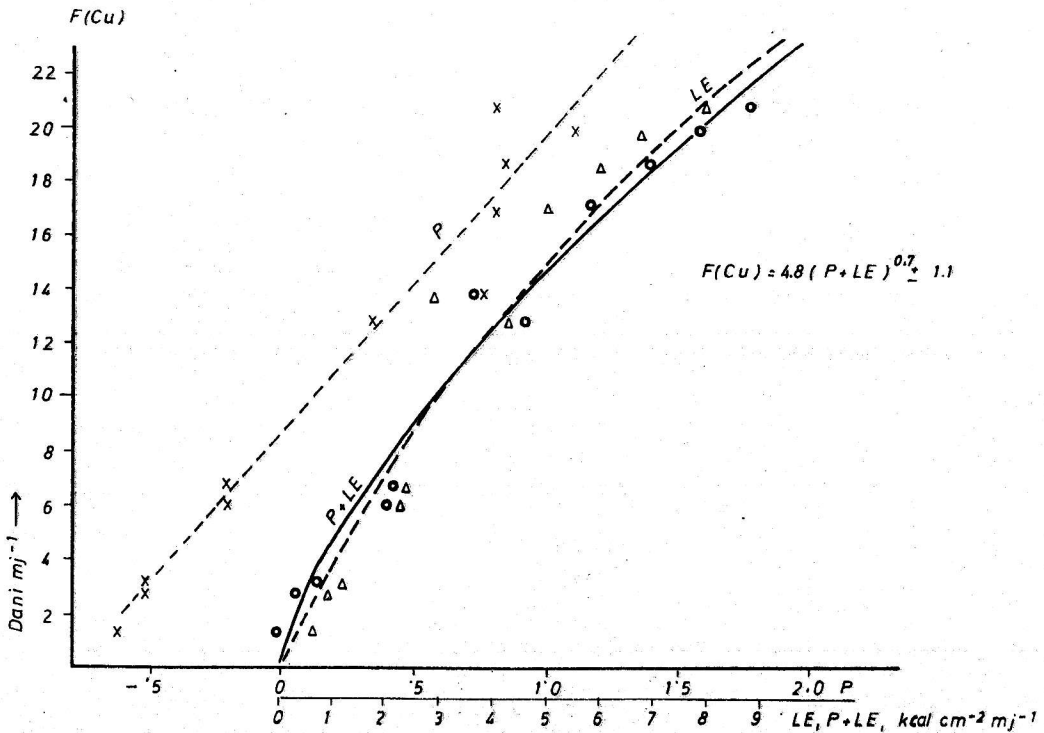
SL.5.10 - OVISNOST ČESTINE KONVEKTIVNE NAOLAKE  $F(\text{Cu})$  O VELIČINAMA  $P$ ,  $LE$  I  $P+LE$  - VARAŽDIN (1949-1973)



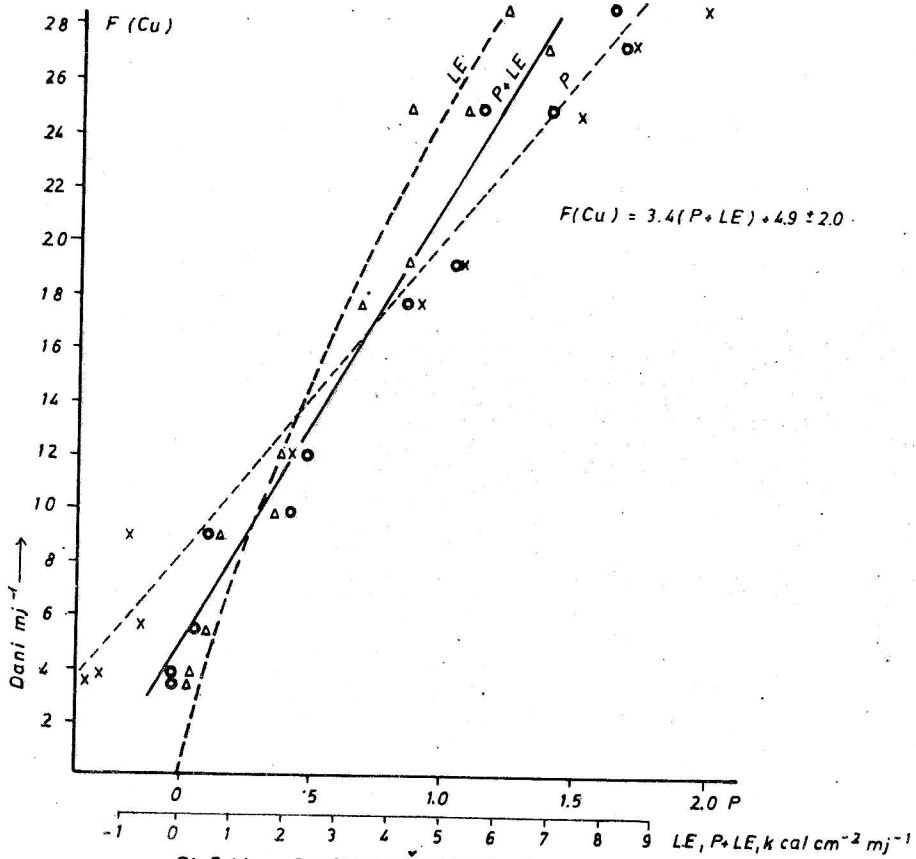
SL.5.11 - OVISNOST ČESTINE KONVEKTIVNE NAOLAKE  $F(\text{Cu})$  O VELIČINAMA  $P$ ,  $LE$  I  $P+LE$  - ZAGREB Maksimir (1960-1973)



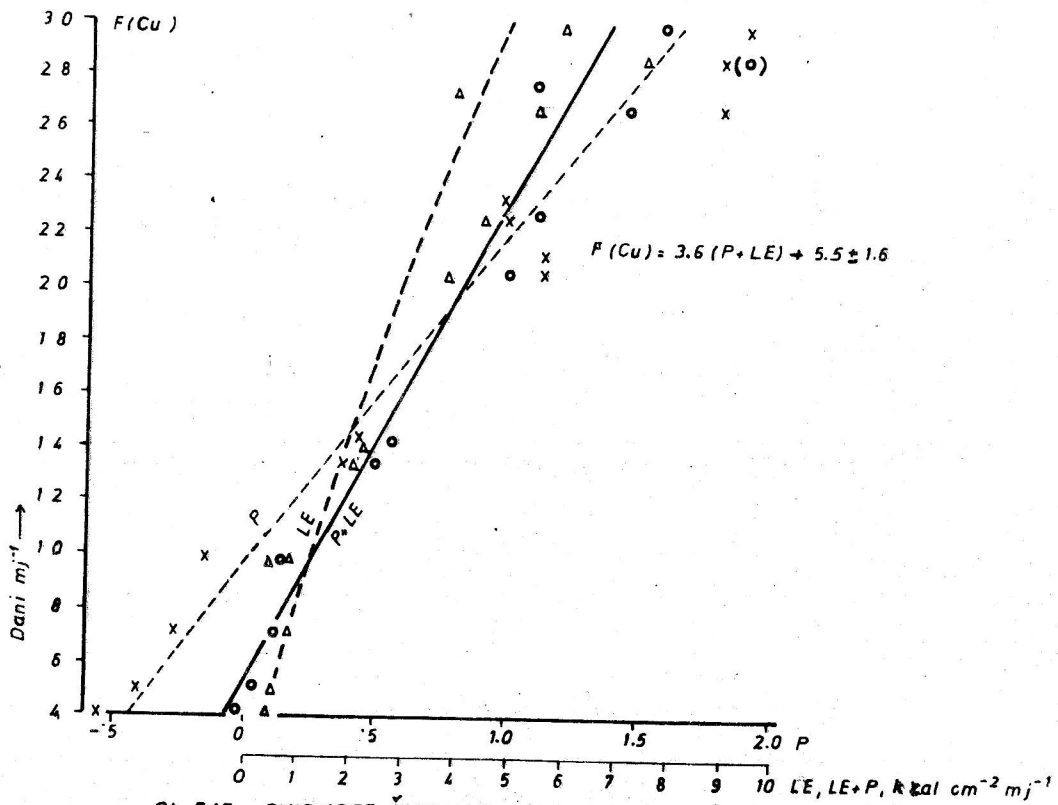
SL.5.12 - OVISNOST ČESTINE KONVEKTIVNE NAOBLAKE  $F(Cu)$  O VELIČINAMA  $P, LE$  I  $P+LE$  - SISAK (1949-1973)



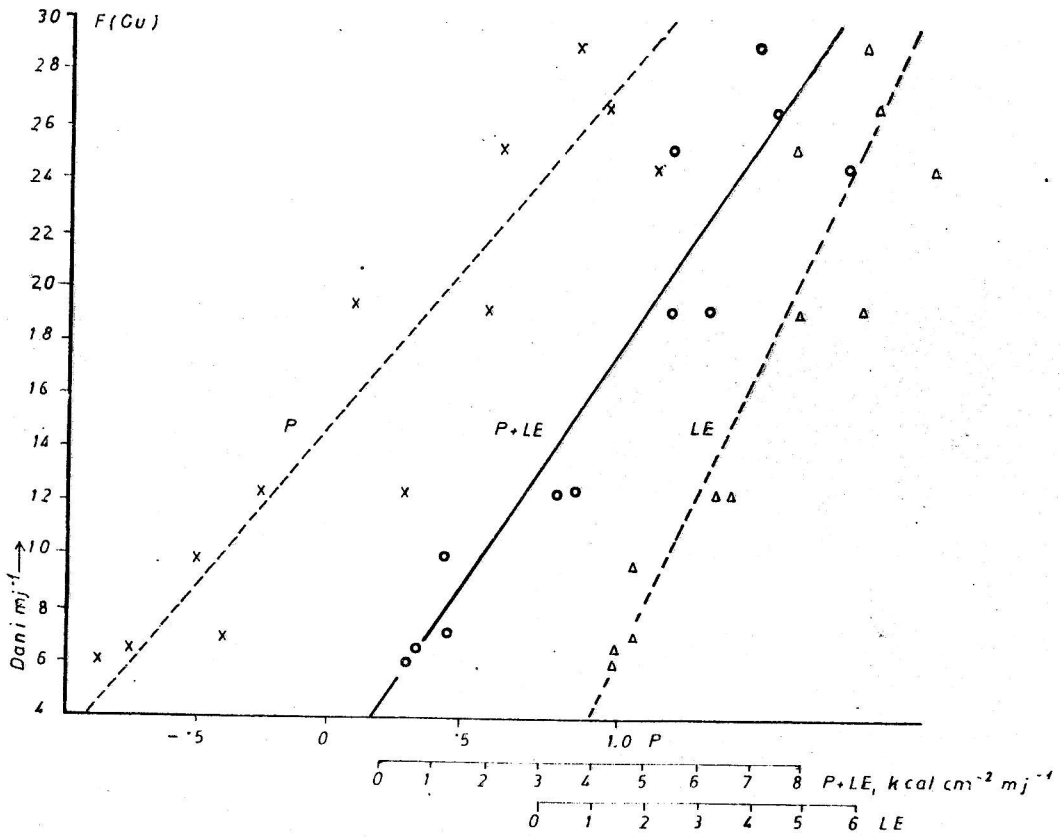
SL.5.13 - OVISNOST ČESTINE KONVEKTIVNE NAOBLAKE  $F(Cu)$  O VELIČINAMA  $P, LE$  I  $P+LE$  - KARLOVAC (1949-1973)



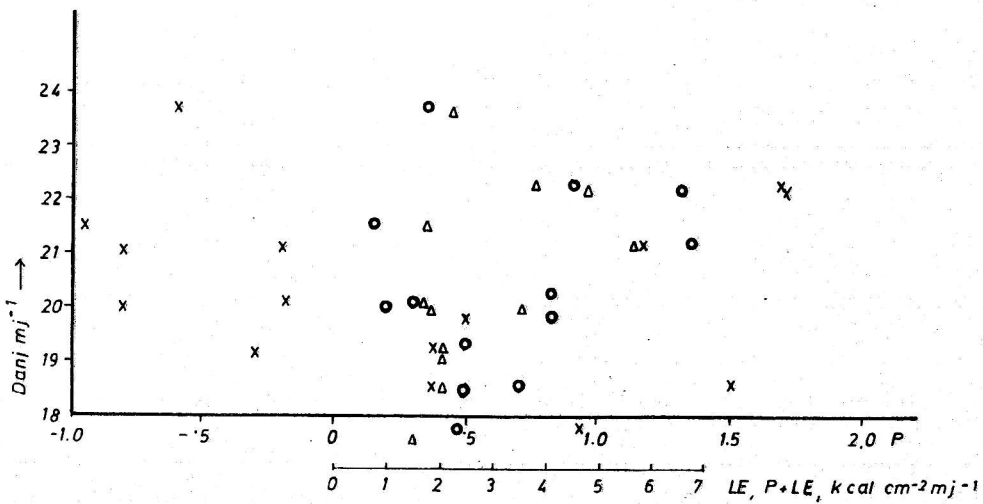
SL.5.14 - OVISNOST ČESTINE KONVEKTIVNE NAOLAKE  $F(Cu)$  O VELIČINAMA  $P$ ,  $LE$  I  $P+LE$  - GOSPIĆ (1949-1973)



SL.5.15 - OVISNOST ČESTINE KONVEKTIVNE NAOLAKE  $F(Cu)$  O VELIČINAMA  $P$ ,  $LE$  I  $P+LE$  - PAZIN (1949-1973)



SL 5.16 - OVISNOST ČESTINE KONVEKTIVNE NAOBLAKE  $F(Cu)$  O VELIČINAMA  $P, LE$  I  $P+LE$  - RIJEKA (1949-1973)



SL.5.17 - OVISNOST ČESTINE KONVEKTIVNE NAOBLAKE  $F(Cu)$  O VELIČINAMA  $P, LE$  I  $P+LE$  - HVAR (1949-1973)

### Nulti potencijal čestine Cu

Posebno je interesantan slučaj vjerojatnosti pojave konvektivne naoblake uz smanjenje komponenata toplinske ravnoteže do 0, dakle za  $P+LE=0$ ,  $P=0$  i  $LE=0$ .

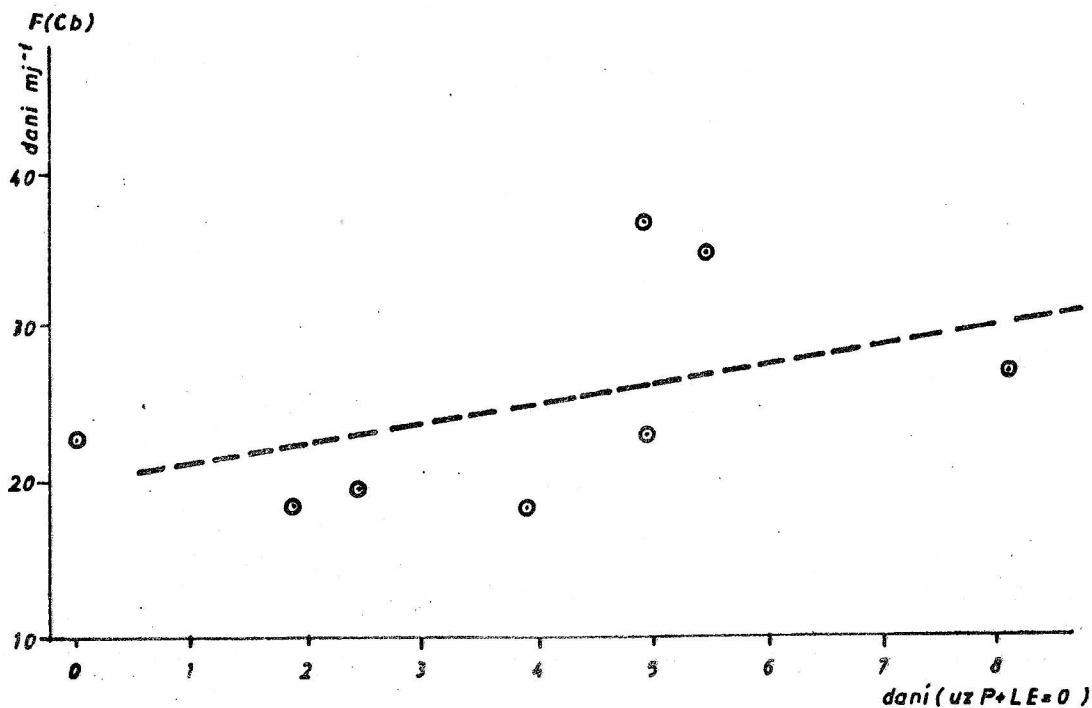
Takva je analiza provedena na osnovi jednadžbi za parametar  $P+LE$ , a pomoću grafikona za veličine  $P$  i  $LE$ . Njene rezultate nazvali smo "lokalnim nultim potencijalom čestine konvektivne naoblake". Bez vlage u zraku, dakle uz  $LE = 0$ , nema mogućnosti nastajanja konvektivnog oblaka. Međutim, svakom lokalitetu pripada njegova čestina ili vjerojatnost pojave konvektivne naoblake uz parametar  $P+LE = 0$  i uz  $P = 0$ . Te vrijednosti prikazane su u slijedećoj tabeli.

Tab. 5.13 - Nulti potencijal srednjeg mjesečnog broja dana s ukupnom konvektivnom naoblakom (Cu+Cu med+ Cu con) (1949-1973)

Mjesto	LE=0	P+LE=0	P=0
Osijek	0	3.9	5.4
Sl.Brod	0	1.7	4.8
Varaždin	0	2.5	10.2
Zagreb	0	4.9	9.6
Sisak	0	8.2	10.4
Karlovac	0	0	8.6
Gospić	0	4.9	7.3
Pazin	0	5.5	9.8

Brojke u tabeli i opet ilustriraju najveću mogućnost nastajanja Cu-oblaka u području Siska uz međusobno poništavanje komponenata  $P$  i  $LE$ . Obzirom da je toplina isparavanja po definiciji uvijek pozitivna, vrijednosti bliske nultom potencijalu javljat će se u hladnijem dijelu godine, kada su obje komponente male po apsolutnoj vrijednosti, a  $P$  je najčešće  $<0$ . Vjerojatnost pojave konvektivnih oblaka uz  $P=0$ , dakle bez potencijalne nestabilnosti, je veća, što pokazuje, da je za razvoj konvektivne naoblake mnogo važnija toplina isparavanja  $LE$ , bez koje uopće ne dolazi do nastajanja Cu-oblaka.

Logičan slijed navodi na daljnje zaključivanje. Kada bi u cijeloj Hrvatskoj suma komponenata  $P+LE$  bila jednaka 0, onda bi novo nadošlo, advektirano poremećenje najvjerojatnije izazvalo pojavu konvektivne naoblake najprije u krajevima s najvećim lokalnim nultim potencijalom. U tom slučaju čestine pojave Cb-oblaka, koji reprezentiraju advektiranu nestabilnost, trebale bi i u klimatskom prosjeku pokazivati barem tendenciju porasta uz povećanje nultog potencijala konvektivne naoblake. Tu činjenicu ilustrira slijedeća slika, na kojoj se navedena tendencija može uočiti. Takva tendencija stimulira na daljnje istraživanje utjecaja "nultog potencijala".



SL. 5. 18 – ČESTINA POJAVE KUMULONIMBUSU U OVISNOSTI  
O NULTOM POTENCIJALU KONVEKTIVNE NAOBLAKE  
(1949 - 1973 )



### 5.3 Diskusija prosječne čestine konvektivne naoblake u Zagrebu

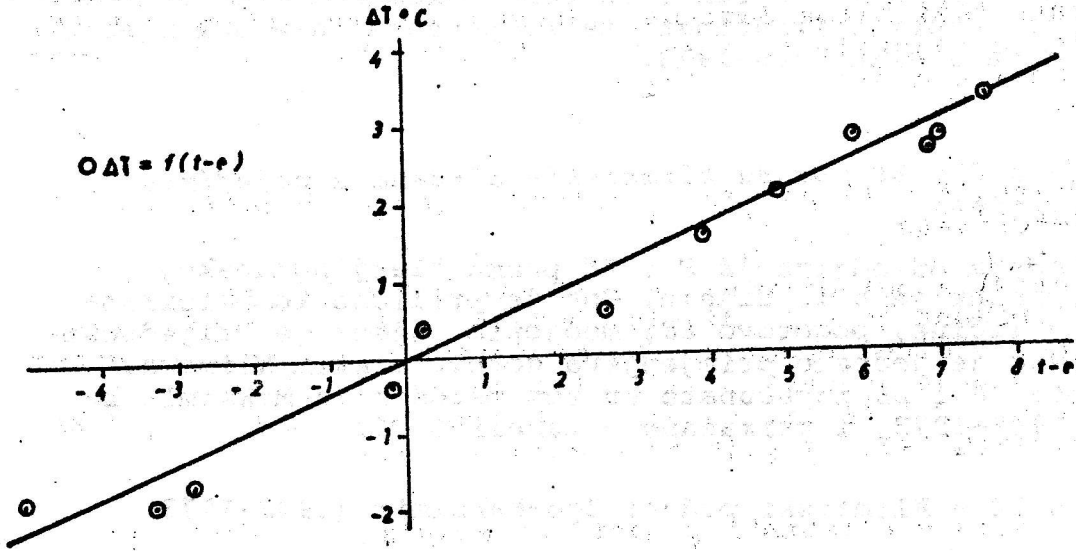
14-godišnji niz podataka u Maksimiru omogućio je detaljniju analizu klimatskog potencijala razvoja konvektivne naoblake u Zagrebu. Tražeći ovisnost tog potencijala o energetskej ravnoteži klime Zagreba, odnosno o komponentama  $P$  i  $LE$ , trebalo je najprije izračunati te komponente za svaki mjesec svake godine u nizu 1960-1973.

#### *Ocjena $P$ i $LE$ pomoću klimatskih elemenata pojedinog lokaliteta*

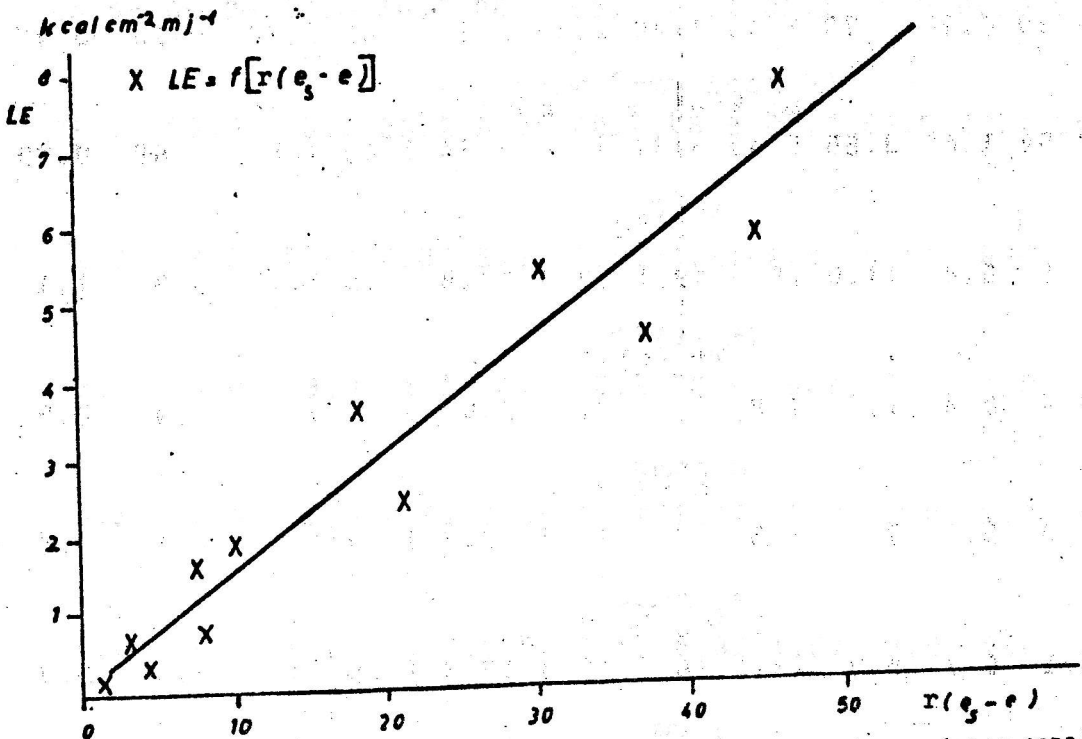
Metodika odredjivanja  $P$  i  $LE$  prema "lenjingradskoj školi" opisana je u 1. dijelu. Ona je prilično komplicirana za obje veličine, pogotovo  $LE$ , međjutim, njena je vrijednost u tome, što je jednako primjenjiva gotovo u svim klimama. Vrijednosti  $P$  i  $LE$  izračunate su tom metodom za Maksimir za prosjek 1949-1973. i prikazane u tabeli 5.15.

Tab. 5.14 - Klimatski podaci Zgb-Maksimir (1949-1973)

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$P \text{ kcal cm}^{-2} \text{ mj}^{-1}$											
-0.40	-0.30	0.20	0.75	1.40	1.40	1.65	1.30	1.05	0.30	-0.20	-0.45
$LE \text{ kcal cm}^{-2} \text{ mj}^{-1}$											
0.19	0.58	1.66	3.65	5.40	5.87	7.90	4.54	2.45	1.85	0.68	0.29
$t \text{ }^{\circ}\text{C}$											
-1.2	1.5	5.4	11.0	15.4	19.1	20.7	19.8	15.8	10.7	5.9	1.1
$(t_w - t) \text{ }^{\circ}\text{C}$											
-0.8	-0.6	0.4	1.5	2.8	2.8	3.3	2.6	2.1	0.6	-0.4	-0.9
$e \text{ mmHg}$											
3.8	4.3	5.2	7.1	9.5	12.1	13.1	12.9	10.9	8.1	6.1	4.4
$e_s \text{ mmHg}$											
4.2	5.1	6.7	9.8	13.1	16.6	18.3	17.3	13.5	10.0	7.0	5.0
$r \text{ cm}$											
5.14	4.14	4.88	6.78	8.52	9.96	8.97	8.41	8.21	5.53	8.53	7.76

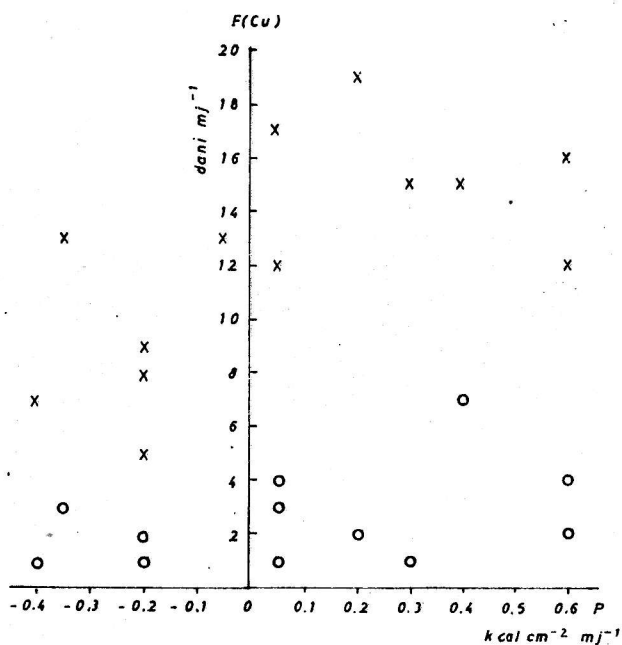


SL. 5.19 - VEZA  $\Delta t = t_w - t$  / PARAMETRA  $t - e$ ; MAKSIMIR (1949-1973)

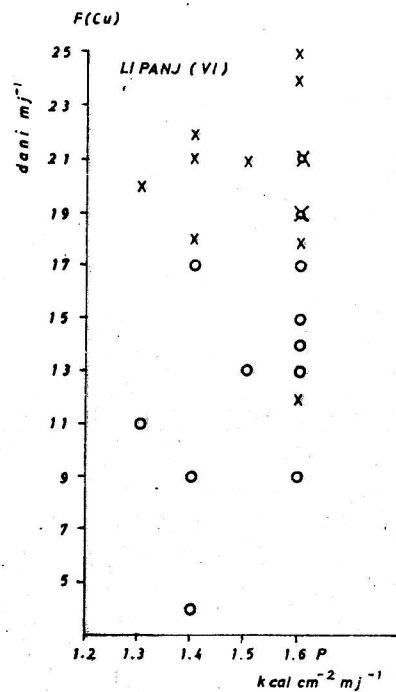
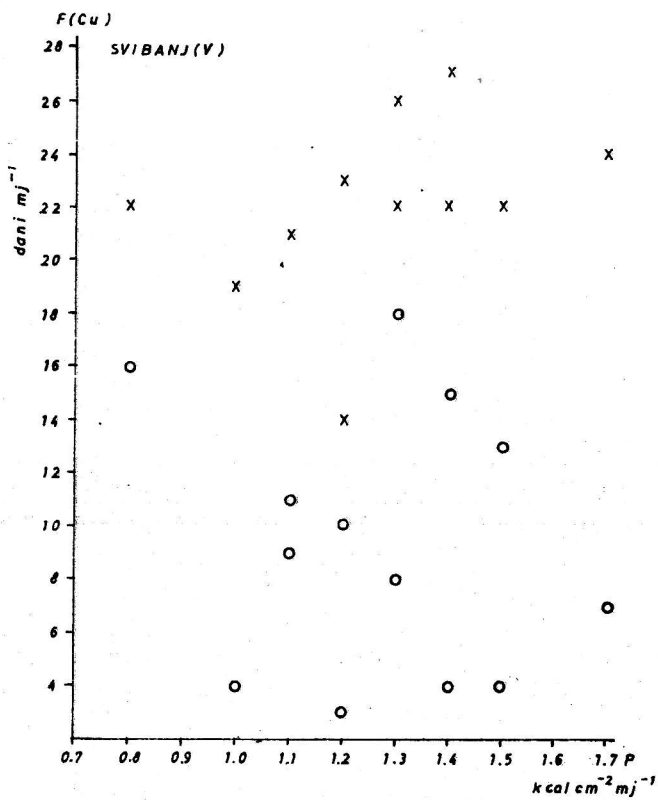
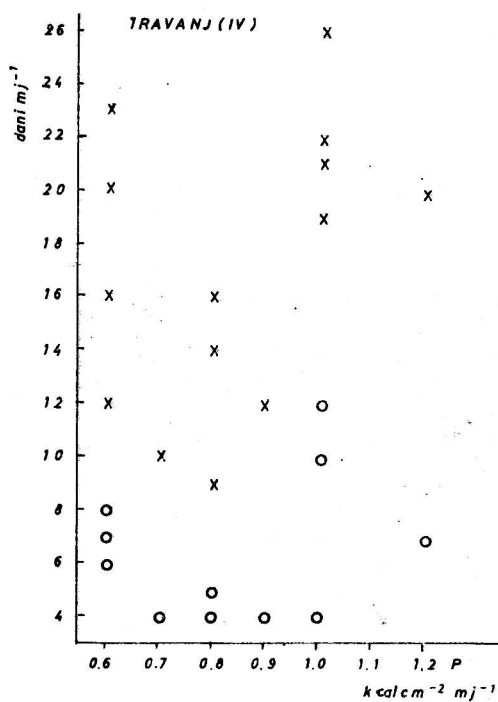


SL. 5.20 VEZA „LE“ / PARAMETRA  $r(e_s - e)$ ; MAKSIMIR (1949-1973)

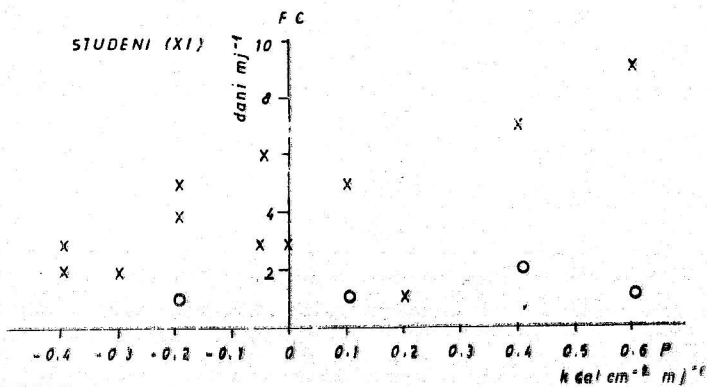
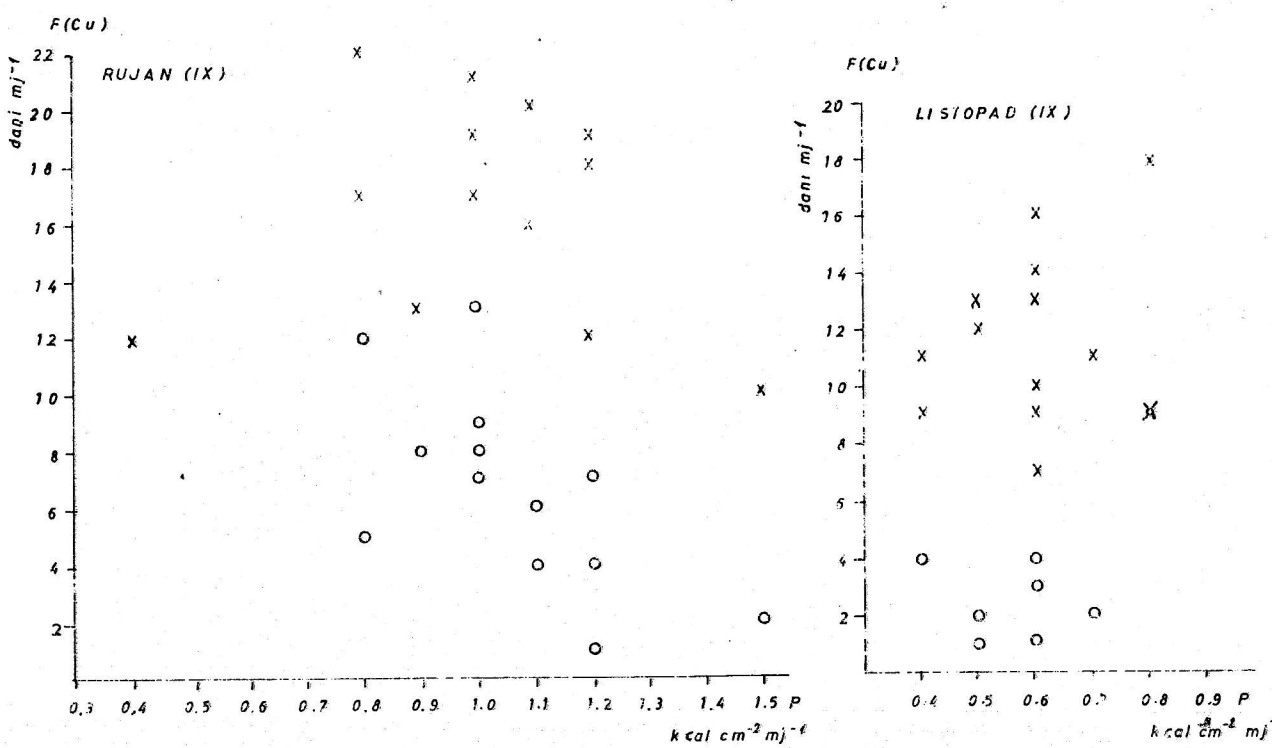
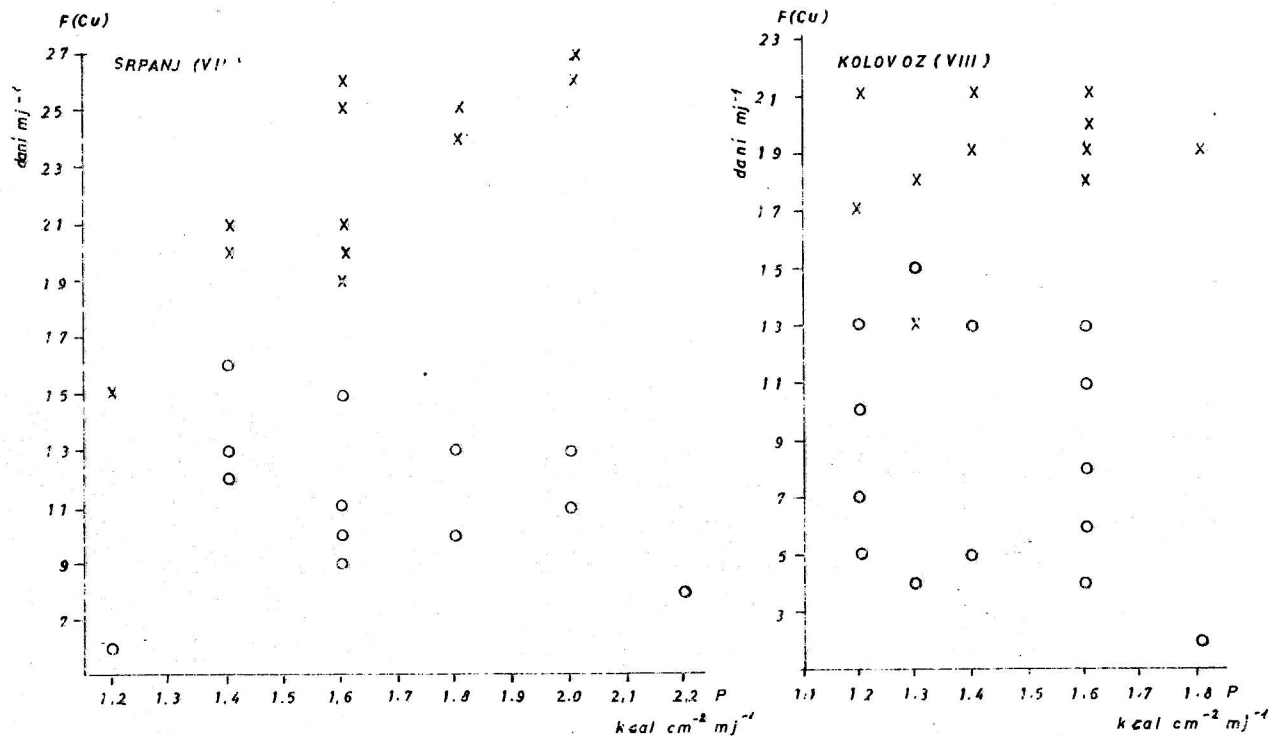
OŽUJAK (III)



F(Cu)



SL.5.21 – OVISNOST ČESTINE POJAVE KONVEKTIVNE NAOLAKE TIPa Cu+Cu med i Cu con O TURBULENTNOJ RAZMJENI TOPLINE „P“— ZAGREB-MAKSIMIR (1960-1973); x Cu+Cu med, o Cu con



Manifestni oblici klime ( $t$  = temperatura zraka,  $e$  = tlak pare,  $e_s$  = maksimalni tlak pare kod  $t$ ,  $r$  = količina oborine) su funkcije ravnoteže energija u nekom mjestu, dakle i njenih komponenata  $P$  i  $LE$ . U tabeli 5.15  $P$  je određen pomoću izraza:

$$P = 0.5\Delta t = 0.5(t_w - t) \text{ kcal cm}^{-2} \text{ mj}^{-1} \quad (5-2)$$

dok je  $LE$  dobiveno kompleksnom metodom toplinsko-vodne ravnoteže. Zbog kompliciranosti i dugotrajnosti određivanja  $P$  i  $LE$  spomenutom metodom pokušalo se na osnovu podataka u tabeli 5.14 pronaći direktnu i što jednostavniju vezu tih komponenata sa srednjom temperaturom i vlagom zraka te mjesečnim količinama oborine. Pomoću takvih veza mogu se za razmatrani lokalitet mnogo jednostavnije određivati komponente  $P$  i  $LE$  za svaku godinu i mjesec.

Turbulentna razmjena topline  $P$  veća je uz višu temperaturu zraka  $t$  i uz manju količinu vlage u zraku, dakle, uz manji tlak pare  $e$ . Zato je za mnoga mjesta u Hrvatskoj ispitana ovisnost:

$$P = f(t-e) \quad (5-3)$$

Ta ovisnost je za Maksimir linearna i prikazana je na slici 5.19. Povezanost između  $P$  i parametra  $t-e$  može se aproksimirati analitičkim izrazom empiričkog karaktera:

$$P = 0.21 (t-e) \quad (5-4)$$

Ovdje je  $P$  u  $\text{kcal cm}^{-2} \text{ mj}^{-1}$ ,  $t$  u  $^{\circ}\text{C}$  i  $e$  u  $\text{mmHg}$ . Jednadžba (5-4) može se odrediti i tako da se sve veličine svedu na iste jedinice. Međutim, zbog praktičnosti ostavljena je u gornjem obliku.

Ispitivanje veze  $LE$  s klimatskim elementima pokazalo se mnogo kompliciranije. Nakon više pokušaja pronađena je ovisnost:

$$LE = f[r, (e_s - e)] \quad (5-5)$$

koja manifestira činjenicu, da bi isparavanje, pa prema tome i toplina isparavanja, trebala biti to veća što je palo više oborine  $r$  i što je veći deficit zasićenosti  $e_s - e$ . Ta ovisnost prikazana je na sl. 5.20. Ova veza je linearna i može se aproksimirati jednadžbom:

$$LE = 0.155 r (e_s - e) \quad (5-6)$$

gdje je  $LE$  u  $\text{kcal cm}^{-2} \text{mj}^{-1}$ ,  $r$  u  $\text{cm}$ , a  $e_s$  i  $e$  u  $\text{mmHg}$  ( $e_s$  je maksimalni tlak pare kod temperature zraka  $t$ ).

Prva primjena dobivenih veza bila je u ispitivanju utjecaja početnog impulsa konvektivne nestabilnosti, sadržanog u komponenti  $P$ , na razvoj oblaka. Pomoću srednjih mjesečnih vrijednosti  $t$  i  $e$  izračunate su vrijednosti  $P$  za sve mjesece po godinama razdoblja 1960-1973. Te vrijednosti su grafički uspoređivane sa  $F(\text{Cu})$  u mjesecima toplijeg dijela godine.

Grafikoni na slici 5.21 ilustriraju utjecaj  $P$  na početne stadije konvektivne naoblake, zbog čega je čestina  $\text{Cu}+\text{Cu med}$  uglavnom veća ako je veći i početni impuls  $P$ . Medjutim, daljnji razvoj kumulusnog oblaka, dakle pojava  $\text{Cu con}$  više ne ovisi o početnom impulsu  $P$ , tako da korelacije ili nema ili je čak negativna (npr. u srpnju i rujnu).

#### *Klimatogena formula konvektivne naoblake u Zagrebu*

Iz jednadžbi (5-1) izdvojit ćemo jednadžbu mjesečnih čestina konvektivne naoblake u Zagrebu.

$$F(\text{Cu}) = F(\text{Cu}+\text{Cu med}+\text{Cu con}) = 7.6(P+LE+0.5)^{0.65} \quad (5-7)$$

Za Maksimir je pronadjena korelacija komponenata energetske ravnoteže i klimatskih elemenata, koje možemo direktno mjeriti. Ona je izražena jednadžbama (5-4) i (5-6)

Ako uvrstimo (5-4) i (5-6) u (5-7)\*dolazimo do izraza, koji smo nazvali "klimatogenom formulom konvektivne naoblake" u Zagrebu:

$$F(\text{Cu}) = 7.6[0.21(t-e) + 0.155 r(e_s - e) + 0.5]^{0.65} \quad (5-8)$$

Pomoću ovakve formule, dobivene preko komponenata energetske ravnoteže, mjesečna čestina, odnosno vjerojatnost pojave konvektivne naoblake u Zagrebu, može se ocjenjivati iz kombinacije manifestnih oblika klime.

Promjena čestine kumulusne naoblake u Zagrebu općenito se može diskutirati, ako nastupi određena klimatska promjena

- uz zatopljenje -  $F(\text{Cu})$  raste,
- uz povećanje količine oborine -  $F(\text{Cu})$  raste,
- uz porast tlaka pare (uz konstantni  $t$  i  $e_s$ ) -  $F(\text{Cu})$  opada; ovaj slučaj označavao bi učestaliju advekciju vlažnog zraka, ali bez znatnije promjene temperature.

\*Jednadžbe (5-4) i (5-6) izvedene su iz razdoblja 1949-73, a jedn. (5-7) iz razdoblja 1960-73. Ovaj je nesklad zanemaren u daljnjim razmatranjima.



Kod smanjenja čestine konvektivne naoblake do graničnog slučaja  $F(Cu) = 0$ , kada dolazi do nestajanja nultog potencijala, mora biti:

$$0.21(t-e) + 0.155 r(e_s - e) = -0.5 \quad (5-9)$$

Obzirom da je  $e_s \geq e$ , drugi član ne može biti negativan, već najmanje jednako 0. Tada je:

$$0.21(t-e) = -0.5 \quad (5-10)$$

Ovakve situacije mogu kod nas nastupiti samo uz negativne temperature blizu  $0^\circ\text{C}$ . Dakle, da bi u nekom mjesecu došlo do takve stabilizacije, da se poništi čak i nulti klimatski potencijal razvoja konvektivne naoblake, mora biti  $r$  veoma malo, tj. situacija gotovo bez oborine i negativne temperature blizu  $0^\circ\text{C}$ . Tada se vrijednosti unutar uglate zagrade (u 5-8) poništavaju ili čak budu negativne, što pribrajamo slučajevima 0.

Suprotna kombinacija meteorološko-klimatoloških elemenata potrebna je u slučaju  $F(Cu)$  maksimalno.

U tom slučaju veličina unutar zagrade u (5-8)

$$0.21(t-e) + 0.155 r(e_s - e) + 0.5$$

mora postići najveću moguću vrijednost u klimatskim uvjetima Maksimira.

Teoretske vrijednosti  $\bar{F}_t(Cu)$  odgovaraju prosječnim klimatskim prilikama. Zato je korisno ispitati upotrebljivost formule (5-8) za ocjenu razvoja konvektivne naoblake u pojedinačnim mjesecima neke godine. Stvarne čestine konvektivne naoblake u Maksimiru označene su  $F(Cu)$ , dok je računskim vrijednostima dodana povlaka iznad  $\bar{F}(Cu)$ .

Primjeri:

U slijedećih šest primjera izračunate su teoretske čestine  $\bar{F}(Cu)$  konvektivne naoblake u Zagrebu pomoću formule (5-8). Takve čestine Cu-oblaka najvjerojatnije su u našim klimatskim uslovima na osnovi energetske ravnoteže prizemnog sloja atmosfera-tlo.

- 1) VIII/1973:  $t = 19.6^{\circ}\text{C}$   
 $F(\text{Cu}) = 31$   $e = 12.1 \text{ mmHg}, e_s = 17.1 \text{ mmHg}$   
 $r = 6.1 \text{ cm}$   
 $\bar{F}(\text{Cu}) = 26$  slučajeva u danima
- 2) I/1973:  $t = -0.8^{\circ}\text{C}$   
 $F(\text{Cu}) = 0$   $e = 4.0 \text{ mmHg}, e_s = 4.3 \text{ mmHg}$   
 $r = 2.8 \text{ cm}$   
 $\bar{F}(\text{Cu}) = 7.6(-0.38)^{0.65}$  - rezultat imaginaran = 0
- 3) I/1972:  $t = -1.1^{\circ}\text{C}$   
 $F(\text{Cu}) = 2$   $e = 3.8 \text{ mmHg}, e_s = 4.3 \text{ mmHg}$   
 $r = 9.6 \text{ cm}$   
 $\bar{F}(\text{Cu}) = 3$  slučaja u danima
- 4) IX/1970:  $t = 15.6^{\circ}\text{C}$   
 $F(\text{Cu}) = 14$   $e = 10.4 \text{ mmHg}, e_s = 13.3 \text{ mmHg}$   
 $r = 3.1 \text{ cm}$   
 $\bar{F}(\text{Cu}) = 15$  slučajeva u danima
- 5) IV/1966:  $t = 12.5^{\circ}\text{C}$   
 $F(\text{Cu}) = 30$   $e = 8.0 \text{ mmHg}, e_s = 10.9 \text{ mmHg}$   
 $r = 6.5 \text{ cm}$   
 $\bar{F}(\text{Cu}) = 20$  slučajeva u danima
- 6) VII/1967:  $t = 21.7^{\circ}\text{C}$   
 $F(\text{Cu}) = 31$   $e = 13.7 \text{ mmHg}, e_s = 19.5 \text{ mmHg}$   
 $r = 6.2 \text{ cm}$   
 $\bar{F}(\text{Cu}) = 28$  slučajeva u danima

### Zaključne napomene

a) Ovi primjeri pokazuju da u daljnjem istraživanju formule tipa (5-8) treba modificirati tako da se bolje prilagodjuju konkretnim mjesečnim vrijednostima. Odstupanja su najveća kod porasta čestine konvektivne naoblake, što u daljnjem radu naročito treba uzeti u obzir.

b) Unatoč spomenutim odstupanjima, formule, odnosno izrazi tipa jednadžbe (5-10), imaju višestruku vrijednost. To je u prvom redu činjenica, da su izvedene uz pomoć, tj. preko odgovarajućih komponenata energetske ravnoteže prizemnog sloja atmosfera - tlo, koje dirigiraju i modificiraju sve procese u atmosferi nad razmatranim lokalitetom. Takve jednadžbe vrijede samo za lokalitet za koji su izvedene, ne samo zbog empiričkih koeficijenata, nego i zbog međusobnog odnosa dominantnih komponenti energetske ravnoteže, koji se mijenja u ovisnosti o geografsko-fizikalnim osobinama lokaliteta.

Jednadžba (5-10) određuje čestine konvektivne naoblake pomoću tzv. manifestnih oblika klime u Maksimiru. Iako je izvedena na osnovu prosječnih vrijednosti, priloženi primjeri pokazuju, da se može (uz izvjesnu grešku) koristiti i za mjesečne čestine kumulusnih oblaka u pojedinoj godini. Uz daljnje modifikacije ovakav izraz bi se mogao svesti i na ocjenu čestina Cu-oblaka i u kraćim vremenskim razdobljima od po nekoliko dana. Do takve konačne jednadžbe trebalo bi doći modificiranjem početne jednadžbe za mjesečne čestine i drugim putem, tj. određivanjem energetske ravnoteže za tako kratka razdoblja. Tako dobivena formula više ne bi određivala čestinu konvektivne naoblake, nego mogućnost ili vjerojatnost, da li će se ona razviti ili ne, uz danu kombinaciju temperature, vlage i oborine. Na taj način bi izraz tipa jednadžbe (5-10) mogao pomoći u prognozi razvoja konvektivne naoblake danog lokaliteta, u ovom slučaju Zagreb-Maksimira.

c) U daljnjem radu trebalo bi ispitati kombinacije  $P+LE$  s različitim udjelom pojedine komponente na razvoj Cu do Cu međ, i posebno Cu con oblaka.

d) Kao posebno ispitivanje planira se određivanje razdiobe čestina konvektivne naoblake za proučavanih 10 mjesta u Hrvatskoj i razdiobe čestina simultanih vrijednosti  $t$ ,  $e$  i  $r$ . Takva bi studija znatno doprinijela poznavanju klime našeg područja.

## L i t e r a t u r a :

1. *Albrecht, F.H.W (1955):* Methods of computing global radiation, *Geofisica pura e applicata* Vol. 32
2. *Atlas sostavljajuščih teplovogo i vodnogo balansa Ukrainy* pod red. A.R. Konstantinova, Lenjingrad 1966
3. *Beckert, H.R. (1972):* Die Richtung des Wärmestromes in den oberen Bodenschichten - *Zeitschrift für Meteorologie* Bd 23, Heft 3/4
4. *Belous, I.M, Čičasov, G.N (1971):* O nekotoryh rezul'tatah rasčeta isparenija metodom toplovogo balansa dlja uslovij gornogo rel'efa Zailijskogo Alatau - *Trudy GGO, vyp. 287*
5. *Berljand, T.G. (1960):* Metodika klimatologičeskikh rasčetov summarnoj radiacii, *Met. i gidr. N° 6*
6. *Berljand, T.G. (1956):* Teplovoj balans atmosfery severnogo polušarija - u "A.I. Vozejkov i sovremennye problemy klimatologii, Lenjingrad
7. *Berljand, M.E. (1956):* Predskazanie i regulirovanie toplovogo režima prizemnogo sloja atmosfery, Lenjingrad
8. *Borzenkova, I.I. (1970):* Ob osobennostjah radiacionnogo režima gornyh oblastej - *Trudy GGO, vyp. 263*
9. *Brojdo, A.G. (1973):* O vozmožnosti ispol'zovanija metoda teplovogo balansa dlja rasčeta ego sostavljajuščih - *Trudy GGO, vyp. 300*
10. *Budyko, M.I. (1971):* *Klimat i žizn',* Lenjingrad
11. *Cehak, K. (1975):* Über säkulare Änderungen der Gewittertätigkeit in Osterreich, *Arch. Met. Geoph. Biokl., Ser. B, 23,*
12. *Deacon, E.L. (1970):* The derivation of Swinbank's, long-wave radiation formula, *Quarterly J.R. Met. Soc., Vol. 96*

13. *Dubov, A.S, Romanov, E.V, Troicyn, V.A. (1973): O gori-zontal'nyh turbulentnyh potokah vlagi u beregov vodoemov - Trudy GGO vyp. 297*
14. *Efimova, N.A. (1961): K metodike rasčeta mesjačnyh veličin effektivnogo izlučenja, Met. i gidr. N° 10*
15. *Halstead M.H, Richman R.L, Covey W, Merryman J.D. (1957): A preliminary report on the design of a computer for micrometeorology, Journal of Meteorology, Vol. 14*
16. *Jacobs, C.A and Brown, P.S. Jr. (1973): An Investigation of the Numerical Properties of the Surface Heat-Balance Equation, Journal of Applied Meteorology, Vol. 12*
17. *Jen-Hu Chang, Barry Root (1975): On the Relationship between Mean Monthly Global Radiation and Air Temperature, Arch. Met. Geoph. Biokl., Ser.B, 23,*
18. *Klimatski podaci opservatorija Zagreb-Grič za razdoblje 1862-1967 (1970), Zagreb*
19. *Konstantinov A.R, Sakaly L.I. i L.S. Daigot (1971): The Significance of the Components of Heat and Water Balances in the Formation of Micro-and Local Climate, Phy. and Dyn. Clima. - Proc. Symp. on Phy. and Dyn. Climatology, Len. 1971.*
20. *Kraus, H. (1970): Die Energieumsätze in der bodennahen Atmosphäre, Berichte des Deutschen Wetterdienstes, Bd 16, N° 117*
21. *Lajhtman, D.L. (1970): Fizika pograničnog sloja atmosfery, Lenjingrad*
22. *Legotina, S.I. i Orlenko, L.R. (1973): Teplovoj balans podstilajuščeje poverhnosti v period ekspedicii KENEKS-71, Trudy GGO, vyp. 296*
23. *Lingova, St. (1964): Über die Strahlungsverhältnisse Bulgariens, Zeitschrift für Angewandte Meteorologie Ed 5, Heft 3-4*

24. *Lončar, E. (1969):* Primjena lokalne promjene relativne vrtložnosti za ocjenu nestabilnosti, Zbornik met. i hidr. radova, N° 3
25. *Lončar, E. (1973):* Ispitivanje parametara u situacijama s atmosferskim labilitetom, Zbornik met. i hidr. radova, N° 4
26. *Lowry, W.P. (1959):* Graphical presentation of energy-budget measurements, Journal of Meteorology, Vol. 16
27. *Lowry, W.P. (1969):* Weather and Life, New York
28. *Manabe, S. (1969):* Climate and the ocean circulation -1. The atmospheric circulation and the hydrology of the earth's surface, Monthly Weather Review, Vol. 97, N° 11
29. *Myrup, L.O. (1969):* A Numerical Model of the Urban Heat Island, Journal of Applied Meteorology, Vol. 8.
30. *Outcalt, S.I. (1972):* The Development and Application of a Simple Digital Surface - Climate Simulator, Journal of Applied Meteorology, Vol. 11.
31. *Paszynski, J. (1964):* Topoclimatological investigations on heat balance, Geographia polonica 2
32. *Paszynski, J. (1966):* Die Strahlungbilanz Polens, Zeitschrift für Meteorologie, Bd 17, Heft 9-12
33. *Penzar, I. (1971):* Neke karakteristike temperature tla u Jugoslaviji - Dokumentacija za tehnologiju i tehniku u poljoprivredi, sveska 7-8/71, separat 51
34. *Penzar, I. (1959):* Globalna radijacija u Zagrebu na temelju 10-godišnjeg mjerenja, Zagreb
35. *Penzar, I. (1960):* Neki podaci o globalnoj radijaciji u Hrvatskoj, Savremena poljoprivreda br. 7-8



36. *Penzar B. i I. (1960): Raspodjela globalne radijacije nad Jugoslavijom i Jadranskim morem, Hidrografski godišnjak 1959*
37. *Popović, M. (1972): Stručni izveštaj sa međunarodnog simpozijuma za radijacioni bilans i posete glavne geofizičke opservatorije, Lenjingrad*
38. *Sakali, L.I. (1970): Teplovoj balans Ukrainy i Moldavii, Lenjingrad*
39. *Sellers, W.D. (1969): A global climatic model based on the energy balance of the Earth - atmosphere system, Journal of Applied Meteorology, Vol. 8*
40. *Sharon, D. (1974): The Spatial Pattern of Convective Rainfall in Sukumaland, Tanzania - A Statistical Analysis, Arch. Met. Geoph. Biokl., Ser. B, 22.*
41. *Smith, R.F.T. (1973): A note on the relationship between large scale energy functions and characteristics of climate, Quart. J. R. Met. Soc. Vol. 99, NO 422*
42. *Stimulacija oborine na području Like i Gorskog kotara, RHMZ SR Hrvatske, Zagreb 1969 - elaborat, nepublicirano*
43. *Sutton, O.G. (1953): Micrometeorology, New York*
44. *Swinbank, W.C. (1963): Long-wave radiation from clear skies, Quart. J.R. Met. Soc., Vol. 88*
45. *Šinik, N. (1967): Upotreba harmoničke analize u određivanju prirodnih granica godišnjih doba, Zbornik radova povodom proslave 20 godina rada i razvoja hidrometeorološke službe Jugoslavije, Beograd*
46. *Thom, H.C.S. (1970): The Analytical Foundations of Climatology, Arch. Met. Geoph. Biokl., Ser.B, 18.*

47. *Tuller, S.E. (1972): Energy balance microclimatic variations on a coastal beach - Tellus, Vol. 24, N° 3*
48. *Vinnikov, K.Ja. (1965): Novyj rasčet teplovogo balansa sistemy Zemlja-atmosfera, Met. i gidr. N° 8*
49. *de Vries, D.A. (1959): The influence of irrigation on the energy balance and the climate near the ground, Journal of Meteorology, Vol. 16*
50. *Zubnikov, L.I. (1970): Ob izmenčivosti summarnogo isparenija, Trudy GGO, vyp. 263*
51. *Zubnikov, L.I. (1971): Klimatičeskie faktory i produktivnost' rastitel'nogo pokrova, Trudy GGO, vyp. 287*

## ENERGY BALANCE OF THE NEARGROUND ATMOSPHERE IN CROATIA

### SUMMARY

#### 1. Theory description

Chapter 1 gives a short presentation of the energy or heat balance theory according to Budyko (Budyko, 1971). The energy balance components have been described. They are in the scope of this work: a net radiation  $R$ , evaporation heat  $LE$ , turbulent heat exchange  $P$ , and a heat exchange in the soil  $B$ , forming a simple form of the energy balance equation

$$R = LE + P + B \quad (1-2)$$

Based on the Budyko's approach monthly values of the components can be determined making use of climatological means of temperature, humidity, cloudiness and precipitation. The net radiation  $R$ , represents a difference of the global radiation  $Q_n$ , and the long-wave irradiation or the effective cooling  $I_n$ , (eq. 1-3). Both,  $Q_n$  and  $I_n$ , can be computed by means of the eqs. (1-4), (1-7) and (1-9). Here, the special attention was given to the "active soil temperature"  $T_w$ , which could be determined by means of a nomogram on the Fig. 1.1. This quantity makes possible a computation of  $\delta I_n$  (eq. 1-8) being a correction of  $I_n$  due to the difference between air and soil temperatures. The method of the  $B$  derivation makes use of an empirical relation, obtained in USSR between annual temperature ranges and  $B$  amplitudes (Tables 1.3 and 1.4). Monthly values of the latent heat of evaporation have been determined through a complex of heat and water balances (eqs. 1-26 and 1-27). The accompanied cumbersome iteration procedure of calculating the soil humidity depth  $w$ , has been solved by the appropriate programming on the UNIVAC-1110 computer. The computation begins with a chosen  $w_1$  at the beginning of January, then it follows the eqs. (1-29) to (1-37) and completes the procedure by the calculation of monthly values of evaporation  $E$ , and those of soil water flow  $f$ . The iteration proceeds until the water balance equation (1-28) is satisfied in each month. At the very end of a computation (December) the eq. (1-38) must be satisfied. If it is not the case, the iterative procedure begins again at January with a new value of  $w_1$ . All values of  $LE$  may be checked by the "connection equation" (1-26) according to Budyko. Monthly sums of the turbulent heat exchange  $P$ , (eq. 1-20), have been computed as a remaining term in the eq. (1-2) to assure the energy balance maintenance.

## 2. Climatic values of energy components

All the main components and accompanied quantities of the energy balance have been computed for 29 stations all over Croatia and illustrated by the Tables 2.1 to 2.6. A short description of our slight modifications of Budyko's method follows. Besides a description of some general characteristics of the figures in tables it is pointed out that they represent the basic material for further research.

## 3. Temperature regime

Many authors (Budyko 1971, Sakali 1970, Chang and Root 1975) treat the temperature dependence upon the net radiation  $R$ , or upon the global radiation  $Q$ . Here a relation of air temperature to each component of the energy balance has been studied (Fig. 3.1). The final result illustrates a mutual dependence of monthly mean values of the air temperature  $t$ , and the modified Bowen ratio at 6 stations in Croatia (Figs. 3.2, 3.3 and 3.4 and eqs. 3-6).

## 4. Climatic regioning

The values of  $R$  (Tab. 2.5) and those of the aridity index  $R/Lr$  (Tab. 4.1) have been combined into the graphs (Figs. 4.1, 4.2 and 4.3) to include various parts of our country in a geobotanical scheme according to Grigor'ev and Budyko (Budyko, 1971). Our more detailed scheme has the descriptions as follows:

V - humid

O - optimal humid

U - moderate humidity deficiency

S - subtropical vegetation

S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> - specifications inside S

Su - forests

A rough climatic-geobotanical regioning of Croatia (Fig. 4.2) completes this study.

## 5. Local potential of convective cloudiness development

The chapter describes an experiment aimed to find out the possible dependence of the cumulus appearance upon climatic values of atmospheric energy components near the ground. Convective clouds statistics have been compared with simultaneous values of  $P$ ,  $LE$  and  $P+LE$  (Tabs. 5.1 to 5.2 and Figs. 5.1 to 5.7). One can see the greater probability of convective clouds development in localities with greater values of parameter  $P+LE$ . Equations (5-1) and Figures 5.8 to 5.17

illustrate this relation at each locality. A special case of  $P=0$ ,  $LE=0$ ,  $P+LE=0$  discovers the existence of "zero potential of cumulus frequency" (Tab. 5.13) and its influence upon the advected disturbances (Fig. 5.18). Simple relations between  $P+LE$  and monthly values of temperature, water vapour pressure and precipitation have been found at Zagreb-Maksimir (eqs. 5-4 and 5-6). They are the basis of a "climatogenic formula" of convective cloudiness development at this locality (eq. 5-8) which may help the local forecasting of cumulus appearance.

## LIST OF TABLES

	Page
Tab. 1.1 $Q_0$ , kcal cm <sup>-2</sup> month <sup>-1</sup> (n=0)	4
Tab. 1.2 Monthly estimation of albedo, $\alpha$	4
Tab. 1.3 A relation between annual ranges of t and B	9
Tab. 1.4 The ratio of B monthly values to B sums during warm and cold periods	9
Tab. 2.1 List of stations with the height ASL (H), geographical position ( $\psi, \lambda$ ) and the period	21
Tab. 2.1 Global radiation $Q_n$ , kcal cm <sup>-2</sup> month <sup>-1</sup>	21
Tab. 2.3 Long-wave radiation $I_n$ , kcal cm <sup>-2</sup> month <sup>-1</sup>	22
Tab. 2.4 Correction $\delta I_n$ , kcal cm <sup>-2</sup> month <sup>-1</sup>	22
Tab. 2.5 Net radiation R, kcal cm <sup>-2</sup> month <sup>-1</sup>	23
Tab. 2.6 Evaporation heat LE, kcal cm <sup>-2</sup> month <sup>-1</sup>	23
Tab. 2.7 Turbulent heat exchange P, kcal cm <sup>-2</sup> month <sup>-1</sup>	24
Tab. 2.8 Heat exchange in the soil B, kcal cm <sup>-2</sup> month <sup>-1</sup>	24
Tab. 4.1 Radiation aridity index R/Lr	45
Tab. 5.1 Mean number of days with clouds - Osijek (1949-1973)	48
Tab. 5.2 Mean number of days with clouds - Sl.Brod (1949-1973)	48
Tab. 5.3 Mean number of days with clouds - Varaždin (1949-1973)	48
Tab. 5.4 Mean number of days with clouds - Zagreb- Maksimir (1960-1973)	49
Tab. 5.5 Mean number of days with clouds - Sisak (1949-1973)	49
Tab. 5.6 Mean number of days with clouds - Karlovac (1949-1973)	49
Tab. 5.7 Mean number of days with clouds - Gospić (1949-1973)	50

	Page
Tab. 5.8 Mean number of days with clouds - Pazin (1949-1973)	50
Tab. 5.9 Mean number of days with clouds - Rijeka (1949-1973)	50
Tab. 5.10 Mean number of days with clouds - Hvar (1949-1973)	50
Tab. 5.11 Annual sums of the mean number of days with convective clouds (1949-1973)	51
Tab. 5.12 Sums of the mean number of days with convective cloudiness and of the compo- nents P and LE during the warm part of a year ( $t_w > t_c$ ) - (1949-1973)	54
Tab. 5.13 Zero potential of the monthly mean number of days with convective cloudiness (Cu + Cu med + Cu con)	63
Tab. 5.14 Climatic data, Zagreb-Maksimir (1949-1973)	65



## LIST OF FIGURES

	Page
Fig. 1.1 Graphical outline of $T_w$ determination (according to GGO-Leningrad)	8
Fig. 3.1 Air temperature related of the evaporation heat (LE), turbulent heat exchange (P) and the heat exchange in the soil (B) - Osijek (1949-1973)	34
Fig. 3.2 Air temperature related to the energy balance components (Osijek, Zagreb-Grič)	35
Fig. 3.2 Air temperature related to the energy balance components (Gospić, Rijeka)	36
Fig. 3.7 Air temperature related to the energy balance components (Split-Marjan, Hvar)	37
Fig. 4.1 Scheme of the main geobotanical regions of Croatia (Year)	42
Fig. 4.2 Climatic-geobotanical regions of Croatia	43
Fig. 4.3 Scheme of the main geobotanical regions of Croatia (July)	44
Fig. 4.4 Scheme of the main geobotanical regions of Croatia (January)	44
Fig. 5.1 Number of days with convective cloudiness (Cu + Cu med + Cu con) in Croatia dependent on the net radiation "R" and the evapora- tion heat "LE" (1949-1973)	52
Fig. 5.2 Convective cloudiness related to the turbu- lent heat exchange "P" (1949-1973)	55
Fig. 5.3 Convective cloudiness related to the evapo- ration heat "LE" (1949-1973)	55
Fig. 5.4 Convective cloudiness related to the para- meter "P+LE" (1949-1973)	55

Fig. 5.5	Convective cloudiness related to "P"	
	during the warm part of a year (1949-1973)	54
Fig. 5.6	Convective cloudiness related to "LE"	
	during the warm part of a year (1949-1973)	55
Fig. 5.7	Convective cloudiness related to the parameter (P+LE) during the warm part of a year (1949-1973)	55
Fig. 5.8	Convective cloudiness frequency $F(Cu)$ dependence on the quantities P,LE and P+LE - Osijek (1949-1973)	58
Fig. 5.9	Convective cloudiness frequency $F(Cu)$ dependence on the quantities P,LE and P+LE - Sl.Brod (1949-1973)	58
Fig. 5.10	Convective cloudiness frequency dependence on the quantities P,LE and P+LE - Varaždin (1949-1973)	59
Fig. 5.11	Convective cloudiness frequency dependence on the quantities P,LE and P+LE - Zagreb-Maksimir (1960-1973)	59
Fig. 5.12	Convective cloudiness frequency dependence on the quantities P,LE and P+LE - Sisak (1949-1973)	60
Fig. 5.13	Convective cloudiness frequency dependence on the quantities P,LE and P+LE - Karlovac (1949-1973)	60
Fig. 5.14	Convective cloudiness frequency dependence on the quantities P,LE and P+LE - Gospić (1949-1973)	61
Fig. 5.15	Convective cloudiness frequency dependence on the quantities P,LE and P+LE - Pazin (1949-1973)	61
Fig. 5.16	Convective cloudiness frequency dependence on the quantities P,LE and P+LE - Rijeka (1949-1973)	62

2386

Fig. 5.17	Convective cloudiness frequency dependence on the quantities P, LE and P+LE - Hvar (1949-1973)	62
Fig. 5.18	Cumulonimbus frequency dependence on the null potential of convective cloudiness (1949-1973)	64
Fig. 5.19	$\Delta t = t_w - t$ related to the parameter $t-e$ Zagreb-Maksimir (1949-1973)	66
Fig. 5.20	"LE" related to the parameter $r(e_s - e)$ Zagreb-Maksimir (1949-1973)	66
Fig. 5.21	Convective cloudiness $Cu + Cu_{med}$ and $Cu_{con}$ frequency dependence on the turbulent heat exchange "P" - Zagreb-Maksimir (1960-1973); x $Cu + Cu_{med}$ , o $Cu_{con}$	67

## LIST OF SYMBOLS

- $Q$  - global radiation  
 $Q_n$  - global radiation, depending on cloudiness, kcal cm<sup>-2</sup> month<sup>-1</sup>  
 $Q_o$  - global radiation at clear sky (n=0), kcal cm<sup>-2</sup> month<sup>-1</sup>  
 $I$  - long-wave radiation  
 $I_n$  - long-wave radiation, depending on cloudiness, kcal cm<sup>-2</sup> month<sup>-1</sup>  
 $I_o$  - long-wave radiation at clear sky (n=0)  
 $\delta I_n$  - correction of  $I_n$  due to the  $T_w - T$ , kcal cm<sup>-2</sup> month<sup>-1</sup>  
 $LE$  - evaporation heat, kcal cm<sup>-2</sup> month<sup>-1</sup>  
 $E$  - evaporation, cm  
 $L$  - latent heat of evaporation = 597,3 cal g<sup>-1</sup>  
 $E_o$  - potential evaporation at t<sup>0</sup>C  
 $P$  - turbulent heat exchange, kcal cm<sup>-2</sup> month<sup>-1</sup>  
 $P'$  - turbulent heat exchange, cal cm<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>  
 $P_o$  - the lowest negativ P  
 $B$  - heat flux in the soil, kcal cm<sup>-2</sup> month<sup>-1</sup>  
 $R$  - net radiation, kcal cm<sup>-2</sup> month<sup>-1</sup>  
 $\alpha$  - albedo  
 $(\alpha)$  - nondimensional constant = 0,2-0,3  
 $\beta$  - nondimensional constant  
 $\gamma$  - nondimensional constant  
 $a$  - nondimensional constant  
 $b$  - nondimensional constant = 0,38  
 $c$  - nondimensional constant  
 $\tau$  - nondimensional constant = 1  
 $\sigma$  - Stefan-Boltzmann's constant =  $8,14 \cdot 10^{-11}$  cal cm<sup>-2</sup> min<sup>-1</sup> deg<sup>-1</sup>  
 $S$  - "greyiness" coefficient = 0,95  
 $\rho$  - air density, g cm<sup>-3</sup>  
 $\bar{\rho}$  - air density =  $1,293 \cdot 10^{-3}$  g cm<sup>-3</sup>  
 $C_p$  - specific heat at constant pressure = 0,24 cal g<sup>-1</sup> deg<sup>-1</sup>  
 $k$  - turbulent diffusion coefficient  
 $D$  - integral coefficient of turbulent diffusion = 0,65 cm s<sup>-1</sup>

- $z$  - height above the ground, m  
 $n$  - cloudiness (in parts of unity)  
 $T_w^{\circ A}$  } - active soil layer temperature  
 $t_w^{\circ C}$  }  
 $T^{\circ A}$  } - air temperature at 2 m height  
 $t^{\circ C}$  }  
 $q$  - specific humidity at  $t^{\circ C}$   
 $q'_w$  - specific humidity of saturated air at  $t_w^{\circ C}$   
 $e$  - water vapour pressure at  $t^{\circ C}$ , mm Hg  
 $e_s$  - saturated water vapour pressure at  $t^{\circ C}$ , mm Hg  
 $e_w$  - saturated water vapour pressure at  $t_w^{\circ C}$ , mm Hg  
 $r$  - precipitation amount, cm  
 $f$  - water flow in the ground, cm  
 $w_o$  - critical depth of soil humidity, cm  
 $w_k$  - humidity depth in the soil with maximum capacity of humidity, cm  
 $w_1$  - soil humidity depth at the beginning of a month, cm  
 $w_2$  - soil humidity depth at the end of a month, cm  
 $r_k$  - correlation coefficient  
 $F(\text{Cu})$  - frequency of cumulus clouds, days month<sup>-1</sup>  
 $\bar{F}(\text{Cu})$  - theoretical frequency of cumulus clouds, days month<sup>-1</sup>