

KLIMATSKI ODNOSI TEMPERATURE TLA I ZRAKA U HRVATSKOJ I NJIHOVA POVEZANOST S TURBULENTNIM FLUKSEVIMA TOPLINE

Climatic Relations of Ground and Air Temperatures in Croatia and Their Connection With Turbulent Heat Fluxes

NADA PLEŠKO

Republički hidrometeorološki zavod SR Hrvatske, Zagreb
Primljeno 8. srpnja 1987, u konačnom obliku 17. rujna 1987.

Sažetak: Teoretsko određivanje turbulentnog fluksa topline u prizemnom sloju atmosfere zahtijeva poznavanje temperature tla (t_w) i zraka (t). Budući da se u Hrvatskoj temperatura tla mjeri na manjem broju mjesta nego temperatura zraka, u radu je proučavan odnos temperature tla i zraka te su izrađene regresione jednadžbe $t_w = f(t)$ koje vrijede za razna klimatska područja u Hrvatskoj. Vrlo visoki koeficijenti korelacije ($r > 0.99$) i komparacija s drugim metodama pokazuju da se regresione jednadžbe mogu upotrebljavati s velikom pouzdanošću za izračunavanje srednjih mjesečnih temperatura tla na dubini 5 cm iz srednjih mjesečnih temperatura zraka mjerenih na visini 2 m iznad tla u termometrijskoj kućici. Najbolje jednadžbe regresije dobivaju se ako se unutrašnjost razdvoji na područje ispod i iznad 500 m NN, na prijelaznu zonu, i na obalu sa sjevernim srednjim i južnim Jadranom odvojeno, kao i na otoke. Temperatura tla, dobivena iz jednadžbe regresije, poslužila je za izračunavanje turbulentnih flukseva topline za razna klimatska područja Hrvatske.

Ključne riječi: klimatski odnosi, temperatura tla, temperatura zraka, jednadžba regresije, koeficijenti korelacije, turbulentni fluks topline.

Abstract: A theoretical determination of turbulent heat flux in the ground-floor atmospheric layer requires a knowledge of a ground temperature (t_w) along with an air temperature (t). As ground temperature in Croatia is measured at less locations than air temperature, the correlation studied in the article between ground and air temperatures and regression equations $t_w = f(t)$, valid for various climatic regions in Croatia, was elaborated. Very high correlation coefficients ($r > 0.99$) and comparison with other methods indicate that regression equations can be used with great confidence for the calculation of the mean monthly ground temperature at 5 cm depth on the base of mean monthly air temperature measured at 2 m above ground. The best regression equations are obtained if inland is divided on the part with heights up to 500 m ASL and part above it, transitional zone, and the coast with northern, middle and southern Adriatic separately, as well as the islands. Ground temperature, obtained from regression equations, was used for turbulent heat flux estimation in various climatic regions of Croatia.

Key words: climatic relations, ground temperature, air temperature, regression equations, correlation coefficients, turbulent heat fluxes.

1. UVOD

Potreba da se prouči odnos temperature tla i temperatura zraka u klimatskom smislu proistekla je iz dosadašnjeg proučavanja radijaciono-toplinske ravnoteže kao klimatske karakteristike Hrvatske. U sklopu te problematike određivane su i pojedine komponente toplinske ravnoteže (turbulentni fluks topline P , toplina utrošena na procese isparavanja LE i fluks topline u tlu B) u graničnom sloju tlo-atmosfera (Šinik i Pleško, 1976).

Turbulentni fluks topline u graničnom sloju tlo-atmosfera veoma je značajna komponenta za temperaturni režim tog sloja. Moguće ga je odrediti na dva načina.

Jedan je da se nakon određivanja drugih komponenata toplinske ravnoteže (LE i B), turbulentni fluks topline P odredi kao preostali član u jednadžbi radijaciono-toplinske ravnoteže, tj.

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

gdje je:

P = turbulentni fluks topline u graničnom sloju između tla i atmosfere,

R = neto fluks radijacije (razlika između globalnog sunčevog zračenja i dugovalne zemljine radijacije), koji se u graničnom sloju tlo-atmosfera transformira u toplinsku energiju pa je:

$$R = LE + B + P.$$

Ovim načinom određen P sadrži u sebi sve pogreške koje su mogle nastati u pojedinačnom određivanju bilo koje od komponenata u jednadžbi (1), zbog čega i nije previše preporučljivo takvo određivanje P .

Drugi način za određivanje turbulentnog fluksa topline P je opće poznati teoretski izraz

$$P = -\rho c_p k \frac{\partial \theta}{\partial z} \quad (2)$$

gdje je: ρ gustoća zraka ($\rho = 1.293 \cdot 10^{-3} \text{ kg m}^{-3}$ kod 0°C); c_p = specifična toplina zraka uz konstantan tlak ($c_p = 1004.83 \text{ J kg}^{-1} \text{ stup}^{-1}$); $\partial\theta/\partial z$ vertikalni gradijent potencijalne temperature; a k koeficijent turbulentne razmjene topline. Koeficijent k, kao što su pokazala eksperimentalna ispitivanja kod kojih su praćene promjene vjetera i temperature s visinom (Richardsonov kriterij), ima naglašen dnevni hod osobito nad kopnom, i znatnu promjenljivost s visinom. Zato se za izračunavanje turbulentnog fluksa topline u jednadžbi (2) uvodi integralni koeficijent turbulentne difuzije D u sloju od tla do visine z. Dobiva se integracijom jednadžbe (2) kroz sloj od tla do visine z, a kako se u blizini tla potencijalna temperatura može zamijeliti stvarnom temperaturom t, onda integracija jednadžbe (2):

$$P \frac{1}{k} = -\rho c_p \frac{\partial t}{\partial z} \int_0^z dz$$

daje:

$$P = \frac{1}{\int_0^z \frac{dz}{k}} [\rho \cdot c_p \cdot (t_w - t)], \quad (3)$$

odnosno:

$$P = D \cdot \rho \cdot c_p (t_w - t),$$

gdje je:

P = prosječni turbulentni fluks topline u pograničnom sloju, $\text{J m}^{-2} \text{ s}^{-1}$,

t_w = temperatura tla, $^\circ\text{C}$,

t = temperatura zraka, $^\circ\text{C}$,

$D = \frac{1}{\int_0^z \frac{dz}{k}}$ integralni koeficijent turbulentne difuzije u sloju od tla do visine z, ms^{-1} .

Obično se uzima da je vrijednost (D) nad kopnom $0.006-0.007 \text{ ms}^{-1}$, dok je nad vodenim površinama potrebno uzeti njegovu ovisnost o vjetru.

Kod izračunavanja P prema jednadžbi (3) problem međutim predstavlja temperatura tla t_w . Ona se mjeri na relativno malom broju mjesta, pa razni autori na razne načine rješavaju problem temperature tla.

U proučavanju radijaciono-toplinskih klimatskih prilika Hrvatske (Šinik, Pleško, 1976) turbulentni prijenos topline u graničnom sloju određivan je prema jednadžbi (1). Ruski klimatolog Budyko (1971) izradio je kompleksnu metodu za određivanje temperature aktivnog sloja tla t_w (sloj u tlu od kojeg se danju grije, a noću hladi prizemni granični sloj atmosfere, čija debljina uglavnom odgovara najčešćoj dubini korijenja u tlu) na dosta kompliciran način iz »higro-toplotnog« ravnotežnog stanja tla, što je detaljnije opisano u radu Šinik i Pleško (1976). B. Penzar (1969) vrijednosti temperature tla t_w za odgovarajuća mjesta, procjenjuje npr. iz karata izotermi (iz 5-god. razdoblja) za odgovarajući mjesec.

Pokazalo se međutim da za naše klimatske prilike, a pogotovo obalno područje, t_w određena pomoću Budykove metode daje pregrubu procjenu temperature aktivnog sloja tla, pa zato i pregrubu vrijednost turbulentnog fluksa topline.

Zato je cilj ovog rada prostorno ispitivanje klimatskih odnosa temperature tla i zraka na području Hrvatske, bazirano na mjerenim podacima tih dvaju elemenata i dobivanje odgovarajućih regresionih jednadžbi za t_w koje će vrije-

diti za glavna klimatska područja u Hrvatskoj. Pomoću njih će se izračunati i klimatske vrijednosti turbulentnih fluksa topline P.

2. STANICE I RAZDOBLJA

Za prostornu analizu odnosa temperature tla i zraka u smislu klime korišteni su u prvom redu objavljeni podaci o temperaturi tla iz razdoblja 1955-69. i 1953-58. (J. Vukov, 1961, I. Penzar, 1971), te podaci o temperaturi zraka iz razdoblja 1949-73. god. (na osnovi kojih je izračunavana radijaciono-toplinska ravnoteža u Hrvatskoj (Šinik i Pleško, 1976). Ovi stari nizovi korišteni su zbog mogućnosti komparacije s vrijednostima P već izračunatim prema jednadžbi (1) i prikazanim u radu Šinik i Pleško (1976). Klimatski odnos temperature tla i zraka dobiven na osnovi spomenutih razdoblja provjeren je također i na najnovijem nizu opažanja, 1974-85.

Analizom su obuhvaćene slijedeće stanice:

a) Unutrašnjost	H,m
1. Osijek	90
2. Križevci	153
3. Sisak	98
4. Gospić	566
5. Skrad	668
– Stara Sušica	742
Pošto se u Skradu ne mjeri temperatura tla, uzeti su podaci susjedne Stare Sušice.	
b) Prijelazno područje	
6. Sinj	298
c) Obalno područje	
7. Pula	30
– Fažana	16
8. Split Marjan	122
– Kaštel Stari	24
9. Dubrovnik	49
10. Hvar	20

Na obalnom području trebalo je kao parove s temperaturom zraka i tla uzeti Pulu i Fažanu, te Split Marjan i Kaštel Stari, jer se oba elementa ne mjere na istoj stanici.

Svi podaci o temperaturi tla odnose se na dubinu od 5 cm. Ta je dubina za proučavanje odnosa s temperaturom zraka uzeta iz dva razloga. Jedan je taj što je uloga najgornjeg sloja tla za turbulentni fluks topline od tla u atmosferu i obratno najznačajnija, a drugi što su to najčešće mjereni i publicirani podaci. Podaci o temperaturi zraka mjereni su na visini 2 m nad tlom u meteorološkoj kućici.

Budući da se kod starog niza ne radi o razdobljima s temperaturom tla i zraka sasvim iste duljine ispitano je koliko duljina razdoblja mijenja srednje mjesečne vrijednosti t_w . Zato je kompariran srednji godišnji hod temperature tla na dubini 5 cm iz 15 godišnjeg razdoblja (1955-69) sa 6 godišnjim razdobljem (1953-58) (J. Vukov, 1971, I. Penzar, 1971). Razlike između tih dvaju nizova različitih duljina iznose najčešće samo nekoliko desetinki $^\circ\text{C}$ u mjesečnim srednjacima, osim na južnom Jadranu, gdje je u ljetnim mjesecima kraće razdoblje (1953-58) bilo toplije za $1-2^\circ\text{C}$. Razlike, očito, nisu velike pa možemo prihvatiti period 1955-69. s temperaturama tla za traženje veze s temperaturama zraka iz nešto produženog razdoblja (1949-73). Osim toga, mjerenja temperature tla u Jugoslaviji, pa tako i Hrvatskoj, započela su tek 1951. godine, kada još i nema mjerenja na svim tim stanicama koje nas interesiraju.

3. VEZA TEMPERATURE TLA t_w NA DUBINI 5 cm i TEMPERATURE ZRAKA t NA VISINI 2 m IZNAD TLA U HRVATSKOJ

Područje unutrašnjosti i obale može se s obzirom na vezu

$$t = f(t_w)$$

podijeliti na više predjela gdje vrijede određene zakonitosti veza temperature tla na 5 cm i zraka na 2 m u klimatskom smislu. Kako je nama cilj da pomoću mjerenih temperatura zraka t odredimo očekivane vrijednosti temperature tla t_w za određeno područje, izrađene su veze:

$$t_w = g(t), \tag{4}$$

a) Unutrašnjost

Za cijelu unutrašnjost veze srednjih mjesečnih temperatura tla i zraka linearne su, vrlo slične, s veoma malim odstupanjima (sl. 1). Izrazimo li analitički vezu temperature tla i zraka za cijelu unutrašnjost Hrvatske zajednički na osnovi starog niza, dobiva se:

$$t_w = 0.75 + 1.0188 t \quad \text{uz } r = 0.99515, \tag{5}$$

gdje su t_w i t srednje mjesečne temperature tla i zraka ($^{\circ}\text{C}$), a r koeficijent linearne korelacije. Veza između ta dva elementa je izrazito dobra i pokazuje da je u kontinentalnom dijelu Hrvatske temperatura tla na dubini 5 cm u klimatskom smislu kroz cijelu godinu barem za 0.8°C viša od temperature zraka.

Jasno je da je temperatura zagrijanog tla ljeti viša od temperature zraka, no tlo je na dubini 5 cm u klimatskom

prosijeku toplije i zimi, kao što se vidi iz jednadžbe (5). Ovakav odnos za zimu začuđuje, jer nije u skladu s našom spoznajom da je pojava prizemnih inverzija temperature zraka klimatska karakteristika hladnijeg dijela godine u našim sjevernim krajevima, što ujedno znači da bi najgornji sloj tla trebao imati nižu temperaturu od zraka.

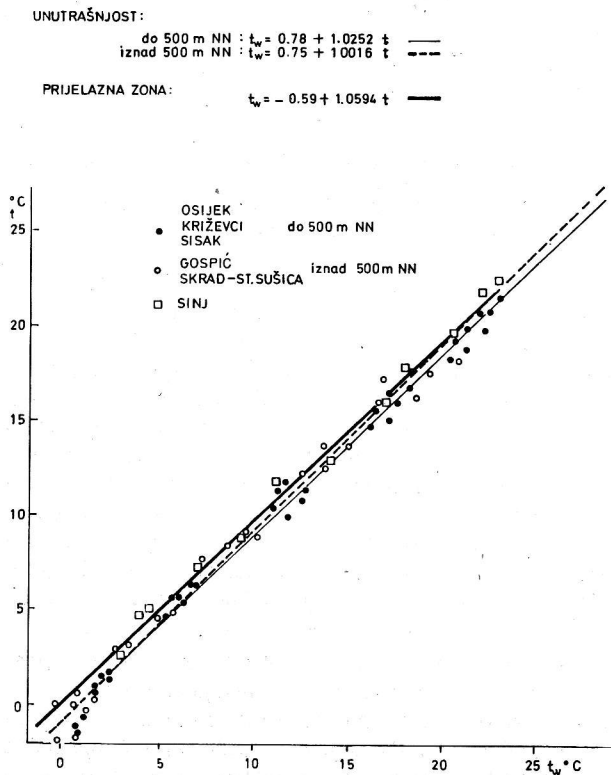
Razdvajanjem nižih područja u unutrašnjosti (do 500 m nadmorske visine) od planinskih dobivaju se za niže predjele još poboljšane procjene temperature tla ali i dalje s t_w veće od t kroz cijelu godinu. Prema tome, za niže predjele (Osijek, Križevci, Sisak) vrijedi:

$$t_w = 0.78 + 1.0252 t \quad \text{uz } r = 0.9965. \tag{6}$$

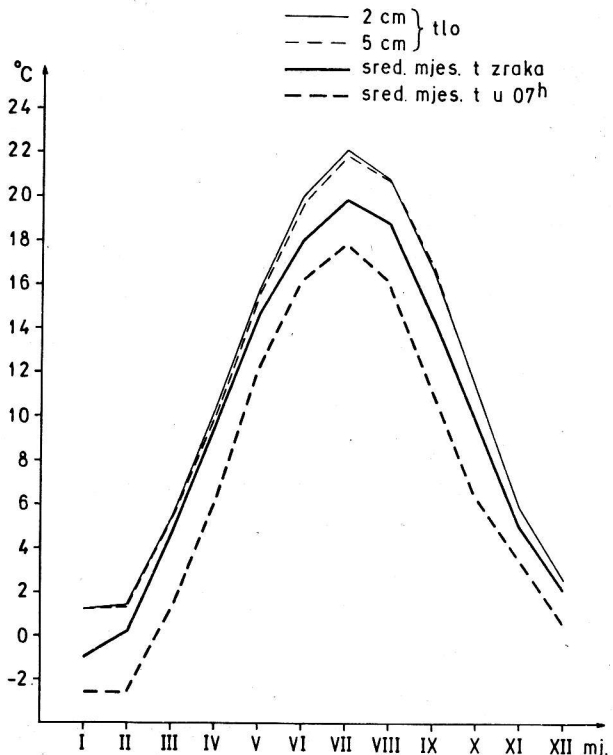
Za mjesta na većim nadmorskim visinama (iznad 500 m) može se koristiti veza dobivena za stanice Skrad – Stara Sušica i Gospić. Glasi:

$$t_w = 0.75 + 1.0016 t \quad \text{uz } r = 0.9927, \tag{7}$$

Prema tome, klimatski odnos srednjih mjesečnih temperatura zraka na visini 2 m (izračunatih iz mjerenja u 7, 14 i 21 h) i tla na dubini 5 cm (izračunatih također iz mjerenja u 7, 14 i 21 h) takav je da ne pokazuje postojanje zimskih prizemnih inverzija. To se dobro vidi i na prikazu mjerenih temperatura tla i zraka u Križevcima (Sl. 2). Čak niti u 7 h u prosjeku ne postoji temperaturna inverzija. Advekcija hladnog zraka očito ima u unutrašnjosti Hrvatske, u hladnijem dijelu godine, snažniji utjecaj na prosječnu dnevnu temperaturu zraka u uskom prizemnom sloju (računatu iz mjerenja u 7, 14 i 21 h) od radijacijskih efekata, pa to pokazuju i jednadžbe (6) i (7).



Sl. 1. Odnos temperatura tla (t_w) i zraka (t) u unutrašnjosti i prijelaznoj zoni Hrvatske
Fig. 1. A relation of ground temperatures (t_w) to air temperatures (t) in the inland and transitional zone of Croatia



Sl. 2. Srednje mjesečne temperature tla i zraka, Križevci, 1955-60.
Fig. 2. Mean monthly ground and air temperatures, Križevci, 1955-60.

Tabela 1. Srednje mjesečne temperature zraka u 01 h u Zagreb-Maksimiru na stanici ($H_s = 128$ m) i 50 m iznad tla, razdoblje 1972-81.
Table 1. Mean monthly air temperatures at 01 MET in Zagreb-Maksimir – at station level ($H = 128$ m) and 50 m above ground, period 1972-81.

Vis.	Mjesec											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
128 m	-0.7	1.5	4.6	7.2	11.6	15.2	16.2	16.0	13.0	8.2	3.8	0.4
178 m	0.1	2.6	6.6	9.0	13.8	17.9	18.4	18.3	14.9	9.7	4.9	1.4
(178-128)	0.8	1.1	2.0	1.8	2.2	2.7	2.2	2.3	1.9	1.5	1.1	1.0

Radijacijski efekti, treba naglasiti, dominantni su u unutrašnjosti u noćnim satima, pa inverzije jesu klimatska karakteristika prizemnog sloja noću, kao što pokazuju prosječni 10-god. radiosondažni podaci Zagreb – Maksimira za prizemni sloj debljine 50 m u 01 h (tab. 1). Noćni sati međutim ne ulaze u izračunavanje srednjih dnevnih temperatura.

Iz jednadžbi (6) i (7) vidi se da što je temperatura zraka viša, dakle ljeti, i razlike između temperatura tla i zraka su veće. No prema višegodišnjim mjesečnim prosjecima temperature zraka iz razdoblja 1949-73, te razlike u unutrašnjosti (srpanj) ne prelaze 2.5°C (tab. 2). Naravno, pojedinih dana ili u različitim dijelovima dana situacija se može znatno razlikovati od ove klimatske slike odnosa temperature tla i zraka, pa može biti i obrnuta.

b) Prijelazna zona

Odnos temperature tla i zraka u prijelaznoj zoni između unutrašnjosti i obale ispitan je na podacima Sinja (sl. 1). Dobivena je veza:

$$t_w = -0.59 + 1.0549 t \quad \text{uz } r = 0.9988, \quad (8)$$

koja već poprima karakteristike odnosa u obalnom području. U hladnijem dijelu godine (tab. 2), od studenog do ožujka, prosječne mjesečne temperature tla na dubini 5 cm (teoretske) nekoliko su desetinki $^{\circ}\text{C}$ niže od temperature zraka, dok su u toplom dijelu godine nekoliko desetinki $^{\circ}\text{C}$ više od temperatura zraka. Zimi se tlo ohladi jače nego zrak, koji prima toplinu od mora, ljeti pak more u tom prijelaznom području snižava temperaturu zraka. Utjecaj mora, očito, već je dobro izražen u režimu temperature zraka na tom prijelaznom području.

c) Obalno područje

Promatrajući obalno područje u cjelini dobiva se odnos:

$$t_w = -2.48 + 1.1762 t \quad \text{uz } r = 0.9868, \quad (9)$$

Diobom na sjeverni, srednji i južni Jadran te posebno otoke veze se poboljšavaju, pa imamo za:

– Sjeverni Jadran (Pula – Fažana):

$$t_w = -1.43 + 1.1962 t \quad \text{uz } r = 0.9966, \quad (10)$$

– Srednji Jadran (Split – Marjan – Kaštel Stari):

$$t_w = -3.07 + 1.1772 t \quad \text{uz } r = 0.9967, \quad (11)$$

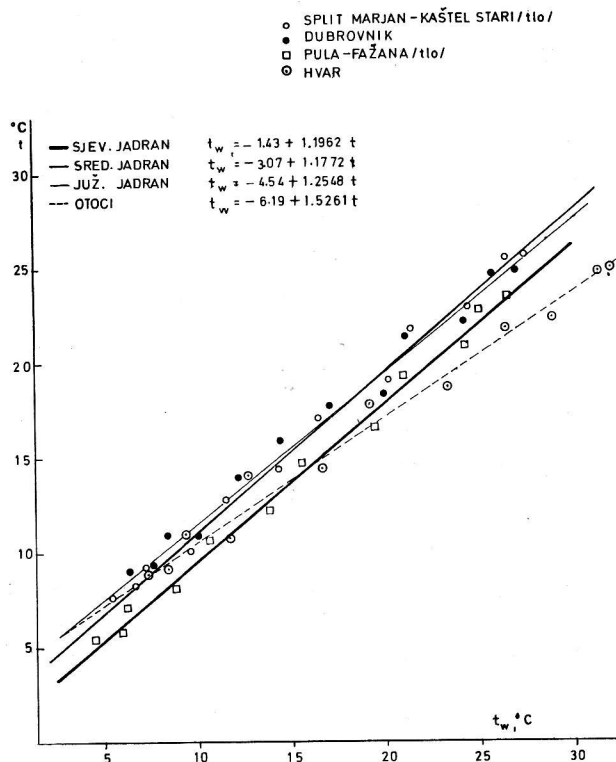
– Južni Jadran (Dubrovnik):

$$t_w = -4.54 + 1.2548 t \quad \text{uz } r = 0.9926, \quad (12)$$

– Otoci (Hvar):

$$t_w = -6.19 + 1.5261 t \quad \text{uz } r = 0.9914. \quad (13)$$

Obalno područje ima drugačiji odnos temperature tla i zraka od onog u unutrašnjosti, gdje su temperature tla u mjesečnim prosjecima tokom cijele godine više (najviše do 1.3°C) od temperature zraka. Ovdje se odnos mijenja tokom godine, a i razlike između pojedinih dijelova obalnog područja veće su nego što su razlike između različitih dijelova unutrašnjosti (sl. 1 i sl. 3).



Sl. 3. Odnos temperatura tla (t_w) i zraka (t) na obalnom području Hrvatske
Fig. 3. A relation of ground temperatures (t_w) to air temperatures (t) in the coastal zone of Croatia

Na cijelom obalnom području u hladnijem dijelu godine kao klimatska karakteristika javlja se temperatura tla niža od temperature zraka (tab. 2) u čemu se očituje utjecaj mora. More, zimi toplije od kopna, predaje svoju toplinu okolnom zraku i dovodi do toga da su temperature zraka više od temperature tla, koje se nezaštićeno snježnim pokrivačem može jače ohladiti. Idući od sjevera Jadrana prema jugu, srednje mjesečne razlike između temperature tla i zraka postaju sve veće. Najveće razlike u zagrijanosti tla i zraka u zimskom razdoblju nastaju u siječnju kada je zrak na jugu Jadrana maksimalno topliji za 2.5°C (Dubrovnik). Ljeti je na obalnom području kao i u unutrašnjosti tlo na dubini 5 cm toplije od zraka za oko $2-3^{\circ}\text{C}$ (srpanj).

Međutim na otocima je, sudeći po Hvaru, prosječna mjesečna razlika u temperaturi tla i zraka još veća. Ona se na Hvaru penje u srpnju i na 7°C , kada se pod direktnim sunčevim zrakama tlo jako zagrije, ali je utjecaj zračenja malog kopna na temperaturu zraka malen u odnosu na veliki ohlađujući utjecaj okružavajućeg mora, pa tako nastaju povećane razlike u temperaturi tla i zraka.

Unatoč spomenutim mogućim uzrocima velikih razlika u temperaturi tla i zraka na otočnom području izgleda da su temperature tla za Hvar nerealno visoke. I. Penzar (1971)

Tabela 2. Temperature zraka (t) – mjerene i temperature tla (t_w) mjerene i procijenjene u Hrvatskoj

t – mjereno, razdoblje 1955-69.

 $t_w - m$, mjereno – razdoblje 1955-69. $t_w - t$, teoretsko – računato prema jednadžbi (6) – (12) $t_w - B$, računato po BudikuTable 2. Air temperatures (t) – observed and ground temperatures (t_w) – measured and estimated in Croatia

t – observed, period 1949-73.

 $t_w - m$, measured – period 1955-69. $t_w - t$, theoretical – calculated according to eq. (6) – (13) $t_w - B$, estimated according to Budyko

MJESEC	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
OSIJEK												
t	-1.2	1.5	5.7	11.9	16.5	20.1	21.7	20.9	16.8	11.4	6.4	1.6
$t_w - m$	0.6	1.9	5.7	11.6	17.0	21.3	23.0	21.8	18.1	12.6	6.7	2.3
$t_w - t$	-0.4	2.3	6.6	13.0	17.7	21.4	23.0	22.2	18.0	12.5	7.3	2.4
$t_w - B$	-2.0	1.1	6.1	13.5	19.3	23.0	25.1	23.5	18.6	12.2	6.2	1.0
KRIŽEVCI												
t	-1.4	0.7	4.8	10.4	14.8	18.4	19.9	18.9	15.1	9.9	5.4	1.0
$t_w - m$	0.7	1.6	5.3	11.0	16.1	20.3	22.2	21.2	17.1	11.7	6.2	1.6
$t_w - t$	-0.6	1.5	5.7	11.4	16.0	19.6	21.2	20.2	16.3	10.9	6.3	1.8
$t_w - B$	-2.2	0.2	5.3	12.0	17.9	21.5	23.7	22.0	17.2	10.8	5.0	0.2
SISAK												
t	-0.6	1.7	5.7	11.4	15.6	19.3	20.9	20.0	16.0	10.8	6.3	1.3
$t_w - m$	1.0	2.2	5.8	11.2	16.4	20.5	22.4	21.1	17.5	12.4	6.9	2.3
$t_w - t$	0.2	2.5	6.6	12.5	16.8	20.6	22.2	21.3	17.2	11.9	7.2	2.1
$t_w - B$	-1.5	0.9	6.0	12.5	18.2	22.0	24.4	22.8	18.0	11.6	5.8	0.6
GOSPIĆ												
t	-1.8	-0.4	3.2	8.4	12.7	16.4	18.2	17.6	13.7	8.9	4.9	0.3
$t_w - m$	0.5	1.1	3.4	8.5	13.8	18.5	20.7	19.2	14.9	10.2	5.6	1.6
$t_w - t$	-1.0	0.4	4.0	9.2	13.5	17.2	19.0	18.4	14.5	9.7	5.7	1.0
$t_w - B$	-2.5	-0.7	3.9	10.2	15.7	19.7	22.1	20.4	15.8	9.7	4.5	-0.3
SKRAD												
t	-1.8	0.0	2.9	7.7	12.3	16.0	17.8	17.3	13.8	9.2	4.6	0.6
$t_w - m$	-0.4	0.5	2.7	7.2	12.5	16.6	18.2	16.8	13.7	9.5	4.9	0.7
$t_w - t$	-1.0	0.8	3.7	8.5	13.1	16.8	18.6	18.1	14.6	10.0	5.4	1.4
$t_w - B$	-2.5	-0.4	3.9	10.2	16.2	20.6	22.6	20.8	16.3	10.2	4.2	-0.3
SINJ												
t	3.5	4.6	7.2	11.5	16.0	19.7	22.4	21.8	17.8	12.9	8.7	4.9
$t_w - m$	2.9	3.9	7.0	11.1	16.6	20.4	22.8	22.0	18.0	13.9	9.2	4.4
$t_w - t$	3.1	4.3	7.0	11.5	16.3	20.2	23.0	22.4	18.2	13.0	8.6	4.6
$t_w - B$	1.8	3.4	7.4	12.9	18.5	22.3	24.6	22.8	18.8	13.0	7.8	3.5
PULA												
t	5.3	5.8	8.0	12.1	16.6	20.8	23.4	22.7	19.2	14.6	10.6	7.0
$t_w - m$	4.6	5.8	8.8	13.8	19.4	24.2	26.5	25.0	21.0	15.6	10.6	6.2
$t_w - t$	4.9	5.5	8.1	13.0	18.4	23.4	26.6	25.7	21.5	16.0	11.2	6.9
$t_w - B$	4.5	5.8	9.5	14.7	20.4	24.4	26.7	25.2	20.8	15.1	10.0	6.0
SPLIT-MARJAN												
t	7.6	8.2	10.0	14.3	18.9	22.9	25.6	25.4	21.6	17.0	12.7	9.1
$t_w - m$	5.4	6.7	9.6	14.3	20.1	24.4	27.4	26.4	21.3	16.4	11.5	7.2
$t_w - t$	5.9	6.6	8.7	13.8	19.2	23.9	27.1	26.8	22.4	16.9	11.9	7.6
$t_w - B$	5.9	7.2	10.9	15.8	20.9	24.6	26.1	24.9	21.2	16.1	11.2	7.2
DUBROVNIK												
t	8.9	9.2	10.8	15.8	18.2	22.1	24.7	24.6	21.3	17.6	13.9	10.9
$t_w - m$	6.4	7.6	10.0	14.4	19.9	24.2	27.0	25.7	21.1	17.0	12.3	8.4
$t_w - t$	6.6	7.0	9.0	15.3	18.3	23.2	26.5	26.3	22.2	17.5	12.9	9.1
$t_w - B$	7.0	8.3	11.7	16.8	21.6	25.5	27.7	26.1	22.1	16.8	12.3	8.9
HVAR												
t	8.9	9.1	10.7	14.3	18.6	22.3	24.9	24.7	21.7	17.7	13.9	10.8
$t_w - m$	7.3	8.4	11.7	16.7	23.3	28.9	32.0	31.4	26.4	19.2	12.6	9.4
$t_w - t$	7.4	7.7	10.1	15.6	22.2	27.8	31.8	31.5	26.9	20.8	15.0	10.3
$t_w - B$	7.3	8.5	11.7	16.6	22.0	25.7	27.9	26.6	22.5	17.3	12.7	8.9

kaže: »U Hvaru je temperatura tla znatno viša nego u susjednom kopnu, i to s razloga što su geotermometri smješteni na umjetnoj terasi jednog obronka usječenoj u kamenu«.

Prema tome, razlike između temperatura tla i zraka na otocima realno su vjerojatno manje nego za Hvar. Osim toga treba spomenuti da smo za Hvar raspolagali s temperaturama tla samo za 6 god. razdoblje (I. Penzar, 1971), za koje je u uvodnom dijelu pokazano da je u ljetnim mjesecima bilo za 1-2°C toplije od perioda 1955-69, kojeg smo imali za sve ostale stanice, pa je i to razlog tako velikih vrijednosti $\Delta t = t_w - t$ za Hvar.

Regresione jednadžbe $t_w = f(t)$ izračunate su i za novo razdoblje (1979-85) za sve one stanice koje su nastavile s mjerenjima temperature tla na dubini 5 cm. Komparacija regresionih jednadžbi za staro (6) – (13) i novo (14) – (17) razdoblje pokazuje da one zadržavaju iste karakteristike i da se jednadžbe (6) – (13) dobivene na osnovi starog razdoblja mogu koristiti za praktično izračunavanje temperature tla iz temperature zraka.

Regresione jednadžbe $t_w = f(t)$ iz novog razdoblja glase:

– unutrašnjost do 500 m NN:

$$t_w = 0.14 + 1.1084 t \quad r = 0.9977, \quad (14)$$

– unutrašnjost iznad 500 m NN:

$$t_w = 0.22 + 1.0714 t \quad r = 0.9907, \quad (15)$$

– prijelazna zona:

$$t_w = -1.47 + 1.1813 t \quad r = 0.9975, \quad (16)$$

– južni Jadran:

$$t_w = -5.03 + 1.2832 t \quad r = 0.9885. \quad (17)$$

Predpostavljamo da i za sjeverni i srednji Jadran, gdje su reprezentativne stanice prestale s mjerenjem t_w na dubini 5 cm u novijem razdoblju, vrijede stare regresione jednadžbe, kao što vrijede i za ostala proučavana područja.

4. KOMPARACIJA TEMPERATURA TLA PROCIJENJENIH IZ VEZE $t_w = f(t)$ I PREMA BUDYKU

Komparacija vrijednosti temperature tla dobivene prema jednadžbama (6) – (13) s onima koje daje Budykova metoda (tab. 2) pokazuje da su u unutrašnjosti u hladnom dijelu godine temperature tla po Budyku niže, a u toplom više od onih koje daju jednadžbe. To je i shvatljivo budući da je Budykova empirijska metoda (nomogram) nastala na geografskom području s izraženijom kontinentalnošću.

Tabela 3. Turbulentni fluks topline P ($\text{MJ m}^{-2}\text{mj}^{-1}$) u Hrvatskoj prema jednadžbama (3) i (6) – (13), i prema Budyku
Table 3. Turbulent heat flux ($\text{MJ m}^{-2}\text{month}^{-1}$) in Croatia according to eq. (3) and (6) – (13), and according to Budyko

MJESEC	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
OSIJEK												
P-t	18.00	16.33	20.52	24.28	27.21	28.47	29.31	29.31	26.37	24.70	19.68	18.00
P-B	-18.00	-8.37	9.21	35.17	63.22	63.64	77.04	58.62	39.36	18.00	17.58	-13.40
KRIŽEVCI												
P-t	18.00	16.33	20.52	21.77	27.21	26.38	29.31	29.31	26.38	22.61	19.68	18.00
P-B	-18.00	-10.47	11.30	35.17	69.92	67.83	85.83	69.92	46.05	20.10	-8.79	-18.00
SISAK												
P-t	18.00	16.33	20.52	24.28	27.21	28.47	29.31	29.31	26.38	24.70	19.68	18.00
P-B	-20.52	-16.33	6.70	24.28	58.62	59.03	79.13	63.22	21.77	18.00	-10.89	-15.91
GOSPIĆ												
P-t	18.00	16.33	18.00	17.58	18.00	17.58	18.00	18.00	17.58	18.00	17.58	15.91
P-B	-15.91	-6.28	15.91	39.36	67.83	72.43	88.34	63.22	46.05	18.00	-8.79	-13.40
SKRAD												
P-t	18.00	16.32	18.00	17.58	18.00	17.58	18.00	18.00	17.58	18.00	17.58	18.00
P-B	-15.91	-8.37	22.61	54.85	88.34	92.11	108.44	79.13	54.85	22.61	-8.79	-20.52
SINJ												
P-t	-9.21	-6.28	-4.61	0.00	6.70	15.49	13.40	13.40	8.79	2.09	-2.09	-6.70
P-B	-38.52	-24.70	4.61	30.56	56.52	56.94	49.82	22.61	21.77	2.09	-19.68	-31.82
PULA												
P-t	-9.21	-6.28	2.09	19.68	40.61	56.94	72.43	67.82	50.24	31.82	12.98	-2.09
P-B	-18.00	0	33.91	56.94	85.82	78.71	74.52	56.52	35.17	11.30	-12.98	-22.61
SPLIT-MARJAN												
P-t	-38.52	-33.08	-29.31	-10.89	6.70	21.77	33.91	31.82	17.58	-2.09	-17.58	-33.91
P-B	-38.52	-20.52	20.52	32.68	45.22	43.96	15.91	-11.30	-8.79	-20.52	-32.66	-42.71
DUBROVNIK												
P-t	-51.92	-45.64	-40.61	-6.70	2.09	24.28	40.61	38.52	19.68	-2.09	-21.77	-40.61
P-B	-43.12	-18.42	38.52	21.77	77.04	74.53	67.83	33.91	17.58	-4.61	-35.17	-45.22
HVAR												
P-t	-36.01	-14.24	22.61	52.34	106.34	144.44	160.77	151.56	103.83	33.91	-28.47	-31.82
P-B	-36.01	-12.56	22.61	50.24	77.04	74.53	67.83	43.12	17.58	-9.21	-26.38	-43.12

Na obalnom području su uglavnom u prvoj polovini godine temperature tla po Budyku više, a u drugoj niže od procjena po jednadžbama (6) – (13). Takve neobjašnjive razlike ukazuju upravo na neadekvatnost ove metode za naše obalno područje.

Smatramo stoga da je korištenje jednadžbi (6) – (13) preporučljivije za izračunavanje realne temperature tla za naše krajeve nego Budykova metoda.

5. KOMPARACIJA TURBULENTNIH FLUKSEVA TOPLINE

Turbulentni fluksevi topline (tab. 3) izračunati prema jednadžbi (3) i našim t_w ne pokazuju takve izrazite kontinentalne karakteristike (u toplom dijelu godine fluks of tla u atmosferu, a zimi obrnuto) za unutrašnjost Hrvatske kao oni izračunati prema Budyku. Izgleda da zbog toplijeg tla i hladnijeg prizemnog sloja atmosfere u dnevnom prosjeku, na što je ukazalo proučavanje odnosa t_w i t , u našoj unutrašnjosti postoji i zimi turbulentni prijenos topline od tla u atmosferu. No on bi vjerojatno bio manji kad bi se u izračunavanje dnevnih prosjeka temperature uključili i noćni termini u kojima postoje inverzije temperature.

Za obalno područje, iz razloga već spominjanih kod komparacije t_w , smatramo da su turbulentni fluksevi $P - t$ bliži realnosti nego Budykovi. Jedino su za Hvar $P - t$ ljeti previsoki zbog nerealno visokih temperatura tla.

6. ZAKLJUČAK

Srednje mjesečne temperature površinskog sloja tla i prizemnog sloja zraka stoje u veoma značajnoj i uskoj linearnoj vezi na području cijele Hrvatske, iako se radi o različitim vrstama tla s različitim biljnim pokrovom u neposrednoj blizini. Zato se mjesečne temperature površinskog sloja tla (dubine 5 cm) najaktivnijeg u razmjeni topline s prizemnim slojem atmosfere izračunate pomoću jednadžbi (6) – (13) mogu koristiti za razna istraživanja u smislu klime. Naravno, odnosi temperature tla i zraka pojedinih dana mogu biti i drugačiji.

U konkretnom slučaju na istraživanju toplinske ravnoteže graničnog sloja tlo – atmosfera, odnosi (6) – (13) omogućili su da se turbulentni fluks topline P za Hrvatsku odredi prema teoretskoj jednadžbi (3).

LITERATURA

- Budyko, M. I. (1971): *Klimat i žizn'*, Leningrad
 Penzar B. (1969): *Mehanizam opće cirkulacije atmosfere ljeti nad Jugoslavijom*, disertacija, Zagreb, str. 101-105
 Penzar I. (1971.): *Neke karakteristike temperature tla u Jugoslaviji*, Dokumentacija za tehnologiju i tehniku u poljoprivredi, sv. 7-7, str. 1-23.
 Šinik, N. i Pleško, N. (1976): *Energetska ravnoteža prizemnog sloja atmosfera – tlo u Hrvatskoj*, Rasprave i prikazi RHMZ SRH, br. 12, str. 88.
 Vukov, J. (1971): *Temperatura tla u Hrvatskoj*, Agronomski glasnik 7-8, str. 411-446.

SUMMARY

A difference between ground and air temperatures in the ground-floor layer is the originator of turbulent heat fluxes in the atmosphere. Therefore for theoretical determination of turbulent heat flux climatic values it is necessary to know monthly mean temperature values in an active ground layer (t_w) and air temperature near the ground (t). As ground temperature in Croatia is measured routinely at less locations than air temperature, in the article relations were studied between ground temperatures at 5 cm depth and air temperatures at 2 m height. An intention was to get regression equations $t_w = f(t)$ for various climatic regions which would enable us to calculate the mean monthly ground temperatures at 5 cm depth on the basis of the mean monthly air temperatures at 2 m height with significant confidence.

The study revealed linear and high significant relations between mean monthly ground and air temperatures (correlation coefficients $r > 0.99$) if Croatia is divided into smaller climatic regions. The highest correlation coefficients are obtained if Croatia is separated into the inland area with a part up to 500 m ASL height and above it, a transitional zone between the interior and coast, and the coast with the northern, middle and southern Adriatic as well as the Adriatic islands.

Corresponding regression equations are:

1. inland
 - up to 500 m ASL $t_w = 0.78 + 1.0252 t$ $r = 0.9965$
 - above 500 m ASL $t_w = 0.75 + 1.0016 t$ $r = 0.9927$
2. transitional zone
 - $t_w = -0.59 + 1.0549 t$ $r = 0.9988$
3. coast
 - northern Adriatic
 - $t_w = -1.43 + 1.1962 t$ $r = 0.9966$
 - middle Adriatic
 - $t_w = -3.07 + 1.1772 t$ $r = 0.9966$
 - southern Adriatic
 - $t_w = -4.54 + 1.2548 t$ $r = 0.9926$
5. islands
 - $t_w = -6.19 + 1.5261 t$ $r = 0.9914$

A relation for islands obtained on the base of Hvar's ground temperatures, in spite of the high correlation coefficient, is less reliable because of inadequate location for ground temperature measurement at Hvar. The consequence is a somewhat too high ground temperature at Hvar reflected in eq. for the islands as well. All other regression equations give a good mean monthly ground temperature estimation for 5 cm depth, valid in the climatic sense only. Daily relationships between ground and air temperatures, of course, could be significantly different.

Finally, the mean monthly turbulent heat fluxes were calculated by means of eq. (3) and eqs. (6) – (13) for various climatic regions in Croatia and compared with turbulent heat fluxes estimated by Budyko's method.