

KARAKTERISTIKE TEMPERATURA TLA U HRVATSKOJ

Soil temperature characteristics in Croatia

DRAŽEN KAUČIĆ, dipl. inž.

Republički hidrometeorološki zavod SR Hrvatska – Zagreb
Primljeno 6. lipnja 1989, u konačnom obliku 14. srpnja 1989.

Sažetak: Prikazana je prostorna raspodjela temperatura tla na 5, 20 i 30 cm dubine prema podacima sa 18 stanica u Hrvatskoj koje su raspoređene u tri područja: istočno i zapadno kontinentalno područje te Primorje. Analiza sadrži godišnji hod srednjih mjesečnih temperatura za period 1951–1975, a rezultati su uspoređeni s analizama Penzara (1978) za period 1953–1958. Pokazuje se da su bitna obilježja temperature tla i njezine prostorne raspodjele ostala ista, ali postoje razlike u pojedinim područjima i mjesecima. Posebno se ističu razlike temperature zraka i tla, jer je u kontinentalnim krajevima temperatura tla u dubini od 5 cm uvijek viša od temperature zraka na 2 m visine, dok je na Primorju tlo hladnije u zimskom razdoblju od studenog do veljače. Na većim dubinama je hod razlika temperature obrnut, ali su amplitude manje.

Ključne riječi: Temperatura tla, temperatura zraka, prostorna raspodjela

Abstract: Spatial distribution of soil temperature at 5, 20 and 30 cm depths is presented on the basis of 18 stations in Croatia which represent three regions: eastern and western continental regions and the coastal Adriatic area. The analysis contains an annual course of mean monthly temperatures for the period 1951 – 1975, and the results are compared with the analysis by Penzar (1978) for the period 1953–1958. It is shown that the basic characteristics and their distributions do not change essentially, but there are differences in particular regions and months. Differences are particularly stressed between temperature gradients of air – ground, since in the continental regions soil temperature at 5 cm is always higher than the air temperature at 2 m height, whereas on the Adriatic the soil is cooler in the winter season from November to February. In higher depths the course of temperature differences is reversed, but the amplitudes are smaller.

Key words: soil temperature, air temperature, spatial distribution

1. UVOD

Toplina tla ima posebnu važnost za rješavanje mnogih teorijskih i praktičnih problema u agrometeorologiji. Procesi pedogeneze, svi fizikalno-kemijski, biokemijski i biološki procesi ne bi bili mogući bez topline. Toplina tla utječe na energiju klijanja, nicanja, zriobu, morfologiju biljke, na reproduktivnu aktivnost, broj mikroorganizama, aminofikaciju, na kretanje vlage u tlu, aeraciju itd.

Energija sunčevog zračenja što je apsorbira tlo, pretvara se u toplotnu energiju, kojom se površinski slojevi tla griju, dok se dugovalnim zračenjem tlo hladi.

Provođenje topline molekularnom provodljivošću ili uslijed radiacione i konvektivne toplotne razmjene vrši se tako što se dio topline iz površine provodi u susjedni dublji sloj. Provođenje traje sve dotle dok se ne uspostavi toplinska ravnoteža među slojevima.

Dublji slojevi bit će sve kasnije zagrijani u odnosu na pliće slojeve. Temperaturne razlike između plićih i dubljih slojeva bit će sve veće, dok se kolebanja temperature unutar slojeva smanjuju s dubinom.

Srednje kolebanje temperatura u vlažnom tlu je manje

od kolebanja u suhom tlu, te je i izmjena topline među slojevima vlažnog tla manja.

Obrada i gnojidba, kao osnovni zahvati, danas se vrše na različite načine, do različitih dubina i u različitim omjerima, a da se još uvijek prethodno ne poznaju temperaturne prilike dotičnog tipa tla.

Dosadašnji radovi u kojima se opisuju temperaturne prilike tla u Hrvatskoj temeljeni su na nizovima mjerenja 1953–58. ili 1955–69. g. a odnose se na osnovne zakonitosti temperatura tla, te samo u nekim segmentima skreću pažnju na ekstremne vrijednosti srednjih mjesečnih temperatura tla u najtoplijem i najhladnijem dijelu godine, kao i na razlike između temperatura zraka i tla.

U ovom se radu razmatraju podaci mjerenja temperatura tla u razdoblju 1951–1975. sa 18 stanica u Hrvatskoj na dubinama 5, 20 i 30 cm. Ovako dugi niz mjerenja od 25 godina bez sumnje predstavlja dobru osnovu za izvođenje zaključaka o temperaturnim prilikama posebno zapadnog, istočnog, te primorskog dijela Hrvatske, kao i provjeru prethodnih spoznaja na osnovi kraćih nizova podataka.

Popis stanica koje reprezentiraju pojedina područja dan je u tabeli 1–3.

Cilj je ovoga rada da detaljnije prikaže godišnji hod temperature tla na osnovi srednjih mjesečnih vrijednosti, kao i razlike temperatura zraka i tla, a što će kasnije poslužiti za istraživanja periodičnosti temperatura tla i njihovih promjena u nekom vremenskom intervalu.

2. DOSADAŠNJE SPOZNAJE TEMPERATURNIH PRILIKA U TLIMA HRVATSKE

Temperaturne prilike tla u Hrvatskoj nalazimo opisane u nekoliko radova.

Prvu analizu temperature tla na različitim dubinama za stanicu Križevci dali su Maksić i dr. (1962), ali se ona odnosi na relativno kratki period (1952–57). Oni su pokazali da su temperature tla tokom cijele godine u srednjaku pozitivne s minimalnim vrijednostima u siječnju, a maksimalnim u srpnju.

Penzar (1971, 1978) je na osnovi srednjih godišnjih temperatura tla teritorij Jugoslavije podijelio na četiri područja od kojih se na Hrvatsku odnose dva područja: obalni pojas s otocima i nizinski dio unutrašnjosti, što predstavlja naše najžitorodnije krajeve.

Analiza općenito pokazuje kako s porastom dubine temperature u toplom dijelu godine (od III. do IX. mjeseca) opadaju pa se toplina prenosi s površine tla u dubinu, što je naročito intenzivno u razdoblju V – VII. mjesec. U hladnom dijelu godine (X. do II. mjesec) su dublji slojevi topliji pa se toplina dovodi iz dubine na površinu. To je prenošenje intenzivnije u XI. i XII. mjesecu jer u I. i II. snježni pokrivač sprečava ohlađivanje tla. S obzirom na to da na većim dubinama nastup ekstrema kasni, maksimalne srednje mjesečne temperature se na 2 cm javljaju u VII, a na 50 cm u VIII. mjesecu. Srednje godišnje amplitude opadaju na većim dubinama, a vertikalni gradijenti srednjih mjesečnih temperatura su pozitivni i pravilno opadaju u toplom dijelu godine (III – IX), dok su u hladnom dijelu godine negativni s ekstremima u XI mjesecu.

Penzar proučava temperaturne odnose u tlima na dva načina: 1. promatra se temperaturna razdioba na određenoj dubini na većem području i 2. prate se promjene temperature s dubinom na istoj stanici. Takav pristup je i u ovom radu, a s obzirom na to da se radi o različitim periodima, osvrnut ćemo se i na to pitanje, odnosno reprezentativnost jednog kraćeg razdoblja u pogledu srednjeg godišnjeg hoda temperature tla i ekstremnih vrijednosti. Vrlo je vjerojatno a priori da će se ekstremi razlikovati dok će karakteristike godišnjeg hoda zadržati svoja glavna obilježja.

Vukov (1971) također obrađuje temperature tla u Hrvatskoj uz prikaz godišnjih kolebanja na 2, 5, 20, 30, 50 i 100 cm, te između ostalog zaključuje kako su temperature tla na 2 cm u kontinentalnom dijelu Hrvatske više od temperatura zraka samo od V. do XII, dok su temperature na 5 cm tokom cijele godine više od temperatura zraka.

Pleško (1987) je proučavala klimatske odnose temperature tla t_w i zraka t te izradila regresione jednadžbe $t_w = f(t)$ za različita područja u Hrvatskoj. Ovaj rad se veže na ranija proučavanja radijaciono-toplinske ravnoteže kao klimatske karakteristike Hrvatske (Šinik i Pleško,

1976). Pleško je koristila 15 godišnji niz temperature tla na 5 cm (1955–69) i uspoređujući srednje mjesečne vrijednosti sa 6 godišnjim razdobljem Penzara i Vukova ustanovila male razlike, osim na južnom Jadranu gdje je u ljetnim mjesecima razdoblje 1953–58. bilo toplije za 1–2 C. To ćemo potvrditi i u ovome radu.

3. GODIŠNJI HOD TEMPERATURA TLA

3.1. Razdioba temperatura tla na dubini 5, 20 i 30 cm

Godišnji hodovi temperature tla na 5, 20 i 30 cm prikazani su u Tabelama 1–3.

Na dubini od 5 cm (Tabela 1) najveće srednje mjesečne temperature tla su na svim promatranim lokacijama u srpnju, a kreću se od 21.8°C u Sl. Požegi i Bjelovaru do 27.4 °C u Zadru i Rabu. Najniže vrijednosti su na toj dubini u siječnju, a kreću se od 0.1 °C u Zagrebu do 6.5 °C u Dubrovniku.

Razlika srednjih mjesečnih temperatura tla između istočnih i zapadnih krajeva, te primorskih i kontinentalnih je nešto veća u siječnju nego u srpnju. Zapadni krajevi imaju u prosjeku za 0.2 °C nižu temperaturu od istočnih u siječnju, a 0.1 °C u srpnju. Kontinentalni krajevi su u siječnju hladniji od primorskih za 0.5 °C, a u srpnju za 0.4 °C.

Na 20 cm dubine (Tabela 2) najviše srednje mjesečne temperature dolaze uglavnom još uvijek u srpnju, izuzev u Sl. Brodu. Kako se vrijednosti kreću od 20.3 °C u Sl. Požegi do 26.2 °C u Rabu, to znači da su temperature na dubini 20 cm niže u prosjeku za 1.4 °C od temperatura na 5 cm dubine.

Na toj dubini razlika između najviših srednjih mjesečnih temperatura tla u zapadnim i istočnim krajevima je smanjena na 0.1 °C. Međutim primorski su krajevi na 20 cm topliji od kontinentalnih za 9.1 °C.

Najniže srednje mjesečne temperature na 20 cm u cijeloj Hrvatskoj dolaze u siječnju, a kreću se od 1.1 do 7.3 °C. U odnosu na 5 cm dubine siječanjske su temperature više u prosjeku za 0.9 °C. Istočni krajevi su u siječnju na ovoj dubini topliji od zapadnih samo za 0.1 °C, dok su primorski od kontinentalnih topliji za 4.8 °C.

Tlo na 30 cm (Tabela 3) ima srednju mjesečnu temperaturu najveću na nekim stanicama u srpnju, a na nekim lokacijama i u kolovozu.

Razlika srednjih temperatura najtoplijeg mjeseca u zapadnim i istočnim kontinentalnim krajevima u srpnju iznosi 0.3 °C, dok je između kontinentalnih i primorskih 3.4 °C. U kolovozu je razlika između zapadnih i istočnih krajeva nešto veća, te iznosi 0.5 °C, a između kontinentalnog i primorskog područja 3.6 °C. Podaci pokazuju da se temperatura tla na 30 cm dubine bitno ne razlikuje u srpnju i kolovozu na svim mjernim mjestima.

Najniže srednje mjesečne temperature i na 30 cm javljaju se u siječnju i u Hrvatskoj se kreću od 1.7 °C do 8.1 °C. Siječanjska razlika srednjih mjesečnih temperatura zapadnih i istočnih krajeva iznosi 0.1 °C, što je isto kao i na 20 cm. Između kontinentalnih i primorskih stanica zimi je na 30 cm dubine razlika 4.7 °C, dakle, slično kao i na dubini 20 cm.

Tab. 1. Hod temperatura tla na 5 cm dubine za pojedine stanice u tri područja Hrvatske: A) istočno kontinentalno područje, B) zapadno kontinentalno područje i C) primorsko područje. U desnoj koloni su srednje godišnje vrijednosti i amplitude (razlika između srednjih mjesečnih vrijednosti najtoplijeg i najhladnijeg mjeseca). Period 1951–1975.

Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	an. mean. sred. god.	ampl.
Istočni dio unutrašnjosti														
Stanica														
OSIJEK	0.6	2.1	6.0	11.8	17.3	21.4	22.8	22.1	18.2	12.2	6.4	2.3	11.9	22.2
VINKOVCI	1.0	2.4	6.2	12.2	17.6	22.1	24.0	23.0	19.1	13.3	7.3	2.8	12.5	23.0
ĐAKOVO	1.1	1.9	5.5	11.5	16.9	21.1	22.4	21.7	17.3	12.2	7.3	3.1	11.7	21.3
SL. BROD	1.1	3.1	6.1	11.3	17.2	21.1	22.5	22.2	17.8	11.3	6.7	2.1	11.8	21.4
SL. POŽEGA	0.5	2.3	5.7	11.1	16.5	20.6	21.8	21.0	17.2	11.7	6.7	1.7	11.4	21.3
Zapadni dio unutrašnjosti														
BJELOVAR	0.5	1.8	5.0	10.7	16.1	20.1	21.8	21.0	17.2	11.6	6.4	2.1	11.2	21.3
ĐURĐEVAC	0.7	1.5	5.1	11.7	16.8	20.9	22.4	21.4	17.1	12.2	7.5	2.4	11.7	20.7
KRIŽEVCI	0.7	1.9	5.4	11.0	16.4	20.6	22.6	21.7	17.6	11.4	5.9	1.7	11.4	21.9
VARAŽDIN	1.1	2.5	5.6	10.9	16.5	20.6	22.3	21.4	17.1	11.5	6.4	2.2	11.5	21.2
ZAGREB	0.1	2.4	5.5	11.3	17.2	21.2	23.3	22.0	17.5	11.2	6.1	1.1	11.6	23.2
SISAK	1.0	2.4	5.8	11.3	16.7	21.1	23.0	21.9	17.7	11.9	6.6	2.3	11.8	22.0
Primorsko područje														
POREĆ	4.1	5.2	8.1	13.3	19.0	23.2	25.6	24.6	20.0	14.1	9.7	4.8	14.2	21.5
PAZIN	3.0	4.0	6.6	11.7	16.9	21.0	23.4	22.0	18.1	12.9	8.3	4.0	12.6	20.4
RAB	5.7	6.8	9.6	14.4	19.7	24.7	27.4	26.4	21.7	15.9	10.9	7.2	15.9	21.7
ZADAR	6.1	6.8	10.1	15.1	19.9	20.5	27.4	26.4	21.9	15.5	11.4	8.4	15.8	21.3
VELA LUKA	6.3	7.4	9.7	13.5	19.0	24.1	27.0	25.8	21.3	16.2	11.6	7.3	15.8	20.7
OPUZEN	5.1	6.8	9.5	13.7	19.5	23.7	26.7	25.3	20.4	15.6	10.9	6.4	15.3	21.6
DUBROVNIK	6.5	7.6	10.1	14.6	19.9	24.8	27.3	26.5	21.4	16.7	11.9	8.2	16.3	20.8

Tab. 1. Soil temperature courses at 5 cm depth for selected stations in three regions of Croatia: A) eastern continental part, B) western continental part, and C) Adriatic coastal area. In the right columns are the annual mean values and amplitudes (differences between monthly means in the warmest and coldest month). Period 1951–1975.

Tab. 2. Isto kao u Tab. 1 ali za dubinu 20 cm.

Tab. 2. The same as in Tab. 1 but for a depth of 20 cm.

Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	an. mean. sred. god.	ampl.
Istočni dio unutrašnjosti														
Stanica														
OSIJEK	1.4	2.2	5.5	11.1	16.5	20.6	22.4	22.1	18.4	12.8	7.3	3.1	12.0	21.0
VINKOVCI	1.5	2.4	6.0	11.9	16.5	21.0	23.0	22.7	19.1	13.7	8.2	3.5	12.4	21.5
ĐAKOVO	1.5	1.8	5.0	10.7	15.8	19.9	21.5	21.2	17.5	12.5	7.9	3.4	11.6	20.0
SL. BROD	1.9	3.4	5.9	10.8	16.5	20.1	21.1	21.9	18.4	12.5	7.6	3.4	12.0	20.0
SL. POŽEGA	1.1	2.3	5.0	10.1	15.0	18.8	20.3	20.1	16.7	11.7	6.9	2.6	10.9	19.2
Zapadni dio unutrašnjosti														
ĐURĐEVAC	1.3	1.5	4.6	10.8	15.4	19.4	20.9	20.7	17.0	12.3	8.1	3.3	11.2	19.6
BJELOVAR	1.1	1.9	4.6	10.1	15.3	19.2	21.1	20.8	17.4	12.0	7.1	2.7	11.1	20.0
KRIŽEVCI	1.5	2.2	5.0	10.3	15.4	19.7	21.6	21.4	17.5	12.0	6.8	2.7	11.3	20.1
VARAŽDIN	1.6	2.5	5.2	10.4	15.3	19.2	21.1	20.7	17.1	11.8	7.0	3.1	11.2	19.5
ZAGREB	1.2	2.9	5.6	11.1	16.5	20.4	22.7	22.1	18.3	12.6	7.5	2.7	12.0	21.5
SISAK	1.6	2.6	5.4	10.5	15.6	19.6	21.9	21.4	17.9	12.5	7.4	3.2	11.6	20.3
Primorsko područje														
POREĆ	4.9	5.7	8.1	12.9	18.0	22.1	24.6	24.2	20.4	15.1	10.6	6.0	14.4	19.7
PAZIN	4.1	5.0	6.8	11.2	15.8	19.4	21.9	21.4	18.1	13.3	9.4	5.4	12.5	17.8
RAB	6.3	7.4	9.6	14.0	18.9	23.0	26.2	25.7	21.5	16.4	11.8	7.9	15.7	19.9
ZADAR	6.8	7.1	10.0	14.4	18.8	21.2	26.0	25.6	21.9	16.2	11.3	8.4	15.6	19.2
VELA LUKA	7.3	8.0	10.0	13.6	18.2	22.8	25.9	25.6	21.6	16.9	12.7	8.5	15.9	19.6
OPUZEN	5.7	6.8	9.4	13.9	18.5	22.4	25.4	25.0	21.0	16.3	12.1	7.5	15.3	19.7
DUBROVNIK	6.9	7.5	9.9	14.1	18.6	23.1	25.7	25.4	21.6	16.9	12.6	8.8	15.9	18.8

Tab. 3. Isto kao u Tab. 1 ali za dubinu 30 cm.

Tab. 3. The same as in Tab. 1 but for a depth of 30 cm.

Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	an. mean. sred. god.	ampl.
Istočni dio unutrašnjosti														
Stanica														
OSIJEK	2.0	2.5	5.4	10.8	16.0	20.0	22.0	21.8	18.5	13.2	7.9	3.6	12.0	20.0
VINKOVCI	1.8	2.5	5.8	11.5	15.8	20.4	22.2	22.4	18.9	14.2	8.7	4.2	12.3	20.6
ĐAKOVO	2.3	2.3	5.1	10.5	15.4	19.4	21.1	21.1	17.9	13.2	8.7	4.4	11.8	18.5
SL. POŽEGA	1.7	2.7	5.1	10.2	14.8	18.5	20.2	20.1	17.1	12.4	7.8	3.4	11.2	18.5
Zapadni dio unutrašnjosti														
BJELOVAR	1.8	2.1	4.6	9.9	14.8	18.6	21.7	20.6	17.5	12.6	7.7	3.4	11.3	20.9
KRIŽEVCI	1.8	2.4	4.9	9.9	14.7	18.7	20.9	21.0	17.6	12.3	7.4	3.2	11.2	20.2
VARAŽDIN	2.3	3.0	5.4	10.2	14.8	18.5	20.5	20.2	17.2	12.4	7.8	3.9	11.4	18.2
ZAGREB	1.9	3.2	5.7	10.8	15.8	19.6	22.0	21.8	18.4	13.2	8.4	3.8	12.0	20.1
SISAK	2.3	2.8	5.3	10.1	15.0	18.9	21.2	20.9	17.9	13.0	8.3	4.1	11.7	18.9
Primorsko područje														
POREČ	5.2	5.7	7.8	12.3	17.1	21.0	23.5	23.6	20.3	15.3	11.1	6.5	14.1	18.4
PAZIN	3.9	4.6	6.5	10.5	14.9	18.5	20.8	20.7	18.0	13.6	9.7	5.5	12.3	16.9
VELA LUKA	8.1	8.4	10.0	13.4	17.7	21.9	25.1	25.3	21.7	17.4	13.5	9.3	16.0	17.2
OPUZEN	6.4	7.2	9.1	13.1	18.0	21.7	24.9	25.1	21.5	16.7	12.2	7.7	15.3	18.7
DUBROVNIK	7.3	7.8	9.9	13.5	18.0	22.2	24.9	25.1	21.6	17.4	13.1	9.4	15.9	17.8

Tab. 4. Razlike između srednjih mjesečnih temperatura tla na 5 cm dubine za Dubrovnik-Osijek u periodu 1951-75 i 1953-58 (Penzar, 1978).

Tab. 4. Differences between mean monthly soil temperatures at 5 cm depth for Dubrovnik - Osijek in the periods 1951-75 and 1953-58 (Penzar, 1978)

Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1951-1975												
Dubrovnik	6.5	7.6	10.1	14.6	19.9	24.8	27.3	26.5	21.4	16.7	11.9	8.2
Osijek	0.6	2.1	6.0	11.8	17.3	21.4	22.8	22.1	18.2	12.2	6.4	2.3
razlika	5.9	5.5	4.1	2.8	2.6	3.4	4.5	4.4	3.2	4.5	5.5	5.9
1953-1958												
razlika	5.9	6.1	5.4	4.5	4.1	3.7	5.1	6.2	4.7	5.1	6.4	6.5

Tab. 5. Godišnji hod temperatura zraka za odabrane stanice u periodu 1951-75.

Tab. 5. Annual course of air temperature for selected stations for the period 1951-75.

Stanica	MJESEC											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
OSIJEK	-1.1	1.8	5.9	11.5	16.5	19.8	21.3	20.8	16.7	10.8	5.9	1.6
VINKOVCI	-0.4	1.7	6.0	11.4	16.3	19.6	21.1	20.5	16.7	10.9	6.1	3.6
SL. BROAD	-0.8	1.8	5.8	11.2	15.7	19.3	20.7	20.2	16.2	10.5	5.7	1.2
ZAGREB	-0.7	2.0	5.7	10.6	15.2	18.7	20.2	19.6	15.7	10.2	5.2	1.1
KRIŽEVCI	-0.9	1.4	5.3	10.2	14.8	18.2	19.8	19.1	15.1	9.5	5.1	0.6
RAB	7.5	7.7	9.5	13.2	17.5	21.3	23.9	23.6	20.3	15.8	12.1	9.0
ZADAR	6.2	6.9	8.9	12.7	16.4	20.7	23.2	22.6	19.4	14.8	11.1	7.8
DUBROVNIK	9.1	9.3	10.9	14.1	18.1	22.0	24.5	24.7	21.6	17.3	13.7	10.7

Tab. 6. Teoretske vrijednosti temperatura tla na 5 cm dubine izračunate regresionom jednadžbom od Pleško (1987) iz podataka o temperaturi zraka u Tab. 5.

Tab. 6. Theoretical values of soil temperature at 5 cm depth calculated from the regression equations of Pleško (1987) from the air temperature data in Tab. 5.

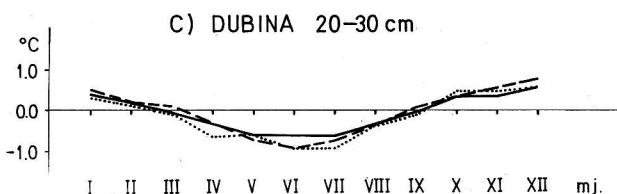
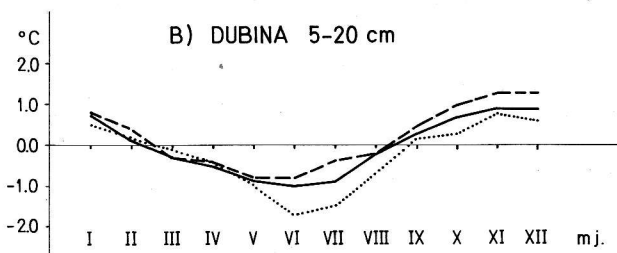
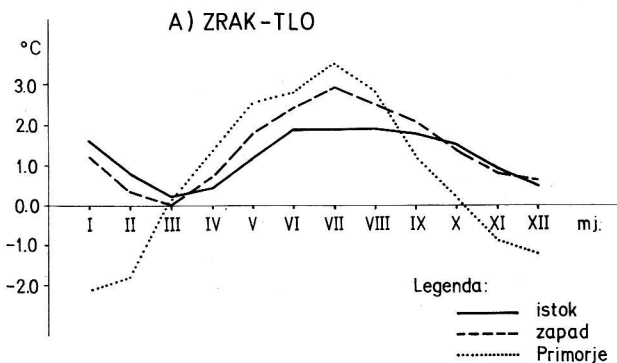
Stanica	MJESEC											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
OSIJEK	-0.3	2.6	6.8	12.5	17.7	21.0	22.6	22.1	17.9	11.8	6.8	2.4
VINKOVCI	0.4	2.5	6.9	12.5	17.5	20.9	22.4	21.8	17.9	11.9	7.0	4.5
SL. BROAD	0.0	2.6	6.7	12.3	16.9	20.6	22.0	21.5	17.4	11.5	6.6	2.0
ZAGREB	0.1	2.8	6.6	11.6	16.4	19.9	21.5	20.9	16.9	11.2	6.1	1.9
KRIŽEVCI	-0.1	2.2	6.2	11.2	16.0	19.4	21.1	20.4	16.3	10.5	6.0	1.4
RAB	5.2	5.6	8.3	14.0	20.5	26.3	30.3	29.8	24.8	17.9	12.3	7.5
ZADAR	4.2	5.0	4.7	11.9	16.2	21.3	24.2	23.5	19.8	14.3	10.0	6.1
DUBROVNIK	6.9	7.1	9.1	13.1	18.2	23.1	26.2	26.4	22.6	17.2	12.6	8.9

3.2. Razlika temperature tla na 5 cm u periodu 1951-75. i 1953-58.

Tabela 4 pokazuje razliku temperature tla na 5 cm dubine između obalnog i kontinentalnog dijela (Dubrovnik – Osijek) u periodu od 25 godina korištenom u ovome radu i 6 – godišnjeg perioda iz rada Penzara (1978). Unutrašnji dio ima za oko 4.0°C nižu temperaturu tla što je nešto manja razlika nego u periodu 1953-58. u radu Penzara. Razlog tome je niža temperatura tla u Dubrovniku naročito u razdoblju lipanj – rujanj. U rujnu razlika temperatura na toj dubini u navedena dva perioda iznosi čak 2.0 °C.

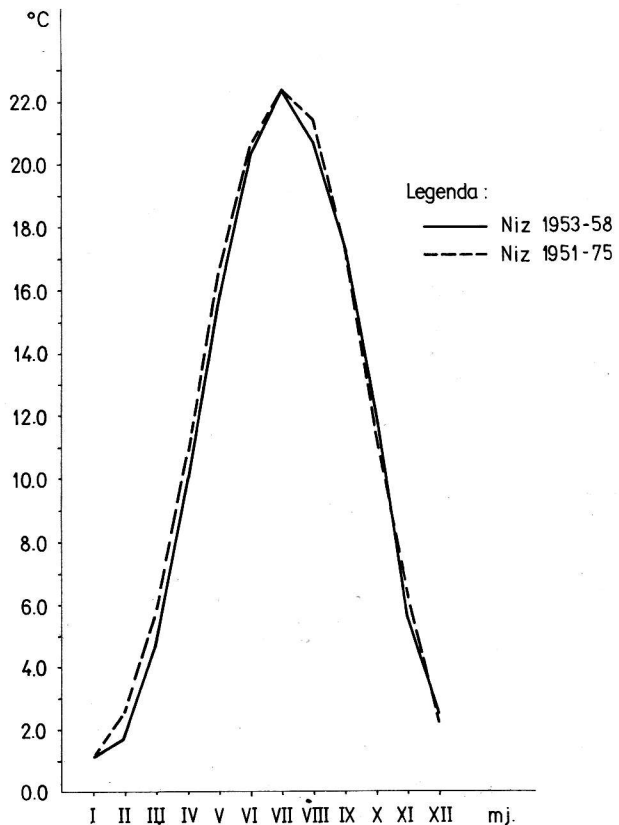
Na sjevernom Jadranu prema podacima s Raba razlike su u oba perioda manje, najveće su zabilježene u rujnu i prosincu, dok je veljača bila za 0.9 °C toplija u 25 godišnjem periodu.

Razlike između istočnog i zapadnog dijela unutrašnjosti nisu velike iako se na pojedinim lokacijama ističu ekstremne mjesečne vrijednosti (Sl. 2 i 3).



Sl. 1. Godišnji hod razlika: A) temperature zraka i tla na 5 cm, B) temperature tla na 5 i 20 cm dubine, C) temperature tla na 5, 20 i 30 cm dubine u tri područja Hrvatske: istočno i zapadno kontinentalno područje, te primorsko područje. Srednje vrijednosti su dobivene u određenom području iz stanica prikazanih u tabelama 1-3.

Fig. 1. Annual course of differences in: A) air temperature and soil temperature at 5 cm, B) soil temperature at 5 and 20 cm depth, C) soil temperature at 20 and 30 cm depth in three regions in Croatia: eastern and western continental regions and the Adriatic coastal area. The means obtained in particular regions from the stations shown in Tables 1-3.



Sl. 2. Godišnji hod temperatura tla na 5 cm u Varaždinu za period 1953-58 (Penzar, 1978) i 1951-75.

Fig. 2. Annual course of soil temperature at 5 cm depth for Varaždin for the periods 1953-58 (Penzar, 1978) and 1951-75.

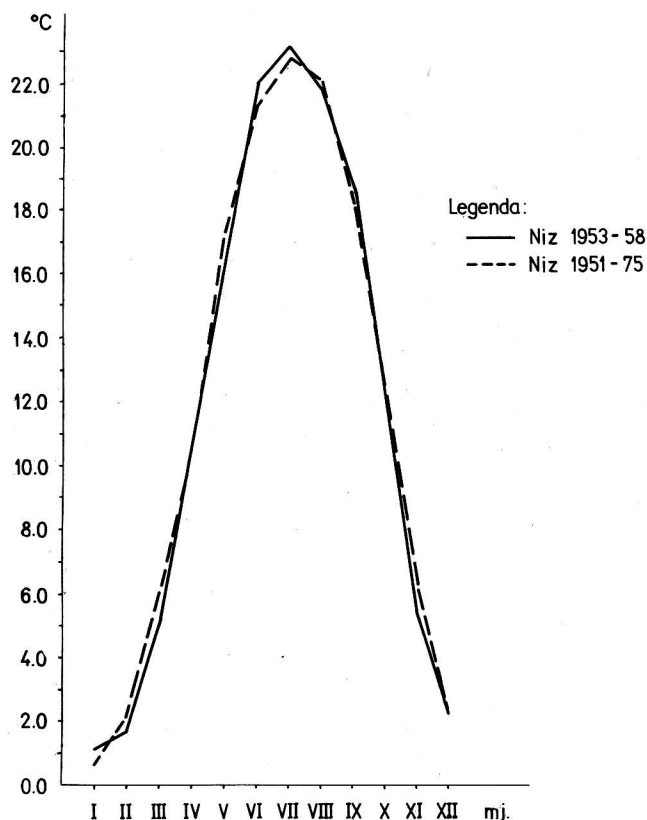
3.3. Promjena temperature tla s porastom dubine i razlike temperature zrak – tlo

Kako je već ranije navedeno amplituda temperature se mijenja idući od površine tla u dubinu što podliježe dnevnim i godišnjim promjenama. Mi ćemo se i dalje zadržati na godišnjem hodu i promatrat ćemo razdiobu temperatura tla na 5, 20 i 30 cm dubine. Da bi ove razlike bile očitije prikazane su i grafički na sl. 1 i to kao srednje vrijednosti za promatrana tri područja.

Na prvom grafikonu smo za usporedbu prikazali razlike zrak – tlo (5 cm) iz kojih se jasno izražavaju osobine pojedinih područja, kao i razlike u hladnom i toplom dijelu godine. Kao prvo, na grafikonu zrak – tlo primjećujemo da su u toplom dijelu godine razlike veće u zapadnom nego u istočnom području, a najveće razlike su u primorskom području. Glavno je obilježje ovog područja nagli pad temperature tla na 5 cm dubine u odnosu na zrak u hladnom dijelu godine (XI – II) dok dalje s dubinom temperatura ponovno raste. Međutim, u toplo doba godine (IV – VIII) temperatura s dubinom opada, a maksimum se pomoću prema kolovozu na svim primorskim stanicama, a i ponekim u unutrašnjosti.

Najveće razlike temperature između dubina 5 – 20 cm padaju u lipanj, ali se dalje u dubinu smanjuju.

U tabeli 5. su dane vrijednosti srednjih mjesečnih temperatura zraka na odabranim stanicama. Posebno se ističu negativne vrijednosti temperature u siječnju što još više odražava karakteristiku tla u unutrašnjosti s pozitivnim temperaturama i u najhladnijem mjesecu siječnju.



Sl. 3. Godišnji hod temperatura tla na 5 cm u Osijeku za period 1953-58 (Penzar, 1978) i 1951-75.

Fig. 3. Annual course of soil temperature at 5 cm depth for Osijek for the periods 1953-58 (Penzar, 1978) and 1951-75.

4. TEORETSKO ODREĐIVANJE TEMPERATURE TLA I PROMJENE S DUBINOM

Kako je navedeno u Uvodu, u cilju prostornih ispitivanja klimatskih odnosa temperatura tla na 5 cm i temperature zraka na 2 m visine na području Hrvatske, Pleško (1987) je na osnovi mjerenih podataka ovih veličina dobila odgovarajuće regresione jednadžbe za izračunavanje temperature tla, t_w , iz temperature zraka, t , za razdoblje 1955-69. Za unutrašnjost dobivena je relacija:

$$t_w = 0.78 + 1.0252 t,$$

a za pojedina područja Jadrana dobivene su slijedeće jednadžbe:

$$\text{sjevni: } t_w = -1.43 + 1.1962 t$$

$$\text{srednji: } t_w = -3.07 + 1.1772 t$$

$$\text{južni: } t_w = -4.54 + 1.2548 t$$

Izračunate vrijednosti temperature tla prema gornjim relacijama prikazane su u Tabeli 6 za iste stanice za koje imamo temperature zraka u Tabeli 5. Usporedba s rezultatima N. Pleško iz 15-godišnjeg razdoblja ne daju bitne razlike, ali teoretske vrijednosti u kontinentalnom dijelu Hrvatske imaju i negativne vrijednosti u siječnju što nije slučaj u realnim podacima iako su razlike male. To znači da bi za siječanj trebalo posebno izračunati jednadžbe regresije za kontinentalni dio Hrvatske.

Smanjenje amplitude temperature s dubinom podliježe jednostavnom eksponencijalnom zakonu (Penzar, 1978):

$$a = A e^{-bz},$$

gdje je a amplituda na dubini z , a A amplituda na površini, b je veličina koja ovisi o gustoći i koeficijentu toplinske vodljivosti tla, te o periodu funkcije koja prikazuje temperaturni val. Prikazat ćemo kako to izgleda na primjeru Križevaca. Na površini (Tab. 1) je temperatura 22°C . Prema Penzaru je $b = 0.0028$, pa je na dubini 30 cm izračunata amplituda temperature prema gornjoj relaciji $a = 20.2^\circ\text{C}$, što znači da bi se amplituda temperature smanjila za 1.8°C . To je točno podatak amplitude koji nalazimo za Križevce u Tabeli 3.

Ako ovakav račun provedemo za dubinu od 50 cm dobit ćemo da je $a = 19.1^\circ\text{C}$, a za dubinu od 100 cm $a = 16.6^\circ\text{C}$. Usporedba s podacima amplitude u radu Maksića i dr. za Križevce pokazuje da su ove vrijednosti nešto više od izmjerenih, iako se radi o podacima za samo jednu godinu. Ipak je vjerojatno da bi se gornji koeficijent b za veće dubine trebao korigirati.

5. ZAKLJUČCI

Ova je analiza ukazala na razlike u godišnjem hodu temperatura tla na dubini 5, 20 i 30 cm u kontinentalnim istočnim i zapadnim krajevima, te primorskim krajevima Hrvatske.

Pokazalo se da su temperature tla na 5 cm tokom cijele godine u kontinentalnim krajevima više od temperature zraka i ne padaju ispod 0.0°C , dok je u Primorju tlo na toj dubini toplije samo od ožujka do listopada, što je u skladu s prijašnjim analizama Penzara i Vukova. U godišnjem srednjaku nema bitne razlike u temperaturi tla između istočnih i zapadnih krajeva unutrašnjosti, te nema bitne promjene s dubinom. Razlike u srednjoj godišnjoj temperaturi između kontinentalnih i primorskih krajeva su oko 3.0°C i također se bitno ne mijenjaju s dubinom. Međutim na pojedinim lokacijama razlike mogu biti i veće a podliježu većim razlikama od mjeseca do mjeseca i u pojedinim periodima, što je pokazano na primjeru Dubrovnik - Osijek.

Ekstremne vrijednosti temperature na pojedinim dubinama se više razlikuju od lokaliteta do lokaliteta nego što iznosi gradijent temperature na jednom lokalitetu u pojedinim slojevima.

Minimalne srednje mjesečne temperature padaju u svim krajevima u siječanj, dok su maksimalne od 5 i 20 cm u srpnju, a na 30 cm su u Primorskom području u kolovožu.

Najveća razlika temperature zrak-tlo je u Primorju i pada u srpnju kao i gradijent u zapadnom kontinentalnom području koji je za 0.6°C niži. Maksimalna razlika temperature zrak - tlo u istočnim kontinentalnim predjelima je za cijeli stupanj manja nego u zapadnim, te ima istu vrijednost od lipnja do rujna. U ožujku u sva tri područja nema bitne razlike u temperaturi tla i zraka.

U slojevima 5-20 cm i 20-30 cm gradijent temperature je negativan (temperatura s dubinom opada) u svim krajevima od ožujka do rujna, ali su u drugom sloju (20-30 cm) razlike temperature male i bitno se ne razlikuju između kontinentalnih i Primorskih krajeva.

Teorijske vrijednosti temperature tla računane iz temperature zraka prema jednadžbama regresije od N. Pleško (1987) daju dobre rezultate osim u kontinentalnim krajevima u siječnju pri negativnim temperaturama zraka, kada na pojedinim lokacijama daju negativne temperature koje se u srednjim mjesečnim vrijednostima ne pojavljuju. To pokazuje da bi za niske zimske temperature trebalo posebno odrediti jednadžbe regresije za pojedine lokalitete u unutrašnjosti Hrvatske.

Teorijske vrijednosti promjene temperature u tlu po eksponencijalnom zakonu mogu dati dobre rezultate za prvi sloj uz površinu tla u najtoplijem mjesecu, ali je očito iz empirijskih gradijenata da bi za računanje amplituda u pojedinim slojevima vrijednost koeficijenata u navedenom izrazu trebalo mijenjati. Pri tome, kao što je već predložio Penzar (1978), nije dovoljno raspolagati srednjim mjesečnim temperaturama već bi trebalo znati i datume nastupa ekstrema na pojedinim dubinama i lokacijama.

6. LITERATURA

- Penzar, I., 1971: Neke karakteristike temperatura tla u Jugoslaviji, Dokumentacija za tehnologiju i tehniku u poljoprivredi, sv. 7, str. 1–23.
- Penzar, I., 1978: Temperatura tla. Prilozi poznavanju vremena i klime SFRJ, 4. Savezni hidrometeorološki zavod, str. 65–95.
- Vukov, J., 1971: Temperatura tla u Hrvatskoj, Agronomski glasnik 7–8, str. 411–446.
- Pleško, N., 1987: Klimatski odnosi temperatura tla i zraka u Hrvatskoj i njihova povezanost s turbulentnim fluksevima topline, Rasprave – Papers, 22, RHMZ SRH, str. 11–17.
- Maksić, B., Šikić, M., Penzar, I., Knežević, M. 1962: Klimatske i agroklimatske osobine južnog Kalničkog prigorja, Rasprave i prikazi, 8, Hidrometeorološki zavod NRH, str. 28–30.
- Savezni Hidrometeorološki zavod, 1983: Prilog fenoklimatografiji Jugoslavije, sveska II, str. 20–46.

SUMMARY

This study considers the annual courses of soil temperatures at 5, 20 and 30 cm depths in two continental regions of Croatia and the Adriatic coastal area.

The temperature at 5 cm was shown to be positive for all months and higher than the air temperature in the continental regions, whereas it was lower than the air temperature in the coastal area, which is in agreement with the earlier studies of Penzar (1971, 1978) and Vukov (1971) who have considered only 6 – year periods 1953–58.

There is no essential difference in the ground temperature between east and west continental regions in the

annual mean and no great differences in the soil temperature at the considered depths when the annual mean is studied. Differences between continental and coastal regions are about 3 °C in the annual average and indicate differences in depth. However, at particular localities differences could be even greater and indicate changes from month to month as well as changes from one to another period as shown in examples of differences in Dubrovnik – Osijek.

Extreme values of soil temperatures at particular depths show greater differences from one locality to another than is the case of temperature gradient at one locality for particular soil layers.

The minimum mean monthly temperature is in all regions in January, whereas maxima are found at 5 and 20 cm depth in July, and at 30 cm in the Adriatic region in August.

The maximum temperature gradient of air – soil is found in the Adriatic area in July where the western continental area also has the maximum gradient but the temperature difference of air – soil is 0.6 °C lower. The smallest air – soil temperature difference is in the eastern continental part, is by 1 °C less at the extreme value which is equal throughout the four months from June to September. In March air and soil temperatures are equal in all three areas.

In the layers 5 – 20 cm and 20 – 30 cm temperature gradients are negative (temperature decreases with depth) in all three regions from March to September, but in the second layer (20 – 30 cm) differences are small and there are no essential changes between continental and coastal regions.

Theoretical values of soil temperature calculated from the air temperature according to relations given by N. Pleško (1987) offer good results except in January in the continental region where at some localities soil temperature in the mean is negative which is not observed in nature. This means that the regression equations should be found separately for this month in the continental area.

Theoretical values of soil temperature changes with depth according to exponential law could give good results in the ground floor layer down to 20 cm, in the warm season, but it seems from the empirical gradients that the calculation of amplitude changes with depth would require corrections in the coefficient of the exponent for particular localities. However, as suggested by Penzar (1978) it is not sufficient to know only the mean monthly temperature, but also the knowledge of mean days when the extremes occur at various depths and localities.