

PRILOG RASPRAVI O RAČUNANJU SREDNJIH TEMPERATURA ZRAKA

Prof. emeritus Ognjen Bonacci, dipl. ing. građ.
Fakultet građevinarstva,
arhitekture i geodezije
Sveučilište u Splitu
Matice hrvatske 15, 21000 Split
obonacci@gradst.hr

Ivana Željković, dipl. ing. građ.
Fakultet građevinarstva,
arhitekture i geodezije
Sveučilište u Splitu
Matice hrvatske 15, 21000 Split

Robert Šakić Trogrlić, dipl. ing. građ.
Fakultet građevinarstva,
arhitekture i geodezije
Sveučilište u Splitu
Matice hrvatske 15, 21000 Split

Mr. sc. Janja Milković, dipl. ing. fiz.
Državni hidrometeorološki zavod
Grič 3
10000 Zagreb

Za tri meteorološke postaje u Hrvatskoj (Zagreb-Grič, Zavižan i Dubrovnik) za razdoblje 1999.-2011. izračunate su srednje dnevne temperature zraka na standardnoj visini od 2 m od tla korištenjem dvaju izraza. Prvim izrazom određuju se točne srednje dnevne temperature T_0 usrednjivanjem 24 terminske satne temperature tijekom kalendarskog dana. Drugi izraz, koji se službeno koristi u Hrvatskoj, ali i u brojnim drugim zemljama, računa srednju dnevnu temperaturu T_1 kao prosjek od temperatura izmjerenih u 7 sati, 14 sati i 21 sat s tim da se ovaj posljednji termin uzima u proračun dva puta pa se njihova suma dijeli s četiri. U radu su prikazane razlike ($\Delta T = T_0 - T_1$) izračunatih dnevnih, mjesečnih i godišnjih temperatura dobivene primjenom spomenute dvije formule. Najveće se razlike javljaju kod srednjih dnevnih temperatura te se kreću od $-2,35$ °C (znači da je $T_0 < T_1$) do $+3,56$ °C (znači da je $T_0 > T_1$). Razlike u srednjim mjesečnim vrijednostima su znatno manje te se kreću od $-0,40$ °C do $+0,79$ °C, dok se godišnje razlike kreću između $-0,19$ °C i $+0,30$ °C. Za postaju Zagreb-Grič srednje godišnje temperature T_0 uvijek su niže od onih koje se određuju izrazom za T_1 , dok je na postajama Zavižan i Dubrovnik situacija obrnuta.

Ključne riječi: temperatura zraka, srednja dnevna, mjesečna i godišnja temperatura, Hrvatska

1. UVOD

Temperatura zraka jedna je od bazičnih varijabli u definiranju, analizi i modeliranju vremena i klime (Zeng i Wang 2012.). Ona predstavlja parametar bitan za sve aspekte života na Zemlji, a posebno je značajna u biološko-ekološkim istraživanjima te za planiranje i upravljanje agrotehničkom proizvodnjom (Hartzell 1919.; Weiss i Hays 2005.) U posljednje vrijeme interes medija i najšire javnosti za praćenje temperatura zraka povećan je, jer se smatra da se Zemlja nalazi u fazi globalnog zagrijavanja ili barem u razdoblju pojave viših temperatura zraka. Upravo stoga smatralo se potrebnim ukazati na neke dileme u vezi s metodama određivanja srednjih dnevnih temperatura zraka, a kao posljedica toga i za ostale različite duže vremenske inkremente, prije svega mjeseca i godine.

Bitno je naglasiti da se u različitim vrstama analiza u različitim znanstvenim disciplinama ili aplikacijama koriste najčešće srednje vrijednosti temperatura zraka za razna vremenska razdoblja. Međutim, ključno je uočiti da vrijednosti srednjih temperatura zraka za pojedina razdoblja (mjesec, sezonu, godinu itd.) u suštini zavise o tome kako je određena srednja dnevna temperatura. Iako se na prvi pogled čini da su tu stvari jasne i jednostavne, one su u biti na planetarnoj razini složene i nedovoljno usklađene.

Mjerenja temperature zraka započela su u 18. stoljeću kada nije bilo moguće (ili je bilo vrlo složeno za ondašnje stanje tehnologije) kontinuirano i automatski bilježiti temperaturu zraka, a plaćanje velikog broja motritelja da rade tijekom cijelog dana je bilo, a i danas je, preskupo. Iako suvremena tehnologija omogućava kontinuirani način mjerenja temperature zraka u velikoj većini država na svijetu (pa tako i u Hrvatskoj) srednje dnevne temperature zraka se računaju različitim formulama u kojima se koriste temperature zraka očitane u samo

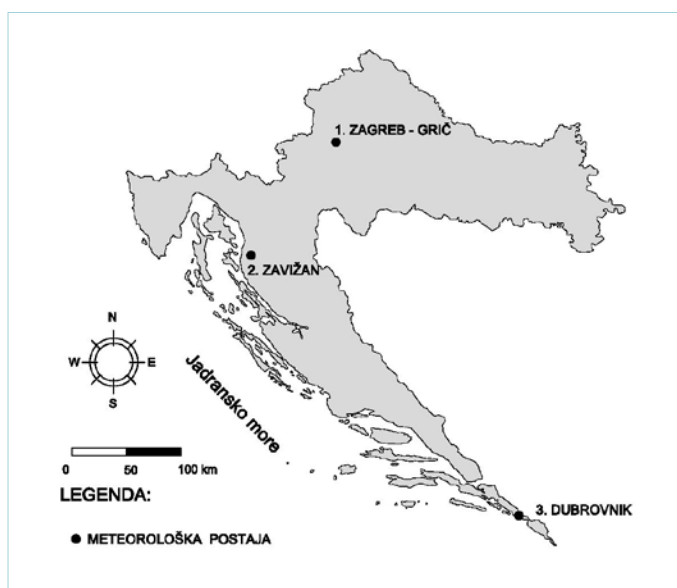
nekoliko termina. Za klimatologiju je naročito važno da se ne mijenjaju termini mjerenja. Jedan od razloga leži u potrebi da se osigura isti način određivanja srednjih dnevnih (a time i za sve ostale vremenske inkremente) temperatura zraka tijekom cijelog dugog razdoblja mjerenja na jednoj postaji. Međuvladin panel o promjeni klime (Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC 1990.) podržava da svaka zemlja nastavi koristiti svoju metodu određivanja srednje dnevne temperature zraka. Kao razlog navodi slijedeće: „As long as each country continuous the same practice, the shape of the temperature record is unaffected“ (Sve dok svaka zemlja nastavlja s istom praksom oblik temperaturnog zapisa ostat će neizmijenjen). Za IPCC (1990.) je to važno jer su njihova izučavanja usredotočena na analize dugih vremenskih nizova na cijelom planetu. Za tu je svrhu bitno osigurati kakvu takvu homogenost makar sa stanovišta primjene istog algoritma za računanje srednjih dnevnih temperatura na svakoj pojedinoj postaji.

Problem određivanja srednje dnevne temperature od samih početka mjerenja pa sve do danas plijenio je pažnju znanstvenika (Dewey 1857.; Drew 1860.; McArdie 1891.; Hartzell 1919.; Brooks 1921.; Collison i Tabony 1984.; Weber 1993.; Trewin 2004.; Conner i Foster 2008.; 2010.; Zeng i Wang 2012.). Hartzell (1919.) je prije skoro 100 godina predložio korištenje planimetra za određivanje precizne srednje dnevne temperature zraka obradom termografskih traka (termograma). Conner i Foster (2008.; 2010.) navode da se dovoljno točna srednja dnevna temperatura zraka može odrediti kao srednjak od 24 satne (terminske) temperature izmjerene tijekom jednog kalendarskog dana (izraz (1)). Takav podatak moguće je izračunati samo ako je bilježenje temperature kontinuirano ili ako motritelj očitava temperature svaki puni sat tijekom dana. Na velikom broju mjernih postaja nemoguće je iz različitih razloga ispuniti taj preduvjet. Zbog toga se koriste različiti algoritmi i/ili formule za određivanje srednjih dnevnih temperatura zraka s ciljem da se odrede vrijednosti što sličnije onim točnim, određenim na osnovi 24-satnih mjerenja.

Srednje dnevne temperature zraka se u Hrvatskoj računaju iz podataka mjerenja temperature zraka u tri klimatološka termina (7, 14 i 21 sat po lokalnom vremenu) pomoću izraza (2). Osnovni cilj ovog članka je izučavanje razlika ΔT koje se dobiju računanjem srednjih temperatura (dnevnih, mjesečnih i godišnjih) zraka u Hrvatskoj. Stoga će se u njemu izvršiti usporedba srednjih dnevnih, mjesečnih i godišnjih temperatura dobivenih na osnovi sljedeća dva izraza:

$$T_0 = \left(\sum_{i=1}^{i=24} T_i \right) / 24 \quad (1)$$

$$T_1 = (T_7 + T_{14} + 2 \times T_{21}) / 4 \quad (2)$$



Slika 1 Karta Hrvatske s ucrtanim položajima postaja čiji su podatci analizirani u ovom radu.

Tablica 1: Osnovni podatci za tri meteorološke postaje iz mreže Državnog hidrometeorološkog zavoda na kojima su izvršeni proračuni srednjih dnevnih, mjesečnih i godišnjih temperatura zraka primjenom izraza (1) i (2)

R. br.	Naziv stanice	Zemljopisne koordinate	Nadmorska visina		Obrađeno razdoblje
			H (m n.m.)		
1	ZAGREB-GRIČ	45°49' N - 15°59' E	157		1999.-2011.
2	ZAVIŽAN	44°49' N - 14°59' E	1594		1999.-2011.
3	DUBROVNIK	42°39' N - 18°06' E	49		1999.-2011.

pri čemu su T_0 i T_1 srednje dnevne temperature zraka na 2 m od tla, T_i ($i=1, 2, \dots, 24$) temperature u svakom punom satu tijekom kalendarskog dana, T_7 temperatura izmjerena u 7 sati, T_{14} temperatura izmjerena u 14 sati, T_{21} temperatura izmjerena u 21 sat po lokalnom vremenu.

T_0 određen izrazom (1) predstavlja vrijednost temperature zraka izračunate usrednjivanjem 24 satnih temperatura zraka izmjenjenih u svaki puni sat kalendarskog dana, što predstavlja točnu srednju dnevnu temperaturu (Brooks 1921.; Zeng i Wang 2012.). Vrijednost T_1 određena izrazom (2) je srednja dnevna temperatura koja se službeno izračunava i koristi u Hrvatskoj, (ali i u brojnim drugim državama, prije svega u Europi), na osnovi mjerenja temperature zraka u tri prethodno navedena klimatološka termina.

Na slici 1 ucrtani su položaji triju meteoroloških postaja za koji su obavljeni proračuni i analize srednjih dnevnih, mjesečnih i godišnjih temperatura zraka: 1) Zagreb-Grič; 2) Zavižan i 3) Dubrovnik. U tablici 1 su osnovni podatci o postajama (koordinate položaja, nadmorska visina i razdoblje za koje su podatci obrađeni). Treba uočiti da su izabrane klimatski različite postaje na kojima vlada kontinentalna (Zagreb-Grič), planinska (Zavižan) i mediteranska klima (Dubrovnik), a smještene su na nadmorskim visinama od 49 m n.m. do 1594 m n.m.

2. RAZLIKE SREDNJIH DNEVNIH TEMPERATURA ZRAKA

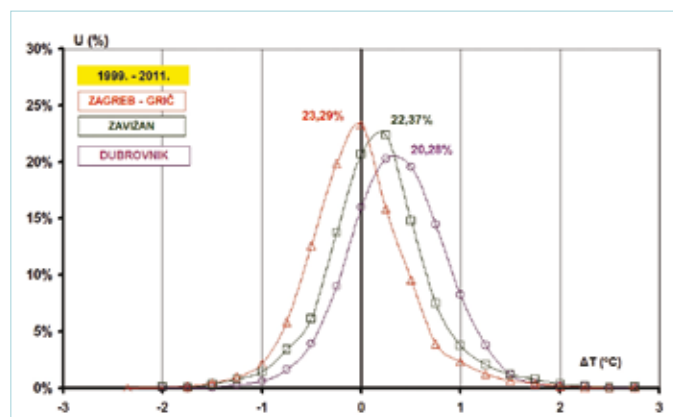
U tablici 2 upisane su karakteristične razlike srednjih dnevnih temperatura zraka ($\Delta T = T_0 - T_1$) po pojedinim godinama za tri analizirane postaje određene primjenom izraza (1) i (2). Pod karakterističnim razlikama podrazumijevaju se najveće izračunate razlike. Oznaka MAX. se odnosi na najveću pozitivnu vrijednost u godini, dakle na slučaj kad je točna srednja dnevna temperatura zraka T_0 određena izrazom (1) viša od temperature T_1 određene izrazom (2). Oznaka MIN. se odnosi na najveću negativnu vrijednost, dakle na slučaj kad je točna srednja dnevna temperatura zraka T_0 niža od T_1 .

Na postaji Zagreb-Grič u razdoblju 1999.-2011. razlike srednjih dnevnih temperatura određenih po dva korištena izraza se kreću između $-2,35$ °C (znači da je $T_0 < T_1$) i $+2,65$ °C (znači da je $T_0 > T_1$). Na postaji Zavižan za isto razdoblje razlike se kreću između $-2,34$ °C i $+3,27$ °C, a na postaji Dubrovnik između $-2,05$ °C i $+3,56$ °C. Uočava se da su rasponi razlika na tri analizirane postaje

Tablica 2: Karakteristične (minimalne - MIN. i maksimalne - MAX.) razlike srednjih dnevnih temperatura zraka ($\Delta T = T_0 - T_1$) po pojedinim godinama za tri analizirane postaje određene primjenom izraza (1) i (2). Crvenom bojom označene su najveće, a modrom bojom najmanje vrijednosti razlika ΔT .

GODINA	ZAGREB-GRIČ		ZAVIŽAN		DUBROVNIK	
	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.
1999.	-1,96	1,35	-1,52	2,52	-1,50	1,81
2000.	-1,97	1,58	-2,34	2,40	-1,18	2,20
2001.	-1,93	2,39	-1,74	2,43	-1,72	2,25
2002.	-1,90	1,99	-1,58	1,88	-1,25	1,40
2003.	-2,35	1,64	-1,88	2,30	-1,17	1,80
2004.	-2,24	1,71	-1,73	2,05	-1,37	1,49
2005.	-1,76	2,15	-1,57	1,86	-1,37	2,90
2006.	-1,43	2,33	-1,52	2,71	-1,75	2,45
2007.	-1,73	2,41	-1,46	3,27	-1,50	2,23
2008.	-2,00	1,97	-2,22	2,80	-2,05	2,08
2009.	-1,95	2,62	-1,92	2,05	-1,50	3,56
2010.	-1,75	2,65	-2,29	1,90	-1,51	1,84
2011.	-1,71	2,20	-2,18	2,18	-1,23	1,54

slični. Na slici 2 ucrtane su distribucije relativnih čestina, U , pojave razlika između srednjih dnevnih temperatura zraka određenih prema dva korištena izraza za razdoblje 1. I. 1999. do 31. XII. 2011. (4748 dana) izračunate na tri analizirane postaje.

**Slika 2:** Krivulje distribucija relativnih čestina, U , pojave razlika ΔT između srednjih dnevnih temperatura zraka određenih prema dva korištena izraza za razdoblje 1. I. 1999.-31. XII. 2011. (4748 dana) izračunate za tri analizirane postaje. Vršne vrijednosti dane su brojčano uz krivulje.

3. RAZLIKE SREDNJIH MJESEČNIH TEMPERATURA ZRAKA

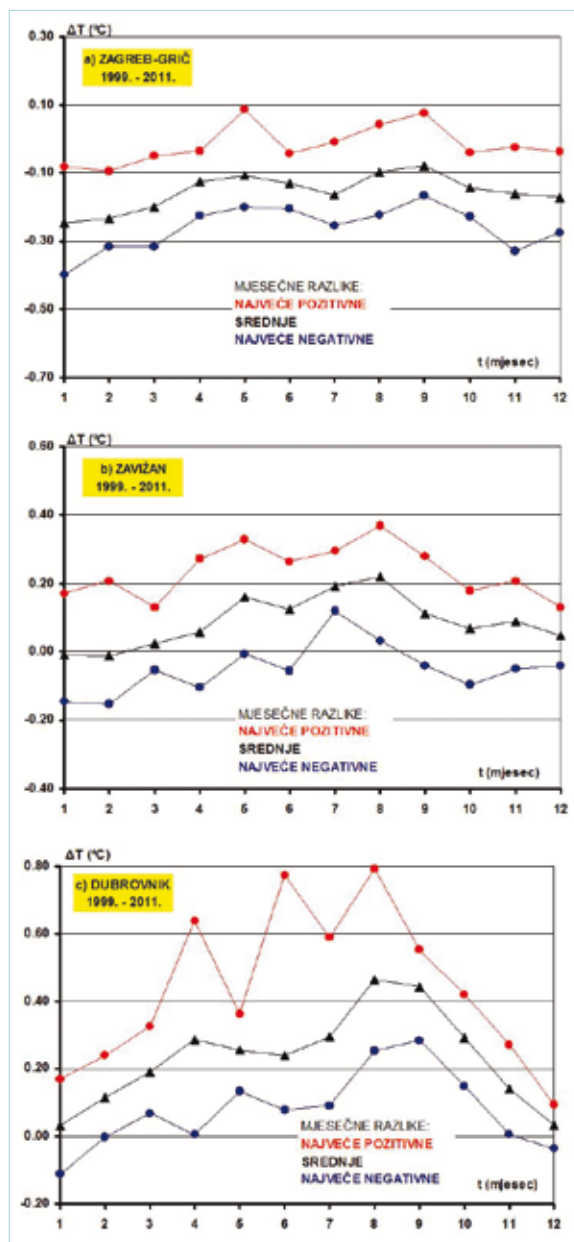
Tablica 3 sadrži karakteristične razlike srednjih mjesečnih temperatura zraka ($\Delta T = T_0 - T_1$) po pojedinim godinama za tri analizirane postaje određene primjenom izraza (1) i (2). Objašnjenja za oznake MIN. i MAX. identične su kao i u slučaju tablice 2, samo što se odnose na razlike srednjih mjesečnih vrijednosti dobivene relacijom (1) i (2).

Na postaji Zagreb-Grič u razdoblju 1999.-2011. razlike mjesečnih temperatura određenih po dva korištena izraza se kreću između $-0,40\text{ }^{\circ}\text{C}$ i $+0,09\text{ }^{\circ}\text{C}$. Na postaji Zavižan razlike se kreću između $-0,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ i $+0,37\text{ }^{\circ}\text{C}$, a na postaji Dubrovnik između $-0,09\text{ }^{\circ}\text{C}$ i $+0,79\text{ }^{\circ}\text{C}$.

U tablici 4 upisane su karakteristične vrijednosti (najveća minimalna, srednja i najveća maksimalna) razlika po pojedinim mjesecima u godini za sve tri analizirane postaje. Grafički prikazi karakterističnih razlika tempe-

Tablica 3: Karakteristične (minimalne – MIN. i maksimalne – MAX.) razlike srednjih mjesečnih temperatura zraka ($\Delta T = T_0 - T_1$) po pojedinim godinama za tri analizirane postaje određene primjenom izraza (1) i (2). Crvenom bojom označene su najveće, a modrom bojom najmanje vrijednosti razlika ΔT .

GODINA	ZAGREB-GRIČ		ZAVIŽAN		DUBROVNIK	
	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.
1999.	-0,31	-0,02	-0,10	0,26	0,01	0,47
2000.	-0,31	-0,05	-0,08	0,37	-0,09	0,48
2001.	-0,31	0,09	-0,15	0,17	-0,03	0,42
2002.	-0,33	0,08	-0,10	0,28	-0,03	0,36
2003.	-0,26	-0,06	-0,10	0,29	0,03	0,48
2004.	-0,20	-0,03	-0,15	0,23	-0,04	0,53
2005.	-0,33	-0,01	-0,04	0,24	0,02	0,53
2006.	-0,24	0,04	-0,04	0,29	-0,07	0,48
2007.	-0,40	0,05	-0,03	0,27	-0,04	0,64
2008.	-0,28	-0,01	-0,08	0,33	0,01	0,53
2009.	-0,33	-0,01	-0,07	0,33	0,00	0,79
2010.	-0,26	0,04	-0,06	0,27	-0,02	0,59
2011.	-0,32	-0,03	-0,05	0,24	0,09	0,58



Slika 3 Grafički prikaz karakterističnih (najvećih pozitivnih i najvećih negativnih te srednjih) razlika temperatura zraka određene po mjesecima tijekom godine u razdoblju 1999.-2011. na meteorološkim postajama: a) Zagreb-Grič; b) Zavižan; c) Dubrovnik

Tablica 4: Karakteristične vrijednosti (najveća minimalna - MIN., srednja - SRED. i najveća maksimalna - MAX.) razlika ($\Delta T = T_0 - T_1$) po pojedinim mjesecima tijekom godine za tri analizirane postaje u razdoblju 1999.-2011.

	Siječanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad	Studeni	Prosinac
ZAGREB-GRIČ												
MIN.	-0,40	-0,32	-0,32	-0,23	-0,20	-0,21	-0,25	-0,22	-0,17	-0,23	-0,33	-0,27
SRED.	-0,25	-0,23	-0,20	-0,13	-0,11	-0,13	-0,16	-0,10	-0,08	-0,14	-0,16	-0,17
MAX.	-0,08	-0,09	-0,05	-0,03	0,09	-0,04	-0,01	0,04	0,08	-0,04	-0,02	-0,04
ZAVIŽAN												
MIN.	-0,15	-0,15	-0,05	-0,10	-0,01	-0,06	0,12	0,03	-0,04	-0,10	-0,05	-0,04
SRED.	-0,01	-0,01	0,02	0,06	0,16	0,13	0,19	0,22	0,11	0,07	0,09	0,05
MAX.	0,17	0,21	0,13	0,27	0,33	0,26	0,29	0,37	0,28	0,18	0,21	0,13
DUBROVNIK												
MIN.	-0,11	0,00	0,07	0,01	0,13	0,08	0,09	0,25	0,28	0,15	0,00	-0,04
SRED.	0,03	0,12	0,19	0,29	0,26	0,24	0,30	0,46	0,44	0,29	0,14	0,03
MAX.	0,17	0,24	0,33	0,64	0,36	0,77	0,59	0,79	0,55	0,42	0,27	0,09

ratura zraka po mjesecima tijekom godine numerički izneseni u tablici 4 prikazani su na slici 3. Na slici 3a, na kojoj su prikazane vrijednosti definirane za Zagreb-Grič, uočava se da su srednje mjesečne razlike gotovo uvijek negativne. Na postaji Zavižan (slika 3b) srednje mjesečne razlike su i pozitivne i negativne. U Dubrovniku (slika 3c) srednje mjesečne razlike su gotovo uvijek pozitivne, te se samo u malom broju slučajeva javljaju vrlo male razlike negativnog predznaka. Važno je uočiti da se veće razlike na sve tri postaje javljaju u razdoblju od travnja do rujna, dakle u toplom dijelu godine.

4. RAZLIKE SREDNJIH GODIŠNJIH TEMPERATURA ZRAKA

U tablici 5 upisane su razlike srednjih godišnjih temperatura zraka ($\Delta T = T_0 - T_1$) po pojedinim godinama za tri analizirane postaje određene primjenom izraza (1) i (2).

Na postaji Zagreb-Grič u analiziranom razdoblju razlike srednjih godišnjih temperatura određenih po dva korištena izraza se kreću između $-0,19\text{ }^{\circ}\text{C}$ i $-0,10\text{ }^{\circ}\text{C}$ sa srednjom vrijednosti od $-0,15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Na postaji Zavižan razlike srednjih godišnjih temperatura se kreću između $+0,05\text{ }^{\circ}\text{C}$ i $+0,13\text{ }^{\circ}\text{C}$ sa srednjom vrijednosti od $+0,09\text{ }^{\circ}\text{C}$. Na postaji Dubrovnik razlike srednjih godišnjih temperatura određenih po dva korištena izraza se kreću između $+0,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ i $+0,30\text{ }^{\circ}\text{C}$ sa srednjom vrijednosti od $+0,23\text{ }^{\circ}\text{C}$. Može se zaključiti da su za postaju Zagreb-Grič točne srednje godišnje temperature T_0 uvijek niže od onih koje se određuju izrazom (2), dok je na postajama Zavižan i Dubrovnik situacija obrnuta.

Razloge ovakvog ponašanja razlika srednjih godišnjih temperatura izračunatih po dva izraza na tri klimatološki različite postaje bit će potrebno ustanoviti detaljnim analizama.

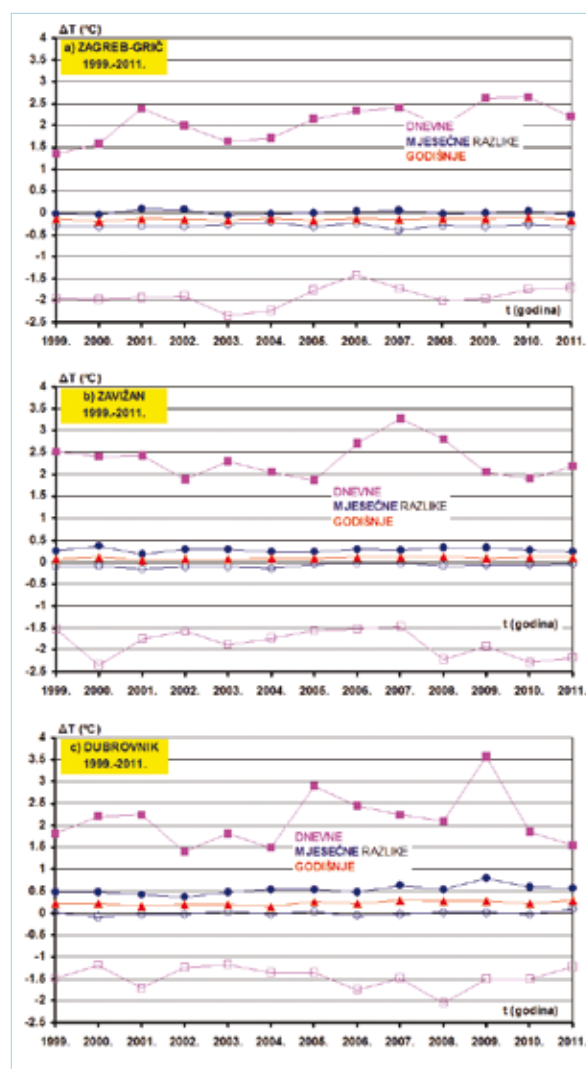
5. DISKUSIJA I ZAKLJUČCI

Na slici 4 je dat je grafički prikaz najvećih izračunatih (pozitivnih i negativnih) srednjih dnevnih (ljubičasta boja) i srednjih mjesečnih (modra boja) razlika temperatura zraka u pojedinoj godini u razdoblju 1991.–2011. na meteorološkoj postaji Zagreb-Grič. Crvenom bojom označene su razlike srednjih godišnjih temperatura zraka izračunate prema dva korištena izraza. Najveće razlike se javljaju između srednjih dnevnih temperatura. One značajno opadaju s povećanjem analiziranog vremenskog inkrementa i različite su od postaje do postaje. Najveće godišnje razlike opažene su u Dubrovniku. Trewin (2004.) navodi da su u Australiji najveće razlike opažene na postajama u blizini oceanskih obala. Radi li se i u Hrvatskoj o istom fenomenu, trebat će tek potvrditi daljnjim detaljnim istraživanjima.

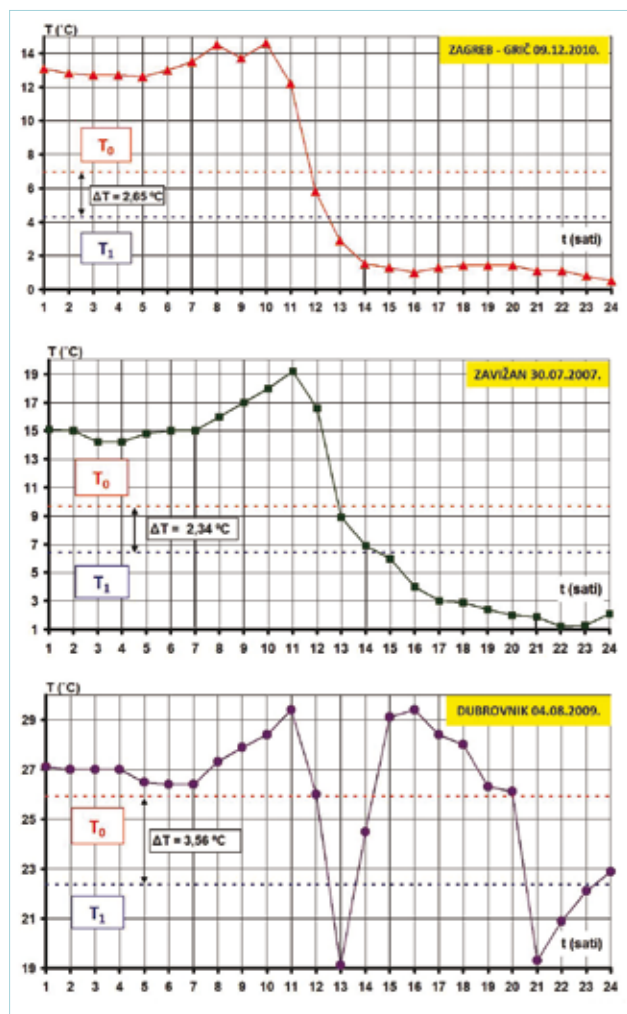
Na slici 5 je dat grafički prikaz dnevnog hoda temperature zraka putem satnih vrijednosti izmjerenih na tri analizirane postaje za dane kada je izračunata najveća

Tablica 5: Razlike srednjih godišnjih temperatura zraka ($\Delta T = T_0 - T_1$) po pojedinim godinama za tri analizirane postaje određene primjenom izraza (1) i (2). Crvenom bojom označene su najveće, a modrom bojom najmanje vrijednosti razlika ΔT , a sa SRED. je označena njihova srednja vrijednost.

GODINA	ZAGREB-GRIČ	ZAVIŽAN	DUBROVNIK
1999.	-0,14	0,07	0,21
2000.	-0,19	0,10	0,22
2001.	-0,14	0,05	0,17
2002.	-0,15	0,06	0,19
2003.	-0,16	0,07	0,20
2004.	-0,13	0,08	0,15
2005.	-0,17	0,09	0,26
2006.	-0,13	0,11	0,21
2007.	-0,15	0,11	0,29
2008.	-0,14	0,13	0,28
2009.	-0,13	0,08	0,28
2010.	-0,10	0,11	0,22
2011.	-0,17	0,11	0,30
SRED.	-0,15	0,09	0,23



Slika 4 Grafički prikaz najvećih izračunatih (pozitivnih i negativnih) srednjih dnevnih (ljubičasta boja) i srednjih mjesečnih (modra boja) razlika temperatura zraka u pojedinoj godini u razdoblju 1999.–2011. na tri meteorološke postaje: a) Zagreb-Grič; b) Zavižan; c) Dubrovnik. Crvenom bojom označene su razlike srednjih godišnjih temperatura zraka izračunate prema dva korištena izraza



Slika 5 Prikaz satnih vrijednosti temperatura zraka izmjerenih na tri analizirane postaje za dane kada je izračunata najveća pozitivna razlika u analiziranom razdoblju. Na slici su ucrtane i srednje dnevne vrijednosti T_0 (crvena boja) i T_1 (modra boja) određene prema dva korištena izraza.

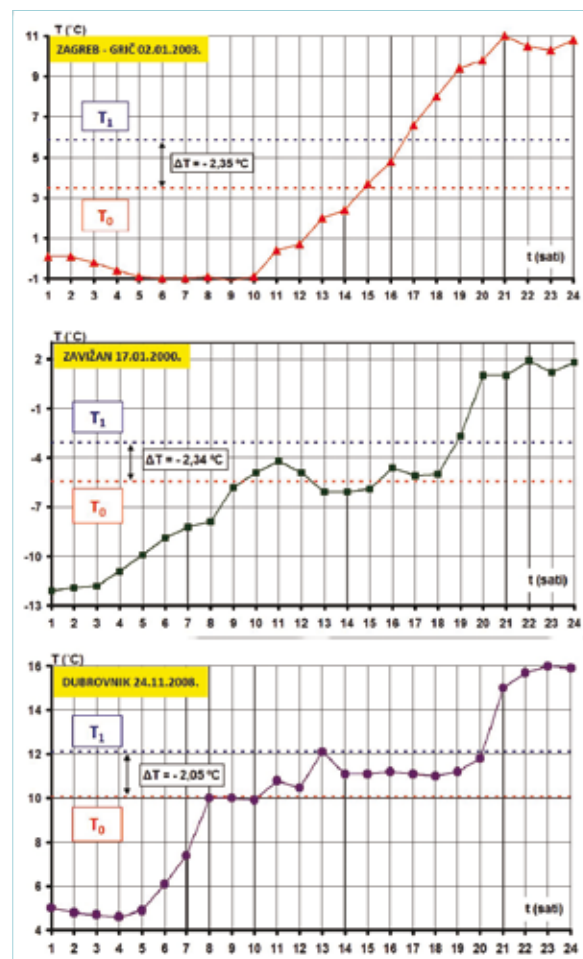
pozitivna razlika u cijelom razdoblju s raspoloživim podacima, dakle u slučajevima kada je točna temperatura T_0 bila znatno viša od one određene izrazom (2). Na slici su ucrtane i srednje dnevne vrijednosti određene prema dva korištena izraza T_0 i T_1 , kao i njihova razlika Δ . Zanimljiv je primjer iz Dubrovnika (slika 5c) od 4. kolovoza 2009. Toga dana su se dogodila dva nagla prodora hladnog zraka, uz pljusak kiše s grmljavinom, a padala je i tuča od 11 h 55 min do 12 h 50 min. Slično se dogodilo i navečer nešto poslije 20 sati.

Na slici 6 je dat grafički prikaz dnevnog hoda temperature zraka pomoću satnih vrijednosti izmjerenih na tri analizirane postaje za dane kada je izračunata najveća negativna razlika u razdoblju 1999.–2011., dakle, u slučajevima kada je točna temperatura T_0 bila znatno niža od one određene izrazom (2). Na slici su ucrtane i srednje dnevne vrijednosti određene prema izrazima T_0 i T_1 , kao i njihova razlika ΔT .

Analizom slika 5 i 6 moguće je zaključiti da ključnu ulogu u tome hoće li razlike između srednjih dnevnih temperatura zraka određenih po izrazima (1) i (2) biti po-

zitivne ili negativne igra dnevni hod temperature zraka tijekom kalendarskog dana. Ako tijekom dana temperatura zraka pada, tj. ako su temperature zraka početkom dana visoke, a krajem dana niske, točna temperatura T_0 bit će viša od one određene izrazom (2). Suprotna se situacija događa u slučajevima kada su početkom dana temperature zraka niske te rastu prema kraju dana. Ključnu ulogu u tom smislu ima temperatura izmjerena u 21 sat čija se vrijednost uzima s dvostrukom težinom u izrazu (2). U većini slučajeva pozitivna se razlika javlja u toplom dijelu godine, dok se negativna razlika javlja u hladnijem dijelu godine. Općenito se može zaključiti da su razlike to veće što su promjene temperatura tijekom dana naglije i izraženije, tj. što je raspon između maksimalne i minimalne dnevne temperature veći.

Namjera rada je bila da se potakne znanstvena i stručna rasprava vezana s određivanjem srednjih dnevnih temperatura zraka kao i s mogućnošću prelaska na korištenje srednjih satnih temperatura zraka. Takav prijedlog za cijelu Zemlju dali su Zeng i Wang (2012.) u jednom od svjetskih vodećih znanstvenih novina (EOS-



Slika 6 Prikaz satnih vrijednosti temperatura zraka izmjerenih na tri analizirane postaje za dane kada je izračunata najveća negativna razlika u analiziranom razdoblju. Na slici su ucrtane i srednje dnevne vrijednosti T_0 (crvena boja) i T_1 (modra boja) određene prema dva korištena izraza.

Transaction of American Geophysical Union). Međutim, i oni sam smatraju da će ispunjavanje tog cilja, barem za sada, biti vrlo teško, gotovo nemoguće. Znanstvenici, a osobito šira javnost, trebaju biti svjesni da se srednje temperature zraka s kojima se operira u analizama ili koje se iznose u sredstvima javnog informiranja nisu „točne“ već približne. Posebno o tome treba voditi računa kad se uspoređuju srednje temperature u raznim regijama, ako su one definirane različitim metodama, a o čemu je bilo govora u uvodu ovog članka. U Hrvatskoj taj problem ne postoji jer se srednje temperature na svim postajama računaju stalno od početka mjerenja na isti način primjenom izraza (2).

U svjetskoj praksi postoji vrlo velik broj izraza za računanje srednjih dnevnih temperatura zraka. Svaki od njih daje različite rezultate. Posljedice njihovog zajedničkog korištenje i usporedbe bez ozbiljnijeg kritičkog sagledavanja suštine problema mogu rezultirati upitnim

zaključcima. Posebno je problematično njihovo korištenje u sofisticiranim i osjetljivim matematičkim modelima. Činjenica je da ovaj problem nije dovoljno sagledan pa stoga niti dostatno izučavan. Prijedlog Zenga i Wanga (2012.) da međunarodna znanstvena zajednica u tom smislu mora ozbiljno poraditi te da bi proračune i analize trebalo raditi s točnim srednjim dnevnim (a time i svim ostalim) temperaturama zraka apsolutno je za podržati. U tom smislu treba gledati i na ovaj rad kao na prilog i poticaj zasnovan na primjerima iz Hrvatske.

ZAHVALA

Autori se zahvaljuju Državnom hidrometeorološkom zavodu Republike Hrvatske iz Zagreba na podacima ustupljenim za izradu ovog članka. Ujedno se zahvaljuju i neimenovanim recenzentima na korisnim primjedbama. ■

LITERATURA

- Brooks, C. E. P. (1921.): True mean temperature. *Monthly Weather Review* 49: 226–229.
- Collison, P., Tabony, R. C. (1984.): The estimation on mean temperatures from daily maxima and minima. *Meteorological Magazine* 113: 329–337.
- Conner, G., Foster, S. (2008.): Searching for the daily mean temperature. *Extended Abstracts, Paper 4.3, 17th Conference on Applied Climatology, 88th Annual Meeting American Meteorological Society*, 12 August 2008, Whistler British Columbia, Canada. 4 str.
- Conner, G., Foster, S. (2010.): Daily mean temperature formulas. *Extended Abstracts, Paper 6.6, 18th Conference on Applied Climatology, 90th Annual Meeting American Meteorological Society*, 19 January 2010, Atlanta GA, USA. 4 str.
- Dewey, C. (1857.): *On the best hours of daily observations to find the mean temperature for the year*. Eleventh Annual Report of the Smithsonian Institution. Smithsonian Institution, Washington.
- Drew, J. (1860.): *Practical Meteorology*. John van Voorst 2nd Ed. London. 68 str.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (1990.) *Climate Change: The IPCC Scientific Assessment*. Cambridge University Press, Cambridge. 366 str.
- Hartzell, F. Z. (1919.): Comparison of methods for computing daily mean temperatures: effect of discrepancies upon investigations of climatologists and biologists. *Monthly Weather Review* 47(11): 799–801.
- McAdie, A. (1891.): *Mean Temperatures and Their Corrections*. Signal Office, War Department, Washington.
- Trewin, B. (2004.): Effects of changes in algorithms used for calculation of Australian mean temperature. *Australian Meteorological Magazine* 53: 1–11.
- Weber, R. O. (1993.): Influence of different daily mean formulas on monthly and annual averages of temperature. *Theoretical and Applied Climatology* 47(4): 205–213.
- Weiss, A., Hays, C. J. (2005.): Calculating daily mean air temperatures by different methods: implication from a non-linear algorithm. *Agricultural and Forest Meteorology* 126(1–2): 57–65.
- Zeng, X., Wang, A. (2012.): What is monthly mean land surface air temperature? *EOS* 93(15): 156–157.

TOWARD THE DISCUSSION ON CALCULATING MEAN AIR TEMPERATURES

Abstract. At three meteorological stations in Croatia (Zagreb-Grič, Zavižan and Dubrovnik), mean daily air temperatures for the period from 1999 to 2011 at the standard height of 2 m from the ground were calculated by applying two formulas. The first formula is used for determining accurate mean daily temperature T_0 by taking the average of the 24-period hourly temperature during a calendar day. The second formula, which is officially used in Croatia (as well as numerous other countries), is used for calculating mean daily temperature T_1 as the average of temperatures measured in 7 hours, 14 hours and 21 hours, whereby the last period is used in calculation twice and therefore this sum is divided by four. The paper presents the differences ($\Delta T = T_0 - T_1$) in calculated daily, monthly and annual temperatures obtained by applying these two formulas. The largest differences occur in mean daily temperatures, ranging from -2.35 °C (meaning $T_0 < T_1$) to $+3.56$ °C (meaning $T_0 > T_1$). The differences in mean monthly values are significantly lower and range from -0.40 °C to $+0.79$ °C, while the annual differences range from -0.19 °C to $+0.30$ °C. At the station Zagreb-Grič, mean annual temperatures T_0 are always lower than those determined by the formula for T_1 , while the situation at the stations Zavižan and Dubrovnik is quite the opposite..

Key words: air temperature, mean daily, monthly and annual temperature, Croatia

EIN BEITRAG ZUR DISKUSSION ÜBER DIE BERECHNUNG DER MITTLEREN LUFTEMPERATUR

Zusammenfassung. Für drei meteorologische Stationen in Kroatien (Zagreb-Grič, Zavižan und Dubrovnik) sind für den Zeitraum 1999–2011 die Tagesmitteltemperaturen der Luft in der Standardhöhe von 2 m vom Boden mit Hilfe von zwei Formeln berechnet worden. Die erste Formel dient zur Ermittlung der genauen Tagesmitteltemperatur T_0 durch Bilden des Mittelwerts von 24 Stundentemperaturen des gesamten Tages. Die zweite Formel, die in Kroatien und vielen anderen Ländern offiziell gebraucht wird, berechnet die Tagesmitteltemperatur T_1 als Durchschnitt von den um 7 Uhr, 14 Uhr und 21 Uhr gemessenen Temperaturen, wobei der 21-Uhr-Wert doppelt gewertet und das Ergebnis der Addition der vier Werte durch 4 geteilt wird. In der Arbeit werden die Unterschiede ($\Delta T = T_0 - T_1$) von berechneten Tages-, Monats- und Jahrestemperaturen dargestellt, die anhand dieser zwei Formeln ermittelt wurden. Die größten Unterschiede wurden bei Tagesmitteltemperaturen beobachtet, die sich im Bereich von $-2,35$ °C (d.h. $T_0 < T_1$) bis $+3,56$ °C (d.h. $T_0 > T_1$) bewegen. Die Unterschiede in Monatsmittelwerten sind wesentlich niedriger und bewegen sich von $-0,40$ °C bis $+0,79$ °C, während die Jahresunterschiede zwischen $-0,19$ °C und $+0,30$ °C betragen. Für die Station Zagreb-Grič sind die Jahresmitteltemperaturen T_0 immer niedriger als die mit der Formel für T_1 berechneten Temperaturen, während die Situation an den Stationen Zavižan und Dubrovnik umgekehrt ist.

Schlüsselwörter: Lufttemperatur, Tages-, Monats- und Jahresmitteltemperatur, Kroatien