

USPOREDBA SREDNJE VRIJEDNOSTI TEMPERATURE ZRAKA (NA RAZLIČITIM VREMENSKIM SKALAMA) IZRAČUNATA POMOĆU DVIJE RAZLIČITE METODE

prof. emeritus Ognjen Bonacci,
dipl. ing. građ.

Sveučilište u Splitu, Fakultet
građevinarstva, arhitekture i geodezije,
Matice hrvatske 15, 21000 Split,
obonacci@gradst.hr

prof. emerita Tanja Roje-Bonacci,
dipl. ing. građ.

Sveučilište u Splitu, Fakultet
građevinarstva, arhitekture i geodezije,
Matice hrvatske 15, 21000 Split

Ivana Željковиć, mag. ing. aedif.
nezavisni istraživač

Izraz za definiranje točne srednje dnevne temperature zraka, T_0 , glasi: $T_0 = (\sum_{i=1}^{i=24} T_i) / 24$. U klimatološkoj praksi Hrvatske, ali i brojnih srednjoeuropskih država za računanje srednje dnevne temperature zraka, T_1 , koristi se sljedeći izraz koji se nastavno naziva službenim: $T_1 = (T_7 + T_{14} + 2 \times T_{21}) / 4$. Ova dva izraza daju različite vrijednosti srednjih dnevnih, a potom i mjesečnih te godišnjih temperatura zraka. U članku je izvršena usporedba srednjih dnevnih, mjesečnih i godišnjih temperatura zraka mjerenih na meteorološkim postajama Zagreb-Grič i Dubrovnik izračunatih korištenjem oba izraza za razdoblje od 1. siječnja 1999. do 31. prosinca 2014. Analizirane su razlike između raspona točnih i službenih vrijednost srednjih dnevnih temperatura zraka Zagreb-Griča i Dubrovnika. Ujedno su proračunate te analizirane razlike između točnih srednjih dnevnih, mjesečnih i godišnjih vrijednosti temperatura zraka, T_0 , izmjerenih na meteorološkim postajama Dubrovnik i Zagreb-Grič. Utvrđeno je da su točne srednje mjesečne i godišnje temperature zraka, T_0 , na meteorološkoj postaji Dubrovnik uvijek više od onih izračunatih službenim izrazom (2), dok su na meteorološkoj postaji Zagreb-Grič one uvijek niže. S produžavanjem vremenske skale obrade smanjuju su vrijednosti razlike, ali su one još uvijek nezanemarive. Članak je pisan s namjerom da se izučavanju ove problematike u bliskoj budućnosti posveti veću pažnju.

Ključne riječi: srednja dnevna, mjesečna i godišnja temperatura zraka, razlika točnih i službenih temperatura zraka, Zagreb-Grič, Dubrovnik

1. UVOD

Ovaj rad predstavlja nastavak istraživanja izvršenih u radovima Bonacci et al. (2013.a, 2013.b). U njima je pokazano da postoji nezanemariva razlika između točnih srednjih vrijednosti dnevnih, mjesečnih i godišnjih temperatura zraka i vrijednosti izračunatih različitim izrazima koji se koriste u raznim državama svijeta za računanje srednjih

dnevnih, a potom i mjesečnih i godišnjih temperatura zraka.

Prethodna dva navedena članka izazvali su interes među znanstvenicima u cijelom svijetu te su do objavljivanja ovog rada bili citirani u radovima: Gough i He (2015.); Žaknić-Čatović i Gough (2017.); Li et al. (2016.); Zhou i Wang (2016.); Bonacci i Željковиć (2016).

Nastavno se navode izrazi za definiranje srednjih dnevnih temperatura zraka, T_0 , i, T_1 , čije će vrijednosti nastavno biti korištene u ovom radu:

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

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

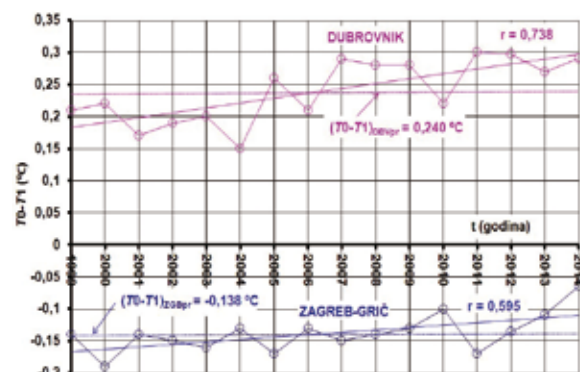
Srednja dnevna temperatura zraka mjerena na 2 m od tla, T_0 , određena izrazom (1) predstavlja vrijednost temperature zraka izračunate osrednjavanjem 24 satnih temperatura zraka izmjerenih u svaki puni sat kalendarskog dana [T_i ($i=1, 2, \dots, 24$)]. Brojni autori smatraju da se tako izračunata srednja dnevna temperatura zraka može smatrati točnom srednjom dnevnom temperaturom zraka (npr. Brooks, 1921.; Zeng i Wang, 2012. itd.). U daljnjem tekstu ovako izračunata temperatura nazivat će se točnom temperaturom zraka. Vrijednost srednje dnevne temperature zraka, 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). Srednja dnevna temperatura izračunata ovim izrazom računa se na osnovi mjerenja temperature zraka u sljedeća tri klimatološka termina: 7, 14 i 21 sat (po lokalnom vremenu). U daljnjem tekstu ovako izračunata temperatura nazivat će se službenom temperaturom zraka.

Činjenica je da se srednje dnevne temperature zraka, a potom i one računane za sve duže vremenske skale, koji se često koriste u inženjerskim i drugim vrstama istraživanja i prakse (npr. pet dana, tjedan, dekada, mjesec, vegetacijsko razdoblje, sezona, više godina itd.), definirane pomoću ova dva izraza, međusobno razlikuju. Te razlike nisu zanemarive, a u nekim slučajevima imaju i karakteristiku sistematske greške koja može utjecati na donošenje važnih odluka u inženjerskoj ili nekoj drugoj praksi.

U članku je izvršena usporedba srednjih dnevnih, mjesečnih i godišnjih temperatura zraka mjerenih na meteorološkim postajama Zagreb-Grič (zemljopisne koordinate 45° 49' N - 15° 59' E; nadmorska visina 157 m n.m.) i Dubrovnik (zemljopisne koordinate 42° 39' N - 18° 06' E; nadmorska visina 49 m n.m.) izračunatih korištenjem oba izraza za razdoblje od 1. siječnja 1999. do 31. prosinca 2014. (16 godina, 192 mjeseca, 5844 dana). Podatci korišteni u ovom radu dobiveni su od Državnog hidrometeorološkog zavoda Hrvatske iz Zagreba, na čemu im se ovim putem najljepše zahvaljujemo.

Primjera radi, navodi se da je utvrđeno da su točne, T_0 , srednje mjesečne i godišnje temperature zraka na meteorološkoj postaji Dubrovnik izračunatih izrazom (1) uvijek više od onih službenih, T_1 , izračunatih izrazom (2), dok je za slučaj meteorološke postaje Zagreb-Grič situacija obrnuta. Vrijednosti,

T_0 , uvijek su niže od vrijednosti, T_1 (Bonacci et al., 2013.a, 2013.b; Bonacci i Željkočić, 2016.). Obrade su u navedenim člancima bile izvršene za razdoblje 1999.-2011. Na slici 1 ucrtane su razlika srednjih godišnjih temperatura zraka (T_0-T_1) izračunatih prema izrazima (1) i (2) u pojedinoj godini u razdoblju 1999.-2014. na meteorološkim postajama: (1) Zagreb-Grič (modra boja); (2) Dubrovnik (ljubičasta boja). Na postaji Zagreb-Grič razlika se kreće u rasponu od -0,19 °C do -0,06 °C uz prosječnu vrijednost od -0,14 °C. Na postaji Dubrovnik razlika se kreće u rasponu od 0,15 °C do 0,30 °C uz prosječnu vrijednost od 0,24 °C. Prosječna razlika između postaja Dubrovnik i Zagreb-Grič iznosi 0,387 °C te se s vremenom povećava.



Slika 1: Grafički prikaz razlika srednjih godišnjih temperatura zraka izračunatih prema izrazima (1) i (2) u pojedinoj godini u razdoblju 1999.-2014. na meteorološkim postajama: (1) Zagreb-Grič (modra boja); (2) Dubrovnik (ljubičasta boja). Navedene su i prosječne vrijednosti pripadnih razlika (označene strelicom).

Na slici 1 su ucrtani i pravci regresije te su upisane vrijednosti koeficijenta linearne korelacije, r . U oba slučaja koeficijenti linearne korelacije su statistički značajni, što bi možda moglo ukazati na postojanje trendova. Radi se o smanjenju vrijednosti negativnih razlika na postaji Zagreb-Grič, ali povećanju pozitivnih vrijednosti razlika na postaji Dubrovnik. Očito je da proces koji je opažen na postaji Dubrovnik mnogo više zabrinjava od procesa koji se događa na postaji Zagreb-Grič. Postoji li zaista trend porasta razlika opažen na postaji Dubrovnik? Trebalo bi žurno provjeriti analizom podataka tijekom mnogo dužeg razdoblja. Ovdje analizirano razdoblje u trajanju od 16 godina prekratko je da bi se pojava trenda mogla pouzdano utvrditi.

Prethodna slika potakla nas je da u ovom radu izvršimo usporedbu razlika raspona između srednjih dnevnih, mjesečnih i godišnjih temperatura zraka mjerenih na postajama Zagreb-Grič i Dubrovnik dobivenih korištenjem prethodno spomenuta dva izraza. U drugom dijelu ovog članka će se analizirati razlike između točnih istovremenih srednjih dnevnih, mjesečnih i godišnjih temperatura zraka na dvije postaje u razdoblju od 1. siječnja 1999. do 31. prosinca 2014. određenih izrazom (1).

Temperatura zraka predstavlja jedan od bitnih parametara u brojnim inženjerskim, hidrološkim, ekološkim, ali i drugim analizama. Općenito se može reći da inženjeri o problematici točnosti određivanja srednjih temperatura različitih vremenskih inkremenata ne vode računa. Oni u praksi koriste podatke koje dobivaju od nadležnih službenih državnih institucija. Autori su smatrali da je važno upoznati stručnjake, ali i laike s ovom danas vrlo aktualnom problematikom. Cilj članka je da se stručnjacima, ali i danas vrlo zainteresiranoj javnosti za klimu i klimatske promjene, ukaže na nivo točnosti podataka koji se međusobno globalno uspoređuju. Bitno je naglasiti da službeni podatci koji se koriste u svakodnevnoj praksi ne služe samo za donošenje zaključaka o promjeni klime u bliskoj i daljoj budućnosti, već i za brojne praktične inženjerske i druge svrhe.

Poznavanje točnih vrijednosti temperatura zraka raznih vremenskih skala nerijetko je od ključnog značenja za pravodobno poduzimanje određenih djelatnosti. To se osobito odnosi na slučajeve kad nastupaju ekstremno niske ili visoke temperature koje mogu imati negativne utjecaje na poljoprivrednu proizvodnju, zaštitu ekoloških sustava, ali i vršenja nekih inženjerskih zahvata. Korištenje točnih vrijednosti temperatura zraka važno je i za pouzdanost hidroloških modela.

Gotovo da i ne treba naglašavati (iako se to uglavnom zanemaruje) da se u svijetu koristi daleko veći broj izraza, od dva koja su analizirana u ovom članku, za izračunavanje službenih (ne točnih) srednjih dnevnih temperatura zraka i da svaki od njih daje drugačije vrijednosti od onih točnih. Međuvladin panel za klimatske promjene (IPCC, 1990.) je prepoznao taj problem, ali ga je riješio na kompromisni i čini se u ovom trenutku jedini mogući, ali nikako ne i najbolji način. Oni podržavaju da svaka zemlja nastavi koristiti svoju službenu metodu računanja srednje dnevne temperature zraka. Kao razlog se navodi njihova tvrdnja da će oblik temperaturnog zapisa ostati neizmijenjen sve dok svaka zemlja nastavlja s istom praksom. Čini se da je došlo vrijeme da se i taj princip preispita ili da se barem izučiti koliko on unosi odstupanja u rezultate pojedinih modela te utječe na točnost zaključivanja o promjenama temperatura zraka u regiji ili na planeti, ali i kako utječe na praksu pojedinih drugih, vrlo brojnih korisnika podataka o temperaturama zraka. Prvi i neophodni korak je da se utvrdi kolika su odstupanja od točnih srednjih dnevnih temperatura primjenom raznih službenih izraza.

Podatci mjereni na postajama Zagreb-Grič i Dubrovnik su izabrani stoga jer su kod prve postaje točne srednje godišnje temperature zraka uvijek niže od onih službenih, dok je situacija na postaji Dubrovnik obrnuta. Za očekivati je da svaka druga postaja, koja bi se uzela u razmatranje, reagira individualno. S pouzdanim otkrivanjem razloga ovih odstupanja smatramo da bi se žurno trebali pozabaviti klimatološki eksperti.

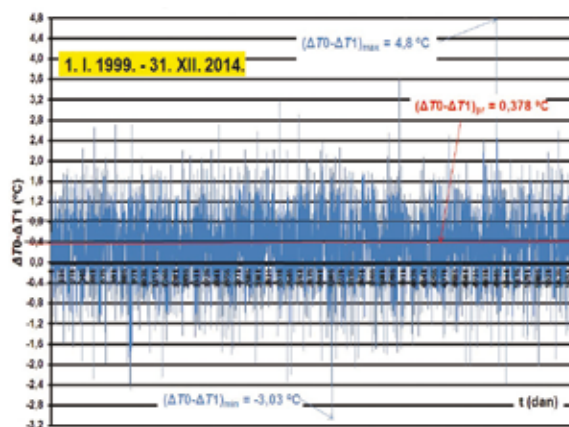
2. ANALIZA RAZLIKA IZMEĐU RASPONA TOČNIH I SLUŽBENIH SREDNJIH DNEVNIH, MJESEČNIH I GODIŠNJIH TEMPERATURA ZRAKA ZAGREB-GRIČA I DUBROVNIKA

U ovom poglavlju izvršit će se analiza razlika raspona točnih, ΔT_0 , i službenih, ΔT_1 , srednjih dnevnih, mjesečnih i godišnjih temperatura zraka mjerenih na postajama Zagreb-Grič i Dubrovnik. Korišteni su sljedeći izrazi za računanje raspona:

$$\Delta T_0 = (T_{0_{DBV}} - T_{0_{ZGB}}) \quad (3)$$

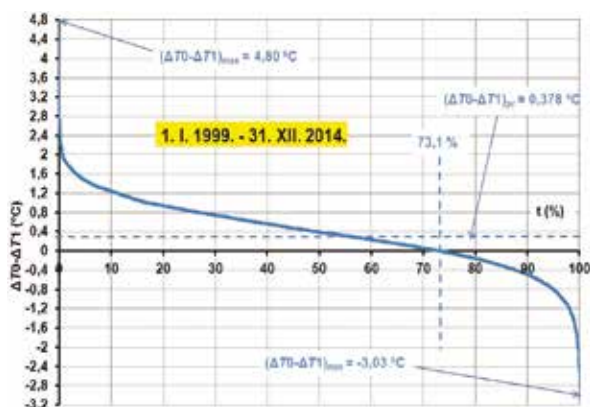
$$\Delta T_1 = (T_{1_{DBV}} - T_{1_{ZGB}}) \quad (4)$$

Na **slici 2** grafički su prikazane vrijednosti razlika raspona ($\Delta T_0 - \Delta T_1$) srednjih dnevnih temperatura zraka izračunatih za svaki pojedini dan u razdoblju od 1. siječnja 1999. do 31. prosinca 2014., dakle za 5844 dana, na meteorološkim postajama Zagreb-Grič i Dubrovnik. Razlike se kreću u vrlo velikom rasponu od $-3,8 \text{ }^\circ\text{C}$ do $4,8 \text{ }^\circ\text{C}$, s prosječnom vrijednošću od $0,378 \text{ }^\circ\text{C}$. Raspon razlika iznosi $8,6 \text{ }^\circ\text{C}$.



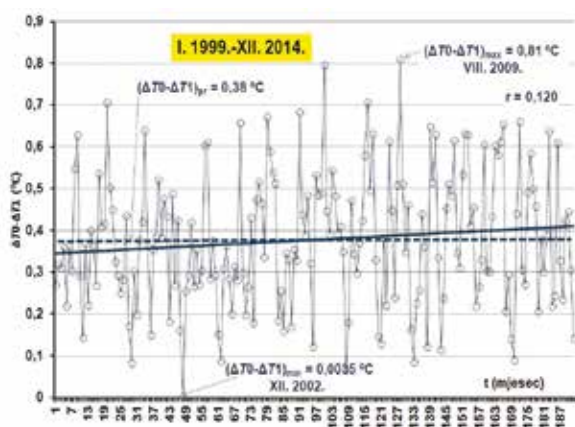
Slika 2: Grafički prikaz vrijednosti razlika raspona ($\Delta T_0 - \Delta T_1$) srednjih dnevnih temperatura zraka izračunatih za svaki pojedini dan u razdoblju od 1. siječnja 1999. do 31. prosinca 2014. na meteorološkim postajama Zagreb-Grič i Dubrovnik

Na **slici 3** dat je grafički prikaz krivulje trajanja vrijednosti razlika raspona ($\Delta T_0 - \Delta T_1$) srednjih dnevnih temperatura zraka izračunatih za svaki pojedini dan u razdoblju od 1. siječnja 1999. do 31. prosinca 2014. U 73,1 % analiziranog broja dana, što odgovara 4270 dana, vrijednosti razlika raspona ($\Delta T_0 - \Delta T_1$) su jednake ili veće od nule. Krivulja trajanja predstavlja grafički prikaz koji pokazuje broj dana ili postotak trajanja u razmatranom razdoblju u kojem je analizirana odabrana vrijednost (u ovom slučaju razlika raspona ($\Delta T_0 - \Delta T_1$)) jednaka ili veća od neke odabrane veličine. Krivulja se dobije tako da se analizirane vrijednosti poredaju po veličini od najveće do najmanje, te tako grafički prikažu.



Slika 3: Krivulja trajanja vrijednosti razlika raspona ($\Delta T_0 - \Delta T_1$) srednjih dnevnih temperatura zraka izračunatih za svaki pojedini dan u razdoblju od 1. siječnja 1999. do 31. prosinca 2014.

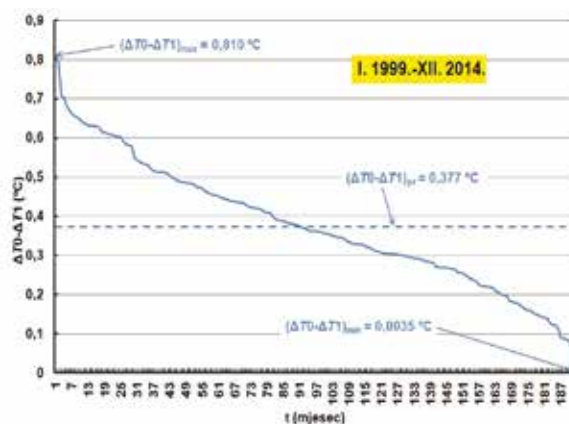
Na slici 4 grafički su prikazane vrijednosti razlika raspona ($\Delta T_0 - \Delta T_1$) srednjih mjesečnih temperatura zraka izračunatih za svaki pojedini mjesec u razdoblju od siječnja 1999. do prosinca 2014. na meteorološkim postajama Zagreb–Grič i Dubrovnik. Razlike se kreću od 0,0035 °C do 0,81 °C, s prosječnom vrijednošću od 0,38 °C. U slučaju srednjih mjesečnih temperatura zraka sve su vrijednosti pozitivne, a raspon razlika je bitno manji nego u slučaju srednjih dnevnih temperatura zraka i iznosi 0,37 °C. Na ovoj je slici ucrtan i pravac linearne regresije koji ukazuje na postojanje malog, statistički neznačajnog ($r=0,120$), trenda porasta razlika raspona ($\Delta T_0 - \Delta T_1$) srednjih mjesečnih temperatura zraka.



Slika 4: Grafički prikaz vrijednosti razlika raspona ($\Delta T_0 - \Delta T_1$) srednjih mjesečnih temperatura zraka izračunatih za svaki pojedini mjesec u razdoblju od siječnja 1999. do prosinca 2014. na meteorološkim postajama Zagreb–Grič i Dubrovnik

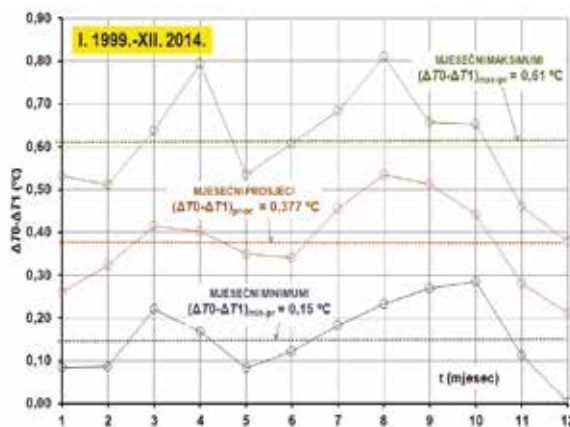
U ovom su radu značajnosti trenda ispitivane primjenom modificiranog Mann-Kendall-ovog testa (Hamed i Rao, 1998.).

Na slici 5 ucrtana je krivulja trajanja vrijednosti razlika raspona ($\Delta T_0 - \Delta T_1$) srednjih mjesečnih temperatura zraka izračunatih za svaki pojedini mjesec u razdoblju od siječnja 1999. do prosinca 2014. Nijedan mjesec tijekom razmatranog razdoblja od 16 godina razlika raspona ($\Delta T_0 - \Delta T_1$) srednjih mjesečnih temperatura zraka nije bila manja od nule.



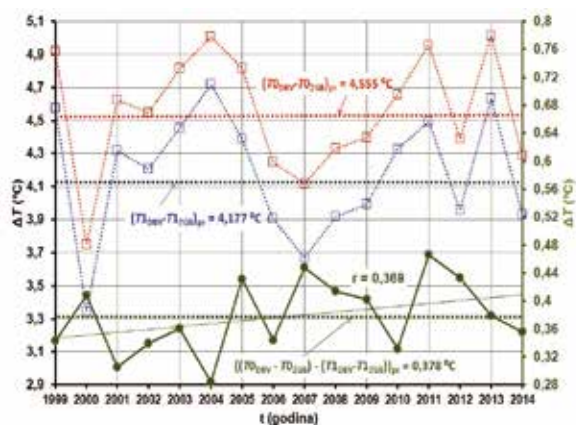
Slika 5: Krivulja trajanja vrijednosti razlika raspona ($\Delta T_0 - \Delta T_1$) srednjih mjesečnih temperatura zraka izračunatih za svaki pojedini mjesec u razdoblju od siječnja 1999. do prosinca 2014.

Na slici 6 grafički su prikazane vrijednosti maksimalnih, prosječnih i minimalnih razlika raspona ($\Delta T_0 - \Delta T_1$) srednjih mjesečnih temperatura zraka izračunatih za svaki mjesec tijekom godine za podatke u razdoblju od siječnja 1999. do prosinca 2014. Najveće razlike javljaju se tijekom kolovoza i u toplom razdoblju godine od srpnja do prosinca. Najmanje razlike se javljaju tijekom zime od prosinca do veljače.



Slika 6: Grafički prikaz vrijednosti maksimalnih, prosječnih i minimalnih razlika raspona ($\Delta T_0 - \Delta T_1$) te srednjih mjesečnih temperatura zraka izračunatih za svaki mjesec tijekom godine za podatke u razdoblju od siječnja 1999. do prosinca 2014.

Na slici 7 grafički su prikazane vrijednosti razlika raspona ($\Delta T_0 - \Delta T_1$) srednjih godišnjih temperatura zraka izračunatih za svaku pojedinu godinu u razdoblju od 1999. do 2014. na meteorološkim postajama Zagreb–Grič i Dubrovnik (zelena boja). Razlike se kreću u rasponu od 0,18 °C od najniže vrijednosti 0,28 °C opažene 2004. godine do najviše vrijednosti od 0,466 °C opažene 2011. godine, s prosječnom vrijednošću od 0,38 °C. Na slici je ucrtan i pravac linearne regresije koji ukazuje na postojanje trenda porasta razlika raspona ($\Delta T_0 - \Delta T_1$) srednjih godišnjih temperatura zraka kod kojeg koeficijent linearne korelacije iznosi $r=0,369$.



Slika 7: Grafički prikaz vrijednosti razlika raspona ($\Delta T_0 - \Delta T_1$) srednjih godišnjih temperatura zraka izračunatih za svaku pojedinu godinu u razdoblju od 1999. do 2014., na meteorološkim postajama Zagreb-Grič i Dubrovnik (zeleno boja). Grafički su prikazane i vrijednosti razlika točnih srednjih godišnjih temperatura zraka ($T_{0_{DBV}} - T_{0_{ZGB}}$) (crvena boja) i razlika službenih srednjih godišnjih temperatura zraka ($T_{1_{DBV}} - T_{1_{ZGB}}$) (plava boja).

U slučaju srednjih godišnjih temperatura zraka sve su vrijednosti razlika pozitivne, a raspon razlika je bitno manji nego u slučaju srednjih dnevnih i mjesečnih temperatura zraka.

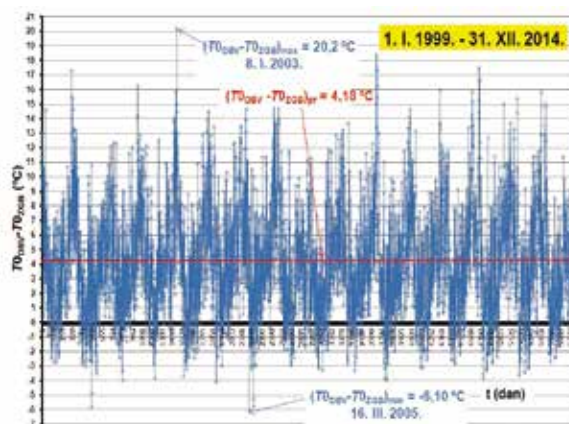
Na ovoj su slici ucrtane i vrijednosti razlika točnih srednjih godišnjih temperatura zraka ($T_{0_{DBV}} - T_{0_{ZGB}}$) (crvena boja) i razlika službenih srednjih godišnjih temperatura zraka ($T_{1_{DBV}} - T_{1_{ZGB}}$) (plava boja). Uočava se da su razlike točnih srednjih godišnjih temperatura zraka na postajama Dubrovnika i Zagreb-Griča uvijek veće od onih službenih, u prosjeku za $0,38 \text{ } ^\circ\text{C}$.

3. RAZLIKE IZMEĐU TOČNIH SREDNJIH DNEVNIH, MJESEČNIH I GODIŠNJIH TEMPERATURA ZRAKA ZAGREB-GRIČA I DUBROVNIKA

U okviru ovog poglavlja izvršit će se proračun i analiza razlika između točnih srednjih dnevnih, mjesečnih i godišnjih vrijednosti temperatura zraka, T_0 , izmjerenih na meteorološkim postajama Dubrovnik i Zagreb-Grič ($T_{0_{DBV}} - T_{0_{ZGB}}$). Cilj ove analize je da se zainteresiranim stručnjacima, ali i široj javnosti, daju na uvid točne razlike temperatura između dva naša grada od kojih se jedan nalazi na kontinentu, a drugi je smješten gotovo na samom jugu Hrvatske. To se smatralo važnim stoga jer su točne srednje godišnje temperature zraka Dubrovnika uvijek niže od onih službenih, a Zagreba uvijek više (vidi sliku 1). Nastavno da će se pokušati analizirati kako se ponašaju odnosi točnih srednjih dnevnih i mjesečnih temperatura zraka između ova dva lokaliteta.

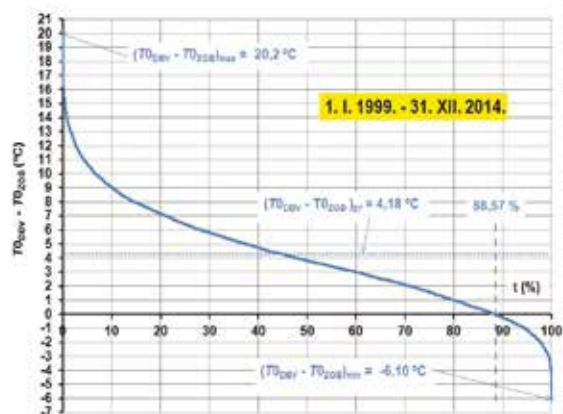
Na slici 8 grafički su prikazane vrijednosti razlika ($T_{0_{DBV}} - T_{0_{ZGB}}$) točnih srednjih dnevnih temperatura zraka izračunatih za svaki pojedini dan u razdoblju od 1. siječnja 1999. do 31. prosinca 2014. na meteorološkim postajama Zagreb-Grič i Dubrovnik.

Razlike se kreću u vrlo velikom rasponu od $-6,10 \text{ } ^\circ\text{C}$ do $20,2 \text{ } ^\circ\text{C}$, s prosječnom vrijednošću od $4,18 \text{ } ^\circ\text{C}$. Raspon razlika iznosi $26,3 \text{ } ^\circ\text{C}$. Uočava se da su točne srednje dnevne temperature izmjerene na postaji Dubrovnik u velikom dijelu tijekom svog razmatranog razdoblja više od onih izmjerenih na postaji Zagreb-Grič, što je očekivano. Međutim, treba naglasiti da su u pojedinim danima analiziranog razdoblja vremena srednje dnevne temperature zraka izmjerene na postaji Dubrovnik niže nego na postaji Zagreb-Grič.



Slika 8: Grafički prikaz vrijednosti razlika ($T_{0_{DBV}} - T_{0_{ZGB}}$) točnih srednjih dnevnih temperatura zraka izračunatih za svaki pojedini dan u razdoblju od 1. siječnja 1999. do 31. prosinca 2014. na meteorološkim postajama Zagreb-Grič i Dubrovnik

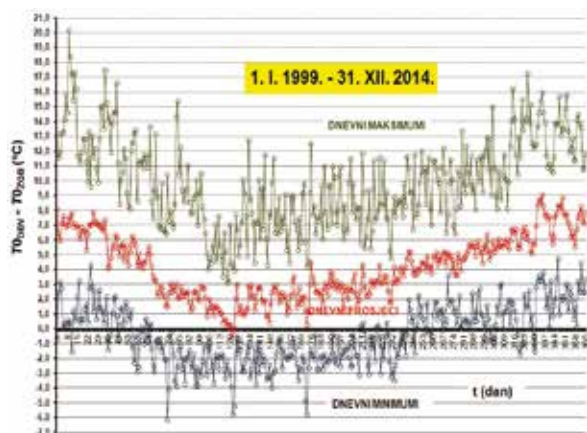
Prethodnu činjenicu najlakše je uočiti iz prikaza danog na slici 9 na kojoj se nalazi grafički prikaz krivulje trajanja vrijednosti razlika ($T_{0_{DBV}} - T_{0_{ZGB}}$) točnih srednjih dnevnih temperatura zraka izračunatih za svaki pojedini dan u razdoblju od 1. siječnja 1999. do 31. prosinca 2014. U 88,57 % analizom obuhvaćenog vremena, što odgovara broju od 5176 dana, srednja dnevna temperatura zraka Dubrovnika viša je od one u Zagrebu, ali je 668 dana (11,43 %) vremena niža.



Slika 9: Grafički prikaz krivulje trajanja vrijednosti razlika ($T_{0_{DBV}} - T_{0_{ZGB}}$) točnih srednjih dnevnih temperatura zraka izračunatih za svaki pojedini dan u razdoblju od 1. siječnja 1999. do 31. prosinca 2014.

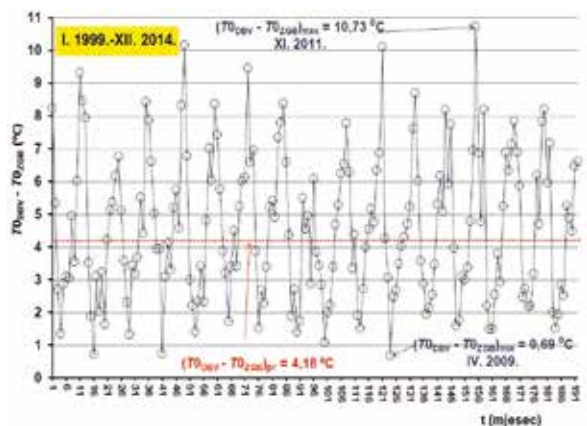
Na slici 10 ucrtane su vrijednosti maksimalnih, prosječnih i minimalnih razlika ($T_{0_{DBV}} - T_{0_{ZGB}}$) točnih

srednjih dnevnih temperatura zraka izračunatih za svaki dan tijekom godine za podatke u razdoblju od 1. siječnja 1999. do 31. prosinca 2014. Moguće je zaključiti da se maksimalne razlike javljaju tijekom hladnog dijela godine, osobito u prosincu i siječnju, dok se minimalne javljaju od sredine travnja do sredine lipnja. Negativne vrijednosti, tj. slučajevi kad je točna srednja temperatura zraka Zagreb-Griča viša od one izmjerene na postaji Dubrovnik, u razmatranom razdoblju od 5844 dana pojavile su se najčešće od ožujka do kolovoza, ali je rijetkih pojava bilo i u ostalom dijelu godine.



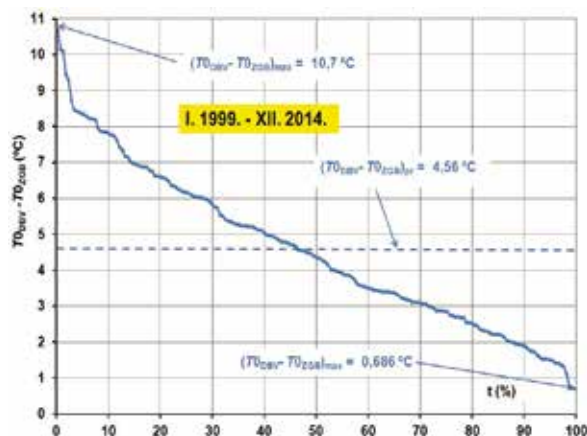
Slika 10: Grafički prikaz vrijednosti maksimalnih, prosječnih i minimalnih razlika ($T_{0_{DBV}} - T_{0_{ZGB}}$) točnih srednjih dnevnih temperatura zraka izračunatih za svaki dan tijekom godine za podatke u razdoblju od 1. siječnja 1999. do 31. prosinca 2014.

Na slici 11 grafički su prikazane vrijednosti razlika ($T_{0_{DBV}} - T_{0_{ZGB}}$) srednjih mjesečnih temperatura zraka izračunatih za svaki pojedini mjesec u razdoblju od siječnja 1999. do prosinca 2014. na meteorološkim postajama Zagreb-Grič i Dubrovnik. Razlike se kreću od 4,18 °C do 10,73 °C, s prosječnom vrijednošću od 0,69 °C. U slučaju srednjih mjesečnih temperatura zraka sve su vrijednosti pozitivne, a raspon razlika je manji nego u slučaju srednjih dnevnih temperatura zraka i iznosi 6,55 °C.



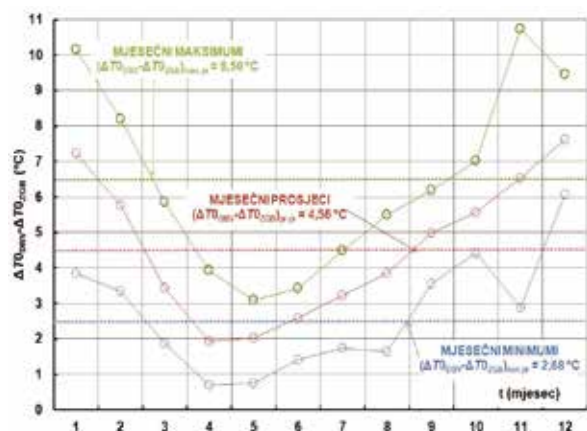
Slika 11: Grafički prikaz vrijednosti razlika ($T_{0_{DBV}} - T_{0_{ZGB}}$) srednjih mjesečnih temperatura zraka izračunatih za svaki pojedini mjesec u razdoblju od siječnja 1999. do prosinca 2014.

Na slici 12 se nalazi krivulja trajanja vrijednosti razlika ($T_{0_{DBV}} - T_{0_{ZGB}}$) srednjih mjesečnih temperatura zraka izračunatih za svaki pojedini mjesec u razdoblju od siječnja 1999. do prosinca 2014. Iz prikaza na slikama 10 i 11 može se zaključiti da niti jedan mjesec u razmatranom razdoblju srednje mjesečne temperature zraka Dubrovnik nisu bile niže od onih izmjerenih na postaji Zagreb-Grič. Razlike se kreću u vrlo velikom rasponu vrijednosti od minimalnih 0,686 °C do maksimalnih 10,7 °C uz prosječnu vrijednost od 4,56 °C.



Slika 12: Krivulja trajanja vrijednosti maksimalnih, prosječnih i minimalnih razlika ($T_{0_{DBV}} - T_{0_{ZGB}}$) srednjih mjesečnih temperatura zraka izračunatih za svaki pojedini mjesec u razdoblju od siječnja 1999. do prosinca 2014.

Na slici 13 grafički su prikazane vrijednosti maksimalnih, prosječnih i minimalnih razlika ($T_{0_{DBV}} - T_{0_{ZGB}}$) točnih srednjih mjesečnih temperatura zraka izračunatih za svaki mjesec tijekom godine za podatke u razdoblju od siječnja 1999. do prosinca 2014. Najmanje razlike javljaju se tijekom travnja i svibnja s blagim porastom od lipnja do kolovoza. Najveće razlike se javljaju tijekom zime, od studenog do veljače.



Slika 13: Grafički prikaz vrijednosti maksimalnih, prosječnih i minimalnih razlika ($T_{0_{DBV}} - T_{0_{ZGB}}$) točnih srednjih mjesečnih temperatura zraka izračunatih za svaki mjesec tijekom godine za podatke u razdoblju od siječnja 1999. do prosinca 2014.

4. ZAKLJUČAK

Tijekom analiziranog razdoblja od 16 godina uočen je trend povećanja pozitivnih vrijednosti razlika između točnih i službenih vrijednosti ($\Delta T_0 - \Delta T_1$) srednjih godišnjih temperatura zraka na postaji Dubrovnik, ali i trend smanjivanja negativnih vrijednosti razlika ($\Delta T_0 - \Delta T_1$) srednjih godišnjih temperatura zraka na postaji Zagreb-Grič. U oba slučaja koeficijenti linearne korelacije su statistički značajni, ali je razdoblje u kojem se vršila analiza prekratko da bi se mogli i smjeli izvlačiti pouzdani zaključci o razvoju ovih procesa.

Vrijednosti razlika raspona ($\Delta T_0 - \Delta T_1$) srednjih dnevnih temperatura zraka izračunatih za svaki pojedini dan u razdoblju od 1. siječnja 1999. do 31. prosinca 2014. u 73,1 % vremena (4270 dana) su jednake ili veće od nule. Preostalih 26,9 % vremena manje su od nule. Maksimalna razlika iznosi 4,80 °C, minimalna -3,03 °C, dok prosječnom vrijednošću iznosi 0,38 °C. Radi se o zaista velikom rasponu od 7,83 °C.

S produžavanjem vremenskog inkrementa obrade smanjuju se vrijednosti razlike, ali su one još uvijek nezanimarive. Vrijednosti razlika raspona ($\Delta T_0 - \Delta T_1$) srednjih mjesečnih temperatura zraka izračunatih za svaki pojedini dan u razdoblju od siječnja 1999. do prosinca 2014. u sva 192 razmatrana mjeseca bile su veće od nule. Maksimalna razlika iznosila je 0,81 °C, minimalna 0,004 °C, dok je prosječna vrijednost iznosila 0,38 °C. Radi se o rasponu od 0,81 °C.

Točne srednje mjesečne i godišnje temperature zraka, T_0 , izračunate izrazom (1) na meteorološkoj postaji Dubrovnik uvijek su više od onih službenih, T_1 , izračunatih izrazom (2), dok je u slučaju meteorološke postaje Zagreb-Grič situacija obrnuta. Točne srednje dnevne temperature izmjerene na postaji Dubrovnik tijekom 88,57 % razmatranog vremena više su od onih izmjerenih na postaji Zagreb-Grič. U slučajevima dužih vremenskih skala (mjesec i godina) temperature izmjerene na postaji Dubrovnik uvijek su više.

Vežano s obradama iznesenim u ovom radu autori smatraju da je bitno biti svjestan činjenice da srednje dnevne temperature definirane bilo kojim od brojnih izraza u službenoj upotrebi, koji se u svijetu koriste, ne predstavljaju i točne vrijednosti srednje dnevne temperature zraka, T_0 , što posljedično utječe i na točnost određivanja ostalih srednjih temperatura za različite dulje vremenske inkremente. S tom istinom treba biti upoznata i najšira javnost, a o njoj moraju mnogo oz-

biljnije nego do sada voditi računa i znanstvenici, klimatolozi prije svega.

Različite metode određivanja srednjih dnevnih temperatura zraka primijenjene u istom modelu utječu na točnost njegovih rezultata. Da se do sada o posljedicama toga nije vodilo dovoljno računa upozorili su Zeng i Wang (2012.). To je važno imati na umu kad se primjenom složenih klimatoloških modela vrše globalne i regionalne klimatološke analize na osnovi kojih se pouzdano želi procijeniti razvoj klime u budućnosti. Kako je prethodno već bilo napomenuto operiranje s točnim srednjim temperaturama zraka na različitim vremenskim skalama od ključnog je značaja za inženjere praktičare (osobito hidrologe i upravljače vodnim resursima), stručnjake koji se bave poljoprivrednom proizvodnjom te za ekologe i zaštitare prirode.

Kad se ova problematika razmatra na širem globalnom i/ili regionalnom planu, bitnom za postizanje pouzdanih rezultata globalnih cirkulacijskih modela, ne smije se zaboraviti na činjenicu da se u različitim državama (često i u istoj) koriste različiti instrumenti za mjerenje temperatura zraka, da se oni, kao i položaji postaja, mijenjaju tijekom vremena te da se temperatura zraka ne mjeri uvijek i svugdje na visini 2 m od površine terena. Sve prethodno izneseno zasigurno unosi određena odstupanja (u engleskoj se literaturi koristi izraz „bias“) u rezultate brojnih i vrlo različitih klimatoloških modela. Kolika su ona, te utječu li značajnije na konačne zaključke potrebno je detaljno izučiti.

Usporedbe srednjih dnevnih, mjesečnih i godišnjih temperatura zraka mjerene na dvije meteorološke postaje izvršene u ovom radu ukazuju tek na neke moguće posljedice. Po svemu sudeći stvarna situacija mnogo je složenija te se vrlo vjerojatno razlikuje od slučaja do slučaja.

Slučaj dvije, u ovom radu analizirane, postaje važan je stoga jer se radi o lokacijama u istoj državi, međusobno udaljenih 390 km zračne linije smještene u izrazito različitim klimatskim režimima. Činjenica da su točne srednje mjesečne i godišnje temperature zraka, T_0 , na meteorološkoj postaji Dubrovnik uvijek više od onih izračunatih službenim izrazom (2), dok su na meteorološkoj postaji Zagreb-Grič one uvijek niže, upozorava na neophodnost dublje i detaljnije analize.

Autori smatraju da bi u radu prikazani rezultati mogli poslužiti kao poticaj da se analize ove vrste sustavno i mnogo detaljnije izvrše za područje cijele Hrvatske koristeći sve raspoložive nizove podataka za više klimatoloških postaja iz različitih klimatskih područja. ■

LITERATURA

Bonacci, O.; Željковиć, I.; Šakić-Trogrlić, R.; Milković, J. (2013.a): Differences between true mean daily, monthly, annual air temperatures and air temperatures calculated with three equations: a case study from three Croatian stations. *Theoretical and Applied Climatology*, 114:271-279.

Bonacci, O.; Željковиć, I.; Šakić-Trogrlić, R.; Milković, J. (2013.b): Prilog raspravi o računanju srednjih temperatura zraka. *Hrvatske vode*, 21(84):129-136.

Bonacci, O.; Željковиć, I. (2016.): Differences between true mean temperatures and means calculated with four different approaches: a case study from three

- Croatian stations. *Theoretical and Applied Climatology*, DOI:10.1007/s00704-016-1993-5.
- Brooks, C.E.P. (1921.): True mean temperature. *Monthly Weather Review*, 49:226-229.
- Gough, W.A.;+ He, D. (2015.): Diurnal temperature asymmetries and fog at Churchill, Manitoba. *Theoretical and Applied Climatology*, 121:113-119.
- Hamed, K.H.; Rao, R. (1998.) The modified Mann-Kendal trend test for autocorrelated data. *Journal of Hydrology*, 204:182-196.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (1990.) *Climate Change: The IPCC Scientific Assessment*. Cambridge University Press, Cambridge. 366 str.
- Li, Z.; Wang, K.; Zhou, C.; Wang, L. (2016.): Modelling the true monthly mean temperature from continuous measurements over global land. *International Journal of Climatology*, 36(4):2103-2110. DOI: 10.1002/joc.4445.
- Zeng, X.; Wang, A. (2012.): What is monthly mean land surface air temperature? *EOS*, 93(15): 156-157.
- Zhou, C.; Wang, K. (2016.): Spatiotemporal divergence of the warming hiatus over land based on different definitions of mean temperature. *Scientific Reports*, 6, 31789, DOI: 10.1038/srep31789
- Žaknić-Čatović, A.; Gough, W.A. (2017.): A comparison of climatological observing windows and their impact on detecting daily temperature extrema. *Theoretical and Applied Climatology*, DOI: 10.1007/s00704-017-2068-y

A comparison of the mean value of air temperature (on different time scales) calculated by two different methods

The formula used for the determination of accurate mean daily air temperature, T_0 , is: $T_0 = (\sum_{i=1}^{i=24} T_i) / 24$. In the climatological practice in Croatia as well as numerous Central European countries, mean daily air temperature, T_1 , is calculated by using the following formula (called "official" further in the text): $T_1 = (T_7 + T_{14} + 2 \times T_{21}) / 4$. These two formulas result in different values of mean daily, monthly and annual air temperatures. In the paper we have compared mean daily, monthly and annual air temperatures measured at the meteorological stations Zagreb-Grič and Dubrovnik in the period from 1 January 1999 to 31 December 2014 and calculated by applying both formulas. The differences between the ranges of the accurate and official values of mean daily air temperatures at Zagreb-Grič and Dubrovnik stations were analyzed. Additionally, the differences between the accurate mean daily, monthly and annual values of air temperatures, T_0 , measured at the meteorological stations Dubrovnik and Zagreb-Grič were also calculated and analyzed. It was determined that the accurate mean monthly and annual air temperatures, T_0 , at the meteorological station Dubrovnik were always higher than those calculated by using the "official" formula (2), whereas at the meteorological station Zagreb-Grič they were always lower. When the temporal scale is extended, the values of these differences are smaller, although still not negligible. The paper was written with the aim of attracting attention to the necessity of studying these issues in the near future.

Key words: mean daily, monthly and annual air temperature, difference between accurate and official air temperatures, Zagreb-Grič, Dubrovnik

Vergleich der anhand zweier verschiedener Methoden berechneten Mittelwerte der Lufttemperatur auf verschiedenen Zeitskalen

Der Ausdruck zur Bestimmung der genauen mittleren Tageslufttemperatur T_0 lautet $T_0 = (\sum_{i=1}^{i=24} T_i) / 24$. In der klimatologischen Praxis Kroatiens wie auch in zahlreichen mitteleuropäischen Ländern wird zur Bestimmung der mittleren Tageslufttemperatur T_1 folgender Ausdruck verwendet: $T_1 = (T_7 + T_{14} + 2 \times T_{21}) / 4$, der im Weiteren offizieller Ausdruck genannt wird. Diese zwei Ausdrücke ergeben verschiedene Werte von mittleren Tages-, Monats- und Jahreslufttemperaturen, die an den meteorologischen Stationen Zagreb-Grič und Dubrovnik gemessen und unter Verwendung beider Ausdrücke für den Zeitraum vom 1. Januar 1999 bis 31. Dezember 2014 berechnet worden sind. Die Unterschiede zwischen Bereichen von genauen und Bereichen von offiziellen Werten der mittleren an Zagreb-Grič und Dubrovnik gemessenen Tagestemperaturen wurden analysiert. Die Unterschiede zwischen den genauen Werten der mittleren Tages-, Monats- und Jahreslufttemperaturen, T_0 , wurden auch berechnet und analysiert. Es konnte festgestellt werden, dass die genauen mittleren Monats- und Jahreslufttemperaturen, T_0 , an der meteorologischen Station Dubrovnik immer höher als die mit dem offiziellen Ausdruck berechneten Werte waren, während sie an der meteorologischen Station Zagreb-Grič immer niedriger waren. Bei der Verlängerung der untersuchten Zeitskala wurden die Unterschiede kleiner, obwohl noch immer nicht vernachlässigbar. Das Ziel dieses Beitrags ist darauf hinzuweisen, dass dieser Problematik in Zukunft mehr Aufmerksamkeit geschenkt werden soll.

Schlüsselwörter: mittlere Tages-, Monats- und Jahreslufttemperatur, Unterschied zwischen genauen und offiziellen Lufttemperaturen, Zagreb-Grič, Dubrovnik