

# PRIMJENA METODE DAN ZA DANOM (DAY TO DAY) VARIJABILNOSTI TEMPERATURE ZRAKA NA PODATCIMA OPAŽENIM NA OPSERVATORIJU ZAGREB-GRIČ (1887.-2018.)

**dr. sc. Ognjen Bonacci,**  
**prof. emer.**  
Sveučilište u Splitu,  
Fakultet građevinarstva,  
arhitekture i geodezije  
Matice hrvatske 15,  
Split, Hrvatska  
e-mail: obonacci@gradst.hr

**dr. sc. Tanja Roje-Bonacci,**  
**prof. emer.**  
Sveučilište u Splitu,  
Fakultet građevinarstva,  
arhitekture i geodezije  
Matice hrvatske 15,  
Split, Hrvatska

U radu je primijenjena relativno nova metoda dan za danom (*day to day*) (u daljnjem tekstu DTD) kojom se analiziraju varijacije dan za danom minimalnih, srednjih i maksimalnih dnevnih temperatura zraka mjenjenih u opservatoriju Zagreb Grič u razdoblju od 1878. do 2018. Proračunate su i uspoređene DTD vrijednosti za razdoblje cijele godine (1. siječnja do 31. prosinca) i za topli dio godine od 15. lipnja do 15. rujna. Cilj analize je bio da se primjenom ove relativno nove i suptilne metode pokuša ustanoviti kako se učinak klimatskih promjena i urbanizacije manifestira na varijacije karakterističnih (minimalnih, srednjih i maksimalnih) dnevnih temperatura tijekom cijele godine i tijekom toplog razdoblja. Utvrđeno je da nema pojave trendova (ni pozitivnih niti negativnih) nizova srednjih dnevnih,  $DTD_{sr}$ , i minimalnih dnevnih,  $DTD_{min}$ , varijacija dan za danom temperatura ni u slučaju godišnjih, niti u toplom razdoblju godine DTD-a. U slučaju nizova maksimalnih dnevnih temperatura,  $DTD_{max}$ , i razlika između maksimalnih i minimalnih dnevnih temperatura,  $\Delta DTD$ , došlo je do statistički značajne razlike ponašanja nizova u podrazdoblju prije uključivo 1958. i u recentnom razdoblju od 1959. do 2018. Razlike su opažene i u slučaju godišnjih nizova i onih iz toplog dijela godine DTD-a. Uočene su statistički značajno manje međudnevne varijacije u posljednjih 60 godina. Varijacije u toplom dijelu godine,  $DTD_{min}$ , značajno su manje od onih godišnjih. S druge strane varijacije godišnjih razlika,  $\Delta DTD$ , značajno su manje od onih u toplom dijelu godine.

**Ključne riječi:** temperatura zraka, metoda dan za danom varijacije temperatura, Zagreb Grič, F-test, t-test

## 1. UVOD

Kako će se klima razvijati u budućnosti predstavlja jedno od najintragantnijih i planetarno egzistencijalno bitnih pitanja na koje znanost pokušava vrlo intenzivno odgovoriti koristeći sav raspoloživi arsenal znanstvenih metoda, pristupa, koncepata i suvremenih naprednih tehnologija. Razlog tome je što se na Zemlji intenzivno i ubrzano odvija opasan proces globalnog zagrijavanja (IPCC, 2014.).

Klima je uvijek i na svim dijelovima planete bila i ostala promjenjiva. Promjene klime prirodno su svojstvo svakog klimatskog sustava i posljedica su prirodne varijabilnosti i kaotičnih svojstava atmosfere (Washington, 2000.). Varijacije klime se odnose na promjene srednjih vrijednosti i drugih statističkih karakteristika klimatskih elemenata (insolacija, temperatura zraka, tlak, smjer i brzina vjetera, vlažnost, oborina, isparavanje, naoblaka itd.) i klimatskih pojava. Promjenjivost klime posljedica je prirodnih internih procesa unutar klimatskih sustava (interna varijabilnost), ali može biti uzrokovana i različitim prirodnim i/ili antropogenim vanjskim silama (eksterna varijabilnost). Klimatske promjene se, dakle, odnose na bilo koju promjenu klime tijekom vremena na određenoj lokaciji uzrokovane prirodnom varijabilnosti ili antropogenim djelatnostima. Varijacije klime koje su kraće unutar standardnog klimatskog razdoblja ne smatraju se klimatskim promjenama. Promjena klime se javlja kad nastupi značajna i trajna promjena u statističkoj razdiobi klimatskih elemenata i pojava u razdoblju od nekoliko dekada pa sve do milijuna godina.

Osnovna karakteristika recentne promjene klime izražava se kao globalno zagrijavanje, tj. kao pojava trenda porasta temperatura zraka u posljednjih nešto duže od sto godina. S ciljem objašnjavanja razvoja ovog procesa prirodno je koristiti najrazličitije vrste analiza, prije svega dugih nizova opažanja temperature zraka, svakako dužih od sto godina. Takva motrenja gotovo se isključivo mogu naći u velikim gradovima kod kojih osim globalnog zagrijavanja postoje i mnogi drugi čimbenici koji utječu na promjenu (uglavnom porast) temperatura zraka.

U ovom će radu biti analizirani nizovi minimalnih, srednjih i maksimalnih dnevnih temperatura zraka izmjerenih na opservatoriju Zagreb-Grič u razdoblju od 1. siječnja 1887. do 31. prosinca 2018. Radi se o službenim podacima dobivenim od strane Državnog hidrometeorološkog zavoda iz Zagreba, na čemu im se autori ovim putem zahvaljuju. Opservatorij se nalazi na brežuljku blizu samog gradskog centra ( $\varphi=45^{\circ}49'$ ,  $\lambda = 15^{\circ}59'$ ) na 157 m nadmorske visine. Mjerenja klimatoloških elemenata započela su 1. prosinca 1861. Smještaj opservatorija nije se mijenjao, niti je bitno mijenjan položaj instrumenata unutar njega. Penzar i sur. (1990.) smatraju da izmjereni podatci predstavljaju homogenu nizove. Naglašavaju i činjenicu da je neposredna okolica opservatorija ostala neizmijenjena,

tj. neizgrađena, usprkos snažnom širenju samog grada Zagreba. Ujedno donose zaključak da je brzi razvoj grada Zagreba mogao utjecati prvenstveno na temperaturne i oborinske prilike te naoblaku, vidljivost i maglu.

Različite analize nizova temperatura zraka izmjerene na opservatoriju Zagreb Grič objavljene su u brojnim člancima (Šegota, 1981., 1986.; Juras, 1985.; Šinik, 1985.; Penzar i sur., 1990.; Penzar i sur., 1992.; Likso, 2003.; Radić i sur., 2004.; Nitis i sur., 2005.; Auer i sur., 2007.; Bonacci, 2010., 2012.; Pandžić i Likso, 2010.; Likso i Pandžić, 2014.; Bonacci i sur., 2018.; Bonacci i Roje-Bonacci, 2018.). Opći je zaključak da na temperature mjerene u opservatoriju Zagreb Grič u posljednjih nekoliko desetljeća značajno utječe ubrzani proces urbanizacije, tj. da se u gradu javlja učinak urbanog toplinskog otoka („urban heat island“). Globalno zagrijavanje i učinak urbanog toplinskog otoka koegzistiraju u svim gradovima koji se brzo razvijaju, što je slučaj i u gradu Zagrebu. Bolje razumijevanje interakcije ova dva fenomena od ključnog je značaja za upravljanje i kontrolu brojnih gradskih sustava. Proces interakcije između prirodnih i antropogenih čimbenika vrlo je različit u svakom pojedinom gradu, te stoga zaključci doneseni za određeni grad ne trebaju u cijelosti važiti za neki drugi grad koji se razvija u drugačijim klimatskim, ali i društvenim uvjetima.

Analizom dugotrajnih nizova temperature moguće je pouzdanije shvatiti brojne složene interaktivne procese te se na osnovi tih zapažanja bolje pripremiti za neizvjesnu klimatsku budućnost. U ovom će se radu za tu svrhu koristiti jedna relativno nova metoda u međunarodnoj literaturi nazvana *day to day*. Ovdje će se prevesti kao metoda dan za danom (u daljnjem tekstu DTD) varijacije temperatura zraka. Ova je nova metoda osobito često i uspješno korištena za procjenu učinka urbanog toplinskog otoka u velikim gradovima koji se brzo šire (Gough, 2008.; Tam i Gough, 2012.; Tam i sur., 2015.; Gough i Hu, 2016.; Li i sur., 2017.).

U našoj literaturi nismo naišli na primjenu ove metode, što ne znači da ona nije korištena. Stoga ljubazno molimo kolege da nas upozore na objavljene radove naših stručnjaka koji su ovu metodu koristili za analiziranje nizova temperatura zraka u Hrvatskoj kako bi ih mogli konzultirati i citirati te radove. U sljedećem poglavlju bit će izneseni njeni osnovni principi. Cilj ovog rada je da se primjenom spomenute nove metode, koju smo preveli kao metoda dan za danom, pokuša detaljnije shvatiti učinak urbanizacije grada Zagreba na razvoj temperature zraka.

## 2. METODA DAN ZA DANOM (DTD) VARIJACIJA TEMPERATURA ZRAKA

U članku su analizirane DTD varijacije minimalnih dnevnih,  $T_{min}$ , srednje dnevnih,  $T_{sr}$ , i maksimalnih dnevnih,  $T_{max}$ , temperatura zraka na postaji Zagreb Grič izmjerenih

u razdoblju od 1. siječnja 1887. do 31. prosinca 2018. (službeni podatci Državnog hidrometeorološkog zavoda, Zagreb). Analize su zasnovane na proračunu apsolutnih razlika između dva susjedna dana izmjerenih ( $T_{min}$ ,  $T_{max}$ ) ili proračunatih ( $T_{sr}$ ) temperatura zraaka. Srednja dnevna temperatura,  $T_{sr}$ , proračunata je sljedećim izrazom:

$$T_{sr} = (T_7 + T_{14} + 2 \times T_{21}) / 4 \quad (1)$$

u kojem,  $T_7$ ,  $T_{14}$ ,  $T_{21}$ , označavaju temperature zraaka očitane u 7, 14 i 21 sat.

U ovom članku koristi se sljedeći izraz za proračun DTD varijacija temperatura zraaka koje su prvi upotrijebili Karl i sur. (1995.):

$$DTD = |T_i - T_{i-1}| / (n-1) \quad (2)$$

pri čemu  $n$ , označava broj uključenih dnevnih podataka,  $i$ , predstavlja brojač dana tijekom razmatranog vremena.

Drugi izraz koji se u radu koristi razvio je Gough (2008.):

$$\Delta DTD = DTD_{max} - DTD_{min} \quad (3)$$

U njemu se izračunavaju razlike između maksimalnih dnevnih temperatura zraaka,  $T_{max}$  ( $DTD_{max}$ ), i minimalnih dnevnih temperatura,  $T_{min}$  ( $DTD_{min}$ ). Pozitivne vrijednosti razlika,  $\Delta DTD$ , indikator su da su dnevne varijacije temperatura veće od onih noćnih, dok negativne vrijednosti razlika,  $\Delta DTD$ , svjedoče da su varijacije noćnih temperatura veće od onih dnevnih.

Metoda DTD varijabilnosti temperatura zraaka je relativno nova. U međunarodnim znanstvenim publikacijama radovi koji koriste ovu jednostavnu, ali po svemu se čini učinkovitu metodu pojavili su se tek prije dvadesetak godina, a u posljednje je vrijeme sve češće u upotrebi (Karl i sur., 1995.; Moberg i sur., 2000.; Rebetez, 2001.; Gough, 2008.; Laidler i sur., 2009.; Tam i Gough, 2012.; Tam i sur., 2015.; Gough i Hu, 2016.; Li i sur., 2017.; Wu i sur., 2017.; Anderson i sur., 2018.). Koristi se za detektiranje suptilnih varijacija temperature zraaka koje nastaju kao posljedica promjena korištenja zemljišta i lokalnih hidroloških uvjeta. Varijabilnost temperature zraaka do sada se najčešće procjenjivala korištenjem različitih statističkih pokazatelja kao što su standardna devijacija, raspon dnevnih temperatura itd. Gough (2008.) je primjenom metode DTD varijabilnosti temperatura u dva grada u Kanadi (Toronto i Calgary) ustanovio da ovaj postupak bolje objašnjava grupiranje temperatura zraaka koje nastaju kao posljedica meteoroloških i geografskih čimbenika koji vladaju u lokalnoj klimi. Apsolutne promjene u

temperaturnim anomalijama od dana do sljedećeg dana mogu predstavljati uspješan alat za dijagnosticiranje nehomogenosti u nizovima temperatura zraaka (Moberg i sur., 2000.).

U radu je korištena „Rescaled Adjusted Partial Sums“ (u daljnjem tekstu RAPS) metoda (Garbrecht i Fernandez, 1984.; Đurin i sur., 2017.; Bonacci i sur., 2018.; Bonacci i Roje-Bonacci, 2018.). RAPS metodom analiziraju se vremenski nizovi primjenom sumarne krivulje odstupanja. Grafički prikaz zasnovan na RAPS transformaciji omogućava prevladavanje malih sustavnih i slučajnih promjena, grešaka i varijabilnosti u analiziranom vremenskom nizu te ukazuje na postojanje: (1) više podrazdoblja sa sličnim karakteristikama; (2) većeg broja trendova; (3) naglih skokova ili padova vrijednosti; (4) neregularnih fluktuacija; (4) postojanje periodičnosti, itd. Izraz za proračun glasi:

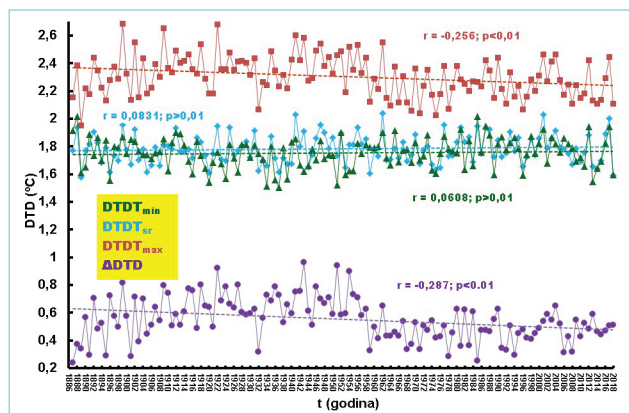
$$RAPS_k = \sum_k ((Y_k - Y_{pr}) / S_Y) \quad (4)$$

kod čega je,  $Y_{pr}$ , prosječna vrijednost cijeloga razmatranog vremenskog niza koji se sastoji od,  $n$ , članova,  $S_Y$ , standardna devijacija istog niza,  $k = 1, 2, \dots, n$ , predstavlja brojač tijekom sumiranja.

Računati su linearni trendovi vremenskih nizova definiranjem pravaca linearne regresije i proračunom koeficijenata linearne korelacije,  $r$ . Statistička značajnost linearnih trendova ocjenjivana je Mann-Kendall-ovim testom (Mann, 1945.; Kendall, 1975.). Korišteni su F-test i t-test za računanje statističke značajnosti razlika između prosječnih vrijednosti susjednih vremenskih podrazdoblja. F-test se koristio za određivanje statističke značajnosti razlika u varijanci, dok se t-test koristio za kvantitativnu procjenu statističke značajnosti razlika prosječne vrijednosti u dva vremenska razdoblja (npr. Pavlič, 1965.; Liang i sur., 2019.). U oba testa kao nivo značajnosti razlika izabrana je vrijednost  $p < 0,01$ .

### 3. ANALIZA GODIŠNJIH, $DTD_{min}$ , $DTD_{sr}$ , $DTD_{max}$ , $\Delta DTD$ , VRIJEDNOSTI

Korištenjem izraza (2) i (3) izračunate su godišnje vrijednosti (1. siječnja do 31. prosinca),  $DTD_{min}$ ,  $DTD_{sr}$ ,  $DTD_{max}$ ,  $\Delta DTD$ , za svaku pojedinu godinu u razdoblju od 1887. do 2018. (ukupno 132 godine). U trećem stupcu [tablice 1](#) navedene su sljedeće karakteristične vrijednosti za svaki od četiri vremenska niza: (1) minimalna; (2) prosječna; (3) maksimalna; (4) raspon; (5) standardna devijacija. Grafički prikaz ova četiri niza godišnjih vrijednosti dan za danom varijacija temperature zraaka na postaji Zagreb Grič,  $DTD_{min}$ ,  $DTD_{sr}$ ,  $DTD_{max}$ ,  $\Delta DTD$ , u razdoblju od 1887. do 2018. s ucrtanim linijama trenda i upisanim koeficijentima linearne korelacije,  $r$ , nalazi se na [slici 1](#).

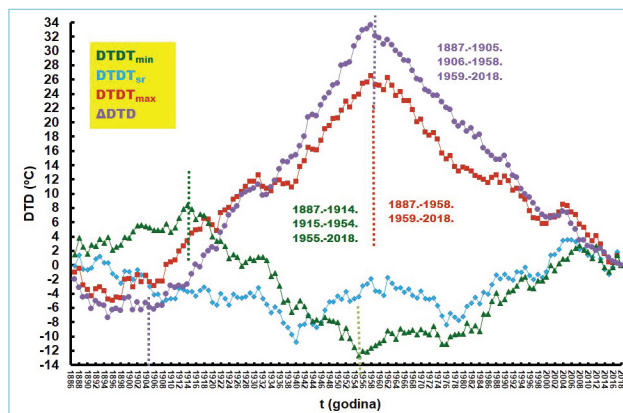


Slika 1: Četiri niza godišnjih vrijednosti (1. siječnja do 31. prosinca) dan za danom varijacija temperatura zraka na postaji Zagreb Grič,  $DTD_{min}$ ,  $DTD_{sr}$ ,  $DTD_{max}$ ,  $\Delta DTD$ , u razdoblju od 1887. do 2018. s ucrtanim linijama trenda i upisanim koeficijentima linearne korelacije,  $r$ , te je označeno je li prema Menn-Kendall-ovom testu trend statistički značajan ( $p < 0,01$ ) ili ne ( $p > 0,01$ )

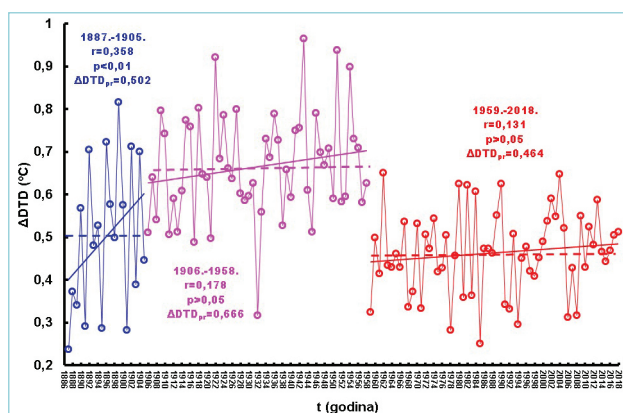
Statistički značajni trendovi smanjenja na nivou,  $p = 0,01$ , utvrđeni su Mann-Kendall-ovim testom kod sljedeća dva vremenska niza: (1)  $DTD_{max}$ ; (2)  $\Delta DTD$ . U slučaju preostala dva vremenska niza postojanje trenda nije moglo biti ustanovljeno.

Treba uočiti da su vrijednosti,  $\Delta DTD$ , uvijek pozitivne, što potencijalno ukazuje da se radi o urbanom području u kojem su varijacije temperatura tijekom noći manje nego tijekom dana, a razlog je što su noćne temperature ublažene učinkom urbanog toplinskog otoka (Tam i sur., 2015.; Gough, 2008.). Treba naglasiti da i drugi okolni čimbenici mogu utjecati na to da varijabilnost noćnih temperatura bude manja od dnevnih. Kako bi se pouzdanije procijenilo radi li se, u konkretnom slučaju, o utjecaju urbanizacije, bit će potrebno u analizu uključiti još nekoliko okolnih postaja kao npr. Maksimir, Pleso, Puntijarku itd. Ove analize autori namjeravaju obaviti u jednom od sljedećih radova.

Korištenjem RAPS metode detaljnije je izučeno ponašanje četiriju vremenskih nizova tijekom analiziranog razdoblja 1887.–2018. Grafički prikaz četiriju RAPS nizova se nalazi na slici 2. Na istoj su slici osim grafičkih prikaza četiriju RAPS-a ucrtanih granica pojedinih podnizova upisana i podrazdoblja za svaki od četiriju analiziranih vremenskih nizova. U vremenskom nizu dan za danom varijacija minimalnih dnevnih temperatura,  $DTD_{min}$ , ustanovljeno je postojanje triju podnizova sa statistički značajno različitim prosječnim vrijednostima u sljedećim podrazdobljima: (1) 1887.–1914.; (2) 1915.–1954.; (3) 1955.–2018. U vremenskom nizu varijacija srednjih dnevnih temperatura,  $DTD_{sr}$ , nije opažen nikakav skok niti pad. Vremenski niz dan za danom varijacija maksimalnih dnevnih temperatura,  $DTD_{max}$ , se sastoji od dvaju podnizova u sljedećim podrazdobljima: (1) 1887.–1958.; (2) 1959.–2018. U vremenskom nizu,  $\Delta DTD$ , varijacija ustanovljeno je postojanje triju podnizova sa statistički značajno različitim prosječnim vrijednostima u sljedećim podrazdobljima: (1) 1887.–1905.; (2) 1906.–1958.; (3) 1959.–2018.



Slika 2: Četiri niza RAPS vrijednosti za nizove godišnjih vrijednosti (1. siječnja do 31. prosinca) dan za danom varijacija temperatura zraka na postaji Zagreb Grič,  $DTD_{min}$ ,  $DTD_{sr}$ ,  $DTD_{max}$ ,  $\Delta DTD$ , u razdoblju od 1887. do 2018.



Slika 3: Tri podniza godišnjih vrijednosti (1. siječnja do 31. prosinca) dan za danom varijacija temperatura zraka na postaji Zagreb Grič,  $\Delta DTD$ , u podrazdobljima: (1) 1887.–1905.; (2) 1906.–1958.; (3) 1959.–2018. Grafički prikaz jasno ukazuje na različito ponašanje trendova i prosječnih vrijednosti triju podnizova,  $\Delta DTD$ . U prvom podnizu (1887.–1905.) uzlazni trend statistički je značajan ( $p > 0,01$ ), dok u sljedeća dva vremenska podniza nije. Uočava se statistički značajan porast prosječne vrijednosti tijekom drugog podniza u odnosu na prvi i treći. U ovom trenutku ne raspolažemo s dovoljno informacija da bi mogli postaviti bilo kakovu hipotezu, ali je očito da bi taj fenomen bilo važno detaljnije objasniti.

Na slici 3 grafički su prikazana tri podniza godišnjih vrijednosti dan za danom varijacija temperatura zraka na postaji Zagreb Grič,  $\Delta DTD$ , u podrazdobljima: (1) 1887.–1905.; (2) 1906.–1958.; (3) 1959.–2018. Grafički prikaz jasno ukazuje na različito ponašanje trendova i prosječnih vrijednosti triju podnizova,  $\Delta DTD$ . U prvom podnizu (1887.–1905.) uzlazni trend statistički je značajan ( $p > 0,01$ ), dok u sljedeća dva vremenska podniza nije. Uočava se statistički značajan porast prosječne vrijednosti tijekom drugog podniza u odnosu na prvi i treći. U ovom trenutku ne raspolažemo s dovoljno informacija da bi mogli postaviti bilo kakovu hipotezu, ali je očito da bi taj fenomen bilo važno detaljnije objasniti.

U tablici 2 upisane su prosječne,  $DTD_{min}$ ,  $DTD_{max}$ ,  $\Delta DTD$ , vrijednosti u °C, tijekom cijele godine u svakom pojedinom podrazdoblju određenom RAPS metodom s vrijednostima F-testa i t-testa između susjednih podrazdoblja. Crvenom bojom su označeni slučajevi statistički značajnih vrijednosti razlika na nivou značajnosti,  $p < 0,01$ . Pošto vrijednost,  $p$ , F-testa ni u jednom slučaju nije bila niža od prethodno navedene granične vrijednosti, može se zaključiti da

među podrazdobljima nije bilo značajnih promjena varijanci. Vrijednosti t-testova između svih analiziranih podrazdoblja bile su niže od granične vrijednosti,  $p < 0,01$ .

#### 4. ANALIZA VRIJEDNOSTI, $DTDT_{min}$ , $DTDT_{sr}$ , $DTDT_{max}$ , $\Delta DTD$ , U TOPLOM DIJELU GODINE

Varijacije temperatura iz dana u dan različito se ponašaju tijekom različitih sezona godine, a osobito velike razlike nastaju tijekom toplog i tijekom hladnog dijela godine (Rebetez, 2001.). Zbog toga su u ovom poglavlju izračunate i dan za danom

varijacije karakterističnih dnevnih temperatura tijekom najtoplijeg dijela godine na analiziranoj postaji od 15. lipnja do 15. rujna s ciljem da se ti rezultati usporede s DTD vrijednostima dobivenim za cijelu godinu.

Korištenjem izraza (2) i (3) izračunate su vrijednosti za topli dio godine (15. lipnja do 15. rujna),  $DTDT_{min}$ ,  $DTDT_{sr}$ ,  $DTDT_{max}$ ,  $\Delta DTD$ , za svaku pojedinu godinu u razdoblju od 1887. do 2018.. U tablici 1 navedene su njihove slijedeće karakteristične vrijednosti: (1) minimalna; (2) prosječna; (3) maksimalna; (4) raspon; (5) standardna devijacija dok je u petom stupcu upisana razlika između navedenih karakterističnih

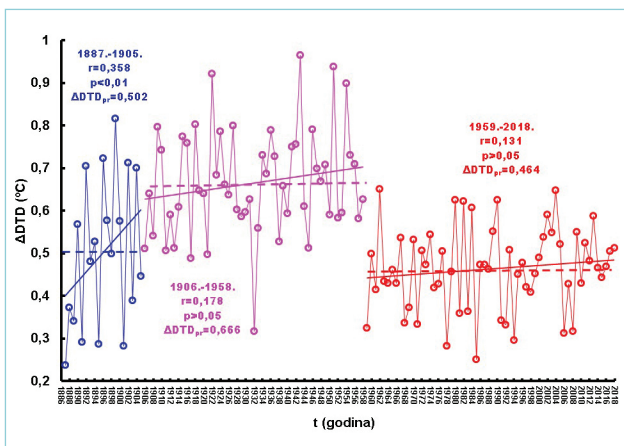
Tablica 1: Karakteristične godišnje vrijednosti,  $DTDT_{min}$ ,  $DTDT_{sr}$ ,  $DTDT_{max}$ ,  $\Delta DTD$ , tijekom cijele godine (1. siječnja do 31. prosinca) ([3]) i u toplom dijelu godine (15. lipnja do 15. rujna) ([4]) u razdoblju od 1887. - 2018.

parametar	statistika	godišnji DTD[°C]	topli dio godine DTD [°C]	[3] - [4] [°C]
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
$DTDT_{min}$	minimum	1,504	1,139	0,365
	prosjeak	1,754	1,478	0,276
	maksimum	2,014	2,370	-0,356
	raspon	0,510	1,234	-0,724
	st. devijacija	0,1099	0,1719	-0,0620
$DTDT_{sr}$	minimum	1,576	1,387	0,189
	prosjeak	1,782	1,786	-0,004
	maksimum	2,038	2,343	-0,305
	raspon	0,461	0,956	0,495
	st. devijacija	0,1048	0,1885	-0,0837
$DTDT_{max}$	minimum	1,953	1,836	0,117
	prosjeak	2,304	2,337	-0,033
	maksimum	2,684	3,115	-0,431
	raspon	0,731	1,279	-0,548
	st. devijacija	0,1472	0,2682	-0,1210
$\Delta DTD$	minimum	0,2379	0,3891	-0,1512
	prosjeak	0,5504	0,8628	-0,3124
	maksimum	0,9654	1,5261	-0,5607
	raspon	0,7275	1,1370	-0,4095
	st. devijacija	0,1543	0,2505	-0,0962

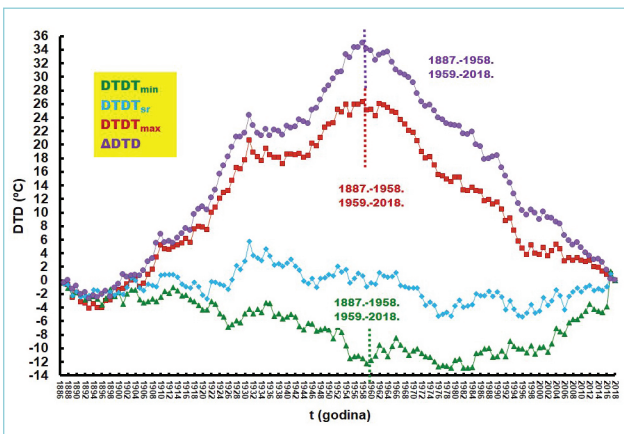
Tablica 2: Prosječne,  $DTDT_{min}$ ,  $DTDT_{max}$ ,  $\Delta DTD$ , vrijednosti tijekom cijele godine (1. siječnja do 31. prosinca) u podrazdobljima određenim RAPS metodom s vrijednostima F-testa i t-testa između podrazdoblja

parametar	podrazdoblje	Prosječni [°C]	F-test	t-test
$DTDT_{min}$	1887.-1914.	1,787	p=0,913 p=0,887	p=8,6E-04 p=2,7E-04
	1915.-1954.	1,697		
	1955.-2018.	1,776		
$DTDT_{max}$	1887.-1958.	2,359	p=0,229	p=1,4E-06
	1959.-2018.	2,239		
$\Delta DTD$	1887.-1905.	0,502	p=0,065 p=0,043	p=4,4E-05 p=2,6E-16
	1906.-1958.	0,666		
	1959.-2018.	0,464		

vrijednosti godišnjih nizova i onih u toplom dijelu godine. Iz podataka navedenih u njoj, osobito iz stupca [5] mogu se iščitati razlike osnovnih karakterističnih vrijednosti između toplog dijela godine i cijele godine. Minimalne vrijednosti kod sva tri  $DTDT_{min}$ ,  $DTDT_{sr}$ ,  $DTDT_{max}$ , su veće kod godišnjih vrijednosti nego kod onih izračunatih za toplo razdoblje godine. Obrnut je slučaj s maksimalnim vrijednostima. Kod nizova  $\Delta DTD$  za svih pet karakteristika veće su vrijednosti za razdoblje cijele godine nego za topli dio godine. Grafički prikaz tri niza vrijednosti dan za danom varijacija temperatura zraka u toplom dijelu godine na postaji Zagreb Grič,  $DTDT_{min}$ ,  $DTDT_{sr}$ ,  $DTDT_{max}$ ,  $\Delta DTD$ , u razdoblju od 1887. do 2018. s ucrtanim linijama trenda i upisanim koeficijentima linearne korelacije prikazan je na slici 4. Statistički značajni trendovi opadanja na nivou,  $p < 0,01$ , utvrđeni su Mann-Kendall-ovim testom kod slijedeća dva vremenska niza: (1)  $DTDT_{max}$ ; (2)  $\Delta DTD$ . U slučaju preostala dva vremenska niza ne postoje statistički značajni trendovi.

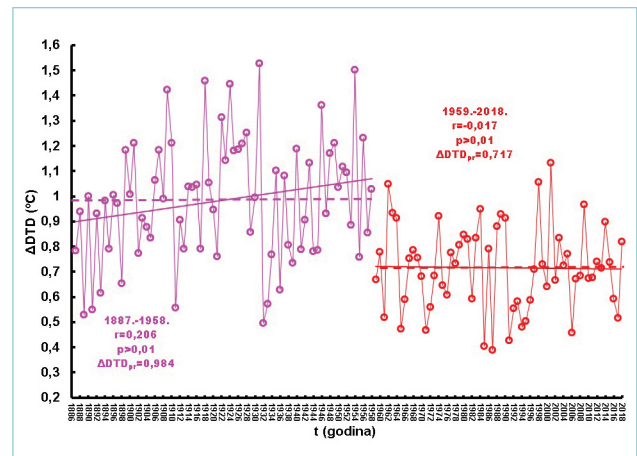


Slika 4: Tri niza vrijednosti u toplom dijelu godine (15. lipnja do 15. rujna) dan za danom varijacija temperatura zraka na postaji Zagreb Grič,  $DTDT_{min}$ ,  $DTDT_{sr}$ ,  $DTDT_{max}$ ,  $\Delta DTD$ , u razdoblju od 1887. do 2018. s ucrtanim linijama trenda i upisanim koeficijentima linearne korelacije,  $r$ , te je označeno je li prema Mann-Kendall-ovom testu trend statistički značajan ( $p < 0,01$ ) ili ne ( $p > 0,01$ )



Slika 5: Četiri niza RAPS vrijednosti za nizove u toplom dijelu godine (15. lipnja do 15. rujna) dan za danom varijacija temperatura zraka na postaji Zagreb Grič,  $DTDT_{min}$ ,  $DTDT_{sr}$ ,  $DTDT_{max}$ ,  $\Delta DTD$ , u razdoblju od 1887. do 2018.

Na slici 5 prikazana su četiri RAPS niza za topli dio godine,  $DTDT_{min}$ ,  $DTDT_{sr}$ ,  $DTDT_{max}$ ,  $\Delta DTD$ , s ucrtanim granicama pojedinih podnizova i upisana podrazdoblja za dva analizirana vremenska niza za koje je utvrđeno postojanje podnizova sa statistički značajnim razlikama prosječnih vrijednosti. U vremenskim nizovima varijacija minimalnih i srednjih dnevnih temperatura,  $DTDT_{min}$ ,  $DTDT_{sr}$  nije opažen nikakav statistički značajan porast niti pad vrijednosti. Vremenski niz varijacija maksimalnih dnevnih temperatura,  $DTDT_{max}$  se sastoji od dva podniza u sljedećim podrazdobljima: (1) 1887.-1958.; (2) 1959.-2018. U vremenskom nizu,  $\Delta DTD$ , varijacija ustanovljena je postojanje ista dva podniza kao i kod niza varijacija maksimalnih dnevnih temperatura,  $DTDT_{max}$  u sljedećim podrazdobljima: (1) 1887.-1958.; (2) 1959.-2018. Na slici 6 grafički su prikazana dva podniza vrijednosti u toplom dijelu godine dan za danom varijacija temperatura zraka na postaji Zagreb Grič,  $\Delta DTD$ , u podrazdobljima: (1) 1887.-1958.; (2) 1959.-2018. Statistički značajno smanjenje prosječnih vrijednosti nastupilo je u razdoblju 1959.-2018. u odnosu na prethodno razdoblje u kojem je postojao statistički neznačajan trend porasta  $\Delta DTD$ . Vrlo vjerojatno takovo je ponašanje posljedica procesa klimatskih promjena.



Slika 6: Dva podniza vrijednosti u toplom dijelu godine (15. lipnja do 15. rujna) dan za danom varijacija temperatura zraka na postaji Zagreb Grič,  $\Delta DTD$ , u podrazdobljima: (1) 1887.-1958.; (2) 1959.-2018. s ucrtanim linijama prosječnih vrijednosti, linijama trenda i upisanim koeficijentima linearne korelacije,  $r$ , te je označeno je li prema Mann-Kendall-ovom testu trend statistički značajan ( $p < 0,01$ ) ili ne ( $p > 0,01$ )

Tablica 3: Prosječne,  $DTDT_{min}$ ,  $DTDT_{max}$ ,  $\Delta DTD$ , vrijednosti tijekom toplog razdoblja (15. lipnja do 15. rujna) u podrazdobljima određenim RAPS metodom s vrijednostima F-testa i t-testa između podrazdoblja

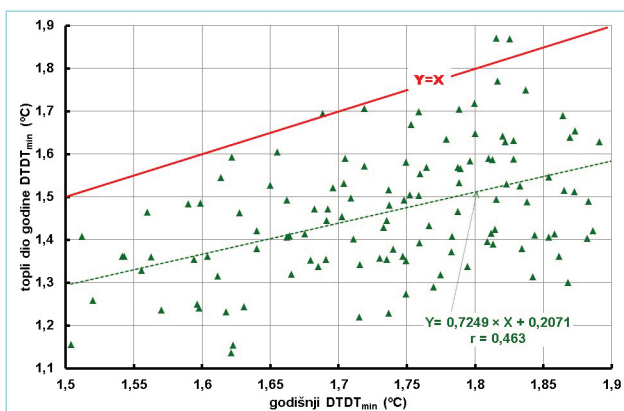
parametar	podrazdoblje	prosječni [°C]	F-test	t-test
$DTDT_{min}$	1887.-1982.	1,455	$p=0,003$	$p=0,035$
	1983.-2018.	1,540		
$DTDT_{max}$	1887.-1958.	2,435	$p=0,087$	$p=1,7E-06$
	1959.-2018.	2,220		
$\Delta DTD$	1887.-1958.	0,984	$p=0,006$	$p=1,5E-11$
	1959.-2018.	0,717		

U **tablici 3** upisane su prosječne,  $DTDT_{min}$ ,  $DTDT_{max}$ ,  $\Delta DTD$ , vrijednosti u °C, u toplom razdoblju u svakom pojedinom podrazdoblju. U zadnja dva stupca **tablice 3** upisane su vrijednosti,  $p$ , F-testa i t-testa između susjednih podrazdoblja. Crvenom bojom su označeni slučajevi statistički značajnih vrijednosti razlika. Kao granična vrijednost i u ovoj analizi usvojena je vjerojatnost,  $p < 0,01$ . Potrebno je uočiti da je vrijednost F-testa kod dva analizirana niza ( $DTDT_{min}$ ,  $\Delta DTD$ ) bila niža od prethodno navedene granične vrijednosti, što navodi na zaključak da je među podrazdobljima navedenih karakteristika bilo značajnih promjena varijanci. Vrijednosti t-testova između podrazdoblja nizova,  $DTDT_{max}$ , i,  $\Delta DTD$ , bile su značajno niže od granične vrijednosti,  $p < 0,01$ , dok su u slučaju niza,  $DTDT_{min}$ , bile nešto veće.

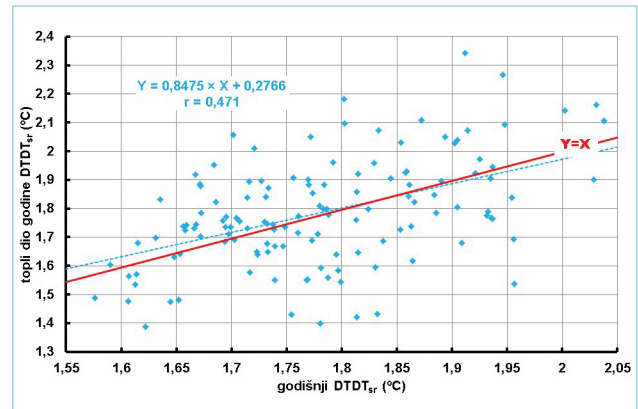
## 5. USPOREDBA NIZOVA GODIŠNJIH I U TOPLOM DIJELU GODINE, $DTDT_{min}$ , $DTDT_{SR}$ , $DTDT_{MAX}$ , $\Delta DTD$ , VRIJEDNOSTI

Grafički prikaz odnosa između vrijednosti iz toplog dijela godine (ordinata) i godišnjih (apscisa) vrijednosti,  $DTDT_{min}$ , u razdoblju od 1887. do 2018. dat je na **slici 7**. Na slici je ucrtan pravac linearne regresije te je upisan i koeficijent linearne korelacije,  $r$ . Vrijednosti niza toplog dijela godine gotovo su uvijek (osim u 3 od ukupno 132 analizirane godine) niže od vrijednosti godišnjeg niza,  $DTDT_{min}$ , što navodi na zaključak da su dan za danom varijacije minimalnih temperatura,  $DTDT_{min}$ , u tom razdoblju značajno manje od onih koje se zbivaju tijekom cijele godine. Prosječna vrijednost u cijelom toplom razdoblju iznosi 1,754 °C i znatno je veća od prosječne vrijednosti za cijelu godinu, koja iznosi 1,478 °C (vidi drugi redak **tablice 4**).

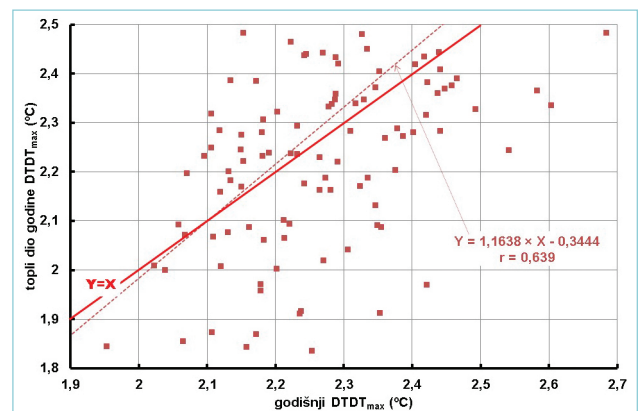
Na **slici 8** grafički je prikazan odnos između vrijednosti iz toplog dijela godine (ordinata) i godišnjih (apscisa) vrijednosti,  $DTDT_{SR}$ , dok se na **slici 9** nalazi prikaz odnosa između vrijednosti iz toplog dijela godine (ordinata) i godišnjih (apscisa) vrijednosti,  $DTDT_{max}$ . U oba ova slučaja pravci regresije gotovo se poklapaju sa simetralom prvog kvadranta, tj. pravcem,  $Y=X$ .



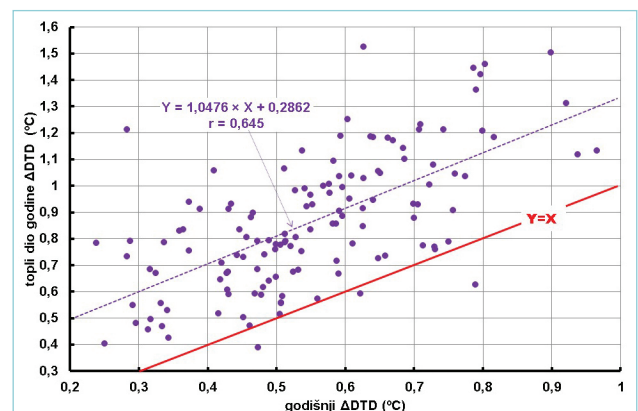
**Slika 7:** Odnos između vrijednosti u toplom djelu godine (ordinata) i godišnjih (apscisa) vrijednosti,  $DTDT_{min}$ , u razdoblju od 1887. do 2018.



**Slika 8:** Odnos između vrijednosti u toplom djelu godine (ordinata) i godišnjih (apscisa) vrijednosti,  $DTDT_{SR}$ , u razdoblju od 1887. do 2018.



**Slika 9:** Odnos između vrijednosti u toplom djelu godine (ordinata) i godišnjih (apscisa) vrijednosti,  $DTDT_{max}$ , u razdoblju od 1887. do 2018.



**Slika 10:** Odnos između vrijednosti u toplom djelu godine (ordinata) i godišnjih (apscisa) vrijednosti,  $\Delta DTD$ , u razdoblju od 1887. do 2018.

Na **slici 10** grafički je prikazan odnos između toplog dijela godine (ordinata) i godišnjih (apscisa) vrijednosti,  $\Delta DTD$ , u razdoblju od 1887. do 2018. Vrijednosti niza iz toplog dijela godine gotovo su uvijek (osim u tri godine od njih 132) više od vrijednosti godišnjeg niza,  $\Delta DTD$ . Prosječna vrijednost iz toplog dijela godine iznosi 0,550 °C i znatno je manja od prosječne godišnje vrijednosti koja iznosi 0,863 °C (vidi peti redak **tablice 4**).

**Tablica 4** Prosjeci i standardne devijacije vremenskih nizova godišnjih i onih u toplom dijelu godine,  $DTDT_{min}$ ,  $DTDT_{sr}$ ,  $DTDT_{max}$ ,  $\Delta DTD$ , u analiziranom razdoblju 1887.-2018.

parametar		prosjeak [°C]	st. dev. [°C]
[1]		[2]	[3]
$DTDT_{min}$	godišnji	1,754	0,1099
	ljetni	1,478	0,1719
$DTDT_{sr}$	godišnji	1,782	0,1048
	ljetni	1,786	0,1885
$DTDT_{max}$	godišnji	2,304	0,1472
	ljetni	2,337	0,2682
$\Delta DTD$	godišnji	0,550	0,1543
	ljetni	0,863	0,2505

U **tablici 4** nalaze se vrijednosti prosjeka i standardnih devijacija vremenskih nizova godišnjih i onih iz toplog dijela godine,  $DTDT_{min}$ ,  $DTDT_{sr}$ ,  $DTDT_{max}$ ,  $\Delta DTD$ , u °C, tijekom cijelog analiziranog razdoblja 1887.-2018. U svim slučajevima standardne devijacije bitno su veće tijekom toplog razdoblja nego tijekom cijele godine.

## 6. ZAKLJUČAK I SMJERNICE ZA DALJNJA ISTRAŽIVANJA

Cilj analiza izvršenih u ovom radu bio je da se primjenom jedne od novijih metoda utvrdi jesu li i na koji način i kako klimatske promjene, kao i urbanizacija, utjecali na dan za danom varijacija temperatura zraka mjenjenih na opservatoriju Zagreb-Grič u 132-godišnjem razdoblju od 1887. do 2018.

Rebetez (1996.) te Olson i Wallander (2002.) naglašavaju da DTD varijabilnost temperatura zraka predstavlja način na koji pojedinci, ali i druga živa bića, doživljavaju klimu i odgovaraju na njene promjene. Radi se o nečemu što je ključno za ljudska bića, ali i za cijeli okoliš. Upravo ta konstatacija daje značaj i nužnost potrebe izučavanja i cjelovitijeg razumijevanja DTD varijabilnosti temperatura, osobito u urbanim prostorima koja predstavljaju vrlo složene, osjetljive i ranjive sustave. Varijacije temperature iz dana u dan imaju brojne uzroke među kojima su bitni energetska bilanca na površini, atmosferske fluktuacije i lokalni geografski uvjeti. Na neke od njih, prije svega one prirodne, ne može se utjecati, te ih je potrebno detaljno izučiti i na njih što učinkovitije prilagoditi. Na one druge, većinom antropogenim djelatnostima uvjetovane, može se barem djelomično utjecati s ciljem ublažavanja negativnih posljedica. Međutim, osnovni preduvjet za poduzimanje

bilo kakvih aktivnosti leži u detaljnom razumijevanju i kontinuiranom praćenju DTD varijabilnosti temperatura zraka te razumijevanju njihovog utjecaja na sustave koji nas okružuju i na naše živote.

Zaključci koji se mogu izvesti iz analiza izvršenih u ovom radu se slažu s zaključcima do kojih je u svom radu došao Rebetez (2001.). Topliju temperaturu zraka, koja se javlja osobito tijekom druge polovice 20. stoljeća, prati statistički značajno smanjenje varijacije,  $DTDT_{max}$  i,  $\Delta DTD$ . Tijekom toplog razdoblja te su razlike intenzivnije nego tijekom cijele godine. Porast temperatura zraka manifestira se većinom kroz gubitak najhladnijih epizoda vremenskih nizova ne samo tijekom cijele godine, nego i u svakoj pojedinoj sezoni ili pojedinom mjesecu. Analizirajući duge nizove temperatura zraka u središnjoj Engleskoj, Jones i sur. (1999.) su zapazili da je u recentnom razdoblju došlo do smanjenja učestalosti broja vrlo hladnih dana te da nije došlo do značajnog porasta broja vrlo toplih dana. Do sličnih zaključaka su došli i Bonacci i Roje-Bonacci (2018.) analizirajući nizove minimalnih, srednjih i maksimalnih dnevnih temperatura Zagreb Griča u razdoblju 1881.-2017.

U velikim urbanim aglomeracijama taj je fenomen podržan učinkom urbanog toplinskog otoka. U gradovima vrijednosti,  $\Delta DTD$ , uvijek su pozitivne, dok su na seoskim i slabije naseljenim područjima uglavnom negativne (Tam i sur., 2015.; Gough i Hu, 2016.). Razlog je u tome što je varijacija temperatura zraka tijekom noći u nenaseljenim područjima značajno veća, nego u gusto naseljenim i umjetno grijanim urbanim područjima.

Ovaj rad je napisan sa željom da se i kod nas započne detaljnije koristiti DTD metoda koja mnogo suptilnije analizira vremenske nizove od brojnih drugih raspoloživih i često korištenih metoda. Ovu metodu Tam i sur. (2015.) predlažu da posluži kao mjera urbanizacije te za odvajanje urbanih od ruralnih postaja. Autori smatraju da bi za grad Zagreb bilo vrlo korisno primijeniti DTD metodu za analize dan za danom varijacija karakterističnih temperatura na brojnim meteorološkim postajama u široj okolici grada Zagreba. Ujedno bi primjenom ove metode trebalo analizirati dan za danom varijacije karakterističnih temperatura u kontinentalnom, priobalnom i planinskom dijelu Hrvatske.

## ZAHVALA

Autori najtoplije zahvaljuju nepoznatom recenzentu na izvanrednim primjedbama koje su s radošću usvojili i koje su značajno utjecale na podizanje kakvoće ovog rada. ■



## LITERATURA

- Anderson, C.I.; Gough, W.A.; Mohsin, T. (2018.): Characterization and estimation of urban heat island at Toronto: revisiting the choice of rural sites using day to day variation. *Urban Climate*, 25, 187-195.
- Auer, I.; Böhm, R.; Jurkovic, A.; Lipa, W.; Orlik, A.; Potzma, R.; Schöner, W.; Umgersböck, M.; Matulla, C.; Briffa, K.; Jones, P.; Efthymiadis, D.; Brunetti, M.; Nanni, T.; Maugeri, M.; Mercalli, I.; Mestre, O.; Moisselin, J.M.; Bergertt, M.; Müller-Westermeier, G.; Kveton, V.; Bochnicek, O.; Stastny, P.; Lapin, M.; Szalai, S.; Szentimrey, T.; Cegnar, T.; Dolinar, M.; Gajic-Capka, M.; Zaninovic, K.; Majstorovic, Z.; Nieplova, E. (2007.). HISTALP-historical instrumental climatological time series of the Greater Alpine Region. *International Journal of Climatology*, 27(1), 17-46.
- Bonacci, O. (2010.): Analiza nizova srednjih godišnjih temperatura zraka u Hrvatskoj. *Grđevinar*, 62(9), 781-791.
- Bonacci, O. (2012.): Increase of mean annual surface air temperature in the Western Balkans during last 30 years. *Vodoprivreda*, 44(255-257), 75-89.
- Bonacci, O.; Andrić, I.; Roje-Bonacci, T. (2018.): Increasing trends of air temperature in urban area: a case study from four stations in Zagreb city area. *Vodoprivreda*, 50(294-296), 203-214.
- Bonacci, O.; Roje-Bonacci, T. (2018.): Analyses of the Zagreb Grič observatory air temperatures indices for the period 1881 to 2017. *Acta Hydrotechnica*, 31(54), 67-85.
- Đurin, B., Ptiček Siročić, A., Muhar, A. (2017.): Analiza povezanosti pokazatelja kakvoće otpadne vode s temperaturom i oborinama pomoću RAPS metode. *Hrvatske Vode*, 25(102), 247-252.
- Garbrecht, J.; Fernandez, G.P. (1994.): Visualization of trends and fluctuations in climatic records. *Water Resources Bulletin*, 30(2), 297-306.
- Gough, W.A. (2008.): Theoretical considerations of day-to-day temperature variability applied to Toronto and Calgary, Canada data. *Theoretical and Applied Climatology*, 94(1-2), 97-105.
- Gough, W.A.; Hu, Y. (2016.): Day-to-day temperature variability for four urban areas in China. *Urban Climate*, 17, 80-88.
- IPCC (2014.): *Climate change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change.* (ur. Core Writing Team; R.K. Pachauri; Meyer L.A.). IPCC, Geneva, Švicarska.
- Jones, P.D.; Horton, E.B.; Folland, C.K.; Hulme, M.; Parker, D.E.; Basnett, T.A. (1999.): The use of indices to identify changes in climatic extremes, *Climate Change*, 42, 131-149.
- Juras, J. (1985.): Neke karakteristike promjene klime Zagreba u posljednja tri desetljeća. *Geofizika*, 2, 93-102.
- Karl, T.R.; Knight, R.W.; Plummer, N. (1995.): Trends in high-frequency climate variability in the twentieth century. *Nature*, 377, 217-220.
- Kendall, M.G. (1975.): *Rank Correlation Methods. 4th edition.* Charles Griffin, London.
- Laidler, G.J.; Ford, J.; Gough, W.A.; Ikummaq, T.; Gagnon, A.S.; Kowal, S. (2009.): Travelling and hunting in a changing Arctic: Assessing Inuit vulnerability to sea ice change in Igloolik, Nunavut. *Climate Change*, 94, 363-397.
- Li, S.F.; Jiang, D.B.; Lian, Y.; Yao, Y.X. (2017.): Trends in day-to-day variability of surface air temperature in China during 1961-2012. *Atmospheric and Oceanic Science Letters*, 10(2), 122-129.
- Liang, G.; Fu, W.; Wang, K. (2019.): Analysis of t-test misuses and SPSS operations in medical research papers. *Burn Trauma*, 7(31), 2-5.
- Likso, T. (2003.): Inhomogeneities in temperature time series in Croatia. *Hrvatski meteorološki časopis*, 38, 3-9.
- Likso, T.; Pandžić, K. (2014.): Frequency analysis of extreme temperature events. *Proceedings of 20th International Congress of Biometeorology* 28 September - 1 October 2014 Cleveland, Ohio.
- Mann, H.B. (1945.): Non-parametric test of randomness against trend. *Econometrica*, 13(3), 245-259.
- Moberg, A.; Jones, P.D.; Barriandos, M.; Bergstrom, H.; Camuffo, D.; Cocheo, C.; Davies, T.D.; Denarée, G.R.; Martin-Vide, J.; Maugeri, M.; Rodriguez, R.; Verhove, T. (2000.): Day-to-day temperature variability trends in 160- to 275-year-long European instrumental records. *Journal of Geographical Research Atmosphere*, 105(D18), 22849-22868.
- Nitis T.; Bencetić Klaić, Z.; Moussiopoulos, N. (2005.): Effects of topography on the Urban Heat Island. *Proceedings of the 10th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes*, 1-5, Sissi, Grčka.
- Olson, B.E.; Wallander, R.T. (2002.): Influence on winter weather and shelter on activity patterns of beef cows. *Canadian Journal of Animal Science*, 82, 491-501.
- Pandžić, K.; Likso, T. (2010.): Homogeneity of average annual air temperature time series for Croatia. *International Journal of Climatology*, 30(8), 1215-1225.
- Pavlič, I. (1965.): *Statistička teorija i primjena*, Panorama, Zagreb.
- Penzar, I.; Juras, J.; Marki, A. (1990.): Long-term meteorological measurements at Zagreb: 1862-1990. *Geofizika*, 9 suppl., 1-171.
- Penzar, B.; Penzar, I.; Juras, J.; Marki, A. (1992.): Brief review of climatic fluctuations recorded in Zagreb between 1862 and 1990. *Geofizika*, 9(1), 57-67.
- Radić, V.; Pasarić, N.; Šinik, N. (2004.). Analiza zagrebačkih klimatoloških nizova pomoću empirijski određenih prirodnih sastavnih funkcija. *Geofizika*, 21(1), 15-36.
- Rebetez, M. (1966.): Public expectation as an element of human perception of climate change. *Climate Change*, 32, 495-509.
- Rebetez, M. (2001.): Changes in daily and nightly day-to-day temperature variability during the twentieth

- century for two stations in Switzerland. *Theoretical and Applied Climatology*, 69, 13-21.
- Šegota, T. (1986.): Srednja temperatura zraka u Zagrebu, *Geografski glasnik*, 48(1), 13-24.
- Šegota, T. (1981.): More about the secular fluctuations of air temperature in Zagreb, Croatia. *Quaestiones Geographicae*, 7, 147-154.
- Šinik, N. (1985.): Signifikantnost recentnih klimatskih fluktuacija u Zagrebu. *Geofizika*, 2, 81-91.
- Tam, B.Y.; Gough, W.A. (2012.): Examining past temperature variability in Moosonee Thunder Bay, and Toronto, Ontario, Canada through a day-to-day variability framework. *Theoretical and Applied Climatology*, 110(1-2), 103-113.
- Tam, B.Y.; Gough, W.A.; Mohsin, T. (2015.): The impact of urbanization and the urban heat island effect on day to day temperature variation. *Urban Climate*, 12, 1-10.
- Washington, R. (2000.) Quantifying chaos in the atmosphere. *Progress in Physical Geography* 24(4), 499-514.
- Wu, F.T.; Fu, C.; Qian, Y.; Gao, Y.; Wang, S.Y. (2017.): High frequency daily temperature variability in China and its relationship to large scale circulation. *International Journal of Climatology*, 37(2), 570-582.

### Application of day-to-day air temperature variability method to data observed at the Zagreb-Grič observatory (1887-2018)

**Abstract.** The paper applies a relatively new day-to-day method (DTD) that analyses day-to-day variations in the minimum, mean and maximum of daily air temperatures measured at the Zagreb-Grič observatory in the period from 1878 to 2018. The DTD values for a period of a whole year, from 1 January to 31 December, and for the warm period of the year from 15 June to 15 September were calculated and compared. The analysis' objective was an attempt to establish, by applying this relatively new and subtle method, how the impact of climate change and urbanization reflects on the variations in characteristic (minimum, mean and maximum) daily temperatures during the whole year and during the warm period. It was determined that there was no appearance of trends (either positive or negative) in the series of mean day-to-day,  $DTD_{mean}$ , or minimum day-to-day,  $DTD_{min}$ , variations in day-to-day temperatures both in the cases of yearly and warm period DTDs. In the case of series of maximum day-to-day temperatures,  $DTD_{max}$ , and the differences between the maximum and minimum day-to-day temperatures,  $\Delta DTD$ , there was a statistically significant difference in the behaviour of the series in the sub-period prior until and including 1958 as well as in a recent period from 1959 to 2018. The differences were also observed in the case of yearly series and the series from the warm period DTDs. Statistically much less significant lower inter-day variations were observed in the past 60 years. The variations in the warm period,  $DTD_{min}$ , were significantly lower than the yearly ones. On the other hand, the variations in yearly differences,  $\Delta DTD$ , were significantly smaller than the ones in the warm period.

**Key words:** air temperature, day-to-day temperature variability method, Zagreb-Grič, F-test, t-test

### Die Anwendung der Methode zur Analyse der Tag-zu-Tag-Variabilität der Lufttemperatur anhand der am meteorologischen Observatorium Zagreb-Grič erfassten Daten (1887-2018)

**Zusammenfassung.** In der Arbeit wurde eine relativ neue Methode zur Analyse der Tag-zu-Tag-Variabilität der minimalen, mittleren und maximalen Tagestemperaturen der Luft angewandt, die am meteorologischen Observatorium Zagreb-Grič im Zeitraum vom 1878 bis 2018 erfasst wurden. Die Tag-zu-Tag-Werte wurden für das ganze Jahr (vom 1. Januar bis 31. Dezember) sowie für den warmen Zeitraum, vom 15. Juni bis 15. September, berechnet und verglichen. Das Ziel der Analyse war, anhand dieser relativ neuen und subtilen Methode festzustellen, wie sich Klimaänderungen und Urbanisierung auf die Variationen von charakteristischen (minimalen, mittleren und maximalen) Tagestemperaturen im Laufe des Jahres und des warmen Zeitraums auswirken. Weder für das ganze Jahr noch für den warmen Zeitraum konnten Trends (positive oder negative) in den Reihen von mittleren und minimalen Tagesvariationen der Tag-zu-Tag-Temperaturen festgestellt werden. Im Falle der Reihen von maximalen Tagestemperaturen und der Unterschiede zwischen den maximalen und minimalen Tagestemperaturen wurde ein statistisch signifikanter Unterschied festgestellt im Verhalten der Reihen im Unterzeitraum vor dem Jahr 1958 und im neueren Zeitraum von 1959 bis 2018. Die Unterschiede wurden auch im Falle der Jahresreihen sowie der Reihen des warmen Zeitraums festgestellt. In den letzten 60 Jahren wurden statistisch weniger signifikante zwischentägliche Variationen beobachtet. Die Variationen im warmen Zeitraum sind viel kleiner als die Jahresvariationen. Allerdings sind die Variationen der Jahresunterschiede viel kleiner als diejenigen im warmen Zeitraum.

**Schlüsselwörter:** Lufttemperatur, Methode zur Analyse von Tag-zu-Tag-Temperaturvariationen, Zagreb Grič, F-Test, t-Test