

UDK 911.2:551.58 (497.13)

Primljeno (Received): 16. 11. 1992.

Prihvaćeno (Accepted): 10. 12. 1992.

Izvorni znanstveni članak

Original scientific paper

## GODIŠNJA AMPLITUDA TEMPERATURE ZRAKA U ZAGREBU\*

TOMISLAV ŠEGOTA, ANITA FILIPČIĆ

*U većini godina i u svim višegodišnjim razdobljima aperiodička je amplituda veća od periodičke. Utvrđena su dva razdoblja s velikim amplitudama i dva razdoblja s malim godišnjim amplitudama. Izrazit je trend pada godišnjih amplituda; to je posljedica trenda porasta srednjih zimskih temperatura, jer je godišnja amplituda funkcija srednje temperature najhladnijeg mjeseca. Profil od Save do Sljemena pokazuje da su godišnje amplitude najveće uz Savu, a opadaju prema vrhu Medvednice. Po teoriji, najmanja godišnja amplituda trebala bi biti u centru grada. Budući da je meteorološka kućica bila u Botaničkom vrtu, te zbog rijetke izgrađenosti Zagreba južno od željezničke pruge, samo je djelomično tako. Tako je u smjeru jug-sjever. U smjeru zapad-istok godišnja amplituda je manja na periferiji nego na »Kolodvoru«. Očito je da je godišnja amplituda nešto manja u izgrađenom dijelu grada sjeverno od Botaničkog vrta.*

### **Annual Amplitudes of Air Temperature in Zagreb, Croatia**

*The annual aperiodic amplitudes are mainly greater than the periodic one. Consequently, decadal mean aperiodic amplitudes are allways greater than the periodic amplitudes. One discerne two periods with great amplitudes and two periods with small range. The trend lines of the annual amplitudes are declining. This is the effect of rapid winter warming. Annual range of temperature depends mostly on the mean temperature of the coldest month. Temperature*

\* U ovom radu iznijeti su neki rezultati analize koja se radi u okviru projekta »Prostorno uređenje, unapređenje i zaštita čovjekove okoline« (tema: »Klima i problemi izgradnje velikih gradova RH« u Geografskom odjelu PMF-a Sveučilišta u Zagrebu, a po programu Ministarstva znanosti, tehnologije i informatike. Autori su zahvalni Državnom hidrometeorološkom zavodu RH, Grič 3, koji im je omogućio korištenje arhivskih podataka.

*profile Sava-Sljeme shows that the greatest annual amplitudes are in the Sava valley and rapidly decreases on the Medvednica slope. Normally, the smallest annual amplitudes are in the centres of the towns. However, »Kolodvor« meteorological station was in the Botanical Gardens, and the southern part of Zagreb was sparsely built up. The result is a normal lowering of the annual amplitude from the South to the North. In the West-East direction the annual range of temperature is smaller on the periphery, and little greater in the central meteorological station »Kolodvor«. Very probably smaller annual amplitude core is in the built up area northwards of the Botanical Gardens.*

## Uvod

Jedan od najvažnijih fenomena suvremenog svijeta je grad. Zahvaljujući silnoj urbanizaciji, grad je, doista, postao najkompleksnije čovjekovo djelo. Mnogi su se gradovi toliko proširili da se danas općenito prihvaća da grad modificira klimu (napose temperaturu) u svom području (1; 2), ali je teško odrediti veličinu tog utjecaja. Još je teže odrediti relativnu važnost pojedinih parametara koji utječu na modifikaciju klime, odnosno, teško je odijeliti utjecaj pojedinih klimatskih faktora u gradu, te koliko na njih utječe sam grad. Glavni je problem utvrđivanje udjela globalnih ili pak sjeverno-hemisferskih fluktuacija klime (koje bi postojale i onda kad gradova ne bi ni bilo) i udjela koji treba pripisati modifikatorskom utjecaju samog grada. Osim spomenutih glavnih faktora, mogli bismo navesti još čitav niz ostalih faktora: promjena intenziteta kratkovalne i dugovalne radijacije zbog aeropolucije; promjena albeda podloge u velikim urbanim aglomeracijama; izmjena termičkih svojstava podloge izgradnjom zgrada, ulica i ostalih objekata na mjestu nekadašnjih polja,

šuma i livada; manji utrošak topline za evaporaciju vode; brzo uklanjanje snijega; oslobađanje velike količine topline iz industrijskih i energetske postrojenja, kućnih ložišta, golemog broja vozila itd.; utjecaj grada na brzinu vjetra zbog povećanja trenja izgradnjom velikog broja blokova zgrada, pa i nebodera, tj. važna je gustoća izgradnje, odnosno visina zgrada, širina ulica i trgova, smjer dominantnih vjetrova i njihov odnos prema pružanju gradskih ulica. Posebno termičko značenje imaju parkovi i nasadi. Sve to toliko utječe na temperaturu zraka u gradovima da se sve češće javlja termin urbana klima ili klima grada.

Zagreb se toliko prostorno proširio da je postao grad u dolini Save i na povišenom rebrastom reljefu u prigorju Medvednice. Zbog takvog prostornog obuhvata, na temperaturi u Zagrebu odražava se utjecaj padina, potočnih dolina, rebara i gorskih kosa između njih, šuma i niske doline Save u kojoj postoje optimalni uvjeti za stanak inverzije temperature.

O temperaturi na zagrebačkom području postoji relativno malo rado-

va, i to isključivo na temelju samo jedne stanice; posebno malo ima analiza godišnje amplitude temperature (3; 4; 5). Jedan od njih je rad o dnevnoj amplitudi temperature (6), pa je ovaj rad logičan nastavak spomenute analize.

Budući da se već rano uočilo da ponekad najtopliji ljetni mjesec može biti i lipanj i kolovoz, odnosno da najhladniji zimski mjesec ne mora uvijek biti siječanj, nego da to u ponekim zimama može biti i veljača, ili pak prosinac iz prethodne kalendarske godine zaključilo se (7) da postoje *periodičke* godišnje amplitude temperature zraka i *aperiodičke* godišnje amplitude temperature zraka. Jasno, od njih se lako mogu izračunati godišnje amplitude, a od viših godišnjih amplituda jednostavno se mogu izračunati *srednje* vrijednosti. Ukratko, srednja periodička (SPGAT) i srednja aperiodička (SAGAT) godišnja amplituda temperature je razlika između najviše i najniže srednje temperature najtoplijeg i najhladnijeg mjeseca. Dakle, *periodička* godišnja amplituda temperature je razlika između srednje temperature srpnja i siječnja, dok je *aperiodička* godišnja amplituda temperature razlika između izračunate srednje temperature najtoplijeg ljetnog mjeseca i najhladnijeg zimskog mjeseca. Iz definicije proizlazi da će aperiodička godišnja amplituda najčešće biti veća (ili barem jednaka) od periodičke godišnje amplitude temperature.

Veličina godišnje amplitude temperature ovisi o nizu faktora kao što su udaljenost od mora, geografska širina, nadmorska visina, oblik reljefa

(konkavni reljef povećava godišnju amplitudu temperature, dok je konveksni reljef smanjuje), trajanje dana i noći, vjetrovi, relativna vlažnost zraka, magla i naročito naoblaka. Godišnja amplituda temperature bitno ovisi o intenzitetu i trajanju zimskih vedrina za anticiklonskog tipa vremena. Godišnja amplituda temperature zraka mjera je kontinentalnosti klime. Međutim, postoji samo nekoliko radova u kojima se spominje ili analizira (srednja) godišnja amplituda temperature u gradovima; to su analize amplitude samo u jednoj stanici. Koliko nam je poznato, ne postoji posebna objavljena studija u kojoj su analizirane godišnje amplitude temperature na teritoriju Zagreba.

## Podaci

Za izračunavanje periodičke i aperiodičke godišnje amplitude temperature potrebni su nam podaci o srednjim temperaturama srpnja i siječnja, odnosno temperatura najtoplijih i najhladnijih mjeseci.

Na teritoriju Zagreba postoji samo jedna meteorološka stanica, Opservatorij Zagreb-Grič, s dugim nizom temperaturnih podataka. Ostale meteorološke stanice nemaju toliki niz jer je često mjerenje prekidano. Osim toga, dolazilo je do premještanja stanice ili instrumenata; ako je došlo do prekida motrenja samo nekoliko dana, to je bilo dovoljno da se prekine godišnji niz podataka. Tako se – usprkos prividnom obilju materijala – za analizu koristilo kratko razdoblje od samo nekoliko godina.



Razlike između godišnjih amplituda temperature na teritoriju jednog grada relativno su malene (u odnosu na veličinu regije ili zemlje), ali su vrlo velike kad imamo na umu činjenicu da je Zagreb relativno malen u poređenju sa Središnjom Hrvatskom. To je razlog da se nisu koristili interpolirani podaci. Osim, toga pravo se stanje može utvrditi samo analizom podataka iz stanica na podjednakim nadmorskim visinama. To znači da je za analizu godišnjih amplituda temperature kudikamo najvažnija stanica Botanički vrt («Kolodvor»). Međutim, ona je radila samo nekoliko godina u razdoblju kad se Zagreb tek počeo jače teritorijalno razvijati. To je uzrok da su podaci »zastarjeli«; još je gore kad se zna da su neke stanice prestale raditi u posljednjih nekoliko godina.

Budući da su već objavljeni podaci o maksimalnim i minimalnim temperaturama, te o dnevnoj amplitudi temperature, nije potrebno ponavljati podatke o ispravljenim temperaturama.

### Metoda rada

Prema definiciji, *periodička* godišnja amplituda temperature zraka, PGAT, izračunava se kao razlika između srednje temperature srpnja i siječnja u određenoj godini

$$PGAT = \bar{T}_{VII} - \bar{T}_I.$$

Iz toga slijedi da se srednja periodička godišnja amplituda temperature računa

$$SPGAT = \sqrt{\bar{T}_{VII}} - \sqrt{\bar{T}_I},$$

ali srednje mjesečne temperature potječu iz višegodišnjeg niza, tj. višegodišnji ( $v$ ) su prosjeci.

Reprezentativnija slika o temperaturnom režimu dobiva se analizom aperiodičke godišnje amplitude temperature

$$AGAT = \bar{T}_{\max} - \bar{T}_{\min},$$

tj. dobiva se iz razlika srednje temperature najtoplijeg mjeseca i srednje temperature najhladnijeg mjeseca, bez obzira na to o kojim se mjesecima radi. Iz toga slijedi da se srednja aperiodička godišnja amplituda temperature izračunava pomoću višegodišnjeg srednjaka najtoplijeg i najhladnijeg mjeseca

$$SAGAT = v\bar{T}_{\max} - v\bar{T}_{\min}$$

pri čemu se radi o višegodišnjim ( $v$ ) srednjacima najtoplijeg i najhladnijeg mjeseca.

Budući da su višegodišnji nizovi aperiodičkih godišnjih amplituda temperature izgladeni, u klimatološkoj literaturi, vrlo često upotrebljavanom metodom izgladivanja, nije potrebno posebno prikazivati tu tehniku izračunavanja. To isto vrijedi i za izračunate linearne trendove amplitude i za izračunati koeficijent korelacije između srednje temperature najhladnijeg mjeseca i odgovarajuće godišnje amplitude temperature.

Geografska raspodjela srednjih aperiodičkih godišnjih amplituda u zagrebačkom području prikazana je metodom izoamplituda. Budući da bi zbog živog reljefa i tipa urbane izgradnje na području koje promatramo broj stanica trebao biti mnogo veći, godišnje izoamplitude su velikim dijelom

interpolirane. Iako prema V. Conradu i L. W. Pollaku (8) »...in climatology, linear interpolation is generally sufficient...«, ta tehnika nije primijenjena na cijelom području, jer su uvjeti različiti. Ona je više primijenjena u ravničarskom dijelu Zagreba, manjem dijelu prigorja i u užem gradskom području. Od tog se pravila odstupilo u nekim perifernim dijelovima grada jer je utvrđeno (9; 10) da su izoterme najgušće u perifernom pojasu (Londona).

Na jugoistočnoj padini Medvednice izračunat je vertikalni gradijent aperiodičke godišnje amplitude temperature, a pomoću njega došlo se do nadmorske visine pojedinih godišnjih amplituda. Nakon toga su godišnje izoamplitude ucrtane tako da se većim dijelom poklapaju s izohipsama, ili pak slijede njihovo generalno pružanje. U ostalim dijelovima grada pružanje izoamplituda u skladu je s veličinom srednje godišnje amplitude u najbližoj stanici.

## Rezultati

Rezultati do kojih smo došli analizom srednje godišnje amplitude temperature u Zagrebu nisu neočekivani, jer poznajemo raspodjelu minimalnih i maksimalnih mjesečnih temperatura. Stanice na području Zagreba razlikuju se prema nadmorskoj visini, intenzitetu utjecaja grada i drugim lokalnim uvjetima, ali se i na primjeru Zagreba moraju potvrditi i neke opće, već upoznate, zakonitosti o godišnjim amplitudama temperature.

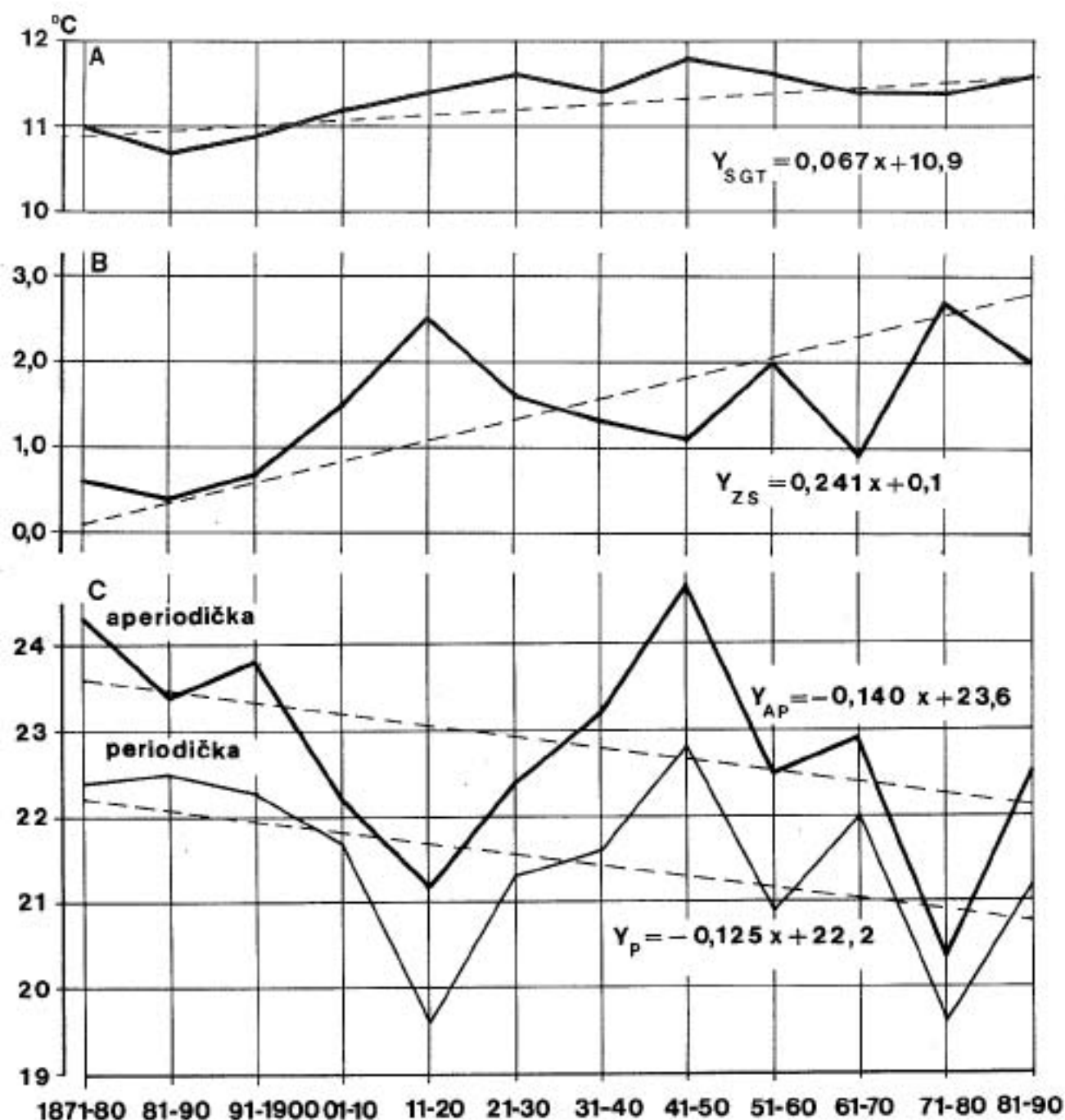
Početi ćemo s desetogodišnjim srednjacima temperature zraka, 10-godišnjim zimskim srednjacima, te

Tab. 1. Zagreb-Grič; 10-godišnji srednjaci temperature (SGT), 10-godišnji zimski srednjaci (ZS), periodičke (SPGAT) i aperiodičke (SAGAT) srednje godišnje temperature zraka (11; 12; 13)

Tab. 1. Zagreb-Grič; 10-year mean temperatures (SGT), 10-year mean winter temperatures (ZS), mean periodic (SPGAT) and mean aperiodic (SAGAT) annual amplitudes of air temperature

Razdoblje	SGT	ZS	SPGAT	SAGAT
1871-1880	11,0	0,6	22,4	24,3
1881-1890	10,7	0,4	22,5	23,4
1891-1900	10,9	0,7	22,3	23,8
1901-1910	11,2	1,5	21,7	22,2
1911-1920	11,4	2,5	19,6	21,2
1921-1930	11,6	1,6	21,3	22,4
1931-1940	11,4	1,3	21,6	23,2
1941-1950	11,8	1,1	22,8	24,7
1951-1960	11,6	2,0	20,9	22,5
1961-1970	11,4	0,9	22,0	22,9
1971-1980	11,4	2,7	19,6	20,4
1981-1990	11,6	2,0	21,2	22,5

periodičkim i aperiodičkim amplitudama temperature u 10-godišnjim razdobljima na Opservatoriju Zagreb-Grič (sl. 1). Najprije moramo istaknuti činjenicu da su aperiodičke godišnje amplitude klimatološki realnije veličine od periodičkih godišnjih amplituda. Aperiodičke godišnje amplitude temperature su sistematski veće od periodičkih godišnjih amplituda. Manje razlike u pojedinim desetljećima prije svega su posljedica povremenih izuzetno niskih srednjih temperatura veljače (rjeđe prosinca) što utječe i na godišnju amplitudu. Mnogo je manji utjecaj visokih temperatura najtoplijih ljetnih mjeseci. Pad aperi-



Sl. 1. Zagreb-Grič; 10-godišnji srednjaci; (A) srednje godišnje temperature; (B) srednje zimske temperature; (C) prperiodičke i aperiodičke godišnje amplitude temperature zraka (11; 12; 13)

Fig. 1. Zagreb-Grič; Mean 10-year temperatures, (A) mean annual temperatures, (B) mean winter temperatures, (C) periodic and aperiodic amplitude of temperature

dičke 10- godišnje amplitude u razdoblju 1881-1890. posljedica je »slučajna« da je u 10 sukcesivnih zima tri puta najhladniji bio prosinac (prethodne

kalendarske godine). Veći 10-godišnji srednjaci godišnje amplitude temperature upućivali bi na povećanje »kontinentalnosti« temperaturnog režima



i obratno, manji 10-godišnji srednjaci amplituda bili bi znak povećanja »maritimnih« termičkih utjecaja.

Već se na prvi pogled vidi kao da postoji »valovita« smjena viših i nižih 10-godišnjih srednjaka godišnjih amplituda temperature, ali, dakako ne postoji pravilnost koja bi mogla biti pouzdana baza za »dugoročnu« prognozu u slijedećim desetljećima.

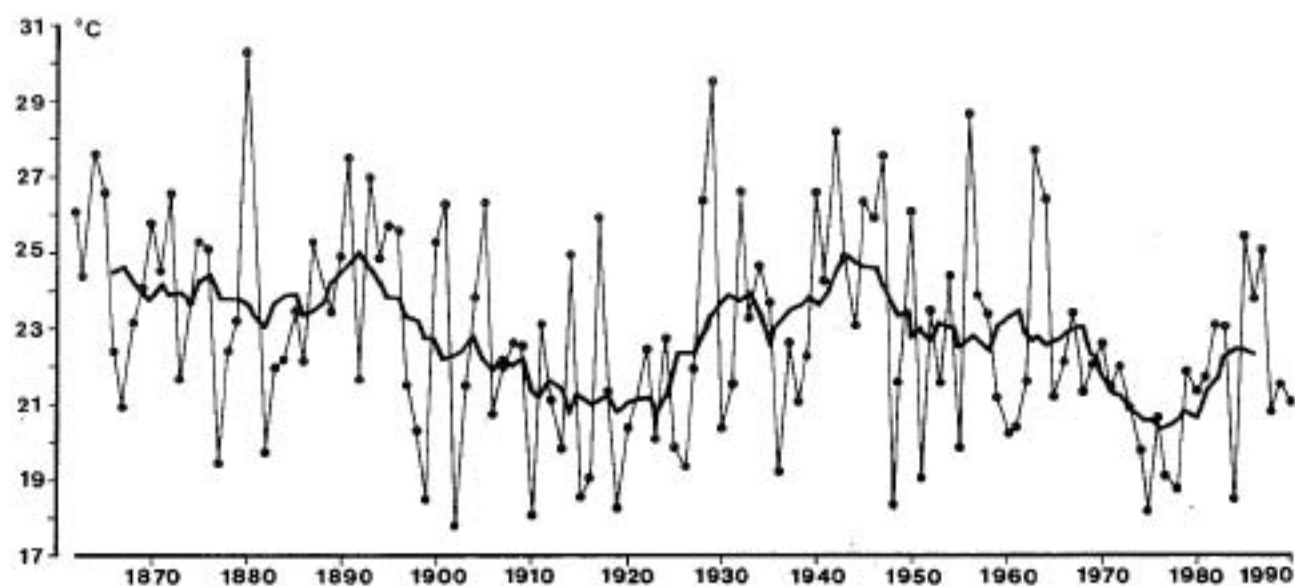
Korisno je upozoriti na hod srednjih 10-godišnjih temperatura (A na sl. 1). Njihov odnos sa godišnjim amplitudama nije jednostavan. Samo u prvom dijelu prikazanog razdoblja postoji odnos: niske 10-godišnje temperature – velike 10-godišnje amplitude temperature. Obratno bi vrijedilo u završnom dijelu, od 1941–1950. do 1981–1990. godine. Blagi pad srednjih 10-godišnjih temperatura bio je praćen izrazitim padom srednjih 10-godišnjih amplituda temperature. U središnjem dijelu razdoblja, od 1911–1920. godine do 1941–1950. godine paralelno su rasli i 10-godišnji srednjaci temperature i 10-godišnji srednjaci godišnjih amplituda. Očito je da srednje godišnje temperature nisu povoljna osnova za utvrđivanje godišnjih amplituda temperature; temperatura najhladnijeg i najtoplijeg mjeseca samo se djelomično odražava na srednjoj godišnjoj temperaturi. Srednja godišnja temperatura posljedica je i srednjih temperatura svih ostalih mjeseci.

Vidjet ćemo da aperiodička godišnja amplituda temperatura prije svega ovisi o srednjoj mjesečnoj temperaturi najhladnijeg mjeseca. To je razlog da ćemo godišnje amplitude temperature usporediti sa 10-godišnjim srednjim zimskim temperaturama (B na

sl. 1). Očito je da je korelacija u ovom slučaju mnogo čvršća nego kad se za usporedbu uzmu srednje godišnje temperature (A na sl. 1). Relacija je obratna: »tople zime« – manje godišnje amplitude temperature.

Slijedeći korak u upoznavanju godišnjih amplituda temperature je analiza niza od 1862. do 1990. (sl. 2). Aperiodičke godišnje amplitude temperature su vrlo varijabilne veličine, tj. njihova se veličina vrlo često naglo mijenja u sukcesivnim godinama. 10-godišnji pokretni srednjaci kao da upućuju na (nepravilnu) smjenu dvaju razdoblja s pretežno velikom aperiodičkom godišnjom amplitudom i dvaju razdoblja s pretežno malenim aperiodičkim godišnjim amplitudama temperature. Kao da je osnovana pretpostavka da se može očekivati više godina s općim porastom aperiodičkih godišnjih amplituda, a zatim bi slijedila »stagnacija« na višoj razini (veće godišnje amplitude). *J. Trepitška* (14) objavila je jedinstvenu monografiju o temperaturi Krakówa i nekoliko velikih europskih gradova. Naš graf za Zagreb potpuno se podudara s grafovima godišnjih amplituda Krakówa, Milana, Frankfurta, Kobenhavna. Iako je upotrijebio 30-godišnje pokretne srednjake, u biti isti trend je *K. Keil* (15) utvrdio u Beču, Pragu i Baselu. Do istih rezultata došlo se analizom godišnjih amplituda u Beču i više mađarskih gradova (16). Sve to upućuje na zaključak da su sekularne promjene godišnjih amplituda temperature u Zagrebu ispravno izračunate.

Usporedba sa 10-godišnjim srednjacima temperature (A na sl. 1) upućuje na suptilnost odnosa temperature



Sl. 2. Zagreb-Grič; aperiodičke godišnje amplitude temperature 1862–1990. godine. Debelom linijom prikazani su 10-godišnji pokretni srednjaci (11; 12; 13)

Fig. 2. Zagreb-Grič; annual aperiodic amplitudes of temperature with 10-years moving averages

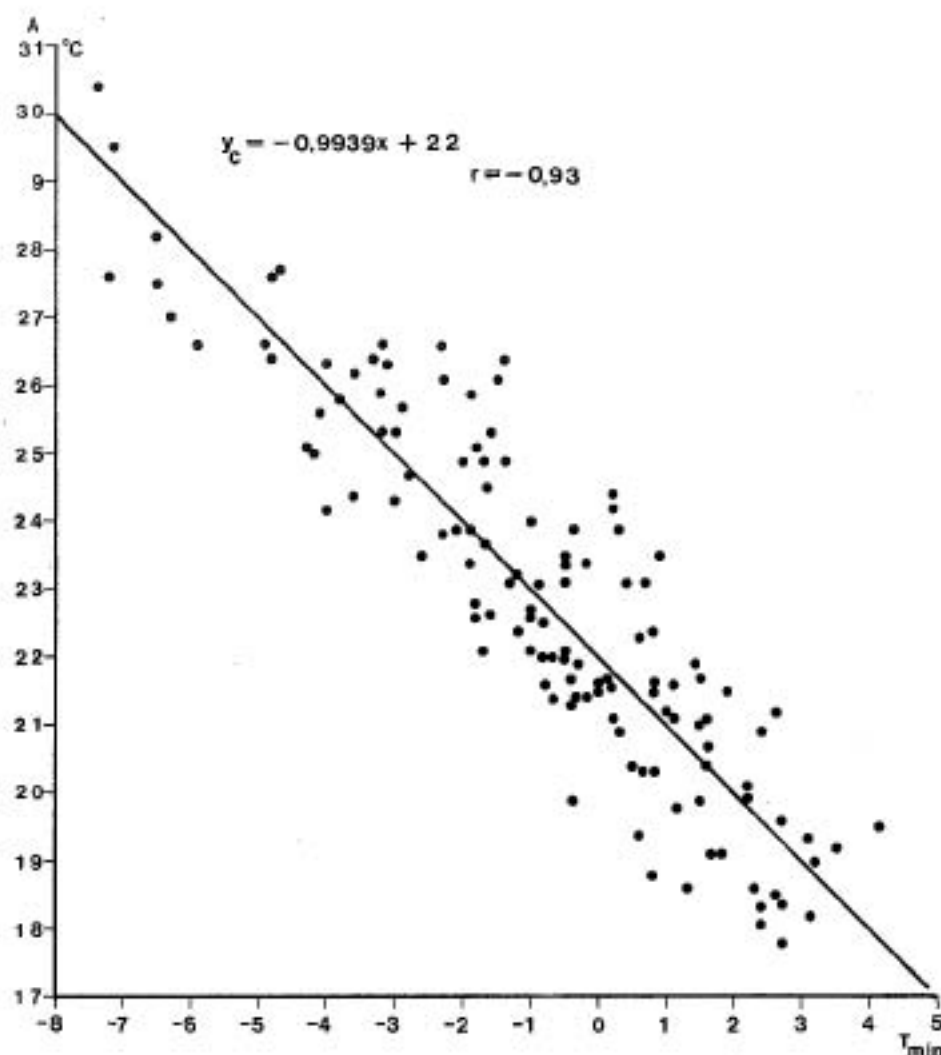
i amplitude osobito u prvom dijelu promatranog razdoblja. Razdoblje *niskih* godišnjih aperiodičkih amplituda, koje je kulminiralo u desetljeću 1911–1920, bilo je praćeno *porastom* srednjih 10-godišnjih temperatura. Slično tome, razdoblje najnižih 10-godišnjih temperatura (minimalna vrijednost 1881–1890. godine) bilo je praćeno stanovitim padom godišnjih aperiodičkih amplituda, ali to nije bilo razdoblje njihova najvećeg pada. To znači da su 10-godišnja razdoblja preduga, pa se mogu poništiti neke tendencije u hodu godišnjih amplituda. Ukratko, ne vrijedi opće pravilo da bi hladno razdoblje u sekularnom hodu godišnje temperature moralo biti praćeno razdobljem velikih aperiodičkih godišnjih amplituda (A na sl. 1; sl. 2).

Treba upozoriti na razdoblje čiji je 10-godišnji minimum bio 1911–1920. godine (sl. 1). Aperiodičke godišnje

amplitude (sl. 2) podudaraju se s hodom 10-godišnjih aperiodičkih amplituda, a sve te tri krivulje nisu praćene padom 10-godišnjih srednjaka temperature nego je obratno: i hod aperiodičke godišnje amplitude (sl. 2) sasvim je različit od tendencije porasta srednjih 10-godišnjih amplituda.

Da bi egzaktno utvrdili koji mjesec bitno utječe na veličinu aperiodičke godišnje amplitude izračunat je koeficijent korelacije između srednje temperature najtoplijeg mjeseca i aperiodičke godišnje amplitude temperature. Korelacija je vrlo slaba, pa ja to razlog da rezultate nismo objavili u ovom radu. Zatim smo izračunali koeficijent korelacije između srednje temperature najhladnijeg mjeseca i aperiodičke godišnje amplitude (sl. 3). Iz »oblaka točaka« jasno se razabire da postoji vrlo uska korelacija, ali ne-



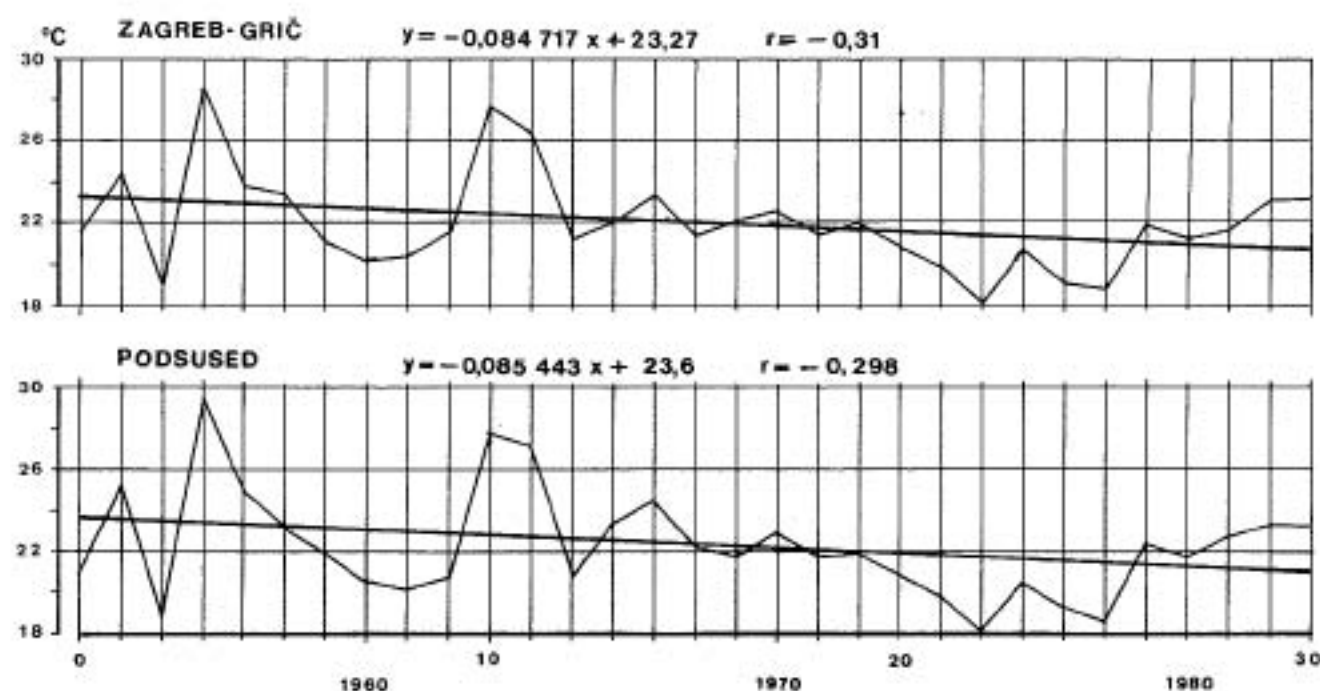


Sl. 3. Zagreb-Grič; korelacija između srednje temperature najhladnijeg mjeseca ( $T_{min}$ ) i aperiodičke godišnje amplitude temperature ( $A$ ) u 129-godišnjem nizu 1862–1990. godine (11; 12; 13)

Fig. 3. Zagreb-Grič; correlation between mean temperature of the coldest month ( $T_{min}$ ) and annual aperiodic amplitude ( $A$ )

gativna ( $r=-0,93$ ). To znači da su visoke srednje temperature najhladnijih zimskih mjeseci uzrok malenih godišnjih amplituda. I obratno: niske srednje temperature najhladnijih mjeseci uzrok su velikih godišnjih amplituda. Ukratko, u našim klimatskim uvjetima aperiodička godišnja amplituda temperature najviše ovisi o srednjoj temperaturi najhladnijeg zimskog mjeseca.

Analizom sl. 1 jasno se vidi da postoji silazni trend i periodičke i aperiodičke godišnje amplitude. To isto potvrđuje i graf izgladene temperature na sl. 2. Dakle, izgrađena površina u Zagrebu raste; jasan je trend porasta godišnjih i osobito zimskih temperatura; posljedica je trend pada godišnjih amplituda. Taj je odnos utvrđen kao opća zakonitost (17). Zato je sve topliji Zagreb uzrok smanjenja go-



Sl. 4. Aperiodičke godišnje amplitude temperature u Zagreb-Griču i u Podsusedu u 31-godišnjem razdoblju 1953-1982. godine (11; 12; 13)

Fig. 4. Annual aperiodic amplitudes in Zagreb-Grič and in Podsused

dišnjih amplituda. Za sve gradove vrijedi isto: koliki je termički utjecaj gradova, a koliki je udio sjevernohemisferskih temperaturnih promjena nije lako utvrditi.

Budući da jedini homogeni niz dugogodišnjih aperiodičnih godišnjih amplituda temperature postoji samo za Grič, to znači da tu veličinu ne možemo uspoređivati barem s jednom stanicom s periferije Zageba da bi se moglo nešto zaključiti o sekularnim fluktuacijama. Moramo se prilagoditi jednoj stanici sa skromnijim podacima, uzeli smo Podsused. Uzeli smo 31-godišnje nizove aperiodičkih godišnjih amplituda u Podsusedu i Griču (sl. 4). Da bi se eliminirao utjecaj međugodišnjih varijacija aperiodičke godišnje amplitude, izračunata je jednadžba pravca koji aproksimira godiš-

nje vrijednosti i prikazuje linerani trend u prikazanom (kratkom) razdoblju. U obje stanice, i na Griču i u Podsusedu, evidentan je silazni trend. U Zagreb-Griču »izravnata« aperiodička godišnja amplituda pala je sa  $23,3^{\circ}$  1953. godine na  $20,7^{\circ}$  1983. godine, tj. paja je za  $2,5^{\circ}$ . U Podsusedu je »izravnata« aperiodička godišnja amplituda pala sa  $23,6^{\circ}$  1953. godine na  $21,0^{\circ}$  1983. godine, tj. pala je za  $2,6^{\circ}$ . Očito je da praktički nema razlike između Griča i Podsuseda. Međutim, tako je ako uzmemo očitane temperature. Uzmemo li u obzir činjenicu da su zbog previsokog smještaja termometra na Griču izračunate amplitude preniske, mora se uzeti da su godišnje amplitude na Griču zapravo sistematski veće, ali koliko to nije moguće utvrditi.

Tab. 2. Aperiodičke godišnje amplitude temperature (11; 12; 13)

Tab. 2. Aperiodic annual amplitudes of air temperature and the mean for a given period

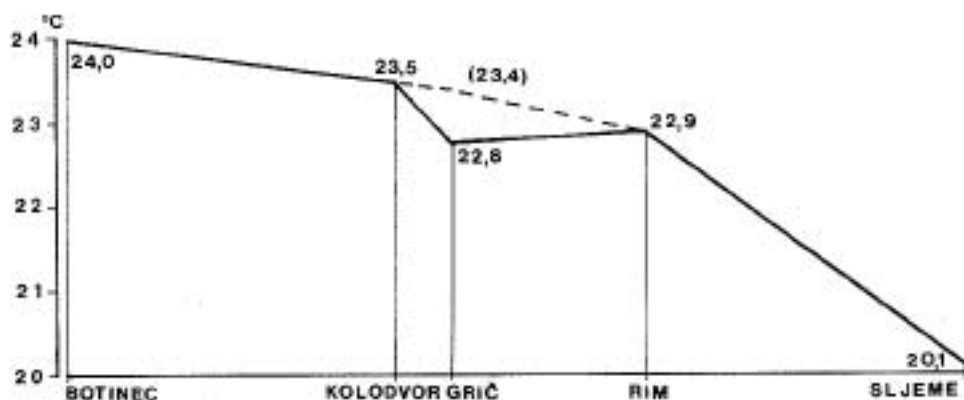
	Grič (157)	Podsused (122)	Botinec (116)	»Kolodvor« (116)	Rim (220)	Maksimir (121)	Sljeme (999)
1953.	21,6	21,0	22,2	22,6	21,6	21,5	20,1
1954.	24,4	25,1	25,9	25,2	24,6	25,0	23,1
1955.	19,1	19,0	19,4	19,8	19,4	18,9	16,5
1956.	28,7	29,5	30,3	29,7	29,0	29,3	27,0
1957.	23,9	24,9	26,2	24,7	23,6	24,7	18,0
1958.	23,4	23,2	23,6	23,8	23,4	23,2	19,4
1959.	21,2	22,0	22,3	21,9	21,1	21,4	18,4
1960.	20,3	20,6	22,0	20,4	20,5	20,7	17,9
Srednjak	22,8	23,2	24,0	23,5	22,9	23,1	20,1

Koeficijent korelacije za Grič iznosi  $r = -0,31$ , a za Podsused  $r = -0,298$ . Prema E. R. Chaddocku (cit. V. Serdar, 18, str. 338 »...koeficijent korelacije do 0,30 pokazuje sasvim neznatnu vezu među pojavama i nesigurnog je značenja...« Očito je da je to posljedica relativno velikih međugodišnjih varijacija aperiodičke godišnje amplitude, a s druge strane je to posljedica utjecaja premalenog broja članova niza.

Zbog složene reljefne strukture područja u kojem se nalazi Zagreb, moramo upozoriti na potrebu upoznavanja raspodjele srednje aperiodičke godišnje amplitude temperature između stanica koje se nalaze na najvažnijem reljefnom profilu od Botinca do Sljemena (tab. 2, sl. 5). Na grafikonu su upisane vrijednosti iz 8-godišnjeg razdoblja 1953-1960. godine. No, čini se da izmjerena temperatura, te izračunata srednja aperiodička godišnja amplituda na Griču ne odgovara stvarnom stanju. Naime, srednja aperiodička godišnja amplituda prvo opada od Botinca do »Kolodvora«

zbog razlike između termičkih uvjeta na periferiji i u centru grada, odnosno ovo je prvi dokaz u našem slučaju da srednja aperiodička godišnja amplituda opada prema središtu grada. Nakon toga, od »Kolodvora« do Griča ucertan je toliko nagli pad amplitude da proizlazi da je ona manja na Griču nego u Rimu, iako se Rim (220 m) nalazi na većoj nadmorskoj visini od Griča (157 m). To je u suprotnosti s dokazanom činjenicom da godišnja amplituda opada s porastom nadmorske visine. Zbog toga ne možemo prihvatiti da je amplituda na Griču iznosila  $22,8^\circ$ . Isprekidanom linijom na sl. 5 ucertan je rekonstruirani dio presjeka. U točki gdje je produženi profil siječe Grič amplituda iznosi  $23,4^\circ$ . Ovo je još jedan dokaz da (mikro)lokacija termometra na Griču nije propisna. To se može zaključiti iz službenog opisa njegova smještaja (11): »termometar se nalazi...6,2 m iznad tla«. Termometar je u »dvostrukoj sjeni«, tj. u sjeni je zgrade i u »mraku« vlastite kućice, odnosno zaklona. Treba uzeti





Sl. 5. Srednje aperiodičke godišnje amplitude temperature na profilu Botinec-Sljeme; 8-godišnje razdoblje 1953–1960. godine. Iscrtkano je prikazana raspodjela temperature ako se uzme korigirana temperatura na Griču (11; 12; 13)

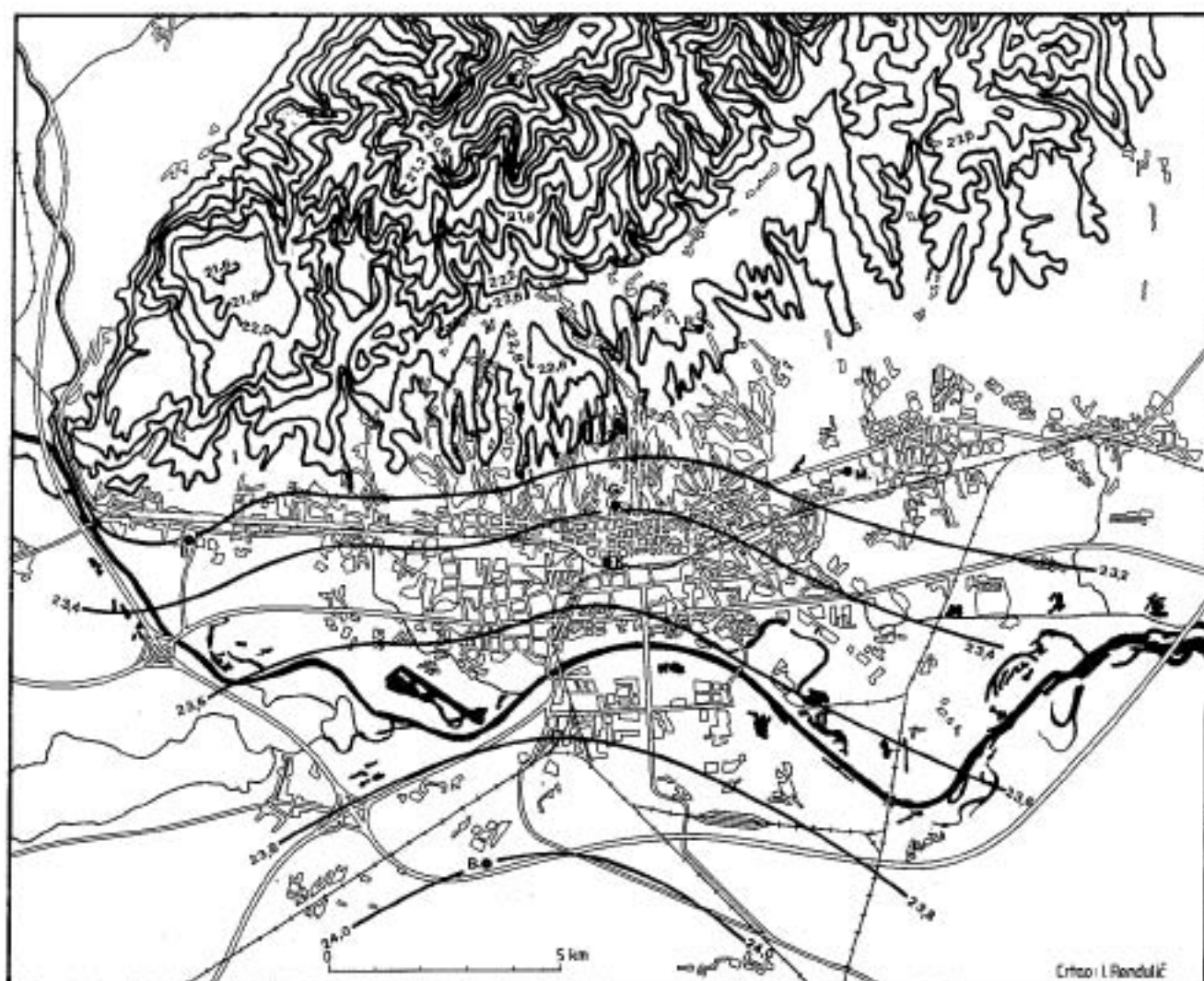
Fig. 5. Mean annual aperiodic amplitudes between Botinec and Sljeme; the dotted line represents the course of temperature range due to corrected temperature in Grič Observatory

u račun i utjecaj susjednog parka, pa bi se moglo zaključiti da su maksimalne temperature na Griču sistematski niže, a minimalne su temperature više nego što bi bile očitane na ispravno smještenom termometru, tj. na »normalnoj« visini. Jasno je da su i sve druge izračunate temperature neispravne. Tako bismo objasnili nerealan pad amplitude na sl. 5. Ako prihvatimo sve te primjedbe rekonstrukcijom grafa zaključujemo da srednja aperiodička godišnja amplituda na Griču iznosi 23,4°.

Sve što je rečeno o raspodjeli aperiodičke godišnje amplitude temperature (tab. 2) na teritoriju Zagreba, možemo unijeti i na geografsku kartu; tako ćemo dobiti geografsku raspodjelu srednje aperiodičke godišnje amplitude temperature (sl. 6). U nizinskom dijelu Zagreba izoamplitude su ucrtane pomoću izračunatog horizontalnog gradijenta između pojedinih stanica, ali smo koristili već citirano pravilo da

su izolinije gušće na periferiji nego izvan i unutar grada. (Evidentno u Londonu, ali manje u malenom Zagrebu.) Za prikaz izoamplituda na padini Medvednice morali smo izračunati nadmorsku visinu pojedinih izoamplituda. Izračunato je da se srednja aperiodička godišnja amplituda mijenjala za 1° na svakih 280 m. Tako je dobivena nadmorska visina izoamplituda samo na profilu Sljeme-Rim; kolika je ona istočno i zapadno nije moguće izračunati jer nema stanica na potrebnim visinama. Preciznosti radi navodimo visinu pojedinih izoamplituda; 22,8° na 240 m visine, 22,6° na 300 m, 22,2° na 410 m, 22,0° na 470 m, 21,8° na 520 m, 21,6° na 580 m, 21,4° na 640 m, 21,2° na 690 m, 21,0° na 750 m, 20,8° na 800 m, 20,6° na 860 m, 20,4° na 920 m, te 20,2° na 970 m visine.

Pregledom na sl. 6 uočavamo lagano povijanje izoamplituda prema sjeveru u središnjem gradskom po-



Sl. 6. Geografska raspodjela srednje aperioidičke godišnje amplitude temperature zraka; 8-godišnji srednjaci iz razdoblja 1953-1960. godine (11; 12; 13)

Fig. 6. Geographical distribution of mean annual aperiodic amplitudes in Zagreb area

dručju. Prvo, to bi mogla biti posljedica, u ono doba, slabe izgrađenosti južnog Zagreba južno od željezničke pruge. Drugo, određeno značenje ima činjenica da je stanica »Kolodvor« bila locirana u Botaničkom vrstu s bitno drukčijim termičkim osobinama nego što ih ima grad sjevernije od njega. Treće, nazire se termički utjecaj gusto izgrađenog nizinskog dijela Zagreba. Homogenost podloge (u ono doba) uzrok je malenog horizontalnog gradi-

jenta u istočnom dijelu promatranog prostora. Više u prigorju nego u dolini Save uočava se činjenica da godišnja amplituda opada s porastom nadmorske visine.

Povijanje izoamplituda u nizinskom dijelu Zagreba istočno i zapadno od osi Botinec - Grič posljedica je određene specifičnosti u raspodjeli godišnje amplitude, a ipak se očituje usprkos nereprezentativnosti stanice »Kolodvor«. naime, zbog veće nad-

morske visine i nepovoljnog smještaja termometra, Grič ne može biti termički reprezentant nizinskog Zagreba.

Budući da se radi o stuptilnim razlikama potrebno je učiniti još jedan pokušaj. Naime, ključno značenje imaju tri nizinske stanice, »Kolodvor«, Podsused i Makismir. Za razliku od profila Botinec – »Kolodvor« – Grič može se reći da je u ono doba profil istok – zapad, Maksimir – »Kolodvor« – Podsused bio mnogo »urbaniziraniji«, pa bi se još jednom moglo pokušati utvrditi raspodjelu godišnje amplitude pod dominantnim utjecajem grada. Iako su podaci fragmentarni ipak se niz (tab. 2) za samo ove tri stanice može produžiti za još tri godine, od 1953.–1960. i od 1963.–1965, što ukupno čini 11 godina. U 8-godišnjem nizu 1953–1960. (tab. 2) aperiodička srednja godišnja amplituda iznosila je: u Podsusedu 23,2°, »Kolodvoru« 23,5°, Maksimiru 23,1°. U 11-godišnjem razdoblju 1953–1960. i 1963–1965. godišnja je amplituda iznosila: u Podsusedu 23,7°, »Kolodvoru« 24,1°, Maksimiru 23,8°. Dakle, u oba razdoblja očituje se ista pravilnost: u profilu Zagreba od zapada prema istoku, tj. u »urbaniziranom« profilu, srednja aperiodička godišnja amplituda temperature veća je u središnjem gradskom području, a opada prema periferiji na zapadu i istoku. A to je u suprotnosti s opće važećim pravilom (17) da je u gradovima »...L'amplitude...est toujours plus faible dans les centres qu'à l'extérieur«.

Da zaključimo. U Zagrebu postoje dva profila godišnje amplitude: a) sjever-jug, pri čemu srednja godišnja

amplituda opada od juga prema sjeveru i b) profil istok-zapad, samo u nizinskom dijelu Zagreba pri čemu je amplituda najveća u centru grada, a opada prema periferiji. Ne može se generalizirati i izvesti zajednički zaključak za cijeli Zagreb samo na temelju podataka Griča. To znači da je u nizinskom Zagrebu jači termički utjecaj nizine Save od termičkog utjecaja izgrađene površine. Da je meteorološka stanica bila negdje sjevernije izvan Botaničkog vrta, vrlo je vjerojatno da bi i u Zagrebu u njegovu centru bila manja amplituda nego na periferiji. S dosadašnjim podacima to se ne može egzaktno potvrditi; to je ujedno dokaz nepravilnog smještaja termometra u Botaničkom vrtu, on nije reprezentant termičkih karakteristika nizinskog Zagreba.

## Zaključak

1. Aperiodičke su godišnje amplitude temperature najčešće više od periodičkih, pa će i srednje višegodišnje aperiodičke amplitude biti više od srednjih periodičkih amplituda. Odnosi između 10-godišnjih srednjaka periodičke i aperiodičke godišnje amplitude te 10-godišnjih srednjaka temperature nisu jednostavni; nije uvijek moguće reći da hladnom razdoblju uvijek odgovaraju velike godišnje amplitude, a toplom razdoblju malene godišnje amplitude. Zato sve to mnogo više vrijedi za odnos sa zimskim temperaturama (sl. 1, B).

2. Niz godišnjih amplituda 1862–1990. godine pokazuje smjenu razdoblja sa velikim amplitudama s razdobljima sa znatno manjim godišnjim



amplitudama. Smanjenje amplituda znak je pojačane maritimnosti, a povećanje godišnjih amplituda upućuje na pojačani kontinentski temperaturni režim. Razdoblje manjih godišnjih amplituda posljedica je dominacije zonalne cirkulacije. Razdoblje pojačanog kontinentskog termičkog režima posljedica je dominacije meridionalne cirkulacije.

3. Izračunavanjem odnosa aperioidičke godišnje amplitude i srednje temperature najhladnijeg mjeseca egzaktno je utvrđeno da je aperioidička godišnja amplituda funkcija temperature najhladnijeg mjeseca, a u skladu s relacijom: što je niža temperatura najhladnijeg mjeseca, to je veća godišnja amplituda.

4. Grafovi na sl. 1 i 2 (Grič) pokazuju da je evidentan trend porasta i godišnjih i zimskih temperatura; posljedica je trend smanjenja godišnjih amplituda. Koliki je udio globalnih promjena temperature, a koliko je utjecaj izgradnje Zagreba u ovom trenutku nije lako odrediti.

5. Koeficijent korelacije između godišnje amplitude i srednje temperature najhladnijeg mjeseca pokazuje da je veza vrlo čvrsta, tj. niske srednje temperature najhladnijih mjeseci uzrokuju veliku godišnju amplitudu, i

obratno. Za  $0.99^\circ$  nižu mjesečnu temperaturu najhladnijeg mjeseca godišnja amplituda poraste za  $1^\circ$ .

6. I na Griču i u Podsusedu evidentan je silazni trend godišnjih amplituda. Koeficijent korelacije je gotovo jednak što bi značilo da su utjecaji na taj trend bili jednaki.

7. Profil Botinec – Sljeme upućuje na potrebu korigiranja veličine amplitude; to je posljedica neadekvatnog smještaja termometra. Godišnje amplitude na Griču moraju biti za  $0,6^\circ$  veće nego što su izračunate na bazi očitanih (i publiciranih) vrijednosti.

8. Geografska raspodjela srednje godišnje amplitude na teritoriju Zagreba odraz je utjecaja nadmorske visine stanica i gustoće izgrađenosti Zagreba. Utjecaj nadmorske visine očituje se u smanjenju srednje godišnje amplitude od doline Save prema vrhu Medvednice. U »Kolodvoru« srednja godišnja amplituda veća je nego na periferiji, u Podsusedu i u Maksimiru. To je posljedica ondašnje neizgrađenosti južnog Zagreba i nepovoljnog smještaja stanice u Botaničkom vrtu. Godišnja amplituda je sigurno nešto manja u centru Zagreba sjeverno od Botaničkog vrta, ali ispod Zagrebačke terase.

## Literatura

1. KRATZER, P. A. (1956): Das Stadtklima. Braunschweig.
2. LANDSBERG, H. A. (1958): Physical Climatology. Du Bois.
3. VUJEVIĆ, P. (1933): Variations périodiques du climat en Yougoslavie. Comptes rendus du Congrès International de Géographie, Paris 1931, T. II, 2-19, Paris.
4. PENZAR, B., B. VOLARIĆ, I. PENZAR (1967): Prilog poznavanju sekularnih kolebanja temperature i oborine u Jugoslaviji. SHZ, Zbornik radova povodom proslave 20 godina rada i razvoja hidrometeorološke službe Jugoslavije 1947-1967, 63-89, Beograd.
5. MAKJANIĆ, B. (1977): Da li se klima u posljednje vrijeme mijenja? Priroda 66 (4-5), 140-145, Zagreb.
6. ŠEGOTA, T. I A. FILIPČIĆ (1991): Periodička i aperiodička dnevna amplituda temperature zraka u Zagrebu. Radovi 26, 17-34, Zagreb.
7. HANN, J. (1932): Handbuch der Klimatologie. LB. IV izd. XV+444, Stuttgart.
8. CONRAD, V. I L. W. POLLAK (1950): Methods in Climatology. II izd. XXVII+459, Cambridge.
9. CHANDLER, T. J. (1961): The Changing Form of London's Heat-island. Geography 46 (4), 295-307.
10. CHANDLER, T. J. (1961): London's Urban Climate. Geographical Journal 128 (3), 279-302.
11. Sveučilište u Zagrebu, PMF, Geofizički zavod, Opservatorij Grič (1970): Klimatski podaci Opservatorija Zagreb, Grič za razdoblje 1862-1967, Zagreb.
12. Sveučilište u Zagrebu, PMF, Geofizički zavod, Opservatorij Grič. Meteorološki izvještaj (za odgovarajuće godine), Zagreb.
13. Centar za ekonomski razvoj grada Zagreba, Zavod za statistiku. Statistički godišnjak Zagreba (za odgovarajuće godine), Zagreb.
14. TREPINSKA, J. (1988): Wieloletni przebieg ciśnienia i temperatury powietrza w Krakowie na tle ich zmienności w Europie. Uniwersytet Jagielloński, Rozprawy habilitacyjne nr 140, 169 str., Kraków.
15. KEIL, K. (1967): Jahresschwankungen der Temperatur. Meteorologische Rundschau 20 (2), 55-58.
16. MEYER ZU DÜTTINGDORF, A.-M. (1978): Klimaschwankungen im maritimen und kontinentalen Raum Europas seit 1871. Bochumer Geographische Arbeiten 32, IX+127.
17. ESCOURROU, G. (1984): Quelques remarques sur la climatologie urbaine. Bulletin de l'Association de Géographes Français 61 (500-501), 83-97.
18. SERDAR, V. (1966): Udžbenik statistike, Zagreb.

## Summary

### ANNUAL AMPLITUDES OF AIR TEMPERATURE IN ZAGREB, CROATIA

by

Tomislav Šegota and Anita Filipčić

1. The annual aperiodic amplitudes ordinarily are greater than the annual periodical amplitudes. Consequently, 10-year means of aperiodic amplitudes are greater than the decadal periodic amplitudes. (Fig. 1). The relation between 10-year mean annual temperatures and the periodic and aperiodic 10-year mean amplitudes are not simple. Much closer correlation exists between 10-year amplitudes and 10-year winter temperatures. Cold winters are accompanied by great periodic and aperiodic amplitudes.

2. Annual aperiodic amplitude from the 1862-1990 period reveal a wave like fluctuation. (Fig. 2). Great amplitude periods correspond to meridional circulation and the smaller amplitude periods correspond to zonal circulation.

3. The magnitude of annual temperature range depends on the mean temperature of the coldest month. (Fig. 3). The relation is simple: the lower mean temperature of the coldest month, the greater mean annual range of temperature. The mean temperature of the warmest month is not so important as the temperature of the coldest month.

4. Fig. 1 and fig. 2 reveal a general trend of warming at least in Zagreb

area. The winter temperatures are much higher than a century ago. The result is the general lowering of both periodic and aperiodic amplitudes.

5. The coefficient of correlation  $r = -0.93$  (Fig. 3) reveals that the annual amplitudes are the function of the coldest month temperature.

6. Comparing the trend lines of annual aperiodic amplitudes from a period 1953-1991 (Fig. 4) one reveals that the annual amplitudes are slowly decreasing.

7. The temperature profile Botinec - Sljeme (Fig. 5) reveals that something is wrong with the temperature in Grič Observatory. The position of the thermometer is not good (6.2 m above the ground) and the results are misleading. In reality the minima are lower and consequently the amplitudes are greater than reported. The true mean annual temperature amplitudes in Grič are 0.6°C higher than reported data.

8. Geographical distribution of mean annual aperiodic amplitude in Zagreb area (Fig. 6) is the result of the height of the stations and the density of the built up area. Mean annual amplitude diminishes with the height. In »Kolodvor« station, in the centre of the city, mean annual am-



plitude is greater than on the periphery, in Podsused on the West, and in Maksimir on the East. This is the result of cooling effect of the Botanical Gardens and sparsely built up area to the South. Mean annual amplitude is very probably greater in the Northern

part of the central Zagreb between the Botanical Gardens and the escarpment of the Zagreb terrace. This would be in agreement with general rule that the centre has a smaller amplitude than the periphery on the West and on the East.

Dr. Tomislav Šegota, red. prof.  
Anita Filipčić, mladi istraživač  
Geografski odjel PMF  
Hrvatska, 41000 Zagreb  
Marulićev trg 19.

Recenzenti:

Dr. Andrija Bognar, red. prof. PMF  
Dr. Josip Ridanović, red. prof. PMF