

RADOVI	Volumen 26	Broj 26	17 — 34	Zagreb, 1991.
--------	------------	---------	---------	---------------

UDK 911.2:551.58(497.13)

Izvorni znanstveni rad
Original scientific paper

PERIODIČKA I APERIODIČKA DNEVNA AMPLITUDA TEMPERATURE ZRAKA U ZAGREBU*

TOMISLAV ŠEGOTA, ANITA FILIPČIĆ

U svim mjesecima aperiodička amplituda je veća od periodičke. Amplitude su veće na periferiji nego u centru grada. Amplitude su manje na većoj nadmorskoj visini. U razdoblju 1953—1983, aperiodička amplituda je u godišnjem prosjeku pala u Podsusedu za $0,3^\circ$, a na Griču za $0,6^\circ$. Aperiodička amplituda u studenom je u Podsusedu porasla za $2,1^\circ$, a na Griču za $0,8^\circ$. Srpanjska aperiodička amplituda u Podsusedu porasla je za $0,2^\circ$, a na Griču za $0,4^\circ$.

Daily amplitudes of air temperature in Zagreb, Croatia

In all months aperiodic amplitude is greater than periodic one. The amplitudes are much greater on the periphery than in the central area. The amplitudes are smaller on the higher altitude. In the period 1953—1983 one reveals that annual aperiodic daily amplitude in Podsused are 0.3° , and in Grič 0.6° lower than at the beginning of the period. In November the aperiodic amplitude is 2.1° greater, and in Grič only 0.8° greater than at the beginning of analysed period. The mean July aperiodic amplitude in Podsused is 0.2° greater, and 0.4° greater in Grič than at the beginning of the analysed period.

Uvod

Zahvaljujući silnoj urbanizaciji grad je postao najkompleksnije čo-

vjekovo djelo. Mnogi su se gradovi toliko proširili da se danas općenito prihvaća činjenica da grad modificira klimu u svom području (1;

*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 SRH«) u Geografskom odjelu PMF-a Sveučilišta u Zagrebu, a

po programu Ministarstva znanosti, tehnologije i informatike. Autori su zahvalni republičkom hidrometeorološkom zavodu SRH, Zagreb, Grič 3, koji im je omogućio korištenje arhivskih podataka.

2), ali je vrlo teško kvantitativno odrediti veličinu tog utjecaja. Još je teže utvrditi 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 sjevernohemisferskih fluktuacija klime (koje bi postojale i onda kad gradova ne bi 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 energetskih postrojenja, kućnih ložišta, golemog broja vozila itd.; utjecaj grada na brzinu vjetra zbog povećanja trenja izgradnjom velikog broja blokova zgrada i nebodera. Sve to u tolikoj mjeri utječe na temperaturu zraka u velikim 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 planinskih padina, potočnih dolina, rebara i gorskih kosa između njih, šuma i niske doline Save u kojoj postoje optimalni uvjeti za postanak inverzije temperature.

O temperaturi u Zagrebu postoji već započeta analiza (3; 4; 5; 6), a ovaj je rad njen nastavak. Interesirat će nas srednja dnevna amplituda temperature zraka. Prvi radovi o amplitudi temperature nastaju u 19. i početkom 20. st. (7; 8; 9). Iz tih, a pogotovo iz kasnijih radova, vidi se da ne bi bilo dovoljno precizno govoriti samo o amplitudi temperature jer je to nadređeni pojam koji u sebi sadrži dvoje: srednju periodičku dnevnu amplitudu temperature (SPDAT) i srednju aperiodičku dnevnu amplitudu temperature (SADAT). Općenito, dnevna amplituda temperature je razlika između najviše i najniže vrijednosti u dnevnom hodu temperature, ili raspon temperature u intervalu od 24 sata (10). SPDAT je razlika između srednje temperature najhladnijeg i najtoplijeg sata u toku dana (11) ili razlika najvišeg i najnižeg satnog srednjaka. SADAT je razlika srednje maksimalne i srednje minimalne temperature prema podacima maksimalnog i minimalnog termometra (11). Iz definicija proizlazi da će aperiodička amplituda biti uvijek veća (ili barem jednaka) od periodičke. Veličina termičke amplitude ovisi o nizu faktora, kao što su geografska širina, nadmorska visina, reljef, trajanje dana i noći, vjetar, relativna vlažnost, magla i naročito naoblaka. D. Furlan (12) navodi da naoblaka i vjetar u toplom dijelu dana pri anticiklonskom vremenu smanjuju amplitudu na polovicu, a pri ciklonskom se vremenu amplituda smanjuje na jednu četvrtinu vrijednosti amplitude bez naoblake i vjetra. U Zagrebu SPDAT računata iz satnih vrijednosti iznosi u godišnjem prosjeku u vedrim danima 10,2°, a

u oblačnim danima samo $3,4^{\circ}$ (13). Prosječna dnevna amplituda u Europi iznosi $8,0^{\circ}$ (14).

Podaci

Za izračunavanje SPDAT i SADAT potrebni su nam podaci o minimalnim i maksimalnim (ekstremnim) temperaturama i podaci o temperaturama u 7 i 14 h, i to iz što je moguće dužeg razdoblja. Na teritoriju Zagreba postoji samo jedna meteorološka stanica, Opservatorij Zagreb—Grič, s dugim, homogenim nizom temperaturnih podataka. Ostale meteorološke stanice nemaju takav niz jer je često dolazilo do prekida mjerenja, premještanja stanice ili instrumenta, do prekida motrenja u trajanju od samo nekoliko dana, a to je dovoljno da se prekine godišnji niz podataka. Zbog toga su amplitude temperature računane iz temperatura koje su u većini slučajeva preuzete iz publiciranih ili nepubliciranih arhivskih izvora.

Da bi se dobio što reprezentativniji niz, istovjetan za sve stanice, za neke godine ili mjesece vrijednosti su interpolirane metodom diferencije. Tom su metodom ujedno i ispravljene neke evidentne pogreške, pa je amplituda izračunata iz tako dobivenih podataka. Navedimo nekoliko primjera ispravljenih i interpoliranih vrijednosti. Siječanjska srednja minimalna temperatura na Griču 1963. god. bila je $-7,1^{\circ}$, a ne $-7,0^{\circ}$, kako je u »Meteorološkom izvještaju«. Siječanjska srednja minimalna temperatura na Griču 1977. god. bila je $1,0^{\circ}$, a ne $-2,3^{\circ}$ kako je krivo upisano u »Meteorološkom izvještaju«, str. 37. Navedene je godine u veljači sred-

nja minimalna temperatura bila $3,8^{\circ}$ (a ne $-2,5^{\circ}$), u ožujku $6,4^{\circ}$ (a ne $-0,4^{\circ}$), u travnju $6,0^{\circ}$ (a ne $3,8^{\circ}$), u lipnju $15,4^{\circ}$ (a ne $13,1^{\circ}$) u srpnju $16,2^{\circ}$ (a ne $15,1^{\circ}$), u rujnu $11,0^{\circ}$ (a ne $9,0^{\circ}$), u listopadu $9,3^{\circ}$ (a ne $7,4^{\circ}$), u prosincu $-1,1^{\circ}$ (a ne $-5,4^{\circ}$). U »Meteorološkom izvještaju« za 1977. god. krivo su natipkane i srednje maksimalne temperature u Zagreb—Griču za neke mjesece. Ispravne su vrijednosti: siječanj $5,3^{\circ}$ (a ne $9,9^{\circ}$), veljača $9,5^{\circ}$ (a ne $12,9^{\circ}$), ožujak $15,4^{\circ}$ (a ne $18,0^{\circ}$), travanj $14,7^{\circ}$ (a ne $20,5^{\circ}$), lipanj $25,3^{\circ}$ (a ne $26,7^{\circ}$), srpanj $25,6^{\circ}$ (a ne $24,9^{\circ}$), rujanj $19,1^{\circ}$ (a ne $21,9^{\circ}$), listopad $16,3^{\circ}$ (a ne $17,6^{\circ}$), prosinac $2,6^{\circ}$ (a ne $8,3^{\circ}$). Svibanjska srednja minimalna temperatura 1953. god. u Botaničkom vrtu, prema Botincu, iznosila je $10,4^{\circ}$ (a ne $6,4^{\circ}$).

Interpolacijom je izračunato da je siječanjska srednja minimalna temperatura u Podsusedu 1973. god. (prema Griču) iznosila $-2,6^{\circ}$, u veljači 1954. god. (prema Botaničkom vrtu) $5,5^{\circ}$. U siječnju 1976. god. u Podsusedu je srednja maksimalna temperatura iznosila $5,7^{\circ}$, a u Botincu u siječnju 1957. god. $0,6^{\circ}$.

Metoda rada

Da bi se potpuno udovoljilo definiciji, za izračunavanje SPDAT bili bi nam potrebni satni srednjaci temperatura. Budući da takvim podacima raspolaže samo mali broj stanica, u praksi je dopušteno periodičku dnevnu amplitudu izračunati kao razliku

$$PDA = T_{14} - T_7$$

gdje je PDA = periodička dnevna amplituda,

T_{14} = temperatura izmjerena u 14 h,

T_7 = temperatura izmjerena u 7 h.

Iz toga slijedi da se SPDAT računa po formuli

$$\overline{PDA} = \bar{T}_{14} - \bar{T}_7$$

gdje je \overline{PDA} = srednja periodička dnevna amplituda temperature,

\bar{T}_{14} = srednja temperatura u 14 h,

\bar{T}_7 = srednja temperatura u 7 h.

Takvo je rješenje prihvatljivo zbog toga što za one stanice za koje nemamo satne vrijednosti ne možemo znati vrijeme nastupa minimuma i maksimuma koji se odnose na pune sate. Navedeni termini vrijede za tzv. neporemećene dane, kada je dnevni hod temperature posljedica samo razlike u primljenoj i emitiranoj radijaciji, odnosno kada nema advekcije niti toplog niti hladnog zraka. SADAT mogli smo izračunati slijedeći definiciju jer su nam za to potrebni podaci koje bilježe minimalni i maksimalni termometri bez obzira na termin kada su ekstremne vrijednosti zabilježene. Dakle,

$$\overline{ADA} = \bar{T}_{max} - \bar{T}_{min}$$

gdje je \overline{ADA} = srednja aperiodička dnevna amplituda temperature,

\bar{T}_{max} = srednja maksimalna temperatura,

\bar{T}_{min} = srednja minimalna temperatura.

Geografska raspodjela termičkih amplituda na nekom području prikazuje se metodom izoamplituda. S obzirom na to da bi zbog živog re-

ljeva na području koji promatramo broj stanica trebao biti veći, izoamplitude su velikim dijelom interpolirane. Iako prema V. Conradu i L. W. Pollaku (15) »in climatology, linear interpolation is generally sufficient...«, ta tehnika nije primijenjena na cijelom području jer su uvjeti različiti. Točnije, primijenjena je u ravničarskom dijelu Zagreba, dijelu prigorja i u užem gradskom području. Na jugoistočnoj padini Medvednice izračunat je vertikalni gradijent, a pomoću nje ga nadmorska visina pojedinih izoamplituda. Nakon toga su izoamplitude ucrtane tako da se poklapaju s izohipsama, ili slijede njihovo generalizirano pružanje.

Rezultati

Rezultati do kojih možemo doći proučavajući termičke amplitude u Zagrebu uglavnom nisu neočekivani ako poznajemo raspodjelu minimalnih (5) i maksimalnih (4) temperatura. Raspoložive stanice na području Zagreba razlikuju se prema nadmorskoj visini, intenzitetu utjecaja grada i drugim lokalnim uvjetima, pa će se na primjeru Zagreba moći potvrditi i neke opće zakonitosti o termičkim amplitudama. Jedna je od tih zakonitosti sam odnos između SPDAT i SADAT (sl. 1, tab. 1). Stanica koja reprezentira gusto izgrađeni Donji Grad je Botanički vrt (»Kolodvor«). U svim mjesecima SADAT je veća od SPDAT, ali su im godišnji hodovi različiti. SADAT raste prema toplom dijelu godine do maksimuma u kolovozu, a zatim slijedi pad do prosinca. SPDAT međutim, nakon niskih vrijednosti zimi, raste do ožujka, pada do lipnja, ponovno raste do rujna i konačno pada do prosinca. Na taj na-

Tab. 1. Srednje periodičke dnevne amplitude temperature zraka (SPDAT), srednje aperiodičke dnevne amplitude temperature zraka (SADAT), te razlika između njih; srednjaci iz 8-godišnjeg razdoblja 1953.—1959. i 1963. godine (17; 18; 19; 20)

Tab. 1. Mean periodic (SPDAT) and mean aperiodic (SADAT) daily amplitudes and the difference between them

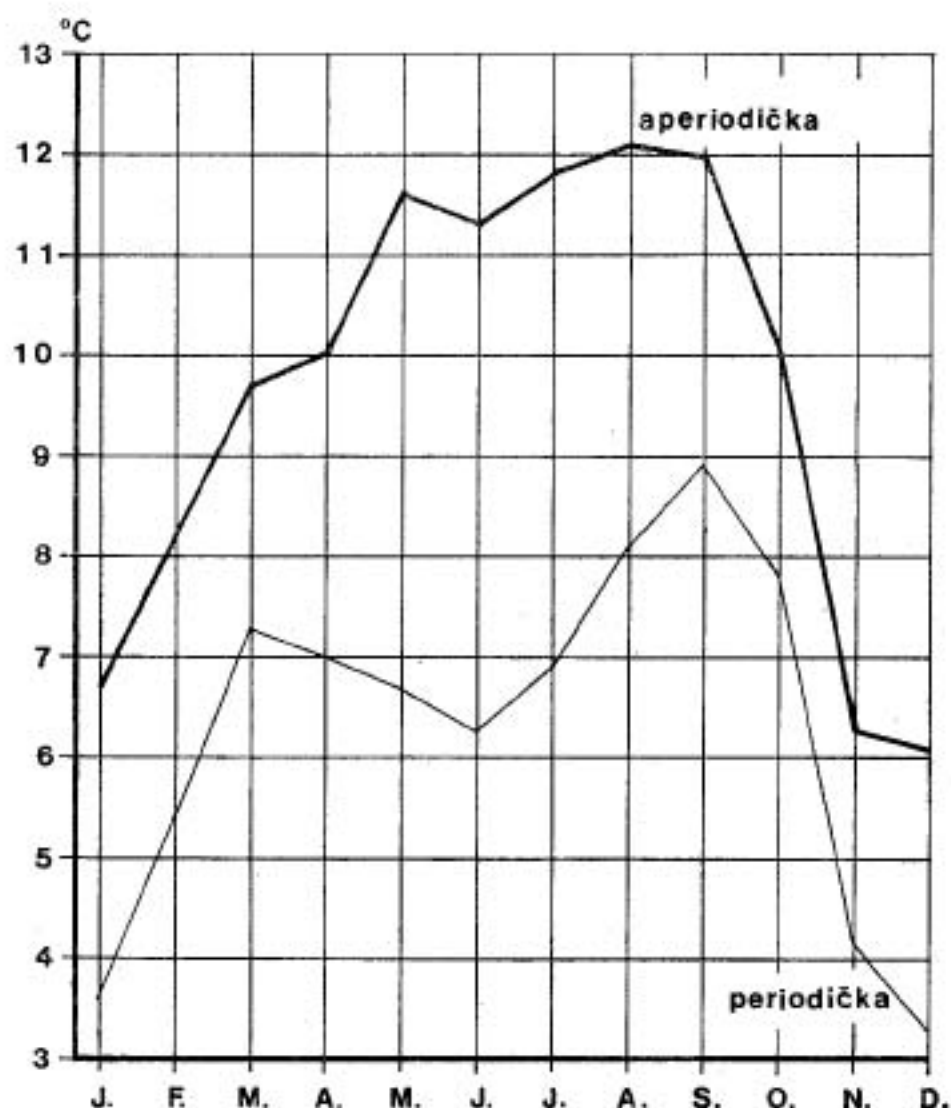
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	god.
«Kolodvor»													
SPDAT	3,6	5,4	7,3	7,0	6,7	6,3	6,9	8,1	8,9	7,8	4,2	3,3	6,3
SADAT	6,7	8,2	9,7	10,0	11,6	11,3	11,8	12,1	12,0	10,1	6,3	6,1	9,7
diferencija	3,1	2,8	2,4	3,0	4,9	5,0	4,9	4,0	3,1	2,3	2,1	2,8	3,4
Botinec													
SPDAT	3,9	5,9	8,0	7,3	7,0	6,4	7,3	8,1	9,0	8,0	4,9	3,6	6,6
SADAT	8,1	9,6	11,4	12,2	13,2	12,4	13,5	13,4	13,2	11,3	7,4	6,9	11,1
diferencija	4,2	3,7	3,4	4,9	6,2	6,0	6,2	5,3	4,2	3,3	2,5	3,3	4,5
Rim													
SPDAT	2,9	3,9	5,1	5,1	4,9	4,9	5,3	5,6	5,9	5,2	3,1	2,9	4,6
SADAT	6,3	7,1	8,2	8,6	9,2	9,1	9,9	9,9	9,3	8,1	5,7	5,8	8,1
diferencija	3,4	3,2	3,1	3,5	4,3	4,2	4,6	4,3	3,4	2,9	2,6	2,9	3,5
Sljeme													
SPDAT	1,4	2,2	3,5	4,1	4,2	3,5	3,8	3,9	3,6	2,9	1,5	1,2	3,0
SADAT	5,5	5,9	6,6	7,3	7,9	7,0	7,1	7,4	6,8	6,2	5,0	5,1	6,5
diferencija	4,1	3,7	3,1	3,2	3,7	3,5	3,3	3,5	3,2	3,3	3,5	3,9	3,5

čin dobivamo dva izrazita maksimuma, odnosno jedan izraziti pad vrijednosti u toplom dijelu godine. Lipanjski bismo minimum vjerojatno morali pripisati činjenici da u račun nisu uzeti najhladniji i najtopliji satni srednjaci, nego temperature u 14 i 7 h (koje su najbliže takvim srednjacima). Naime, Sunce na svom prividnom putu od ekvatora do sjeverne obratnice u sjevernim umjerenim širinama izlazi sve ranije od ožujka do lipnja. Poznato je da minimalne temperature najčešće nastupaju tek nešto nakon izlaska Sunca. To znači da se nastup najhladnijeg satnog srednjaka pomiče unatrag pa se do 7 h zrak već nešto ugrije. Time se donja granica amplitude povisuje, čime se amplituda smanjuje. Kod SADAT to se

gotovo i ne pokazuje jer je računata iz »pravih« ekstrema.

Zbog naoblake se javljaju i niže SPDAT i SADAT u hladnom dijelu godine. Kao posljedica jakog hlađenja podloge tada često nastaje magla koja se u toku dana izdigne u stratus. Naoblaka smanjuje gubitak topline dugovalnom radijacijom (posljedica je povišenje minimalne temperature), ali i primanje kratkovalne radijacije danju (posljedica je smanjenje maksimalne temperature). Zbog toga su zimske amplitude niže.

Takav godišnji hod SPDAT i SADAT nije jedina mogućnost. Ne smijemo zaboraviti da se prikazani hod temelji na samo 8-godišnjem nizu podataka. Za neki drugi period, ili



Sl. 1. Godišnji hod periodičke (SPDAT) i aperiodičke (SADAT) dnevne amplitude temperature zraka u Botaničkom vrtu (»Kolodvor«); srednjaci iz 8-godišnjeg razdoblja 1953.—1959. i 1963. godine

Fig. 1. Annual march of periodic (SPDAT) and aperiodic (SADAT) mean daily range of air temperature in the Botanical Gardens (»Kolodvor«; Railway Station)

za neki duži period mogle bi postojati manje razlike (16), ali se godišnji hodovi ipak ne bi bitno razlikovali.

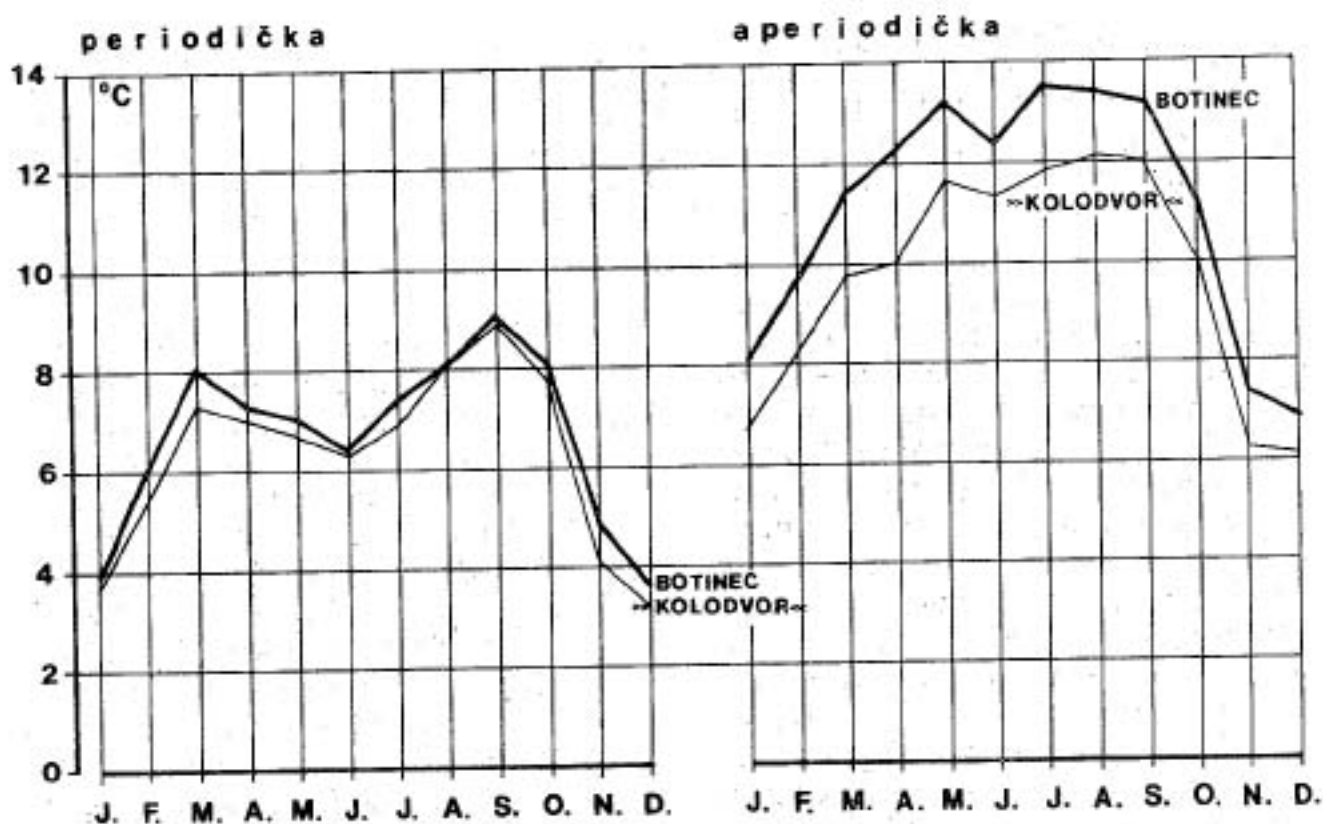
Poznato je da centar grada i periferija imaju različite termičke uvjete, pa se to mora odraziti i na termičku amplitudu. Kao primjer uzete su stanice Botinec, na periferiji, i »Kolodvor«, u centru grada (sl. 2). Stanice se nalaze na istoj nadmorskoj visini, pa je sasvim is-

ključen utjecaj inverzije temperature. Još se jednom potvrđuje pravilo da je SADAT veća od SPDAT. SPDAT i SADAT veće su na periferiji nego u centru grada. To je posljedica termičkog utjecaja grada koji zimi, kada se potencijalno javljaju niske temperature, povisuje te temperature. Kod periodičke je amplitude razlika centar — periferija vrlo mala. Izrazitije su razlike u aperiodičkoj amplitudi, ali nisu

podjednake u toku cijele godine. Treba izdvojiti jesen kada je razlika centar — periferija bitno smanjena. Vrijedi pravilo da SPDAT i SADAT rastu od centra grada prema periferiji, s tim da je horizontalni gradijent veći kod SADAT. Ako se usredotočimo samo na SADAT, vidjet ćemo da nije svejedno o kojem se dijelu gradske periferije radi. Prema podacima u tab. 2 za stanice »Kolodvor«, Podsused i Maksimir, možemo izračunati da je u godišnjem prosjeku horizontalni gradijent podjednak na južnoj i istočnoj periferiji ($0,2^\circ$ na 1 000 m), a na zapadnoj periferiji je upola manji ($0,1^\circ$ na 1 000 m).

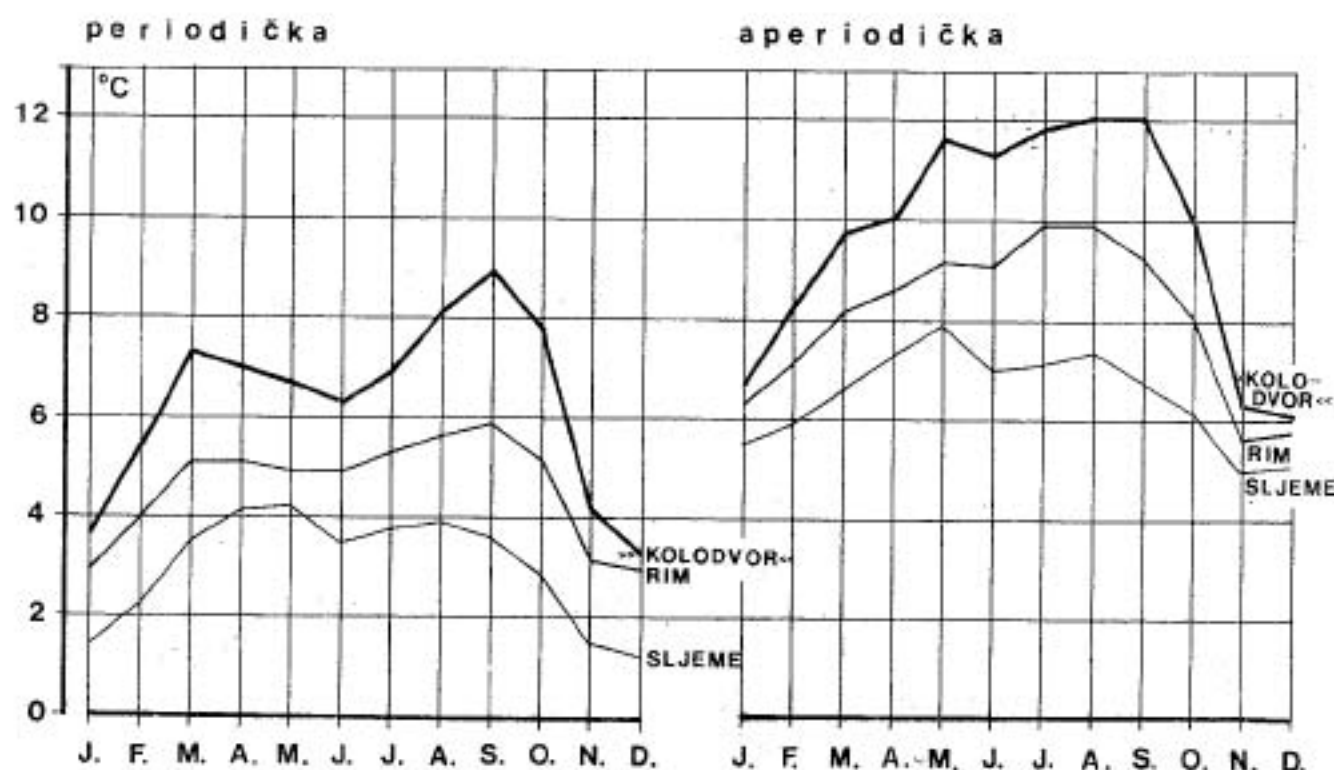
Sve spomenute stanice nalaze se na podjednakoj nadmorskoj visini.

Da bismo odredili utjecaj nadmorske visine na termičku amplitudu, poslužit ćemo se sl. 3. Izabrane su stanice »Kolodvor« (centar grada, 116 m), Rim (prigorje, 220 m) i Sljeme (999 m). Na svim je stanicama SADAT veća od SPDAT, ali to nam sada nije toliko važno. Važniji je odnos periodičkih (ili aperiodičkih) amplituda izabranih stanica. Stanica s najvišom nadmorskom visinom, Sljeme, ima cijele godine najmanju amplitudu, a najniža stanica, »Kolodvor«, ima najvišu amplitudu. Zimi je, naime, na većoj nadmorskoj visini (npr. na Sljemenu) evidentna inverzija temperature pa su minimalne temperature više nego u nizinskom, maglovitom dijelu Zagreba. Ljeti, kad je temperatura nor-



Sl. 2. Godišnji hod periodičke (SPDAT) i aperiodičke (SADAT) dnevne amplitude temperature zraka u Botincu (periferija) i Botaničkom vrtu (»Kolodvor«; centar); srednjaci iz 8-godišnjeg razdoblja 1953.—1959. i 1963. godine

Fig. 2. Annual march of periodic and aperiodic mean daily range of air temperature in Botinec (the periphery) and in the Botanical Gardens (»Kolodvor«; the central area)



Sl. 3. Godišnji hod periodičke i aperiodičke dnevne amplitude temperature zraka u Botaničkom vrtu (»Kolodvor«), Rimu i na Sljemenu odražava utjecaj nadmorske visine; srednjaci iz 8-godišnjeg razdoblja 1953.—1959. i 1963. godine

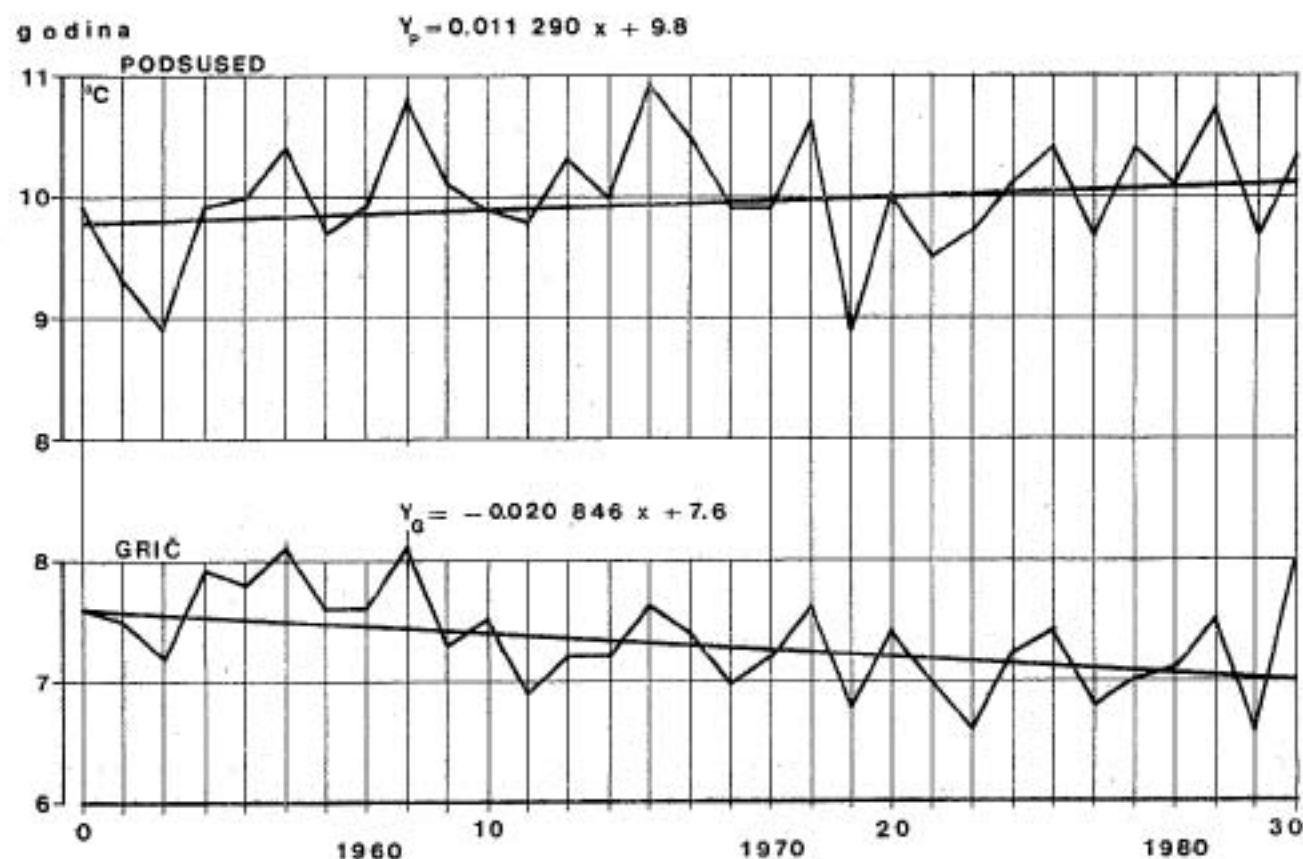
Fig. 3. Annual march of periodic and aperiodic mean daily range of air temperature in the Botanical Gardens (»Kolodvor«), in Rim, and at the top of Medvednica Mountain (Sljeme) reflect the influence of the height

malno stratificirana, maksimalne su temperature niže na većoj nadmorskoj visini. To je jače izraženo na većoj nadmorskoj visini, pa se stanica Rim, koja se nalazi između »Kolodvora« i Sljemena, i prema vrijednosti amplitude nalazi između tih stanica. Kod SPDAT na »Kolodvoru« opet vidimo pad vrijednosti u lipnju, što je već objašnjeno. Taj je pad manje izražen kod SADAT i na većoj nadmorskoj visini. Posljedica je to opće poznate činjenice da amplituda pada s porastom nadmorske visine. Tako je u godišnjem prosjeku SADAT na »Kolodvoru« $9,7^{\circ}$, u Rimu $8,1^{\circ}$, a na Sljemenu samo $6,5^{\circ}$. Isti se odnos dobiva i za SPDAT, ali su vrijednosti sistematski niže.

Budući da jedini homogeni dugogodišnji niz srednjih minimalnih i srednjih maksimalnih temperatura postoji samo za Grič, to znači da niti SADAT ne možemo uspoređivati s ostalim stanicama u periodu koji bi bio pogodan za zaključke o sekularnim fluktuacijama. Prilagođavajući se stanicama sa skromnijim podacima, usporedili smo 31-godišnje nizove SADAT u razdoblju 1953—1983. u Podsusedu i Griču (sl. 4). Da bi se izbjegla velika međugodišnja varijacija SADAT koja se dobiva nanošenjem godišnjih vrijednosti, izračunata je jednadžba pravca koji aproksimira godišnje vrijednosti i prikazuje linearni trend u promatranom razdoblju. U Podsusedu je SADAT u razdoblju

1953.—1983. iznosila $10,0^\circ$. Budući da je linija trenda »dinamički srednjak«, iz jednadžbe pravca koji označava linearni trend slijedi da je 1953. god. »izravната« SADAT bila $9,8^\circ$, a 1983. $10,1^\circ$, tj. porasla je za $0,3^\circ$. U navedenom je razdoblju na Griču SADAT iznosila $7,3^\circ$. »Izravната« SADAT 1953. bila je $7,6^\circ$, a 1983. $7,0^\circ$. Ako se zanemare kratkotrajne

varijacije SADAT, u 31-godišnjem razdoblju 1953.—1983. god. SADAT na Griču pala je za $0,6^\circ$. Dakle, SADAT na Griču pokazuje silazni trend, a u Podsusedu uzlazni, s tim da je porast u Podsusedu dvostruko manji od pada na Griču. Prema trendu srednjih minimalnih (5) i srednjih maksimalnih (4) temperatura možemo odrediti razlog ten-



Sl. 4. Godišnji srednjaci aperiodičke dnevne amplitude temperature u Podsusedu i Griču u 31-godišnjem razdoblju 1953.—1983. godine (17; 18; 19; 20)

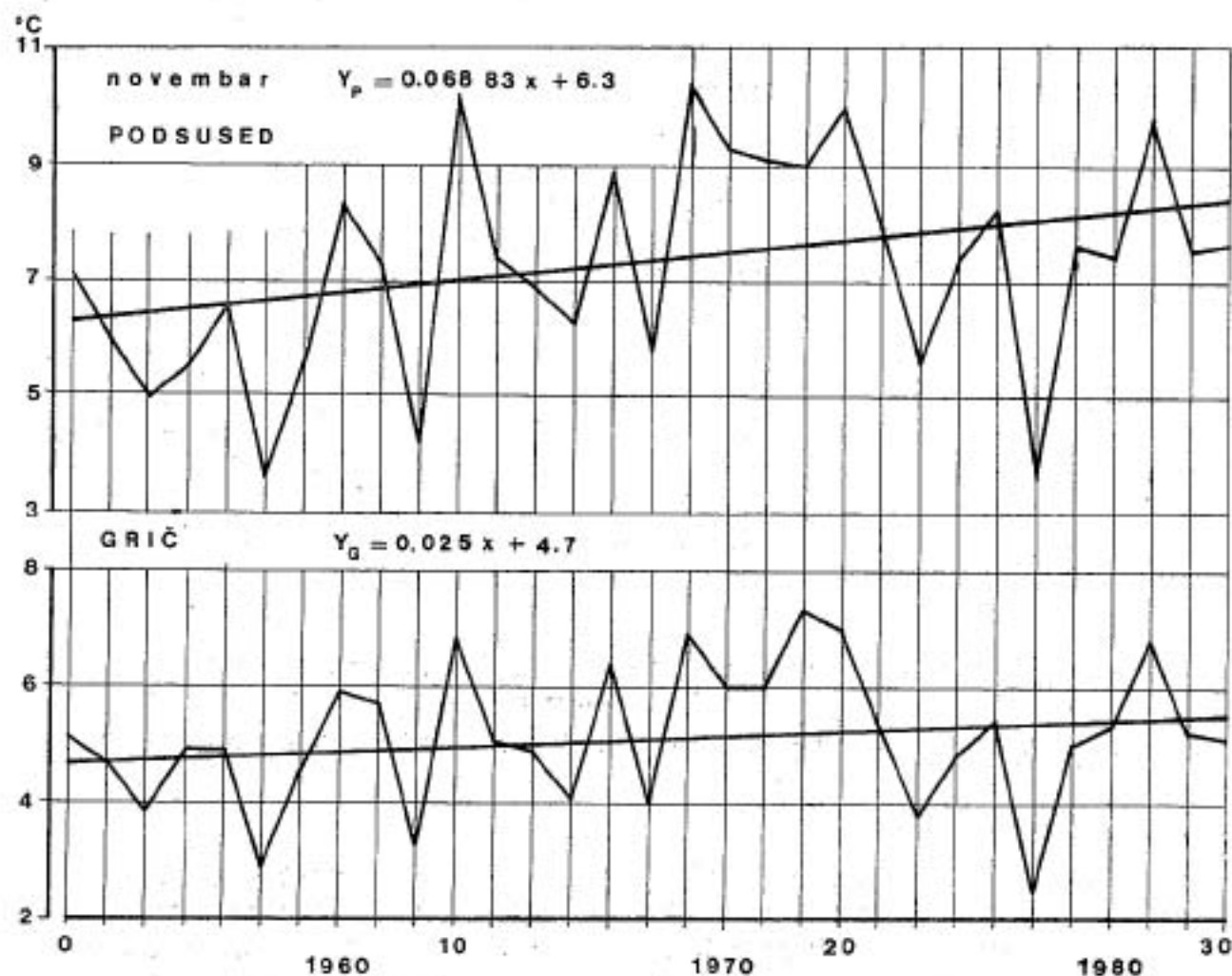
Fig. 4. Annual means of aperiodic mean daily range of air temperature in Podsused and in Grič Observatory

dencija SADAT na svakoj od prikazanih stanica. U Podsusedu je srednja maksimalna temperatura u tom razdoblju porasla za $0,5^\circ$, a srednja minimalna za $0,2^\circ$. Na Griču je srednja minimalna temperatura porasla za $0,7^\circ$, a srednja maksimalna za $0,2^\circ$. To znači da je porast godišnje

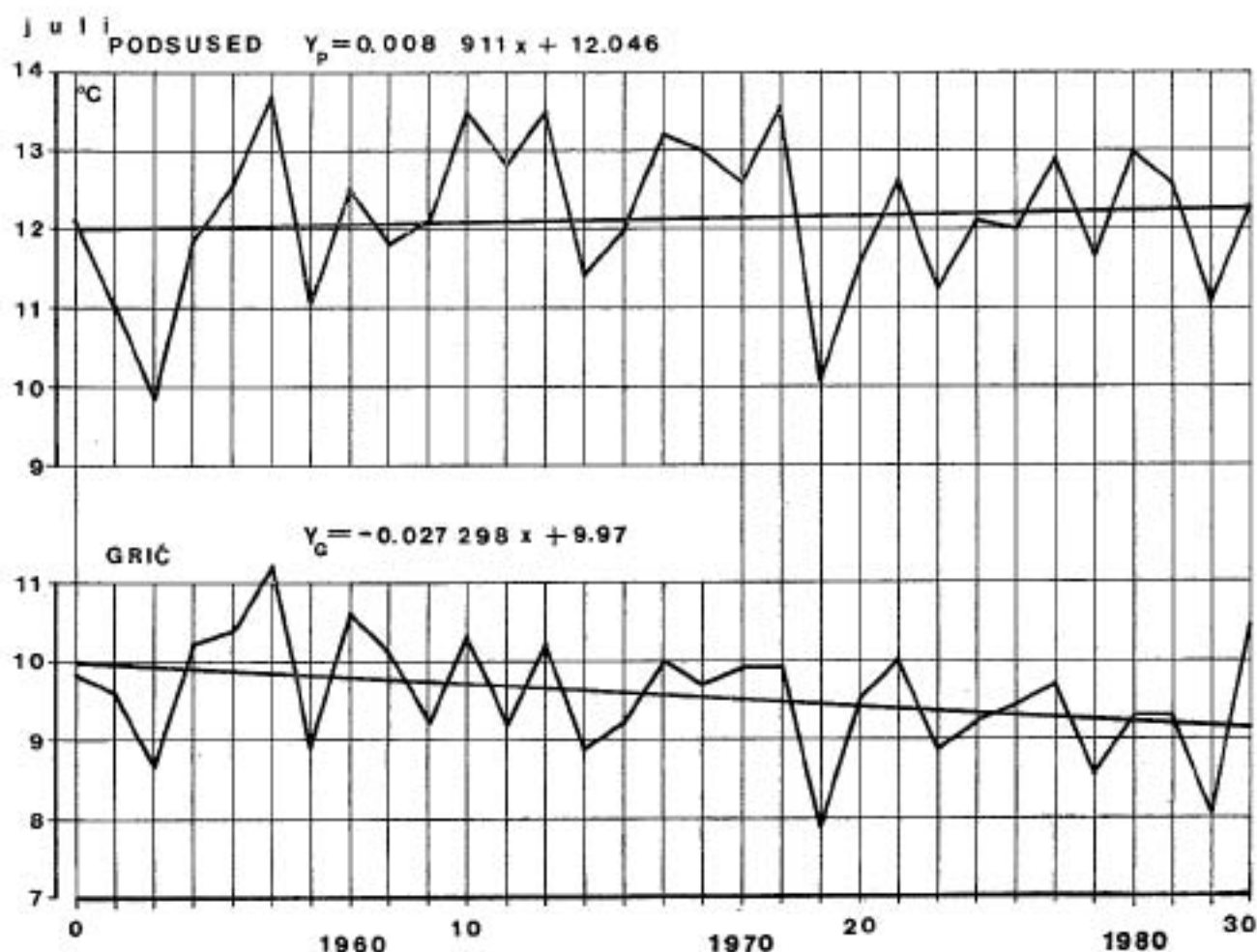
SADAT u Podsusedu uzrokovan porastom srednjih maksimalnih temperatura, a pad godišnje SADAT na Griču uzrokuju prije svega više srednje minimalne temperature. To nije iznenađujuće s obzirom na povećanje izgrađenosti Zagreba i oslobađanje »umjetne« topline.

Detaljnije informacije dobit ćemo analizom mjesečnih SADAT. Iako su u klimatologiji uobičajene analize siječnja i srpnja, ovog puta nećemo učiniti tako. Umjesto siječnja izabran je studeni jer obje stanice, Podsused i Grič, imaju najmanju mjesečnu SADAT u studenom. U Podsusedu (sl. 5) je za 31-godišnje razdoblje 1953—1983. SADAT u studenom iznosila $7,3^\circ$. »Izravnata« SADAT u studenom 1953. bila je $6,3^\circ$, a 1983. $8,4^\circ$, što znači da je porasla za $2,1^\circ$. Isti trend pokazuje i SADAT u studenom na Gri-

ču, ali s manjim intenzitetom. »Izravnata« SADAT u studenom na Griču 1953. bila je $4,7^\circ$, a 1983. $5,5^\circ$, a to daje porast od $0,8^\circ$. Takvo kretanje SADAT ne možemo uspoređivati s kretanjem srednjih minimalnih i srednjih maksimalnih temperatura, jer su one u prethodnim radovima (4; 5) prikazivane u siječanj-skom prosjeku. Već smo prije vidjeli da centar grada u odnosu na periferiju ima manju termičku amplitudu zbog utjecaja »toplinskog otoka«, a male amplitude su karakteristične za hladni dio godine.



Sl. 5. Novembarski srednjaci aperiodičke dnevne amplitude temperature u Podsusedu i Griču u 31-godišnjem razdoblju 1953.—1983. godine (17; 18; 19; 20)
 Fig. 5. November means of aperiodic mean daily range of air temperature in Podsused and in Grič Observatory



Sl. 6. Srpanjski srednjaci aperiodičke dnevne amplitude temperature u Podšusedu i Griču u 31-godišnjem razdoblju 1953.—1983. godine (17; 18; 19; 20)

Fig. 6. July means of aperiodic mean daily range of air temperature in Podšused and in Grič Observatory

Zbog toga je i porast SADAT u studenom u 31-godišnjem razdoblju 1953—1983. za $1,3^\circ$ manji na Griču ($0,8^\circ$) nego u Podšusedu ($2,1^\circ$).

Ostaje nam još da analiziramo trendove srpanjskih SADAT u Podšusedu i Griču (sl. 6). U Podšusedu srpanjska SADAT ima uzlazan trend, pa je sa $12,1^\circ$ 1953. porasla na $12,3^\circ$ 1983. Razlika iznosi $0,2^\circ$. Istodobno srpanjska SADAT na Griču ima silazan trend, tako da je sa $10,0^\circ$ 1953. god. pala na $9,2^\circ$, dakle, za $0,8^\circ$. Uspoređujući te podatke s kretanjem srpanjskih srednjih maksimalnih (4) i srednjih minimalnih (5)

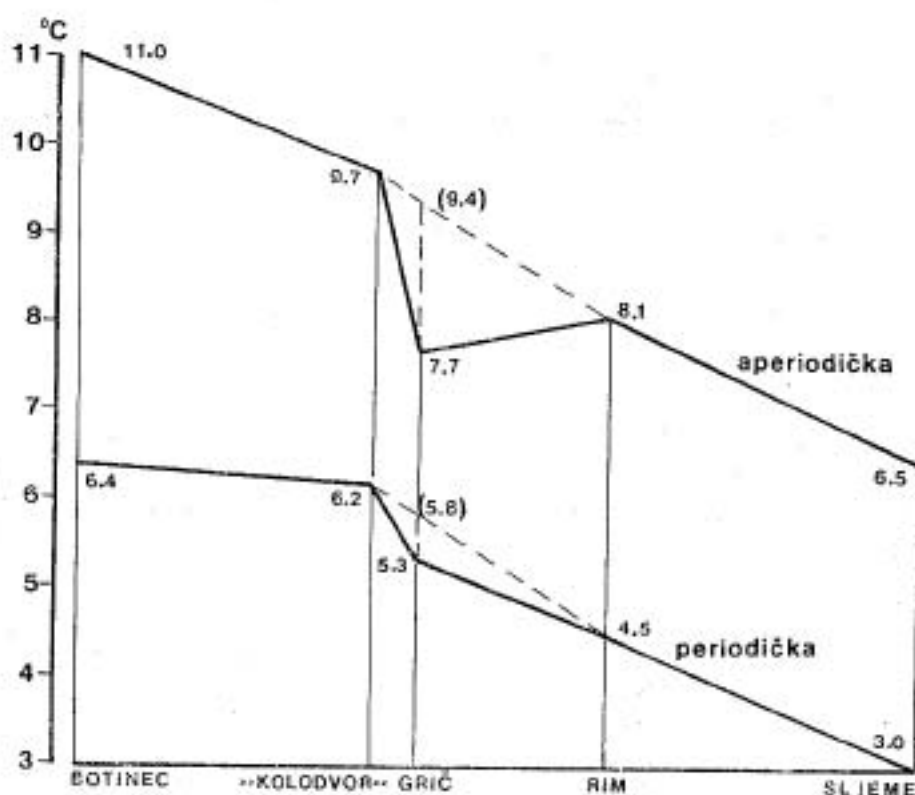
temperatura dolazimo do zaključka da je uzlazni trend SADAT u Podšusedu uglavnom posljedica viših srednjih maksimalnih temperatura, a silazan trend na Griču bio bi posljedica jednake vrijednosti pada srednjih maksimalnih i porasta srednjih minimalnih temperatura.

Zbog kompleksne reljefne strukture područja u kojem se nalazi Zagreb moramo upozoriti na potrebu upoznavanja raspodjele SPDAT i SADAT između stanica koje se nalaze na najvažnijem morfološkom profilu, od Botinca do Sljemena. Na grafikon (sl. 7) su ucrtane samo

Tab. 2. Godišnji prosjeci srednje periodičke dnevne amplitude (SPDAT) i srednje aperiodičke dnevne amplitude temperature (SADAT) iz 6-godišnjeg razdoblja 1954.—1959. godine (17; 18; 19; 20)

Tab. 2. Annual means of daily periodic (SPDAT) and aperiodic (SADAT) ranges of temperatures

Stanica	Godina	Stanica	Godina
Grič (157)		Podsused (122)	
SPDAT	5,3 (5,87)	SPDAT	6,6
SADAT	7,7 (9,4?)	SADAT	9,7
»Kolodvor« (116)		Rim (220)	
SPDAT	6,2	SPDAT	4,5
SADAT	9,7	SADAT	8,1
Botinec (116)		Sljeme (999)	
SPDAT	6,4	SPDAT	3,0
SADAT	11,0	SADAT	6,5
Maksimir (121)			
SPDAT	6,4		
SADAT	10,9		



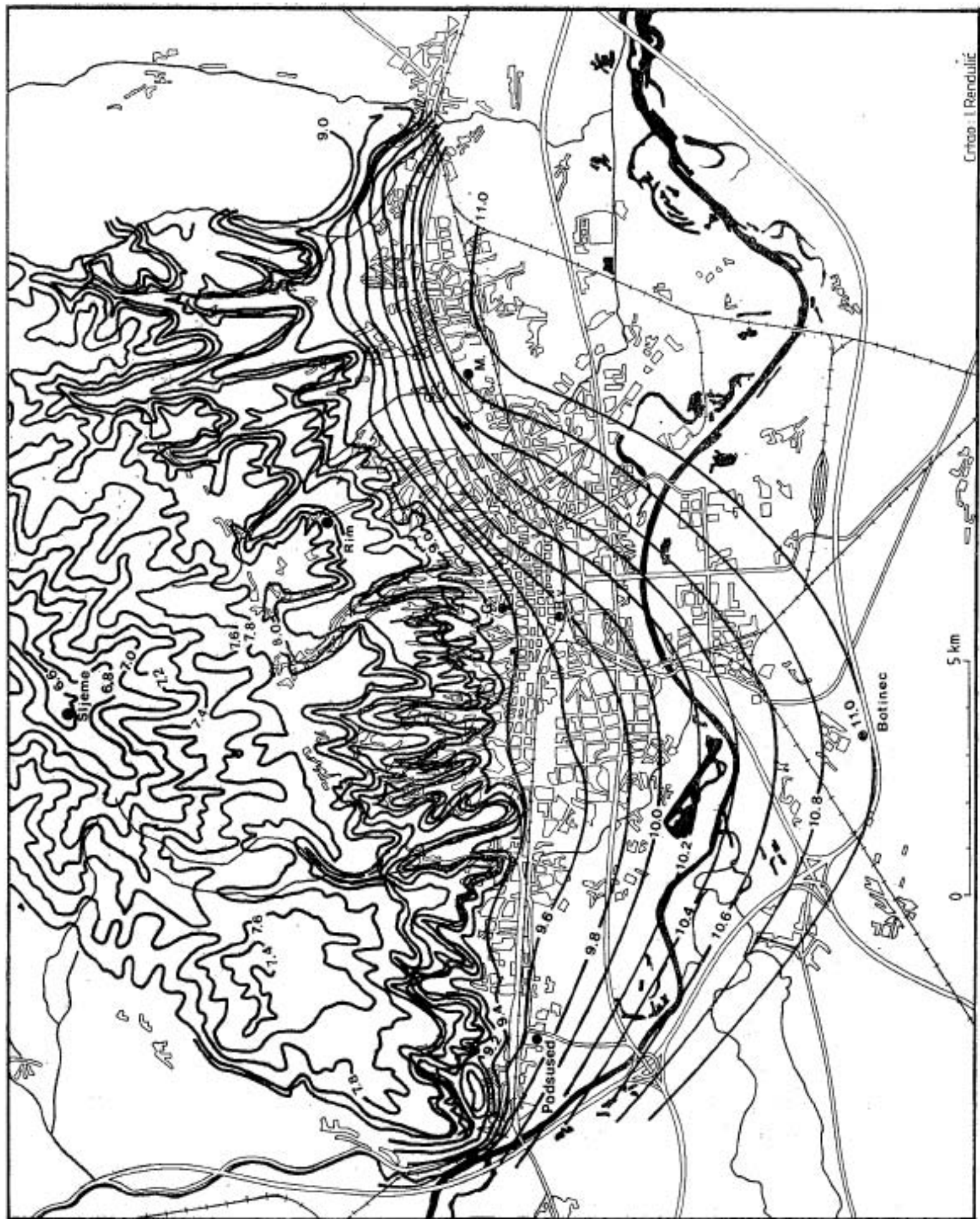
Sl. 7. Srednje godišnje aperiodičke dnevne amplitude temperature na profilu Botinec — Sljeme iz 6-godišnjeg razdoblja 1954.—1959. godine. Iscrtkano je prikazana raspodjela temperature ako se uzme korigirana temperatura na Griču.

Fig. 7. Mean annual aperiodic daily range of air temperature between Botinec and Sljeme; the dotted line represents the course of air temperature due to corrected temperature in Grič Observatory

godišnje vrijednosti za razdoblje 1953—1959. i 1963. god. prema tab. 2. SPDAT i SADAT izračunate prema izmjerenim podacima prikazane su punom linijom. No, čini se da je za Grič to neprihvatljivo, sudeći prije svega po vrijednosti SADAT. Naime, SADAT prvo pada od Botinca do »Kolodvora« zbog razlike u termičkim uvjetima periferije i centra grada, što je već objašnjeno uz sl. 2. Nakon toga, od »Kolodvora« do Griča ucrtan je toliko nagli pad SADAT da proizlazi kako je SADAT manja na Griču nego u Rimu, iako se Rim (220) nalazi na većoj nadmorskoj visini od Griča (157 m). Na sl. 2 vidjeli smo da se i SPDAT i SADAT smanjuju s porastom nadmorske visine. Zbog toga ne možemo prihvatiti da je SADAT na Griču bila 7,7°. Isprekidanom linijom ucrtan je rekonstruirani dio presjeka. U točki gdje produženi profil amplitude siječe Grič, dobivena je SADAT 9,4°. Neadekvatna SADAT na Griču potvrđuje već prije (4; 5) iznijetu pretpostavku da (mikro) lokacija termometra nije dobra, što se može zaključiti iz službenog opisa njegova smještaja (17). Termometar na Griču nalazi se neuobičajeno visoko; prema izvoru (17) 6,2 m iznad tla, a prema izvoru (18) 5,5 m iznad tla. Osim toga termometar je u »dvostrukoj sjeni«, tj. u sjeni zgrade i u »mraku« vlastite kućice. Osim navedenog, treba uzeti u račun i utjecaj susjednog parka, pa bi se moglo zaključiti da su srednje maksimalne temperature na Griču sistematski niže, a srednje minimalne sistematski više. Time bismo objasnili nerealan pad SADAT na Griču. Ako prihvatimo sve te činjenice, onda nema razloga da ne posumnjamo i u ispravnost vrijednosti SPDAT na Griču, iako se

ona uklapa u opće smanjenje amplitude od Botinca do Sljemena. Na isti način kao i kod SADAT rekonstruiran je dio grafa između »Kolodvora« i Rima, pa je dobivena SPDAT na Griču 5,8°. Takav je grafikon sinteza onoga što smo utvrdili na sl. 2 i sl. 3. Na svim je stanicama SADAT veća od SPDAT. Botinec i »Kolodvor« se doduše nalaze na istoj nadmorskoj visini (116 m), ali SADAT i SPDAT između njih padaju zbog odnosa centar — periferija. Dalje smanjenje amplitude posljedica je porasta nadmorske visine, a u slučaju Griča uz to se zadržava i utjecaj grada.

Sve što je dosad rečeno o raspodjeli SADAT između pojedinih stanica u Zagrebu, možemo unijeti i na geografsku kartu. Tako ćemo dobiti geografsku raspodjelu godišnje SADAT (sl. 8). Raspodjele mjesečnih SADAT nisu prikazane jer najviše i najniže mjesečne SADAT za različite stanice padaju u različite mjesec. U nizinskom dijelu Zagreba izoamplitude su ucrtane pomoću izračunatog horizontalnog gradijenta između pojedinih stanica. Za prikaz izoamplituda na padini Medvednice morali smo izračunati nadmorsku visinu pojedinih izoamplituda. Prvo je izračunat vertikalni gradijent između Rima (220 m) i Sljemena (999 m). Razlika u nadmorskoj visini iznosi 779 m. Godišnja SADAT u Rimu bila je 8,1°, a na Sljemenu 6,5°, što daje razliku od 1,6°. Iz toga proizlazi da se SADAT promijeni za 1,0° na svakih 487 m, ili za 0,2° za približno svakih 100 m. Izračunato je da se izoamplituda od 8,0° nalazi na približno 260 m, izoamplituda od 7,8° na 360 m, izoamplituda od 7,6° na 460 m, izoamplituda od 7,4° na 560 m, izoamplituda od 7,2° na 660 m, izoamplitu-



da od 7,0° na 750 m, izoamplituda od 6,8° na 850 m, izoamplituda od 6,6° na 950 m. Vertikalni gradijent od 0,2° na 100 m primijenjen je i za pružanje nekoliko izoamplituda koje se nalaze u prigorskom pojasu južno od Rima.

Pogledom na kartu prema gustoći izoamplituda odmah uočavamo dva područja vrlo nagle promjene SADAT. Prvo od njih je strmo zagrebačko prigorje, a drugo je istočna periferija grada. Na zagrebačkom prigorju SADAT vrlo naglo pada. Na istočnoj periferiji, doduše, u smjeru W—E gotovo da i nema promjena, ali zato amplituda naglo pada u smjeru S—N, i to već u nizinskom dijelu. Tako se ovdje spomenuta dva područja naglog pada SADAT spajaju. Nasuprot tome, južna i naročito zapadna periferija karakteristične su po vrlo maloj promjeni SADAT. Sjevernije od prigorja izoamplitude su rjeđe. Pružanje izoamplituda u prigorju i na jugoistočnoj padini Medvednice diktira reljef, a u nizinskom dijelu Zagreba izoamplitude se povijaju prema jugu u smjeru dominantnog vjetra. Općenito, na cijelom promatranom području SADAT se smanjuje od juga prema sjeveru, što najbolje reprezentira profil Botinac—Sljeme. Intenzitet tog smanjenja najjači je u prigorskoj zoni, a sjeverno i južno od nje je slabiji. Sudeći po gustoći izoamplituda, mogli bismo zaključiti da je u Zagre-

bu utjecaj nadmorske visine na smanjenje SADAT jači od utjecaja »toplinskog otoka« u gradu.

Zaključak

1. U godišnjem hodu srednja aperiodička dnevna amplituda temperature u svim je mjesecima veća od srednje periodičke dnevne amplitude temperature. Godišnji im se hodovi razlikuju utoliko što srednja periodička dnevna amplituda temperature pokazuje pad vrijednosti u lipnju, a kod srednje aperiodičke dnevne amplitude temperature to nije toliko izraženo.

2. Srednja periodička dnevna amplituda temperature i srednja aperiodička dnevna amplituda temperature veće su na gradskoj periferiji nego u centru grada. Kod srednje periodičke dnevne amplitude temperature je razlika centar — periferija ujednačena u toku godine, a kod srednje aperiodičke dnevne amplitude temperature je ta razlika najmanja ujesen. Horizontalni gradijent srednje aperiodičke dnevne amplitude temperature najmanji je na zapadnoj periferiji Zagreba.

3. S porastom nadmorske visine srednja periodička dnevna amplituda temperature i srednja aperiodička dnevna amplituda temperature sve su manje zbog utjecaja inverzije temperature i smanjenja amplitude temperature općenito.

Sl. 8. Geografska raspodjela središnje godišnje aperiodičke dnevne amplitude temperature u području Zagreba; srednjaci iz 6-godišnjeg razdoblja 1954.—1959. godine

Fig. 8. Geographical distribution of mean annual aperiodic daily range of air temperature in Zagreb area

4. »Izravname« vrijednosti temperatura iz niza 1953—1983. god. pokazuju da je u godišnjem prosjeku srednja aperiodička dnevna amplituda temperature u Podsusedu pala za $0,3^\circ$, a na Griču za $0,6^\circ$. U prosjeku za studeni srednja je aperiodička dnevna amplituda temperature u Podsusedu porasla za $2,1^\circ$, a na Griču samo za $0,8^\circ$. Srpanjska srednja aperiodička dnevna amplituda temperature u Podsusedu porasla je za $0,2^\circ$, a na Griču pala za $0,4^\circ$.

5. Profil srednje aperiodičke dnevne amplitude temperature Botinec

— Sljeme i geografska raspodjela srednje aperiodičke dnevne amplitude temperature pokazuje da se istodobno radi o utjecaju grada i razlike u nadmorskoj visini. Najveće amplitude ima pojas prigorja Medvednice i istočna periferija grada. Južna i naročito zapadna periferija karakteristične su po malom horizontalnom gradijentu srednje aperiodičke dnevne amplitude temperature.

6. Utjecaj nadmorske visine na smanjenje srednje aperiodičke dnevne amplitude temperature u Zagrebu manji je od utjecaja »toplinskog otoka«.

Literatura

1. Kratzer, P. A. (1956): Das Stadtklima. Braunschweig.
2. Landsberg, A. E. (1958): Physical Climatology. Du Bois.
3. Šegota, T. (1986): Srednja temperatura zraka u Zagrebu. Geografski glasnik 48, 13—25. Zagreb.
4. Šegota, T. (1987): Maksimalne temperature zraka u Zagrebu. Radovi 22, 5—18. Zagreb.
5. Šegota, T. (1988): Minimalne temperature zraka u Zagrebu. Geografski glasnik 50, 7—21. Zagreb.
6. Šegota, T. (1989): Temperature zraka u Zagrebu u 21 sat. Radovi 24, 1—18. Zagreb.
7. Dove, H. W. (1856): Über die täglichen Veränderungen der Temperatur der Atmosphäre. Abh. d. Berliner Akad., Physik. Kl. 1846 u. 1856.
8. Hann, J. (1908): Zusammenstellung von tropischen Stationen mit Daten der periodischen und aperiodischen Temperaturschwankung. Met. Mitt. 54, Lit.-Ber. 11/12.
9. Supan, A. (1903): Grundzüge der physischen Erdkunde. II Aufl., Leipzig. S. 92.
10. WMO (1966): International Meteorological Vocabulary WMO, No. 182. TP. 91. Geneva, XVI + 276.
11. Hann, J. (1932): Handbuch der Klimatologie. I B., IV. izd. J. Engelhorn's Nachf. in Stuttgart, XV + 444.
12. Furlan, D. (1959): Vpliv reliefa na temperaturno rasporeditev. Letno poročilo meteorološke službe Slovenije za leto 1959, 1—24. Ljubljana.
13. Penzar, B. (1977): Temperatura zraka. Prilog poznavanju klime grada Zagreba, I. Sveučilište u Zagrebu, PMF, Geofizički zavod, Radovi, III. serija, br. 18, 35—57. Zagreb.

14. Paffen, K. (1966): Die täglichen Temperaturschwankungen als geographisches Klimacharakteristikum, *Erdkunde* 20 (4), 252—265. Bonn.
15. Conrad, V. i L. W. Pollak (1950): *Methods in Climatology*, II. izd. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, XXVII + 459.
16. Kirigin, B., N. Šinik, S. Bertović, (1971): Klimatski podaci SR Hrvatske, Razdoblje 1948—1960. RHMZ SRH, Grada za klimu Hrvatske, ser. II, br. 5. Zagreb.
17. Sveučilište u Zagrebu, PMF, Geofizički zavod, Opservatorij Grič (1970): Klimatski podaci Opservatorija Zagreb, Grič za razdoblje 1862—1967. Zagreb.
18. Sveučilište u Zagrebu, PMF, Geofizički zavod, Opservatorij Zagreb, Grič. Meteorološki izvještaj (za odgovarajuće godine). Zagreb.
19. Arhiva Republičkog hidrometeorološkog zavoda SRH. Zagreb, Grič 3.
20. HMS SFRJ, Savezni HMZ: Meteorološki godišnjaci (za odgovarajuće godine), Beograd.

Summary

DAILY AMPLITUDES OF AIR TEMPERATURE IN ZAGREB, CROATIA

by

Tomislav Šegota and Anita Filipčić

1. In all months annual aperiodic mean daily range of air temperature is greater than annual periodic mean daily range of air temperature. However, very characteristic is the pronounced lowering of periodic mean daily range in June, contrary to very slight lowering of aperiodic mean daily range.

2. Both periodic and aperiodic mean daily ranges are greater on the periphery than in the centre of Zagreb. In the case of periodic mean daily range the differences between the centre and the periphery in all months are of the same order of magnitude. Contrary, in the case of aperiodic mean daily range the difference between the centre and the periphery is pronouncedly smaller in the autumn. The smallest horizontal gradient of aperiodic mean daily range is in the western periphery of Zagreb.

3. Both periodic and aperiodic mean daily ranges of air temperature are smaller in the higher than in the lower stations due to the temperature inversion, as well as to the general lowering of temperature range at higher altitudes.

4. Comparing the trend lines of mean annual temperature range from a period 1953—1983 one reveals that annual aperiodic mean daily amplitu-

de in Podsused (the periphery) are 0.3° , and in Grič (the centre) 0.6° smaller now than at the beginning of the period. The smallest aperiodic mean daily amplitudes are in November, but the trend is reversible. In Podsused (the periphery) the aperiodic mean daily amplitude is 2.1° greater, and in Grič only 0.8° greater than at the beginning of analysed period. The greatest aperiodic mean daily amplitudes have been in July. The trend is upward; the mean July aperiodic daily range of air temperature in Podsused is 0.2° greater, and 0.4° greater in Grič than at the beginning of the analysed period.

5. The aperiodic mean daily range of air temperature profile Botinec — Sljeme, as well as the geographical distribution in the area of Zagreb as a whole, reveal the influence of both the city and the height of the stations. The greatest amplitudes are in the foot-hills of Medvednica Mountain and on the eastern periphery of Zagreb. Contrary, the southern and especially the western suburbs have a small horizontal gradient of aperiodic mean daily amplitudes of air temperature.

6. The influence of the height on the aperiodic mean daily amplitude is smaller than the influence of the «heat island» above the city.

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

Recenzenti:

Prof. dr. Josip Riđanović
Prof. dr. Andrija Bognar