

## SREDNJA TEMPERATURA ZRAKA U ZAGREBU\*

TOMISLAV ŠEGOTA\*\*

### Uvod

Grad je najkompleksnije čovjekovo djelo. Jedna od bitnih karakteristika modernog doba je silna urbanizacija. Mnogi su se gradovi toliko proširili da se nužno nametnulo pitanje: da li grad utječe na »svoju« klimu? Danas je općenito prihvaćena činjenica da grad modificira klimu u svom području (1; 2). Međutim, znatne teškoće nastupaju prilikom pokušaja da se kvantitativno odredi veličina tog utjecaja, a još je teže odijeliti, odnosno utvrditi relativnu važnost pojedinih klimatskih faktora u gradu, te koliko na njih utječe sam grad. Odmah se može ukazati na glavni problem: koliki je udio globalnih ili sjevernohemisferskih fluktuacija klime (neovisno o postojanju gradova), a koji dio treba pripisati modifikatorskom utjecaju samog grada. Ali, to su samo dva faktora, a ima ih više. Promjene intenziteta kratkovalne i duhvalne radijacija zbog aeropolucije, zatim promjena albeda podloge u velikim urbanim aglomeracijama, izmjene termičkih svojstava podloge izgradnjom zgrada, ulica i svih drugih objekata na mjestu nekadašnjih polja, šuma i livada, manji utrošak topline za evaporaciju vode, brzo uklanjanje snijega, kao i oslobađanje velike količine topline iz industrijskih i energetskih postrojenja, kućnih ložišta, golemog broja vozila itd., kao i utjecaja grada na brzinu vjetrova zbog povećanja trenja izgradnjom velikog broja blokova zgrada, pa i nebodera (visina, boja i orijentacija zgrada utječe i na sve druge meteorološke elemente), sve to u stanovitoj mjeri utječe na temperaturu zraka u velikim gradovima. Budući da se radi o sve važnijem segmentu klimatologije sve se češće susrećemo s terminom urbana klima, klima grada.

U ovom radu promotrit ćemo samo jedan klimatski element – temperaturu zraka, i to isključivo njene srednje vrijednosti. Zagreb se toliko prostorno proširio da je postao grad i u dolini Save i na povišenom rebrastom reljefu u predgorju Medvednice. Svaki od ovih elemenata reljefa modificira klimu. Međutim, iako se Zagreb nije mogao izgraditi na Medvednici, kad se govori o klimi (pa tako i o temperaturi) ne može se mimoći modifikatorski klimatski utjecaj Medvednice. Ukratko, na temperaturi u Zagrebu odražava se utjecaj planinskih padina, potočnih dolina, grebena između njih, šuma i niske doline Save u kojoj postoje optimalni uvjeti za postanak inverzije temperature. Tome svakako treba dodati i fenski efekt koji utječe na zagrijavanje zraka koji se »prebacuje« preko Medvednice, napose za vrijeme puhanja vjetrova iz sjevernog kvadranta (3).

O temperaturi u Zagrebu mnogo je pisano, ali ovom prilikom nas neće toliko interesirati fluktuacije klime do kojih se dolazi analizom sekularnog niza temperature u Zagreb-Griču. O njima ćemo reći nešto samo ukoliko se može pretpostaviti da one barem djelomično eventualno ukazuju na modifikatorski utjecaj grada. Težište će biti na prikazu geografske raspodjele temperature na zagrebačkom području s ciljem da se pokuša nastaviti već započeti rad (4; 5; 6).

### Podaci

Na teritoriji Zagreba postoji samo jedna meteorološka stanica, opservatorij Zagreb-Grič, s dugim, homogenim nizom temperaturnih podataka. Na području Zagreba postoji još nekoliko meteoroloških stanica, ali je za njih značajno da ne raspolažu dugim nizovima tem-

\* Recenzent prof. dr. Josip Ridanović

\*\* 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«), a u programu SIZ-a za znanstveni rad SRH, u Geografskom odjelu PMF-a Sveučilišta u Zagrebu. Autor je iskreno zahvalan Republičkom hidro-meteorološkom zavodu SRH, Grič 3, koji mu je omogućio korištenje arhivskih podataka.

perature. Vrlo je često dolazilo do prekida rada, do premještanja stanica ili instrumenata, do prekida motrenja u pojedinim godinama, mjesecima ili danima. Ni do čega nebi dovela diskusija da li su stanice Grič (nadmorska visina 157 m), Podsused (122 m), Pleso (107 m), Botinec (116 m), Maksimir (116 m), Rim (220 m), Puntijarka (988 m) idealno ili krivo smještene (postoje opravdani razlozi zašto nisu korišteni podaci stanice »Botanička«), da li termometri »rade« u identičnim uvjetima, može li se uspoređivati stručnost, odnosno pouzdanost motritelja u svim stanicama. Dakle, temperature su preuzete iz publiciranih i nepubliciranih izvora i njihova pouzdanost nije dovedena u pitanje, bez obzira na činjenicu da se često radi o razlikama temperature od samo jedne ili dvije desetinke stupnja.

Navedeni prekidi rada stanica uzrok su da se usprkos relativnom obilju podataka mogao koristiti samo manji dio, odnosno najčešće su se mogli koristiti kratki nizovi. Tome treba dodati i činjenicu da je – s obzirom na reljefnu raznolikost obrađenog prostora – broj stanica premalen. Da se svi ovi nedostaci svedu na najmanju moguću mjeru, moralo se – metodom diferencije – pristupiti interpolaciji temperature za neke godine, ili samo za siječanj ili za srpanj, jer se jedino tako moglo koristiti sve stanice u jednom relativno duljem nizu godina. Tako je interpolacijom izračunata srednja godišnja temperatura za 1949. godinu u Botincu (prema Griču), u Rimu za 1978–1983. god. (prema Griču), za travanj, srpanj i cijelu 1969. god. u Botincu (prema Plesu), za 1969–1972. god. za Puntijarku (po Stubičkoj Gori).

### Metoda rada

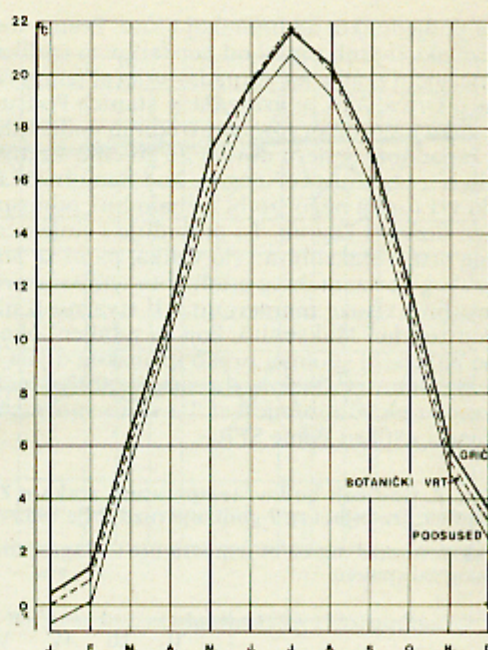
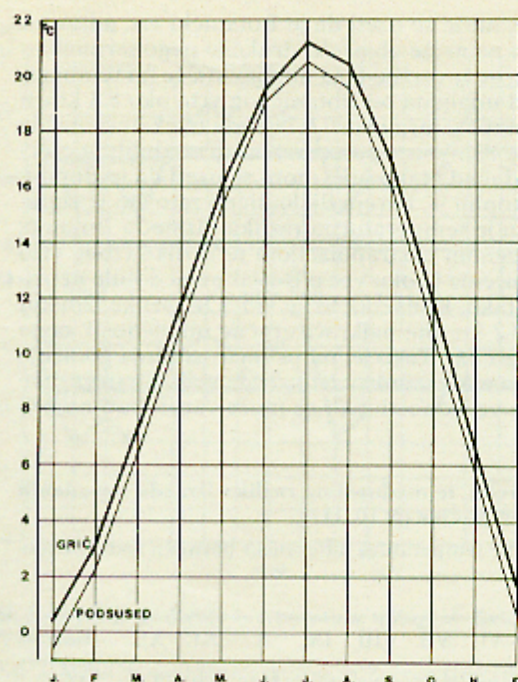
Geografska raspodjela temperature u nekom prostoru prikazuje se poznatom metodom izoterma. Međutim, zbog nedostatka stanica i živog reljefa moralo se prići interpolaciji mnogih izoterma, odnosno njihovih dijelova. Prema V. Conradu & L. W. Pollaku (7, 265) »In climatology, linear interpolation is generally sufficient . . .«, odnosno » . . . it will suffice to carry out interpolations, even nonlinear ones, by visual estimate.« Međutim, nisam učinio tako. U ravničarskom dijelu Zagreba upotrijebio sam tehniku linearne interpolacije. Isto tako je učinjeno u prigradskom dijelu, kao i na užoj teritoriji grada, uzimajući ih kao posebne cjeline. Posebno sam izdvojio (južnu) padinu Medvednice, izračunao sam vertikalni gradijent temperature i pomoću njega sam pokušao izračunati nadmorsku visinu nekih izoterma. Budući da izotermne plohe srednjih temperatura u atmosferi na nešto većoj visini u sloju iznad Zagreba vjerojatno ne mijenjaju visinu naglo, u nekoliko sam primjera »poklopio« izoterme sa izohipsama. »Otherwise, the curves would cross crests and abysses, valleys and ridges, regardless of the variation of temperature.« (7, 274). Dakako, nije potrebno savršeno slijediti izohipse, nego je dovoljno generalizirati njihovo pružanje.

Usprkos rijetkoj mreži stanica pokazalo se da se ne smije koristiti metoda linearne interpolacije između dviju stanica od kojih je jedna u gradu, a druga je izvan njega. U tom slučaju, usporedbom Griča i (starog) Botaničkog vrta, pokazalo se da je horizontalni gradijent temperature u gusto izgrađenom dijelu Zagreba drukčiji nego na periferiji ili izvan grada. Konačno, treba se prisjetiti poznate činjenice da konstrukcija izoterma nije uvijek jednoznačna, jednostavna, tj. rijetki, jako raspršeni podaci o temperaturi omogućuju crtanje i dva različita smjera izoterma. Da bi se utvrdilo koje je pružanje vjerojatno ispravnije korišteni su podaci za stanice izvan promatranog područja (Bistrac, između Samobora i Bregane, Novi Dvori kod Zaprešića i Božjakovina).

### Rezultati

Iz vrlo kompleksnog međusobnog utjecaja grada i klimatskih elemenata proizlazi već općenito prihvaćeni godišnji hod temperature u centru grada i na periferiji: centar grada je sistematski, u svim mjesecima, topliji od okolice. Ta je razlika najveća u ljetnim i zimskim mjesecima. Tako mora biti i u Zagrebu. (Tab. 1; sl. 1. Na grafikonu nije ucrtan graf temperature za Maksimir, jer to ne dopušta mjerilo, odnosno veličina slike, ali se konstatirana zakonomjernost lako daje uočiti iz numeričkih podataka u tab. 1.) U svim mjesecima, napose zimi i ljeti, Grič je izrazito topliji i od Podsuseda i od Maksimira. Prema tome, Grič je najtopliji, a na istočnoj i zapadnoj periferiji temperatura je niža s tim da je Maksimir hladniji od Podsuseda. Već se sada može pretpostaviti da Grič, odnosno gusto izgrađeni Zagreb, čini topli otok u nešto hladnijoj okolici.

Ovaj problem treba razmotriti još detaljnije, jer treba imati na umu činjenicu da se Grič nalazi iznad savske ravnice, a to ne može ostati bez klimatskih posljedica. Neposredno poslije rata mjerena je temperatura u Botaničkom vrtu (u blizini Glavnog kolodvora), a može se



Sl. 1. Godišnji hod temperature u Zagreb-Griču i Podsusedu; srednjači iz razdoblja 1961–1983. godine

Fig. 1. Mean monthly temperatures in Zagreb-Grič and in Podsused

Sl. 2. Godišnji hod temperature u Zagreb-Griču, Botaničkom vrtu i u Podsusedu; srednjači iz razdoblja 1953–1959. godine (8; 9; 11)

Fig. 2. Mean monthly temperatures in Zagreb-Grič, Botanical Garden, and in Podsused

uzeti da relativno dobro (ne sasvim dobro, jer je to park) reprezentira temperaturni režim u nizinskom dijelu Zagreba. Usporedba sa stanicom Podsused, čija je okolica tada bila slabo izgrađena (tab. 2; sl. 2), čak je i povoljnija nego usporedba s Gričem. Ostaje konstatirana činjenica: Grič je u svim mjesecima topliji od Podsuseda (i Maksimira). Da se utvrde uzroci za usporedbu se navode temperaturni podaci stanice Botanički vrt. I Botanički vrt je u svim mjesecima topliji od stanice Podsused, osobito u ljetnim i zimskim mjesecima, iako se nalazi

Tab. 1. Srednje mjesečne i godišnje temperature zraka u Zagreb-Griču, Podsusedu i Maksimiru, te razlika između Griča i periferije; srednjači iz razdoblja 1961–1983. godine (8; 9; 10; 11)

Tab. 1. Mean annual and monthly temperatures in Zagreb-Grič, Podsused, and in Maksimir, and the temperature difference between Grič Meteorological Observatory and the peripheral stations

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Godina
Podsused	-0.6	2.3	6.5	11.1	15.5	19.1	20.5	19.5	16.0	10.8	5.9	0.7	10.6
Grič	0.4	3.1	7.3	11.8	16.2	19.6	21.2	20.4	16.9	11.8	6.7	1.7	11.4
Maksimir	-0.8	2.0	6.0	10.5	15.1	18.7	20.0	19.1	15.7	10.4	5.5	0.6	10.2
Diferencija Grič-Podsused	1.0	0.8	0.8	0.7	0.7	0.5	0.7	0.9	0.9	1.0	0.8	1.0	0.8
Diferencija Grič-Maksimir	1.2	1.1	1.3	1.3	1.1	0.9	1.2	1.3	1.2	1.4	1.2	1.1	1.4

na podjednakoj nadmorskoj visini. Prema tome, može se uzeti da je Botanički vrt, odnosno nizinski Zagreb topliji od periferije: ta razlika se ne može objasniti drukčije nego termičkim utjecajem grada, jer »otpada« utjecaj temperaturne inverzije koja mnogo utječe na temperaturu Griča. Ako se uzme da je stanica Podsused udaljena od Botaničkog vrta oko 8.8 km, a razlika na primjer, između srednjih godišnjih temperatura iznosi 0.7° onda bi ekstrapolacija u zapadnom smjeru dovela do goleme srednje godišnje temperature, i svih srednjih mjesečnih temperatura već negdje kod Samobora. Budući da tako nije, mora se uzeti da je Botanički vrt topliji nego što bi trebalo biti, odnosno topliji je, barem djelomično zato što je izgrađen nizinski Zagreb. To potvrđuje i činjenica da je temperaturna razlika i između Botaničkog vrta i Maksimira vrlo velika, pa bi se analognom ekstrapolacijom te razlike (zbog vrlo velikog horizontalnog gradijenta temperature) prema istoku već u Božjakovini dobile neprihvatljivo visoke temperature. U stvarnosti nije tako. Konačno, to se vidi i iz razlike između Podsuseda i Maksimira, koji su udaljeni oko 14.2 km (ne najkraće zračne udaljenosti, nego po najkraćoj spojnici preko nizinskog dijela Zagreba). Tako je, na primjer, srednja godišnja temperatura u Podsusedu samo za 0.1° viša nego u Maksimiru. Istog reda veličine su razlike između pojedinih mjeseci. Da su to »normalne« vrijednosti lako se može verificirati na primjer u »Atlasu klime SFRJ«.

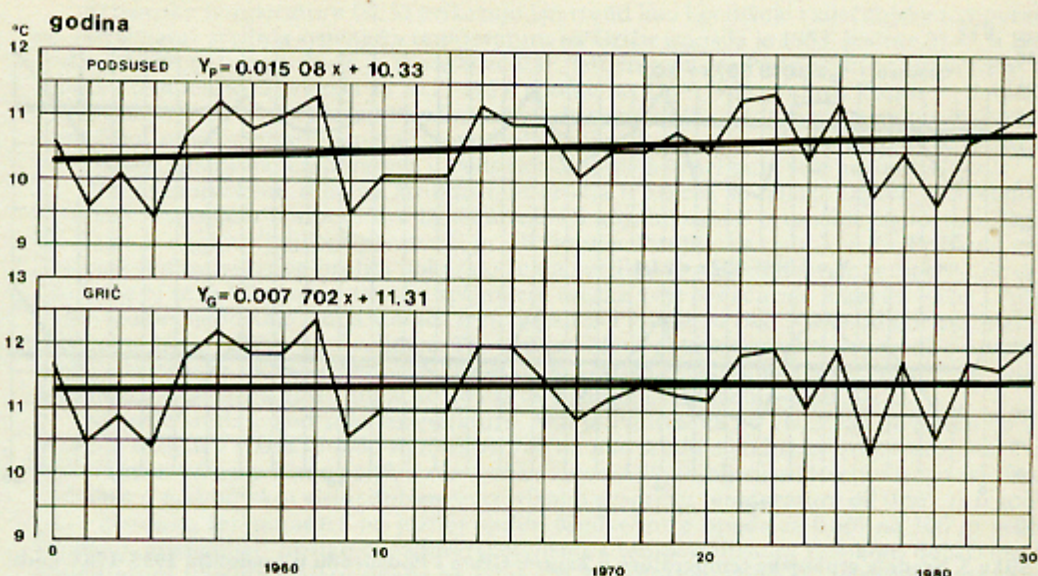
**Tab. 2. Godišnji hodovi temperature zraka u Zagrebu, te međusobna razlika između navedenih stanica; srednjaci za 7-godišnje razdoblje 1953–1959. godine (8; 10; 11)**

Tab. 2. Annual march of temperature in Zagreb and the temperature differences between some meteorological stations

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God.
Grič	0.4	1.4	6.6	11.1	16.2	19.6	21.7	20.4	17.4	11.9	5.9	3.6	11.3
Botanički vrt	0.0	0.9	6.1	10.7	16.0	19.7	21.8	20.2	17.0	11.4	5.6	3.2	11.0
Podsused	-0.7	0.1	5.5	10.4	15.4	19.0	20.8	19.3	15.9	10.7	5.2	2.6	10.3
Maksimira	-0.8	-0.1	5.3	10.1	15.2	18.9	20.6	19.3	15.9	10.5	4.8	2.5	10.2
Diferencija													
Grič-Podsused	1.1	1.3	1.1	0.7	0.8	0.6	0.9	1.1	1.5	1.2	0.7	1.0	1.0
Diferencija													
Botanič. vrt-Podsused	0.7	0.8	0.6	0.3	0.6	0.7	1.0	0.9	1.1	0.7	0.4	0.6	0.7
Diferencija													
Bot. vrt - Maksimir	0.8	1.0	0.8	0.6	0.8	0.8	1.2	0.9	1.1	0.9	0.8	0.7	0.8
Diferencija													
Podsused-Maksimira	0.1	0.2	0.2	0.3	0.3	0.1	0.2	0.0	0.0	0.2	0.4	0.1	0.1
Diferencija													
Grič-Botanič. vrt	0.4	0.5	0.5	0.4	0.2	-0.1	-0.1	0.2	0.4	0.5	0.3	0.4	0.3

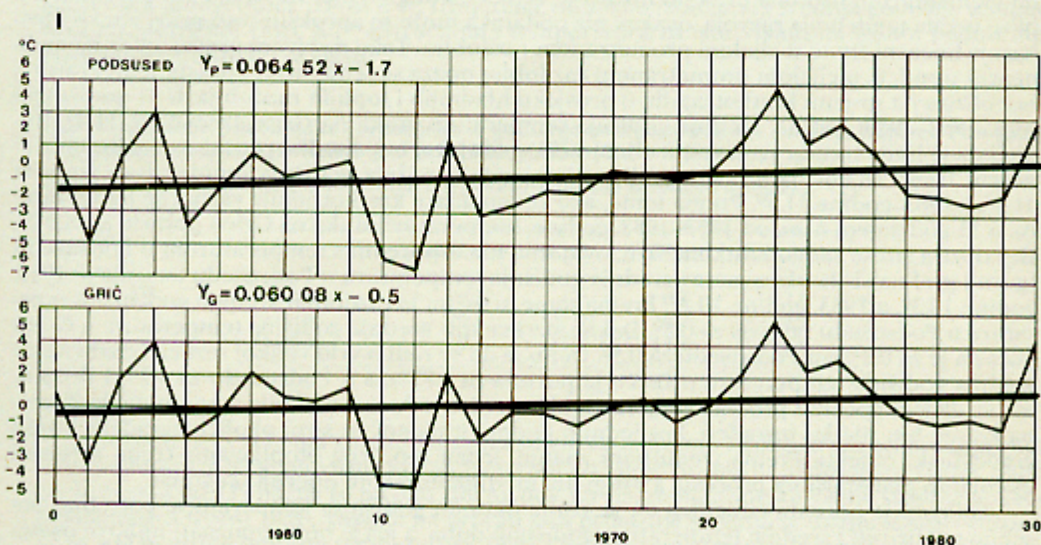
Do važnih zaključaka dolazi se usporedbom Griča (157 m) i Botaničkog vrta (116 m). Grič je u zimskim mjesecima topliji od Botaničkog vrta, odnosno topliji je od nizinskog Zagreba. To je posljedica česte pojave temperaturne inverzije. Uzmimo za primjer siječanj. Srednja siječanjska temperatura u Botaničkom vrtu iznosi 0.0°, a na Griču 0.4° ( $\Delta T = -0.4^\circ$ ). Razlika u nadmorskoj visini ( $\Delta H_s$ ) iznosi 41 m. Dijeljenjem ( $\Delta T / \Delta H_s$ ) se dolazi do vertikalnog gradijenta temperature  $-0.9^\circ$  (na 100 m). Što to znači najbolje ćemo vidjeti kad spomenemo da vertikalni gradijent temperature u siječnju između Griča i Podsuseda iznosi  $-3^\circ$ , a između Griča i Maksimira isto  $-3^\circ$ . Očito je da je to posljedica jake inverzije u tankom sloju zraka iznad nizinskog Zagreba, ali prevelika razlika između Podsuseda i Maksimira, te Griča s jedne strane, i Griča i Botaničkog vrta s druge strane upućuje na zaključak da jedan dio ove razlike treba pripisati termičkom utjecaju nizinskog Zagreba.

Zanimljiv je i odnos temperature između Botaničkog vrta i Griča u ljetnim mjesecima; temperatura ovih dviju stanica se izjednačuje, a u lipnju i srpnju je Botanički vrt čak i malo (za 0.1°) topliji od Griča. Budući da se to ne može reći za Podsused i Maksimir (u odnosu na Grič) može se uzeti da je nizinski Zagreb postao topliji barem djelomično zahvaljujući intenzivnoj izgradnji tog dijela Zagreba. I u ovom mjesecu, srpnju, bit će korisno izračunati vertikalni gradijent temperature. Između Griča i Botaničkog vrta on iznosi  $-0.2^\circ$ , između Griča i Podsuseda 2.6°, a između Griča i Maksimira 2.7°. I ove prevelike razlike barem djelomično potvrđuju prijašnji zaključak.



Sl. 3. Srednje godišnje temperature u Zagreb-Griču i Podsjedu u razdoblju 1953–1983. godine (8; 9; 10; 11)

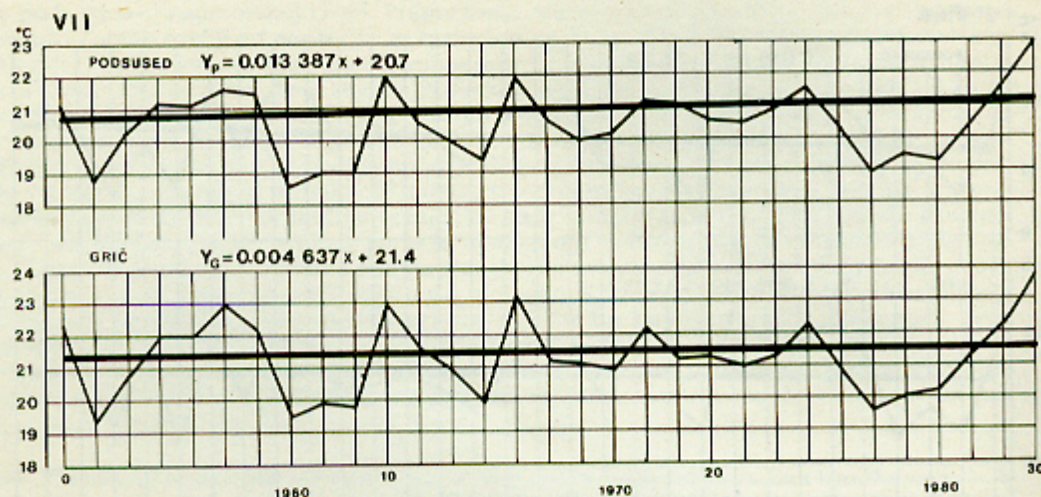
Fig. 3. Mean annual temperatures in Zagreb-Grič (the centre of the town) and in Podsjedu (the periphery)



Sl. 4. Srednje siječanske temperature u Zagreb-Griču i Podsjedu u razdoblju 1953–1983. godine (8; 9; 10; 11)

Fig. 4. Mean January temperatures in Zagreb-Grič and in Podsjedu

Jedini homogeni dugogodišnji niz temperature postoji iz Griča; ni jedna stanica u blizini Zagreba nema tako dugi niz pouzdanih podataka čijom bi se usporedbom moglo nešto zaključiti o sekularnim fluktuacijama klime, ili o eventualnim utjecajima grada na temperaturu. Međutim, pokušat ćemo usporediti samo 31-godišnje nizove 1953–1983. godine iz Griča i



Slika 5. Srednje srpanjske temperature u Zagreb-Griču i Podsusedu u razdoblju 1953–1983. godine (8; 9; 10; 11)

Fig. 5. Mean July temperatures in Zagreb-Grič and in Podsused

Podsuseda. Prvu informaciju o tome mogu dati srednje godišnje temperature (sl. 3). Jedna od elementarnih osobina ovakvih nizova je velika međugodišnja varijacija temperature. Da bi se uočila tendencija razvoja, ovakav niz podataka može se aproksimirati pravcem koji prikazuje linearni trend u cijelom promatranom razdoblju. Tako dobiveni pravac ukazuje na linearni trend, tj. u cijelom promatranom razdoblju opaža se tendencija porasta temperature, bez obzira na smjenu kratkotrajnih, u prosjeku hladnijih i toplijih razdoblja. U 31-godišnjem nizu, 1953–1983. godine, srednja godišnja temperatura zraka na Griču iznosila je  $11.4^{\circ}$ . Budući da je linija trenda svojevrsni »dinamički srednjak«, iz jednadžbe pravca koji označava linearni trend slijedi da je 1953. godine »izravnata« srednja godišnja temperatura iznosila  $11.3^{\circ}$ , a 1983. godine  $11.5^{\circ}$ . Prema tome, ako se zanemare kratkotrajnije varijacije temperature, u 31-godišnjem nizu, od 1953–1983. godine, temperatura zraka na Griču porasla je za  $0.2^{\circ}$ . Bez obzira što se radi o kratkom nizu, ovaj smo niz usporedili s temperaturom u Podsusedu (gornji graf na sl. 3). »Izravnata« srednja godišnja temperatura u Podsusedu iznosila je 1953. godine  $10.3^{\circ}$ , a 1983. godine  $10.8^{\circ}$ . Prema tome, u ovom je razdoblju srednja godišnja temperatura u Podsusedu porasla za  $0.5^{\circ}$ . Dakle, »izravnata« srednja godišnja temperatura u Griču porasla je za  $0.2^{\circ}$ , a u Podsusedu za  $0.5^{\circ}$ . Očito je da se radi o vrlo velikoj razlici. (»Izravnata« srednja godišnja temperatura u Griču je porasla za 1.75%, a u Podsusedu za 4.7%.) Prisjetimo se da je u početku promatranog razdoblja stanica u Podsusedu bila u onom dijelu Zagreba koji je bio rijetko izgrađen. Posljednjih godina u njenoj su široj okolini izgrađeni brojni građevinski objekti. Prema trenutnom znanju, jedan dio ovog otopljanja treba pripisati vjerojatno planetarnom procesu, a drugi dio modifikatorskom utjecaju Zagreba.

Odavno je poznata činjenica da je, osim srednjih godišnjih temperatura, potrebno posebno analizirati i srednje temperature godišnjih doba, a još je bolje upoznati njihove osobine u pojedinim mjesecima. Na sl. 4 prikazan je 31-godišnji niz srednjih siječnjaških temperatura na Griču i u Podsusedu. Kad se zanemare međugodišnje varijacije siječnjaških temperatura, izlazi da je »izravnata« siječnjaška temperatura 1953. godine iznosila  $-0.5^{\circ}$ , a 1983. godine ona je iznosila  $1.3^{\circ}$ . Prema tome, za 31 godinu »izravnata« siječnjaška temperatura u Zagreb-Griču je porasla za  $1.8^{\circ}$ , a to je vrlo mnogo. Slično tome, »izravnata« srednja siječnjaška temperatura u Podsusedu je porasla sa  $-1.7^{\circ}$  na  $0.2^{\circ}$ , tj. porasla je čak za  $1.9^{\circ}$ , tj. za  $0.1^{\circ}$  više nego na Griču. I u ovom slučaju može se pretpostaviti da vjerojatno najveći dio tog porasta srednje siječnjaške temperature otpada na utjecaj planetarnog (ili barem sjevernohemisferskog) trenda općeg porasta zimskih temperatura u tom razdoblju, a drugi dio treba pripisati utjecaju drugih faktora.

Srpanjske temperature (sl. 5) prikazuju isti trend kao i godišnje i siječanjske temperature. »Izravnata« srednja srpanjska temperatura na Griču iznosila je 1953. godine 21.4<sup>o</sup>, a 1983. godine 21.5<sup>o</sup>, tj. temperatura je porasla za 0.1<sup>o</sup>. Istovremeno u Podsusedu je »izravnata« srpanjska temperatura porasla sa 20.7<sup>o</sup> 1953. godine na 21.1<sup>o</sup> 1983. godine. Porast je, dakle, iznosio čak 0.4<sup>o</sup>. I u ovom slučaju može se uzeti da najveći dio »otopljavanja« u promatranom razdoblju treba pripisati planetarnom otopljavanju, ali sigurno nije slučajno da je »izravnata« srednja srpanjska temperatura u Podsusedu porasla četiri puta više nego na Griču!

Zbog kompleksne reljefne strukture područja u kojem se nalazi Zagreb, potrebno je upoznati raspodjelu temperature između stanica koje se nalaze u raznim dijelovima Zagreba. Za to je najpovoljniji temperaturni profil Botinec-Puntijarka (tab. 3, sl. 6). Prilikom ertanja ovog temperaturnog profila pokazalo se da vertikalna raspodjela temperature nije onakva kako bi se dobilo jednostavnim spajanjem točaka koje označavaju lokaciju Rima i Puntijarke; naime, nedostaje jedna stanica između Rima i visine od oko 300 m odakle počinje nagli uspon južne padine Medvednice. Taj sam problem pokušao riješiti usporedbom temperature Puntijarke i Rima pretpostavljajući da je vertikalni raspodjela temperature na padini Medvednice linearna, tj. da linearno opada sa visinom iznad izohipse od 300 m.

Najprije srednje godišnje temperature. Ako je Puntijarka na visni 988 m, a Rim na 220 m, onda razlika u visini između njih iznosi 768 m. Ako srednja godišnja temperatura na Puntijarci iznosi 6.0<sup>o</sup>, a u Rimu 11.1<sup>o</sup>, onda razlika iznosi 5.1<sup>o</sup>. Dijeljenjem temperaturne razlike s razlikom u nadmorskoj visini dobiva se vertikalni gradijent temperature od 0.66<sup>o</sup>, tj. u godišnjem prosjeku temperatura na južnoj padini Medvednice opada za 0.66<sup>o</sup> na 100 m visine. Obratno, dijeljenjem razlike u nadmorskoj visini s temperaturnom razlikom dobivamo da temperatura u istom smjeru opada za 1<sup>o</sup> na 151 m visinske razlike (ili obratno, raste za isti iznos odozgo prema dolje). Na suprotnoj, sjevernoj padini Medvednice, na 620 m je meteorološka stanica Stubička Gora. Srednja godišnja temperatura na toj stanici u istom razdoblju, 1969–1980. godine, iznosila je 8.7<sup>o</sup>. Dakle, izotermna ploha u atmosferi od 8.7<sup>o</sup> »siječe« Medvednicu na oko 620 m. Pomoću spomenutih veličina lako se može izračunati (988–620 = 368 m; 368:151 = 2.4<sup>o</sup>; 6.0+2.4 = 8.4<sup>o</sup>) da srednja godišnja temperatura na 620 m visine na južnoj padini Medvednice iznosi 8.4<sup>o</sup>. Izmjerena, odnosno izračunata srednja godišnja temperatura na Stubičkoj Gori, 8.7<sup>o</sup>, i izračunata temperatura za istu visinu na južnoj padini Medvednice, 8.4<sup>o</sup>, odlično se slažu.

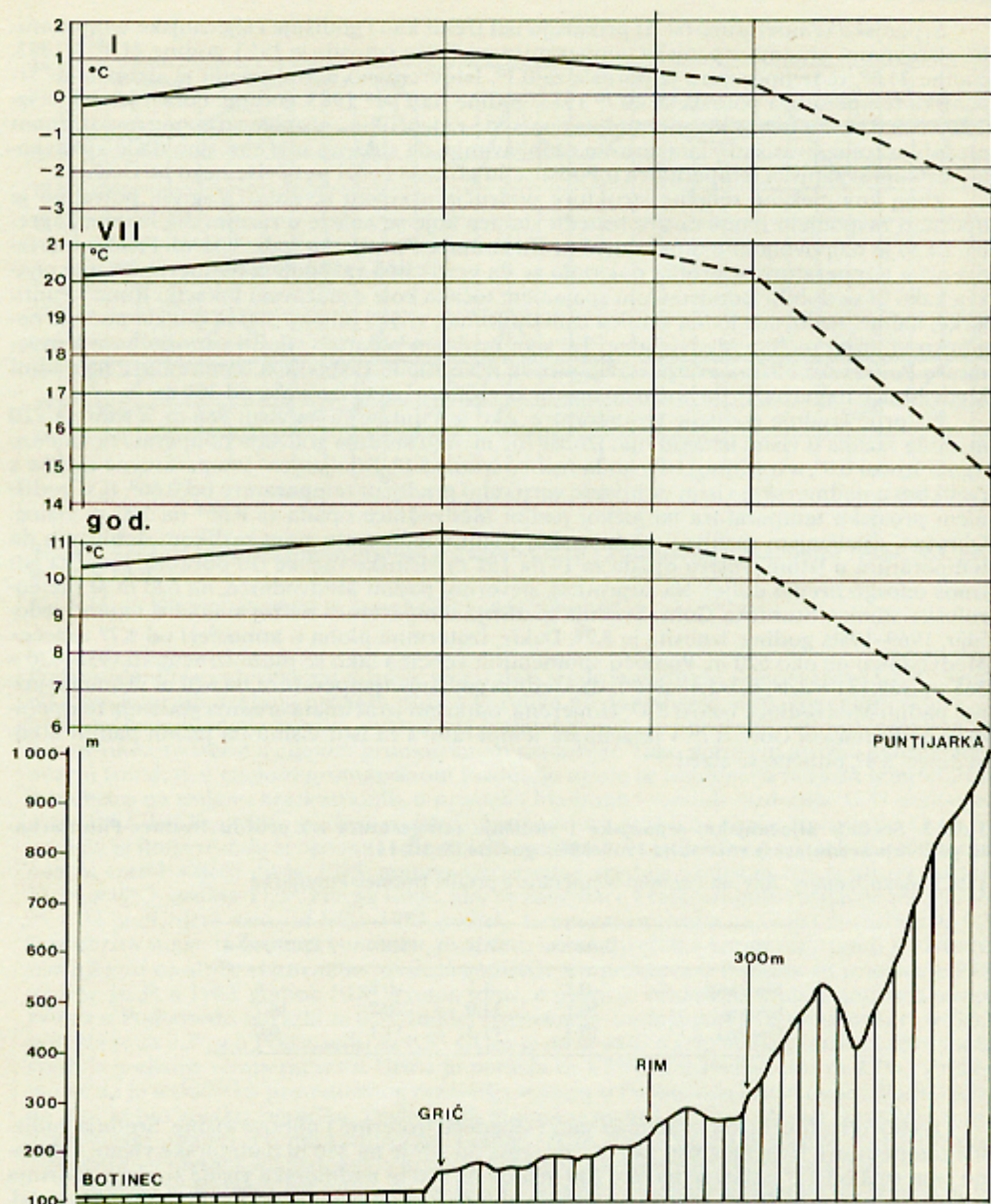
Tab. 3. Srednje siječanjske, srpanjske i godišnje temperature na profilu Botinec-Puntijarka: 12-godišnje srednjaci iz razdoblja 1969–1980. godine (8; 10; 11)

Tab. 3. Mean January, July, and annual temperature profile Botinec-Puntijarka

	Botinec	Grič	Rim	Puntijarka
Siječanj	-0.2	1.1	0.7	-2.6
Srpanj	20.1	21.0	20.7	14.7
Godina	10.3	11.3	11.1	6.0

Pomoću istih veličina izračunao sam i slijedeće izoterme i njihove visine. Srednja godišnja temperatura 9<sup>o</sup> je na visini 540 m, izoterma od 10<sup>o</sup> je na 380 m nadmorske visine, odnosno izoterma od 11<sup>o</sup> nalazi se na oko 200 m, dok na 300 m nadmorske visine srednja godišnja temperatura iznosi 10.6<sup>o</sup>. Tako je na profilu koji prikazuje srednju godišnju temperaturu (sl. 6) za 300 m visine ucrtana temperatura 10.6<sup>o</sup>. (Taj dio temperaturnog profila do kojeg se došlo računski prikazan je iscrtkanom linijom.)

U principu slično učinjeno je i sa srpanjskom temperaturom. Polazeći od visinske razlike između Puntijarke i Rima od 768 m, i temperaturne razlike 6.1<sup>o</sup>, izračunato je da vertikalni gradijent temperature u srpnju iznosi 0.8<sup>o</sup>, odnosno da se temperatura promijeni za 1<sup>o</sup> na 126 m visinske razlike. Srednja srpanjska temperatura na Stubičkoj Gori iznosi 17.8<sup>o</sup>, a računski sam došao do 17.6<sup>o</sup> na istoj visini (620 m) na južnoj padini Medvednice. Slično su dobivene slijedeće veličine: na 600 m visine je temperatura 17.8<sup>o</sup>, na 400 m 19.4<sup>o</sup>, a na 300 m srednja srpanjska temperatura iznosi 20.2<sup>o</sup>. Lom na grafu srpanjske temperature, kao i kod srednje godišnje temperature, posljedica je udaljenosti Rima od izohipse od 300 m.



Sl. 6. Shematski profil reljefa i temperaturni profil Botinec-Puntijarka

Fig. 6. The relief and the temperature profile Botinec-Puntijarka

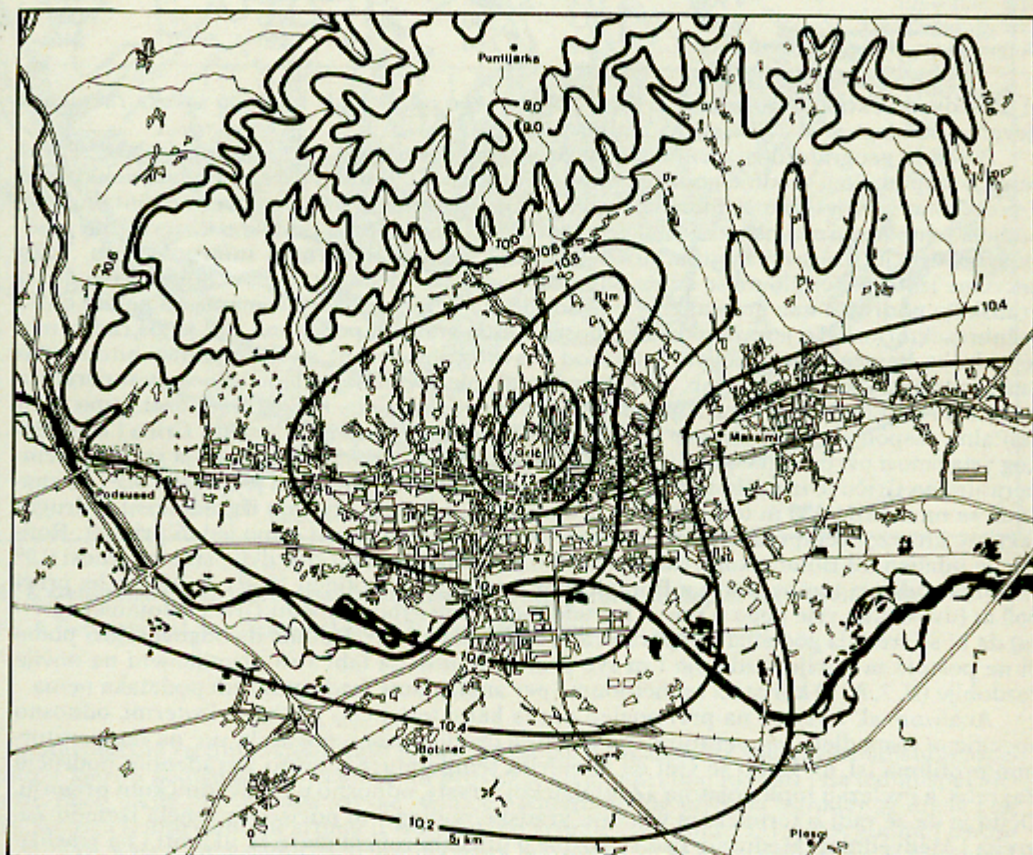
Istim postupkom u siječnju su dobivene slijedeće veličine: vertikalni gradijent temperature između Rima i Puntijarke iznosi  $0.4^{\circ}$ . Na svakih 223 m visinske razlike temperatura se promjeni za  $1^{\circ}$ . Na 616 m temperatura iznosi  $-1.0^{\circ}$ , na 380 m  $0^{\circ}$ , a na 300 m visine temperatura iznosi  $0.4^{\circ}$ . Usporedimo još jednom ove veličine s podacima dobivenim mjerenjima na



Tab. 4. Srednje temperature zraka u sedam stanica u zagrebačkom području; srednjaci za razdoblje 1969–1980. godine (8; 9; 10; 11)

Tab. 4. Mean temperatures in seven meteorological stations in Zagreb area

	Januar	Juli	Godina		Januar	Juli	Godina
Maksimir	0.1	19.8	10.2	Grič	1.1	21.0	11.3
Podsused	0.4	20.4	10.6	Rim	0.7	20.8	11.1
Botinec	-0.2	20.1	10.3	Puntijarka	-2.6	14.7	6.0
Pleso	-0.4	20.1					



Sl. 7. Geografska raspodjela srednje godišnje temperature; srednjaci 1969–1980. godine

Fig. 7. Geographical distribution of mean annual temperatures in Zagreb area

Stubičkoj Gori. Srednja siječanjska temperatura u Stubičkoj Gori u razdoblju 1969–1980. godine iznosila je  $-0.5^{\circ}$ , a računski sam došao do  $-1.0^{\circ}$ . Ova razlika vjerojatno proizlazi iz stanovitog utjecaja sjeverne ekspozicije, ali zapravo ona nije jako velika, pa nije potrebno tražiti posebno objašnjenje. B. Kirigin (12) za kraće razdoblje 1953–1959. godine navodi srednju siječanjsku temperaturu na Stubičkoj Gori  $-1.2^{\circ}$ .

Analizom podataka o temperaturi na sl. 6, za cijelu godinu, kao i za siječanj i srpanj, vrijedi isto pravilo: prigorje Medvednice je najtopliji dio u ovom geografskom prostoru. Ako na ove temperaturne profile gledamo prostorno onda možemo zaključiti da

**Tab. 5. Medusobna udaljenost, temperaturna razlika i horizontalna promjena temperature za svaku desetinku stupnja; srednjaci iz razdoblja 1951–1959. godine (8; 9; 10; 11)**

Tab. 5. The distance between the meteorological stations, temperature difference and the horizontal change of temperature in Zagreb area

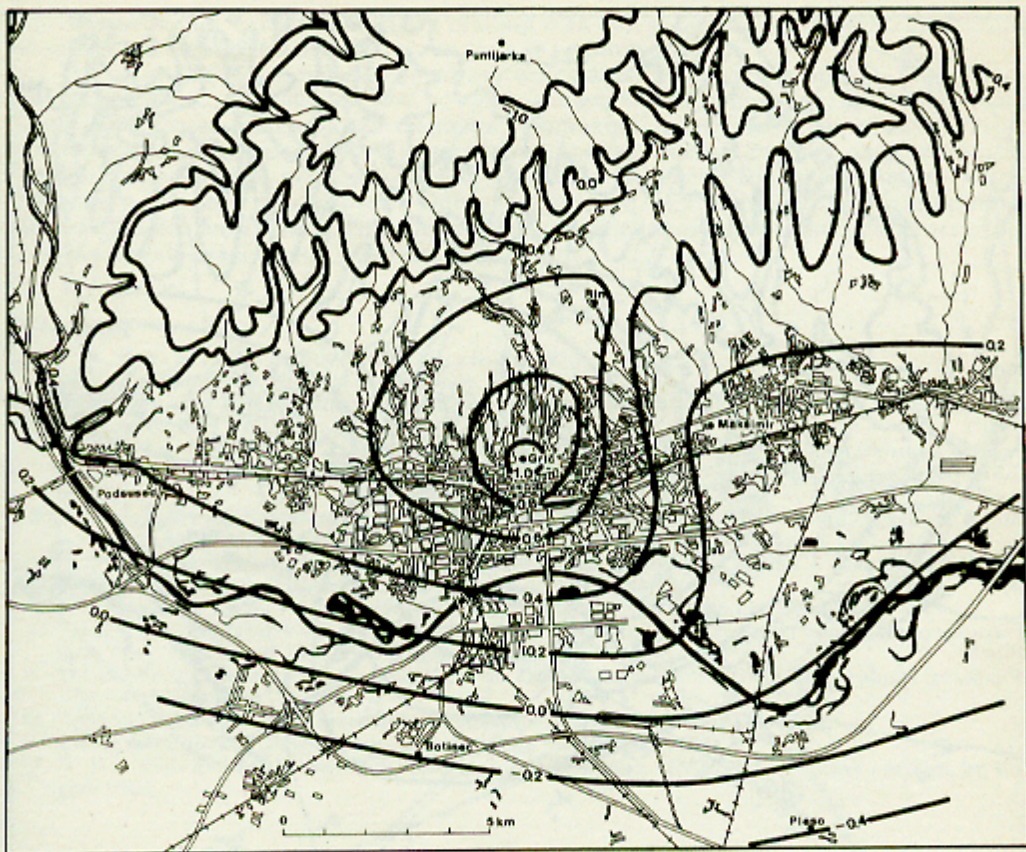
Udaljenost (m)	R a z l i k a						
	g o d i n a		j a n u a r		j u l i		
	°C	m/0.1°C	°C	m/0.1°C	°C	m/0.1°C	
Grič–Maksimir	4 900	1.2	408	1.2	408	1.1	445
Grič–Botanički vrt	1 000	0.3	330	0.3	330	-0.1	1 000
Botanički vrt–Botinec	5 900	0.9	660	1.3	450	0.7	840

se u medvedničkom prigorju nalazi topli pojas. Južno od njega je hladnija savska ravnica, a sjeverno od njega je hladnija strma padina Medvednice.

Posebno geografsko značenje ima horizontalna raspodjela temperature (tab. 4). Počet ćemo s raspodjelom srednje godišnje temperature (sl. 7). Budući da Zagreb nije veliki grad u poređenju sa svjetskim milijunskim gradovima u kojima je proučavana horizontalna raspodjela temperature, u početku sam do raspodjele temperature, odnosno izoterme, na gradskom području (izuzevši Puntijarku) došao uobičajenom linearnom interpolacijom. Tako nacrtane izoterme činilo mi se da ne odgovaraju stvarnom stanju. Naime, pokazalo se da na gradskom području ima premalo meteoroloških stanica, a da ih uopće nema na nekim bitno važnim sektorima. To je razlog da sam posegnuo za starijim podacima kad je još radila meteorološka stanica u Botaničkom vrtu (kod Glavnog kolodvora), a čiji su podaci bitno važni baš za nizinski dio Zagreba (tab. 5). Ključno značenje pri tome je dano odnosu temperature na Griču i u Botaničkom vrtu, u gusto izgrađenom dijelu grada. Kao primjer uzet ćemo horizontalnu raspodjelu temperature u godišnjem presjeku. Udaljenost između Griča i Botaničkog vrta iznosi okruglo 1000 m. U 9-godišnjem nizu 1951–1959. godine srednja godišnja temperatura na Griču je iznosila 11.6°, a u Botaničkom vrtu 11.3°. Razlika je iznosila 0.3°. To znači da se na svakim 330 m temperatura promijenila za 0.1°. O utjecaju izgrađenosti (i drugih faktora, inverzije temperature prije svega) dovoljno je spomenuti samo jedan primjer. Botinec je udaljen od Botaničkog vrta oko 5900 m. Razlika između ove dvije stanice iznosi 0.9° (srednja godišnja temperatura u Botaničkom vrtu 11.3°, u Botincu 10.4°). Dakle, treba preći 660 m (dvostruko više nego u posve izgrađenom dijelu grada između Griča i Botaničkog vrta) da bi se srednja godišnja temperatura promijenila za 0.1°. Budući da odgovarajući podaci ne postoje za novije razdoblje i za sve profile, odnosi sa tab. 5 su primijenjeni na novije razdoblje (sl. 7, 8 i 9) koristeći se metodom »per analogiam«, kad egzaktnih podataka nema.

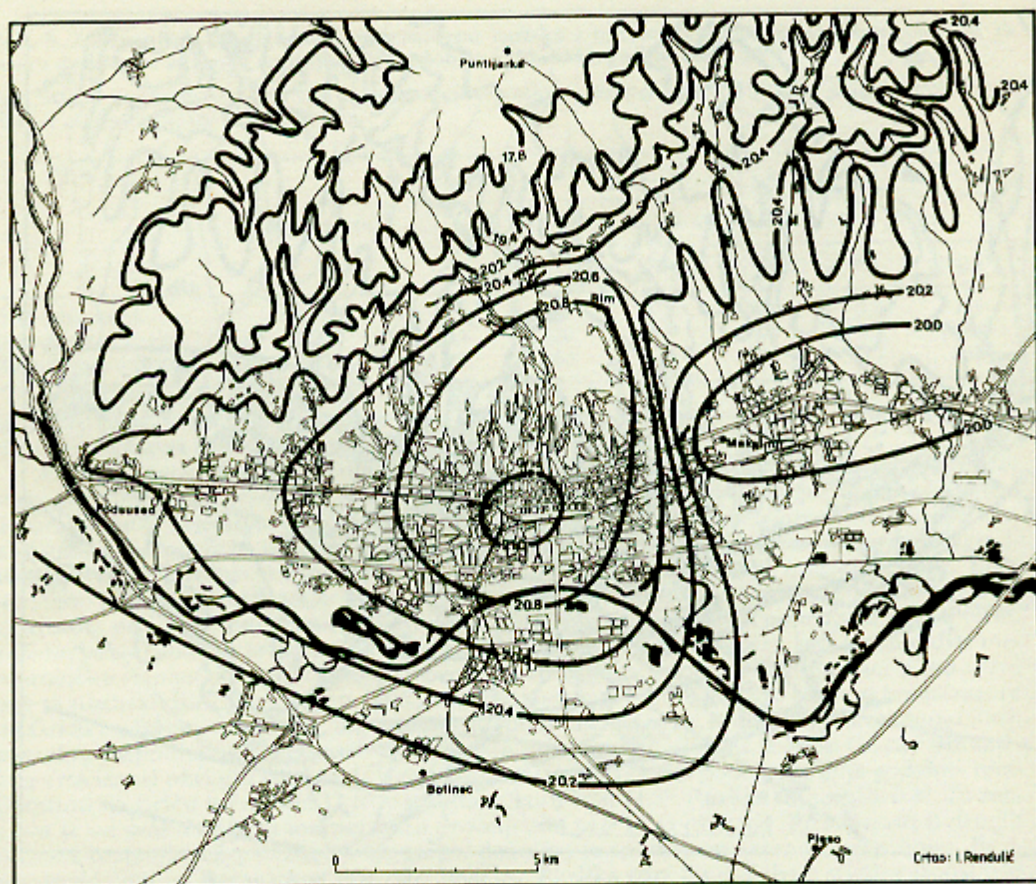
Analizom sl. 7 već se na prvi pogled opaža karakteristično pružanje izoterme, odnosno specifična raspodjela temperature čija se bitna osobina jasno pokazala već na temperaturnim profilima (sl. 6). Jasno se vidi da je najviša temperatura u gusto izgrađenom području Zagreba, a prelazi u topli pojas na »Zagrebačkoj terasi«, odnosno u medvedničkom prigorju. Očito je da se radi o termičkom utjecaju gradske podloge, te povišenog reljefa između Zagreba i Medvednice. Međutim, kad se govori o utjecaju reljefa mora se ukazati i na »rashlađujući« utjecaj (u godišnjem prosjeku) niske savske ravnice (temperaturna inverzija). Budući da se prema zapadu medvedničko prigorje suzuje, da bi kod Podsuseda posve nestalo, u istom se smjeru suzuje i topla prigrorska zona. Ova je topla zona na istoku široka kao i medvedničko prigorje. Posebno treba ukazati na jak pad temperature u širem području Velike Gorice, pa je stanica Pleso (izuzev Puntijarku) najhladnija u prikazanom području. Ovo se hladno područje spaja s gotovo isto tako hladnom zonom od Maksimira do Sesveta. Osim otvorenosti i šumskog pokrova, dio ove hladnoće treba pripisati povoljnim uvjetima za nakupljanje hladnog zraka u obliku »jezera hladnog zraka« (5, 137).

Geografska raspodjela srednje siječanjske temperature (sl. 8) u biti mora biti slična opisanoj raspodjeli srednje godišnje temperature. Najtopliji je središnji dio grada i najbliži dio medvedničkog prigorja. Topla zona se isklinjava prema Podsusedu. Na jugu se dosta naglo prelazi u relativno hladnu savsku ravnicu. Minimum je oko Velike Gorice, odnosno Plesa. Iz već spomenutih razloga nasto je »hladni klin« od Maksimira prema istoku, a što se zorno vidi po karakterističnom povijanju izoterme.



Sl. 8. Geografska raspodjela srednje siječanjske temperature; srednjaci 1969–1980. godine  
 Fig. 8. Geographical distribution of mean January temperatures in Zagreb area

Raspodjela srednjih srpanjskih temperatura (sl. 9) ukazuje na sličnu raspodjelu temperature kao i u godišnjem i siječanjskom prosjeku, ali je potrebno ukazati i na jednu specifičnost. Zbog jakog zagrijavanja savske ravnice i istovremenog utjecaja izgrađenog dijela grada, srednja temperatura u srpnju u Botaničkom vrtu (u razdoblju 1951–1959. godine) iznosi 22,0°, a na 41 m višem Griču temperatura je iznosila 21,9°, tj. Botanički vrt je bio topliji od Griča za 0,1°. To znači da se temperatura između Griča i Botaničkog vrta povisila za 0,1° tek na udaljenosti od 1000 m. Kad horizontalnu promjenu temperature ovakve vrste usporedimo s horizontalnom promjenom temperature između Griča i Maksimira, 445 m za 0,1°, i Botanički vrt – Botinec, 840 m za 0,1°, onda se mora zaključiti da je nad najgušće izgrađenim dijelom Zagreba karakteristična relativno izjednačena raspodjela srednje srpanjske temperature, za razliku od periferije gdje su te promjene naglije. Očito je da se radi o termičkom utjecaju izgrađene podloge. Relativno hladniji »otok« opaža se između Maksimira i Seseva, a svodi se na već konstatirani utjecaj »jezera hladnog zraka« u noćnim satima. Za točniju rekonstrukciju pružanja izoterme od 20,4° u susjedgradskom području nema podataka. Naime, moglo bi se uzeti da se izoterma od 20,4° oštrije »isklinjava« prema zapadu zahvaćajući južne padine Goljaka. Na opravdanost ove pretpostavke ukazuje činjenica da su do prije jednog stoljeća ondje bili prostrani vinogradi. (To isto bi vrijedilo i za siječanjsku, pa tako i za godišnju raspodjelu temperature.)



Sl. 9. Geografska raspodjela srednje srpanjske temperature; srednjaci 1969–1980. godine

Fig. 9. Geographical distribution of mean July temperatures in Zagreb area

### Zaključak

Termički utjecaj velikih gradova definitivno je dokazana činjenica. Ako uzmemo da je Grič reprezentant užeg gradskog područja, a stanice Podused, Botinec, Pleso i Maksimir da su reprezentanti gradske periferije neposredne okolice onda se dolazi do slijedećih veličina. Gušće izgrađeno gradsko područje u godišnjem je prosjeku do  $1.0^{\circ}$  toplije od periferije; srednja siječnja temperatura je u središnjem dijelu Zagreba do  $1.1^{\circ}$  viša nego na periferiji; srednja srpanjska temperatura je u centru do  $0.9^{\circ}$  viša nego na periferiji.

Složena reljefna struktura i termički utjecaj izgrađene podloge odražavaju se u postojanju toplog pojasa koji se podudara s medvedničkim prigorjem i najgušće izgrađenim dijelom Zagreba. Sve izoterme se u zagrebačkom području povijaju prema jugu i tako je grad glavni uzrok proširenja toplog pojasa iz medvedničkog prigorja u izgrađeni dio savske ravnice.

Međutim, spomenuta temperaturna diferencijacija nije posljedica samo utjecaja grada. Očito je da se radi o kompleksu od više faktora: povišeno medvedničko prigorje pridonosi povišenju srednjih temperatura; niska savska ravnica snižuje srednje temperature (inverzija temperature); izgrađena površina utječe na porast srednjih temperatura. Ovamo treba dodati sekularne fluktuacije temperature planetarnih ili hemisferskih dimenzija i konačno

fenski efekt kojim se znatno zagrijava hladniji zrak koji sa sjevera struji preko Medvednice. Koliki je udio svakog od ovih faktora za sada se ne može odrediti.

Da se ne radi o zanemarivo nevažnim veličinama lako se može utvrditi pogledom na geografsku kartu. (Dakako, ne radi se samo o utjecaju temperature; svi spomenuti faktori utječu i na druge meteorološke elemente, spomenimo samo maglu i insolaciju.) Prigorje Medvednice je dugi niz stoljeća bila gospodarska osnova razvoja Zagreba, a nije slučajno nastao ni karakteristični niz naselja Bizek – Borčec – Mikulići – Bijenik – Šestine – Mlinovi – Remete – Bliznec – Markuševac – Dubrava – Vidovec – Čučerje, ali i nekoliko drugih koja su nestala širenjem Zagreba. Povoljni termički uvjeti jedan je od prirodnih elemenata koji je utjecao na valorizaciju ovog geografskog prostora.

#### Literatura

1. P. A. Kratzer: *Das Stadtklima*. Braunschweig 1956.
2. H. E. Landsberg: *Physical Climatology*. Du Bois 1958.
3. B. Makjanić: Zrakoplovna meteorologija aerodroma Zagreb-Lučko. HMZ NRH, Rasprave i prikazi 3, Zagreb 1959.
4. N. Pleško, N. Šinik & E. Lončar: Klimatski potencijal zagađenosti zraka. Ovisnost zagađenosti zraka u Zagrebu o meteorološkim faktorima. RHMZ SRH, Rasprave i prikazi br. 11, 65–154, Zagreb 1974.
5. B. Makjanić: 6. Kratak prikaz klime Zagreba. Prilog poznavanju klime grada Zagreba, I. Sveučilište u Zagrebu, PMF, Geofizički zavod, Radovi, III serija, br. 18, 123–175, Zagreb 1977.
6. B. Penzar: 2. Temperatura zraka. Prilog poznavanju klime grada Zagreba, I. Sveučilište u Zagrebu, PMF, Geofizički zavod, Radovi, III serija, br. 18, 35–57, Zagreb 1977.
7. V. Conrad & L. W. Pollak: *Methods in Climatology*. 2nd ed. Cambridge 1950.
8. Sveučilište u Zagrebu, PMF, Geofizički zavod, Opservatorij Grič: Klimatski podaci Opservatorija Zagreb, Grič za razdoblje 1862–1967, Zagreb 1970.
9. Sveučilište u Zagrebu, PMF, Geofizički zavod, Opservatorij Zagreb, Grič: Meteorološki izvještaj. (Za odgovarajuće godine.) Zagreb.
10. HMS SFRJ, Savezni HMZ: Meteorološki godišnjaci. (Za razne godine.) Beograd.
11. Arhiva Republičkog hidrometeorološkog zavoda SRH, Zagreb, Grič 3.
12. B. Kirigin: Prikaz klimatskih prilika planine Medvednice. HMZ SRH, Rasprave i prikazi, br. 9, Zagreb 1963.

#### Summary

#### The Mean Air Temperature in Zagreb, Croatia

by T. Šegota

Thermic influence of great urban centers is a well-known fact. If we take that Grič is a representative of the centre, and the meteorological stations Podsused, Botinec, Pleso, and Maksimir represent the periphery then we can conclude that the annual mean temperature in the centre of Zagreb is up to 1.0° C higher than on the periphery. Similarly, the mean January temperature is up to 1.1° C higher in the centre than on the periphery, and the mean July temperature is up to 0.9° C higher in the Zagreb's centre than in its periphery.

Due to complex relief structure and to the thermic influence of built up grounds, warmer belt developed in the foot-hills of Medvednica Mountain (Prigorje) and over Zagreb urban area. Thus, all isothermes are curved, adjusted to urban territory. Characteristic thermic differentiation is a complex response to relief structure, to the areal expansion of urban agglomeration, and the Föhn effect warming the cold northern air flowing over Medvednica Mountain, and lastly due to climatic amelioration in last thirty years.