

**TEMPERATURA ZRAKA U ZAGREBU U 21 SAT\***

TOMISLAV SEGOTA

Periferne stanice su po mjesečnim srednjacima za  $0,4^{\circ}$  —  $2,1^{\circ}$  hladnije od centra. I u 9 h postoji gradski »toplinski otok«. U razdoblju 1953 — 1983. srednja temperatura siječnja porasla je na Griču za  $1,7^{\circ}$ , a u Podsusedu za  $1,9^{\circ}$ . U srpnju ta razlika na Griču iznosi  $0,2^{\circ}$ , a u Podsusedu  $0,7^{\circ}$ . U svim mjesecima utvrđen je topli pojas u podnožju Medvednice.

*Air Temperatures in Zagreb at 9 p.M.*

*According to the mean monthly temperatures the peripheral stations are  $0.4$  —  $2.1^{\circ}\text{C}$  colder than the centre. This is a proof for the existence of urban »heat island«. In the period 1953 — 1983 the mean January temperature at 9 p. m. in Grič rosed by  $1.7^{\circ}$ , and in Podsused by  $1.9^{\circ}$ . The mean July temperatures are  $0.7^{\circ}$  higher in Podsused and  $0.2^{\circ}$  higher in Grič. In all months there is a warm belt on the foothills of the Medvednica Mountain.*

**Uvod**

Jedna je od bitnih geografskih činjenica neslućena urbanizacija. Mnogi su se gradovi toliko proširili (među njima i Zagreb) da se nužno nametnulo pitanje: da li grad utječe na »svoju« klimu? Danas je općeni-

to prihvaćena činjenica da grad modificira klimu u svom užem području (1; 2). Međutim, znatne teškoće nastaju prilikom pokušaja da se kvantitativno odredi veličina tog utjecaja, a još je teže odijeliti, odnosno utvrditi relativnu važnost po-

Recenzenti prof. dr Josip Ridanović i prof. dr. Andrija Bognar  
Rukopis zaprimljen u rujnu 1989. god.

\* 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 ve-

likih gradova SRH«) u Geografskom odjelu PMF-a Sveučilišta u Zagrebu, a po programu SIZ-a za znanstveni rad SR Hrvatske.

Autor je zahvalan Republičkom hidrometeorološkom zavodu SRH, Zagreb, Grič 3, koji mu je omogućio korištenje arhivskih podataka.

jedinih klimatskih faktora koji utječu na urbanu modifikaciju klime, odnosno teško je odijeliti utjecaj pojedinih klimatskih faktora u gradu, te koliko na njih utječe sama izgrađena urbana površina. Odmah treba ukazati na glavni problem: koliki je udio globalnih ili samo sjevernohemisferskih fluktuacija klime, odnosno temperature (neovisno o postojanju gradova), koji dio treba pripisati modifikatorskom utjecaju samog grada, a koji dio reljefu, odnosno visinskim razlikama, a upravo je to bitno baš u Zagrebu. To su tri najvažnija faktora, a ima ih više. Promjena intenziteta kratkovalne i dugovalne radijacije zbog aeropulucije, zatim promjene albede 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 padalinske vode, brzo uklanjanje snijega, oslobađanje velike količine topline iz industrijskih i energetskih postrojenja, kućnih ložišta, golemog broja vozila itd., kao i utjecaj grada na brzinu vjetra zbog povećanja trenja izgradnjom velikog broja blokova zgrada, pa sve više i neobdera — sve to u stanovitom mjeri utječe na temperaturu zraka u velikim gradovima (visina, boja i orijentacija zgrada utječe i na sve druge meteorološke elemente). Suprotno tome, ne može se zanemariti utjecaj sjene koja nastaje iza mnogih velikih i visokih zgrada u gradu. Budući da se radi o sve važnijem dijelu klimatologije, susrećemo se s terminom urbana klima ili klima grada (1; 2).

U ovom radu nastaviti ćemo već započetu analizu (3; 4; 5), prikazati ćemo srednje temperature zraka u

21 h u Zagrebu. Zagreb se toliko prostorno proširio da je postao grad i u dolini Save i na povišenom rebrastom reljefu na prijelazu u Medvednicu. Svaki od tih elemenata reljefa modificira lokalnu klimu. Iako se Zagreb nije mogao izgraditi na strmijoj padini Medvednice, kad se piše o klimi (a napose o temperaturi zraka), ne može se mimoći modifikatorski termički utjecaj Medvednice. Na temperaturu zraka u 21 h (možemo ponekad reći i »večernja temperatura zraka«) odražava se utjecaj planinskih i gorskih 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 što se »prebacuje« preko Medvednice, bilo kad se radi o puhanju vjetra iz sjevernog kvadranta (6), ili o fenskom (znatno slabijem) zagrijavanju padinskog vjetra u noćnim satima. Zato je raspodjela temperature u 21 h mnogo kompliciranija u većem dijelu Zagreba, pa se morala simplificirati raspodjela temperature, što se očituje u »poklapanju« izoterma s izohipsama, odnosno »linearizacijom« izoterma u onom dijelu gdje postoji rebrasti reljef, a gdje je njihovo pružanje u stvarnosti mnogo kompliciranije. Glavni je uzrok tome nedostatak podataka s izgrađenog područja gdje termički utjecaj grada barem djelomično poništava termički utjecaj reljefa. Ukratko, na izgrađenoj teritoriji nije dopušteno jednostavno poklapanje izoterma s izohipsama, pa se možda manja greška čini generalizacijom pružanja izoterma.

O temperaturi zraka u Zagrebu relativno je dosta pisano, ali ni ovom prilikom nas neće mnogo in-

teresirati fluktuacije temperature zraka do koje se dolazi analizom sekularnog niza temperature u 21 h u Zagreb-Griču i Podsusedu. O tome ćemo nešto reći samo ako se može pretpostaviti da sekularni nizovi temperatura zraka barem djelomično eventualno ukazuju na modifikatorski utjecaj grada. Težište će biti na prikazu geografske raspodjele temperature zraka u 21 h na zagrebačkom području, s ciljem da se pokuša nastaviti već započeti rad.

### Podaci

Na teritoriju Zagreba postoji samo jedna meteorološka stanica, Observatorij Zagreb-Grič, s dugim, homogenim nizom temperature zraka. Na području Zagreba ima još nekoliko meteoroloških stanica, ali je za njih značajno da ne raspolažu dugim nizovima temperature zraka u 21 h. Prečesto je dolazilo do prekida mjerenja, do premještanja stanice ili instrumenta, do prekida motrenja u pojedinim godinama, mjesecima ili samo u pojedinim danima, ali je i to dovoljno da se tako prekine mjesečni, odnosno godišnji niz. Podaci su najčešće preuzeti onakvi kakvi su zapisani u arhivskom materijalu ili su publicirani, a nije se prije toga provjeravala njihova homogenost ili se pak nije raspravljalo o smještaju stanice ili instrumenta, konkretno termometra. Ukratko, temperature u 21 h u većini su slučajeva preuzete iz publiciranih ili nepubliciranih arhivskih izvora.

Navedeni prekidi mjerenja temperature zraka uzrok su da se, usprkos naoko relativnom obilju numeričkih podataka, mogao koristiti samo (manji) dio, odnosno najčešće su se mogli koristiti samo kratki nizovi »večernjih temperatura«. Sve

je to uzrok da su se morale interpolirati neke temperature za neke godine ili samo za neke mjesece, jer su se samo tako mogle koristiti sve stanice u jednom relativno duljem nizu godina. Metodom diferencije ispravljeni su neki evidentno pogrešni podaci.

Utjecaj »toplinskog otoka« u gradu, a time i u Zagrebu, naoko je malen jer se najčešće uzimaju srednje temperature. Međutim, kad bi se »večernje temperature« analizirale odvojeno samo za vrijeme vedra neba i za tišine, onda bismo u takvim uvjetima otkrili znatno veći termički utjecaj grada. Neke posebnosti sigurno bi otkrila analiza »večernje temperature« samo u oblačnim večerima. Dakle, kao i kod srednjih, maksimalnih i minimalnih temperatura razlike između temperature u 21 h neupućenome bi mogle izgledati malene, gotovo zanemarive. Međutim, imajući na umu veličinu gradskog teritorija u odnosu na veličinu regije u kojoj se nalaze, većina gradova (a među njima i Zagreb) čine nevelik postotak površine. Kad bismo horizontalne gradijente temperatura u 21 h prenijeli iz Zagreba na nešto dalju okolicu, onda bismo najčešće dobili goleme veličine. Važno je istaknuti bioklimatsko značenje »večernje temperature«, odnosno s njom povezanog dugovalnog zračenja koje se mijenja s četvrtom potencijom temperature. To znači da se i malene promjene temperature primjetno odražavaju na intenzitetu zračenja, odnosno utječu na temperaturni osjet.

Budući da ključno značenje imaju podaci iz »donjeg« Zagreba, analiza i zaključci se moraju bazirati na podacima o »večernjim temperaturama« stanice Botanički vrt (ili



»Kolodvor«, jer se nalazi u njegovoj blizini). Ne radi se o »savršenoj« reprezentativnosti (u meteorološkom smislu) jer je termometarska kućica bila u parku gdje su temperature u 21 h bile nešto drukčije nego u okolnom izgrađenom području.

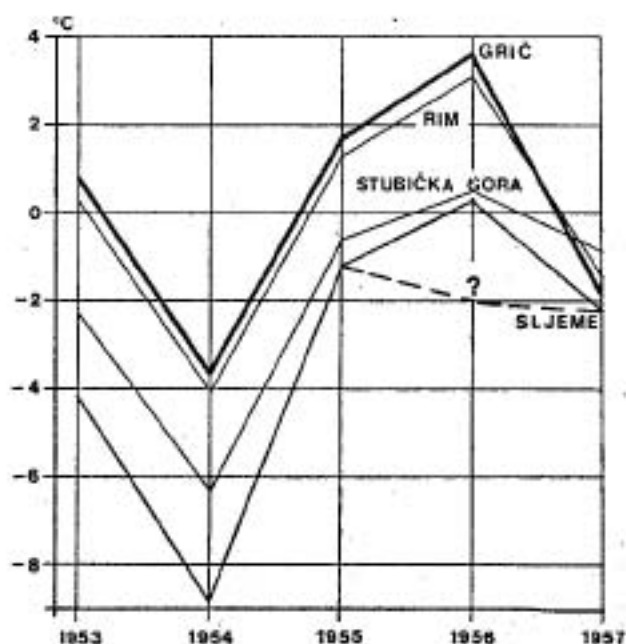
Uspoređenje grafova »večernih temperatura« stanica s hodom odgovarajućih temperatura na Griču bio je najvažniji indikator prihvatanja nekog temperaturnog podatka. Naime, temperature su u 21 h na raznim stanicama bile različite, ali se, zbog relativne blizine, teško može prihvatiti postojanje različitih temperaturnih režima ili trendova.

Kontrolom je utvrđeno da je potrebno ispraviti slijedeće podatke o temperaturama u 21 h.

Na sl. 1 vidi se da hod temperature na Sljemenu odstupa u 1956. god. od ostalih stanica. Usporedbom Zagreb-Griča, Sljemena, Stubičke Gore i Rima vidi se da temperatura na Sljemenu 1956. god. ne može biti ispravna. Budući da to odudara od svih ostalih primjera, interpolirana je temperatura u 21 h na Sljemenu prema Griču 1953—1957. god. Tako je izračunato da je na Sljemenu u siječnju srednja temperatura u 21 h iznosila  $0,3^{\circ}$ , te je tako ucrtano na sl. 1 (a ne  $-2^{\circ}$ , kako je u arhivi i kako je publicirano). S ovom temperaturom graf temperature na Sljemenu odlično se podudara sa svim drugim grafovima. S pomoću te ispravljene siječanjske temperature izračunato je da je srednja godišnja temperatura na Sljemenu u 21 h 1956. god. iznosila  $4,8^{\circ}$ , a ne  $4,6^{\circ}$  kako je u arhivi i kako je publicirano.

Kontrolom je utvrđeno da srednja siječanjska temperatura u 21 h 1955. god. u Podsusedu nije mogla

biti  $1,9^{\circ}$ , kako je publicirano. Usporedbom s Gričem izračunato je da je ta temperatura iznosila  $1,3^{\circ}$ .



Sl. 1. Srednje godišnje temperature u 21 h na Griču, u Rimu, Stubičkoj gori i na Sljemenu (7; 9; 10)

Fig. 1. Mean annual temperatures at 9 p. m. in Zagreb—Grič, Rim, Stubička gora and Sljeme

Ponovnim zbrajanjem utvrđeno je da je srednja srpanjska temperatura 1975. god. na Griču iznosila  $21,1^{\circ}$ , kako je na 19. str. Meteorološkog izvještaja Opservatorija Zagreb—Grič u detaljnoj mjesečnoj tablici, a ne  $21,4^{\circ}$ , kako je u godišnjem pregledu na 37. str.

Usporedbom stanica Grič, Rim, Kolodvor, Podsused, Botinec, Maksimir i Lučko vidi se da je srednja godišnja temperatura u 21 h svagdje u 1958. god. bila viša nego 1957. god. Samo za Botanički vrt (»Kolodvor«) publicirano je da je temperatura bila niža. Interpolacijom prema Griču izračunato je da je srednja godišnja temperatura u 21 h

1958. god. u Botaničkom vrtu iznosila 11,3<sup>o</sup> (a ne 10,4<sup>o</sup>, kako je objavljeno).

Da bi se omogućila analiza iz jednog perioda, bilo je potrebno interpolirati ili ekstrapolirati neke vrijednosti. Za 1978, 1979. i 1980. god. srednje godišnje temperature u Rimu, prema Griču, iznose 9,6<sup>o</sup>, 10,9<sup>o</sup> i 9,8<sup>o</sup>.

Interpolirana srednja srpanjska temperatura u »Kolodvoru« 1962. god. (prema Griču) iznosila je 18,6<sup>o</sup>.

Srednja srpanjska temperatura u 21 h 1969. god. u Botincu (prema Griču) iznosi 19,6<sup>o</sup> (razdoblje 1965—1973. god.).

Srednja srpanjska temperatura u 21 h 1965. god. u Plesu je (prema Griču) iznosila 19,0<sup>o</sup>.

Srednja godišnja temperatura u 21 h 1969. god. u Botincu (prema Griču) iznosila je 9,1<sup>o</sup>.

## Metoda rada

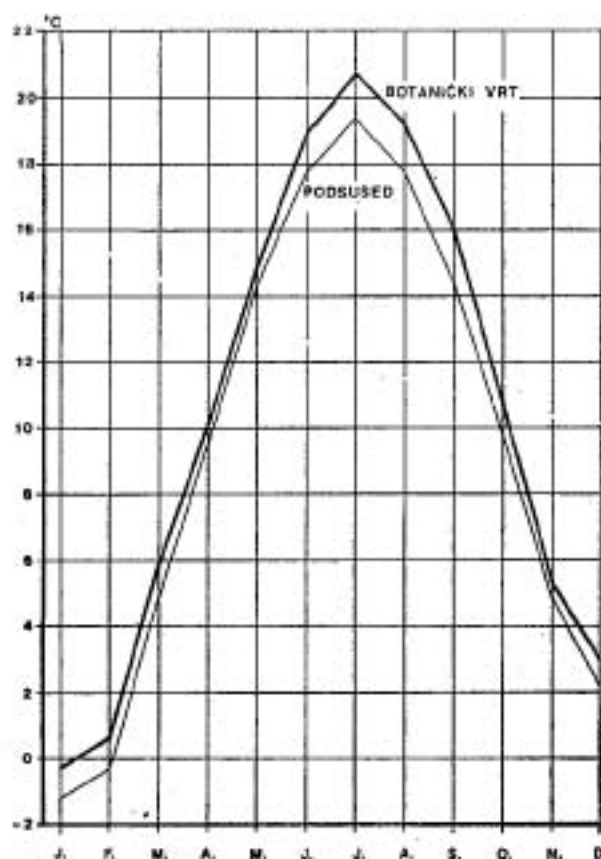
Poznato je da se temperatura, po konvenciji, uz ostale termine mjeri i u 21 h. Osim godišnjih hodova u pojedinim stanicama, posebno značenje ima geografska raspodjela temperature u 21 h, a prikazuje se metodom izoterma. Zbog nedostatka stanica i živog reljefa moralo se interpolirati neke izoterme. Prema V. Conradu i L. W. Pollaku (11, p. 265): »In climatology linear interpolation is generally sufficient...« U dijelu ravničarskog i prigorskog Zagreba upotrijebio sam tehniku linearnu interpolaciju. Isto tako i na užoj teritoriji grada, ali sam nju uzeo kao posebnu cjelinu. To je potrebno zato jer je gustoća izoterma različita. Posebno sam izdvojio južnu padinu Medvednice gdje sam izračunao približni vertikalni gradijent temperature, pa sam s pomoću njega izračunao nadmorsku visinu nekih izoterma. Budući da izotermne

Tab. 1. Srednje mjesečne i godišnje temperature zraka u 21 h na teritoriji Zagreba; 7-godišnji srednjaci 1953—1959. godine (7; 9; 11; 12)

Tab. 1. Mean monthly and annual air temperatures at 9 p. m. in Zagreb area, and the temperature difference between various stations

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God.
Botanički vrt	-0,3	0,6	5,8	10,0	14,9	18,9	20,7	19,2	16,0	10,7	5,3	2,9	10,4
Podsused	-1,2	-0,3	5,0	9,6	14,3	17,7	19,4	17,8	14,4	9,8	4,8	2,2	9,5
Grič	0,3	1,4	6,6	10,8	15,6	19,0	21,1	20,0	17,1	11,8	5,9	3,5	11,1
Maksimir	-1,3	-0,6	4,4	8,9	13,5	17,1	18,6	17,4	14,1	9,3	4,5	1,9	9,0
Diferencija													
Bot. vrt —													
Podsused	0,9	0,9	0,8	0,4	0,6	1,2	1,3	1,4	1,6	0,9	0,5	0,7	0,9
Diferencija													
Bot. vrt —													
Grič	-0,6	-0,8	-0,8	-0,8	-0,7	-0,1	-0,4	-0,8	-1,1	-1,1	-0,6	-0,6	-0,7
Diferencija													
Bot. vrt —													
Maksimir	1,0	1,2	1,4	1,1	1,4	1,8	2,1	1,8	1,9	1,4	0,8	1,0	1,4
Diferencija													
Grič-Podsused	1,5	1,7	1,6	1,2	1,3	1,3	1,7	2,2	2,7	2,0	1,1	1,3	1,6
Diferencija													
Grič-Maksimir	1,6	2,0	2,2	1,9	2,1	1,9	2,5	2,6	3,0	2,5	1,4	1,6	2,1

plohe srednje temperature u 21 h u atmosferi na nešto većoj visini u sloju zraka iznad Zagreba sigurno ne mijenjaju visinu naglo, u nekim



Sl. 2. Srednje mjesečne temperature zraka u 21 h u Botaničkom vrtu (»Kolodvor«) i u Podsusedu; 7-godišnji srednjaci 1953—1959. godine (7; 10; 12)

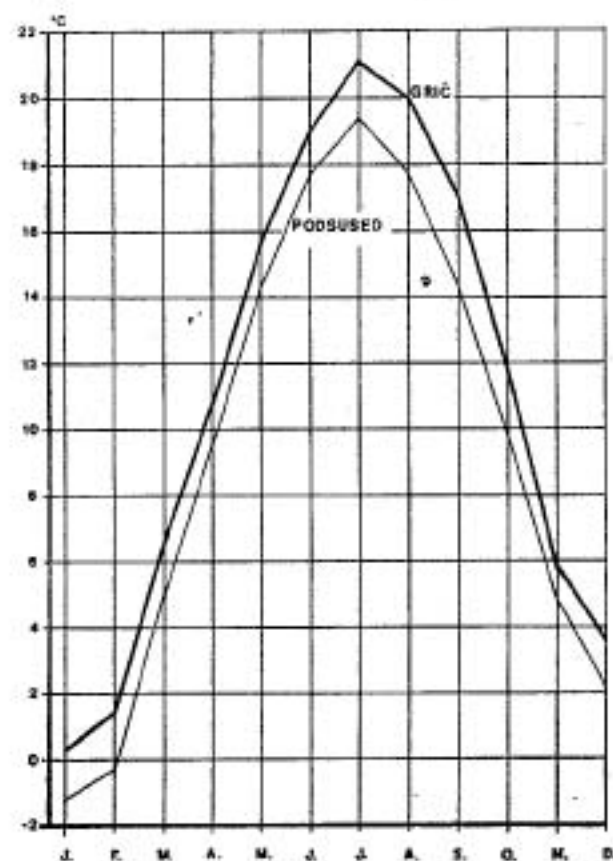
Fig. 2. Mean monthly air temperatures at 9 p. m. in the Botanical Gardens and in Podsused on the periphery

sam dijelovima »poklopio« izoterme s izohipsama. »Otherwise, the curves would cross crests and abysses, valleys and ridges, regardless of the variation of temperature« (11, p. 274). Nije potrebno savršeno slijediti izohipse, nego je dovoljno generalizirati njihovo pružanje. Zbog fragmentarnosti podataka nije moguće odvojiti termički utjecaj grada od utjecaja inverzije. Nedostatak

podataka prisilio je na korištenje starijih nizova i ekstrapoliranih vrijednosti, iako znamo da je izgrađena površina silno povećana. Naime, ključni su podaci Botaničkog vrta (»Kolodvor«), jer se nalazi u nizinskom i središnjem dijelu »donjeg« Zagreba.

## Rezultati

Iz kompleksnog međusobnog utjecaja grada i klimatskih elemenata proizlazi općenito prihvaćen godišnji hod srednjih mjesečnih temperatura u 21 h u centru grada i na



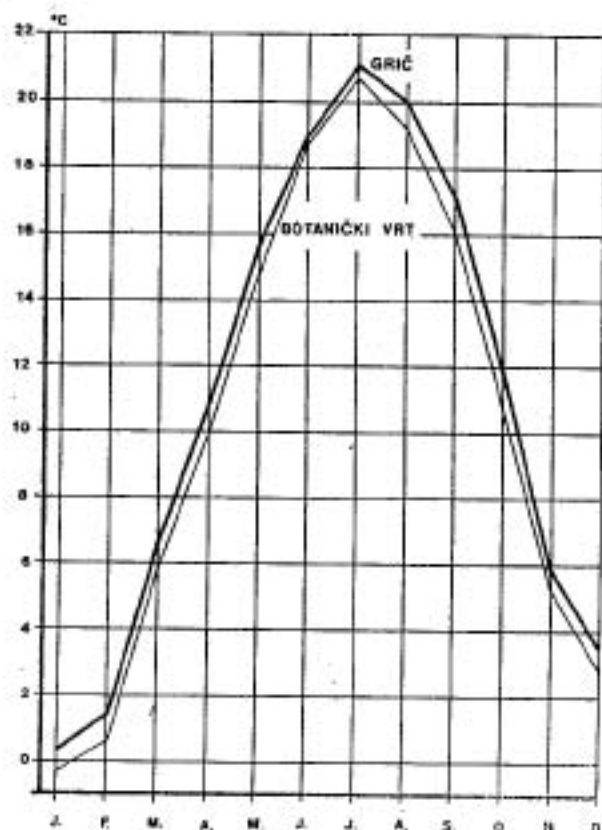
Sl. 3. Godišnji hod srednjih temperatura zraka u 21 h u Zagreb-Griču i Podsusedu; 7-godišnji srednjaci 1953—1959. godine (7; 10; 12)

Fig. 3. Mean monthly temperatures at 9 p. m. in the Zagreb—Grič and Podsused



periferiji: centar grada je u 21 h sistematski, u svim mjesecima, topliji od okoliše. Zbog specifične reljefne strukture potrebno je početi našu analizu s dvije stanice koje se nalaze na jednakoj nadmorskoj visini (tab. 1; sl. 2): Podsused (122 m) i Botanički vrt (116 m). Srednja godišnja temperatura u 21 h u Botaničkom vrtu iznosila je  $10,4^{\circ}$ , a u Podsusedu  $9,5^{\circ}$ . To znači da je »centar« Donjeg Grada u godišnjem prosjeku topliji za  $0,9^{\circ}$ . U pojedinim mjesecima ta se razlika kreće između  $0,4^{\circ}$  u travnju i  $1,6^{\circ}$  u rujnu. Na istoj se nadmorskoj visini (116 m) nalazi i

stanica Maksimir (stara lokacija). Botanički vrt ima sistematski još više srednje mjesečne i srednju godišnju temperaturu u 21 h nego Maksimir. U godišnjem prosjeku Botanički vrt je čak za  $1,4^{\circ}$  topliji od Maksimira. Razlika između pojedinih mjeseci varira između  $0,8^{\circ}$  u studenom i čak  $2,1^{\circ}$  u srpnju. Prema tome, kad se promatra nizinski dio Zagreba opaža se da u 21 h postoji izražen »toplinski otok«: srednje mjesečne i srednje godišnje temperature u 21 h rastu od periferije Zagreba prema njegovu centru. To znači da je općenito u večernjim satima (a ne samo u 21 h) centar nizinskog dijela Zagreba topliji od periferije.



Potrebno je promotriti i utjecaj reljefa, odnosno različite nadmorske visine, jer se u 21 h najčešće (kad je vedro) razvija temperaturna inverzija. Na sl. 3 uspoređene su srednje mjesečne temperature u 21 h na Griču (157 m) i u Podsusedu (122 m). Ali, osim što se Grič nalazi usred gusto izgrađenog dijela grada (i u poluotvorenom »dvorištu«), on je i na višoj nadmorskoj visini, pa se tako istovremeno manifestiraju dva utjecaja, termički utjecaj grada i inverzija temperature. U godišnjem prosjeku temperatura u 21 h na Griču je za  $1,6^{\circ}$  viša nego u Podsusedu, a u pojedinim mjesecima ta se razlika kreće između  $1,1^{\circ}$  u studenom i čak  $2,7^{\circ}$  u rujnu.

Sl. 4. Godišnji hod srednjih temperatura zraka u 21 h u Zagreb-Griču i u Botaničkom vrtu; 7-godišnji srednjaci 1953—1959. godine (7; 10; 12)

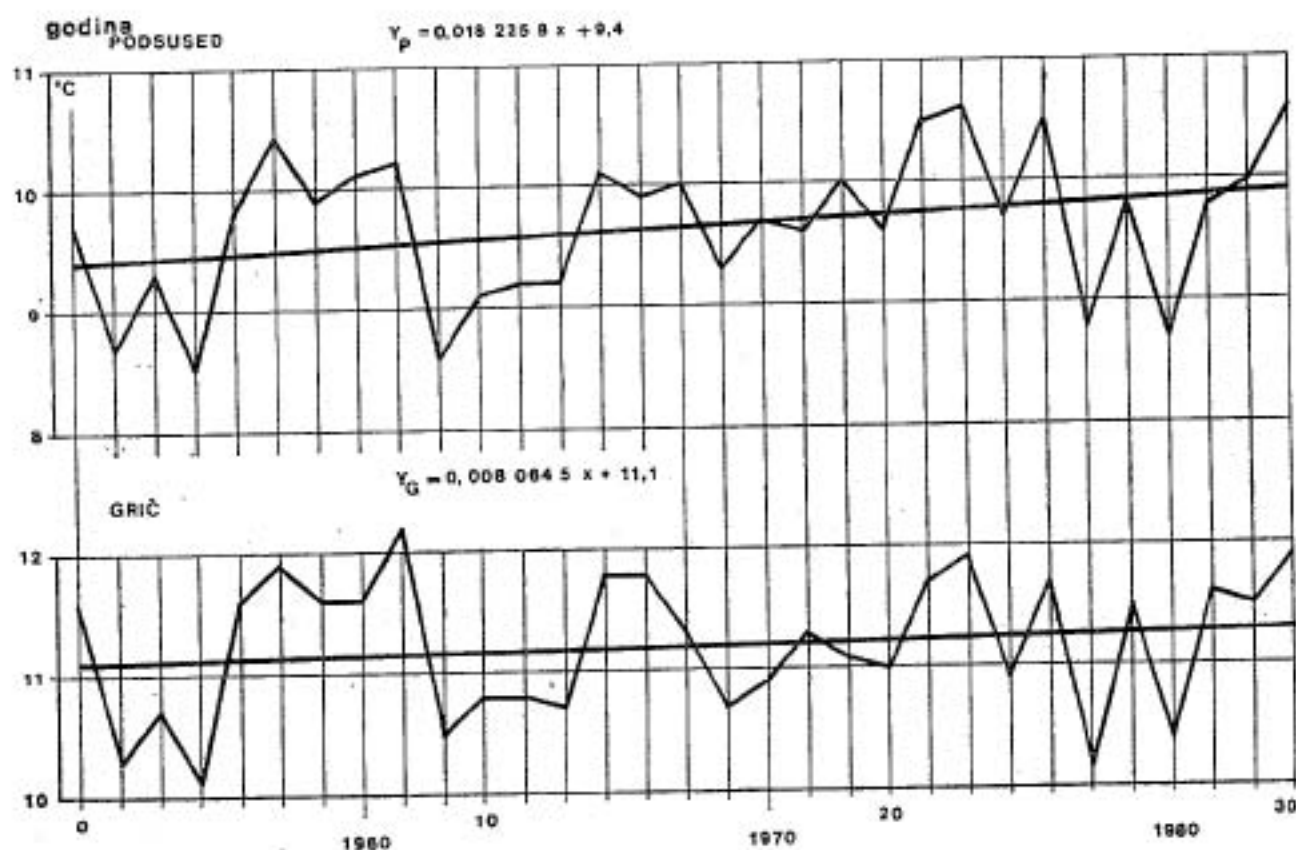
Fig. 4. Mean monthly temperatures at 9 p. m. in the Zagreb—Grič and in the Botanical Gardens (»Kokolodvor«)

Posebno je značajna usporedba (sl. 4) Griča (157 m) i Botaničkog vrta (116 m). Srednje mjesečne i srednja godišnja temperatura više su na Griču nego u nižem Botaničkom vrtu. Srednja godišnja temperatura je za  $0,7^{\circ}$  viša na Griču nego u Botaničkom vrtu; ta razlika u pojedinim mjesecima varira između

samo 0,1<sup>0</sup> u lipnju i 1,1<sup>0</sup> u rujnu i listopadu. (Za toliko je Grič topliji od Botaničkog vrta). Već samo ti podaci ukazuju na činjenicu da je reljefno viši dio Zagreba u večernjim satima u prosjeku topliji od njegova reljefno nižeg dijela.

Jedini homogeni dugogodišnji niz srednjih mjesečnih i godišnjih temperatura u 21 h postoje samo s Observatorija Grič. Nijedna stanica u blizini Zagreba, ili na njegovoj periferiji, nema toliko dug niz pouz-

danih podataka čijom bi se komparacijom moglo nešto pouzdanije zaključiti o sekularnim fluktuacijama klime ili o eventualnom utjecaju grada na večernje temperature. Usprkos tome, pokušat ćemo usporediti samo 31-godišnje nizove 1953—1983. godine iz Griča i Podsuseda. Prvu informaciju o tome mogu dati srednje godišnje temperature u 21 h (sl. 5). Jedna od elementarnih osobina takvih temperaturnih nizova je velika međugodišnja varijacija srednjih godišnjih temperatura. Da



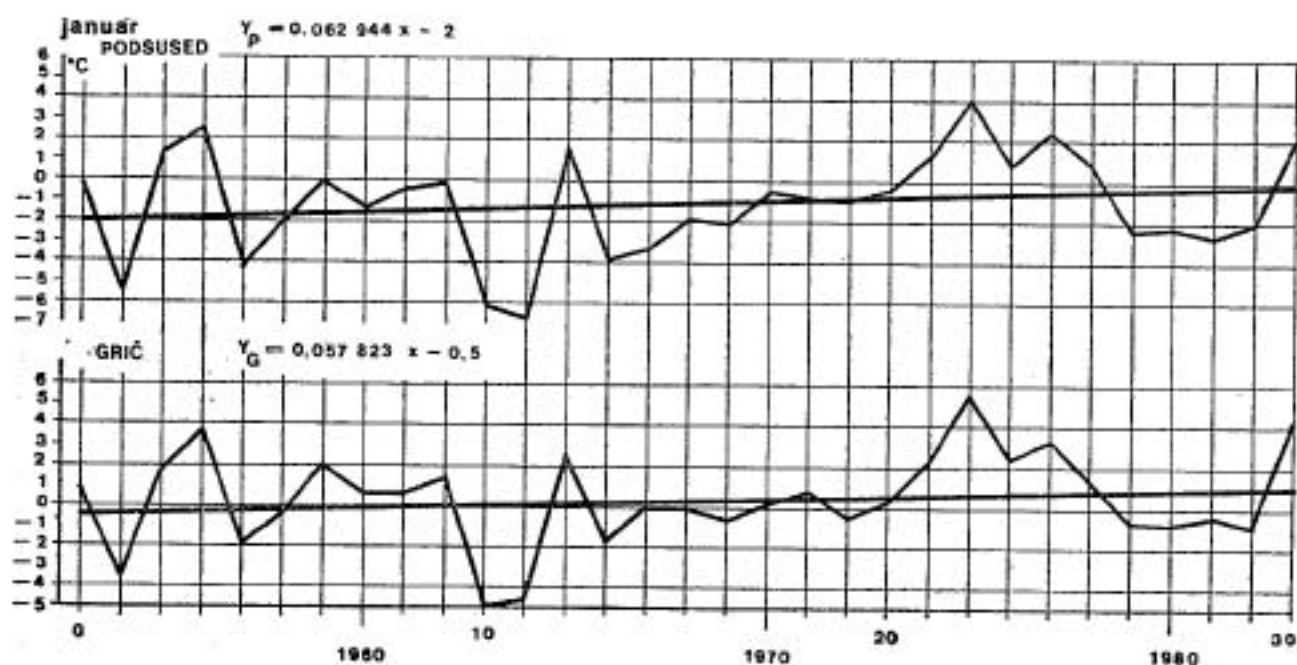
Sl. 5. Srednje godišnje temperature u 21 h na Griču i u Podsusedu u razdoblju 1953—1983. godine (7; 9; 10; 12)

Fig. 5. Mean annual temperatures at 9 p. m. in Zagreb—Grič and in Podsused

bi se uočila tendencija kretanja, takav se niz temperatura može aproksimirati pravcem koji prikazuje linearni trend u promatranom razdoblju. Započet ćemo sa srednjim

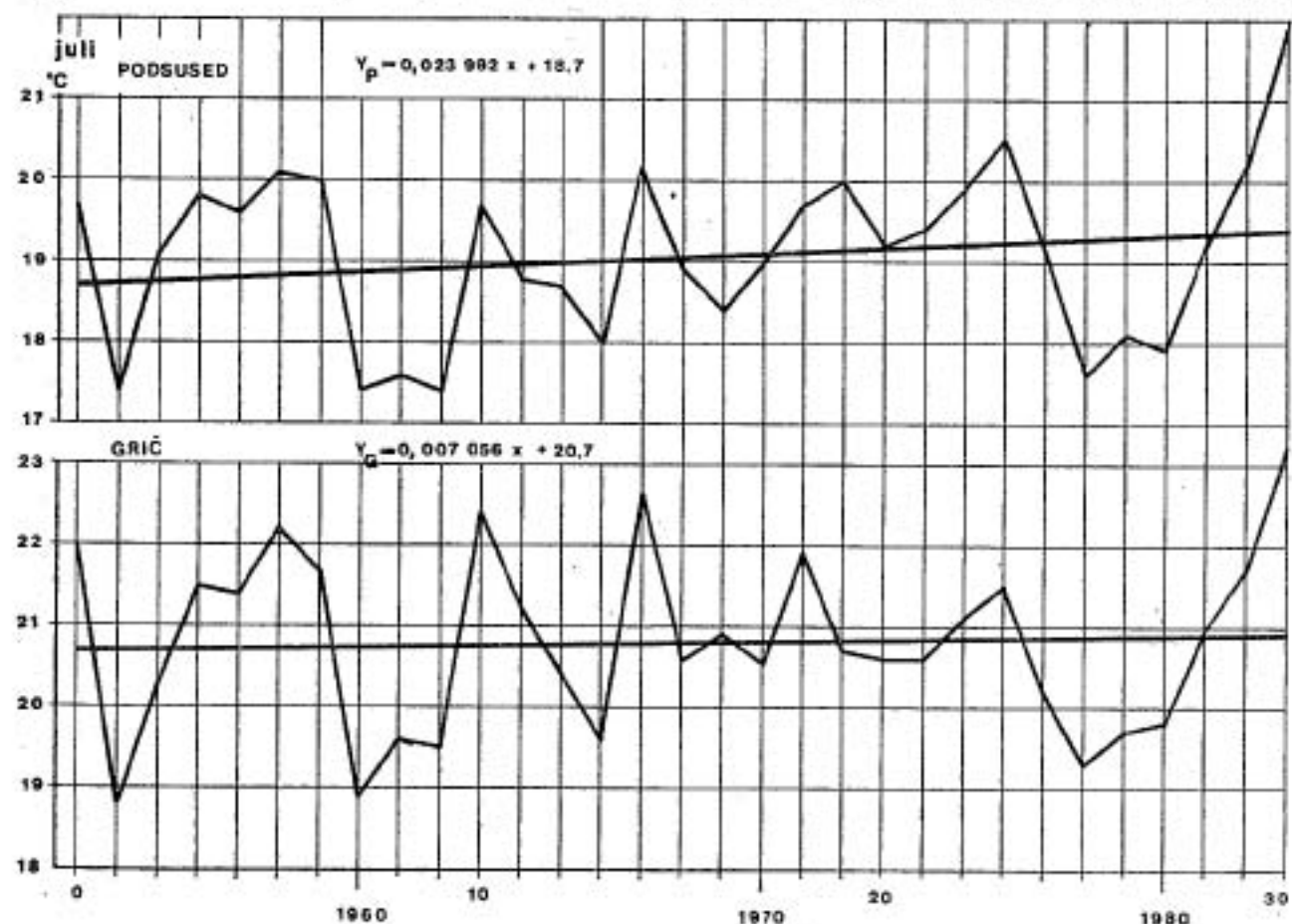
godišnjim temperaturama u 21 h. Tako dobiveni pravci ukazuju na tendenciju porasta srednjih godišnjih temperatura u 21 h i u Podsusedu i na Griču. U 31-godišnjem





Sl. 6. Srednje siječanjske temperature u 21 h na Griču i u Podsusedu u razdoblju 1953—1983. godine (7; 9; 10; 12)

Fig. 6. Mean January temperatures at 9 p. m. in Zagreb—Grič and in Podsused



Sl. 7. Srednje srpanjske temperature u 21 h na Griču i u Podsusedu u razdoblju 1953—1983. godine (7; 9; 10; 12)

Fig. 7. Mean July temperatures at 9 p. m. in Zagreb—Grič and in Podsused

nizu srednja godišnja temperatura u 21 h na Griču iznosila je  $11,2^{\circ}$ , a u Podsusedu  $9,7^{\circ}$ . tj. Grič je, zbog poznatih razloga, u promatranom razdoblju u godišnjem prosjeku bio za  $1,5^{\circ}$  topliji od Podsuseda. Budući da je linija trenda »dinamički srednjak«, iz jednadžbe pravca koji označava linearni trend slijedi da je 1953. god. »izravnata« srednja godišnja temperatura u 21 h na Griču iznosila  $11,1^{\circ}$ , a 1983. god.  $11,3^{\circ}$ . Dakle, ako se zanemare kratkotrajnije, međugodišnje varijacije temperature, u 31-godišnjem nizu 1953—1983. srednja godišnja temperatura u 21 h na Griču je porasla za  $0,2^{\circ}$ . Bez obzira što se radi o kratkom nizu, taj smo niz usporedili sa srednjom godišnjom temperaturom u 21 h u Podsusedu (gornji graf na sl. 5). »Izravnata« srednja godišnja temperatura u 21 h u Podsusedu iznosila je 1953. god.  $9,4^{\circ}$ , a 1983. god.  $9,9^{\circ}$ . u tom je kratkom razdoblju srednja godišnja temperatura u 21 h u Podsusedu porasla čak za  $0,5^{\circ}$ . Dakle, »izravnate« srednje godišnje temperature u 21 h porasle su za  $0,2^{\circ}$  na Griču i za  $0,5^{\circ}$  u Podsusedu. Očito je da se radi o vrlo velikoj razlici na tako malenoj udaljenosti i u tako kratkom razdoblju. 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 okolici izgrađeni brojni građevinski objekti. Prema trenutnom znanju, jedan dio toga otopljanja treba pripisati modifikatorskom termičkom utjecaju Zagreba.

Još detaljnija informacija dobiva se analizom srednjih mjesečnih temperatura u 21 h. Na sl. 6 prikazan je 31-godišnji niz srednjih siječanjskih temperatura u 21 h na Gri-

ču i u Podsusedu. Kad se zanemare međugodišnje varijacije, izlazi da je »izravnata« srednja siječanjaska temperatura u 21 h u Podsusedu 1953. god. iznosila  $-2^{\circ}$ , a 1983. god.  $-0,1^{\circ}$ , što znači da je porasla čak za  $1,9^{\circ}$ ! Istovremeno na Griču je »izravnata« srednja siječanjaska temperatura u 21 h porasla s  $-0,5^{\circ}$  1953. god. na  $1,2^{\circ}$  1983. god. Razlika je iznosila  $1,7^{\circ}$ , dakle, nešto manje nego u Podsusedu (za  $0,2^{\circ}$  manje). Nema sumnje da barem dio tog porasta srednje siječanjaska temperature u 21 h treba pripisati termičkom utjecaju grada.

U biti sličan trend postoji i kod srpanjskih temperatura (sl. 7). I u ovom primjeru prikazan je 31-godišnji niz. Kad se zanemare međugodišnje varijacije temperature, izlazi da je »izravnata« srpanjska temperatura u 21 h 1953. god. u Podsusedu iznosila  $18,7^{\circ}$ , a 1983. god.  $19,4^{\circ}$ , što znači da je porasla za  $0,7^{\circ}$ . Isto, na Griču je »izravnata« srednja temperatura u srpnju u 21 h porasla s  $20,7^{\circ}$  1953. god. na  $20,9^{\circ}$  1983. god. Razlika je iznosila  $0,2^{\circ}$ , dakle mnogo manje nego u Podsusedu. Iz toga bi se moglo zaključiti da je utjecaj izgrađene podloge na temperaturi u 21 h veći u hladnom nego u toplom dijelu godine. Očito je da jedan dio utjecaja treba pripisati umjetno oslobođenoj toplini.

Zbog kompleksne reljefne strukture i urbanoklimatskih utjecaja područja u kojem se nalazi Zagreb potrebno je upoznati raspodjelu srednjih mjesečnih temperatura u 21 h između stanica koje se nalaze na najvažnijem profilu, od Botinaca do Rima (tab. 2). Najprije (sl. 8) ćemo razmotriti raspodjelu temperature na tom profilu u 11-godišnjem razdoblju 1951—1959, te 1963.

i 1965. god. Bitno je važna činjenica da je u tom razdoblju radila stanica u Botaničkom vrtu («Kolodvor»). Na sva tri profila vidi se da »večernja« temperatura raste do »ug-

Tab. 2. Srednje mjesečne i godišnje temperature zraka u 21 h na profilu Botinec—Rim u 11-godišnjem razdoblju 1951—1959, te 1963. i 1965. godine (7; 9; 10; 12)

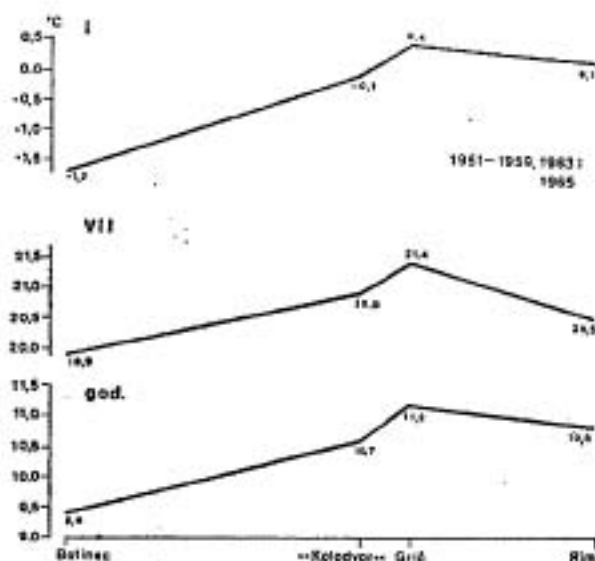
Tab. 2. Mean January, July, and annual temperatures at 9 p. m. between Botinec and Rim stations

	Boti- nec (116)	»Kolo- dvor« (116)	Grič (157)	Rim (220)
1951—1959, 1963 i 1965				
januar	-1,7	-0,1	0,4	0,1
juli	19,9	20,9	21,4	20,5
godina	9,4	10,7	11,2	10,8
1973—1980				
januar	0,2	(1,1)	1,7	1,1
juli	19,1	(19,8)	20,4	19,7
godina	9,9	(10,5)	11,2	10,6

rijanog« grada, do Botaničkog vrta. Očito je da je to posljedica termičkog utjecaja grada, jer su na reljefu u nižem dijelu grada, u dolini Save, temperature niske. Temperatura naglo skače prelaskom na »Zagrebačku terasu«, na kojoj se nalazi Opservatorij Grič. Nema sumnje da je uzrok tog »temperaturnog skoka« inverzija temperature, a drugi dio treba pripisati termičkom utjecaju grada. Očito je da se za sve mjesecе može uzeti da se na povišenom terenu sjeverno od Griča sve do podnožja Medvednice u 21 h razvija topli pojas. Sudeći prema analizi srednjih, maksimalnih i minimalnih temperatura, i u 21 h vjerojatno treba izdvojiti toplije hrptove

od hladnijih potočnih dolina. Ta je mogućnost već nagoviještena (6).

Korisno je promotriti isti temperaturni profil, ali iz razdoblja 1973—1980. god. (tab. 2; sl. 9). Iz postojećih podataka slijedi isti zaključak kao i za prethodni, »stariji« profil. Sredne temperature u 21 h rastu od doline Save, a ekstrapolirani podaci za Botanički vrt («Ko-



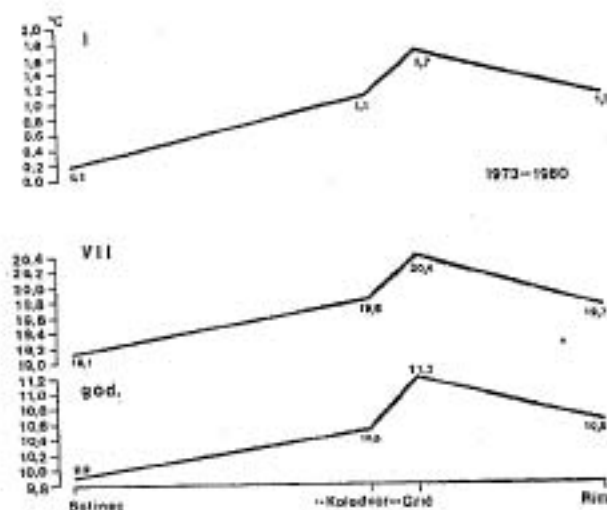
Sl. 8. Srednje temperature zraka u 21 h na profilu Botinec—Rim u razdoblju 1951—1959, te 1963. i 1965. godine (7; 9; 10; 12)

Fig. 8. Mean temperatures at 9 p. m. between Botinec and Rim for the period 1951—1959, 1963 and 1965

lodvor») opet pokazuju da temperature naglo skaču od središta grada prema Griču. Moglo bi se pretpostaviti da od Botaničkog vrta prema Griču, do odsjeka »Zagrebačke terase«, temperatura vjerojatno polaganije raste, onako kako bi se dobilo produženjem pravca Botinec—Botanički vrt. Ni u ovom slučaju, kao ni kod srednjih, maksimalnih i minimalnih temperatura, nije moguće utvrditi da li su tem-



perature u 21 h s Griča reprezentativne s obzirom na nepovoljni smještaj termometra. Naime, »termometrijska kućica bila je dva puta premještena s jednog prozora na drugi, i to 1864. i 1871. godine, ali se uvijek nalazila, kao i sada, u istoj visini prvog kata, okrenuta prema sjeveru« (7; p. XI). Iz toga slijede



Sl. 9. Srednje temperature zraka u 21 h na profilu Botinec—Rim u razdoblju 1973—1980. godine (7; 9; 10; 12)

Fig. 9. Mean temperatures at 9 p. m. between Botinec and Rim for the period 1973—1980

važni zaključci: Termometar je neuobičajeno visoko, i to u sloju zraka gdje »svaki« metar mnogo znači, napose u večernjim satima kad se brzo razvija inverzni sloj uz podlogu. Termometar se nalazi u »dvostrukoj sjeni«, u sjeni zgrade i u »mraku« vlastite kućice. Nije svejedno da li je kućica barem dio dana obasjana direktnom radijacijom (pa makar bila bijelo obojena, što je važno za vidljivi dio spektra, ali nije bitno za dugovalnu radijaciju) ili uopće nije, tj. da je izložena samo difuznoj radijaciji, odnosno samo jednom dijelu globalne radija-

cije. Ne može se zanemariti ni utjecaj susjednog parka, ma koliko on bio malen, kao ni utjecaj radijacije u »dvorištu« Opservatorija. Sve to navodi na zaključak da su prikazane srednje temperature u 21 h na Griču sistematski više nego što bi bile da ne postoje navedene teškoće, odnosno eventualni problemi. Budući da je to, u ovom slučaju, važan problem, ukažimo na smještaj termometra. U radu 14, na str. 92 navodi se da su termometri smješteni na prozoru zgrade 6,2 m iznad tla. To znači da se očitane i publicirane temperature u 21 h ne odnose na visinu 157 m, koliko se u svim publiciranim podacima navodi za nadmorsku visinu Opservatorija Grič. Visina 6,2 m često znači vrlo mnogo u zraku u kojem nastaje ili postoji inverzija temperature. Ukratko, prikazane srednje temperature u 21 h na Griču (i njegovoj okolini) vjerojatno su nešto niže, ali su ipak nešto više nego u stanici Rim, za onoliko koliko je jači termički utjecaj grada u okolini Griča.

Za prikaz horizontalne raspodjele temperature u 21 h potrebno je najgeneralnije prikazati ih i na Medvednici. Vertikalna raspodjela srednjih temperatura u 21 h nije onakva kakvu smo dobili jednostavnim spajanjem točaka koje označavaju lokaciju Rima i Puntijarke. Nedostaje jedna ključna stanica između Rima i visine od oko 300 m odakle počinje nagli uspon južne padine Medvednice; budući da nje nema, morali smo se prilagoditi postojećim podacima.

Počnimo sa srednjom siječanskom temperaturom u 21 h iz razdoblja 1973—1980. god. (tab. 3). Ako je Puntijarka na visini 988

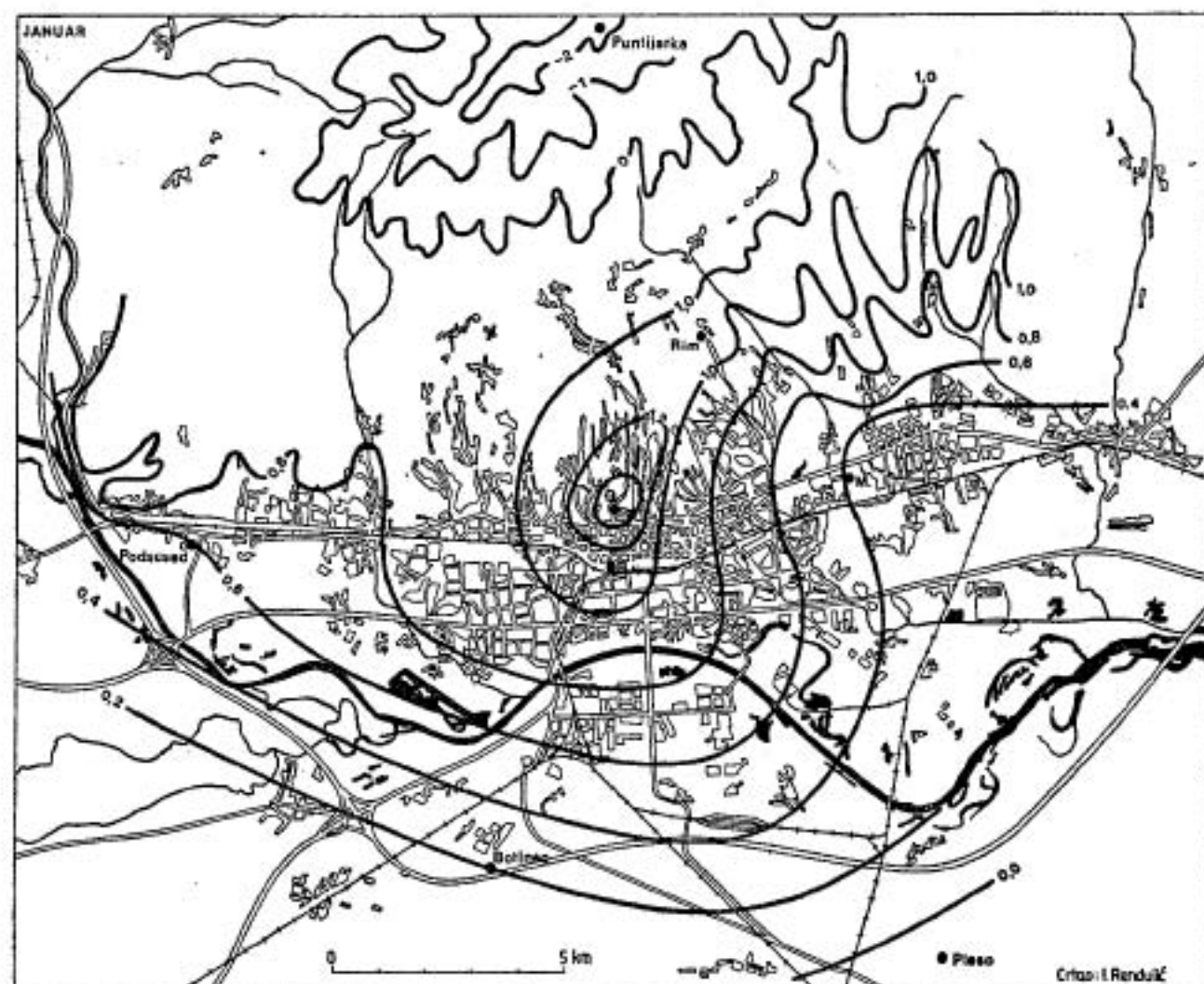
m, a Rim na 220 m, onda razlika između njih iznosi 768 m. Ako je srednja temperatura siječnja u 21 h na Puntijarci iznosila  $-2,3^{\circ}$ , a u

Rimu  $1,1^{\circ}$ , onda razlika iznosi  $3,4^{\circ}$ . Dijeljenjem temperaturne razlike ( $3,4^{\circ}$ ) s razlikom u nadmorskoj visini (768 m) dobiva se vertikalni

Tab. 3. Srednje mjesečne i godišnje temperature zraka u 21 h na teritoriji Zagreba. Srednjaci iz 8-godišnjeg razdoblja 1973—1980. godine; u zagradi su veličine dobivene ekstrapolacijom (7; 9; 10; 12)

Tab. 3. Mean temperatures in Zagreb area at 9 p. m.

	Januar	Juli	Godina		Januar	Juli	Godina
Maksimir	0,4	18,2	9,4	Pleso	-0,1	19,2	9,6
Podsused	0,6	19,0	9,8	Rim	1,1	19,7	10,6
Botinec	0,2	19,1	9,9	Botanički vrt	(1,1)	(19,8)	(10,5)
Grič	1,7	20,4	11,2	Puntijarka	-2,3	13,7	5,5



Sl. 10. Geografska raspodjela srednje siječanjske temperature u 21 h; srednjaci iz razdoblja 1973—1980. godine

Fig. 10. Geographical distribution of mean January temperatures at 9 p. m. in the Zagreb area

gradijent temperature  $0,4^{\circ}$  (na 100 m), odnosno dijeljenjem razlike u nadmorskoj visini s temperaturnom razlikom dobivamo da se temperatura mijenja za  $1^{\circ}$  na 227 m visinske razlike. Tako se jednostavno dolazi do približnog rezultata da je na 464 m visine izoterma od  $0^{\circ}$ , na 691 m  $-1^{\circ}$ , na 918 m  $-2^{\circ}$ .

S pomoću tih podataka i podataka s tab. 3 mogla se nacrtati približna geografska raspodjela srednjih siječanjских temperatura u 21 h u širem zagrebačkom području (sl. 10). To je primjer raspodjele temperature u 21 h u zimskim mjesecima. Jasno se nazire dominantno značenje reljefa. Zagrebačka terasa i Prigorje čine izrazito topliji pojas koji se pruža sve do najzapadnijeg dijela prikazanog prostora, iako se ondje taj topli pojas »isklinjava«. Dolina Save i niski kraj oko Maksimira i istočno od njega izrazito su hladniji. To je posljedica čestih inverzija već u večernjim satima. Zrak se u nizinskom dijelu noću toliko

rashladi da se dnevnim zagrijavanjem ne može poništiti taj efekt, jer koliko se zrak danju zagrije, »isto« se zagrijava topliji zrak na višem reljefu, tako da ostaje razlika. Jedan dio te temperaturne razlike u zagrijavanju treba pripisati utjecaju magle, koja je znatno češća u nizini, nego na višem reljefu sjeverno od Griča. I Donji Grad i Gornji Grad dodatno se jače zagrijavaju, pa se jasno vidi da postoji »toplinski otok« koji je definiran izotermom od  $1,0^{\circ}$ , a topli pojas prema jugu izotermom od  $0,8^{\circ}$ . Iznad toga toplog otoka i pojasa sjeverno od Griča s porastom nadmorske visine na padinama Medvednice srednja »večernja« temperatura opada. Budući da u tom razdoblju nije radila stanica Botanički vrt, ekstrapolirane su temperature tek približne. Uprkos tome, vidi se red veličine termičkog utjecaja grada. Botanički vrt bio je za  $0,5^{\circ}$  topliji od Podsuseda, za  $0,7^{\circ}$  topliji od Maksimira, a za  $0,9^{\circ}$  topliji od Botinca.

Tab. 4. Međusobna udaljenost, temperaturna razlika i horizontalna promjena temperature zraka u 21 h za svaku desetinku stupnja; srednjaci iz 8-godišnjeg razdoblja 1973—1980. godine (7; 9; 10; 12)

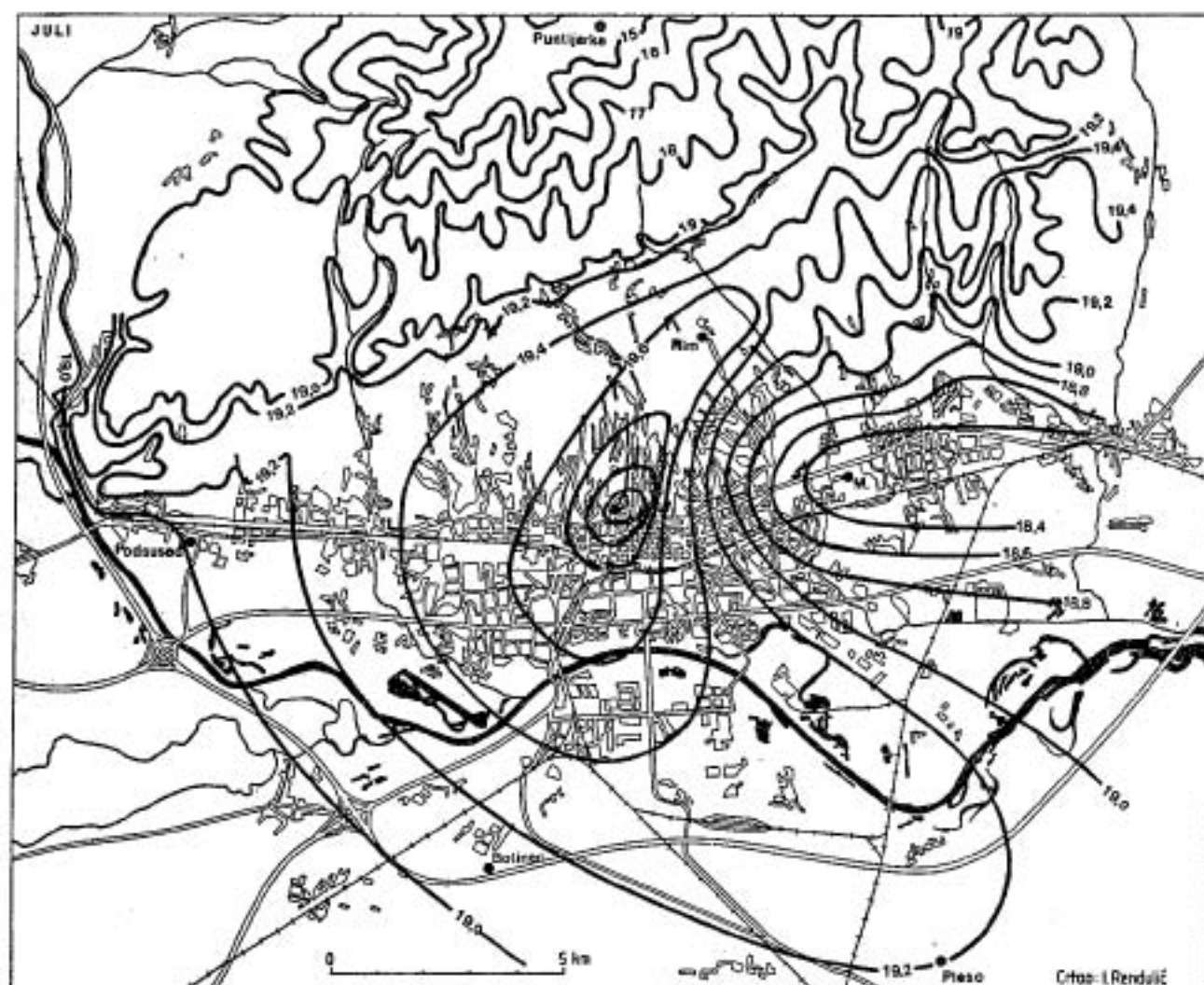
Tab. 4. The distance between the meteorological stations, temperature difference at 9 p. m. and the horizontal change of temperature in Zagreb area

	R a z l i k a						
	udalj. (m)	godina		januar		juli	
		$^{\circ}\text{C}$	m/ $0,1^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	m/ $0,1^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	m/ $0,1^{\circ}\text{C}$
Grič—Maksimira	4 900	1,8	272	1,3	380	2,2	223
Grič—Bot. vrt	1 000	0,7	143	0,6	167	0,6	167
Bot. vrt—Botinec	5 900	0,6	980	0,9	656	0,7	843

S r p a n j s k a raspodjela srednje temperature u 21 h (sl. 11) u principu je ista kao i u siječnju, što upućuje na zaključak da je tako više—manje i u svim ostalim mjesecima. Ipak treba istaknuti iz-

razito veću temperaturnu razliku između viših i nižih stanica, a to već na prvi pogled ukazuje mnogo veća gustoća (odnosno broj) izoterma. Dolina Save ispuni se relativno hladnim zrakom već ohlađenim do 21





Sl. 11. Geografska raspodjela srednje srpanjske temperature u 21 h; srednjaci iz razdoblja 1973—1980. godine

Fig. 11. Geographical distribution of mean July temperatures at 9 p. m. in the Zagreb area

h. Osobito se ističe »hladni otok« u Maksimiru i istočno od njega. Na povišenom reljefu sjeverno od Griča prelazi se u relativno topliji pojas. Pod termičkim utjecajem grada jasno se ističe »toplinski otok« koji prelazi i u nizinski dio, pa čak i preko Save. Prelaskom na padinu Medvednice srednje temperature u 21 h naglo padaju u skladu s povišenjem nadmorske visine. Vertikalni gradijent temperature između Rima i Puntijarke iznosi  $0,8^{\circ}$ , odnosno temperatura pada za  $1^{\circ}$  na svakih 128 m. Tako je izračunato da

je izoterma od  $15^{\circ}$  na 820 m,  $16^{\circ}$  na 690 m,  $17^{\circ}$  na 570 m,  $18^{\circ}$  na 440 m i  $19^{\circ}$  na oko 300 m. I u ovom slučaju može se nazrijeti veličina termičkog utjecaja samog grada ako se usporede samo nizinske stanice. Srednja temperatura u 21 h u Botaničkom vrtu bila je za  $0,8^{\circ}$  viša nego u Podususedu, za  $1,6^{\circ}$  viša nego u Maksimiru i za  $0,7^{\circ}$  viša nego u Botincu. Očito je da se veći dio tih relativno velikih temperaturnih razlika mora pripisati termičkom utjecaju grada.

## Zaključak

1. Godišnji hodovi srednjih mjesečnih temperatura u 21 h pokazuju da su svi mjeseci u prosjeku hladniji na periferiji nego u centru, što ukazuje da postoji »toplinski otok«. U godišnjem prosjeku središte nizinskog dijela Zagreba je za 1,4° topliji od Maksimira, a za 0,9° topliji od Podsuseda. To je posljedica srednjih mjesečnih razlika koje se između Botaničkog vrta i Podsuseda kreću između 0,4° u travnju i 1,6° u rujnu. Botanički vrt je u studenom za 0,8° topliji od Maksimira, a u srpnju za 2,1°. U ostalim mjesecima te su razlike između spomenutih temperatura.

2. Pod utjecajem inverzije i gušće izgradnje Gornji Grad je topliji od Donjeg Grada. Grič je u godišnjem prosjeku za 0,7° topliji od Botaničkog vrta (u pojedinim mjesecima razlike se kreću između 0,1° u lipnju do 1,1° u rujnu i listopadu), a za 1,6° je topliji od Podsuseda (razlika u studenom iznosi 1,1° i čak 2,7° u rujnu).

3. Izravnati niz temperatura u 21 h iz niza 1953—1983. god. na Gri-

ču i u Podsusedu pokazuje da je srednja godišnja temperatura u 21 h na Griču porasla za 0,2°, a u Podsusedu čak za 0,5°. Srednja temperatura u 21 h u siječnju porasla je na Griču za 1,7°, a u Podsusedu za 1,9°. Srednja temperatura u 21 h u srpnju u Podsusedu je porasla za 0,7°, a na Griču samo za 0,2°.

4. Iz temperaturnih profila Botanic—Rim vidi se da u siječnju, srpnju i godišnjem prosjeku u večernjim satima postoji izraziti topli pojas na Zagrebačkoj terasi i u Prigorju, a Savska je nizina hladnija. Cijelo gradsko područje Zagreba ima nešto više temperature u 21 h nego na periferiji, pa se i u večernjim satima, te prema tome i noću, jasno vidi »toplinski otok«.

5. Geografske karte s raspodjelom srednje temperature u siječnju i srpnju u 21 h pokazuju da se na njima očituje kombinirani utjecaj reljefa i grada. Toplinski je otok podjednako razvijen u srpnju kao i u siječnju, a izoterme se povijaju u skladu s konturom izgrađene površine. Izgleda da stanoviti utjecaj treba pripisati i fenskom efektu.

## Literatura

1. P. A. Kratzer (1956): Das Stadtklima. Braunschweig.
2. H. E. Landsberg (1958): Physical Climatology. Du Bois.
3. T. Šegota (1986): Srednja temperatura zraka u Zagrebu. Geografski glasnik 48, 13—25, Zagreb.
4. T. Šegota (1987): Maksimalne temperature zraka u Zagrebu. Radovi Geografskog odjela (zavoda) PMF Sveučilišta u Zagrebu 22, 5—18, Zagreb.
5. T. Šegota (1988): Minimalne temperature zraka u Zagrebu. Geografski glasnik 50, 7—21, Zagreb.
6. B. Makjanić (1959): Zrakoplovna meteorologija aerodroma Zagreb—Lučko, HMZ NRH, Rasprave i prikazi 3, Zagreb.
7. Sveučilište u Zagrebu, PMF, Geofizički zavod, Opservatorij Zagreb, Grič: Klimatski podaci Opservatorija Zagreb, Grič za razdoblje 1862—1967, Zagreb 1970.
8. B. Penzar (1977): 2. Temperatura zraka. Prilog poznavanju klime

- grada Zagreba, I. Sveučilište u Zagrebu, PMF, Geofizički zavod, Radovi, III serija, br. 18, 35—57, Zagreb.
9. Sveučilište u Zagrebu, PMF, Geofizički zavod, Opservatorij Zagreb, Grič: Meteorološki izvještaji (za odgovarajuće godine), Zagreb.
10. HMS SFRJ, Savezni HMZ: Meteorološki godišnjaci (za odgovarajuće godine), Beograd.
11. V. Conrad & L. W. Pollak (1950): *Methods in Climatology*, 2nd ed. Cambridge.
12. Arhiva Republičkog hidrometeorološkog zavoda SRH, Zagreb, Grič 3.
13. B. Makjanić (1977): 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.
14. N. Pleško, N. Šinik & E. Lončar (1974): Klimatski potencijal zagađenosti zraka. U: Ovisnost zagađenosti zraka u Zagrebu o meteorološkim faktorima, RHMZ SRH, Rasprave i prikazi br. 11, 65—154, Zagreb.



## Summary

## AIR TEMPERATURES IN ZAGREB AT 9 P. M.

by

T. Šegota

1. The annual march of mean monthly temperatures at 9 p. m. reveal that the peripheral stations are colder than the centre. This is a proof for the existence of a »heat island« within and above Zagreb. The difference between the centre and periphery of the mean annual temperatures at 9 p. m. varies between  $0.9^{\circ}$  and  $1.4^{\circ}$ , and the mean monthly temperatures at 9 p. m. varies between  $0.4^{\circ}$  and  $2.1^{\circ}$ .

2. Comparing the Botanical Gardens and Podsused in the Sava lowland with Grič Observatory on the Zagreb terrace one can conclude that in all months the mean temperatures at 9 p. m. are higher in Grič Observatory due to the temperature inversion. The mean annual temperature is  $0.7^{\circ}$  higher in Grič than in the Botanical Gardens, and  $1.0^{\circ}$  higher in Grič than in Podsused. The mean monthly temperature difference at 9 p. m. varies between  $0.1^{\circ}$  and  $2.7^{\circ}$ .

3. Comparison of the trend lines of mean temperatures at 9 p. m. in the centre (Grič) and in the periphery (Podsused) reveals that the trend lines are relatively steep. This means  $0.5^{\circ}$  higher mean annual temperatures at

9 p. m. in Podsused, and  $0.2^{\circ}$  higher temperatures in Grič in the period 1953—1983. Similarly, the mean January temperatures at 9 p. m. are  $1.9^{\circ}$  higher in Podsused in the periphery and  $1.7^{\circ}$  higher in Grič. The mean July temperatures at 9 p. m. are  $0.7^{\circ}$  higher in Podsused and  $0.2^{\circ}$  higher in Grič.

4. The temperature profile Botinec-Rim reveals that in January, July and in a year as a whole there is a warm belt on the foothills of the Medvednica Mountain. The centre of Zagreb is little warmer than this warm belt. However, the temperature difference is greater in the warmer than in the cold months.

5. The geographical distribution of temperatures at 9 p. m. reveals that due to the specific relief structure and areal expansion of urban agglomeration, and some other meteorological factors, the isotherms of mean January and July temperatures are curved adjusting to the urban territory discerning the »heat island«. In accordance with the wind rose one can suppose that certain importance has a foehn warming of the air descending from Medvednica Mountain.

**Dr Tomislav Šegota, red. prof.**

Geografski odjel PMF

YU. 41000 Zagreb, Marulićev trg 19.