

MINIMALNE TEMPERATURE ZRAKA U ZAGREBU*

TOMISLAV ŠEGOTA**

Uvod

Jedna od bitnih karakteristika modernog doba je neslućena urbanizacija. Mnogi su se gradovi toliko proširili da je danas općenito prihvaćena činjenica da grad modificira klimu u svom užem području. (1; 2) U ovom trenutku nije moguće utvrditi koliki je udio globalnih ili sjevernohemisferskih fluktuacija klime (neovisno o postojanju gradova), koji dio treba pripisati modifikatorskom utjecaju grada, a koji dio reljefu, odnosno visinskim razlikama, a upravo je to bitno važno u Zagrebu. Osim toga, u promatranom je razdoblju došlo do silne teritorijalne ekspanzije grada, pa u strogom smislu riječi možda i nije dopustivo uspoređivati novija i starija razdoblja. Budući da je problem važan, sve se više susrećemo s terminom urbana klima ili klima grada.

U ovom radu nastavit ćemo već započetu analizu (3; 4), prikazat ćemo srednje minimalne temperature zraka u Zagrebu. Zagreb se toliko proširio da je postao grad i u dolini Save i na povišenom rebrastom reljefu na prijelazu u Medvednicu. Svaki od ovih elemenata jako modificira minimalne temperature; to je posljedica povoljnih uvjeta za postanak inverzije temperature. Dakako, raspodjela minimalnih temperatura daleko je kompliciranija u višem dijelu Zagreba, pa se moralo simplificirati raspodjelu temperature što se očituje u »poklapanju« izoterma s izohipsama, odnosno »linearizacijom« izoterma u jednom dijelu gdje postoji rebrasti reljef, gdje je njihovo pružanje u stvarnosti mnogo kompliciranije. Glavni je uzrok tome nedostatak podataka sa izgrađenog područja gdje termički utjecaj grada barem djelomično poništava termički utjecaj reljefa. Ukratko, na izgrađenoj teritoriji nije dopušteno »poklapanje« izoterma s izohipsama. I u ovom primjeru treba računati na fenski efekt, posebno kad se radi o tipu vremena s dominantnim sjevernim strujanjem. (5)

Podaci

Na teritoriji Zagreba postoji samo jedna meteorološka stanica, Opservatorij Zagreb-Grič, s dugim, homogenim nizom minimalnih temperatura. Na području Zagreba postoji još nekoliko meteoroloških stanica, ali je za njih značajno da ne raspolažu dugim nizovima minimalnih temperatura. 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 prekinuo mjesečni, odnosno godišnji niz. Podaci su najčešće preuzeti onakvi kakvi su zapisani u arhivskom materijalu ili su publicirani, a nije se prije toga raspravljalo o njihovoj homogenosti, ili pak o smještaju stanice ili instrumenata, konkretno minimalnog termometra. Ukratko, minimalne su temperature u većini slučajeva preuzete iz publiciranih ili nepubliciranih arhivskih izvora.

* Recenzenti prof. dr. Josip Riđanović i doc. dr. Andrija Bognar

** 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 SIZ-a za znanstveni rad SR Hrvatske.

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

Navedeni prekidi motrenja uzrok su da se usprkos naoko relativnom obilju numeričkih podataka mogao koristiti samo manji dio, odnosno najčešće su se mogli koristiti samo kratki nizovi minimalnih temperatura. Sve je to uzrok da su se morale interpolirati minimalne temperature za neke godine, ili samo za neke mjesece, jer se samo tako moglo koristiti sve stanice u jednom relativno duljem nizu godina. Metodom diferencije ispravljani su neki evidentno pogrešni podaci.

Utjecaj »toplinskog otoka« u gradu, a time i u Zagrebu, naoko je malen jer se najčešće uzimaju srednje vrijednosti temperature. Međutim, kad bi se minimalne temperature analizirale odvojeno samo za vrijeme vedra neba i za tišine onda bismo u takvim uvjetima otkrili znatno veći termički utjecaj grada. Najbolje se to može ilustrirati raspodjelom minimalne temperature u izuzetno hladnim danima.

Budući da ključno značenje imaju podaci iz »donjeg« Zagreba, analiza i zaključci se moraju bazirati na podacima o minimalnim temperaturama stanice Botanički vrt (ili »Kolodvor«, jer se nalazi u njegovoj blizini). Ne radi se o »savršenoj« reprezentativnosti je je termometarska kućica bila u parku gdje su minimalne temperature bile nešto drukčije nego u okolnom izgrađenom području.

Usporedenje grafova minimalnih temperatura stanica, s hodom minimalnih temperatura na Griču bio je najvažniji indikator prihvaćanja nekog temperaturnog podatka. Naime, minimalne temperature su na raznim stanicama bile različite, ali se – zbog relativne blizine – teško može prihvatiti postojanje različitih temperaturnih trendova.

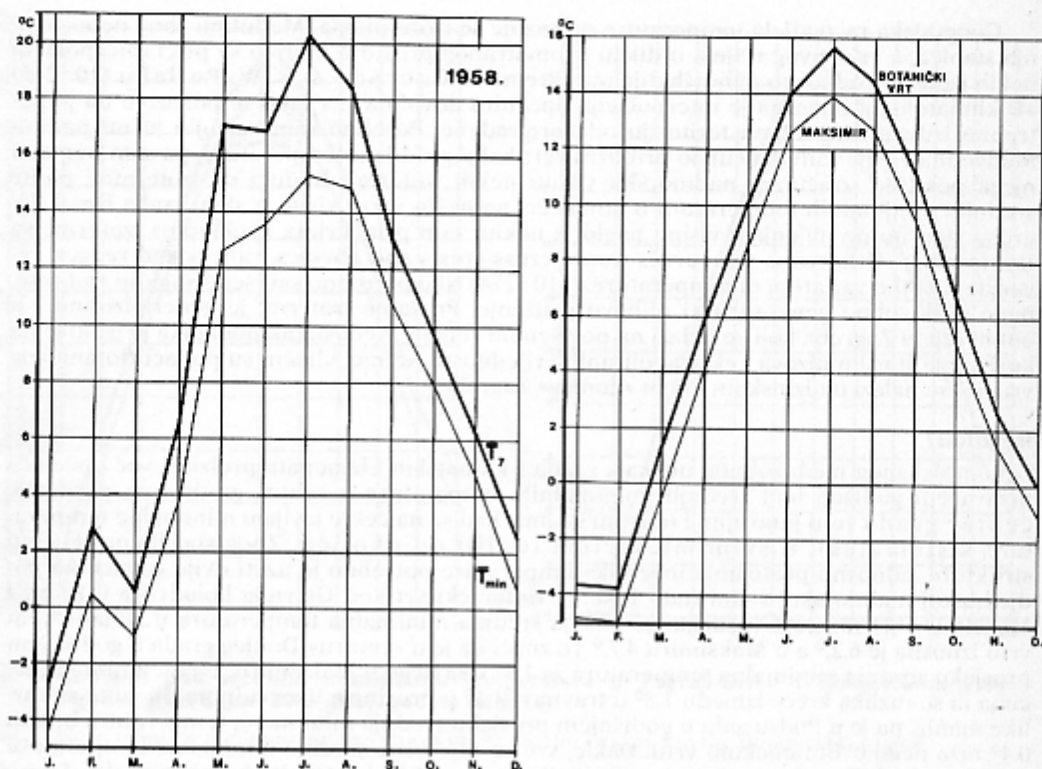
Kontrolom je utvrđeno da je potrebno ispraviti slijedeće podatke o minimalnoj temperaturi. Siječanjska srednja minimalna temperatura 1961. na Griču bila je -2.3° , a ne 2.1° , kako stoji u »Meteorološkom izvještaju«. Siječanjska srednja minimalna temperatura 1963. na Griču bila je -7.1° , a ne -7.0° kako je u »Meteorološkom izvještaju«. Za 1977. godinu u »Meteorološkom izvještaju« (na 1. str.) stoji za Grič da je siječanjska srednja minimalna temperatura bila 1.0° , a na 37. str. krivo je stavljeno -2.3° ; točan je podatak 1.0° . Kontrolom je utvrđeno da su pobrkane temperature i za većinu ostalih mjeseci (37. str.). U veljači je srednja minimalna temperatura bila 3.8° (a ne -2.5°), u ožujku 6.4° (a ne -0.4°), u travnju 6.0° (a ne 3.8), u lipnju 15.4° (a ne 13.1°), u srpnju 16.2° (a ne 15.1), rujnu 11.0° (a ne 9.0°), u listopadu 9.3° (a ne 7.4°), u prosincu -1.1° (a ne -5.4°). Prosjek za godinu iznosi 8.4° (a ne 5.8°). Usporedbom Botinca i Plesa (i drugih stanica) izlazi da je siječanjska srednja minimalna temperatura iznosila -3.4° (a ne -0.3°). Svibanjska srednja minimalna temperatura 1953. u Botaničkom vrtu, prema Botincu, iznosila je 10.4° (a ne 6.4°). Usporedbom grafova Griča i Podsuseda pokazalo se da postoji neprihvatljiva razlika za godišnju srednju minimalnu temperaturu na Griču. Kontroliran je zbor mjesečnih temperatura u »Klimatskim podacima Opservatorija Zagreb, Grič 1862–1967« na 19. str. prvi red odozgo, pa je utvrđeno da je srednja godišnja minimalna temperatura 1961. god. na Griču iznosila 8.3° (a ne 8.9° kako je publicirano).

Interpolacijom su izračunate slijedeće minimalne temperature. Siječanjska srednja minimalna temperatura u Podsusedu 1973. (prema Griču) iznosila je -2.6° . Srednja minimalna temperatura u veljači 1954. u Podsusedu je, prema Botaničkom vrtu, iznosila 5.5° . Godišnja srednja minimalna temperatura, prema Griču, je 1963. iznosila 5.1° , 1970. god. 5.6° i 1971. god. 5.5° . Godišnja je srednja minimalna temperatura 1960. u Botaničkom vrtu, prema Botincu, iznosila 6.8° . Godišnja srednja minimalna temperatura 1952. u Botincu je, prema Griču, iznosila 4.9° . Siječanjska srednja minimalna temperatura 1981. u Rimu je, prema Griču, iznosila -4.8° , a godišnja srednja minimalna temperatura iznosila je 1978. god. 6.1° , a 1979. god. 7.3° , 1980. god. 6.2° i 1981. god. 7.2° .

Metoda rada

Po konvenciji, temperatura se – uz ostale termine – mjeri i u 7 h. Međutim, to nije uvijek termin s minimalnom temperaturom u pripadajućem danu. A utjecaj grada, i još više reljefa, odnosno nadmorske visine, osobito se očituje na minimalnim temperaturama. Poznato je da minimalna temperatura ne mora biti u 7 h, pa se i u ovom radu ne precizira u koliko je sati bila minimalna temperatura, tim više što ona u raznim stanicama na gradskoj teritoriji ne mora biti uvijek u istom satu, slično kao što najniže temperature u bilo kojoj godini ne moraju uvijek biti istog jutra određenog mjeseca. Razlike su toliko velike da to zaslužuje posebnu napomenu. Tako je u Zagreb-Griču (6) u razdoblju 1941–1950. god. u siječnju dnevna minimalna temperatura u 25 % slučajeva bila između 23 i 24 h, u 10.6 % slučajeva između 5 i 6 h. Ovaj podatak iznenađuje, ali općenito za zimske je mjesece karakteristično da su minimalne temperature najčešće ili vrlo česte od 23–24 h. »To se događa u anticiklonalnim situ-

MINIMALNE TEMPERATURE



Sl. 1. Godišnji hod srednjih mjesečnih temperatura u 7 h i srednjih minimalnih mjesečnih temperatura u Botaničkom vrtu («Kolodvor») 1958. godine (6; 8; 9)

Fig. 1. Annual march of mean monthly minimum, and mean monthly temperatures at 07 h in the Zagreb-Grič Observatory

Sl. 2. Srednje minimalne temperature u Botaničkom vrtu («Kolodvor») i u Maksimiru; 7-godišnji srednjaci 1953-1959. godine (6; 9; 11)

Fig. 2. Mean monthly minimum temperatures in the Botanical Gardens in the centre, and in Maksimir on the periphery

acijama ili kod trajne hladne advekcije, kad se temperatura zraka stalno spušta pa je svaki dan nešto hladniji od prethodnoga. (7, str. 50) Kontrolom sam utvrdio da u tab. 26. u drugom stupcu (6) zbroj nije točan, tj. ne daje 100 %, nego 91.8 %. Ta razlika, 8.2 %, je pribrojena vrijednosti 5.9 % za razdoblje 6-7 h, pa bi to (5.9 + 8.2) dalo 14.1 %. (Slično kao i u veljači gdje je maksimum bio između 6 i 7 h.) Dakle, minimalne temperature u siječnju na Griču su se javljale najčešće (u 23 % slučajeva) od 23 do 24 h, između 6 i 7 h (u 14.1 % slučajeva), te između 5 i 6 h (u 10.6 % slučajeva).

U srpnju (odnosno u toplim mjesecima) minimalne su se temperature javljale rano ujutro, u srpnju najčešće između 4 i 5 h (u 42.8 % slučajeva), te između 3 i 4 h (u 14.3 % slučajeva) itd.

Između srednjih minimalnih temperatura u pojedinim mjesecima i srednjih minimalnih temperatura u jutarnjem terminu, u 7 h, postoje velike razlike. To se lijepo vidi na sl. 1, iako je 1958. god. izabrana slučajno: manje ili više je slično i u drugim godinama. Već se na prvi pogled nazire opće pravilo. Mjesečne srednje minimalne temperature su u svim mjesecima niže od temperatura očitanih u 7 h. Razlike su osobito velike u najtoplijim mjesecima.

Geografska raspodjela temperature prikazuje se izotermama. Međutim, zbog nepostoja- nja stanica, a vrlo živog reljefa u dijelu promatranog prostora moralo se prići interpolaciji nekih izoterma, odnosno njihovih dijelova. Prema V. Conradu & L. W. Pollaku (10: 265) »U klimatologiji linearna je interpolacija općenito dovoljna...« iako se pokazalo da je po- trebno izdvojiti izgrađenu teritoriju od neizgrađene. Posebno sam izdvojio južnu padinu Medvednice gdje sam izračunao približni vertikalni gradijent temperature, pa sam pomoću njega pokušao izračunati nadmorsku visinu nekih izoterma. Budući da izotermne plohe srednjih minimalnih temperatura u atmosferi na nešto većoj visini u sloju zraka iznad Za- greba sigurno ne mijenjaju visinu naglo, u nekim sam primjerima »poklopio« izoterme sa izohipsama. »Otherwise, the curves would cross crests and abysses, valleys and ridges, re- gardless of the variation of temperature.« (10: 274) Nije potrebno savršeno slijediti izohipse, nego je dovoljno generalizirati njihovo pružanje. Pružanje izoterma je generalizirano i u onom dijelu Zagreba koji se nalazi na povišenom reljefu. Nedostatak podataka prisilio je na korištenje starijih nizova i ekstrapoliranih vrijednosti. Naime, ključni su podaci Botaničkog vrta jer se nalazi u nizinskom dijelu »donjeg« Zagreba.

Rezultati

Iz kompleksnog međusobnog utjecaja grada i klimatskih elemenata proizlazi već općenito prihvaćeni godišnji hod srednjih minimalnih temperatura u centru grada i na periferiji: centar grada je u jutarnjim i noćnim satima, kad se najčešće javljaju minimalne tempera- ture, sistematski, u svim mjesecima topliji od okolice. Zbog specifične reljefne strukture, odnosno postojanja inverzije temperature potrebno je uzeti dvije stanice na po- djednako nadmorskoj visini (tab. 1: sl. 2): Botanički vrt kod Glavnog kolodvora (116 m) i Maksimir (121 m: stara lokacija). Godišnja srednja minimalna temperatura u Botaničkom vrtu iznosila je 6,2,° a u Maksimiru 4,7.° To znači da je u »centru« Donjeg grada u godišnjem prosjeku srednja minimalna temperatura za 1,5° viša nego u Maksimiru. U pojedinim mjeseci- ma ta se razlika kreće između 1,8° u travnju i 1,1° u prosincu. U zapadnom dijelu te su raz- like manje, pa je u Podsusedu u godišnjem prosjeku srednja minimalna temperatura bila za 0,4° niža nego u Botaničkom vrtu. Dakle, sve su mjesečne srednje minimalne temperature više u središtu Zagreba nego na periferiji. Prema tome, kad se promatra nizinski dio Zagre- ba opaža se da se u raspodjeli srednjih minimalnih temperatura nazire »toplinski otok«: srednje minimalne temperature rastu od periferije prema centru!

Usporedbom Griča s ostalim stanicama lako se dolazi do zaključka da je Grič topliji od Botaničkog vrta (sl. 3) i od Podsuseda (sl. 4). Međutim, uzrok tih razlika je kompleksniji:

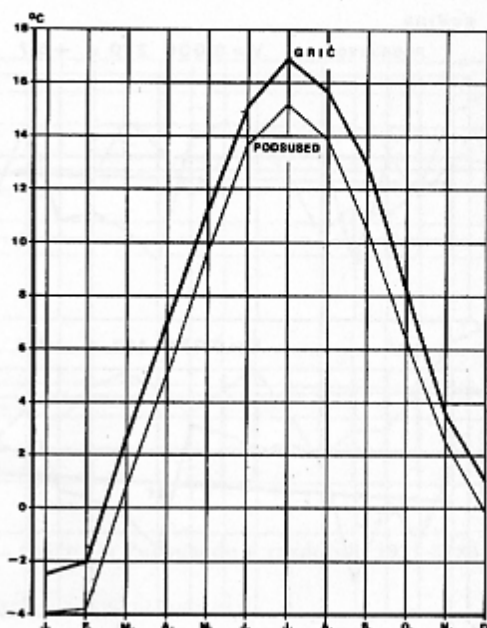
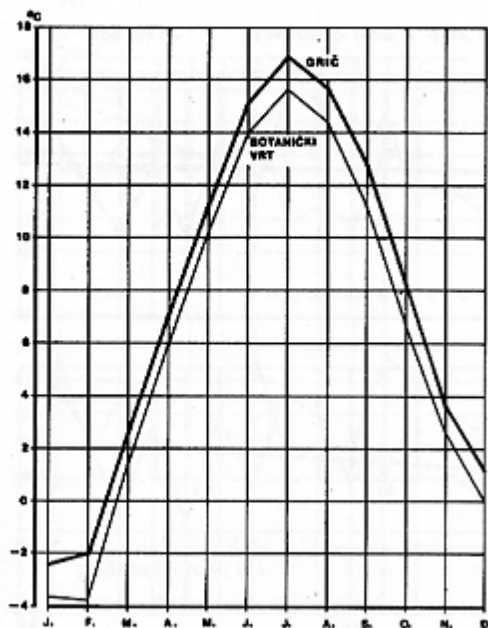
Tablica 1.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God.
Botanički vrt	-3,6	-3,7	1,3	5,9	10,1	14,0	15,6	14,4	11,2	6,6	2,6	0,0	6,2
Podsused	-4,0	-3,8	0,9	5,1	9,7	13,7	15,2	13,9	10,5	6,3	2,5	-0,1	5,8
Grič	-2,4	-2,0	2,7	7,0	11,3	15,1	16,9	15,7	12,9	8,2	3,6	1,1	7,5
Maksimir	-4,9	-5,0	-0,4	4,1	8,5	12,6	13,9	12,7	9,5	5,1	1,4	-1,1	4,7
Diferencija Bot. vrt-Podsused	0,4	0,1	0,4	0,8	0,4	0,3	0,4	0,5	0,7	0,3	0,1	0,1	0,4
Diferencija Bot. vrt-Grič	-1,2	-1,7	-1,4	-1,1	-1,2	-1,1	-1,3	-1,3	-1,7	-1,6	-1,0	-1,1	-1,3
Diferencija Bot. vrt-Maksimir	1,3	1,3	1,7	1,8	1,6	1,4	1,7	1,7	1,7	1,5	1,2	1,1	1,5
Diferencija Grič-Podsused	1,6	1,8	1,8	1,9	1,6	1,4	1,7	1,8	2,4	1,9	1,1	1,2	1,7
Diferencija Grič-Maksimir	2,5	3,0	3,1	2,9	2,8	2,5	3,0	3,0	3,4	3,1	2,2	2,2	2,8

Tab. 1. Srednje minimalne temperature zraka na teritoriji Zagreba: 7-godišnji srednjaci 1953-1959. godine (6; 9; 11)

Tab. 1. Mean monthly and annual minimum temperatures in Zagreb area, and the tempera- ture difference between various stations

MINIMALNE TEMPERATURE



Sl. 3. Godišnji hod srednjih minimalnih temperatura u Zagreb-Griču i Botaničkom vrtu: 7-godišnji srednjaci 1953-1959. godine (6; 9; 11)

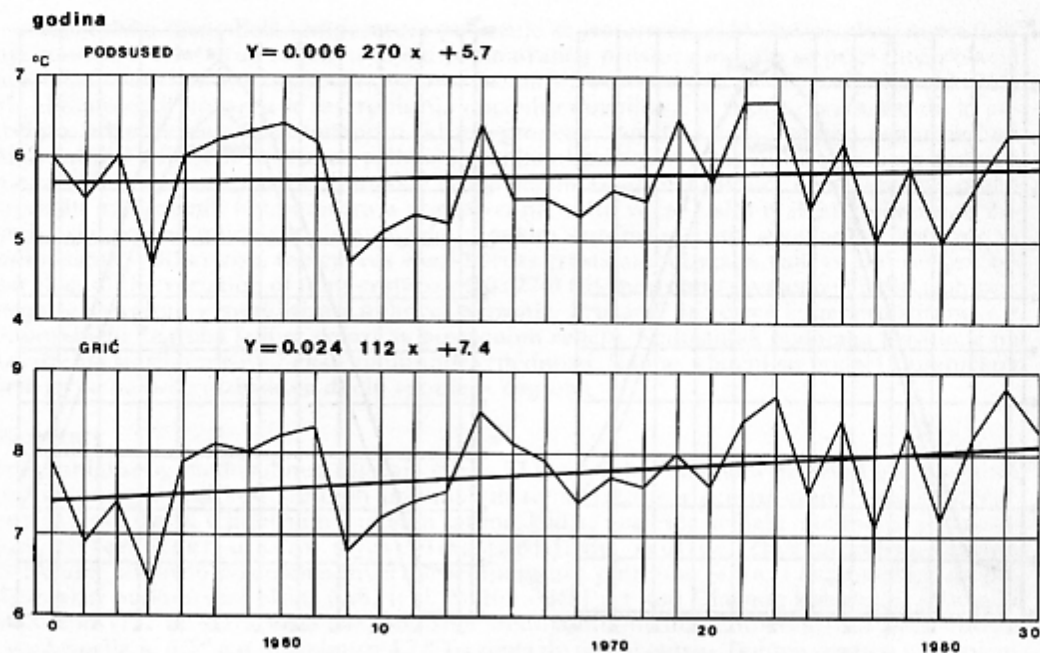
Fig. 3. Mean monthly minimum temperatures in the Zagreb-Grič and in the Botanical Gardens

Sl. 4. Godišnji hod srednjih minimalnih temperatura u Zagreb-Griču i Podsusedu: 7-godišnji srednjaci 1953-1959. godine (6; 9; 11)

Fig. 4. Mean monthly minimum temperatures in the Zagreb-Grič and in Podsused (on the periphery)

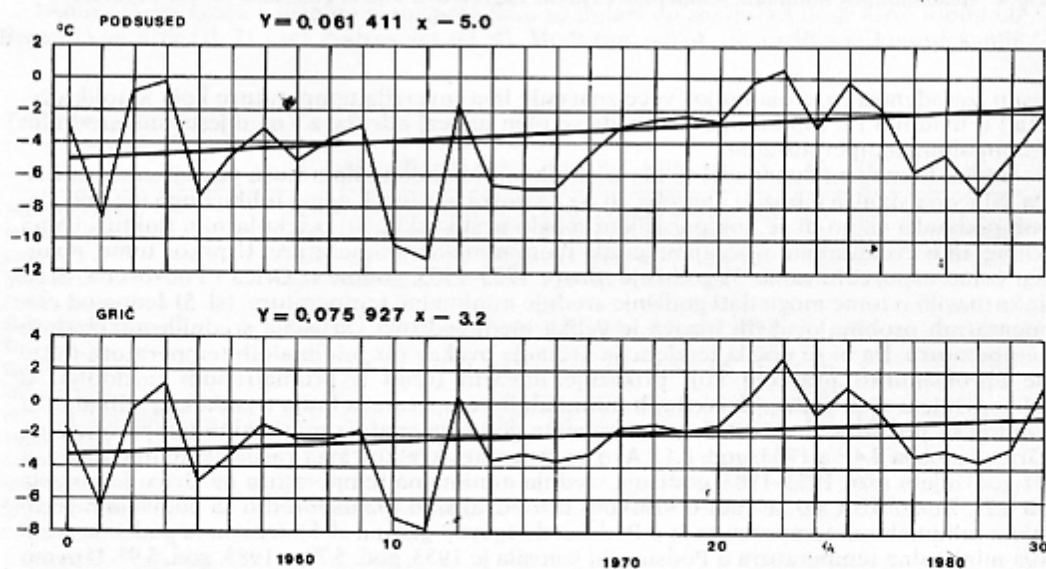
osim izgrađenosti, vjerojatno još veće značenje ima inverzija temperature koja je toliko česta i u hladnim i u toplim mjesecima da se njen utjecaj odražava i na mjesečnim srednjim minimalnim temperaturama.

Jedini homogeni dugogodišnji niz srednjih minimalnih temperatura postoji samo sa Griča. Ni jedna stanica u blizini Zagreba, ili na njegovoj periferiji, nema toliko dugo niz pouzdanih podataka čijom bi se komparacijom moglo nešto zaključiti o sekularnim fluktuacijama klime, ili o eventualnim utjecajima grada na minimalne temperature. Usprkos tome, pokušat ćemo usporediti samo 31-godišnje nizove 1953-1983. godine iz Griča i Podsuseda. Prvu informaciju o tome mogu dati godišnje srednje minimalne temperature. (sl. 5) Jedna od elementarnih osobina ovakvih nizova je velika međugodišnja varijacija srednjih minimalnih temperatura. Da bi se uočila tendencija kretanja ovakav niz minimalnih temperatura može se aproksimirati pravcem koji prikazuje linearni trend u promatranom razdoblju. U 31-godišnjem nizu godišnjih srednjih minimalnih temperatura linija trenda kao »dinamički srednjak« pokazuje da je 1953. god. izravnata godišnja srednja minimalna temperatura na Griču iznosila 7.4° a 1983. god. 8.1° . Ako se zanemare kratkotrajne varijacije temperature, u 31-godišnjem nizu 1953-1983. godišnja srednja minimalna temperatura na Griču je porasla za 0.7° . Bez obzira što se radi o kratkom nizu, ovaj smo niz usporedili sa godišnjom srednjom minimalnom temperaturom u Podsusedu (gornji graf na sl. 5). Izravnata godišnja srednja minimalna temperatura u Podsusedu iznosila je 1953. god. 5.7° , a 1983. god. 5.9° . U ovom je kratkom razdoblju godišnja srednja minimalna temperatura porasla za 0.2° . Razlika između 0.7° na Griču i 0.2° u Podsusedu je - s obzirom na udaljenost - vrlo velika, pa nema sumnje da je izgrađenost Zagreba i oslobađanje »umjetne« topline jedan od glavnih uzroka porasta godišnje srednje minimalne temperature.



Sl. 5. Godišnje srednje minimalne temperature na Griču i u Podsjedu u razdoblju 1931-1983. godine (6; 8; 9; 11)

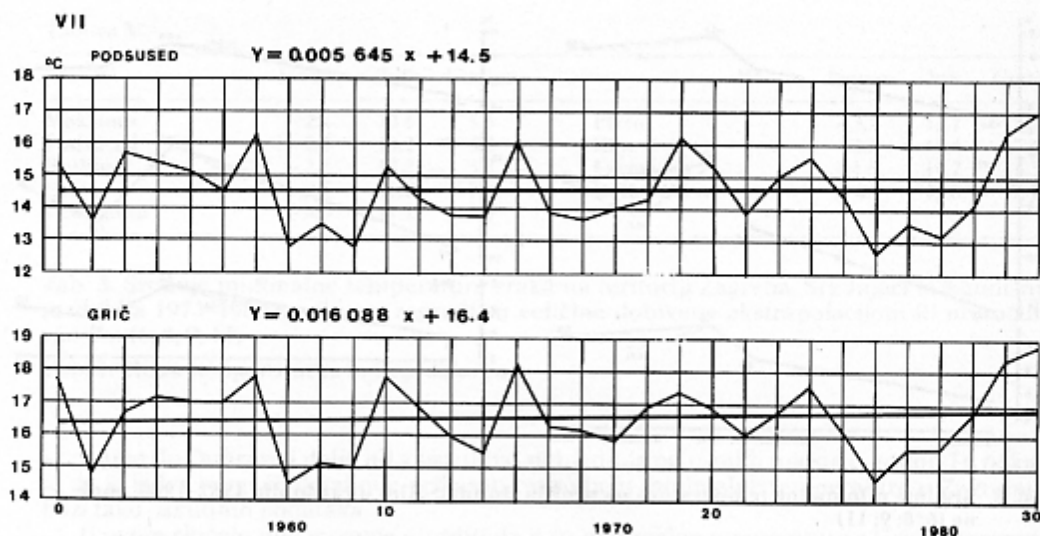
Fig. 5. Mean annual minimum temperatures in Zagreb-Grič and in Podsjed



Sl. 6. Siječanske srednje minimalne temperature na Griču i u Podsjedu u razdoblju 1931-1983. godine (6; 8; 9; 11)

Fig. 6. Mean January minimum temperatures in Zagreb-Grič and in Podsjed

MINIMALNE TEMPERATURE



Sl. 7. Srpanjske srednje minimalne temperature na Griču i u Podšusedu u razdoblju 1931–1983. godine (6; 8; 9; 11)

Fig. 7. Mean July minimum temperatures in Zagreb-Grič and in Podšused

Još detaljnija informacija dobija se analizom mjesečnih srednjih minimalnih temperatura. Na sl. 6 prikazan je 31-godišnji niz siječanjskih srednjih minimalnih temperatura na Griču i u Podšusedu. Kad se zanemare međugodišnje varijacije izlazi da je izravnata siječanjska srednja minimalna temperatura 1953. u Podšusedu iznosila -5° , a 1983. god. -3.2° , što znači da je porasla čak za 1.8° . Istovremeno na Griču je izravnata srednja minimalna temperatura u siječnju porasla sa -3.2° 1953. god. na -0.9° 1983. god. Razlika je iznosila čak 2.3° , dakle više nego u Podšusedu (1.8°). Nema sumnje da barem jedan dio ovog porasta srednje minimalne temperature u siječnju treba pripisati termičkom utjecaju Zagreba.

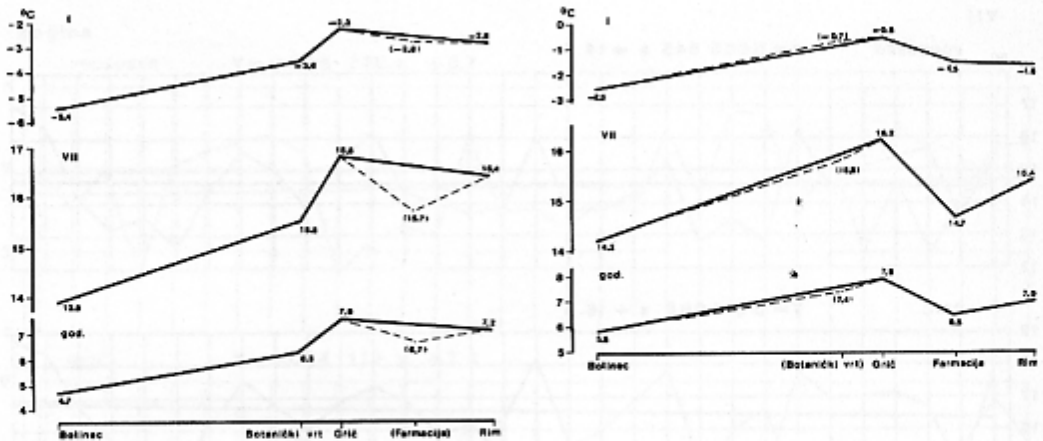
I konačno, srednje minimalne temperature u srpnju (sl. 7). Izravnata srednja minimalna temperatura u Podšusedu porasla je sa 14.5° 1953. god. na 14.7° 1983. god., tj. porasla je za 0.2° . Na Griču je izravnata srednja minimalna temperatura porasla sa 16.4° 1953. god. na 16.8° 1983. god., tj. porasla je za 0.4° , tj. dvostruko više nego u Podšusedu. Nema sumnje da barem jedan dio ovog »otopljanja« treba pripisati termičkom utjecaju Zagreba.

Tablica 2.

	Botinec (116)	Kolodvor (116)	Grič (157)	Farmacija (195)	Rim (220)
1952–1960					
januar	-5.4	-3.6	-2.3	(-2.8)	-2.9
juli	13.9	15.5	16.8	(15.7)	16.4
godina	4.7	6.3	7.6	(6.7)	7.2
1973–1980					
januar	-2.5	(-0.7)	-0.5	-1.5	-1.6
juli	14.2	(15.8)	16.2	14.7	15.4
godina	5.8	(7.4)	7.9	6.5	7.0

Tab. 2. Srednje minimalne temperature na profilu Botinec–Rim u razdoblju 1952–1960. i 1973–1980. godine (6; 8; 9; 11)

Tab. 2. Mean January, July, and annual temperatures between Botinec and Rim



Sl. 8. Srednje minimalne temperature na profilu Botinec-Rim u razdoblju 1952-1960. godine (6; 8; 9; 11)

Fig. 8. Mean minimum temperatures between Botinec and Rim for the period 1952-1960

Sl. 9. Srednje minimalne temperature na profilu Botinec-Rim u razdoblju 1973-1980. godine (6; 8; 9; 11)

Fig. 9. Mean minimum temperatures between Botinec and Rim for the period 1973-1980

Zbog kompleksne reljefne strukture područja u kojem se nalazi Zagreb potrebno je upozoriti na potrebu upoznavanja raspodjele srednje minimalne temperature između stanica koje se nalaze na najvažnijem profilu, od Botinaca do Puntijarke, odnosno Sljemena (tab. 2). Posebno ćemo izdvojiti razdoblje 1952-1960. god. (sl. 8) Prilikom crtanja ovog grafikona bitno je važno istaći da su postojali podaci za Botanički vrt («Kolodvor»), ali nisu postojali podaci za stanicu Farmacija. Da minimalnih temperatura na toj stanici došlo se ekstrapolacijom. Ako se analiziraju samo minimalne temperature koje su izmjerene (puna crta) onda se lako može utvrditi jasna zakonomjernost. I u godišnjem prosjeku i za sječanj i za srpanj (a jasno i za sve ostale mjesece) vrijedi pravilo da su srednje minimalne temperature najniže u reljefno najnižem dijelu Zagreba, dakle u dolini Save. Približavanjem Botaničkom vrtu minimalne temperature postupno rastu, a naglo skaču prelaskom na »Zagrebačku terasu« na kojoj se nalazi Grič. Nema sumnje da je najvažniji uzrok ovog »temperaturnog skoka« inverzija temperature, a manji dio treba pripisati termičkom utjecaju grada. Čak i ako se uzme da su ekstrapolirane temperature za Farmaciju točne, za većinu mjeseci se može uzeti da se na povišenom terenu sjeverno od Griča razvija topli pojas. Sudeći po podacima Farmacije to nije kontinuirani pojas nego vjerovatno treba izdvojiti toplije hrptove od hladnijih potočnih dolina.

Potrebno je razmotriti isti temperaturni profil, ali iz razdoblja 1973-1980. god. (sl. 9) Iz postojećih podataka slijedi sličan zaključak kao i za prethodni, »stariji« profil. Srednje minimalne temperature rastu od doline Save prema Griču, ali ekstrapolirani podaci za Botanički vrt ne pokazuju (ako je taj postupak ispravan) da minimalne temperature naglo skaču od središta grada prema Griču. Znatno niže srednje minimalne temperature na stanici Farmacija nego u Rimu ukazuju na diskontinuitet toplog pojasa sjeverno od Griča. To znači da je vjerovatno ispravna pretpostavka da taj disecirani reljef treba lučiti na toplije više hrptove i hladnije niže potočne doline. Naime, takva reljefna struktura omogućuje noćno dreniranje hladnijeg zraka sa Medvednice, pa se minimalne temperature dviju bliskih stanica mogu znatno razlikovati. Već je nagoviještena takva mogućnost. (12:126 str.) »Mjesta na kojima se u savsku ravnicu kao nekim kanalima slijeva hladni zrak sa Zagrebačke gore (na pr. kraj Kukuljevićeve ulice i početka Zelengaja, Dežmanova prolaza, dolina Medveščaka, područje od Maksimir-

MINIMALNE TEMPERATURE

Tablica 3.

	Januar	Juli	Godina		Januar	Juli	Godina
Maksimir	-2.4	13.6	5.5	Pleso	-3.2	13.7	5.1
Podsused	-2.3	14.2	5.8	Rim	-1.6	15.4	7.0
Botinec	-2.5	14.2	5.8	Farmacija	-1.5	14.7	6.5
Grič	-0.5	16.2	7.9	Botanički vrt	(-0.7	15.8	7.4)
Puntijarka	-4.5	11.2	3.2				

Tab. 3. Srednje minimalne temperature zraka na teritoriji Zagreba. Srednjaci iz 8-godišnjeg razdoblja 1973–1980. godine; u zagradi su veličine dobivene ekstrapolacijom ili preračunavanjem (6; 8; 9; 11)

Tab. 3. Mean temperatures in Zagreb area

ske šume do Dubrave i dalje itd.« osjetljivo su hladnija od ostalih mjesta u gradu. To pokazuje da je jedva moguće detaljnije prikazati raspodjelu minimalne temperature u Zagrebu na bazi tako oskudnih podataka.

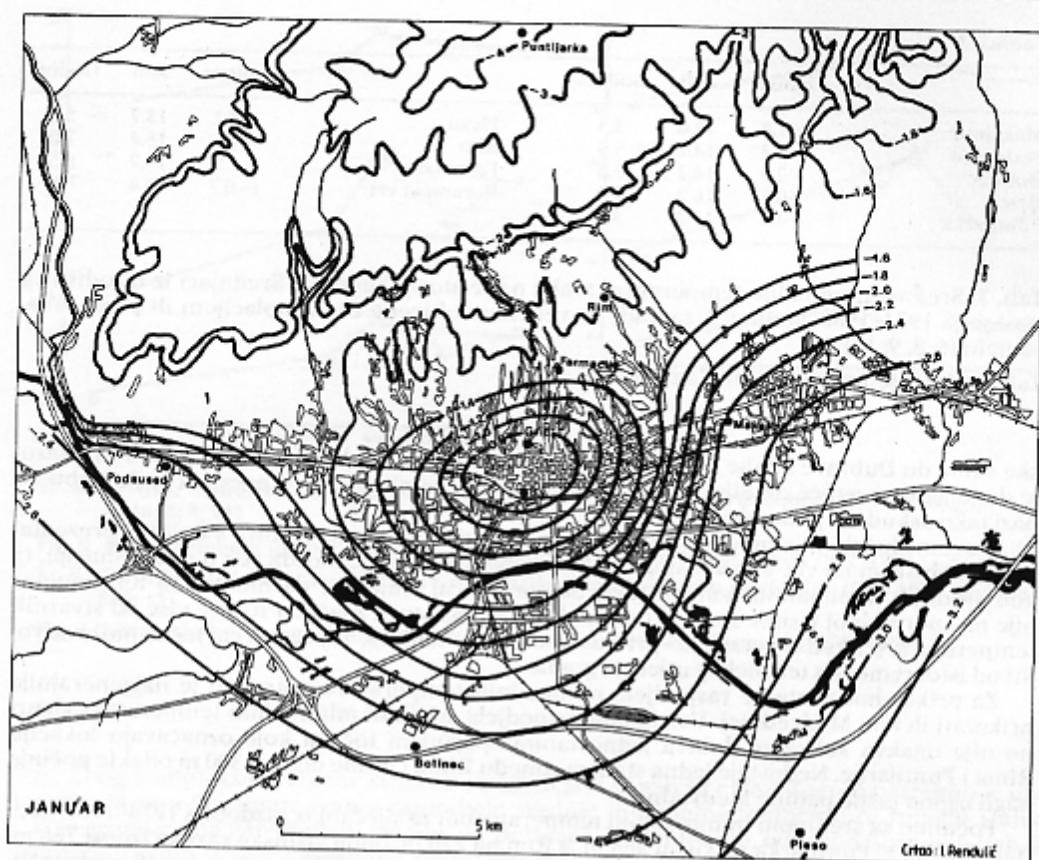
U ovom slučaju nije moguće utvrditi da li su minimalne temperature s Griča reprezentativne, s obzirom na već ukazano smještanje termometara. Naime, možda se i u ovom slučaju, tj. kod srednjih minimalnih temperatura, osjeća utjecaj činjenice da minimalni termometar nije na »normalnoj visini« što kod minimalnih temperatura znači da su one više od stvarnih temperatura, jer kod inverzije je »pri tlu« zrak dosta hladniji. Taj se utjecaj teško može odvojiti od istovremenog termičkog utjecaja grada.

Za prikaz horizontalne raspodjele minimalnih temperatura potrebno je najgeneralnije prikazati ih i na Medvednici. Vertikalna raspodjela srednjih minimalnih temperatura sigurno nije onakva kakva se dobiva jednostavnim spajanjem točaka koje označavaju lokaciju Rima i Puntijarke. Nedostaje jedna stanica između Rima i visine od oko 300 m odakle počinje nagli uspon južne padine Medvednice.

Počnimo sa srednjom minimalnom temperaturom za siječanj iz razdoblja 1973–1980. god. (tab. 3). Ako je Puntijarka na visini 988 m, a Rim na 220 m, onda visinska razlika iznosi 768 m. Ako je srednja minimalna temperatura na Puntijarci iznosila -4.5° , a u Rimu -1.6° , onda razlika iznosi -2.9° . Dijeljenjem temperaturne razlike (2.9°) s razlikom u nadmorskoj visini (768 m) dobiva se vertikalni gradijent temperature 0.38° (na 100 m), odnosno dijeljem razlike u nadmorskoj visini s temperaturnom razlikom dobivamo da se temperatura mijenja za 1° na 132 m visinske razlike. Tako se jednostavno dolazi do rezultata da je na 273 m srednja minimalna temperatura -1.8° , na 326 m -2° , na 590 m -3° , te na 856 m -4° .

Pomoću ovih podataka moglo se nacrtati približnu geografsku raspodjelu srednjih minimalnih temperatura u siječnju (sl. 10) u širem zagrebačkom području. To je primjer raspodjele srednjih minimalnih temperatura 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. Dolina Save i niski kraj oko Maksimira i istočno od njega su izrazito hladniji. To je posljedica čestih noćnih inverzija u tom niskom kraju. Zrak se 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 razlike u zagrijavanju treba pripisati utjecaju magle, koja je znatno češća u nizini, nego na višem reljefu sjeverno od Griča. Donji grad se dodatno jače zagrijava, pa se jasno vidi da postoji »toplinski otok«, koji je definiran izotermom od -1.6° . Iznad ovog toplog pojasa sjeverno od Griča, s porastom nadmorske visine na padinama Medvednice srednja minimalna temperatura opada. Budući da u ovom razdoblju nije radila stanica Botanički vrt, a opreznost nameće potrebu izbjegavanja ekstrapolacije, red veličine termičkog utjecaja samog grada može se nazrijeti iz temperaturnih nizova 1953–1959. god. za siječanj (tab. 1) samo za stanice u ravnici. Botanički je vrt bio za 0.4° topliji od Podsuseda, za 1.4° topliji od Maksimira i za 1.8° topliji od Botinca.

Srpanjska raspodjela srednje minimalne temperature (sl. 11) u principu je ista kao i u siječnju, što znači da je tako i u svim ostalim mjesecima. Dolina Save ispuni se relativno hladnim zrakom ohlađenim u toku noći. Osobito se ističe »hladni otok« u području Maksimira i

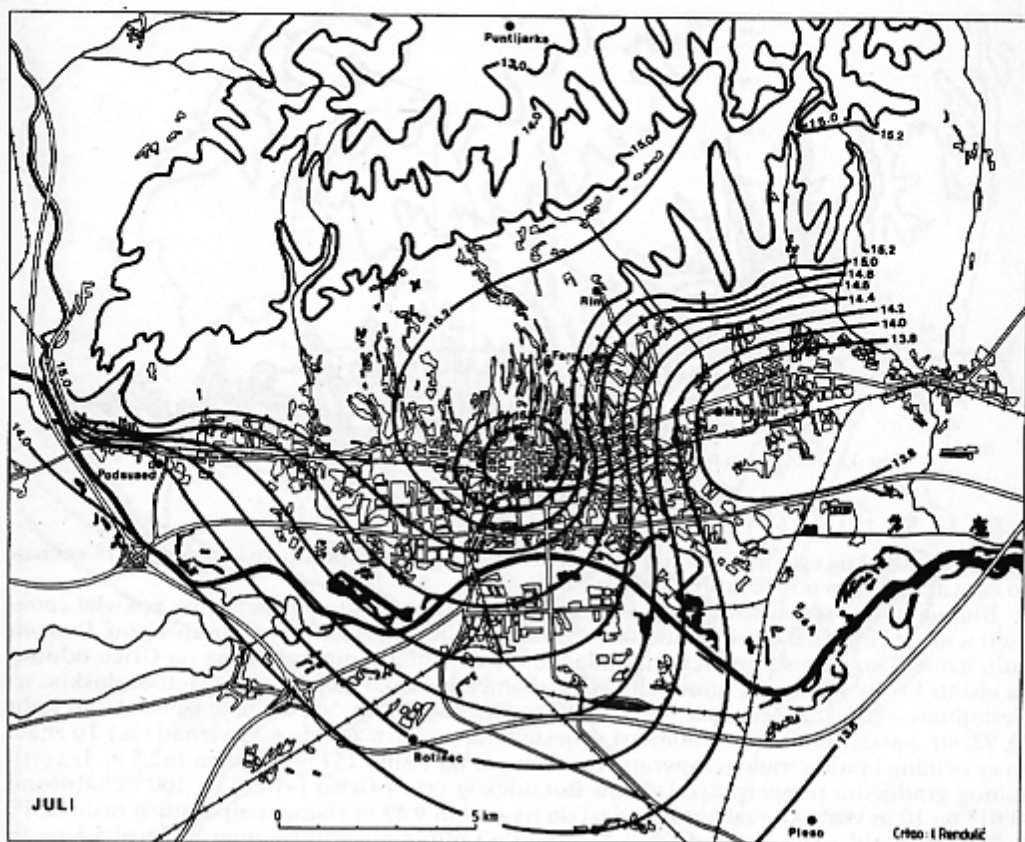


Sl. 10. Geografska raspodjela siječanjske srednje minimalne temperature: srednjaci iz razdoblja 1973–1980. godine.

Fig. 10. Geographical distribution of average January minimum temperatures in the Zagreb area

istočno od njega. Na povišenom reljefu sjeverno od Griča prelazi se u relativno topliji pojas. Prelaskom na padinu Medvednice srednje minimalne temperature naglo padaju u skladu s povišenjem nadmorske visine. Vertikalni gradijent temperature između Rima i Puntijarke iznosi oko 0.55° , odnosno temperatura padne za 1° na svakih 183 m. Tako je izračunato da je izoterma od 15° na 293 m, od 14° na 476 m, 13° na 659, te 12° na 842 m. U najgušće izgrađenom dijelu grada održao se »toplinski otok« koji, međutim, nije toliko prostran i intenzivan kao u siječnju. I u ovom slučaju može se nazrijeti veličina termičkog utjecaja samog grada ako se usporede samo nizinske stanice. Budući da se radi o suptilnim razlikama, moramo uzeti starije razdoblje 1953–1959. god. kad je radila stanica u Botaničkom vrtu. U tom je razdoblju srednja minimalna temperatura u srpnju u Botaničkom vrtu bila za 0.4° viša nego u Podušecu, za 1.7° viša nego u Maksimiru i za 1.6° viša nego u Botaniču. Očito je da se znatan dio ovih relativno velikih razlika mora pripisati termičkom utjecaju grada.

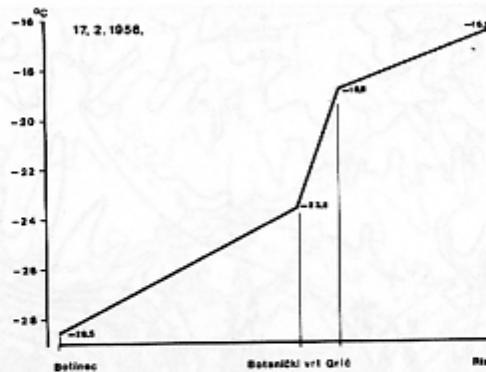
Sve su to višegodišnji prosjeci. Zato su apsolutne minimalne temperature u određenom izuzetno hladnom danu znatno niže, jer su ispunjeni idealni uvjeti. (tab. 4) Potrebno je upozoriti na nekoliko ograničavajućih faktora prilikom upoznavanja raspodjele apsolutne minimalne temperature. Dana 17. 2. 1956. nije bilo jutro s najnižom temperaturom zabilježenom u Zagrebu: to je bio samo jedan od najhladnijih dana na zagrebačkom području, a uzet je samo zato što je toga dana zabilježena vrlo niska temperatura u Botaničkom vrtu kao i u većini stanica na zagrebačkom području. Dakako, te najniže temperature nisu zabilježene u



Sl. 11. Geografska raspodjela srpanjske srednje minimalne temperature: srednjaci iz razdoblja 1973–1980. godine.

Fig. 11. Geographical distribution of average July minimum temperatures in the Zagreb area

istom satu. Meteorološki su uvjeti vedrina, te slab ili nikakav vjetar, te snijeg na tlu. Ne treba nas smetati činjenica da je plan grada recentan, a raspodjela je temperature iz vremena kad mnogi dijelovi grada nisu bili izgrađeni. Najbolje je istovremeno analizirati profil (sl. 12) i geografsku kartu (sl. 13). Sav nizinski kraj oko Zagreba bio je ispunjen vrlo hladnim zrakom. Približavanjem gradu, odnosno terasnom odsjeku Zagrebačke terase, temperatura naglo raste, zapravo skokovito raste na terasnom odsjeku. Inverzija je tako jaka da je temperatura i dalje sjeverno od Griča, pa i na padini Medvednice rasla sve do njenog vrha (Rim -16.5° , Sljeme -13.9°) što znači da je inverzijski sloj bio deo reda veličine 1 km. Vertikalni gradijent temperature između Rima i Sljemena iznosio je -0.3° (na 100 m). Zanimljivo je da je istovremeno vertikalni gradijent temperature između Botinca (116 m i -28.5°) i Griča (162.5 m, -18.8°) iznosio čak -20.86° (zbog razlike u nadmorskoj visini 46.5 m, a razlika u temperaturi iznosila je 9.7°). Očito je da je najveći dio te temperaturne razlike bio posljedica utjecaja reljefa. Da bi se odredio približni utjecaj samo grada usporedit ćemo nizinske stanice na podjednako nadmorskoj visini. Tog je jutra, 17. 2. 1956. god., Botanički vrt bio za 1.6° topliji od Podusceda, za 3.8° topliji od Maksimira i za čak 5° topliji od Botinca. Ove su razlike vjerojatno bile i nešto veće ako imamo na umu činjenicu da se stanica Botanički vrt nije nalazila u centru izgrađenog dijela Zagreba. Osim toga, nagli skok temperature između Botaničkog vrta i Griča upućuje na pretpostavku da i u ovom slučaju (minimalna) temperatura na Griču nije reprezentativna. Naime, iz temperaturne razlike (4.7°) i visinske razlike (46.5 m) između



Sl. 12. Profil minimalne temperature 17. 2. 1956. godine

Fig. 12. Minimum temperatures between Botinec and Rim on 17 January 1956

Griča i Botaničkog vrta proizlazi da je vertikalni gradijent temperature iznosio -10.1° , odnosno za svakih 9.89 m temperatura je rasla za 1° .

Budući da se radi o izuzetno velikom vertikalnom gradijentu temperature, pokušat ćemo uzeti u obzir činjenicu da se minimalni termometar ne nalazi na »normalnoj« visini. U ovom radu uzimali smo da se publicirani podaci o minimalnim temperaturama na Griču odnose na visinu 157 m. Međutim, minimalni se termometar – kako stoji u svim »Meteorološkim izvještajima« – nalazi zapravo na 162.5 m, dakle $(162.5 - 157.0 = 5.5)$ 5.5 m je iznad tla. (U radu 13, 92. str. navodi se da su termometri smješteni na prozoru zgrade 6.2 m iznad tla.) To znači da se očitane i publicirane temperature ne odnose na visinu 157 m, nego na 162.5 m. Iz vertikalnog gradijenta temperature između Botaničkog vrta i Griča (-10.1° na 100 m, odnosno -1.01° na 10 m visinske razlike) proizlazi da na svakih 9.89 m visine temperatura raste za 1° . Budući da razlika između nadmorske visine tla i minimalnog termometra iznosi 5.5 m, to znači $(5.5 \times 0.101 = 0.56^{\circ})$ da je minimalni termometar pokazao za 0.6° višu temperaturu nego što je istovremeno iznosila na visini 157 m. Ukratko, očito minimalne temperature na Griču ne odnose se na njegovu nadmorsku visinu (157 m). Kad bi minimalni termometar bio u kućici 1.5 m iznad tla $(157 + 1.5 = 158.5)$, tj. na visini 158.5 m, onda bi minimalne temperature bile za oko 0.5° niže nego što se očitava na termometru na prozoru.

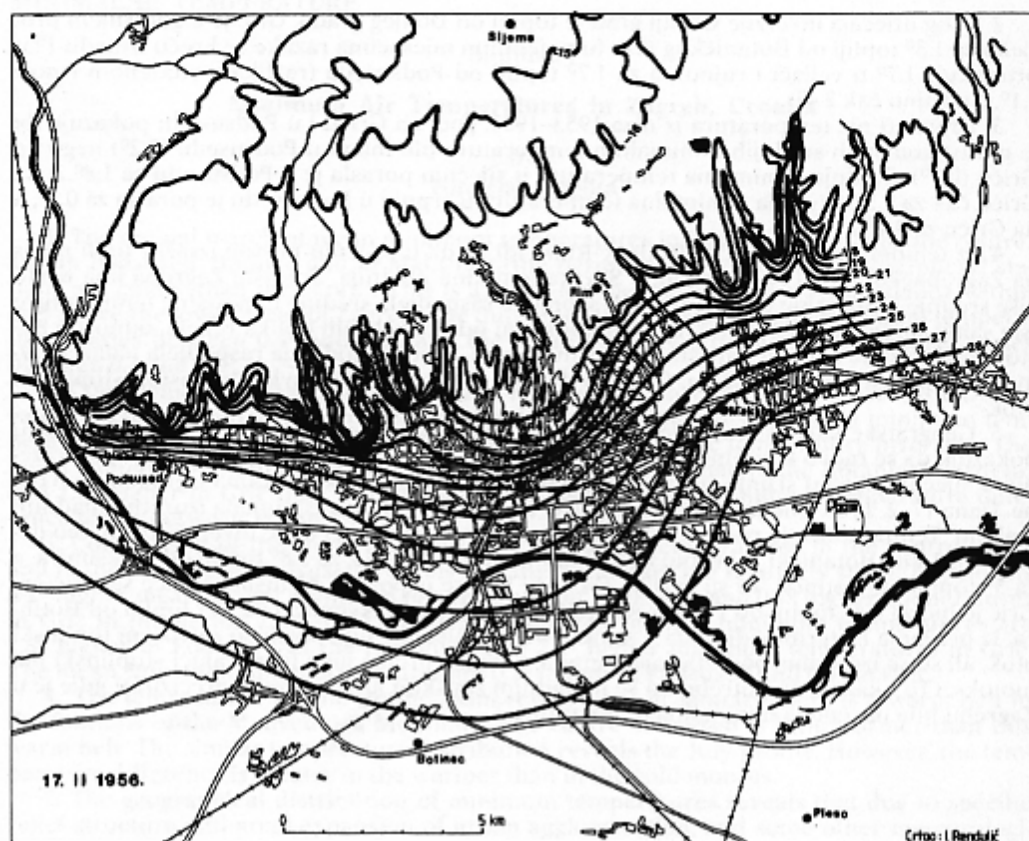
Analizom sl. 13 lako se može uočiti specifičnost u raspodjeli apsolutne minimalne temperature u odnosu na srednje minimalne temperature. Jasno se izdvaja vrlo hladna niska ravnica uz Savu, koja nešto sjevernije prodire u maksimirskom području. U uskom pojasu pregriba Zagrebačke terase minimalne temperature naglo rastu (veća gustoća izoterma), a temperatura i dalje raste prema Medvednici kao i na padinama Medvednice pokazujući da je inverzijski sloj zraka bio debeo negdje oko 1 km. Dakle, u ovako izuzetno hladnim dani-

Tablica 4.

Stanica	Temperatura	Stanica	Temperatura
Grič	-18.8	Maksimir	-27.3
Botinec	-28.5	Rim	-16.5
Botanički vrt	-23.5	Sljeme	-13.9
Novi Dvori	-27.0	Božjakovina	-28.5
Podsused	-25.1		

Tab. 4. Apsolutne minimalne temperature na teritoriji Zagreba 17. 2. 1956. godine (6; 8; 9; 11)

Tab. 4. Minimum temperatures, 17 January 1956



Sl. 13. Geografska raspodjela minimalne temperature 17. 2. 1956. godine

Fig. 13. Geographical distribution of minimum temperatures on 17. January 1956.

ma (odnosno noćima i jutrima) nema podjele na hladnu padinu Medvednice i topli pojas u Prigorju i na Zagrebačkoj terasi nego minimalne temperature rastu u cijelom promatranom području sve do vrha Medvednice. Da se i ovom slučaju ipak može govoriti o termičkom utjecaju Zagreba dokazuje već navedeni porast minimalnih temperatura od Poduseda (1.6°), Maksimira (3.8°) i Botinca (5.0°) prema Botaničkom vrtu. Na karti se taj utjecaj manifestira u povijanju izoterma prema jugu u cijelom izgrađenom području. Ne postoji »toplinski otok«, ali bi – po analogiji – mogli govoriti o »toplinskom poluotoku«. Iz gustoće izoterma se lijepo vidi da na padinama Medvednice minimalna temperatura opada mnogo sporije nego na nižem dijelu promatranog prostora ukazujući na činjenicu da porast temperature s visinom nije bio linearan. Inverziji treba pripisati veći dio porasta temperature od Poduseda (6.3°), Maksimira (8.5°) i Botinca (9.7) prema Griču.

Zaključak

1. Godišnji hodovi mjesečnih srednjih minimalnih temperatura pokazuju da su svi mjeseci u prosjeku hladniji na periferiji nego u centru što ukazuje da postoji »toplinski otok«. U godišnjem prosjeku centar nizinskog dijela grada je za 1.5° topliji od Maksimira, a za 0.4° topliji od Poduseda. To je posljedica mjesečnih razlika koje između Botaničkog vrta i Poduseda variraju od 0.1° u veljači i prosincu do 0.8° viša temperatura u travnju. Botanički vrt je u prosincu za 1.1° topliji od Maksimira, a u travnju 1.8°. U ostalim mjesecima te su razlike između spomenutih temperatura.

2. Zbog utjecaja inverzije Gornji grad je topliji od Donjeg grada. Grič je u godišnjem prosjeku za 1.3° topliji od Botaničkog vrta (u pojedinim mjesecima razlike se kreću između 1° u prosincu i 1.7° u veljači i rujnu), a za 1.7° topliji od Podsuseda (razlika u studenom iznosi 1.1°, a u rujnu čak 2.4°).

3. Izravnati niz temperatura iz niza 1953–1983. god. na Griču i u Podsusedu pokazuje da je porast godišnjih srednjih minimalnih temperatura bio manji u Podsusedu (0.2°) nego na Griču (0.7°). Srednja minimalna temperatura u siječnju porasla je u Podsusedu za 1.8°, a na Griču čak za 2.3°. Srednja minimalna temperatura u srpnju u Podsusedu je porasla za 0.2°, a na Griču za 0.4°.

4. Iz temperaturnog profila Botinec-Rim vidi se da u siječnju postoji izraziti topli pojas na Zagrebačkoj terasi i u Prigorju, a Savska je dolina hladnija. Središte Zagreba ima nešto više srednje minimalne temperature. U srpnju je raspodjela srednje minimalne temperature ista samo se, izgleda, jače diferenciraju konkavni od konveksnih oblika reljefa, odnosno postoje veće razlike između najviših i najnižih stanica. Srednja godišnja raspodjela nalazi se između ovih ekstremnih veličina. Očito je da ima osnove pretpostavka da postoji »toplinski otok«.

5. Geografske karte s raspodjelom srednjih minimalnih temperatura u siječnju i srpnju pokazuju da se radi o kombiniranom utjecaju reljefa i grada. Toplinski je otok mnogo izraženiji u siječnju nego u srpnju, a izoterme se povijaju u skladu s konturama izgrađene površine. Dana 17. 2. 1956. bilo je vrlo hladno jutro. Dolina Save bila je ispunjena izuzetno hladnim zrakom. Temperatura je rasla sve do vrha Medvednice što znači da je inverzijski sloj bio deo oko 1 km. Botanički je vrt bio za 1.6° topliji od Podsuseda, za 3.8° topliji od Maksimira, a za 5° topliji od Botinca. Te su razlike još veće kad se usporede nizinske stanice sa Gričom. Grič je bio za 6.3° topliji od Podsuseda, za 8.5° topliji od Maksimira i za 9.7° topliji od Botinca. Iz pružanja izoterme vidi se da – samo u ovom slučaju – nije postojao zatvoreni toplinski otok, ali su se izoterme, pod utjecajem grada, povijale prema jugu formirajući »toplinski poluotok«. (To ukazuje na potrebu da se u hladnim zimskim jutrima treba precizirati gdje je u Zagrebu bila navedena minimalna temperatura.)

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. B. Makjanić (1959): Zrakoplovna meteorologija aerodroma Zagreb–Lučko. HMZ NRH, Rasprave i prikazi 3, Zagreb.
6. Sveučilište u Zagrebu, PMF, Geofizički zavod, Opservatorij Zagreb, Grič: Klimatski podaci Opservatorija Zagreb, Grič za razdoblje 1862–1967. Zagreb, 1970.
7. 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.
8. Sveučilište u Zagrebu, PMF, Geofizički zavod, Opservatorij Zagreb, Grič. Meteorološki izvještaj (za odgovarajuće godine). Zagreb.
9. HMS SFRJ, Savezni HMZ: Meteorološki godišnjaci (za odgovarajuće godine), Beograd.
10. V. Conrad & L. W. Pollak (1950): *Methods in Climatology*. 2nd ed. Cambridge.
11. Arhiva Republičkog hidrometeorološkog zavoda SRH, Zagreb, Grič 3.
12. 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.
13. N. Plesko, N. Sinik & 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

Minimum Air Temperatures in Zagreb, Croatia

by
Tomislav Šegota

1. The annual march of mean minimum temperatures in Botanical Gardens (the centre) and in Podsused, Botinec and in Maksimir (the periphery) reveals that the peripheral stations are colder than the centre. This is a proof for the existence of a «heat island» within and above the lower areas of Zagreb. The difference in the mean annual minimum temperatures varies between 0.4° and 1.5° , and the mean monthly minimum temperatures varies between 0.1 and 1.8° .

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 minimum temperatures are higher on the higher Grič Observatory due to the temperature inversion. The mean annual minimum temperatures are 1.3° higher in Grič than in the Botanical Gardens, and 1.7° higher in Grič than in Podsused. The mean monthly minimum temperature difference varies between 1° and 2.4° .

3. Comparison of the trend lines of mean minimum temperatures in the centre (Grič) and in the periphery (Podsused) reveals that the trend lines are relatively steep. This means 0.2° higher mean annual minimum temperatures in Podsused, and 0.7° higher temperatures in Grič in the period 1953–1983. Similarly, the mean January minimum temperatures are 1.8° higher in Podsused in the periphery and 2.3° higher minimum temperatures in Grič. The mean July minimum temperatures are 0.2° higher in Podsused and 0.4° in Grič.

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

5. The geographical distribution of minimum temperatures reveals that due to specific relief structure and areal expansion of urban agglomeration, and some other meteorological factors, the isothermes of mean January and July temperatures are curved adjusting to the urban territory discerning the «heat island». The distribution of minimum temperature, 17. February 1956, reveals that the temperature inversion layer was at least 1 km thick. Botanical Gardens was 1.6° warmer than Podsused, 3.8° warmer than Maksimir, and 5° warmer than Botinec, all the stations in the Sava lowland. The difference between Grič and Podsused (6.3°), Grič and Maksimir (8.5°), Grič and Botinec (9.7°) is mainly attributed to the effect of temperature inversion.