

3. KLIMATSKI POTENCIJAL ZAGADJENOSTI ZRAKA

3.1 OPĆENITO

Karakteristike zagadjenosti zraka na gradskom području ovise bitno o dva elementa:

1. emisiji i prirodi dominantnih zagadjivača,
2. meteorološkim faktorima, kratko i dugo-periodičnim.

1. Zagadjivači mogu biti stalni ili povremeni, a uz to i s varijabilnim intenzitetom emisije. Tokom cijele godine, stalno, gradski zrak onečišćuju industrija (tvornice, termoelektrane, toplane, itd.) i promet. Glavni povremeni zagadjivači atmosfere u gradu su domaćinstva, koja se u toku zimske sezone, loženjem, pridružuju stalnim zagadjivačima, značajno povisujući nivo koncentracije polutanata. Udio pojedinih zagadjivača u koncentraciji polutanata prizemnog sloja zraka, u kojem živimo i koji udišemo, ovisi primarno o količini i trajanju emitiranih polutanata, ali takodjer i o visini na kojoj započinje difuzija ili disperzija. Uz istu emisiju visoki dimnjaci zagadjuju prizemni sloj zraka u manjim koncentracijama od niskih zagadjivača, pa je i pristup problemu zagadjenosti, uzrokovanom različitim visinom zagadjivača, različit.

2. Važnost meteoroloških faktora u transportu i difuziji zagadjenosti dobro je poznata (*PASQUILL 1962, SLADE 1968, SCORER 1968, TECH.-NOTE-WMO No. 106, 1970*).

O meteorološkim faktorima ovisi ne samo atmosferska emisija, tj. dovodjenje čvrstih tekućih ili plinovitih polutanata, koji će trajno ili prolazno ostati u blizini tla, već čak i emisija nekih zagadjivača. Uloga meteoroloških faktora očituje se (uz stalnu emisiju) u varijabilnosti nivoa koncentracija polutanata u toku svakog dana. Klimatski potencijal određuje općenito karakter i intenzitet atmosferske difuzije i disperzije nad nekim područjem. Razvoj grada, odnosno pojedinih njegovih dijelova u smislu industrije, stambenih i rekreacionih zona, planira se na bazi potreba, ali i klimatskih karakteristika. Na osnovi slike o prosječnom stanju vremena određuju se i preventivne tehničke mjere u industriji (uredjaji za filtriranje emisije zagadjivanja), a isto tako i nabava goriva s manjim količinama polutanata štetnih u biosferi.

Prognoze nivoa koncentracija raznih komponenata zagadjenosti u vremenskoj i prostornoj skali, unatoč poznavanju "normalne" emisije zagadjivača, ostvarive su samo uz detaljno poznavanje meteoroloških faktora. Upozorenja meteorologa na

buduća nepovoljna stanja atmosfere od presudnog su značenja u preventivi i borbi čovjeka za kvalitetniji i čišći zrak.

Ovdje ćemo samo kratko spomenuti najvažnije meteorološke parametre, jer će o ulozi svakog pojedinog u zagadjenosti zraka na području grada Zagreba biti detaljno pisano kasnije. To su: temperatura zraka, vlaga, vjetar (smjer i brzina), stabilnost atmosfere i neki hidrometeori, kao magla i oborine.

Uloga temperature zraka je dvojaka. Ona utječe na emisiju i na transport polutanata. Uz niske temperature zimi vezano je pojačano loženje, a time i emisija produkata sagorijevanja u atmosferu. Formiranje pak "toplinskog otoka", odnosno "toplinske kape" nad gradom modificira režim strujanja, te na taj način utječe na transport zagadjenosti.

Vertikalni temperaturni profil, o kome zavisi stabilnost atmosfere, osobito je značajan u problemu difuzije i disperzije. "Toplinski otok" nad gradom modificira i normalnu vertikalnu strukturu atmosfere, koja postoji izvan grada. Zato je važno upoznati veličinu i učinak te modifikacije.

Atmosferska vlaga je važna u procesima gdje SO_2 uzrokuje zagadjenost zraka, jer se procesima kemijskog spajanja stvara sumporna kiselina. Korozivni procesi i štetno djelovanje na vegetaciju, pa čak i na zdravlje čovjeka, ovise o veličini i trajanju raznih koncentracija SO_2 . Svakako da će u slučaju magle, kada je relativna vlaga zraka redovito iznad 85%, štetno djelovanje visokih koncentracija biti izrazito veliko. Zato se kasnije i obrađuje detaljno veza zagadjenosti i magle u Zagrebu, tim više što se zna da su se drastični slučajevi visokih koncentracija zagadjenosti, sa smrtnim slučajevima u velikim industrijskim gradovima svijeta, desili upravo za vrijeme dugotrajnih magli.

Režim strujanja, uključujući smjer i brzinu vjetra, kao i turbulenciju, učestvuje u transportu, difuziji i disperziji zagadjenosti. Ukoliko je vjetar dovoljno jak, onda je njegova najveća uloga u pročišćavanju atmosfere nad gradom.

Koncentracije zagadjenosti zraka mijenjaju se također ovisno o količini oborina. Jače i dugotrajne oborine, bilo da se radi o kiši ili snijegu, mogu "isprati" i pročistiti zrak, ali istovremeno zagaditi tlo prenošenjem polutanata iz zraka.

Kombinacije spomenutih meteoroloških elemenata i njihovo kompleksno djelovanje na zagadjenost zraka, jer samo takvo i postoji u atmosferi, predmet su kasnijih istraživanja u ovom radu, gdje god je to bilo moguće.

Teoretski ustanovljene veze između pojedinih meteoroloških elemenata ili grupe elemenata, i zagadjenosti zraka, nepoželjno je ocijeniti pomoću specijalnih mjerenja meteoroloških elemenata i koncentracija pojedinih komponenata zagadjenosti. Taj je zadatak u ovom radu samo djelomično riješen, pa spomenuta mjerenja treba nastaviti.

Za ocjenu zagadjenosti atmosfere često se proučava trajanje insolacije u "zagadjenom" gradu, u komparaciji s

insolacijom u "čistoj" okolini. To se posebno odnosi na vremenski trend insolacije. Zato je u ovom radu proučena i insolacija, iako ona ne može, kao drugi meteorološki elementi, utjecati na nivo zagađenosti.

Budući da je veza između meteoroloških parametara i zagađenosti zraka obostrana, tj. ne samo da meteorološki faktori djeluju na nivo koncentracije u atmosferi, već i stalno povišena koncentracija može modificirati primarne karakteristike klime, - bilo je potrebno ispitati i klimatske trendove temperature zraka, frekvencije magle i trajanja sijanja Sunca (poglavlje 2.2).

3.2 MAGLA I ZAGADJENOST ZRAKA

Postoji više tipova magle, ali su najčešći, pa prema tome i najvažniji za problem zagađenosti oni, koji nastaju *ohladjivanjem* kao osnovnim fizikalnim procesom u njihovu formiranju. Takve magle zovu se *radijacione ili advektivne* ovisno o tome jesu li nastale ohladjivanjem vlažnog stacionarnog zraka na odredjenom mjestu (radijacione) ili strujanjem toplijeg vlažnog zraka nad hladnom podlogom (advektivne).

Radijacione magle po učestalosti prevladavaju u našoj klimi. Nastaju za *vedrih* noći ili u ranim jutrima, kada je gubitak topline radijacijom sa zemljine površine vrlo velik, jer ne postoji oblačni sloj koji bi ga sprječavao. Tada se tlo i prizemni sloj zraka intenzivno hlade. Ukoliko je hladjenje tako jako da temperatura zraka padne ispod temperature rosišta, postojeća vodena para dolazi u fazu zasićenja i poprima sposobnost da se kondenzira na tzv. kondenzacionim jezgrama. Osobito su efikasne one kondenzacione jezgre koje su higroskopne, kao npr. čestice morske soli donesene raznim strujama u atmosferu. Neke čestice dima također služe kao kondenzacione jezgre i na njima može doći do formiranja sićušnih kapljica magle. Gustoća magle ovisi o dimenzijama kapljica i njihovu broju u jedinici volumena.

Proces spomenutog intenzivnog ohladjivanja najdonjeg sloja atmosfere moguć je samo u uvjetima *tihog vremena*, odnosno uz vrlo slab vjetar. Tada je atmosfera stabilna i njeni su donji slojevi ujedno i najhladniji (postoji tzv. "temperaturna inverzija"). U slučaju imalo jačeg vjetra, miješanje između slojeva u atmosferi je preveliko da bi se sloj uz tlo mogao ohladiti do temperature rosišta, i tako stvoriti uvjete za formiranje magle.

Danju se tlo zagrijava od sunčeve radijacije, a od tla grije se zrak. Kada temperatura zraka poraste toliko da postane viša od temperature rosišta, počinje raspršivanje magle isparavanjem. Ujedno, uslijed grijanja tla, javljaju se i konvektivne struje zraka, koje odnose vodenu paru iz prizemlja u više slojeve atmosfere i pomažu miješanju zraka. Na taj se način smanjuje gustoća magle i konačno magla nestaje.

Atmosfera u industrijskim i gusto naseljenim centrima nerijetko je vrlo zagađena, a kako neke čestice dima mogu poslužiti kao jezgre za kondenzaciju, to su mogućnosti za formiranje magle u gradovima veće nego u njihovoj neposrednoj, "čistoj" okolini. Naravno, uz pretpostavku da postoji ista količina relativne vlage u zraku i ista temperatura zraka.

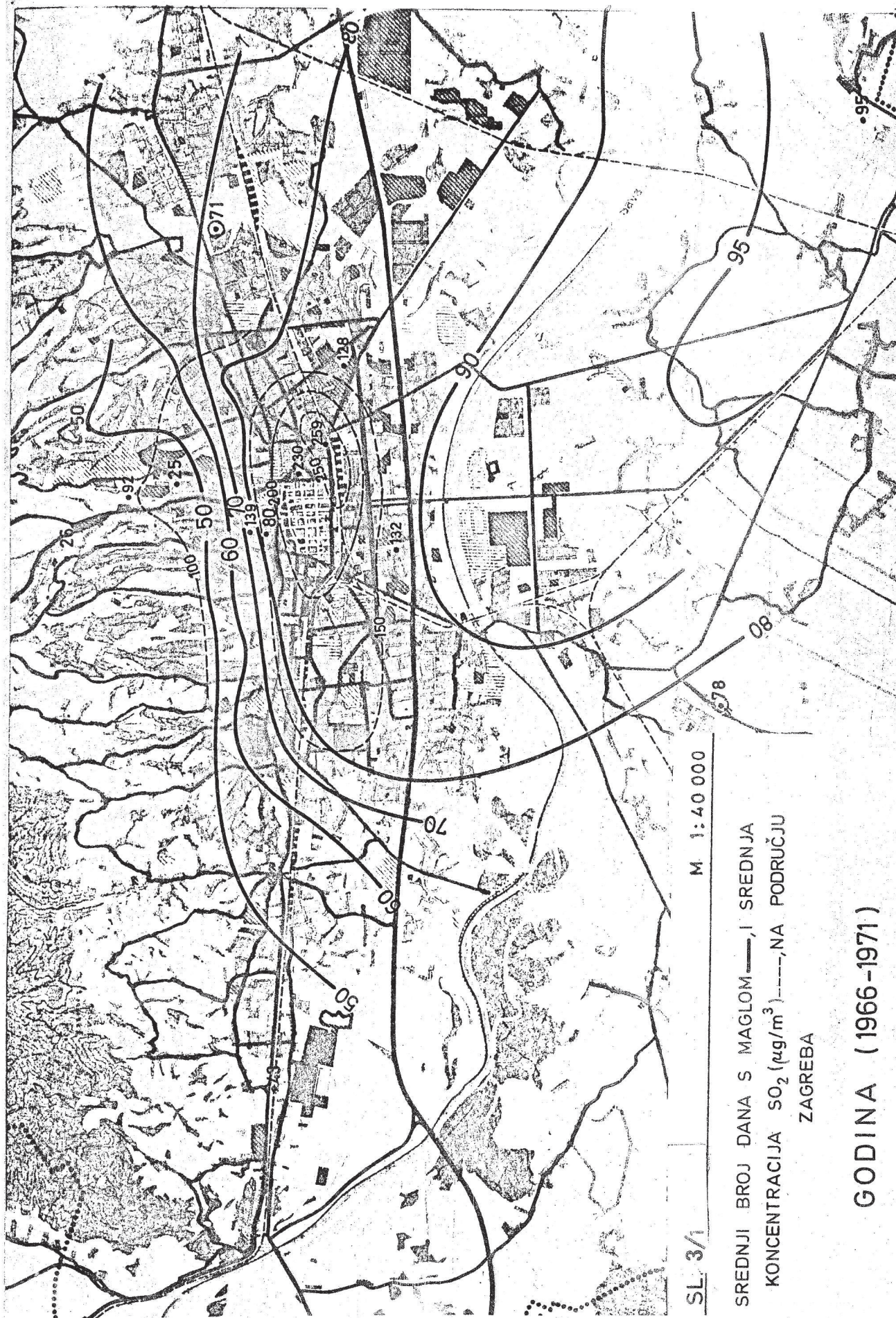
Magla se u gradovima ne samo češće formira, nego je i persistentnija. Njeno je trajanje u gradovima duže, zato što kapljice magle, uslijed zagađenosti, sadrže rastopljene razne kemijske tvari. One su uzrok da kapljice ostaju tekuće i u nezasićenim uvjetima, dakle onda kada je temperatura zraka postala viša od temperature rosišta. U "čistoj" magli gradske okoline vodene kapljice magle u takvim nezasićenim uvjetima brzo ispare i magla se rasprši (STERN, 1968).

Međutim, ne samo da neke komponente zagađenosti zraka mogu djelovati na formiranje i trajanje magle, nego i obratno, magla djeluje na nivo koncentracije zagađenosti. Naime, ako postoji magla, strujanje zraka je minimalno i tada se kompletna emisija zagađenosti zadržava nad gradom u sloju magle, pa koncentracije rastu do opasnih granica. Sumporni dioksid s kisikom u atmosferi tvori SO_3 , zatim se veže na atmosfersku vodu i stvara sumpornu kiselinu, čije je štetno djelovanje na organske i neorganske tvari poznato. Jasno je da su u danima s maglom, uslijed prisustva mnoštva sitnih lebdjećih vodenih kapljica, mogućnosti štetnog djelovanja SO_2 , kao i drugih kemijskih komponenti zagađenosti, osobito velike. U literaturi su često opisivani (STERN 1968) drastični slučajevi vrlo visokih koncentracija SO_2 , koji su uzrokovali oboljenja respiratornog trakta, srca, itd., pa čak i ne mali broj smrtnih slučajeva. Spominjemo slučajeve u Donori 1948. godine, Poza Rici 1950, Londonu 1952, New Yorku 1953, i nizu drugih gradova. Zajednička karakteristika vremena u svim ovim slučajevima bila je dugotrajna magla u inverzionim anticiklonalnim situacijama.

Po svom udjelu u zagađenosti magla je, dakle, jedan od veoma važnih meteoroloških parametara, pa je, kao klimatska karakteristika Zagreba, obradjena na prvom mjestu.

3.2.1 Prostorna razdioba broja dana s maglom u Zagrebu

Na osnovi proučavanog niza od 6 godina (1966-1971.) može se reći da centralni dio grada ima godišnje, u prosjeku, 80 dana s maglom. Idući prema sjeveru, godišnji se broj dana s maglom naglo smanjuje, pa već prvi obronci imaju i do 30 dana s maglom manje nego centar (sl. 3/1). Periferija, istočna kao i zapadna, rjeđe je u magli od centra Zagreba, s tim što je u zapadnim dijelovima grada učestalost magle još manja nego u istočnim. Na području Podsuseda godišnje se može očekivati svega četrdesetak dana s maglom, dok Maksimir ima i 70 dana. Učestalost je magle najveća u južnim dijelovima Zagreba,

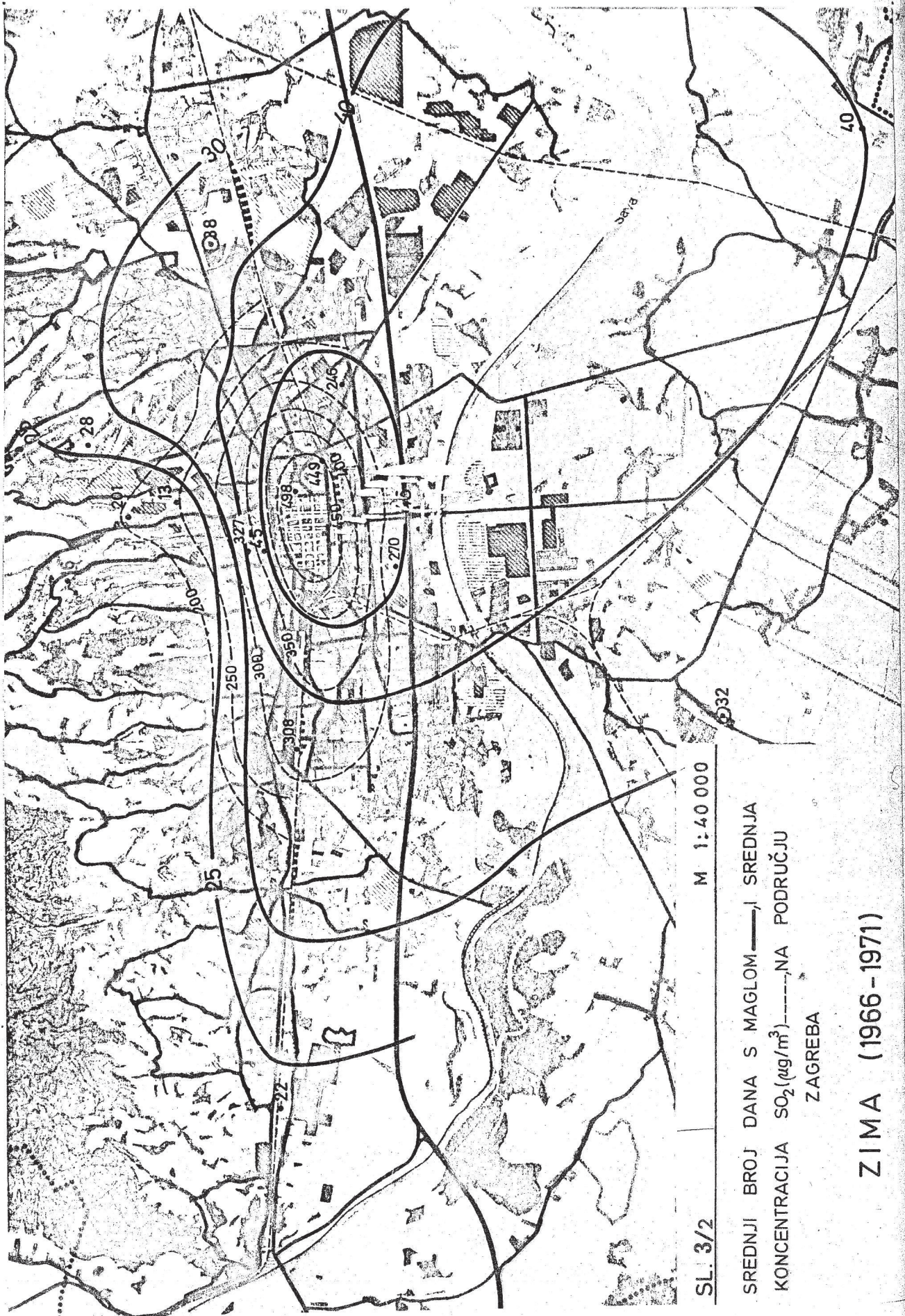


SL 3/1

M 1:40 000

SREDNJI BROJ DANA S MAGLOM —, I SREDNJA
KONCENTRACIJA SO₂ (µg/m³) - - - - , NA PODRUČJU
ZAGREBA

GODINA (1966 - 1971)



tako da se, idući od centra prema aerodromu Pleso, prosječni broj dana s maglom u toku godine stalno povećava. U tim dijelovima grada treba očekivati i preko 90 dana s maglom godišnje. Ovaj je zaključak izveden na osnovi podataka aerodroma Pleso, jer su južni dijelovi grada nedovoljno pokriveni mrežom meteoroloških stanica.

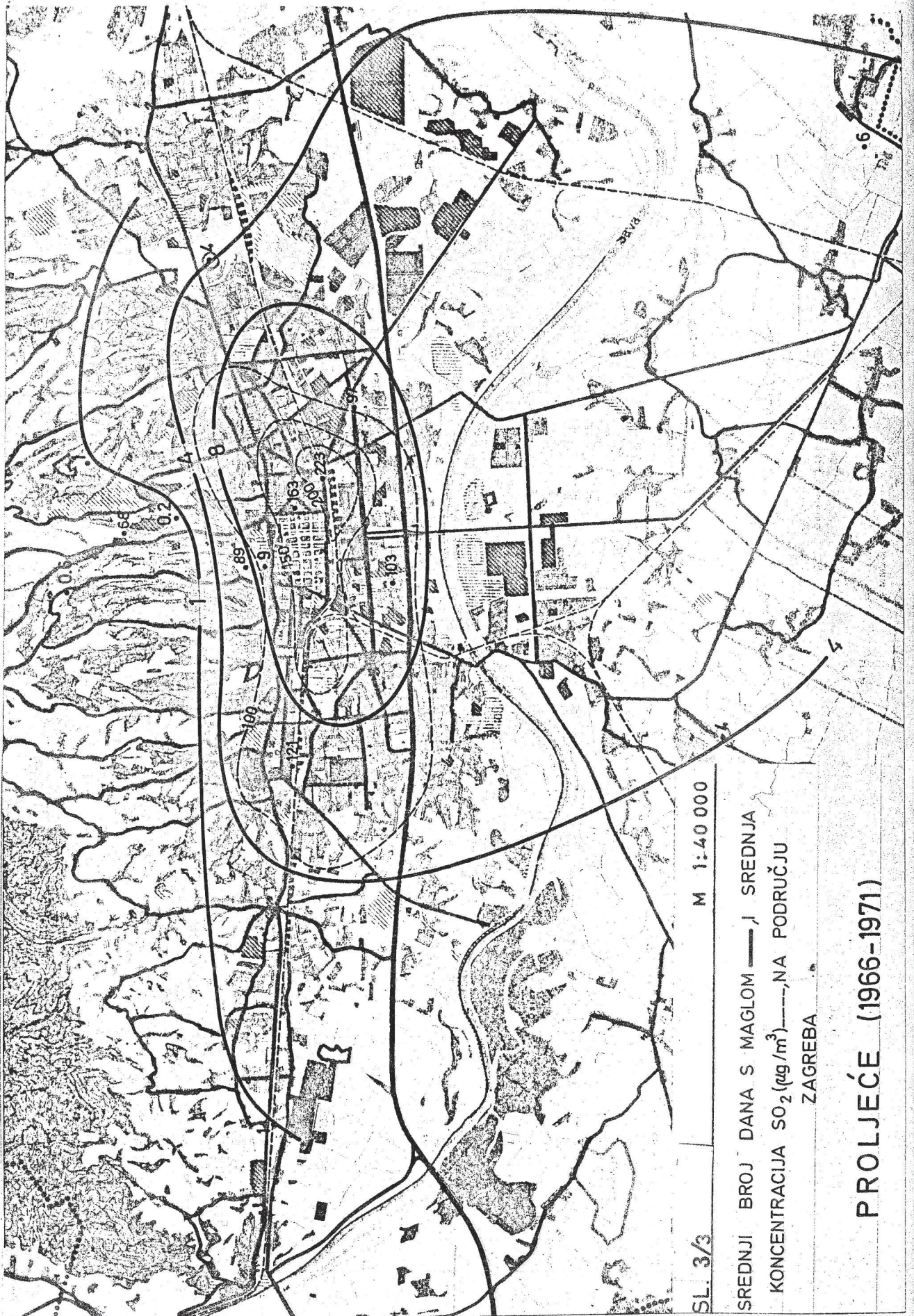
Iz iznesenih se podataka vidi da je centar grada češće u magli nego periferija. To ne vrijedi za južnu periferiju, za koju je blizina Save i velika količina vlage dovoljan razlog za česte magle, pogotovo jer je to i najhladniji dio Zagreba.

Postavlja se, međjutim, pitanje zašto je u centralnim dijelovima grada broj dana s maglom veći nego na periferiji, iako je centar i topliji i manje vlažan od periferije, što ne pogoduje formiranju magle. Jedino objašnjenje velikoj frekvenciji magle u centru je izrazito veliki stupanj zagađenosti. Na karti prostorne distribucije magle (sl. 3/1) prikazana je, radi komparacije, i distribucija SO_2 (μgm^{-3}), kao jedna od komponenta zagađenosti. Vidljivo je da upravo strogo centralni dio grada ima najveće koncentracije. Proučavanja količine dima pokazala su vrlo sličnu godišnju razdiobu, a kako upravo neke čestice dima mogu poslužiti kao kondenzacione jezgre u formiranju magle, jasno je da je u centralnim dijelovima grada magla češća nego na "čišćoj" periferiji.

Zimska razdioba broja dana s maglom (sl. 3/2) zauzima u problemu zagađenosti najvažnije mjesto. Zima je godišnje doba u kome je broj dana s maglom najveći, a najveća je i zagađenost. Centar Zagreba zimi je apsolutno najčešće u magli, toliko često da je broj dana s maglom čak veći nego u južnim hladnijim dijelovima grada uz rijeku Savu. Na Griču u toku tri zimska mjeseca (XII, I, II) prosječno ima 45 dana s maglom, dok je na periferiji taj broj manji za oko 10-20 dana. Sjeverni dijelovi grada, pogotovo, zbog inverzije, topliji obronci Sljemena, najrjedje su u magli, tako da je na tom području zimi i manje od 20 dana s maglom (Botanički vrt farmaceutskog fakulteta u 6-godišnjem prosjeku ima svega 13 dana s maglom u toku zime).

Jasno da je, uz učestaliju maglu, zimi i koncentracija zagađenosti veća. Stalnim zagađivačima - industriji, tada se pridružuju domaćinstva s loženjem, što uz zagađenje proizvedeno prometom dovodi u središnjem dijelu grada do izrazito velikih dnevnika koncentracija zagađenja. Zimi je, kao što se vidi na sl. 3/2, srednja dnevna koncentracija SO_2 u centru čak i viša od $450 \mu\text{gm}^{-3}$, a isključivo na dane s dugotrajnijom maglom te su vrijednosti još i znatno povišene. Očito je da je zagrebačka zagađenost zimi alarmantno visoka i daleko iznad bilo kakvih normativa, uključivši i "najčišća" sjeverna gradska područja.

Proljeće (III, IV i V mjes.) je dio godine kada se magla u našim krajevima općenito rijetko pojavljuje, pa je tako i u Zagrebu. Naime, atmosfera je u proljeće i ljeto najčešće nestabilna. Tada povećana turbulencija ne dozvoljava jače hladnije prizemnog sloja zraka i stvaranje magle. Na području



SL. 3/3 M 1:40 000

SREDNJI BROJ DANA S MAGLOM —, SREDNJA
KONCENTRACIJA SO₂ (µg/m³) ----, NA PODRUČJU
ZAGREBA

PROLJEĆE (1966-1971)

Zagreba uz rijeku Savu (sl. 3/3) i u toj sezoni je magla prirodno najčešća, iako je ima svega 4-6 dana. Centar, zbog povećane zagađenosti, slično kao i zimi, ima nešto povećani broj dana s maglom (9 dana).

Prostorna razdioba količine SO_2 podudara se i u ovoj sezoni s izopletama magle, pa centralni dio u kojem je magla češća ima i najveće koncentracije SO_2 . Situacija obzirom na SO_2 ipak je mnogo povoljnija nego zimi, jer sada samo uži centar ima dnevno iznad $150 \mu\text{gm}^{-3}$.

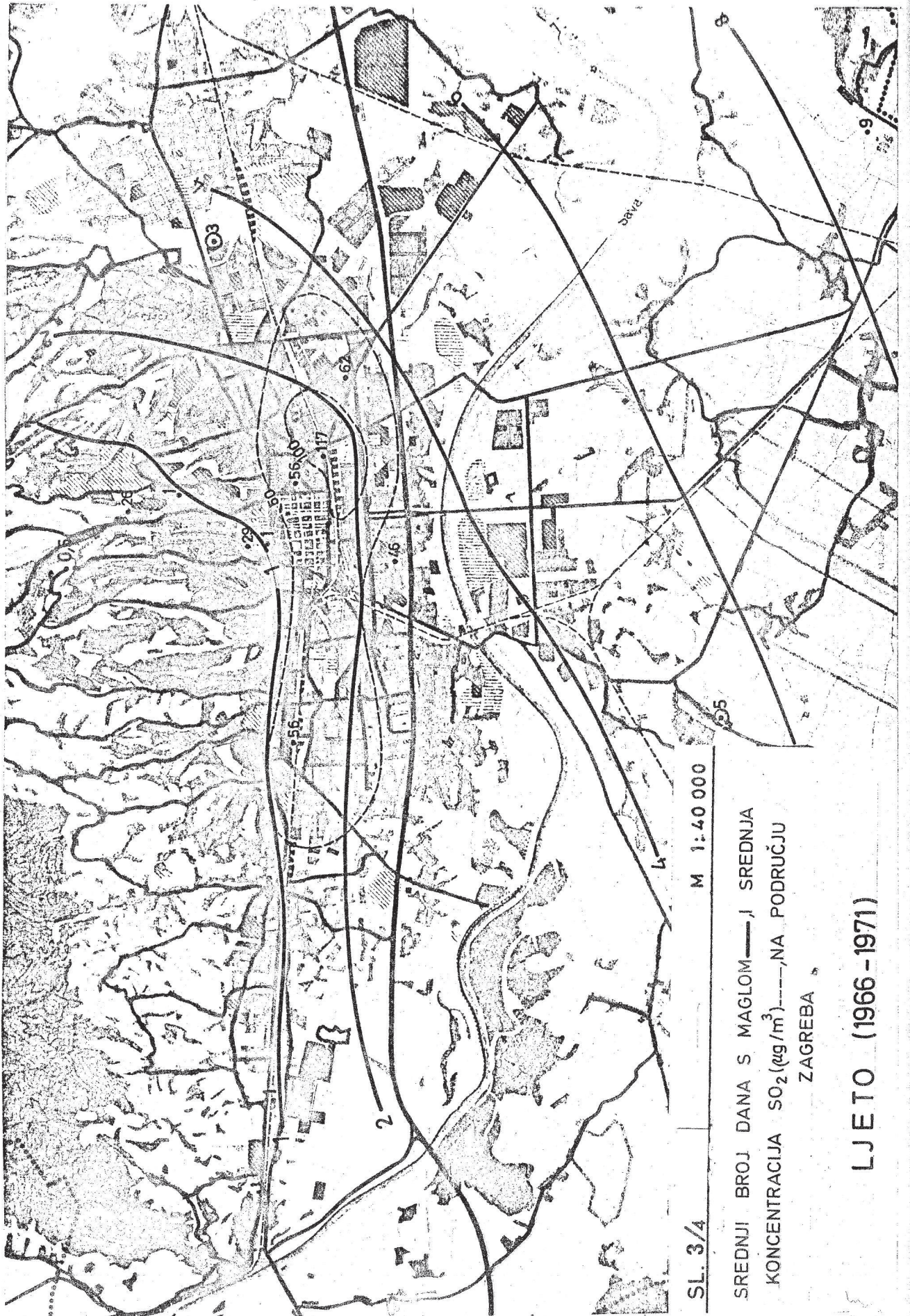
Ljeti, (VI, VII i VIII mjes.) u centralnim i sjevernim dijelovima grada, kratkotrajna magla pojavljuje se prosječno svega 1-2 dana (sl. 3/4), pa ona i nema važnosti za zagađenost zraka. Južni dijelovi grada imaju nešto veći broj dana s maglom od ostalih dijelova, iako i u tim najvlažnijim područjima grada rijetko, po našoj ocjeni, ima više od 5 dana s maglom u toku ljeta (aerodrom Pleso ima ljeti prosječno 9 dana s maglom). Količine SO_2 u prizemlju atmosfere jedino su u tom godišnjem dobu u Zagrebu ispod opasne razine, jer u najzagađenijem dijelu - području Branimirove ulice - dosižu oko $100 \mu\text{gm}^{-3}$.

Prostorna razdioba broja dana s maglom u jesen (sl. 3/5) pokazuje, da su magle i opet najčešće u južnim predjelima grada. To je godišnje doba kada je magla dosta česta u cijelom Zagrebu. Središnji dio grada tokom jeseni (IX, X, XI) ima prosječno 25-30 dana s maglom, što je za oko 15 dana manje nego u toku zime. Unatoč čestoj magli, srednje dnevne koncentracije SO_2 mnogo su manje nego zimi, jer udio loženja još nije tako velik. Ipak je u strogom centru dnevni prosjek koncentracije SO_2 iznad $150 \mu\text{gm}^{-3}$, a u najzagađenijem dijelu dosiže i $250 \mu\text{gm}^{-3}$.

Razdioba broja dana s maglom po mjesecima može se vidjeti u slijedećoj tabeli:

Tabela 3-1. Srednji broj dana s maglom (1966-1971)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
Grič	16,3	12,2	5,8	3,3	0,2	0,2	0,2	0,5	3,0	9,8	11,5	16,5	79,5
Maksimir	14,0	9,0	1,7	1,2	0,7	1,2	0,5	1,2	6,2	12,2	8,8	14,8	71,5
Farm.bot.	4,2	3,2	.	0,2	.	0,2	.	0,3	1,3	4,5	5,0	5,8	24,7
Rim	7,7	6,2	0,5	1,2	0,3	0,2	0,2	0,5	3,3	5,2	10,3	14,3	49,9
Podsused	8,7	4,7	0,5	0,2	0,2	0,2	.	0,8	4,5	7,5	6,8	8,5	42,6
Botinec	11,8	8,0	1,6	1,1	1,1	1,5	1,1	2,6	10,3	15,7	10,7	12,5	78,0
G.Prekr.	6,0	3,5	0,2	0,2	0,3	.	.	0,5	0,8	2,5	6,2	6,2	26,4
Pleso	15,0	9,7	1,8	1,2	2,5	2,5	2,3	3,7	13,5	17,2	10,7	15,3	95,4

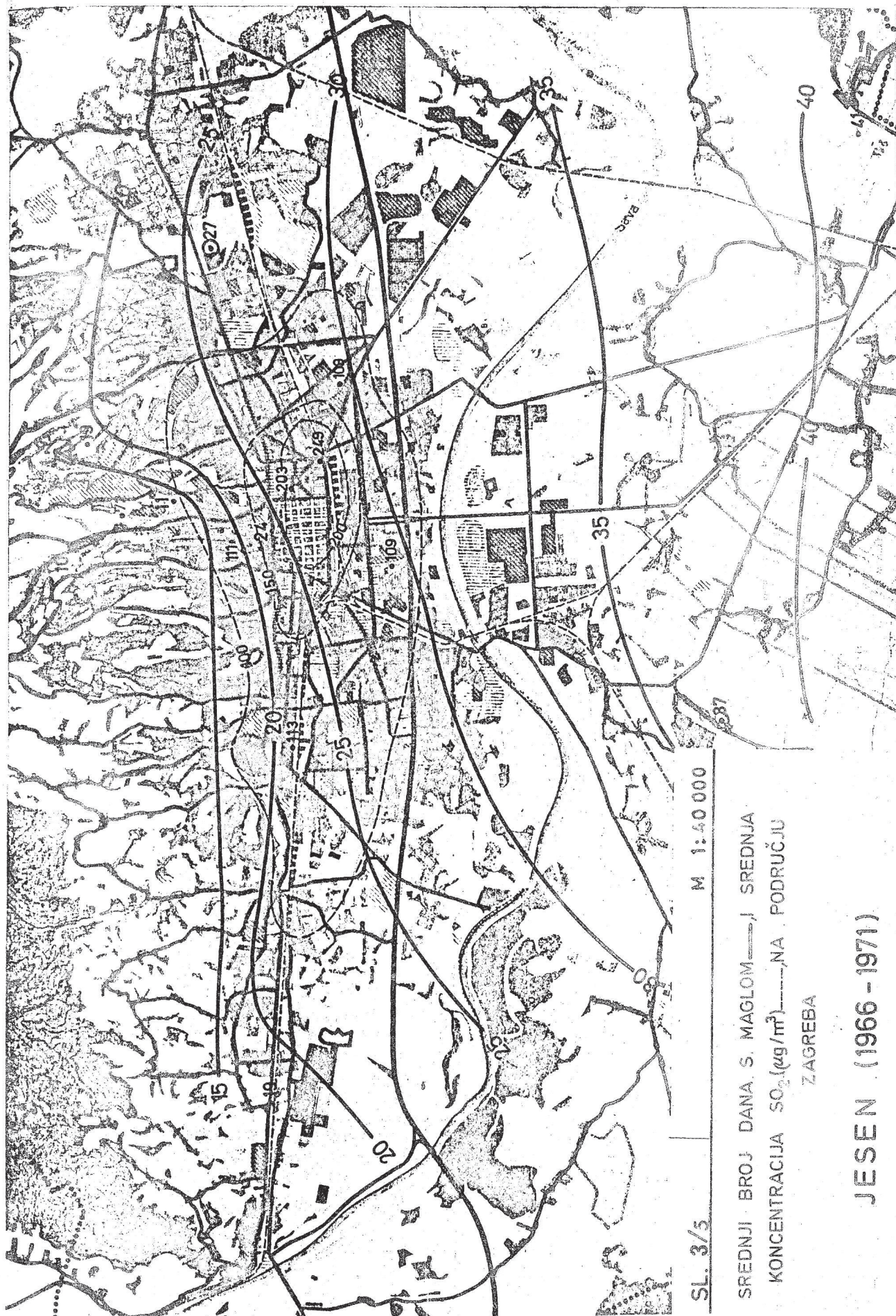


SL. 3/4

M 1:40 000

SREDNJI BROJ DANA S MAGLOM ———, J SREDNJA
KONCENTRACIJA SO₂ (µg/m³) - - - - NA PODRUČJU
ZAGREBA

LJETO (1966 - 1971)



M 1:40 000

SL. 3/5
SREDNJI BROJ DANA S. MAGLOM...J SREDNJA
KONCENTRACIJA SO₂ (µg/m³)...NA PODRUČJU
ZAGREBA

JESEN (1966 - 1971)

3.2.2 Trajanje magle

Nivo zagađenosti zraka za vrijeme magle funkcija je duljine trajanja magle. Dani s dugotrajnom maglom, kada izvori zagađenja rade s nesmanjenim intenzitetom, izuzetno su povoljni, zbog slabog strujanja, za stvaranje vrlo visokih koncentracija zagađenja.

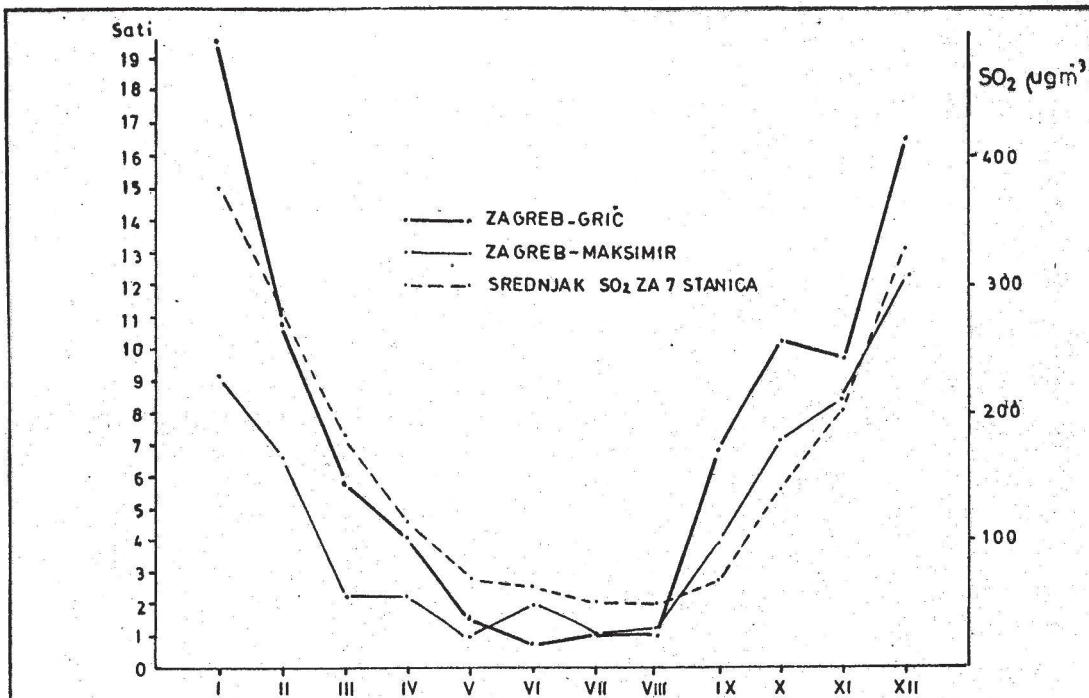
Trajanje magle u Zagrebu praćeno je na osnovu opažanja Meteorološkog opservatorija u Maksimiru, dakle na periferiji, i Griča - u centru grada.

Sl. 3/6 pokazuje da su zimski i jesenski mjeseci obilježeni u našoj klimi ne samo čestom, (što se vidjelo u prostornoj razdiobi sl. 3/1-3/5 već i dugotrajnom maglom. Magla u centru grada najduže traje u siječnju, prosječno oko 20 sati, dok je u prosincu njeno srednje trajanje samo nešto kraće (17 sati). Na periferiji grada, kao što se može zaključiti na osnovi mjerenja u Maksimiru, magla kraće traje nego u centru. Prosječno najdugotrajnija magla može se u Maksimiru očekivati u prosincu, i to s trajanjem od oko 12 sati. Magla dužeg trajanja u centru dijelom je rezultat povećane zagađenosti i slabijeg strujanja, a dijelom i neprecizna načina motrenja magle na Griču. Naime, u ranim jutarnjim (prije 7 sati) i kasnim večernjim satima (iza 19 sati) ne postoji stalna motriteljska služba na Griču, pa se vrijeme pojave magle bilježi opisnim kraticama (kv = kasno večer, rj = rano jutro, n = noć). Zbog toga su u proračune, nacrtane na sl. 3/6 ušle procjene sata početka ili svršetka magle. Rezultat ovakvog sistema motrenja je donekle nerealan i pokazuje preveliko trajanje magle u siječnju na Griču. Ipak je potrebno naglasiti, da u hladnijem dijelu godine magla na užem gradskom području, zbog veće zagađenosti zraka, u većini slučajeva traje duže nego na periferiji. Prosječno trajanje na periferiji precizno je određeno prema motrenjima Opservatorija Maksimir (sl. 3/6). Jedino južna periferija grada, tj. područje oko rijeke Save, ima nerijetko maglu koja, zbog velike količine vlage u zraku i niskih temperature, traje i duže nego u zagađenom centru.

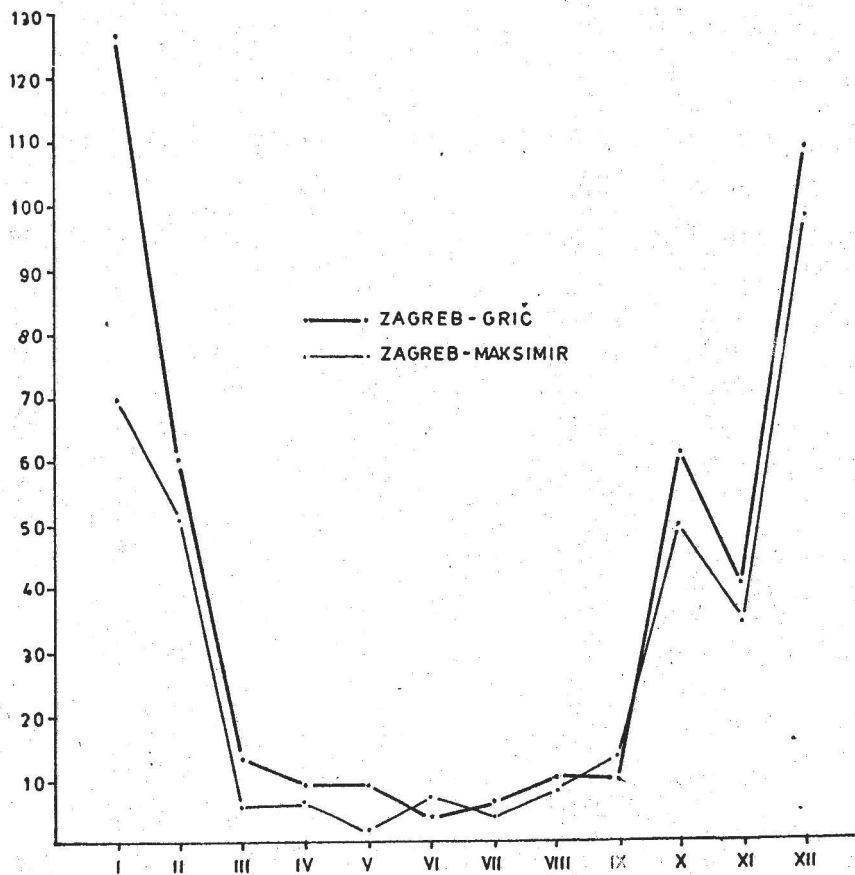
Ljetna magla traje najčešće svega sat-dva, jednako na periferiji kao i u centru, te nema neke veće važnosti za zagađenje zraka.

Kompariraju li se prosječne koncentracije SO_2 u gradu, proračunate na osnovi mjerenja na 7 točaka (period 1966-1971.) s trajanjem magle (sl. 3/6), veza je očita. S porastom trajanja magle paralelno raste i prosječna koncentracija SO_2 u gradu. U hladnijem dijelu godine, od X-III mjes. - ona prelazi prosječnu kritičnu dnevnu vrijednost od $150 \mu g m^{-3}$.

Trajanje magle u pojedinim danima mnogo se razlikuje od prosječnog. Za problem zagađenosti zraka svakako je interesantno razmotriti i maksimalno trajanje magle zabilježeno u Zagrebu u proučavanom periodu od 1966-1971. godine. I opet su



SI. 3/6 SREDNJE TRAJANJE (SATI) MAGLE (1966 - 1971.)



SI. 3/7 MAKSIMALNO TRAJANJE MAGLE (SATI) (1966 - 1971.)

korišteni podaci Opservatorija Maksimir i Grič (sl. 3/7). Najduže neprekidno trajanje magle u Maksimiru bilo je u prosincu 1971. i iznosilo je 98 sati, odnosno nešto preko 4 dana. U ostalim zimskim mjesecima najduža magla trajala je 2-3 dana. Maksimalno trajanje pojedinih slučajeva magle na Griču duže je od onoga u Maksimiru, kao i kod prosječnog trajanja. Prema procjeni u siječnju 1968. magla je na Griču trajala neprekidno čak 5 dana.

Upravo u takvim vremenskim situacijama, kada magla traje danima, a zagadivači (tvornice, loženje u domaćinstvima, promet) rade kontinuirano, koncentracije zagadjenosti veoma porastu. Onečišćena magla sadrži tada visoke koncentracije otrovnih sastojaka, da je neophodno poduzeti mjere zaštite. Poznati "smog" u Londonu u prosincu 1952, koji je trajao četiri do pet dana, uzrokovao je najmanje 4000 smrtnih slučajeva i još mnogo više oboljenja (MEADE, 1963), sadržavajući ogromne koncentracije SO_2 , dima i ostalih sastojaka zagadjenja.

Najviše dnevne koncentracije SO_2 u Zagrebu, spominjane u točki 1.2.1 odnose se upravo na dane s maglom. Prema tim koncentracijama, očito je da se Zagreb može ubrojiti među najzagadjenije gradove upće.

3.2.3 Ovisnost koncentracije SO_2 o karakteristikama magle u Zagrebu

U ovom je poglavlju, na materijalu dnevnih podataka o koncentraciji SO_2 i istovremenim podacima o magli, ispitana njihova veza. Da bi se dobila slika o prosječnoj koncentraciji SO_2 nad Zagrebom, korišten je dnevni aritmetički srednjak sa sedam mjernih mjesta, rasporedjenih uglavnom u srednjem dijelu grada.

Korišteni su podaci o magli s Opservatorija Zagreb-Maksimir, jer su motrenja, pogotovo trajanje magle, preciznija nego na Opservatoriju Grič. Inače bi Grič, po svom položaju u centru grada, gdje se mjeri i koncentracija SO_2 , više odgovarao. Kako se dnevni srednjak koncentracije SO_2 odnosi na razdoblje od 13 sati jednog, do 13 sati drugog dana, to su i podaci o magli uzimani za to razdoblje. Jedina je nezgoda u tome što za sve dane s maglom u ispitivanom razdoblju, u toku zima 1969, 1970 i 1971, nije bilo podataka o zagadjenosti, pa je broj dana uzetih u razmatranje zbog toga reduciran.

U traženju veze s SO_2 korišteno je ne samo trajanje, već i gustoća magle. Pri tom se pošlo od pretpostavke da će koncentracije SO_2 biti veće onih dana kada je magla duže trajala i bila gušća. Gustoća magle ocijenjena je preko horizontalne vidljivosti, koja je to manja što je magla gušća, a uvijek je ispod 1 km ako postoji magla. Dnevna količina emisije SO_2 nije poznata, ali je pretpostavljeno da će onih dana kada su temperature zraka niže, udio loženja u zagadivanju zraka biti povećan. Zato su u ispitivanje uzete i minimalne dnevne temperature zraka.

Na osnovi spomenutih triju elemenata: trajanja magle, vidljivosti i minimalne temperature zraka, sastavljena je, kao karakteristika magle, veličina:

$$Y = \frac{D \cdot T_{\min} - 20}{3 \cdot \bar{V}}$$

pri čemu je:

D = trajanje magle u satima

T_{\min} = minimalna temperatura ($^{\circ}\text{C}$) u razdoblju od 24 sata

\bar{V} = srednja dnevna vidljivost (km) (na osnovi tri termina - 14, 21 i 07 sati)

Komponenti vidljivosti, odnosno gustoći magle, data je trostruka težina, čime je dobiven bolji odnos s SO_2 .

Veza koncentracije SO_2 kao X komponente s Y - kao karakteristikom magle linearna je i glasi:

$$X = 364.8 + 0.78 Y$$

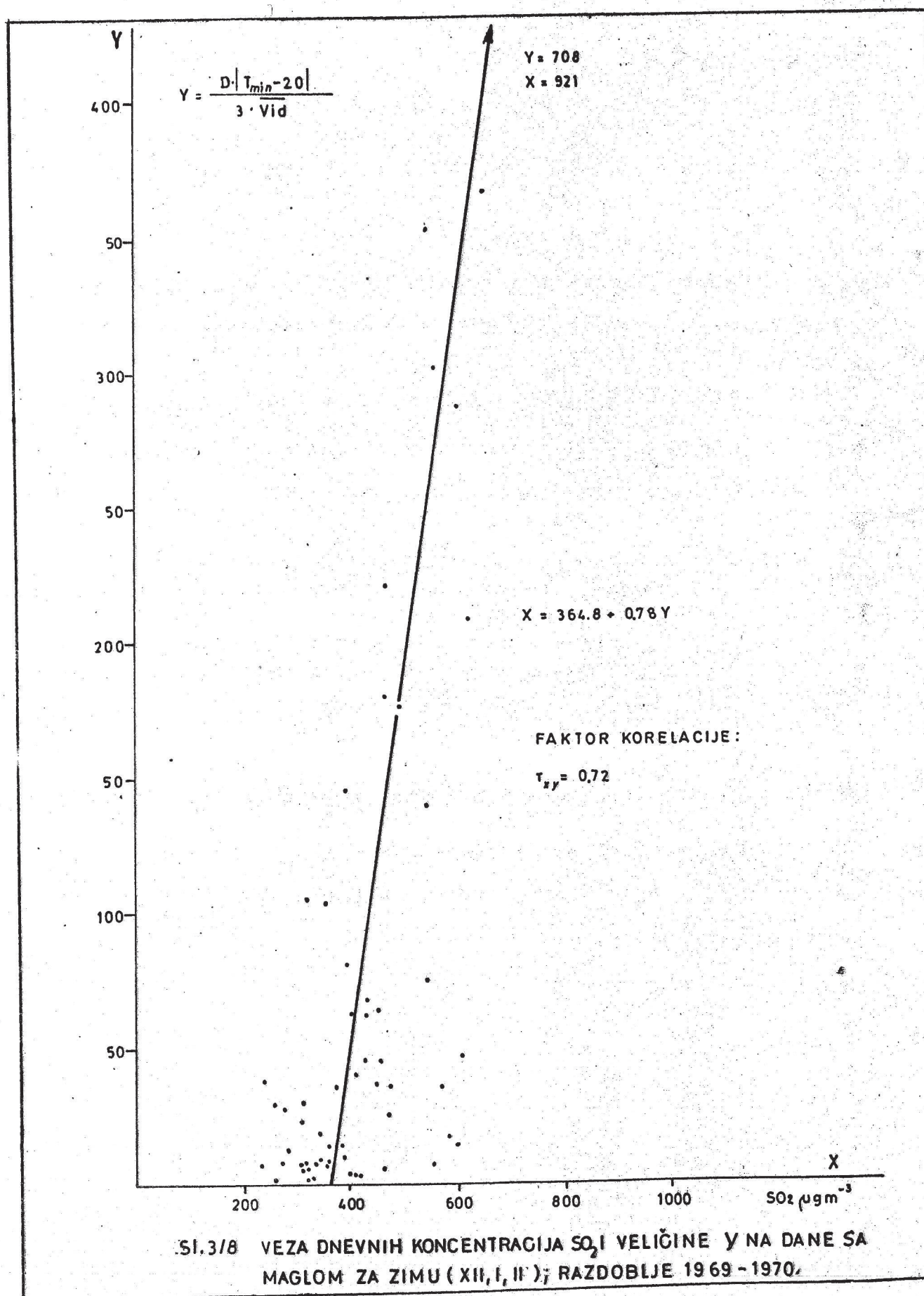
te je prikazana na sl. 3/8. Očito je da veoma hladna magla dužeg trajanja i veće gustoće pogoduje stvaranju većih prosječnih koncentracija SO_2 nad Zagrebom.

Faktor linearne korelacije za ispitivanu ovisnost koncentracije SO_2 (X) o trajanju, gustoći i temperaturi magle (karakteriziranom veličinom Y) iznosi:

$$r_{XY} = 0.72$$

i pokazuje, unatoč većem rasapu koncentracije SO_2 kod kratkotrajne magle, prilično čvrstu povezanost.

Prema jednadžbi za X (koncentracija SO_2), moglo bi se zaključiti da se na dane s maglom može teoretski očekivati samo koncentracija veća od $365 \mu\text{g m}^{-3}$. Međutim, kod kratkotrajne magle, rasap stvarnih koncentracija oko pravca dosta je velik, kao što se vidi na sl. 3/8. Podaci ipak pokazuju da se u slučaju magle, makar i najkraćeg trajanja i bez obzira na njenu gustoću, može očekivati dnevni prosjek koncentracije SO_2 u Zagrebu uvijek *iznad* $230 \mu\text{g m}^{-3}$ uz današnji nivo emisije. Prosjek od $365 \mu\text{g m}^{-3}$ pokazuje najčešću početnu vrijednost koncentracije uz maglu, koja je, ovisno o veličini karakteristike Y, često uvećana. Najveća prosječna dnevna koncentracija SO_2 nad centralnim područjem grada uz 24-satno trajanje guste magle i minimalnu temperaturu zraka od -9.5°C iznosila je $981 \mu\text{g m}^{-3}$ (prosjek za 7 točaka). Čak i najniža izmjerena dnevna vrijednost koncentracije SO_2 za vrijeme magle ($230 \mu\text{g m}^{-3}$) u Zagrebu, iznad je u svijetu dopuštenih normativa.



3.3 UPLIV ZAGADJENOSTI ZRAKA NA INSOLACIJU

Slika trenda insolacije iz godine u godinu već je prikazana u poglavlju 2.2.2, gdje je ustanovljeno da zagađenost nije značajnije djelovala na trajanje sijanja Sunca u Zagrebu u razdoblju od 1966-1971. godine.

Ovdje će promjene insolacije tokom godine i dana za područje Zagreba biti detaljnije proučene na osnovi mjerenja dvaju Opservatorija: Zagreb-Grič i Zagreb-Maksimir. Na ostalim se meteorološkim stanicama u gradu trajanje sijanja Sunca ne mjeri.

Usporedba podataka s oba opservatorija pokazat će postoji li razlika u trajanju osunčanosti tokom dana ili godine između "čišće" periferije i "zagađenog" centra.

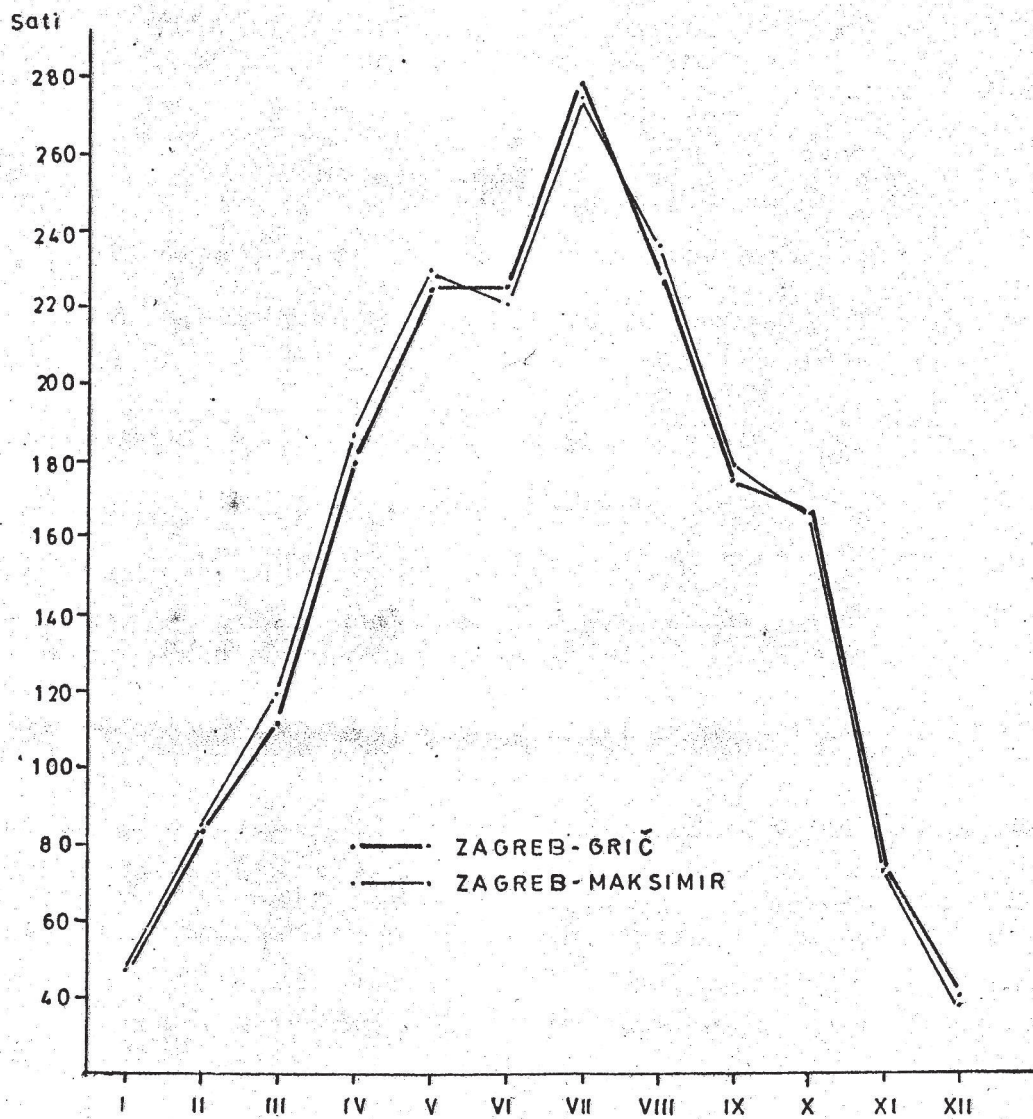
Naime, zagađenost zraka može utjecati na trajanje sijanja Sunca, ako se radi o većoj količini dima ili prašine, ili ako su neke komponente zagađenosti uzrokovale češće formiranje ili duže trajanje magle, te tako smanjile trajanje osunčavanja. Utjecaj ovakvih atmosferskih prilika veći je u jutarnjim satima, kada je Sunce nisko nad horizontom, pa zrake Sunca moraju proći duži put kroz zagađenu i mutnu atmosferu da bi došle do registrirnog instrumenta. Na tom putu njihov intenzitet slabi zbog apsorpcije ili difuzije to jače što je atmosfera zagađenija i mutnija, pa se može dogoditi da oslabljene zrake ne mogu ostaviti trag paljenja na traci za registriranje.

Pri tom je iz razmatranja isključena zagađenost zraka sa SO_2 , jer on ne može djelovati na trajanje sijanja Sunca.

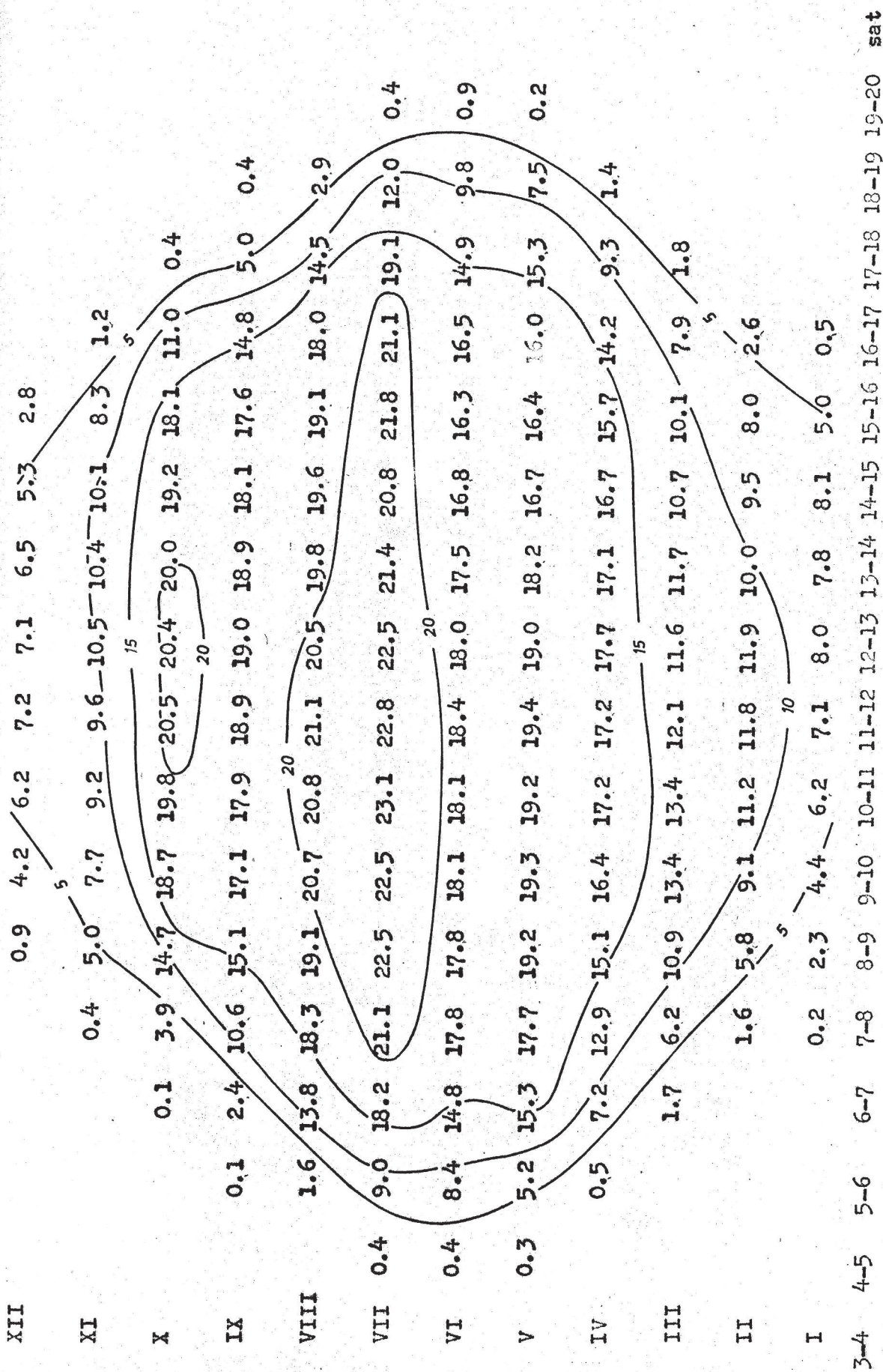
A) U godišnjem hodu trajanja sijanja Sunca za razdoblje od 1966-1971. godine, prikazanom na sl. 3/9 vidi se da između stanice u centru i na periferiji nema nekih bitnijih razlika po mjesečnim vrijednostima. U prosječnoj godišnjoj sumi za proteklo 6-godišnje razdoblje Maksimir je imao svega 20 sati duže osunčavanje od Griča. Ukupni godišnji broj sati sijanja Sunca za Grič iznosio je 1832, a za Maksimir 1852 sata.

B) Prosječni dnevni hod trajanja sijanja Sunca veoma je sličan na obje stanice, kao što pokazuju izoplete na sl. 3/10 i 3/11. Manje razlike u hodu insolacije na Griču i Maksimiru, gdje prosječno godišnje trajanje iznosi 20 sati u korist Maksimira, pokazuju se i ovdje (sl. 3/12).

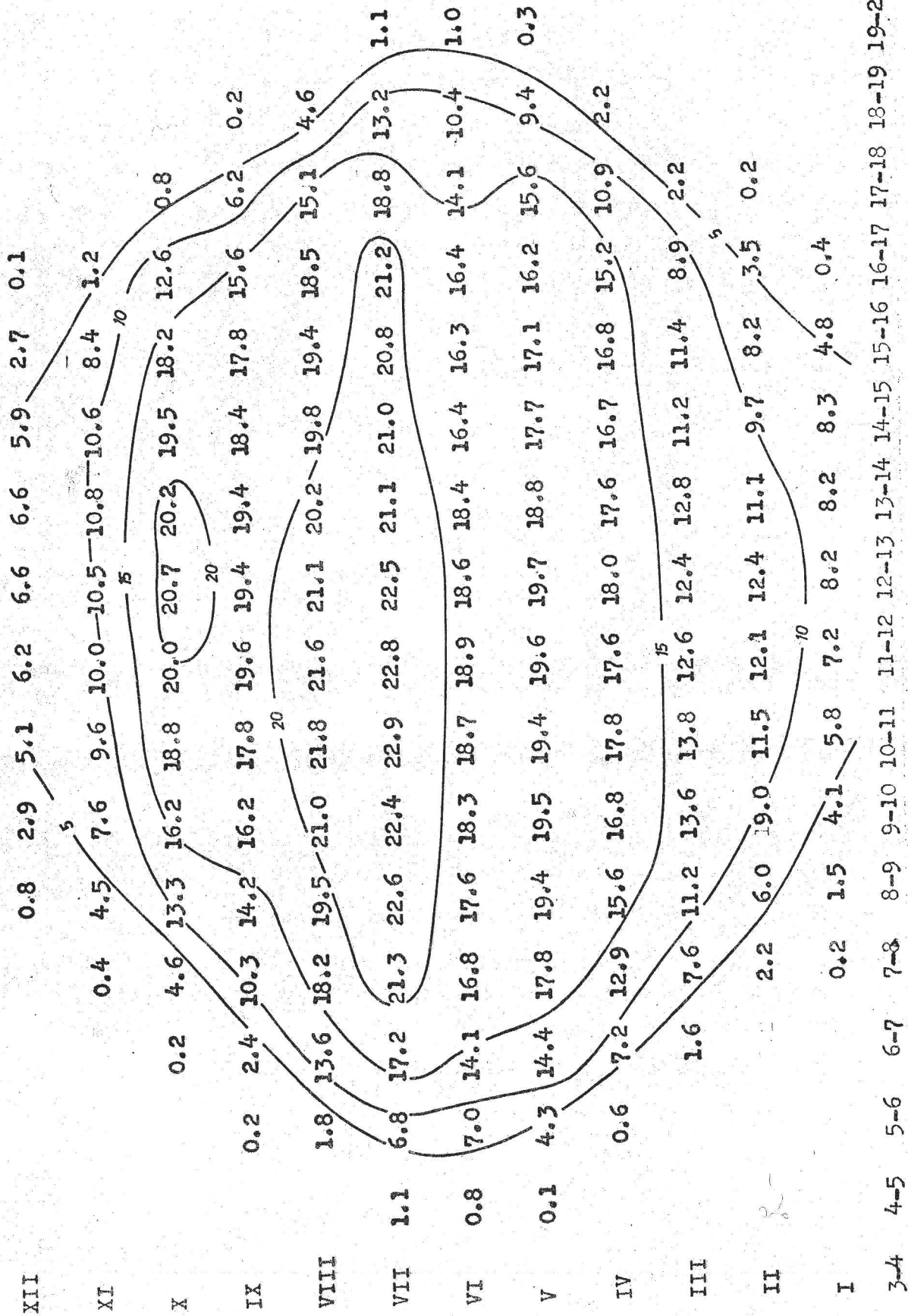
Pozitivno ograničeno područje predstavlja dio dana, odnosno vrijeme, kada je suma trajanja sijanja Sunca na Griču tokom mjeseca veća nego u Maksimiru. Obratno, negativni brojevi (sati), a tih je više, označavaju kada je Maksimir duže obasjan Suncem. Diferencije nisu velike i kreću se, u ekstremnim slučajevima, od +2.5 do -1.9 sati za cijeli mjesec, u intervalu od jednog sata (npr. 9-10 sati, ili 18-19 sati). Grič



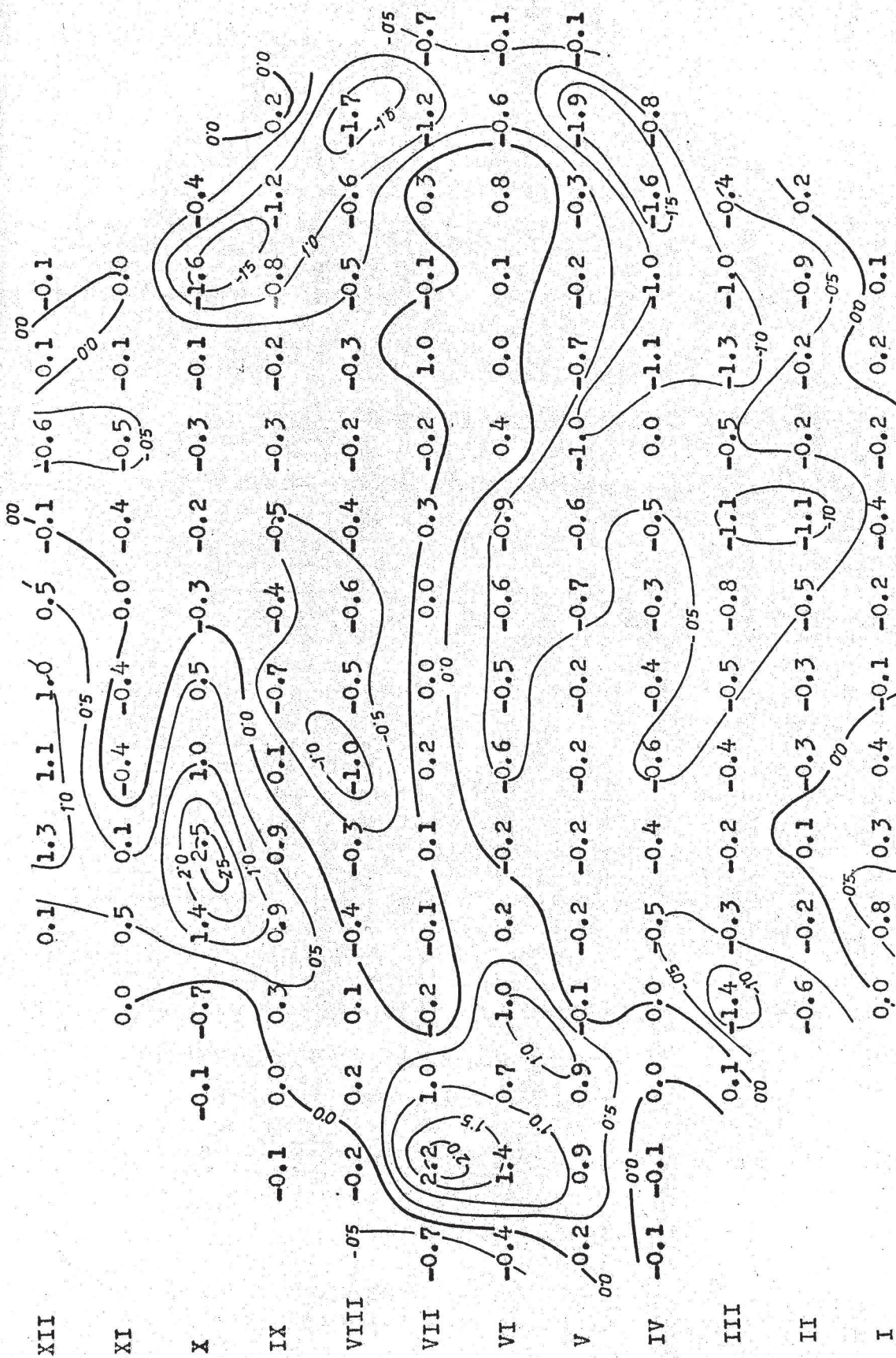
SI. 3/9 PROSJEČNE MJESEČNE SUME TRAJANJA SIJANJA
SUNCA ZA ZAGREB GRIČ I MAKSIMIR (1966-1971)



Sl.3/10 Prosječne mjesečne sume trajanja sisanja Sunca(sati) po satovima za Zagreb-Grič (1966-71)



Sl. 3/11 Prosječne mjesečne sume trajanja sijanja Sunca (sati) po satovima za Zagreb - Maksimir (1966-71)



3-4 4-5 5-6 6-7 7-8 8-9 9-10 10-11 11-12 12-13 13-14 14-15 15-16 16-17 17-18 18-19 19-20 sat

SI. 3/12 Diferencije mjesečnih suma trajanja sijanja Sunca (sati) po satovima između Zagreb-Griča i Zagreb - Maksimira (1966-71)

je u jutarnjim satima, iako ne odmah po izlasku Sunca, nešto češće obasjan Suncem gotovo kroz cijelu godinu. U hladnijem dijelu godine Grič, pored jutarnjih, i u večernjim satima ima nešto malo duže trajanje sijanja Sunca. Razlog takvim dnevnim diferencijama je niska magla, koja se počinje formirati u jutarnjim (malo iza izlaza Sunca) ili večernjim satima u hladnijem i vlažnijem Maksimiru i ne obuhvaća Grič, čija nadmorska visina iznosi 30 m više od Maksimira, a heliograf se nalazi na krovu dvokatne zgrade. Tokom dana, a pogotovo u večernjim satima, zamućenost atmosfere nad gradom povećana je, te Maksimir ima prosječno duže trajanje sijanja Sunca od Griča. Međutim, razlike su beznačajno male. Zato možemo i ovdje potvrditi da zagađenost u centru grada, unatoč tome što je vrlo visoka, ipak nije značajnije djelovala na insolaciju u Zagrebu unutar promatranih 6 godina.

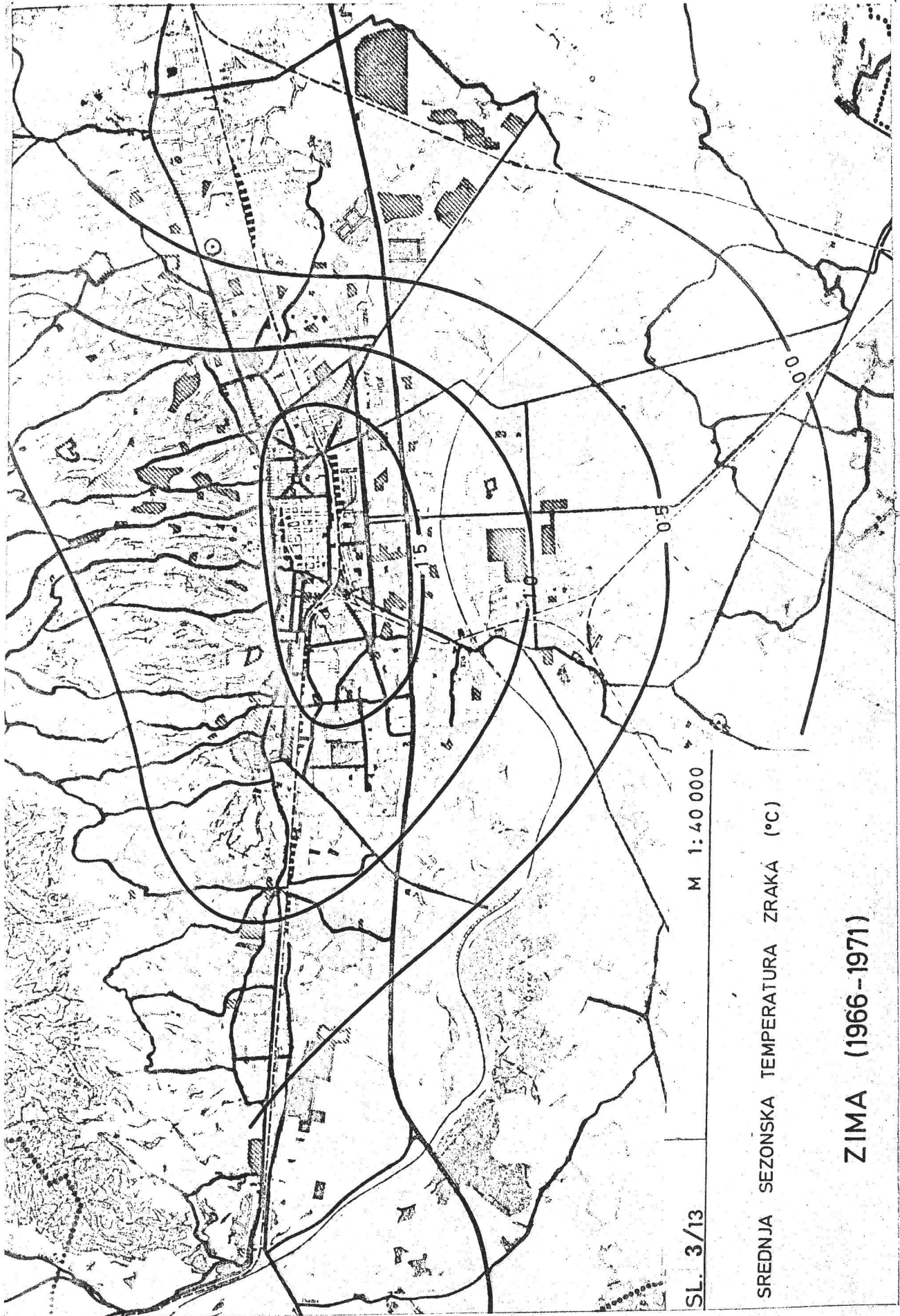
3.4 TEMPERATURA ZRAKA I ZAGADJENOST

Temperaturni režim većih gradova pokazuje određene opće karakteristike (LUDWIG, OKE and HANNEL, WOOLUM, SEKIGUTI, BERLJAND, - 1970). Što je grad veći to ima općenito i veći upliv na klimatske prilike područja u kojem se nalazi. Taj je upliv vrlo jasno izražen na polju temperature zraka. Grad je zimi, uslijed loženja, topliji od svoje okoline. Ljeti kompleks zgrada i blokova velikog toplinskog kapaciteta akumulira mnogo sunčeve toplinske energije, koja će ga učiniti također (pogotovo noću) toplijim od zelene i manje izgrađene okoline. Zato će temperaturni režim pokazivati postojanje toplijeg područja, tzv. "toplinskog otoka", odnosno "toplinske kape" nad gradom. Takav "otok" uzrok je uspostavljanju cirkulacije od okoline prema gradu i formiranju konvergencije strujanja zraka prema centru. Pri tome dolazi i do transporta i miješanja polutanata iz industrijskih i drugih izvora unutar "toplinske kape". Ukoliko se grad nalazi na obroncima brda, kao što je slučaj sa Zagrebom, onda se na ovu cirkulaciju superponira i sistem strujanja brdo - dolina.

3.4.1 Prostorna razdioba sezonskih temperatura zraka u Zagrebu

Sezonske temperature predstavljaju prosječnu vrijednost temperature za jedan dan u toku svake sezone. Jasno, odstupanja pojedinih dana u svakom godišnjem dobu, od njihovih srednjih vrijednosti, mogu biti velika. Interval odstupanja za najhladnije i najtoplije godišnje doba iznosi oko 20 C za jedan dan, u toku 6-godišnjeg razdoblja.

Na kartama prostorne razdiobe temperature u Zagrebu (sl. 3/13-3/16) uočava se kroz sve sezone postojanje "toplinskog otoka" nad gradom, odnosno činjenica da je grad topliji

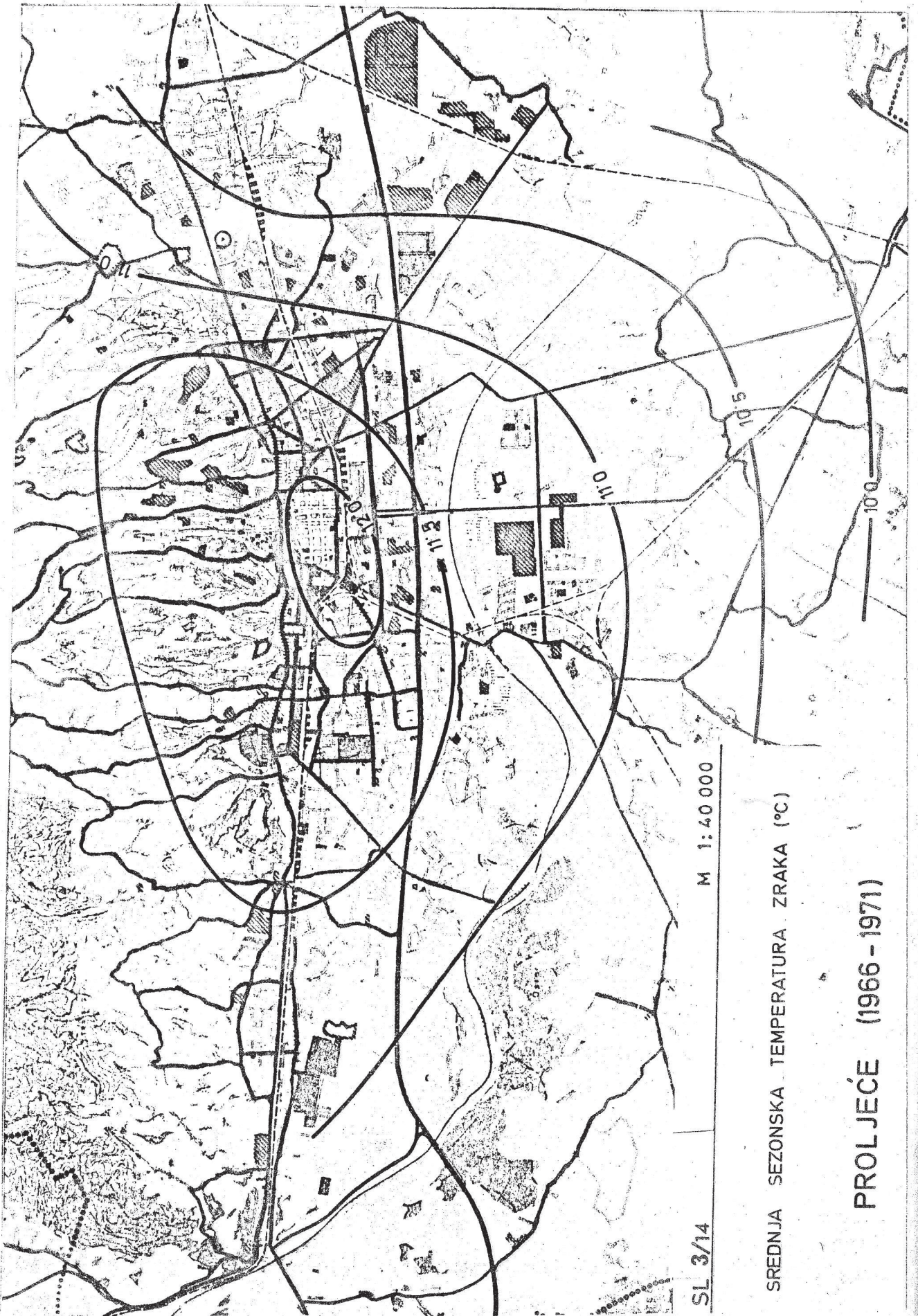


SL. 3/13

M 1:40 000

SREDNJA SEZONSKA TEMPERATURA ZRAKA (°C)

ZIMA (1966-1971)

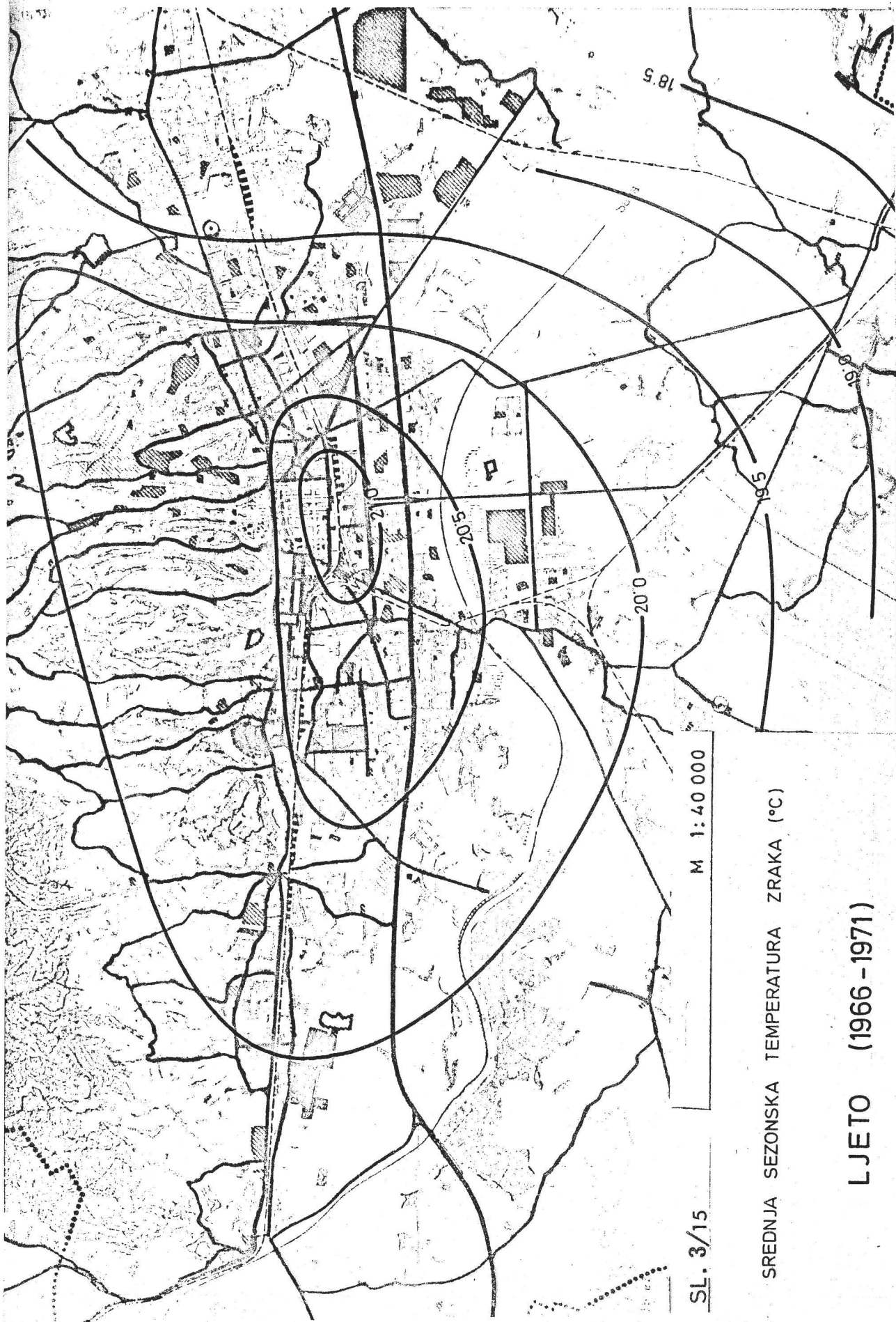


SL 3/14

M 1:40 000

SREDNJA SEZONSKA TEMPERATURA ZRAKA (°C)

PROLJEĆE (1966 - 1971)

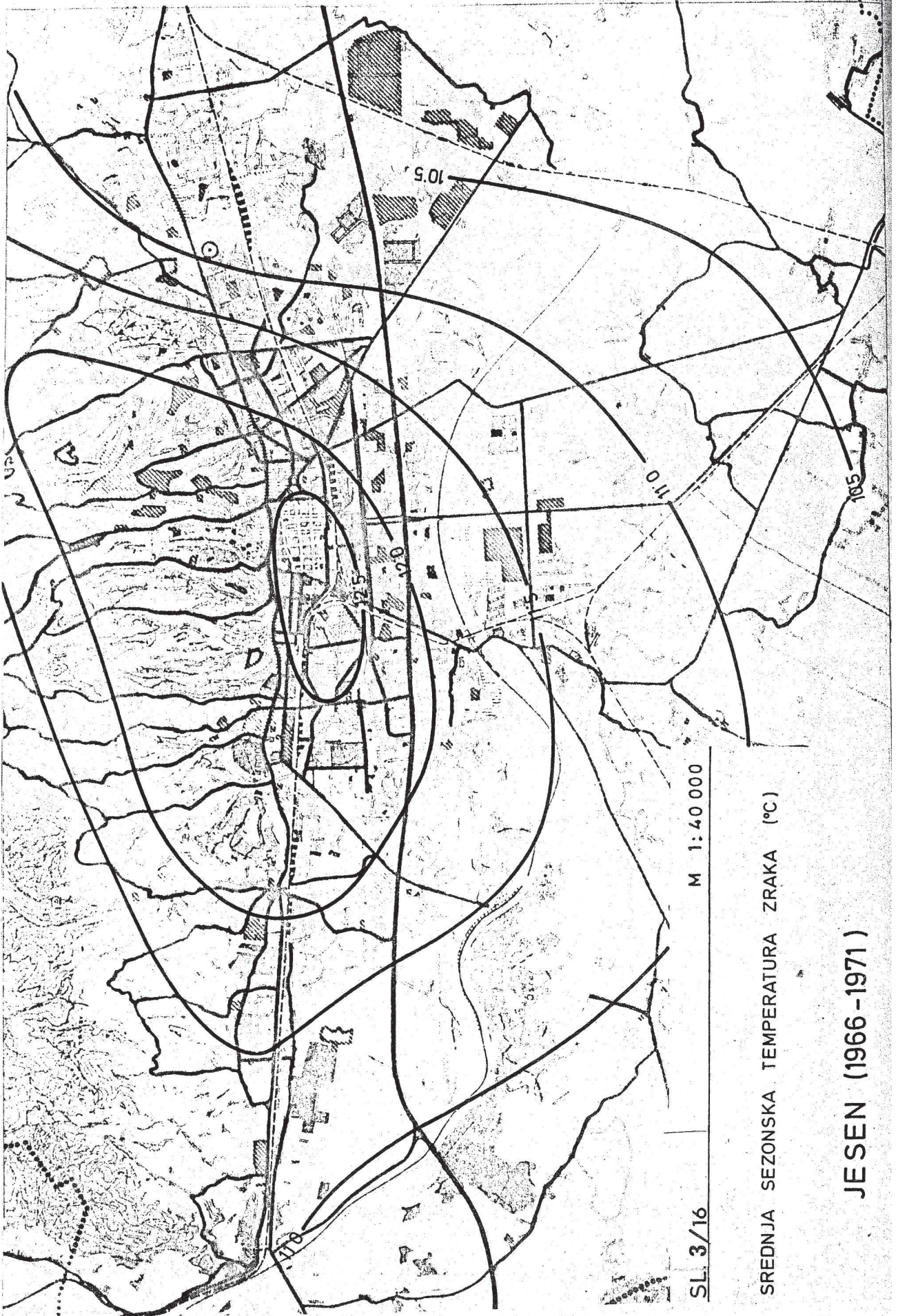


SL. 3/15

M 1:40 000

SREDNJA SEZONSKA TEMPERATURA ZRAKA (°C)

LJETO (1966 - 1971)



SL 3/16

M 1:40 000

SREDNJA SEZONSKA TEMPERATURA ZRAKA (°C)

JESEN (1966-1971)

od svoje okoline. Najveće razlike u svakom od godišnjeg doba između najhladnije stanice na periferiji, što je redovito Aerodrom Pleso, i najtoplijeg dijela Zagreb-Griča, iznose prosječno svega oko 2°C . To pokazuje da u prosječnoj sezonskoj slici "toplinski otok" nije naročito jako izražen.

Razdioba prosječnih vrijednosti temperature zimi (sl. 3/13) pokazuje da nema područja s negativnim temperaturama (osim oko Aerodroma Pleso), iako su prosječne zimske temperature samo malo iznad 0°C .

Proljeće, s razdiobom prosječnih temperatura uglavnom između 10 i 12°C (sl. 3/14) hladnije je za oko 0.5°C od jeseni u Zagrebu (sl. 3/16).

Prosječne ljetne temperature promatranog razdoblja kreću se ispod 21.0°C , ali se samo na istočnoj i jugoistočnoj periferiji spuštaju ispod 19.5°C (sl. 3/15).

Kod izvlačenja izoterma nastojalo se eliminirati upliv lokaliteta meteoroloških stanica Zagreb-Grič i Farmaceutski botanički vrt na opću sliku prostorne razdiobe temperature u Zagrebu.

Razdiobe sezonskih temperatura pokazuju da je i Zagreb formirao temperaturni režim sličan karakteristikama svih većih gradova, pa će i djelovanje na širenje polutanata biti slično.

3.4.2 "Toplinska kapa" nad Zagrebom

Rezultati istraživanja temperaturnog režima Zagreba pokazali su da je noću, tokom čitave godine, centar grada topliji od okoline. Ispitivanja su izvedena na osnovi kontinuiranih registracija temperature meteoroloških opservatorija na Griču i u Maksimiru. Grič je u centru Zagreba, a Maksimir na istočnoj periferiji. Za posljednje tri godine (1969, 1970. i 1971.) odabrana su četiri mjeseca, reprezentativna za pojedina godišnja doba (siječanj, travanj, srpanj i listopad), te su za njih izračunate razlike satnih temperatura Griča i Maksimira. Činjenica da je centar grada topliji od okoline, odnosno periferije grada, ukazuje na postojanje tzv. "toplinske kape" nad gradom. Ona nastaje zbog slabijeg izjaravanja, tj. hladjenja centra noću, kroz atmosferu zamućenu uslijed zagađenosti zraka, kao i zbog zagrijavanja betonskih blokova tokom dana i njihovog izjaravanja noću. Danju, pod uplivom sunčeve radijacije, ovaj je efekt daleko slabiji, osim što je centar, zbog slabijeg provjetravanja, ipak nešto topliji od okoline.

Medjutim, prije nego što se utvrdi veličina temperaturne diferencije između centra i periferije, dakle intenzitet "toplinske kape", treba imati na umu da su te razlike rezultat kompleksa više faktora, te da treba sve faktore dobro

upoznati, kako bi se među njima mogao lučiti samo termalni efekt centra grada. U prvom redu treba ustanoviti je li odabrana meteorološka stanica reprezentativna za centar - odnosno za okolinu grada, a zatim jesu li pozicije tih stanica dovoljno slične, da bi se njihovi podaci mjerenja mogli usporedjivati.

a) Opservatorij Grič nalazi se u strogom centru, koji je nešto uzdignut iznad najzagadjenijeg centralnog dijela Zagreba. Svojom visinom od 157 m nadmorske visine, s termometrima smještenima na prozoru zgrade 6.2 m iznad tla, on je 34 m viši od opservatorija u Maksimiru (123 m nadmorske visine), odnosno 38 metara, ako se uzmu u obzir visine termometara iznad tla (2 m u Maksimiru).

Zato bi, obzirom na opadanje temperature s visinom (prosječno za $0.6^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$), Grič morao biti hladniji od Maksimira za oko pola stupnja Celzijusa. Mjerenja pokazuju da je, tokom toplijeg dijela dana, Grič hladniji od Maksimira oko 1°C (manje za oblačnog i vjetrovitog vremena, a više kod vedrog i mirnog vremena).

Prema tome, danju podaci opservatorija Grič nisu pogodni za ocjenu postojanja "toplinske kape". Medjutim, termalni efekt grada ocjenjuje se, i kod gradova većih od Zagreba, uglavnom noću, kada dolazi do izražaja izjaravanje tla i zgrada. Noću, kada nema sunčeve radijacije, te u rano jutro i kasno navečer kada je ona vrlo slaba, Grič je topliji od Maksimira bez obzira na veću nadmorsku visinu, što znači da u to doba dana prevladava termalni efekt centra grada. Medjutim, i u tim slučajevima *trebalo bi eliminirati upliv nadmorske visine Griča, tako da temperaturnim podacima Griča dodajemo barem 0.5°C kod mirnog i vedrog vremena.* Opservatorij Maksimir smješten je na istočnoj periferiji Zagreba, na prostranom otvorenom terenu (livade).

b) Nadmorska visina termometrijske kućice na Griču uzrokuje još jednu poteškoću u ispravnoj ocjeni termalnog efekta grada. Naime, u situacijama *prizemnih inverzija* temperature Grič će, zbog veće nadmorske visine, biti topliji od Maksimira. Efekt inverzija odvija se u istom smislu kao i termalni efekt grada, te ga moramo dobro upoznati da bismo ova dva efekta mogli međusobno lučiti.

Pojava i karakteristike inverzionih slojeva nad Zagrebom prostudirani su u više radova pomoću radiosondažnih mjerenja u Maksimiru. Ovdje ćemo primijeniti rezultate tih mjerenja na tumačenje pojedinačnih diferencija temperature između Griča i Maksimira tokom I, IV, VII i X mjeseca 1969, 1970 i 1971. Iz statistike inverzionih slojeva raznih debljina vidi se da su, tokom čitave godine, noćne inverzije veoma česte, dok se dnevne javljaju samo u hladnijem dijelu godine (tu se najčešće radi o dugotrajnim inverzijama za vrijeme zimskih anticiklona). Obzirom da je zimi termalni efekt grada najizrazitiji tokom čitavog dana, upliv faktora inverzije na temperature Griča ispitan je upravo za zimski mjesec, siječanj.

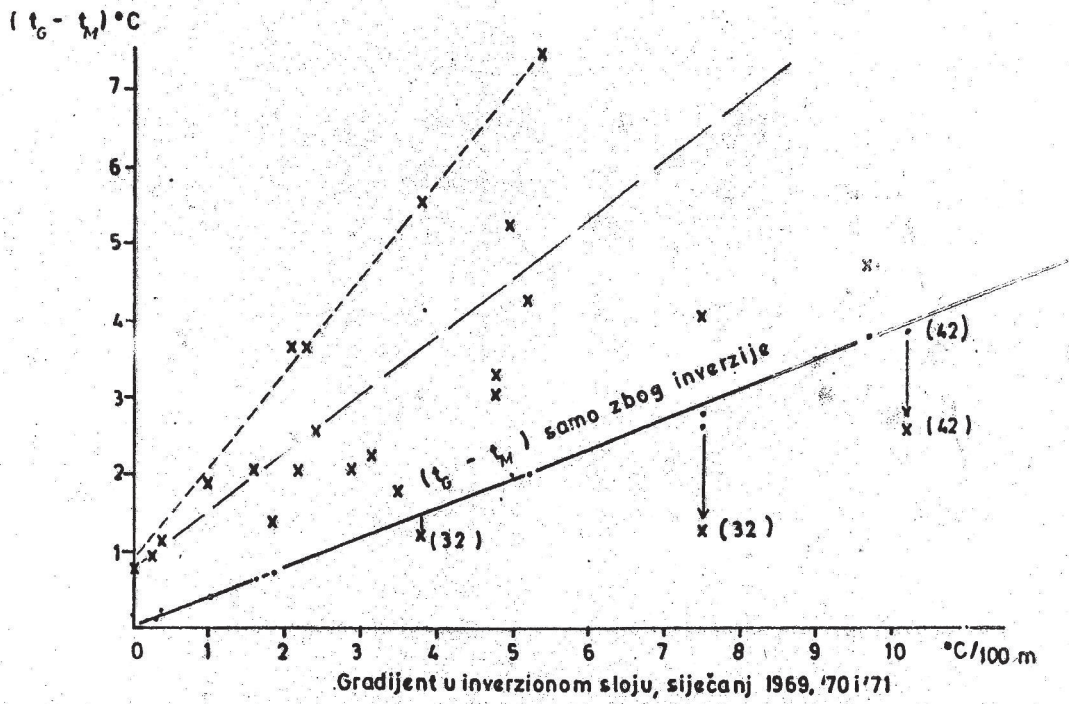
U svim slučajevima inverzija u 01^h i 13^h tokom siječnja 1969, 1970 i 1971. izračunato je koliko bi Grič, zbog veće nadmorske visine, morao biti topliji od Maksimira. Te su vrijednosti unesene na grafikone 3/17 i 3/18 i čine pravac kroz ishodište s kutom nagiba, koji je određen gradijentima temperature u inverzionom sloju.

Na iste su grafikone unesene i stvarne razlike temperature Griča i Maksimira ($T_G - T_M$)⁰C, označene križićima. Uzorak podataka nije velik, premda ga čine svi slučajevi podataka u siječnju kroz tri godine, ali se iz njega ipak mogu izvesti određeni zaključci, fizikalnog karaktera.

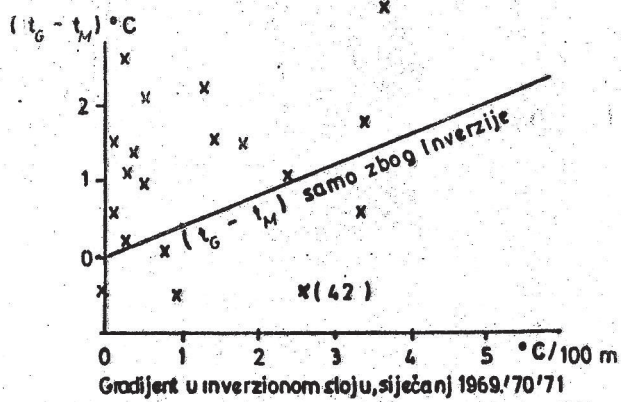
1. Noću (01^h) je u svim slučajevima inverzije opservatorij na Griču topliji od opservatorija u Maksimiru *više* nego što to daju inverzije izmjerene nad Maksimirom. U tri slučaja veoma niskih inverzija (32 i 42 m) temperatura na Griču *nije* pod uplivom inverzije, ali je ipak za 1 do 2.5⁰C viša od one u Maksimiru. Križići na grafikonu pokazuju dosta veliku disperziju, ali ipak se uočava porast $T_G - T_M$ s intenzitetom inverzije, tj. s veličinom gradijenta u inverzionom sloju. Taj je porast jači od nagiba inverzionog pravca, što se može protumačiti činjenicom da je, zbog mirnog i vedrog vremena za intenzivnih inverzija, termalni efekt "kape mutnoće" iznad grada najjači. Udaljenost križića od linije inverzije daje ocjenu termalnog efekta grada, odnosno podatak koliko je centar grada topliji od Maksimira samo zbog upliva grada. Te se vrijednosti kreću između 1 i 5⁰C za vrijeme inverzija, a najčešće iznose dva stupnja.

2. Tokom dana (13^h) upliv inverzija očituje se samo zimi, no kao što se vidi iz grafikona 3/18, inverzije su slabije (i rjeđe se javljaju), a njihov upliv na temperaturu opservatorija Grič ponekad je tako slab, da je zbog opisanog lokalnog upliva Grič, čak i u tim situacijama, oko pola stupnja hladniji od Maksimira. Inače je u većem broju slučajeva - ako se odbije efekt inverzija - Grič, zbog termalnog efekta grada, oko pola do dva stupnja topliji od Maksimira. Inverzije niže od 50 m ne djeluju na temperaturu Griča.

Najveće pozitivne razlike između Griča i Maksimira, tj. one iznad 5⁰C, u pravilu su vezane uz pojavu inverzije u sloju debljem od 60 metara (najčešće u inverzionom sloju debljine 100-150 metara) - noću. Iz grafikona može se pročitati približna vrijednost "termalnog efekta" grada, ako od ukupne veličine ($T_G - T_M$)⁰C odbijemo ($T_G - T_M$)⁰C samo zbog inverzije. Obzirom na disperziju križića na grafikonu, povučen je između rubnih i jedan srednji pravac ("od oka"), kao aproksimacija izmjerenih vrijednosti ($T_G - T_M$)⁰C. Usporedbom ovog pravca i pravca "inverzije" dobiju se približne vrijednosti temperatura, koje zbog inverzije treba odbiti od izmjerenih ($T_G - T_M$), da bi rezultat bila najvjerojatnija veličina termalnog efekta grada, odnosno ($T_G - T_M$)^{term}.



Sl. 3/17 RAZLIKE U TEMPERATURI ZAGREB-GRIČA I MAKSIMIRA ZA VRIJEME INVERZIJE U 01^h

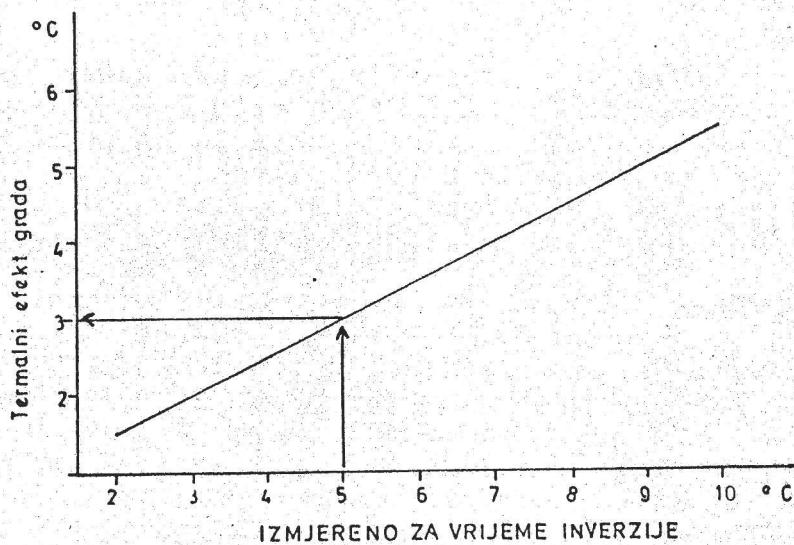


Sl. 3/18 RAZLIKA U TEMPERATURI ZAGREB GRIČA I MAKSIMIRA ZA VRIJEME INVERZIJE U 13^h

Općenito se može napisati:

$$(T_G - T_M)_{\text{term.}} = (T_G - T_M) - (T_G - T_M)_i,$$

odakle na osnovu grafikona 1 dobijamo slijedeći pomoćni grafikon



SL. 3/19 POMOĆNI DIJAGRAM ZA ODREĐIVANJE TERMALNOG EFEKTA GRADA

U grafikon ulazimo s izmjerenim vrijednostima na apscisu, i u smjeru strelice očitamo na ordinati onu temperaturnu razliku, koja je uzrokovana samo termalnim efektom centra Zagreba.

U svim slučajevima inverzija grad je bio za više od 2°C topliji od okoline. Pozitivne diferencije od 0 do 2°C pripadaju danima bez inverzije i označavaju samo termalni efekt grada.

c) Upliv upisanih faktora treba odbiti od temperatura, izmjerenih na opservatoriju na Griču, i na taj način doći do jednog hipotetičnog odnosa temperature centra grada i Maksimira, odnosno istočne periferije grada. Tako dobiven odnos daje ocjenu najvjerojatnijeg "toplinskog otoka" centra grada Zagreba. Prema tome, u tu ćemo svrhu satne temperature Griča modificirati na slijedeći način:

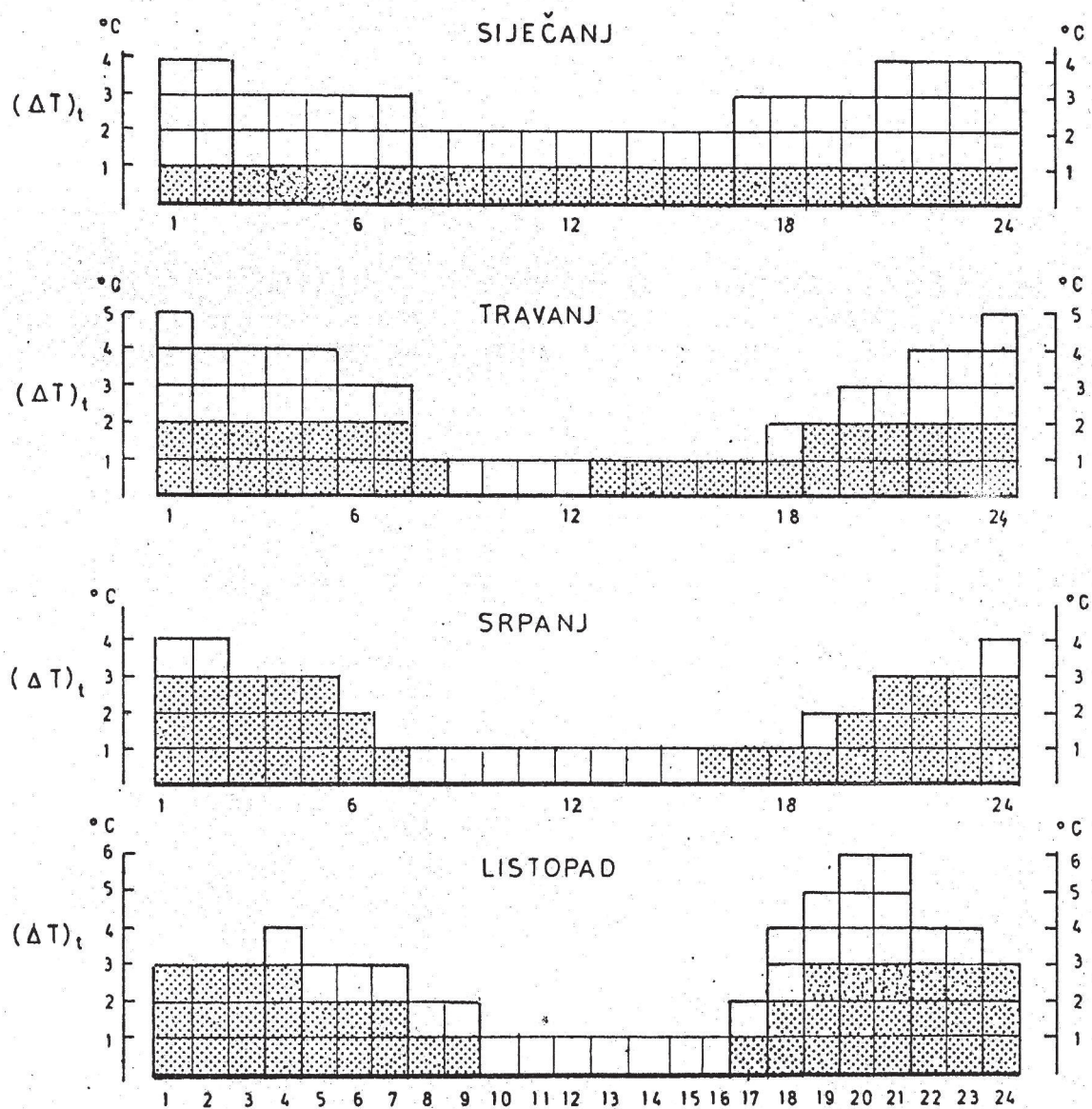
C/1 - Negativne temperaturne diferencije između Griča i Maksimira nećemo uvažavati, nego ćemo ih sve uključiti u slučajevima izotermije (radi eliminiranja upliva nadmorske visine Griča).

- C/2 - Pozitivnim temperaturnim diferencijama na dane i sate bez inverzije dodat ćemo 0.5 C (radi eliminiranja upliva nadmorske visine Griča).
- C/3 - Pozitivne temperaturne razlike na dane i sate s inverzijama smanjit ćemo pomoću grafikona na sl. 3/19.

Konačni rezultat svih ovih korekcija daje izvjesnu ocjenu intenziteta "toplinske kape" nad centrom Zagreba. U su-
marnom obliku prikazan je na slici 3/20.

Podaci za četiri mjeseca iz samo tri godine pred-
stavljaju malen uzorak. Zato grafikoni na slici 3/20 imaju prven-
stveno ilustrativni karakter, premda ukazuju na neke bitne
osobine "toplinska kape" nad centrom Zagreba. Naime, jedino
tokom zimskog mjeseca - siječnja - centar grada je, u najvećem
broju slučajeva, topliji od periferije tokom cijelog dana. Ob-
zirom na slabiju sunčevu radijaciju, ovdje se manje radi o
efektu zagrijavanja betonskih ploha zgrada, a više o zagadje-
nosti zraka nad centrom zbog intenzivnog zimskog loženja. Uje-
dno je jedino zimi sunčeva radijacija preslaba da "razbije"
sloj toplinske kape nad centrom Zagreba. U svim drugim godiš-
njim dobima jače zagrijavanje centra tokom podneva uzrokuje
pojačano dizanje zraka nad centrom i priliv svježeg zraka iz
periferije, zbog čega se temperature centra i periferije izje-
dnačuju. Taj je efekt, kao što pokazuje slika, najjači ljeti.

Posebno velike vrijednosti (ΔT)_t u listopadu vjeroja-
tno su kompleks čitavog niza faktora: češće intenzivne inver-
zije, praćene mirnim vremenom, uz još dosta jaku sunčevu radi-
jaciju danju i naglo hladjenje noću.



LEGENDA: $(\Delta T)_t = (T_{\text{GRIC}} - T_{\text{MAKSIMIR}})_t$

□ vrijednost $(\Delta T)_t$ pojavila se barem jedanput

▒ najčešća vrijednost $(\Delta T)_t$

SL. 3/20 NAJVJEROJATNIJI TERMALNI EFEKT CENTRA ZAGREBA (1969-1971)