

Varijabilnost prosječnog oborinskog režima šire zagrebačke regije

Variability of the Zagreb Area Mean Precipitation Regime

MARJANA GAJIĆ-ČAPKA

Sažetak: Varijacije godišnjih količina oborine Zagreb—Griča u razdoblju od 1862—1980. prikazane su krivuljom izglađenom pomoću 9-godišnjih otežanih kliznih srednjaka i njoj pridruženim polinomom 12. stupnja. Testiranjem trenda pomoću Spearmanovog testa korelacije ranga utvrđeno je da postoji signifikantna stacionarnost vremenskog niza, te se ne može konstatirati prisutnost trenda. Za 4 reprezentativne stanice u gradu i okolici je pokazano da utjecaj urbanizacije i industrijalizacije na godišnje količine oborine i količine oborine toplog dijela godine nije prisutan. Nakon ispitivanja normale oborinskog niza (godišnjih količina oborine i količina oborine veljače i srpnja) Zagreb—Griča, odabran je 20-godišnji niz sredine druge polovice XX stoljeća za analizu prostorne raspodjele godišnjih i mjesečnih količina oborine Zagreba i šire regije. Nadalje, za mjesece u kojima se javljaju ekstremi u godišnjem hodu oborine (II i VII) provedeno je pridruživanje teorijske razdiobe čestina empiričkim razdiobama za Zagreb—Grič i Puntijarku.

Ključne riječi: Oborina; Trend; Utjecaj grada; Normala niza; Prostorna raspodjela; Koeficijent varijacije; Pridruživanje teorijske razdiobe čestina.

Abstract: The annual precipitation amounts in Zagreb during the period 1862—1980 are studied. Their time variability is shown by the curve smoothed with a weighted 9-year running mean and fitted by a 12-order polynomial. An objective statistical method, the Spearman rank correlation test, was used to investigate a trend in the annual rainfall data. Results show that the annual series examined generally indicates an oscillatory characteristic without a significant trend. It was shown for 4 representative stations in the city of Zagreb and its surroundings that the effect of urbanization and industrialization on annual and summer half-year rainfall amounts is not present. After examination of annual, February and June precipitation normals, the 20-year period of the second part of the XX century was chosen for spatial distribution of annual and monthly precipitation amounts in the Zagreb area. Frequency distribution of February and June precipitation amounts for Zagreb—Grič and Puntijarka (on the top of neighbouring mountain Medvednica) are fitted by Gamma distribution.

Key words: Precipitation; Trend; Urban effect; Normal series; Spatial distribution; Coefficient of variation; Theoretical frequency distribution fitting.

1. UVOD

Već se mnogo godina zna da gradovi kreiraju vlastite klime. Od devetnaestog stoljeća naovamo niz je radova koji tretiraju ovaj problem, od početnih mjerenja temperature u naselju i van njea do istraživanja u nekoliko evropskih gradova početkom stoljeća. Međutim, ubrzan razvoj urbanizacije, industrijalizacije i motoriziranog transporta, zajedno s pripadnom zagađenošću zraka, posljednjih tridesetak godina nužno zahtijevaju obraćanja više pažnje urbanim klimama.

Nasuprot dobro utvrđenim efektima toplinskog otoka, utjecaj gradova na lokalnu oborinu je mnogo manje utvrđen. Međutim, iako je vlaga u gradu obično niža nego u okolici, zbog pomanjkanja otvorenih vodnih površina i transpiracije vegetacije, prevladava

mišljenje da su velike gradske površine pogodne za porast barem nekih tipova oborine iz atmosfere. To je vjerojatno zbog specifične kombinacije suviška kondenzacionih jezgara iz polutanata, povećane vertikalne komponente strujanja zraka iznad grada zbog turbulencije i termalnih uzlaznih struja, uz moguće lokalno pritjecanje vodene pare zbog procesa sagorijevanja.

Niz studija o oborini u gradovima izrađeno je u Velikoj Britaniji. Tako je Ashworth (1929) ustanovio da pada manje oborine nedjeljama u industrijskom gradu Rochdale nego li u bilo koji radni dan, dok je u mjestu s manjom koncentracijom tvornica, pojava oborine slična u sve dane. Nadalje, u industrijskom gradu pada više oborine za vrijeme radnih sati i danju nego noću, i ti podaci su općenito suprotni onima

sa stanica van glavnog industrijskog područja. Neko-liko autora tretiralo je tjedni ciklus oborine kao Carter (1931), Nicholson (1965. i 1969), Scorer (1964. i 1969), Classpoole (1969) i Lawrence (1971). Ustanovljeno je i međudjelovanje npr. oborine i temperature. Naime, toplinski otok grada pogoduje stvaranju konvektivne naoblake zbog termalne nestabilnosti, a oborina vodi do snižavanja dnevnog maksimuma temperature u toku tjedna.

Pokazano je da grad djeluje kao »trigger« mehanizam za pojedine ljetne oluje. Tako je Parry (1956) opisao lokalni pljusak s maksimumom oborine koji koincidira sa centrom Readinga. Kasnije je Atkinson (1968, 1969. i 1970) locirao maksimum oborine jedne grmljavinske oluje u centru Londona. Izgleda da se eksces oborine javlja uglavnom ljeti povezan s frontalnim olujama i pripisivan je višim dnevnim temperaturama i povećanoj turbulenciji zraka iznad središta grada.

Dugoročne promjene u režimu oborine mnogo je teže utvrditi jer one zahtijevaju gušću mrežu za detaljnu analizu (Balchin and Pye, 1948). Međutim, često nedostaju u gradu kišomjeri s dugogodišnjim mjerenjem. Spar i Ronberg (1968) ilustriraju to za New York. Tako podaci Central Parka pokazuju signifikantan trend opadanja od 1927. do 1965, ali to svojstvo nije dokazano na podacima okolnih bližih stanica, pri čemu su neke od njih pokazale mali porast oborine u istom razdoblju. Međutim, Barret (1964) je tumačio neobičan porast ljetnih i zimskih oborina na četiri stanice sjeveroistočnog ruba Manchestera od 1890—1960. kao efekt niz vjetar uzrokovan rastom urbane površine.

Vrlo slikovit primjer iz SAD dao je Changon (1968) i to utjecaj kompleksa teške industrije Chicaga niz vjetar (više oborine, više grmljavine i više broja dana s maglom).

Zatim, Huff i Chagnon (1972) su istraživali oborinski režim tipičnog grada srednjeg zapada SAD-a St. Louisa, gdje je urbani efekt najjači u kasno proljeće i ljeti i dovodi do porasta u prosječnoj ljetnoj oborini za 6 do 15% za udaljenosti do 40 km od grada niz vjetar. Najvažniji uzroci su termalni utjecaji grada. Na drugoj strani, Ogden (1969) je studirao podatke 90 stanica unutar radijusa 100 km oko čeličana Port Kembla, Australija, i usprkos jakog izbacivanja kondenzacionih jezgri te topline i vode, nije mogao ustanoviti utjecaj veći od 5 posto na ukupnu oborinu.

Snijeg je poseban tip oborine za koji se može očekivati da se rjeđe javlja u gradovima nego u okolnim područjima, budući da toplinski otok utječe na smanjenje čestine padanja snijega i na vrijeme zadržavanja snijega na tlu. Ovaj problem obrađivao je Manley (1958) u glavnom gradu Engleske, ali neke od najboljih aspekata padanja snijega sagledao je Lindquist (1968) za Lund u Švedskoj. Prvenstveno je promatrao promjene snježnog pokrivača uglavnom zbog topljenja na krovovima i to uz pomoć fotografija.

Landsberg (1956) je pretpostavio da je oborina iznad gradova povećana. Tim problemom bavili su se i Weisse i Kresgo (1962). Detaljna studija oborine napravljena je u kompleksnom programu istraživanja Metromex, Changnon (1971, 1977, 1978). Jedan broj studija o tome kako grad utječe na oborinu dao je suprotne rezultate. Sikiguti i Tamiya (1970) utvrdili su

na podacima triju gradova (Tokyo, Osaka i Nagoya) da se često događa da se u gradu ne opaža kiša dok su prilično velike količine oborine izmjerene u njegovom predgrađu. Ovaj fenomen objašnjen je time da iznad grada postoje velike koncentracije kondenzacionih jezgara, tako da vodene kapljice nikada ne postanu dovoljno velike da postignu brzine padanja. Tako, dok količina naoblake može porasti, ukupna količina oborine može pasti. Tabony (1980) je utvrdio na podacima godišnjih količina oborine kao i onih ljetne polovice godine, da njihovi trendovi na području Londona ne pokazuju nikakva svojstva koja bi se mogla pripisati urbanizaciji.

Pregled dosadašnje meteorološke literature kod nas uglavnom ne sadrži radove koji posebno tretiraju korelaciju oborine urbanih sredina i utjecaja grada na nju kod nas, a posebice za zagrebačko područje.

Istraživanja oborine na području Zagreba do sada su se u najvećoj mjeri bazirala na podacima opservatorija Zagreb — Grič, koji je smješten u Gornjem gradu i raspolaže s dugim nizom podataka, već od 1862. godine.

U okviru ispitivanja sekularnih varijacija oborine u Zagrebu do 1960. godine, B. Penzar i suradnici (1967) su između ostalog pokazali da je razvoj grada Zagreba »vjerojatno izazvao izvjesno povećanje broja dana s oborinom na opservatoriju Grič, ali da nije bitno utjecao na promjenu količine oborine« što je važan podatak kod zaključivanja o klimatskim karakteristikama oborinskog režima šireg urbanog područja Zagreba. Kratak osvrt na oborinski režim Zagreba dao je Makjanić (1977) u »Prilogu poznavanju klime grada Zagreba, I« prema 80-godišnjim podacima Zagreb — Griča (1862—1941), dok su priložene godišnje karte izohijeta šireg područja Zagreba dane za kraće, vrlo heterogene nizove podataka i ne daju mogućnost za čvršće zaključke o prostornoj raspodjeli oborine u smislu klimatskih karakteristika. Međutim, već ove karte kao i prostorna raspodjela godišnjih količina oborine i broja dana s oborinom nad područjem grada samo u jednoj godini (Hrabak-Tumpa, 1981), ukazuju na postojanje znatnih razlika između područja grada i okolice.

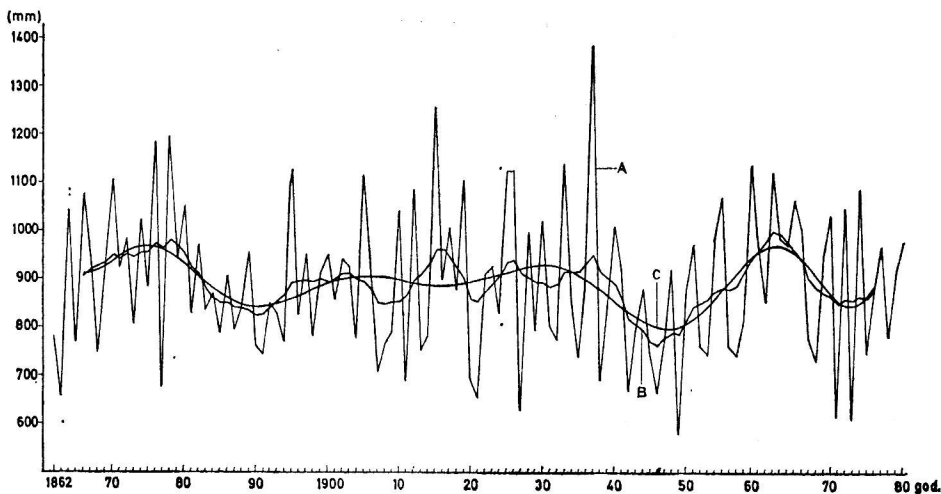
U ovom je radu prvo ispitano trend oborinskog režima zagrebačkog područja, a zatim upliv grada Zagreba na taj trend. Pri tom je težište ispitivanja na posljednjih 20 godina, koje nisu razmatrane u navedenom radu B. Penzar i suradnika (1967).

Zatim je za širu zagrebačku regiju prikazana vremenska i prostorna varijabilnost nekih elemenata oborinskog režima sredine druge polovice XX stoljeća.

2. VREMENSKA VARIJABILNOST

2.1. Trend godišnje količine oborine na opservatoriju Zagreb — Grič

Postojanje trenda odnosno dugoročnog kretanja oborinskih podataka u Zagrebu ispitano je na 119-godišnjem nizu podataka opservatorija Zagreb — Grič.



Sl. 2.1/1. Varijacije godišnjih količina oborine: A — originalni niz, B — izglađena krivulja, klizni 9-godišnji otežani srednjaci i C — pridruženi polinom 12. stupnja za Zagreb — Grič.

Fig. 2.1/1. Variations in annual precipitation amounts: A — original series, B — smoothed curve, 9-year weighted moving averages and C — fitted 12-order polynomial for Zagreb — Grič.

Da bi se diskutirao trend vremenskog niza godišnjih količina oborine prvo su eliminirane rijetke i kratkoperiodične oscilacije. Efekti ovakvih nepravilnih ciklusa mogu se uglavnom eliminirati tehnikom osrednjavanja kao »klizni srednjaci«. U tu svrhu upotrebljeni su 9-godišnji otežani srednjaci. Oni su izračunati prema formuli:

$$\bar{a}_i = (a_{i-4} + 2a_{i-3} + 3a_{i-2} + 4a_{i-1} + 5a_i + 4a_{i+1} + 3a_{i+2} + 2a_{i+3} + a_{i+4})/25.$$

Time je dobiven novi stabilniji vremenski niz. Na njega je primijenjen polinom 12. stupnja i prikazane su promjene u kolebanju godišnjih količina oborine na opservatoriju Zagreb — Grič od 1862. godine do kraja osamdesetih godina ovog stoljeća (sl. 2.1/1). Kako su sekularne varijacije oborine do 1960. godine u Zagrebu diskutirane u radu B. Penzar i suradnika (1967), ovdje je analizirano posljednjih 20 godina (1961—1980). Nakon smanjenja količina oborine sredinom petog desetljeća kao posljedice ljetnih prilika, slijedi naglo povećanje godišnjih količina oborine početkom šezdesetih godina. Prema sredini osmog desetljeća godišnje količine oborine opet opadaju, a zatim prema kraju niza rastu.

Iz ovoga slijedi da niz godišnjih količina oborine Zagreba ne pokazuje neki posebni trend kroz dulje vremensko razdoblje, već indicira oscilatorni oblik, s porastima i padovima kraćih vremenskih razdoblja.

Vizuelno određivanje trenda iz izglađenih krivulja vrlo je subjektivno i ovisi o individualnoj ocjeni. Stoga je kao objektivna statistička metoda upotrijebljen Spearmanov korelacioni rang test za ustanovljavanje određenog oblika trenda u klimatološkim podacima (WMO, 1966).

Testovi ovakvog tipa ne pretpostavljaju da je trend koji ispituujemo linearan. Kod njih se ne mora voditi računa o odstupanjima od Gaussove normalne razdiobe čestina.

Spearmanov test korelacije ranga primijenjen je na neizglađen niz godišnjih količina oborine Zagreb — Griča. Računa se korelacija ranga N_s :

$$N_s = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^N d_i^2}{N(N^2 - 1)}$$

gdje je $d_i = m_i - i$, m_i je rang i -tog člana u nizu R_i , a N je ukupni broj podataka.

Za $N > 8$, signifikantnost vrijednosti N_s može se testirati izračunavanjem veličine t iz jednadžbe:

$$t = N_s \left(\frac{N - 2}{1 - N_s^2} \right)^{1/2}$$

Veličina t razdijeljena je po Studentovoj t -razdiobi s $(N - 2)$ stupnja slobode. Kritično područje postavlja se na obje strane razdiobe.

Za vjerojatnost pogreške prve vrste $\alpha = 0.05$ i $k = N - 2 = 117$ stupnjeva slobode, 95 postotni interval povjerenja leži u intervalu ± 1.98 . Izračunati $t = -0.32$ leži unutar tih granica, pa postoji signifikantna stacionarnost vremenskog niza godišnjih količina oborine na opservatoriju Zagreb — Grič. Odavde slijedi da ne postoji izrazitiji trend u posljednjih više od 100 godina.

2.2. Trend godišnje količine oborine na širem području grada

Pretpostavljajući da je na području Zagreba moguće očekivati promjene u kolebanju godišnjih količina oborine zbog brzog razvoja grada, industrije i prometa, odabrane su 4 stanice za komparativnu analizu vremenskih nizova. To su: Zagreb — Grič u centru grada, Zagreb — Maksimir u istočnom predgrađu, Zagreb — Pleso južno od urbanog središta i Puntijarka sjeverno od grada na vršnom području planine Medvednice (sl. 3.2/1).

Osnovni podaci o njihovim godišnjim količinama oborine navedeni su u tab. 2.2/1, a njihove varijacije

Tab. 2.2/1. — Elementarna statistika podataka
 Tab. 2.2/1. — Elementary statistics of data

| Stanice | Broj motrenja | Razdoblje | Srednj. (mm) | Stand. dev. (mm) |
|-------------------|---------------|-----------|--------------|------------------|
| Zagreb — Grič | 119 | 1862—1980 | 890.7 | 151.4 |
| Zagreb — Grič | 55 | 1926—1980 | 883.3 | 163.4 |
| Zagreb — Maksimir | 55 | 1926—1980 | 876.2 | 162.9 |
| Zagreb — Grič | 84 | 1862—1945 | 894.1 | 151.6 |
| Zagreb — Grič | 20 | 1926—1945 | 884.8 | 184.6 |
| Zagreb — Maksimir | 20 | 1926—1945 | 904.1 | 184.2 |
| Zagreb — Grič | 35 | 1946—1980 | 882.4 | 150.6 |
| Zagreb — Maksimir | 35 | 1946—1980 | 860.2 | 146.9 |
| Zagreb — Pleso | 22 | 1959—1980 | 940.1 | 138.8 |
| Puntijarka | 35 | 1946—1980 | 1246.3 | 200.0 |

prikazane su na sl. 2.2/1. Zatim su izrađene kumulativne krivulje godišnjih količina oborine kao funkcije vremena. One ne ukazuju na postojanje nekog skoka ili znatnijeg odstupanja od osnovnog pravca, odakle slijedi da nije bilo značajne promjene u varijacijama godišnjih količina oborine. Da bi se pouzdano utvrdila promjena nagiba pravca, trebalo bi bar 5 uzastopnih točaka pokazivati novi nagib (B. Penzar, 1980), što krivulje za odabrane stanice u gradu i okolici ne pokazuju. Ovu konstataciju izvedenu na temelju grafičkog prikaza željelo se utvrditi i numerički.

Dulji nizovi podataka postoje za dvije stanice i to upravo za one koje se nalaze u urbanoj sredini i za koje je realno pretpostaviti da bi se kod njihovog oborinskog režima mogao najjače očitovati utjecaj urbanizacije. To su Zagreb — Grič u gradskom središtu i Zagreb — Maksimir na periferiji.

Za Zagreb — Grič je već utvrđeno da trend godišnjih količina oborine ne postoji. Međutim, željelo se ustanoviti što se događa u istočnom dijelu grada. Radi mogućnosti komparacije istovrsna analiza provedena je na obje stanice za sinhrono nizove motrenja, 1926—1980.

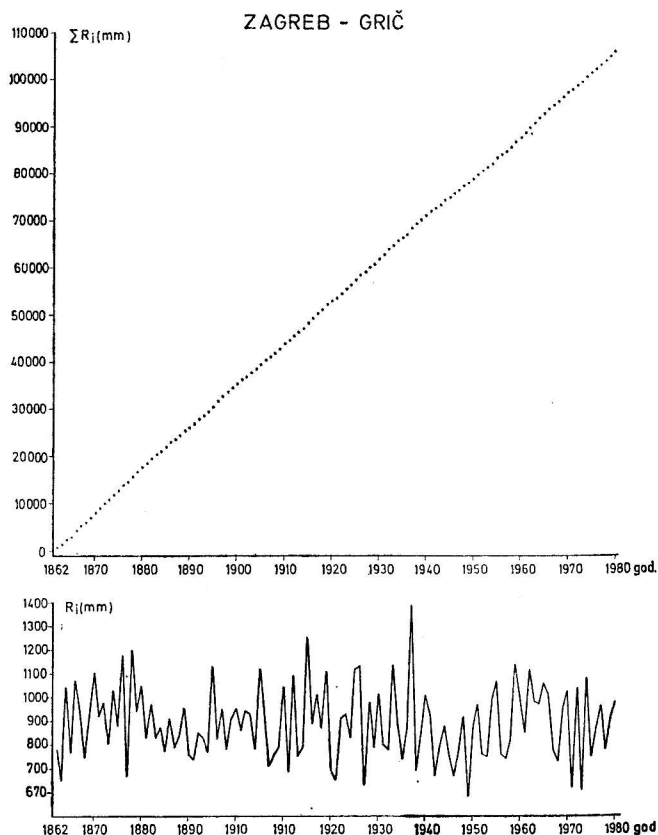
Postavljena je hipoteza da egzistiraju dva razdoblja u smislu utjecaja urbanizacije na oborinski režim. Prvo do 1946. godine, za koje se pretpostavlja da nije pod utjecajem razvoja grada i industrije, i drugo nakon 1946. godine kada se može očekivati utjecaj urbanizacije i industrijalizacije na oborinski režim.

Ispitana je statistička signifikantnost promjene prosječne godišnje količine oborine iz prvog razdoblja u odnosu na srednjak drugog razdoblja prema Leithu (1973). Ako se radi o značajnoj promjeni srednjaka, mora biti $\Delta\mu/\sigma \geq 1$. Pri tome je $\Delta\mu$ signal, odnosno promjena srednjaka (razlika između prosječne godišnje količine oborine prvog i drugog razdoblja), a σ »šum«, tj. standardna devijacija cijelog promatranog vremenskog niza koja nam ukazuje na veličinu fluktuacija pojedinačnih godišnjih količina oborine u tom razdoblju.

Primijenjeno na podatke za Zagreb — Grič i Zagreb — Maksimir iz tab. 2.2/1. dobiveno je da su omjeri signala prema »šumu« manji od 1, i to za Zagreb — Grič 0.01, a za Zagreb — Maksimir 0.27. Razlike

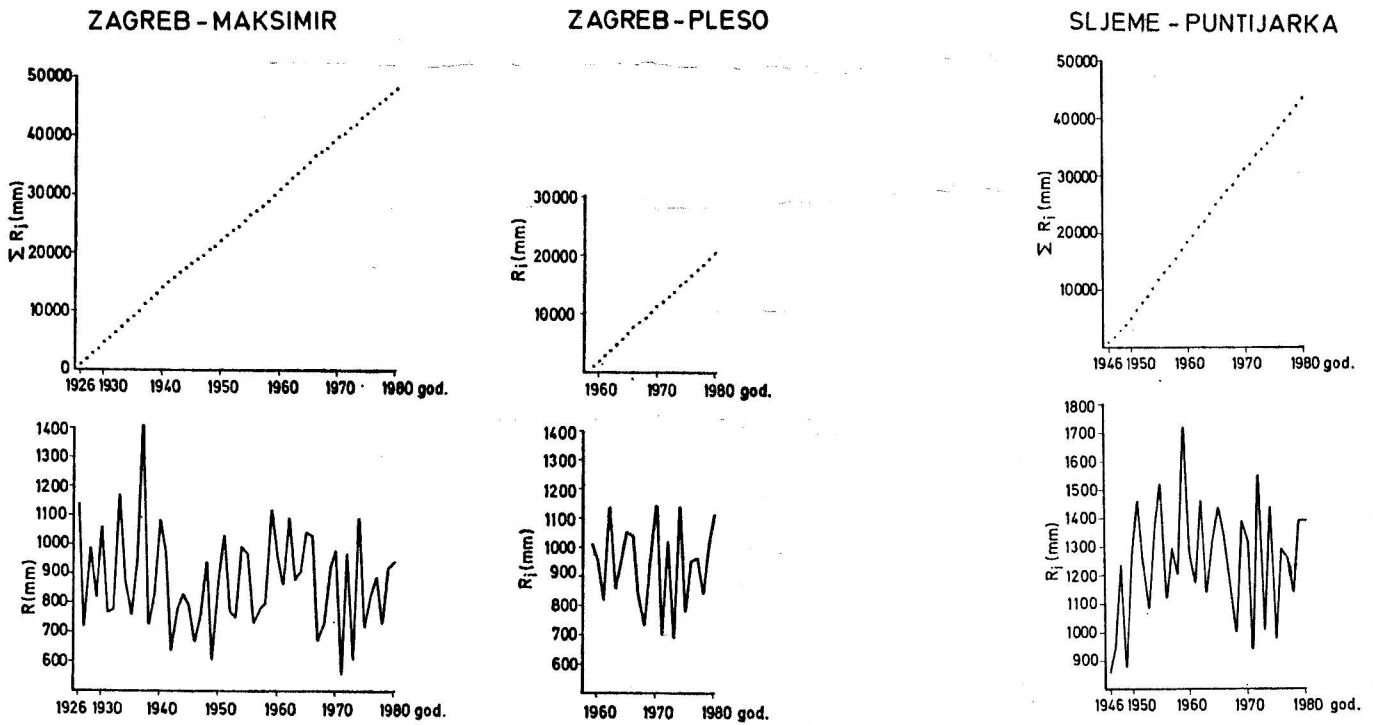
koje se javljaju u vrijednostima ovih omjera između Griča i Maksimira rezultat su nešto većih količina oborine koje je u prosjeku u godini primio Maksimir u razdoblju 1926—1945.

Prema tome i ovaj test pokazuje da u proteklom 35-godišnjem razdoblju (1946—1980) nije bilo signifikantne promjene u hodu godišnjih količina oborine na području grada Zagreba.



Sl. 2.2/1. Kumulativne sume i varijacije godišnjih količina oborine (mm) za razdoblja označena na vremenskoj skali apscise.

Fig. 2.2/1. Mass curves and variations in annual precipitation amounts (mm) for the periods marked on the abscisse time scale.

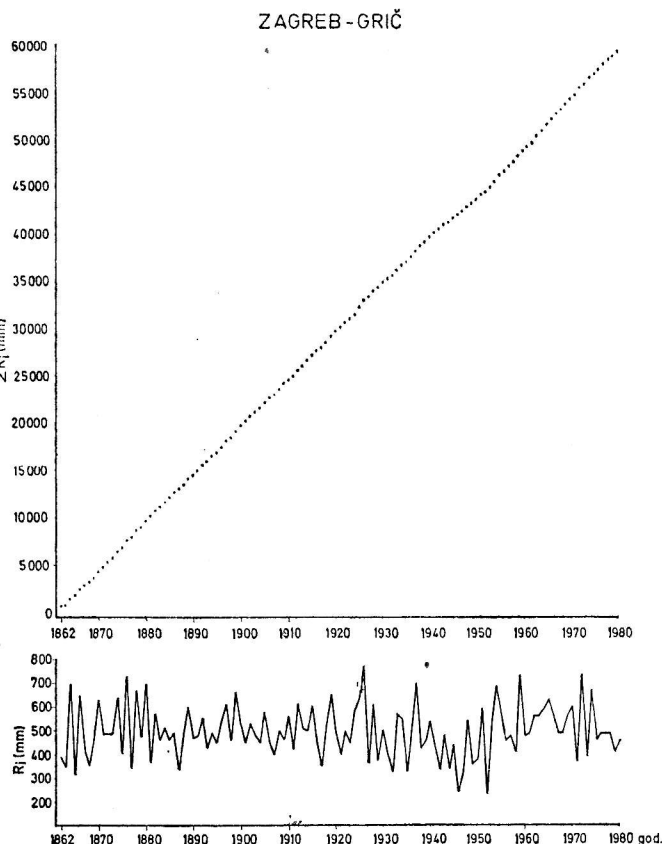


Sl. 2.2/1. nastavak

Fig. 2.2/1. continue

Krivulja kumulativnih suma količina oborine toplog dijela godine (IV—IX) ukazuje na smanjenje između četrdesetih i pedesetih godina, kada pripadni pravac mijenja smjer. Međutim, iza 1952. godine ponovno se mogu utvrditi podjednake interanuelne promjene količine oborine toplog dijela godine kao i u prvom razdoblju (1862—1940), sl. 2.2/2.

Odavde se zaključuje da u oborinskom režimu Zagreba nije zabilježena prisutnost utjecaja razvoja grada na godišnje i sezonske količine oborine, ni u centru niti na periferiji.



3. PROSTORNA VARIJABILNOST

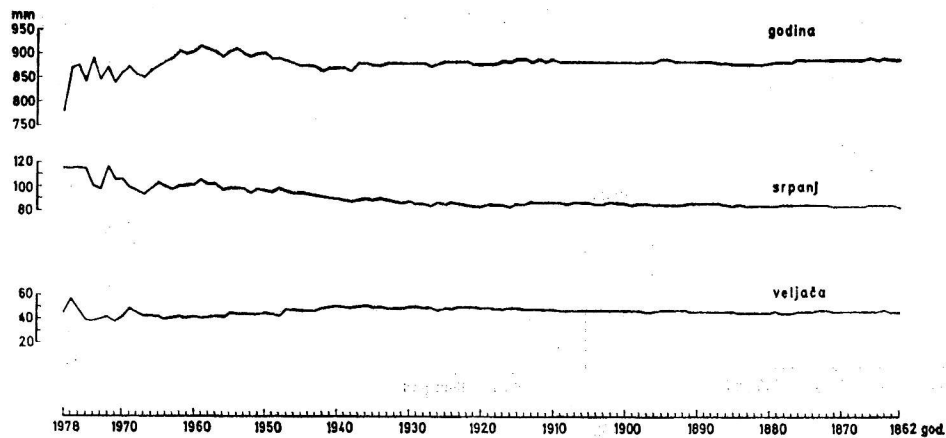
3.1. Određivanje »normalnog« niza

Duljina niza koja se koristi u prostornoj analizi oborine šireg područja grada Zagreba, određena je nakon ispitivanja normale oborinskog niza Zagreb — Griča na temelju podataka iz razdoblja 1862—1978.

Upotrebljena je metoda postupnog osrednjavanja (Šinik, Pleško, 1968) počevši od 1978. godine unazad

Sl. 2.2/2. Kumulativne sume i varijacije količina oborine toplog dijela godine (IV—IX).

Fig. 2.2/2. Mass curve and variations in summer — half precipitation amounts (IV—IX).



Sl. 3.1/1. Krivulje postupnih srednjaka godišnjih količina oborine, te mjesečnih količina oborine za srpanj i veljaču za Zagreb — Grič. Razdoblje: 1978—1862.

Fig. 3.1/1. Curves of gradual mean annual and monthly (February and June) precipitation amounts for Zagreb — Grič in the period 1978—1862.

i to za godišnje količine oborine te za količine oborine mjeseci s najviše (VII) i najmanje (II) oborine. Ovi mjeseci uzeti su prema rezultatima ispitivanja položaja ekstrema u godišnjem hodu oborine u Hrvatskoj B. Penzar i I. Penzara (1980). Rezultati postupnog osrednjavanja prikazani su grafički na sl. 3.1/1.

Promatrane su interanuelne promjene prosječnih godišnjih količina oborine. Pri tome postavljen je numerički kriterij da one ne smiju biti > 10 mm, bez obzira na veličinu istovremene interanuelne promjene stvarnih godišnjih količina oborine. Kako se prosječne godišnje količine oborine Zagreb — Griča kreću od oko 870—980 mm, to postavljeni kriterij traži da interanuelne promjene normale budu oko 90—100 puta manje od same normale. Istovremene promjene prosječne godišnje količine oborine zadovoljavaju postavljeni kriterij već od 1959. godine, da bi se u dužem razdoblju samo još jednom javila veća interanuelna promjena i to 12 mm 1937. godine. Stoga možemo smatrati da se oborinski niz godišnjih količina oborine stabilizirao tokom 20 godina, tj. kraći ili dulji periodi s većim količinama oborine gotovo se pravilno izmjenjuju sa sličnim periodima sa smanjenim količinama oborine. Srednja vrijednost ovih oscilacija jest normala koja se vrlo malo mijenja.

Prosjeci mjesečnih količina oborine brže se smiruju. Za mjesec s najviše oborine postavljen je kriterij da interanuelne promjene prosječnih vrijednosti moraju biti manje od 5 mm da bismo smatrali da se niz stabilizirao. Prema ovome najkišovitiji mjesec postigao je normalu već nakon 1969. godine.

Mjesec s najmanje oborine postiže normalu iza 1968. godine, da bi se u dužem razdoblju interanuelne promjene veće od 2 mm javile još dva puta: 1955 (3 mm) i 1947 (5 mm).

Na temelju dobivenih rezultata može se uzeti da je niz 1959—1978. godina reprezentativan za oborinski režim klime našeg vremena, te je kao takav odabran za analizu oborinskog režima Zagreba i okolice koja slijedi.

3.2. Vremenska varijabilnost unutar promatrane regije

Mreža meteoroloških stanica u promatranoj regiji prikazana je na sl. 3.2/1, a njihove nadmorske visine navedene su u tab. 3.2/1.

Za 20-godišnji niz podataka godišnjih količina oborine za svaku pojedinu stanicu pretpostavljena je linearna promjena i izračunate su vrijednosti koeficijenta a iz jednadžbe linearne regresije oblika:

$$y = ax + b \quad (1)$$

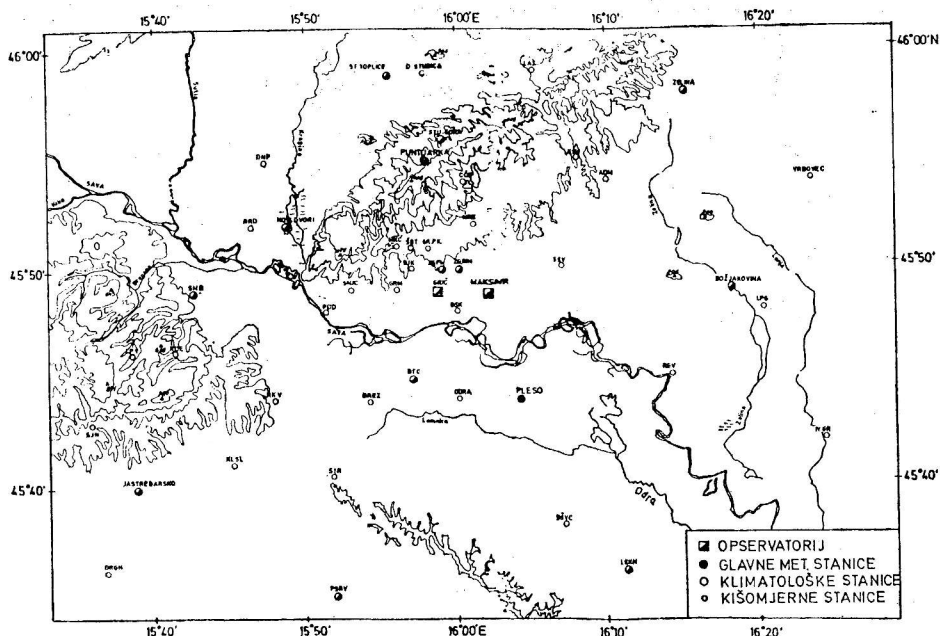
kojom se aproksimira smisao varijacije godišnjih količina oborine od 1959—1978. godine. Prostorna raspodjela koeficijenta a prikazana je na sl. 3.2/2. Vrijednosti se mijenjaju od -19.0 do -3.0 i prostorno su koherentne. Kako su na svim stanicama negativne, to znači da na cijelom promatranom području smisao varijacija pokazuje izvjestan pad godišnjih količina oborina posljednjih dvadesetak godina.

Prostorna raspodjela koeficijenta a u skladu je s prostornom raspodjelom prosječnih godišnjih količina oborine na tom području (sl. 3.3/14). Znatno snižene vrijednosti koeficijenta a (šrafirana područja na sl. 3.2/2) nalaze se u »kišnoj sjeni« Medvednice i Samoborskog gorja gdje su manje prosječne količine oborine vezane i s blažim padom oborine u promatranom razdoblju.

Varijabilnost pojedinačnih godišnjih količina oborine na stanicama šire zagrebačke regije dana je koeficijentom varijabilnosti c_v , kao mjerom relativne varijabilnosti, izraženim kao omjer standardne devijacije i aritmetičkog srednjaka, u postocima:

$$c_v = \frac{100 \sigma}{\text{sred.}} \quad (2)$$

Prostorna raspodjela ove veličine (sl. 3.2/3) pokazuje da se varijacije godišnjih količina oborina na različitim lokacijama mnogo ne razlikuju.



Sl. 3.2/1. Karta položaja meteoroloških stanica na širem području grada Zagreba.

Fig. 3.2/1. Network of meteorological stations in the Zagreb area.

Komparacija podataka o vremenskoj varijabilnosti oborine u urbanom području i široj regiji pokazuje da su varijacije oborine koje se događaju na području Zagreba tipične i za širu okolinu.

3.3. Prostorna varijabilnost prosječnih godišnjih i mjesečnih količina oborina

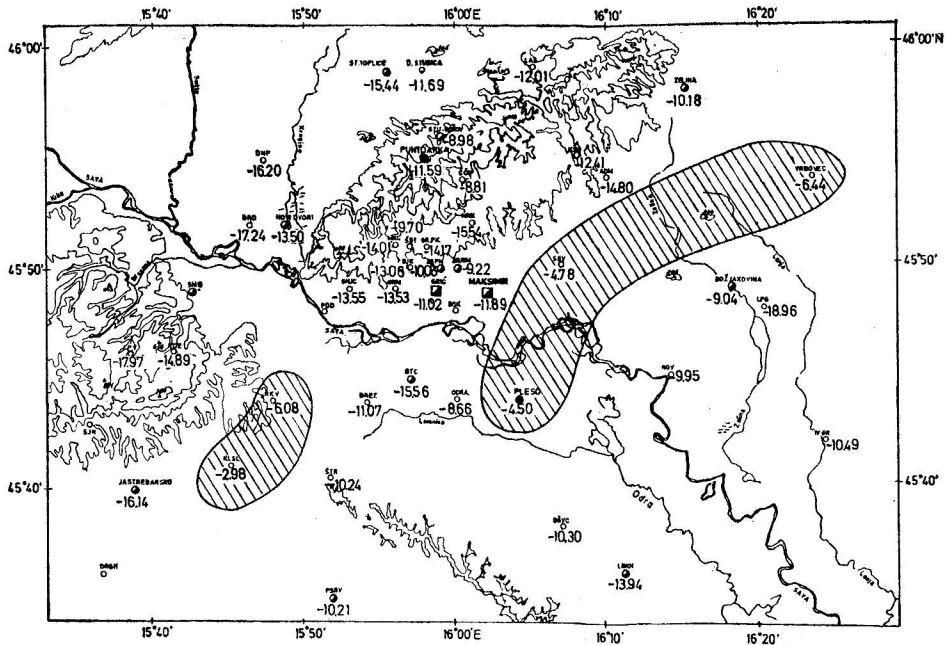
Jedan od važnih faktora koji utječe uz glavne sinoptičke formacije na oborinski režim promatranog područja je orografija. Naime, prisutnost Medvednice i

Samoborskog gorja uvelike modificira prostornu raspodjelu oborine bilo zbog intenzifikacije oborine na njihovim obroncima zbog prisilnog dizanja ili zbog efekta zaobilaznja zračne mase oko prepreke.

Stoga je pri izradi karata izohijeta za pojedine mjeseci i za godinu, uz prostornu interpolaciju, primijenjen i proračun korelacije količine oborine i nadmorske visine posebno za prigorke i zagrebačke obronke Medvednice i posebno za Samoborsko gorje (sl. 3.3/1). Korelacija je izračunata na bazi linearne regresije. Rezultati prostornog prikaza srednjih mjesečnih i godišnjih količina oborine dani su u obliku karata izohijeta na sl. 3.3/2—14.

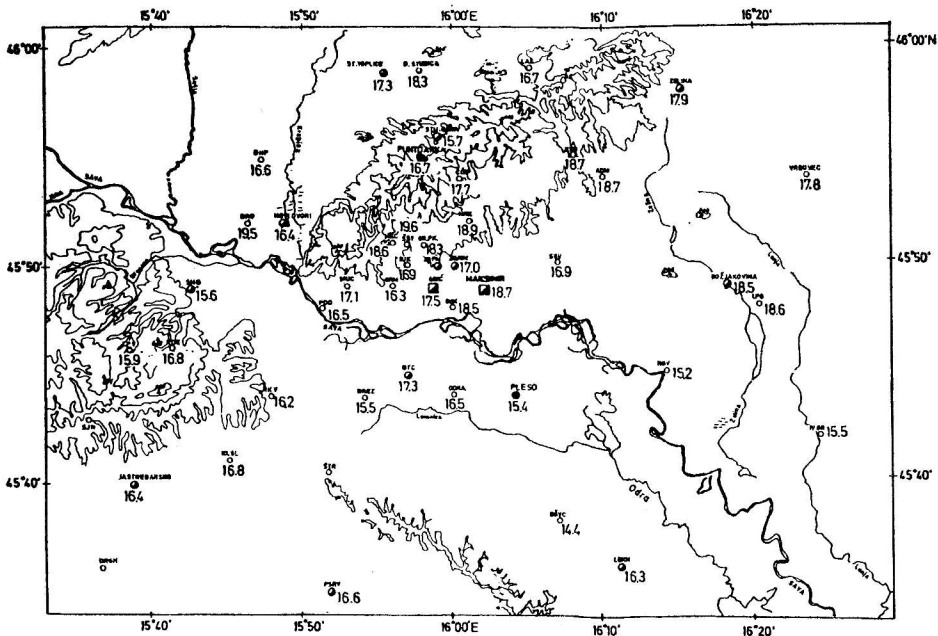
Tab. 3.2/1. Popis meteoroloških stanica s promatranog područja
Tab. 3.2/1. List of meteorological stations with their symbols and elevations

| Stanica | Simboli | Nadmorska visina | Stanica | Simboli | Nadmorska visina |
|---------------|---------|------------------|------------------------|---------|------------------|
| Adamovec | ADM | 133 | Rugvica | RGV | 100 |
| Bistrac | B | 160 | Samobor | SMB | 146 |
| Botinec | BTC | 116 | Sesvete | SSV | 124 |
| Božjakovina | | 110 | Sljeme | | 1007 |
| Brdovec | BRD | 133 | Starjak | STR | 180 |
| Brezovica | BREZ | 125 | Stubička Gora | | 620 |
| Buševac | BŠVC | 107 | Stubičke topl. | | 168 |
| Čučerje | ČČR | 246 | Sv. Jana | SJ | 279 |
| Donja Pušća | DNP | 242 | Vrbovec | | 132 |
| Donja Stubica | | 192 | Zagreb — Bijenik | BJK | 220 |
| Ivanić Grad | IVGR | 103 | Zagreb — Bunska | BSK | 112 |
| Jastrebarsko | | 138 | Zagreb — Farmacija | ZGFM | 195 |
| Kašina | KŠN | 205 | Zagreb — Gor. Prekriž. | GRPK | 240 |
| Klinča Selo | KLSL | 147 | Zagreb — Grič | | 157 |
| Laz | | 410 | Zagreb — Grmošćica | GRM | 170 |
| Lekenik | LEKN | 101 | Zagreb — Maksimir | | 123 |
| Lipovac | LPV | 365 | Zagreb — Markuševac | MRK | 240 |
| Lupoglav | LPG | 107 | Zagreb — Mikulići | MKČ | 285 |
| Novi Dvori | | 135 | Zagreb — Podsused | POD | 122 |
| Odra | | 114 | Zagreb — Pleso | | 106 |
| Pisarovina | PSRV | 140 | Zagreb — Rim | | 220 |
| Puntijarka | | 188 | Zagreb — Stenjevec | SNJC | 125 |
| Rakov Potok | RKV | 145 | Zagreb — Šestine | SST | 300 |
| Rude | RDE | 287 | Zelina | | 204 |



Sl. 3.2/2. Prostorna raspodjela koeficijenta a iz linearne regresije oblika $y = ax + b$ primijenjenoj na godišnje količine oborine iz razdoblja 1959—1978.

Fig. 3.2/2. Spatial distribution of coefficient a from a linear regression $y = ax + b$ applied to the annual precipitation amounts in the period 1959—1978.

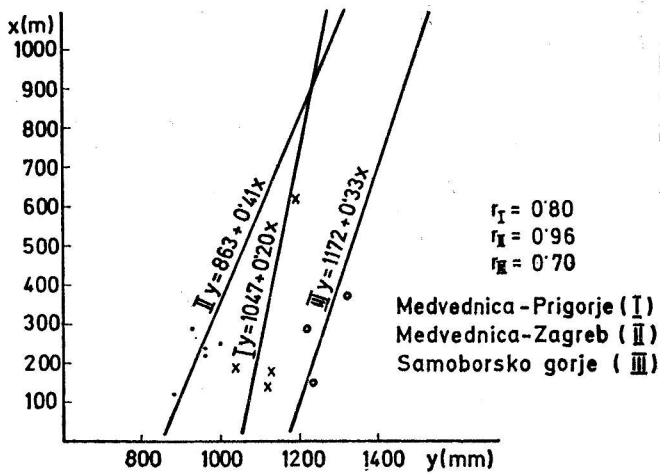


Sl. 3.2/3. Prostorna raspodjela koeficijenta varijacije (%) godišnjih količina oborine u razdoblju 1959—1978.

Fig. 3.2/3. Spatial distribution of coefficient of variation (%) of annual precipitation amounts in the period 1959—1978.

Zimski dio godine (XII, I, II), pokazuje sličnost u obliku polja izohijeta i razlike u numeričkim vrijednostima za oko 20—30 mm između veljače (najsušeg mjeseca u godišnjem hodu) i prosinca. Jedna izohijeta proteže se približno dolinom Save, prolazi između Medvednice i Samoborskog gorja i razdvaja područje manjih količina oborine sjeverno od Save od onih južno gdje u prosjeku možemo očekivati veće količine oborine.

Treba istaći da se na sve tri karte zimskih mjeseci uočavaju zatvorena područja manjih količina oborine od šireg okolnog područja (Maksimir i Jastrebarsko). Ona su rezultat djelovanja planine (Medvednice i Samoborskog gorja) kao zaklona za oborine koje donose sjeverozapadni prodori. Istovremeno na privjetrinskim stranama mogu se očekivati veće količine oborine na nižim nadmorskim visinama nego na istim visinama zavjetrinske strane. Budući da je ustanovljen u



Sl. 3.3/1. Pravci regresije godišnjih količina oborine (mm) i nadmorskih visina (m).

Fig. 3.3/1. Regression lines of annual precipitation amounts (mm) and elevation (m).

prosjeku porast oborine s nadmorskom visinom u svim mjesecima, a ne samo zimskim, vršno područje Medvednice i Samoborsko gorje primaju povećane količine oborine (60—90 mm odnosno 80—100 mm).

U proljeće (III, IV, V) uglavnom se zadržao glavni oblik raspodjele mjesečnih količina oborine na promatranom području, naravno, s drugačijim količinama oborine i to nešto povećanim u odnosu na zimu. Područja podno sjeverozapadnih i zapadnih obronaka Medvednice primaju veće količine oborine negoli središnje područje grada i predjeli istočno i jugoistočno od prigradskih obronaka Medvednice.

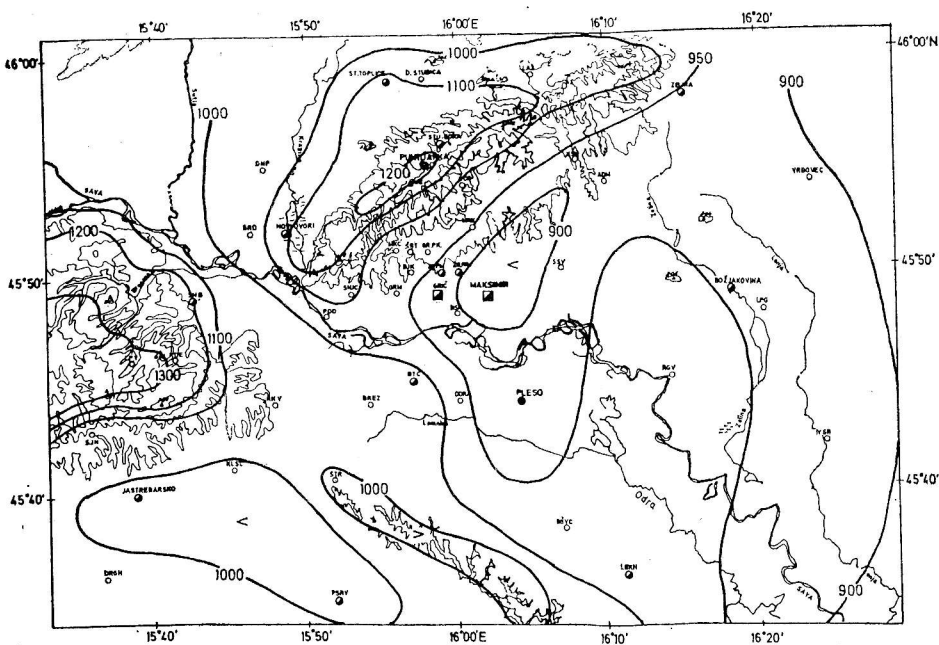
Ljetni mjeseci (VI, VII, VIII) su oni kada Zagreb i okolica primaju najveće količine oborine, što je već utvrđeno u analizi godišnjeg hoda oborine. Planina Medvednica, kao i dio grada Zagreba i Prigorja zadržavaju se izohijetom 100 mm u lipnju i 110 mm u srpnju. U sva tri ljetna mjeseca zapaža se područje povećane oborine kod Božjakovine za što se vjeruje da je posljedica orografskog efekta okolnih bregova visine oko 200 m.

U jesen, studeni je izrazito kišoviti mjesec, ne samo u usporedbi s preostala dva jesenja mjeseca, rujnom i listopadom, već i u godišnjem hodu. Kao i u preostalim godišnjim dobima tako i u jesen najviše oborine primaju predjeli na višim nadmorskim visinama te šire područje oko Božjakovine.

U godišnjoj karti izohijeta nepobitno se ističe nekoliko glavnih odlika prostorne raspodjele oborine šire zagrebačke regije, koje mogu biti po mjesecima modificirane ali u osnovi ostaju prisutne:

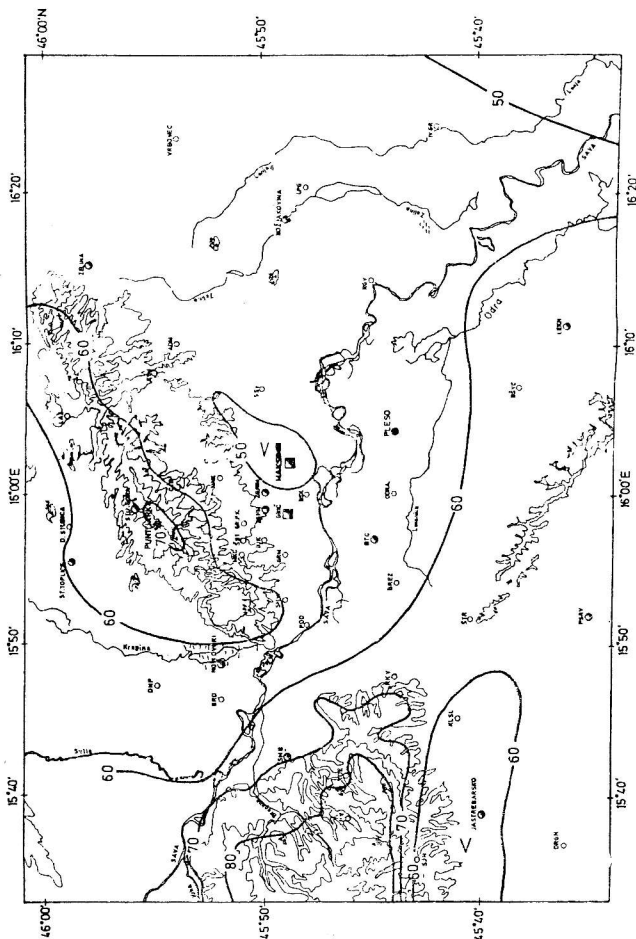
— Najmanje količine oborine primaju nizinska područja, posebno ona u zavjetrini Medvednice (središnji i istočni predjeli grada, uglavnom na jug do Save) i na području južno od Samoborskog gorja. To je vjerojatno rezultat fenskog efekta pri spuštanju zračne mase niz planinu, kao i posljedica zaobilaženja orografske prepreke u slučaju dolaska stabilnije zračne mase iz NW kvadranta.

— U prosjeku s porastom nadmorske visine raste i primljena količina oborine, tako da u godišnjem prosjeku Vukomeričke gorice imaju preko 1000 mm, vršno područje Medvednice preko 1200 mm, a Samoborsko gorje iznad 800 m preko 1300 mm oborine.

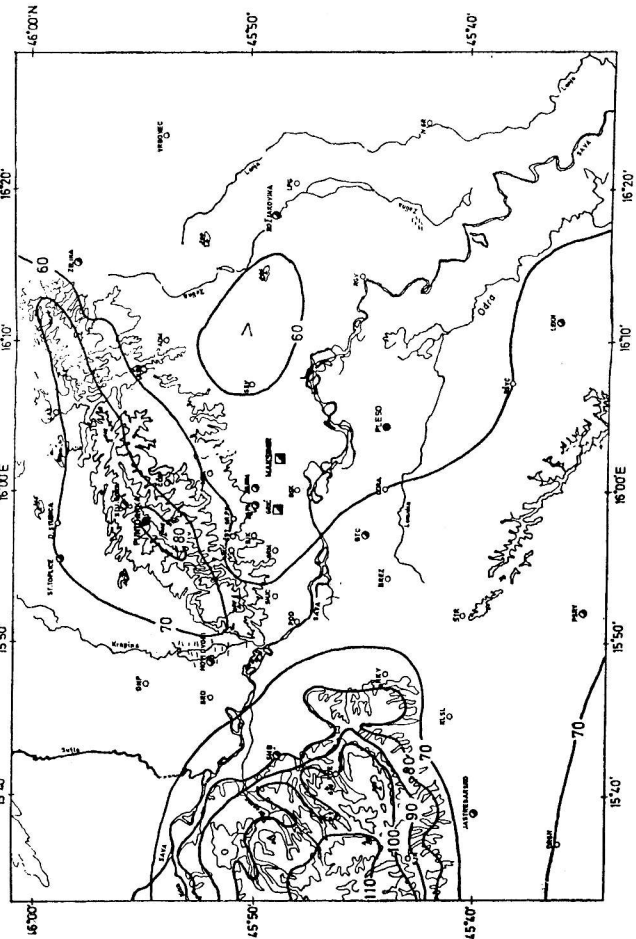


Sl. 3. 3/2. Karta izohijeta (mm) za GODINU, 1959—1978.

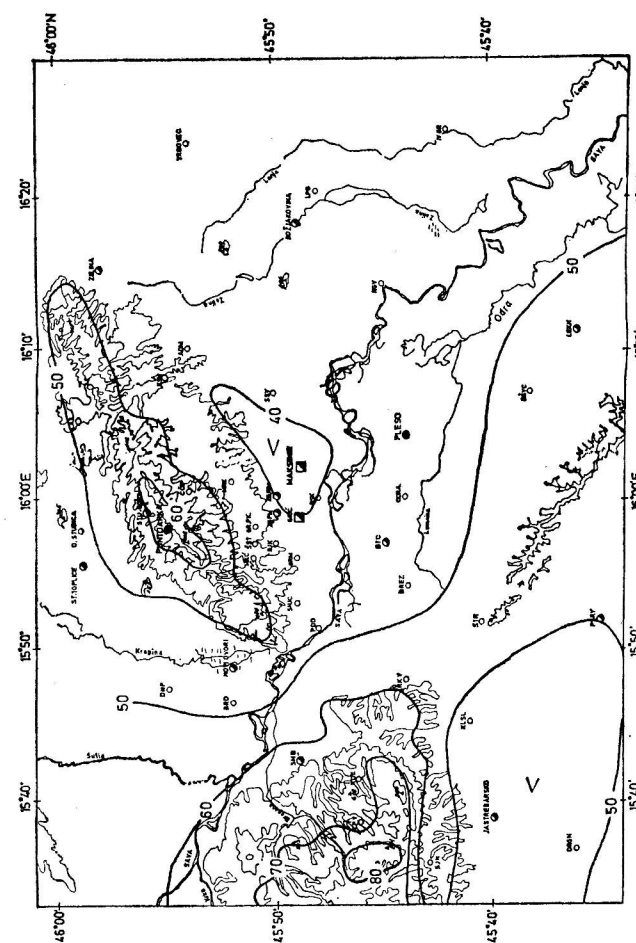
Fig. 3. 3/2. Mean ANNUAL precipitation amounts. Isohyets shown in mm (1959—1978).



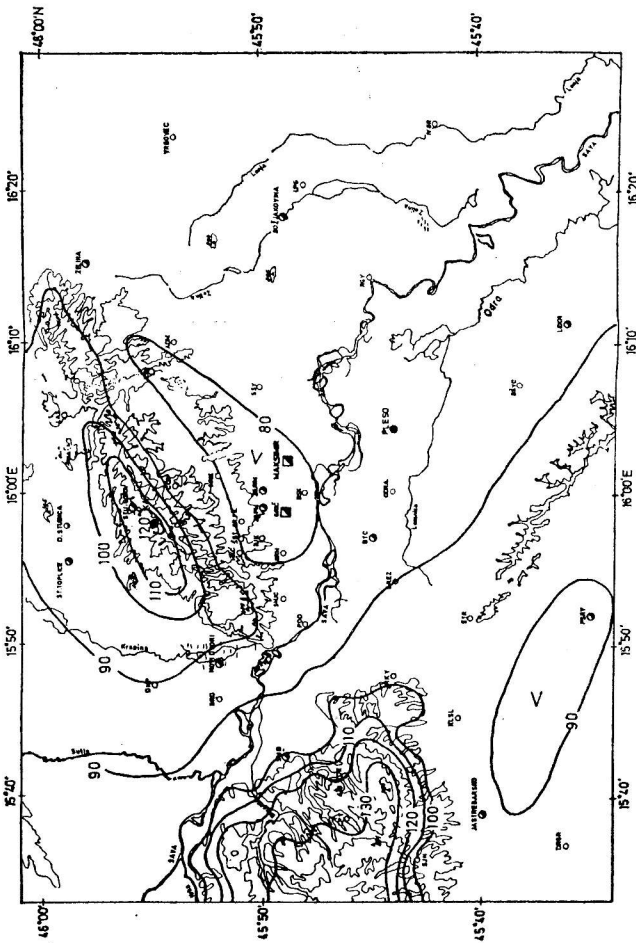
Sl. 3. 3/2. nastavak, SIJEČANJ. Fig. 3. 3/2. continue, JANUARY.



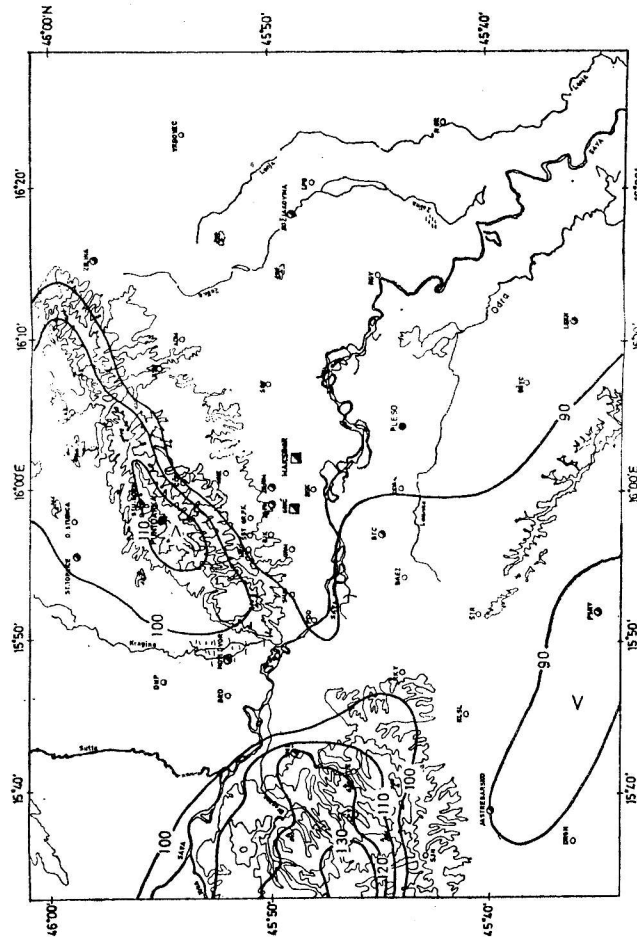
Sl. 3. 3/2. nastavak, OŽUJAK. Fig. 3. 3/2. continue, MARCH.



Sl. 3. 3/2. nastavak, VELJAČA. Fig. 3. 3/2. continue, FEBRUARY.

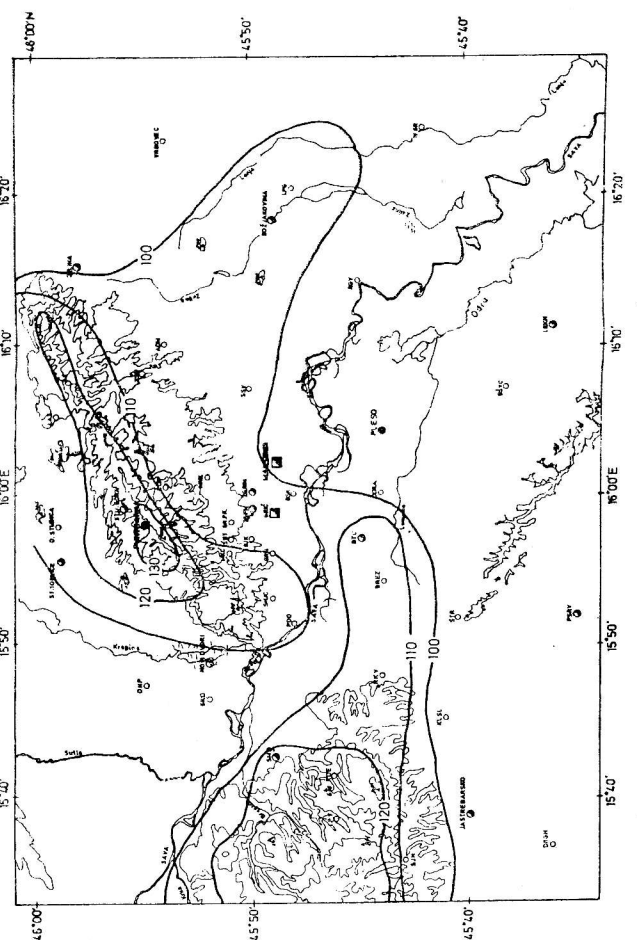


Sl. 3. 3/2. nastavak, TRAVANJ. Fig. 3. 3/2. continue, APRIL.



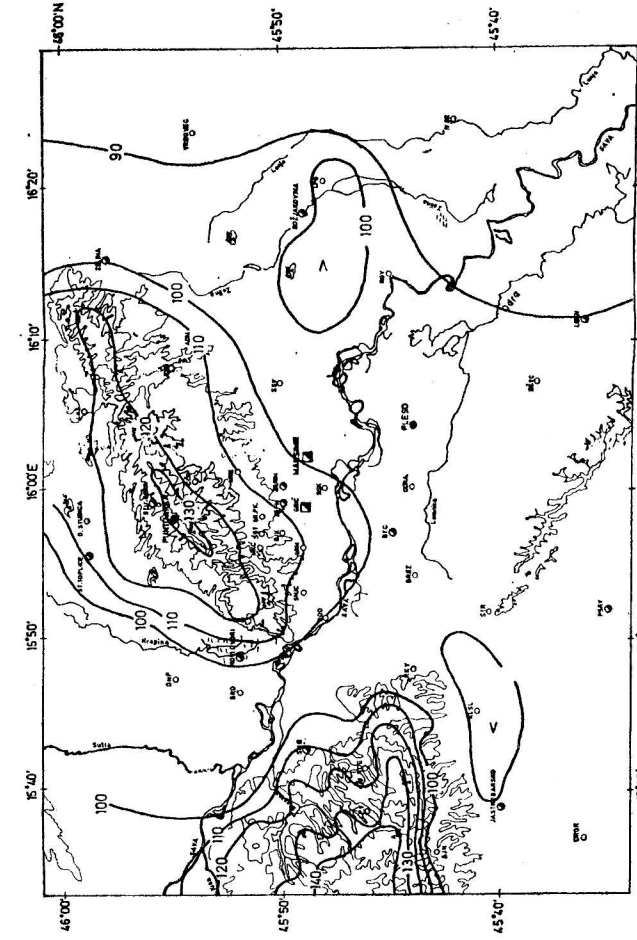
Sl. 3. 3/2. nastavak, SVIBANJ.

Fig. 3. 3/2. continue, MAY.



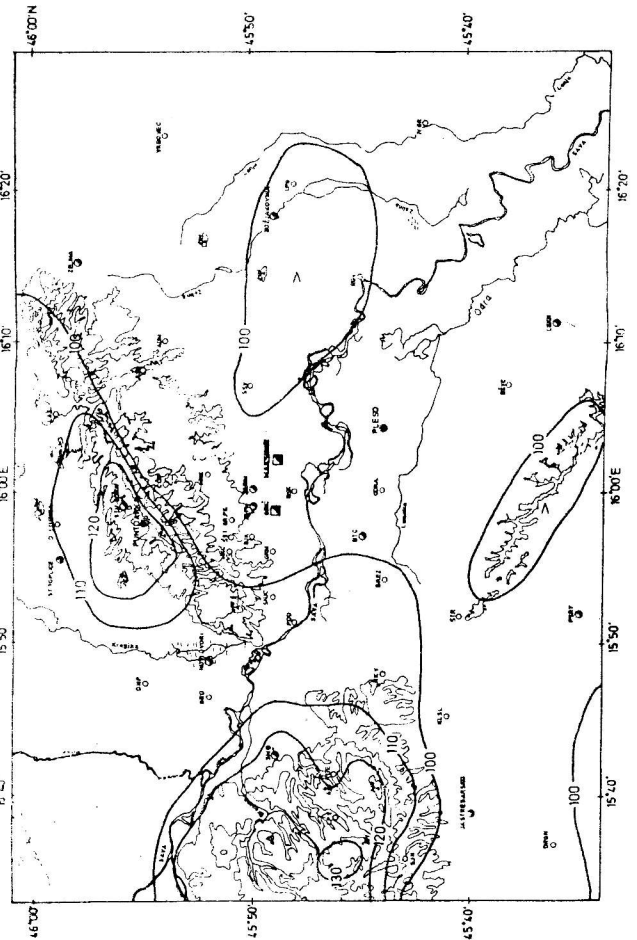
Sl. 3. 3/2. nastavak, SRPANJ.

Fig. 3. 3/2. continue, JULY.



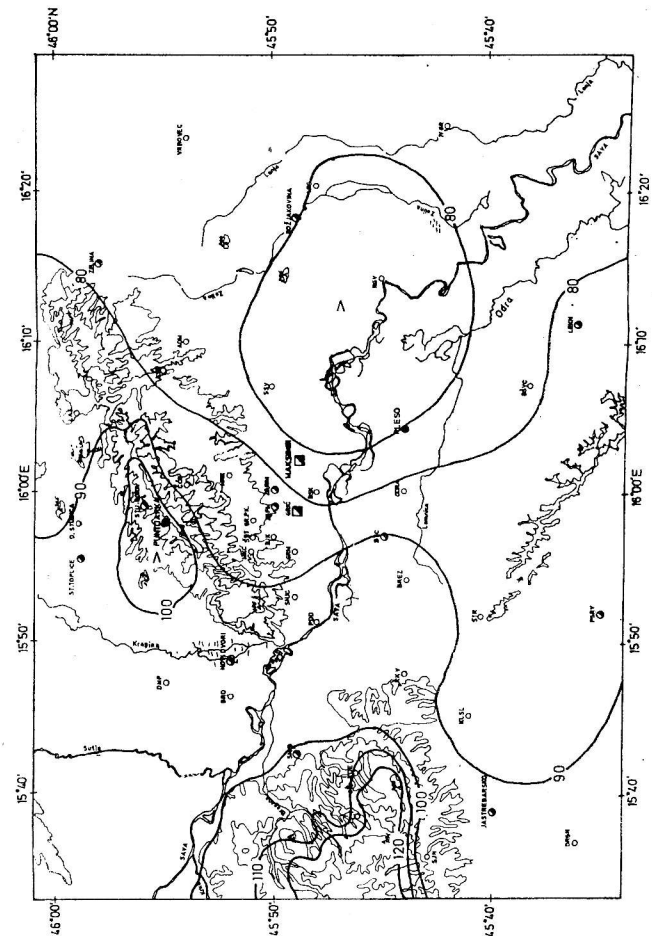
Sl. 3. 3/2. nastavak, LIPANJ.

Fig. 3. 3/2. continue, JUNE.

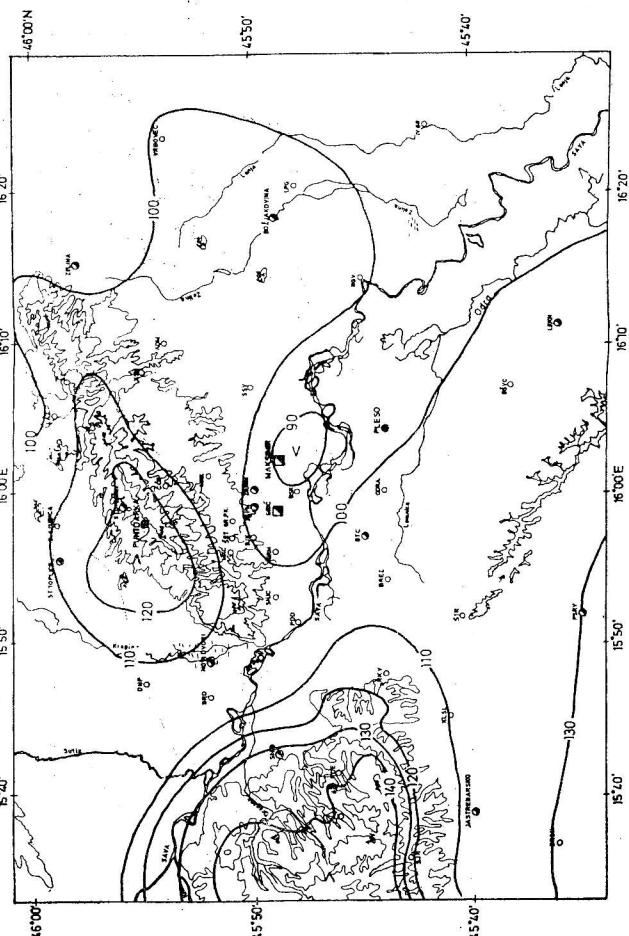


Sl. 3. 3/2. nastavak, KOLOVOZ.

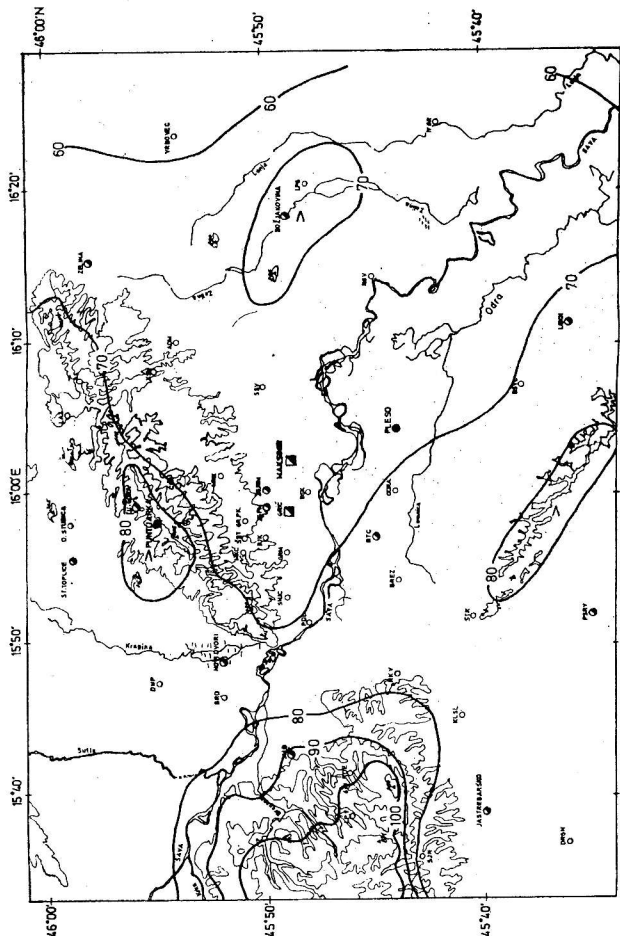
Fig. 3. 3/2. continue, AUGUST.



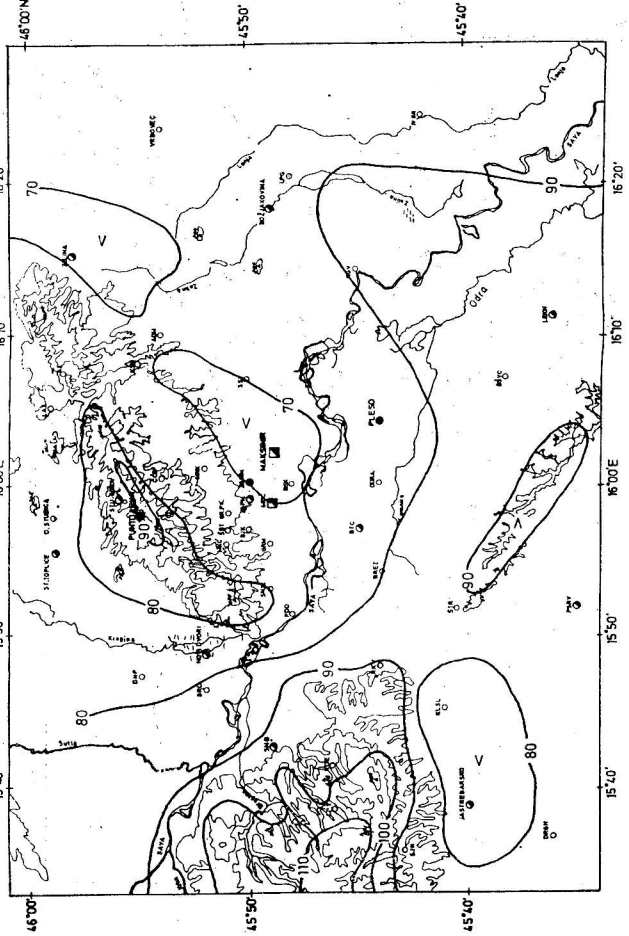
Sl. 3. 3/2. nastavak, RUJAN. Fig. 3. 3/2. continue, SEPTEMBER.



Sl. 3. 3/2. nastavak, STUDENI. Fig. 3. 3/2. continue, NOVEMBER.



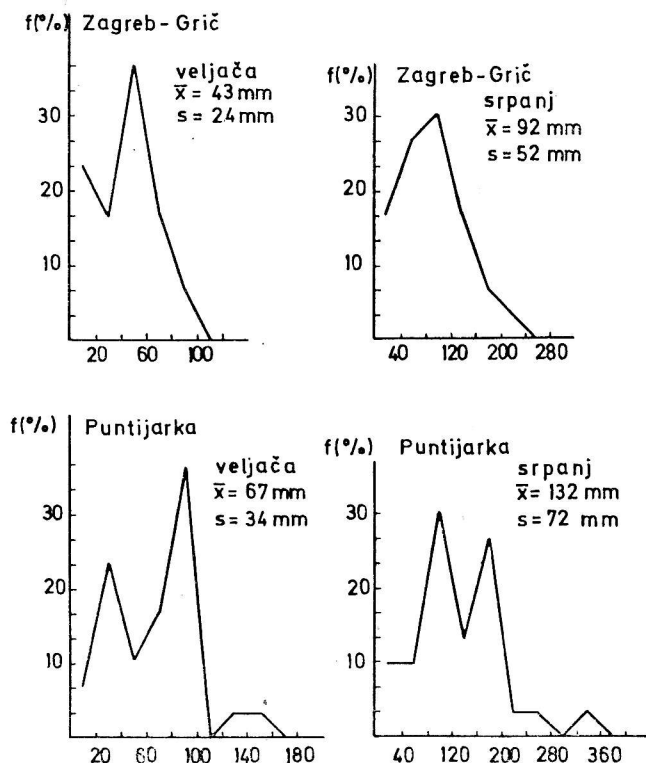
Sl. 3. 3/2. nastavak, LISTOPAD. Fig. 3. 3/2. continue, OCTOBER.



Sl. 3. 3/2. nastavak, PROSINAC. Fig. 3. 3/2. continue, DECEMBER.

4. RAZDIOBE ČESTINA MJESEČNIH KOLIČINA OBORINE

Čestine ili vjerojatnost javljanja neke meteorološke pojave proširuje informaciju o oborinskom režimu nekog područja. U ovom dijelu rada ispitane su empiričke i pripadne teorijske razdiobe čestina mjesečnih količina oborine za dva reprezentativna mjeseca: veljaču i srpanj kao najsušniji odnosno najkišovitiiji mjesec u godišnjem hodu oborine zagrebačke regije. Odabrane su dvije stanice Zagreb—Grič u središnjem urbanom dijelu i Puntijarka pri vrhu Medvednice (sl. 4/1).



Sl. 4/1. Razdioba čestina srednjih mjesečnih količina oborine. Razdoblje 1949—1978. god.

Fig. 4/1. Frequency distribution of mean monthly precipitation amounts for the period 1949—1978.

Ispitivanje pridruživanja teorijskih razdioba čestina na sekularni niz podataka mjesečnih količina oborina opservatorija Zagreb—Grič pokazalo je da se za najveći broj slučajeva može primijeniti Gamma razdioba i da u veljači i srpnju daje najbolje rezultate u odnosu na istu razdiobu u drugim mjesecima (Belamarić, 1977).

Međutim, analogno ispitivanje za Zagreb—Grič i Puntijarku na osnovi 30-godišnjeg niza pokazalo je da je jedino razdiobu srpanjskih količina oborine Zagreb—Griča moguće aproksimirati teorijskom, i to Gamma razdiobom (potvrđeno H_i^2 testom), sl. 4/3.

Dalje je provedena procjena vjerojatnosti pojave mjesečnih količina oborine u pojedinim klasama količina oborine. Iz grafikona kumulativnih čestina (sl. 4/2) moguće je procijeniti u koliko posto slučajeva je neka mjesečna količina oborine bila premašena.

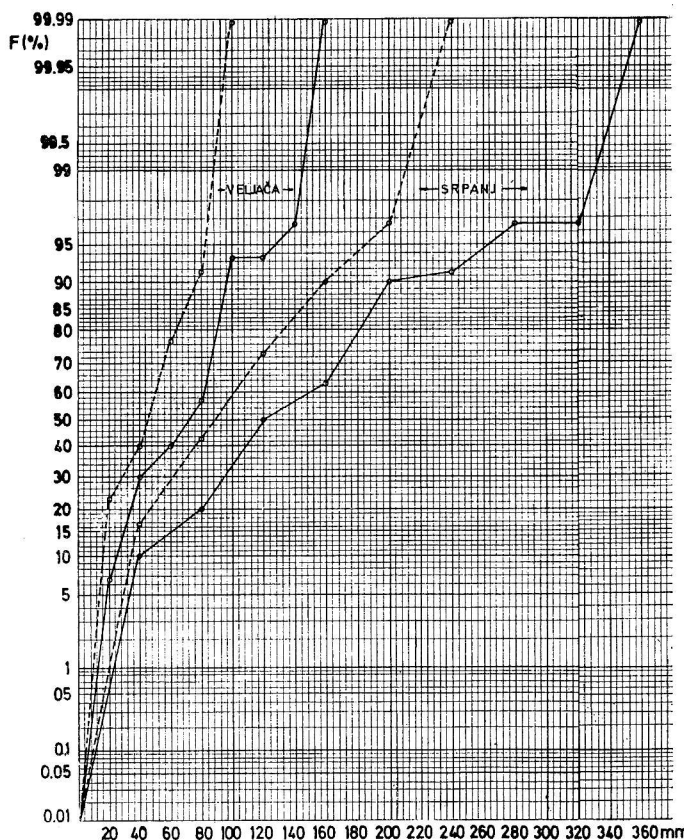
Slike 4/1—3. pokazuju slijedeće karakteristike:

Mjesečne količine oborine veljače najčešće se kreću između 40—60 mm na području grada Zagreba, odnosno vjerojatnost njihovog pojavljivanja iznosi oko 37%. Količine manje od 50 mm mogu se očekivati s vjerojatnošću oko 60%.

Istovremeno, mjesečne količine oborine veljače na Puntijarki kretale su se u daleko većem intervalu vrijednosti od Griča i to gornja granica najviše klase iznosila je 160 mm, za razliku od Griča gdje je bila 100 mm. Poligon čestina pokazuje svojstvo bimodalne razdiobe. Dvije najčešće klase su ona od 80—100 mm i 20—40 mm s relativnom frekvencijom 37% odnosno 23%. Mjesečne količine oborine manje od 80 mm mogu se očekivati s vjerojatnošću oko 55%.

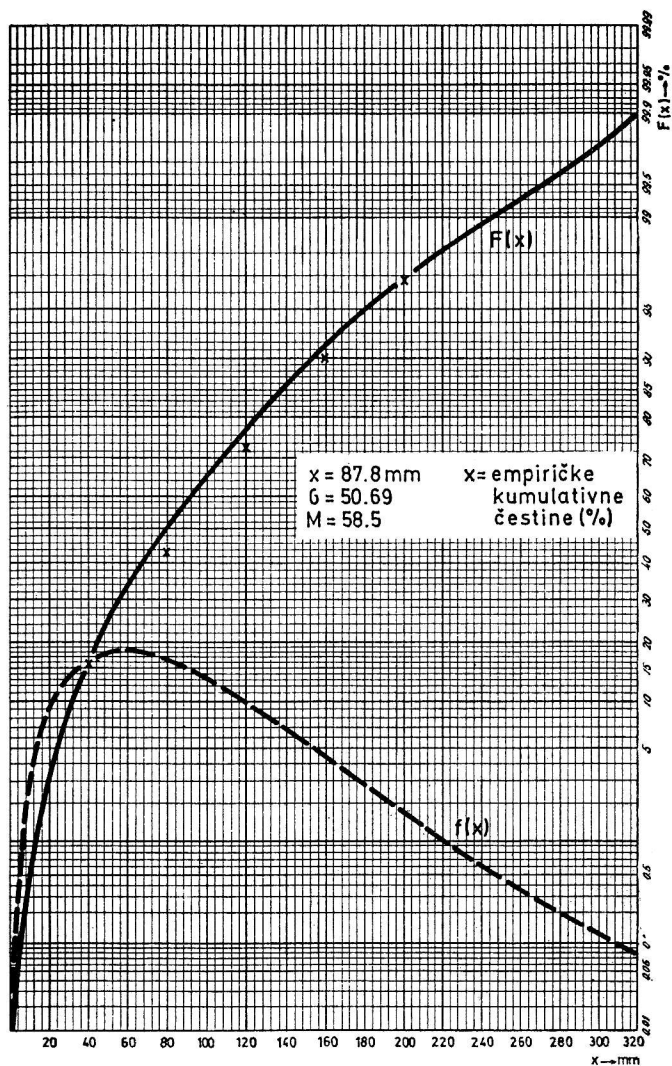
I dok je u srpnju gornja granica zadnje klase iznosila kod Zagreb—Griča 240 mm, dotle je na vršnom području Medvednice viša za gotovo 50% i iznosi 380 mm. Najčešće mjesečne količine u gradu javljaju se u klasi 80—120 mm (30% svih slučajeva). Količine ispod 160 mm očekuju se s vjerojatnošću 90%.

Mjesečne količine oborine na Puntijarki najčešće su u klasama 80—120 mm i 160—200 mm. Čestina pojavljivanja mjesečnih količina ispod 200 mm iznosi 90%, dok se one u klasi 320—360 mm javljaju s vjerojatnošću od oko 3%.



Sl. 4/2. Kumulativne čestine mjesečnih količina oborine za Zagreb—Grič (—) i Puntijarku (---). Razdoblje: 1949—1978.

Fig. 4/2. Cumulative frequencies of monthly precipitation amounts for Zagreb—Grič (—) and Puntijarka (---), Period: 1949—1978.



Sl. 4/3. Gamma razdioba $f(x)$ i pripadna kumulativna razdioba $F(x)$ pridružene srednjim mjesečnim količinama oborine srpnja Zagreb—Grič (1949—1978).

Fig. 4/3. Gamma distribution $f(x)$ and associated cumulative distribution $F(x)$ fitted to the mean monthly precipitation amounts of Zagreb—Grič for July (1949—1978).

Prema podacima sa sl. 4/3. može se očekivati da će se u srpnju u Zagrebu mjesečne količine oborine manje od 50 mm i veće od 115 mm javiti s vjerojatnošću 25%, a one veće od 185 mm s vjerojatnošću 5%. Vjerojatnosti pojavljivanja mjesečnih količina ispod (odnosno iznad) neke određene vrijednosti moguće je očitati s krivulje $F(x)$.

5. ZAKLJUČAK

Analiza trenda niza godišnjih količina oborine Zagreb—Grič (1862—1980) provedena vizuelnom procjenom izgladene krivulje i njoj pridruženog polinoma ukazuje na oscilatorni karakter. Primjenom objektivne statističke metode, Spearmanovog testa korelacije ranga, utvrđena je stacionarnost vremenskog niza bez signifikantnog trenda.

Istovremeno ispitivanje na podacima opservatorija Zagreb—Grič u središtu grada i Zagreb—Maksimir,

na periferiji, za razdoblje 1926—1980, pokazalo je da razvoj grada i industrijalizacija nisu utjecali na godišnje količine oborine i količine oborine toplog dijela godine na širem području grada.

Prema tome ovi homogeni oborinski nizovi bez utjecaja urbanizacije pogodni su za ispitivanje prirodnih varijacija u godišnjoj i sezonskoj skali. Ispitivanje normale oborinskih nizova Zagreb—Grič metodom postupnog osrednjavanja od 1978. godine unazad pokazalo je da je druga polovica XX stoljeća reprezentativna za oborinski režim klime našeg vremena.

Varijacije oborine koje se događaju posljednjih dvadesetak godina na području Zagreba tipične su i za širu regiju.

Ispitivanjem pridruživanja Gamma razdiobe empiričkim razdiobama čestina mjesečnih količina oborina veljače i srpnja, kada padaju ekstremi u godišnjem hodu oborine, za Zagreb—Grič i Puntijarku pri vrhu Medvednice u 30-godišnjem razdoblju, pokazalo se da signifikantna veza postoji samo za podatke srpnja u Zagrebu.

Prosječne karte izohijeta kako mjesečnih tako i godišnjih količina oborine ističu nekoliko glavnih odlika prostorne raspodjele oborine šire zagrebačke regije. Naime, uz glavne sinoptičke formacije, na oborinski režim bitan utjecaj ima orografija. Medvednica i Samoborsko gorje su dvije najmarkantnije prepreke na promatranom području, no evidentna je i prisutnost uzvišenja kod Božjakovine i Vukomeričke gorice.

Najmanje prosječne količine oborine primaju nizijska područja, posebno ona u zavjetrini Medvednice u odnosu na NW prodore (središnji i istočni predjeli grada, uglavnom na jug do Save) i na području južno od Samoborskog gorja.

Nadalje, s porastom nadmorske visine raste i prosječna količina oborine, što je poznata karakteristika prosječnog oborinskog režima planinskih krajeva.

LITERATURA

- Brooks, C. E. P. and Carruthers, 1953: Handbook of Statistical Methods in Meteorology, London.
- Changon, S. A., 1968: The La Porte weather anomaly — fact or fiction. Bull. Amer. Met. Soc., 49, 4—11.
- Changon, S. A., 1969: Recent studies of urban effects on precipitation in the US. Bull. Am. Met. Soc., 50, 411—421.
- Changon, S. A. et al., 1971: Metromex: An investigation of inadvertent weather modification. Bull. Am. Met. Soc., 52, 958—967.
- Changon, S. A., Huff, F. A., Schickedanz, P. T. and J. L. Vogel, 1977: Summary of Metromex, Volume 1: Weather Anomalies and Impacts, Bulletin 62, State of Illinois, Urbana.
- Gajić-Čapka, M., 1980: Oborina, Vodoprivredna osnova područja grada Zagreba, A Meteorološka podloga, RHMZ-CMI, 63—86.
- Glasspoole, J., 1969: Wet Thursdays. Weather, 24, 241—242.
- Huff, F. A. and S. A. Changon, 1972: Climatological assessment of urban effects on precipitation at St. Louis. J. Appl. Met., 11, 823—842.
- Lawrence, E. N., 1971: Day-of-the-week variation in weather. Weather, 26, 386—391.
- Leith, C. E., 1973: The Standard Error of Time-Average Estimates of Climatic Means. J. Appl. Met., 12, 1066—1069.

- Makjanić, B., Penzar, B. i I. Penzar, 1977: Prilog poznavanju klime grada Zagreba, I, Radovi III, 18, Geofizički zavod, PMF, Zagreb.
- Manley, G., 1958: On the frequency of snowfall in metropolitan England. *Q. Jl. R. Met. Soc.*, 84, 70—72.
- Nicholson, G., 1965: Wet Thursdays again. *Weather*, 20, 322—323.
- Nicholson, G., 1969: Wet Thursdays. *Weather*, 24, 117—119.
- Ogallo, L., 1979: Rainfall Variability in Africa. *Mon. Weath. Rev.*, 107, 1133—1139.
- Ogden, T. L., 1969: The effect on rainfall of a large steelworks. *J. Appl. Met.*, 8, 585—591.
- Oliver, J. E., 1973: *Climate and Man's Environment*, New York.
- Panofsky, H. A. and G. W. Brier, 1958: *Some Applications of Statistics to Meteorology*, Pennsylvania.
- Parry, M., 1956: An »urban rainstorm« in the Reading area. *Weather*, 11, 41—48.
- Penzar, B., Volarić, B. i I. Penzar, 1967: Prilog poznavanju sekularnih kolebanja temperature i oborine u Jugoslaviji. 20 godina hidrometeorološke službe Jugoslavije, 63—89.
- Penzar, B., 1976: *Klima makroregionalnih gradova SR Hrvatske, Centralna naselja i gradovi SR Hrvatske, Školska knjiga, Zagreb.*
- Penzar, B., 1980: *Osnovna statistička obrada podataka u klimatologiji*, Sveučilište u Zagrebu.
- Penzar, B. i I. Penzar, 1980: O položaju i uzrocima ekstrema u godišnjem hodu oborine u Hrvatskoj (Dio I i II), *Geografski glasnik XLI—XLII, XLIII*, Zagreb.
- Pleško, N. i N. Šinik, 1968: *Sekularne varijacije oborine u odnosu na Atlas klime SFRJ, RHMZ SRH*, Zagreb.
- Scorer, R. S., 1964: A problem in rainfall statistics. *Weather*, 19, 131—132.
- Scorer, R. S., 1969: Wet Thursdays. *Weather*, 24, 336.
- Sekiguti, T. and H. Tamiya, 1970: *Precipitation climatology of Japanese city area*, u *Urban climatology*, W. M. O., Tech. Note, No 108, 363.
- Smith, K., 1975: *Principles of Applied Meteorology*, London.
- Spar, J. and P. Ronberg, 1968: Note on an apparent trend in annual precipitation at New York City. *Mon. Weath. Rev.*, 96, 169—172.
- Stringer, E. T., 1972: *Techniques of Climatology*. W. H. Freeman and Company, San Francisco.
- Šamaj, F. i Š. Valović, 1979: *Zračkové pomery, Klima a bioklima Bratislavy*, Bratislava.
- Tabony, R. C., 1980: Urban effects on trends of annual and seasonal rainfall in the London area, *Met. Mag.*, 109, 182—202.
- Weisse, L. L. and R. Kresge, 1962: Indications of the uniformity of shore and offshore precipitation for Southern Lake Michigan. *J. Appl. Met.*, 1, 271—274.
- WMO — 1966: *Climatic Change*, Technical Note, No. 79., Geneva.
- WMO — 1970: *Urban Climates*, Technical Note, No. 108., Geneva.

SUMMARY

This work deals with time and spatial variability of the annual and monthly precipitation amounts in the city of Zagreb and its surrounding area.

Trend analysis of annual precipitation amounts for the period 1862—1980. at the Zagreb—Grič observatory in the city centre, carried out by visual estimation of smoothed time curve and fitted 12-order polynomial, shows an oscillatory character. The stationary quality of the time series without significant trend was established through an objective statistical method, the Spearman rank correlation test.

Synchronous analysis by means of cumulative sums of annual and summer half-year precipitation amounts at Zagreb—Grič and Zagreb—Maksimir for the period 1926—1980. shows that urban growth and industrialization did not effect these data in the city centre or in the suburban area.

Examination of annual, February and June precipitation normals for Zagreb—Grič data by the method of gradual averages shows that the middle of the second half of the XX century can be taken as representative for the precipitation regime of the present climate.

Spatial distributions of coefficient of variation and coefficient a in the linear regression $y = ax + b$ fitted to the annual precipitation data for all meteorological stations in the region observed show that the variation of precipitation amounts are quite similar all over the area and that they show a fall over the last twenty years. The precipitation variability in the city of Zagreb is typical for the broader region.

Mean monthly and annual isohyet charts emphasize some main characteristics of spatial precipitation distribution in the broader Zagreb region. Orography has a principal effect on the precipitation regime, beside the main synoptic formations. Medvednica (1007 m) and the Samobor mountains (871 m) are the two most outstanding obstructions on the observed area, but the presence of the hills at Božjakovina and Vučkomeričke gorice is evident.

The smallest amounts of precipitation are in the lowlands, especially those in the lee of Medvednica corresponding to the NW penetrations and south of the Samobor mountains.

Mean precipitation amounts increase with elevation which is a well-known characteristic of mean precipitation regime in mountain regions.

In the annual precipitation series the extremes fall in June (maximum) and in February (minimum). Frequency distribution of precipitation amounts for these months were analysed for Zagreb—Grič and Puntijarka (on the top of Medvedniaca mountain) over a 30-year period. Gamma distribution was fitted and the results gave a significant correlation only for June amounts in Zagreb.