

ANALIZA LJETNIH OBORINA NA PODRUČJU GRADA ZAGREBA

Summer Precipitation Analysis of the Zagreb City Area

MARJANA GAJIĆ-ČAPKA i BORIVOJ ČAPKA

Republički hidrometeorološki zavod SR Hrvatske, Zagreb

Primljeno 9. siječnja 1985., u konačnom obliku 2. srpnja 1985.

Sažetak: Komparirane su vremenske promjene: 1. međusobnog odnosa količina oborina palih u centru grada i na periferiji kao i količina palih u gradu i na selu u lipnju, srpnju, kolovozu i ljeti, 2. srednjeg broja oborinskih dana različitog intenziteta ljeti i 3. broja dana s grmljavinom ljeti na tri lokacije: Zagreb – Grič (središte grada), Zagreb – Maksimir (predgrađe) i Zagreb – Pleso (selo) u razdoblju 1946–1980. Ovisnost dnevnih intenziteta oborine o urbanizaciji ispitana je primjenom analize varijance na podacima niza (1961–1980). Signifikantnost razlika količina oborina kod sinoptičkih situacija „labilnost u zračnoj masi“ u lipnju (1976–1980) za tri zagrebačke lokacije testirana je T-testom. Provedena je analiza polja strujanja, vlage i temperature u situacijama „labilnost u zračnoj masi“ u lipnju (1976–1980) radi utvrđivanja uzroka pripadnih raspodjela oborine na širem zagrebačkom području. Pokazano je da razvoj grada nije utjecao na promjenu oborinskog režima ljeti u Zagrebu.

Ključne riječi: Oborina; Utjecaj grada; Analiza varijance.

Abstract: Long-term change of: 1. the relationship of the summer monthly and seasonal precipitation totals between urban and peripheral as well as urban and rural stations, 2. mean number of summer precipitation days for various intensity classes and 3. mean summer thunderstorm days at three locations: Zagreb – Grič (city center), Zagreb – Maksimir (suburb) and Zagreb – Pleso (rural area) are compared for the period 1946–1980. The dependence of daily rainfall intensity on urban development is investigated by means of variance analysis applied to data from 1961–1980 at three locations. Rainfall amounts due to air mass instability and causes of their distribution in June (1976–1980) in the Zagreb area are studied. It is shown that city development has not influenced changes of the summer precipitation regime in Zagreb.

Key words: Precipitation; Urban effects; Analysis of variance.

1. UVOD

U svijetu je provedeno niz ispitivanja o utjecaju širenja urbanih središta i industrije na oborinski režim, o čemu je opširno navedeno u uvodnom dijelu rada Gajić-Čapka (1982). Kod nas nismo naišli na posebna ispitivanja oborinskog režima s aspekta utjecaja urbanizacije. Neki rezultati koji su dobiveni u okviru ispitivanja sekularnih varijacija oborine u Zagrebu vezani su na razvoj grada (Penzar i suradnici, 1967). Opširno ispitivanje varijacija prosječnog oborinskog režima grada Zagreba i njegove šire regije dano je u radu Gajić-Čapka (1982). U tom radu prvo je ispitivan trend oborinskog režima zagrebačkog područja, a zatim utjecaj grada Zagreba na taj trend. Pri tom je težište ispitivanja na posljednjih 20 godina, koje nisu razmatrane u radu B. Penzar i suradnika (1967). Rezultati objektivnih statističkih metoda pokazali su stacionarnost vremenskih nizova godišnjih količina oborine, bez signifikantnog trenda na dvije lokacije: Zagreb – Grič u središtu grada

i Zagreb – Maksimir u istočnom predgrađu. To je navelo na zaključak da u oborinskom režimu Zagreba nije zabilježena prisutnost utjecaja razvoja grada na godišnje količine oborine ni u centru niti na periferiji.

Cilj ovog rada je ispitivanje oborine na zagrebačkom području na tri lokacije Zagreb – Grič, Zagreb – Maksimir, Zagreb – Pleso u toplom dijelu godine i to za tri ljetna mjeseca: lipanj, srpanj i kolovoz. Pretpostavljamo da bi toplinski otok grada, zajedno s povećanom prisutnošću kondenzacijskih jezgara, mogao djelovati kao generator za pojačanu konvekciju. Time bi se moglo očekivati da će s jedne strane biti povećane količine oborine vezane za konvektivne razvoje uz frontalne prodore koji zahvaćaju šire područje, što bi se odrazilo na svim lokacijama. S druge strane, kod labilnosti u zračnoj masi koje mogu dati oborinu na užim lokalitetima, pretpostavljamo da bi grad (Zagreb – Grič) trebao primati veće količine oborine nego li ruralno područje (Zagreb – Pleso). Potvrdu ili opovrgavanje ovih pretpostavki treba dati ispitivanje koje je provedeno u ovom radu u nekoliko koraka.

U prvom koraku komparirane su mjesečne količine oborine lipnja, srpnja i kolovoza na spomenute tri lokacije. Zatim su analizirani brojevi dana s određenim količinama oborine (≥ 1.0 mm, ≥ 5.0 mm, ≥ 10.0 mm, ≥ 20.0 mm) i učestalost dana s grmljavinom. Promatrane su promjene njihovih odnosa u vremenu u posljednjih 35 godina budući da možemo pretpostaviti da bi razdoblje nakon 1946. godine moglo biti pod utjecajem urbanizacije i industrijalizacije.

Statistička metoda analize varijance primijenjena je na dnevne intenzitete oborine (za oborinski dan) da bi se objektivno ispitala ovisnost dnevnih intenziteta oborine o urbanizaciji, čiji stupanj razvoja je uvažen odabirom triju lokacija na različitoj udaljenosti od centra grada. Opravdanost primjene navedene metode nalazimo u rezultatima statističke analize mjesečnih količina oborine za Zagreb u radu Belamarića (1978).

Komparacija količina oborine koje su pale u sinoptičkim situacijama „labilnost atmosfere“, definiranim prema Gajić-Čapka (1983) u posljednjem 5-godišnjem razdoblju 1976–1980. u lipnju, proširena je na sve stanice šire zagrebačke regije.

2. OPIS POLOŽAJA STANICA

Grad Zagreb smješten je na južnoj strani planine Medvednice čija je najveća visina 1035 m, a ima značajnu ulogu u oborinskom režimu grada.

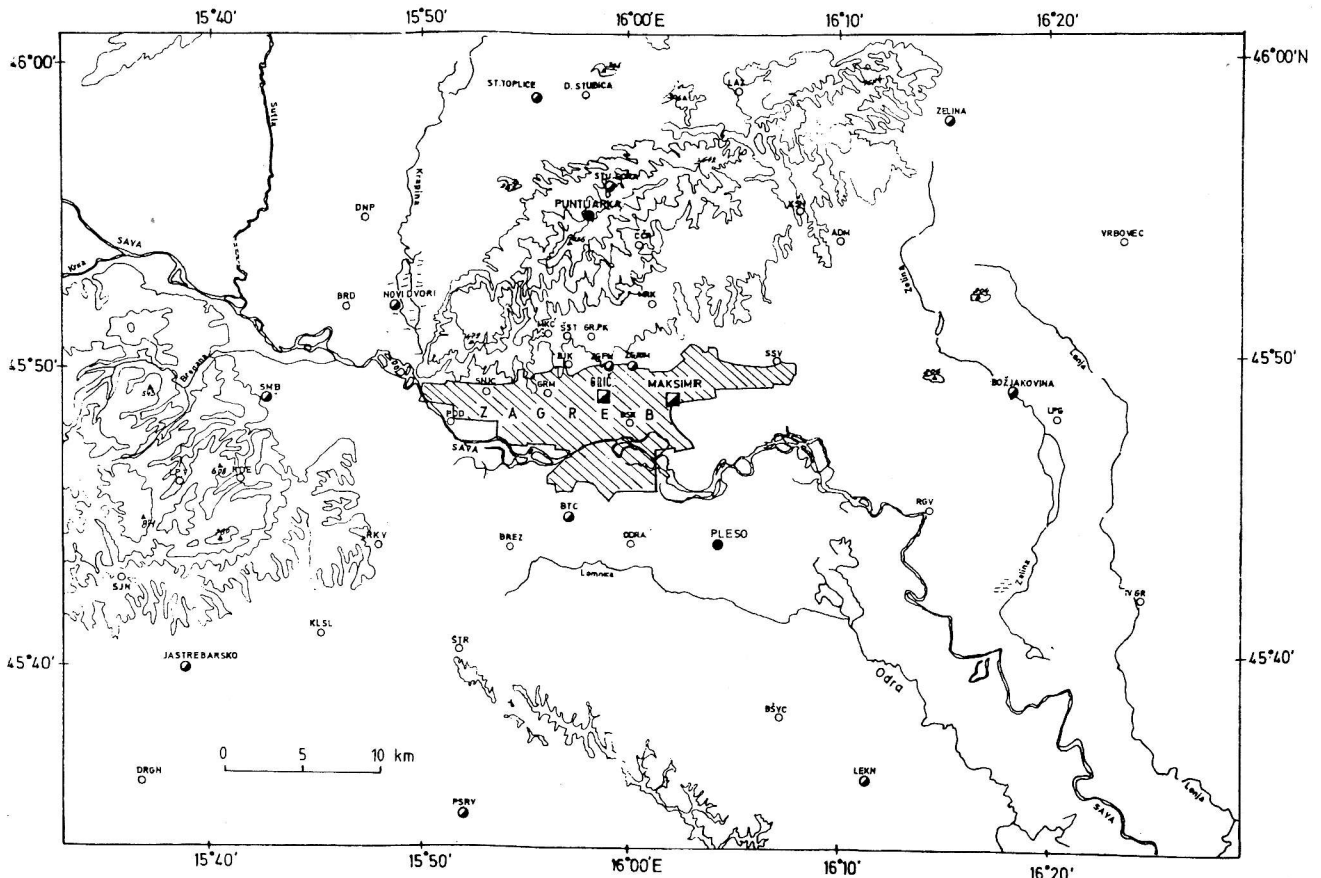
Položaj stanica odabranih za istraživanje koje slijedi prikazan je na sl. 1.

Opservatorij Zagreb – Grič smješten je u urbanom središtu, u Gornjem gradu, opservatorij Zagreb – Maksimir nalazi se u istočnom predgrađu a meteorološka stanica Zagreb – Pleso locirana je na otvorenom prostoru uz pistu na aerodromu „Zagreb“. U tabeli 1. navedene su nadmorske visine tih stanica, geografske koordinate, udaljenost Zagreb – Maksimira i Zagreb – Plesa od centra grada (Zagreb – Griča) s oznakom smjera.

Tabela 1. Odabrane meteorološke stanice u zagrebačkom području.

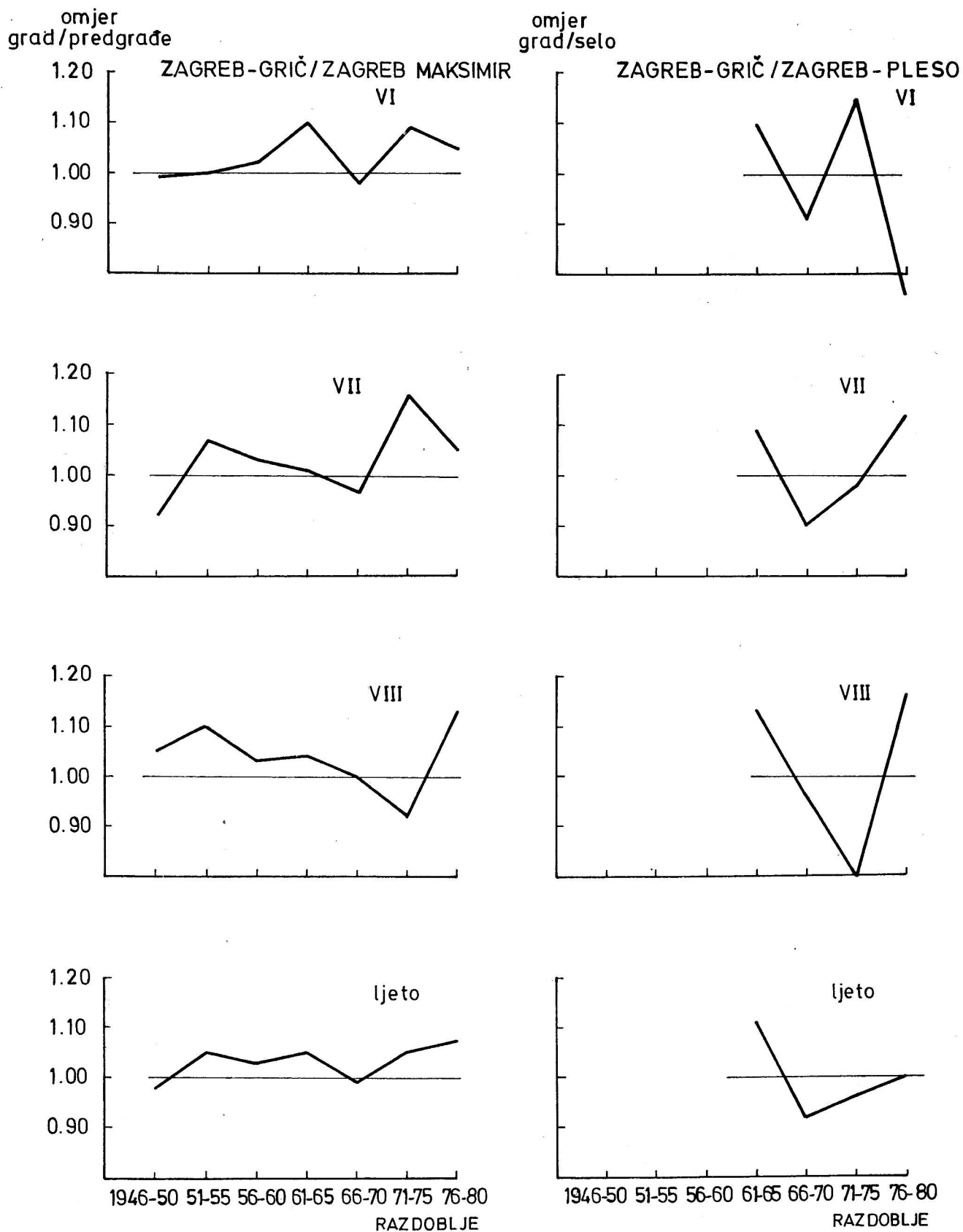
Table 1. List of meteorological observatories in the Zagreb area.

Stanica	Nadmorska visina (m)	Širina N	Duljina E	Udaljenost (km)	u smjeru
Zagreb – Grič	157	45°49'	15°59'	0	–
Zagreb – Maksimir	123	45°49'	16°02'	5	E
Zagreb – Pleso	106	45°44'	16°04'	11	SE



Sl. 1. Šire gradsko područje Zagreba

Fig. 1. Meteorological station network in the Zagreb area.



Sl. 2. Dugogodišnje promjene količine oborine lipnja, srpnja, kolovoza i ljeta između stanice u gradu i predgrađu kao i stanice u gradu i ruralnom području.

Fig. 2. Long-term changes of the relations of the June, July, August and summer precipitation totals between urban and peripheral as well as urban and rural stations.

3. KARAKTERISTIKE OBORINSKOG REŽIMA NA ZAGREBAČKOM PODRUČJU

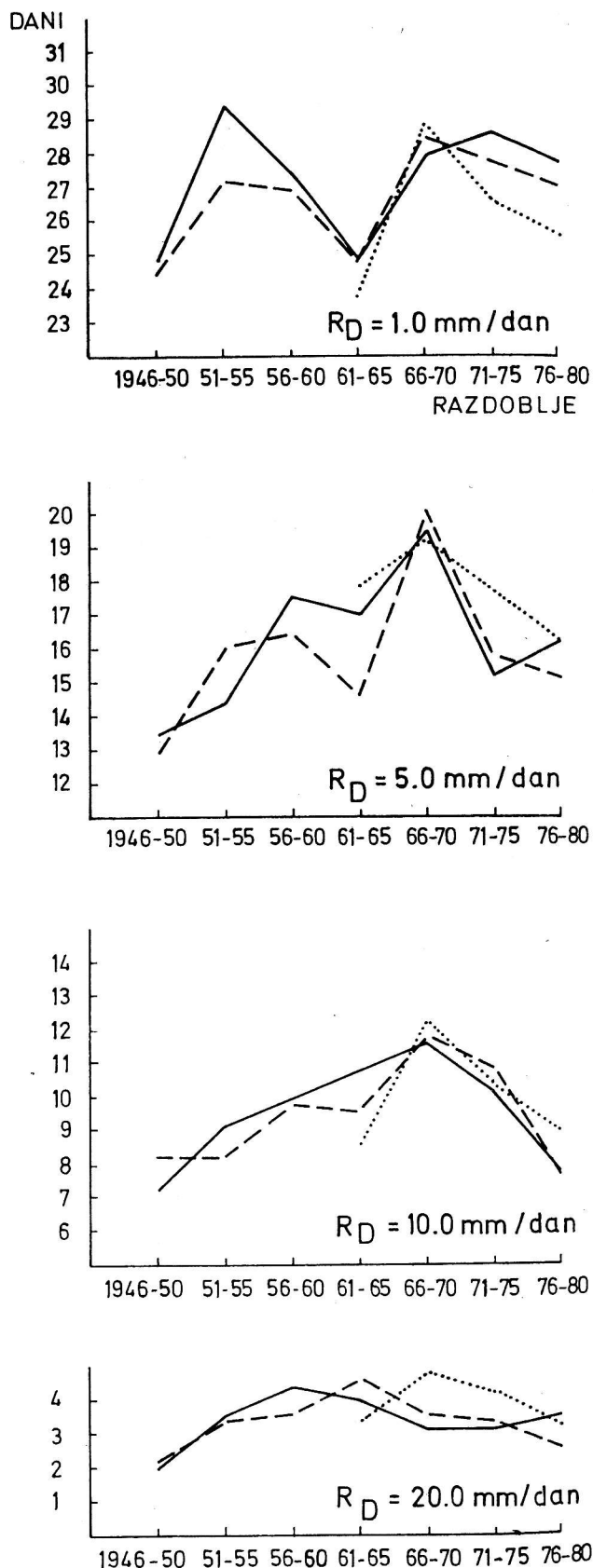
Analiza prostorne raspodjele srednjih mjesečnih količina oborina za zagrebačko područje u lipnju, srpnju i kolovozu (1959–1978) ukazala je na to da uz glavne sinoptičke formacije bitan utjecaj na raspodjelu oborine ovog područja ima orografija (Gajić-Čapka, 1982). U prosjeku količine oborine opadaju udaljavanjem od planine Medvednice na jug. U nizinskom području horizontalni gradijenti oborine su vrlo slabi. Da li je ovakva slika rezultat samo prosječnih klimatskih prilika kao posljedica prirodnih uzroka, ili je tu ukomponiran i utjecaj čovjeka kroz povećanje urbane i industrijske zone, ispitano je analizom vremenskih promjena odnosa nekoliko oborinskih parametara za različite lokacije.

3.1. Dugogodišnje promjene oborine na tri zagrebačke lokacije

Međusobni odnos količina oborina palih u centru grada i na periferiji, kao i količina palih u gradu i u vangradskom (seoskom) području u lipnju, srpnju, kolovozu i ljeti, prikazan je na sl. 2 kvocijentima oborine Zagreb – Grič i Zagreb – Maksimir, kao i Zagreb – Grič i Zagreb – Pleso. Promjene u vremenu prikazane su hodom 5-godišnjih kvocijenata 1946–50, 1951–55, ..., 1976–80. Grafikoni pokazuju oscilatorni oblik bez posebnog trenda kvocijenta. Oblik kolebanja kvocijenata u razdoblju za koje postoje istovremena mjerenja oborine na sve tri stanice (1961–1980) pokazuje da postoji sličan oblik oscilacija ali različitog intenziteta. Niti jedan od ova dva odnosa ne ukazuje na značajno povećanje količina oborine u gradu prema primljenim količinama oborine u okolici. Kad bi utjecaj grada postojao, onda bi se trend porasta oborine u centru grada, kada je jednom opažen, morao zapažati i u kasnijim 5-godišnjim razdobljima, što se ne uočava na podacima prikazanim na sl. 2. Može se pretpostaviti da su dobiveni odnosi rezultat djelovanja prirodnih uzroka, prvenstveno sinoptičkih formacija i orografije na promatranom području.

Neki od oborinskih parametara na kojima bi se trebao primarno odraziti utjecaj grada, ukoliko postoji, svakako je učestalost oborinskih dana različitog intenziteta, kao i dana s grmljavinom kao posljedice povećane konvekcije. Ljetne vrijednosti učestalosti oborinskih dana za sve tri stanice: Zagreb – Grič, Zagreb – Maksimir i Zagreb – Pleso osrednjene su za 5-godišnja razdoblja, iste kao i kod analize količina oborine, i prikazane na sl. 3. Ovi vremenski hodovi pokazuju ista svojstva kao i količine oborine.

Oblici krivulja za grupe stanica su slični i međusobno mnogo ne odstupaju. Ovi rezultati pokazuju da nije došlo do učestalijeg padanja kiše u gradu u dane kada na vangradskoj stanici nije bilo oborine, odnosno zadržao se dugogodišnji odnos broja kišnih dana s različitim intenzitetima na sve tri stanice.



Sl. 3. Vremenske promjene učestalosti srednjeg broja oborinskih dana različitog intenziteta R_D ljeti za 5-godišnja razdoblja za Zagreb-Grič (—), Zagreb-Maksimir (---) i Zagreb-Pleso (.....).

Fig. 3. Time variability of mean number of summer precipitation days for various intensity classes for 5-year periods at Zagreb-Grič (—), Zagreb-Maksimir (---) and Zagreb-Pleso (.....).

U slučaju učestalosti dana s grmljavinom oblik hodova je sličan, međusobne razlike su gotovo stalne. Rezultat da se na Griču može očekivati manji broj dana s grmljavinom ljeti smatramo da je nerealan i da proizlazi iz položaja motrilišta na Griču u gradskom žamoru i nemogućnosti razlučivanja svih akustičnih efekata grmljavine.

3.2. Statistička analiza dnevnih intenziteta oborine

Da li je došlo do lokalne intenzifikacije oborine u dane kada je nad ovim područjem padala kiša, možemo ustanoviti ispitivanjem dnevnih intenziteta oborine kroz niz godina.

Dnevni intenziteti oborine izračunati su kao kvocijent ukupne mjesečne količine oborine i broja dana s oborinom ≥ 0.1 mm u tom mjesecu. Ove vrijednosti prosječne količine oborine po oborinskom danu određene su za lipanj, srpanj i kolovoz u nizu 1961–1980. na sve tri promatrane lokacije Zagreb – Grič, Zagreb – Maksimir i Zagreb – Pleso.

Naša pretpostavka je da je razvoj grada Zagreba utjecao na povećanje oborine u centru, pa da bi se stoga intenziteti oborine morali značajno razlikovati između grada i lokacija izvan grada. Da li efekt faktora udaljenosti lokacije od gradskog središta signifikantno doprinosi ukupnoj varijanci, ispitali smo pomoću statističke metode analize varijance.

Tabela 2. Analiza varijance dnevnih intenziteta oborine na zagrebačkom području (1961–1980).

Table 2. Analysis of variance applied on the daily precipitation intensities in the Zagreb area (1961–1980).

A – lipanj (June)

Rasap	Suma kvadrata	Broj stup. slobode	Sred. kvadr. (s)	Omjer F
(1) među grupama	1.37	2	0.69	0.09
(2) unutar grupa	451.97	57	7.93	
ukupan	453.34	59		

B – srpanj (July)

Rasap	Suma kvadrata	Broj stup. slobode	Sred. kvadr. (s)	Omjer F
(1) među grupama	5.25	2	2.63	0.23
(2) unutar grupa	643.44	57	11.29	
ukupan	648.69	59		

C – kolovoz (August)

Rasap	Suma kvadrata	Broj stup. slobode	Sred. kvadr. (s)	Omjer F
(1) među grupama	2.89	2	1.45	0.10
(2) unutar grupa	839.47	57	14.73	
ukupan	842.36	59		

Statistički model za zavisnu varijablu R (dnevne intenzitete oborine), uz pretpostavku djelovanja jednog faktora (razvoj grada izražen udaljenošću od centra grada), glasi:

$$r_{i\nu} = \bar{R}_i + z_{i\nu}$$

$i = 1, 2, 3$ (broj grupa – lokacija)

$\nu = 1, 2, \dots, 20$ (broj podataka u grupi)

gdje je \bar{R}_i ukupni srednjak, a $z_{i\nu}$ slučajna varijabla s parametrima O i σ^2 koja je rezultat djelovanja ispitivanog faktora (grada), za koje nismo sigurni je li realno. Tab. 2 prikazuje rezultate analize varijance.

Izračunate su procjene rasapa u populaciji. Rasap među grupama manji je od rasapa unutar grupa, stoga nije bilo potrebno računati i testirati omjer F. Varijanca dnevnih intenziteta oborine ne pokazuje signifikantnu promjenu s vremenom, što znači da naša pretpostavka o utjecaju urbanizacije na oborinski režim na zagrebačkom području ne stoji. Razlike između tri lokacije u prosječnim dnevnim intenzitetima oborine izrazito su male. Između Griča i Maksimira iznose 0.03 mm u lipnju, 0.62 mm u srpnju i 0.32 mm u kolovozu, a između Griča i Plesa 0.33 mm u lipnju, 0.02 mm u srpnju i 0.54 mm u kolovozu u promatranom razdoblju 1961–1980.

Provedena analiza je pokazala da, iako grad raste, još uvijek se ne primjećuje da taj porast djeluje na oborinski režim grada ljeti.

3.3. Količine oborine zbog labilnosti atmosfere u lipnju

Oborine kao posljedica labilne stratifikacije atmosfere su izrazito lokalnog karaktera. U širim razmjerima, na području sjeverne Hrvatske, utvrđeno je u razdoblju 1976–1980. da su oborine ovog uzroka bile najzastupljenije po broju slučajeva iza frontalnih oborina, ali da se one nisu morale javiti istovremeno na cijelom području (Gajić–Čapka, 1983). Da li se ova velika prostorna varijabilnost uočava i na manjim razmjerima, tj. širem području grada Zagreba i da li eventualno Zagreb kao urbana sredina ima utjecaja na intenzitet i raspodjelu oborina kod sinoptičkih situacija „labilnost u zračnoj masi“, treba odgovoriti ova analiza.

U ispitivanom razdoblju 1976–1980, u mjesecu lipnju ustanovljeno je 17 slučajeva sinoptičkih situacija „labilnost atmosfere“. One su dale sumarno najviše oborine na lokaciji Zagreb – Pleso gdje je palo ukupno 56.9 mm oborine, na Zagreb – Griču 48.3 mm, a najmanje na lokaciji Zagreb – Maksimir 39.5 mm. Pri tome pale količine oborine u pojedinim slučajevima bile su male (najveća 8.3 mm dana 10. 6. 1980 na Zagreb – Plesu), osim slučaj 9. 6. 1979. kada su izmjerene velike količine oborine i to 32.4 mm Zagreb – Grič, 10.1 mm Zagreb – Maksimir i 34.1 mm Zagreb – Pleso, što predstavlja 67.1%, 25.6%, odnosno 59.9 % ukupne količine oborine zbog labilnosti atmosfere u lipnju promatranog 5-godišnjeg razdoblja (tab. 3). Analiza

ovog slučaja obuhvaćena je u mezoanalizi sinoptičke situacije 6 – 9. lipnja 1979. u radu V. Jurčec (1982). Ispitivanje uzroka oborine u promatranj sinoptičkoj situaciji pokazalo je da efekti orografije na modifikaciju vjetra imaju presudnu ulogu za intenzitet i razdiobu oborine koja se javlja u uvjetno nestabilnoj atmosferi kao posljedica razvoja post-frontalne konvekcije.

Testiranje (T-test) jednakosti srednjih količina oborina zbog labilnosti atmosfere u lipnju za lokacije Grič – Maksimir, Grič – Pleso i Maksimir – Pleso pokazalo je da se oni značajno ne razlikuju uz vjerojatnost pogreške prve vrste $\alpha = 0.05$.

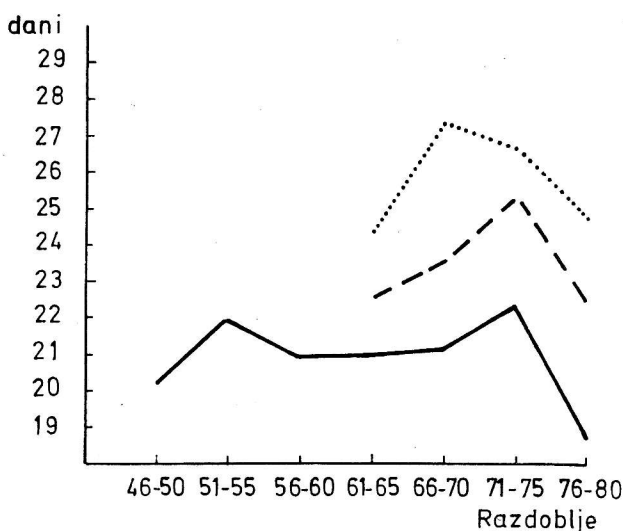
Od ukupno 17 slučajeva labilnosti u zračnoj masi koje su dale oborinu barem na jednoj od promatranih lokacija, čak u 12 slučajeva Zagreb – Maksimir (predgrađe) primio je veću količinu oborine od Zagreb – Griča (središte), u 4 slučaja pala je manja količina u Zagreb – Maksimiru nego na Zagreb – Griču, a jednake količine imali su jednom.

Tabela 3. Količine oborine (mm) pale na zagrebačkom području u sinoptičkim situacijama, „labilnost atmosfere“ u lipnju (1976–1980).

Table 3. Precipitation amounts due to the air mass instability in June in the Zagreb area (1976–1980).

R. br.	Datum	Zagreb– –Grič	Zagreb– –Maksimir	Zagreb– –Pleso
1	4. 06. 1976.	0.1	0.3	0.0
2	5. 06. 1976.	1.1	0.7	5.0
3	11. 06. 1976.	1.1	2.1	0.8
4	12. 06. 1976.	–	2.9	–
5	23. 06. 1976.	5.0	3.5	3.6
6.	5. 06. 1977.	1.4	3.0	1.3
7	24. 06. 1977.	0.2	0.2	0.4
8	5. 06. 1978.	3.2	4.6	0.2
9	24. 06. 1978.	–	1.9	0.1
10	25. 06. 1978.	1.7	3.3	0.0
11	9. 06. 1979.	32.4	10.1	34.1
12	12. 06. 1979.	0.6	0.1	0.0
13	15. 06. 1979.	0.2	0.5	1.1
14	8. 06. 1980.	0.1	0.2	0.3
15	9. 06. 1980.	–	0.9	1.7
16	10. 06. 1980.	1.2	5.1	8.3
17	26. 06. 1980.	–	0.1	–
Σ R (mm)		48.3	39.5	56.9
R (mm)		2.8	2.3	3.3
Σ R (mm) bez 9. 6. 1979.		15.9	29.4	22.8

Ako u analizu ne uključimo slučaj 9. 6. 1979. koji se ističe s posebno velikim količinama oborine, iz tab. 3 je vidljivo da je najveću količinu oborine od svih 16 slučajeva primio Zagreb – Maksimir, dakle istočni dio grada (29.4 mm), zatim Zagreb – Pleso, jugoistočno vangradsko područje i najmanje Zagreb – Grič (15.9 mm).



Sl. 4. Vremenske promjene učestalosti srednjeg broja dana s grmljavinom ljeti za 5-godišnja razdoblja. Zagreb–Grič (—), Zagreb–Maksimir (---) i Zagreb–Pleso (.....).

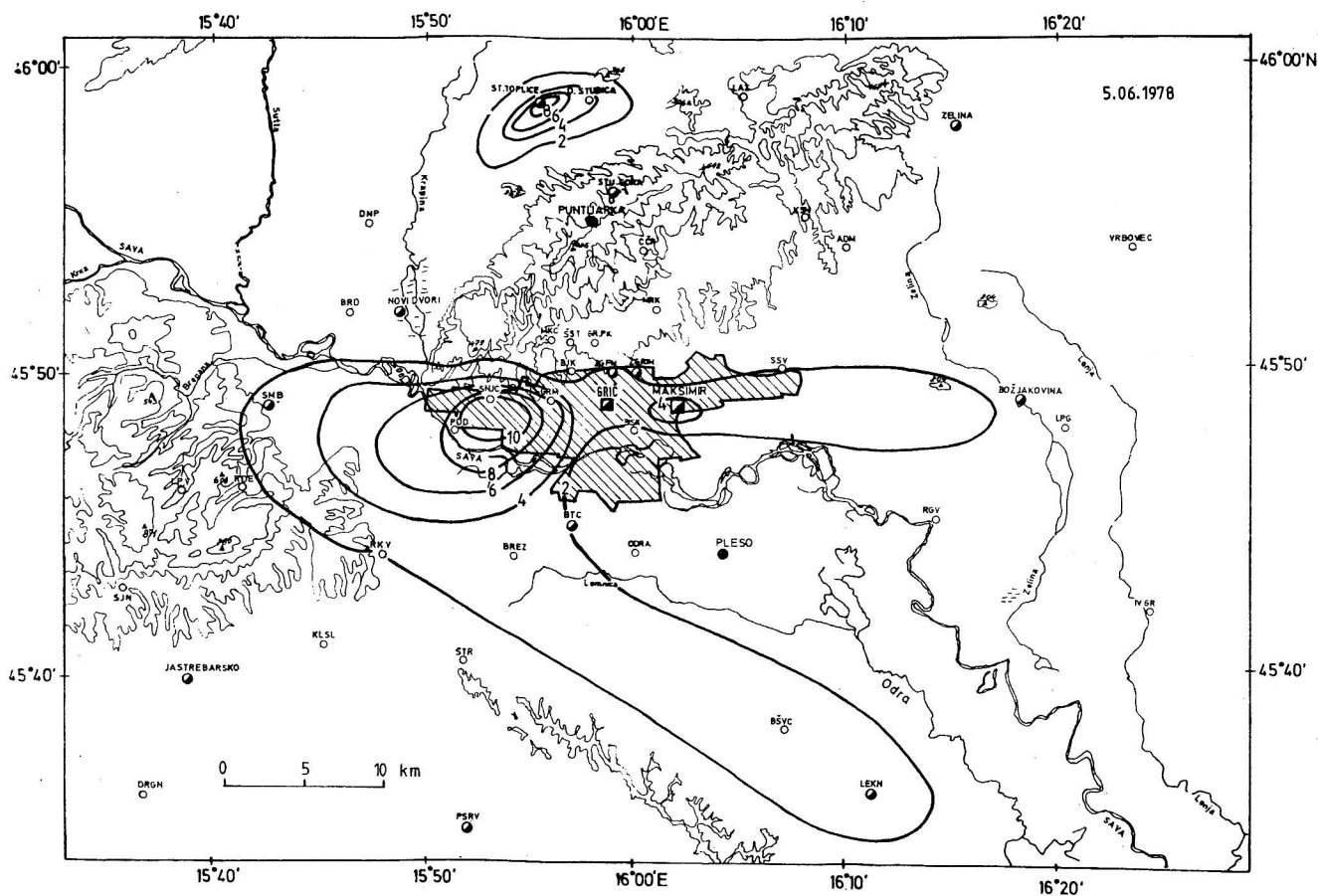
Fig. 4. Time variability of mean summer thunderstorm days for 5-year period at Zagreb–Grič (—), Zagreb–Maksimir (---) i Zagreb–Pleso (.....).

Testiranje srednjaka količina oborina zbog labilnosti, bez slučaja 9. 6. 1979, pokazalo je da se ove vrijednosti ne razlikuju značajno između Griča i Plesa te Plesa i Maksimira, ali u odnosu na prosječnu količinu na Griču, Maksimir se odlikuje signifikantno većom količinom oborine na nivou signifikantnosti 5% dok za nivo 2% ne postoji statistički signifikantna razlika između Griča i Maksimira. To znači da se razlike u količinama oborine između Griča i Maksimira nalaze na rubu signifikantnosti.

Međutim, da bismo ustanovili da li Zagreb kao urbana sredina ima utjecaja na raspodjelu oborina kod „labilnosti atmosfere“, analizu smo morali proširiti i na šire zagrebačko područje uvažavajući podatke svih raspoloživih stanica (sl. 1). Najveći broj stanica s tog područja su kišomjerne, a mjere oborinu jednom dnevno (ujutro u 07 sati) pa smo iz 17 slučajeva oborine zbog „labilnosti atmosfere“ (tab. 3) morali izdvojiti samo one situacije u kojima je unutar 24-satnog intervala pala oborina samo ovog uzroka.

Taj kriterij bio je zadovoljen u samo tri situacije i to 11. 6. 1976, 5. 6. 1977. i 5. 6. 1978.

Za ilustraciju raspodjele oborine zbog „labilnosti atmosfere“ nad širim zagrebačkim područjem prikazana je situacija od 5. 6. 1978. Karta izohijeta (sl. 5) pokazuje postojanje dviju oborinskih zona; jedne široke južno od Medvednice koja se proteže od obronaka Samoborskog gorja na zapadu do Božjakovine na istoku i Vukomeričkih Gorica na jugu. U toj zoni primarni centar s najvećim količinama oborine egzistira jugozapadno od Medvednice (Stenjevec, 14.5 mm). Nad središnjim dijelom grada pale količine oborine znatno su manje (Grič, 3.2 mm), dok je područje istočnog predgrađa Zagreba primilo nešto više oborine (Maksimir, 4.6 mm). Isto-



Sl. 5. Karta izohijeta (mm), za 5. 6. 1978.

Fig. 5. Daily precipitation amounts (mm) for the 5. 6. 1978.

vremeno znatno manja oborinska zona postoji sjeverno od Medvednice ali po količinama oborine predstavlja sekundarni maksimum u promatranoj situaciji (Stubičke Toplice, 8.5 mm).

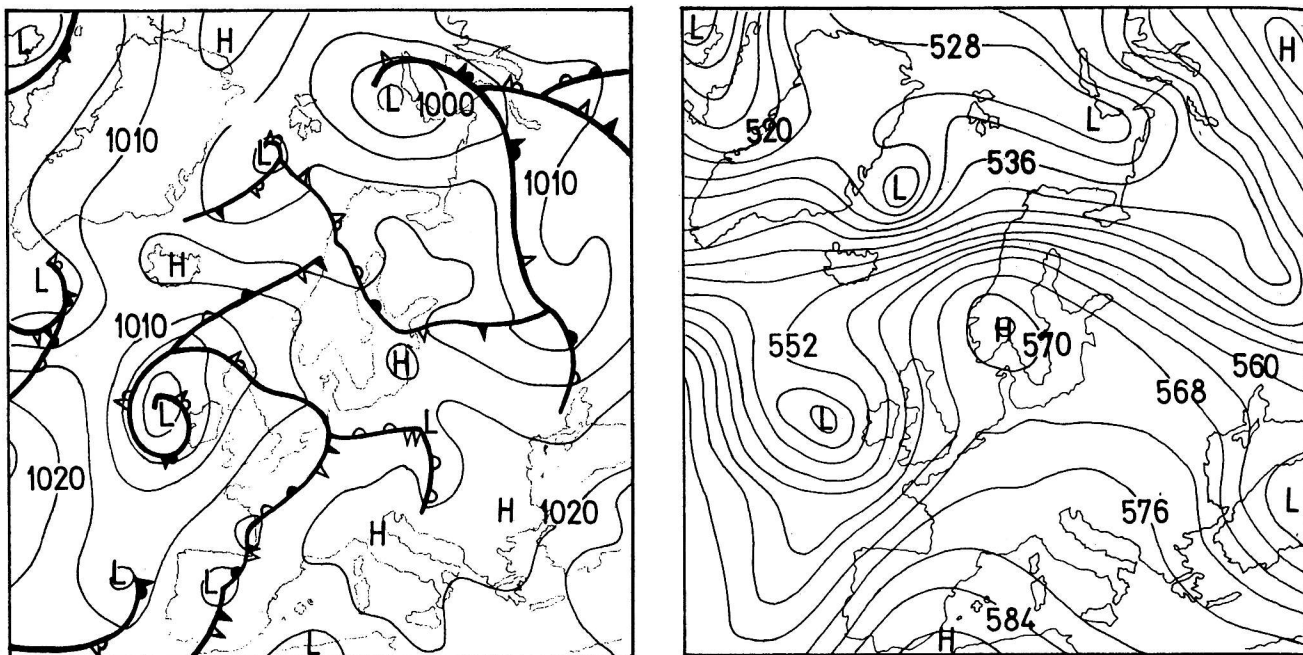
Karte izohijeta i u preostala dva slučaja (11. 6. 1976. i 5. 6. 1977.) pokazuju slične karakteristike u raspodjeli oborine kao i u promatranoj situaciji. Bitno je istaći da se ponovno najveće količine oborina javljaju jugozapadno od Medvednice. Također je značajno istaknuti da se i u ova dva slučaja na području središta grada javljaju manje količine oborina, a na području Maksimira ponovno veće.

Sinoptičku situaciju kod promatranog slučaja 5. 6. 1978. karakterizira bezgradijentno polje malo povišenog tlaka u prizemlju, a i u troposferi gradijenti su slabo izraženi uz prevladavajuće slabo zapadno-sjeverozapadno visinsko strujanje (sl. 6). Takve situacije su općenito najčešće kod pojava oborina zbog „labilnosti u zračnoj masi“ (Gajić-Čapka, 1983).

Oborina 5. 6. 1978. padala je na širem području grada Zagreba u kasnijim poslijepodnevima, i za mezoanalizu polja meteoroloških elemenata bilo je jedino moguće upotrijebiti termin od 14 sati u kojem su na raspolaganju stajali podaci i klimatoloških stanica. Polje temperature (sl. 7) nad cijelim područjem vrlo je uniformno, a i u polju prizemnog strujanja nema izrazito

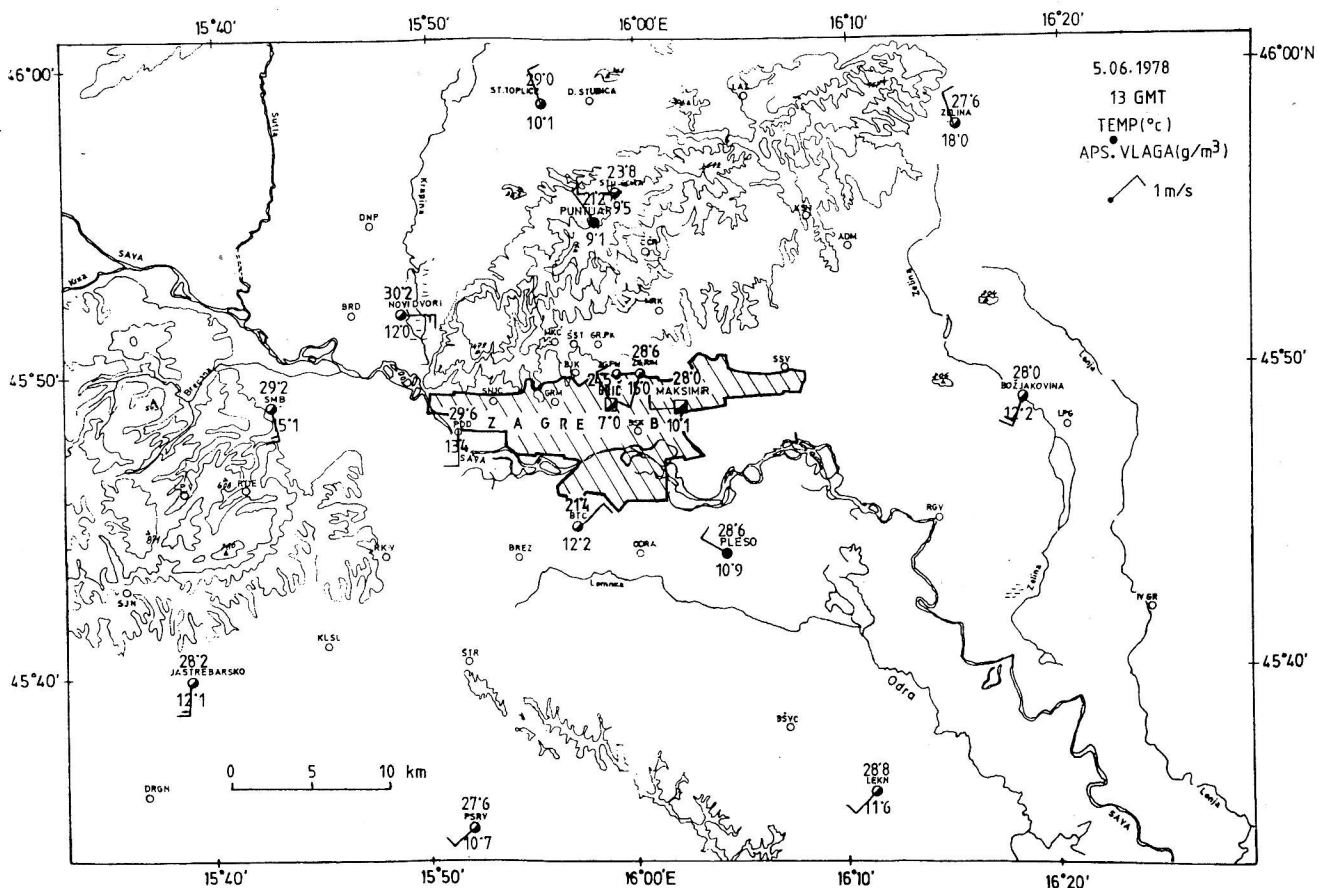
prevladavajućeg, već je ono manje izraženo s promjenljivim smjerom. Međutim, raspodjela apsolutne vlage karakterizirana je najnižom vrijednošću u središtu grada (Grič, 7.0 g/m^3), dok je sadržaj vlage u ruralnim područjima veći (Podsused, 13.4 g/m^3). Interesantno je istaći da se njene maksimalne vrijednosti javljaju nad istim lokalitetima gdje su pale i najveće količine oborine. Ove vrijednosti indiciraju u stanovitoj mjeri područja potencijalno pogodnija za izraženi razvoj konvekcije. I kod ostala dva spomenuta slučaja oborine zbog „labilnosti u zračnoj masi“ pokazalo se da je sadržaj apsolutne vlage u zraku manji nad središtem grada nego na njegovoj periferiji. Manjak vlage u središtu grada najvjerojatnije se javlja zbog pretežno izgrađenih površina, dok okoliš stanice Zagreb – Maksimir a posebice područja jugozapadno od Zagreba obiluje zelenim, vodenim i vlagom bogatijim površinama. Pretpostavljamo da je jedan od uzroka manjih količina oborine u središtu grada upravo smanjen sadržaj vlage u zraku nad tim lokalitetom zbog čega i isparavanje kišnih kapi može biti zamjetno veće nego nad perifernim područjem (Čadež, 1973.).

Međutim, zamjetniji utjecaj na raspodjelu oborine nad Zagrebom i njegovim širim područjem ima položaj i orijentacija Medvednice. U radovima Gele (1976) i Čačića (1984) pokazano je da su u situacijama sličnim



Sl. 6. AT 500 mb u 01 SEV i prizemna sinoptička situacija u 07 SEV 5. 6. 1978.

Fig. 6. AT 500 mb at 00 GMT and surface synoptic situation at 06 GMT on 5. 6. 1978.



Sl. 7. Polje temperature, vlage i vjetra 5. 6. 1978. u 14 sati.

Fig. 7. Temperature, humidity and wind field on the 5. 6. 1978 at 13 GMT.

našoj najčešće staze gibanja konvektivnih oblaka od sjeverozapada prema jugoistoku. Nailaskom na izraženu orografsku prepreku Medvednice koja je orijentirana gotovo okomito na smjer strujanja, dolazi do skretanja te u najvećem broju slučajeva konvektivni oblaci obilaze Medvednicu s njene zapadne strane, rjeđe s istočne, dok su putanje direktno preko vrha Medvednice zanemarivo rijetke. U promatranom slučaju 5. 6. 1978. analiza radarskih odraza pokazala je da se glavina konvektivnih oblaka premještala od sjevera prema jugu i jugoistoku. Najizraženiji radarski odrazi osmotreni su sjeverno i sjeverozapadno od Medvednice te nad zapadnim dijelom Zagreba. Ustanovljeno je nadalje da pred preprekom Medvednice dolazi do usporavanja gibanja i jačanja vertikalnog razvoja pa se područja sjeverno i jugozapadno od Medvednice mogu okarakterizirati kao izvorišna područja za jačanje konvekcije. Ovi rezultati u potpunosti opravdavaju činjenicu zbog čega su i u našim promatranim slučajevima najveće količine oborine pale sjeverno i jugozapadno od Medvednice. Navedimo da su karte izohijeta i u ostalih 14 slučajeva „labilnosti u zračnoj masi“ također pokazale da se glavni maksimumi oborine javljaju nad istim područjem, tj. sjeverno i jugozapadno od Medvednice, premda su u njima bile sadržane i oborine drugih uzroka.

Rezultati Gele (1976) pokazuju nadalje da se oblaci obiđavaju jednom orografsku prepreku nastavljaju premještati gotovo u istom smjeru kao i prije dolaska na nju ali oslabljeni. U slučajevima kada oblaci obilaze Medvednicu s njene zapadne strane, gotovo se redovito premještaju dalje na jugoistok između Odre i Vukomeričkih Gorica, pa ta činjenica opravdava postojanje šire oborinske zone i u našem promatranom slučaju. Što više, pokazalo se da se i oblaci lokalnog razvoja vrlo često javljaju na mjestima preko kojih inače prolaze i gibajući oblaci.

Izneseni rezultati pokazuju da uže središte grada Zagreba, smješteno neposredno iza najviših predjela Medvednice, na taj način ostaje gotovo redovito izvan glavnih putanja konvektivnih oblaka koji se premještaju od sjeverozapada prema jugoistoku. Stoga ono prima osjetno manje količine oborine od njegovih najzapadnijih predjela.

Ponovni porast oborine u istočnom dijelu grada može se tumačiti djelomičnim utjecajem onih oblaka koji Medvednicu obilaze s njene istočne strane, napose, što nije rijedak slučaj, ako se oni prebacuju preko Medvednice prijevojem između Laza i Kašine. Pored toga ustanovljeno je (Gelo, 1976) da se, iako rijetko, konvektivni oblaci znaju premještati od sjeveroistoka prema jugozapadu i južnom stranom Medvednice, putanjom koja prolazi iznad stanice Zagreb – Maksimir ali koja direktno ne zahvaća i Zagreb – Grič, već je položena malo južnije.

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu nisu utvrđene signifikantne razlike u mjesečnim količinama oborine triju lokacija na zagre-

bačkom području u lipnju, srpnju i kolovozu. Vremenski hod njihovih odnosa kroz proteklo 35-godišnje razdoblje (1946–1980) pokazuje oscilatorni oblik bez izrazitog odstupanja u smislu povećanja količine oborine u gradu.

Istovremeno, učestalost pojavljivanja kišnih dana različitih intenziteta u gradu nije se povećala u odnosu na vangradske stanice.

Testiranje signifikantnosti razlika dnevnih intenziteta oborine u ljetnim mjesecima u gradu Zagrebu, njegovom pregrađu i vangradskom području primjenom jednostrane analize varijance na podacima 1961–1980. ne pokazuju da je dosadašnji razvoj grada i industrije u Zagrebu direktno utjecao na povećanje dnevnih intenziteta oborine u gradu u odnosu na vangradsko područje.

Količine oborine zbog labilnosti atmosfere, koja uključuje samo labilnost u zračnoj masi, ne razlikuju se bitno na sve tri promatrane zagrebačke lokacije u lipnju, što znači da urbana sredina nije značajno utjecala na povećanje konvektivne oborine u gradu. Primarni utjecaj na raspodjelu i intenzitet oborina na zagrebačkom području kod sinoptičkih situacija „labilnost u zračnoj masi“ ima orografski oblik i orijentacija planine Medvednice, koji uvjetuju modificiranje strujanja a time i kanaliziranje putanja konvektivnih oblaka. Drugi, sasvim lokalni utjecaj izražen je nejednolikom raspodjelom vlage u zraku.

LITERATURA

- BELAMARIĆ, G., 1978: Statistička analiza mjesečnih količina oborina, Republički hidrometeorološki zavod SR Hrvatske, Zagreb.
- BÖHM, R., 1979: Untersuchung des urbanen Einflusses auf das Niederschlagsfeld in der Umgebung einer Großstadt mit Hilfe verschiedener statistischer Methoden. Arch. Met. Geoph. Biokl., Ser. B, 30, 225–246.
- ČAČIĆ, I., 1984: Termodinamički uvjeti gibanja i razvoja Cumulonimbus oblaka nad područjem Medvednice. Magistrski rad, Sveučilište u Zagrebu.
- ČADEŽ, M., 1973: Analiza vremena, Beograd, 193.
- CEHAK, K., 1982: Note on the Dependence of Precipitation on the Day of the Week in a Medium Industrialized City. Arch. Met. Geoph. Biokl., Ser. B, 30, 247–251.
- GAJIĆ-ČAPKA, M., 1982: Varijabilnost prosječnog oborinskog režima šire zagrebačke regije. Rasprave – Papers, 17, Zagreb, 23–40.
- GAJIĆ-ČAPKA, M., 1983: O vezi ljetnog maksimuma oborine i atmosferskih sistema u sjevernoj Hrvatskoj. Zbornik meteoroloških i hidroloških radova 9, Beograd, 34–43.
- GELO, B., 1976: Razvoj i gibanje konvektivnih oblaka u sjevernoj Hrvatskoj u razdoblju radarskih mjerenja. Magistrski rad, Sveučilište u Zagrebu.
- GOLDREICH, Y. and Y. MANES, 1979: Urban Effects on Precipitation Patterns in the Greater Tel-Aviv Area. Arch. Met. Geoph. Biokl., Ser. B, 27, 213–224.
- JURČEC, V., 1982: Mezoefekti orografije na povećanje i razdiobu konvektivne oborine na području Zagreba. Rasprave – Papers, 17, Zagreb, 39–49.
- PANOFSKY, H. A. and G. W. BRIER, 1958: Some Applications of Statistics to Meteorology, Pennsylvania.
- 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. i B. MAKJANIĆ, 1980: Osnovna statistička obrada podataka u klimatologiji, Sveučilište u Zagrebu.

Zahvala

Dr B. Penzar na korisnim sugestijama za proširenje prve verzije rukopisa i mr E. Lončar na pomoći u analizi konvektivne oborine.

Ovo istraživanje sufinancirala je Republička zajednica za znanstveni rad SRH (SIZ III).

SUMMARY

This paper investigates the summer precipitation regime in the Zagreb area, in an attempt to find out primarily if Zagreb urban and industrial development has effected the precipitation regime over the last four decades.

No significant differences between monthly precipitation amounts at the three locations in the Zagreb area in June, July and August were ascertained. Time variation of their relations over the last 35-year period (1946–1980) shows

an oscillatory character without an outstanding deviation toward an increase of precipitation amounts in the city.

At the same time, the frequency of rainy days of various intensities did not increase at the urban station in relation to the rural one.

The method of one side variance analysis was used to test the significance of daily precipitation intensity differences for the summer months (1961–1980) in the city of Zagreb, its suburbs and rural area.

It is shown that urban and industrial development up to date in Zagreb has not effected a daily precipitation intensity increase in the town area in respect to the rural region. Precipitation amounts in June due to air mass instability do not differ essentially at the three Zagreb stations discussed. This means that the urban area did not significantly bring about a convective precipitation increase in the city. The orography and orientation of Medvednica mountain has the most important influence on distribution and intensity of precipitation due to air mass instability in the Zagreb city area. They modify air mass direction and, by this, convective cloud paths. The second pure local influence is expressed by nonuniform air humidity distribution.

The results of this investigation have shown that urban and rural development of the city of Zagreb has not influenced either the mean summer precipitation regime or the distribution and intensity of rainfall due to air mass instability alone.