

STATISTIČKA ANALIZA EKSTREMNIH KOLIČINA OBORINA  
U GORNJEM SLIVU RIJEKE SAVE

V. JURČEC

STATISTICAL ANALYSIS OF RAINFALL EXTREMES IN THE  
UPPER PART OF SAVA RIVER BASIN

V. JURČEC

## SAŽETAK

Ovaj rad sadrži primjenu teorije ekstrema prema Jenkinson-u (1955) za procjenu ekstremnih količina oborina u gornjem slivu rijeke Save. Promatrani su ekstremi oborine u periodu 1947-71 od dnevnih do sezonskih vrijednosti. Rezultati su uspoređeni s dobivenim ekstremima za dugogodišnji niz oborine na opservatoriju Zagreb-Grič (1862-1974) za cijelo razdoblje kao i za pojedine periode toga razdoblja. Data je usporedba s rezultatima dugogodišnjeg niza za Ljubljanu (1925-1974).

Zaključeno je da je primjena teorije na sve promatrane nizove, ograničena na procjenu ekstrema do povratnog perioda od 1000 godina ili manje, naročito za dnevne i mjesecne količine oborina. Ekstremi za dulja razdoblja od mjesec dana pokazuju bolje rezultate, što se pripisuje kompenzaciji oborina u hidrološkom ciklusu.

## ABSTRACT

This study contains the application of the theory of extremes, developed by Jenkinson (1955), for the estimation of extreme precipitations in the northwestern Yugoslavia.

The period considered is 1947-71, but the results are compared with those based on the long-term records at the observatory Zagreb-Grič (1862-1974), and Ljubljana (1925-74). The extremes are considered for various time intervals from daily to seasonal amounts.

It is concluded that the application of theory for all considered records is limited to the estimation of extremes up to the return periods of 1000 years or less, particularly for the precipitation amounts of shorter-time intervals. The extreme amounts for longer-period than a month indicate better results, which is attributed to the compensation of the rainfalls in a hydrologic cycle.

## 1. UVOD

### 1.1 Općenito

U redovnoj klimatološkoj praksi naše zemlje u većini publiciranih podataka oborine uobičajeno je prikazati oborinski režim nekog mjesta ukupnim ili srednjim količinama oborine i apsolutnim ekstremima oborine u različitim vremenskim intervalima.

Ovim radom učinjen je prvi pokušaj da se detaljnije prikažu raspodjele ekstremnih količina oborina, njihove vjerojatnosti i povratni periodi, te mogući ekstremi, koji se do sada još nisu pojavili. U tu svrhu naši osnovni nizovi podataka su analizirani statističkom metodom, baziranom na teoriji ekstrema koju je dao Jenkinson [2, 10].

U ovom dijelu studije o analizi sušnih razdoblja razmatrat ćemo ekstremno niske količine oborina u duljim vremenskim intervalima, mjesec dana i više. Međutim, preliminarna analiza duljih sušnih razdoblja je pokazala da je jedan od prognostičkih indikatora suše upravo kišno razdoblje, što nalazi svoju logiku u razmatranju hidrološkog ciklusa u dužem vremenskom periodu. Stoga je za prognozu suše isto toliko, ako ne i više, potrebno proučavati kišna razdoblja i raspodjelu ekstremno visokih količina oborine.

Nadalje, u modelu Markovljevih lanaca [3] definirali smo sušni period kao uzastopni niz suhih dana s određenom donjom graničnom oborinom. Pokazalo se, međutim, da je za mnoga sušna razdoblja s trajanjem od mjesec dana pa do dugogodišnjeg razdoblja, karakterističan i manjak ekstremno visokih količina dnevnih oborina. Npr. u sušnoj 1949. godini apsolutna maksimalna dnevna količina oborine u Zagrebu nije prešla 22 mm, a i 1973. godine maksimum je iznosio samo 30 mm, što ukazuje da je intenzitet frontalnih sistema kao i konvektivne naoblake bio oslabljen u tim godinama. S druge strane ekstremno visoka količina dnevne oborine od 124 mm, koja se javlja upravo u sušnoj 1971. godini u Ljubljani, nije mogla prekinuti dugo sušno razdoblje i niske protoke Save, a takvi slučajevi, naročito u ljetnom periodu, umanjuju vrijednosti mjesečnih količina oborine kao indikatora suše.

I konačno, ekstremne količine oborina vezane su uz neke tipične anomalije opće cirkulacije atmosfere, pa su na temelju statističke analize ovih ekstrema i vremenu njihove pojave u drugom dijelu ovog rada prikazane anomalije polja strujanja u srednjem dijelu troposfere na temelju raspoloživog materijala u razdoblju 1953-1975 [4].

Za period 1947-71, razmatran u ovom radu, karakteristična je baroklina nestabilnost opće cirkulacije atmosfere, s izrazitim valnim režimom strujanja. To se odražava u anomalijama cirkulacije povezanim s ekstremno visokim, kao i ekstremno malim količinama oborina. Međutim 113-godišnji niz Zagreba (1862-1974) također pokazuje izrazite anomalije cirkulacije i oborine u odnosu na srednju cirkulaciju atmosfere u ovako dugom razdoblju. To već ukazuje da bi uslijed velike varijabilnosti oborine, striktna primjena teorije ekstrema zahtjevala daleko dulji niz motrenja od raspoloživog. Prema tome, prilazeći ovom radu svjesni smo da možemo očekivati samo tentativne rezultate uz kritički osvrt na mogućnosti koje nam ova metoda pruža u sve većoj potražnji privrede o procjeni ekstremnih količina oborine u različitim povratnim periodima.

## 1.2 Teorija ekstrema

Promatramo ekstreme iz populacije koja se pokorava eksponencijalnom zakonu uz pretpostavku da vrijedi postulat stabilneta prikazan u obliku funkcionalne jednadžbe:

$$F^n(x) = F(a_n x + b_n) \quad (1)$$

$a_n$  i  $b_n$  su funkcije od  $n$  članova jednog uzorka a  $x$  je opća vrijednost promatranog elementa. Vjerojatnost da će maksimalna vrijednost nekog člana uzorka biti manja od  $x$  jednaka je:

$$F(x) = \exp(-e^{-Y}) \quad (2)$$

a da su svi manji od  $x$  je  $F^n(x)$ , pa je  $x$  najveći element od  $n$  članova uzorka. Što je uzorak veći to je vjerojatnost da je  $x$  najveći sve manja, jer je  $F(x) < 1$ , pa je  $\lim_{n \rightarrow \infty} F^n(x) = 0$  za  $n = -\infty$ . Da bi našli funkciju  $y(x)$  pretpostavljamo da se ona može razviti u Taylorov red oko neke vrijednosti  $x_0$  koja predstavlja nul točku funkcije  $y(x)$ .

Prema Fisher-u i Tippett-u postoje tri moguća rješenja gornje funkcionalne jednadžbe, a Jenkinson je pokazao da se ova tri rješenja, u obliku tri asimptote, mogu dobiti kao specijalni slučajevi općeg rješenja funkcionalne jednadžbe u obliku:

$$x - x_0 = a(1 - e^{-ky})/k \quad (3)$$

$a$  je nagib krivulje u točki  $x=x_0, y=0$ , a  $k$  je parametar zakrivljenosti koji se određuje direktno iz podataka relacijom

$\sigma_1/\sigma_2 = 2^k$ .  $\sigma_1$  označuje standardnu devijaciju niza podataka, a  $\sigma_2$  standardnu devijaciju dobivenu iz parova ovih vrijednosti. Oblici krivulja su prema Jenkinsonu:

Tip III	$k > 0$	$\sigma_1 > \sigma_2$
Tip I	$k = 0$	$\sigma_1 = \sigma_2$
Tip II	$k < 0$	$\sigma_1 < \sigma_2$

Za  $k = 0$  jednadžba (3) se reducira na izraz:

$$x = x_0 + ay$$

koji predstavlja pravac (tip I). Tip III se najčešće nalazi u prirodi, s obzirom da prikazuje asimptotu s gornjom granicom u smjeru najviših ekstremnih vrijednosti, a tip I se može smatrati kao granica tipa III. Karakteristika tipa II je da ima donju granicu za male ekstremne vrijednosti, dok su visoki ekstremi neograničeni. Jenkinson smatra da su krivulje tipa II kompleksne i da niske vrijednosti ekstrema pripadaju različitoj razdiobi, koja je slična donjem dijelu tipa II, dok visoke vrijednosti ekstrema pripadaju tipu III ili tipu I kao graničnom slučaju.

Gornje krivulje možemo prikazati kao ovisnosti ekstremnih vrijednosti  $x$  o povratnim periodima  $T$ . Povratni period  $T(x)$  ima po definiciji vjerojatnost  $1/T$  da bude premašen u nekom vremenskom intervalu, a prema (2) se može izraziti kao:

$$T(x) = 1/[1-F(x)]$$

pa je veza između  $T$  i  $y$  data relacijom:

$$y = -\ln \ln[T/(T-1)] \quad (4)$$

Osnovna formula za proračun teoretske krivulje za  $x$  u ovisnosti od  $T$

$$(x-\bar{x})/\sigma_1 = (\text{sgn } k) \left[ k! - \{\ln[T/(T-1)]\}^k / [(2k)! - (k!)^2]^{1/2} \right] \quad (5)$$

gdje je  $\bar{x}$  srednji godišnji maksimum odnosno minimum.

Parametar  $a$  se određuje iz relacije:

$$a = \sigma_1 / [(2k)! - (k!)^2]^{1/2} \quad (6)$$

Apsolutni ekstrem, tj. vrijednost koja ne može biti premašena dana je relacijom:

$$E(x) = x_0 + a \quad (7)$$

Postoji nekoliko sugestija za ucrtavanje krivulje  $y(x)$  koje su potrebne da bi se izbjeglo veliko širenje skale prema visokim ekstremima. U ovom radu korišćena je Weibull-ova [9] pozicija, po kojoj se za srednju vrijednost  $F(x_m)$  uzima izraz  $m/(N+1)$ , gdje je  $m$  član niza od  $N$  minimuma ili maksimuma.

Prema rezultatima Jenkinsona ova metoda je primjenljiva na neke meteorološke elemente kao što su npr. temperatura i vjetar, dok je njezina primjena na količine oborina ograničena i često daje tako visoke vrijednosti oborina koje nemaju niti najmanju mogućnost da se pojave u prirodi. Jenkinson je pokazao da negativne vrijednosti od  $k$  dolaze uglavnom od vrlo sporog porasta ili pada ekstremnih vrijednosti, a ne od nekih ekstremnih vrijednosti najviših maksimuma (ili najnižih minimuma), što je tipično za nizove podataka koji se pojavljuju kao ovaj tip. On tumači da je procjena metodom momenta vrlo osjetljiva na ovako odstupajuće vrijednosti, dok metoda maksimalne vjerojatnosti ("maximum likelihood") nije.

Naša analiza pokazuje da sve razdiobe ovise o uzorku koji je odabran, a dobiveni rezultati karakteristični su za klimatsko razdoblje iz kojega su uzeti i ne mogu se s velikom pouzdanošću ekstrapolirati čak niti za idućih nekoliko godina.

Vrlo stabilne krivulje tipa III u kojima je  $k$  izrazito velik ( $k > 0.3$ ) isto su toliko nerealne kao krivulje tipa II ( $k < 0$ ), jer one pokazuju da je apsolutni teoretski ekstrem već dostignut u relativno kratkim povratnim periodima i da ne može biti veći, što je nerealno pretpostaviti za oborinu bilo kojeg niza.

### 1.3 Podaci

U ovom radu analizirani su ekstremi količina oborine na stanice Jezersko, Rateče-Planica, Ljubljana, Celje i Zagreb-Grič za period 1947-1971, za različite vremenske intervale, a osnovni niz čine najviše količine u tim intervalima u pojednim godinama. Uporedo su analizirani dugogodišnji nizovi za Zagreb-Grič 1862-1974 i za Ljubljanu 1925-1974. Za niz Zagreba od 110-godina (1865-1974) za mjesečne i sezonske ekstreme određeni su "dekadni" ekstremi u kojem najviši 10-godišnji ekstremi daju niz od 11 članova, i "klizne dekade" sa 100 članova. Za 50-godišnji niz Zagreba i

i Ljubljane (1925-1974) uzet je niz od 41 člana dekadnih kliznih ekstrema. U ovim nizovima je  $T=10$  godina. Analizi "dekadnih" i "kliznih" ekstrema može se prigovoriti da ne zadovoljavaju striktno kriterij za koji je teorija postavljena. Međutim, njihova uspješna primjena omogućila bi svrhu zbog koje je teorija postavljena, tj. da se na osnovu kratkog niza podataka procijene mogući ekstremi u dugim vremenskim razdobljima i njihove apsolutne vrijednosti. Nadalje, ova analiza nam omogućuje da odredimo ekstremne količine oborina za svaki pojedini mjesec ili godišnje doba, s obzirom da najviši godišnji ekstrem oborine može pasti u bilo koje doba godine. Dvomjesečne količine oborina su dobivene iz preklapajućih dvomjesečnih količina, time da je prosincu svake godine dodana oborina od siječnja slijedeće godine. Na taj način dobivamo u svakoj godini 12 podataka od kojih najviša i najniža količina definiraju dvomjesečne ekstreme. Na isti način određeni su i tromjesečni ekstremi. Konačno, analiza sadrži i 5-godišnje ekstremne vrijednosti za periode dulje od 3 mjeseca, gdje je  $T=5$  godina, za gore navedenih 5 odabranih stanica. Svi podaci oborine do 1970. godine dobiveni su iz redovnih klimatoloških izvještaja, dok su kasniji podaci dobiveni direktno iz Republičkog hidrometeorološkog zavoda SR Slovenije.

## 2. REZULTATI ANALIZE EKSTREMNIH KOLIČINA OBORINE U GORNJEM SLIVU RIJEKE SAVE

### 2.1 Maksimumi dnevnih količina oborine

Analiza maksimalnih dnevnih količina oborine za Jezersko, Rateče i Celje, te Ljubljanu i Zagreb prikazana je na sl. 1 i 2, i tabeli 1.1, iz kojih se može zaključiti da su visoke dnevne količine oborine u razdoblju 1947-1971 bile više u zapadnim nego u istočnim predjelima Slovenije. Na primjer, s vjerojatnošću od 50% dnevni maksimum u Jezerskom može prijeći 115 mm, u Rateču 89 mm, a u Celju svega 56 mm. Spori porast niskih maksimuma s najvećom čestinom od 50-60 mm uvjetuje da je krivulja razdiobe ekstrema u Celju približno tipa I, a apsolutni teoretski ekstrem nerealno visok. Sličnu razdiobu pokazuje u ovom razdoblju i Ljubljana (sl. 2). Jezersko, Rateče i Zagreb imaju niz dnevnih količina oborine bez izrazitih odstupanja apsolutnog empiričkog maksimuma od ostalih, te su krivulje razdiobe tipa III.

Medjutim, ako usporedimo ove krivulje za Zagreb i Ljubljanu iz razdoblja 1947-71 s krivuljama razdiobe ekstrema i odgovarajućim podacima u raspoloživom 50-godišnjem nizu 1925-74, obje krivulje se pojavljuju kao tip II, a maksimumi za povratni period  $T=1000$  se znatno povećavaju. Daljnjim povećanjem godina u nizu Zagreba negativna zakrivljenost  $k$  se vrlo postepeno smanjuje, a time i teoretski maksimum.

Tabela 1.1 Maksimumi dnevnih količina oborine (mm) po godinama

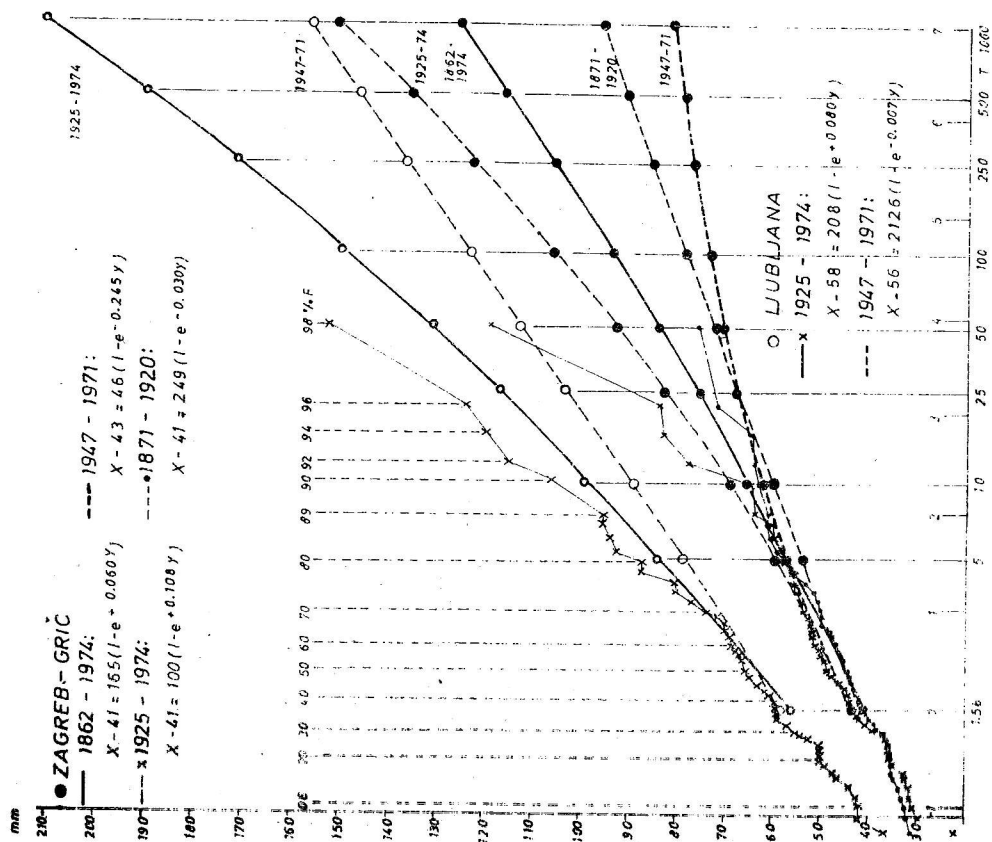
Mjesto	Jezersko	Rateče	Ljubljana	Celje	Zagreb-Grič			
Razdoblje	1947-1971	1947-1971	1947-1971	1925-1974	1947-1971	1947-1971	1925-1974	1862-1974
Emp.max godina	183	143	124	153	103	78	119	119
$\bar{x}$	1961	1969	1971	1926	1954	1951	1926	1926
$x_0$	118	88	65	69	61	47	49	47
$\sigma$	107	79	56	58	52	43	41	41
$k \cdot 10^{-3}$	27	23	19	24	19	12	16	14
$T=1000$	176	185	007	-080	008	245	-108	-060
Teor.max	210	162	158	211	151	81	152	126
	253	195	*	*	*	89	*	*

Za razdoblje od 1901-1970 (što ovdje nije prikazano) maksimum za  $T=1000$  godina je 144 mm, a za 113-godišnje razdoblje i isti povratni period, teoretski ekstrem pada na 126 mm. Medjutim, sve krivulje u kojima se pojavljuje apsolutni empirički maksimum od 119 mm ostaju tipa II, pa se teoretski apsolutni maksimum iz raspoloživih nizova ne može odrediti. Krivulja razdiobe za Zagreb u 50-godišnjem razdoblju 1871-1920, na sl. 2, s podacima toga niza bez visokog maksimuma iz 1926. godine, predstavlja prelazni tip I. Empirički maksimum se ovdje mnogo ne razlikuje od maksimuma u razdoblju 1947-71, ali ostali podaci pokazuju približno linearni porast ekstrema.

Iz tabele 1.1 nadalje vidimo, da se srednje vrijednosti ekstrema  $\bar{x}$  i vrijednosti  $x_0$  smanjuju od viših zapadnih predjela prema nižim, ali su njihove vrijednosti približno konstantne za različite periode Zagreba i Ljubljane. Standardne devijacije pokazuju iste karakteristike u razdoblju 1947-71, ali su njihove vrijednosti nešto veće u razdoblju 1925-74.

Sličnu sliku pruža procjena maksimalnih dnevnih količina oborine po mjesecima za Zagreb i Ljubljanu iz najduljeg raspoloživog niza (tabela 1.2). Ona, medjutim, ukazuje na veću vjerojatnost približno linearnog porasta dnevnih maksimuma u većini mjeseci.





Sl. 1.1. Maksimumni dnevni količir + oborine

Sl. 1.1. Maksimumni dnevni količina oborina 1947-1971.

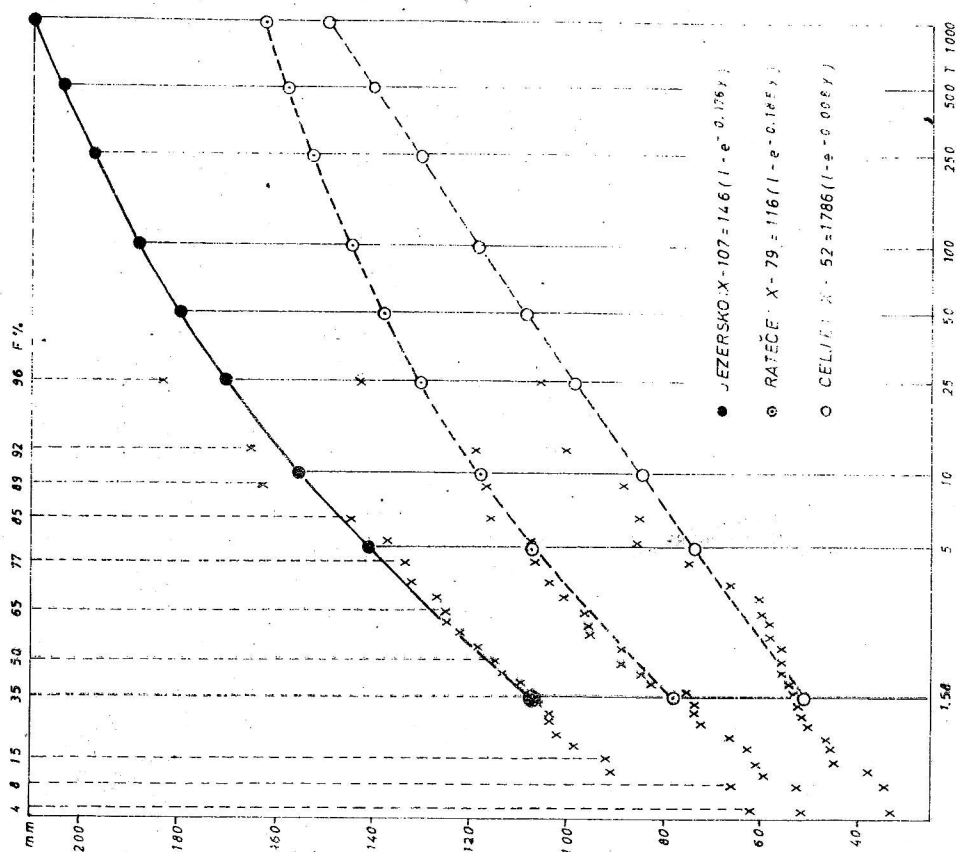


Tabela 1.2 Maksimumi dnevnih količina oborine po mjesecima

(Max = empirički maksimum, k je u jedinicama  $10^{-3}$ ,  
T=1000 godina)

Zagreb-Grič, 1862-1974

Mjes.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Max.	41	43	54	42	67	55	84	119	71	83	64	51
god.	1877	1942	1917	1931	1921	1959	1936	1926	1864	1932	1925	1868
$x_0$	12	11	12	15	20	23	21	20	20	21	19	14
$\sigma$	8	9	9	9	11	12	14	16	13	17	12	7
k	022	077	-013	084	-031	148	-059	-104	056	029	020	012
T	53	49	65	59	86	69	106	126	81	104	81	55

Ljubljana, 1925-1974

Mjes.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Max.	49	68	61	50	89	88	69	124	153	96	87	68
god.	1945	1952	1961	1953	1933	1925	1958	1971	1926	1974	1937	1965
$x_0$	21	19	19	27	26	31	31	31	37	30	33	24
$\sigma$	12	13	15	11	17	16	14	22	30	22	16	15
k	178	059	121	395	-018	067	200	-009	-096	049	069	061
T	64	83	82	53	121	106	80	154	231	135	107	95

U Zagrebu svega 4 mjeseca daju krivulje tipa II, dok je jedini mjesec lipanj s izrazitom krivuljom tipa III, koji daje teoretski i apsolutni maksimum od 95 mm, što je u cijelom nizu maksimalnih dnevnih oborina premašen samo jedanput. Najviši teoretski maksimum za T=1000 godina od 126 mm pada u kolovoz, odakle potječe i empirički maksimum, a interesantno je primijetiti da se ova vrijednost potpuno podudara s teoretskim maksimumom za isti povratni period u tabeli 1.1 za isto razdoblje u Zagrebu.

Dnevni ekstremi po mjesecima za Ljubljanu pokazuju manji broj mjeseci s razdiobom tipa II, i s većim koeficijentom zakrivljenosti u ostalim mjesecima u usporedbi s krivuljama Zagreba. No i ovdje pored prihvatljivih maksimuma za T=1000 nalazimo u većini mjeseci suviše visoke teoretske apsolutne maksimume pa nisu uneseni u tabelu. Kao kontrast očito je

nepouzdan i vrlo niski teoretski maksimum u travnju s izrazito stabilnom krivuljom razdiobe i apsolutnim teoretskim ekstremom od 55 mm, pa je malo vjerojatno da i ovaj ekstrem ne bi mogao biti premašen u duljem nizu godina.

Uloga maksimalnih dnevnih količina oborine u prognozi suše je prvo da označi gornju granicu oborine koja može razdvajati dva sušna perioda, ali ne znači da mora prekinuti neko dulje sušno razdoblje radi kratkoće njenog trajanja. Zato ekstremne dnevne količine oborina treba uzeti u obzir u analizi sušnih razdoblja prema mjesečnim količinama oborina. S druge strane, manjak visokih dnevnih količina oborine kroz dulje vremensko razdoblje, kao što je to bio slučaj 1949. godine, predstavlja dugi sušni period i najsušniju godinu u nizu u odnosu na ukupne količine oborina, iako je broj kišnih dana u nekim drugim godinama bio i manji. Suše ovakove vrste očito je najteže prognozirati, jer bi ta prognoza zahtijevala procjenu intenziteta oborine pri frontalnoj i konvektivnoj naoblaci.

## 2.2 Ekstremi mjesečnih količina oborine

Apsolutni mjesečni maksimum oborine od promatranih stanica u gornjem slivu Save s punim nizom godina u razdoblju 1949-1971 pojavio se u Mojstrani u rujnu 1965. godine u iznosu od 608 mm, dok je na stanici Dražgoše zabilježen maksimum od 600 mm u listopadu 1964. To su bila dva najkišnija mjeseca u višim predjelima Slovenije, dok ostale promatrane stanice nisu dostigle tako visoke ekstreme. Oborine više od 400 mm zabilježene su najviše do 5 puta, a apsolutni maksimumi većinom su mnogo viši od slijedećeg po redu ekstrema i time predstavljaju rijetke događaje s dugim povratnim periodima.

Stanice na nižim nadmorskim visinama u istočnijim predjelima imaju niže ekstreme koji padaju u druge mjesece, ali se takodjer ističu kao rijetki događaji s velikim odstupanjima od ostalih ekstrema. To je razlog da se i krivulje razdiobe mjesečnih maksimuma pojavljuju većinom kao neograničeni tip II ili tip I s nerealno visokim teoretskim ekstremima. Time je primjena teorije ekstrema i na mjesečne kao i na dnevne količine oborina na većini stanica ograničena samo na izvjesne procjene teoretskih ekstrema s povratnim periodima kraćim od 1000 godina.

U tabeli 2.1 pokazani su empirički i teoretski maksimumi za istih 5 stanica u usporedbi s analizama Ljubljane i Zagreba za dulje nizove. I ovdje se pokazuje da vrijednosti  $\bar{x}$ ,  $x_0$  i  $\sigma$  opadaju s nižom nadmorskom visinom stanica, ali su približno konstantne za jednu stanicu, što je naročito karakteristično za podatke Zagreba. Povećanjem niza na 50-godišnja razdoblja u Ljubljani i Zagrebu dobivamo stabilnije krivulje tipa III, ali se maksimumi za kraće povratne

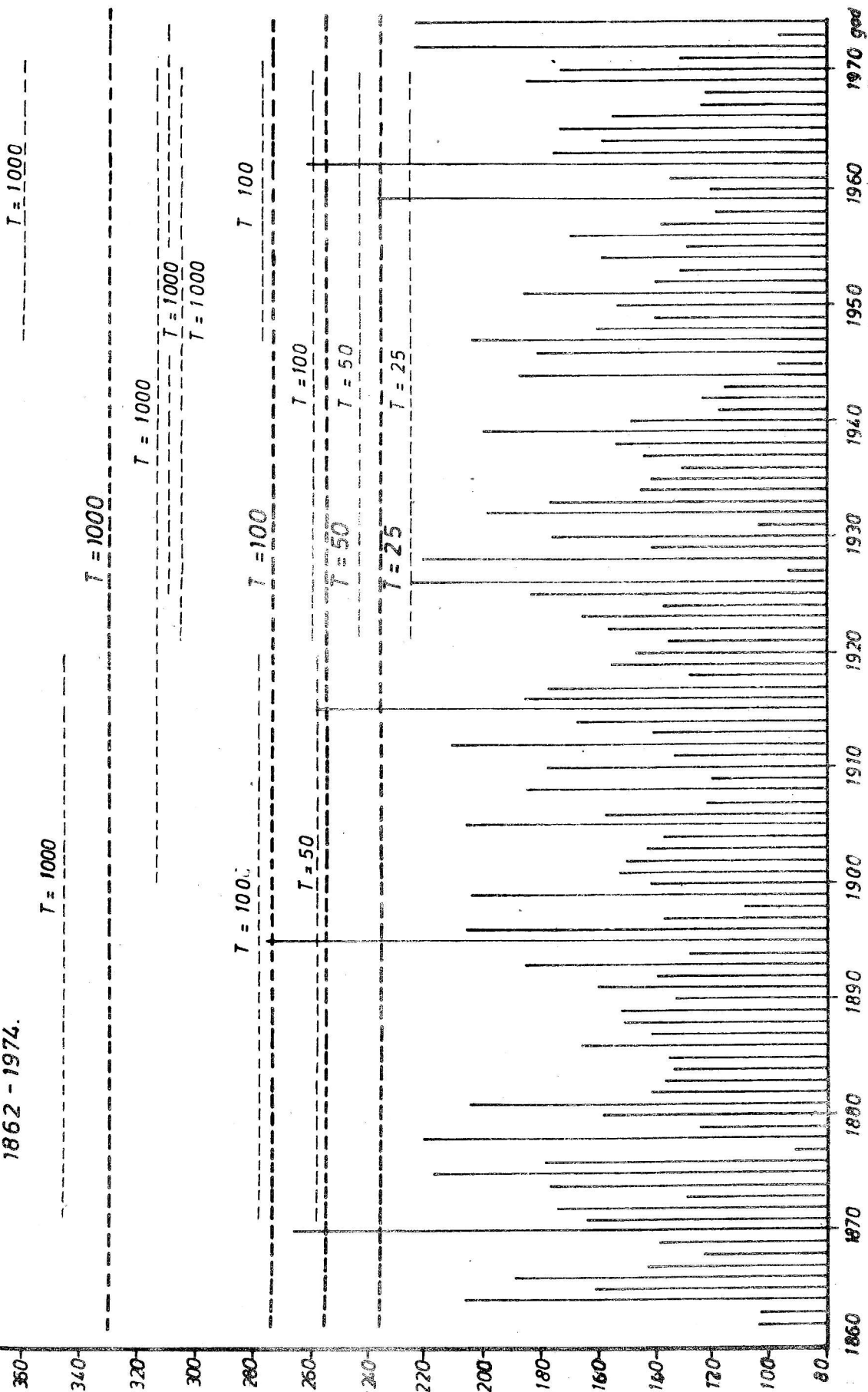
periode bitno ne mijenjaju. To je očito iz slike 3, na kojoj su prikazane maksimalne mjesečne oborine u Zagrebu za 113-godišnje razdoblje i analiza ekstrema za kraće ranije opisane, periode.

Velika ovisnost procijenjenih teoretskih ekstrema o samim uzorcima, odnosno o klimatskom razdoblju koje taj režim predstavlja, ukazuje u izvjesnom smislu na klimatske promjene oborinskog režima. Teoretski ekstrem za  $T=100$  viši je u razdoblju 1871-1920 nego u posljednjem 50-godišnjem razdoblju, odnosno pojedini empirijski ekstremi pokazuju dulji povratni period prema krivuljama razdiobe posljednjih 50 godina. Međutim, zadnjih 25 godina to više nije slučaj, a ponovni porast ekstremnih oborina odražava se i u vrlo visokom teoretskom ekstremu za  $T=1000$ . Ako se slična analiza učini za godišnje maksimume prema kliznim dekadama ili pentadama, pokazuju se izraziti neograničeni maksimum u razdoblju 1920-40, a krivulje razdiobe za "normalu" 1931-60 također su tipa II. To ukazuje da je došlo do bitne izmjene opće cirkulacije, od vrlo nestabilne, (cirkulacija sa zonalnim tipom strujanja) do stabilne s relativno niskim ekstremima, koji ponovno imaju tendenciju porasta. Međutim, analiza minimuma pokazuje bitnu razliku od razdoblja 1920-1940. godine, jer dok su u to vrijeme i minimumi imali više vrijednosti, u posljednjih 25 godina uz porast maksimuma javlja se i pad minimuma. To označuje veća kolebanja u oborinskom režimu, odnosno mogućnost veće perzistencije izrazito kišnih, ali i izrazito sušnih razdoblja, pa je to jedan od važnih zaključaka ove analize za prognozu sušnih perioda.

Da bi pokazali da su upravo visoki empirijski maksimumi odgovorni za ponašanje krivulja razdiobe, analiza je ponovljena za razdoblje 1947-71 bez najviših maksimuma odnosno za drugi i treći empirijski maksimum, a rezultati su dani u nastavku tabele 2.1. Cvdje Rateče pokazuje najveće anomalije oborinskog režima u promatranom razdoblju. Treći empirijski maksimum je za preko 200 mm niži od apsolutnog maksimuma i tek za ovaj ekstrem  $k$  postaje pozitivno, ali je krivulja razdiobe tipa I, a teoretski maksimum za  $T=1000$  još uvijek je viši od apsolutnog empiričkog maksimuma. I ostale stanice pokazuju postupni porast koeficijenta zakrivljenosti, a najviši teoretski III-maksimumi premašuju do sada zabilježene. Iz ovoga slijedi, da se kompleksnost krivulja tipa II za mjesečne maksimume ne sastoji u tome da je gornji dio razdiobe tipa II, već naprotiv, veći dio ekstrema pokorava se ovoj razdiobi, a samo rijetki najviši ekstremi ovu stabilnost narušavaju. Nadalje, praktičnu primjenu ovih rezultata otežava činjenica što se maksimalne količine oborina mogu javiti gotovo u svakom mjesecu godine, premda su njihove čestine veće u jesenskom dobu.

U tabeli 2.2 označene su čestine maksimuma koji su ušli u našu analizu kao najviše mjesečne oborine pojedinih godina. U promatranom razdoblju 1947-71 najveća čestina ovih maksimuma u višim predjelima Slovenije pada u studeni, dok se u nižim predjelima sa podjednakim čestinama javljaju i

LAUREB-GRIC  
1862 - 1974.



Sl. 3. Maksimumi mjesečnih količina oborina

Tabela 2.1 Maksimumi mjesečnih količina oborina (mm) po godinama

Mjesto	Jezerko	Rateče	Ljubljana	Celje	Zagreb-Grič			
Razdo- blje	1947- -1971	1947- -1971	1947- -1971	1925- -1974	1947- -1971	1947- -1971	1925- -1974	1862- -1974
Apsolutni								
emp.max	595	568	328	353	342	261	261	275
godina	1964	1965	1964	1933	1969	1962	1962	1895
$\bar{x}$	351	316	231	241	201	159	159	160
$x_{\ominus}$	313	275	212	223	177	143	143	143
$\sigma$	82	90	49	49	53	35	39	38
$k \cdot 10^{-3}$	-006	-081	188	230	033	-064	104	043
T=100	618	621	354	359	361	277	267	274
T=1000	765	849	391	388	443	360	310	331
Teor.max	*	*	458	430	*	*	468	867
II max								
empirički	483	508	322		291	237		
godina	1965	1963	1965		1948	1959		
$k \cdot 10^{-3}$	138	-034	208		119	010		
T=100	518	549	339		318	245		
T=1000	581	706	370		365	295		
Teor.max	750	*	420		512	*		
III max								
empirički	472	445	303		285	204		
godina	1959	1965	1959		1964	1947		
$k \cdot 10^{-3}$	174	024	253		146	133		
T=100	489	490	321		300	215		
T=1000	538	592	343		338	238		
Teor.max	635	*	371		432	302		

Tabela 2.2 Čestine apsolutnih mjesečnih maksimuma u godini

Mjeseci	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Jezerško 1947-1971	0	1	0	0	1	2	3	1	1	3	9	4
Rateče 1947-1971	0	1	0	0	2	3	3	2	3	2	6	3
Celje 1947-1971	0	0	0	1	1	4	4	4	3	2	4	2
Ljubljana 1925-1974	1	3	0	1	2	5	2	6	8	12	8	2
Zagreb 1862-1974	0	2	2	4	9	16	10	12	14	24	15	5

ljetni mjeseci. Za 50-godišnja razdoblja u Ljubljani i Zagrebu najveće čestine nalazimo u jesen, s maksimumom u listopadu, a u dugogodišnjem razdoblju Zagreba lipanj ima gotovo jednaku čestinu kao rujanj i studeni.

Problem određivanja ekstremnih količina oborine za svaki mjesec posebno, leži u neodređenosti definicije mjesečnih ekstrema. Ipak je učinjeno nekoliko pokušaja da se procijene takvi teoretski ekstremi i njihovi povratni periodi. U tabeli 2.3 prikazani su za Zagreb, uz empiričke apsolutne maksimume pojedinih mjeseci, rezultati dobiveni najjednostavnijim načinom od svega 11 članova, koji predstavljaju najviše mjesečne količine oborine u pojedinim dekadama razdoblja 1865-1974. I ovdje se za krivulje tipa II može dobiti ograničena razdioba donjih ili "nižih" maksimuma. Ako za veljaču računamo razdiobu sa 11 članova u kojem smo apsolutni maksimum zamijenili slijedećim ekstremom u toj dekadi, krivulja postaje tipa III ( $k=0.059$ ). Novi teoretski maksimum je sada 175 mm, što je dosta realan ekstrem za novi niz empiričkog maksimuma od 124 mm. U studenom ovakvim postupkom dobivamo uz tip III novi teoretski ekstrem od 284 mm, što u punom, ali neograničenom, nizu predstavlja ekstrem za povratni period od 1000 godina. No i pored toga što se ovdje u nekim mjesecima krivulje razdiobe pojavljuju kao tip II, svi procijenjeni ekstremi za  $T=1000$  pokazuju prihvatljive vrijednosti, a najviši među njima, za listopad, ne odstupa od ranije prikazanih ekstrema za duže nizove. Procijenjeni teoretski maksimumi za IX i X mjesec vrlo su blizu apsolutnom maksimumu iz razdoblja 1925-74 u tabeli 2.1. Svi apsolutni teoretski maksimumi za krivulje tipa III niži su od ranije procijenjenih maksimuma za razdoblje 1862-1974.

Povećanjem broja članova na taj način da se razmatraju ekstremi kliznih dekada nisu bitno promijenili rezultate. Analiza ovakvih ekstrema za Zagreb u razdoblju 1925-74 pokazuje za  $T=1000$  najviši maksimum od 313 mm u studenom, što je opet približna vrijednost teoretskog maksimuma za isti povratni period u tabeli 2.1. Međutim, i ovdje su razdiobe krivulja u nekim mjesecima neograničene.

Tabela 2.3 Maksimumi mjesečnih količina oborine (mm) za Zagreb-Grič

(Max = empirički maksimum, k je u jedinicama  $10^{-3}$ ,  $T=1000$  godina, TMx = teoretski maksimum)

Razdoblje 1865-1974

a) Dekadni maksimumi ( $m = 11$ )

Mjes.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Max.	141	204	131	152	201	237	225	266	223	275	261	186
god.	1948	1947	1865	1972	1939	1959	1926 1972	1870	1928	1895	1962	1959
$x_0$	93	93	103	120	148	148	140	155	152	181	160	125
$\sigma$	23	34	17	20	22	28	37	43	33	42	32	27
k	078	-167	328	550	043	-129	246	163	092	142	-086	113
T	168	231	145	155	224	262	259	284	259	309	285	209
TMx	343	*	157	158	571	*	307	399	464	448	*	333

Razdoblje 1925-1974

b) Ekstremi kliznih dekada ( $m = 41$ ) maksimumi

Mjes.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Max.	141	204	124	152	201	237	225	200	223	224	261	186
god.	1948	1947	1955 1937	1972	1939	1959	1926 1972	1926	1928	1974	1962	1959
$x_0$	91	99	103	109	142	145	155	142	130	155	174	121
$\sigma$	23	49	17	21	31	44	31	29	29	23	43	33
k	-088	-020	413	388	144	010	209	382	-234	103	106	123
T	180	279	140	156	236	301	244	209	248	229	313	224
TMx	*	*	146	166	336	*	298	223	*	351	525	360



Povećanjem broja članova na taj način da se razmatraju ekstremi kliznih dekada nisu bitno promijenjeni rezultati. Analiza ovakvih ekstrema za Zagreb u razdoblju 1925-74 pokazuje za  $T=1000$  najviši maksimum od 313 mm u studenom, što je opet približna vrijednost teoretskog maksimuma za isti povratni period u tabeli 2.1. Međutim, i ovdje su razdiobe krivulja u nekim mjesecima neograničene.

Procjene mjesečnih ekstrema za Ljubljanu istom metodom pokazuju da su krivulje razdiobe samo u prva četiri mjeseca u godini tipa I ili II, dok su ostale krivulje vrlo stabilne s apsolutnim teoretskim maksimumom u listopadu od 403 mm.

Glavni nedostatak ovakove definicije ekstrema je prividno povećanje čestina visokih količina oborine i jače isticanje upravo apsolutnog empiričkog maksimuma, dok se istovremeno nešto niži ekstremi koji padaju u istu dekadu gube, a to daje novu mogućnost za pojavu neograničene krivulje razdiobe.

Slijedeći način definiranja ekstremnih oborina u trajanju od približno mjesec dana su maksimumi 30-dnevnih kliznih količina oborine odabranih kao najviše količine oborine od uzastopnih 30-dnevnih suma za svaki dan nekog mjeseca. Tom definicijom količina oborine nije ograničena na jedan kalendarski mjesec, već zalazi i u slijedeći. Rezultati ovakove analize za Zagreb (tabela 2.4) pokazuju da su ovim načinom eliminirane krivulje tipa II, iako u pojedinim mjesecima koeficijent zakrivljenosti ostaje relativno malen, pa su apsolutni teoretski maksimumi i ovdje suviše visoki. Ekstremi za  $T=1000$  su viši od prethodnih, jer potječu od viših empiričkih maksimuma.

Tabela 2.4 Maksimumi 30-dnevnih količina oborina

(Max = empirički maksimum, k je u jedinicama  $10^{-3}$ ,  $T=1000$  godina,  $TMx$  = teoretski maksimum)

Zagreb-Grič, 1862-1974

Mjes.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Max.	206	207	173	195	244	267	296	266	313	275	261	186
god.	1947	1947	1972	1947	1939	1959	1926	1870	1928	1895	1962	1959
$x_0$	58	59	74	93	108	109	94	98	106	108	88	66
$\sigma$	35	35	32	34	40	47	49	49	58	56	46	35
k	093	032	208	188	274	184	025	140	070	134	085	104
T	214	233	186	219	233	280	345	295	377	335	295	218
$TMx$	386	*	221	266	255	347	*	416	*	485	556	362

Medjutim, za Ljubljano se ovim načinom ne postiže bitno poboljšanje rezultata u usporedbi s maksimumima kliznih dekada zbog vrlo visokih empiričkih ekstrema u posljednja četiri mjeseca u godini, pa se može zaključiti da je niz od 50 godina prekratak za analizu ekstremnih količina oborine u pojedinim mjesecima. Bolju procjenu maksimuma bi i ovdje dali drugi i treći ekstremi.

Minimumi mjesečnih količina oborina manje su problematični, ali i manje interesantni. Krivulje razdiobe su većinom vrlo stabilne s velikim koeficijentima zakrivljenosti, ali u većini mjeseci pokazuju mogućnost potpune suše, naročito u zapadnim predjelima Slovenije. Najviši teoretski i empirički minimumi pojavljuju se u Zagrebu u razdoblju od svibnja do srpnja, a u Ljubljani u studenom. U promatranom razdoblju 1947-71, potpuno sušni mjeseci na većini slovenskih stanica bili su ožujak 1948, siječanj 1964, i listopad 1965. godine. Ovaj posljednji je najizrazitiji slučaj nastupanja potpuno sušnog mjeseca iza vrlo kišnog rujna iste godine.

Spomenimo još na kraju da smo pokušali podvrgnuti istoj analizi i izvorni niz mjesečnih podataka bez obzira što takav niz ne predstavlja ekstremne oborine. Iznenadjujuća je činjenica da se i ovako dobiveni rezultati pojavljuju s vrlo sličnim vrijednostima procijenjenih maksimuma. Time bi se moglo pretpostaviti da se razdiobe mjesečnih količina oborine mogu općenito predstaviti istom ili bar sličnom eksponencijalnom razdiobom kao i ekstremi koji su po bilo kojoj od usvojenih definicija izvadjeni iz tog niza. Isti je slučaj i sa ukupnim količinama oborine iz dužeg vremenskog razdoblja od nekoliko mjeseci ili čak godine dana, koji ovdje nisu prikazani.

### 2.3 Ekstremi dvomjesečnih količina oborine

Ako se u atmosferi može očekivati odredjeni hidrološki ciklus, u kojem se već visoke mjesečne količine oborina kompenziraju niskim količinama slijedećeg mjeseca, onda možemo očekivati i manje čestine izrazito visokih ekstrema, a time i bolje rezultate primjene teorije ekstrema na dvomjesečne količine oborina.

Rezultati primjene teorije na tako definirane ekstreme prikazani su za iste stanice kao ranije u tabeli 3.1 i 3.2 i oni donekle ispunjavaju naša očekivanja. Empirički apsolutni maksimumi u tabeli 3.1 padaju u Zagrebu i Celju u ljetno razdoblje, u Rateču u VIII-IX mjesec, u Ljubljani u IX-X, a u Jezerskom u X-XI mjesec. Srednje vrijednosti maksimuma  $\bar{x}$ ,  $x_0$  i  $\sigma$  i ovdje padaju prema istoku sa smanjenjem nadmorske visine. U Zagrebu su  $\bar{x}$  i  $x_0$  konstantni za sva tri

Tabela 3.1 Maksimumi dvomjesečnih količina oborine (mm)

Mjesto Razdo- blje	Jezersko Rateče		Ljubljana		Celje		Zagreb-Grič	
	1947- -1971	1947- -1971	1947- -1971	1925- -1974	1947- -1971	1947- -1971	1925- -1974	1862- -1974
Apsolutni								
emp.max	781	840	490	694	522	388	425	425
godina	1964	1965	1960	1933	1948	1959	1926	1926
$\bar{x}$	540	494	370	398	328	253	257	255
$x_0$	497	447	346	362	298	233	232	233
$\sigma$	101	106	71	89	69	49	60	55
$k \cdot 10^{-3}$	102	023	304	157	082	169	151	144
T=100	822	818	525	629	526	378	415	399
T=1000	936	989	554	706	612	417	469	450
Teor.max	1365	*	583	881	1024	500	598	576
II max								
empirički	714	605	475		460	312		
godina	1948	1958	1965		1969	1962		
$k \cdot 10^{-3}$	162	348	310		248	418		
T=100	764	645	512		454	324		
T=1000	840	671	540		487	333		
Teor.max	1008	692	566		528	339		
III max								
empirički	678	590	446		401	309		
godina	1965	1964	1952		1961	1963		
$k \cdot 10^{-3}$	187	347	309		417	435		
T=100	732	634	502		410	317		
T=1000	794	660	529		423	325		
Teor.max	909	681	554		429	330		

Tabela 3.2 Minimumi dvomjesečnih količina oborine (mm)

Mjesto Razdo- blje	Jezersko Rateče		Ljubljana		Celje		Zagreb-Grič	
	1947- -1971	1947- -1971	1947- -1971	1925- -1974	1947- -1971	1947- -1971	1925- -1974	1862- -1974
emp.min.	8	11	12	12	5	18	18	16
godina	1949	1949	1949	1949	1949	1949	1949	1890
$\bar{x}$	122	110	93	97	75	68	65	62
$x_0$	145	133	108	111	90	78	72	68
$\sigma$	67	56	44	40	35	28	25	26
$k \cdot 10^{-3}$	313	171	317	265	121	279	435	497
T=25	7	5	19	25	6	19	26	24
T=50	0	0	9	14	0	12	21	20
T=100	0	0	1	5	0	6	19	18
II min								
empirički	16	21	26		9	19		
godina	1964	1964	1964		1953	1964		
$k \cdot 10^{-3}$	323	163	357		125	298		
T=25	18	14	29		14	25		
T=50	3	0	20		1	18		
T=100	0	0	14		0	13		

promatrana razdoblja, dok se u Ljubljani povećavaju u 50-godišnjem periodu za koji je i  $\sigma$  veća u oba mjesta. Sve krivulje razdiobe su tipa III, iako je parametar zakrivljenosti za Rateče i Celje relativno malen, pa su apsolutni teoretski ekstremi suviše visoki. Povratni periodi empiričkih ekstrema za slovenske stanice u razdoblju 1947-71 su kraći od 100 godina, osim u Rateču koji i ovdje ističe izrazita odstupanja apsolutnog empiričkog maksimuma u 1965. godini. Povratni periodi empiričkih maksimuma u Ljubljani i Zagrebu za duža razdoblja su duži od 100 godina, ali je značajno da se u Zagrebu za 113-godišnje razdoblje visoki teoretski ekstremi za duge povratne periode bitno ne mijenjaju.

Drugi i treći ekstremi u nastavku tabele pokazuju vrlo stabilne krivulje razdiobe, što je naročito karakteristično za Rateče. Ovdje oba ekstrema imaju povratne periode kraće od 100 godina, ali je već drugi apsolutni teoretski maksimum

mnogo niži od empiričkog iz 1965. godine. Najstabilnije krivulje razdiobe za ove ekstreme pokazuje Zagreb, što ujedno ističe sušnost razdoblja 1947-71 u odnosu na dugogodišnje ekstreme.

Minimumi dvomjesečnih količina oborine (tabela 3.2) pokazuju slične karakteristike kao i mjesečni minimumi. Sve krivulje razdiobe su stabilne s visokim koeficijentom zakrivljenosti i manjim standardnim devijacijama od maksimuma. Međutim za duže povratne periode Jezersko, Rateče i Celje već ukazuju na mogućnost potpuno sušnog dvomjesečnog perioda. Ljubljana i Zagreb pokazuju više minimume u dužim nizovima. Time se i u dvomjesečnim količinama oborine ističe veća perzistencija sušnih razdoblja na većim nadmorskim visinama.

Za Zagreb-Grič u razdoblju 1862-1974 određeni su i ekstremi 60-dnevnih kliznih količina oborine na isti način kao i 30-dnevnih. Analiza maksimuma prikazana je u tabeli 3.3

Tabela 3.3 Maksimumi 60-dnevnih kliznih količina oborine (mm) za Zagreb-Grič, 1862-1974

TMx = teoretski maksimum

Mjes.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Max.	273	266	294	327	414	486	425	393	462	385	321	249
god.	1947	1947	1972	1876	1959	1926	1926	1974	1905	1905	1962	1959
$x_o$	102	116	149	180	192	179	168	179	180	168	138	114
$\sigma$	49	49	47	53	62	67	69	73	79	72	56	47
k	119	204	206	210	254	076	136	176	120	151	150	243
T	310	290	313	366	392	486	477	451	511	453	357	270
TMx	472	347	365	423	434	934	626	565	766	607	476	305

Sve krivulje su tipa III, a pokazuju više empiričke i teoretske ekstreme od dvomjesečnih u razdoblju od svibnja do rujna, kada po definiciji ovi ekstremi zahvaćaju oborine listopada i studenog. Najviši maksimum u lipnju, s ekstremima ljetnog perioda, ima krivulju razdiobe s najmanjim koeficijentom zakrivljenosti, što daje nerealno visoki apsolutni teoretski maksimum. Međutim, i ovaj empirički maksimum u 1926. godini, kao i maksimum u srpnju iste godine, sadrži ekstremnu dnevnu količinu u Zagrebu od 119 mm, pa i ovdje ističe izrazitu anomalnu situaciju koja je uzrokovala ovaj ekstrem s vrlo dugim povratnim periodom.

Minimumi ovako određjenih kliznih količina oborine daju kao i maksimumi dobre rezultate do povratnog perioda od 1000 godina. Međutim, krivulje razdiobe se javljaju s izrazito visokim koeficijentom zakrivljenosti koji u ljetnim mjesecima

prelaze vrijednost od 0.6. Time su apsolutni teoretski ekstremi u tim mjesecima suviše visoki, pa ih empirički apsolutni minimum prelazi. To je općenito često slučaj s rezultatima dobivenim primjenom kliznih količina oborine u procjeni minimuma. Unatoč tome, analiza pruža izvjesnu mogućnost procjene nešto viših minimuma i njihove varijabilnosti unutar godine.

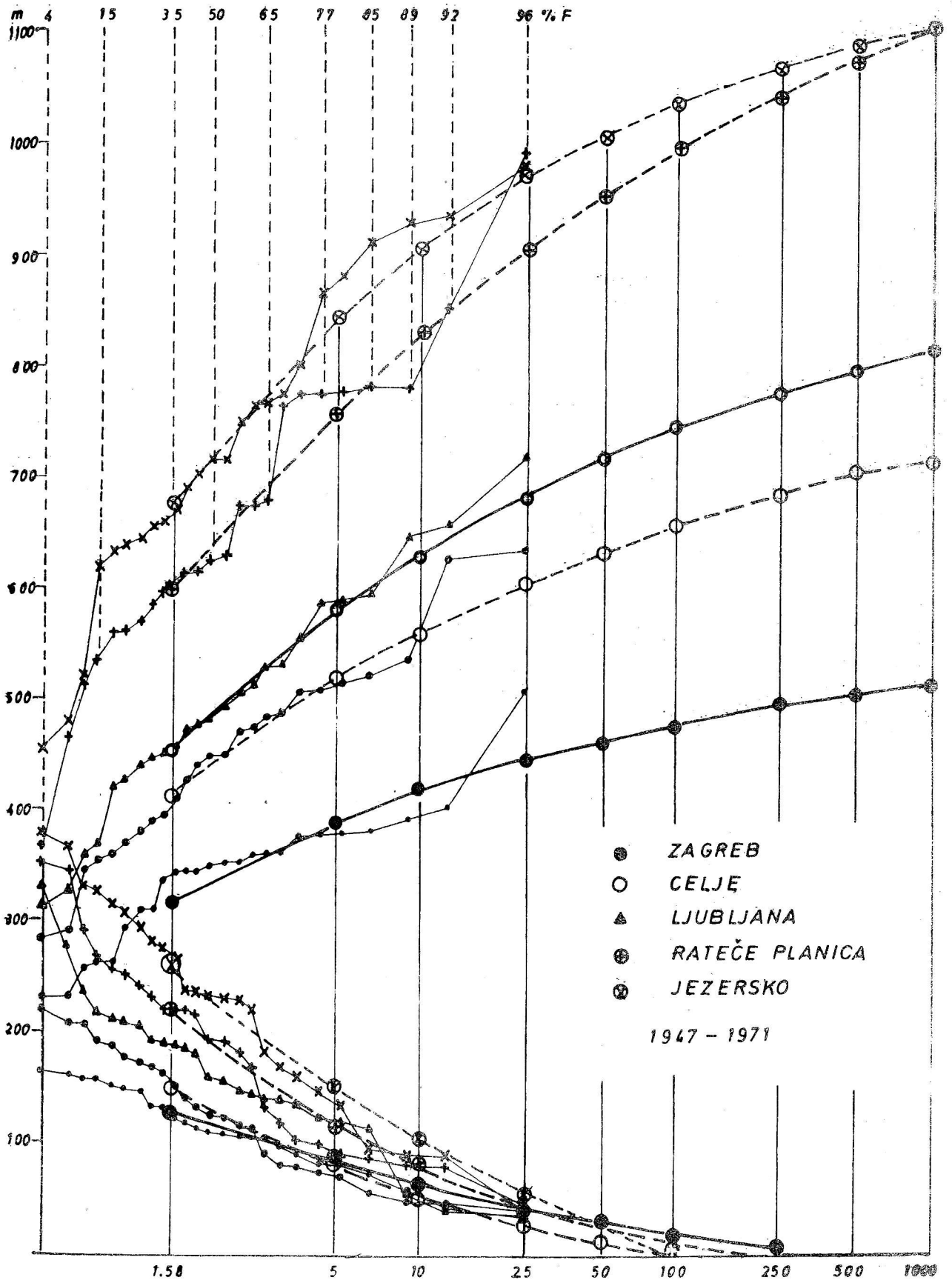
#### 2.4 Ekstremi tromjesečnih količina oborine

Niz tromjesečnih oborina je određen, kao i dvomjesečni, preklapajućim sumama oborina za tri uzastopna mjeseca time da ukupna količina oborine od prosinca do veljače slijedeće godine završava niz jedne godine sa 12 podataka. Ekstremi sačinjavaju najvišu i najnižu količinu oborine iz ovih 12 podataka.

Empirički maksimumi i teoretska razdioba ovako definiranih ekstrema prikazani su u tabeli 4.1 za iste stanice i razdoblja. Krivulje razdiobe s empiričkim ekstremima prikazane su i na sl. 4 za razdoblje 1947-71. Iz ove slike je očito zašto i u tromjesečnom nizu teoretska razdioba ekstrema za Rateče odskakače od ostalih stanica, dok je stabilnija za drugi i treći maksimum. Ljubljana i Zagreb i ovdje ističu ekstreme u ranijim razdobljima. To je još očitije iz slike 5.1 za različita razdoblja u 113-godišnjem nizu za Zagreb-Grič. Najveća odstupanja od krivulje razdiobe za cijeli niz pokazuje upravo razdoblje 1947-71, koja je najstabilnija s najnižim teoretskim apsolutnim maksimumom, te razdoblje 1871-1920 s linearnim porastom ekstrema. Na slici je prikazano 10 najviših ekstrema za koje je vjerojatnost 10% i manje da budu premašeni. Najveće čestine ovih ekstremima se pojavljuju od 300-320 mm i 340-360 mm.

Minimumi tromjesečnih oborina za sve stanice u razdoblju 1947-71 ukazuju na potpuno suho tromjesečno razdoblje s povratnim periodom od 250 godina ili kraćim (sl. 4). Zato su u tabeli 4.2 uz empiričke minimume prikazane teoretske vrijednosti minimalnih količina za povratne periode do 100 godina, koje imaju vrlo malu vjerojatnost da budu premašene.

Svi empirički minimumi se pojavljuju u 1949. godini, i nisu premašeni u razdoblju 1925-74 u kojem Zagreb, a naročito Ljubljana, pokazuju povećanje koeficijenta zakrivljenosti uz više teoretske minimume. Na sl. 5.2, gdje su prikazane krivulje razdiobe minimuma za Zagreb u tri odabrana razdoblja, najveću zakrivljenost pokazuje razdoblje 1871-1920. Teoretski apsolutni minimum za ovo razdoblje iznosi 27 mm, što je ista vrijednost empiričkog minimuma iz 113-godišnjeg razdoblja. U ovom dugogodišnjem razdoblju teoretski apsolutni minimum tromjesečne količine iznosi 8 mm.

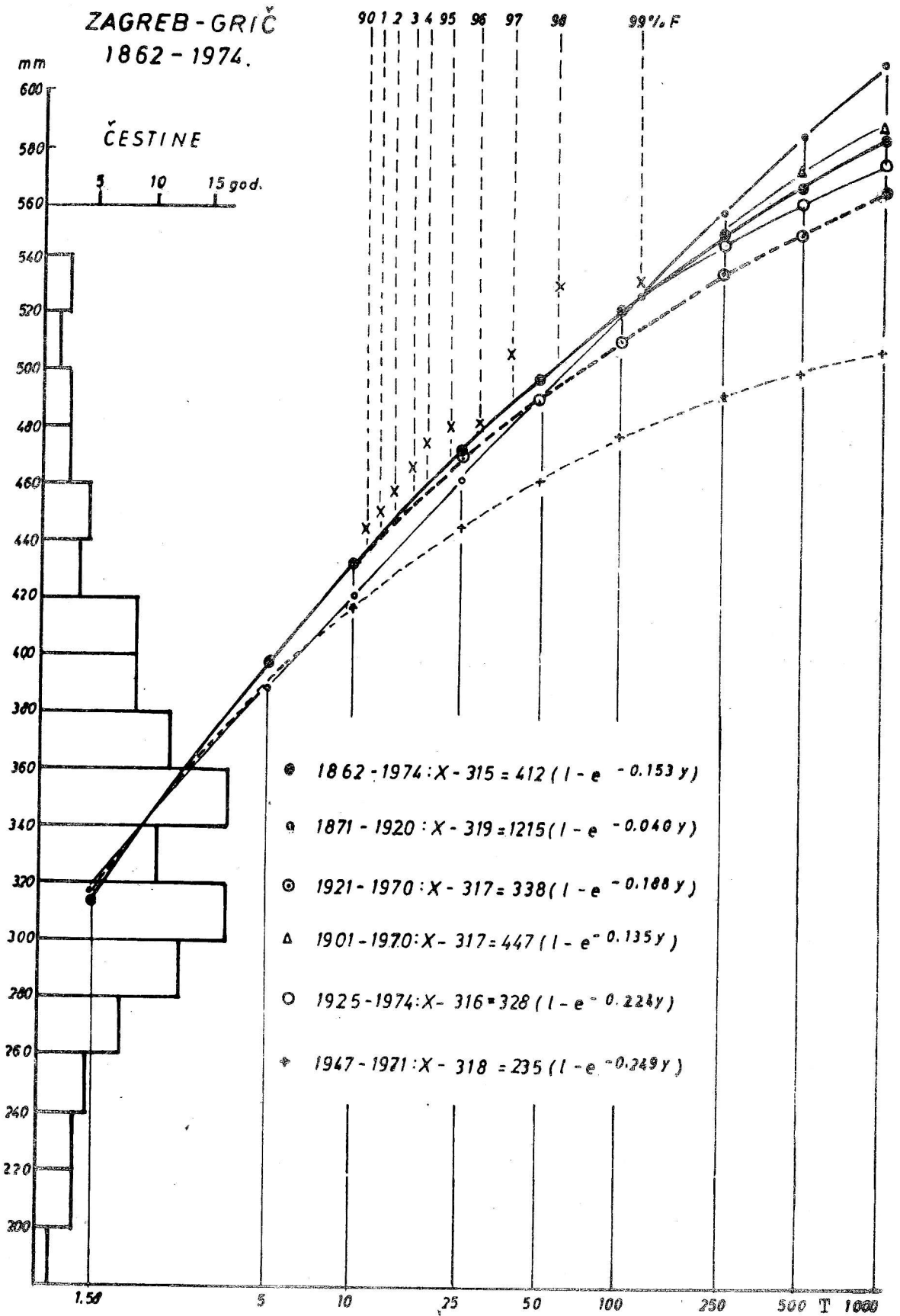


Sl. 4 Ekstremi tromjesečnih količina oborine

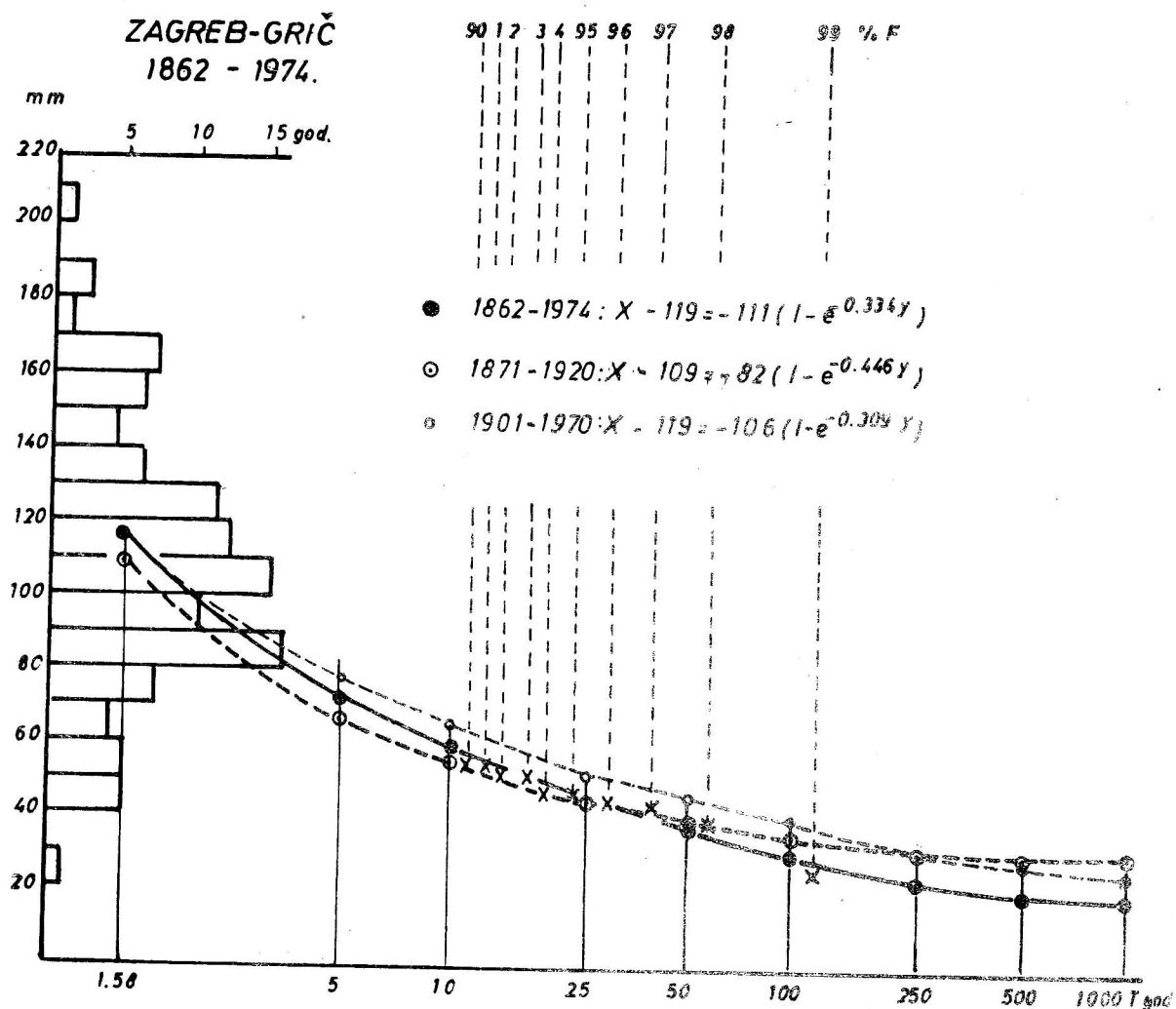
Tabela 4.1 Maksimumi tromjesečnih količina oborina (mm)

Mjesto Razdo- blje	Jezersko Rateče		Ljubljana		Celje		Zagreb-Grič	
	1947- -1971	1947- -1971	1947- -1971	1925- -1974	1947- -1971	1947- -1971	1925- -1974	1862- -1974
Apsolutni								
emp.max.	980	990	720	967	634	508	532	533
godina	1960	1965	1960	1933	1948	1959	1926	1905
$\bar{x}$	727	654	495	533	444	340	345	343
$x_o$	678	602	456	479	410	318	316	315
$\sigma$	136	132	100	125	88	59	76	69
$k \cdot 10^{-3}$	268	165	193	080	205	249	224	153
T=100	1036	995	743	893	659	478	526	523
T=1000	1104	1104	816	1049	719	511	574	584
Teor.max.	1184	1340	944	1821	817	553	643	727
Razdoblje 1947-71.								
II max.	Jezersko	Rateče	Ljubljana	Celje	Zagreb			
Empirički	935	853	657	628	401			
godina	1954	1950	1965	1969	1962			
$k \cdot 10^{-3}$	293	309	269	268	642			
T=100	1000	888	690	616	405			
T=1000	1056	934	735	658	408			
Teor.max.	1115	978	787	703	409			
III max.								
Empirički	931	782	647	535	391			
godina	1964	1960	1948	1958	1951			
$k \cdot 10^{-3}$	301	348	303	440	665			
T=100	974	852	662	557	398			
T=1000	1027	889	697	572	401			
Teor.max.	1078	917	732	580	402			





Sl. 5.1 Maksimumi tromjesečnih količina oborina



SL. 5.2 MINIMUMI TROMJESEČNIH KOLIČINA OBORINA

Tabela 4.2 Minimumi tromjesečnih količina oborine (mm)

Mjesto	Jezerko	Rateče	Ljubljana	Celje	Zagreb-Grič			
Razdo- blje	1947- -1971	1947- -1971	1947- -1971	1925- -1974	1947- -1971	1947- -1971	1925- -1974	1862- -1974
Apsolutni								
Emp.min.	87	82	38	38	41	41	41	27
godina	1949	1949	1949	1949	1949	1949	1949	1889/90
$\bar{x}$	233	198	172	174	131	113	110	107
$x_0$	265	224	194	194	151	127	124	119
$\sigma$	84	76	62	69	53	35	35	36
$k \cdot 10^{-3}$	213	320	290	439	259	143	205	334
T=25	79	66	51	67	37	46	44	46
T=50	52	48	35	56	22	32	32	38
T=100	30	34	22	48	10	20	23	31

## 2.5. Ekstremne količine oborina za Zagreb-Grič i Ljubljano po godišnjim dobima

Da bi dobili uvid u raspodjelu količina oborine po godišnjim dobima na sl. 6.1 i 6.2 prikazane su količine oborina za Zagreb-Grič i Ljubljano za raspoložive nizove. Iz slika se vidi da su najveće količine oborine u ljetno i jesensko doba praćene također većim međugodišnjim kolebanjima, koja su naročito izražena u jesen na nizu Ljubljane što je posljedica veće perzistencije u tom području. U proljeće i zimi oscilacije količine oborina su manje, ali su i ovdje izraženije u Ljubljani nego u Zagrebu. Karakterističan je porast zimskih količina oborine u razdoblju 1930-60 i ljetnih oborina u posljednje dvije dekade koji je izraženiji od proljetnog nakon pada u sušnoj dekadi 1941-50.

Analiza ekstremnih količina oborina iz ovih podataka prikazana je u tabeli 5, a ekstremi su određeni kao maksimalne i minimalne količine oborine u kliznim dekadama. Prema

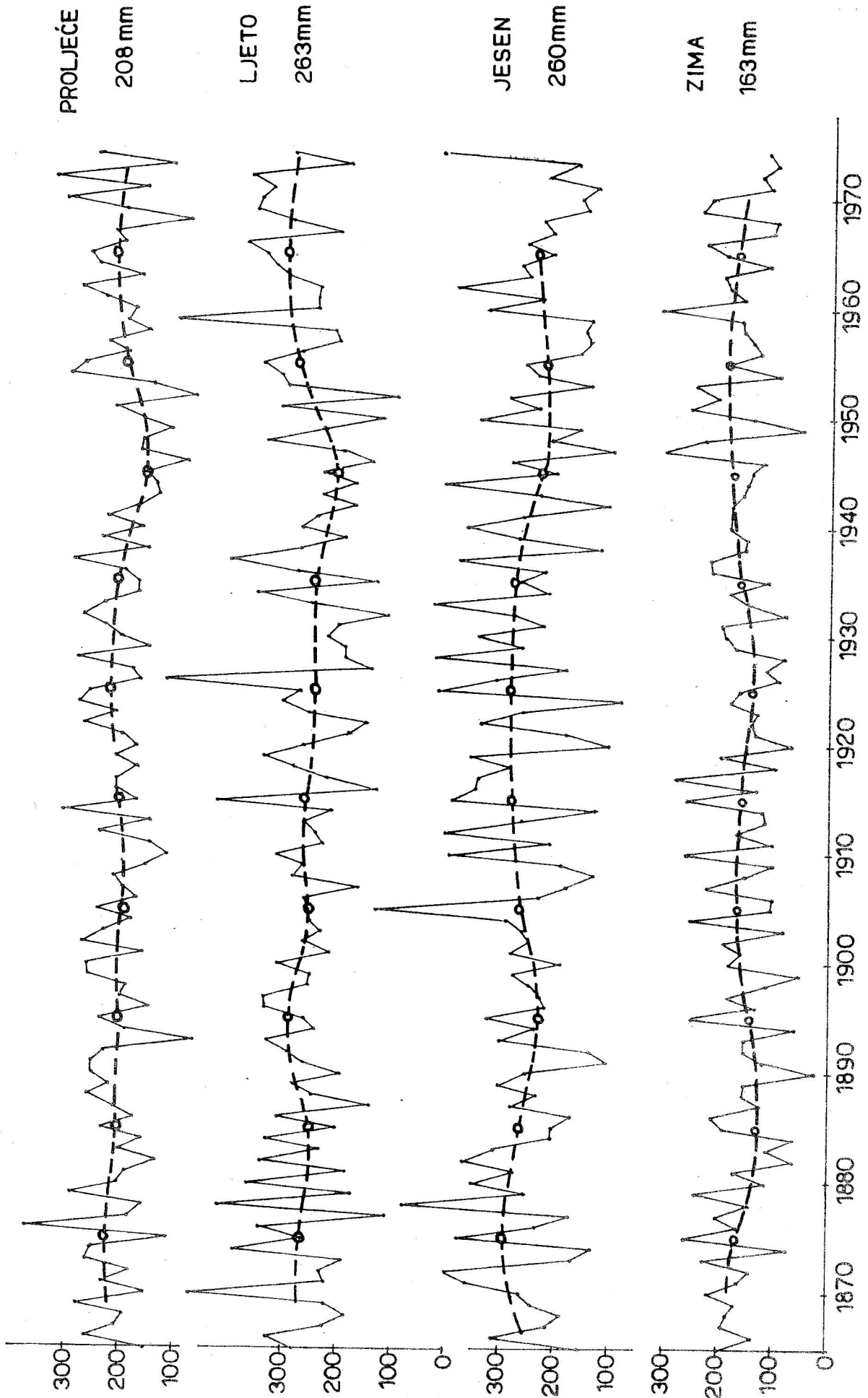
Tabela 5 Ekstremi količine oborine po godišnjim dobima (mm) klizne dekade

Zagreb-Grič, 1865-1974 (m = 100)

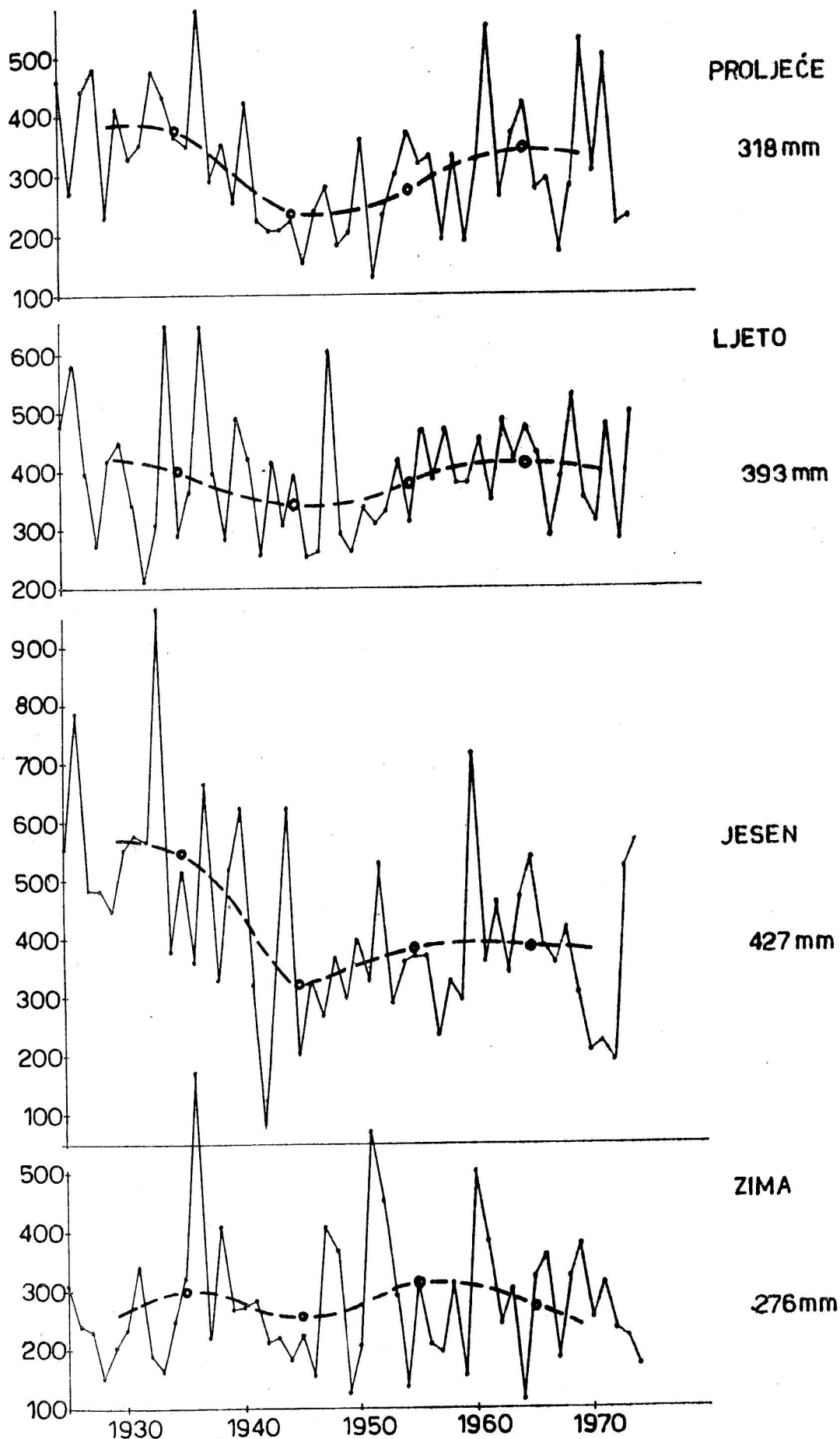
	Maksimumi				Minimumi			
	ZI	PR	LJ	J	ZI	PR	LJ	J
Empirički	314	374	525	533	27	70	100	86
godina	1959/60	1876	1926	1905	1889/90	1892	1952	1924
$x_0$	247	279	376	387	86	136	157	138
$\sigma$	35	35	70	62	29	35	38	31
$k \cdot 10^{-3}$	299	053	118	191	275	183	526	495
T=1000	336	398	596	565	16	34	86	77
Teoretski	366	822	900	691	0	0	79	70

Ljubljana, 1925-1974 (m = 41)

	Maksimumi				Minimumi			
	ZI	PR	LJ	J	ZI	PR	LJ	J
Empirički	675	580	651	967	116	133	211	86
godina	1935/36	1937	1937	1933	1963/64	1952	1932	1942
$x_0$	344	467	551	635	144	188	276	255
$\sigma$	109	87	69	155	24	41	36	91
$k \cdot 10^{-3}$	320	477	376	030	637	557	371	222
T=1000	760	642	710	1173	105	115	192	2
Teoretski	840	663	744	*	103	109	174	0



Sl. 6.1 Količine oborina po godišnjim dobima za Zagreb-Grič, 1862-1974. Crtane linije označuju dekadne srednje količine oborine.



Sl. 6.2 Količine oborina po godišnjim dobima za Ljubljano, 1925-1974. Crtkane linije označuju dekadne srednje količine oborina.

podacima na sl. 6.2 bilo je i za očekivati da će analiza ekstrema u jesensko doba u Ljubljani pokazivati izrazito visoke teoretske ekstreme. U nešto manjoj mjeri to je slučaj i sa ekstremima proljeća u Zagrebu. Ostali teoretski ekstremi daju vrlo realan prikaz količina oborina u uporedjenju s empiričkim, naročito za povratni period od 1000 godina.

## 2.6 Ekstremne količine oborina za toplo i hladno doba godine

Daljnjom kompenzacijom oborina u hidrološkom ciklusu za razdoblja dulja od 3 mjeseca moglo bi se očekivati bolje rezultate analize ekstrema i manja odstupanja nekih izrazitih maksimuma. Medjutim, ovdje dolazi do punog izražaja problem definicije takvih ekstrema naročito za kratke nizove podataka, koji ne mogu striktno zadovoljiti kriterij valjanosti teorije ekstrema.

Tabela 6 Ekstremne količine oborine za toplo i hladno doba godine po kliznim pentadama za razdoblje 1947-71 u usporedbi sa ekstremima za Zagreb-Grič po dekadama u razdoblju 1865-1974

	Jezerko Rateče		Ljubljana	Celje	Zagreb-Grič	
<b>Toplo (IV-IX)</b>						
Emp.max.	1466	1565	1047	895	728	751
godina	1965	1965	1965	1969	1959	1926
T = 500	1587	1926	1142	914	796	809
Teor.max.						830
Emp.min.	663	563	495	450	234	234
godina	1947	1947	1947	1967	1952	1952
T = 500	644	524	230	419	153	157
Teor.min.						122
<b>Hladno (X-III)</b>						
Emp.max.	1384	1372	1017	791	585	663
godina	1950/51	1950/51	1950/51	1950/51	1950/51	1878/79
T = 500	1465	1586	1160	893	651	726
Teor.max.						800
Emp.min.	526	438	377	293	211	187
godina	1955/56	1955/56	1953/54	1953/54	1957/58	1920/21
T = 500	361	247	169	166	56	143
Teor.min.						110

Kako je iskustvo s tromjesečnim i kraćim razdobljima pokazalo da se rezultati različitim definicijama ekstrema u procjeni njihovih teoretskih vrijednosti bitno ne razlikuju za povratne periode kraće od 1000 godina, to smo podvrgli istoj analizi i polugodišnje sume oborina za toplo (IV-IX) i hladno (X-III) doba godine. Pri tome smo kao ekstremlne definirali maksimalne i minimalne količine oborina u 5-godišnjim kliznim razdobljima s pomakom od 2 godine, što je u 25-godišnjem razdoblju 1947-71 dalo 10 članova niza.

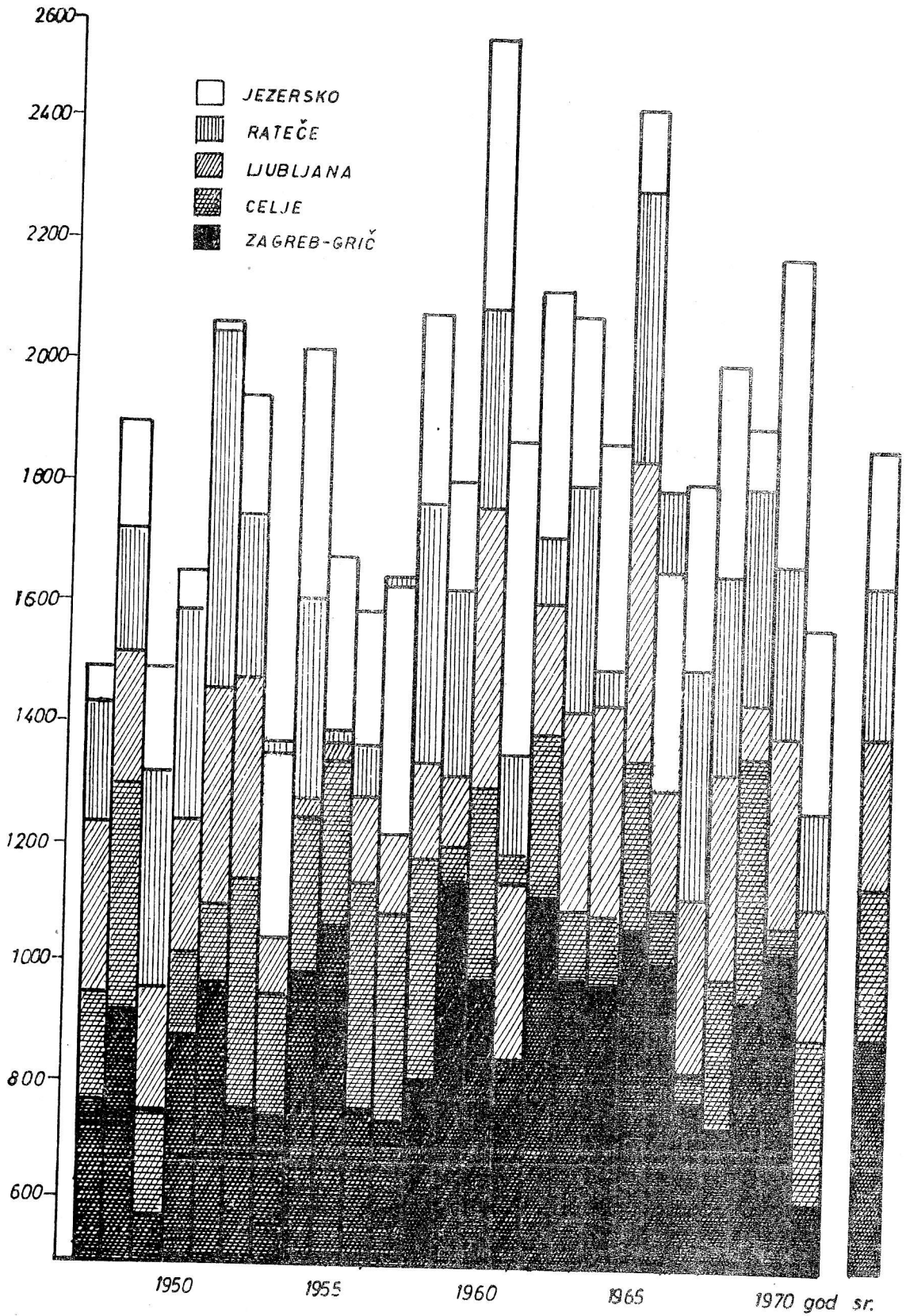
S obzirom na navedeno uz empiričke ekstremlne i godinu njihove pojave izneseni su samo ukratko rezultati u vidu procjene teoretskih ekstrema za povratni period od 500 godina (tabela 6). Rezultati su uspoređeni s nizom 1865-1974 za Zagreb-Grič dobivenim iz dekadnih ekstrema. Ovom usporedbom na podacima Zagreba ističu se veće razlike u hladno doba, naročito kod minimuma koji je za promatrano razdoblje 1947-71 za  $T = 500$  niži od apsolutnog teoretskog minimuma dekadnih ekstrema. Iz ovoga se može pretpostaviti da bi i maksimumi ostalih stanica bili viši za nizove ranijih godina, naročito u hladno doba godine. Istovremeno procijenjeni minimumi pokazuju još više trend suhoće toga razdoblja, uz vrlo malu vjerojatnost da budu dosegnuti ili premašeni.

## 2.7 Godišnje količine oborina i procjena njihovih ekstrema

Na sl. 7 prikazane su godišnje količine oborina za pet promatranih stanica u razdoblju 1947-71, po godinama. U zadnjem stupcu prikazane su srednje godišnje količine oborina u tom razdoblju. Iz ove slike očita je varijabilnost godišnjih oborina u vremenu i prostorno. Iako Jezersko pokazuje u srednjaku najviše godišnje količine oborina, u nekim godinama u Rateču su te količine oborina dostignute ili čak premašene, što je slučaj i u međusobnom odnosu ostalih stanica u ovom nizu.

Analiza ekstremnih količina godišnjih oborina izvršena je na isti način kao kod polugodišnjih, a rezultati su prikazani u tabeli 7. Analizi godišnjih količina oborina za meteorološku odnosno kalendarsku godinu, dodana je i analiza za hidrološku godinu (X-IX).

Analiza ekstrema za meteorološku godinu potpuno se uklapa u zaključke analiza kraćih razdoblja s tim da su krivulje razdioba još stabilnije, te su i apsolutni ekstremi karakteristični za razdoblje 1947-71. Usporedba s dugogodišnjim nizom Zagreba po dekadama i ovdje ukazuje na više empiričke i teoretske maksimume, ali i viši teoretski minimum. Medjutim, iznenadjujuća je činjenica da se analiza podataka hidrološke godine bitno razlikuje od meteorološke godine. Apsolutni maksimumi su viši a minimumi većinom niži. Naročito su velike razlike u Rateču čije su krivulje razdioba za maksimum i minimum tipa II. S druge strane krivulja razdiobe



Sl. 7 Godišnje količine oborina na području gornjeg sliva Save u razdoblju 1947-1971



Tabela 7 Ekstremi godišnjih količina oborine po kliznim pentadama za razdoblje 1947-71 u usporedbi sa ekstremima za Zagreb-Grič po dekadama u razdoblju 1865-1974

Met.godina	Jezerško (I-XII)	Rateče	Ljubljana	Celje	Zagreb-Grič Dekade	
Emp.max.	2540	2289	1848	1385	1137	1387
godina	1960	1965	1965	1962	1959	1937
T = 500	2785	2471	2079	1390	1178	1544
Teor.max.	3531	2770	2677	1391	1216	2111
Emp.min.	1353	1268	955	759	581	581
godina	1953	1971	1949	1949	1949	1949
T = 500	1229	1240	898	616	521	516
Teor.min.	913	1229	835	427	449	467
<hr/>						
Hidrološka godina (X-IX)						
Emp.max.	2763	2693	1907	1497	1170	1346
godina	1964/65	1964/65	1964/65	1964/65	1950/51	1875/76
T = 500	3019	3175	2118	1526	1214	1210
Teor.max.	3396	*	2601	1538	1290	*
Emp. min.	1324	1104	977	788	576	528
godina	1948/49	1948/49	1948/49	1948/49	1951/52	1945/46
T = 500	1269	1014	866	773	516	437
Teor.min.	906	*	706	745	484	221

u Celju je vrlo stabilna, empirički minimum je viši nego u meteorološkoj godini, a naročito se teoretski minimum bitno razlikuje od minimuma Zagreba. Još više iznenadjuje analiza Zagreba za dugogodišnje razdoblje, gdje je empirički maksimum za razliku od ostalih niži nego u meteorološkoj godini, a razdioba maksimuma tipa II, dok su minimumi niži nego u meteorološkoj godini i bitno različiti od minimuma iz promatranog razdoblja 1947-71.

Ova analiza zahtijeva dulji niz godina ili primjenu drugih metoda i razdioba da bi se dobila bolja procjena ekstremnih količina oborine unutar hidrološke godine, ali rezultati istovremeno ukazuju na mogućnost veće perzistencije unutar hidrološke godine. To bi označavalo jednu važnu karakteristiku sadašnjeg klimatskog režima u smislu veće vjerojatnosti suše s hidrološkog aspekta, pa bi na to trebalo obratiti veću pažnju u daljnjim istraživanjima na ovom području.

### 3. ZAKLJUČAK

1. Rezultati analize ekstremnih količina oborina u razdoblju 1947-71 u odnosu na dulje nizove za Ljubljanu i Zagreb-Grič su pokazali da je praktična primjena teorije ekstrema na količine oborina različitih vremenskih intervala od dnevnih do godišnjih većinom ograničena na procjenu teoretskih ekstrema do povratnih perioda 500-1000 godina. U duljim povratnim periodima se mogu pojaviti i viši ekstremi, ali su njihove vjerojatnosti vrlo male.

2. Analiza maksimalnih dnevnih količina oborine za neke stanice promatranog niza 1947-71 pokazuje stabilne raspodjele ekstrema s ograničenim teoretskim apsolutnim maksimumom. Međutim, usporedba s dugogodišnjim nizom Zagreba definitivno ukazuje da su ovi teoretski maksimumi samo karakteristika za dotični klimatski režim i da su u ranijim godinama postojali i viši ekstremi, vezani uz mnogo veće anomalije opće cirkulacije atmosfere od onih koje su uvjetovale najviše ekstreme sadašnjeg razdoblja. Analiza maksimalnih dnevnih količina oborine po pojedinim mjesecima za Ljubljanu (1925-1974) i Zagreb-Grič (1862-1974) daje u većini mjeseci približno linearan porast ekstrema, što bi bilo u skladu s Gumbelovom raspodjelom, ali istovremeno pojava neograničenog tipa II u drugim mjesecima umanjuje općenito pouzdanost procjene ekstremnih dnevnih oborina za duge povratne periode na temelju do sada raspoloživih nizova motrenja.

3. Analiza mjesečnih, dvomjesečnih i tromjesečnih maksimalnih količina oborine pokazuje iste karakteristike kao i za dnevne maksimume, ali pruža veću mogućnost da razdiobe budu ograničene. To se objašnjava rjedjim pojavama izrazito visokih ekstrema u duljem vremenskom razdoblju uslijed kompenzacije viška (ili manjka) oborine u hidrološkom ciklusu.

U slučajevima neograničenog tipa razdiobe, uslijed ekstremno visokog apsolutnog maksimuma, korisno je razmatrati primjene teorije na drugi ili treći maksimum kao najvišu vrijednost količine oborine, a postupna stabilizacija krivulje razdiobe zajedno sa standardnom devijacijom i ostalim parametrima razdiobe, daje dodatnu karakteristiku oborinskog režima u odnosu na procjenu teoretskih ekstrema, njihovih vjerojatnosti i povratnih perioda.

4. Analiza ekstremnih mjesečnih količina oborine po pojedinim mjesecima ili tromjesečnih količina za određena godišnja doba, podvlači problem definicije ovakvih ekstrema, a isto vrijedi i za analizu polugodišnjih i godišnjih količina oborine. Međutim, kako su rezultati "kliznih" ili "dekadnih" ekstrema pokazali da se dobro uklapaju u procjene ekstremnih

vrijednosti definiranih prema najvišim ekstremima u godini, može se zaključiti da je metoda primjenljiva na mjesečne ekstreme oborine, kao i ekstreme duljih vremenskih intervala, ali uz ograničenje na povratne periode kraće od 500 godina.

5. Primjena teorije na minimalne količine oborina je manje problematična, ali i manje interesantna. Krivulje su većinom vrlo stabilne, ali i za tromjesečna razdoblja u duljim povratnim periodima rezultati ukazuju na mogućnost potpune suše. To ponovo podvlači problem reprezentativnosti promatranih nizova, kao i problem definicije ekstrema za dulja vremenska razdoblja, ali pruža mogućnost izvjesne procjene malih količina oborine u kraćim povratnim periodima.

6. Analize pokazuju da srednje vrijednosti ekstrema  $\bar{x}$ , vrijednosti  $x_0$  i standardne devijacije  $\sigma$  padaju s nadmorskom visinom stanice, ali se prema nizu Zagreba može pretpostaviti da su za dovoljno dugi niz jedne stanice približno konstantne veličine.

7. S obzirom na velika kolebanja oborine, očito je da procjena ekstrema, njihovih vjerojatnosti i povratnih perioda mnogo više ovisi o uzorku, odnosno o klimatskom režimu, nego što je to slučaj s nekim drugim elementima na koje je teorija primijenjena, a čija su kolebanja u dužim vremenskim razdobljima mnogo manja. Prema tome, povećanje broja godina ne daje garanciju da će rezultati konvergirati nekoj određenoj vrijednosti, jer istovremeno pruža mogućnost pojave viših ekstrema, naročito apsolutnih maksimuma, koji će bitno utjecati na tip krivulje razdiobe. Izrazito dugi nizovi vjerojatno bi trebali brojati više stotina godina da bi davali stabilnu razdiobu oborina, a time se gubi prvobitna svrha cijele analize, tj. da se na temelju kratkog niza podataka procijene njihovi mogući ekstremi u budućnosti.

8. Općenito se pokazalo, da je primjena teorije ekstrema vrlo korisna u određivanju vjerojatnosti i povratnih perioda količine oborina prognozirane drugim metodama, a napose u tome što daje neke dopunske karakteristike oborinskog režima u promatranom klimatskom razdoblju, koji je u sadašnjoj klimatološkoj praksi u nas većinom predstavljen srednjim količinama oborina i empiričkim ekstremima.

9. Ako teoretske ekstreme pojedinih razdoblja promatramo kao rezultate razdiobe dotičnog uzorka, bez obzira na specifičnost same teorije, i pretpostavimo da bi takav uzorak bio reprezentativan za oborinski režim jednog klimatskog razdoblja, onda bi nam visoki teoretski ekstremi u razdoblju 1947-71 ukazivali na povećanu tendenciju visokih kao i niskih količina oborina u razdoblju od mjesec dana (sl. 3) ili duljeg razdoblja (tabela 3.2). To bi značilo povećanu perzistenciju kako sušnih tako i kišnih perioda u

sadašnjem klimatskom režimu, što je u skladu sa rezultatima dobivenim metodom Markovljevih lanaca izhesenih u prethodnom radu [3].

10. Konačno, važnost ove analize za prognozu pojedinih sušnih perioda leži u činjenici da izraziti ekstremi oborina imaju malu vjerojatnost pojave u dugim vremenskim razdobljima, pa se pokazalo da se velike količine oborina u nekom kišnom periodu, kompenziraju deficitom oborina u periodu koji slijedi. Drugim riječima, pojava neke ekstremne oborine u razdoblju od, recimo, mjesec dana, koja prema našim analizama ima malu vjerojatnost da bude premašena i u dvomjesečnom periodu, ujedno označuje i veliku vjerojatnost da će slijedeći mjesec biti pretežno suh. Nadalje se pokazalo, da su izrazita kišna razdoblja kraća od sušnih, što je u skladu sa poznatom činjenicom da su u prostornoj razdiobi oborine kišna područja u ciklonama s intenzivnim uzlaznim strujanjem većinom mnogo manjih razmjera od anticiklonalnih s kompenzirajućim silaznim gibanjima. Time se prognoza sušnih perioda dovodi u direktnu vezu s hidrološkim ciklusom i njegovim promjenama u vremenu i prostoru diktiranim promjenama opće cirkulacije atmosfere, koje će biti razmatrane u slijedećem radu [4].

## LITERATURA

- [1] *Chegodayev, 1953*: Computation of runoff on small catchments. Transzhedorizdat, M.
- [2] *Jenkinson, A.F., 1955*: The frequency distribution of the annual maximum (or minimum) values of meteorological elements. QJRMS, Vol.87, 158-171.
- [3] *Juras, J. i V. Jurčec, 1976*: Statistička analiza sušnih i kišnih razdoblja primjenom modela Markovljevih lanaca. RHMZ, SRH, Rasprave i prikazi br.13, 59-98.
- [4] *Jurčec, V., 1976*: Anomalije opće cirkulacije atmosfere, sušni periodi i mogućnosti prognoze suše. RHMZ, SRH, Rasprave i prikazi, br.13, 143-203.
- [5] *Kutzbach, J., 1974*: Fluctuations of climate-monitoring and modeling. WMO Bulletin, Vol. XXIII, No.3, 155-163.
- [6] *Landsberg, H.E., 1975*: Drought, a recurrent element of Climate. In "Drought", Special environmental report No.5, WMO - No.403, 41-90.
- [7] *Makjanić, B., 1970*: Statističke metode u meteorologiji. Predavanja na Geofizičkom zavodu PMF u Zagrebu.
- [8] *Malnar, V., 1975*: Usporedba dugogodišnjeg niza maksimalnih količina oborine Ljubljane i Zagreba. RHMZ SHR, Zagreb, 88 str. (nepublicirano).
- [9] *Weibull, W. 1939*: A statistical theory of strength of materials. Ing. Vet. AK. Handl. No. 151, Stockholm.
- [10] *WMO Techn. Note, No.98, 1969*: Estimation of maximum floods, Geneva, Chapter 5, 183-227.

## LIST OF TABLES

- 1.1 Maxima daily precipitation amounts (mm) - annual extremes for indicated stations.  $\sigma$  stands for the standard deviation  $\sigma_1$ ,  $\bar{x}$  is the annual mean,  $x_0$  is the value of  $x$  at  $y=0$ , god.=year of maximum,  $T$  is return period. Symbols are as in [10].
- 1.2 Maxima daily precipitation amounts (mm) - monthly extremes. (Max. is empirical maximum,  $k$  is in units  $10^{-3}$ ,  $T=1000$ years)
- 2.1 Maxima monthly precipitation amount (mm) - annual extremes (description as in 1.1). II max and III max are the second and the third maxima.
- 2.2 Frequencies of the absolute monthly maximum occurring in a particular month.
- 2.3 Maxima monthly precipitation amount (mm) for Zagreb-Grič. Decades are in a) 1865-74, 1875-84, ...1965-74), and in b) 1925-34, 1926-35, ...1965-74).
- 2.4 Maxima of 30-days overlapping total precipitation amounts beginning in a particular month, and extending in the following month.
- 3.1 Maxima of two-monthly precipitation amounts.
- 3.2 Minima of two-monthly precipitation amounts.
- 3.3 Maxima of 60-days overlapping precipitation amounts, beginning in a particular month, and extending in two following months.
- 4.1 Maxima of three-monthly precipitation amounts
- 4.2 Minima of three-monthly precipitation amounts
5. Seasonal precipitation extremes, overlapping decades (1865-1974, 1866-1975, ..., 1965-1974)
6. Precipitation extremes for *warm* (April-September) and *cold* (October - March) part of the year. Extremes for

overlapping 5-years intervals, for the period 1947-71, in comparison with the long-term values for Zagreb-Grič. Extremes for each decade as in Table 2.3 a).

7. Yearly precipitation extremes, overlapping 5-years intervals for the same periods as in Table 6.

### LIST OF FIGURES

1. Maxima daily precipitation amounts for Jezersko, Rateče and Celje, 1947-71.
2. Maxima daily precipitation amounts for Zagreb and Ljubljana.
3. Empirical maxima of monthly precipitation amounts for Zagreb-Grič, and the theoretical estimates for maxima at various return periods  $T$  (dashed lines). Heavy dashed lines are maxima calculated for the entire record 1862-1974.
4. Extremes of three-monthly precipitation amounts, 1947-71.
- 5.1 Maxima of three-monthly precipitation amounts for Zagreb-Grič, based on various periods
- 5.2 Minima of three-monthly precipitation amounts for Zagreb-Grič.
- 6.1 Seasonal precipitation amounts for Zagreb-Grič, 1862-1974. Dashed lines connect decade-mean values. From above down: spring, summer, autumn, winter, and their mean values.
7. Annual precipitation amounts for indicated stations from 1947 to 1971, and the annual mean values for this period.

## STATISTICAL ANALYSIS OF RAINFALL EXTREMES IN THE UPPER PART OF SAVA RIVER BASIN

### SUMMARY

The rainfall amounts during 1947-71 period are studied by the method applying the theory of extremes (Jenkinson, 1955). Both, the maxima and minima for various time intervals from a day to one year are examined in terms of the probability and return periods of their occurrence. The theoretical frequency distribution gives also an estimate of the absolute extremes, providing the distribution curves are asymptotes with an upper limit.

Five stations in the area were chosen for the analysis of extremes. Daily rainfall maxima were first evaluated from data of annual maximum values. Although some of the stations show an upper bound for the extreme values of daily rainfall amounts (Table 1.1), a comparative study of long term records in Zagreb and Ljubljana suggests that these results should be taken by caution, since much higher values are possible resulting in unbounded type II distribution. This would be to some extent in agreement with Jenkinson's statement that rainfall amounts are "uncontrolled", and extremely high falls may be recorded, but on the other side it signifies a fact that due to the extreme variability of rainfall very long records are required for more reliable distribution curves of daily rainfall maxima. The frequency distributions for particular months at Zagreb and Ljubljana of longer records (Table 1.2) suggest mainly type I distribution, indicating Gumbel's straight line as a first approximation with acceptable results up to the return periods of 1000 years.

The analyses of extreme precipitation amounts for a month or longer periods (Tables 2.-7.) are more indicative, although we recognize that some ambiguity exists in a definition of these extremes in respect to the strict criteria imposed by the theory. However, the type II distribution still appears at some stations and at particular months or seasons. It is shown that main reason for such results are not the slow increase of lower extremes, but the highest values representing events with much longer return periods from the period of data sampling. In these cases more reasonable results are obtained by considering the second or the third extremes as the highest values for the considered set of data (Tables 2.1, 3.1, 4.1).

For all sets of data the average extremes  $\bar{x}$ , the zero-point values  $x_0$  and the standard deviations of the annual



extremes  $\sigma_1$ , decrease with a decreasing altitude of the station, but the long records at Zagreb suggest that they are approximately constant in respect to time.

It is generally concluded that the application of the theory for the considered period of records is limited to the estimation of extreme values at 500-1000 years return periods, whereas the absolute theoretical extremes are more hypothetical, and particularly dependent on the data sampling reflecting the characteristics of the precipitation regime for the climatic period considered.

Better results achieved for the precipitation extremes for a month or longer periods are attributed to the existence of a hydrologic cycle in which the minima rainfall during a particular month or season is compensated by the excess precipitation in a period which follows. For the same reason the analysis of minima precipitation amount for the forecasting of drought has its main application only in a statistical sense in terms of probability analysis, whereas the occurrence of maxima increases the probability of drought appearance at approaching period. In another terms this means that the higher theoretical extremes in the latest period of records, reflecting the increased tendency for higher as well as lower rainfall amounts during a period of a month or season, signify the increased persistency of dry and wet spells. These are essential results for the drought forecasting in the present climatic regime.