

SEKULARNE FLUKTUACIJE PADALINE U ZAGREBU

TOMISLAV ŠEGOTA

Uvod. Poznata je činjenica da se o klimatskim problemima piše relativno mnogo u geografskoj, klimatološkoj i meteorološkoj literaturi. Zato možda i nije pretjerana tvrdnja da je »problem klimatskih promjena i klimatskih fluktuacija jedan od najvažnijih problema klimatologije« (B. P. Alissow, O. A. Drosdow i E. S. Rubinstein 1956). To ima i svoju praktičnu stranu jer su značajne klimatske promjene do kojih je došlo u posljednjih 100 godina, a koje su utvrđene istraživanjima brojnih autora u cijelom svijetu, jasno pokazale da su promjene količine padaline u prostranim dijelovima svijeta do kojih je došlo u spomenutom razdoblju imale i te kako važne ekonomske posljedice.

Padalina u Zagrebu (Grič) mjeri se već od 1. prosinca 1861. god. (M. Kovačević 1948) pa je to najstariji homogeni niz podataka o padalini u Jugoslaviji. Usprkos spomenutoj važnosti, klimatske fluktuacije u Zagrebu nisu istražene u potrebnoj mjeri. Do sada je publiciran samo jedan rad (J. Goldberg 1953). Nedavno je taj problem svestrano i detaljno obrađen (B. Penzar, B. Volarić i I. Penzar 1965); međutim, rezultati tog istraživanja do sada još nisu objavljeni.

Definicija problema. Kao što znamo, ne postoji jedna univerzalno prihvaćena definicija klime. Nepostojanje egzaktno definicije klime ukazuje na izvjesnu nejasnost cijelog problema koji proizlazi prije svega iz statističke prirode klimatskih elemenata koji zajednički čine klimu. Prema tome, kako se može utvrditi promjenljivost klime, kako dokazati da se ona mijenja, ako nije posve jasno što je klima? Do sada se problem rješavao tako, da su analizirani višegodišnji srednjaci, a do zaključaka se dolazilo kompariranjem dvaju ili više takvih višegodišnjih prosjeka. Tako se moralo doći do pojma »standardnog perioda«. To bi bio kao neki »parametar« koji je omogućio ono najvažnije za utvrđivanje klimatske promjene, omogućio je komparaciju. Time, međutim, nije riješen problem u onoj mjeri kako se nekada očekivalo. Iskrsnuo je problem određivanja duljine standardnog perioda na temelju čega bi se izračunao reprezentativni srednjak; tome problemu već dugo

posvećuju veliku pažnju brojni klimatolozi. Na mnogim međunarodnim skupovima donijete su preporuke kako da se dođe do reprezentativnih višegodišnjih srednjih vrijednosti raznih klimatskih elemenata (Beč 1873), Uppsala 1894, Varšava 1935, Toronto 1947, Washington 1957). Konačno, na trećoj sjednici Komisije za klimatologiju Svjetske meteorološke organizacije (London 1960) formirana je Radna grupa za klimatološke norme. Od spomenute je grupe zatraženo da dade upute o iznalaženju najpovoljnije duljine normalnih perioda. Uskoro poslije toga objavljena su dva vrijedna djela o tome (J. M. Mitchell, B. Dzerdzevskii, H. Flohn, W. L. Hofmeyr, H. H. Lamb, K. N. Rao i C. C. Wallén 1966; P. Jagannathan, R. Arléry, H. ten Kate i M. V. Zavarina 1967). U njima su iznijete osnovne informacije o tome problemu. Ovaj je članak napisan u skladu s nekim preporukama iznijetim u spomenutim radovima.

1. Budući da je srednjak koji je izračunat na temelju podataka iz kratkog perioda relativno nepouzdan, trebalo bi koristiti što je moguće dulji period, tj. treba koristiti sve podatke iz niza s kojima raspolažemo. Međutim, budući da postoje varijacije klimatskih elemenata, klimatsko-statistički podaci koji se dobiju iz takvog predugog perioda ne mogu biti adekvatan reprezentant suvremenih klimatskih uvjeta.

2. Preporuča se da se izračunaju srednjaci za relativno kratke periode kao što su na primjer 10-godišnji srednjaci (početi sa 1. siječnjom godine koja završava znamenkom 1).

3. Klimatsko-statističke podatke i dalje bazirati na 30-godišnjim periodima; u našem slučaju to bi bila razdoblja 1871—1900, 1901—1930. i 1931—1960. god.

4. Ako podaci omogućuju, tj. ako je niz dovoljno dug, treba izračunati srednjake za standardni period koji je dulji od do sada definiranog 30-godišnjeg normalnog perioda, jer se čini da 30-godišnji srednjaci ne daju stabilne prosjeke padaline. Preporuča se da takav period obuhvati dva ili više susjednih standardnih perioda (npr., takav bi bio period 1901—1960). To bi bilo u skladu s nekim istraživanjima (H. E. Landsberg i W. C. Jacobs 1951; O. A. Drozdov i E. S. Rubinstein 1966) koja su pokazala da je duljina perioda različita za razne klimatske elemente, za razna godišnja doba i za razne dijelove svijeta. Optimalni bi period za izračunavanje srednjaka bio 50—70 godina.

5. Ako je moguće trebalo bi izračunati odstupanje pojedinih podataka od srednjaka.

Nije teško otkriti izvjesnu nejasnoću u definiranju pojmova koji se zajednički obuhvaćaju terminom »promjena klime«. Na konferenciji Svjetske meteorološke organizacije (Varšava 1935) zaključeno je slijedeće: »On définiera comme fluctuations du climat les différences entre deux moyennes calculées sur 30 années. On ne peut parler d'une variation du climat que dans le cas où cette différence dépasse une certaine valeur qui dépend de la dispersion des observations in-

dividuelles. La Conférence est d'avis que les discussions concernant les fluctuations des moyennes climatiques devront être rapportées à une période universelle et synchrone allant de 1901 à 1930». Na toj osnovi L. Lysgaard (1949) smatra da je klima normalno, prosječno vrijeme u razdoblju od prošlih 30 godina u kojem posljednja godina završava sa nulom. Klimatska varijacija se dobije kao razlika između dva 30-godišnja niza. U slučaju da su varijacije permanentnog karaktera može se tada govoriti o promjeni klime, ako ne, onda je to samo fluktuacija klime. H. W. Ahlmann (1948) uzima da općenito treba razlikovati klimatske varijacije od klimatskih fluktuacija; klimatska varijacija bi bila promjena klime u vrlo dugom vremenskom razdoblju, a klimatska fluktuacija bi bila promjena klime u kraćem periodu.

Ove definicije nisu dovoljno precizne posebno ako smo upoznati s najnovijim istraživanjima. Naime, upravo zbog postojanja klimatskih fluktuacija, srednjaci i druge statističke veličine koje su bazirane na 30-godišnjim ili čak i 50-godišnjim vrijednostima ne mogu biti apsolutno stabilni u cijelom svijetu da bi se mogli nazvati normalnima. Budući da su klimatske fluktuacije različite po veličini i fazi u raznim dijelovima svijeta, period koji može biti reprezentativan za jedno mjesto možda je potpuno nerepresentativan za drugo mjesto, jedino ako period nije dovoljno dug da sadrži cjelobrojni umnožak od nekoliko različitih perioda. Čini se da je najbolji put da se prihvate definicije koje su predložili J. M. Mitchell i suradnici (1966). Oni smatraju da vjerojatno nema fizičkog opravdanja da se termini koji su povezani s klimatskim promjenama definiraju na temelju strogo određenih vremenskih razdoblja. Prema tome, *promjena klime* je najgeneralniji termin kojim se obuhvaćaju svi mogući oblici nepostojanosti klime, bez obzira na njihovu statističku prirodu (ili fizičke uzroke). Granica koja odvaja sve klimatske promjene od meteorološke varijabilnosti, koje su prenapole a da bi se smatrale klimatskim promjenama, pretpostavlja se da leži negdje između 5 i 11 godina. *Suvremena promjena klime* je promjena klime koja je nastala u posljednjim desetljećima, ali ne prije početka 20. stoljeća. *Sekularna promjena klime* je promjena klime koja je nastala u posljednjim desetljećima ili stoljećima. Smatra se da u većem dijelu svijeta sekularni period nije počeo prije početka ili sredinom 19. stoljeća. *Fluktuacija klime* je nepostojanost klime koja se sastoji od bilo kakvog oblika sistematske promjene, bilo pravilnog ili nepravilnog, izuzimajući trend i diskontinuitet. Nju karakteriziraju barem dva maksimuma (ili minimuma) i jedan minimum (ili maksimum) uključujući vrijednosti na krajnjim točkama promatranog perioda. *Varijacija klime* je fluktuacija, ili samo njen dio, čije je karakteristično vrijeme dovoljno dugo da se može očitovati izrazita razlika između sukcesivnih 30-godišnjih srednjaka (normi) stanovite varijabile. *Klimatski trend* je promjena klime, koji karakterizira blag, monotoni porast ili pad srednje vrijednosti

u periodu motrenja. Ne odnosi se samo na linearnu promjenu, ali je karakteriziran samo jednim maksimumom i jednim minimumom na krajnjim točkama promatranog perioda.

Klimatološko-statistička obrada podataka. Jedna od najvažnijih informacija o padalini je srednjak, bilo da se radi o prosječnim mjesečnim, sezonskim, godišnjim ili višegodišnjim vrijednostima padaline. Srednjak je važna polazna točka za analizu drugih karakteristika padaline. Ako je

$$p_1, p_2, p_3, \dots, p_n$$

niz podataka o padalini onda će *prosjek* ili *srednjak* biti

$$\bar{p} = \frac{p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_n}{N}$$

N je broj jedinica statističke mase.

Tako su izračunati 10, 30 i 60-godišnji srednjaci padaline.

Opcenito se smatra da je *standardna devijacija* najegzaktnija mjera disperzije individualnih jedinica neke statističke mase, u našem slučaju padaline. Standardna devijacija se izračunava pomoću formule

$$s = \sqrt{\frac{(p_1 - \bar{p})^2 + (p_2 - \bar{p})^2 + (p_3 - \bar{p})^2 + \dots + (p_n - \bar{p})^2}{N}}$$

Međutim, standardna devijacija je apsolutna mjera disperzije; ona nije prikladna za uspoređivanje veličine disperzije dviju distribucija s različitim numeričkim vrijednostima obilježja. Da bi se omogućila usporedba, izračunava se relativna mjera disperzije; relativna mjera disperzije koja se osniva na standardnoj devijaciji zove se *koeficijent varijacije*

$$v = \frac{100 s}{\bar{p}}$$

Ako se podaci o padalini (u našem slučaju 106 mjesečnih, sezonskih i godišnjih vrijednosti; izuzetak je zima za koju postoji niz od 105 vrijednosti) prikažu kao vremenska serija, smjesta se opaža velika varijabilnost padaline u sukcesivnim vremenskim periodima. Da bi se utvrdile dugoperiodske promjene u seriji, uspješno se primjenjuje izgladivanje pomoću *pokretnih ili presizajućih srednjaka (prosjeaka)*. Ali, ovu metodu treba koristiti oprezno jer se presizajućim srednjacima jako naglašavaju dugoperiodske oscilacije pa se one mogu manifestirati kao izraziti ciklusi ili kvazi-ciklusi iako to, zapravo, nisu. Zato nije opravdano da se izvode zaključci o postojanju periodičnosti samo na temelju presizajućih srednjaka (C. E. P. Brooks i N. Carruthers 1953).

Jedan od najjednostavnijih primjera izgladivanja vremenske serije pomoću presizajućih srednjaka može se prikazati pomoću 5-godišnjih presizajućih srednjaka. Ako je

$$P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$$

padalina u nizu od n sukcesivnih godina (mjeseci ili godišnjih doba) onda bi se 5-godišnji izgladeni niz dobio pomoću slijedećih formula

$$\bar{P}_3 = \frac{1}{5} (P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5)$$

$$\bar{P}_4 = \frac{1}{5} (P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6)$$

$$\bar{P}_5 = \frac{1}{5} (P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7)$$

$$\bar{P}_{5-2} = \frac{1}{5} (P_{n-4} + P_{n-3} + P_{n-2} + P_{n-1} + P_n)$$

Pomoću ovih formula izgladen je niz srednjih godišnjih vodostaja Save kod Zagreba.

Niz godišnjih, sezonskih i mjesečnih podataka o padalini izgladen je pomoću 10-godišnjih presizajućih srednjaka

$$\bar{P}_{3-4} = \frac{1}{10} (P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_8 + P_9 + P_{10})$$

$$\bar{P}_{4-7} = \frac{1}{10} (P_2 + P_3 + P_4 + \dots + P_9 + P_{10} + P_{11})$$

$$\bar{P}_{7-11} = \frac{1}{10} (P_3 + P_4 + P_5 + \dots + P_{10} + P_{11} + P_{12})$$

$$\bar{P}_{10-17} = \frac{1}{10} (P_{10} + P_{11} + P_{12} + \dots + P_{16} + P_{17} + P_{18})$$

Slično tome, godišnje, sezonske i mjesečne količine padaline, broj dana s padalinom, te vodostaj Save izgladeni su pomoću 20-godišnjih presizajućih srednjaka

$$\bar{P}_{10-29} = \frac{1}{20} (P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_{14} + P_{15} + P_{20})$$

$$\bar{P}_{11-32} = \frac{1}{20} (P_2 + P_3 + P_4 + \dots + P_{15} + P_{20} + P_{21})$$

$$\bar{P}_{12-33} = \frac{1}{20} (P_3 + P_4 + P_5 + \dots + P_{20} + P_{21} + P_{22})$$

$$\bar{P}_{30-47} = \frac{1}{20} (P_{17} + P_{18} + P_{19} + \dots + P_{24} + P_{25} + P_{26})$$

Konačno, godišnje, sezonske i mjesečne količine padaline, te broj dana s padalinom izgladeni su pomoću 50-godišnjih presizajućih srednjaka

$$\bar{p}_{25-26} = \frac{1}{50} (p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_{44} + p_{45} + p_{50})$$

$$\bar{p}_{26-27} = \frac{1}{50} (p_2 + p_3 + p_4 + \dots + p_{45} + p_{50} + p_{51})$$

$$\bar{p}_{27-28} = \frac{1}{50} (p_3 + p_4 + p_5 + \dots + p_{46} + p_{51} + p_{52})$$

$$\bar{p}_{50-62} = \frac{1}{50} (p_{37} + p_{38} + p_{39} + \dots + p_{104} + p_{105} + p_{106})$$

Osim već spomenutog nedostatka, slijedeći nedostaci presizajućih srednjaka su u tome što izuzetno vlažne ili izuzetno suhe godine (godišnja doba ili mjeseci) mogu znatno utjecati na veličinu više susjednih presizajućih srednjaka. Isto tako, po izglednoj krivulji ne može se zaključiti kada je došlo do definitivne promjene trenda. Kao u mnogim sličnim radovima, padalina Zagreba je istraživana i pomoću metode *kumulativnih odstupanja od srednjaka*. Velika je vrijednost grafa kumulativnog odstupanja srednjaka u tome da se svaka važnija promjena u vremenskoj seriji može lako opaziti. Da bi se omogućilo uspoređivanje distribucija s različitim numeričkim vrijednostima obilježja, kumulativna odstupanja od srednjaka izražena su u postocima, a ne u apsolutnoj mjeri. Ordinata n -te točke izračunava se po formuli

$$y_n = 100 \sum_{i=1}^n \frac{p_i - \bar{p}}{\bar{p}}$$

gdje je p_i padalina i -tog perioda, a srednjak padaline izračunat je za standardno 60-godišnje razdoblje 1901-60.

Ako su

$$p_1, p_2, p_3, \dots, p_n$$

godišnje, sezonske ili mjesečne vrijednosti padaline u nizu od n sukcesivnih godina, onda pomoću slijedećih formula dolazimo do niza

$$y_1 = 100 \frac{p_1 - \bar{p}}{\bar{p}}$$

$$y_2 = 100 \frac{p_2 - \bar{p}}{\bar{p}}$$

$$y_3 = 100 \frac{p_3 - \bar{p}}{\bar{p}}$$

...

$$y_n = 100 \frac{p_n - \bar{p}}{\bar{p}}$$

Sumirajući sukcesivne članove niza dolazi se do suma

$$S_1 = y_1, S_2 = y_1 + y_2, S_3 = y_1 + y_2 + y_3, \dots, S_n = y_1 + y_2 + y_3 + \dots + y_n$$

Kao što vidimo, devijacije sukcesivnih veličina u vremenskoj seriji se kumulativno dodaju i tako nastaje serija.

Usprkos činjenici da trendovi u seriji padalinskih podataka vrlo vjerojatno nisu linearni, ipak sam izračunao *linearni trend* za 50-godišnje presizajuće srednjake padaline i broja dana s padalinom isto kao i linearne trendove za 10-godišnje prosječne količine padaline i broja dana s padalinom. To je učinjeno samo zato da se omogući kompariranje. Linearni trendovi se izračunavaju metodom sume najmanjih kvadrata. Kao što znamo, u jednadžbi pravca

$$y = ax + b$$

treba odrediti vrijednost parametara a i b . Rješenjem tako zvanih normalnih jednadžbi parametri a i b se izračunavaju pomoću izraza

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - \bar{x} \sum_{i=1}^n y_i}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \bar{x} \sum_{i=1}^n x_i}$$

$$b = \bar{y} - a\bar{x}$$

Tako su izračunate jednadžbe linearnog trenda za 10-godišnje prosjeke padaline:

| | |
|-----------|-------------------------|
| januar | $y = 0,111 x + 41,67$ |
| februar | $y = 0,096 x + 40,43$ |
| mart | $y = -0,056 x + 56,21$ |
| april | $y = -0,128 x + 76,94$ |
| maj | $y = -0,050 x + 89,16$ |
| jun | $y = -0,036 x + 99,25$ |
| jul | $y = -0,003 x + 81,11$ |
| august | $y = -0,148 x + 90,22$ |
| septembar | $y = -0,069 x + 87,59$ |
| oktobar | $y = -0,294 x + 119,49$ |
| novembar | $y = 0,078 x + 75,78$ |
| decembar | $y = 0,060 x + 64,33$ |
| godina | $y = -0,439 x + 918,05$ |
| proljeće | $y = -0,233 x + 222,28$ |
| ljetno | $y = -0,178 x + 270,61$ |
| jesen | $y = -0,286 x + 282,86$ |
| zima | $y = 0,267 x + 142,22$ |

Isto tako su izračunate jednadžbe linearnog trenda 10-godišnjih prosjeka broja dana s padalinom:

| | |
|-----------|------------------------|
| januar | $y = 0,032 x + 9,78$ |
| februar | $y = 0,027 x + 8,11$ |
| mart | $y = 0,007 x + 10,70$ |
| april | $y = 0,007 x + 13,52$ |
| maj | $y = -0,006 x + 14,69$ |
| jun | $y = 0,002 x + 13,90$ |
| jul | $y = 0,009 x + 10,85$ |
| august | $y = 0,001 x + 10,26$ |
| septembar | $y = -0,004 x + 10,76$ |
| oktobar | $y = -0,003 x + 12,93$ |
| novembar | $y = 0,028 x + 11,38$ |
| decembar | $y = 0,034 x + 10,92$ |
| godina | $y = 0,120 x + 137,94$ |
| proljeće | $y = -0,054 x + 38,93$ |
| ljeto | $y = 0,013 x + 35,02$ |
| jesen | $y = 0,021 x + 35,09$ |
| zima | $y = 0,092 x + 28,84$ |

Da bi se omogućilo uspoređivanje trendova postavljene su jednadžbe linearnih trendova 50-godišnjih presizajućih srednjaka padaline:

| | | |
|-----------|--------------|----------------|
| januar | $y = 0,020$ | $x + 44,37$ |
| februar | $y = 0,025$ | $x + 40,11$ |
| mart | $y = -0,017$ | $x + 58,31$ |
| april | $y = -0,018$ | $x + 73,26$ |
| maj | $y = 0,007$ | $x + 82,11$ |
| jun | $y = -0,020$ | $x + 99,69$ |
| jul | $y = -0,008$ | $x + 83,48$ |
| august | $y = -0,029$ | $x + 85,64$ |
| septembar | $y = -0,007$ | $x + 86,77$ |
| oktobar | $y = -0,040$ | $x + 108,07$ |
| novembar | $y = 0,042$ | $x + 72,09$ |
| decembar | $y = -0,000$ | $44 x + 64,56$ |
| godina | $y = -0,042$ | $x + 898,12$ |
| proljeće | $y = -0,028$ | $x + 213,59$ |
| ljeto | $y = -0,057$ | $x + 268,79$ |
| jesen | $y = -0,005$ | $x + 266,93$ |
| zima | $y = 0,046$ | $x + 148,69$ |

Interesantno je analizirati linearne trendove 50-godišnjih presizajućih srednjaka broja dana s padalinom; da bi se to omogućilo izračunate su jednadžbe pravaca koje glase:

| | | |
|---------|-------------|-----------------|
| januar | $y = 0,008$ | $x + 10,24$ |
| februar | $y = 0,005$ | $x + 8,88$ |
| mart | $y = 0,000$ | $012 x + 11,56$ |

| | | | |
|-----------|--------------|----------|----------|
| april | $y = 0,000$ | $78 x +$ | $13,07$ |
| maj | $y = 0,001$ | $x +$ | $14,11$ |
| jun | $y = -0,000$ | $12 x +$ | $14,12$ |
| jul | $y = 0,000$ | $48 x +$ | $11,61$ |
| august | $y = 0,000$ | $67 x +$ | $10,20$ |
| septembar | $y = -0,000$ | $27 x +$ | $10,83$ |
| oktobar | $y = 0,000$ | $64 x +$ | $12,73$ |
| novembar | $y = 0,008$ | $x +$ | $11,55$ |
| decembar | $y = 0,007$ | $x +$ | $12,05$ |
| godina | $y = 0,032$ | $x +$ | $141,08$ |
| proljeće | $y = 0,002$ | $x +$ | $38,83$ |
| ljetno | $y = 0,001$ | $x +$ | $35,95$ |
| jesen | $y = 0,009$ | $x +$ | $35,11$ |
| zima | $y = 0,020$ | $x +$ | $31,13$ |

Presizajući srednjaci se vrlo često upotrebljavaju za analizu klimatskih fluktuacija. Međutim, zbog prije spomenutih nedostataka te metode, neki autori preporučuju da se umjesto običnih presizajućih srednjaka upotrebe *vagani presizajući srednjaci*. Tako se postižu neki pozitivni rezultati, a istovremeno se svode na minimum neki neželjeni efekti (C.E.P. Brooks i N. Carruthers 1953, 260; P. Vujević 1956, 62). Budući da je za izračunavanje presizajućih srednjaka potrebno utrošiti mnogo vremena, njih sam izračunao samo za godišnje padaline, i to 5-godišnje i 10-godišnje vagane presizajuće srednjake. 5-godišnji vagani presizajući srednjaci se izračunavaju pomoću slijedećih jednadžbi (koeficijenti se odrede pomoću tzv. Pascalova trokuta)

$$\bar{p}_1 = \frac{1}{16} (p_1 + 4p_2 + 6p_3 + 4p_4 + p_5)$$

$$\bar{p}_2 = \frac{1}{16} (p_2 + 4p_3 + 6p_4 + 4p_5 + p_6)$$

$$\bar{p}_3 = \frac{1}{16} (p_3 + 4p_4 + 6p_5 + 4p_6 + p_7)$$

$$\bar{p}_{n-2} = \frac{1}{16} (p_{n-4} + 4p_{n-3} + 6p_{n-2} + 4p_{n-1} + p_n)$$

U suštini isto tako se izračunavaju i 10-godišnji vagani presizajući srednjaci pomoću slijedećih jednadžbi

$$\bar{p}_{3,4} = \frac{1}{512} (p_1 + 9p_2 + 36p_3 + 84p_4 + 126p_5 + 126p_6 + 84p_7 + 36p_8 + 9p_9 + p_{10})$$

$$\bar{p}_{4,7} = \frac{1}{512} (p_2 + 9p_3 + 36p_4 + 84p_5 + 126p_6 + 126p_7 + 84p_8 + 36p_9 + 9p_{10} + p_{11})$$

$$\bar{p}_{7,4} = \frac{1}{512} (p_3 + 9p_4 + 36p_5 + 84p_6 + 126p_7 + 126p_8 + 84p_9 + 36p_{10} + 9p_{11} + p_{12})$$

$$\bar{p}_{(n-2),(n-4)} = \frac{1}{512} (p_{n-8} + 9p_{n-7} + 36p_{n-6} + 84p_{n-5} + 126p_{n-4} + 126p_{n-3} + 84p_{n-2} + 36p_{n-1} + 9p_n + p_{n+1})$$

Rezultati istraživanja. Ako postoje dugogodišnji nizovi podataka o padalini (a tako je u Zagrebu), nije običaj da se analizira režim padaline, ili da se reprezentativni srednjaci izvode iz 10-godišnjih nizova (tab. 1). Međutim, ako postoji dulji niz dekadskih srednjaka padaline i broja danas padalinom onda je korisno grafički prikazati taj vremenski niz jer se iz njega mogu izvesti neki važni zaključci (sl. 1 i 2). Kao što postoji velika varijabilnost padaline, tako slike 1 i 2 pokazuju da postoji velika varijabilnost dekadskih srednjih vrijednosti padaline i broja dana s padalinom. Prema već spomenutoj definiciji, radi se o fluktuacijama jer ni u jednom slučaju ne postoji sistematsko povećanje ili smanjenje dekadskih vrijednosti. Iako je iluzorna pretpostavka da su trendovi kod ovih pojava linearni, oni su ipak izračunati da se omogući usporedba. (Ipak, pogreška je u većini slučajeva vjerojatno u dopustivim granicama jer su klimatske promjene višeg reda, na koje se superponiraju prikazane fluktuacije, mnogo polaganije od potonijih, pa je u kraćim vremenskim razdobljima dopustiva pretpostavka da su one gotovo linearne. To podsjeća na kartografski prikaz manjeg dijela Zemljine površine kad se njena sfernost može zanemariti, ali samo do jedne granice).

Prije svega, promotrimo grafikone padaline. Opaža se da trendovi nisu istovrsni; osim srpnja i prosinca, koji u promatranom razdoblju ne pokazuju nikakav trend, svi se mjeseci mogu podijeliti u dvije skupine: a) mjeseci sa silaznim trendom (ožujak, travanj, svibanj, lipanj, kolovoz, rujanj, listopad) i b) mjeseci s uzlaznim trendom (siječanj, veljača, studeni). Ovakvom stanju odgovarat će i trendovi u pojedinim godišnjim dobima (sl. 2). Proljeće, ljeto i jesen karakterizirani su silaznim trendom, a suprotno njima za zimu se opaža izrazita tendencija porasta količine padaline. Konačno, trend za cijelu godinu posljedica je mjesečnih trendova. On jasno pokazuje — ako se zanemare interdekadske fluktuacije — da postoji opća tendencija smanjenja dekadskih količina godišnje padaline u Zagrebu.

Analiza dekadskih prosjeka broja dana s padalinom pokazuje da relacija broj dana s padalinom — količina padaline nije jednostavna, taj odnos nije uvijek upravo proporcionalan nego može biti i obratan. Naime, u prvom slučaju (siječanj, veljača, studeni, zima) uzlazni trend pokazuje i količina padaline i broj dana s padalinom. I u drugom slučaju (travanj, svibanj, rujanj, listopad i proljeće) trendovi se podudaraju: oba su silazna. Ovo bi bili »logični« slučajevi: veći broj dana s padalinom — više padaline, odnosno obratno, manji broj dana s padalinom — manje padaline. Ali, postoje i neočekivani trendovi. Prvi je slučaj da količina padaline pokazuje silazni trend a broj dana s padalinom, suprotno tome, uzlazni trend (ožujak, ljeto, jesen, godina). U drugom slučaju jedan trend je uzlazni ili silazni, a drugi nema nikakvog trenda. Tako u prosincu količina padaline ne pokazuje tendenciju promjene, ali se suprotno tome osjeća vrlo jak uzlazni trend broja dana s pada-

| | J. | F. | M. | A. | M. | J. | J. | J. | A. | S. | O. | N. | D. | Godina | Proljeće | Ljeto | Jesen | Zima |
|------------|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|----------|-------|-------|------|
| 1871-1880. | p. 47 | 59 | 45 | 70 | 113 | 95 | 87 | 91 | 86 | 114 | 96 | 63 | 63 | 966 | 228 | 273 | 296 | 169 |
| | d 10,5 | 9,2 | 8,5 | 13,3 | 15,0 | 12,2 | 10,2 | 10,5 | 9,9 | 11,4 | 13,4 | 10,7 | 10,7 | 134,8 | 26,8 | 32,9 | 34,7 | 31,0 |
| 1881-1890. | p 38 | 34 | 61 | 78 | 69 | 104 | 86 | 80 | 78 | 118 | 69 | 58 | 58 | 853 | 208 | 250 | 265 | 130 |
| | d 9,3 | 7,4 | 11,9 | 13,0 | 11,4 | 15,4 | 9,9 | 10,2 | 10,1 | 13,9 | 10,2 | 10,5 | 10,5 | 133,2 | 36,3 | 35,5 | 34,2 | 27,2 |
| 1891-1900. | p 53 | 37 | 52 | 86 | 91 | 113 | 87 | 92 | 73 | 97 | 60 | 54 | 54 | 874 | 209 | 291 | 230 | 144 |
| | d 13,8 | 9,8 | 10,8 | 12,4 | 16,6 | 14,2 | 12,4 | 10,0 | 9,7 | 12,3 | 12,3 | 12,2 | 12,2 | 146,5 | 39,8 | 36,6 | 34,3 | 35,0 |
| 1901-1910. | p 44 | 45 | 53 | 75 | 70 | 88 | 80 | 84 | 89 | 94 | 84 | 80 | 80 | 886 | 198 | 252 | 267 | 169 |
| | d 8,5 | 11,3 | 12,8 | 13,5 | 15,3 | 14,8 | 12,5 | 9,6 | 11,8 | 13,3 | 12,3 | 15,0 | 15,0 | 150,7 | 41,6 | 36,9 | 37,4 | 35,0 |
| 1911-1920. | p 54 | 36 | 67 | 69 | 73 | 94 | 104 | 66 | 106 | 104 | 71 | 71 | 71 | 914 | 209 | 264 | 281 | 160 |
| | d 13,7 | 8,3 | 12,3 | 14,3 | 13,2 | 14,3 | 13,7 | 11,3 | 12,1 | 13,7 | 12,9 | 13,3 | 13,3 | 153,1 | 39,8 | 39,3 | 38,7 | 35,1 |
| 1921-1930. | p 42 | 51 | 53 | 76 | 95 | 93 | 67 | 85 | 101 | 101 | 85 | 52 | 52 | 901 | 224 | 245 | 287 | 145 |
| | d 11,3 | 9,9 | 11,7 | 14,4 | 15,5 | 13,1 | 9,7 | 9,9 | 11,4 | 11,6 | 15,3 | 14,7 | 14,7 | 148,5 | 41,5 | 32,7 | 38,3 | 35,5 |
| 1931-1940. | p 54 | 47 | 55 | 64 | 99 | 89 | 74 | 86 | 73 | 124 | 84 | 63 | 63 | 912 | 218 | 249 | 281 | 164 |
| | d 14,0 | 9,9 | 11,3 | 12,5 | 16,1 | 14,5 | 11,0 | 12,0 | 10,9 | 15,6 | 13,7 | 15,3 | 15,3 | 156,8 | 39,9 | 37,5 | 40,2 | 40,5 |
| 1941-1950. | p 50 | 66 | 33 | 54 | 71 | 83 | 70 | 58 | 52 | 68 | 116 | 62 | 62 | 783 | 158 | 211 | 236 | 178 |
| | d 12,9 | 11,8 | 9,6 | 11,4 | 12,8 | 13,7 | 12,2 | 9,3 | 8,9 | 11,2 | 16,9 | 13,2 | 13,2 | 143,9 | 33,8 | 35,2 | 37,0 | 36,4 |
| 1951-1960. | p 63 | 50 | 52 | 60 | 90 | 113 | 93 | 77 | 87 | 70 | 66 | 76 | 76 | 897 | 202 | 283 | 223 | 189 |
| | d 14,2 | 12,2 | 11,8 | 12,7 | 12,9 | 14,2 | 12,0 | 10,4 | 9,3 | 11,5 | 13,3 | 14,9 | 14,9 | 149,4 | 37,4 | 36,6 | 34,1 | 42,0 |

Tab. 1. Dekadski srednjaci mjesečnih, sezonskih i godišnjih količina padaline

(p) i broja dana s padalinom (d)

Tab. 1. Precipitation averages for successive decades (p), and the average number of days with precipitation (d)

| | J. | F. | M. | A. | M. | J. | J. | A. | S. | O. | N. | D. | Godina | Projekat | Ljeto | Jesen | Zima |
|------------|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|----------|-------|-------|------|
| 1871-1900. | p 46 | 44 | 53 | 71 | 91 | 104 | 80 | 37 | 79 | 110 | 75 | 58 | 898 | 215 | 271 | 264 | 148 |
| | d 11,2 | 8,8 | 10,4 | 12,9 | 14,4 | 13,9 | 10,8 | 10,2 | 9,9 | 12,5 | 12,0 | 11,1 | 138,1 | 37,7 | 34,9 | 34,4 | 31,1 |
| 1901-1930. | p 46 | 43 | 58 | 73 | 80 | 92 | 84 | 78 | 99 | 100 | 80 | 67 | 900 | 211 | 254 | 279 | 136 |
| | d 11,2 | 9,8 | 12,3 | 14,1 | 14,7 | 14,1 | 12,0 | 10,3 | 11,8 | 12,9 | 13,2 | 14,3 | 150,7 | 41,1 | 36,4 | 37,9 | 35,2 |
| 1931-1960. | p 56 | 54 | 47 | 59 | 86 | 95 | 79 | 74 | 70 | 88 | 89 | 67 | 864 | 192 | 248 | 247 | 177 |
| | d 13,7 | 11,3 | 10,9 | 12,2 | 13,9 | 14,1 | 11,7 | 10,6 | 9,7 | 12,8 | 14,6 | 14,5 | 150,0 | 37,0 | 36,4 | 37,1 | 39,6 |
| 1901-1960. | p 51 | 49 | 52 | 66 | 83 | 93 | 81 | 76 | 85 | 93 | 85 | 67 | 881 | 201 | 250 | 263 | 167 |
| | d 12,4 | 10,5 | 11,6 | 13,3 | 14,3 | 14,1 | 11,9 | 10,4 | 10,7 | 12,8 | 14,0 | 14,4 | 150,4 | 39,2 | 36,4 | 37,5 | 37,4 |

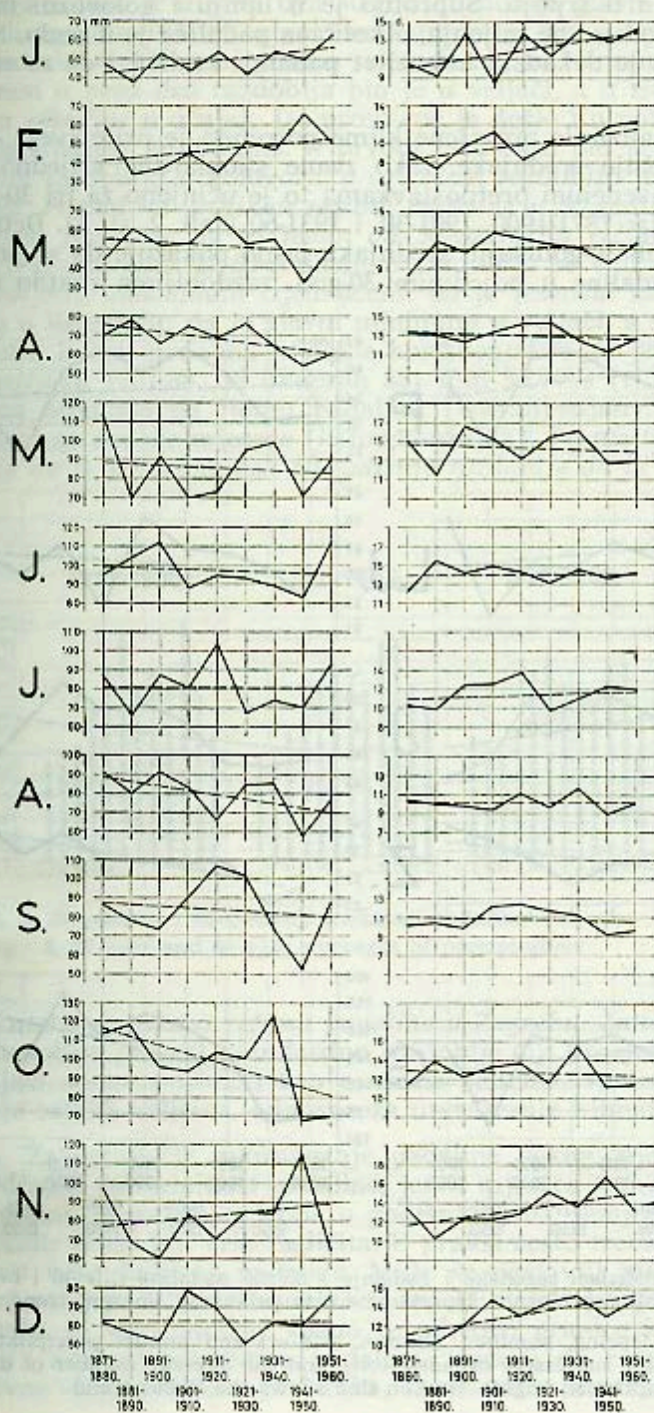
Tab. 2. 30-godišnji i 60-godišnji srednjaci padaline (p) i broja dana s padalinom (d)

Tab. 2. 30-year and 60-year averages of precipitation (p), and the average number of days with precipitation (d)

| | J. | F. | M. | A. | M. | J. | J. | A. | S. | O. | N. | D. | Godina | Projekat | Ljeto | Jesen | Zima |
|-----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------|----------|-------|-------|------|
| $\bar{p} + 2\hat{\epsilon}$ | 105 | 116 | 118 | 129 | 158 | 188 | 175 | 158 | 183 | 200 | 184 | 137 | 1 210 | 307 | 420 | 461 | 289 |
| $\bar{p} + \hat{\epsilon}$ | 78 | 82 | 85 | 98 | 120 | 138 | 128 | 117 | 134 | 146 | 134 | 102 | 1 046 | 254 | 335 | 361 | 228 |
| \bar{p} | 51 | 49 | 52 | 66 | 83 | 93 | 81 | 76 | 85 | 93 | 85 | 67 | 881 | 201 | 250 | 263 | 167 |
| $\hat{\epsilon}$ | 27 | 33 | 33 | 32 | 38 | 45 | 47 | 41 | 49 | 53 | 50 | 35 | 164 | 53 | 85 | 99 | 61 |
| $\bar{p} - \hat{\epsilon}$ | 24 | 16 | 20 | 35 | 45 | 49 | 34 | 35 | 35 | 40 | 35 | 32 | 718 | 148 | 166 | 163 | 106 |
| V | 53 | 68 | 63 | 48 | 45 | 48 | 58 | 54 | 58 | 57 | 59 | 52 | 19 | 26 | 34 | 38 | 37 |

Tab. 3. Srednje mjesečne količine padaline u 60-godišnjem standardnom periodu 1901-60, standardna devijacija i koeficijent varijacije

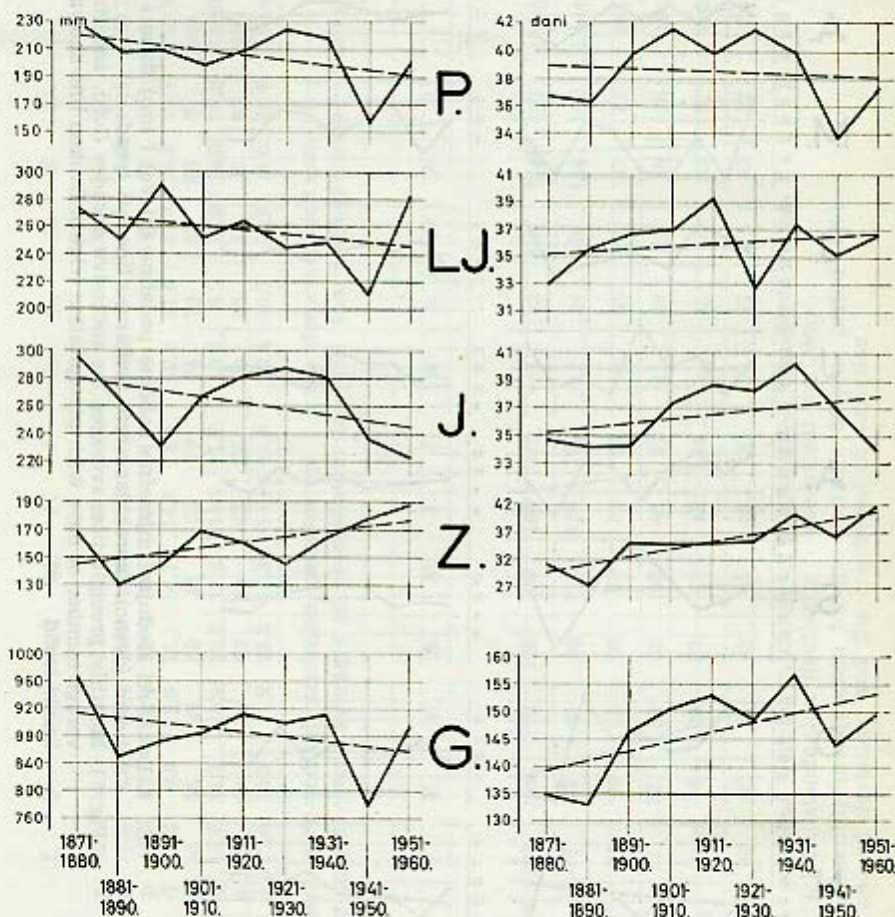
Tab. 3. Average monthly precipitation for the standard 60-year period (1901-60), standard deviation, and the coefficient of variation



Sl. 1. Dekadski srednjaci mjesečne količine padaline (lijevo) i broj dana s padalinom (desno). Isprekidane crte prikazuju linearni trend
 Fig. 1. Monthly precipitation averages for successive decades (left), and the average number of days with precipitation (right). Broken line shows the linear trend

linom. Isto je i u srpnju. Suprotno je u lipnju i kolovozu: broj dana s padalinom se ne mijenja, a količina padaline je u padu. Sve to pokazuje da je dekadski intenzitet padaline različit i da se stalno mijenjao.

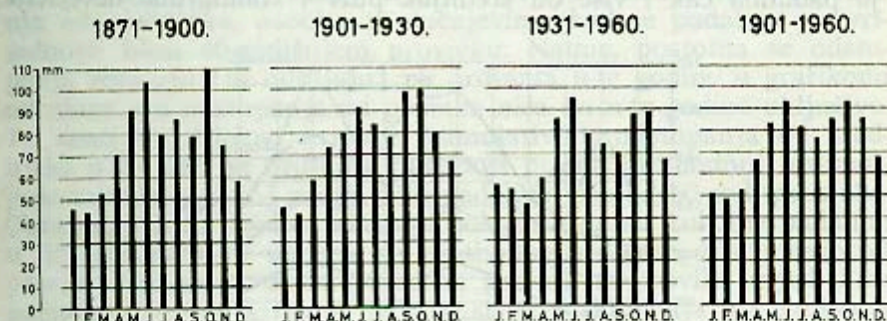
Da bi se analizirale promjene klime potrebno je prije svega odrediti višegodišnje srednjake, tako zvane standardne vrijednosti. Prema prije navedenim pretpostavkama to je učinjeno za tri 30-godišnja razdoblja: 1871-1900, 1901-30. i 1931-60 (tab. 2, sl. 3). Detaljnija analiza ovih 30-godišnjih srednjaka jasno pokazuje da se prosječni režim padaline u pojedinim 30-god. razdobljima znatno mi-



Sl. 2. Dekadski srednjaci sezonske i godišnje količine padaline (lijevo) i broja dana s padalinom (desno). Isprekidane crte prikazuju linearni trend

Fig. 2. Seasonal (spring, summer, autumn, winter) and annual precipitation averages for successive decades (left), and the average number of days with precipitation (right). Broken line shows the linear trend

jenjao. Dok je u prva dva 30-god. razdoblja glavni maksimum bio u listopadu, 1931-60. glavni maksimum je bio u lipnju, pa je tako jesenski maksimum postao sekundarni maksimum. Glavni minimum u prva dva razdoblja bio je u veljači, a u trećem je razdoblju »skočio« u ožujak. Do promjene je došlo i u položaju sekundarnog, ljetnog minimuma. U prvom razdoblju bio je u rujnu, u drugom razdoblju u kolovozu, a u trećem razdoblju je opet u septembru. *Pogled na grafikon režima padaline u 60-godišnjem razdoblju jasno pokazuje da ni jedan od 30-godišnjih režima padaline nije reprezentativan.* U 60-godišnjem razdoblju se vidi da su jesenski i proljetni maksimum izjednačeni; da je jesenski maksimum zapravo u listopadu; da je glavni minimum u veljači, a sporedni u kolovozu. Režim padaline je dakle kontinentalan jer je u 60-godišnjem prosjeku 1901-60. od ukupnih 881 mm 54,94% (tj. 484 mm) padaline otpadalo na ljetnu padalinu (travanj-rujan), a 45,06% (397 mm) na zimske mjesece (listopad-ožujak). Prema tome, *nema sumnje da je potrebno čak 60-godišnje razdoblje da bi se dobila repre-*



Sl. 3. 30-godišnji i 60-godišnji srednjaci padaline

Fig. 3. 30-year and 60-year averages of precipitation

zentativna slika o režimu padaline u Zagrebu. Zato sam uzeo da je razdoblje 1901-60. standardno razdoblje čiji prosjeci, odnosno srednjaci, mogu poslužiti kao osnovna veličina, »prametar« za mjerenje ostalih veličina, odnosno za utvrđivanje klimatskih promjena.

Za detaljnije upoznavanje padaline nekog mjesta potrebno je odrediti varijabilnost padaline, jer iz mjeseca u mjesec, iz godine u godinu, iz godišnjeg doba u godišnje doba, izmjerena količina padaline može biti vrlo različita. U praksi često treba odrediti učestalost neke količine padaline. Može se postaviti pitanje da li je izmjerena padalina *normalna* u toj klimatskoj regiji, ili je ona rijetka ili vrlo rijetka. Važno je odrediti granice između kojih varira normalna količina padaline. Budući da raspoložemo s relativno dugim nizom podataka, izračunata je standardna devijaci-

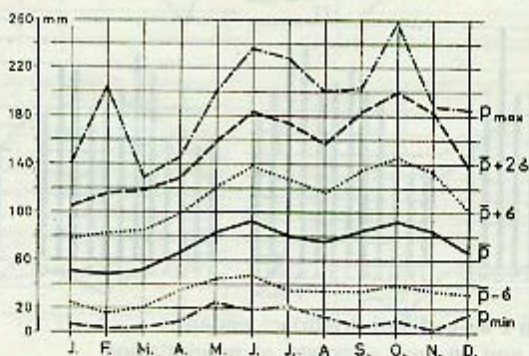
ja u normalnom periodu 1901-60. U klimatološkoj je statistici usvojeno slijedeće grupiranje, odnosno nomenklatura (V. Conrad i L.W. Pollak 1950, 47; P. Vujević 1956, 35):

| | | |
|-------|--------------------------|---------------------------|
| iznad | +3 σ | ekstremno iznad normalnog |
| | +2 σ i 3 σ | jako iznad normalnog |
| | + σ i 2 σ | iznad normalnog |
| | - σ i + σ | normalno |
| | -2 σ i - σ | subnormalno. |

Na sl. 4 i tab. 3 vidi se koliko je varijabilnost padaline u Zagrebu velika. Sve su mjesečne veličine koje se nalaze između

$$\bar{p} + \delta \quad \text{i} \quad \bar{p} - \delta$$

su dakle normalne, dok ostale vrijednosti odgovaraju jednoj od podjela na tabeli. (U jednom slučaju, u veljači 1947, zabilježena je padalina čak i više od srednjak plus 4 standardne devijacije.



Sl. 4. Srednje mjesečne padaline u 60-godišnjem standardnom periodu 1901-60. i varijabilnost mjesečnih padalina

Fig. 4. Average monthly precipitation for the standard period 1901-60, and the variability of the precipitation

Standardna devijacija je apsolutna mjera rasipanja; da bi se omogućilo uspoređivanje upotrebljava se koeficijent varijacije kao relativna mjera rasipanja (tab. 3). Promatranjem podataka u tab. 3 opaža se da se uglavnom potvrđuje pravilo da je varijabilnost padaline veća u mjesecima s manjom količinom padaline, iako to ne vrijedi u svim slučajevima (očito da samo zato što je uzet samo 60-god. period, a ne još dulji).

Fluktacije padaline i broja dana s padalinom najčešće se analiziraju pomoću presizajućih srednjaka. Ne postoji jedinstveno

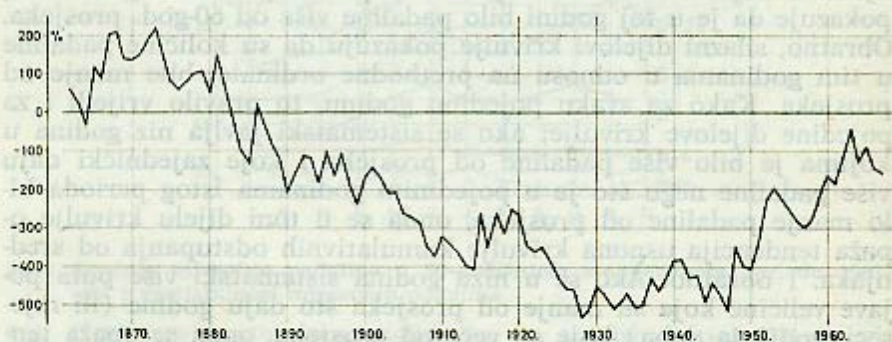
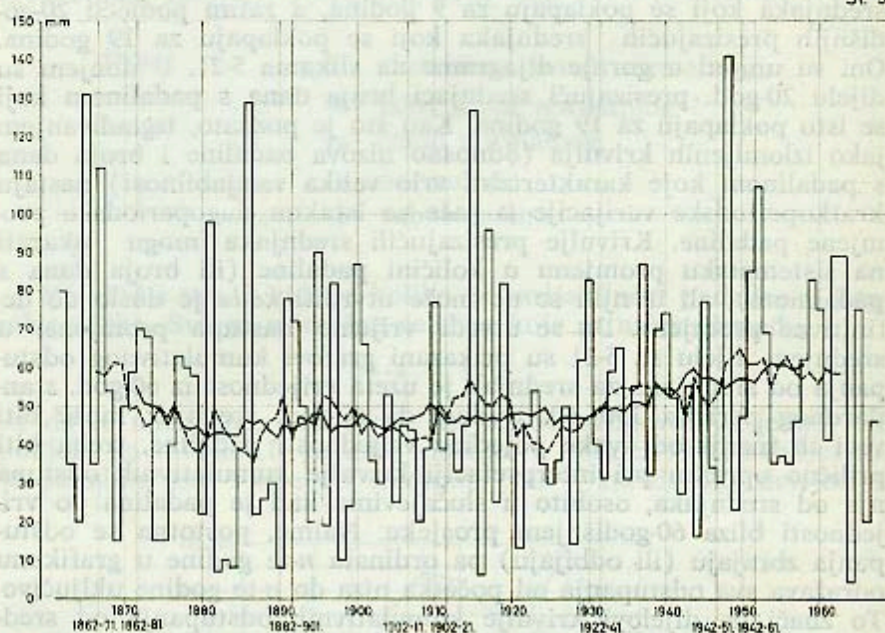
mišljenje koji su srednjaci najbolji; da bi se što sigurnije došlo do željenih rezultata, nizovi mjesečnih, godišnjih i sezonskih padalina najprije su analizirani pomoću 10-godišnjih presizajućih srednjaka koji se poklapaju za 9 godina, a zatim pomoću 20-godišnjih presizajućih srednjaka koji se poklapaju za 19 godina. Oni su unijeti u gornje dijagrame na slikama 5-21. U donjem su dijelu 20-god. presizajući srednjaci broja dana s padalinom koji se isto poklapaju za 19 godina. Kao što je poznato, izgladivanjem jako izlomljenih krivulja (odnosno nizova padaline i broja dana s padalinom koje karakterizira vrlo velika varijabilnost) nestaju kratkoperiodske varijacije, a jače se istaknu dugoperiodske promjene padaline. Krivulje presizajućih srednjaka mogu ukazati na sistematsku promjenu u količini padaline (ili broja dana s padalinom), ali iz njih se ne može utvrditi *kada* je došlo do definitivne promjene. Da se utvrdi vrijeme nastupa promjene, u srednjem dijelu sl. 5-21 su prikazani grafovi kumulativnog odstupanja od srednjaka; za srednjak je uzeta vrijednost iz 60-god. standardnog perioda 1901-60. Budući da 60-god. srednjak može biti veći ili manji od svake pojedine vrijednosti padaline, treba biti prilično oprezan pri interpretaciji krivulje kumulativnih odstupanja od srednjaka, osobito u slučajevima kad je padalina po vrijednosti bliza 60-godišnjem. prosjeku: Naime, postotna se odstupanja zbrajaju (ili odbijaju) pa ordinata n -te godine u grafikonu odražava sva odstupanja od početka niza do n -te godine uključivo. To znači da dijelovi krivulje kumulativnih odstupanja od srednjaka u kojima se ordinata povećava prema prethodnoj ordinati, pokazuje da je u toj godini bilo padaline više od 60-god. prosjeka. Obratno, silazni dijelovi krivulje pokazuju da su količine padaline u tim godinama u odnosu na prethodne ordinate, bile manje od prosjeka. Kako za svaku pojedinu godinu, to pravilo vrijedi i za pojedine dijelove krivulje; ako se sistematski javlja niz godina u kojima je bilo više padaline od prosjeka i koje zajednički daju više padaline nego što je u pojedinim godinama istog perioda bilo manje padaline od prosjeka, onda se u tom dijelu krivulje opaža tendencija uspona krivulje kumulativnih odstupanja od srednjaka. I obratno: Ako se u nizu godina sistematski više puta pojave veličine koje su manje od prosjeka što daju godine (ili mjeseci, godišnja doba) koje su veće od prosjeka, onda se opaža tendencija opadanja krivulje.

Sl. 5-21. Grafovi padaline sa 20-godišnjim i 10-godišnjim (lscrtkana krivulja) presizajućim srednjacima. U sredini su krivulje kumulativnog odstupanja od 60-godišnjeg srednjaka 1901-60. Dolje: 20-godišnji presizajući srednjaci broja dana s padalinom

Fig. 5-21. Graphs of precipitation; the superimposed curves show the course of the 20-year running means (full line) and the 10-year moving averages (broken line). In the centre are the cumulative percentual deviations of precipitation from the 1901-60 mean. Below are the 20-year running means of the days with precipitation

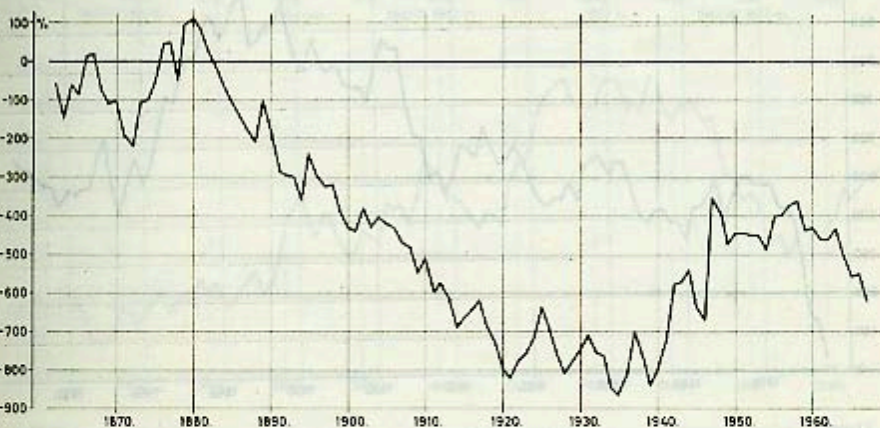
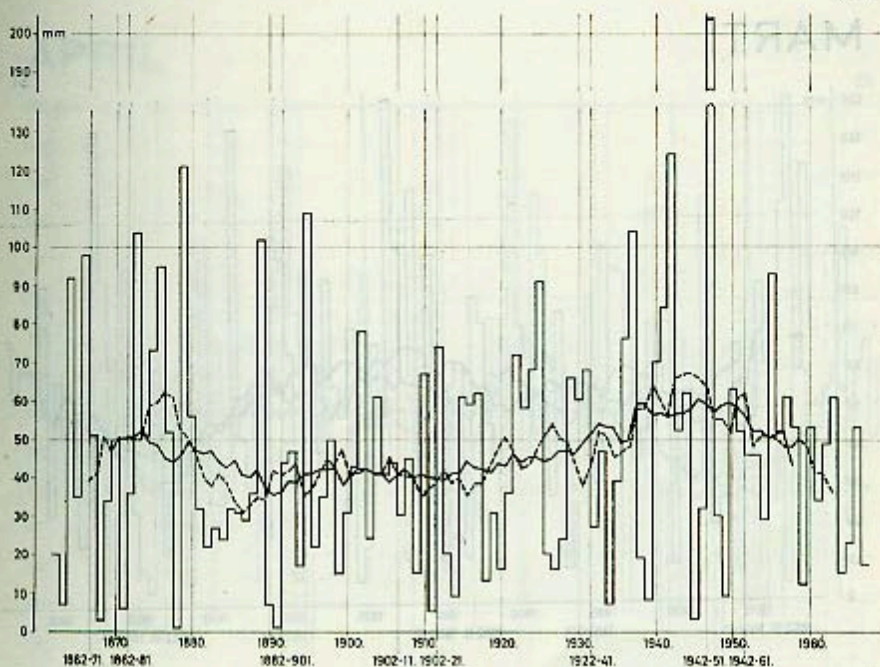
JANUAR

Sl. 5



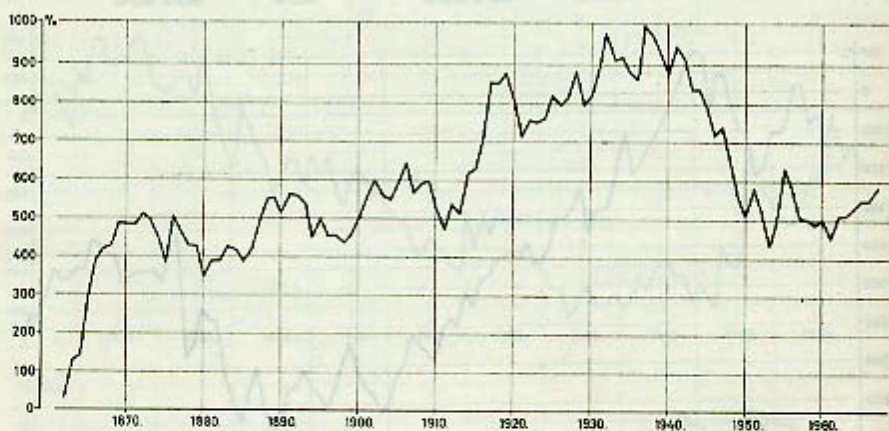
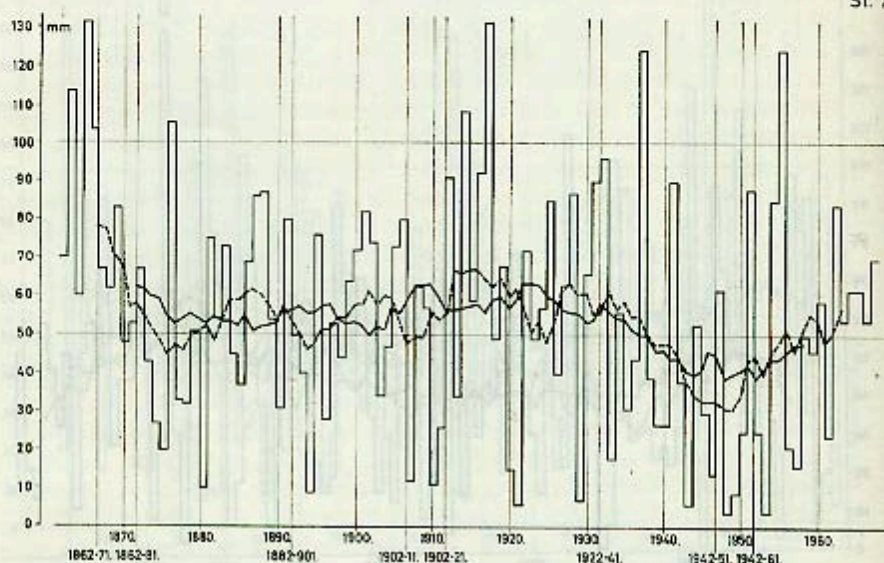
FEBRUAR

Sl. 6.



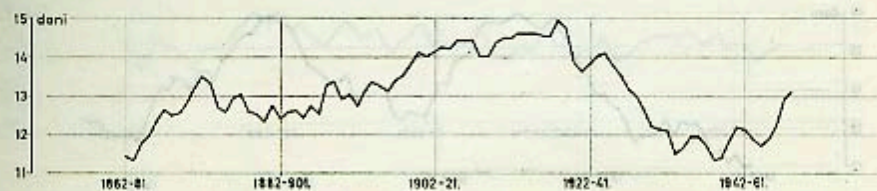
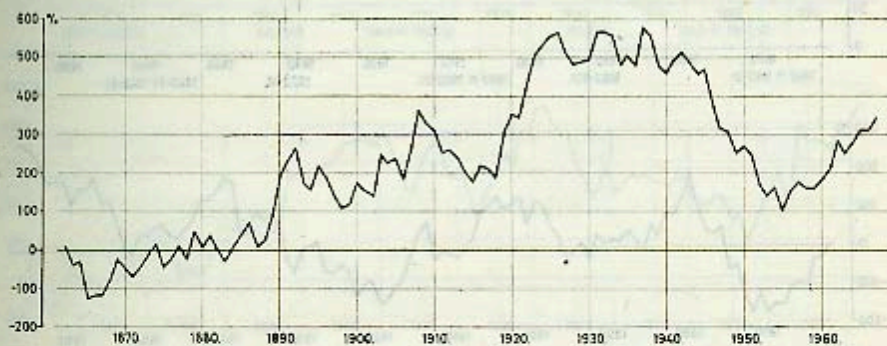
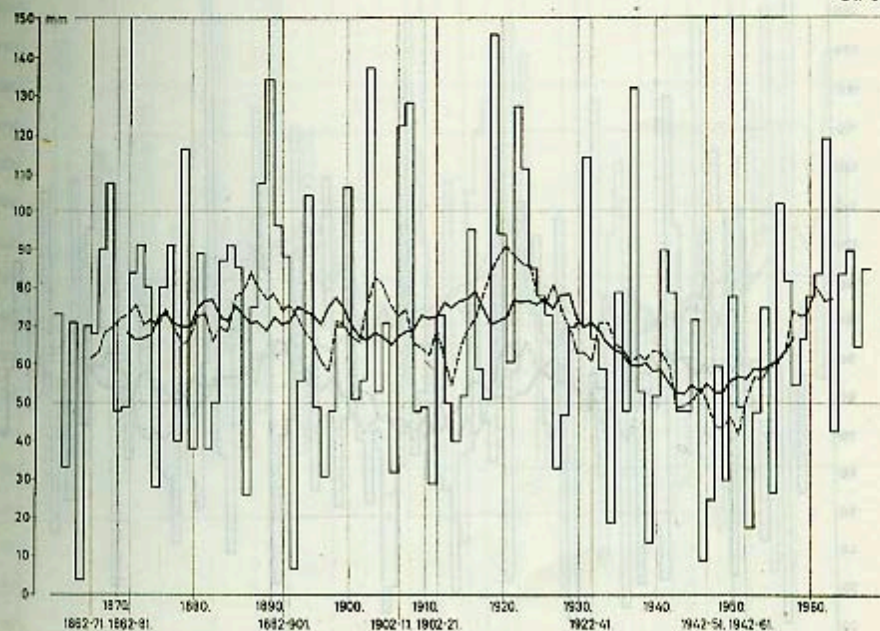
MART

Sl. 7



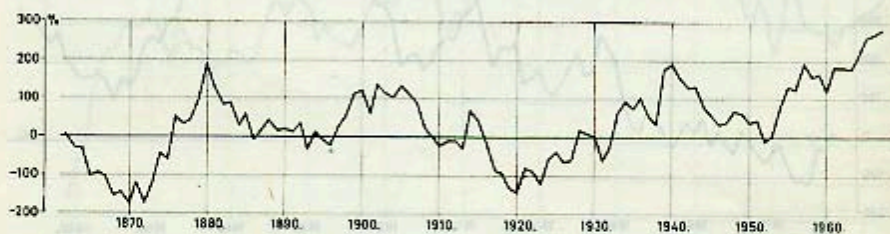
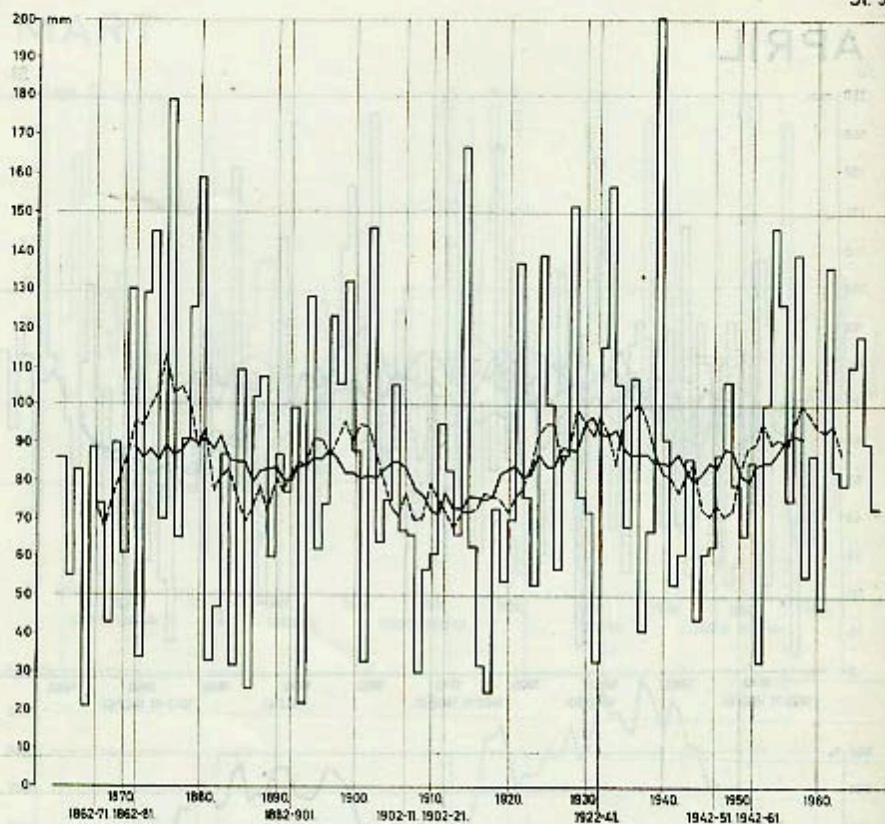
APRIL

Sl. 8.



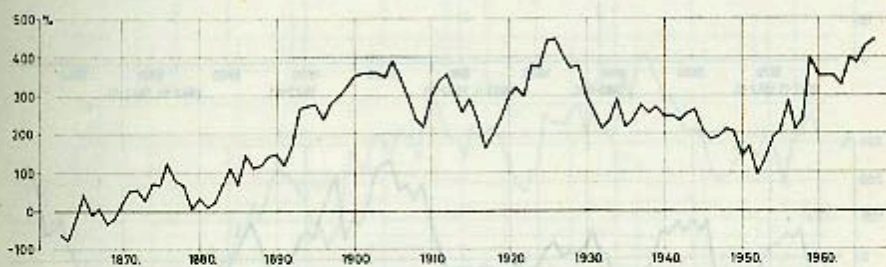
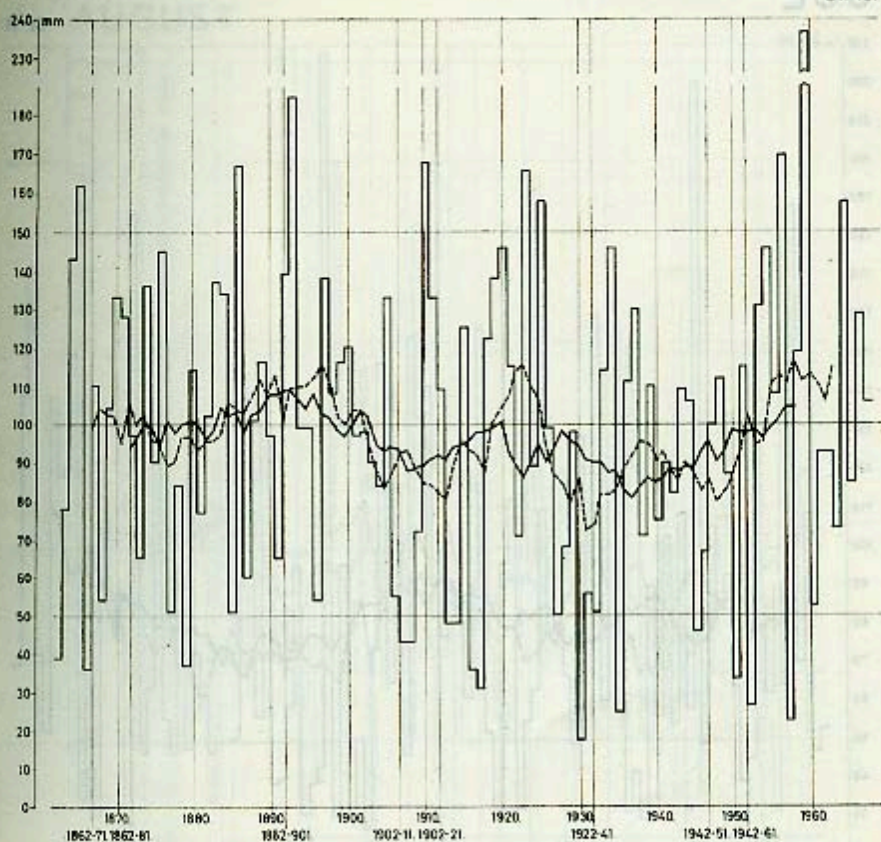
MAJ

SI. 9.



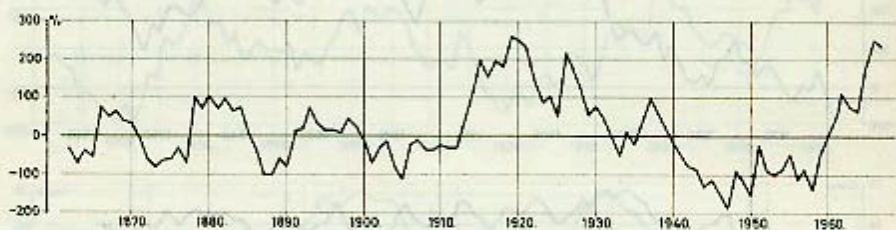
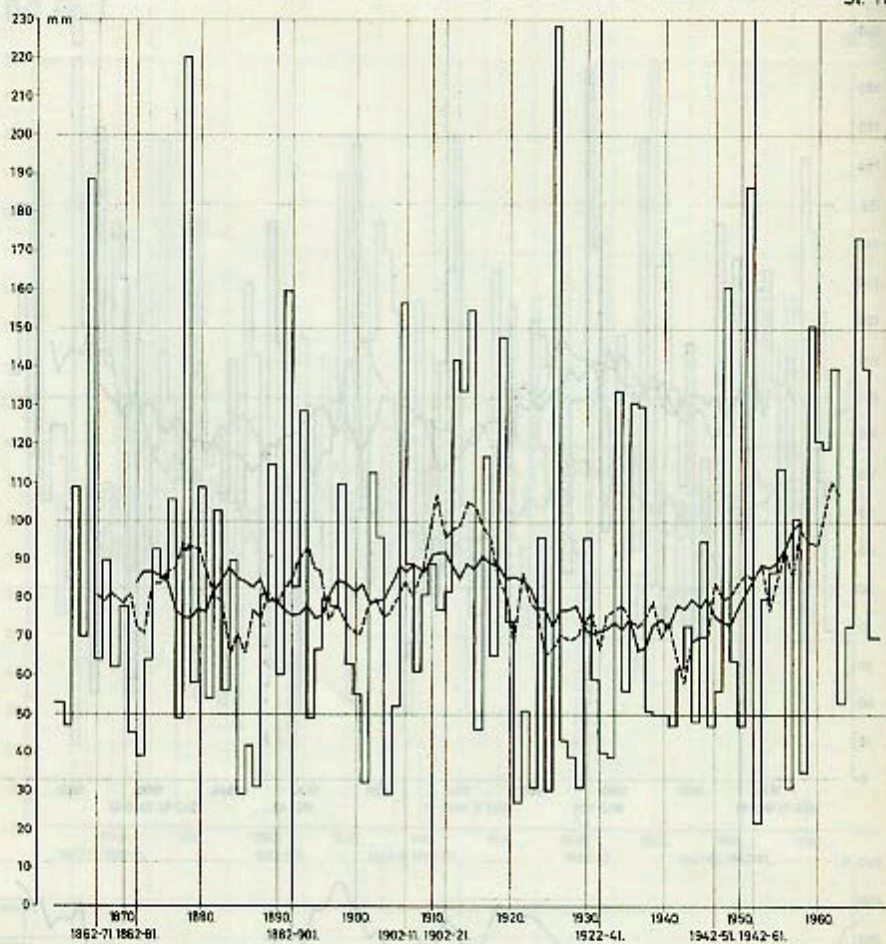
JUN

St. 10.



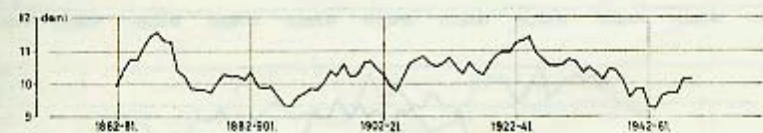
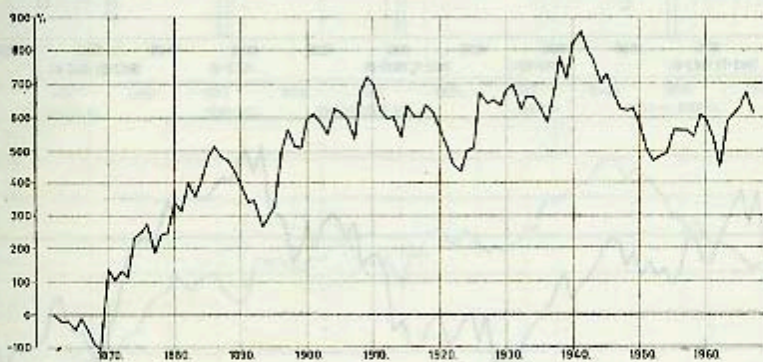
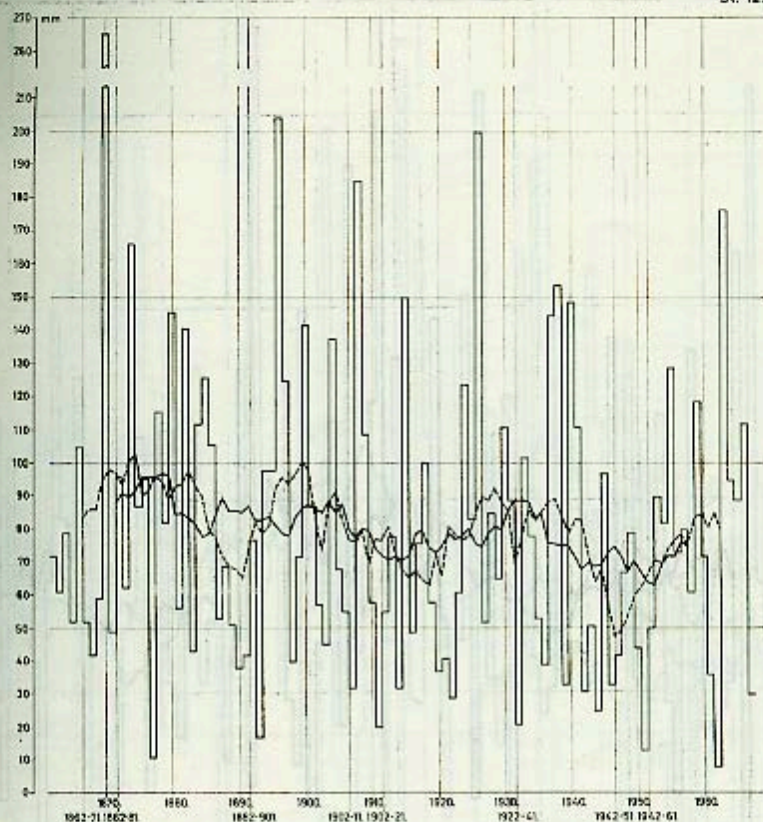
JUL

St. 11.



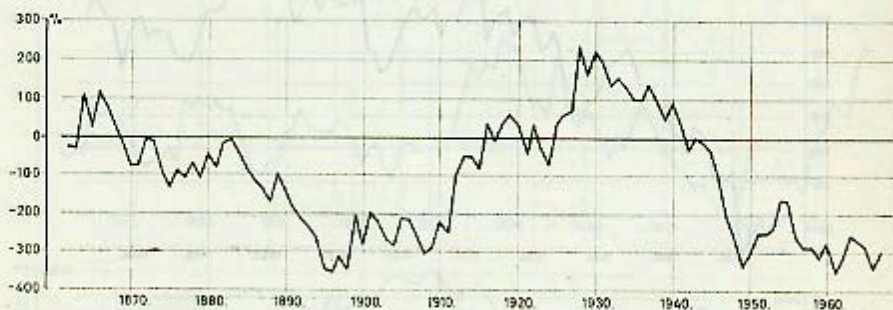
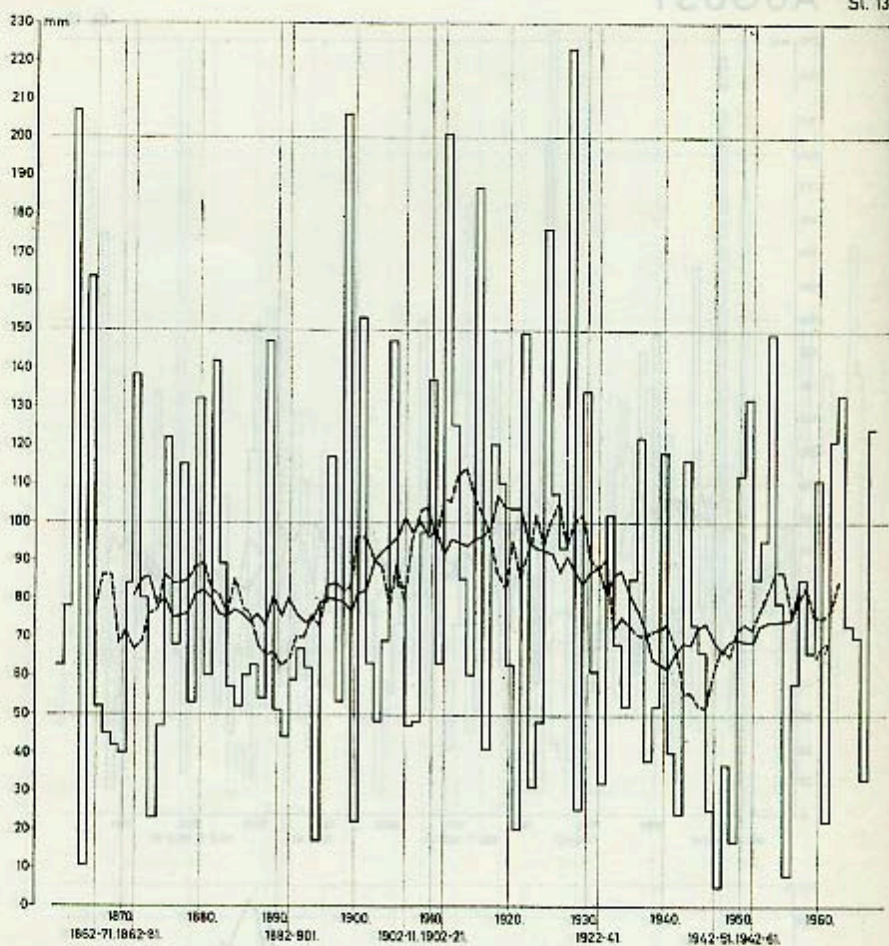
AUGUST

Sl. 12.



SEPTEMBAR

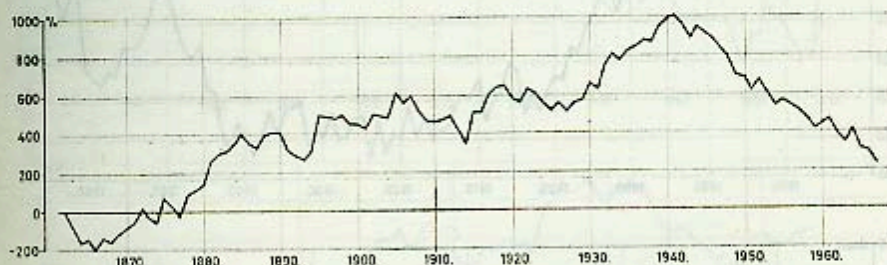
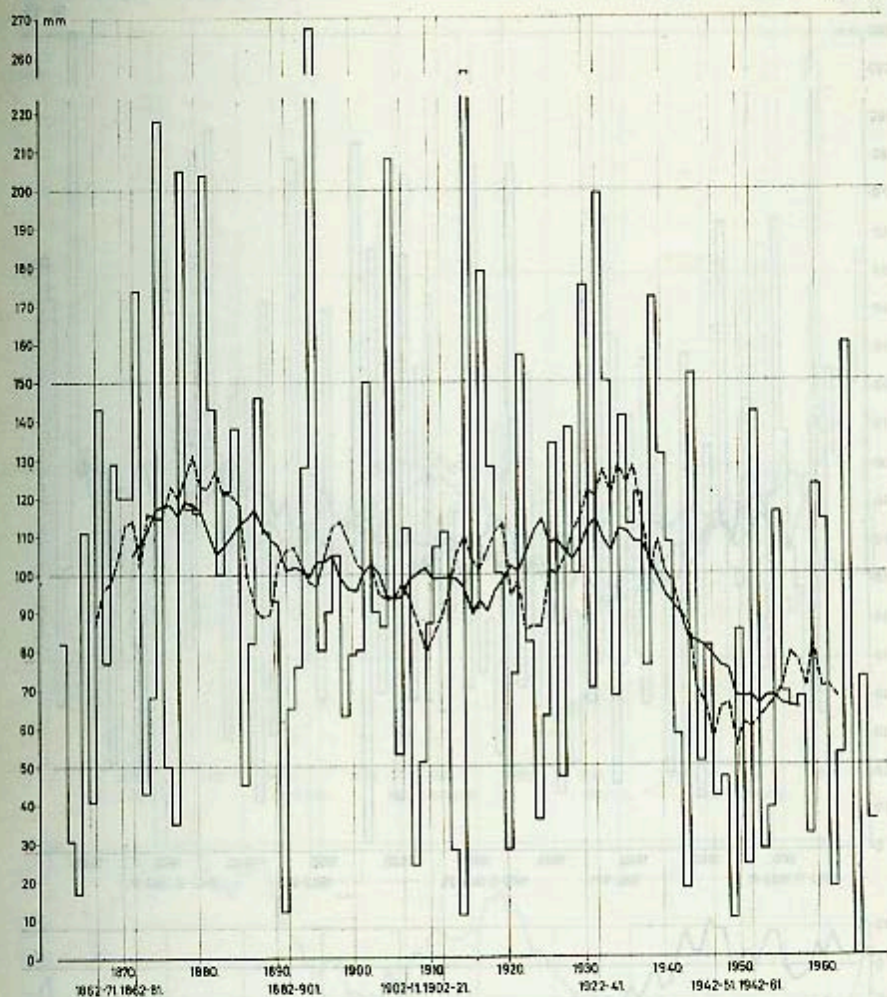
SI. 13.



OKTOBAR

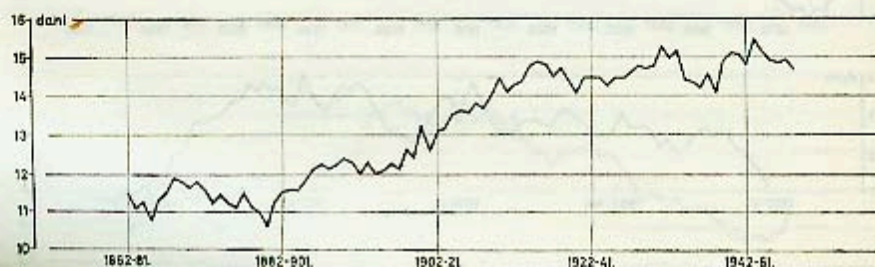
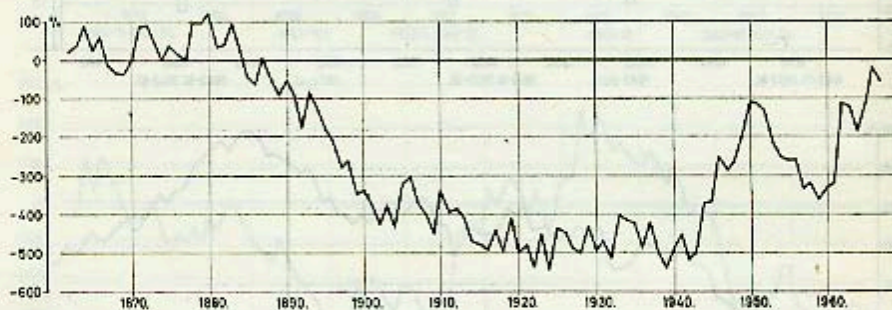
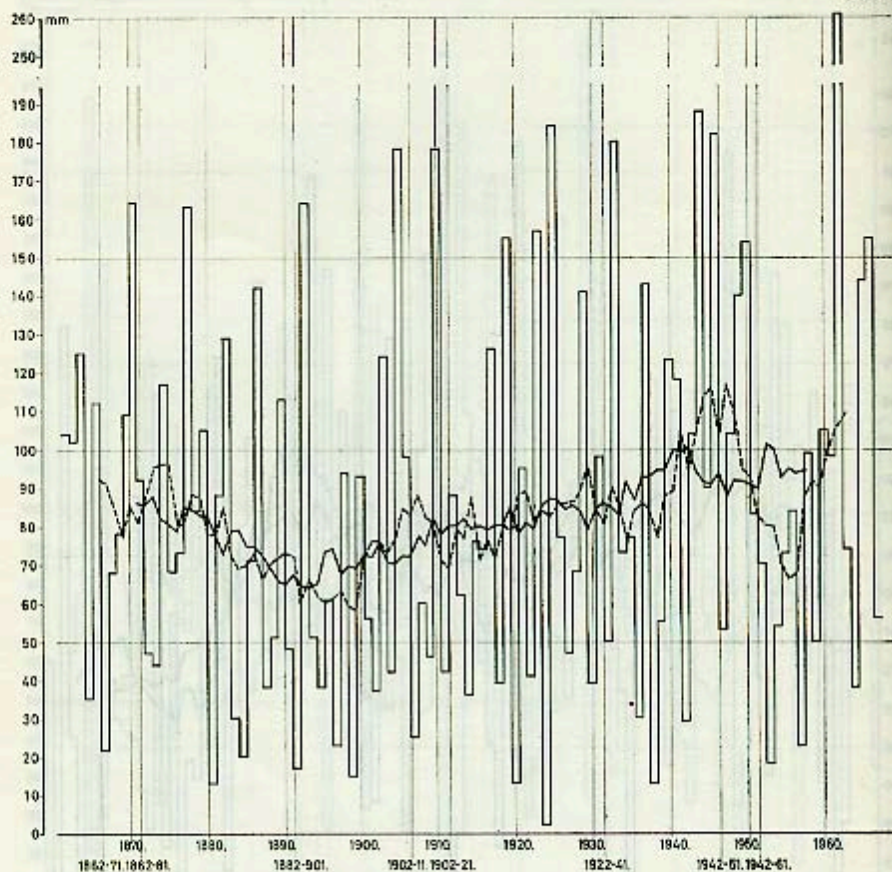
NOVEMBAR

Sl. 14.



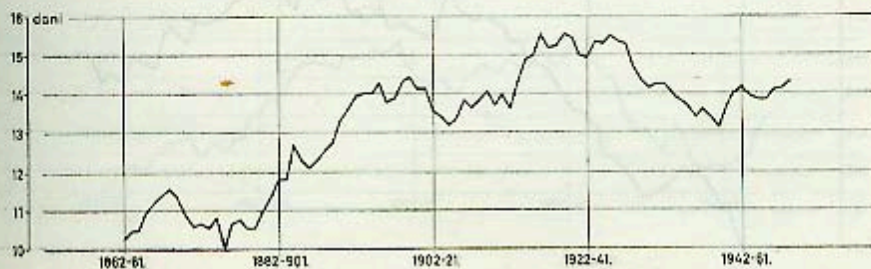
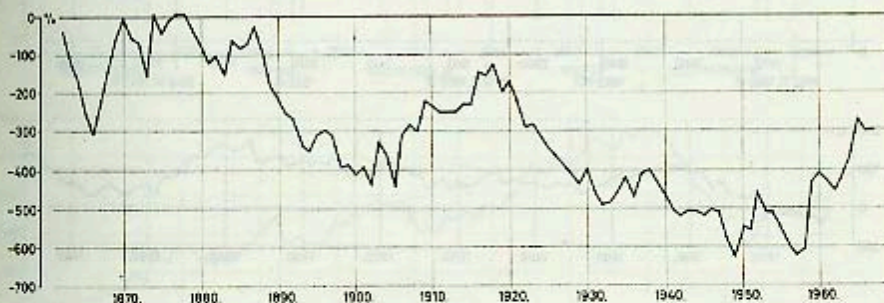
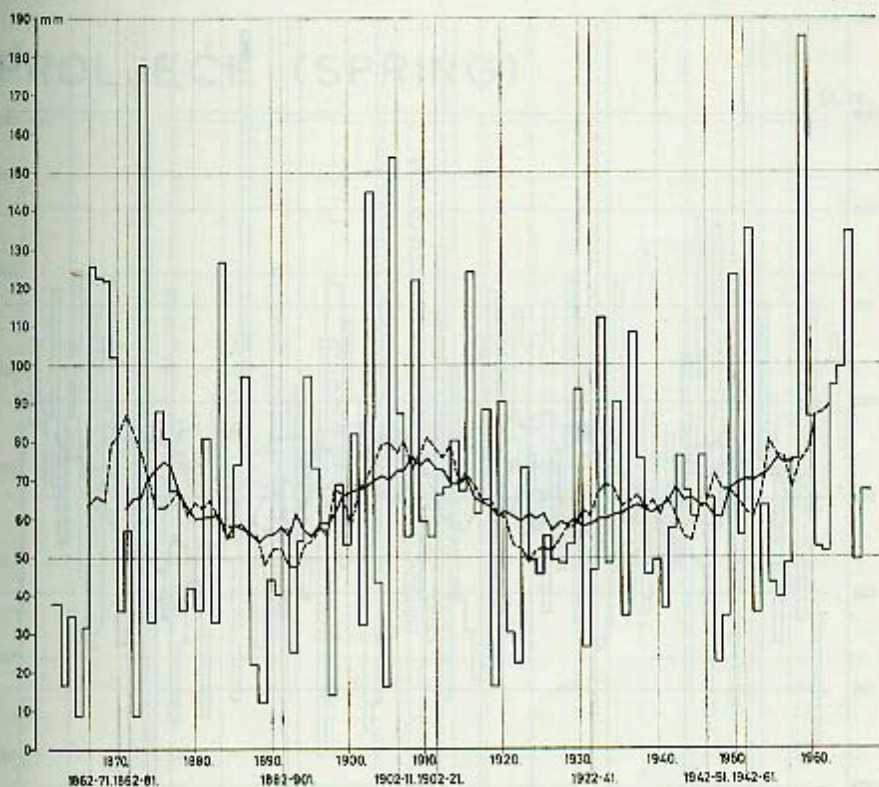
NOVEMBAR

SL. 15.



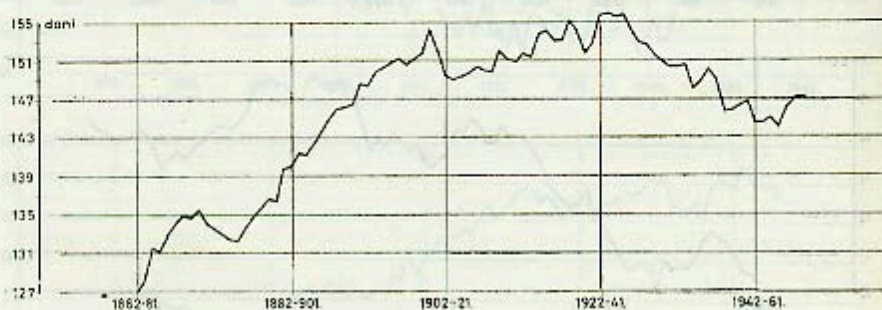
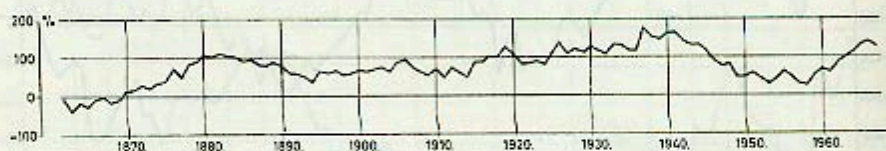
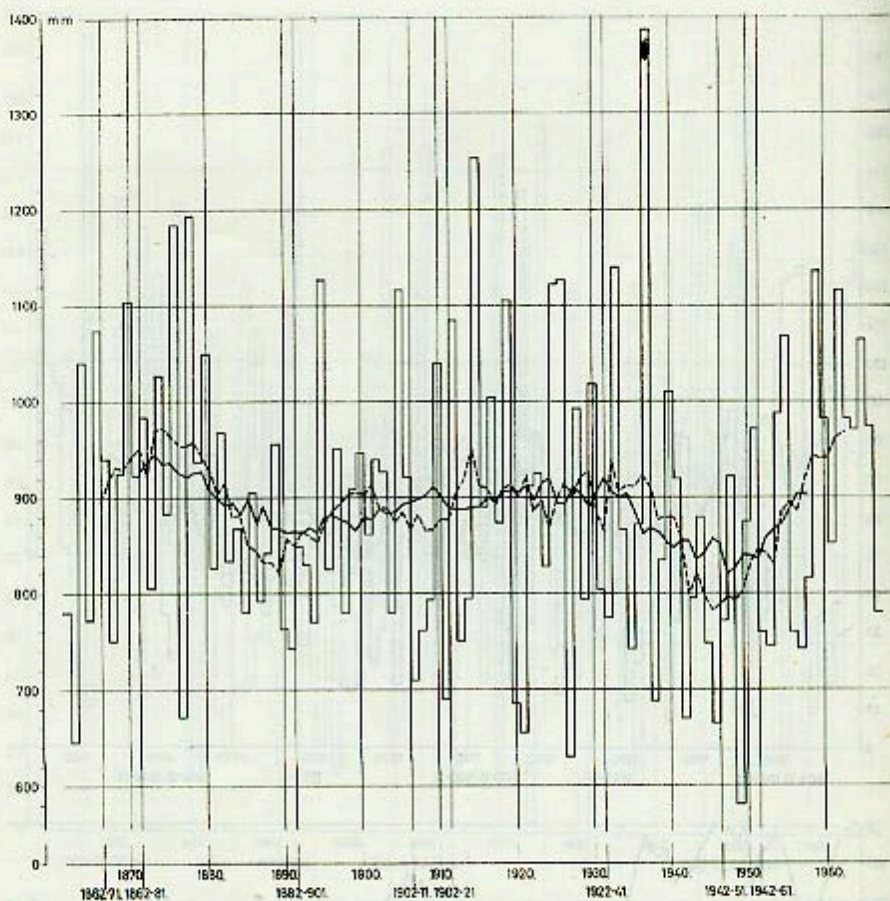
DECEMBAR

Sl. 16.



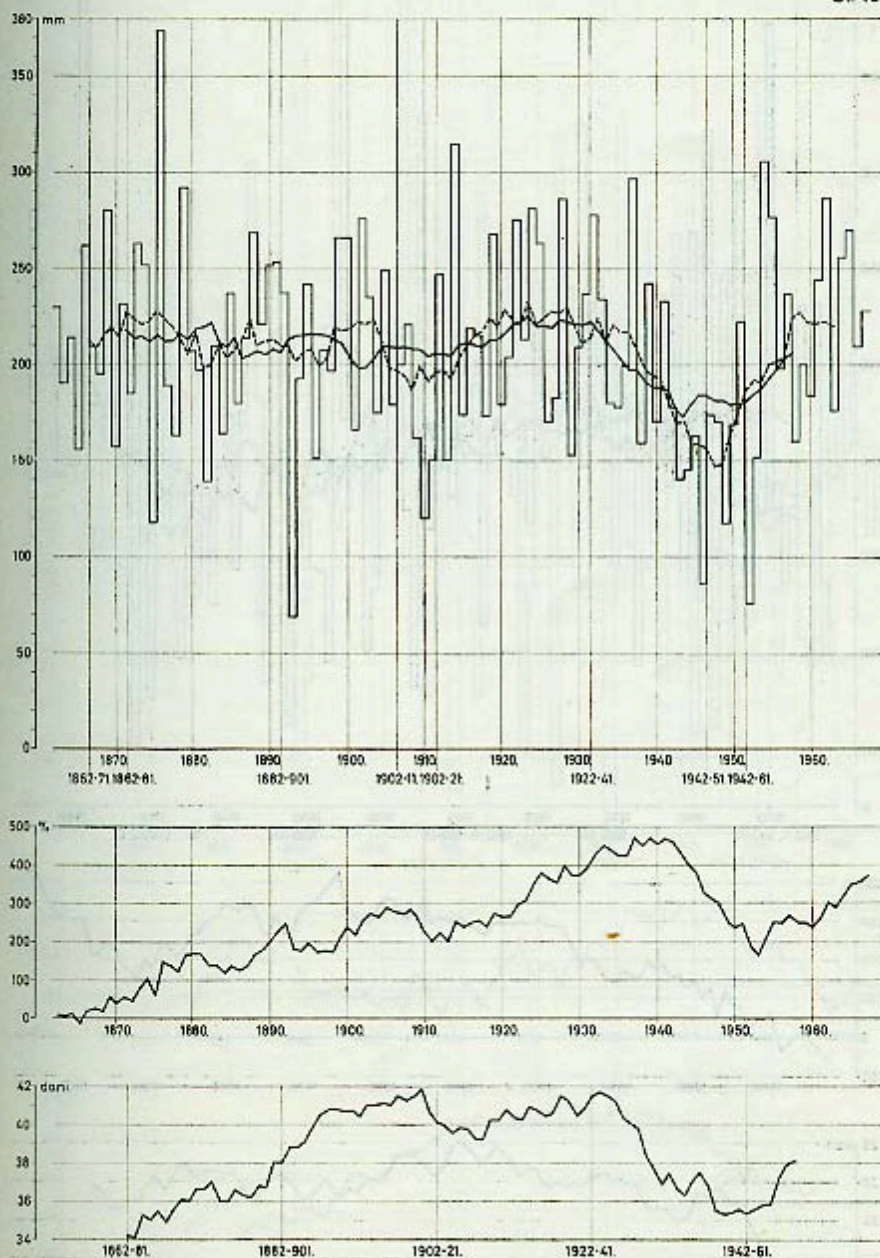
GODINA (YEAR)

ST. 17.



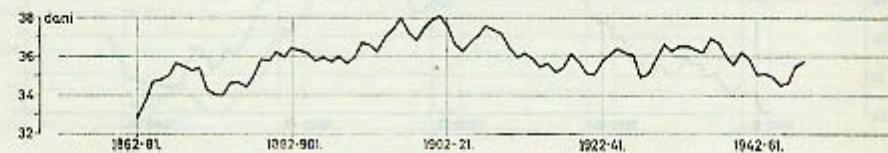
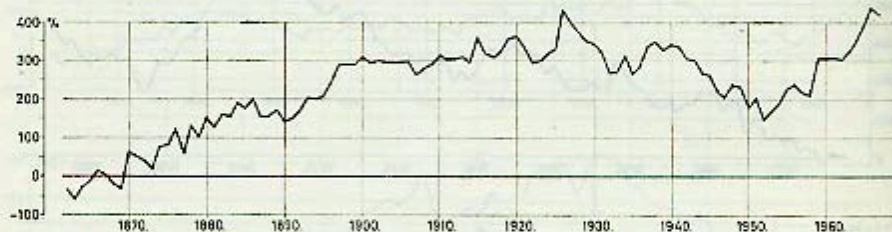
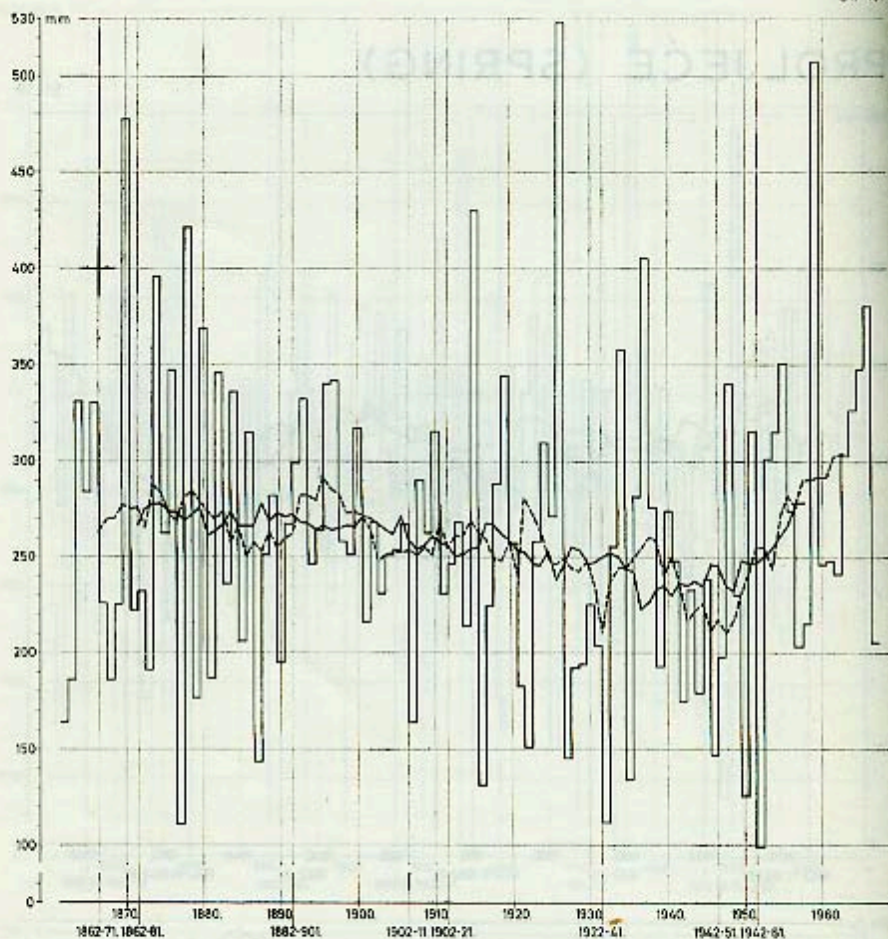
PROLJEĆE (SPRING)

Sl. 18.



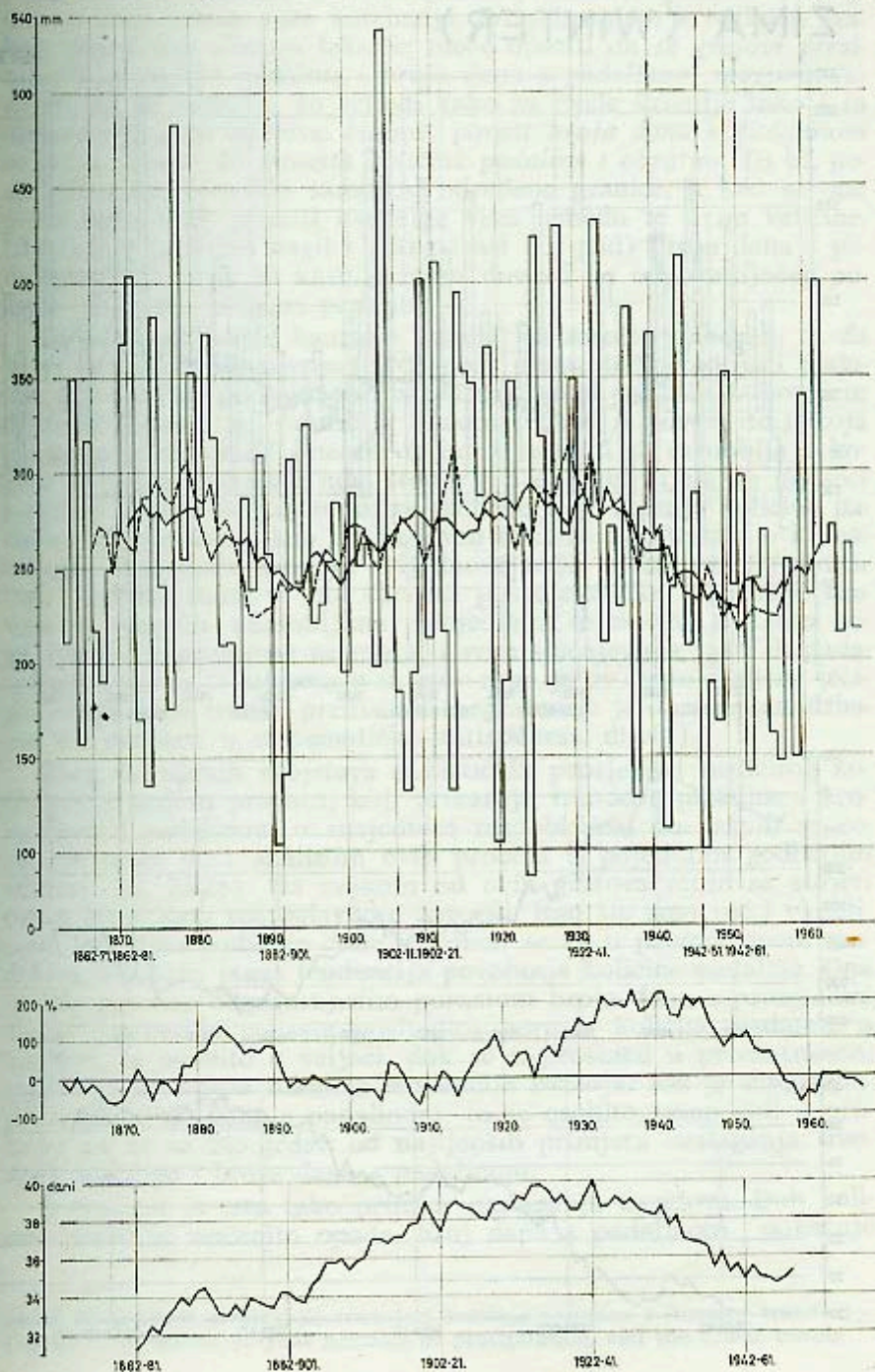
LJETO (SUMMER)

Sl. 19



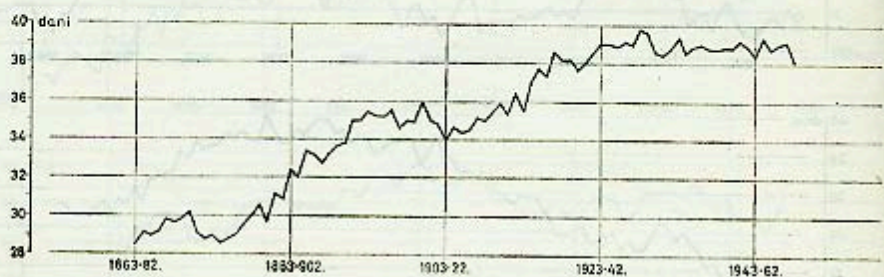
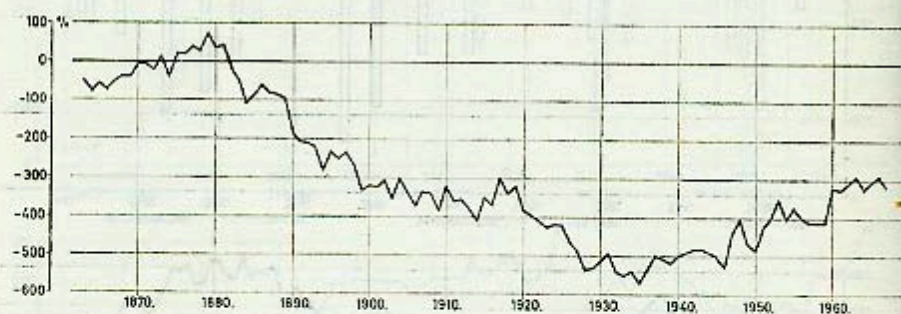
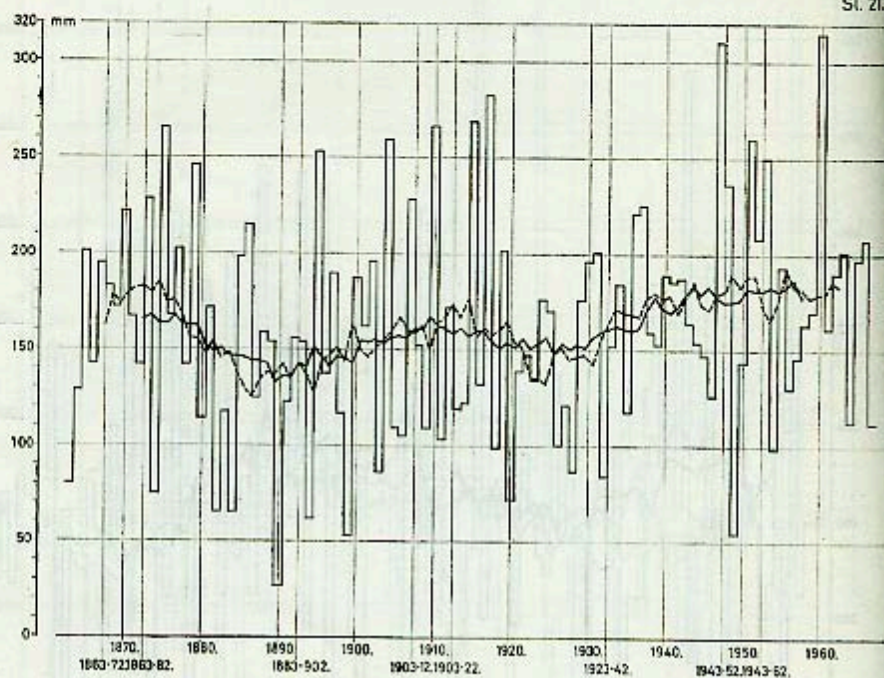
JESEN (AUTUMN)

Sl. 20.



ZIMA (WINTER)

Sl. 21.

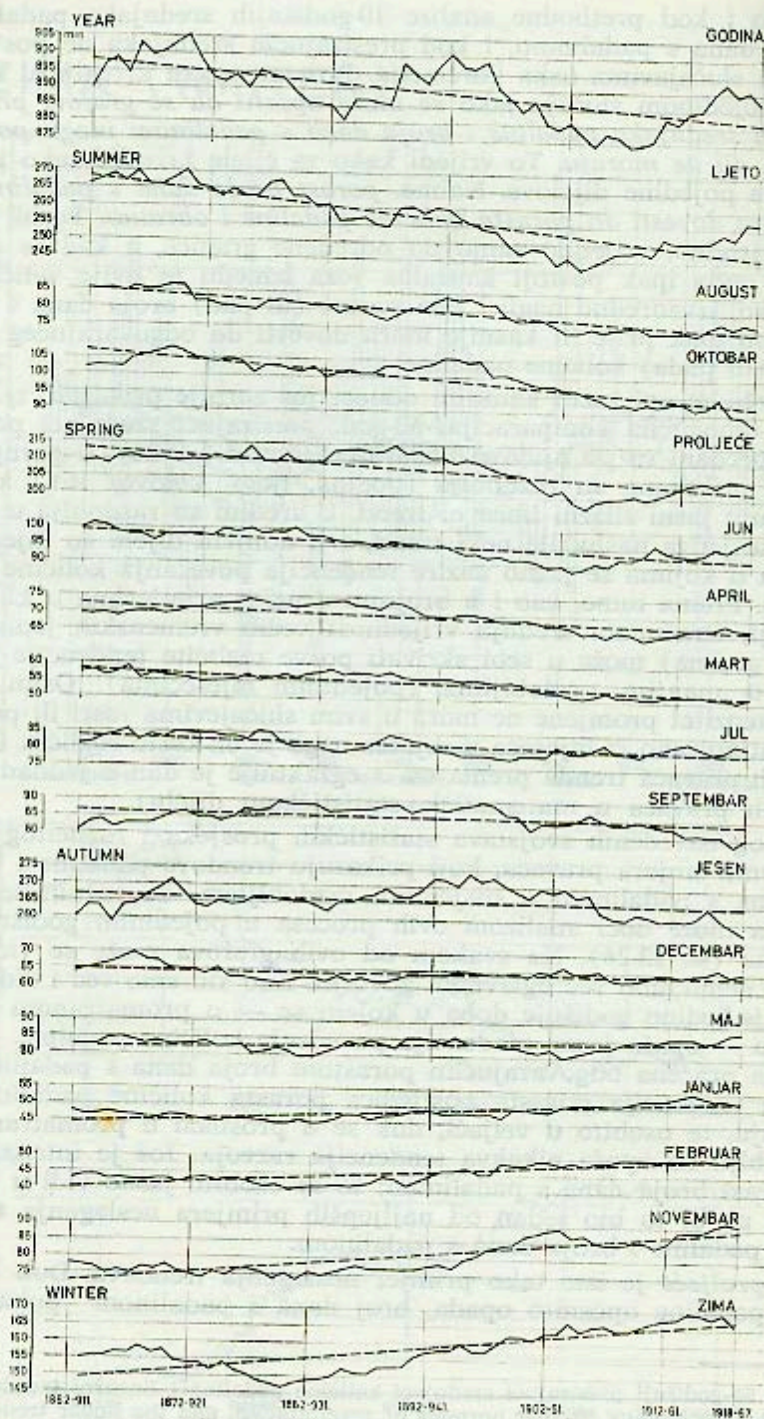


Kao i kod prethodne analize 10-godišnjih srednjaka padaline i broj dana s padalinom, i kod presizajućih srednjaka ne postoji u svim slučajevima uska korelacija. Promatranjem krivulja u svakom pojedinom slučaju lako se može opaziti *da se grafovi presizajućih srednjaka padaline i broja dana s padalinom mogu podudarati, ali ne moraju*. To vrijedi kako za cijele krivulje tako i za njihove pojedine dijelove. Naime, *porast broja dana s padalinom ne mora dovesti do porasta količine padaline i obratno*. To bi, posve prirodno, vrijedilo samo do određene granice, a kad se ona pređe onda ipak postoji kauzalna veza između te dvije veličine. Ukratko, izvanredno nagli i jaki porast (ili pad) broja dana s padalinom ipak prije ili kasnije mora dovesti do odgovarajućeg porasta (ili pada) količine padaline.

Da bi se ovi važni kauzalni odnosi još zornije prikazali, tj. da bi se omogućila komparacija, 50-god. presizajući srednjaci padaline poredani su po njihovu linearnom trendu (sl. 22). U gornjem dijelu prikazana su razdoblja (godina, ljeto, kolovoz itd.) koja pokazuju jasni silazni linearni trend. U sredini su razdoblja u kojima se jedva naslućuje neki trend, a u donjem dijelu su mjeseci i zima u kojima se jasno nazire tendencija povećanja količine padaline. Prema tome, kao i u brojnim drugim primjerima u klimatologiji, izračunata srednja vrijednost većih vremenskih jedinica (npr. godina) može u sebi skrivati posve različite tendencije razvoja u manjim razdobljima (pojednim mjesecima). Osim toga, intenzitet promjene ne mora u svim slučajevima rasti ili padati kontinuirano iz mjeseca u mjesec nego je on često različit. (Nagib tih pravaca trenda prema osi x egzaktnije je dan u jednadžbama tih pravaca u matematičko-statističkom dijelu).

Zbog navedenih svojstava statističkih prosjeka i različitog koeficijenta smjera pravaca, koji prikazuju trendove padaline i broja dana s padalinom u susjednim razdobljima, do važnih se rezultata može doći analizom ovih procesa u pojedinim godišnjim dobima (sl. 23-26). Na svakom od ovih grafova može se vidjeti ono o čemu smo već uglavnom govorili. Kao što smo već i vidjeli, zima je jedino godišnje doba u kojem se — u promatranom razdoblju — opaža jasna tendencija povećanja količine padaline. Ona je bila praćena odgovarajućim porastom broja dana s padalinom. Ta je tendencija porasta posljedica porasta količine padaline u siječnju, te osobito u veljači, dok se u prosincu u promatranom razdoblju ne opaža nikakva tendencija razvoja. Još je intenzivniji porast broja dana s padalinom; to se osobito jasno vidi u prosincu pa bi to bio jedan od najljepših primjera neslaganja trendova padaline i broja dana s padalinom.

I proljeće je isto tako primjer neslaganja trendova. Dok količina padaline općenito opada, broj dana s padalinom pokazuje



suprotan trend — on je u porastu. Ovako izvedene prosječne vrijednosti opet skrivaju u sebi komplicirani razvoj. Tendencija opadanja padaline u proljeću posljedica je istog trenda u ožujku i travnju, dok suprotno tome u svibnju je tendencija suprotna — opća količina padaline je u prosjeku u porastu. I travanj je primjer suprotne tendencije: padalina je u padu, a broj dana s padalinom je u porastu.

U suštini nešto slično postoji i u *ljetu*. Količina padaline pokazuje jaki silazni trend, dok suprotno tome broj dana s padalinom pokazuje uzlazni trend. To je odraz isto takvog trenda u svim pojedinim mjesecima; neznatna je razlika samo u lipnju, ali i tu padalina pokazuje silaznu tendenciju, a broj dana s padalinom ne pokazuje nikakav trend.

Posebno je interesantan razvoj u *jeseni*. Količina padaline pokazuje lagani silazni trend, dok je suprotno tome, trend broja dana s padalinom jako uzlazan. I ovaj prosjek skriva u sebi jako različite tendencije razvoja u pojedinim mjesecima. Osobito se jako ističe velika razlika između listopada s jakim silaznim trendom i studenog s isto takvim uzlaznim trendom padaline. Silazni trend padaline u rujnu ne može se usporediti s onim u listopadu. Odudara tendencija u razvoju broja dana s padalinom u listopadu koji je suprotan trendu padaline.

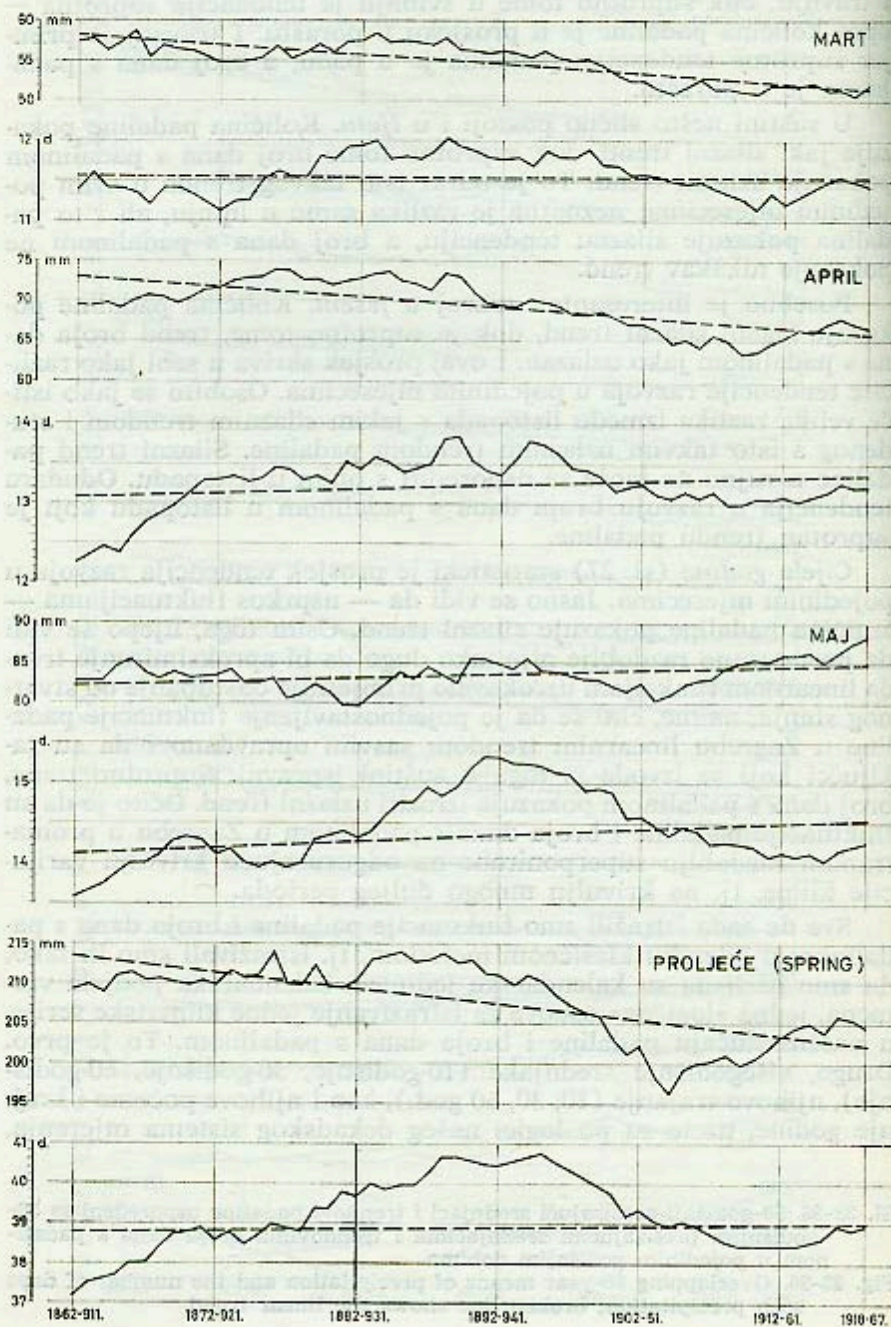
Cijela godina (sl. 27) statistički je prosjek tendencija razvoja u pojedinim mjesecima. Jasno se vidi da — usprkos fluktuacijama — količina padaline pokazuje silazni trend. Osim toga, lijepo se vidi da promatrano razdoblje nije tako dugo da bi aproksimiranje trenda linearnom funkcijom uzrokovalo primjetnije odstupanje od stvarnog stanja, naime, čini se da je pojednostavljenje fluktuacije padaline u Zagrebu linearnim trendom sasvim opravdano i da su zaključci koji se izvode iz toga u suštini ispravni. Suprotno tome, broj dana s padalinom pokazuje izraziti uzlazni trend. Očito je da su fluktuacije padaline i broja dana s padalinom u Zagrebu u promatranom razdoblju superponirane na odgovarajuću krivulju varijacije klime, tj. na krivulju mnogo duljeg perioda.

Sve do sada istražili smo fluktuacije padaline i broja dana s padalinom u Zagrebu klasičnom metodom, tj. istraživali smo ih tako, da smo uzeli da su kalendarske jedinice, kalendarska podjela vremena, jedna »logična« osnova za istraživanje jedne klimatske serije, u našem slučaju padaline i broja dana s padalinom. To je prvo. Drugo, višegodišnje srednjake (10-godišnje, 30-godišnje, 60-godišnje), njihovo trajanje (10, 30, 60 god.), kao i njihove početne i krajnje godine, uzete su po logici našeg dekadskog sistema mjerenja,

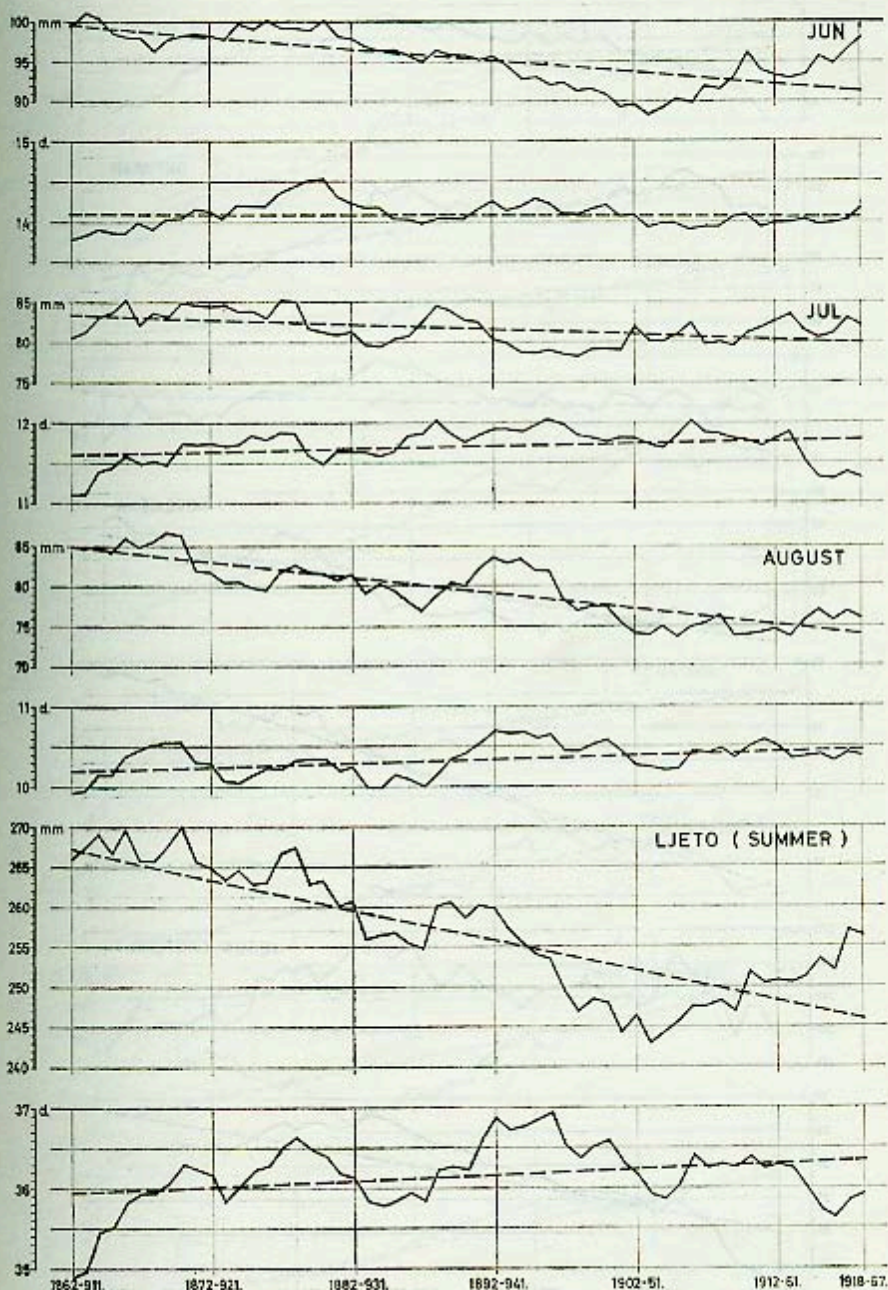
Sl. 23-26. 50-godišnji presizajući srednjaci i trendovi padaline uspoređeni sa 50-godišnjim presizajućim srednjacima i trendovima broja dana s padalinom u pojedinim godišnjim dobima

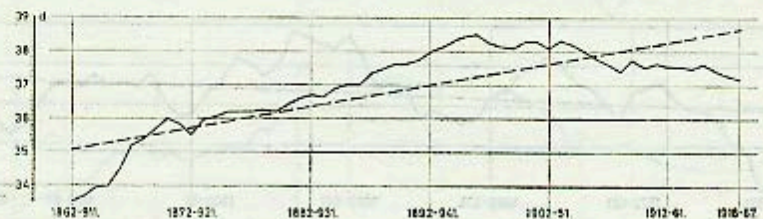
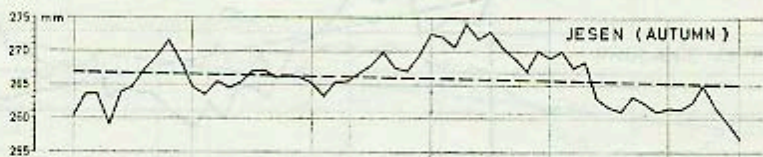
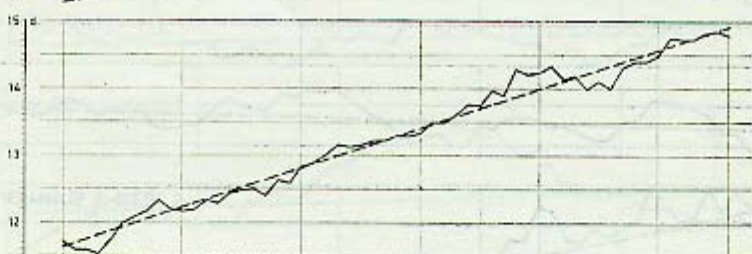
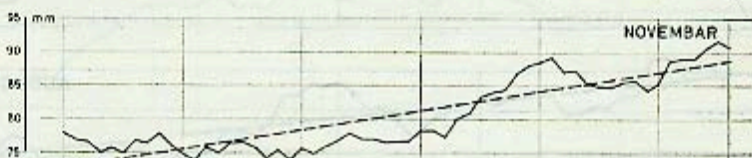
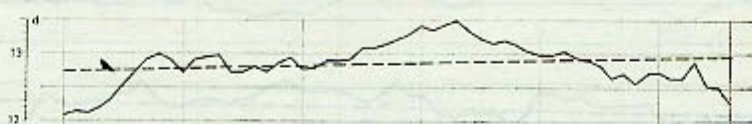
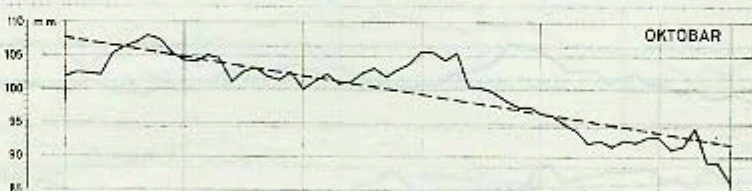
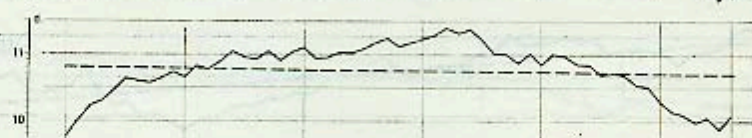
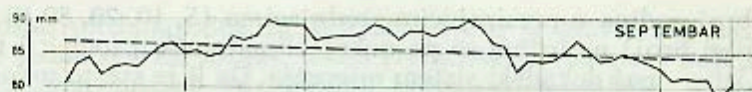
Fig. 23-26. Overlapping 50-year means of precipitation and the number of days with precipitation; broken line shows the linear trend

odnosno međunarodna su konvencija čiji je glavni cilj bio da se nađe jedna »čvrsta točka«, jedan vremenski »prametar« koji bi omogućio kvantitativno određivanje klimatske promjene. I konačno

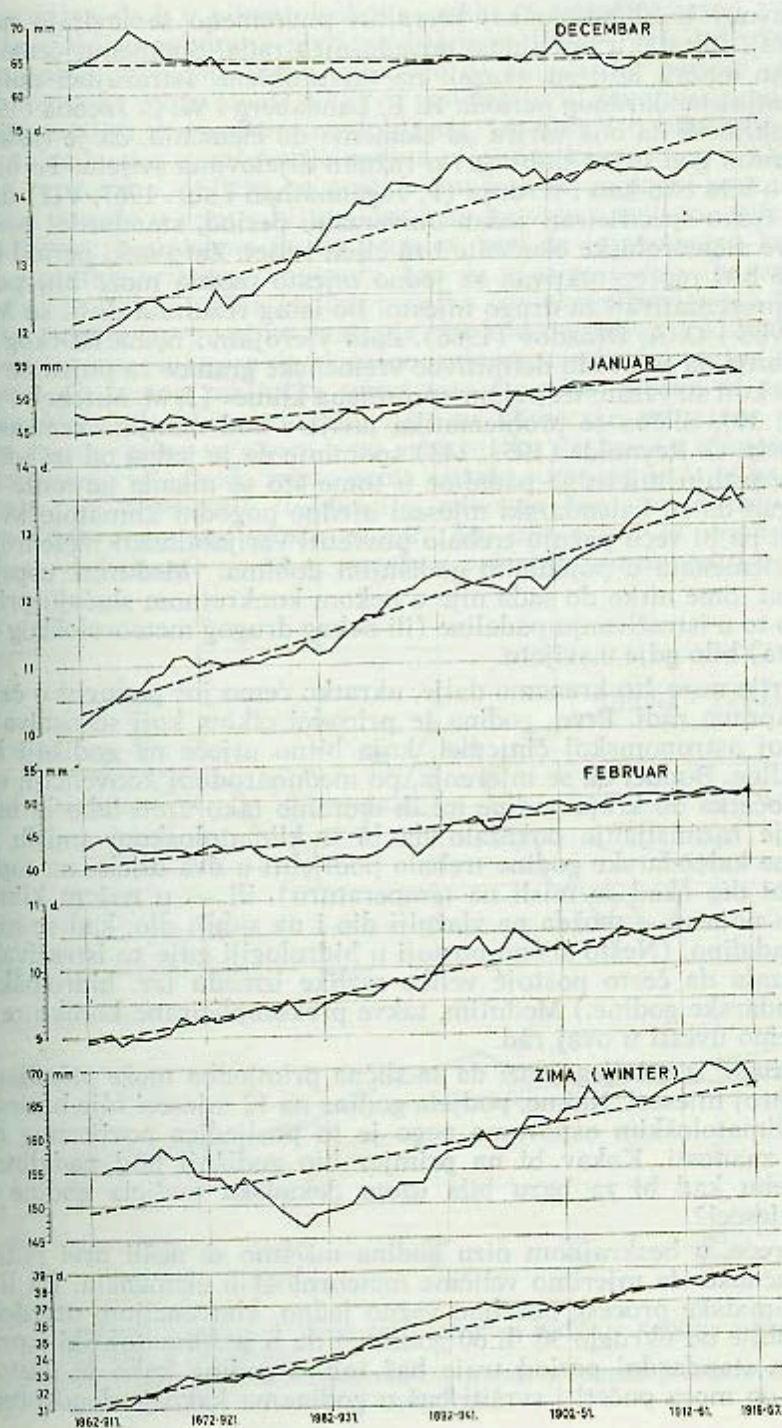


treće, broj godina u presizajućim srednjacima (5, 10, 20, 50 ili bilo koji drugi broj) ne uzima se po nekoj klimatološkoj logici; i tu je razlog isti — naš dekadski sistem mjerenja. Da li je sve to u suštini





1862-81. 1872-91. 1882-91. 1892-94. 1902-51. 1912-61. 1916-67



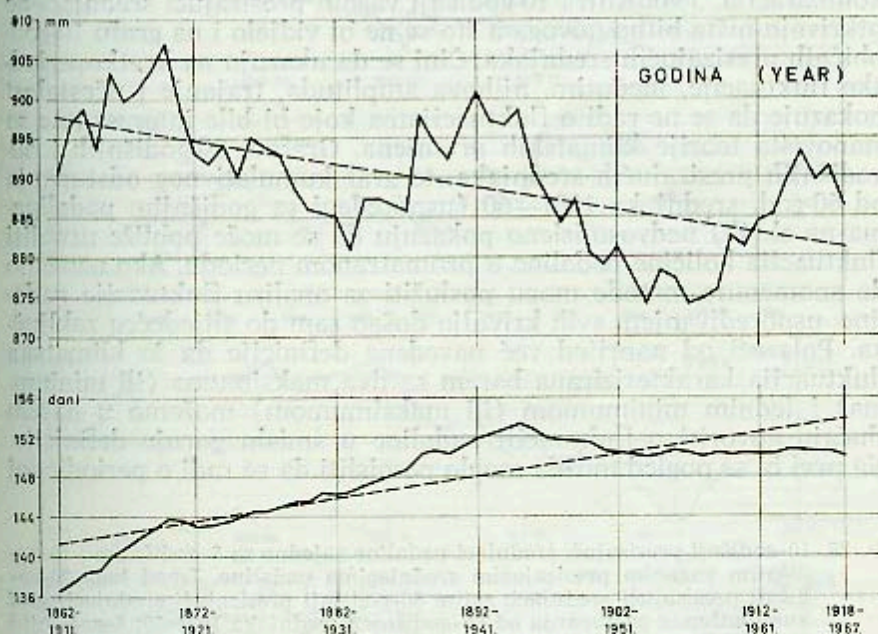
ispravno? U klimatološkoj literaturi povremeno se javljaju nago-
vještaji sumnje u pravilnost dosadašnjeg rada. Spomenut ćemo ne-
koliko autora koji su ukazali na taj problem. Istražujući duljinu
trajanja standardnog perioda H. E. Landsberg i W. C. Jacobs (1951)
su zaključili da ona varira od elementa do elementa, da je različita
u raznim godišnjim dobima i u raznim dijelovima svijeta. To bi za-
pravo bilo isto kao i tvrdnja (P. Jagannathan i sur. 1967, VII) da je
vrlo teško specificirati jedan univerzalni period, standardni period
za sve meteorološke elemente i za cijeli svijet. Zato neki period koji
može biti reprezentativan za jedno mjesto možda može biti posve
nerepresentativan za drugo mjesto. Do istog rezultata došli su M. I.
Budyko i O. A. Drozdov (1966). Zato vjerojatno nema fizičkog op-
ravdanja da se uvedu definitivne vremenske granice za pojedine ter-
mine koji su vezani uz pojam »promjena klime« (J. M. Mitchell i sur.
1966, 30). Slična se problematika javlja i kod manjih vremenskih
podjela. G. Reynolds (1953, 143) spominje da je jedna od teškoća u
proučavanju mjesečne padaline u tome što se nikada ne može biti
siguran da su kalendarski mjeseci ujedno pogodni klimatološki pe-
riodi, pa bi veću pažnju trebalo posvetiti varijabilnosti meteorološ-
kih elemenata u pojedinim godišnjim dobima. Međutim, usprkos
svemu tome nitko do sada nije u nekom konkretnom slučaju primi-
jenio to u istraživanju padaline (ili nekog drugog meteorološkog ele-
menta) bilo gdje u svijetu.

Prije nego što krenemo dalje, ukratko ćemo još ponoviti o čemu
se zapravo radi. Prvo, godina je prirodni ciklus koji se osniva na
jednoj astronomskoj činjenici, koja bitno utječe na godišnji hod
padaline. Budući da se mjerenja, po međunarodnoj konvenciji, vrše
od početka do kraja godine mi ih moramo tako uzeti iako bi malo
dublje razmišljanje pokazalo da bi u klimatološkom smislu su-
sjedne kalendarske godine trebalo podijeliti u dva dijela, na topli i
hladni dio (kad se misli na temperaturu), ili — u našem klimat-
skom pojasu — možda na vlažniji dio i na suhlji dio, kad se misli
na padalinu. (Nešto slično postoji u hidrologiji gdje su istraživanja
pokazala da često postoje velike razlike između tzv. hidrološke i
kalendarske godine.) Međutim, takve prekomplikirane korekture ne
možemo uvesti u ovaj rad.

Drugo, iz gornjeg izlazi da se slična primjedba može primijeniti
i na broj mjeseci. Naime, podjela godine na 12 mjeseci nije bazirana
na klimatološkim osnovama nego je to posljedica povijesnog raz-
voja znanosti. Kakav bi na primjer bio godišnji hod padaline u
Zagrebu kad bi za bazu bila uzeta dekadska podjela godine na
10 mjeseci?

Treće, u beskrajnom nizu godina mi smo se našli prvi puta u
možućnosti da mjerimo veličine meteoroloških elemenata. Da li je
za klimatske procese posebno važno jedno, konvencijom utvrđeno,
razdoblje od okruglo 30 ili 60 godina, i da li je klimatološki isprav-
no da standardni period traje baš toliko godina kako je uzeto, i
da li on mora početi i svršiti baš u godinama kako je dogovoreno.

Na primjer, da li u klimatološkom smislu standardni period 1901—60. ima kakvu prednost pred srednjakom 1902—1961. itd? Dakle, poznavanje problema jasno pokazuje da standardni periodi iz klimatologije ne mogu imati nikakvu privilegiju ili prednost pred bilo kojim ranijim ili kasnijim razdobljima, jer naše (ili bilo koje drugo) kalendarsko označavanje godina nije ni u kakvoj vezi s klimatskim procesima. (Slična se greška čini kad se geološki procesi ili pojave dovode u vezu s historijom iako nemaju apsolutno ništa zajedničkoga; besmisleno je, na primjer, reći da je pronađen kostur nekog prehistorijskog dinosaura, kao da je za periodizaciju razvoja organskog svijeta važna godina početka čovjekove povijesti.) To je toliko važnije što posebno značenje baš kod utvrđivanja klimatskih promjena ima činjenica da slučajno izabran standardni period može dovesti do krivog zaključka samo zato što nije izabran ni po kakvom klimatološkom kriteriju. *Ako su klimatske promjene nižeg reda doista realne veličine* a ne »statistička varka« (o klimatskim promjenama višeg reda zaista nema nimalo sumnje) *onda bi baza za istraživanje klimatskih fluktuacija, odnosno baza za istraživanje klimatskih promjena uopće, morale biti one same, tj. vremensko njihovo definiranje ne bi se smjelo a priori nužno dovoditi u vezu*



Sl. 27. 50-godišnji preklapajući srednjaci i trendovi godišnje količine padaline i broja dana s padalinom

Fig. 27. Overlapping 50-year means, and the trends of annual precipitation and the number of days with precipitation

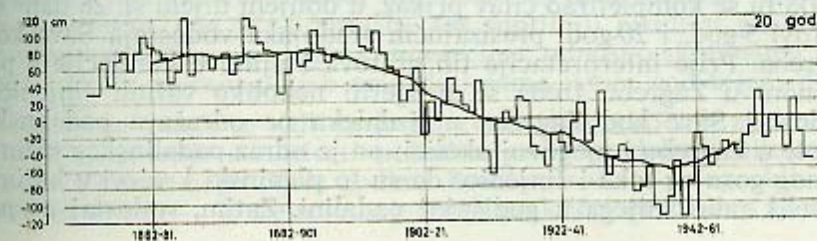
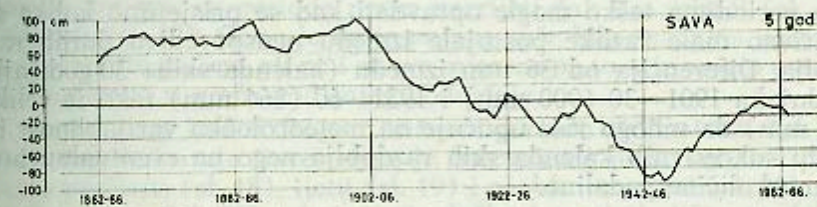
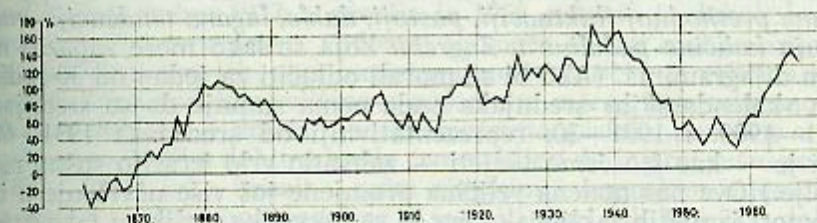
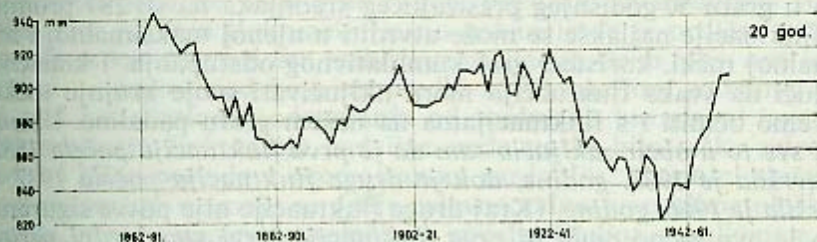
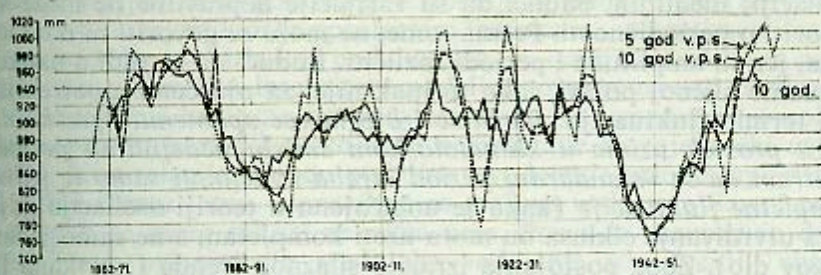
s kalendarskom podjelom i s konvencionalnom, dekadskom vremenskom periodizacijom. Ili još zornije: Ne postoji klimatološka osnova da bi se prva godina, 1901. ili 1931. kalendarska godina smatrale izuzetno važnima i da bi veličine povezane uz promjene klime trebalo prilagođavati njihovu položaju u toku vremena.

Četvrto, da bi još više istakli važnost ove tvrdnje pretpostavit ćemo da se varijable (godišnje, sezonske, mjesečne vrijednosti nekog meteorološkog elementa) pravilno mijenjaju, tj. pretpostavit ćemo da je njihov grafički prikaz sinusoida (ili neka druga pravilna oscilacija). Posve različite standardne veličine dobit ćemo ako je period za njihovo izračunavanje jednak trajanju cijelog ciklusa, ili smo uzeli jedan dio brijega vala, ili pak jedan dio doline sinusoida itd. Prema tome, uzmemo li da količina padaline u nekom duljem vremenskom nizu ne ovisi isključivo o statističkoj slučajnosti, nego da osim nje postoji povremeno sistematska pojava većeg broja varijabli čija je vrijednost iznad (ili ispod) prosjeka, onda će izračunati standardni prosjek mnogo ovisiti o tome koji je dio niza »zahaćen« tim prosjekom.

Sve ovo što je rečeno primijenit ćemo u istraživanju fluktuacije padaline u Zagrebu (sl. 28). Da bi zaključci bili što je moguće ispravniji, zajedno su prikazani razni grafovi kako bi se omogućila komparacija. 5-godišnji i 10-godišnji vagani presizajući srednjaci ne otkrivaju ništa bitno novoga a što se ne bi vidjelo i na grafu 10-god. običnih presizajućih srednjaka. Čini se da ukazuju na kratkoperiodske fluktuacije, međutim, njihova amplituda, trajanje i učestalost pokazuje da se ne radi o fluktuacijama koje bi bile interesantne sa stanovišta teorije klimatskih promjena. Grafovi 20-godišnjih i 50-godišnjih presizajućih srednjaka, te graf kumulativnog odstupanja od 60-god. srednjaka 1901—60 (uspoređeni sa godišnjim padalinama na sl. 17) nedvosmisleno pokazuju da se može pobliže utvrditi fluktuacija količine padaline u promatranom periodu. Ako uzmemo da spomenute metode mogu poslužiti za analizu fluktuacije padaline, uspoređivanjem svih krivulja došao sam do slijedećeg zaključka. Polazeći od naprijed već navedene definicije da je klimatska fluktuacija karakterizirana barem sa dva maksimuma (ili minimuma) i jednim minimumom (ili maksimumom) možemo u našem slučaju govoriti o fluktuaciji padaline u smislu gornje definicije. Na prvi bi se pogled možda moglo pomisliti da se radi o periodičnoj

Sl. 28. 10-godišnji presizajući srednjaci padaline zajedno sa 5-godišnjim i 10-godišnjim vaganim presizajućim srednjacima padaline. Ispod toga 20-godišnji presizajući srednjaci, zatim 50-godišnji presizajući srednjaci; graf kumulativnog odstupanja od 60-godišnjeg srednjaka 1901-60; 5-godišnji i 20-godišnji presizajući srednjaci vodostaja Save kod Zagreba

Fig. 28. Overlapping 10-year means of annual precipitation, 5-unit and 10-unit weighted running means. Below: 20-year overlapping means, 50-year moving averages, cumulative percentual deviations from the 1901-60 means, 5-year and 20-year overlapping means of water stages of Sava River at Zagreb



oscilaciji; međutim, budući da su varijacije nepravilne ne može se govoriti o periodičnosti. Prema tome, ne može se govoriti ni o ciklusima, jer su amplitude i periodi različiti. Budući da se radi o naoko, formalno sličnoj pojavi, iako to ipak nije, za nju ćemo upotrebljavati termin fluktuacija. *Da bi se izbjegla već spomenuta greška da se za prosjek uzima u klimatološkom smislu nedefiniran period, smatram da se »standardni period« treba izračunati samo iz jedne kompletne fluktuacije* (kako je uobičajeno u teoriji oscilacija gdje se za utvrđivanje ciklusa on mora uzeti kompletan, a ne samo jedan njegov dio). Zbog postojanja izrazito silaznog trenda (iscrtkana linija u grafu 50-godišnjeg presizajućeg srednjaka na sl. 28) promjena fluktuacije najlakše se može utvrditi u njenoj maksimalnoj i minimalnoj točki, koristeći graf kumulativnog odstupanja. I konačno, budući da svaka fluktuacija mora uključivati svoje krajnje točke, to ćemo učiniti i s fluktuacijama na našem grafu padaline. *Uzimajući sve to u obzir zaključio sam da je prva fluktuacija počela 1882, a završila je 1937. godine, dok je druga fluktuacija počela 1937, a završila je 1966. godine.* (Kraj druge fluktuacije nije posve siguran.) Ako je ovo tačno onda bi prva fluktuacija, prvi standardni period za izračunavanje količine padaline u Zagrebu trajao 56 godina (1882—1937), a drugi standardni period bi trajao 30 godina (1937—1966). U prvom periodu (u prvoj fluktuaciji) srednja godišnja količina padaline iznosila je 893 mm, a u drugoj fluktuaciji 889 mm. Prema tome, prilično argumentirano se može tvrditi da je prosječna količina padaline u posljednjoj fluktuaciji opala za 4 mm u odnosu prema prethodnoj fluktuaciji, postoji, dakle, lagana tendencija smanjenja količine padaline u Zagrebu koja se lako može zapaziti na svim dijagramima. (Ako bi se morali odlučiti za jedan od 30-godišnjih »kalendarskih« srednjaka onda nema sumnje da su srednjaci 1871—1900. i 1901—30. reprezentativniji od srednjaka 1931—60. koji je — kao što ćemo vidjeti — zahvatio vrlo izrazito sušno razdoblje.) Ova nas malena veličina promjene još više učvršćuje u ispravnost iznijetih zaključaka, jer bi se prevelike razlike u tako kratkim periodima teško mogle opravdati kad se prisjetimo kolike su relativno male razlike postojale između neusporedivo duljih razdoblja. Diferencija od 36 mm između (kalendarskih) 30-godišnjih srednjaka 1901—30 (900 mm) i 1931—60 (864 mm) tako je velika (36 mm) da mnogo više upućuje na meteorološku varijabilnost između sukcesivnih kalendarskih razdoblja nego na eventualnu promjenu količine padaline.

Da bi se kompletirao čitav prikaz, u donjem dijelu sl. 28 dani su grafovi 5-god. i 20-god. presizajućih srednjaka vodostaja Save kod Zagreba. Prije interpretacije tih grafova i njihove korelacije s padalinom u Zagrebu treba se prisjetiti nekoliko važnih činjenica. Vodostaj Save kod Zagreba ni izdaleka ne odražava padalinske uvjete u Zagrebu i njegovoj okolini; on je odraz padalinskog režima njenog gornjeg toka i činjenice da su to planinski krajevi u kojima je velik udio snijega u godišnjoj padalini. Zatim, vodostaj ne po-

kazuje varijabilnost godišnjeg vodostaja u onoj mjeri (barem ne kad se vodostaj prikazuje apsolutnim jedinicama, u centimetrima vodostaja) kako se opaža kod padaline; on je »smireniji«. Visina vodostaja mnogo ovisi o intenzitetu padaline, o propusnosti podloge u kojoj se nalazi korito, o temperaturi zraka, tj. evaporaciji (osobito ljeti), profilu korita i postojanju nasipa. Sve to zajednički utječe na to da je relacija između padaline i vodostaja vrlo komplicirana. Usprkos svemu tome, uspoređenjem grafova vodostaja Save i padaline ipak se može otkriti nekakva veza. Posve je razumljivo da je graf 5-god. presizajućih srednjaka vodostaja izlomljeniji, sličniji grafovima padaline nego graf 20-god. presizajućih srednjaka vodostaja. Ova potonja fluktuacija jasno pokazuje da je prilično pravilna i da se kao takva dosta približava oscilaciji. Osim toga, ona je — čini se — dugoperodska u usporedbi s fluktuacijom padaline. Ako bi graf kumulativnog odstupanja od srednjaka bio glavni izvor za interpretaciju fluktuacije padaline onda ne bi bilo teško odrediti sušne i kišne periode u promatranom razdoblju. (Termini »kišni« i »sušni« periodi uzimaju se ovdje uslovno, odnosno u klimatološkom smislu, a ne u agrometeorološkom smislu. Godina s količinom padaline manjom od prosjeka označuje se sušnom, a godina s padalinom većom od prosjeka bila bi kišna. Suša je previše kompleksna, multikauzalna pojava a da bi se mogla odrediti samo milimetrima padaline u jednom razdoblju.) Analiza grafova pokazuje da se sušni period koji je počeo 1882, a završio 1894, jedva primjetno odrazio na padu presizajućih srednjaka vodostaja Save. Međutim, sušni period koji je počeo 1937, a završio je 1958. ostavio je dubok trag u vodostaju Save (zapravo, vodostaj je počeo padati mnogo prije toga). Godišnji prosjek, opet naglašavamo, statistička je veličina koja u sebi skriva različite veličine u pojedinim mjesecima, odnosno godišnjim dobima. I doista, ako promotrimo grafove padaline u pojedinim godišnjim dobima, onda ćemo vidjeti da je prvi sušni period (1882—1894) jako izrazit u svim zimskim i jesenskim mjesecima, pa time i u grafovima padaline u jeseni i zimi (sl. 20 i 21), dok se tragovi tog sušnog perioda mogu nazrijeti čak i u veljači (sl. 6) i kolovozu (sl. 12). Očito je da je pojava suše bila značajna pretežno za hladan dio godine, ali ne i za sve mjesece pa to nije moglo ostaviti dubljeg traga u grafu godišnjeg vodostaja.

Suprotno je bilo u drugom sušnom periodu 1937—1958. Jak pad godišnjeg vodostaja Save odraz je isto takvog pada količine padaline u proljeću (sl. 18), ljetu (sl. 19) i osobito u jeseni (sl. 20). Izuzetak je zima (sl. 21) u kojoj nije došlo do pada količine padaline, nego obratno, ona je — porasla. Još suptilniji rezultati postizu se analizom padaline u pojedinim mjesecima, odnosno skupinama mjeseci koji ne moraju uvijek pripadati samo istom godišnjem dobu.

Iz svega ovoga se vidi da je za izvođenje praktičnih zaključaka mnogo pogodnije analizirati pojedina godišnja doba i njima pripadne mjesece nego cijele godine. Problem suše — u agroklimatološkom smislu — je sigurno najvažniji praktični problem s kojim se

susrećemo kod ovakvih istraživanja. Zato ćemo najprije promotriti promjene količine padaline u toplom dijelu godine, iako nismo za boravili da se suša ne može definirati samo milimetrima padaline, iako i tu mora postojati donja granica; ako se ona pređe morala bi biti suša pa makar bi raspodjela padaline mogla biti povoljna. Prva činjenica koju treba konstatirati je da sušna i kišna razdoblja u pojedinim godišnjim dobima i pripadnim mjesecima nisu ni počela ni svršila u onim godinama kada se ona pojavila u nizu godišnje padaline, tj. ne postoji sinhronost. Na sl. 18 lijepo se vidi da je najizrazitije sušno razdoblje u nizu *proljetnih* padalina počelo poslije 1937, a završilo je 1953. kad se javlja niz proljeća s padalinom većom od prosjeka. Da su zaključci ispravni potvrđuje poznata činjenica da je to razdoblje poznatih suša koje su pogodile naše krajeve, osobito poslije drugog svjetskog rata. Korelacija s brojem dana s padalinom je vrlo jaka; te bi se suše mogle objasniti malim brojem dana s padalinom. Naš 106-godišnji period nije dovoljno dug da bi se mogao izvesti zaključak o trajanju »standardnog perioda«, odnosno da bi se odredilo trajanje fluktuacije. Naime, potrebno je još nekoliko godina da bi se mogao odrediti maksimum padaline u sadašnjem kišnom razdoblju, a s druge strane ne može se odrediti minimum u početnim godinama motrenja. Interesantno je analizirati grafove svakog pojedinog proljetnog mjeseca, ali nisam sklon izvođenju nekih dalekosežnih, možda nepotrebnih, zaključaka jer su mjeseci »kalendarske«, »umjetne« veličine, pa sve što treba utvrditi bolje je to učiniti na grafovima godišnjih doba.

Pogled na *ljetni* niz padaline i odgovarajuće grafove (sl. 19) pokazuje da posljednji niz sušnih godina nije tako izrazit kao u proljeću. Sušni je period bio relativno slabije izražen po intenzitetu, ali je zato ranije počeo, tj. poslije 1926. godine, a završio je 1952. Te su promjene više posljedica promjene u intenzitetu padaline nego u broju dana s padalinom. Ni u ovom slučaju — zbog istih razloga kao i kod proljeća — nije moguće odrediti trajanje fluktuacije padaline.

Niz *jesenske* padaline (sl. 20), odnosno 10-godišnji i 20-godišnji prezirajući srednjaci vrlo jasno ukazuju na fluktuaciju padaline. Prvi sušni period započeo je 1883, a trajao je do 1908. Drugi isto tako izrazit sušni period počeo je 1937, a izgleda da je prestao 1959. Ima osnove pretpostavka da je moguće utvrditi trajanje fluktuacije. On je obuhvatio razdoblje od 1883. do 1937; prema tome, trajao je 55 godina. Izračunati jesenski srednjak pomoću ove fluktuacije iznosi 267,16 mm, što nije velika razlika prema srednjaku 1901—60, koji iznosi 262 mm. Interesantno je da studeni (sl. 15) pripada zimskom tipu, pa otuda velika sličnost s grafom padaline na sl. 21.

Niz *zimske* padaline i njene izgladene krivulje pokazuju sasvim drukčiji trend. Dosta je komplicirana fluktuacija, a što je posljedica isto takvih krivulja u pojedinim mjesecima. Zato je interpretacija grafova zimske padaline mnogo teža nego u dosadašnjim slučajevima, odnosno to je lakše učiniti u pojedinim mjesecima.

Šudeći prema grafu kumulativnog odstupanja od srednjaka može se izvesti slijedeći zaključak. God. 1879. počelo je razdoblje u kojem je prevladao broj zima sa količinom padaline manjom od prosjeka; to je trajalo do 1935. kad je nastupilo razdoblje s padalinom iznad prosjeka. Međutim, graf broja dana s padalinom (sl. 21) i graf 50-god. presizajućih srednjaka (sl. 26) čini se da pokazuju da je gornja interpretacija neispravna nego da je bolje uzeti da je »sušno« razdoblje počelo 1879, a svršilo je negdje oko 1890. kad je počelo razdoblje s postepenim porastom količine padaline. Da li je dostignut maksimum ne može se decidirano tvrditi.

Literatura

- Ahlmann H. W.: The Present Climatic Fluctuation. *Geographical Journal* CXII, Nos 1-3, 165-195, London 1948.
- Alissow B.P., Drosdow O.A. i Rubinstein E.S.: *Lehrbuch der Klimatologie*. Berlin 1956.
- Brooks C.E.P. i Carruthers N.: *Handbook of Statistical Methods in Meteorology*. London 1953.
- Budyko M.I. i Drozdov O.A.: O primeneni osrednenija v klimatologičeskijh isledovanijah. *Meteorologija i gidrologija* no 10, 3-6, Moskva 1966.
- Conrad V. i Pollak L.W.: *Methods in Climatology*. Cambridge 1950.
- Drozdov O.A. i Rubinštejn E.S.: Čto sleduet nazvyvat' klimatičeskimi normami? *Izvestija Akademii nauk SSSR, serija geografičeskaja*, no 1, 93-98, Moskva 1966.
- Goldberg J.: Prilozi istraživanju klimatskih fluktuacija u Jugoslaviji. *Radovi Geofizičkog instituta III*, br. 3, 1-27, Zagreb 1953.
- Jagannathan P., Arléry R., Kate H. ten i Zavarina M.V.: A Note on Climatological Normals. *World Meteorological Organization, Tehnical Note No 84*, X + 19, Genève 1967.
- Kovačević M.: Historijski pregled meteoroloških opažanja. *Hidrometeorološki glasnik* 1, 35-46, Beograd 1948.
- Landsberg H.E. i Jacobs W.C.: *Applied Climatology*. T.F. Malone, edit.: *Compendium of Meteorology*, 976-992, Boston 1951.
- Lysgaard L.: Recent Climatic Fluctuations. *Folia geographica danica* 5, I-III, København 1949.
- Mitchell J.M., Dzerdzevskij B., Flohn H., Hofmeyr W.L., Lamb H.H., Rao K.N. i Wallén C.C.: *Climatic Change*. *World Meteorological Organization, Tehnical Note No 79*, Genève 1966.
- Penzar B., Volarić B. i Penzar I.: Istraživanje sekularnih nizova meteoroloških elemenata. *Elaborat pohranjen u biblioteci Geofizičkog zavoda PMF-a Grič* 3, Zagreb 1965.
- Reynolds G.: Rainfall at Bidston, 1867-1951. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 79, 137-149, London 1953.
- Vujević P.: *Klimatološka statistika*. Beograd 1956.

Summary

SECULAR FLUCTUATIONS OF PRECIPITATION IN ZAGREB, CROATIA

by T. Segota

It is a well known fact that the problem of the climatic change is very much debated in the literature because significant climatic changes which have occurred within the past 100 years have proven to be very impressive economically. Rainfall records have been kept in Zagreb since December 1, 1861, which makes them the oldest precipitation data in Yugoslavia for which the homogeneity of the record is beyond all question.

In the second part the author discussed the meaning and the definition of the «standard period», the length of the reference period necessary for the calculation of mean precipitation values. This article was written in accordance with some recommendations given by the Working Group on Climatological Normals of the WMO Commission for Climatology.

In the third part are given the formulas for the calculation of the means, standard deviations, coefficients of variations, moving averages, the graphs of cumulative percentual deviations from the means, the linear trends of the precipitation and the days with precipitation, and the weighted moving averages of the precipitation.

The result of the investigation can be summarized as follows:

1. Successive 10-year averages reveal that the causal relationship between precipitation and the number of days with precipitation is not at all simple. Greater number of days with precipitation do not mean more precipitation, and conversely.
2. Thirty-year periods are inadequate for the purpose of obtaining stable average precipitation. This is possible to obtain only by means of 60-year period.
3. Standard deviations reveal a known fact that the precipitation is characterized by very great variability.
4. Seasonal and monthly fluctuations of precipitation and the number of days with precipitation vary in magnitude and phase.
5. Like the trend lines, the graphs of the moving averages reveal that the precipitation curves are not always similar to the curves of the days with precipitation.
6. Starting from the fact that the position of any calendar year in a time series, as well as the length of the standard period, its beginning and end years, the number of items in the moving averages, are in no relation at all to the climatic fluctuations, the author came to the conclusion that there are no justification and physical reason to define standard periods in the way which is practiced now. From a purely climatological standpoint the period 1901-30 has no advantage to the 1902-31 or 1903-32 or any other 30-year period. Similarly we can say about the 60-year period 1901-60. Analysing the curves of the Fig. 5-21 one can reveal that precipitation fluctuations are not regular oscillations, but in spite of this one can see the maximum and the minimum positions on the curves. The closer examinations of the curves clearly show that the precipitation fluctuations are in essence wavelike motion but without regular periodicity and amplitude. (According to Webster's New International Dictionary fluctuation is a motion like that of waves. Fluctuation means to move as a wave... Hence, to be wavering, unsteady, irresolute, or undetermined. To fluctuate suggests irregular or alternating movement.) Accordingly, the curves of moving averages of the precipitation resemble the wavelike motion, and it is not difficult to discover the succession of wavelike crests and hollows. Accordingly to J.M. Mitchell et al. (1966, p. 27) climatic fluctuation is characterized

by at least two maxima (or minima) and one minimum (or maximum) including those at the end points of the record. Hence, the multiannual precipitation mean can not be calculated using the data which belong only to the crest of a fluctuation, nor the data which belong only to the hollow of a fluctuation. The multiannual mean must be calculated only using the data belonging to a complete fluctuation including (in the case of Zagreb's annual mean) two maxima and one minimum. In this way it is possible to separate two fluctuations (Fig. 28). If our suppositions are correct it is not difficult to conclude that the standard period have to be equal in length to the complete fluctuation. The first fluctuation, the first standard period began in 1882, and ended in 1937; hence, it lasted 56 years. The second fluctuation or the second standard period in 1937, and ended in 1966; accordingly, it lasted 30 years. In the first fluctuation the mean annual precipitation was 893 mm., and in the second fluctuation 889 mm. The difference is 4 mm. So, we can conclude that there exist a general downward trend of annual precipitation in Zagreb.

The difference between the 1901-60 normal (881 mm.) and the normals derived from the fluctuations 1882-1937 (893 mm.) and 1937-66 (889 mm.) is not great, and this points out that the normals in Central Croatia must be computed from the period of the order of magnitude of 60 years. The thirty-year normals are not stable, especially not the normal from the period 1931-60 which is characterized by many years with precipitation smaller than the average. (This was a period of well-known droughts with far reaching economic consequences).

In the majority of seasons and monthly precipitation curves it is not possible at this moment to calculate the means using the fluctuations because they are of the different order of magnitude, mainly greater than in the case of the annual curve. The period of observation is not enough long to discern one complete fluctuation. The exception is the autumn (Fig. 20). One can suppose that the fluctuation lasted from 1883-1937 (i.e. 55 years). In this period the calculated mean was 267 mm. which is slightly different to 262 mm. mean derived from a 1901-60 standard period.

7. All we said in the point 6 leads us to the conclusion that the means of precipitation in Zagreb climatic region must be derived from the 60-year standard period.