

GEOFIZIKA	Vol. 2	1985
-----------	--------	------

Izvorni znanstveni rad
UDK 551.582

Signifikantnost recentnih klimatskih fluktuacija u Zagrebu

Nadežda Šinik

Geofizički zavod, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb

Prinijeto 18. prosinca 1984., u konačnom obliku 15. svibnja 1985.

Signifikantnost klimatskih fluktuacija u sjeverozapadnoj Hrvatskoj ispitana je pomoću F-testa, modificiranog s obzirom na postojanje autokorelacije u nizovima meteoroloških podataka. Test je primijenjen na filtrirane nizove temperature, solarne radijacije, naoblake, tlaka zraka i oborine opservatorija Zagreb-Grič i potvrdio je signifikantnost klimatske fluktuacije temperature, solarne radijacije i naoblake. Stohastičke korelacije između tih elemenata otkrile su dominantan utjecaj naoblake i solarne radijacije na klimatske temperature normale Zagreba.

The significance of recent climatic fluctuations at Zagreb

A significance of climatic fluctuations in northwestern Croatia has been investigated by means of a modified F-test which takes into account the appearance of autocorrelations in the meteorological data series. The test has been applied to the filtered series of temperature, solar radiation, cloudiness, air pressure and precipitation at Zagreb-Grič observatory and it has confirmed a significant climatic fluctuation of air temperature, solar radiation and cloudiness. Stochastic correlations amongst these climatic elements revealed a dominant influence of cloudiness and solar radiation upon the temperature climatic normals at Zagreb.

1. Uvod

Dosadašnja istraživanja klime i klimatskih varijacija sjeverozapadnog dijela Hrvatske (Goldberg, 1953 i 1954; Penzar B, Volarić B. i I. Penzar 1967; Makjanić, 1970 i 1977; Šinik i Pleško 1967; Šinik, 1979 i 1981, i dr.), provedena na osnovi sekularnog niza podataka o meteorološkim elementima na opservatoriju Zagreb-Grič ($\varphi = 45^{\circ}49'N$, $\lambda = 15^{\circ}59'E$), otkrila su izmjenjivanje maritimnih i kontinentalnih utjecaja uz trend porasta temperature i naoblake, dok tlak zraka i količina oborine, unatoč znatnoj inter-annualnoj varijabilnosti (Jurčec, 1976), nisu pokazali nikakav klimatski trend. Takve klimatske osobine Zagreba i njegove okoline, uglavnom, se podudaraju s rezultatima istraživanja klimatskih varijacija u susjednim krajevima. Manohin (1959) ukazuje na trend porasta temperature u Ljubljani od sredine prošlog stoljeća (posebno tijekom zime), a slični rezultati navode se za temperaturu zraka u Austriji (Cehak, 1977).

Osnovni problem u svim tim istraživanjima je u znanstveno fundiranoj definiciji klime te u objektivnoj ocjeni realnosti klimatskih fluktuacija.

Fizikalno je logično, da je klima sinteza vremenskih stanja kroz dulje vrijeme.

Klasična je klimatologija smatrala da klimu definiraju "normalne" vrijednosti klimatskih elemenata, koje su bolje ako su izvedene iz što duljeg perioda. Međutim, razvoj ljudskih saznanja o varijacijama klime, dakle – varijacijama klimatskih normala, doveo je konačno do 111. rezolucije Međunarodne konferencije meteorologa 1935. godine u Varšavi, gdje je dana nova definicija klime i njenih varijacija (Goldberg, 1954): „Kao klima definirat će se srednje meteorološke prilike za mjesec i godinu računate iz perioda od 30 godina; kao fluktuacije klime definirat će se razlike između dviju srednjih vrijednosti računatih iz 30 godina . . .” Smatralo se, dakle, da je 30-godišnji period dovoljno dug da se na njemu ne odražavaju bitno anomalije pojedinih godina, a istovremeno dovoljno kratak da može determinirati dugotrajni sekularni proces varijacija klime.

Takvu statističku definiciju treba povezati s fizikalnim objašnjenjem suštinske razlike koja postoji u karakteru klimatskih varijacija, a koja je jasno definirana u radu Landsberg i Malbert (1975): „Promjenom klime smatramo varijaciju, koja vodi iz jedne energetske ravnoteže u drugu kao što je razlika između glacijalnih i interglacijalnih klimatskih intervala. Promjena sadrži vremensku skalu od 10^3 i više godina. Kao fluktuaciju tretiramo pomake u vrijednostima klimatskih elemenata u vremenskoj skali od 10 do 10^2 godina. Logično rasuđivanje o ovoj razlici vodi do zaključka, da su sile koje izazivaju velike dugotrajne promjene različite od onih vezanih uz kraće trajanje i manju veličinu . . .”.

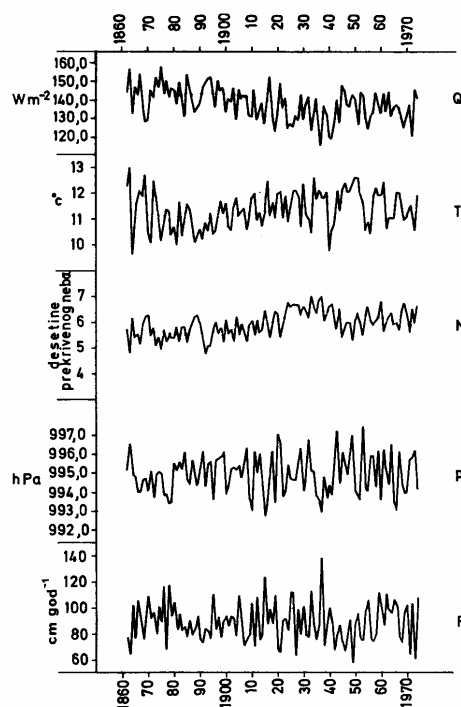
Stogodišnji nizovi podataka u našim krajevima prekratki su za ocjenu klimatske promjene, međutim (kao što je već navedeno), pomoću njih je detektirana klimatska fluktuacija temperature. Njena je realnost ispitana primjenom centralnog graničnog teorema u radu Penzar B, Volarić B. i I. Penzar (1967).

U ovom je radu prošireno ispitivanje realnosti klimatskih nizova Zagreba upotrebom modificiranog F-testa koji isključuje mogući utjecaj persistencije u nizu na ocjenu signifikantnosti klimatske fluktuacije. Zatim je na filtrirane nizove globalne radijacije (naziv "solarna" i "globalna" radijacija u daljnjem tekstu označavaju isti po-

jam), naoblake i temperature, koji su ukazali na signifikantnu varijaciju, primijenjena korelaciona analiza. Ona je ustanovila dominantan utjecaj naoblake na recentnu temperaturnu fluktuaciju zagrebačke klime.

2. Modificirani F-test

U ovom su radu proučavani nizovi podataka opservatorija Zagreb-Grič u razdoblju 1862–1974. slijedećih klimatoloških elemenata: godišnje sume solarne radijacije Q , srednje godišnje temperature zraka T , srednje godišnje naoblake N , godišnje količine oborine R i srednjeg godišnjeg tlaka zraka p . Svi su podaci uzeti iz publikacije "KLIMATSKI PODACI OPSERVATORIJA ZAGREB-GRIČ ZA RAZDOBLJE 1862–1967"



Slika 1. Sekularni hodovi godišnje sume globalne radijacije (Q), srednje godišnje temperature zraka (T), srednje godišnje naoblake (N), srednjeg godišnjeg tlaka zraka (p) i godišnje količine oborine (R)

Zagreb-Grič (1862–1974)

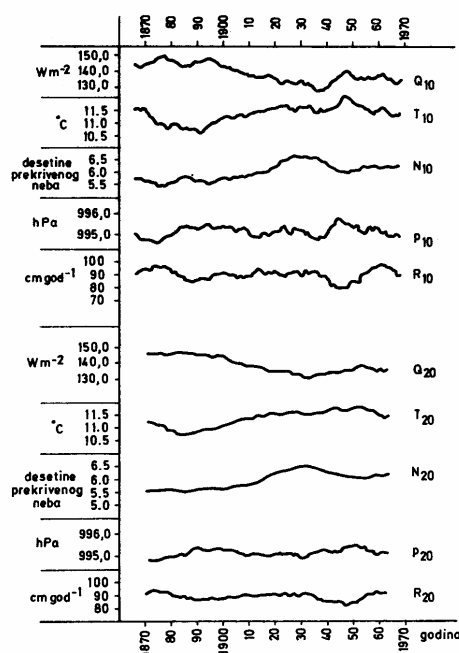
Figure 1. Secular variations of solar radiation annual sums (Q), mean annual air temperature (T), mean annual cloudiness (N), mean annual air pressure (p) and precipitation annual amounts (R)

Zagreb-Grič (1862–1974)

(Zagreb, 1970), uz dodatne podatke do 1974. Svi nizovi predstavljaju mjerene ili motrene vrijednosti, osim globalne radijacije koja ima mjerene vrijednosti samo za posljednje tri decenije, a sve ostalo je izračunao dr I. Penzar pomoću radijacije pri vedrom nebu i naoblake te uz pomoć insolacije. Nizovi su prikazani na sl. 1.

Nizovi pokazuju izrazitu interanuelnu varijabilnost, odnosno kratkoperiodične oscilacije ("klimatski šum"). Eliminiranje takvih oscilacija iz osnovnog niza podataka obavlja se pomoću raznih filtera (Brooks and Carruthers, 1953) od kojih su neki već ispitani i primijenjeni kod sekularnih nizova temperature T i oborine R (Penzar B, Volarić B. i I. Penzar, 1967). U praksi se najčešće upotrebljava filter aritmetičkih srednjaka zbog svoje jednostavnosti. Uz njegovu primjenu, međutim, može doći do pojave tzv. Slutzky-Yule efekta koji i kod sasvim slučajnih nizova amplificira oscilacije dulje valne periode, premda u takvom slučaju nema realne klimatske fluktuacije (WMO Techn. Note No 79, 1966).

Gore navedeni nizovi također su filtrirani aritmetičkim osrednjavanjem (sl. 2). Realnost eventualnih dugoperiodičnih klimatskih fluktuacija tako filtriranih nizova

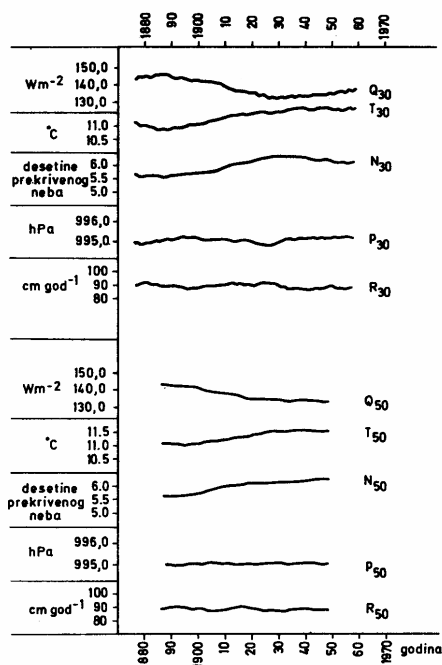


Slika 2. Sekularni hodovi Q , T , N , p i R (godišnje vrijednosti), 10-godišnji (X_{10}) i 20-godišnji (X_{20}) aritmetički srednjaci

Zagreb-Grič (1862–1974)

Figure 2. Secular variation of Q , T , N , p and R (annual values), 10 years (X_{10}) and 20 years (X_{20}) arithmetical means

Zagreb-Grič (1862–1974)

Slika 2. Nastavak: 30-godišnji srednjaci (X_{30}) i 50-godišnji srednjaci (X_{50})Figure 2. Continues: 30-years (X_{30}) and 50 years (X_{50}) arithmetical means

testirana je u ovom radu Snedecorovim F-testom (Craddock, 1957) gdje $F > 1$ ukazuje na klimatsku fluktuaciju. Prednost ovog testa je u tome da se može primjenjivati na omjer varijanci bez obzira na vrstu filtera.

Veličina F definirana je kao:

$$F = \frac{nV_n}{V} \quad (1)$$

gdje je V – varijanca osnovnog niza, V_n – varijanca filtriranog niza i n – broj godina osrednjavanja.

Rezultati ove analize prikazani su na lijevoj strani (A) slike 3.

Međutim, i F-testom još nije u potpunosti uklonjena mogućnost nerealne ocjene postojanja klimatske fluktuacije.

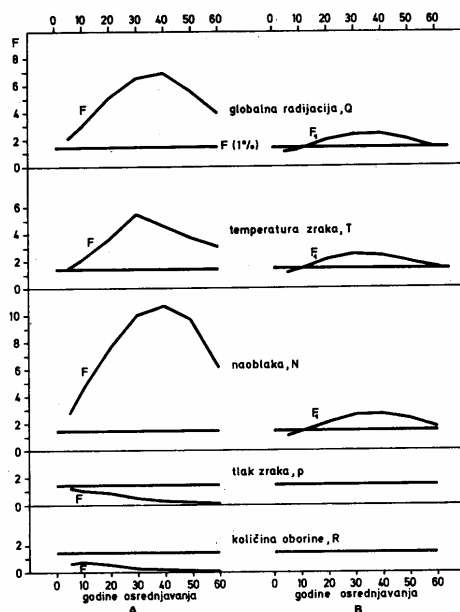
Naime, u vremenskim nizovima postoje korelacije unutar niza koje rezultiraju u pojavi persistencije. Najjednostavniji oblik autokorelacije je "Markovljev crveni šum" (red noise), u kojemu korelacija opada po zakonu potencija tj. $r_L = r_1^L$, gdje je r_L koeficijent autokorelacije L -tog pomaka od početka niza. U klimatološkim nizovima, čiji su članovi mjesečne ili godišnje srednje vrijednosti, koeficijenti autokorelacije općenito su mali i ne opadaju po Markovljevu zakonu, nego dosta sporije (Konček i Čehak, 1968).

Postojanje autokorelacije u nizu smanjuje mogućnost direktne primjene testova koji su izvedeni na osnovi slučajnosti niza, čak može navesti i na krivo zaključivanje. To vrijedi i za statističku ocjenu realnosti klimatskih fluktuacija upotrebom centralnog graničnog teorema ili upotrebom F-testa. Naime, pokazano je (npr. WMO Techn. Note 71, 1966), da je varijanca V_n aritmetičkih srednjaka uzoraka od n članova iz osnovnog niza, u kome postoji autokorelacija, jednaka:

$$V_n = \frac{V}{n} \left\{ 1 + 2 \left[\left(1 - \frac{1}{n}\right)r_1 + \left(1 - \frac{2}{n}\right)r_2 + \dots + \frac{1}{n}r_{n-1} \right] \right\} \quad (2)$$

gdje je V varijanca osnovnog niza, n težina srednjaka, a r_L ($L=1, 2, \dots, n-1$) koeficijenti autokorelacije. Ako su $r_L > 0$ i uz to statistički signifikantni, onda veličina u vitičastoj zagradi povećava varijancu V_n . Ta činjenica može, pri upotrebi F-testa za ocjenu klimatske fluktuacije, znatno povećati vjerojatnost „zaključivanja da postoji klimatski trend tamo gdje ga uopće nema” (Jones, 1975).

Prema tome, rezultate F-testa (sl. 3 A) treba potvrditi, uzimajući u obzir i postojeće autokorelacije. Izraz za V_n pokazuje da broj autokorelacionih koeficijenata raste s „ n ” (brojem sumanada kod osrednjavanja). To znači da kod 5-godišnjih kliznih sred-



Slika 3. Ispitivanje signifikantnosti klimatskih fluktuacija

Zagreb-Grič (1862-1974) – godišnje vrijednosti

Figure 3. An analysis of climatic fluctuations significance

Zagreb-Grič (1862-1974) – annual values

njaka treba uzeti u račun prva četiri koeficijenta autokorelacije, a kod, npr. 30-godišnjih kliznih srednjaka, ukupno 29 koeficijenata autokorelacije. Međutim, tako velik broj "L" uz odgovarajuće fazne pomake u nizu može biti već u direktnoj vezi s klimatskom fluktuacijom. Naime, autokorelacija, koju kod klimatskih sekularnih nizova prikazuju r_L višeg reda, zapravo je odraz postojanja signifikantne klimatske fluktuacije. Zato je u ovom ispitivanju potrebno izdvojiti autokorelaciju tipa persistencije od one koja je povezana s varijacijama klime.

U tu je svrhu izračunato prvih pet autokorelacionih koeficijenata za nizove globalne radijacije, naoblake i temperature. Oni se podudaraju s analognim autokorelacionim koeficijentima za Beč i Prag (Koncek i Cehak, 1968) koji ne pokazuju persistenciju Markovljeva tipa.

Opadanje koeficijenata autokorelacije s vremenskim pomakom u našim je nizovima također polagano i nepravilno. Međutim, apsolutne vrijednosti r_L uglavnom su signifikantne na razini 0,1 do $L=4$ za Q i N , a kod temperature to vrijedi samo za $L=1$.

Tablica 1. Koeficijenti autokorelacije r_L nizova godišnjih vrijednosti Q , T i N , Zagreb-Grič (1862-1974)

Table 1. Correlation coefficients r_L of Q , T and N annual values series, Zagreb-Grič (1862-1979)

	pomak, L godine lag, L years				
	1	2	3	4	5
Q	0,25	0,24	0,24	0,30	0,11
T	0,25	0,10	0,03	0,10	0,12
N	0,44	0,40	0,35	0,45	0,30

Zato je autokorelacija uvažena samo za vremenske pomake od 1 do 4 godine za globalnu radijaciju i naoblaku, a radi bolje usporedivosti s njima i za temperaturu. Prema tome, da bismo F-testom što bolje ocijenili realnost klimatskih varijacija, koje se uočavaju u osrednjenim nizovima podataka, mora se iz njihovih varijanci ukloniti utjecaj autokorelacije. U tu ćemo svrhu izračunatu V_n iz osrednjenih nizova podijeliti s izrazom u vitičastoj zagradi, koji sadrži prva četiri koeficijenta autokorelacije. Tako se dobiva nova vrijednost F_1 koju u slučaju zagrebačkih nizova računamo po formuli:

$$F_1 = \frac{nV_n}{V} \frac{1}{1 + 2 \sum_{L=1}^4 (1 - \frac{L}{n}) r_L} = \frac{F}{1 + 2 \sum_{L=1}^4 (1 - \frac{L}{n}) r_L} \quad (3)$$

F_I je manji od F zbog utjecaja autokorelacije u osnovnom nizu. Opisani postupak za uklanjanje utjecaja perzistencije na pouzdanost F-testa pojednostavljena je verzija razmatranja utjecaja perzistencije na varijancu i F-test, koje je dao Jones (1975).

Rezultati modificiranog F-testa, tj. veličina F_1 , prikazana je na sl. 3 B. Očito je da 20 do 40-godišnji aritmetički srednjaci Q , T i N i dalje dosta izrazito indiciraju postojanje klimatske fluktuacije u prošlom sekularnom periodu. Nasuprot tome, modificirana vrijednost F_I kod tlaka zraka i oborine toliko je mala ($< 0,1$) da je se nije moglo ni ucrtati na sl. 3.

Filtrirani nizovi prikazani su na sl. 2. Sekularna klimatska fluktuacija uočava se kod naoblake, a izrazito je oscilatornog karaktera kod globalne radijacije i temperature zraka. Valoviti oblik filtriranih nizova globalne radijacije i temperature zraka diskutirala je Šinik (1981).

Srednji godišnji tlak zraka i godišnja količina oborine ne prikazuju značajnu klimatsku varijaciju tijekom posljednjih 110 godina, odnosno – u skladu s rezultatima F-testa – varijacije njihovih srednjih vrijednosti nisu veće od varijacija koje bi ti nizovi mogli pokazivati da su slučajni. Time je modificirani F-test potvrdio rezultate ispitivanja signifikantnosti klimatskih fluktuacija temperature i oborine pomoću centralnog graničnog teorema (Penzar B. et al., 1967).

3. Korelacije između klimatoloških nizova

S obzirom na signifikantnost klimatske varijacije globalne radijacije, temperature i naoblake u Zagrebu, kao i s obzirom na fizikalnu povezanost ta tri elementa, ispitane su statistički korelacije između nizova Q , T i N . Rezultate prikazuje tablica 2.

Tablica 2. Korelacioni koeficijenti r između nefiltriranih ($n = 1$) i filtriranih ($n = 5, 10, 20, 30, 40$ i 50 godina) nizova globalne radijacije Q , temperature zraka T i naoblake N , Zagreb-Grič (1862–1974)

Table 2. Correlation coefficients r between unfiltered ($n = 1$) and filtered ($n = 5, 10, 20, 30, 40$, and 50 years) series of solar radiation Q , air temperature T and cloudiness N , Zagreb-Grič 1862–1974

godine osrednjenja, " years of averaging, "	1	5	10	20	30	40	50
$r(T, Q)$	0,056	-0,364	-0,645	-0,859	-0,954	-0,968	-0,871
$r(Q, N)$	-0,489	-0,900	-0,934	-0,968	-0,988	-0,978	-0,995
$r(T, N)$	-0,132	0,422	0,614	0,804	0,933	0,983	0,969

U gornjoj su tablici nesignifikantni $r(T, Q)$ i $r(T, N)$ osnovnih nizova T i Q ($n=1$). Jedino je koeficijent korelacije između globalne radijacije i naoblake u slučaju nefiltri-

ranih nizova signifikantan, što je povezano s činjenicom da su vrijednosti Q jednim dijelom izračunate pomoću naoblake.

Izgladivanjem, odnosno "filtriranjem šuma", korelacija između globalne radijacije, temperature i naoblake naglo raste. Vrijednosti korelacionih koeficijenata u tabl. 2 postaju toliko velike, da se iz njih može uočiti izrazita klimatska povezanost ova tri elementa. Pri tom dolazi do izražaja interesantna pojava: koeficijent korelacije između temperature i globalne radijacije već nakon petogodišnjeg osrednjavanja postaje negativan, dok istovremeno između temperature i naoblake postaje pozitivan. Takvi predznaci indiciraju da je u proteklom sekularnom periodu temperatura zraka (u klimatskom prosjeku) rasla uz porast naoblake i smanjenje Sunčevog zračenja, a opadala uz porast zračenja i smanjenje naoblake.

Takva, na prvi pogled fizikalno nejasna pojava traži daljnje ispitivanje, što se i pokušalo pomoću koeficijenata multiple korelacije $R(3.21)^2$. Ta veličina ocjenjuje onaj postotak ukupne varijance elementa X_3 koji je izazvan varijacijama elementa X_1 i X_2 (Panofsky, 1958). U našem slučaju ima smisla izračunati $R(T, QN)^2$ koji ilustrira ovisnost temperature o globalnoj radijaciji i naoblaci zajedno. Za nizove 30-godišnjih srednjaka dobiva se:

$$R(T, QN)^2 = \frac{r^2(TQ) + r^2(TN) - 2r(TQ)r(TN)r(QN)}{1 - r^2(QN)} \quad (4)$$

$$R(T, QN) = 88\%$$

Prema tome, 88% varijance 30-godišnjih srednjaka srednje godišnje temperature ovisno je o varijacijama analognih vrijednosti globalne radijacije i naoblake zajedno. Drugim riječima, i ovim je putem potvrđeno da su klimatske fluktuacije temperaturnog režima Zagreba u prošlih 110 godina najvećim dijelom bile uzrokovane fluktuacijama globalne radijacije i naoblake. To je u skladu s podacima u tablici 2, ali i dalje ne daje odgovor u vezi predznaka $r(T, Q)$ i $r(T, N)$.

Međutim, vrijednost r u tablici 2 ne ocjenjuje ovisnost T samo o Q ili samo o N , jer prilikom njihovog izračunavanja nije uklonjen utjecaj drugog elementa. U statistici se taj problem rješava uvođenjem tzv. „parcijalne korelacije”, koja pokazuje povezanost između dva elementa nakon što je utjecaj ostalih elemenata uklonjen (Panofsky, 1958). Taj je postupak također primijenjen na nizove T , Q i N i to na 30-godišnje srednjake s velikom apsolutnom vrijednošću koeficijenata korelacije.

Parcijalni korelacioni koeficijent između T i Q uz pretpostavku konstantne N je (za 30-godišnje srednjake):

$$r(TQ, N) = \frac{r(TQ) - r(TN) \cdot r(QN)}{\sqrt{1 - r^2(TN)} \sqrt{1 - r^2(QN)}} = -0,576 \quad (5)$$

Analogno je uz konstantnu Q :

$$r(TN, Q) = -0,207$$

Dobivene vrijednosti još uvijek ne daju odgovor u vezi s predznakom koeficijenata korelacije u tablici 2, ali ukazuju na slijedeće činjenice:

a) isključivanjem jednog od tri razmatrana elementa korelacija znatno slabi, što znači da i veličina i smisao ovisnosti klimatskih normala temperature o globalnoj radijaciji i o naoblaci nužno uključuje i karakter fizikalne povezanosti između Q i N u odnosu na temperaturu zraka.

b) ovisnost normala T samo o naoblaci (dakle bez utjecaja globalne radijacije) ne samo da postaje beznačajna (posebno u odnosu na odgovarajuću vrijednost u tab. 2), nego čak mijenja i smisao, odnosno pokazuje da naoblaka sama, bez sudjelovanja Sunčeva zračenja, veoma slabo može djelovati na temperaturne normale, a i taj utjecaj je u smislu smanjenja T porastom N .

Ako se sada povežu opća saznanja o T , N i Q s numeričkim pokazateljima o njihovoj međusobnoj vezi (posebno s onima u tab. 2) može se zaključiti da je u prošlom sekularnom periodu direktan utjecaj Sunčeva zračenja na normalne vrijednosti temperature prizemne temperature zraka bio znatno slabiji od tog istog utjecaja, ali uz sudjelovanje naoblake. Pri tom naoblaka djeluje na smanjenje primitka Sunčeve radijacije ($r(Q, N) = -1$ za $n \geq 20$ godina), ali je očito da dio te energije nije „izgubljen” za temperaturni režim, nego se zadržava između tla i oblaka i djeluje u smislu zagrijavanja. Očito je u prošlom sekularnom periodu upravo taj dio odigrao bitnu ulogu u varijacijama klimatskih normala prizemne temperature zraka zbog čega $r(T, N)$ poprima visoke pozitivne vrijednosti. Ako veća količina naoblake više doprinosi prizemnom temperaturnom režimu, a istovremeno znatnije smanjuje direktan priliv solarnog zračenja do tla, logično je da će korelacija između T i Q biti negativna, a između T i N pozitivna.

Poznato je, međutim, da naoblaka slabo apsorbira kratkovalnu solarnu radijaciju, što znači da taj mehanizam ne opravdava veliku pozitivnu korelaciju između T i N . Oblaci, naročito visoki, mnogo bolje apsorbiraju i reemitiraju dugovalno Zemljino zračenje.

Prema tome, na osnovi provedene statističke analize može se doći do zaključka, da u fizikalnom mehanizmu, koji objašnjava veličinu i predznake prikazanih koeficijenta korelacije između filtriranih sekularnih nizova temperature zraka, globalne radijacije i naoblake, značajnu ulogu u klimi Zagreba ima dugovalno zračenje tla. Najvjerovatnije je dio te topline, reemitiran od oblaka natrag prema tlu, djelovao zagrijavajuće na klimatske normale temperature Zagreba, što se odrazilo na pozitivnu korelaciju između T i N .

Navedena pojava ne dolazi do izražaja u nefiltriranim nizovima temperature, jer je maskirana djelovanjem „klimatskog šuma”, posebno advekcijama toplijeg ili hladnijeg zraka nad lokalitet Zagreba.

Spomenimo na kraju, da je porast klimatskih prosjeka temperature s porastom naoblake uočen i u nekim lokalitetima u Švicarskoj (Šinik, 1978).

4. Zaključak

Utjecaj autokorelacije u nefiltriranim sekularnim nizovima meteoroloških elemenata Zagreba može se eliminirati pomoću modificiranog F-testa. Rezultat testa potvrdio je realnost klimatske fluktuacije globalne radijacije, naoblake i temperature zraka, a pokazao nesigurnost klimatskih fluktuacija tlaka i temperature zraka.

Usporedba i povezivanje karakteristika sekularnih hodova filtriranih nizova, obavljena pomoću koeficijenta multiple i parcijalne korelacije, omogućila je dublji uvid u fizikalnu suštinu uočene klimatske fluktuacije. Ustanovljeno je da su prizemne temperature zraka u Zagrebu pokazale recentnu klimatsku fluktuaciju zato što je ta ravnoteža bila poremećena djelovanjem naoblake. Povezivanje rezultata provedene statističke analize s poznatim fizikalnim osobinama oblaka s obzirom na njihovu moć apsorpcije i emisije, omogućilo je indirektan zaključak, da je mehanizam koji dovodi do pozitivne korelacije između prizemne temperature i naoblake Zemljino dugovalno zračenje, odnosno onaj njegov dio koji naoblaka emitira natrag prema tlu.

Literatura

Borzenkova I. I., K. Ja. Vinnikov, L. P. Spirina i D. I. Stehnovskij (1967): *Izmenenie temperatury vozduha Severnogo polušarija za period 1881–1975 gg*, Met. Gidr. No 7, 27–35.

Brooks C. E. P. and N. Carruthers (1953): *Handbook of statistical methods in meteorology*, London, 412 pp.

Cehak K. (1977): *Über die statistische Sicherung der jüngsten Schwankungen des Klimas in Österreich*, Arch. Met. Geoph. Biokl., Ser. B, 209–219.

Craddock J. M. (1957): *A simple statistical test for use in the study of climatic change*, WEA. XII, No 3, 252–257.

Goldberg J. (1953): *Prilozi istraživanju klimatskih fluktuacija u Zagrebu*, Geof. inst., Radovi, III ser.

Goldberg J. (1954): *O recentnim fluktuacijama naše klime*, Zagreb JAZU, 27 pp.

Jones R. H. (1975): *Estimating the variance of time averages*, J. App. Met. 14, 159–163.

Jurčec V. (1976): *Statistička analiza ekstremnih količina oborine u gornjem slivu rijeke Save*, Rasprave i prikazi RHMZ SRH br. 13, 99–141.

KLIMATSKI PODACI OPSERVATORIJA ZAGREB–GRIČ ZA RAZDOBLJE 1862–1969, Zagreb, 1970

Koncek N. I. und K. Cehak (1968): *Sekuläre Temperaturschwankungen in Mitteleuropa während der letzten 190 Jahre*, Arch. Met. Geoph. Biokl., Ser. B 16, 1–17.

Landsberg H. E. and J. Malbert (1975): *Some aspects of global climatic fluctuations*, Archiv Met. Geoph. Biokl. Ser. B 23, 165–176.

Makjanić B. (1970): *Da li se klima mijenja?*, Mat. fiz. list, No 3, 1–3.

Makjanić B. (1977): *Da li se klima u posljednje vrijeme mijenja?*, Priroda LXVI, br. 4–5.

Manohin V. (1959): *Nekaj podatkov o kolebanju klime v Ljubljani v dobi 1851–1960*, Letno poročilo meteorološke službe za leto 1959, 56–62.

Panofsky H. A. and G. W. Brier (1958): Some applications of statistics to meteorology, Univ. Park, Pennsylvania, 224 pp.

Penzar B., B. Volarić i I. Penzar (1967): Prilog poznavanju sekularnih kolebanja temperature i oborine u Jugoslaviji, Zbor. rad. povodom proslave rada i razvoja hidrometeorološke službe Jugoslavije, 63–89.

Polozova i E. Rubinstejn (1970): Obščaja klimatologija i izmenenije klimata, Trudy GGO, vyp. 269, 1–136.

Šinik N. i N. Pleško (1967): Sekularne varijacije klimatskih elemenata u primjeni na Atlas klime SFRJ, Zbor. rad. povodom proslave rada i razvoja hidrometeorološke službe Jugoslavije, 29–43.

Šinik N. (1978): Temperature and cloudiness correlation in the region of Alps, Veröffentlichungen der Schweizerischen Zentralanstalt 1979, 147–149.

Šinik N. (1979): Varijacije zagrebačke klime, disertacija, Sveučilište u Zagrebu.

Šinik N. (1981): Sekularna klimatska fluktuacija temperature zraka u Zagrebu, Zbornik meteoroloških i hidroloških radova No 7, 37–41.

WMO Technical Note 71 (1966): Statistical analysis and prognosis in meteorology, 56–63.