

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

Izvorni znanstveni rad
UDK 551.582

Neke karakteristike promjene klime Zagreba u posljednjem tridesetljeću

Josip Juras

Savezni hidrometeorološki zavod, Zagreb

Primljeno 8. ožujka 1985., u konačnom obliku 31. svibnja 1985.

Na osnovi promjena u godišnjem hodu tlaka zraka, količina oborine i temperature zraka na Opservatoriju Zagreb-Grič u razdoblju 1862–1980, ustanovljeno je da se mogu razlučiti četiri razdoblja s približnim trajanjem od trideset godina. Unutar ovih razdoblja, godišnji hodovi klimatskih elemenata pokazuju stanovite specifičnosti. Razdoblja s nešto pojačanim obilježjima kontinentalne klime (1862–1890 i 1921–1950) smjenjuju se s razdobljima kada su ta obilježja bila znatno oslabljena (1890–1920 i 1951–1980). Ukazano je da se kao posljedica ovih klimatskih oscilacija javlja nepouzdanost klimatoloških normala određenih na osnovi podataka iz 30-godišnjih razdoblja. Relativni značaj ovih klimatskih fluktuacija procijenjen je na osnovi usporedbi s prostornim promjenama razmatranih indikatora unutar relativno klimatski homogenog područja sjeverne Hrvatske. Ove usporedbe pokazuju da su klimatske promjene u našim krajevima relativno male, ali ne i zanemarive.

Some characteristics of climatic change at Zagreb during the last thirty years

On the basis of changes in the seasonal variations of pressure, precipitation and temperature at the Zagreb-Grič Observatory in the 1862–1980 period, we can distinguish four periods of an approximate duration of thirty years each, within which seasonal variations of climatic elements show some specific characteristics. Periods with somewhat stronger characteristics of continental climate (1862–1890, 1921–1950) alternate with periods during which continental characteristics are considerably weakened (1890–1920, 1951–1980). As a consequence of these climatic oscillations, it has been pointed out that the climatological normals determined on the basis of 30-year record are not necessarily reliable. The relative significance of these climatological fluctuations has been estimated on the basis of comparisons with spatial variations of previously used indicators in the area of Northern Croatia, which can be considered as an area with a uniform climate. The comparisons have shown that although the temporal variations of the climatic characteristics of Zagreb (and probably even a wider area) are relatively small, they cannot be neglected.

1. Uvod

Interes za proučavanje klimatskih promjena u našim krajevima rezultirao je brojnim radovima od kojih posebno izdvajamo klasične radove Goldberga (1953, 1954), zatim radove Penzar, Volarić, Penzar (1967), Šinik, Pleško (1967) i Šegota (1970). Razdoblje od posljednjih dvadesetak godina nije još dovoljno proučeno, iako je u ovom razdoblju došlo do značajnih klimatskih promjena.

U ovom radu žele se, na osnovi podataka za Zagreb-Grič iz razdoblja 1951–1980, nadopuniti rezultati koje je iznio Goldberg (1953) o karakteristikama fluktuacije klime Zagreba. Koristili smo uglavnom one klimatske veličine koje je upotrijebio Goldberg, smatrajući ih pogodnim i vrlo jednostavnim načinom za opis bitnih obilježja klimatskih promjena.

3. Promjene u godišnjem hodu klimatoloških elemenata kao pokazatelji klimatskih promjena

Godišnji hodovi pojedinih klimatoloških elemenata mogu poslužiti pri klimatskim klasifikacijama. Na sličan način vremenske promjene nekih obilježja godišnjih hodova mogu poslužiti kao pokazatelji klimatskih promjena.

Jednu od metoda za prikaz karakteristika godišnjeg hoda dao je Alt (1932). Metodu možemo ukratko opisati na slijedeći način. Srednju mjesečnu vrijednost nekog klimatološkog elementa možemo predstaviti radijus-vektorom r čija je dužina proporcionalna srednjoj mjesečnoj vrijednosti, a smjer se određuje konvencijom (obično siječnju pripada vektor u smjeru osi y , travnju vektor u smjeru osi x itd.). Pramen vektora r_i definira rezultatni vektor R prema relaciji:

$$R = \sum_{k=1}^{12} r_k \quad (1)$$

Vektor R daje nam neku ukupnu karakteristiku godišnjeg hoda.

Analiza se može također provesti i razvojem godišnjeg hoda u Fourierov red koji se može napisati u obliku:

$$r_i = c_0 + \sum_{k=1}^6 [a_k \cos 30^\circ k(i-1) + b_k \sin 30^\circ k(i-1)] \quad (2)$$

$$i = 1, 2, \dots, 12,$$

gdje je c_0 srednja godišnja vrijednost, a amplitude pojedinih harmonika mogu se odrediti iz dvanaest mjesečnih vrijednosti pomoću relacija:

$$a_k = (1/6) \sum_{i=1}^{12} r_i \cos 30^\circ k(i-1) \quad (3)$$

$$b_k = (1/6) \sum_{i=1}^{12} r_i \sin 30^\circ k(i-1)$$

Sintezu godišnjeg hoda postizemo ako se zadržimo samo na razmatranju amplituda prvog harmonika (a_1 i b_1).

Makjanić (1977) je pokazao da su komponente rezultantnog vektora R u jednoj vezi s amplitudama prvog harmonika. Ta veza ima oblik:

$$R_x = b_1 / 2c_0, \quad R_y = a_1 / 2c_0. \quad (4)$$

Ako prvi harmonik Fourierovog razvoja izrazimo sa samo jednom trigonometrijskom funkcijom u obliku:

$$c_1 \sin [30^\circ (i-1) + \varphi_1], \quad i = 1, 2, \dots, 12,$$

gdje je

$$c_1 = (a_1^2 + b_1^2)^{1/2}, \quad \varphi_1 = \arctg(a_1 / b_1), \quad (5)$$

tada veza između rezultantnog vektora R i prvog harmonika postaje još očiglednija i može se izraziti relacijama:

$$R = c_1 / 2c_0, \quad \alpha_R = \begin{cases} 90^\circ - \varphi_1 & \text{ako je } \varphi_1 \leq 90^\circ \\ 450^\circ - \varphi_1 & \text{ako je } \varphi_1 > 90^\circ \end{cases} \quad (6)$$

gdje je α_R kut koji određuje smjer vektora R , a mjeri se od pozitivnog smjera osi y u smjeru kazaljke na satu. To je ujedno i kut za koji prvi harmonik dostiže svoj maksimum.

Očito je da ove dvije metode sinteze godišnjeg hoda, iako su vrlo slične, nisu identične. Rezultantni vektor je vrlo pogodna veličina za prikaz godišnjeg hoda oborina nad područjem koje se odlikuje raznolikim godišnjim količinama. Ovu metodu koristila je Šver (1984) za prikaz neravnomjernosti u godišnjem hodu oborina na kontinentima. Altovu metodu koristi i Makjanić (1977) za prikaz godišnjeg hoda tlaka i temperature zraka u globalnim razmjerima.

Kada se, međutim, želi prvenstveno analizirati relativno male sekularne promjene nekih karakteristika godišnjeg hoda, tada metoda harmoničke analize izgleda pogodnija. Nju je primijenio Smith (1984) za analizu klimatskih fluktacija na području Velike Britanije.

Goldberg je primijenio Altovu metodu za ispitivanje promjena u godišnjem hodu tlaka zraka i mjesečnih količina oborine u Zagrebu za razdoblje 1862–1950. U slijedećim odlomcima prikazat će se neke karakteristike promjene u godišnjem hodu tlaka, oborine i temperature za prošireno razdoblje od 1862. do 1980.

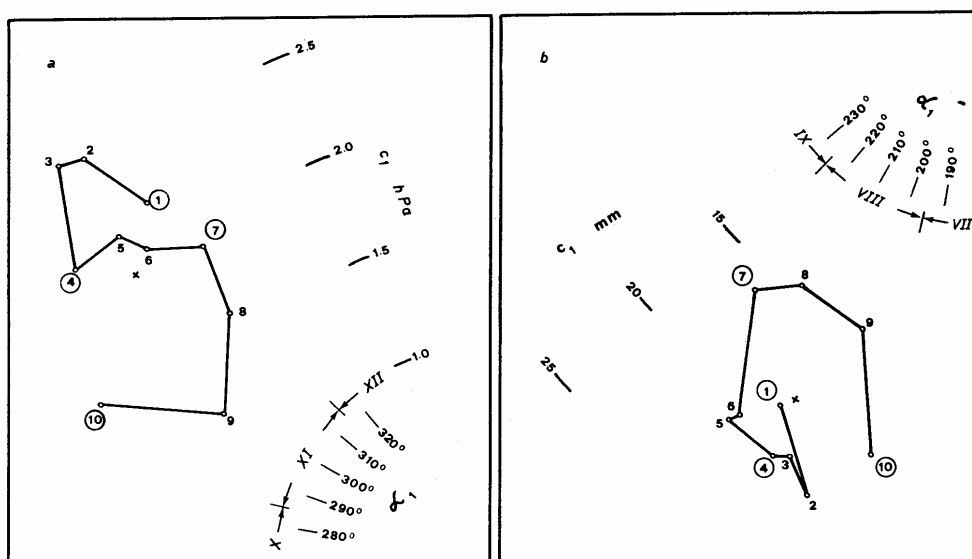
3. Promjene u godišnjem hodu tlaka zraka

Na sl. 1a prikazane su promjene u godišnjem hodu tlaka zraka pomoću niza točaka označenih brojkama od 1 do 10, koje označavaju vrijednosti amplitude i kuta maksimuma prvog harmonika u pojedinim razdobljima. Numeracija razdoblja je slijedeća:

- | | | |
|---------------|--------------|--------------|
| 1. 1862–1890 | 2. 1871–1900 | 3. 1881–1910 |
| 4. 1891–1920 | 5. 1901–1930 | 6. 1911–1940 |
| 7. 1921–1950 | 8. 1931–1960 | 9. 1941–1970 |
| 10. 1951–1980 | | |

Vrijednosti amplitude i faze prvog harmonika izračunate su na osnovi srednjih mjesečnih vrijednosti tlaka zraka na stanici izraženih u hPa (mb).

U svim razdobljima maksimum prvog harmonika pada u hladnu polovinu godine, točnije u studeni i početak prosinca. Kako su kolebanja srednjih mjesečnih vrijednosti



Slika 1. Amplitude (c_1) i kutovi maksimuma (α_1) prvog harmonika godišnjeg hoda: (a) tlaka zraka i (b) mjesečnih količina oborina za Zagreb–Grič u pojedinim razdobljima. Zaokružene su brojke koje se odnose na četiri nepreklapajuća 30-godišnja razdoblja. Križić (+) označava odgovarajuće vrijednosti za razdoblje 1862–1980. Vrijednostima kuta α_1 pridruženi su odgovarajući intervali kalendarskih mjeseci koji su označeni rimskim brojkama.

Figure 1. The amplitudes (c_1) and the angles of the maximum (α_1) of the first harmonic of the seasonal variation of: (a) pressure, and (b) monthly amount of precipitation at Zagreb–Grič for ten overlapping 30-year periods. The number of the period is indicated in Section 3. The encircled numbers refer to four non-overlapping periods. A cross (+) indicates the corresponding values for the whole 119-year period. The intervals of calendar months (which are marked by Roman numerals) correspond to the adequate values of the angles α_1 .

u ljetnim mjesecima tri do četiri puta manja od onih u zimskim mjesecima, to su promjene u godišnjem hodu tlaka zraka, uglavnom, posljedica promjena u zimskom razdoblju. Promatrajući promjene u četiri nepreklapajuća razdoblja (1, 4, 7 i 10), može se uočiti tendencija k osciliranju oko dugogodišnjeg srednjaka. Najznačajnije promjene dogodile su se u posljednjih tridesetak godina kada je došlo do osjetnog slabljenja zimskog maksimuma tlaka zraka i do pojave slabo izraženog sekundarnog maksimuma u mjesecu listopadu. Ako bismo na temelju vrijednosti kuta α_1 pokušali razlučiti razdoblja sa manjom ili većom kontinentalnošću zagrebačke klime, tada bismo razdoblja 1 i 7 mogli smatrati razdobljima s kontinentalnijom klimom u odnosu na razdoblje 4, a pogotovo u odnosu na posljednje razdoblje (10) od 1951. do 1980.

4. Promjene u godišnjem hodu količina oborina

Promjene amplitude i faze prvog harmonika godišnjeg hoda oborine (sl. 1a) pokazuju da je do najznačajnijih promjena došlo u posljednjih tridesetak godina. Bitna značajka promjena režima oborina u ovom razdoblju je porast oborina ljeti i osjetno osušenje mjeseca listopada. Smanjenje količina oborina u listopadu jedna je od najznačajnijih (u statističkom smislu) fluktuacija klime Zagreba. Ova pojava detaljno je opisana u radu B. Penzar i I. Penzar (1980, 1981) i povezuje se sa značajnim povećanjem čestina anticiklonalnih stanja.

Promjene u godišnjem hodu oborina, kao i kod tlaka zraka, više ukazuju na postojanje oscilacija u promjenama klime nego li o nekom stalnom trendu. Znatni razmaci između točaka koje predočuju promjene režima oborina u posljednjih pedesetak godina, kao i eliptičan raspored ostalih točaka oko točke koja označava dugogodišnji srednjak, ukazuju na ograničenu reprezentativnost bilo kojeg od 30-godišnjih srednjaka koji su sada u upotrebi. Posebno se izdvajaju razdoblja 7, 8 i 9 sa velikom ravnomjernošću u godišnjem hodu (male vrijednosti amplitude c_1), a to je jedna od karakteristika kontinentalne klime u našim krajevima. Pojačan utjecaj maritimnih zračnih masa u razdobljima 4 i 10 doveo je do veće koncentracije količina oborina u ljetnom razdoblju kada mjesta s kontinentalnom klimom imaju obično svoj prirodni maksimum.

5. Promjene u godišnjem hodu temperature zraka

Godišnji hod temperature zraka pretrpio je također značajne promjene u posljednjih tridesetak godina. Nakon razdoblja s dosta izraženim kontinentalnim obilježjima u klimi Zagreba, koje se uglavnom proteže na drugu četvrtinu ovog stoljeća, nastupilo je razdoblje u kojem su ta obilježja znatno oslabila. U tablici 1. dane su neke veličine koje opisuju osnovne karakteristike temperaturnih prilika u Zagrebu u pojedinim razdobljima. Promjene u godišnjem hodu temperature očituju se prvenstveno u promjeni amplitude dok se vrijeme nastupa ekstrema praktički ne mijenja. Zbog toga predstavljanje sekularnih promjena godišnjeg hoda temperature na način na koji su bile prikazane promjene u godišnjem hodu tlaka zraka i oborina nije sasvim prikladno.

Tablica 1. Neke veličine koje opisuju karakteristike godišnjeg hoda temperature za Zagreb-Grič u četiri 30-godišnja razdoblja te za cijelo razdoblje od 1862. do 1980: A_g – srednja godišnja amplituda (t_7-t_1), A_s – razlika srednjih temperatura ljeta i zime, $2c_1$ – dvostruka amplituda prvog harmonika, d_1 – datum maksimuma prvog harmonika, q – termodromski kvocijent ($100(t_{10}-t_4)/A_g$), t_g – srednja godišnja temperatura.

Table 1. Some indicators describing the properties of the seasonal variation of mean monthly temperatures at Zagreb-Grič for four 30-year periods and for the 1862–1980 period: A_g – mean annual range, A_s – difference between mean summer and winter temperatures, $2c_1$ – the double amplitude of the first harmonic, d_1 – date of maximum for the first harmonic, q – thermodynamic quotient, t_g – mean annual temperature.

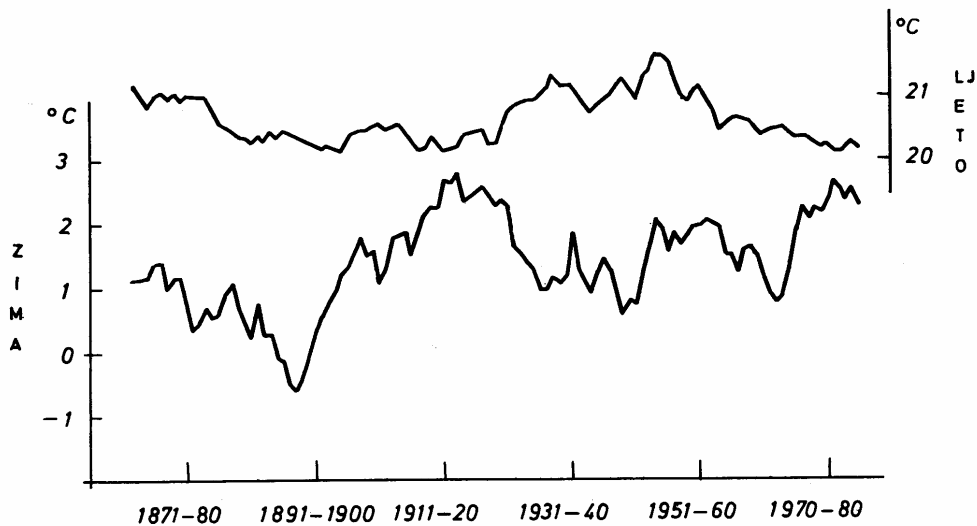
	1862– 1890.	1891– 1920.	1921– 1950.	1951– 1980.	1862– 1980.
A_g °C	22.5	21.2	21.9	20.7	21.5
A_s °C	20.1	18.7	19.7	18.5	19.3
$2c_1$ °C	22.1	20.4	21.4	20.2	21.0
d_1	15/7	16/7	16/7	16/7	16/7
q	-1.3	1.9	-0.5	0.0	0.0
t_g	11.1	11.2	11.6	11.4	11.3

Da granice promatrana četiri 30-godišnja razdoblja nisu ujedno i prirodne granice razdoblja sa homogenim klimatskim karakteristikama, može se vidjeti iz sl. 2. na kojoj su prikazane izgladene srednje temperature za ljeto i zimu. Maksimalne, odnosno minimalne razlike između srednjih temperatura ljeta i zima, ne padaju u sredine odgovarajućih razdoblja već se nalaze, uglavnom, u blizini njihovih granica nakon čega naglo

Tablica 2. Srednja godišnja amplituda temperature zraka za Zagreb-Grič, Slavonsku Požegu i Osijek u tri 30-godišnja razdoblja.

Table 2. Mean annual ranges of temperature for Zagreb-Grič, Slavenska Požega and Osijek for three 30-year periods.

	1891–1920	1921–1950	1951–1980
Zagreb-Grič	21.2	21.9	20.7
Sl. Požega	21.5	22.5	21.4
Osijek	22.6	23.1	22.2



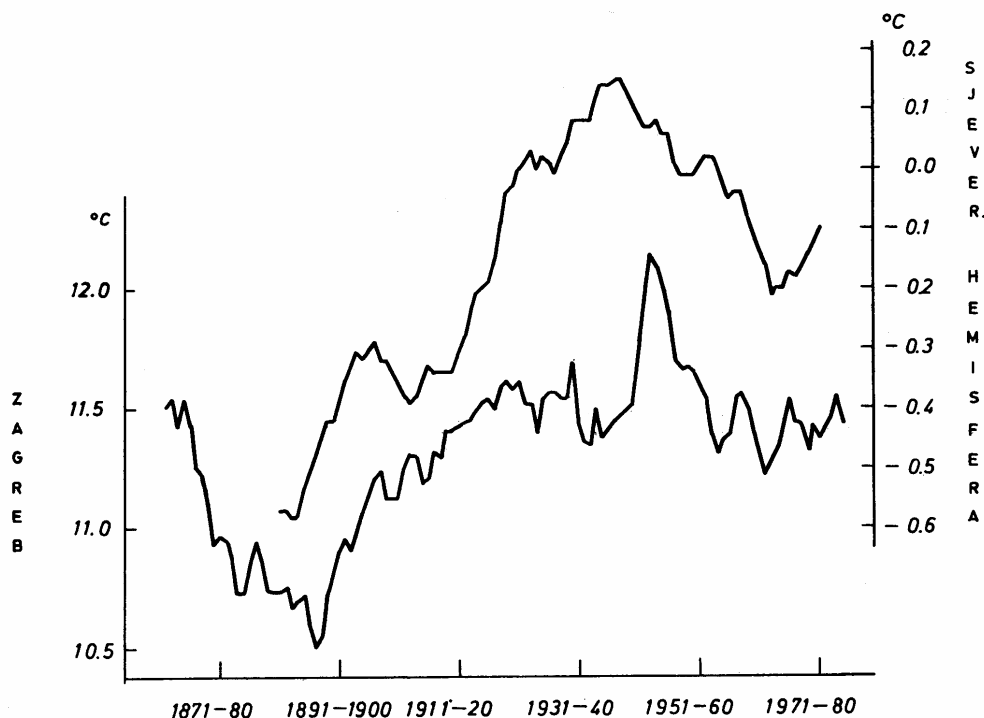
Slika 2. Izgladjeni hod srednjih sezonskih temperatura za ljeto (gornja krivulja – desna skala) i zimu (donja krivulja – lijeva skala) za Zagreb-Grič u razdoblju 1862–1980.

Figure 2. Smoothed mena seasonal temperatures for summer (upper curve – right scale) and winter (lower curve – left scale) at Zagreb-Grič for 1862–1980 period.

mijenjaju svoj iznos. Zbog toga će vjerojatno budući podaci pokazati da je prirodniija jedna podjela na četiri 30-godišnja razdoblja koja započinju s godinama 1871, 1901, 1931. i 1961.

U razdobljima s povećanom (smanjenom) godišnjom amplitudom opaža se uvijek povećana čestina relativno vrućih (svježih) ljeta i hladnih (blagih) zima.

Da bismo procijenili koliko su ustanovljene sekularne promjene godišnje amplitude temperature značajne u klimatskom pogledu, možemo ih usporediti s odgovarajućim prostornim promjenama. Prema usporednim podacima za Zagreb, Slavonsku Požegu i Osijek (tab. 2.) slijedi da postoji postepen porast iznosa godišnje amplitude od zapada prema istoku, što je u skladu s nešto kontinentalnijom klimom istočnih krajeva. U sva tri grada promjene amplitude iz jednog razdoblja u drugo imaju isti predznak. Iznos tih promjena kreće se u prosjeku oko 1°C , što je nešto manje od razlika u srednjoj godišnjoj amplitudi temperature koja postoji između Zagreba i Osijeka. Iz toga bi se moglo zaključiti da vremenske promjene u godišnjem hodu temperature u Zagrebu imaju približno isti značaj kao i razlike koje postoje u odgovarajućim klimatskim karakteristikama Zagreba i Osijeka. Zagrebačka klima je i u razdoblju izražene kontinentalnosti (1921–1950) bila blaža (maritimnija) od klime Osijeka u razdoblju 1951–1980, kada su karakteristike kontinentalne klime u našim krajevima bile znatno oslabljene.



Slika 3. Izgladene srednje godišnje temperature na Opservatoriju Zagreb-Grič (donja krivulja) i srednje godišnje anomalije (u odnosu na srednjak iz razdoblja 1946–1960) za sjevernu hemisferu, prema podacima iz Jones et al. (1982).

Figure 3. Smoothed mean annual temperature for Zagreb-Grič Observatory (lower curve) and Northern Hemisphere mean annual temperature anomalies (from the 1946–1960 mean), according to Jones et al. (1982).

Pored opisanih promjena u godišnjem hodu u posljednjih tridesetak godina došlo je i do promjene trenda srednjih godišnjih temperatura koje su dostigle svoj maksimum sredinom ovog stoljeća. Da su sekularne promjene srednjih godišnjih temperatura u Zagrebu uglavnom posljedica promjena u hemisferskim razmjerima, potvrđuju podaci prikazani na sl. 3. Iz slike se uočava da je zatopljenje na sjevernoj hemisferi, koje je bilo naročito izraženo 20-ih godina ovog stoljeća, dostiglo svoj maksimum negdje oko 40-ih godina. Porast temperatura u Zagrebu bio je zaustavljen oko 30-ih godina zbog vrlo hladnih zima u nekim godinama tog razdoblja.

6. Zaključak

Promatranjem klimatskih promjena u Zagrebu u razdoblju 1862–1980, ne može se uočiti postojanje nekog stalnog trenda kroz cijelo ovo razdoblje, već je više prisutna tendencija izmjenjivanja klimatskih epoha (približnog trajanja oko 30 godina) koja se međusobno dosta razlikuju. Međutim, teško je ocijeniti koliko su te razlike značajne u klimatskom pogledu. Kako ustanovljene klimatske fluktacije ne uzrokuju veće promjene u biosistemu, to njihov značaj nije osobito velik. Uspoređivanje vremenskih promjena razmatranih klimatskih indikatora sa njihovim prostornim promjenama u području sjeverne Hrvatske potvrđuje ovu pretpostavku.

Oscilacije u klimi ukazuju da je razdoblje od 30 godina suviše kratko za postizanje pouzdanih normalnih vrijednosti i da bi orijentacija na 50- ili 60-godišnje srednje vrijednosti bila korisna. U nedostatku dugogodišnjih nizova za veći dio naše zemlje može se preporučiti da se pri planiranjima koriste normalne vrijednosti iz razdoblja 1931–1960. koje su detaljno ispitane u okviru Atlasa klime Jugoslavije. Podaci iz ovog razdoblja dobro ukazuju na neka moguća nepovoljna obilježja klime naših krajeva u koje bismo ubrojili hladne zime te suha i vruća ljeta. Nasuprot tome razdoblje od 1951. do 1980. prije se može opisati kao „optimalno” nego li kao „normalno” za zagrebačku klimu.

Literatura

- Alt E. (1932): *Klimakunde von Mittel- und Südeuropa*, Handbuch der Klimatologie von W. Köppen, R. Geiger, Band III, Teil M. Berlin.
- Goldberg J. (1953): *Prilozi istraživanju klimatskih fluktacija u Jugoslaviji*, Geofizički institut, Radovi, III. 3. Zagreb.
- Goldberg J. (1954): *O recentnim fluktacijama naše klime*, Jugoslavenska akademija znanosti i umjetnosti, Predavanja održana u Jug. akad., 3. Zagreb.
- Jones P.D., T.M.L. Wigley and P.M. Kelly (1982): *Variations in air temperatures: Part 1. Northern Hemisphere, 1881–1980*. *Monthly Weather Review*, 110, 59–70.
- Makjanić B. (1977): *On Alt's measure of continentality*. *Időjárás* 81, 176–181.
- Penzar B., B. Volarić i I. Penzar (1967): *Prilog poznavanju sekularnih kolebanja temperature i oborine u Jugoslaviji*. *Zbornik radova povodom proslave 20 godina rada i razvoja hidrometeorološke službe Jugoslavije*, Beograd, 63–89.
- Penzar B., I. Penzar (1980, 1981): *O položaju i uzrocima ekstrema u godišnjem hodu oborine u Hrvatskoj*. Dio I i II. *Geografski glasnik* 41–42, 27–48; 43, 27–49.
- Smith S. G. (1984): *Changes in the seasonal variation of temperature over the United Kingdom between 1861 and 1980*. *Meteorological Magazine* 113, 16–24.

Šegota T. (1970): Sekularne fluktuacije temperature u Zagrebu. *Geografski glasnik* 32, 39–60.

Šinik N., N. Pleško (1967): Sekularne varijacije klimatskih elemenata u primjeni na Atlas klime SFRJ. Zbornik radova povodom proslave 20 godina rada i razvoja hidrometeorološke službe Jugoslavije, Beograd, 29–43.

Šver C. A. (1984): Zakonomjernosti rasporedenija količestva osadkov na kontinentah, *Gidrometizdat*, Lenjingrad, 386 pp.