HRVATSKA AKADEMIJA ZNANOSTI I UMJETNOSTI
ZNANSTVENO VIJEĆE ZA POLJOPRIVREDU I ŠUMARSTVO

ZBORNIK

radova znanstvenog skupa s međunarodnim sudjelovanjem

PRILAGODBA POLJOPRIVREDE I ŠUMARSTVA KLIMI I NJENIM PROMJENAMA

PROCEEDINGS

Agriculture and forestry – adaptability to climate change



Zagreb, 19. i 20. 05. 1998.

Izlaganje na znanstvenom skupu

Conference paper

O PROMJENAMA TEMPERATURE ZRAKA OD 18. DO 20. STOLJEĆA U ZAGREBU

Josip JURAS, Miroslava PASARIĆ, Ivan PENZAR

KRATKI PRIKAZ POVIJESTI METEOROLOŠKIH MJERENJA

Neke podatke o meteorološkim mjerenjima u Europi imamo već u 17. stoljeću. Međutim, prva organizirana međunarodna mreža meteoroloških postaja radila je koncem 18. stoljeća pod nadzorom Societas Meteorologica Palatina (1781.-1795.) u okviru manheimske akademije. To je društvo osnovano s ciljem "točnijeg razumijevanja" utjecaja vremena na poljodjelstvo i zdravstvo (*Fleming*, 1997.). Na 57 mjesta, od Sibira do Sjeverne Amerike i južno do Sredozemlja, postavljeni su instrumenti za meteorološka mjerenja po standardiziranoj metodologiji. Podaci su se prikupljali u Mannheimu i publicirani su u godišnjacima. Zanimljivo je spomenuti da je u ta mjerenja uključen i zagrepčanin Franjo Bruna, sveučilišni profesor u Budimu. To društvo dalo je poticaj da su se početkom 19. stoljeća počele osnivati nove meteorološke postaje u Europi, pa tako i u Hrvatskoj. Koliko nam je do danas poznato prvi meteorološki instrumenti u Hrvatskoj (barometar, termometar i higrometar) nabavljeni su 1822. godine za proučavanje podzemnih tutnjava na otoku Mljetu (*Stulli*, 1823). Znade se da je tim instrumentima u tri termina dnevno mjerio u Babinom polju Ivan Getaldić od 15. listopada do 15. studenoga 1824. (*Partsch*, 1826). Iz novina Agramer Politische Zeitung saznajemo da su tijekom hladne zime 1829. na 1830. redovno mjerili temperaturu zraka u Zagrebu i da je najniža bila 2. veljače u iznosu od –20 °R (odnosno –25 °C), a u godinama 1841. i 1842. te novine na naslovnoj stranici donose meteorološke podatke za Zagreb. Slično tome novine Gazetta di Zara objavljuju podatke za Zadar od 1832. do 1850., te riječke novine za Rijeku 1845.

Po uzoru na bečku meteorološku službu i pod njezinim nadzorom meteorološka mreža u Hrvatskoj osniva se u drugoj polovini 19. stoljeća. Prva postaja je počela s radom 1851. u Dubrovniku, a slijedile su je Stara Gradiška, Zagreb i Zavalje (*Penzar* i *Penzar*, 1978.). Postaja u Zagrebu radi od 16. veljače 1853. u prostorijama Gospodarskog društva u Opatičkoj ulici br. 18, a vodi ju D. Stanisavljević. Kratko vrijeme su motrenja nastavljena u Liepavesi pod nadzorom nadvrtlara A. Trummera, koji ubrzo prelazi u Križevce na novoosnovano gospodarsko i šumarsko učilište, pa se postaja premiješta ponovno u Gornji grad.

Tijekom šest godina smještena je u Klasičnoj gimnaziji na Katarinskom trgu, gdje motrenja većinom provodi prof. A. Zeithammer, a zatim se postaja premješta u Veliku realku na Grič 3 i ostaje tamo sve do danas. Njome su upravljali profesor I. Stožir, akademici A. Mohorovičić, S. Škreb, J. Goldberg, B. Makjanić, te profesori R. Vernić, B. Maksić i I. Penzar sve do 1986., kad prelazi pod nadležnost Državnog hidrometeorološkog zavoda. Kako početni podaci motrenja (*Hann*, 1886.) nisu u cijelosti sačuvani, za ovo istraživanje na raspolaganju su nam stajali podaci od 1862. do danas. Taj neprekinuti niz mjerenja od 136 godina objavljen je u cijelosti u više navrata, a mi smo se služili novijom publikacijom (*Penzar* i dr., 1992.) i mjesečnim izvještajima za razdoblje 1991.-1997. Podaci iz *Hanna* (1886.) za razdoblje 1856.-1861. su teže dostupni pa ih ovdje navodimo (Tablica 1).

Tablica 1. Mjesečni i godišnji srednjaci temperature zraka (°C) u Zagrebu za niz 1856-1861.
Table 1. *Mean monthly and annual air temperature (°C) at Zagreb for the period1856.-1861.*

god.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	sred.
1856	3,3	2,9	3,9	13,1	15,8	21,9	19,9	22,3	16,4	12,4	2,6	0,4	11,2
1857	-0,8	-0,7	5,4	12,8	16,4	19,6	22,7	22,6	17,4	14,8	5,0	0,4	11,3
1858	-3,7	-5,7	3,2	11,6	15,4	21,6	21,7	21,4	19,0	13,9	2,0	2,9	10,3
1859	0,3	5,5	9,0	12,4	16,0	19,9	24,0	23,1	16,4	14,5	6,5	-1,8	12,1
1860	1,4	-0,7	4,1	10,6	16,9	20,6	19,3	20,3	17,1	10,5	4,7	1,6	10,5
1861	-4,2	5,4	6,8	10,0	14,5	21,5	21,4	23,4	18,4	12,1	7,0	-1,0	11,9

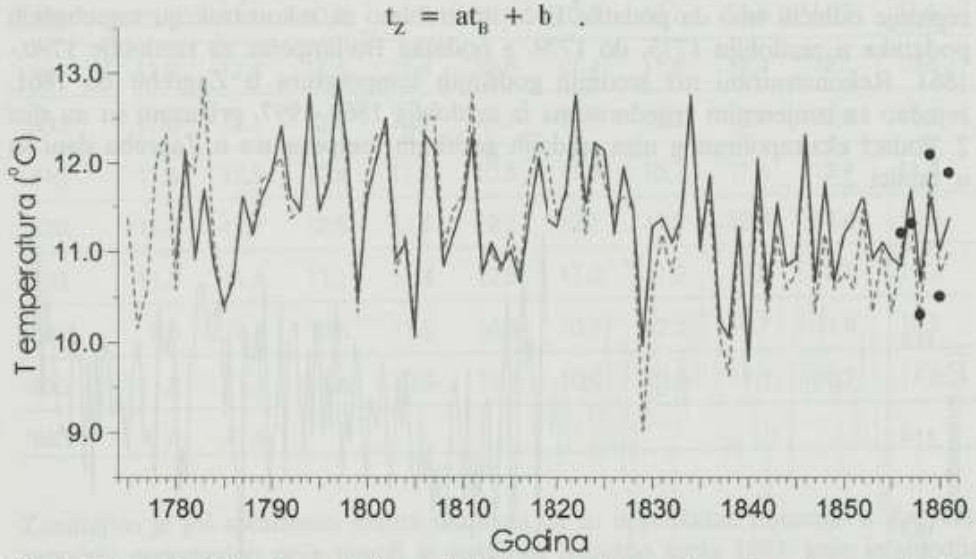
VREMENSKI NIZOVI TEMPERATURE ZRAKA U ZAGREBU, BEČU I BUDIMPEŠTI

Dosadašnja analiza vremenskih nizova, srednjih godišnjih temperatura zraka u Zagrebu, Beču i Budimpešti, pokazala je da kod sve tri postaje postoji uočljiv trend porasta temperatura (*Penzar* i dr., 1990.). Taj se trend jednim dijelom može pripisati promjeni mikroklime okoliša oko tih postaja zbog širenja gradova, a tek manjim dijelom globalnom zatopljenju u atmosferi. Da je tako zvani "urbani efekt" dominantan upućuje i činjenica da je trend porasta temperatura najveći u hladnom dijelu godine, dakle u sezoni grijanja. Važno je spomenuti da je taj porast najslabije izražen u Zagrebu što upućuje na homogenost zagrebačkih podataka i njihovu iznimnu važnost u izučavanju klimatskih promjena.

Anomalije srednjih godišnjih temperatura na bližim postajama obično imaju isti predznak, čak i sličan iznos. To nas je ponukalo da na osnovi neprekidnih mjerenja u Beču (od 1775.) i Budimpešti (od 1780.) rekonstruiramo podatke za Zagreb za razdoblje od 1775. do 1861. od koje je godine u Zagrebu započeo neprekidni niz mjerenja. Analiza je pokazala da postoji dobra korelacija srednjih godišnjih temperatura u razdoblju 1862.-1990. na postaji Zagreb-Grič i postajama u Beču i Budimpešti. Koeficijent korelacije iznosi 0,885 odnosno 0,913. Na slici

1. prikazane su dvije rekonstrukcije srednjih godišnjih temperatura u Zagrebu u razdoblju 1770.-1861. Prva (isprekidana) linija dobivena je na osnovi jednadžbe linearne regresije podataka Zagreba i Beča u razdoblju 1862.-1990. a druga (puna) linija na osnovi jednadžbe regresije podataka Zagreba i Budimpešte iz istog razdoblja. Te dvije krivulje u stvari predstavljaju nešto izmijenjeni preslik vremenskog niza srednjih godišnjih temperatura u Beču odnosno u Budimpešti. Te izmjene su vidljive iz opće jednadžbe linearne regresije:

$$t_Z = at_B + b \quad .$$



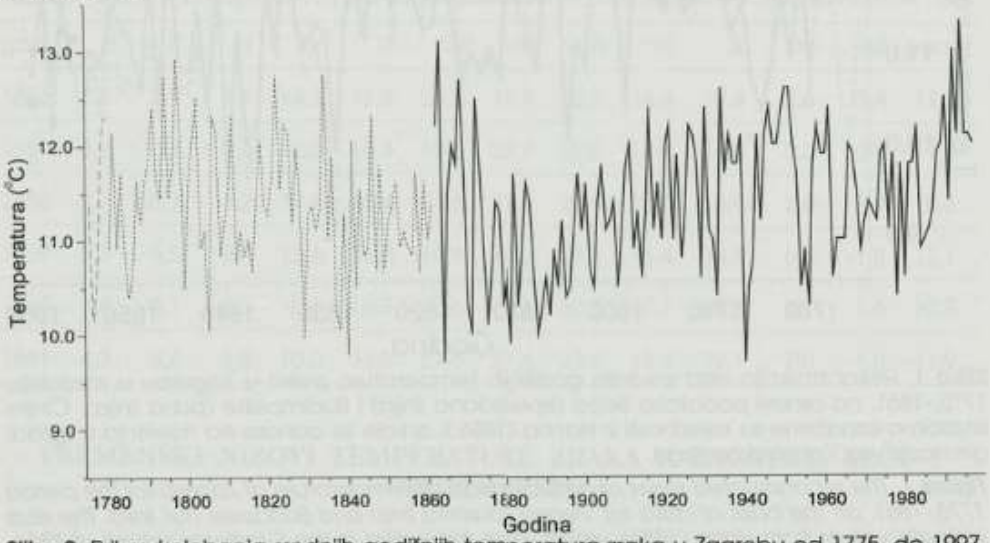
Slika 1. Rekonstrukcija niza srednjih godišnjih temperatura zraka u Zagrebu u razdoblju 1775.-1861. na osnovi podataka Beča (isprekidana linija) i Budimpešte (puna linija). Crnim kružićima označene su vrijednosti iz Hanna (1886.), a koje se odnose na mjerenja u zgradi gimnazije na Katarinskom trgu.

Figure 1. *The reconstructed series of annual mean air temperature at Zagreb for the period 1775.-1861. on the basis of data for Vienna (dashed line) and Budapest (full line). The dots indicate values from Hann (1886), which were measured in the Grammar school at Katarinski trg.*

Rekonstruirani niz zagrebačkih podataka (t_Z) na osnovi podataka Beča (t_B) dobio se tako da su međugodišnje promjene temperature u bečkim podacima prigušene za faktor a=0,868 i dobivena vrijednost povećana za iznos b=3,1 °C, koji je približno jednak razlici višegodišnjih srednjih vrijednosti u Zagrebu i Beču. Slično za Budimpeštu, koeficijenti a i b u jednadžbi regresije iznose 0,873 odnosno 1,8 °C. Iz slike je vidljivo da se ove dvije procjene temperatura u Zagrebu ponekad dosta razlikuju i na zoran način upućuju na njihovu nepouzdanost. Iako razlike u procjenama nisu velike, jer srednja kvadratna greška procjena na osnovi podataka Budimpešte iznosi 0,299 °C a na osnovi podataka Beča 0,339 °C, ipak u usporedbi sa standardnom devijacijom zagrebačkih podataka koja iznosi 0,75 °C, one nisu zanemarive. Neznatno poboljšanje u procjenama postiže se ako se primjenom višestruke regresije istodobno uvaže podaci s obiju postaja. Tada, jednadžba regresije ima oblik

$$t_Z = 0{,}63t_{Bu} + 0{,}27t_{Be} + 1{,}90$$

Srednja kvadratna greška procjena temperatura u Zagrebu u razdoblju 1862.-1990. na osnovi te jednadžbe iznosi 0,291 °C. Na slici 1. su kružićima prikazani podaci iz razdoblja 1856.-1861. koji su prema *Hannu* (1886.) izmjereni u Zagrebu. Ti podaci na neki način potvrđuju pouzdanost procjena rekonstruiranog niza ali i obratno, rekonstruirana serija upućuje na pouzdanost tih podataka jer srednja apsolutna razlika srednjih godišnjih temperatura iz tog kratkog niza i odgovarajućih vrijednosti rekonstruiranog niza jednaka je nuli. Srednja kvadratna greška iznosi 0,5 °C. Zbog vrlo malog poboljšanja koje pruža jednadžba višestruke regresije odlučili smo da podatke Beča upotrebimo za rekonstrukciju zagrebačkih podataka u razdoblju 1775. do 1779. a podatke Budimpešte za razdoblje 1780.-1861. Rekonstruirani niz srednjih godišnjih temperatura u Zagrebu do 1861. zajedno sa izmjerenim vrijednostima iz razdoblja 1862.-1997. prikazani su na slici 2. Podaci ekstrapoliranog niza srednjih godišnjih temperatura u Zagrebu dani su u tablici 2.



Slika 2. Prikaz kolebanja srednjih godišnjih temperatura zraka u Zagrebu od 1775. do 1997. Crtkano je prikazan rekonstruirani niz a punom linijom niz na osnovi neprekidnih mjerenja na Griču od 1862. do 1997.

Figure 2. *The fluctuations of the mean annual air temperature at Zagreb from 1775. until 1997. The dashed line indicates reconstructed series and full line are values based on continuous measurements at the Zagreb-Grič Observatory from 1862. until the present time*

Pažljivijim promatranjem međugodišnjih promjena temperature u rekonstruiranom nizu temperatura u Zagrebu (do 1862.), može se primijetiti da su ona relativno manja nego u sljedećem razdoblju od 1862. do danas. Razlog tome je dijelom metoda regresije kojom smo došli do rekonstruirane serije. S tom metodom dobivamo vremenske nizove u kojima je prirodna međugodišnja promjenljivost umjetno smanjena. Zbog toga se u klimatologiji pri ekstrapolaciji vremenskih nizova često upotrebljava jednostavnija "metoda diferencija" koja uzima u obzir samo razliku srednjih vrijednosti između osnovne postaje i postaje za koju se provodi ekstrapolacija. Ta metoda ne utječe na iznos međugodišnje promjenljivosti klimatološkog elementa ali ima nešto veću srednju kvadratnu grešku procjena.

Tablica 2. Podaci o srednjim godišnjim temperaturama (°C) u Zagrebu za razdoblje 1775.-1861. koji su izračunati na osnovi jednadžbe regresije iz podataka za Beč (1775.-1779.) i Budimpeštu (1780.-1861.).

Table 2. *The values of the mean annual air temperature (°C) at Zagreb for the period 1775.-1861. computed by linear regression from data for Vienna (1775..1779) and Budapest (1780.-1861.)*

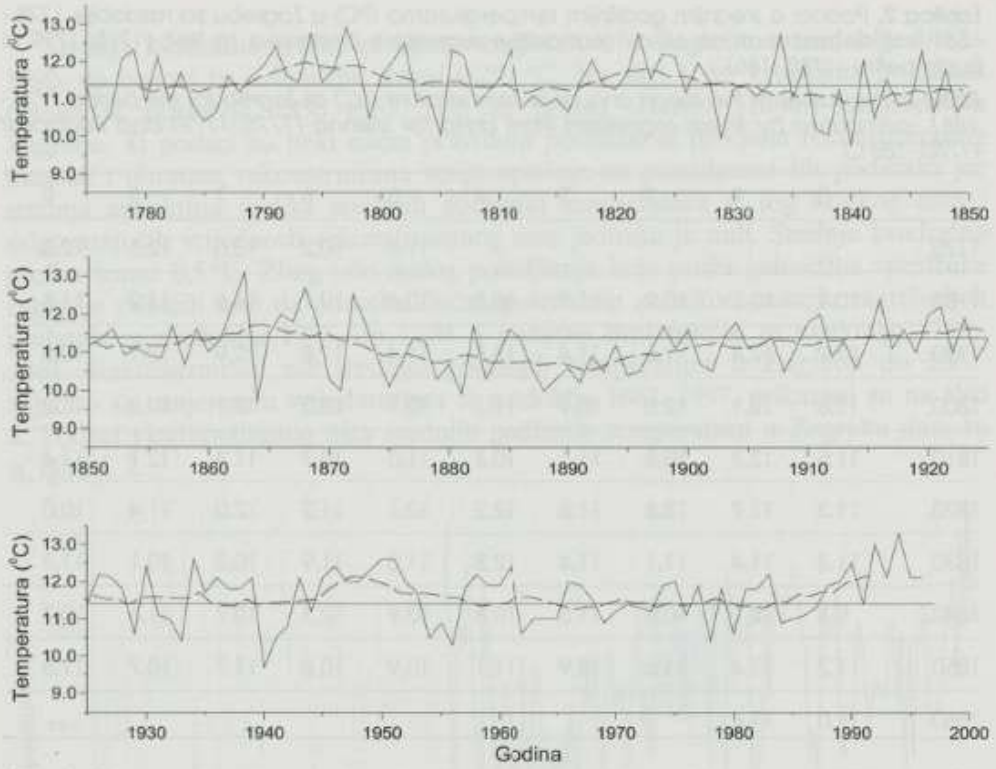
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1770.						11,4	10,2	10,6	12,1	12,3
1780.	10,9	12,1	10,9	11,7	10,8	10,4	10,7	11,6	11,2	11,6
1790.	11,9	12,4	11,6	11,4	12,8	11,4	11,8	12,9	12,1	10,5
1800.	11,6	12,1	12,5	10,9	11,1	10,1	12,3	12,1	10,8	11,2
1810.	11,5	12,3	10,8	11,1	10,8	11,0	10,7	11,4	12,1	11,4
1820.	11,3	11,7	12,8	11,5	12,2	12,1	11,2	12,0	11,4	10,0
1830.	11,3	11,4	11,1	11,4	12,8	11,0	11,9	10,2	10,1	11,3
1840.	9,8	12,1	10,5	11,5	10,8	10,9	12,3	10,7	11,8	10,7
1850.	11,2	11,4	11,6	10,9	11,1	10,9	10,8	11,7	10,7	11,6
1860.	11,0	11,4								

Zanimljivo je još spomenuti sretnu okolnost da su neprekidna mjerenja u Zagrebu započela neposredno prije negoli je nastupila izuzetno topla 1863. koju je slijedila izuzetno hladna 1864. godina. Te dvije godine bile su ekstremi 19. stoljeća koji su nastupili jedan za drugim.

Iako bi se metodom regresije mogla provesti rekonstrukcija i srednjih mjesečnih vrijednosti temperatura zraka u Zagrebu, točnost takvih procjena bila bi bitno manja jer se točnost ekstrapolacija klimatoloških podataka smanjuje sa smanjenjem razdoblja osrednjavanja.

OSVRT NA RECENTNO TOPLO RAZDOBLJE

Zagrebački meteorološki podaci poslužili su za veliki broj studija o klimatskim promjenama u našim krajevima. Iscrpna bibliografija tih radova može se naći u radu *Penzar* i dr. (1992.). Mi ćemo se ovdje ukratko osvrnuti samo na primjetan trend zatopljenja na kraju ovog stoljeća. Taj trend zatopljenja nije prisutan samo u zagrebačkim podacima nego i u podacima o srednjaku temperature zraka za cijelu Zemlju. Veći broj znanstvenika smatra tu činjenicu kao jasan dokaz za pojačanje efekta staklenika u atmosferi. Mi bismo ovdje željeli upozoriti na stanoviti oprez pri objašnjenju tog porasta. Iako je prosječan porast srednjih godišnjih temperatura u Zagrebu u posljednjih dvadeset godina do sada najveći u odnosu na trendove u bilo kojem drugom dvadesetogodišnjem razdoblju (uključujući i rekonstruirani niz od 1775.), ipak na slici 3. može se uočiti da je sličnih naglih



Slika 3. Prikaz promjena srednjih godišnjih temperatura zraka u Zagrebu od 1775. do 1997. (puna linija) i desetgodišnjih kliznih srednjaka (isprekidana linija).

Figure 3. *Mean annual air temperature at Zagreb from 1775. until 1997 (full line) and 10-year moving average (dashed line).*

Tablica 3. Prosječni porast srednjih godišnjih temperatura zraka u Zagrebu unutar pojedinih razdoblja duljine od 10, 20 i 30 godina. Podebljane su i podcrtane najveće vrijednosti. Sve vrijednosti dane su u jedinicama °C/10 god.

Table 3. *The average increase of mean annual air temperature at Zagreb within particular 10-, 20- and 30-year periods. The largest values are underlined. All values are in °C/10yr units.*

10 god	trend	20 god.	trend	30 god.	trend
1891-1900.	1,20	1888-1907.	0,61	1887-1916.	**0,40**
1940-1949.	**2,53**	1932-1951.	0,58	1922-1951.	0,25
1985-1994.	2,11	1978-1997.	**0,74**	1968-1997.	0,38

porasta temperature već bilo u prošlosti, na prelazu iz 19. u 20. stoljeće te u razdoblju 30-ih i 40-ih godina ovog stoljeća. U tablici 3. navedena su razdoblja duljine od 10, 20 i 30 godina u kojima je postojao sličan ili čak i veći trend porasta srednjih godišnjih temperatura negoli što je ovaj današnji.

Iako se ne smije zanemariti mogućnost da je ovaj recentni trend porasta srednje godišnje temperature zraka u Zagrebu dijelom uvjetovan pojačanjem efekta staklenika, ipak mi smo skloniji mišljenju da uzrok ovih naglih temperaturnih promjena leži u posebnostima atmosferske cirkulacije u ovom razdoblju.

ZAKLJUČAK

Danas je još teško odgovoriti na pitanje koliki je utjecaj pojačanja "efekta staklenika" na očiti trend globalnog zatopljenja. Po našem mišljenju on za sada još nije velik. Međutim, ako bi se koncentracija tih plinova povećavala i dalje sadašnjim tempom taj bi utjecaj mogao postati očit, a poduzimanje efikasnih mjera zakašnjelo. Ovdje bi isto tako željeli upozoriti da nam neke od procjena o očekivanom porastu srednjih mjesečnih temperatura tijekom ljeta na području južne Europe (IPCC, 1990; *Mitchel* i *Zeng*, 1991.) izgledaju suviše pesimistične (*Juras*, 1996.). Opravdana bojazan javnosti za posljedice globalnog zatopljenja ne bi smjela skrenuti našu pozornost od mogućnosti da se klimatske prilike u našim krajevima u budućnosti razvijaju u smjeru povratka hladnijim (normalnijim) zimama. Posljedice zbog nepripremljenosti stanovništva (pa prema tome i poljoprivredne proizvodnje) na tako izmijenjene nepovoljne vremenske prilike (koje bi zahtijevale sijanje sorti otpornijih na zimsku hladnoću i ranije rokove sjetve nego što se to danas radi) bile bi daleko ozbiljnije negoli one koje bi nastale u prvih nekoliko desetljeća sljedećeg stoljeća ako bi se sadašnji trend porasta temperature nastavio.

ON VARIATIONS IN AIR TEMPERATURE FROM THE 18th TO THE 20th CENTURY IN ZAGREB

SUMMARY

The paper gives a short review of meteorological measurements in the world and in Croatia. The survey of variations in temperature in this area is based on data since the end of the 18th century. Data measured in Zagreb from 1857 until the present time are comprised those for the previous years were obtained by extrapolation of measurements in Vienna and Budapest, which started as early as at the end of the 18th century. An increase of 0.85°C has been detected from the coldest 30-year period at the turn of the century (1874-1903), to the warmest period (1923-1952) in the middle of this century. A part of this temperature growth can be attributed to the "urban effect", i.e. the increase of temperature due to change in the microclimate of wider surroundings of the meteorological stations. The increase is noticable in data of all the three cities, but is least pronounced in Zagreb. This points to a high degree of homogeneity in Zagreb air temperature data. We are inclined to attribute the temperature increase in the last 30 years mainly to the absence of severe winters and to specific macrocirculation, rather than to the "greenhouse effect". Due to the large number of the factors which influence changes of mean annual air temperature, it is difficult to distinguish individual contributions.

LITERATURA

Fleming, J. R., 1997.: Meteorological observing systems before 1870 in England, France, Germany, Russia and the USA: a review and comparison. WMO Bulletin, 46(3), 249-258.

Hann, J., 1886.: Temperatur-Mittel aus der Periode 1851-1885 für die Österreichischen Alpen und deren Grenzgebiete, Wien, 1-30.

IPCC, 1990.: Climate change -The IPCC scientific assessment. Cambridge University Press.

Juras, J., 1996.: Efekt staklenika. U knjizi: B. Penzar i suradnici: "Meteorologija za korisnike", Školska knjiga-Hrvatsko meteorološko društvo, Zagreb, 276 str, 188-192.

Mitchel, J. F. B. and Q-c. Zeng, 1991.: Climate change prediction. *Meteor. Mag.*, 120, 153-163.

Partsch, P., 1826.: Bericht über das Detonations Phänomen auf der Insel Meleda, Wien, 130 pp.

Penzar, B. i I. Penzar, 1978.: Razvoj mreže meteoroloških stanica u Hrvatskoj u 19. stoljeću, Republički hidrometeorološki zavod Hrvatske, M6, 45 pp.

Penzar, B., I. Penzar, J. Juras and A. Marki, 1992.: Brief review of the climatic fluctuations recorded in Zagreb between 1862 and 1990. Geofizika, 9, 57-67.

Penzar, I., J. Juras and A. Marki, 1992.: Long-term meteorological measurements at Zagreb: 1862-1990. Geofizika, 9, Suppl., 171 pp.

Rákóczi, F., 1995.: Bruna Ferenc a matematikus csillagász és meteorológus, Légkör, 40, 34-35.

Stulli,.L., 1823.: Sulle detonazioni della insola di Meleda-Letere, Ragusa, 49 pp.

dr. sc. Josip Juras
mr. sc. Miroslava Pasarić
prof. dr. sc. Ivan Penzar
Geofizički zavod "Andrija Mohorovičić"
Prirodoslovno-matematičkog fakulteta
Sveučilišta u Zagrebu
10000 ZAGREB, Horvatovac bb

Tablica 1. Mjesečni i godišnji srednjaci temperature zraka (°C) u Zagrebu za niz 1856-1861.

Table 1. *Mean monthly and annual air temperature (°C) at Zagreb for the period1856.-1861.*

god.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	sred.
1856	3,3	2,9	3,9	13,1	15,8	21,9	19,9	22,3	16,4	12,4	2,6	0,4	11,2
1857	-0,8	-0,7	5,4	12,8	16,4	19,6	22,7	22,6	17,4	14,8	5,0	0,4	11,3
1858	-3,7	-5,7	3,2	11,6	15,4	21,6	21,7	21,4	19,0	13,9	2,0	2,9	10,3
1859	0,3	5,5	9,0	12,4	16,0	19,9	24,0	23,1	16,4	14,5	6,5	-1,8	12,1
1860	1,4	-0,7	4,1	10,6	16,9	20,6	19,3	20,3	17,1	10,5	4,7	1,6	10,5
1861	-4,2	5,4	6,8	10,0	14,5	21,5	21,4	23,4	18,4	12,1	7,0	-1,0	11,9