

**RAZGLEDI****SPREMINJANJE PODNEBJA V HOLOCENU**

AVTOR

**Darko Ogrin**

Naziv: dr., profesor geografije in zgodovine, docent

Naslov: Oddelek za geografijo, Filozofska fakulteta, Univerza v Ljubljani, Aškerčeva cesta 2, SI – 1000 Ljubljana, Slovenija

E-pošta: darko.ogrin@ff.uni-lj.si

UDK: 551.583:551.794

COBISS: 1.02

IZVLEČEK

**Spreminjanje podnebja v holocenu**

V prispevku so prikazane glavne poteze spreminjanja podnebja v holocenu in kratek pregled metod paleoklimatskih rekonstrukcij. Mlajši dryas pred 10.000 do 11.000 leti je pomenil prehod zadnje ledene dobe v holocen. Najtoplejše obdobje holocena je bil altitermal med 6000 in 3000 pr. n. št., ki mu je sledilo obdobje poslabšanja podnebnih razmer. Med 500 in 1300 n. št. je bilo srednjeveško toplo obdobje, ki se je po letu 1450 prevesilo v malo ledeno dobo. Zadnji dve stoletji, za kateri so na razpolago tudi dolgoletni nizi klimatskih meritev, sta v znamenju postopnega naraščanja temperature zraka.

KLJUČNE BESEDE

klimatske spremembe, paleoklima, metode za raziskovanje klimatskih sprememb, holocen, klima v instrumentalnem in predinstrumentalnem obdobju

ABSTRACT

**Climatic changes in the Holocene**

The paper presents the principal features of the climatic changes in the Holocene and a short overview of the paleoclimatic reconstruction methods. The Younger Dryas (10.000 to 11.000 years ago) was a transition of the last ice age to the Holocene. The warmest period of the Holocene, the altithermal, occurred between 6000 and 3000 B. C., and was followed by a period of cooler climatic conditions. Between 500 and 1300 A. D. there was the medieval climatic optimum which turned to the Little Ice Age after 1450. Characteristic of the last two centuries, for which multi-year strings of climatic measurements are available, is a gradual increase in air temperatures.

KEYWORDS

climatic changes, paleoclimate, climatic changes investigation methods, Holocene, climate in the instrumental and pre-instrumental periods

Uredništvo je prispevek prejelo 26. januarja 2004.

## 1 Uvod

Noben segment klimatologije ni v zadnjih letih toliko prisoten v javnosti, kakor so podnebne spremembe. Pojem je zelo splošen in zajema vse oblike nestabilnosti podnebnih razmer, ki lahko trajajo različno dolgo in imajo različčen razpon. Podnebje se stalno spreminja kot posledica notranje spremenljivosti v samem podnebnem sistemu in zunanjih vplivov. Ti so lahko naravni in antropogeni. V zadnjih desetletjih so v ospredju antropogeni vplivi oziroma naraščanje koncentracije tako imenovanih toplogrednih plinov v atmosferi, ki spreminjajo transmisijske lastnosti atmosfere in, kakor vse kaže, povzročajo postopno naraščanje globalne temperature na Zemlji. Od naravnih vzrokov, ki delujejo v daljših časovnih obdobjih, naj omenimo dolgoročno nihanja sevanja Sonca, spremembe sestave atmosfere in spremembe razporeditve morja in kopna. Nihanja sevanja Sonca in količina energije, ki jo prejmejo posamezni deli Zemlje, so posledica sprememb astronomskih parametrov Zemljine orbite (spreminjanje ekscentričnosti tira, nagiba Zemljine osi in precesije). Od teh sprememb je po Milankovičevi teoriji odvisen vzorec spreminjanja klime v zadnjih 600.000 letih, to je menjavanje ledenih in medledenih dob. Glavna perioda ledenih dob je 100.000 let, manjše, vmesne, pa se pojavljajo na 40.000 in 23.000 let. Zadnja ledena doba, ko so bile temperature za 8 do 12° C nižje od današnjih, se je končala pred približno 10.000 do 11.000 leti, njen konec sovпада z maksimumom osončenosti severne poloble. S koncem ledene dobe se je začel holocen, z vidika spreminjanja klime v daljših časovnih obdobjih toplo interglacialno obdobje, v katerem se je podnebje v krajših obdobjih tudi spreminjalo.

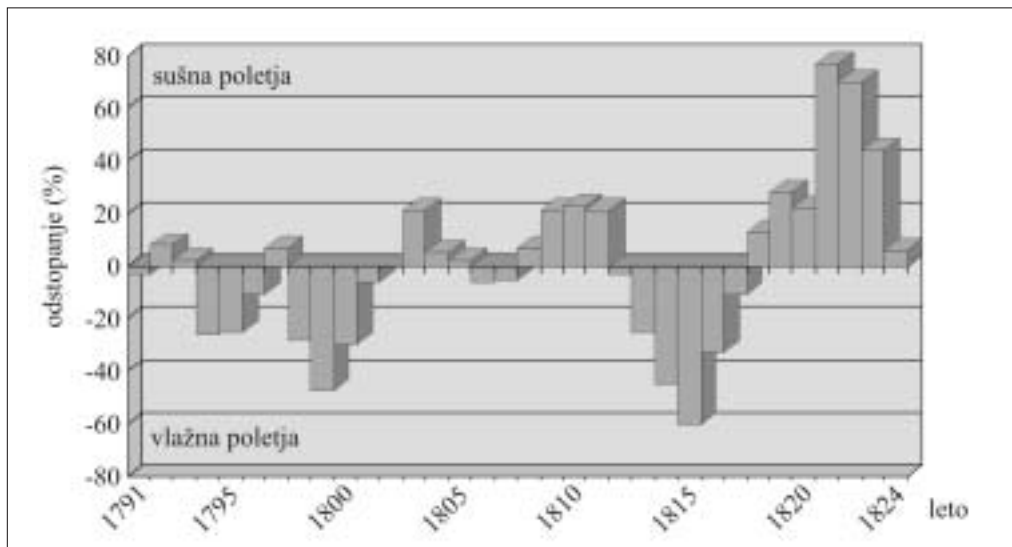
Namen prispevka je pregled spreminjanja podnebja v holocenu v krajših časovnih obdobjih do reda velikosti 1000 let. Glede na razlike v metodoloških pristopih so posebej prikazane klimatske spremembe v predinstrumentalnem in v instrumentalnem obdobju. Prikaz je prostorsko omejen na srednjo ali celotno Evropo, pri spreminjanju podnebja v instrumentalnem obdobju je večji poudarek dan spremembam v Sloveniji.

## 2 Spreminjanje podnebja v predinstrumentalnem obdobju

Predinstrumentalno obdobje je čas, za katerega še nimamo rednih in sistematičnih opazovanj vremena. V Evropi so se najzgodnejša začela v 17. stoletju, večinoma pa v 18. oziroma 19. stoletju, ko se je število meteoroloških postaj s kontinuiranimi meritvami in opazovanji zelo povečalo. Kot prvi so z meritvami temperature zraka začeli leta 1659 v osrednji Angliji, leta 1697 v Berlinu, 1726 v St. Petersburgu in leta 1739 v Upsali na Švedskem. Najstarejši podatki o količini padavin so za leto 1697 (London), leta 1715 so začeli s padavinskimi meritvami v Delftu na Nizozemskem, 1725 pa v Padovi v Italiji (Flohn in Fantechi 1984). Na slovenskem etničnem ozemlju so prve opazovalnice začeli postavljati v drugi polovici 18. stoletja. Najstarejša opazovalnica je začela z delom leta 1779 v Trstu, vendar so se podatki izgubili. Leta 1781 so z opazovanji začeli v Gorici, leta 1784 v Tolminu, leta 1813 v Celovcu in leta 1824 v Ljubljani (Pučnik 1980).

## 3 O metodah raziskovanja klimatskih sprememb

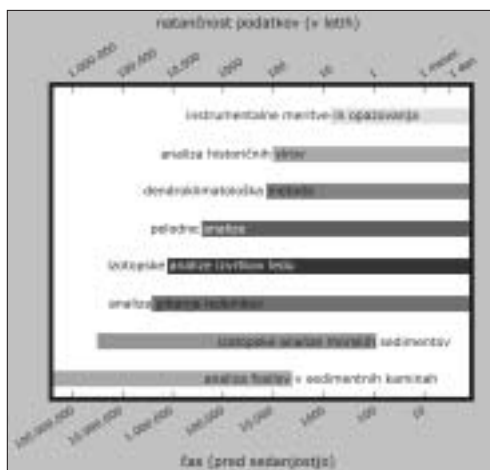
Ker za starejša obdobja nimamo klimatskih statistik, ki bi omogočale statistične analize spremenljivosti podnebja, se pri rekonstrukciji podnebnih razmer v predinstrumentalnem obdobju poslužujemo raznih metod, ki večinoma izkoriščajo posredne zapise nekdanjega podnebja. Značilnost teh zapisov je, da so običajno nizkih ločljivosti in pogosto posejani na redko, tako da ne omogočajo popolnih klimatskih rekonstrukcij. Omenimo naj historične vire, direktne in indirektne. Med direktne vire sodijo vremenske kronike (Ogrin 1994; Ogrin 2003b), s pomočjo katerih lahko ugotavljamo frekvenco vremenskih dogodkov v določenem času (na primer suš, zmrzali). Z uporabo indirektnih virov sklepamo



Slika 1: Rekonstrukcija poletnih padavin s pomočjo podatkov o proizvodnji soli v Piranskih solinah.

o preteklem podnebnju s pomočjo posledic le-tega (fenološki podatki, podatki o letinah, gibanje cen prehrabnih artiklov in podobno).

Uporabni so tudi podatki o gibanju ledenikov, tako iz zgodovinskih virov kakor rekonstrukcije nekdanjega stanja, ki jih dobimo z analizo morenskega gradiva in raziskavo lišajev (Šifrer 1986; Kotlyakov, Serebryanny, Solomina 1991). Ena pomembnejših indirektnih metod je dendroklimatološka metoda, pri kateri sklepamo na podnebne razmere iz serij drevesnih letnic (branik), saj je vsakoletni prirast zelo odvisen od prehrabnih in s tem tudi podnebnih razmer v okolju (Ogrin 1989; Duvick in Blasing 1981). Razmere v starejših obdobjih se da rekonstruirati tudi s pelodnimi analizami sedimentov, kjer na klimo v posameznih obdobjih sklepamo s pomočjo razširjenosti posameznih tipov vegetacije (Šercelj 1970; Campbell in McAndrews 1993). Vedno bolj so v veljavi tudi razne izotopske analize sedimentov in ledenih pokrovov, na primer ugotavljanje deleža »težkega« kisika ( $\delta^{18}\text{O}$ ). Osnova paleoklimatskih študij



Slika 2: Primernost metod paleoklimatskih rekonstrukcij za različna časovna obdobja (prirejeno po Ackerman in Knox 2003, 412; Hardy 2003, 35)

na osnovi kisika so drobne razlike v obnašanju »lahkega« in »težkega« kisika, ki izvirajo iz razlik v atomski masi (Muller in MacDonald 2000). Izvrtki ledu s polarnih ledenih pokrovov nudijo tudi možnost ugotavljanja deleža CO<sub>2</sub> in ostalih triatomnih plinov, ki so ujeti v zračnih mehurčkih. Povečan delež teh plinov sovпада s toplejšimi obdobji (Petit 1999). Preteklo klimo lahko rekonstruiramo tudi z analizo planktona v oceanskih sedimentih, saj je vrstna sestava planktona v posameznih plasteh zelo odvisna od temperature oceanske vode. Na klimo v preteklih geoloških obdobjih sklepamo tudi iz fosilnih ostan- kov rastlin in živali.

## 4 Podnebje od mlajšega dryasa do konca male ledene dobe

Rezultati analiz lednih vrtin iz Grenlandije kažejo, da je bil prehod iz mrzlega, suhega (količina pada- vin je bila pri nas okoli 1000 mm nižja od današnje) in vetrovnega **mlajšega dryasa** (med 8000 in 9000 pr. n. št.), to je zadnjega hladnejšega obdobja ob koncu zadnje ledene dobe, v toplejši, vlažnejši in manj vetroven holocen zelo oster in hiter, in to po večjem delu našega planeta. Nekateri raziskoval- ci (Taylor, Mayevski, Alley in Brook 1997) celo ocenjujejo, da se je ozračje na Grenlandiji v okoli 1500 letih segrelo za več kot 15° C. Sledil je hladen sunek. Nekateri ga razlagajo z velikimi količinami sladke vode, ki je zaradi taljenja ledenega pokrova preplavila severni Atlantik. Manj slana in zaradi segrevanja toplej- ša voda je ustavila Atlantski transportni trak (del Velikega oceanskega transportnega traku), ki prinaša energijo toplega Zalivskega toka v severni Atlantik, oziroma je bolj slana in gostejša voda Zalivskega toka potonila prej. To je povzročilo izrazito ohladitev. Po ustavitvi sistema je izhlapevanje iz Atlanti- ka spet povečevalo specifično težo vode, ki je začela spet toniti in je ponovno vzpostavila prejšnji sistem transporta energije (Bavec 2002).

Po toplejšem obdobju okoli 7000 pr. n. št. je sledila ohladitev, ki je dosegla višek okoli leta 6200 pr. n. št. Dokazi za to hladitev, v literaturi je poznana tudi kot dogodek 8,2 ka, govorijo v prid globalni ohla- ditvi: ohladi se površina Atlantika, sedimenti kažejo na spuščanje zgornje gozdne meje na severu Norveške in hladnejšo klimo, spremeni se padavinski režim v zmernih geografskih širinah, oslabijo monsumi. Zaradi podobnosti s podnebnimi razmerami v mlajšem dryasu sklepajo (Keeling in Whorf 2000), da je tudi ta ohladitev posledica zmanjšane dotoka energije v višje geografske širine zaradi oslabitve Atlanti- skega transportnega traku.

Po tej ohladitvi, ki označuje prehod iz zgornjega v srednji holocen, je prišlo do dokončnega umi- ka kontinentalnih ledenih pokrovov in gorskih ledenikov v višje predele, stabilizirala se je gladina svetovnih morij. To je čas globalne klimatske reorganizacije in vzpostavitve postglacijalnih razmer. Gladina Jadrans- kega morja, ki je bila v času poledenitve za 80 do 100 m nižja od današnje (morje je segalo približno do črte Ancona–Zadar), se je dvignila približno na današnji nivo. Med leti 6000 in 3000 pr. n. št. so tem- perature dosegle najvišje vrednosti v holocenu, zato to obdobje imenujemo tudi **altitermal** oziroma **atlantski podnebni optimum**. Ocenjujejo, da so bile temperature z regionalnimi odstopanji v posa- meznih obdobjih za 2 do 4° C višje od današnjih. Altitermalu je sledilo počasno zniževanje temperature z najnižjimi vrednostmi v 1. tisočletju pr. n. št. Po nekaterih virih (Dahl-Jensen, Mosegaard, Gundestrup in Clow 1998) naj bi bile temperature okoli začetka našega štetja za okoli 0,5° C nižje od današnjih, naj- slabše razmere pa naj bi bile med 900 in 450 pr. n. št., kar naj bi bil eden od pomembnih vzrokov za vsesplošno selitev ljudstev.

Med letoma 500 in 1300 n. št. je bilo na splošno ugodno podnebje, z okoli 1° C višjimi temperatu- rami kot v prvi polovici 20. stoletja. To obdobje zato imenujemo tudi **mali klimatski optimum** oziroma **srednjeveško toplo obdobje**. Razen lednih vrtin govorijo o ugodnosti podnebja v tem času, zlasti med leti 800 in 1300, tudi historični zapisi (Lamb 1995). Ugodno podnebje je omogočilo, da so Vikingi leta 870 poselili Islandijo in 100 let kasneje še Grenlandijo, kjer so gojili žita. Na Grenlandiji je bila povprečna letna temperatura ob višku otoplitve okoli leta 1100 za 3 do 4° C višja od sedanje. Anglija je bila med letoma 800 in 1000 vinorodna dežela, v zahodni in srednji Evropi je bila meja vinogradov za 4 do 5° geo-

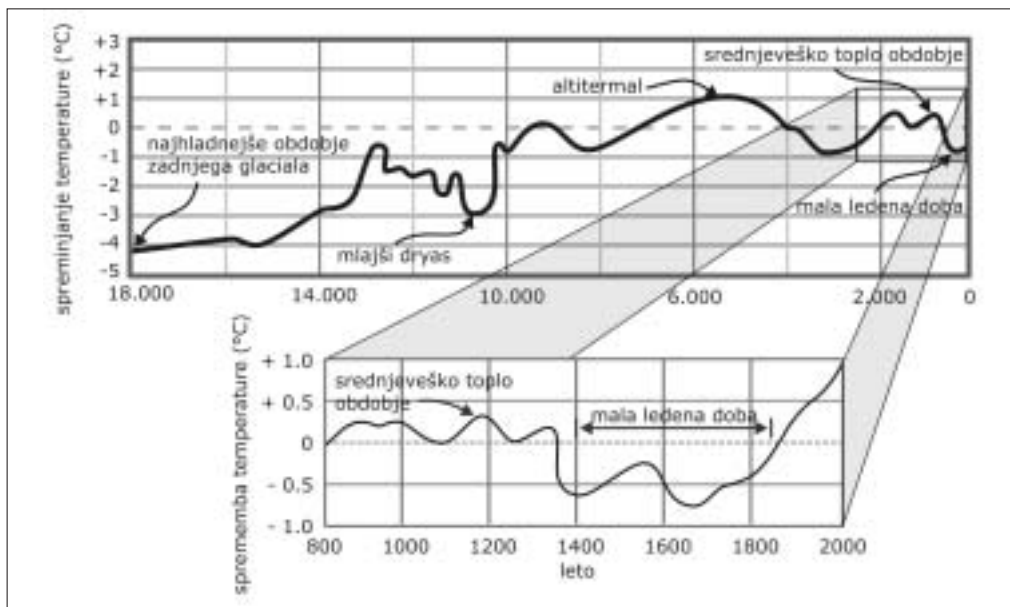
grafske širine severneje od sedanje, zgornja meja njihovega uspevanja pa je segala 100 do 200 m višje. V Alpah je bila zgornja gozdna meja do 200 m višja v primerjavi z današnjo. Na Norveškem so pridelovali pšenico celo do geografske širine 64°, ječmen pa do 69°. Na klimatsko ugodnost srednjeveškega obdobja kažejo tudi historični podatki iz naših krajev. Iz kronologije izrednih vremenskih dogodkov za submediteransko Slovenijo (Ogrin 1995) je razvidno, da med letom 850 in začetkom 12. stoletja ni zapisov o ostrih zimah. Gams pa navaja, da so med 12. in 14. stoletjem nastale v našem gorskem svetu najvišje kmetije, mnoge od teh so pozneje opustili (Gams in Vrišer 1998).

Srednjeveškemu toplemu obdobju, znotraj katerega so bili tudi negativni temperaturni odkloni, je sledilo v Evropi **obdobje izrazite podnebne labilnosti**, ki je trajalo do okoli leta 1400. Izmenjevale so se poplave in katastrofalne suše ter ostre in mile zime. Morske poplave na severozahodu Evrope so v 13. stoletju in na začetku 14. stoletja zahtevale sto do štiristo tisoč žrtev, kar jih uvršča med največje vremenske katastrofe v zgodovini. Vzrok za poplave naj bi bil dvig gladine svetovnega morja zaradi srednjeveškega toplega obdobja, povečana pogostost neviht zaradi ohlajanja Arktike ter povečanja temperaturne razlike med srednjimi in visokimi geografskimi širinami. Podnebje se je slabšalo, zato so izginile vikinške kolonije na Grenlandiji, v večjem delu Anglije so okoli leta 1400 opustili gojenje vinske trte, prav tako žit v severni Evropi in na Danskem. Vegetacijska doba se je v Angliji do leta 1400 skrajšala za okoli tri tedne. Ob slabših letinah je večkrat prihajalo do pomanjkanja hrane (ena najhujših lakot v zgodovini človeštva je bila triletna lakota po letu 1315), saj se je število prebivalcev do tedaj zelo povečalo. V Angliji in Nemčiji so med 1315 in 1340 izumrle ali bile zapuščene cele vasi, prihajalo je tudi do kanibalizma. Zaradi slabih življenjskih razmer je prihajalo do izbruhov bolezni pri ljudeh, živalih in rastlinah – od kuge, šena do živalske kuge in družbenih nemirov (Flohn in Fantechi 1984).

Obdobja med letoma 1450 (1500) in 1850 (1900) se je oprijelo ime **mala ledena doba**. Severna polobla je bila za okoli 1°C hladnejša, januarske temperature pa naj bi bile v Evropi za 3 do 4°C nižje kot v drugi polovici 20. stoletja. Višek je mala ledena doba dosegla med letoma 1550 in 1700. Alpski ledeniki so se spustili najnižje po zadnji poledenitvi in se tam zadržali do konca 19. stoletja, ko so temperature začele ponovno naraščati. Šifrer (1963) meni, da je iz tega časa tudi Triglavski ledenik.

Hladne razmere so dokumentirane tudi s prvimi meritvami in opazovanji. Meritve temperature zraka v Zürichu med letoma 1563 in 1576 kažejo, da je bila povprečna zimska temperatura kar za 1,7°C nižja kot v predhodnem obdobju med letoma 1546 in 1562. Zapadlo je tudi dvakrat več snega. V Angliji so bile zimske temperature med letoma 1550 in 1700 za 1 do 1,1°C nižje od povprečnih v prvi polovici 20. stoletja. Leta 1684 so tla v Kentu zamrznila do globine 90 cm, zamrznilo je tudi morje v 5 km pasu kentske obale Rokavskega preliva, prav tako na francoski strani. Led je prekrival 25 km širok pas morja ob nizozemski obali. V ostrejših zimah, kot na primer 1564–1565, je zmrzal trajala na Češkem od sredine decembra do sredine marca. To je bila ena najdaljših zim, primerljiva z zimami 1431–1432, 1434–1435, 1607–1608, 1613–1614 in 1657–58. Zaradi dolgih zim je prihajalo do velikih težav v kmetijstvu. Zmanjkovalo je krme za živino, ki je poginjala. Sneg, ki se je obdržal do pozne pomladi, je povzročal gnitje žit, pridelke so uničevale zgodnje slane in jesenski sneg. V Alpah so bili ljudje v strahu pred napredujočimi ledeniki, ki so prekrili kar nekaj vasi, kmetij in pašnikov (Flohn in Fantechi 1984).

Mala ledena doba ni bila enotno hladno obdobje. Zapisi iz grenlandskih lednih vrtnin kažejo na velika podnebna nihanja s pojavom poletnih vročinskih valov in milih zim. Ob vročem poletju leta 1665 v Angliji je izbruhnila zadnja kuga v Londonu, poletje leta 1666 pa se uvršča med najtoplejša poletja v angleški zgodovini sploh. Obe poletji sta bili zelo sušni, večina Evrope je hude poletne suše in vročine doživela tudi leta 1717, 1718 in 1719. V mali ledeni dobi je bila količina padavin na splošno nižja, ocenjujejo da do 10% v primerjavi s prvo polovico 20. stoletja. Manjša količina padavin je bila posledica nižje zračne vlage zaradi nižjih temperatur morja in manjšega izhlapevanja. Vendar je tudi za padavine v tem času značilna velika variabilnost, tudi s pojavom izredno namočenih let. Po Flohnu in Fantechiju (1984) so bila ta predvsem takrat, ko so se poti potujočih depresij prestavile nekoliko južneje ali so se razvili stacionarni cikloni. V takih obdobjih so napredovali tudi alpski ledeniki, ki so ponekod zajezili reke in povzročili katastrofalne poplave.



Slika 3: Globalno spreminjanje temperature v zadnjih 18.000 letih (prirejeno po Ahrens 2000, 509).

Glede na historične zapise iz primorskega dela Slovenije in severnega Jadrana lahko sklepamo, da sta bili pri nas v mali ledeni dobi dve obdobji z večjo pogostostjo zelo hladnih zim: 1300–1570 z viškom med letoma 1400 in 1450 ter 1475 in 1570 ter 1680–1865 z viškom v prvi polovici 18. stoletja. Manj zapisov o hudih zimah je za čas med letoma 1570 in 1675. Za konec 18. in začetek 19. stoletja imamo ob pogostih poročilih o ostrih zimah tudi več poročil o milih zimah, kar kaže na večjo variabilnost podnebja v tem času. Za čas med letoma 1475 in 1491 v prvem hladnem obdobju ter 1700 in 1765 v drugem je rekonstrukcija temperatur s pomočjo pogostosti pozeb oljk in zamrznitev Beneške lagune v primerjavi s hudo zimo leta 1929 pokazala, da so bile zimske temperature med letoma 1475 in 1491 za  $0,8^{\circ}\text{C}$  nižje od povprečnih v drugi polovici 20. stoletja, med letoma 1700 in 1765 pa za  $0,5^{\circ}\text{C}$  (Ogrin 1995).

## 5 Spreminjanje podnebja v instrumentalnem obdobju – trend naraščanja temperature zraka po višku male ledene dobe

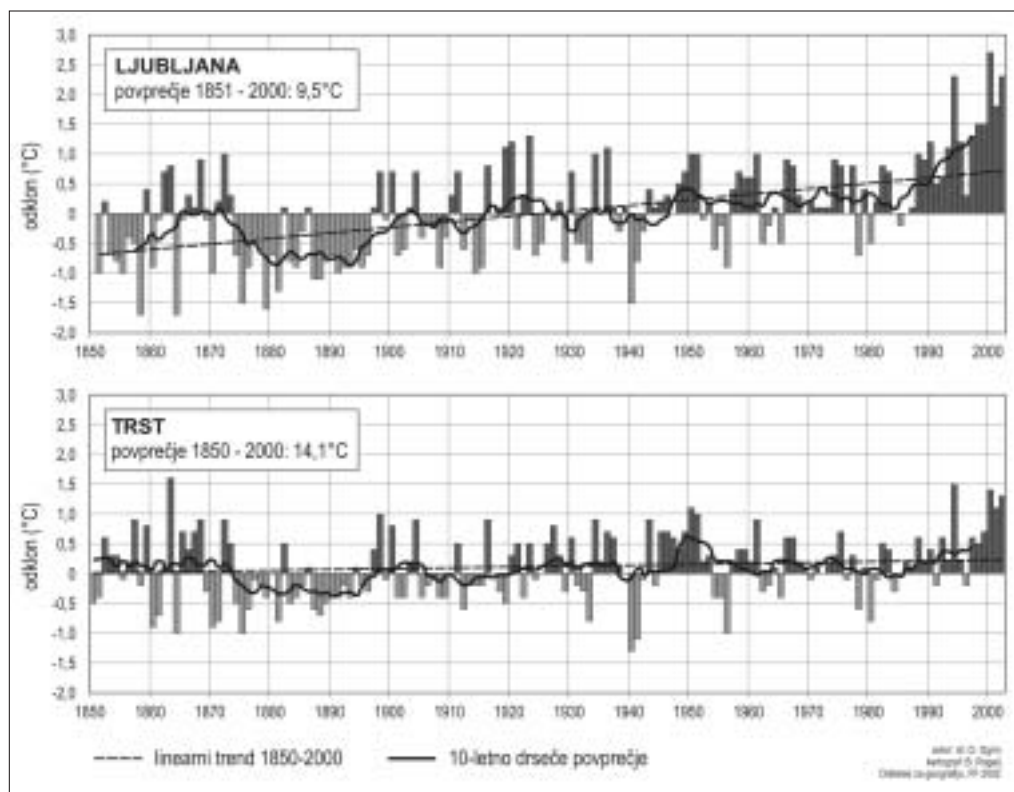
Po letu 1700 so se začele podnebne razmere izboljševati, ozračje se je otopilo. Toplo obdobje okoli leta 1730 je bilo na ravni toplega obdobja v prvi polovici 20. stoletja, ki je zajelo večino Evrope. Sledila je ponovna ohladitev (še posebej dolga in ostra je bila zima 1739–1740), po zelo svežem poletju 1740 pa je postajalo vse toplejše. Trend s toplimi poletji se je nadaljeval do konca 18. stoletja, vendar je bilo 19. stoletje spet nekoliko hladnejše. Trend segrevanja vseh letnih časov se je dokončno ustalil po letu 1890, kar je podaljšalo vegetacijsko dobo in povzročilo umikanje ledenikov, ki traja še danes. Trend pa ni linearen. Prvi višek otoplitve v 20. stoletju je bil med letoma 1930 in 1950, sledilo je rahlo znižanje temperature, drugi višek se je začel v osemdesetih letih in še vedno traja. Temperature se najbolj povečujejo v višjih geografskih širinah in pozimi, manj pa v nižjih geografskih širinah. V zadnjih 150 letih se je, globalno gledano, ozračje v troposferi ogrelo za  $0,6 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$  (Hardy 2003). 20. stoletje je bilo najtoplejše stoletje, zadnja dekada tega stoletja pa najtoplejša dekada v zadnjih 1000 letih.

Po prevladujočem mnenju naj bi bil glavni krivec za sodobno naraščanje temperature antropogeno povečan efekt tople grede.

## 6 Trendi temperature zraka in padavin v Ljubljani in Trstu med letoma 1851 in 2002

Sredi 19. stoletja sta na slovenskem etničnem ozemlju začeli s kontinuiranimi meritvami temperatur in padavin meteorološki postaji v Trstu in Ljubljani, s pomočjo katerih lahko rekonstruiramo potek podnebja v zadnjih 150 letih. Postaji sta v svoji zgodovini večkrat spremenili lego in inštrumentarij, zato je homogenost njunih podatkovnih nizov nekoliko vprašljiva. Še posebej za Ljubljano, kjer se je postaja po 2. svetovni vojni preselila na obrobje mesta za Bežigrad, ki je do konca 20. stoletja postal del strnjenegega mestnega kompleksa. Glede na to, da podatki niso bili korigirani, prihaja pri Ljubljani, še posebej pri ugotavljanju spreminjanja temperature zraka, do prepletanja vpliva mestne klime in splošnih trendov spreminjanja podnebja. Bolj homogeni so podatkovni nizi za Trst, kjer se je postaja tudi selila, vendar nikoli iz območja mesta. Razen tega so temperature podatke tudi korigirali, tako da ustrezajo meritvam, ki bi jih imeli, če bi postaja stalno delovala na današnji lokaciji v centru mesta nedaleč stran od morja.

S problemom spreminjanja podnebja v Ljubljani in Trstu se je ukvarjalo več raziskovalcev (Polli 1942 in 1946; Manohin 1952 in 1965; Stravisi 1976; Krevs 1986; Gams in Krevs 1990; Kajfež-Bogataj 1990



Slika 4: Odklon in trend povprečne letne temperature zraka v Ljubljani in Trstu med letoma 1850 in 2002.

in 1992; Ogrin 1994 in 1995). V nadaljevanju predstavljamo glavne ugotovitve analize obdobja 1851–2002, do katerih je prišel Ogrin (2003).

Na obeh postajah kažejo temperature, še posebej zimske, splošen trend naraščanja. V Ljubljani se je povprečna letna temperatura v 150 letih dvignila za 1,4° C (trend: 1° C na 100 let), kar je več kot je standardna deviacija za letne temperature, v Trstu pa le za 0,4° C. Zime so se v Ljubljani v zadnjih 150 letih ogrele za 2,3° C (1,6° C na 100 let), v Trstu pa za 1,1° C (0,7° C na 100 let). Pri obeh mestih je v zadnjem desetletju opazen izrazit trend ogrevanja vseh letnih časov, razen jeseni. Negativni trend izkazujejo le poletne temperature v Trstu (−0,2° C na 100 let), predvsem zaradi nadpovprečnih toplih poletij v začetku delovanja te postaje.

Pri padavinah je pri obeh postajah opazen trend zniževanja letne količine padavin (Trst: −80 mm na 100 let, Ljubljana: −32 mm na 100 let), ki gre predvsem na račun zmanjševanja padavin v jeseni (Ljubljana: −39 mm na 100 let, Trst: −44 mm na 100 let). Upadanje jesenskih padavin v zadnjih desetletjih je v Ljubljani pripeljalo do spremembe padavinskega režima. Submediteranski režim s primarnim viškom v jeseni se je spremenil v subkontinentalni režim z glavnim viškom padavin v poletnih mesecih. V Trstu se ob jesenskih rahlo znižujejo tudi poletne in pomladne padavine, medtem ko zimske ne izkazujejo nobene tendence. V Ljubljani se ob jesenskih znižujejo tudi spomladanske padavine, rahlo pa naraščajo poletne in zimske. Zanimivo je, da se v zadnjem desetletju 20. stoletja tako v Ljubljani kot v Trstu ponovno krepijo jesenske padavine, kar ob nadaljevanju te tendence ponovno napoveduje zamenjavo padavinskega režima v Ljubljani.

Zadnje desetletje 20. stoletja je bilo eno najtoplejših doslej tudi po meritvah pri nas. Povprečne letne temperature so bile za 0,5 do 1° C višje od tridesetletnega povprečja 1961–1990. Zime so bile toplejše za okoli 1° C, na Kredarici celo za 1,4° C, poletja pa za 1 do 1,5° C. Leto 2000 je bilo v večjem delu Slovenije celo najtoplejše, odkar potekajo organizirane meritve, v Trstu je bilo toplejše le leta 1841, 1863 in 1994.

## 7 Sklep

Vreme in podnebje sta kaotična sistema, ki se neprestano spreminjata. Ugotavljanje spremenljivosti je po eni strani zanimiva, po drugi pa tudi nevhvaležna naloga. Težave so povezane z relativno kratkimi obdobji, za katera razpolagamo z zanesljivimi meritvami in opazovanji ter nehomogenimi nizi podatkov, ki lahko pripeljejo do napačnih zaključkov. Za predinstrumentalno obdobje sta kljub pestrosti razpoložljivih metod velik problem pridobivanje ustreznih podatkov in njihova verifikacija. Dlje nazaj gremo, bolj so rekonstrukcije nezanesljive in večinoma prikazujejo le splošne tendence. Zaradi neprestanega spreminjanja podnebja imamo težave pri definiranju izhodiščnega, »normalnega« stanja in pri ugotavljanju odklonov, ki so v okviru običajne variabilnosti oziroma so te okvire že presegli. Ob tem je v sedanjosti prisotna še subjektivna nota in kratek podnebni (vremenski) zgodovinski spomin, ko se nam zdi, da se v zadnjih letih vse zelo (nenormalno) spreminja, medtem ko so bile razmere v preteklosti precej bolj stabilne. To seveda ne drži, kar dokazujejo razne vremenske kronike iz predinstrumentalnega obdobja in nekatere paleoklimatske rekonstrukcije, ki nakazujejo velike podnebne spremembe v zelo kratkih časovnih obdobjih.

## 8 Viri in literatura

- Ackerman, S. A., Knox, J. A. 2003: *Meteorology – Understanding the Atmosphere*. Minneapolis.
- Ahrens, C. D. 2000: *Meteorology Today*. Minneapolis.
- Bavec, M. 2002: Podnebne spremembe v kvartarju. *Ujma* 16. Ljubljana.
- Campbell, I. D., McAndrews, J. H. 1993: Forest disequilibrium caused by rapid little ice age cooling. *Nature* 366.



- Dahl-Jensen, D., Mosegaard, K., Gundestrup, N., Clow, G. D. 1998: Past Temperatures Directly from the Greenland Ice Sheet. *Science* 282.
- Duvick, N. D., Blasing, T. J. 1981: A Dendroclimatic Reconstruction of Annual Precipitation Amounts in Iowa Since 1680. *Water Resources Research* 17.
- Flohn, H., Fantechi R. 1984: *The Climate of Europe – Past, Present and Future*. Dordrecht.
- Gams, I., Krevs, M. 1990: Ali nam grozi poslabšanje vremena? *Ujma* 4. Ljubljana.
- Gams, I., Vrišer, I. (urednika) 1998: *Geografija Slovenije*. Ljubljana.
- Hardy, J. T. 2003: *Climate Change – Causes, Effects and Solutions*. Chichester.
- Kajfež-Bogataj, L. 1990: Analiza zimskih temperatur zraka v Ljubljani. *Zbornik Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani* 55 (kmetijstvo). Ljubljana.
- Kajfež-Bogataj, L. 1992: Vpliv pričakovanih klimatskih sprememb na živi svet. *Geografija v šoli* 2. Ljubljana.
- Keeling, C. D., Whorf, T. P. 2000: The 1800-year oceanic tidal cycle: a possible cause of rapid climate change. *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America* 97-4.
- Kotlyakov, V. M., Serebryanny, L. R., Solomina, O. N. 1991: Climate Change and Glacier Fluctuation During the Last 1000 Years in the Southern Mountains of the USSR. *Mountain Research and Development* 11-1.
- Krevs, M. 1986: Spremenljivost klime v Ljubljani in Trstu v obdobju 1851–1985. *Seminarska naloga, Oddelek za geografijo Filozofske fakultete Univerze v Ljubljani*. Ljubljana.
- Lamb, H. H. 1995: *Climate, History and the Modern World*. London.
- Manohin, V. 1952: Kratek pregled temperatur in padavin v Ljubljani v stoletni opazovalni dobi 1851–1950. *Geografski vestnik* 17. Ljubljana.
- Manohin, V. 1965: Nekateri značilnosti zimskih temperatur v Ljubljani v zadnjih 115 letih. *Razprave-Papers Društva meteorologov Slovenije* 6. Ljubljana.
- Muller, R. A., MacDonald, G. J. 2000: *Ice Ages and Astronomical Causes: data, spectral analysis and mechanisms*. Chichester.
- Ogrin, D. 1989: Dendroklimatologija in možnosti uporabe njene metode v Sloveniji. *Geografski vestnik* 61. Ljubljana.
- Ogrin, D. 1994: Modern Age Climatic Fluctuations in the Area of the Gulf of Trieste. *Geografski zbornik* 34. Ljubljana.
- Ogrin, D. 1995: *Podnebje Slovenske Istre*. Knjižnica Annales 11. Koper.
- Ogrin, D. 2003a: Spreminjanje temperature zraka in padavin po letnih časih v Ljubljani in Trstu v obdobju 1851–2002. *Dela* 20. Ljubljana.
- Ogrin, D. 2003b: Suha in mokra leta v submediteranski Sloveniji od 14. do srede 19. stoletja. *Annales* 13-1. Koper.
- Petit, J. R. 1999: Climate and atmospheric history of the past 420.000 years from Vostok ice core, Antarctica. *Nature* 399.
- Polli, S. 1942: 100 anni di osservazioni meteorologiche eseguite a Trieste (1841–1940), parte I: generalità e serie termometriche. *Bollettino della Societa Adriatica di scienze Naturali* XL. Udine.
- Polli, S. 1946: 100 anni di osservazioni meteorologiche eseguite a Trieste (1841–1940), parte II: Le serie pluviometriche, *Bollettino della Societa Adriatica di scienze Naturali* XLII. Udine.
- Pučnik, J., 1980: *Velika knjiga o vremenu*. Ljubljana.
- Ruddiman, W. F. 2000: *Earth's Climate, past and future*. New York.
- Stravisi, F. 1976: Considerazioni statistiche sui valori medi mensili di cinque elementi meteorologici, Trieste 1841–1975. *Istituto Sperimentale Talassografico »F. Vercelli«*, Pubblicazione 529. Trieste.
- Šercelj, A. 1970: Wurmska vegetacija in klima v Sloveniji. *Razprave* 4. razreda SAZU 13. Ljubljana.
- Šifer, M. 1963: Nova geomorfološka dognanja na Triglavu. *Triglavski ledenik v letih 1954–1962*. *Geografski zbornik* 8. Ljubljana.
- Šifer, M. 1986: Triglavski ledenik v letih 1974–1985. *Geografski zbornik* 26. Ljubljana.
- Taylor, K. C., Mayevski, P. A., Alley, R. B., Brook, E. J. 1997: The Holocene – Younger Dryas Transition Recorded at Summit, Greenland. *Science* 278.

## 9 Summary: Climatic changes in the Holocene

(translated by Branka Klemenc)

No other field of climatology has been so topical in the public for the last few years than the climatic changes. The climate is subject to constant changes which result from the internal changeability of the climatic system itself and the external impacts which can be both natural and anthropogenic. Outstanding in the last decades have been the anthropogenic impacts (increasing concentrations of greenhouse gases in the atmosphere). Mentioned among the natural causes which exert influence on a longer time-scale should be the long-term changes in the received solar energy resulting from the fluctuating pattern in the orbital parameters of the Earth. It is precisely the maximum insolation of the Northern Hemisphere that supposedly caused the end of the last ice age some 10.000 years ago and brought about the beginning of the Holocene.

Results of the analyses of ice cores from Greenland show a fast transition from the cold, dry and windy end of the last ice age to the warmer, more humid and less windy Holocene. The final recession of continental and mountain glaciers to higher-lying areas took place about 8000 years ago, and the level of the world oceans stabilized then. It was between 6000 and 3000 B. C., i. e. in the **altithermal** (the Holocene climatic optimum), that the temperatures reached the highest values in the Holocene. Except for some regional discrepancies, they were by 2 to 4° C higher than the present ones. The altithermal was followed by a slow decline in temperatures. So, they were about 0.5° C lower at the beginning of our era than the present temperatures. The severest conditions occurred between 900 and 450 B. C., which is also believed to be one of the most important causes for the general migration of peoples.

Between 500 and 1300 A. D., i. e. in the **medieval climatic optimum**, the climate was generally favourable and the temperatures were about 1° C higher than the present ones, which is also recorded in historical documents (the Vikings settled Iceland and Greenland, England was an important wine-growing country, the upper forest-line in the Alps ran by 200 meters higher than the present one). A period of an explicit climatic instability followed in Europe until the year 1400, with impairing climatic conditions. During this time, the Viking colonies disappeared from Greenland and around 1400 viniculture was abandoned in a greater part of England.

The period between 1450 (1500) and 1850 (1900) has been named the **Little Ice Age**. The Northern Hemisphere was cooler by about 1° C than it is now, and the January temperatures in Europe were supposedly lower by 3 to 4° C than those at the end of the 20<sup>th</sup> century. The Alpine glaciers reached the lowest altitudes since the last glaciation and the origination of the Triglav glacier is also believed to take place in that time. After the second half of the 19<sup>th</sup> century the temperatures began to rise except for short interruptions only and they still keep increasing at present. The data for Ljubljana, where the impact of town is also evident, show that the average annual temperature increased by 1.4° C; it was the winters that underwent the most intense warming, that is as much as 2.3° C. Precipitation in Slovenia has not shown any explicit trends in the past 150 years; the most evident is a gradual decline in autumn precipitation and, resultantly, the declining annual amounts.