Vetrnica

ISSN 1855-7457

0311 *glasilo Slovenskega meteorološkega društva*

WWW.METEO-DRUSTVO.SI

Razprave:

PODNEBJE ZAPLANE

Stališče SMD o podnebnih spremembah

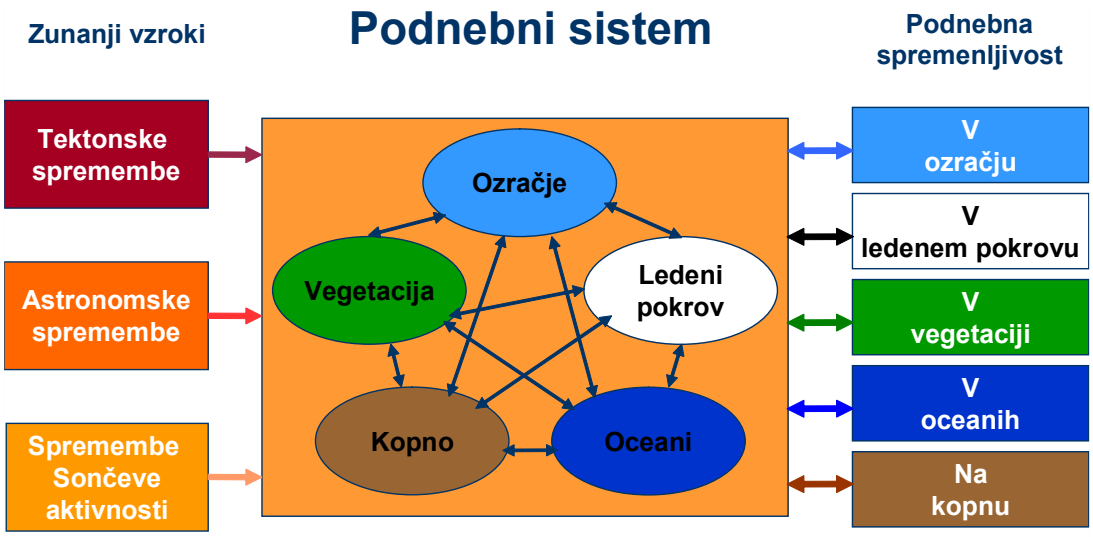
Stališče SMD o podnebnih spremembah

Uvod

Dne 20. januarja 2011 je Svetovna meteorološka organizacija (World Meteorological Organisation – WMO) v izjavi za javnost objavila, da je bilo leto 2010 skupaj z letoma 2005 in 1998 najbolj toplo, odkar merimo temperaturo. Globalna povprečna temperatura v letu 2010 je bila za 0,53 °C višja od 30 letnega povprečja 1961–1990. To je za 0,01 °C višje kot leta 2005 in za 0,02 °C višja kot leta 1998. Razlike globalne povprečne temperature med omenjenimi leti so manjše, kot je negotovost uporabljenih podatkov. Tudi zadnji podatki torej potrjujejo rastoči trend globalne temperature.

Problem podnebnih sprememb je vedno bolj prisoten v javnosti in medijih, kjer lahko slišimo zelo nasprotujoča si stališča o vzrokih podnebnih sprememb, resnosti stanja in verjetnih posledicah. Da bi osvežili znanje na tem področju, pregledali izsledke najnovejših analiz in strokovno preverjenih znanstvenih člankov, je Slovensko meteorološko društvo, katerega člani so večinoma meteorologi ali pa se poklicno ukvarjajo z vremenom in se zavedajo problema segrevanja Zemljinega podnebja, novembra in decembra 2010 organiziralo vrsto posvetov in predavanj o podnebnih spremembah. Na posvetih smo osvetlili najnovejša spoznanja o podnebju in njegovi spremenljivosti v Sloveniji in svetu. Z namenom, da slovenski javnosti prikažemo strokoven in z znanostjo podprt pogled na problem, smo pripravili Stališče Slovenskega meteorološkega društva o podnebnih spremembah. Dokument je razdeljen na dva dela: v prvem delu je predstavljenih deset ključnih dejstev, ki so v drugem delu obširneje pojasnjena in opremljena z verodostojnimi referencami, na katere smo se pri svojem delu najbolj naslonili.

Običajno razumemo pod pojmom podnebje opis značilnosti vremena čez daljše časovno obdobje. Podnebje predstavlja okvir, znotraj katerega lahko pričakujemo posamezne vremenske dogodke, nekatere bolj, druge manj pogosto. Vreme opisujemo s fizikalnimi spremenljivkami ozračja. Ozračje – atmosfera pa ni vase zaprt in od drugih »sfer« ločen sistem, ampak je del večjega, podnebnega sistema. Spodnja skica nazorno kaže prepletenost posameznih delov podnebnega sistema med seboj in z drugimi sistemi (slika 1). Zaradi tega moramo biti pri proučevanju podnebja posebej pozorni na prepletenost in zelo kompleksno soodvisnost različnih sistemov; opisovanje podnebnega sistema zato ni zgolj domena vremenoslovcev.



Slika 1. Dejavniki, prepletenost in spremenljivost podnebnega sistema

Človekov vpliv na spreminjanje podnebja je danes znanstveno dokazano dejstvo. Najbolj neposredno se ta vpliv kaže v naraščanju povprečne globalne temperature, ki je v največji meri posledica človekovih izpustov toplogrednih plinov (podrobneje o učinku tople grede v dodatku 1: »Kaj je učinek tople grede«). Zaradi naraščanja globalne temperature pa se spreminja celotni podnebni sistem: spreminjajo se padavinski vzorci, pogostost in jakost izjemnih vremenskih pojavov (nalivov, suš, vročinskih valov, itd), vse bolj se tali in krči grenlandski ledeni pokrov, zmanjšuje se obseg morskega arktičnega ledu, zmanjšuje se spomladanski obseg zasneženih površin na severni polobli, nivo morske gladine se vztrajno dviga. Antropogeni izpusti toplogrednih plinov ne povzročajo sprememb neposredno, ampak posredno — spreminjajo energijsko bilanco površja, zaradi česar narašča globalna ravnovesna temperatura.

V besedilu, ki sledi, smo člani Slovenskega meteorološkega društva na osnovi številnih recenziranih znanstvenih člankov in študij pripravili pregled ključnih dejstev. Nekateri med nami so sodelovali tudi pri analizah podnebja v Sloveniji. Vsako od izpostavljenih dejstev so tudi pojasnili. Za nekoliko podrobnejše osvetlitve posameznih pojmov ali analiz smo v dodatkih pripravili širše opise.

Ključna dejstva

1. **Meritve v svetu in tudi v Sloveniji kažejo, da se ozračje pri tleh segreva.**
2. **Dviga globalne temperature ozračja v zadnjem stoletju ni mogoče pojasniti samo z naravnimi vzroki (o izračunu globalne temperature glej dodatek 2).**
3. **Izmerjena hitrost zviševanja globalne temperature od začetka industrijske dobe do danes je izjemna v primerjavi s spremembami globalne temperature v zelo dolgi Zemljini zgodovini.**
4. **Poleg meritev si pri analizi podnebnih sprememb pomagamo tudi s podnebnimi modeli.**
5. **S podnebnimi modeli lahko ocenimo vpliv izpustov toplogrednih plinov in aerosolov na podnebje v prihodnosti, upoštevajoč negotovosti.**
6. **Globalno segrevanje ozračja je tesno povezano z drugimi spremembami podnebnega sistema.**
7. **Trend podnebnih sprememb s posledicami se bo nadaljeval še daleč v prihodnost.**
8. **Zaradi globalnega segrevanja se lahko v podnebnem sistemu sprožijo nenadne, nepredvidene in nepovratne spremembe velikega obsega.**
9. **Podnebne spremembe so pomemben, a ne edini okoljski problem.**
10. **Podnebne spremembe so problem nas vseh.**

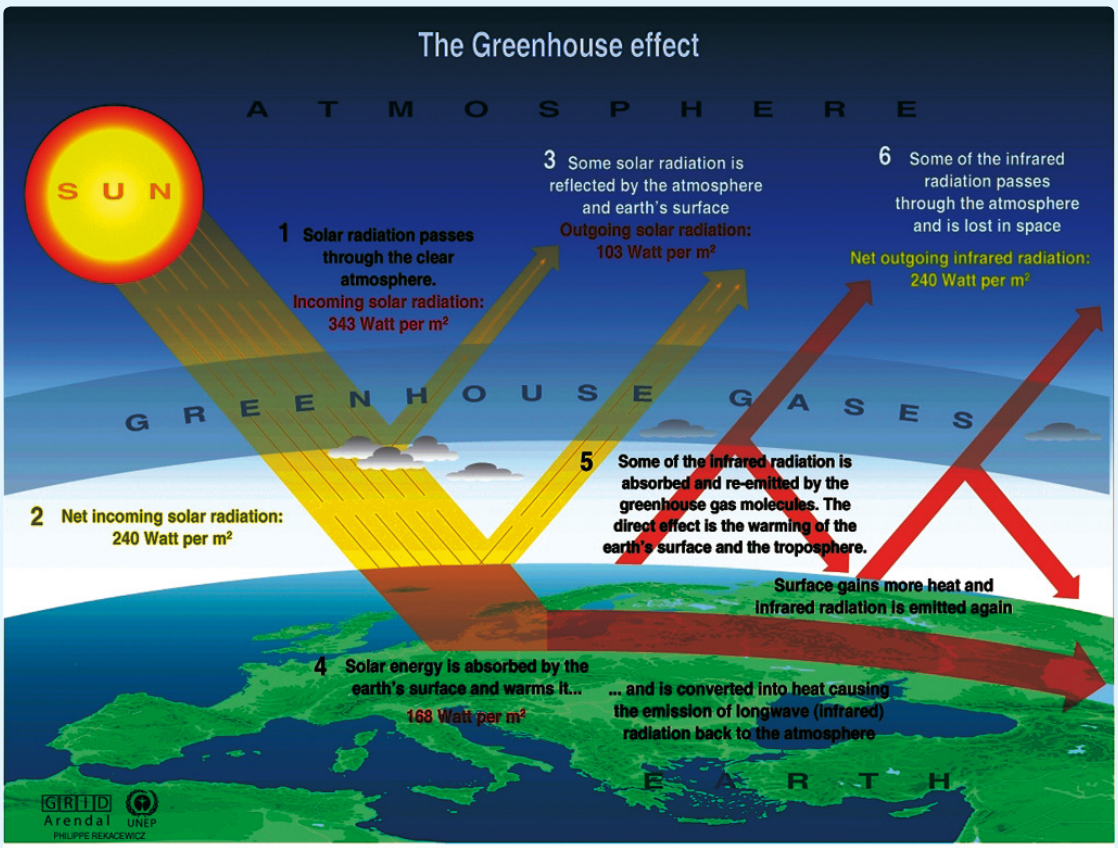
DODATEK 1

Kaj je učinek tople grede?

Sončno sevanje prehaja skozi čisto in jasno ozračje skoraj neovirano, le majhen del se ga absorbira, na primer ultravijolično sevanje v stratosferski ozonski plasti. Majhen del se ga odbije od oblakov (št. 3 na sliki 2). Ko prispe do Zemljinega površja se ga del od njega odbije, kar je odvisno od odbojnosti površja (št. 3), del pa ga površje absorbira (št. 4). Absorbiran del sončnega sevanja je kriv za segrevanje Zemljinega površja, ki nato seva nazaj v ozračje pri daljših valovnih dolžinah v infrardečem spektru. Za te valovne dolžine pa je ozračje manj prepustno. Tako imenovani toplogredni plini v ozračju del Zemljinega infrardečega sevanja absorbirajo in nato sevajo, prav tako v infrardečem delu spektra na vse strani (št. 5). Del izsevajo tudi nazaj proti Zemljini površini. Na ta način ostane del energije, ki bi se sicer izgubil v vesolje, ujet v spodnjem delu ozračja, ki ima prav zaradi tega učinka ob površju povprečno temperaturo za nekaj deset stopinj višjo kot bi bila brez učinka tople grede. Ozračje torej deluje podobno kot stene tople grede, ki prepuščajo sončno sevanje, ujamejo pa toploto površja, ki bi se sicer izgubila v okolico. Tako je znotraj tople grede višja temperatura kot zunaj.

Toplogredni plini

To so plini v ozračju, ki absorbirajo sevanje v območju infrardečih valovnih dolžin in pri teh valovnih dolžinah tudi sevajo. To so predvsem tri-, tudi štiri- in večatomni plini. Poglavitno vlogo pri učinku tople grede v Zemljinem ozračju ima vodna para, ostali pomembni toplogredni plini pa so še ogljikov dioksid, metan, dušikov oksid, ozon in nekateri klorofluoroogljikovodiki (freoni). Učinek tople grede je pomemben pri ustvarjanju ugodnih življenskih razmer na Zemlji, saj bi bila brez tega učinka Zemlja pokrita z ledenim pokrovom. Vendar pa dodatni človekovi izpusti toplogrednih plinov rušijo ravnovesje med prejeto in izsevano energijo na Zemlji. Zaradi dodatnih izpustov toplogrednih plinov se v ozra-



Slika 2. Shematski prikaz učinka tople grede (Vir: Poročilo IPCC 1995).

čju zadrži več energije in zato je ravnovesna temperatura višja. Govorimo o povečanem učinku tople grede, ki povzroča globalno ogrevanje.

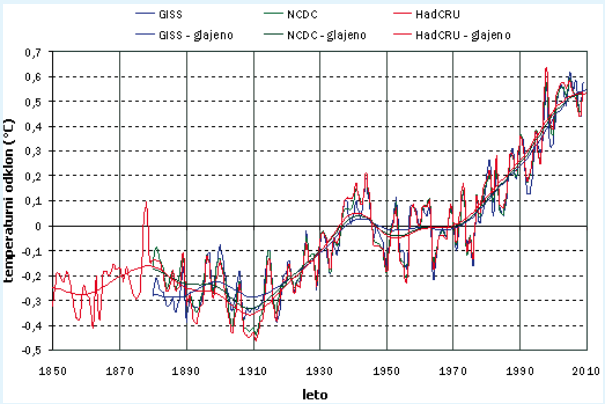
Vodna para je odgovorna za približno dve tretjini učinka tople grede. Po pomembnosti ji sledi ogljikov dioksid, ki je prav tako naravni toplogredni plin. Če v ozračju ne bi bilo ogljikovega dioksida, bi bilo zaradi nižje temperature tudi vodne pare bistveno manj. Ogljikov dioksid je sicer naraven toplogredni plin, vendar njegov antropogeni dodatek prispeva kar 60 % k dodatnemu toplogrednemu učinku. Naslednji pomembnejši toplogredni plin po količini in učinku je metan, predvsem njegov antropogeni dodatek, ki se ob napovedanih podnebnih spremembah lahko še močno poveča zaradi taljenja permafrosta. Od industrijske revolucije se je vsebnost toplogrednih plinov v ozračju povečala za več kot polovico, samo koncentracija ogljikovega dioksida je iz 280 ppm zrasla na 380 ppm (delcev na milijon).

DODATEK 2

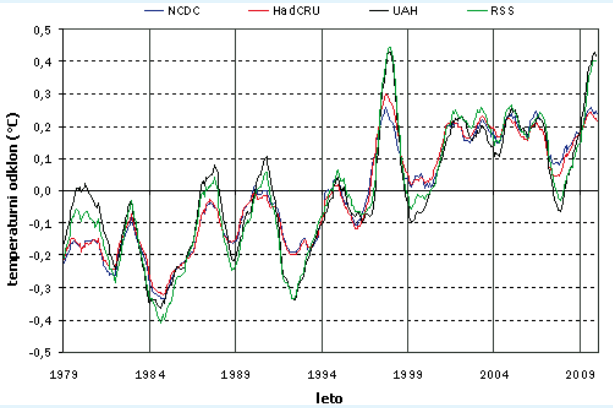
Izračun povprečne globalne temperature

Izračun povprečne globalne temperature je zapleten, saj je potrebno združiti temperaturne nize, izmerjene z različnimi merilnimi tehnikami: klasične meritve pri tleh, meritve na oceanskih bojah in potujočih ladjah, satelitske meritve itd. Zaradi različnih metodologij se izračunani nizi globalne temperature iz različnih ustanov med seboj nekoliko razlikujejo. Tanke krivulje na sliki 3 prikazujejo letne vrednosti in odebeljene glajeno povprečje (Gaussov filter). Spreminjanje temperature skozi večletna obdobja je pri vseh treh nizih na sliki zelo podobno – vsi kažejo podobno sliko globalnega segrevanja. Večje razlike med nizi so vidne le do začetka 20. stoletja, ko so bile meritve temperature nad kopnim zelo redke, nad oceani jih pa praktično ni bilo.

Slika 4 prikazuje primerjavo časovnega poteka odklona globalne temperature pri tleh na podlagi podatkov različnih centrov. Niza globalne temperature NCDC in CRU sta izračunana na podlagi meritev temperature pri tleh, niza UAH in RSS pa na podlagi



Slika 3. Časovni potek odklona povprečne globalne temperature zraka pri tleh v obdobju 1880–2010 glede na referenčno obdobje 1951–1980. Prikazani so nizi, izračunani v treh podnebnih centrih: GISS, NCDC in CRU.



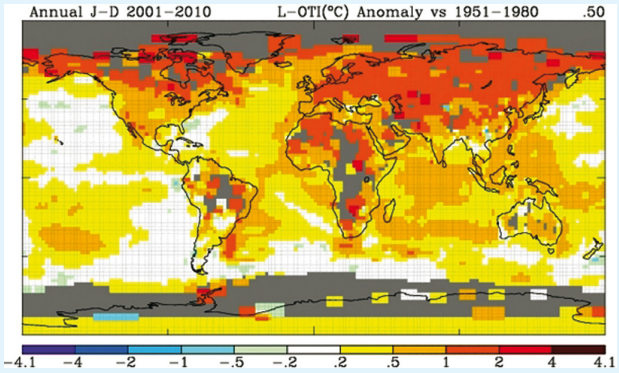
Slika 4. Primerjava časovnega poteka 12-mesečnega drsečega povprečja odklona globalne temperature zraka pri tleh za obdobje 1979–2010 na podlagi analiz različnih podnebnih centrov (Vir podatkov: NCDC, CRU, RSS, UAH).

satelitskih meritev temperature ozračja. Referenčno obdobje je 1979–2010. Satelitske meritve (UAH, RSS) ne predstavljajo temperaturnih razmer tik nad tlemi, temveč relativno debele plasti v spodnji plasti ozračja[1] . Nihanje temperature med posameznimi leti je pri satelitskih meritvah večje kot pri neposrednih meritvah temperature zraka tik nad tlemi. V obdobjih izrazito pozitivne (El Niño) ali negativne (La Niña) faze ENSO[2] pride do sistematične razlike med satelitskimi meritvami in meritvami pri tleh. Zaradi naravne podnebne spremenljivosti, ki je posledica oceanskega nihanja (ENSO ipd.) in zunanjih dejavnikov (Sončeva

1 Več o satelitskih meritvah na: http://www.remss.com/msu/msu_data_description.html

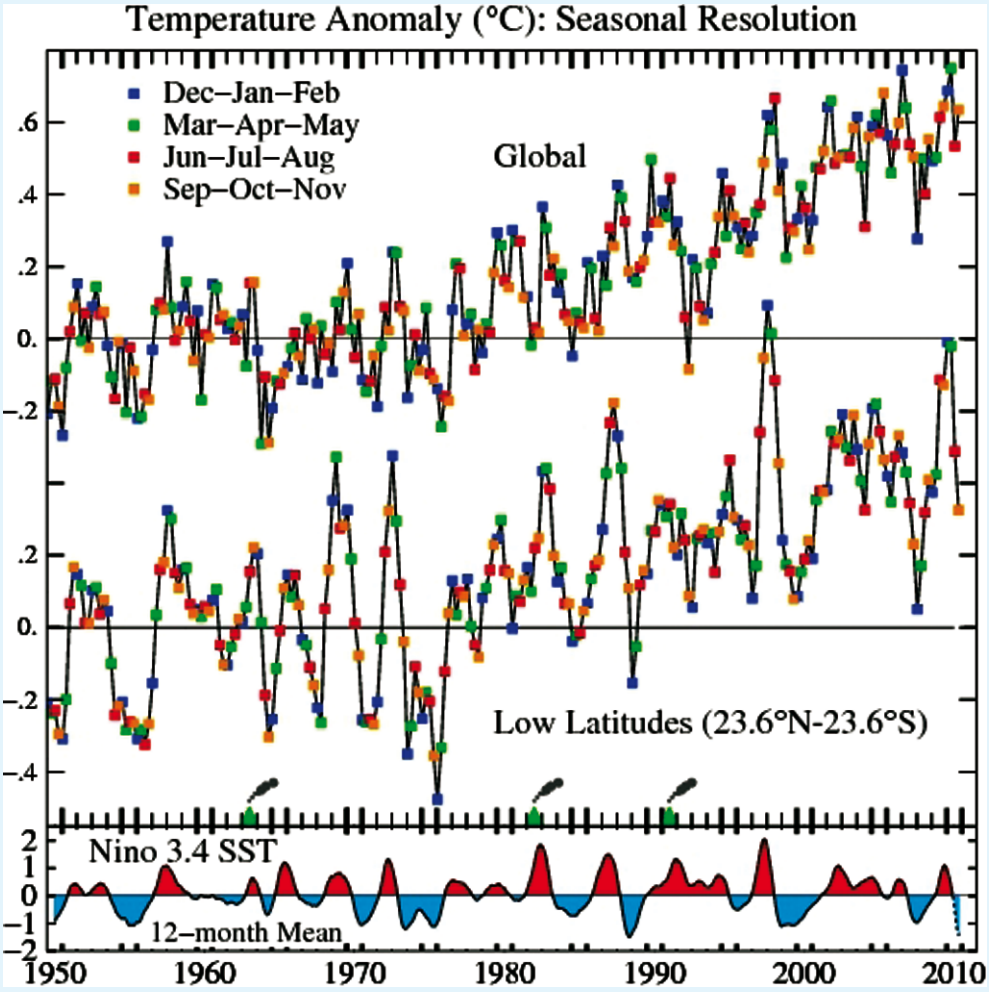
2 Kratica za angleški izraz »El Nino–Southern Oscillation«. Izraz označuje pojav v ozračju in morju na območju tropskega dela Tihega oceana. V povprečju se na vsakih nekaj let izmenjata topla faza, El Niñjo, in hladna faza, La ninja. V času El Niñja se površje vzhodnega Tihega oceana zaradi spremembe v kroženju vode segreje za nekaj stopinj Celzija, med La Ninjo pa ohladi. Istočasno se nad širšim območjem spremenijo vremenske razmere. Več na: http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensocycle/enso_cycle

dejavnost, ognjeniški izbruhi) se temperatura zraka pri tleh iz leta v leto spreminja in ne narašča enakomerno, tako da je zanesljivost ocene o globalnem segrevanju močno odvisna od dolžine izbranega obdobja, za katero računamo temperaturni trend. Zgolj nekaj let podatkov je premalo za uporabno informacijo o hitrosti globalnega segrevanja – potrebno je gledati vsaj okoli 30 let dolgo obdobje. Ocena odstopanj je odvisna od konkretnega referenčnega obdobja. Običajno najdemo v analizah 30-letna referenčna obdobja in seveda so razlike, če primerjamo sedanje stanje z referenčnim obdobjem 1950–1980 ali pa na primer z referenčnim obdobjem 1980–2010. Trend pa je neodvisen od izbire referenčnega obdobja.



Slika 5. Odklon temperature zraka pri tleh za desetletje 2001–2010 glede na referenčno obdobje 1951–1980 (Vir: GISS).

Poleg človekove dejavnosti na podnebje vplivajo številni naravni dejavniki, kot so oceansko nihanje, izbruhi ognjenikov in Sončeva aktivnost. Na sliki 6 vidimo vpliv nekaterih ognjeniških izbruhov in ENSO. Močni ognjeniški izbruhi v bližini ekvatorja za nekaj let malenkostno, a zaznavno ohladijo spodnji del ozračja. Ob pozitivni fazi ENSO, El Niñu, se ozračje nekoliko ogreje, v času La Niñe pa nekoliko ohladi. Na globalno temperaturo v podobni meri vpliva tudi Sončeva aktivnost, ki se periodično spreminja v približno enajstletnem ciklu.



Slika 6. Vpliv nekaterih ognjeniških izbruhov (zeleni trikotniki z dimom) in ENSO (rdeče-moder grafikon) na nihanje odklona (referenčno obdobje 1951–1980) globalne temperature (zgoraj) in temperature v tropskem pasu (na sredini) po letnih časih v obdobju 1950–2010 (Vir: GISS).

Obrazložitev posameznih ključnih dejstev

Meritve v svetu in tudi v Sloveniji kažejo, da se ozračje pri tleh segreva

Podnebje se segreva. Več kot stoletje dolga instrumentalna opazovanja kažejo na dvig povprečne globalne temperature zraka pri tleh za okoli 0,8 °C v preteklih 100 letih (slika 3), pri čemer je stopnja segrevanja regionalno precej različna (slika 5). Segrevanje tudi časovno ni enakomerno (sliki 3 in 4). V obdobju 1980–2009 je znašalo okoli 0,16 °C na desetletje. Najbolj so se segrela območja Arktike, Antarktični polotok in nekateri deli Evrazije; najmanjša temperaturna sprememba je bila zabeležena nad deli Tihega, Atlantskega in Južnega oceana (slika 5). Doslej so bila globalno najtoplejša leta 2010, 2005 in 1998 (WMO, 2010).

Kako se izračuna povprečna globalna temperatura zraka pri tleh, najdete v dodatku 2 »Izračun povprečne globalne temperature«. Razen upoštevanja različnih metodologij, ki so jih uporabili pri meritvah temperature ozračja, je pri vseh analizah potrebno upoštevati tudi zanesljivost meritev. Na kaj je potrebno biti posebno pozoren, je pojasnjeno v dodatku 3 »Kako zanesljive so meritve«.

Podobno kot v Evropi in večjem delu sveta tudi v Sloveniji meritve jasno kažejo, da se naše podnebje segreva (Dolinar in sod., 2010). Hkrati s segrevanjem ozračja se spreminjajo tudi številne druge podnebne lastnosti, ki pomembno vplivajo na človekove dejavnosti. Analiza podatkov za Slovenijo kaže na:

- dvig povprečne letne temperature zraka[1] v zadnjih štiridesetih letih v vseh slovenskih pokrajinah;
- nekoliko večji dvig temperature v mestih (0,4 °C na desetletje) kot na podeželju (0,3 °C na desetletje)[2];
- na podlagi enotnih trendov na podeželskih postajah, ki so skladni s trendi, opaženimi v sosednjih državah (Italija, Hrvaška, Avstrija), in na podlagi velikostnega reda dviga temperature, ki se ujema s prstnim odtisom CO_2, sklepamo, da dvig temperature v Sloveniji ni samo odraz lokalnih vplivov ampak tudi globalnih podnebnih sprememb;
- večinoma zaznavno naraščanje temperature v vseh letnih časih razen jeseni, ko je dvig temperature majhen ali nezaznaven;
- večje ogrevanje juter kot popoldnevov[3];
- povečanje števila toplih dni[4] in zmanjšanje števila ledenih dni[5];
- povečanje količine padavin jeseni in večinoma zmanjšanje v ostalih letnih časih in
- zmanjšanje višine novega snega in trajanja snežne odeje.

Preglednica 1. Sprememba povprečne temperature (°C/10 let), izračunana na podlagi linearnega trenda v obdobju 1950–2009 (za Bilje od leta 1963 dalje). Znak / pomeni, da trend ni statistično značilen (Vir: Dolinar in sod., 2010)

	zima	pomlad	poletje	jesen	leto
LJUBLJANA	0,4	0,4	0,5	0,2	0,4
CELJE	0,4	0,4	0,5	0,2	0,4
M. SOBOTA	0,3	0,3	0,4	0,1	0,3
NOVO MESTO	0,4	0,4	0,5	0,2	0,4
POSTOJNA	0,2	0,3	0,4	0,1	0,2
BILJE	/	0,3	0,5	0,3	0,3
RATEČE	0,2	0,3	0,4	/	0,2

Preglednica 2. Sprememba sezonske višine padavin (mm/10 let), izračunana na podlagi linearnega trenda v obdobju 1950–2009 (za Bilje od leta 1963 dalje). Znak / pomeni, da trend ni statistično značilen (Vir: Dolinar in sod., 2010)

	zima	pomlad	poletje	jesen	leto
LJUBLJANA	−16	−8	−7	14	−16
CELJE	−10	−10	−9	8	−20
M. SOBOTA	−4	/	−8	5	−8
NOVO MESTO	/	−4	−6	15	/
POSTOJNA	/	/	− 13	23	/
BILJE	− 20	−5	−7	48	/
RATEČE	− 23	−12	/	/	−30

Kakor lahko vidimo, stanje podnebja spremljamo s pomočjo meritev podnebnih spremenljivk na posebej izbranih meteoroloških merilnih postajah. Da bi lahko primerjali podatke med različnimi postajami in iz različnih koncev sveta med seboj, morajo biti meritve skrbno načrtovane in izvajane v skladu s standardi. Več o tem prav tako najdete v dodatku 3 „Kako zanesljive so meritve“.

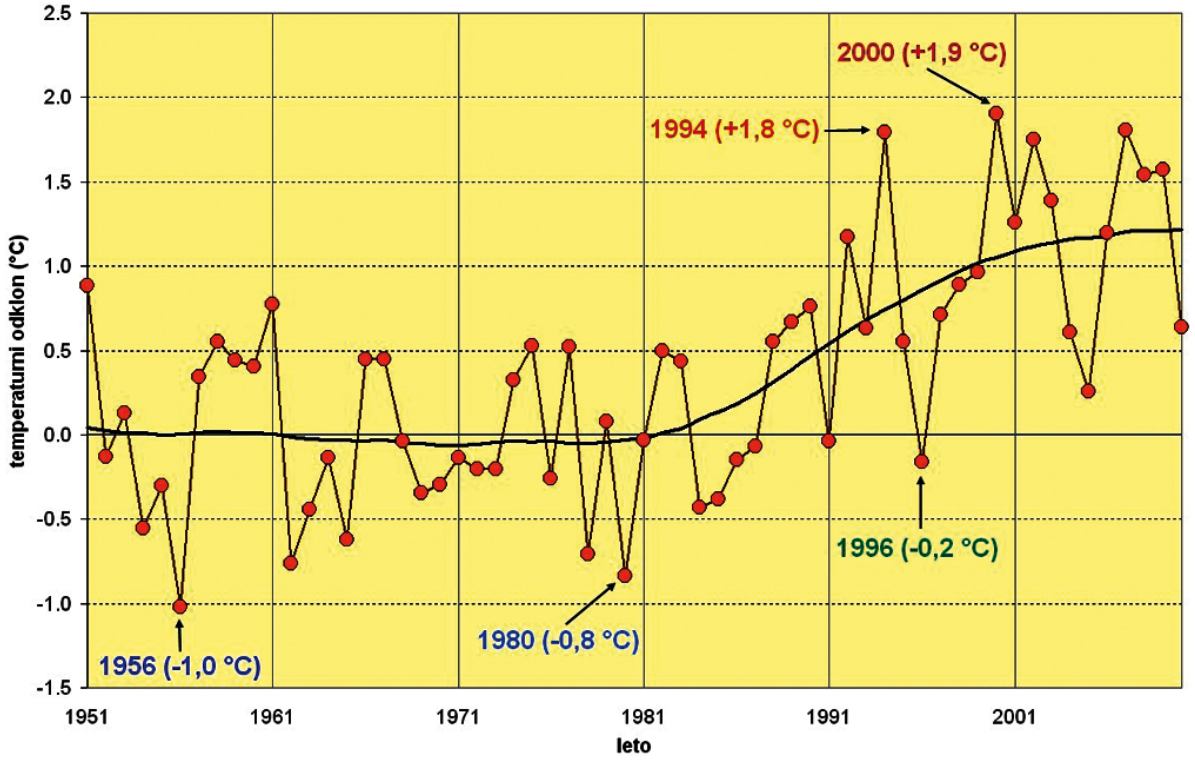
1 Temperaturo zraka pri tleh merimo v beli meteorološki hišici, dva metra nad travnato površino oziroma naravno podlago.

2 Razlika je posledica t. i. mestnega toplotnega otoka. Ta nastane zaradi spremenjene rabe tal (pozidanost) in toplote, ki se v naseljenih območjih sprošča zaradi človekove dejavnosti (promet, ogrevanje in hlajenje, raba električne energije itd.). Oba dejavnika povzročata dvig temperature v mestu glede na okoliško podeželje; še posebej opazno je to v nočnem času in ob jasnem ter mirnem vremenu.

3 Gre za močnejši dvig najnižje v primerjavi z dvigom najvišje dnevne temperature zraka.

4 Topel dan pomeni najvišjo dnevno temperaturo zraka vsaj 25 °C.

5 Leden dan beležimo takrat, ko temperatura zraka ves dan ostane pod ničlo.



Slika 7. Letni odklon v povprečni temperaturi zraka dva metra nad tlemi na območju Slovenije glede na referenčno obdobje 1961–1990. S pomočjo izbora 10 postaj (Kredarica, Rateče, Postojna, Sevno, Šmartno pri Slovenj Gradcu, Celje, Novo mesto, Murska Sobota, Bilje, Letališče Portorož), ki so geografsko dokaj homogeno razporejene, je mogoče zelo dobro oceniti povprečne razmere na ozemlju Slovenije v obdobju 1951–2010. Povprečna nadmorska višina izbranih postaj skoraj popolnoma ustreza povprečni nadmorski višini Slovenije, nobena od postaj pa ne izkazuje izrazitega trenda zaradi mestnega toplotnega otoka. V izbranem referenčnem obdobju 1961–1990 je povprečna temperatura na podlagi meritev omenjenih postaj znašala 8,2 °C. V obdobju 1951–2010 je bilo najtoplejše leto 2000 in najhladnejše 1956; razlika med obema ekstremoma znaša 2,9 °C. Pretekli dve desetletji sta v povprečju bistveno toplejši od predhodnega obdobja (1951–1990).

DODATEK 3

Kako zanesljive so meritve?

Stanje podnebja spremljamo s pomočjo meritev podnebnih spremenljivk. Meritve morajo biti skrbno načrtovane in izvajane v skladu s standardi, ki jih določa Svetovna meteorološka organizacija, s čimer zagotovimo primerljivost meritev po vsem svetu (WMO, 2008). Za znanost o podnebju ni pomembna le trenutna prostorska primerljivost meritev, kar zadostuje za napovedovanje vremena, ampak tudi primerljivost meritev skozi celotno merilno obdobje. To pomeni, da bi morale meritve potekati vseskozi na istem mestu, z enakimi ali primerljivimi inštrumenti in da se merilna okolica ne sme spreminjati. Našteto je v praksi seveda nemogoče, če upoštevamo dejstvo, da nekatere meritve v Evropi segajo nekaj sto let nazaj, najdaljše ohranjene meritve v Sloveniji pa segajo v leto 1850. Na mestu, kjer danes stoji mestna meteorološka postaja Ljubljana Bežigrad, so bili v času začetka meritev travniki in njive, meritve pa so v tem času izvajali na različnih lokacijah. V 160 letih opazovanj so se menjali tudi načini izvajanja meritev. Tako so bili termometri na začetku postavljeni na mestih, kot so okenske police, drevesa, terase in podobno. Njihova izpostavljenost direktnemu sončnemu sevanju je bila zelo različna. Šele kasneje so merilna mesta standardizirali, termometri so dobili svoje mesto v meteorološki hišici, ki mora biti postavljena na odprti osončeni legi, dva metra od tal nad travnato podlago oziroma tlemi, ki so naravno značilni za okolico postaje.

Vsako spremembo na merilnem mestu moramo skrbno zabeležiti. Zelo je pomembno, da zabeležimo tudi čas nastanka spremembe. Če je le mogoče (npr. v primeru prestavitve lokacije ali menjave inštrumenta), daljši čas opravljamo vzporedne meritve na novi in stari lokaciji ali z novim in starim instrumentom. Tako dobimo kvantitativne ocene vpliva spremembe na

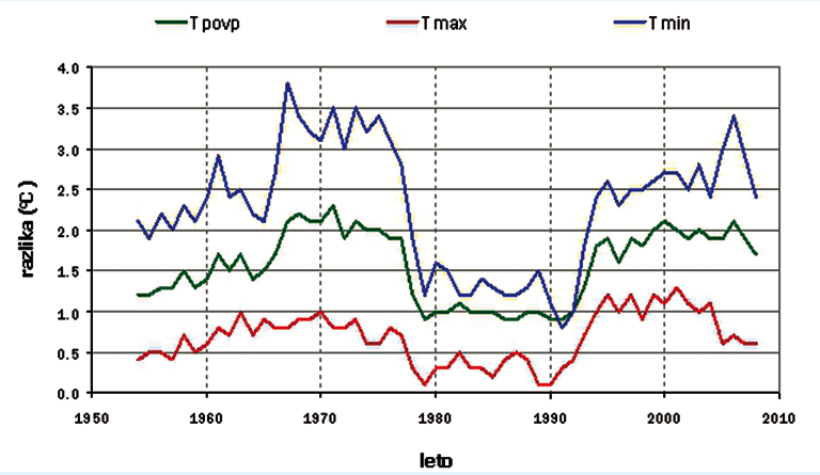
podnebne spremenljivke in to upoštevamo pri nadaljnji analizi meritev. Poleg informacij o premikih merilnih mest in menjavi inštrumentov zbiramo tudi ostale podatke o značilnostih merilnega mesta in merilnih instrumentih, okolici merilnih mest, opazovalcih in vseh spremembah, ki so kakorkoli povezane z merilno postajo. Vse te podatke imenujemo metapodatki, to so podatki o meritvah. Zelo pomembno je, da meteorološke podatke vedno analiziramo z upoštevanjem metapodatkov.

Zaradi omenjenih vplivov na meritve izmerjene podatke pred statistično analizo skrbno pregledamo. Prvi korak v postopku obdelave podatkov je kontrola izmerjenih vrednosti. Da odkrijemo napake, posamezni izmerek primerjamo z njegovimi predhodniki in nasledniki (časovna kontrola), z drugimi spremenljivkami, izmerjenimi na isti postaji (logična kontrola, kontrola z mejami) in z izmerki na sosednjih postajah (prostorska kontrola). Do napak najpogosteje pride zaradi napačnega odčitavanja meritev, okvare inštrumenta in slabega vzdrževanja inštrumentov.

Zaradi vzrokov, kot so premik postaje, menjava inštrumentov, avtomatizacija meritev in sprememba merilne okolice, pride v nizih meritev do signalov (skokov ali trendov), imenovanih nehomogenosti, ki niso posledica spremenljivosti podnebja. Zato je pred analizo podnebja na nekem časovnem nizu podatkov vedno potrebno ta niz testirati, če je primerno homogen. V primeru odkrite in z metapodatki potrjene nehomogenosti to nehomogenost odpravimo, če je le mogoče. V nasprotnem primeru niz ni primeren za časovne analize. Tipičen primer nehomogenega niza je prikazan na sliki 8. Homogeniziranje niza podatkov pomeni, da vse skoke in umetne trende v njem izravnamo s pomočjo statističnih metod, kot če bi bile vse meritve opravljene na istem mestu ob enakih pogojih. Kadar nas zanima regionalna spremenljivost podnebja, je potrebno izločiti tudi trende zaradi spremembe okolice (npr. vpliv širjenja mesta). Homogenizacijo nizov meteoroloških podatkov razdelimo v dve fazi: fazo iskanja nehomogenosti in fazo prilagajanja nehomogenega dela homogenemu delu niza. Pri odpravljanju nehomogenosti imajo pomembno vlogo metapodatki. S pomočjo le teh potrdimo oziroma ovržemo sum na nehomogenost v nizu, natančneje določimo datum in vrsto nehomogenosti ter se na podlagi tega odločimo za vrsto popravka. Če zaradi prevelikih napak in nehomogenosti popravek ni mogoč, niza ne moremo uporabiti za analize.

Proučevanje podnebnih sprememb temelji na homogenih nizih meritev, ki so dolgi vsaj 30 let. Statistična analiza, ki ne temelji na kontroliranih in homogeniziranih podatkih lahko pripelje do napačnih zaključkov. Verodostojni rezultati podnebnih analiz morajo biti podkrepljeni z opisom uporabljenih metod kontrole in homogenizacije meritev, ki so strokovno utemeljene.

Podrobnejši opis in priporočila glede homogenizacije in metapodatkov so objavljena v „Smernice glede metapodatkov in homogenizacije“ (Guidance on Metadata and Homogenization, Aguilar in sod. 2003), dosegljive samo na svetovnem spletu. Pester nabor homogenizacijskih metod je privedel do težnje po enotnem pristopu. V ta namen je v letu 2007 zaživel projekt COST ES0601. Več informacij o tem projektu, ki se bo zaključil v letošnjem letu, najdete na: http://www.homogenisation.org/.

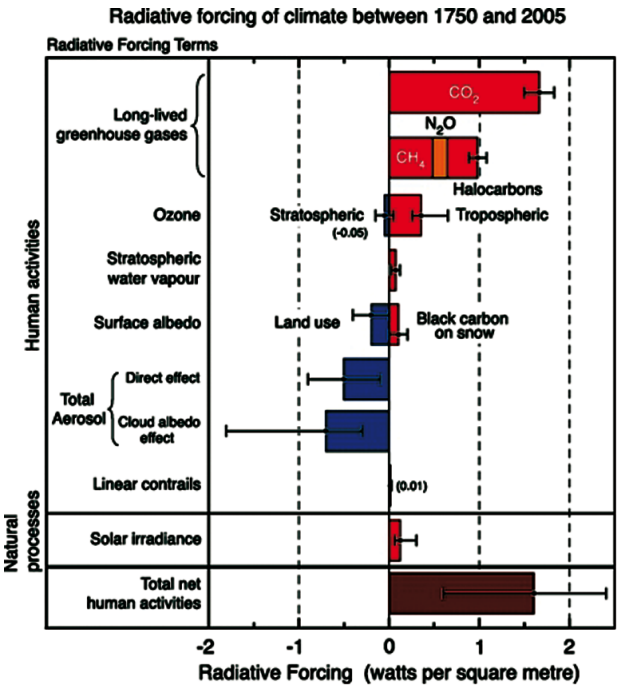


Slika 8. Primer izrazito nehomogenega niza – razlika v letnem povprečju povprečne dnevne (Tpovp), povprečne dnevne minimalne (Tmin) in povprečne dnevne maksimalne temperature (Tmax) med meteorološkima postajama Ljubljana Bežigrad in Letališča JP Ljubljana. Nenadni skoki v nizih so večinoma posledica menjave lokacije meritev na letališču (večji premiki so bili 31. maja 1966, 16. novembra 1978 in 5. avgusta 1993). V tem času se lokacija postaje v Ljubljani ni spremenila. Spremembe v minimalni temperaturi so v tem primeru občutno večje kot pri povprečni in maksimalni temperaturi. Zaradi nehomogenosti je potrebno podatke pred statistično analizo za potrebe proučevanja podnebja homogenizirati, uskladiti na primerljivo raven (Vir podatkov: Meteorološki arhiv Agencije RS za okolje).

Dviga globalne temperature ozračja v zadnjem stoletju ni mogoče pojasniti samo z naravnimi vzroki

Dviga globalne temperature ozračja v zadnjem stoletju ni mogoče pojasniti z naravnimi vzroki — tektonskimi, astronomskimi ali s spremembami Sončeve aktivnosti, ampak je skoraj zanesljivo posledica človekovega delovanja, ko z uporabo fosilnih goriv ter drugimi dejavnostmi sprošča v ozračje CO_2 in druge toplogredne pline (IPCC, 2007; Copenhagen Diagnosis, 2009). S tem spreminja sestavo ozračja, ki igra pomembno vlogo pri energijski oziroma sevalni bilanci zemeljskega površja.

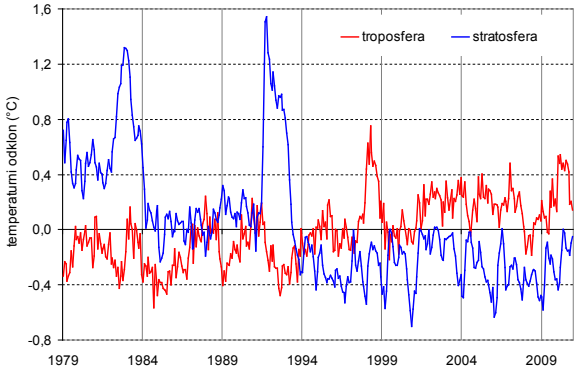
Vpliv različnih podnebnih dejavnikov na temperaturne spremembe zato lahko v grobem ovrednotimo s pomočjo spremenjene sevalne bilance, prikazane na sliki 9.



Slika 9. Sprememba sevalnega prispevka različnih dejavnikov v obdobju 1750–2005. Od leta 1750 do začetka 21. stoletja kažejo največjo spremembo v sevalnem prispevku ogljikov dioksid, metan, troposferski ozon in aerosoli. Vpliv vseh dejavnikov skupaj je kljub negotovosti znatno pozitiven, večinoma zaradi prispevka ogljikovega dioksida (Vir: IPCC, 2007).

Vpliv toplogrednih plinov in drugih posledic človekove dejavnosti na podnebje potrjujejo tudi t.i. prstni odtisi. Različni dejavniki, kot so Sončeva aktivnost, ognjeniški izbruhi, toplogredni plini itn., pustijo vsak svoj značilni vzorec oziroma prstni odtis na časovnem in prostorskem vzorcu sprememb v podnebnem sistemu (Santer in sod., 2003). Vpliv spremenjene koncentracije toplogrednih plinov v ozračju se kaže v obliki naslednjih značilnih temperaturnih vzorcev:

- troposfera[1] se je v zadnjih desetletjih ogrela, medtem ko se je stratosfera[2] ohladila (IPCC, 2007; slika 10);
- segrevanje je bilo v splošnem močnejše nad kopnim kot nad morjem (slika 5);
- nad kopnim so se zime v zadnjem stoletju ogrele bolj kot poletja (NCDC);
- tropopavza[3] se je v preteklih desetletjih dvignila (Santer in sod., 2003);
- oceani so se v zadnjih desetletjih opazno ogreli (Barnett in sod., 2005; Pierce in sod., 2006; Copenhagen Diagnosis, 2009);



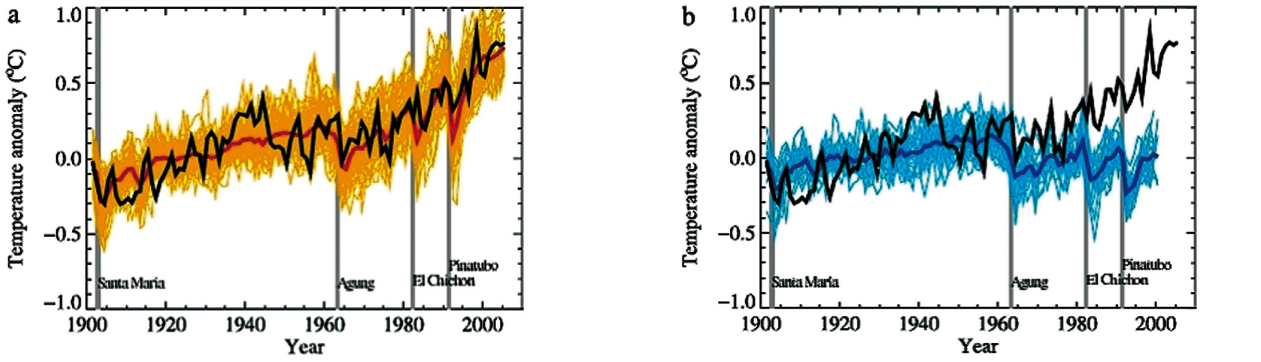
Slika 10. Časovni potek temperature v spodnji troposferi in spodnji stratosferi 1979–2010. Dva izrazita vrhova v poteku stratosferske temperature sta posledica izbruhov ognjenikov El Chichon v Mehiki (1983) in Pinatuba na Filipinih (1991). Omenjena ognjenika sta v stratosfero izbruhala veliko količino žveplovega dioksida. Ta ob stiku z vodo tvori kapljice žveplove kisline. Nastane meglica, ki nekaj Sončevega sevanja absorbira, nekaj pa odbije nazaj v vesolje. Zaradi absorpcije se stratosfera nekoliko segreje, medtem ko troposfero in površje doseže manj Sončevega sevanja in se zaradi tega nekoliko ohladita (http://www.esrl.noaa.gov/gmd/grad/mloapt.html). Vzroka za različni predznak trenda v stratosferi in troposferi sta spremembi v koncentraciji ogljikovega dioksida in ozona. Podrobnejšo razlago sevalnega mehanizma, ki povzroči to značilno spremembo, najdete na spletni strani http://www2.sunysuffolk.edu/mandias/global_warming/greenhouse_gases.html#stratospheric_cooling (Vir podatkov: RSS).

Ujemanje modelskih simulacij in meritev (slika 11) v navedenih točkah kaže, da je glavni vzrok za podnebne spremembe od začetka industrijske dobe naprej spremenjena koncentracija toplogrednih plinov v ozračju.

1 Troposfera - spodnja plast ozračja, v katerem se odvija večina vremenskih procesov; sega do višine 8 km nad poli oziroma , do 18 km nad ekvatorjem.

2 Stratosfera - plast ozračja nad troposfero, ki sega do višine okoli 50 km in je pomembna predvsem zaradi ozona.

3 Tropopavza je meja med troposfero in stratosfero

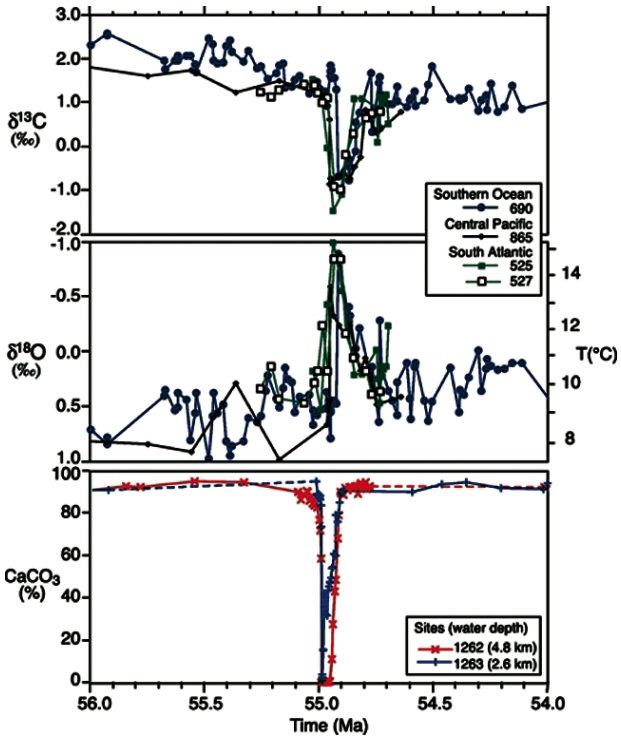


Slika 11. Primerjava modelskih in izmerjenih vrednosti globalne temperature ob upoštevanju tako naravnih kot človeških dejavnikov (levo) in samo naravnih dejavnikov (desno). Odebeljena črna krivulja predstavlja meritve, odebeljena rdeča oziroma modra pa povprečje rezultatov različnih računalniških modelskih simulacij. Tanke krivulje predstavljajo posamezne simulacije. Ujemanje je v prvem primeru zelo dobro, v drugem pa, ko so upoštevani samo naravni dejavniki, vidimo močan razkorak v zadnjih desetletjih. Modelske simulacije dokaj dobro opisujejo kratkotrajno ohladitev po močnejših ognjeniških izbruhih, ki so označeni na sliki (Vir: IPCC, 2007).

Izmerjena hitrost zviševanja globalne temperature od začetka industrijske dobe do danes je izjemna v primerjavi s spremembami globalne temperature v dolgi Zemljini zgodovini

Zemlja kot celota je v preteklosti doživela številne izrazite podnebne spremembe, a so te običajno potekale sorazmerno dolgo, od nekaj tisoč do več milijonov let. Med najbolj dramatične, nenadne podnebne spremembe na globalni ravni uvrščamo t. i. paleocensko-eocenski temperaturni višek. Pred približno 55 milijoni let se je Zemljino površje v obdobju dolžine 1.000 do 10.000 let ogrelo za nekaj stopinj Celzija (za primerjavo: od začetka industrializacije se je v samo v dobrem stoletju Zemlja ogrela za 0,8 °C). O tej veliki in hitri spremembi pričajo spremembe različnih paleoklimatskih kazalcev, prikazanih na sliki 12. Stopnja sproščanja toplogrednih plinov v tem obdobju je dosegla enak velikostni red kot človekovi izpusti v 21. stoletju. O vzrokih za izpuste toplogrednih plinov pred 55 milijoni let obstaja več hipotez (IPCC, 2007).

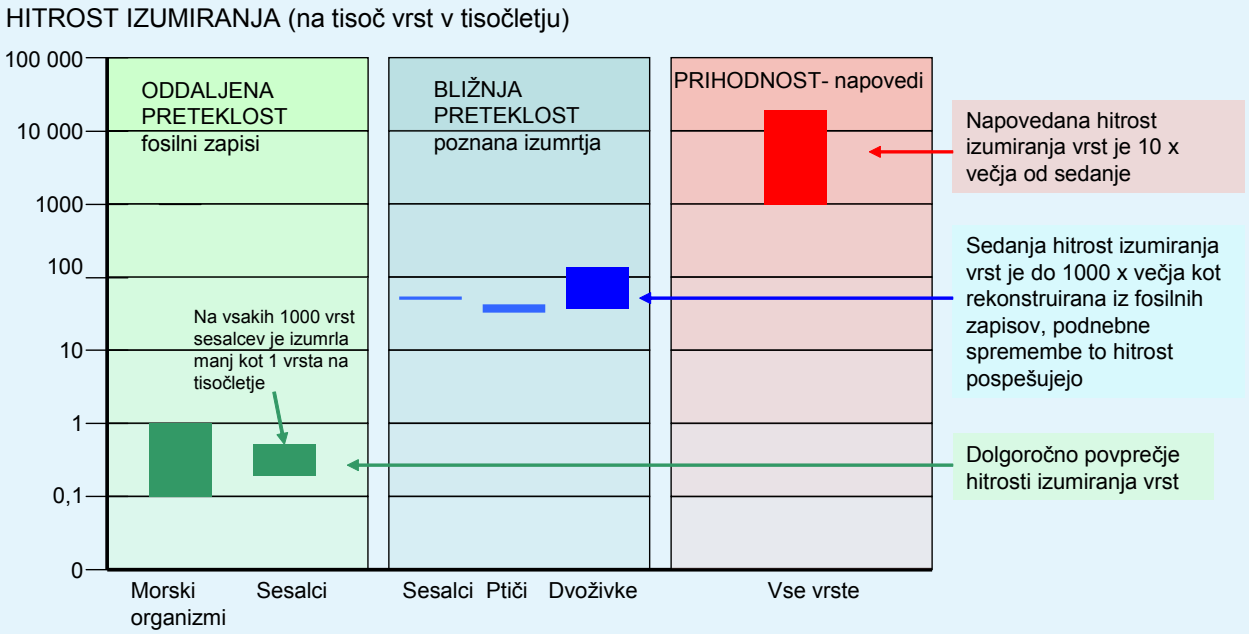
Spreminjanje podnebja v ciklu ledenih dob je bilo bistveno počasnejše kot ob paleocensko-eocenskem temperaturnem višku, pa se mu vseeno nekatere rastlinske in živalske vrste niso uspele prilagoditi dovolj hitro. Več o tem v Dodatku 4 „So spremembe podnebja krive za izumiranje vrst?“.



Slika 12. Sprememba paleoklimatskih kazalcev v času paleocensko-eocenskega temperaturnega viška. Zgornja dva grafa prikazujeta spremembo v koncentraciji ogljikovega izotopa 13 in kisikovega izotopa 18 v foraminiferah na območju Južnega oceana (modro), osrednjega Tihega oceana (črno) in južnega Atlantika (zeleno). Upad koncentracije ogljikovega izotopa 13 da slutiti, da se je takrat v ozračju močno povečala količina ogljikovega dioksida in metana. Na podlagi spremembe kisikovega izotopa 18 pa lahko sklepamo, da se je v istem času globalno ogrelo za okoli 5 °C. Ker je ocean vsrkal del toplogrednih plinov iz ozračja, se je raven pH znižala, kar se je odrazilo v raztapljanju kalcijevega karbonata na morskem dnu (spodnji graf) (Vir: IPCC, 2007).

DODATEK 4

So spremembe podnebja krive za izumiranje vrst?

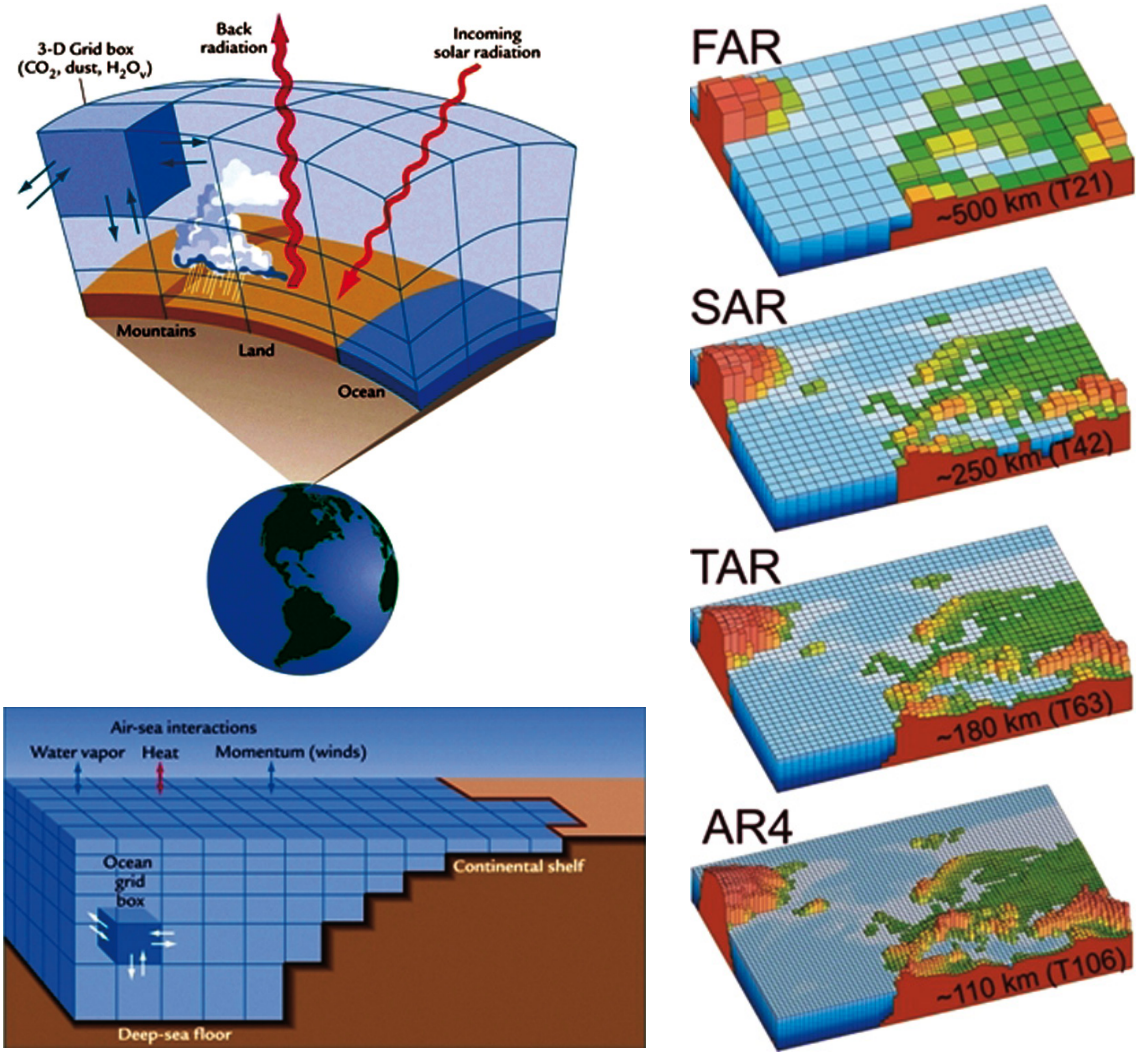


Slika 13. Naravna hitrost izumiranja živalskih in rastlinskih vrst je bila v zemeljski zgodovini razmeroma nizka, danes je ta hitrost zaradi človekovega delovanja 100- do 1.000- krat večja; podnebne spremembe jo še pospešujejo.

Večinoma izumiranje vrst lahko povežemo s spremembami podnebja, izjeme so pojavi množičnih izumiranj vrst. V zadnjih 550 milijonih let je bilo takšnih dogodkov pet, ko je okoli 75-95 % živečih vrst izumrlo v geološko zelo kratkem času, vendar to še vedno pomeni obdobje nekaj 100.000 let. Vzrok za izumrtje mamuta nekateri pripisujejo pretiranemu lovu, po drugih raziskavah pa naj bi bil vzrok temu izumrtju izginjanje pašnikov, saj so jih zaradi spremembe podnebja nadomestili gozdovi, mamuti pa se niso uspeli pravočasno prilagoditi novim razmeram. Danes je po ocenah Svetovne zveze za ohranitev narave (IUCN) zaradi človeka hitrost izumiranja vrst 100- do tudi 1.000- krat večja od povprečne naravne, po napovedih pa do leta 2050 grozi izumrtje okrog 20.000 vrstam ali tridesetim odstotkom vseh vrst, ki so živele pred vzponom človeka. Največ ogroženih vrst je med dvoživkami, sesalci in pticami, od rastlin pa med iglastimi drevesi. Rezultati številnih raziskav po vsem svetu utrjujejo domnevo, da smo na pragu šestega množičnega izumiranja vrst, za katerega pa je za razliko od prejšnjih kriv človek. Poleg številnih človekovih dejavnosti izumiranje pospešuje tudi globalno segrevanje. Ker je segrevanje v bližini polov bistveno hitrejše kot v zmernejših geografskih širinah, so tudi spremembe v tamkajšnjih ekosistemih velikih razsežnosti. Prva žival, ki je uradno uvrščena na seznam ogroženih vrst zaradi podnebnih sprememb oz. segrevanja ozračja, je severni beli medved, ki so ga na ta seznam uvrstile Združene države Amerike leta 2008. Svetovna zveza za ohranitev narave na svoji spletni strani objavlja tudi vrste (npr. dvoživke, korale, ptice) in geografska območja, ki bodo zaradi podnebnih sprememb najbolj prizadeta (Vir: IUCN, 2008).

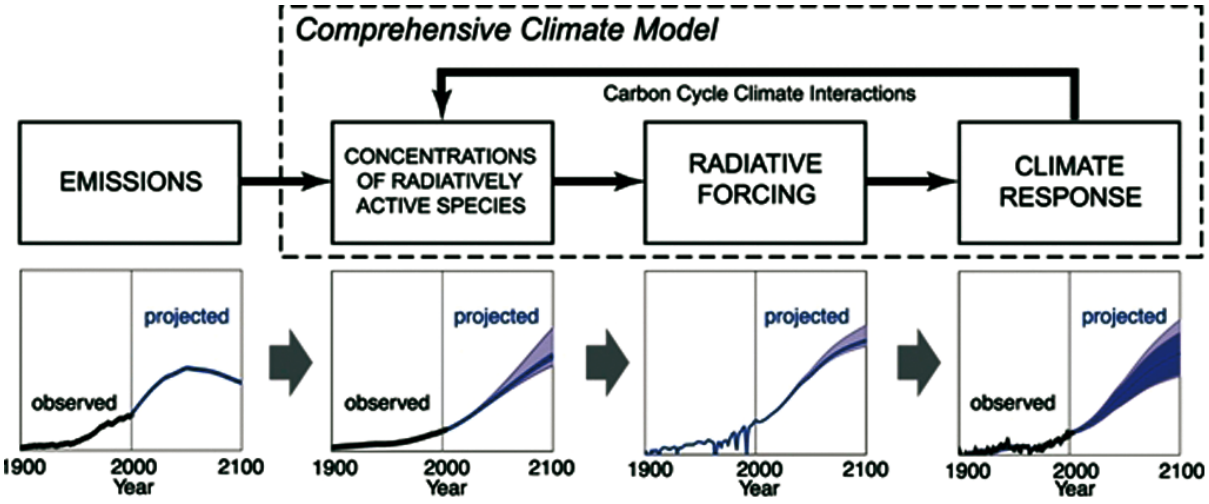
Poleg meritev si pri analizi podnebnih sprememb pomagamo tudi s podnebnimi modeli

Poleg podatkov in analitično-statističnih orodij so eno izmed osnovnih orodij klimatologov za analizo podnebja numerični podnebni modeli. Spremembe podnebja v preteklih 150 letih potrjujejo poleg analize meteoroloških meritev tudi rezultati podnebnih modelov (slika 11). Podnebni modeli so računalniški programi, ki rešujejo zapleten sistem enačb, s katerimi opisujemo dogajanje v ozračju in povezave med ozračjem in drugimi deli podnebnega sistema (slika 14). Z modeli tako proučujemo vplive različnih dejavnikov na podnebje, med drugim tudi vplive sprememb sončnega sevanja, lastnosti zemeljskega površja in sestave ozračja, vključno z vsebnostmi toplogrednih plinov. So eno izmed osnovnih orodij za proučevanje preteklega in napovedovanje prihodnjega podnebja. Rezultati podnebnih modelov so obremenjeni z negotovostmi, ki izvirajo iz nepopolnih opisov dogajanj v ozračju, oceanih, na kopnem in v ledenem pokrovu ter njihovih povezav. Kljub tem negotovostim pa se izračuni podnebnih modelov dokaj dobro ujemajo s prostorskimi in časovnimi vzorci sedanjih opaženih sprememb podnebja, ki so razvidni iz analiz meteoroloških meritev, pa tudi z ugotovitvami paleoklimatologije o podnebnih razmerah skozi geološke dobe. Omenjeno ujemanje, razvoj modelov in uspešne napovedi podnebja v prihodnosti so v zadnjih letih utrdili spoznanje, da so podnebni modeli uporabno orodje za razumevanje podnebnega sistema (Self in sod., 1996; Hansen in sod., 2006; Collins in sod., 2006; Delworth in sod., 2006; Reichler in Kim, 2008).



Slika 14. Shematičen prikaz procesov, ki jih vključuje sklopljen model splošne cirkulacije ozračja in oceanov (levo) (Vir: McGuffie in Handerson-Sellers, 1997) in največja razpoložljiva horizontalna ločljivost rezultatov takšnih modelov na območju Evrope (desno) ob pripravi prvega (FAR – 1990), drugega (SAR – 1996), tretjega (TAR – 2001) in četrtega (AR4 – 2007) IPCC poročila (IPCC, 2007).

S podnebnimi modeli lahko ocenimo vpliv izpustov toplogrednih plinov in aerosolov na podnebje v prihodnosti, upoštevajoč negotovosti

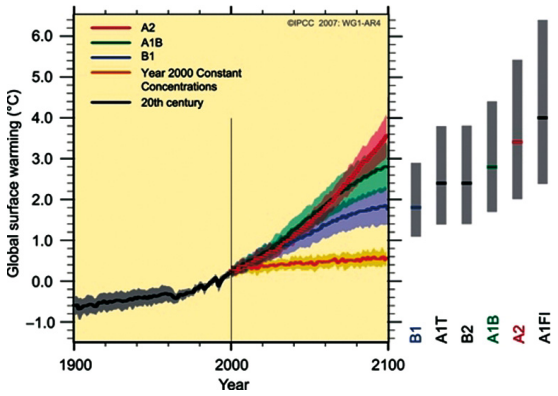


Slika 15. Koraki od začetne ocene izpustov do končnega odziva podnebnega sistema nanje. Na vsakem koraku vpeljemo dodatno negotovost, ki se nato odraža v negotovosti končne ocene odziva podnebja na spremenjeno sestavo ozračja (Vir: IPCC, 2007).

Če na primeren način upoštevamo negotovosti podnebnih modelov, si lahko z njimi pomagamo pri ocenjevanju vpliva povečanih vsebnosti toplogrednih plinov in delcev v ozračju na podnebje v prihodnosti. Kaj je potrebno vedeti in upoštevati pri uporabi podnebnih modelov, si lahko preberete v dodatku 5 "Napovedljivost podnebja v prihodnosti".

Na podlagi predvidenih izpustov toplogrednih plinov in aerosolov v ozračje s podnebnimi modeli ocenimo, kako se bo zaradi tega spremenila njihova vsebnost v ozračju in kako se bo na to odzval podnebni sistem. Postopek prikazuje slika 15. Najprej na osnovi scenarijev razvoja družbe ocenimo izpuste v ozračje, ki predstavljajo osnovo za oceno spremenjenih vsebnosti sevalno aktivnih toplogrednih plinov in aerosolov v ozračju. Upoštevajoč, koliko različni plini in delci prispevajo k povečanemu učinku tople grede oziroma k hladilnemu učinku zaradi zmanjšanja prepustnosti ozračja za sončno sevanje, ocenimo, kakšen je sevalni prispevek spremenjene sestave ozračja, kar vpliva na energijsko bilanco Zemljinega površja. Na koncu sledi še ocena, kako se bo podnebni sistem odzval na spremenjeno energijsko bilanco površja (Vir: IPCC, 2007).

Zaradi negotovosti, ki spremljajo tako scenarije družbeno-gospodarskega razvoja in posledičnih sprememb sestave ozračja, kot tudi opise procesov v podnebnem sistemu, napovedi podnebnih sprememb nikdar ne podajamo kot natančne vrednosti, temveč običajno kot razpone, v okviru katerih lahko pričakujemo spremembe statistik, ki opisujejo podnebje. Na primeru globalne temperature je to prikazano na sliki 16.



Slika 16. Projekcije globalnega segrevanja površja glede na obdobje 1980-1999 upoštevajoč scenarije emisij SRES in rezultate simulacij z različnimi modeli. Polne črte predstavljajo globalna povprečja več modelov za scenarije A2, A1B in B1, osenčena območja pa razpon enega standardnega odklona od povprečja rezultatov različnih modelov. Dodani so tudi rezultati, kjer je bila v prihodnje upoštevana stalna vsebnost toplogrednih plinov, ki je enaka izmerjeni vrednosti iz leta 2000. Ob desnem robu so dodane najverjetnejše ocene za posamezne SRES skupine scenarijev ob koncu stoletja in možni razponi. Scenariji emisij SRES predstavljajo različen socialno-ekonomski razvoj družbe. Scenariji skupin A1 predstavljajo hiter globalen gospodarski razvoj, scenariji skupine A2 pa svet raznolikih sil s hitro rastjo prebivalstva. V skupini scenarijev B1 je predstavljen hiter preobrat gospodarskih struktur v smeri oskrbovalnega in informacijskega gospodarstva, manjše porabe surovin ter vpeljave novih, čistejših tehnologij. Pri skupini scenarijev B2 pa je poudarek na regionalnem razvoju za zmerno gospodarsko rast, družbeno enakost in okoljsko trajnost (Vir: IPCC, 2007).

V dodatku 6 „Podnebne projekcije za Slovenijo" lahko najdete nekaj rezultatov modelskih simulacij za Slovenijo.

DODATEK 5

Napovedljivost podnebja v prihodnosti

Metodi napovedi vremena in napovedi podnebja sta kljub mnogim sorodnostim med uporabljenimi orodji (numeričnimi modeli) konceptualno različni. Vreme je stanje ozračja v določenem časovnem trenutku. Napovedljivost vremena, ki predstavlja prihodnje stanje ozračja v izbranem času, izhaja iz nekega opazovanega in izmerjenega vremenskega začetnega stanja v preteklosti in poznavanja procesov v atmosferi. Zaradi kaotične narave vremenskih procesov je napovedljivost vremena časovno omejena in je tesno povezana z življenjsko dobo samih vremenskih procesov. Podnebje pa se že konceptualno razlikuje od vremena. Opišemo ga s statistikami (npr. povprečjem ter spremenljivostjo) določenih meteoroloških spremenljivk v daljšem obdobju in predstavlja okvire, v katerih se lahko dogaja vreme. Zato ni odvisno od začetnega stanja ampak od dejavnikov, ki ga oblikujejo. Podnebje je v grobem vremenska statistika. Na spremembo te statistike vplivajo številni deli podnebnega sistema, ki se s časom bolj ali manj hitro spreminjajo, na primer El Niño, cirkulacija oceanov, spremembe koncentracij toplogrednih plinov in aerosolov v ozračju, spremembe v vegetaciji in rabi tal itd. Vpliv teh razmeroma počasnih sprememb v podnebnem sistemu na verjetnostno porazdelitev vrednosti vremenskih spremenljivk je predvidljiv, opišemo ga s fizikalnimi zakoni in ga lahko simuliramo s podnebnimi modeli.

Podnebni modeli se ves čas izboljšujejo. Posebej pomembne so izboljšave opisov fizikalnih procesov v skali, ki je manjša od mrežne razdalje numeričnega modela, predvsem povezave med sevanjem, oblaki in aerosoli. Izboljšujejo se tudi metode numeričnega reševanja enačb in natančnosti opisa spodnjih robnih pogojev (npr. vpliva tal in vegetacije) s pomočjo višje modelske ločljivosti in boljših vhodnih podatkov.

Navkljub izboljšavam je potrebno zvišati ločljivost modelskih rezultatov, saj večina študij vpliva podnebnih sprememb zahteva veliko večjo ločljivost, kot jo ponujajo globalni podnebni modeli. Večja horizontalna ločljivost je še posebej pomembna za proces sprejemanja političnih odločitev na časovni skali desetletja. Horizontalno ločljivost izboljšamo z uporabo regionalnih podnebnih modelov, kar je še posebej koristno na geografsko raznolikih območjih kot je Slovenija. Zaradi načina delovanja regionalnih podnebnih modelov imajo njihovi rezultati dodatno negotovost v primerjavi z globalnimi modeli. Negotovost se ocenjuje s povprečenjem skupinskih napovedi, kot je prikazano na sliki 16 za globalne modele. Glede na nujno potrebo po projekcijah podnebja v visoki ločljivosti je regionalno modeliranje pomemben del podnebnih raziskav.

DODATEK 6

Podnebne projekcije za Slovenijo

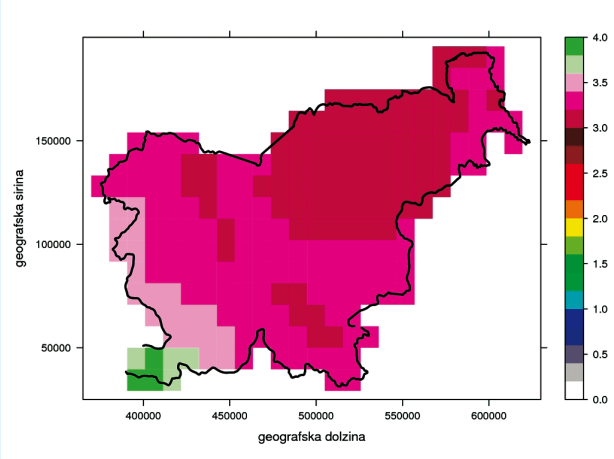
Verodostojne scenarije podnebnih sprememb, ki predstavljajo ustrezno podlago za izpopolnjene strategije prilagajanja, lahko izdelamo le na podlagi rezultatov podnebnih modelov, ki dovolj natančno opišejo podnebno raznolikost Slovenije. Za območje Slovenije smo pripravili projekcije prihodnjega podnebja na podlagi izračunov dveh podnebnih modelov. RegCM3 ima ločljivost 10 km in ALADIN 15 km.

Rezultati simulacij z modelom RegCM3 kažejo na izrazite podnebne spremembe v obdobju 2071–2100 v primerjavi z referenčnim obdobjem 1961–1990 tako z vidika temperaturnih kot padavinskih razmer. Podnebne spremembe bodo v posameznih podnebnih območjih Slovenije različno izrazite, zlasti to velja za višino padavin.

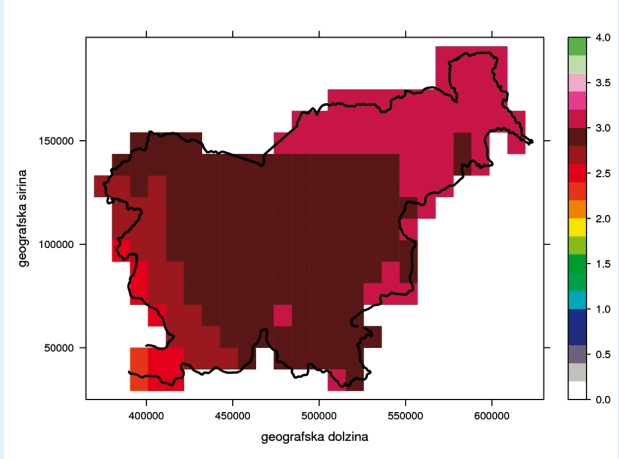
Projekcije podnebnih sprememb obeh uporabljenih modelov kažejo, da naj bi se v skladu s scenarijem emisij SRES A1B temperatura zraka do koncu stoletja v primerjavi s povprečjem 1961–1990 po celotni Sloveniji dvignila za 2 do 3 °C. Najmanj naj bi se dvignila temperatura spomladi, kjer se oceni modelov za osrednjo Slovenijo gibljeta okrog 2 °C ter nekoliko manj za Primorsko in nekoliko več za vzhodni del Slovenije. Otoplitev naj bi bila najmočnejša poleti, ko bi lahko dvig temperature zraka v osrednji Sloveniji presegel 4 °C (slika 17). Po tem scenariju bi največja poletna otoplitev zajela Primorsko.

Zaradi slabše zanesljivosti modelov pri opisu padavinskih dogodkov so projekcije podnebnih sprememb, vezanih na padavine, manj zanesljive. Modela ob

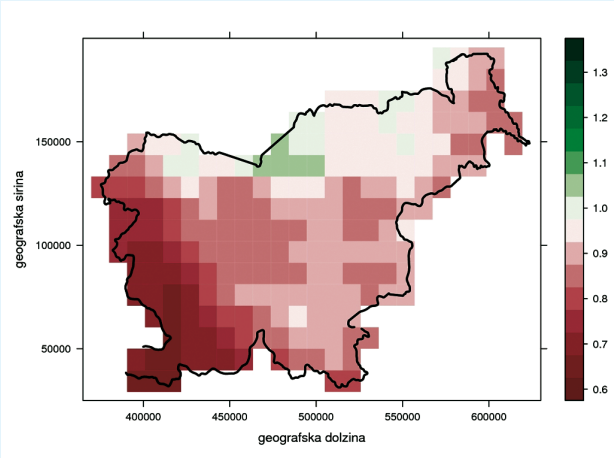
koncu 21. stoletja v primerjavi s sedanjimi razmerami napovedujeta manjšo količino padavin v poletnem času skoraj po celotni Sloveniji (slika 19). Zmanjšanje količine padavin naj bi bilo še posebej izrazito na Primorskem, kjer bi ponekod doseglo tudi 40 %, v ostalih delih Slovenije pa bi bilo 10–30 % manj padavin. Pozimi bi po napovedih modelov večji del Slovenije prejel nad 10 % več padavin (slika 20). Jeseni in pozimi ne gre pričakovati izrazitih sprememb v dolžini obdobij brez padavin, poleti in spomladi pa gre trend v smeri vedno daljših obdobij brez padavin. V severozahodni Sloveniji, ki je najbolj izpostavljena močnim kratkotrajnim nalivom, v prihodnosti ne opazimo večjih sprememb največjih enodnevnih količin padavin. Manjši premik v smeri močnejših enodnevnih padavin opazimo spomladi in poleti.



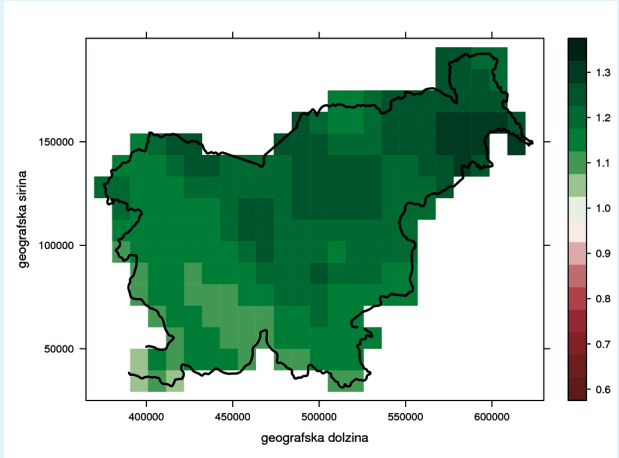
Slika 17. Sprememba poletnega povprečja temperature zraka (v °C) v Sloveniji za obdobje 2071–2100 glede na obdobje 1961–1990 v modelu RegCM3 Vir (B. Muri, K. Bergant – v pripravi).



Slika 18. Sprememba zimskega povprečja temperature zraka (v °C) v Sloveniji za obdobje 2071–2100 glede na obdobje 1961-1990 v modelu RegCM3 (Vir: B. Muri, K. Bergant – v pripravi).



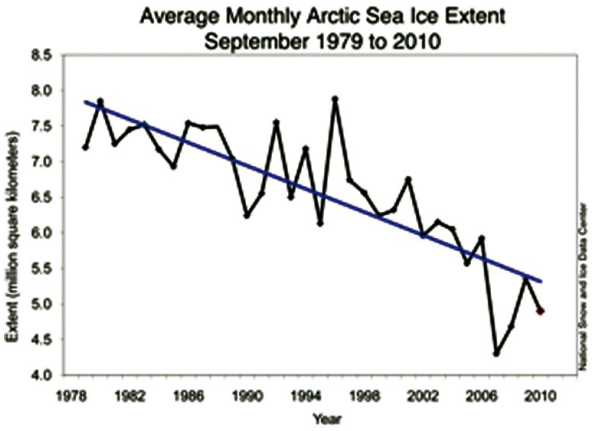
Slika 19. Sprememba povprečne poletne višine padavin v Sloveniji v modelu RegCM3. Podano je razmerje med obdobjema 2071–2100 in 1961–1990 (Vir: B. Muri, K. Bergant – v pripravi).



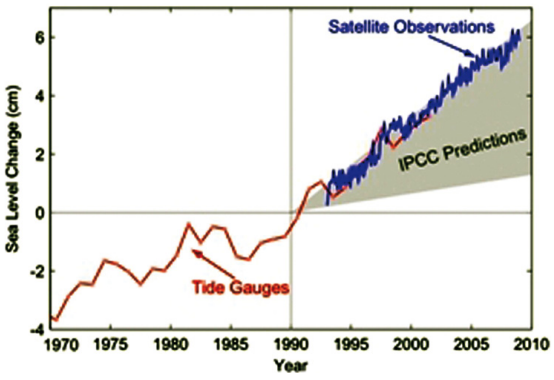
Slika 20. Sprememba povprečne zimske višine padavin v Sloveniji v modelu RegCM3. Podano je razmerje med obdobjema 2071–2100 in 1961–1990 (Vir: B. Muri, K. Bergant – v pripravi).

Globalno segrevanje ozračja je tesno povezano z drugimi spremembami podnebnega sistema

Globalno segrevanje ozračja je tesno povezano s spremembami drugih podnebnih spremenljivk. Poleg temperature se sedanje podnebne spremembe kažejo tudi v spremenjeni pogostosti in intenziteti nevarnih vremenskih pojavov. Mednje uvrščamo zelo intenzivne padavine (nalive), suše, vročinske valove. Spremembe se kažejo tudi v drugih elementih podnebnega sistema: tali in krči se grenlandski ledeni pokrov, zmanjšuje se obseg morskega arktičnega ledu (slika 21a), zmanjšuje se spomladanski obseg zasneženih površin na severni polobli, nivo morske gladine se vztrajno dviga (slika 21b) itn. (IPCC, 2007; Copenhagen Diagnosis, 2009).



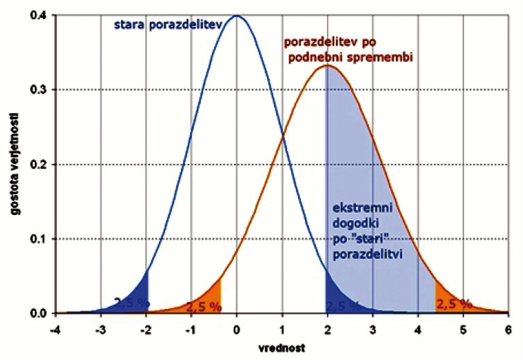
Slika 21a. Obseg arktičnega morskega ledu ob koncu talilne sezone, v septembru, se v zadnjih desetletjih hitro zmanjšuje. (Vir: NSIDC, 2010)



Slika 21b. Globalna morska gladina je v preteklih 20 letih naraščala hitreje od večine projekcij v tretjem poročilu IPCC (Vir: Copenhagen Diagnosis, 2009).

Meritve v Sloveniji in okoliških državah prav tako kažejo različne posledice podnebnih sprememb. V preteklih desetletjih smo bili priča naglemu krčenju obeh ledenikov, Zelenega snega pod Triglavom in ledenika pod Skuto. Ledeniki so še posebej občutljivi na spremembe v višini snežnih padavin, poletne temperature in sončnega obsevanja (glej dodatek 7, „Triglavski ledenik“). Posledice podnebnih sprememb, predvsem spremembe padavinskega režima, pa se že kažejo pri pretokih slovenskih rek (Kobold, 2009).

Posameznega vremenskega pojava ne moremo neposredno povezati z globalnimi spremembami podnebja. Pogosto se v javnosti pojavljajo interpretacije posameznih vremenskih dogodkov kot posledice spremembe podnebja. Posameznih izjemnih vremenskih dogodkov ne moremo neposredno pripisati podnebnim spremembam, kajti opaženi izjemni vremenski dogodki so teoretično možni tako v sedanjem kot tudi v spremenjenem podnebju. Razlika je le v verjetnosti, da se tak dogodek zgodi (slika 25). Popolnoma razumljivo je vprašanje: »Ali je bil opažen vremenski dogodek posledica podnebnih sprememb?«, vendar odgovorimo lahko samo na vprašanje: »Ali smo izpostavljeni večjemu tveganju, da bomo doživeli tovrsten vremenski dogodek?«. Za nekatere vrste dogodkov ob upoštevanju znanih negotovosti lahko že sedaj z veliko stopnjo statističnega zaupanja na to vprašanje odgovorimo pritrdilno. Za druge vrste dogodkov, na primer za vse tiste, katerih trendi pogostosti so močno negativni, pa lahko odgovorimo odklonilno. Tako bi bil recimo izjemen vročinski val v Rusiji poleti 2010 brez vpliva globalnega segrevanja precej manj verjeten pojav (NASA GISS, 2010).

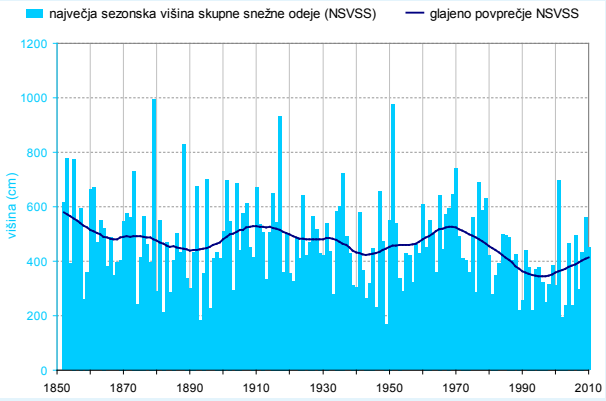


Slika 25. Shema spremembe porazdelitve vrednosti kake od meteoroloških spremenljivk. V prikazanem primeru bi se povečalo povprečje, pa tudi standardni odklon (možna je seveda tudi sprememba, ko bi se npr. povprečje ali standardni odklon ali pa oba zmanjšala). Kot je razvidno iz primerjave »nove« in »stare« porazdelitve, bi bila pri taki spremembi največja relativna sprememba v repih porazdelitve. Število zelo nizkih vrednosti, npr. pod –2, se po povečanju povprečja in standardnega odklona močno zmanjša, zato pa bi se močno povečala pogostost močno pozitivnih vrednosti. Vremenski dogodki, ki jih danes štejemo za izjemne, bodo bi pri taki spremembi v prihodnje lahko postali vsakdanji.

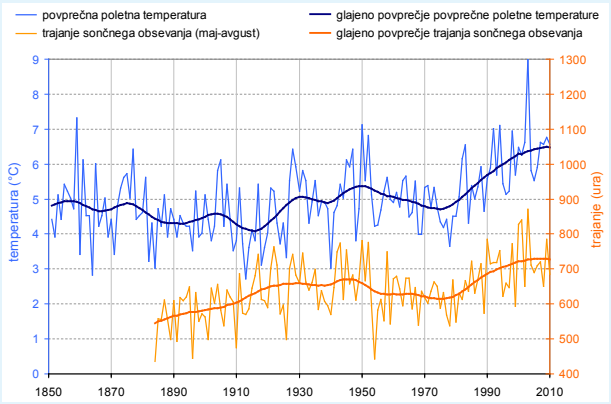
DODATEK 7

Triglavski ledenik – kazalec podnebnih sprememb

Eden najbolj očitnih znakov segrevanja podnebja v Sloveniji je zelo hitro krčenje Triglavskega ledenika. Spreminjanje spomladanske snežne odeje, poletnih temperatur in trajanja sončnega obsevanja od maja do avgusta se ujema z opaženimi spremembami Triglavskega ledenika. Ob koncu 19. in v začetku 20. stoletja je bil ledenik še precej obsežen (slika 24 levo), nato je začel kopneti in v zadnjih letih je od nekoč pravega alpskega ledenika ostala le še skromna zaplata ledu (slika 24 desno). Tanjša sezonska snežna odeja, višje poletne temperature in več sončnega vremena so spremenile razmerje med redilno in talilno sezono. Ob nadaljnjem ogrevanju kmalu pričakujemo popolno izginotje ledenika.



Slika 22. Podroben pregled podatkov o višini snega na Kredarici je razkril tesno povezanost med največjo sezonsko višino skupne snežne odeje (NSVSS), količino padavin in temperaturo v hladnejšem delu leta. S pomočjo podatkov s sosednjih meteoroloških postaj smo rekonstruirali potek NSVSS za obdobje 1852–2010. Graf prikazuje končni rezultat homogenizacije podatkov o snežni odeji. Glajena črta, ki predstavlja povprečne razmere v daljšem obdobju, kaže, da je NSVSS v zadnjem obdobju nekoliko nižji kot v dobrih 100 letih pred tem. Zima 2000/01, ki močno izstopa po višini snega v zadnjih treh desetletjih, ne izstopa glede na celotno obravnavano obdobje. Podatki kažejo, da je bila snežna odeja spomladi 1879, 1917 in 1951 bistveno debelejša (Vir: Dolinar in sod., 2010).

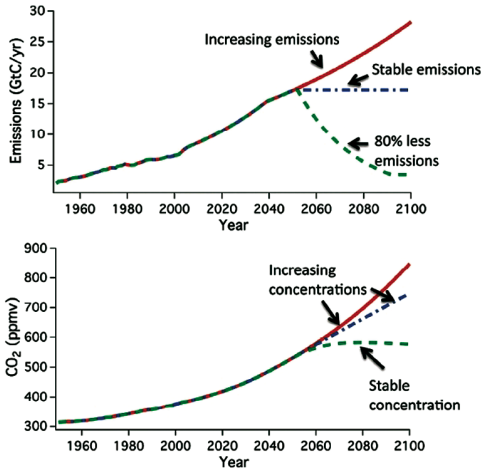


Slika 23. Povprečna poletna temperatura zraka in trajanje sončnega obsevanja od maja do avgusta na Kredarici. Obe časovni vrsti sta rekonstruirani na podlagi meritev na Kredarici in Dobraču (Vir: Dolinar in sod., 2010).

Slika 24: Triglavski ledenik leta 1934 (levo) in leta 2003 (desno) (Vir: arhiv SAZU GIAM).

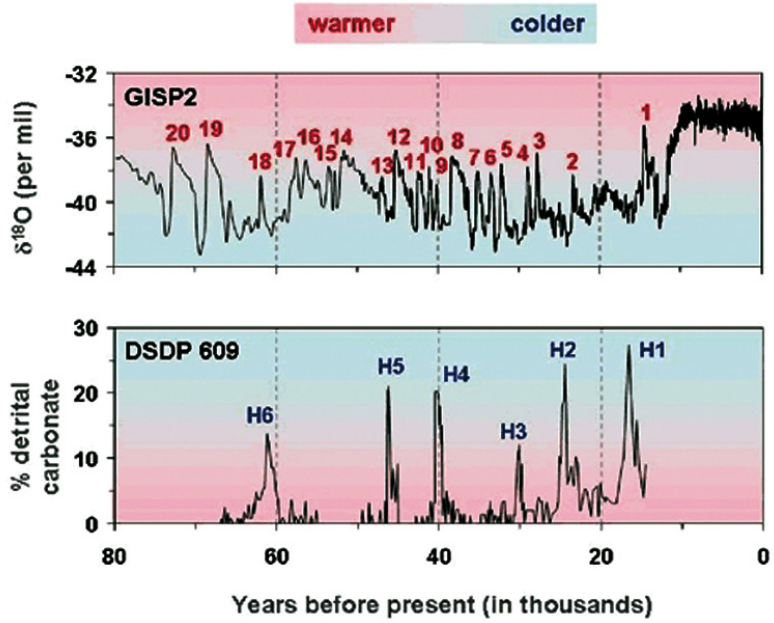
Trend podnebnih sprememb s posledicami se bo nadaljeval še daleč v prihodnost

Simulacije s podnebnimi modeli kažejo, da se bo trend podnebnih sprememb z vsemi posledicami nadaljeval še vsaj nekaj desetletij (tudi v primeru, da se takoj spremenimo v nizkoogljično družbo), v nekaterih primerih celo stoletij ali tisočletij (NRC, 2010). Intenzivnost podnebnih sprememb in resnost njihovih posledic bo v veliki meri odvisna od tega, s kakšnimi ukrepi bo celotna civilizacija zmanjšala izpuste toplogrednih plinov. V vsakem primeru so se spremembe že začele in jih kljub drastičnih ukrepom zaradi dolge življenjske dobe nekaterih toplogrednih plinov v atmosferi, velike toplotne vztrajnosti oceanov in počasnega odziva ledenih pokrovov Grenlandije in Antarktike, ne moremo ustaviti. Lahko jih le omejimo do te mere, da njihovi učinki ne bodo katastrofalni za človeštvo. Več o tem v dodatku 8 „Življenjska doba CO_2“.



Slika 26. Trije različni scenariji izpustov (zgoraj) in koncentracije CO_2 (spodaj) do konca 21. stoletja. Ker izpusti ogljikovega dioksida prekašajo sposobnost ponorov, jih bo potrebno zmanjšati vsaj za 80 %, da se bo koncentracija ogljikovega dioksida ustalila (Vir: RC, 2010).

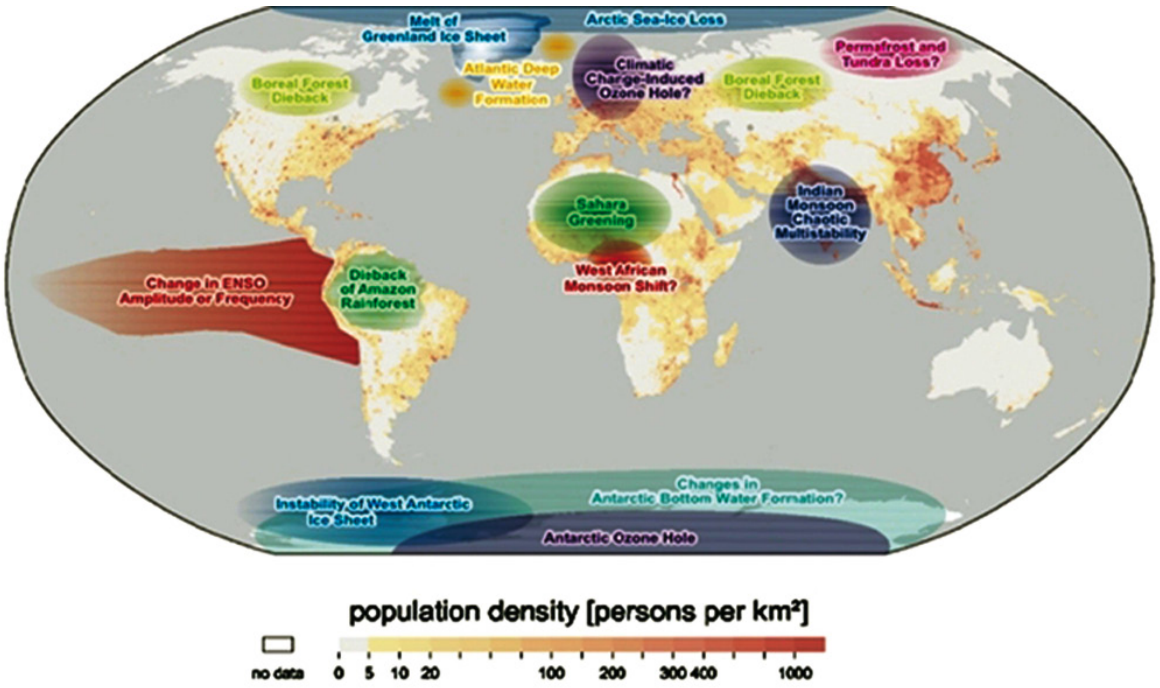
Zaradi globalnega segrevanja se lahko v podnebnem sistemu sprožijo nenadne, nepredvidene in nepovratne spremembe velikega obsega



Slika 27. Časovni potek koncentracije izotopa O^{18} iz vzorcev »večnega« ledu na Grenlandiji (zgornji del slike), v kateri prepoznamo 20 od 25 hitrih Dansgaard-Oeschgerjevih dogodkov v času zadnje ledene dobe (Grootes in sod., 1993). Koncentracija omenjenega kisikovega izotopa je temperaturni kazalec in kaže na veliko nestabilnost severnoatlantskega toka v času zadnje ledene dobe. V času Dansgaard-Oeschgerjevih dogodkov se je podnebje v nekaj desetletjih regionalno močno ogrelo, nato je sledilo postopno ohlajanje. V holocenu, dobi razvoja človeške civilizacije, je bil severnoatlantski tok znatno bolj stabilen. Spremenljivost podnebja na območju severnega Atlantika razkrivajo tudi ledeniške naplavine. Med hitrimi Heinrichovimi dogodki se je na oceansko dno s pomočjo ledenih plošč usedla velika količina materiala (dogodki od H1 do H6 na spodnjem delu slike) (Bond in Lotti, 1995; spodnji del slike) (Vir: http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/abrupt/data3.html).

V bližnji prihodnosti se lahko nekateri deli podnebnega sistema zelo hitro spremenijo (Copenhagen Diagnosis, 2009). V pretekli zgodovini, npr. med zadnjo ledeno dobo, se je to že zgodilo (slika 27). V zadnjih 10.000 letih se je človek razvijal v relativno stabilnem podnebju (slika 27 zgoraj). Izrazito in hitro spreminjanje sestave ozračja od začetka industrijske dobe pa utegne v prihodnosti povzročiti nenadne, nepredvidene in nepovratne spremembe velikega obsega (slika 28). Med nenadne podnebne spremembe uvrščamo tiste, na katere se človek in naravni sistemi zaradi njihove hitrosti in nepredvidljivosti le stežka prilagodijo (CACC, 2002).

Med potencialno najbolj kritične dele podnebnega sistema (slika 28) spadajo amplituda in frekvenca ENSO (El Niñjo, La Niñja), izginotje amazonskega deževnega gozda, pomik zahodno-afriškega monsuna, ozelenitev Sahare, izginotje tundre in permafrosta na severu Sibirije, taljenje ledenih pokrovov Grenlandije in Antarktike itd. Za Evropo, zlasti njen zahodni del, je posebnega pomena severnoatlantski tok. Spremembe moči tega toka bi pomembno vplivale na podnebje večjega dela Evrope, saj stalen dotok tople vode iz tropskega in subtropskega Atlantika dodatno ogreva Evropo in s tem blaži letno nihanje temperature. Podnebni modeli zaenkrat še niso sposobni zanesljivo oceniti bodočih sprememb omenjenega toka. Na podlagi podatkov iz daljne preteklosti pa vemo, da gre za občutljiv del podnebnega sistema (glej sliko 27). Z vprašajem so na sliki 28 označeni sistemi, katerih status je še posebej negotov. Razen označenih na sliki so še druge kritične točke, kot na primer propad koralnih grebenov v plitvinah itd.



Slika 28. Najpomembnejši potencialno kritični deli podnebnega sistema in možne nenadne spremembe. Za podlago je dodana gostota prebivalstva (rumeni in rjavi odtenki). (Vir: Copenhagen Diagnosis, 2009)

Podnebne spremembe so pomemben, a ne edini okoljski problem

Posledice podnebnih sprememb bodo odvisne tudi od tega, kako na podnebni sistem vplivajo druge spremembe v okolju (spreminjanje rabe tal, raba naravnih virov, onesnaževanje in spreminjanje okolja) in kako hitro in učinkovito bo človeštvo reševalo vse te okoljske probleme. Prav tako je pomembna povezava v obratni smeri – podnebne spremembe in njihovo reševanje bo vplivalo na druge okoljske probleme.

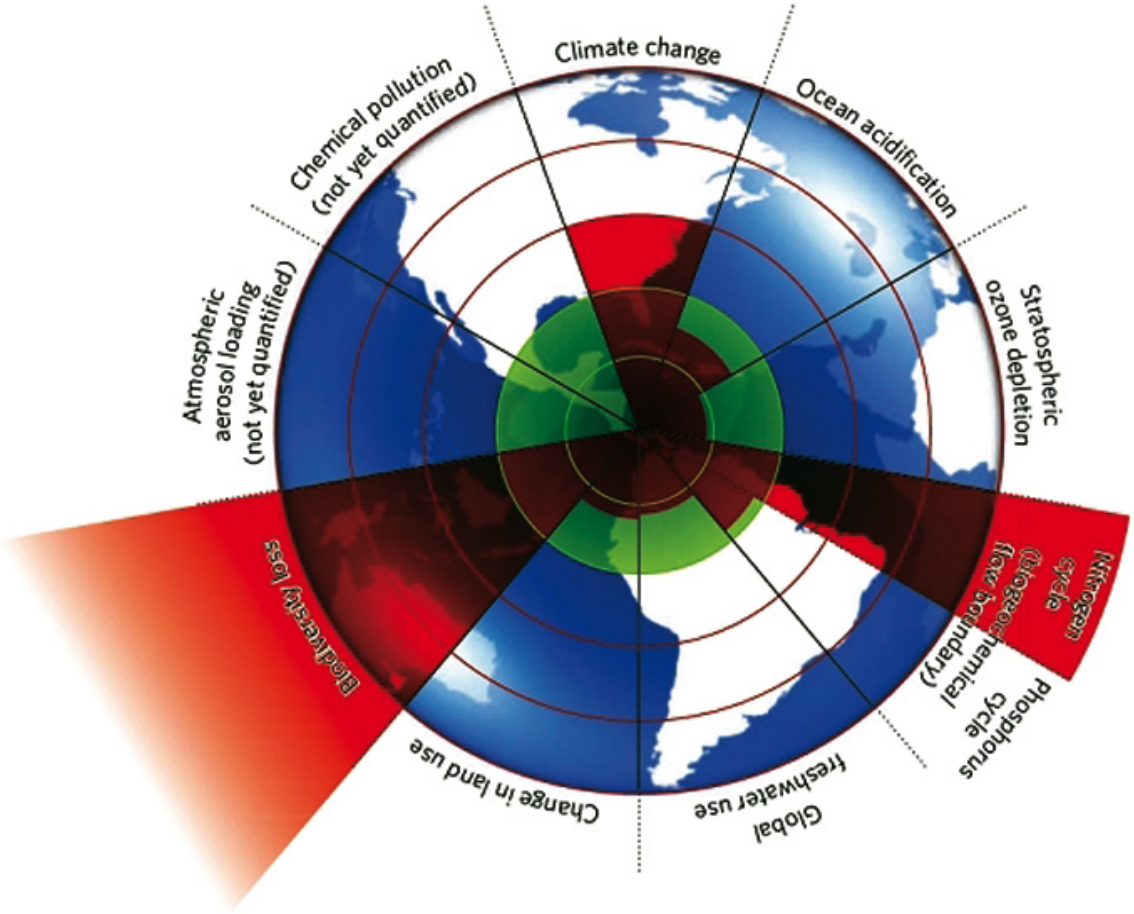
Okolje na Zemlji je bilo v zadnjem geološkem obdobju (holocenu) relativno stabilno. Vse od industrijske revolucije dalje pa se aktivnosti človeka vse bolj odražajo na okolju. Znanstveniki različnih okoljskih strok ugotavljajo, da so spremembe v okolju redko linearne. Zaradi povratnih zank med različnimi dejavniki in sistemi so okoljske spremembe pogosto močnejše od neposrednega odziva na dejavnik, ki sproži začetno spremembo. Na primer: že majhno povišanje koncentracije CO_2 v primerjavi z obstoječimi koncentracijami lahko dolgoročno zviša globalno temperaturo za nekaj stopinj Celzija. Najbolj pa so okoljski sistemi občutljivi v bližini mejnih vrednosti določenih ključnih spremenljivk, s katerimi opisujemo posamezen sistem. Tedaj lahko že zelo majhen zunanji pritisk na sistem sproži nena-

dno veliko spremembo, ki pripelje sistem v novo, t.i. ravnovesno stanje. To novo ravnovesno stanje je lahko popolnoma drugačno od prejšnjega. Rockström in sod. (2009) so poiskali tiste okoljske sisteme in procese, ki so najbolj v nevarnosti, da bo prekomerna človekova aktivnost njihovo stanje pripeljala preko meje »varnega območja«. Identificirali so devet takih sistemov in procesov: podnebne spremembe, zakisljevanje oceanov, tanjšanje plasti stratosferskega ozona, dušikov cikel, fosforjev cikel, globalna raba pitne vode, sprememba rabe tal, izguba biodiverzitete, kopičenje atmosferskega aerosola in kemično onesnaževanje. Za vsak Zemljin sistem ali proces so določili ključne spremenljivke in njihove mejne vrednosti, ki ločijo območje »varnega« okolja za človeško populacijo od škodljivega ali celo potencialno nevarnega okolja.

Človeštvo bo kmalu doseglo meje varnega območja na področju rabe pitne vode, spremembe rabe tal, zakisljevanja oceanov in fosforjevega cikla. Močno pa je že preseglo mejo varnega na področju podnebnih sprememb, dušikovega cikla in zmanjšanju biodiverzitete (slika 29).

Pri reševanju opisanih problemov je potrebno imeti v mislih medsebojno povezanost omenjenih sistemov in procesov. S premišljenimi ukrepi za rešitev enega od problemov lahko sočasno omilimo še druge okoljske probleme. Izboljšanje kmetijske prakse z vidika onesnaževanja lahko ugodno vpliva na podnebne spremembe. Pri zmanjševanju izpustov toplogrednih plinov lahko sočasno omejimo tudi izpuste strupenih snovi, na primer z učinkovitejšo in smotrnejšo rabo energije. Z zmanjševanjem izpustov ogljikovega dioksida bi upočasnili tudi kisanje oceanov, ki vse bolj ogroža morsko življenje. Snovi, ki uničujejo ozonsko plast, so povečini toplogredni plini; zmanjšanje ali celo prepoved njihove uporabe bi bila blagodejna tudi s stališča podnebnih sprememb.

Po zadnjih meritvah postajajo oceani vedno bolj kisli, kar lahko odločilno vpliva na življenje v njih, s tem pa tudi na celoten podnebni sistem. Več o tem najdete v dodatku 9 „Zakisljevanje oceanov“.



Slika 29. Današnje stanje Zemljinih sistemov je zaskrbljujoče. Notranje, zeleno senčeno območje označuje varno področje za delovanje devetih Zemljinih sistemov. Rdeči klini predstavljajo ocenjeno trenutno stanje posameznega sistema. Stopnja izgube biodiverzitete, podnebne spremembe in človekov vpliv na dušikov cikel so že presegle varno mejo (Vir: Rockström in sod., 2009).

DODATEK 8

Življenjska doba toplogrednih plinov v ozračju in njihov toplogredni potencial

Ko ocenjujemo učinek toplogrednih plinov, sta poleg njihove koncentracije v ozračju pomembni dve njihovi lastnosti: jakost toplogrednega učinka ali toplogredni potencial in življenjska doba plina v ozračju. Nekateri plini so pri absorpciji bolj učinkoviti kot drugi, saj absorbirajo pri različnih valovnih dolžinah, energija dolgovalovnega sevanja pa je pri različnih valovnih dolžinah različna. Tako je toplogredni potencial metana 23-krat večji od ogljikovega dioksida, dušikov oksid pa kar 296-krat bolj učinkovito absorbira dolgovalovno sevanje kot ogljikov dioksid. Seveda pa je tudi življenjska doba teh plinov v ozračju različna. Ogljikov dioksid ostane v ozračju od 50 do 200 let, odvisno od ali se absorbira na kopnem ali v oceanih. Metan v ozračju ima precej krajšo življenjsko dobo, približno 10 do 15 let. Podatki za ostale toplogredne pline so zbrani v preglednici 3. Glede na zelo dolgo življenjsko dobo CO_2 v ozračju bodo dosedanji izpusti učinkovali na naše podnebje še najmanj stoletje. Torej tudi takojšnje drastično zmanjšanje izpustov CO_2 ne pomeni, da se bo hkrati prenehalo tudi segrevanje Zemlje, le pospeševalo se ne bo več s tolikšnim pospeškom kot zdaj. Ravno zaradi dolge življenjske dobe CO_2 v ozračju je zelo pomembno, da izpuste omejimo čim prej, saj bo vsaka dodatna tona izpustov povzročala dodatno segrevanje še mnogo desetletij v prihodnosti.

Preglednica 3. Lastnosti toplogrednih plinov v ozračju (različni viri na spletu)

Toplogredni plin	Kemijska formula	Antropogeni vir	Življenjska doba v ozračju (leta)	Toplogredni potencial	Koncentracija pred industrijsko dobo	Trenutna koncentracija
vodna para	H_2O				0–4 %	nekaj % več
ogljikov dioksid	CO_2	fosilna goriva, sprememba rabe tal, proizvodnja cementa	50–200	1	270 ppm	380 ppm[1]
metan	CH_4	fosilna goriva, neoluščen riž, deponije odpadkov	12	23	700 ppb	1700 ppb[2]
didušikov oksid	N_2O	gnojila, industrija, sežiganje	114	296	275 ppb	315 ppb
CFC-12	CCl_2F_2	tekoča hladilna sredstva, pene	100	10.600	0	0,54 ppb
HCFC-22	$CHClF_2$	hladilniki	11,9	1700	?	?
perfluoroetan	C_2F_6	pridelava aluminija, izdelava polprevodnikov	10.000	11.900	?	?
žveplov heksafluorid	SF_6	izolacijske tekočine	3200	22.200	?	?

1 delcev na milijon

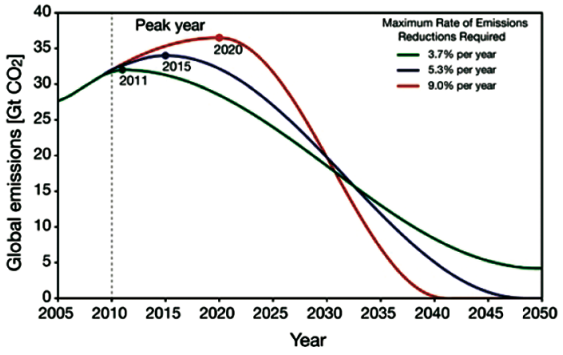
2 delcev na milijardo

Podnebne spremembe so problem nas vseh

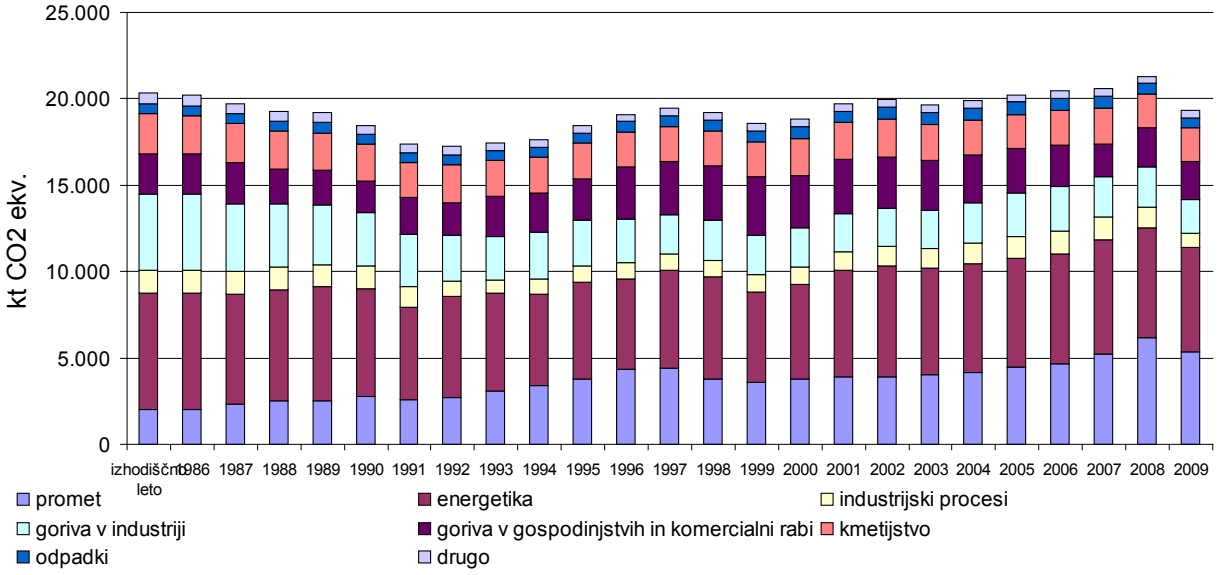
Podnebne spremembe torej niso le problem, s katerim se ukvarja meteorološka znanost. Zaradi vzrokov zanje in zaradi njihovih posledic so problem nas vseh (sliki 31 in 32). Pri razmišljanjih o predvidenih posledicah podnebnih sprememb in potrebnih ukrepih hitro trčimo v etične dileme, ki po svoji naravi presegajo strokovne debate v klimatoloških in meteoroloških krogih.

Slika 31. Predvideni učinki podnebnih sprememb glede na dvig globalne temperature v primerjavi s predindustrijsko dobo (Vir: Stern, 2006).

Za presežek ogljikovega dioksida v ozračju in oceanih so v veliki meri odgovorne razvite države (World Resources Institute, 2003). Izpust CO_2 na prebivalca je v teh državah še vedno bistveno večji kot v razvijajočih se državah. Slovenija je z letnim izpustom okoli 10 ton na prebivalca krepko nad svetovnim povprečjem, ki znaša okoli 4 tone (World Resources Institute, 2003). Na podnebnih konferencah v Koebenhavnu in Cancunu je bil pogosto izpostavljen cilj, da dvig globalnega temperature ne preseže 2 °C glede na predindustrijsko raven (UNFCCC 2009 in UNFCCC 2010). Če želimo z veliko verjetnostjo doseči ta cilj, je potrebno v svetovnem merilu ukrepati čimprej. Kasnejše ukrepanje bo bolj drastično, sicer tega cilja ne bomo dosegli (slika 33). Čeprav se cilj 2 °C pogosto povezuje s preprečitvijo katastrofalnih podnebnih sprememb, ne moremo izključiti resnih posledic v nekaterih območjih sveta že pri manjšem temperaturnem dvigu. Torej, potrebno je ukrepati zdaj in na vseh nivojih: od vsakega posameznika pa do svetovnega merila.



Slika 33. Potek svetovnih izpustov CO2 po treh različnih scenarijih z enako skupno količino 750 milijard ton v naslednjih desetletjih. Pri tej vrednosti je verjetnost, da globalno segrevanje glede na predindustrijsko dobo ne preseže 2 °C, 67 % (Vir: Copenhagen Diagnosis, 2009).

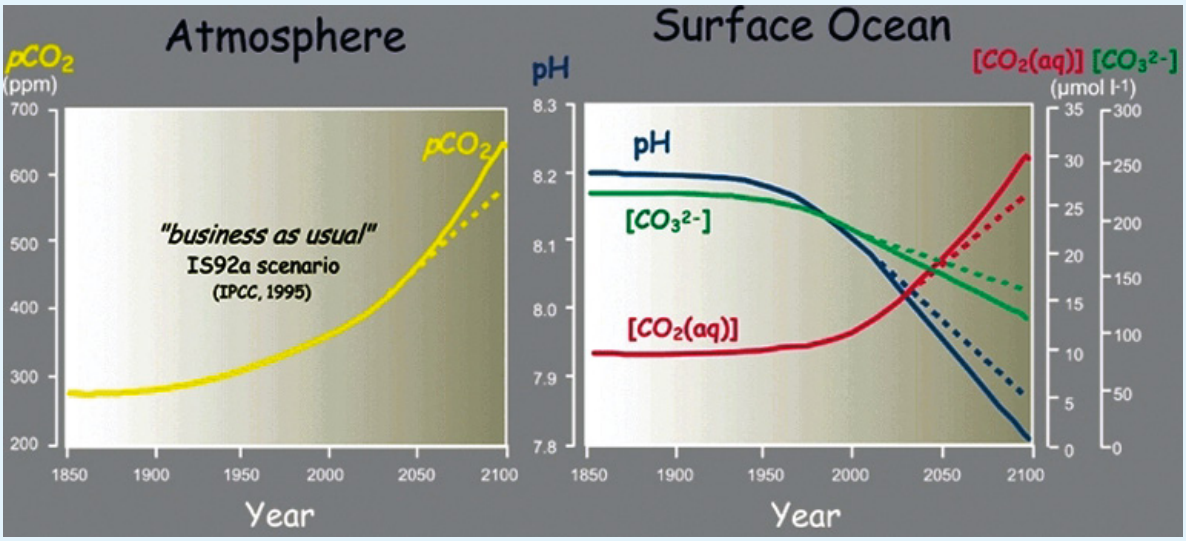


Slika 32. Letni izpusti toplogrednih plinov (ekvivalent CO_2) v Sloveniji po gospodarskih sektorjih. Energetika in promet predstavljata nad polovico vseh izpustov. Zmanjšanje izpustov v letu 2009 ni posledica uspešnega izvajanja ukrepov, temveč je zgolj posledica gospodarske krize. Natančnih podatkov za leto 2010 še ni, kot kaže pa bodo zaradi gospodarske krize emisije opazno nižje tudi še v letu 2010 (Vir: ARSO, 2011).

DODATEK 9

Zakisljevanje oceanov

Koncentraciji CO_2 v ozračju in vrhnji plasti oceanov sta v ravnovesju. Če se poveča koncentracija CO_2 v ozračju, se več CO_2 raztopi v oceanih. Ogljikov dioksid pri raztapljanju v vodi tvori ogljikovo kislino, ki je sicer šibka, vendar pomembno zniža pH oceanskih voda. Naravni pH oceanov je rahlo bazičen (globalno povprečje skozi geološko zgodovino je 8,16), čemur je prilagojeno življenje v njem. Od začetka industrijalizacije se je povprečni pH oceanov zmanjšal za 0,1 pH enot. Čeprav so spremembe kislosti (oz. pH) majhne, pa privedejo do velikih sprememb v kemičnem ravnovesju oceanov in močno vplivajo na ekosisteme v njih. Populacije koral so zaradi zakisljevanja oceanov že precej prizadete, v veliki nevarnosti so tudi školjke in drugi morski organizmi. V bolj kislem okolju namreč začne primanjkovati karbonatnih ionov, ki so osnovni gradniki lupin in ogrodij mnogih morskih organizmov. Podobno kot pri globalnem segrevanju je tudi pri zakisljevanju oceanov zaskrbljujoča velika hitrost procesa. Če bo koncentracija CO_2 še naprej rasla eksponentno, bodo spremembe pH oceanov do konca stoletja trikrat večje in stokrat hitrejše kot spremembe na prehodu iz ledene v medledeno dobo. Tako velikih sprememb v kislosti oceanov verjetno ni bilo že 21 milijonov let in verjetnost, da se številni organizmi na te spremembe ne bodo prilagodili, je velika.



Slika 30. Spremembe koncentracije CO_2 v ozračju do leta 2100 po IPCC scenariju, ki predvideva nadaljevanje intenzivnega gospodarstva in pripadajoče spremembe pH oceanov in kemijskega ravnovesja karbonatov (Vir: Wolf-Gladrow et al., 1999).

DODATEK 10

Reference

Aguilar, E., I. Auer, M. Brunet, T. C. Peterson, J. Wieringa, 2003. *Guidance on Metadata and Homogenization.* Dosegljivo na svetovnem spletu: http://meteo.besse83.free.fr/Stats/GUIDANCE%20ON%20METADATA%20AND%20HOMOGENIZATION.doc

Alexander, L. V., X. Zhang, T. C. Peterson, J. Caesar, B. Gleason, A. M. G. Klein Tank, M. Haylock, D. Collins, B. Trewin, F. Rahimzadeh, A. Tagipour, P. Ambenje, K. Rupa Kumar, J. Revadekar in G. Griffiths, 2006. *Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation* J. Geophys. Res., 111, D05109, doi:10.1029/2005JD006290. Dosegljivo na svetovnem spletu: http://www.knmi.nl/publications/fulltexts/2005jd0062903.pdf

Alley, R., 2009. T*he biggest control knob. Carbon dioxide in Earth's climate history.* Predavanje na

letnem srečanju AGU, San Francisco, 2009. Dosegljivo na svetovnem spletu: http://www.agu.org/meetings/fm09/lectures/lecture_videos/A23A.shtml

Archer, D., 2006. *Global Warming: Understanding the Forecast.* Wiley-Blackwell, 288 str.

Agencija Republike Slovenije za okolje, januar 2011. *Poročilo o emisijah toplogrednih plinov.*

Barnett, T. P., D. W. Pierce, K. M. AchutaRao, P. J. Glecker, B. D. Santer, J. M. Gregory, W. M. Washington, 2005. *Penetration of a warming signal in the world's oceans: human impacts.* Science, 309, str. 284–287.

Bergant, K., T. Cegnar, M. Dolinar, P. Frantar, G. Gregorič, A. Kambič, M. Klaneček, M. Kobold, S. Koren, M. Nadbath, B. Pavčič, T. Pogačar, M. Robič, P. Souvent, I. Strojan, A. Sušnik, F. Ulaga, G. Vertačnik, Z. Vičar, S. Žlebir, A. Žust, 2010. *Okolje se spreminja: Podnebna spremenljivost Slovenije in njen vpliv na vodno okolje.* Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija RS za okolje, 170 str. Dosegljivo na svetovnem spletu: http://www.arso.gov.si/novice/datoteke/025928-0kolje%20se%20spreminja.pdf

Bond, G. C. in R. Lotti, 1995. *Iceberg discharges into the North Atlantic on millennial time scales during the last glaciation.* Science, 267, str. 1005–1010.

CACC (Committee on Abrupt Climate Change, National Research Council), 2002. *Abrupt Climate Change: Inevitable Surprises.* National Academy Press, Washington, 244 str. Dosegljivo na svetovnem spletu: http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=10136

Collins, W. D., C. M. Bitz, M. L. Blackmon, G. B. Bonan, C. S. Bretherton, J. A. Carton, P. Chang, S. C. Doney, J. J. Hack, T. B. Henderson, J. T. Kiehl, W. G. Large, D. S. McKenna, B. D. Santer, R. D. Smith, 2006. T*he Community Climate System Model Version 3.* J. Climate, 19, 2122–2143. Dosegljivo na svetovnem spletu: http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/JCLI3761.1

CRU (Climate Research Unit). HadCRUT3v: http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/temperature/

Delworth, T. L., A. J. Broccoli, A. Rosati, R. J. Stouffer, V. Balaji, J. A. Beesley, W. F. Cooke, K. W. Dixon, J. Dunne, K. A. Dunne, J. W. Durachta, K. L. Findell, P. Ginoux, A. Gnanadesikan, C. T. Gordon, S. M. Griffies, R. Gudgel, M. J. Harrison, I. M. Held, R. S. Hemler, L. W. Horowitz, S. A. Klein, T. R. Knutson, P. J. Kushner, A. R. Langenhorst, H.-C. Lee, S.-J. Lin, J. Lu, S. L. Malyshev, P. C. D. Milly, V. Ramaswamy, J. Russell, M. D. Schwarzkopf, E. Shevliakova, J. J. Sirutis, M. J. Spelman, W. F. Stern, M. Winton, A. T. Wittenberg, B. Wyman, F. Zeng, R. Zhang, 2006. *GFDL's CM2 Global Coupled Climate Models. Part I: Formulation and Simulation Characteristics.* J. Climate, 19, 643–674. Dosegljivo na svetovnem spletu: http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/JCLI3629.1

Dolinar, M., R. Bertalanič, R., M. Demšar, D. Dvoršek, M. Nadbath, B. Pavčič, M. Roethel-Kovač, G. Vertačnik, Z. Vičar, 2010. *Spremenljivost podnebja v Sloveniji.* Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija RS za okolje, 12 str. Dosegljivo na svetovnem spletu: http://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/text/sl/publications/spremenljivost%20podnebja.pdf

GISS (Goddard Institute for Space Studies). GISS Surface Temperature Analysis: http://data.giss.nasa.gov/gistemp/

Glikson, A., 2010. Climate change as a major geological event. Dosegljiv na svetovnem spletu: http://www.countercurrents.org/glikson220210.htm
Gray, L.J., J. Beer, M. Geller, J.D. Haigh, M. Lockwood, K. Matthes, U. Cubasch, D. Fleitmann, G. Harrison, L. Hood, J. Luterbacher, G. A. Meehl, D. Shindell, B. van Geel in W. White, 2010. *Solar influence on climate.* Rev. Geophys., 48, RG4001, doi:10.1029/2009RG000282. Dosegljivo na svetovnem spletu: http://pubs.giss.nasa.gov/cgi-bin/abstract.cgi?id=gr08900n

Grootes, P. M., M. Stuiver, J. W. C. White, S. J. Johnsen in J. Jouzel, 1993. *Comparison of oxygen isotope records from the GISP2 and GRIP Greenland ice cores.* Nature, 366, str. 552–554.

Hansen, J., Mki. Sato, R. Ruedy, K. Lo, D. W. Lea, in M. Medina-Elizade, 2006. *Global temperature change.* Proc. Natl. Acad. Sci., 103, 14288-14293, doi:10.1073/pnas.0606291103. Dosegljivo na svetovnem spletu: http://pubs.giss.nasa.gov/docs/2006/2006_Hansen_etal_1.pdf

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2007. Climate Change 2007: *The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment.* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor in H.L. Miller (ur.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Združeno kraljestvo in New York, New York, ZDA, 996 str. Dosegljivo na svetovnem spletu: http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/contents.html

IUCN (International Union for Conservation of Nature), 2008. *Species susceptibility to climate change impacts.* Dosegljivo na svetovnem spletu: http://cms-data.iucn.org/downloads/climate_change_and_species.pdf

Kajfež-Bogataj, L., 2006. *Podnebne spremembe in na-*

cionalna varnost. Ujma, 20, str. 170–176. Dosegljivo na svetovnem spletu: http://www.urszr.si/slo/tdocs/ujma/2006/bogataj.pdf

Kajfež-Bogataj, L., 2009. *Vpliv podnebnih sprememb na zavarovalnice.* Ujma, 23, str. 193–199. Dosegljivo na svetovnem spletu: http://www.urszr.si/slo/tdocs/ujma/2010/193.pdf

Kirsty, L., 2011. I*mpacts of 'high-end' climate change.* Dosegljivo na svetovnem spletu: http://www.metoffice.gov.uk/climate-change/guide/impacts/high-end

Kobold, M., 2009. *Vpliv podnebnih sprememb na ektremne hidrološke pojave.* Ujma, 23, str. 128–135. Dosegljivo na svetovnem spletu: http://www.urszr.si/slo/tdocs/ujma/2009/128.pdf

Lacis, A.A, G. A. Schmidt, D. Rind, in R.A. Ruedy, 2010. *Atmospheric CO2: Principal control knob governing Earth's temperature.* Science, 330, 356–359. Dosegljivo na svetovnem spletu: http://pubs.giss.nasa.gov/cgi-bin/abstract.cgi?id=la09300d

Lyman, J. M., S. A. Good, V. V. Gouretski, M. Ishii, G. C. Johnson, M. D. Palmer, D. M. Smith, J. K. Willis, 2010. *Robust warming of the global upper ocean.* Nature 465: 334-337. Dosegljivo na svetovnem spletu: http://www.nature.com/nature/journal/v465/n7296/abs/nature09043.html

McGuffie K., A. Henderson–Sellers, 1997. *A climate modeling primer.* Chichester, John Wiley and Sons, 253 str.

NASA GISS (National Aeronautics and Space Administration, Goddard Institute for Space Studies), 2010. *How Warm Was Summer 2010?* Dosegljivo na svetovnem spletu: http://www.giss.nasa.gov/research/news/20100930/

NCDC (National Climatic Data Center): http://www.ncdc.noaa.gov/cmb-faq/anomalies.html

NRC (National Research Council), 2010. *Climate Stabilization Targets: Emissions, Concentrations, and Impacts over Decades to Millennia Committee on Stabilization Targets for Atmospheric Greenhouse Gas Concentrations.* The National Academies Press, Washington, 190 str. Dosegljivo na svetovnem spletu: http://www.nap.edu/catalog/12877.html

NSIDC (National Snow and Ice Data Center), 2010. *Weather and feedbacks lead to third-lowest extent.* Dosegljivo na svetovnem spletu http://nsidc.org/arcticseaicenews/2010/100410.html

Pierce, D. W., T. P. Barnett, K. AchutaRao, P. Gleckler, J. Gregory in W. Washington, 2006. *Anthropogenic warming of the oceans: Observations and model results.* J. Climate, 19, str. 1873–1900. Dosegljivo na svetovnem spletu: http://meteora.ucsd.edu/~pierce/docs/pierce_et_al_jcli939_rev2B.pdf

Pierrehumbert, R. T., 2010. *Principles of Planetary Climate*. University of Chicago, Cambridge University Press, 680 str.

Reichler, T., in J. Kim, 2008. *How Well do Coupled Models Simulate Today's Climate?* Bull. Amer. Meteor. Soc, 89, 303-311. Dosegljivo na svetovnem spletu: http://www.inscc.utah.edu/~jkim/publications/papers/RK_2008_BAMS_Performance.pdf

Rockström, J., W. Steffen, K. Noone, Å. Persson, F.S. Chapin, III, E.F. Lambin, T.M. Lenton, M. Scheffer, C. Folke, H.J. Schellnhuber, B. Nykvist, C.A. de Wit, T. Hughes, S. van der Leeuw, H. Rodhe, S. Sörlin, P.K. Snyder, R. Costanza, U. Svedin, M. Falkenmark, L. Karlberg, R.W. Corell, V.J. Fabry, J. Hansen, B. Walker, D. Liverman, K. Richardson, P. Crutzen in J.A. Foley, 2009. *A safe operating space for humanity.* Nature, 461, 472–475, doi:10.1038/461472a

Santer, B. D., M. F. Wehner, T. M. L. Wigley, R. Sausen, G. A. Meehl, K. E. Taylor, C. Ammann, J. Arblaster, W. M. Washington, J. S. Boyle in W. Brüggemann, 2003. *Contributions of Anthropogenic and Natural Forcing to Recent Tropopause Height Changes.* Science, 301, str. 479–483. Dosegljivo na svetovnem spletu: http://www.sciencemag.org/content/301/5632/479

Santer, B. D., C. Mears, F. J. Wentz, K. E. Taylor, P. J. Gleckler, T. M. L. Wigley, T. P. Barnett, J. S. Boyle, W. Brüggemann, N. P. Gillett, S. A. Klein, G. A. Meehl, T. Nozawa, D. W. Pierce, P. A. Stott, W. M. Washington in M. F. Wehner, 2007. *Identification of human-induced changes in atmospheric moisture content.* Proc. Natl. Acad. Sci., ZDA, 104, str. 15248–15253. Dosegljivo na svetovnem spletu: http://www.pnas.org/content/104/39/15248.full

Santer, B. D., K. E. Taylor, P. J. Gleckler, C. Bonfils, T. P. Barnett, D. W. Pierce, T. M. L. Wigley, C. Mears, F. J. Wentz, W. Brüggemann, N. P. Gillett, S. A. Klein, S. Solomon, P. A. Stott in M. F. Wehner,2009. *Incorporating model quality information in climate change detection and attribution studies.* Proc. Natl. Acad. Sci., 106, 35, str. 14778–14783, doi:10.1073/pnas.0901736106. Dosegljivo na svetovnem spletu: http://www.pnas.org/content/106/35/14778.full

Schmidt, G. A., R. Ruedy, R.L. Miller in A.A. Lacis, 2010. *The attribution of the present-day total greenhouse effect.* J. Geophys. Res., 115, D20106, doi:10.1029/2010JD014287. Dosegljivo na svetovnem spletu: http://pubs.giss.nasa.gov/cgi-bin/abstract.cgi?id=sc05400j

Self, S., J.-X. Zhao, R. E. Holasek, R. C. Torres, A. J. King, 1996. T*he atmospheric impact of the Mount Pinatubo eruption. Fire and Mud: Eruptions and lahars of Mount Pinatubo, Philippines,* CG Newhall and RS Punongbayan (eds.), Philippine Institute of Volcanology and Seismology, Quezon City in University of Washington Press, Seattle, str. 1089–1115. Dosegljivo na svetovnem spletu: http://pubs.usgs.gov/pinatubo/self/index.html

Shakun, D., A. E. Carlson, 2010. *A global perspective on Last Glacial Maximum to Holocene climate change.* Quaternary Science Reviews, 29, 1801–1816. Dosegljivo na svetovnem spletu: http://www.geology.wisc.edu/~acarlson/Other/Shakun_Carlson_QSR_2010.pdf

Skeptical Science: http://www.skepticalscience.com/

Stern, N., 2006. *Stern Review: The Economics of Climate Change.* Dosegljivo na svetovnem spletu: http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/+/http://www.hm-treasury.gov.uk/stern_review_report.htm

The Climate Science Rapid Response Team: http://www.climaterapidresponse.org/

The Copenhagen Diagnosis, 2009. Updating the World on the Latest Climate Science. [Allison, I., N.L. Bindoff, R.A. Bindschadler, P.M. Cox, N. de Noblet, M.H. England, J.E. Francis, N. Gruber, A.M. Haywood, D.J. Karoly, G. Kaser, C. Le Quéré, T.M. Lenton, M.E. Mann, B.I. McNeil, A.J. Pitman, S. Rahmstorf, E. Rignot, H.J. Schellnhuber, S.H. Schneider, S.C. Sherwood, R.C.J. Somerville, K. Steffen, E.J. Steig, M. Visbeck, A.J. Weaver]. The University of New South Wales Climate Change Research Centre (CCRC), Sydney, Avstralija, 60 str. Dosegljivo na svetovnem spletu: http://www.copenhagendiagnosis.org/

The Science of Climate Change: Questions and Answers, 2010. Australian Academy of Science, Canberra, 24 str. Dosegljivo na svetovnem spletu: http://www.science.org.au/reports/climatechange2010.pdf

Tripati, A. K. , C. D. Roberts in R. A. Eagle,2009. *Coupling of CO2 and Ice Sheet Stability Over Major Climate Transitions of the Last 20 Million Years.* Science, 326, 1394–1397. Povzetek dosegljiv na svetovnem spletu: http://www.sciencemag.org/content/326/5958/1394.abstract?sid=c2416d31-5dfd-448e-ac14-0096da1e8774

UAH (Universty of Alabama in Huntsville): http://www.ncdc.noaa.gov/temp-and-precip/msu/index.html

UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change), 2009. Draft decision -/CP.15, FCCC/CP/2009/L. Dosegljivo na svetovnem spletu: http://unfccc.int/resource/docs/2009/cop15/eng/l07.pdf

UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change), 2010. The United Nations Climate Change Conference in Cancun, COP 16 / CMP 6, 29 November - 10 December 2010. Dosegljivo na svetovnem spletu: http://unfccc.int/meetings/cop_16/items/5571.php

Unger, N., T. C. Bond, J. S. Wang, D. M. Koch, S. Menon, D. T. Shindell in S. Bauer, 2010. *Attribution of climate forcing to economic sectors.* Proc. Natl. Acad. Sci., 107, 3382–3387. Dosegljivo na svetovnem spletu: http://pubs.giss.nasa.gov/cgi-bin/abstract.cgi?id=un01100t

WMO (World Meteorological Organization), 2008. *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation.* WMO–No. 8, Ženeva, 681 str. Dosegljivo na svetovnem spletu: http://www.wmo.int/pages/prog/www/IMOP/publications/CIMO-Guide/CIMO%20Guide%207th%20Edition,%202008/CIMO_Guide-7th_Edition-2008.pdf

WMO (World Meteorological Organization), 2010. *Press Release No. 906.* Dosegljivo na svetovnem spletu: http://www.wmo.int/pages/mediacentre/press_releases/pr_906_en.html

Wolf-Gladrow et al. (1999) *Direct effects of CO2 concentration on growth and isotopic composition of marine plankon.* Tellus B, 51, 461-476.

World Resources Institute, 2003. *Carbon Emissions from energy use and cement manufacturing, 1850 to 2000.*

Pričanja pred kongresnim odborom ZDA: http://www.c-spanvideo.org/program/ChangePa

Poplava septembra 2010 na sotočju Save in Krke (Foto: Janez Polajnar)

Ločeni odtis številke 0311
Stališče SMD o podnebnih spremembah

Fotografija na naslovnici:
Janez POLAJNAR, Poplava pri Zalogu, september 2010

Izdaja:
Slovensko meteorološko društvo
Vojkova 1b,
SI – 1000, Ljubljana
http://www.meteo-drustvo.si

Naslov uredništva:
Vojkova 1b
SI-1000, Ljubljana
vetrnica.smd@gmail.com

ISSN 1855-7457

Slovensko meteorološko društvo
Od 1954

Glavna urednica: Mojca DOLINAR

Uredniški odbor: Jožef ROŠKAR, Iztok SINJUR, Damijana KASTELEC, Matjaž ČESEN

Tehnično urejanje: Mojca DOLINAR, Jožef ROŠKAR

Oblikovna zasnova: Sabina KOŠAK, Solos, d.o.o.

Ljubljana, MAREC 2011