

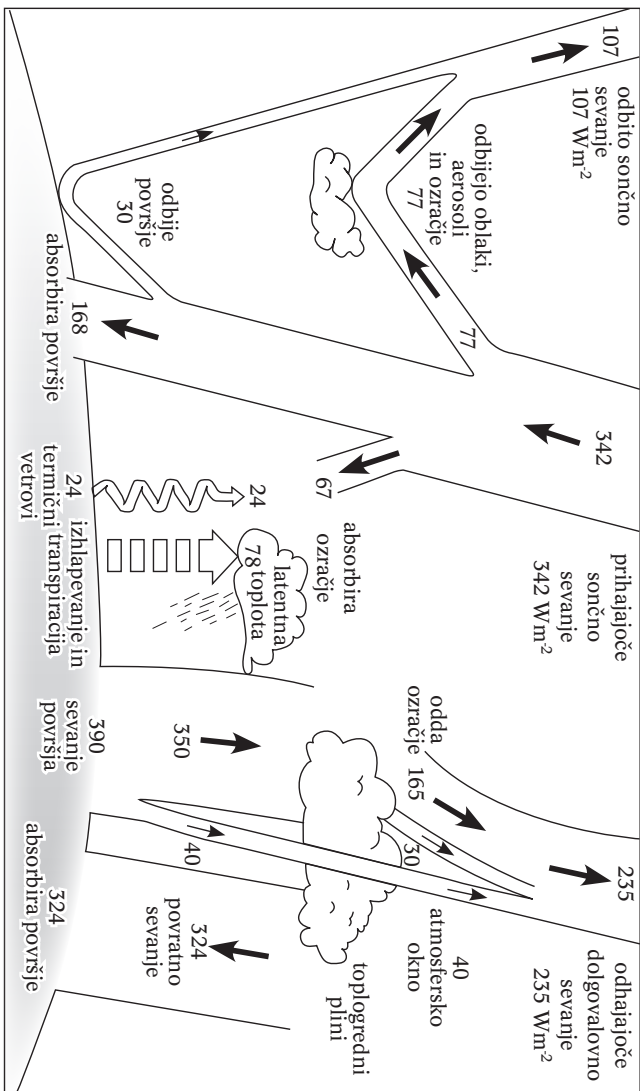
1. poglavje

Kaj je globalno segrevanje?

Zemljina naravna topla greda

TEMPERATURO ZEMLJE določa razmerje med energijo, ki jo Zemlja prejme od Sonca in energijo, ki jo odda nazaj v vesolje. Nekateri plini v ozračju so ključnega pomena za to temperaturno ravnovesje in jih poznamo pod imenom toplogredni plini. Zemlja prejema energijo od sonca v obliki kratkovalovnega sevanja, torej v vidnem spektru ultravijoličnega sevanja. V povprečju se približno ena tretjina tega sončnega sevanja, ki zadane Zemljo, odbije nazaj v vesolje. Del preostanka vsrka ozračje, večji del pa ga vsrkata kopno in morje. Površje Zemlje se segreje in posledično oddaja dolgovalovno »infrardeče« sevanje. Toplogredni plini ujamejo in ponovno oddajo nekaj tega dolgovalovnega sevanja in tako ogrevajo ozračje. Toplogredni plini naravnega izvora so vodna para, ogljikov dioksid, ozon, metan ter dušikov oksid in skupaj tvorijo naravno toplo gredo oziroma učinek odeje in tako ogrejejo Zemljo za 35 °C. Čeprav so toplogredni plini v shemah pogosto prikazani kot ena strnjena plast, je to zgolj za ponazoritev njihovega »učinka odeje«, dejansko pa so razporejeni po celotni atmosferi (glej risbo 1).

Zemljino naravno toplo gredo lahko bolje razumemo tudi, če jo primerjamo z njenima dvema najbližjima sosedoma. Podnebje nekega planeta določa več dejavnikov: njegova masa, oddaljenost od sonca in seveda sestava njegovega ozračja ter še zlasti količina toplogrednih plinov. Planet Mars je, na primer, zelo majhen, zaradi česar je njegova gravitacija prešibka, da bi



1 | Zemljina letna globalna povprečna energetska bilanca

zadržala gosto ozračje; njegovo ozračje je približno stokrat tanjše kot Zemljino, sestavlja pa ga v glavnem ogljikov dioksid. Povprečna temperatura Marsovega površja je približno $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$, tako da je še tisto malo ogljikovega dioksida, kolikor je prisotnega, zamrznjenega v tleh. Venera, na primer, ima skoraj enako maso kot Zemlja, vendar ima mnogo gostejše ozračje, ki ga sestavlja 96 % ogljikovega dioksida. Ta velik odstotek ogljikovega dioksida povzroča močno globalno segrevanje, zaradi česar temperatura na površju Venere presega $460\text{ }^{\circ}\text{C}$.

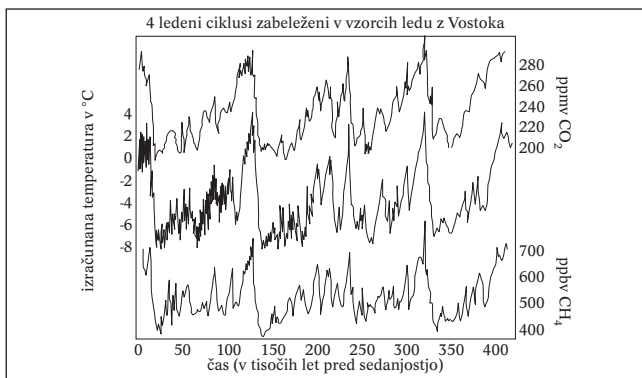
Zemljino ozračje sestavlja 78 % dušika, 21 % kisika in 1 % drugih plinov. Prav ti drugi plini nas zanimajo, saj so med njimi tako imenovani toplogredni plini. Dva najpomembnejša toplogredna plina sta ogljikov dioksid ter vodna para. Trenutno znaša delež ogljikovega dioksida v ozračju zgolj 0,03–0,04 %, medtem ko se delež vodne pare spreminja med 0 in 2 %.

Brez naravnega toplogrednega učinka teh dveh plinov bi bila povprečna temperatura na Zemlji približno $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Primerjava s podnebjema na Marsu in Veneri je lahko le zelo groba, saj sta gostota ozračja in razmerje med toplogrednimi plini drugačna. Ker pa se količina ogljikovega dioksida in vodne pare na Zemlji lahko spreminja, vemo, da je ta naravni toplogredni učinek ustvaril podnebni sistem, ki je v primerjavi s podnebjem na Marsu in Veneri naravno nestabilen in precej nepredvidljiv.

Podnebje v preteklosti in vloga ogljikovega dioksida

Da ogljikov dioksid v ozračju pomembno vpliva na globalno podnebje vemo, med drugim, zaradi preučevanja našega podnebjema v preteklosti. V zadnjih dveh in pol milijonih let se je Zemljino podnebje ciklično spreminjalo od velikih ledenih dob, z več kot 3 km debelimi ledenimi odejami, ki so prekrivale Severno Ameriko in Evropo, do razmer, ki so bile celo bolj blage kot današnje. Te menjave so izjemno hitre, če jih primerjamo z drugimi

geološkimi spremembami, na primer s premikanjem celin po površju Zemlje, kjer gre za časovno obdobje nekaj milijonov let. Toda, kako vemo za obstoj teh mogočnih ledenih dob in za vlogo ogljikovega dioksida? Dokazi izvirajo predvsem iz vzorcev ledu, ki so jih pridobili iz vrtin na Antarktiki in Grenlandiji. Ko sneži, je sneg lahek in puhast in vsebuje veliko zraka. Ko se počasi useda in tvori led, se nekaj tega zraka ujame. Znanstveniki lahko izmerijo odstotek toplogrednih plinov, ki so sestavljali ozračje v preteklosti, tako, da izločijo zračne mehurčke, ki so ujeti v starodavnem ledu. Znanstveniki so vrtali več kot 3 kilometre globoko v ledene odeje na Grenlandiji in Antarktiki, kar jim je omogočilo, da so pridobili podatke o količinah toplogrednih plinov v ozračju v preteklih pol milijona let. S preučevanjem kisikovih in vodikovih izotopov v vzorcih ledu je mogoče oceniti temperaturo, pri kateri je nastal led. Izsledki so osupljivi, saj se toplogredni plini, kot sta atmosferski ogljikov dioksid (CO_2) in metan (CH_4), spreminjajo skupaj s temperaturami skozi preteklih 400.000 let (glej sliko 2). To močno govori v prid predstavi, da sta vsebnost ogljikovega dioksida v ozračju in globalna temperatura tesno povezani, se pravi, da je opazno, da se temperatura zviša, kadar se zviša vsebnost CO_2 in CH_4 .



2 Podatki iz vzorcev ledu z Vostoka – toplogredni plini in temperature v zadnjih štirih ledenih ciklih

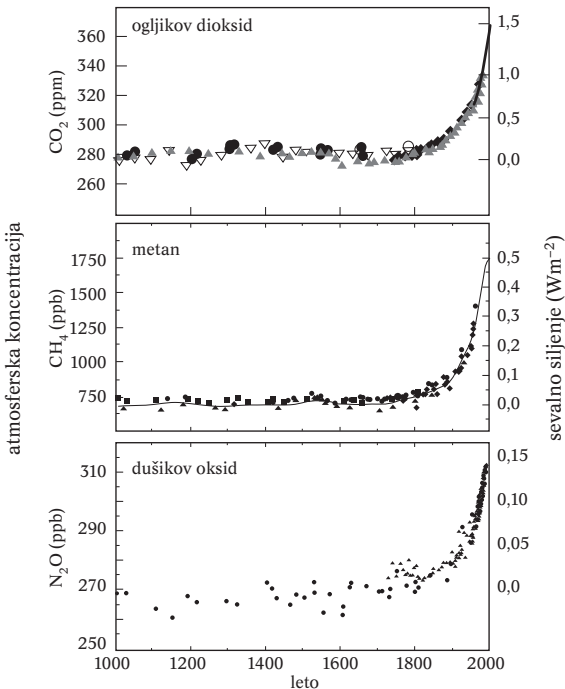
in obratno. Naša največja skrb glede podnebja v prihodnosti je sledeča: če bo količina toplogrednih plinov še naprej naraščala, bo naraščala tudi temperatura našega ozračja. Preučevanje sprememb ozračja v preteklosti nam lahko, kot bomo videli v tej knjigi, pomaga razumeti, kaj se lahko zgodi v prihodnosti. Eden najbolj zaskrbljujočih izsledkov preučevanja vzorcev ledu ter jezerskih in globokomorskih usedlin je, da se je temperatura ozračja v preteklosti regionalno spreminjala za vsaj 5 °C v nekaj desetletjih, kar kaže na to, da spremembe temperatur ne potekajo premočrtno. Torej lahko pričakujemo nenadna in dramatična presenečenja, ko bodo količine toplogrednih plinov dosegle doslej neznano sprožilno točko v prihodnosti.

Porast vsebnosti ogljikovega dioksida v ozračju v industrijski dobi

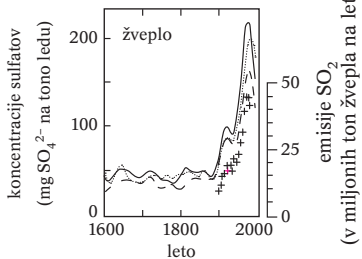
Ena redkih točk razprave o globalnem segrevanju, za katero lahko rečemo, da je splošno sprejeta, je, da obstajajo jasni dokazi, da je vsebnost ogljikovega dioksida v ozračju naraščala vse od začetka industrijske revolucije. Prve meritve koncentracij (CO_2) v ozračju so opravili leta 1958 na nadmorski višini približno 4.000 metrov na vrhu gore Mauna Loa na Havajih. Ta kraj so izbrali zaradi njegove oddaljenosti od lokalnih virov onesnaženja. Meritve so jasno pokazale, da so se koncentracije CO_2 v ozračju povečale vsako leto od leta 1958 naprej. Povprečna koncentracija približno 316 delcev na milijon po prostornini (ppmv) iz leta 1958 se je povečala na približno 369 ppmv v letu 1998 (glej sliko 3). Letne variacije podatkov iz observatorija Mauna Loa so v največji meri posledica skladiščenja CO_2 v rastlinah. Največ ogljikovega dioksida posrkajo rastline v času pomladi na severni polobli; zaradi tega je vsako pomlad opaziti padec količin v ozračju, ki pa žal ne vpliva na splošni trend rasti.

Te podatke o količinah ogljikovega dioksida z observatorija Mauna Loa lahko združimo z izčrpnimi raziskavami vzorcev

(a) Globalne atmosferske koncentracije treh dobro premešanih toplogrednih plinov



(b) v grenlandskem ledu ujeti sulfatni aerosoli



3 Kazalci človeškega vpliva na sestavo ozračja v industrijski dobi

ledu in tako dobimo celovit pregled količin ogljikovega dioksida v ozračju od začetka industrijske revolucije. Tu lahko vidimo, da se je količina CO₂ v ozračju povečala s približno 280 ppmv pred industrijsko revolucijo na sedanjih več kot 370 ppmv, kar je povečanje za 160 milijard ton in v celoti predstavlja 30 % povečanje. Da to povečanje postavimo v kontekst, si lahko ogledamo spremembe med zadnjo ledeno dobo, ko so bile temperature precej nižje, in predindustrijskim obdobjem. Po podatkih, pridobljenih iz vzorcev ledu, je bila vsebnost CO₂ v ozračju v zadnji ledeni dobi približno 200 ppmv. Če to primerjamo s predindustrijsko vsebnostjo 280 ppmv, ugotovimo, da se je vsebnost povečala za več kot 160 milijard ton – kar je skoraj enako CO₂ onesnaženju ozračja, ki smo ga povzročili v zadnjih 100 letih. To povečanje vsebnosti ogljikovega dioksida je spremljalo globalno segrevanje za 6 °C, s katerim se je svet izvil iz objema zadnje ledene dobe. Čeprav so bile spremembe v Zemljini krožnici okrog Sonca temeljni vzrok za konec zadnje ledene dobe, so znanstveniki, ki so preučevali pretekla podnebja, ugotovili, kako pomembno vlogo ima vsebnost ogljikovega dioksida v ozračju kot kazalec, ki te zunanje spremembe prevede v pojavljanje in izginjanje ledenih dob. Iz tega lahko ugotovimo, da je stopnja onesnaženja, ki smo jo že povzročili v enem stoletju, primerljiva z naravnimi spremembami, ki so se zgodile v več tisoč letih.

Povečanje učinka tople grede

Polemika glede hipoteze o globalnem segrevanju poteka okrog vprašanja, ali bodo dodatni toplogredni plini, ki jih spuščamo v ozračje, povečali naravni toplogredni učinek. Tisti, ki so do globalnega segrevanja skeptični, trdijo, da čeprav vsebnost ogljikovega dioksida v ozračju res narašča, to ne bo povzročilo globalnega segrevanja, ker je učinek bodisi premajhen ali pa obstajajo drugi naravni mehanizmi, ki bodo preprečili večje segrevanje. Tudi če zavzamemo stališče večine znanstvenikov in

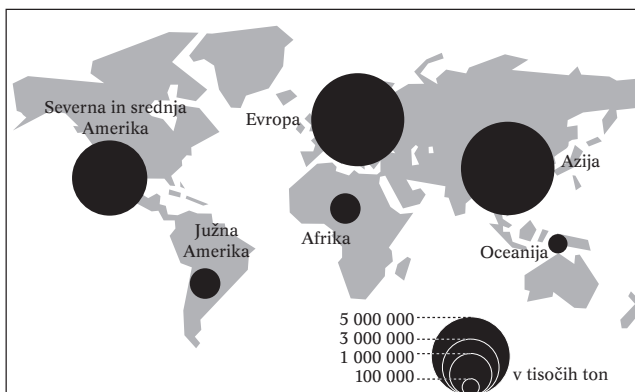
se strinjamo, da bo uporaba fosilnih goriv povzročila segrevanje, je stvar druge razprave, koliko se bodo temperature dejansko povešale. Potem je tu še razprava, ali se bo globalno ozračje na dodatne toplogredne pline odzvalo linearno ali pa nas čaka podnebna prelomnica. S temi vprašanji se bomo soočili kasneje.

Kdo povzroča onesnaženje?

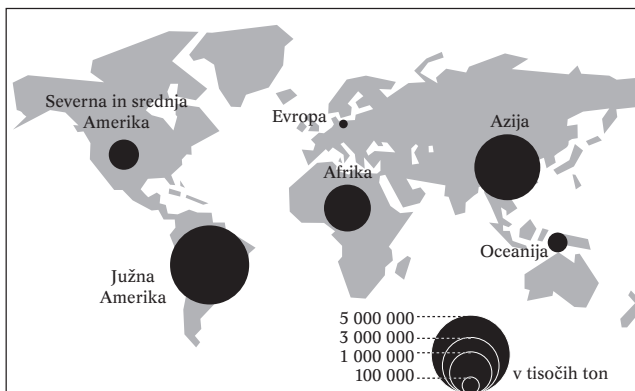
Okvirna konvencija Združenih narodov o spremembi podnebja je bila pripravljena z namenom, da bi bil sklenjen prvi mednarodni dogovor glede zmanjševanja globalnih emisij toplogrednih plinov. Vendar pa ta naloga ni tako enostavna, kot se sprva zdi, saj države proizvajajo različne količine emisij ogljikovega dioksida. Prvi večji vir ogljikovega dioksida je uporaba fosilnih goriv, saj pomemben del emisij ogljikovega dioksida izvira iz proizvodnje energije, industrijskih procesov in transporta. Ti procesi niso enakomerno razporejeni po svetu zaradi neenake razporeditve industrije; zaradi tega bi kakršenkoli sporazum na ekonomije nekaterih držav vplival bolj kot na ekonomije drugih. Posledično morajo trenutno industrializirane države nositi večji del odgovornosti za zmanjševanje emisij ogljikovega dioksida na približno 22 milijard ton ogljika na leto (glej sliko 4a). Severna Amerika, Evropa in Azija sproščajo več kot 90 % globalnega industrijsko proizvedenega ogljikovega dioksida. Poleg tega so tudi skozi zgodovino proizvedle mnogo več emisij kot manj razvite države.

Drugi večji vir emisij ogljikovega dioksida so spremembe rabe zemljišč. Te emisije izvirajo predvsem iz posekov gozda za potrebe kmetijstva, za izgradnjo cest ter urbanizacijo. Po poseku večjih površin deževnega gozda se zemljišča pogosto spremenijo v manj produktivne pašnike, ki imajo znatno manjšo zmogljivost skladiščenja CO₂. V tem primeru je razporeditev emisij ogljikovega dioksida drugačna, saj so Južna Amerika, Azija in Afrika odgovorne za več kot 90 % današnjih emisij zaradi

sprememb rabe zemljišč, kar skupaj zneso približno 4 milijarde ton na leto (glej sliko 4b). Vendar pa moramo pri tem upoštevati zgodovinsko dejstvo, da sta Severna Amerika in Evropa že spremenili svoje pokrajine v začetku 20. stoletja. Če primerjamo količine sproščene ogljikovega dioksida, industrijski procesi še vedno močno prednjačijo pred spremembami rabe zemljišč.



4a Emisije CO₂ iz industrijskih procesov



4b Emisije CO₂ iz sprememb rabe zemljišč

Kdo so torej hudobneži, ki povzročajo povečanje količin ogljikovega dioksida v ozračju? Seveda so razvite države tiste, ki so zgodovinsko sprostile največ antropogenih (človeško povzročenih) toplogrednih plinov, saj sproščanje v teh državah poteka od začetka industrijske revolucije v drugi polovici 18. stoletja. Poleg tega je zrela industrializirana ekonomija energetsko intenzivna in porabi ogromne količine fosilnih goriv. Eno pomembnejših nerešenih vprašanj v razpravi je delitev odgovornosti. Neindustrializirane države si prizadevajo zvišati življenjski standard svojega prebivalstva in s tem povečujejo svoje emisije toplogrednih plinov, saj je ekonomski razvoj tesno povezan s proizvodnjo energije. Količina ogljikovega dioksida se bo torej verjetno povečala navkljub prizadevanjem za zmanjšanje emisij v industrializiranih državah. Kitajska, na primer, ima druge najvišje emisije ogljikovega dioksida na svetu. Toda kitajske emisije na prebivalca so desetkrat nižje kot emisije na prebivalca v ZDA, ki so na vrhu seznama. To torej pomeni, da je v ZDA vsaka oseba odgovorna za proizvodnjo desetkrat več onesnaženja z ogljikovim dioksidom kot na Kitajskem. Zaradi tega so v vseh osnutkih mednarodnih sporazumov glede zmanjšanja emisij, od Konference o okolju in razvoju v Riu leta 1992 dalje, izpuščene države v razvoju, saj njihova vključitev v sporazume velja za nepravično zaviranje njihovega ekonomskega razvoja. Vseeno pa je to pomembno vprašanje, saj se, na primer, tako Kitajska kot Indija hitro industrializirata in bosta s skupaj več kot 2,3 milijarde prebivalcev proizvedli ogromno količino onesnaženja.

Kaj je IPCC?

Medvladni forum o spremembi podnebja (IPCC) sta leta 1988 združeno ustanovila Okolijski forum Združenih narodov in Svetovna meteorološka organizacija zaradi skrbi, da se svet morda segreva. Namen IPCC je nenehno spremljanje

stanja vednosti o podnebnih spremembah z različnih področij, vključno z znanstvenim in okolijskim področjem ter družbenogospodarskimi posledicami in odzivnimi strategijami. IPCC je priznan kot najbolj ugledna znanstvena in strokovna avtoriteta za podnebne spremembe in njegove ugotovitve so imele močan vpliv na pogajalce, ki so sodelovali pri oblikovanju Okvirne konvencije Združenih narodov o spremembi podnebja (UNFCCC) in pripadajočega Kjotskega protokola. Srečanja v Haagu novembra 2000 in Bonnu julija 2001 sta bili drugi in tretji poskus ratifikacije (to je polnopravne potrditve) protokolov, ki so jih pripravili v Kjotu leta 1998. Na žalost je marca 2001 predsednik Bush umaknil ZDA iz pogajanj. Kljub temu pa se je 186 drugih držav julija 2001 zapisalo v zgodovino, ko so se sporazumele glede najbolj daljnosežne in izčrpane okolijske pogodbe v celotni zgodovini človeštva. Toda Kjotski protokol še vedno čaka na ratifikacijo. O tem, kaj je potrebno, da se bo to zgodilo, govorimo v 8. poglavju.

IPCC je organiziran v tri delovne skupine, poleg tega pa v njem deluje še projektna skupina za izračun količine toplogrednih plinov, ki jih proizvede posamezna država. Vsako izmed teh štirih teles ima dva sopedsedujoča (enega iz razvite države in enega iz države v razvoju) ter ekipo za tehnično podporo. Delovna skupina I spremlja znanstvene vidike podnebnega sistema in podnebnih sprememb; delovna skupina II se ukvarja z občutljivostjo človeških in naravnih sistemov na podnebne spremembe, z negativnimi in pozitivnimi posledicami podnebnih sprememb in z možnostmi za prilagoditev nanje; delovna skupina III preiskuje možnosti za omejevanje emisij toplogrednih plinov in blaženje podnebnih sprememb, ukvarja pa se tudi z ekonomskimi vprašanji. Poleg tega IPCC nudi vladam znanstvene, tehnične in družbenogospodarske podatke, ki so pomembni za ocenjevanje tveganj in pripravo odgovorov na globalne podnebne spremembe. Najnovejša poročila teh

treh delovnih skupin so bila objavljena leta 2001* in približno 400 strokovnjakov iz kakšnih 120 držav je bilo neposredno vključenih v pripravo, revidiranje in dokončno uskladitev poročil IPCC, še dodatnih 2.500 strokovnjakov pa je sodelovalo v procesu pregledovanja. Sodelavce IPCC vedno imenujejo vlade in mednarodne organizacije, vključno z nevladnimi organizacijami. Ta poročila so nujno branje za vsakogar, ki ga zanima globalno segrevanje, in so navedena v razdelku Nadaljnje branje.

IPCC prav tako zbira ugotovitve raziskav o glavnih toplogrednih plinih: od kod izvirajo in kakšno je trenutno soglasje glede njihovega segrevalnega potenciala (glej spodaj, str. 26–27). Segrevalni potencial je izračunan glede na ogljikov dioksid, ki mu je bila dodeljena vrednost segrevalnega potenciala ena. Na ta način je, namesto absolutne, mogoča relativna primerjava med različnimi toplogrednimi plini. Globalni segrevalni potencial je preračunan na 20- in 100-letno obdobje. Takšna intervala sta izbrana zato, ker imajo različni toplogredni plini, zaradi različnih časov razkroja ali absorpcije v morje ali kopensko biosfero, različen zadrževalni čas v ozračju. Večina drugih toplogrednih plinov je bolj učinkovitih pri segrevanju ozračja kot ogljikov dioksid, a so v ozračju prisotni v majhnih koncentracijah. Kot lahko vidite v tabeli 1, obstajajo toplogredni plini, ki so v enakih količinah mnogo nevarnejši od ogljikovega dioksida, a jih v ozračju najdemo v zelo nizkih koncentracijah, zaradi česar je večina razprav glede globalnega segrevanja še vedno osredotočenih na vlogo atmosferskega ogljikovega dioksida in na nadzor nad njim.

Kaj so podnebne spremembe?

Mnogi znanstveniki so prepričani, da bo človeško povzročeni ali antropogeno ojačani učinek tople grede sprožil podnebne spremembe v bližnji prihodnosti. Celo nekateri skeptiki trdijo,

* Izid najnovejšega poročila IPCC je napovedan za 7. november 2007. [Op. ur.]

da bi se morali kljub temu, da globalno segrevanje verjetno ne bo imelo resnih posledic, na podnebne spremembe vseeno pripraviti, saj se dogajajo po naravni poti s človeško zaznavno hitrostjo. Toda, kaj so podnebne spremembe in kako se zgodijo. Med podnebne spremembe spada več različnih sprememb, na primer spremembe regionalnih in globalnih temperatur, spremembe padavinskih vzorcev, širjenje in krčenje ledenih odej in spremembe v višini morske gladine. Te regionalne in globalne podnebne spremembe so odziv sistema na zunanje in notranje mehanizme siljenja. Primer notranjega mehanizma siljenja je spreminjanje vsebnosti ogljikovega dioksida v ozračju, ki uravnava učinek tople grede, medtem ko je dober primer zunanjega mehanizma siljenja dolgoročno spreminjanje Zemljine krožnice okrog Sonca, ki vpliva na regionalno razporeditev sončnega obsevanja Zemlje. Slednje velja za vzrok pojavljanja in izginjanja ledenih dob. Ko torej iščemo dokaze za obstoj globalnega segrevanja in poskušamo ugotoviti, kaj nas čaka v prihodnosti, moramo upoštevati vse naravne zunanje in notranje mehanizme siljenja. Na primer, do pred kratkim je globalna ohladitev, ki se je zgodila v 70-ih letih prejšnjega stoletja, ostala nepojasnjena, dokler niso v razlagi upoštevali cikličnih variacij v količini energije, ki jo odda sonce, ki nastopijo vsakih 11 let – tako imenovanega ciklusa sončnih peg.

Da bi ugotovili način odziva globalnega podnebnega sistema na zunanje in notranje mehanizme siljenja, lahko pregledamo različne scenarije (glej sliko 5). V teh scenarijih predvidevam, da obstaja en sam mehanizem siljenja, ki poskuša spremeniti globalno podnebje. Pomembno pri tem je, kako se bo odzval globalni podnebni sistem. Na primer, ali je razmerje podobno, kot kadar človek poskuša poriniti avto navkreber, kar, začuda, nima večjih posledic. Ali pa je bolj podobno potiskanju avta navzdol, kar je proces, ki ga je, ko se avto enkrat začne premikati, zelo težko zaustaviti. Obstajajo štiri možna razmerja in osrednje vprašanje v razpravi o globalnem segrevanju je, katero se najbolj sklada s prihodnostjo.

Tabela 1

toplogredni plin	molekulska formula	predindustrijska koncentracija	koncentracija v letu 2004	človeški vir	globalni segrevalni potencial v 20 letih	globalni segrevalni potencial v 100 letih
ogjikov dioksid	CO ₂	278 ppmv	358 ppmv (30 % povečanje)	izgorevanje fosilnih goriv, spremembe rabe zemljišč, proizvodnja cementa	1	1
metan	CH ₄	700 ppbv	1721 ppbv (240 % povečanje)	fosilna goriva, riževa polja, odlagališča odpadkov, živina	62	23
dušikov oksid	N ₂ O	275 ppbv	311 ppbv (15 % povečanje)	gnojila, industrijski procesi, izgorevanje fosilnih goriv	275	296
CFC-12	CCl ₂ F ₂	0 ne obstaja v naravi in je človeško povzročen	0,503 ppbv	tekoča hladilna sredstva, pene	6.200	7.100

HCFC-22	CHClF ₂	0 ne obstaja v naravi in je človeško povzročen	0,105 ppbv	tekoča hladilna sredstva	1.300	1.400
perfluorirani metan	CF ₄	0 ne obstaja v naravi in je človeško povzročen	0,070 ppbv	proizvodnja aluminija	3.900	5.700
žveplov heksafluorid	SF ₆	0 ne obstaja v naravi in je človeško povzročen	0,032 ppbv	dielektrična tekočina	15.100	22.200

ppmv = delec na milijon po prostornini

ppbv = delec na milijardo po prostornini

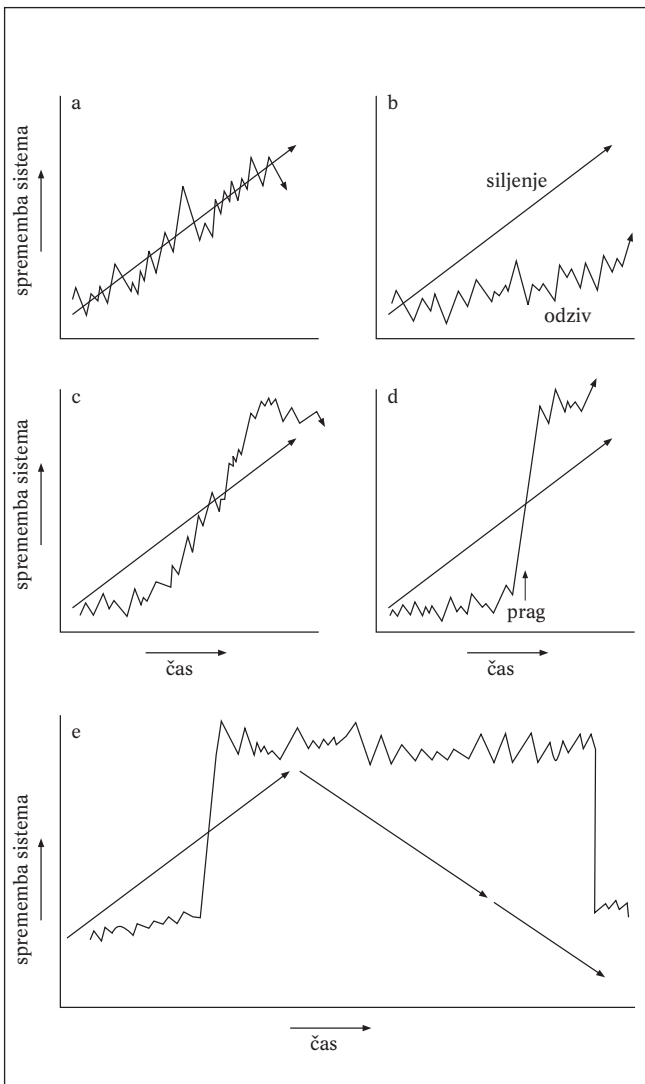
- (a) Linearen in sočasen odziv (slika 5a). V tem primeru siljenje proizvede neposreden odziv podnebne sistema, razsežnost odziva pa je v sorazmerju z vplivom. Kar zadeva globalno segrevanje, bi nekaj dodatnih milijonov ton ogljikovega dioksida povzročilo določeno predvidljivo povečanje temperature. To lahko enačimo s potiskanjem avta po ravnici: večina energije, ki jo vložimo v potiskanje, se pretvori v premikanje avta naprej.
- (b) Pridušen ali omejen odziv (slika 5b). V tem primeru je lahko siljenje veliko, a ga podnebni sistem na nek način blaži in je zato odziv majhen. Mnogi skeptiki in politiki trdijo, da je podnebni sistem precej neobčutljiv na spremembe v atmosferskem ogljikovem dioksidu in da se zato v prihodnosti ne bo veliko spremenilo. Ta možnost je analogna »potiskanju avta navkreber«: porabite lahko ogromno energije za potiskanje, toda avto se ne bo premaknil prav daleč.
- (c) Zamaknjen ali nelinearen odziv (slika 5c). V tem primeru se podnebni sistem na siljenje odziva počasi, ker vloženo energijo kopiči in s tem blaži odziv. Po začetnem obdobju se podnebni sistem odzove na siljenje, toda odziv ni premočrten. To je povsem možen scenarij v primeru globalnega segrevanja, ki bi pojasnil, zakaj smo v preteklih 100 letih zaznali le manjše segrevanje. Ta scenarij lahko enačimo s potiskanjem avta na vrh hriba: kar nekaj časa in truda je potrebno, da potisnemo avto na vrh hriba; to je kopičenje in blaženje. Toda ko avto pride na previs, je potrebno zelo malo energije, da ga porinemo čez rob in nato pospeši navzdol po hribu, pri čemer ne potrebuje več nobene pomoči. Ko enkrat doseže ravnico, se zaradi vztrajnosti še nekaj časa premika, nato pa sam od sebe upočasni in se ustavi v novem položaju.
- (d) Odziv s pragom (slika 5d). V tem primeru na začetku ni nobenega ali skoraj nobenega odziva podnebne sistema na siljenje; toda ves odziv se nato zgodi v zelo kratkem časovnem obdobju v enem velikem koraku oziroma pragu. V mnogih primerih je odziv lahko mnogo večji, kot bi ga lahko pričakovali glede na moč siljenja, in to lahko imenujemo odzivni prenihaj.

Ta scenarij je najbolj zaskrbljujoč, saj je praga zelo težko modelirati in torej tudi predvideti. Toda pri preučevanju preteklih podnebij so ugotovili, da so pragi nekaj povsem običajnega, in da se regionalne podnebne spremembe za več kot 5 °C lahko zgodijo v nekaj desetletjih. Ta scenarij je podoben kadru na koncu izvirne različice filma *Italijanska misija*, v katerem avtobus visi na robu prepada; dokler so spremembe majhne, se ne zgodi nič. Toda ko je dosežena kritična točka (v tem primeru zadostna teža), avtobus (in zlato) zgrmita v sotesko.

Čeprav so to povsem teoretični modeli možnih odzivov globalnega podnebnega sistema, jih moramo imeti v mislih, ko ocenjujemo možne scenarije prihodnjih podnebnih sprememb. Poleg tega pa so pomembni za razmislek v 3. poglavju, kjer se sprašujemo, zakaj imajo ljudje različne poglede na prihodnost globalnega segrevanja, čeprav imajo vsi dostop do enakih podatkov. Vse je odvisno od tega, za katerega od zgornjih scenarijev verjamejo, da se bo zgodil. Ko govorimo o podnebnih spremembah, položaj še dodatno zaplete možnost, da podnebni pragi vsebujejo viličenja. To pomeni, da je vpliv, ki je potreben za prestop praga v eno smer, drugačen za prestop iz druge smeri (glej sliko 5e). Posledica tega je, da je, ko je enkrat podnebni prag prestopljen, povratek veliko težji. Na možnost viličenja podnebnega sistema so znanstveniki sklepali na podlagi oceanskih modelov, ki modelirajo vpliv sladke vode v severnem Atlantiku na globalno kroženje globokomorske vode; o tem kislem jabolku bomo podrobno razpravljali v 7. poglavju.

Povezovanje globalnega segrevanja s podnebnimi spremembami

Videli smo, da obstajajo jasni dokazi, da so se koncentracije toplogrednih plinov v ozračju dvigovale vse od industrijske revolucije v 18. stoletju. Trenutno prevladujoče mnenje v znanosti je, da spremembe v koncentracijah toplogrednih



5 Možni odzivi podnebne sistema na linearno siljenje

plinov v ozračju povzročajo globalne temperaturne spremembe. Toda največji problem pri hipotezi o globalnem segrevanju je vprašanje, kako občutljivo je globalno podnebje na povečano koncentracijo atmosferskega ogljikovega dioksida. Tudi če na to vprašanje odgovorimo, je napovedovanje podnebnih sprememb zapleteno, saj vsebuje mnoge različne dejavnike, ki se odzovejo različno, ko se ozračje segreje, vključno z regionalnimi temperaturnimi spremembami, topljenjem ledenikov in ledenimi odejami, spremembo relativne morske gladine, spremembo padavin, potovanjem in intenzivnostjo neviht, El Ninjom in celo kroženjem morja. To povezavo med globalnim segrevanjem in podnebnimi spremembami še dodatno zaplete dejstvo, da ima vsak del globalnega podnebnega sistema različen odzivni čas. Ozračje se lahko, na primer, odzove na zunanje ali notranje spremembe v enem dnevu, odziv globokega morja lahko traja desetletja, medtem ko vegetacija lahko spremeni strukturo v nekaj tednih (na primer količino listja), medtem ko sprememba sestave (na primer zamenjava rastlinskih vrst) lahko traja celo stoletje. K temu dodajte še možnost naravnih siljenj, ki so lahko ciklična; obstajajo, na primer, zanesljivi podatki, da ciklusi sončnih peg lahko vplivajo na podnebje tako v desetletnem kot stoletnem merilu. Obstajajo tudi podatki, da je od začetka naše sedanje medledene dobe, v zadnjih 10.000 letih, prišlo do podnebne ohladitve vsakih 1.500 (± 500) let. Zadnja takšna ohladitev je bila mala ledena doba, ki se je začela v 17. in končala v 18. stoletju. Zaznamovali so jo padec temperature na Grenlandiji za od 0,5 do 1 °C, precejšnja sprememba morskih tokov okrog Islandije in padec temperature morskega površja na obali zahodne Afrike za 4 °C, na Bermudskem otočju za 2 °C, ter seveda londonski ledeni sejmi na Temzi. Vse našteto je bilo posledica naravnih podnebnih sprememb. Torej moramo potegniti ločnico med naravno podnebno spremenljivostjo in globalnim segrevanjem. Moramo ugotoviti, kako so različni deli podnebnega sistema medsebojno povezani, in se zavedati, da imajo različne odzivne

čase. Ugotoviti moramo, kakšne podnebne spremembe se bodo zgodile, in ugotoviti, ali bodo postopne ali katastrofalne. Ugotoviti moramo tudi, na kakšen način bodo prizadeti različni deli sveta; obstajajo, na primer, domneve, da bodo dodatni toplogredni plini bolj segreti oba pola kot trope. K vsem tem vprašanjem glede razumevanja podnebnega sistema in težavnosti napovedovanja podnebja v prihodnosti se bomo vrnili v poglavjih 4 in 5.

Če berete to knjigo prvič in vas zanima predvsem znanost o globalnem segrevanju, predlagam, da preberete poglavja 4, 5, 6 in 7. Kljub temu pa bi vas rad spodbudil, da preberete tudi poglavja 2, 3, 8 in 9, ki se ukvarjajo s socialnimi, zgodovinskimi, ekonomskimi in političnimi vidiki globalnega segrevanja, glede na to, da globalno segrevanje po mojem mnenju ni zgolj znanstven problem; predvsem je problem, s katerim se sooča naša globalna družba.

2. poglavje

Kratka zgodovina hipoteze o globalnem segrevanju

Zgodovinsko ozadje

ZNANSTVENIKI NAPOVEDUJEJO, da bi lahko globalno segrevanje segrelo planet za 1,4 do 5,8 °C v naslednjih 100 letih, kar bi človeštvu povzročilo ogromne težave. Ob tako resni grožnji je bistveno, da razumemo zgodovino teorije o globalnem segrevanju in dokaze, ki jo podpirajo. Ali je prihodnost resnično tako mračna, kot napovedujejo znanstveniki? Celotna razprava o teoriji globalnega segrevanja in njenem možnem vplivu, bolj kot katerakoli druga polemika v znanosti, razkriva človeškost znanstvenikov in političnost novih znanstvenih idej. Tako je, ker navkljub hollywoodski predstavi o znanstvenikih nismo logični stroji, kot gospod Spock iz *Zvezdnih stez*, niti nori znanstveniki, kot dr. Frankenstein, temveč zelo ambiciozni posamezniki. Čeprav mi, moram priznati, herojski prikaz »paleoklimatologa« v filmu *Dan po jutrišnjem* ugaja; ko bi le resnično bili takšni. Ne smemo torej pozabiti, da gonilna sila znanosti ni denar, temveč radovednost, ki jo kazijo ambicije, ego in želja po slavi. Zato se prosim znebite podobe znanstvenika, ki je ločen od sveta okrog sebe. Zgodovina hipoteze o globalnem segrevanju jasno kaže, da družba močno vpliva na znanost, velja pa tudi obratno. Zgodovina razkrije, da je bilo temeljno znanstveno delo o globalnem segrevanju opravljeno pred petdesetimi leti, zahvaljujoč prepričanju, da je zaradi hladne vojne razvoj geoznanosti nujen, toda kot teorije globalnega segrevanja niso jemali resno vse do poznih 1980-ih. Upam, da bom lahko do neke mere razložil, zakaj je prišlo do takšnega zamika.