

SPREMEMBE KLIME

Jože Roškar*

UDK 551.583

Prispevek prikazuje osnovne mehanizme v naravi, ki vplivajo na klimo, in posledice človekovih dejavnosti na morebitne spremembe naravnega ravnotežja, ki se bodo kazale v spremembah, ali bolje rečeno v hitrejših spremembah klime. Problem je že nekaj let poznan svetovni znanstveni javnosti, vendar je bilo šele po vzpostavitvi koordinacije v okviru Združenih narodov mogoče priti do enotnejših znanstvenih zaključkov. V prispevku so prikazani osnovni poudarki iz Prvega poročila IPCC-ja, predstavljeni na Prvi svetovni klimatski konferenci v Ženevi, novembra 1990. leta.

Vsi iz lastnih izkušenj vemo, da je današnja civilizacija nevarna. Tehnični napredek je prinesel vrsto naprav in strojev, ki po eni strani človeku olajšujejo življenje, po drugi pa ga neprestano ogrožajo. Pri dobitve današnje civilizacije trošijo veliko večje naravne možnosti, kot bi jih objektivno lahko. To se odraža med drugim v vse večji porabi fosilnih goriv za proizvodnjo energije, brez katere si ne moremo zamisliti moderne proizvodnje, prometa itd. Posebno žgoč je problem vse večjih potreb po hrani, ki se z naraščanjem prebivalstva na Zemlji še zaostrojuje. Vse to ogroža celoten naravni življenjski prostor in morda ruši ravnovesje v naravi.

V zadnjem času se človeštvo polagoma zaveda svojega razdiralnega delovanja. Vendar je, na žalost, z možnimi posledicami onesnaževanja okolja povezano tudi veliko neznanja in manipuliranja v politične in druge namene. Ena od posledic delovanja današnjega človeka, o kateri smo lahko prebrali najrazličnejše ocene, je sprememba klime. Da bi povečali znanje o klimi in čimbolj osvetlili možne posledice, je na pobudo Svetovne meteorološke organizacije (WMO — World meteorological organization) in Programa okolja Združenih narodov (UNEP — United Nations environment program) Generalna skupščina 1988. leta ustanovila Medvladni panel za proučevanje sprememb klime (IPCC — Intergovernmental panel on climate change). Na svojem prvem sestanku novembra 1988. leta je IPCC določil tri delovne skupine:

- prvo skupino z nalogo, da da znanstveno oceno sprememb klime,
- drugo skupino, da prouči potencialne vplive in posledice sprememb klime, in
- tretjo skupino z nalogo, da pretehta možne poti nadaljnjega razvoja za ublažitev posledic.

Vse tri delovne skupine so na zasedanju IPCC-ja avgusta 1990. leta poročale o svojem delu. Na 2. svetovni konferenci o klimi v Ženevi oktobra 1990. leta pa je bilo predstavljeno Prvo poročilo o ocenah IPCC-ja. Pri izdelavi poročila so sodelovali vsi pomembnejši znanstveniki, ki proučujejo probleme klime. Pri pripravi osnutka Prvega poročila je na dvanajstih mednarodnih delovnih sestankih sodelovalo 170 znanstvenikov iz 25 dežel, 200 znanstvenikov pa je sodelovalo pri korekciji osnutka, pri čemer je bila dose-

žena visoka stopnja soglasja. Celotno Prvo poročilo je sestavljeno iz:

- pregleda Prvega poročila,
- povzetkov spoznanj vseh treh delovnih skupin s predlogi za oblikovanje razvojnih programov,
- poročila posebnega IPCC komiteja za sodelovanje držav v razvoju in
- treh poročil delovnih skupin.

Delo IPCC-ja s Prvim poročilom ni končano. XI. kongres Svetovne meteorološke organizacije, ki je bil maja 1991. leta, je priporočil Združenim narodom, da je treba še povečati prizadevanja v zvezi z raziskovanjem klime in da naj IPCC nadaljuje z delom. Prav tako je sklenil, da bo Svetovna meteorološka organizacija kot matična organizacija, ki se ukvarja s problemi ozračja, v naslednjem obdobju usklajevala aktivnosti vseh vladnih in nevladnih organizacij, ki se ukvarjajo s problemi klime. V to dejavnost bo vključila vse meteorološke službe sveta in prilagodila operativno-tehnične programe.

Da bi našo javnost seznanil z osnovnimi ugotovitvami in priporočili IPCC-ja, bom v nadaljevanju poskušal na kratko povzeti bistvene poudarke Prvega poročila IPCC-ja. Za lažje razumevanje bom najprej navedel nekaj podatkov in pojasnil nekaj pojmov, ki jih uporabljajo v poročilih IPCC-ja.

Podatki in opazovanja

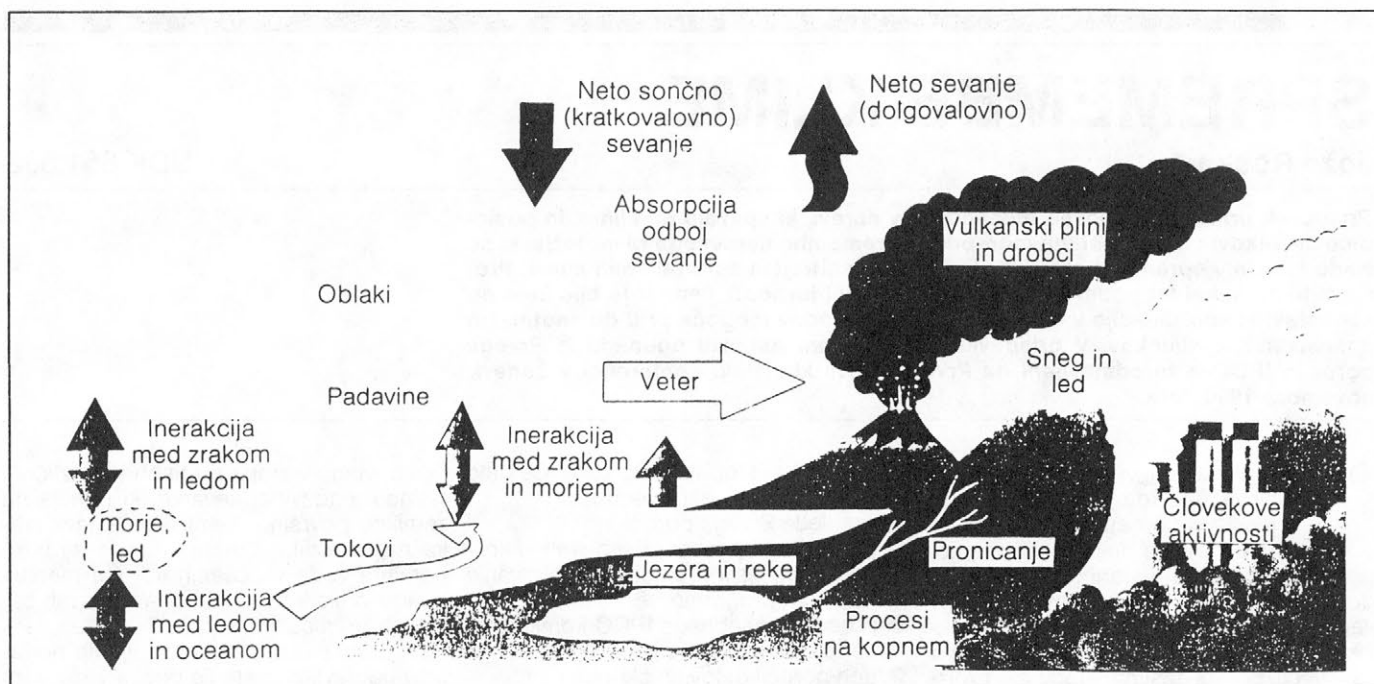
V preteklosti smo lahko v strokovni literaturi prebrali različne teorije o bodočem razvoju klime na našem planetu. Svetovno priznani strokovnjaki s tega področja so se v svojih teorijah največkrat razhajali. Problem je izredno zapleten, zato taka razhajanja niso presenetljiva. Šele v zadnjih letih, ko je prišlo do usklajenega raziskovalnega dela v okviru IPCC-ja, so rezultati enotnejši. Najčeseje je v razpravah o prihodnosti življenja na našem planetu omenjena klima. Človek jo neposredno dojema večinoma s svojimi čutili, posredno pa glede na okolje, v katerem živi (vegetacija itd.). Takšna dojemanja seveda niso merljiva. Merimo pa lahko nekatere elemente, ki opisujejo fizikalne in kemijske lastnosti okolja. To so na primer: temperatura zraka pri tleh in v različnih vi-

šinah, vlaga v zraku pri tleh in v različnih višinah, padavine, sevanje, ki prihaja na zemljino površino, kemijska sestava zraka na različnih višinah, sestava ali temperatura vode v oceanih itd. Če meritve izvajamo sistematično v enakomernih časovnih presledkih in na istih točkah, lahko s proučevanjem tako dobljenih podatkov ugotavljamo stanje okolja v daljšem časovnem obdobju.

Stanje posameznih sestavin okolja je medsebojno tesno povezano. Na primer: zrak pretežno ogrevajo tla oziroma oceani. Torej je na mejni površini Zemljine skorje, pa naj je to voda ali trdna tla, intenzivna izmenjava energije in se ozračje segreva skoraj samo od tal oziroma oceanov. Prav tako vemo, da obstaja medsebojno vplivanje žive in nežive narave (na primer fotosinteza). Tudi ta dogajanja lahko merimo. Stanje posameznih merljivih elementov v daljšem časovnem obdobju, ki opisujejo ozračje nad nekim območjem, predstavlja klimo tega območja. Klima je torej odvisna od medsebojnega delovanja različnih sistemov: ozračja, oceanov, kopnega in živega sveta. Za spremljanje sprememb so potrebne časovno zelo dolge istovrstne meritve. V ozračju jih izvajajo meteorološke službe, povezane v okviru Svetovne meteorološke organizacije, ki skrbi za standardizacijo. Sistematične meteorološke meritve so časovno razmeroma kratke; segajo nazaj do 200 let in le izjemoma več, kot na primer v Rimu, kjer je že leta 1551 Sv. Ignac Lojola organiziral meritve meteoroloških elementov. Za oceno sprememb klime tako kratki časovni nizi ne zadoščajo. Zato znanstveniki posredno, na primer z raziskovanjem polarnega ledu, fosilnih najdb in sprememb rastlinstva, sklepajo, kakšne lastnosti je nekoč imelo ozračje.

Ozračje pretežno sestavljata dva plina: dušik (okrog 78 %) in kisik (okrog 20 %). V preostalih 2 % so vsi ostali plini: vodna para, žlahtni plini in tudi škodljivi plini, ki jih ljudje s svojim delovanjem spuščamo v zrak, kot na primer ogljikov dioksid. Zemlja dobiva energijo izključno od Sonca. Klima je odvisna od ravnotežja med energijo, ki jo Zemlja sprejme od Sonca, in energijo, ki jo Zemljina površina izseva v vesolje. Dušik in kisik sta za sevanje z Zemljine površine praktično popolnoma propustna. Če bi imenovana plina sama 100-odstotno sestavljala ozračje, bi bil

* Ministrstvo za varstvo okolja in urejanje prostora, Hidrometeorološki zavod Republike Slovenije, Vojkova 1 b, Ljubljana.



Slika 1. Povezanost vesolja, ozračja, kopnega in oceanov.

zrak blizu tal za okrog 33°C hladnejši, kot je sedaj. V preostalih 2 % pa so plini, ki zadržujejo sevanje s površine Zemlje. Najbolj znani med njimi so vodna para, ogljikov dvokis (CO_2), metan (CH_4), dušikov oksid (N_2O), ki nastajajo tudi v naravnih procesih, in klorofluorokarboni (CFC), ki so proizvod delovanja človeka. Imenujemo jih tudi plini z učinkom tople grede, ker imajo v naravi podoben učinek kakor steklo na rastlinjakih. Med najpomembnejše take pline spada vodna para. Kroženje vode skozi ozračje v obliki vodne pare, ki se ob določenih dinamičnih in toplotnih pogojih zgosti v vodne kapljice in v obliki dežja pada na tla, kjer ponovno izhlapeva in prihaja v ozračje, je vsekakor osnovni mehanizem, ki omogoča življenje na Zemlji.

Razen vodnega je pomemben tudi tako imenovani ogljikov krog. Znano je, da pri gorenju nastaja ogljikov dvokis. Podoben proces se odvija tudi v vseh živih bitjih, ki dobivajo za življenje potrebno energijo s pomočjo izgorevanja v celicah, pri čemer se prav tako sprošča ogljikov dvokis. Za ravnotežje v ogljikovem krogu je narava poskrbela s fotosintezo. To je proces, v katerem rastline iz ogljikovega dvokisa, vode in s pomočjo svetlobne energije proizvajajo organsko snov. Fotosinteza je vsekakor najpomembnejši biološki in kemijski proces, saj je od nje v celoti odvisno življenje na Zemlji. Za fotosintezo so najpomembnejše površine tropskih in subtropskih gozdov ter plankton v oceanih.

Kemična sestava ozračja se spreminja, v zadnjem času tudi zaradi človekovega delovanja. Proučevanja zraka, ujetega v večnem ledu na Antarktiki in Grenlandiji, kažejo, da se je vsebnost plinov z učinkom tople grede v ozračju po industrijski revoluciji znatno povečala. Rezultate prikazuje preglednica 1.

Seveda te številke ali ocene same po se-

Preglednica 1. Najpomembnejši plini z učinkom tople grede, ki prihajajo v ozračje kot posledica človekovega delovanja.

	CO_2	CH_4	CFC-11	CFC-12	N_2O
Koncentracija pred industrijsko dobo (1750–1800)	280 ppm	0,8 ppm	0	0	288 ppg
Sedanja koncentracija (1990)	353 ppm	1,72 ppm	280 ppt	484 ppt	310 ppg
SedANJI letni prirastek, akumuliran v ozračju	1,8 ppm (0,5%)	0,015 ppm (0,9%)	9,5 ppt (4%)	17 ppt (4%)	0,8 ppg (0,25%)
Življenjska doba v ozračju v letih	50–100	10	65	130	150

V tabeli predstavlja: ppm — milijonti volumski del, ppg — milijardni volumski del in ppt — bilijonti volumski del.

Tabela 2. Izpusti plinov z učinkom tople grede pri proizvodnji energije.

	TC na 1985			TC na 2000			TC na 2025		
	TC na preb.	GTC	%	TC na preb.	GTC	%	TC na preb.	GTC	%
Globalna vsota	5,15	100	1,06	7,30	100	1,22	12,43	100	1,56
Industrijske države	3,83	74	3,12	4,95	68	3,65	6,95	56	4,65
Severna Amerika	1,34	26	5,08	1,71	23	5,75	2,37	19	7,12
Zahodna Evropa	0,85	16	2,14	0,98	13	2,29	1,19	10	2,69
OECD države na Pacifiku	0,31	6	2,14	0,48	7	3,01	0,62	5	3,68
Vzhodnoevropske države	1,33	26	3,19	1,78	24	3,78	2,77	22	5,02
Države v razvoju	1,33	26	0,36	2,35	32	0,51	5,48	44	0,84
Afrika	0,17	3	0,29	0,28	4	0,32	0,80	6	0,54
Socialistične države Azije	0,54	10	0,47	0,88	12	0,68	1,80	14	1,15
Latinska Amerika	0,22	4	0,55	0,31	4	0,61	0,65	5	0,91
Srednji vzhod	0,13	3	1,20	0,31	4	1,79	0,67	5	2,41
Južna in vzhodna Azija	0,27	5	0,19	0,56	8	0,32	1,55	12	0,64

GTC — milijarda ton CO_2 na leto
TC — tone CO_2 na leto

bi ničesar ne pomenijo. Pomembno bi bilo vedeti, kako se vsebnost plinov v ozračju, ki predstavljajo gibalno klimo, spreminja naravno in koliko lahko na te spremembe vpliva človek.

Največ plinov z učinkom tople grede nastane pri proizvodnji energije. Prednjači ogljikov dvokis, njegovo proizvodnjo pa osvetljuje preglednica 2. Razen CO_2 imajo pomemben učinek tudi drugi plini z

učinkom tople grede. V preglednici 2 se podatki nanašajo samo na izpuste CO₂, ki nastanejo pri proizvodnji energije. Znatne emisije so tudi pri drugih gospodarskih vejah, kot npr. promet, kmetijstvo itd. Ker prikazovanje več plinov z učinkom tople grede ni pregledno, in ker ni dobro poznana razlika v učinku med posameznimi plini, ostale pline ponavadi v ocenah predstavijo z ekvivalentom CO₂.

V preglednici 2, ki predstavlja ocene emisij CO₂ samo pri proizvodnji energije, je narejena tudi ocena za leti 2000 in 2025, in sicer na osnovi sedanjih gibanj letne rasti emisij. Vidimo lahko, da industrijsko razvite države prispevajo tri četrtine vseh emisij CO₂. Podobne ocene bi dobili, če bi upoštevali emisije ostalih plinov z učinkom tople grede. Posebno zanimiva je tretja kolona pri vsakem letu, ki predstavlja emisije na prebivalca. Največ CO₂ na prebivalca proizvedejo v Severni Ameriki, in sicer kar 18-krat več kot v Afriki ali več kot dvakrat več kot v Zahodni Evropi. Podobna razmerja so tudi pri porabi energije na prebivalca in pri emisijah drugih plinov z učinkom tople grede.

Odgovor na vprašanje, katere dejavnosti človeka lahko najbolj vplivajo na klimo, moramo torej iskati predvsem na naslednjih področjih:

- pridobivanje energije s pomočjo fosilnih goriv,
- transport, ki prav tako uporablja fosilna goriva,

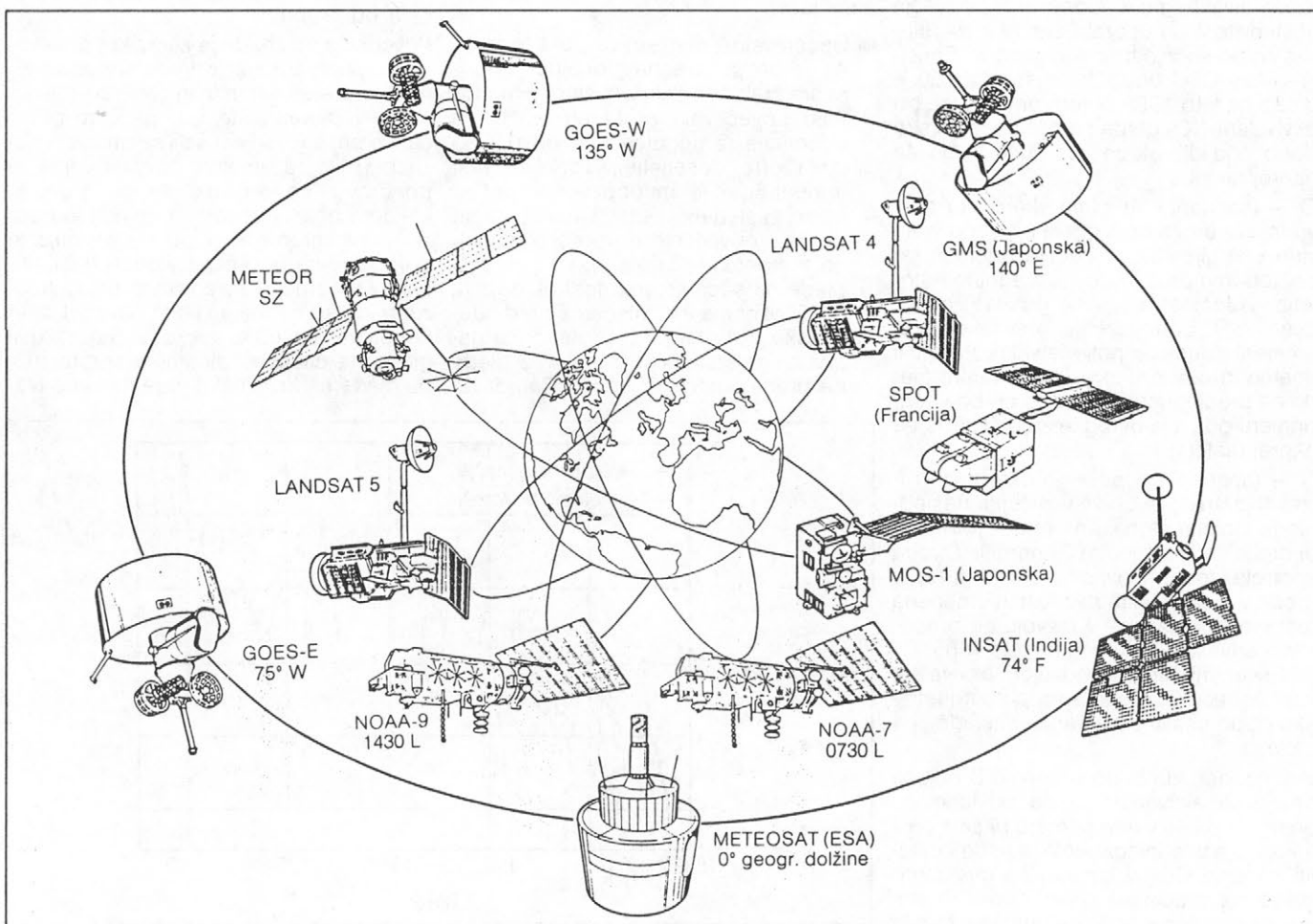
- intenzivno kmetijstvo, ki je energetsko zelo potratno,
- intenzivna sečnja tropskih in subtropskih gozdov, ki zmanjšuje možnosti fotosinteze in s tem pretvorbe CO₂ v kisik ter,
- onesnaževanje površine oceanov z nafto, kar tudi zmanjšuje fotosintezo planktona v oceanih.

Kot lahko vidimo, je klima zelo zapleten sistem, v katerem je medsebojna odvisnost ozračja, oceanov, kopnega in živega sveta ključnega pomena. Da bi v prihodnosti omogočili raziskovanje s standardiziranimi podatki, je XI. kongres Svetovne meteorološke organizacije potrdil predlog 2. svetovne konference o klimi in ustanovil Globalni sistem opazovanja klime (GCOS — The Global Climate Observing system). GCOS bo pokrival predvsem potrebe za raziskovanje klime in soodvisnosti posameznih naravnih sistemov (ozračja, oceanov, kopnega in živega sveta). Imel bo operative karakteristike, tako da bodo opazovanja in meritve izvajana po točno določenih kriterijih, pri čemer bodo uporabljena vsa tehnična sredstva in tehnologije, s katerimi danes razpolagamo. Spočetka bodo v delo vključeni predvsem obstoječi programi opazovanj. Pomembno je, da bodo tako dobljeni podatki dostopni vsem, ki to želijo oziroma ki se ukvarjajo z raziskovanjem klime.

Znanost

Znanstveniki, ki so sodelovali v usklajenem delu IPCC-ja, so prišli do naslednjih ugotovitev:

- Obstaja naravni učinek tople grede, zaradi katerega je Zemlja toplejša, kot bi bila sicer.
- Izpusti plinov v zrak, ki so posledica človekovih dejavnosti, so znatno povečali koncentracije plinov z učinkom tople grede v ozračju (predvsem ogljikov dvokis, metan, klorofluorokarboni in dušikov oksid). To povečanje bo pospešilo učinek tople grede in v povprečju prispevalo k dodatnemu segrevanju površine Zemlje. Kot odgovor na segrevanje se bo količina vodne pare, ki je najpomembnejši plin z učinkom tople grede, povečala, kar bo še povečalo segrevanje.
- Posamezni plini imajo pri spremembi klime potencialno večji učinek od drugih in njihov posamezen delež je mogoče oceniti. V preteklosti je ogljikov dvokis za več kot polovico povečal učinek tople grede in zelo verjetno je, da bo tako tudi v prihodnje.
- Koncentracije plinov z dolgo življenjsko dobo v ozračju (ogljikov dvokis, dušikov oksid in CFC) se le počasi prilagajajo povečanim izpustom. Nadaljevanje emisij teh plinov v sada-



Slika 2. Sateliti za operativno spremljanje stanja ozračja.

njem obsegu bo povečevalo koncentracije v ozračju nekaj naslednjih stoletij. Kolikor dlje se bo nadaljevalo povečevanje emisij po sedanjí stopnji, toliko večje zmanjšanje izpustov bo potrebno za ustalitev na določeni stopnji.

Za lažje delo in možnost primerjanja ocen je IPCC predpostavil štiri možne scenarije nadaljnjega ravnanja glede emisij plinov z učinkom tople grede: A, B, C in D. Predvideli so, da bosta globalna ekonomska rast (po projekcijah Svetovne banke) in rast prebivalstva (po projekcijah Združenih narodov) enaki pri vseh štirih scenarijih. Urejeni so v odvisnosti od stopnje zmanjšanja emisij. Scenariji so naslednji:

A — (scenarij sedanjega obnašanja) Rast izpustov plinov z učinkom tople grede se bo nadaljevala brez omejitev. Poraba energije in sečnja tropskih gozdov se bosta nadaljevali po sedanjih stopnjah; fosilna goriva, posebno premog, bodo še naprej osnovni energetski izvori. Po tem scenariju se bo ekvivalent CO_2 glede na predindustrijsko dobo podvojil okrog leta 2025. To z drugimi besedami pomeni, da bo takrat v ozračju količinsko dvakrat toliko plinov z učinkom tople grede, kot jih je bilo pred industrijsko revolucijo na prelomu med 18. in 19. stoletjem.

B — (scenarij zmernih ukrepov) Pri proizvodnji energije se bo povečevala uporaba naravnega plina in zmanjševala uporaba fosilnih goriv. Dosežena bo večja učinkovitost pri uporabi energije, zaustavila se bo sečnja tropskih gozdov. Emisije plinov CFC bodo zmanjšane na 50 % glede na leto 1986. V tem primeru se bo ekvivalent CO_2 glede na predindustrijsko dobo podvojil okrog leta 2040 in bo še naprej rastel.

C — (scenarij kontrolnih ukrepov) Proizvodnja energije bo slonela na obnovljivih virih energije. Čista jedrska energija bo postopoma proti koncu naslednjega stoletja nadomestila fosilna goriva. Emisije plinov CFC bodo izginile, prav tako bodo omejeni izpusti pri poljedelski proizvodnji (metan in dušikov oksid). Ekvivalent glede na predindustrijsko dobo se bo v tem primeru podvojil okrog leta 2050 in bo še naprej rastel.

D — (scenarij pospešenih ukrepov) Proizvodnja energije bo že v začetku naslednjega stoletja slonela na obnovljivih virih energije in čisti jedrski energiji. Stroga kontrola izpustov plinov z učinkom tople grede v industrijskih deželah in umerjena rast emisij v deželah v razvoju bo prepolovila emisijo CO_2 glede na leto 1985. Po tem scenariju se bo podvojeni ekvivalent koncentracij CO_2 glede na predindustrijsko dobo ustalil proti koncu naslednjega stoletja.

Vidimo torej, da bi po scenariju D najbolj omejevali aktivnosti, ki so odvisne od energije, pa še v tem primeru bi šele proti koncu naslednjega stoletja uspeli ustaliti količino CO_2 v ozračju na dvakratno glede na predindustrijsko dobo. Postavlja se vprašanje, kakšne omejitve bi bile potrebne, da bi ustalili koncentracije CO_2 na sedanjí stopnji. Takšna naloga bi zah-

tevala zmanjšanje emisij za prek 60 %, kar bi pomenilo, da je za toliko potrebno zmanjšati porabo energije. Glede na velike razlike med porabo v industrijskih deželah in državah v razvoju bi morali v industrijsko razvitih državah porabo zmanjšati, znatno prek 60 %, da bi ostala poraba v državah v razvoju na sedanjí ravni ali se zaradi potreb gospodarskega razvoja rahlo povečala.

Izpusti ogljikovega dvokisa, ki so posledica človekovih aktivnosti, so mnogo manjši, kot je naravno razmerje izmenjave ogljikovega dvokisa med ozračjem in oceani ter med ozračjem in kopnim. Toda, naravno razmerje izmenjave je bilo pred nastopom emisij, ki jih povzročajo človek, v ravnotežju; neprestano povečevanje emisij v ozračje pa predstavlja znatno motnjo v naravnem ogljikovem krogu.

Vemo, da današnja napoved vremena sloni pretežno na fizikalnih modelih. Za računanje prognoze po teh modelih, ki jim je potrebno preskrbeti dovolj kakovostne podatke o stanju ozračja, sodobni vremenoslovci uporabljajo najspodobnejše in najhitrejšie računalnike. Vse hitrejši računalniki omogočajo ob določenih omejitvah take modele poganjati za dolga časovna obdobja, in na ta način lahko pridemo do ocen, kako se bo ozračje odzivalo na povečane količine plinov z učinkom tople grede.

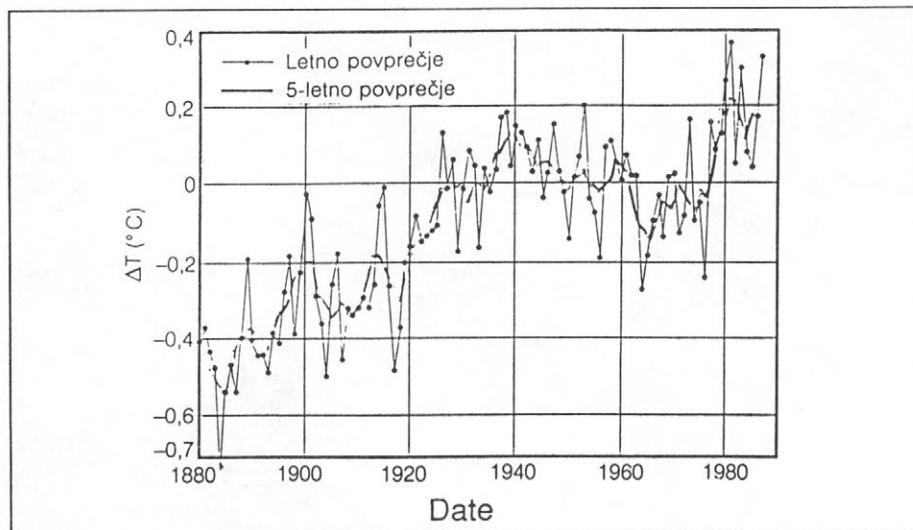
Na osnovi rezultatov takih modelov IPCC predvideva naslednje spremembe v ozračju:

- Upoštevajoč rast emisij po scenariju A, se bo povprečna globalna temperatura zraka pri tleh v naslednjem stoletju povečevala za okrog $0,3^\circ\text{C}$ na desetletje (z negotovostjo od 0,2 do $0,5^\circ\text{C}$ na desetletje). Tolikšna rast temperature je mnogo večja, kot jo lahko zasledimo zadnjih 10 000 let, in pomeni povečanje povprečne globalne temperature zraka pri tleh za 1°C glede na sedanjo vrednost okrog leta 2025 (oziroma 2°C glede na predindustrijsko dobo) in 3°C proti koncu naslednjega stoletja (oziroma 4°C glede na predindustrijsko dobo). Zaradi ra-

zličnih vplivov povečanje ne bo enakomerno.

- Upoštevajoč ostale scenarije rasti emisij, ki predvidevajo progresivno povečano kontrolo emisij, se bo povprečna globalna temperatura zraka pri tleh v naslednjih desetletjih dvigovala za okrog $0,2^\circ\text{C}$ po scenariju B in samo $0,1^\circ\text{C}$ po scenariju C in D. Tudi ta povečanja zaradi različnih vplivov ne bodo enakomerna.
- Površina kopnega se bo segrevala hitreje kot oceani, višje severne širine se bodo segrele bolj, kot se bo dvignilo globalno povprečje.
- Oceani predstavljajo ponor toplote, ki jo akumulirajo, in na ta način bodo omilili posledice povečanega učinka tople grede. Zato lahko pričakujemo, da se bo temperatura zraka dvigala že v naslednjih stoletjih. Modeli kažejo, da se s povečanjem koncentracij plinov z učinkom tople grede uresniči okrog 50 do 80 % povečanja temperature glede na pričakovano povečanje.
- Po scenariju A se bo v naslednjem stoletju zaradi toplotnega raztezanja vode v oceani in topljenja ledu povprečni globalni nivo morja dvignil za okrog 6 cm na desetletje (s stopnjo nezanesljivosti od 3—10 cm na desetletje). Tako se bo globalno gladina morja dvignila za okrog 20 cm do leta 2030 in za okrog 65 cm do konca naslednjega stoletja. Dvig ne bo povsod enak, ponekod bo večji, drugod manjši od ocene.

Povedali smo že, da je klima kot posledica dogajanj v ozračju in zaradi soodvisnosti z oceani, kopnim in živim svetom izredno zapleten sistem, ki ga kljub povečanim prizadevanjem še vse premalo poznamo. Ne razumemo dovolj izvorov in ponorov plinov z učinkom tople grede in kako se oblaki, oceani in polarni led odzivajo na spremenjene pogoje sevanja, ki so posledica povečanih koncentracij teh plinov v ozračju. Zaradi tega IPCC opozarja, da so ocene, ki jih je navedel, zelo negotove. Posebno veliko je negotovosti glede na časovno dinamiko sprememb, pa glede na količinsko in regionalno raz-



Slika 3. Spremembe povprečne globalne temperature pri tleh.

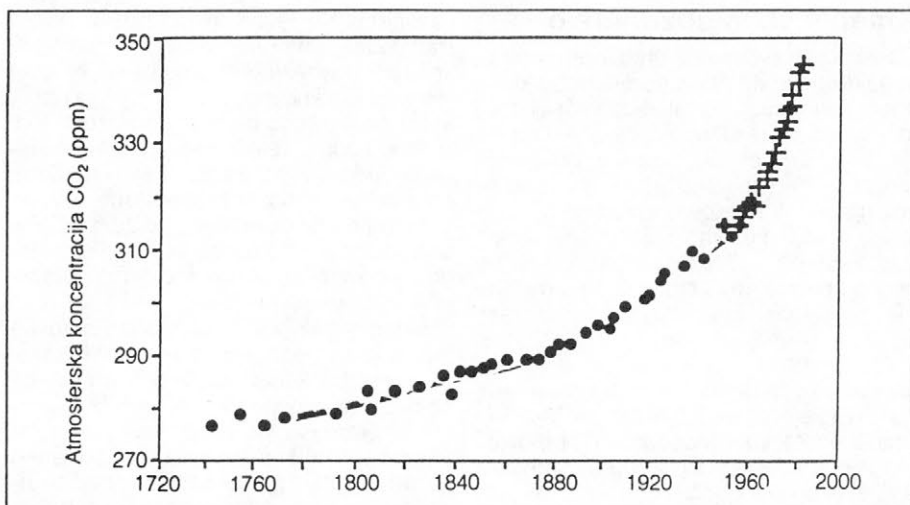
poreditev klimatskih sprememb, predvsem padavinskega režima. Vse te procese samo deloma razumemo in pripravljamo samo z nadaljnjim raziskovanjem. Toda, ker imamo opravka z zelo kompleksnim sistemom, ne moremo izključiti presenečenj.

Kljub omenjenim negotovostim pa IPCC dokaj jasno postavlja naslednje ocene:

- Povprečna globalna temperatura zraka pri tleh se je v preteklih 100 letih dvignila za 0,3 do 0,6°C, pri čemer je bilo v 80. tih letih pet globalno najtoplejših let. V istem obdobju se je globalno morska gladina dvignila za 10 do 20 cm. Ta povečanja niso bila niti časovno enakomerna, niti enakomerna po vsej zemeljski krogli.
- Dvig temperature zraka pri tleh v zadnjih sto letih se ujema z napovedmi, dobljenimi s pomočjo modelov, in je primerljiv z naravno spremenljivostjo klime. Če je edini vzrok izmerjenih otoplitev posledica povečanih emisij plinov z učinkom tople grede, potem je občutljivost klime lahko na spodnji meji ocen, dobljenih z modeli. To pa lahko pomeni, da bodo dejanske spremembe klime večje, kot kažejo ocene.
- Meritve ledene skorje so narejene za 160 000 let nazaj in kažejo, da je temperatura Zemlje tesno povezana s količino ogljikovega dvokisa in metana v ozračju. Kljub temu da ne vemo podrobnosti vzrokov in posledic, računi kažejo, da je koncentracija plinov z učinkom tople grede eden izmed vzrokov velikih globalnih temperaturnih nihanj (5–7°C) med ledenimi in medledenimi dobami.
- Naravni izvori in ponori plinov z učinkom tople grede pogojujejo spremembo klime. Kljub temu da slabo poznamo odzivanje narave oziroma vzroke in posledice, se zdi, da je za segrevanje ozračja prej krivo povečanje plinov z učinkom tople grede kot pa zmanjševanje. Zaradi tega se lahko zgodi, da bodo klimatske spremembe večje, kot smo ocenili.

Posledice sprememb klime

Strokovnjaki, ki so sodelovali pri izdelavi Prvega poročila IPCC-ja, se v glavnem strinjajo o segrevanju zraka pri tleh in kot posledico segrevanja tudi o dvigu morske gladine. Vse napovedane posledice klimatskih sprememb je treba ocenjevati s stališča današnjega dinamičnega in spreminjajočega se sveta. Naravni pojavi velikih razsežnosti, kot je na primer El Niño, lahko povzročijo znatne spremembe v kmetijstvu in na človeških bivališčih. Predvidena eksplozija prebivalstva bo povzročila resne probleme glede uporabe zemlje, potreb po energiji, sveži vodi, hrani in bivališčih. Problemi bodo imeli različno težo od pokrajine do pokrajine, odvisno od stopnje razvoja in narodnega



Slika 4. Koncentracije ogljikovega dvokisa v ozračju. Krogi označujejo koncentracije v zraku iz antarktičnega ledu, križci pa vrednosti, izmerjene na observatoriju Mauna Loa.

dohodka. Najteže bodo težave reševale dežele z najnižjim narodnim dohodkom — dežele v razvoju, kot jih često imenujejo. Posledice klimatskih sprememb, nastalih zaradi nenadzorovanega spuščanja škodljivih snovi v zrak, bodo njihov položaj še poslabšale. Poglejmo, kaj IPCC meni o posledicah sprememb klime na nekaj ključnih področjih, ki so pomembna za življenje človeka.

Naravni življenjski prostor na kopnem

Pričakovane spremembe temperature in padavinskega režima lahko imajo največje posledice prav na življenjski prostor na kopnem, ki je za človeka najpomembnejši. Predvideno segrevanje zraka pri tleh lahko v naslednjih petdesetih letih povzroči premik klimatskih pasov za nekaj sto kilometrov proti polom. Rastlinstvo in živalstvo se bo tem spremembam prilagajalo in tako bomo lahko našli posamezne vrste na spremenjenih in starih klimatskih področjih, torej v različnih klimatskih pasovih. Spremenjene razmere bodo za posamezne vrste bolj ali manj prijazne. Zato bo produktivnost za posamezne kulture ponekod porasla, drugod pa se bo zmanjšala.

Hitrost klimatskih sprememb bo najpomembnejši dejavnik, ki bo določal vrsto in stopnjo posledic v naravnem življenjskem okolju. Hitrost bo lahko večja od sposobnosti prilagajanja nekaterih rastlinskih in živalskih vrst. Zaradi tega je možno, da bodo nekatere vrste izginile, kar bo pospešilo zmanjševanje biološke raznovrstnosti na našem planetu. V največji nevarnosti so vrste, ki imajo zelo omejene sposobnosti prilagajanja, na primer v gorah, v polarnih območjih, otokih in na obalnih območjih. Prav lahko se zgodi, da se bodo na takih območjih pridružile še druge nesreče, kot so škodljivci in požari, in tako pospešile posledice, nastale zaradi klimatskih sprememb. Pričakujemo lahko, da bo vse to imelo znaten vpliv na družbenoekonomski položaj, posebno v tistih območjih, kjer je življenje zelo odvisno od naravnega okolja. S spremembami življenjskega okolja bodo

spremenjene možnosti pridelovanja hrane, pridobivanja goriv in energije; spremenjeni bodo naravni gradbeni materiali in seveda tudi dohodek.

Hidrologija in vodne zaloge

Razmeroma majhne spremembe klime lahko povzročijo znatne težave pri preiskrbi z vodo, predvsem na suhih in polsuhih področjih. Zelo malo vemo o tem, kakšne posledice lahko imajo klimatske spremembe na vodne režime v posameznih regijah. Lahko se zgodi, da bo na mnogih področjih več padavin. Zaradi tega se bo povečala vlaga in tudi vodne zaloge bodo večje glede na sedanje stanje. To bi seveda imelo vpliv na kmetijstvo, življenjski prostor kot celoto in še posebej na vodne zaloge. Na drugih območjih pa bo manj vode, kot je je sedaj. Posebno kritično bo lahko na območjih, kjer je že sedaj malo vode, ravno še toliko, da je skromno življenje še mogoče (na primer Sahelska Afrika). Najbolj izpostavljena bodo območja z nereguliranimi rečnimi sistemi, kot so na primer v Južni Aziji, medtem ko bodo območja z urejenimi vodnimi sistemi, kot so na primer evropski del nekdanje Sovjetske zveze ali zahodni predeli Združenih držav Amerike, manj občutljiva na spremembe klime. K spremembam vodnih zalog lahko dodamo tudi spremenjene potrebe človeka in njegova prizadevanja, da bi ohranil vodne zaloge. Prav tako lahko pričakujemo, da se bo zaradi povečane količine CO₂ pospešila rast in s tem tudi potrebe po vodi.

Vpliv na družbenoekonomski razvoj je treba ocenjevati tako z vidika potreb po vodi kakor tudi glede na razpoložljivost vode. Pri vodnem gospodarstvu bo v prihodnje spremembe vsekakor treba upoštevati. Tam, kjer bodo padavine obilnejše, bo vsekakor treba povečati zmogljivost posameznih vodnogospodarskih objektov (na primer kanalizacije v mestih). Posledice sprememb klime na razpoložljivost vode bodo gotovo imele največji vpliv na kmetijstvo, tako na lokalni kot na globalni ravni. Največjo nevarnost lahko predstavlja širjenje sušnih območij.

Danes imamo številne študije in analize, ki nakazujejo, da bodo spremembe klime imele daljnosežne posledice v kmetijstvu in živinoreji. Rezultati študij zaenkrat še ne določajo, ali se bodo v povprečju možnosti pridelovanja hrane povečale ali zmanjšale. Kot rezultat sprememb klime lahko v posameznih regijah pričakujemo negativne posledice. Možno je, da se bo zaradi sprememb klime povečalo delovanje škodljivcev in da se bo zaradi rasti količine ozona pri tleh, kot posledice splošnega onesnaževanja, morala temeljito spremeniti tehnologija pridelave hrane. Pričakujemo lahko padec proizvodnje hrane na težko prilagodljivih območjih. Mednje spadajo Brazilija, Peru, Sahelska Afrika, Jugovzhodna Azija, azijski del nekdanje Sovjetske zveze in Kitajska. Študije prav tako nakazujejo, da se lahko zaradi podaljšane vegetacijske dobe produktivnost v pridelavi hrane poveča v zmernih in bolj severnih širinah. Toda ni lahko na novo začeti proizvodnje na širših področjih.

Razmere na trgu hrane se lahko zaradi padca proizvodnje žit v nekaterih danes visokodonosnih področjih temeljito spremenijo. Med taka območja prištevajo Zahodno Evropo, južne dele Združenih držav Amerike in Zahodno Avstralijo. Proizvodnja vrtnin se lahko zmanjša v zmernih širinah, po drugi strani pa se lahko poveča proizvodnja žit v Severni Evropi. Na žalost danes strokovnjaki še ne morejo ugotoviti, kako bodo te spremembe globalno vplivale na proizvodnjo hrane. Odgovora na vprašanje, ali bo hrane več ali manj kot danes, še ni. Ne nazadnje lahko spremembe klime samo povečajo težave pri preskrbi s hrano, ki bodo že tako velike zaradi hitro naraščajočega števila prebivalstva. Negativne vplive v kmetijstvu in živinoreji lahko pričakujemo tudi zaradi povečane stopnje ultravijoličastega sevanja pri tleh kot posledice razkrajanja ozonske plasti v stratosferi.

Doba rasti gozdov je dolga. Zaradi sprememb klime bodo sedanji gozdovi rastli v razmerah, na katere ne bodo prilagojeni. Dejanske posledice bodo odvisne od fiziološke sposobnosti prilagajanja dreves. Zaradi premajhne sposobnosti prilagajanja se lahko pojavijo znatne izgube lesne mase, ki jo lahko povečajo še požari. Klimatski pasovi, od katerih je odvisna razporeditev posameznih vrst, se bodo pomikali proti višjim zemljepisnim širinam. Za dolgoročno načrtovanje gozdov pa je potrebno natančno poznavanje prostora, klime, sečnje in potrebne zaščite.

Bivališča, energija, transport, industrija, zdravje človeka in kakovost zraka

Človeška bivališča so najbolj ranljiva na področjih, ki so izpostavljena naravnim ujamam. Najhujše so poplave ob rekah in morskih obalah, hude suše, zemeljski plazovi, viharji vetrovi in tropski cikloni. Najbolj ranljive bodo dežele v razvoju z najnižjimi dohodki: prebivalci priobalnih nižin in otokov, polsušnih travnatih območij ter revnih mestnih območij, predvsem

velemest. Na ravninah ob obalah kot v Bangladešu, na Kitajskem in v Egiptu kakor tudi na nekaterih otokih, lahko dvig morske gladine povzroči množično selitev ljudi. Dodatno bo lahko ogroženo tudi zdravje ljudi. V velikih mestih lahko povečana vročina povzroči večje infekcije, spremenjene možnosti preskrbe z vodo in hrano pa dodatno ogrozijo zdravje. Podobno kot v preteklosti lahko takšni dogodki povzročijo resno socialno nestabilnost in velike selitve ljudi.

V mnogih deželah v razvoju sta naravna biomasa in voda edina izvora energije. Spremembe klime lahko povzročijo, da se bodo na nekaterih področjih izvori vode in biomase povečali, na drugih pa zmanjšali. Takšne spremembe so lahko na področjih, kjer se bodo zmanjšali izvori vode, usodne za bivanje in proizvodnjo energije. Prav tako bodo lahko nastale spremembe v razporeditvi obnovljivih virov energije, kot sta energija vetra in sonca.

Globalno segrevanje in povečano ultravijoličasto sevanje pri tleh, kot posledica poškodb ozonskega plašča v stratosferi, lahko vpliva tudi na kakovost zraka, predvsem v gosto naseljenih in onesnaženih mestnih okoljih. Povečevanje ultravijoličastega sevanja pri tleh povečuje verjetnost poškodb oči in kože ter lahko prekine morsko prehranbeno verigo.

Segrevanje bo pospešilo dvigovanje morske gladine, kar bo imelo znatne družbenoekonomske posledice. Dvig morske gladine za 30 do 50 cm (napovedan do leta 2050) bo prizadel nizke otoke in priobalni pas kopnega. Zaradi dviga za 1 m do leta 2100 bodo nekateri otoki in priobalni pasovi potopljene. Potopljena rodovitna zemlja, onesnažena pitna voda in spremenjene obale bodo prizadele milijone ljudi. Negativne posledice lahko poveča še intenziviranje vremenskih procesov, kot so hujše suše ali močnejši viharji.

Posledice bodo čutili tudi oceani. Spremenjeno bo toplotno ravnotežje in morski tokovi. Na ta način se bo spremenila sposobnost oceanov glede absorpcije toplote in CO₂, kar bo povzročilo spremembe v morskem življenjskem okolju in s tem spremenilo tudi morsko prehranbeno verigo. Območja, ki so danes bogata rib, se bodo preselila drugam, kar lahko ima zopet znatne socialnoekonomske posledice na posameznih območjih. Učinki bodo seveda različni v posameznih zemljepisnih pasovih; kakšni pa bodo, si danes strokovnjaki še ne upajo napovedati, vedo le, da bodo.

Kaj pa mi?

Spremenjena klima, ki jo povzroča človek s svojimi dejavnostmi, ima lahko globoke posledice na svetovne socialne, ekonomske in naravne sisteme. Vsaka dežela mora vložiti potreben napor, da bo lahko preprečila ali vsaj zmanjšala posledice sprememb, ki lahko nastanejo zaradi spremenjene klime. Človeštvo je spoznalo potrebo, da čim prej in čim bolj

podrobno spozna močne posledice in na globalni ravni zmanjša negativne učinke. Marsikdo se bo vprašal, kako lahko majhna dežela, kot je Slovenija, karkoli prispeva k reševanju svetovnih problemov. Lahko! Problemov, ki smo jih povzeli po zaključkih IPCC-ja, ni mogoče reševati najprej na globalni ravni. Pomembno je, da povečamo osveščenost vseh prebivalcev, tako da bo vsakdo kar se le da varčeval z energijo. K temu nas bo bolj kot zniževanje stroškov silila potreba po manj onesnaženem okolju. In pri tem imajo gospodinjstva pomembno vlogo. Treba bo graditi hiše z boljšo toplotno izolacijo in bistveno zmanjšati porabo energije za ogrevanje v hladni polovici leta. Pri načrtovanju gospodarstva je zelo pomembno, da izbiramo energijsko najbolj ekonomične tehnologije, kajti, kakor smo videli, prav proizvodnja energije najbolj prispeva k povečevanju plinov z učinkom tople grede. Glede na to, da smo majhna dežela, lahko z modernizacijo javnih prevoznih sredstev, kot je železnica, zmanjšamo uporabo energije v prometu itd. Možnosti, da tudi Slovenija prispeva k reševanju globalnih problemov, je torej veliko.

Prizadevanja za preseganje negativnih učinkov sprememb klime kot posledice človekovih dejavnosti bi torej lahko razdelili v dve osnovni skupini:

- na obnašanje posameznika, ki naj svoje vsakodnevno življenje čim bolj podredi varčevanju z energijo, in
- na državno načrtovanje gospodarstva, ki ne more sloneti samo na tehnologiji in ekonomičnosti, temveč predvsem na uvajanju okolju prijaznejših tehnologij, ki bodo dolgoročno gotovo tudi bolj ekonomične.

1. WMO & UNDP: IPCC First Assessment Report, August 1990.
2. Bruce, J. P., 1990. The atmosphere of the living planet Earth. WMO — No. 735.
3. Parry, M., 1990. Climate change and world agriculture. Earthscan Publications Limited, London.

Jože Roškar
Changes in Climate

The article presents the basic mechanisms in nature which influence the climate and the effect of human activity on eventual changes in the natural balance which will be evident in changes or rather in faster climatic changes. The international scientific community has been aware of the problem for several years, but it was only after the establishment of coordination within the UN that it was possible to come to more uniform conclusions. The article presents the main points of the First Report of the IPCC presented at the First World Conference on Climate in Geneva in November 1990.