Topla greda

Podnebne spremembe, ki jih povzroča človek

Matjaž Ravnik

TOPLA GREDA

Matjaž Ravnik

Založba Tangram

Topla greda

Podnebne spremembe, ki jih povzroča človek

Matjaž Ravnik

Založba
Tangram

Naslov: TOPLA GREDA - podnebne spremembe, ki jih povzroča človek
Avtor: Matjaž Ravnik

Oblikovanje naslovnice: Jure Belas, Primož Predalič
Stavek: Bayt
Tisk: Tiskarna Čukgraf
Izdala in založila: Založba Tangram
v sodelovanju s Prirodoslovnim društvom Slovenije
Zbirka: Proteusova knjižnica
Za založbo: Srečko Rutar

Vse pravice pridržane. Noben del te knjige se ne sme razmnoževati elektronsko ali mehansko, vključujoč fotokopiranje, snemanje in predvajanje, brez vnaprejšnjega dovoljenja založbe.

Izid knjige je finančno podprlo

Ministrstvo za okolje in prostor Republike Slovenije
in
Lek, Tovarna farmacevtskih in kemičnih izdelkov d.d., Ljubljana

VSEBINA

Uvod 7
Učinek tople grede kot fizikalni pojav 11
Koncentracija plinov tople grede v ozračju narašča 21
Kroženje ogljika v geološki zgodovini Zemlje 25
Kaotično podnebje 34
Pojav tople grede in onesnaževanje 38
Žveplovi aerosoli 38
Tanjšanje ozonskega plašča 40
Tudi temperatura ozračja narašča 44
Globalne posledice ogrevanja ozračja - danes 51
Globalne posledice ogrevanja ozračja - jutri 55
Posledice podnebnih sprememb v Sloveniji 61
Povzročitelji globalnega ogrevanja 66
Kako zaustaviti globalno ogrevanje? 78
Električna energija 87
Hidroelektrarne 88
Jedrska energija 90
Energija bodočnosti: fuzijska in sončna 94
Toplotna energija 99
Promet 103
Kako znova odstraniti ogljikov dioksid iz ozračja? 110
Zaključek 116
Viri in priporočljiva strokovna literatura 117

PREDGOVOR

Topli gredi na pot

Vesoljska ladja Zemlja je v občutljivem ravnovesju. V zadnjem času so njeni potniki, ki jih je čedalje več, tako napredovali, da lahko prizadenejo to ravnovesje. Zaloge goriv in surovin na ladji so omejene in obojega bo kmalu začelo resno primanjkovati. Prihodnji rodovi potnikov utegnejo zaradi tega zabresti v težave. Nekateri dolžijo za tako stanje tudi naravoslovje, češ da je omogočilo tehnični razvoj, ki da je pripeljal do vsega tega. Želijo si, da bi se naravoslovju odpovedali, ker mislijo, da bi se tako obvarovali nadaljnjega razvoja.

V resnici naravoslovje ne nasprotuje zavesti o omejenosti zalog in skrbi za okolje, ampak ju spodbuja. Razumevanje pojavov v naravi in učinkov človeške dejavnosti ne vodi samo do prijaznega odnosa do narave. Omogoči tudi, da škodljive učinke izmerimo, ugotovimo, kateri so za okolje najbolj škodljivi in jih nadomestimo z boljšimi.

Najprej moramo pojave v naravi kolikor mogoče dobro razumeti. Ravnikova Topla greda v tem pogledu med slovenskimi knjigami zapolni vrzel. Na kratko in brez praznih besed poskuša predvsem z naravoslovnega stališča pojasniti pojave na Zemlji, ki so pomembni za okolje in nas poučiti o današnjem znanju o njih. Prizadeva si postaviti skrb za okolje na trdne temelje in se pri tem ne boji priznati, da na nekatera vprašanja še nimamo dokončnih odgovorov. Zemlja je pač velik in zelo zapleten sistem, ne sistem, kakršnega fizik v laboratoriju raziskuje tako, da po volji spreminja okoliščine pri poskusu. Zato nekaterih povezav še ne razumemo, ker ne poznamo poti, po katerih pride do njh. Pri razglabljanju o okolju ne moremo zmeraj ostati v okviru naravoslovja in ne moremo vsake trditve po njegovi navadi podrobno preskusiti. Nekatere izjave so zato obarvane osebno.

Za Zemljo in za poznejše rodove na njej bo koristilo, če se bo širši krog ljudi zavedal razmer in bo našel voljo za premišljeno ukrepanje. To bo po sedanjih izkušnjah zaradi različnih interesov v različnih delih sveta zelo težko doseči. Za zdaj pa tudi

glede tega ni boljše poti kot ozaveščanje. Le tako si bodo lahko ljudje ustvarili utemeljeno lastno mnenje in se po njem ravnali, če se bodo morali odločiti - zase ali v širšem krogu.

V Topli gredi bodo bralci našli veliko podatkov in zanimivosti. Še pomembneje pa je, da se ob branju ne bodo mogli izogniti razmišljanju o svojem mestu na Zemlji.

Janez Strnad

Jeseni 1996

UVOD

Med strokovnjaki, ki se ukvarjajo s preučevanjem vremenskih pojavov in podnebja, se vse bolj krepi prepričanje, da se ozračje počasi, a vztrajno segreva zaradi učinka tople grede. Čeprav je učinek tople grede kot pojav znan že več kot sto let, pa znanstveniki dolgo niso bili pripravljeni priznati, da se podnebje spreminja zaradi človekovega vpliva. Rezultati meritev, ki so jih imeli na voljo, so bili pač preskopi ali pa so pokrivali prekratko časovno obdobje, da bi jim lahko zaupali. Učinki tople grede so bili še premajhni, da bi jih lahko zanesljivo ločili od naključnih sprememb, ki so značilne za podnebno dogajanje. Rezultati dolgoletnih meritev in naraščajoči učinki tople grede v zadnjih letih pa so prepričali tudi največje dvomljivce.

Med navadnimi ljudmi, ki običajno dojemajo svet in pojave okoli sebe bolj intuitivno in manj kritično, pa se je to prepričanje pojavilo že prej. Ker se podnebje v relativno kratkem času človekovega življenja skoraj ne spreminja, smo si ljudje ustvarili dokaj natančno predstavo o vremenu v kraju, kjer živimo. Ta predstava se je izoblikovala skozi več generacij in je globoko zasidrana v naši zavesti, življenjskih navadah in kulturi. Zato hitro opazimo podnebne spremembe, ki ne sodijo v našo ustaljeno predstavo.

Ljudje, ki živimo v pasu zmernega podnebja, opažamo vse bolj vroča in suha poletja, mile zime brez snega in značilne monsumske nalive, ki se radi sprevržejo v prave ujme. Vsi ti pojavi v nas zbujajo podzavestno negotovost in strah. Enako kot vsa druga bitja tudi nas izkušnje stoterih generacij učijo, da velike spremembe v naravi lahko povzročijo naš propad.

Zanimivo je, da se človek kot misleče in biološko bitje prej odziva na spremembe v naravnem okolju kot človek družbeno bitje. Čeprav znanstveniki opozarjajo, da je treba takoj začeti ukrepati, čeprav je vsak od nas bolj ali manj prepričan v usodne posledice ogrevanja ozračja, pa v družbi, v politiki, v ekonomskih in finančnih krogih, ni čutiti kakšnega posebnega vznemirjenja.

Razlogi za to verjetno izvirajo iz bojazni, da bi utegnili konkretni ukrepi za zmanjšanje učinkov tople grede zamaja-

ti ekonomski in politični sistem prenekatere države. Če bi zmanjšali ali celo nadomestili pridobivanje energije iz fosilnih goriv, ki so glavni povzročitelj globalnega ogrevanja, bi cele gospodarske panoge nehale obstajati. Že samo bežno izražena misel predsednika ZDA, da bi bilo morda treba nekaj ukreniti v zvezi s podnebnimi spremembami, sproži vznemirjenje med delničarji velikih premogovnih in naftnih družb in zmanjša vrednost delnic.

Negativni učinki tople grede verjetno ne bodo enakomerno geografsko porazdeljeni, zato nekatere države sploh ne čutijo potrebe, da bi kaj storile, čeprav prispevajo levji delež k temu pojavu. Še več, energijsko potratne industrijske države v severnem delu zmernega pasu si od ogrevanja ozračja naskrivaj celo obetajo koristi. V nemških časopisih lahko preberemo, da bo podnebje ob Renu prav prijetno, tako kot je sedaj v severni Italiji. Beremo lahko resne ekonomske analize o tem, za koliko milijonov hektarov se bo povečal pas plodne zemlje v severni Sibiriji in Kanadi ter kakšne koristi bo to prineslo. Pri tem pa zamolčijo, da bi pri istih predpostavkah severno Italijo doletelo podnebje, kot ga ima sedaj Libija in da bi se za prav toliko milijonov hektarov ali celo več zmanjšala plodna zemlja v subtropskem pasu zaradi širjenja puščav.

Preveč preprosto bi bilo, če bi krivdo za pasivnost do problema tople grede iskali samo v sebičnih interesih kapitala in politike. Globalno nadomeščanje energijskih virov in zmanjševanje porabe energije bi vplivalo tudi na družbo in človeško civilizacijo v celoti.

Človeštvo bo moralo spremeniti odnos do okolja in do naravnih virov. Bogati, energijsko razsipni narodi se bodo morali odreči potrošniškemu načinu življenja. Revni, a hitro rastoči narodi bodo morali omejiti nenadzorovano rast prebivalstva. Ker pa se človek nerad odpove svojemu ustaljenemu načinu življenja, že sama misel na take ukrepe vzbudi odpor. Problem tople grede zato ni samo tehnološki problem industrijske družbe. Problem tople grede je tudi družbeni problem. Ne bodo ga rešili čarobni novi viri energije, odpravimo ga lahko le ljudje sami, tako kot smo ga ustvarili.

Pojav tople grede je globalne narave. V naslednjih petdesetih do sto letih bo narastel do te mere, da bo prizadel milijarde ljudi. Premikanje podnebnih pasov proti severu bo morda spodbudilo prava preseljevanja narodov. Ustvarile se bodo velike napetosti med državami svetovnega severa in juga. Zgodovina nas uči, da človeštvo ne zna reševati problemov tako velikih razsežnosti drugače kot s konfliktom. Kaj to pomeni v dobi jedrskega orožja, pa ni treba razlagati.

Razmišljanja o katastrofalnih posledicah pojava tople grede so verjetno preveč pesimistična. Vendar se je v zgodovini že zgodilo, da se človeštvo ni moglo izogniti katastrofi, ki jo je povzročilo samo in ki se jo je dalo napovedati več let vnaprej. Spomnimo se samo druge svetovne vojne. Zato je prav verjetno, da človeštvo ne bo moglo zaustaviti napredovanja klimatskih sprememb. Segrevanje ozračja in podnebne spremembe, ki so danes zanimiva tema za pogovor ob kavi, bodo postale moreče dejstvo.

Morda se lahko tolažimo, da segrevanje podnebja ne ogroža obstoja življenja na Zemlji, saj so se podobna nihanja temperature v geološki zgodovini že večkrat dogajala. V mezozoiku je bilo podnebje znatno toplejše kot danes prav zaradi učinka tople grede, ki ga je verjetno povzročila vulkanska aktivnost ali padec meteorita. Življenje na Zemlji je bilo takrat prav bujno. To je bilo obdobje toplih močvirij, bohotnega rastlinstva in orjaških kuščarjev. Kasneje se je podnebje ohladilo, ker se je ogljikov dioksid po naravni poti odstranil iz ozračja.

Odstranjevanje ogljikovega dioksida iz ozračja je v človeškem merilu zelo počasno, preteči mora več stoletij in tisočletij, da so spremembe opazne. V geološki zgodovini Zemlje pa je to kratkotrajen pojav. Tudi tokratno ogrevanje podnebje, ki ga povzroča človek, bodo naravni mehanizmi zaustavili, vendar pa se bo to zgodilo šele čez več generacij.

Pojav tople grede verjetno tudi ne ogroža človeka kot biološke vrste, saj se je človek sposoben prilagoditi na najbolj nemogoče podnebje: vzemimo za primer samo Bušmane, ki živijo v puščavi Kalahari, ali pa avstralske domorodce. Ogrevanje ozračja ogroža v bistvu samo našo civilizacijo, ali bolje rečeno, način življenja, kakršnen se je izoblikoval v zadnjih sto letih.

Izbiramo torej lahko, ali bomo sami z nadzorom in relativno majhnim odrekanjem uspeli ukrotiti našo potratno ter prehitro rastočo civilizacijo, ali pa se bodo civilizacijske in družbene spremembe začele dogajati same zaradih naravnih vplivov segrevanja ozračja. V tem primeru bi bile seveda posledice za naše življenje veliko hujše in nepredvidljive.

Namen te knjige je na poljuden način razložiti globalno ogrevanje ozračja kot fizikalni pojav, opisati njegove vzroke in posledice, pa tudi ukrepe, s katerimi ga lahko omilimo in preprečimo. Pa ne zato, da bi se laže pomenkovali ob kavi, ampak da bi kaj storili.

UČINEK TOPLE GREDE KOT FIZIKALNI POJAV

Ozračje, ki obdaja zemeljsko kroglo, deluje kot obleka okoli našega telesa: toploti, ki jo telo oddaja, preprečuje, da bi neovirano ušla v okolje. Zemeljska atmosfera je dokaj tanka obleka: če bi jo utekočinili, bi segala samo kakih deset metrov visoko. Vendar pa je to dovolj, da je temperatura na Zemlji približno 100°C višja kot na Mesecu, ki nima atmosfere. Atmosfera tudi blaži razlike v temperaturi med dnevom in nočjo. Če ne bi bilo atmosfere, bi se Zemljino površje takoj ohladilo, čim bi sonce zašlo.

Kako hitro bi se to zgodilo lahko vidimo, če opazujemo ohlajanje ozračja po zatonu sonca, kadar je noč posebno jasna in zrak čist. Takrat toplota, ki jo sevajo tla, skoraj neovirano uhaja v vesolje. Zaradi sevanja se tla hitro ohlajajo in dosežejo nižjo temperaturo kot zrak nad njimi. Tla in predmeti se zato orosijo kot hladno ogledalo, če dahnemo nanj. Pravimo, da pada rosa. Če je dovolj hladno, rosa zmrzne in pravimo, da pada slana.

Kako Zemlja oddaja toploto in odkod jo dobi?

Zemlja kot nebesno telo lahko oddaja toplotno energijo samo s sevanjem. Veliko večino toplotne energije pa površje Zemlje tudi prejme s sevanjem v obliki sončne svetlobe. Gostota moči sončnega sevanja na zemeljski površini je približno 1,3 kilovata na kvadratni meter. To vrednost včasih tudi imenujemo sončna konstanta. Če jo preračunamo na cel osvetljeni del Zemlje, vidimo, da je toplotna moč, s katero Sonce ogreva Zemljo, približno 178.000 teravatov (teravat je milijarda kilovatov). To je mnogo več kot vsi ostali viri toplote na zemeljski površini skupaj[1].

Kateri pa sploh so ostali viri? Najmočnejši vir je zemeljska toplota (geotermična energija), to je energija, ki prihaja iz vroče Zemljine notranjosti. Geotermična energija se sprošča kot posledica radioaktivnega razpadanja nekaterih naravno radioaktivnih jeder, predvsem kalija in urana. Ker je koncentracija teh

jeder v Zemljini notranjosti sorazmerno majhna, je majhna tudi celotna geotermična energija, ki se sprošča na njeni površini. Iz Zemljine notranjosti priteka na površino približno 30 teravatov toplotne moči ali v povprečju 0,06 vata na kvadratni meter. To je vsaj desettisočkrat manj od sončne konstante. V energijski bilanci toplote, ki jo Zemlja prejema in oddaja, je geotermična energija zanemarljiva in ne vpliva na temperaturo ozračja. Vendar pa je posredno zelo pomembna pri pojavu tople grede, kot bomo videli kasneje.

Človek s svojo dejavnostjo prispeva približno 12 teravatov toplotne moči ali približno 2kW na zemljana. Ta toplota se sprošča v termoelektrarnah, neštetih pečeh za kuho in ogrevanje, v strojih na notranje izgorevanje (po domače: v motorjih avtomobilov), pri delovanju vseh mogočih električnih naprav, pri požiganju gozdov, pri sežiganju odpadnih plinov na naftnih poljih, itd. Tudi ta energija neposredno ne vpliva kaj dosti na ogrevanje ozračja. Ker pa se pri sežiganju organskih snovi v atmosfero sproščajo nekateri plini, ki zmanjšujejo ohlajanje Zemlje s sevanjem, ima uporaba fosilnih goriv posredno zelo velik vpliv na ogrevanje ozračja.

Smo pozabili še na kakšen vir energije, ki ogreva površino Zemlje in ozračje v nižjih plasteh? Seveda, pozabili smo na energijo, ki nastaja zaradi privlačne sile drugih nebesnih teles, zlasti Lune. Ta energija se pojavi kot kinetična energija pri plimovanju morja, a se zaradi trenja spremeni v toplotno. Ocenjujejo, da v celoti znaša približno 3 teravate, kar je zanemarljivo v primerjavi s sončno energijo. Ker tudi posredno ne vpliva na segrevanje ozračja, jo tu omenjamo bolj kot zanimivost in zaradi doslednosti.

Našteli smo vire energije, ki ogreva zemeljsko površino in atmosfero. Na kakšne načine pa se toplota od tam odvaja? Daleč najpomembnejši način je toplotno sevanje v vesolje. Zemlja prejema energijo v obliki sončnega sevanja, na isti način pa jo tudi oddaja.

Toplotno sevanje Sonca in Zemlje

V obeh primerih gre za toplotno sevanje, le telo, ki seva, je različno. V prvem primeru je to Sonce, v drugem pa Zemlja. Fiziki so že pred več kot sto leti s poskusi ugotovili, da je valovna dolžina svetlobe, ki jo seva neko telo, odvisna od njegove temperature. Bolj natančno: valovna dolžina svetlobe, ki jo seva telo, je obratno sorazmerna njegovi absolutni temperaturi. Vroča telesa, npr. razžarjeno oglje, nitka v žarnici, Sonce in zvezde, sevajo toplotno sevanje relativno kratkih valovnih dolžin, ki ga človeško oko zazna kot svetlobo.

Pri nižji temperaturi telesa oddajajo toplotno sevanje z večjo valovno dolžino, ki ga naše oko ne zazna. Imenujemo ga infrardeče sevanje ali infrardeča svetloba, ker ima večjo valovno dolžino od rdeče svetlobe. O infrardečem toplotnem sevanju se lahko prepričamo tako, da se z roko približamo topli peči ali radiatorju: toploto začutimo, ne da bi se predmeta dotaknili. Toploto sevajo tudi snovi in predmeti, ki so za človeške pojme mrzli: led, oblaki, zrak, morje. Vendar pa sevajo infrardečo svetlobo s še večjo valovno dolžino, pa tudi gostota toplotnega toka, ki ga sevajo, je tako majhna, da njihovega toplotnega sevanja ne moremo zaznati brez posebnih naprav.

Kot zanimivost velja omeniti, da je osnovne zakonitosti toplotnega sevanja odkril slovenski znanstvenik Jožef Stefan. Po njem se tudi imenuje sevalni zakon, ki pravi, da je gostota toplotnega toka, ki ga seva neko telo, sorazmerna s četrto potenco njegove absolutne temperature. To pomeni, da seva neko telo pri 600°K (327°C) kar šestnajstkrat več toplote kot pri 300°K (27°C), pri 6000°K pa kar 160.000-krat toliko. Toplotno sevanje teles je pri višji temperaturi torej mnogo močnejše kot pri nizki temperaturi. Fotoni, ki jih sevajo telesa pri višji temperaturi, so tudi prodornejši, saj imajo krajšo valovno dolžino in večjo energijo.

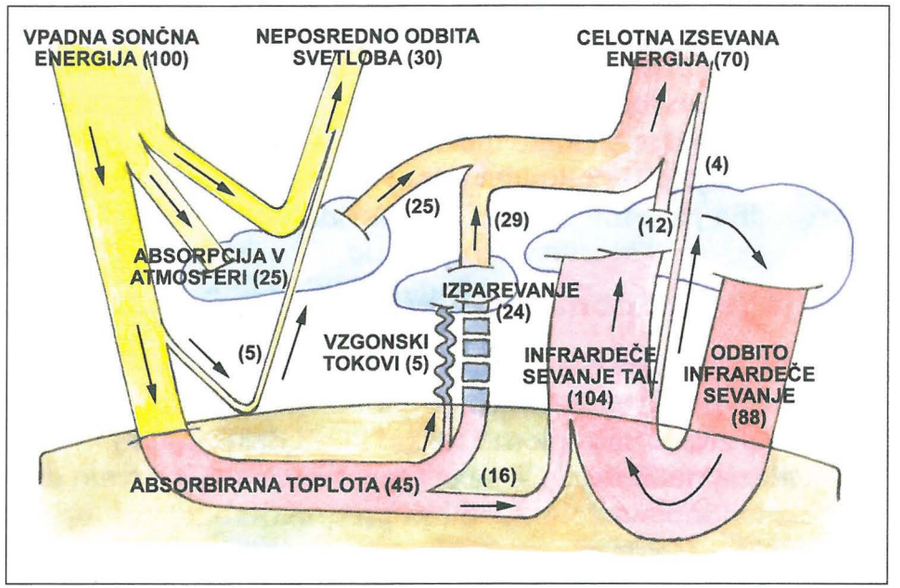
Ozračje zadržuje toplotno sevanje Zemlje

Zemlja prejme večino sončnega toplotnega sevanja v obliki vidne svetlobe. Če ni oblakov, svetloba skoraj nemoteno prodre do tal, saj je za vidno svetlobo atmosfera prozorna. Sončno sevanje se na površini Zemlje absorbira in jo ogreva. Zemlja prejeto toploto znova izseva. Ker je temperatura tal mnogo nižja od temperature Sonca, ima toplotno sevanje Zemlje v povprečju mnogo večjo valovno dolžino in zato težje uide skozi atmosfero. Nekateri plini v ozračju namreč močno absorbirajo toplotno sevanje z večjimi valovnimi dolžinami. Taki plini so vodna para (H_2O), ogljikov dioksid (CO_2), metan (CH_4), dušikovi oksidi (predvsem N_2O) in klorofluoroogljiki (s tujo kratico jih označujemo tudi CFC). S skupnim imenom jih imenujemo kar "plini tople grede" ali "toplogredni plini".

Od teh je najpomembnejša vodna para, ker je je v ozračju mnogo več kot vseh ostalih. Izračunali so, da je zaradi vodne pare v zraku povprečna temperatura za 30°C višja, medtem ko ostali plini tople grede skupaj povečujejo temperaturo ozračja le za nekaj stopinj. Vendar pa človek ne more znatno vplivati na količino vodne pare v ozračju. Zato je običajno ne prištevamo k plinom tople grede, kadar pojav tople grede povezujemo s človekovo dejavnostjo.

Drugi najpomembnejši plin tople grede je ogljikov dioksid. Nastaja pri dihanju rastlin in živali ter pri sežiganju ali razpadanju organskih snovi. Čeprav ga je v atmosferi le 0.03 odstotka, ga je mnogo več kot ostalih plinov tople grede, ki jih proizvaja človek. Vendar pa koncentracija ostalih plinov tople grede, metana, dušikovih oksidov in klorofluoroogljikov narašča zelo hitro celo v primerjavi z ogljikovim dioksidom. V začetku devetdesetih let je postal njihov skupni učinek na segrevanje ozračja že primerljiv učinku ogljikovega dioksida[2]. Kljub temu ogljikov dioksid ostaja najpomembnejši plin tople grede, ki ga sprošča človek s svojo dejavnostjo. Zato se bomo v nadaljevanju pri razlagi učinka tople grede posvetili predvsem temu plinu.

Slika 1: Shematični prikaz učinka tople grede[3]



Pojav tople grede nastane, ker nižje plasti atmosfere zadržijo infrardeče sevanje površine Zemlje. Temperatura Zemljine površine in nižjih slojev ozračja se poveča. O tem, koliko se poveča, odloča razmerje toplotnih tokov, ki energijo prinašajo in odnašajo iz nižjih plasti atmosfere.

Le 30% vpadne sončne svetlobe (100%) se odbije od atmosfere (25%) in tal (5%) v obliki vidne svetlobe. Ostalih 70% se porabi za segrevanje atmosfere (25%) in tal (45%). Ta energija se izseva nazaj v vesolje v obliki infrardečega sevanja. Čeprav večino energije (vsaj 45%) ozračje prejme pri tleh, pa jo oddaja v vesolje v višjih plasteh. Samo majhen delež (4%) tla neposredno sevajo v vesolje. Preostala energija (41%) potuje v višje plasti ozračja po več poteh: vzgonski vetrovi in izhlapevanje vode je v višje plasti prenesejo 29 odstotkov, 12% pa je doseže zgornje plasti atmosfere kot toplotno sevanje.

Na svoji poti skozi atmosfero se infrardeče sevanje večkrat absorbira in ponovno izseva, preden doseže zgornje plasti atmosfere in končno uide v vesolje. Vsakič se ga pol izseva v smeri proti Zemlji, pol pa v smeri stran od nje. Pojavi se toplot-

ni tok sevanja v smeri proti Zemlji (88%) pa tudi efektivni toplotni tok stran od Zemlje se poveča (104%). Lahko si tudi predstavljamo, da se toplotno sevanje tal večkrat odbije od atmosfere, preden jo zapusti. Odbito toplotno sevanje dodatno ogreva tla in nižje plasti atmosfere. Količina odbitega sevanja je odvisna od tega, kako močno ozračje absorbira infrardeče sevanje, torej od tega, koliko je v njej plinov tople grede, predvsem vodne pare in ogljikovega dioksida.

Zemlja je podobna topli gredi

Površje Zemlje seva infrardeče žarke, ki jih v ozračju zadržijo plini tople grede. Atmosfero si lahko predstavljamo kot nekakšno zrcalo za toplotne žarke, ki jih del prepusti, del pa odbije nazaj na Zemljo. Če še predpostavimo, da je zrcalo prozorno za vidno svetlobo, dobimo preprost model, ki opisuje ravnovesje toplotne energije na površini Zemlje in v ozračju. Ta namišljeni model se zelo lepo ujema s principom steklenega rastlinjaka ali tople grede, ki ga vrtnarji poznajo že stoletja. Steklo ima namreč podobne lastnosti kot ozračje: prozorno je za vidno svetlobo, infrardeče žarke pa zadržuje. Toplotno sevanje, ki neovirano prodre v rastlinjak kot vidna svetlobe, ga v obliki infrardeče svetlobe dosti težje zapusti. Zato je temperatura v rastlinjaku višja kot na prostem, kadar sije sonce.

Analogija med ozračjem in rastlinjakom je tako posrečena, da je dala celo ime pojavu tople grede. Čeprav pri tem mislimo predvsem na podobne fizikalne lastnosti obeh sistemov, pa z malo domišljije najdemo še druge podobnosti. Oba sistema, tako Zemlja kot rastlinjak, sta omejena in zaprta. Bitja, ki v njem živijo, imajo omejen življenjski prostor, iz katerega ne morejo pobegniti. Odvisna so od zunanjih pogojev, npr. od sončne svetlobe. Če okna na rastlinjaku zastremo, se bo v rastlinjaku ohladilo in rastline bodo odmrle. Če bi v njem živele tudi živali in človek, bi se z njimi zgodilo enako, ker bi zmanjkalo hrane.

Bitja v rastlinjaku pa so odvisna tudi ena od drugih. Če bi bilo živali preveč, bi iztrebile rastline, zaradi česar bi tudi same

propadle. Sistem v rastlinjaku mora biti torej natančno uravnotežen, da sploh obstaja. Na zunanje spremembe se lahko prilagodi le počasi in še to le, če so spremembe majhne.

In kako se obnaša človek v tem sistemu? Dokler ni obvladoval moderne tehnologije, se človek po porabi energije (hrane) in ostalih dobrin (zraka, vode) ni dosti ločil od drugih živali v rastlinjaku. Zanj so veljale enake zakonitosti, ki omejujejo pretirano rast katerekoli vrste živih bitij na račun okolja (npr. pomanjkanje hrane ali vode). Spremembe, ki jih je povzročal s svojo dejavnostjo, so bile majhne in sistem v rastlinjaku jih je lahko kompenziral ali se jim prilagodil.

Odkar pa človek obvladuje moderno tehnologijo, se je poraba energije in ostalih dobrin na posameznika povečala za stokrat ali tisočkrat. Poleg tega je razvoj znanosti in tehnologije tudi povzročil, da se je povečalo število ljudi. Človekov vpliv na dogajanje v rastlinjaku je postal tako močan, da se mu sistem kot celota, predvsem pa njegovi živi deli, ne morejo več prilagajati: pojavlja se onesnaženje zraka in vode, spreminja se podnebje, izumirajo živalske in rastlinske vrste. Ravnotežje je porušeno. Človeštvo se obnaša kot nespameten vrtnar, ki je zakuril kres v rastlinjaku, zdaj pa s presenečenjem ugotavlja, da postaja zrak zadušljiv in prevroč.

Sončna energija se na Zemlji lahko "vskladišči"

Velika večina vpadne energije se s površja Zemlje in iz atmosfere takoj izseva nazaj v vesolje. Majhen delež toplotne energije Sonca pa se na Zemlji lahko tudi za krajši ali daljši čas "vskladišči" v obliki notranje energije. Če se temperatura površine Zemlje in atmosfere povečuje, potem se začno ogrevati oceani, topiti se začne polarni led, ogrevati se začne tudi zemeljska skorja v notranjosti.

Težko je oceniti, kolikšen delež vpadne sončne energije se na ta način ujame na Zemlji. Preprost račun pokaže, da bi se cela zemeljska krogla segrela za eno stopinjo Celzija šele v več tisoč letih, četudi bi se vsa sončna toplota porabila samo za ogrevanje Zemlje in če bi se le-ta ogrevala enakomerno po celi prostornini. Pretakanje toplotne energije v Zemljino notranjost

bi bil lahko zelo učinkovit mehanizem, ki bi več tisoč let zmanjševal naraščanje temperature površja in atmosfere.

Vendar pa v resnici ni tako. Zemlja se v globino zaradi slabe toplotne prevodnosti zelo počasi segreva. Meritve kažejo, da vpliv povišane temperature za stopinjo Celzija na površini Zemlje seže v globino sto metrov šele po petdesetih letih[4]. Prevajanje toplote je tako počasno, da s pomočjo meritev temperature v globini nekaj sto metrov celo lahko določijo temperaturo na površini Zemlje pred več desetletji.

Toplotna energija se torej v kratkem časovnem obdobju lahko vskladišči samo s segrevanjem oceanov in tanke plasti zemeljske skorje. Toplotna kapaciteta te površinske plasti pa je več tisočkrat manjša od toplotne kapacitete cele Zemlje. Zato traja samo nekaj desetletij, da se oceani in zgornja plast Zemlje segrejejo, če se segreje atmosfera. Toplota, ki se pri tem porabi, je zanemarljiva v primerjavi s toploto, ki jo Zemlja prejema od Sonca ali seva nazaj v vesolje.

Fotosinteza in skladiščenje ogljika

Sončna energija se na površini Zemlje lahko vskladišči tudi v obliki kemijske energije organskih snovi, ki jih proizvajajo rastline in živali. Vsi vemo, da rastline rabijo sončno svetlobo za rast. Del sončne energije s fotosintezo pretvorijo v kemijsko energijo, ki se sprosti, ko razpadejo ali jih sežgemo. Vse organske snovi pa ne razpadejo, ko rastlina odmre. Pri ugodnih pogojih se lahko ohranijo milijone let v obliki premoga, šote in humusa. Ker so rastline hrana za živali, se mnogo organskih snovi rastlinskega izvora skupaj s svojo notranjo energijo preseli v živalski svet. Tudi organski ostanki živalskega izvora se kopičijo, npr. v obliki nafte.

Vendar pa rastline zadržijo zelo malo energije. Izmerili so, da gozd v najbolj ugodnih pogojih zadrži približno 0.4% sončne energije, ki jo prejme preko celega leta[5]. Samo majhen delček te energije pa ostane ujet dalj časa, večina se je namreč zopet sprosti, ko rastline odmro. Zato je v energijskem smislu kopičenje organskih snovi povsem nepomembno pri celotni bilanci energije, ki jo Zemlja prejme ali odda. Neposredno ta mehanizem ne more zaustaviti ali vsaj ublažiti segrevanja ozračja.

Posredni učinki kopičenja organskih snovi pa so bistvenega pomena za pojav tople grede. Pri fotosintezi v rastlinah se namreč ogljikov dioksid, ki je najpomembnejši plin tople grede, pretvori v trdne ogljikovodike, sladkor in celulozo. Večina ogljika se seveda spet sprosti, ko rastlina propade, nekaj pa ga ostane ujetega v obliki mineraliziranih organskih snovi in humusa. Proces je počasen, saj vemo, da so zaloge premoga in nafte nastajale stotine milijonov let. Vendar pa je človek prav s tem, ko je zaustavil in celo obrnil smer tega procesa, povzročil segrevanje ozračja. Namesto počasnega kopičenja geoloških zalog ogljika smo v zadnjih 100 letih priče hitremu zmanjševanju.

> Človeku bo verjetno uspelo, da bo v enem stoletju sprostil v ozračje ves ogljik, ki se je kot premog, nafta in zemeljski plin kopičil v zemeljski notranjosti stotine milijonov let. V kratkem času bo s tem povzročil podobne klimatske spremembe, ki so se v obratni smeri dogajale milijone let.

Odstranjevanje ogljika iz atmosfere s pomočjo živih bitij na kopnem in v morju zasluži posebno pozornost tudi zato, ker je to edini dovolj učinkovit mehanizem, s katerim bi lahko zmanjšali koncentracijo ogljikovega dioksida v atmosferi. Žal pa tudi tu človek deluje v nasprotni smeri od tiste, ki bi blažila učinke tople grede. Namesto, da bi skušali povečati količino in raznolikost žive snovi v naravi, pa z urbanizacijo velikih področij, intenzivnim kmetijstvom, krčenjem gozdov in onesnaževanjem oceanov počnemo ravno obratno. S tem človek jemlje sebi in naravi iz rok mehanizem, ki je v geološkem razvoju Zemlje zmanjševal in uravnaval posledice globalnega ogrevanja zaradi pojava tople grede, če je do njega prišlo.

Segrevanje ozračja zaradi sproščanja ogljikovega dioksida iz fosilnih goriv je napovedal švedski kemik Svante Arrhenius že l.1896. Arrhenius je izračunal, da se bo temperatura na Zemlji povečala za 3°C, če se bo koncentracija ogljikovega dioksida povečala za dvakrat. Čeprav je bil njegov račun zelo preprost, pa se rezultati presenetljivo dobro ujemajo s tistimi,

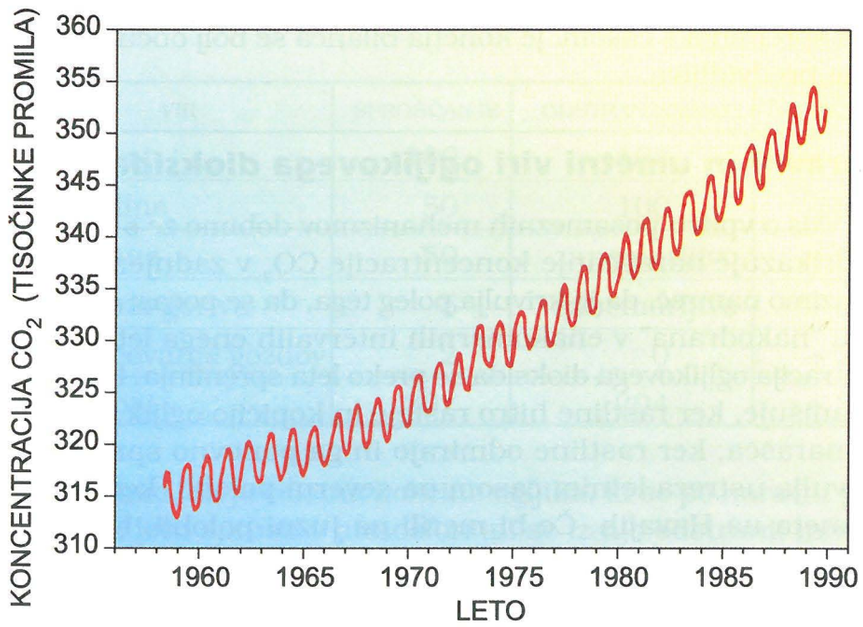
ki so jih dobili z najmodernejšimi računalniškimi programi.

Vendar odkritje ni naletelo na širši odziv. Arrheniusu so očitali, da je njegov račun nenatančen, da pretirava, da je treba poleg učinkov segrevanja upoštevati še prav toliko pojavov, ki povzročajo ohlajanje, itd. Skratka, znanstvena srenja in javnost sta se odzvali tako, kot se običajno odzoveta pri neprijetnih odkritjih. Učinka tople grede seveda nihče ni mogel povsem zanikati, vendar pa je prevladala splošna ocena, da človek nanj ne more bistveno vplivati.

KONCENTRACIJA PLINOV TOPLE GREDE V OZRAČJU NARAŠČA

Takšno prepričanje je veljalo do začetka petdesetih let, ko so začeli resneje preučevati vplive sproščanja CO_2 na podnebje, ker so se emisije tega plina začele skokovito povečevati zaradi gospodarske rasti v razvitem svetu po drugi svetovni vojni. Prvi je o tem pisal ameriški znanstvenik R. R. Revelle[6], ki ga zato nekateri imenujejo kar Dr. Greenhouse - Dr. Rastlinjak. Tudi njegove ugotovitve sprva niso naletele na širši odmev. Kljub temu je Revellu uspelo zbrati sredstva za sistematične in dolgotrajne meritve koncentracije ogljikovega dioksida v ozračju. Z meritvami so začeli na geofizikalnem observatoriju Mauna Loa na Havajih l. 1957 in še vedno trajajo.

Slika 2: Naraščanje koncentracije CO_2 v ozračju[7]



Prikazana je izmerjena koncentracija ogljikovega dioksida v atmosferi od 1957 do 1990. Krivulja je "nakodrana" zaradi letnih časov. Vsako poletje koncentracija CO_2 pade zaradi zajetja v rastlinah.

Rezultati meritev kažejo, da se je koncentracija ogljikovega dioksida v tem času povečala za več kot 10%. S tem je bila odpravljena osnovna dilema, ki so jo nasprotniki teorije o segrevanju ozračja očitali Revellu: Ali se koncentracija ogljikovega dioksida sploh povečuje zaradi človekove dejavnosti?

Na prvi pogled se zdi takšno vprašanje nesmiselno, saj vemo, da se iz dneva v dan povečuje poraba fosilnih goriv. Ker je sproščanje CO_2 veliko in celo narašča, bi se moral v ozračju začeti kopičiti. Vendar pa deluje več mehanizmov, ki ta plin po naravni poti odstranjujejo iz ozračja. Enega od njih, fotosintezo, smo že omenili. Od ostalih mehanizmov je najpomembnejši izločanje ogljika na dno oceanov v obliki karbonatnih usedlin. Upoštevati pa je treba, da se ogljikov dioksid sprošča iz številnih naravnih virov, ki so enako pomembni kot umetni (npr. razpadanje organskih snovi). Zato o povečevanju ali zmanjševanju koncentracije ogljikovega dioksida v atmosferi odloča dejstvo, kateri od teh mehanizmov je močnejši. Ker se vsak od njih spreminja s časom, je končna bilanca še bolj občutljiva in težje predvidljiva.

Naravni in umetni viri ogljikovega dioksida

Vtis o vplivu posameznih mehanizmov dobimo že s slike 2, ki prikazuje naraščanje koncentracije CO_2 v zadnjem času. Opazimo namreč, da je krivulja poleg tega, da se počasi dviguje, tudi "nakodrana" v enakomernih intervalih enega leta. Koncentracija ogljikovega dioksida se preko leta spreminja. Poleti se zmanjšuje, ker rastline hitro rastejo in kopičijo ogljik, pozimi pa narašča, ker rastline odmirajo in ga ponovno sproščajo. Krivulja ustreza letnim časom na severni polobli, ker je bila posneta na Havajih. Če bi merili na južni polobli, bi dobili ravno obratno letno nihanje.

S krivulje razberemo, da so letna nihanja mnogo večja od povprečnega naraščanja. Povprečna koncentracija ogljikovega dioksida v ozračju narašča za 0.3% na leto, ker je sproščanje iz vseh virov, umetnih in naravnih, v povprečju malo večje od odstranjevanja. Ne gre torej za preprosto kopičenje ogljikovega dioksida v atmosferi, ampak za majhne presežke, ki nastanejo pri kroženju ogljika v naravi. Mehanizem je zato veliko bolj zapleten, nepredvidljiv in občutljiv.

Tabela 1: Količina ogljika v nekaterih naravnih virih (v milijardah ton)

VIR	KOLIČINA
sedimentne kamenine	75.000.000
oceani	42.000
fosilna goriva	4.000
humus	3.000
atmosfera	720
rastline, živali	560

Tabela 2: Količina in viri ogljika, ki v enem letu zaokroži v atmosferi (v milijardah ton)

VIR	SPROŠČANJE	ODSTRANJEVANJE	RAZLIKA
oceani	100	104	- 4
rastline	50	100	-50
humus	50	zanemarljivo	+50
fosilna goriva	5	zanemarljivo	+ 5
izkrčevanje gozdov	2	0	+ 2
skupaj	207	204	+ 3

Vidimo, da je celotna količina ogljika, ki se po naravni poti v enem letu sprosti v atmosferi ali se iz nje odstrani, mnogo večja od količine, ki se sprosti zaradi človekove dejavnosti. In vendar presežek ogljika v atmosferi nastane prav zaradi teh relativno majhnih umetnih prispevkov, ker so ostali naravni prispevki skoraj povsem v ravnotežju. Ogljik, ki ga vežejo rastline s fotosintezo, se skoraj v celoti sprosti zaradi njihovega lastnega dihanja in zaradi dihanja mikroorganizmov v humusu, ki razkrojijo rastlino, potem ko odmre. Ugotovili smo že,

da se le majhen del ogljika iz tega vira uspe vskladiščiti za daljši čas v obliki fosilnih goriv. Tako odstranjevanje ogljika je sicer zelo pomembno na daljši rok (npr. milijon let), v kratkem obdobju nekaj let pa se ne pozna na celotni bilanci.

V relativno kratkem času lahko vskladiščijo znaten del presežkov ogljika iz atmosfere samo oceani. Letni presežek ogljika v atmosferi bi bil še večji, če se ga ne bi del raztopil in oboril v morski vodi. V oceanih je ogljika dvakrat več kot v atmosferi, rastlinah, humusu in fosilnih gorivih skupaj. Ogljik je v morski vodi v glavnem vezan v obliki raztopljenih kalcijevih spojin (karbonatov) in organskih snovi (predvsem planktona). Skladiščenje ogljika na daljši rok poteka v morju bolj učinkovito in hitreje kot na kopnem.

Ogljik se skladišči na oceanskem dnu v obliki usedlin, ki vsebujejo organske snovi in v obliki apnenčastih ostankov planktona in drugih morskih bitij (školjke, korale). Zlasti drugi način je zelo učinkovit, saj so tako v geološki zgodovini nastale sedimentne kamenine, iz katerih so sestavljena cela gorovja: Alpe, Himalaja, itd. Na ta način je v zgornjih plasteh zemeljske skorje vskladiščenega 2.000-krat toliko ogljika kot v oceanih.

Zaenkrat kaže, da so oceani sposobni sprejemati več ogljika, kot ga oddajajo. Vendar pa je treba upoštevati, da se oceani še niso znatno segreli zaradi učinka tople grede. Kako bo segrevanje ozračja in oceanov vplivalo na mehanizem izmenjevanja in skladiščenja ogljika pa je težko napovedati. Obstajajo številne teorije[8]. Nekatere napovedujejo, da se bo zaradi povišane temperature življenje v morju razbohotilo in bo mehanizem odstranjevanja ogljika bolj učinkovit. Drugi spet svarijo, da se bo prav zato tudi povečalo sproščanje ogljikovega dioksida iz površinskih plasti oceanov v atmosfero, kar bo še povečalo koncentracijo v zraku in stopnjevalo učinek tople grede. Najverjetneje pa bodo delovali vsi ti učinki hkrati, zato je težko napovedati, kakšen bo skupni rezultat.

Kroženje ogljika v naravi in njegov vpliv na podnebje veliko lažje razumemo, če se vrnemo v geološko zgodovino Zemlje in opazujemo, kako se je podnebje razvijalo skozi milijone let.

KROŽENJE OGLJIKA V GEOLOŠKI ZGODOVINI ZEMLJE

Zemlja se je izoblikovala pred približno 4 milijardami let. Kamenine iz tistega in kasnejših obdobij kažejo, da je imela njena atmosfera ves čas podobno temperaturo kot danes.

Temperatura je v krajših geoloških obdobjih sicer nihala, vendar se je slej ali prej vrnila na današnjo raven. Povprečna temperatura na površini Zemlje znaša približno 15°C in je ravno pravšnja za razvoj življenja. Če bi bila povprečna temperatura na Zemlji samo 20°C nižja, bi bila večina planeta pokrita z večnim ledom in življenje se verjetno ne bi razvilo. Če bi bila temperatura za 20°C višja, bi bila Zemlja prevroča za živa bitja, ki so sestavljena iz aminokislin, saj beljakovine že pri 50°C zakrknejo.

In vendar izkopanine fosilov dokazujejo, da temperatura na Zemlji od nastanka življenja do danes ni presegla teh dveh skrajnih vrednosti, čeprav se je njena atmosfera močno spreminjala. Ali je to srečno naključje ali morda deluje kakšen naravni mehanizem, ki uravnava temperaturo?

Kroženje ogljika

Vprašanje postane še bolj zanimivo, če primerjamo Zemljo s podobnima planetoma Marsom in Venero. Oba sta podobno oddaljena od Sonca kot Zemlja in podobno velika. Zakaj je torej Mars ledena puščava, kjer zmrzuje celo ogljikov dioksid, povprečna temperatura na Veneri pa je 300°C? Kakšen je torej naravni mehanizem, ki uravnava temperaturo, če deluje na Zemlji, na samo malo drugačnih planetih pa ne?

Zbirka vprašanj pa še ni popolna. Znani astronom Carl Sagan je pred približno 20 leti opozoril še na en paradoks. Astrofiziki, ki preučujejo nastanek in življenje zvezd, so ugotovili, da se svetilnost Sonca počasi povečuje. V času od nastanka naše Zemlje se je povečala za približno 30%. V obdobju, ko je na Zemlji nastajalo življenje, je bilo torej Sonce skoraj za tretjino šibkejše. Če bi danes Sonce nenadoma postalo za tretjino manj svetlo, bi Zemljo prekril led in življenje bi ugas-

nilo. Zakaj se to ni zgodilo, ko je bilo Sonce v resnici šibkejše? Geološke raziskave sedimentnih kamenin namreč kažejo, da Zemlje nikoli od nastanka ni prekrival led, vsaj ne v znatno večji meri kot danes.

Razvili so več teorij, ki bolj ali manj uspešno odgovorijo na posamična vprašanja. Edina teorija, ki hkrati odgovori na vsa, je teorija o izmenjavi ogljikovega dioksida med atmosfero, oceani in zemeljsko skorjo [9, 10, 11]. Oglejmo si jo podrobneje.

Kroženje ogljika se začne, ko se ogljikov dioksid v zraku raztopi v deževnih kapljicah in nastane ogljikova kislina (H_2CO_3). Ta je sicer zelo šibka, vendar počasi kemijsko raztaplja silikatno-kalcijeve kamenine, iz katerih je sestavljen velik del zemeljske skorje. Pri tem se sproščajo kalcijevi in bikarbonatni ioni (Ca^{++} in HCO_3^-). Z deževnico potujejo v talno vodo, potoke in reke, dokler nazadnje ne dosežejo morja. Plankton in drugi morski organizmi te ione pretvarjajo v kalcijev karbonat ($CaCO_3$), ki ga rabijo pri gradnji svojih ogrodij in lupin. Ko organizmi odmrejo, se kalcijev karbonat usede na dno. V milijonih let se ga nabere lahko več kilometrov na debelo. Usedline se pod lastno težo in zaradi povečane temperature v globini sprimejo v kamenino (npr. apnenec). Ogljik, ki je vezan v njej, je za več sto milijonov let izključen iz naravnega kroženja.

Proces, ki ga ponovno sprosti, je povezan s premikanjem tektonskih plošč.

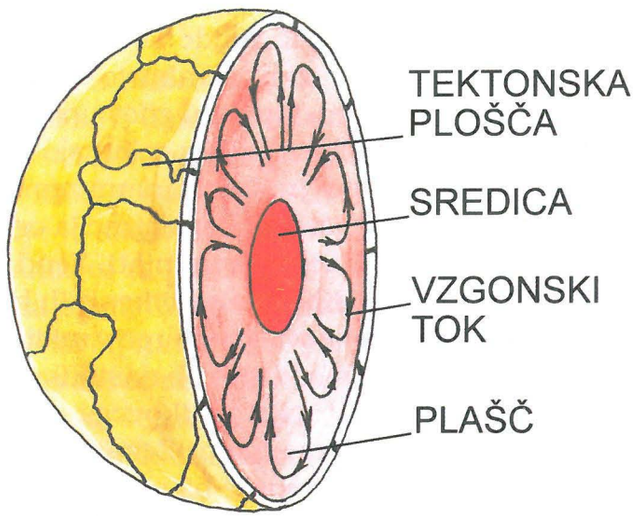
Premikanje tektonskih plošč

V milijardah let, odkar obstaja Zemlja, so se snovi, iz katerih je sestavljena, temeljito razslojile. V središče Zemlje so se usedle najgostejše: kovine. Zemljina sredica je tako sestavljena povečini iz niklja in železa. Sredica ima polmer 3300 km, osrednji del (2400 km) je trden, zunanji pa tekoč. Nad sredico je približno 3000 km debela plast trdnih kamenin, ki jo imenujemo plašč. Prekriva jo zemeljska skorja, od 3 do 100 km debel sloj kamenin na površju Zemlje.

Toplota, ki se sprošča v sredici, se skozi plašč prenaša podobno, kot se prenaša toplota z dna posode, v kateri na štedilniku grejemo vodo. Čeprav je kamenina plašča v trdnem agregatnem stanju, pa se zaradi visoke temperature in velikega pritiska počasi premika, "teče". Pojavijo se vzgonski tokovi, ki nosijo kamenino in z njo toploto proti površini. Kljub temu, da je njihova hitrost samo milimeter na teden (da si laže predstavljamo: s tako hitrostjo nam rastejo nohti), pa v milijonih let močno premešajo zemeljski plašč in kar je nad njim. Ko se vroča kamenina iz notranjosti plašča v stiku s hladno zemeljsko skorjo ohladi, postane gostejša in potone proti dnu plašča. Tam se ogreje in proces se ponovi. Tokovi kamenine v plašču imajo zato obliko navpičnih zank: na eni strani zanke tečejo navzgor, po drugi pa navzdol.

Smer toka se obrne kakih 100 km pod površino Zemlje, kjer je temperatura že tako nizka, da kamenina plašča ne more več teči. Na tem mestu je tok kamenine vzporeden z zemeljsko skorjo, ki "plava" na njem in se skupaj z njim premika. V Zemljinem plašču je več takih zank. Vsaka premika krpo zemeljske skorje, ki je nad njo. Take dele zemeljske skorje, ki se premikajo kot celote, imenujemo tektonske plošče. Tektonske plošče so debele kakih 100 km, po površini pa lahko obsegajo cele kontinente.

Slika 3: Zemeljska notranjost in tektonske plošče



Tektonske plošče se premikajo v različnih smereh. Zato lahko neka plošča na eni strani rine v sosedo, na drugi strani pa med njo in sosednjo ploščo nastaja razpoka. Razpoke se hitro zapolnijo z magmo, ki privre iz plašča. Premikanje plošč je namreč počasno, največ nekaj cm na leto. Na mestu, kjer dve plošči trčita, se običajno zgodi, da se ena plošča zarine pod drugo. Rob zgornje plošče se privzdigne in nastane gorovje ali visoka planota. Spodnja plošča pa se pogreza v globino plašča, kjer se njena snov razgradi, raztali in z vzgonskimi tokovi znova začne pot navzgor. Ker imajo kamenine, ki pridejo s površja, relativno nizko gostoto in tališče, se lahko celo raztalijo. Takrat nastane tako močan vzgonski tok, da se prebije do skorje in skozi njo na plano. Pojavi se vulkan. Zato so ognjeniki najpogosteje posejani na robovih tektonskih plošč.

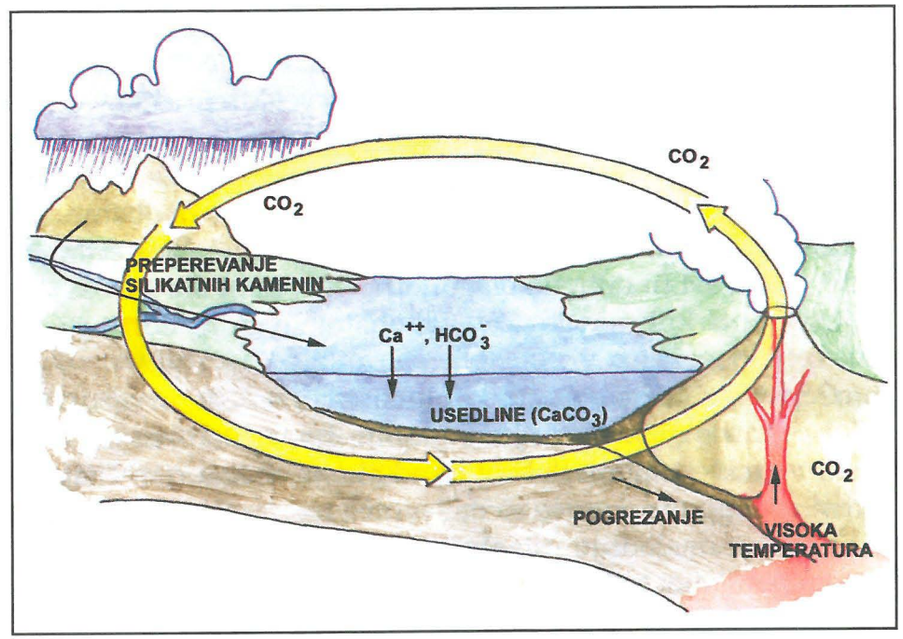
Tektonske plošče, zlasti tiste na oceanskem dnu, na svojem potovanju nosijo s sabo tudi sedimentne kamenine in ogljik v obliki mineraliziranih organskih snovi (npr. premog). Ko taka plošča trči ob drugo in se začne pogrezati, se skupaj z njo začno pogrezati v vročo Zemljino notranjost tudi sedimentne kamenine.

Iz sedimentov se najprej izloči voda, ki pride na dan v obliki vročih, mineralnih vrelcev. V globini 80 km pa je temperatura že tako visoka, da se kalcijev karbonat začne spajati s silicijevim dioksidom, ki je prisoten v zemeljski skorji in plašču. Pri tem se sprosti ogljikov dioksid, ki najde pot na prosto v vulkanskih izbruhih ali pa se pridruži mineralni vodi. Ogljikov dioksid znova pripotuje v atmosfero, v plašču znova nastanejo silikatno-kalcijeve kamenine. Krog se torej v celoti sklene.

Ogljik torej kroži med atmosfero in kameninami zemeljske skorje. Pričakovali bi, da se na daljši rok koncentracija ogljikovega dioksida v atmosferi ne bi smela spreminjati. Vendar pa se nekaj ogljika iz kroga izgublja. Količina sedimentnih kamenin in mineraliziranih organskih snovi se namreč v milijardah let počasi povečuje. Pomislimo samo, da jih ob nastanku Zemlje sploh ni bilo. Zato se koncentracija ogljikovega dioksida v atmosferi počasi zmanjšuje. Ob nastanku Zemlje ga je bilo mnogo več kot danes. Učinek tople grede je bil mnogo močnejši kakor danes in šibko Sonce tistega časa je lahko ogrelo Zem-

ljo nad zmrzišče. Kasneje, ko je Sonce postajalo močnejše, pa se je koncentracija ogljikovega dioksida zmanjševala. Učinek tople grede se je zmanjšal in temperatura ni znatno narasla. Tako lahko pojasnimo Saganov paradoks.

Slika 4: Geokemični ogljikov cikel



Teorija o Gaji

Pozoren bralec pa seveda taki razlagi lahko oporeka. Predpostavili smo namreč, da pri nastajanju karbonatnih sedimentov odločilno vlogo igrajo živa bitja. Kako pa se je ogljikov krog sploh začel, ko še ni bilo živih bitij, ki bi izločala apnenec? Protislovje je samo navidezno. Živa bitja so res najučinkovitejši mehanizem za izločanje ogljika v obliki karbonatnih usedlin, niso pa edini. Če koncentracija kalcijevih in karbonatnih ionov v vodi dovolj naraste, se prične apnenec izločati sam od sebe, posebno še, če se tudi temperatura vode poveča. Spomnimo se samo, kako se izloča kotlovec. Na tak način je potekal ogljikov cikel tudi preden so se pojavila prva bitja z apnenčastim ogrodjem.

Prve teorije o kroženju ogljika v naravi so temeljile na pred-

postavki, da so predvsem živa bitja tista, ki uravnavajo koncentracijo ogljikovega dioksida v atmosferi in s tem ustvarjajo primerne pogoje za svoj obstoj. Življenje na Zemlji se je tako pokazalo v povsem novi, privlačni luči. Dobilo je podobo nekakšnega globalnega dobrega bitja, ki se bori za svoj obstoj. To poosebljenje življenja je celo dobilo svoje ime po starogrški boginji zemlje Gaji. Ideja se je hitro razširila med ljudmi in zaradi svoje čustvene vsebine doživela veliko naklonjenost.

Zaradi pretiranega navdušenja in prevelikih pričakovanj pa se je hipoteza o Gaji kmalu oddaljila od poštene znanstvene presoje in empiričnih dejstev. Obširne raziskave v zadnjem času so pokazale, da razen pravil genetike in boja za obstanek v naravi ni mehanizmov, ki bi uravnavali in branili biosfero v celoti[12]. V naravi ni nobene blagohotne vile, ki bi skrbela za obstoj življenja kot takega. Za svoj obstoj se mora boriti vsako živo bitje posebej.

Čeprav so idejo o Gaji v evolucijskem smislu ovrgli, pa je kljub temu ostalo živo njeno globlje sporočilo: vsa bitja na Zemlji so odvisna med seboj in od okolja, v katerem živijo. V enem zadnjih člankov, ki sicer zavrača teorijo Gaje, zato lahko preberemo naslednjo misel: Prijazna gospa izginja, vendar njen smehljaj ostaja.

Kroženje ogljika lahko zastane ali pobegne

Premikanje tektonskih plošč je bistvenega pomena za kroženje ogljika. Kaj bi se zgodilo, če se plošče ne bi premikale? Ogljik bi se iz atmosfere počasi selil v karbonatne kamenine, v katerih bi ostal trajno vezan. Koncentracija CO_2 v zraku bi se zmanjšala. Učinek tople grede bi se manjšal, temperatura bi se nižala. Ko bi padla pod 0^0C, bi se močno zmanjšala koncentracija vodne pare v atmosferi. Ker je vodna para mnogo bolj pomemben plin tople grede kot ogljikov dioksid, bi se temperatura še bolj znižala. Znižala bi se morda tako zelo, da bi zmrznil še ogljikov dioksid.

Na Zemlji se kaj takega ne more zgoditi, ker premikanje tektonskih plošč poskrbi, da se ogljikov dioksid spet vrne v atmosfero. Pač pa je taka usoda doletela planet Mars, na katerem se tektonske plošče že milijarde let ne premikajo več. Znanstveniki ugotavljajo, da se je razvoj planeta Mars začel zelo podobno kot razvoj Zemlje. Najnovejša odkritja celo kažejo, da so se v tej fazi na Marsu morda razvila preprosta živa bitja. Na planetu je bilo dovolj vode in ogljikovega dioksida, da se je začel silikatno-karbonatni ciklus. Vendar ni trajal dolgo, ker je postalo premikanje plošč prepočasno. Mars je namreč manjši od Zemlje in se zato hitreje in lažje ohlaja.

Temperatura v notranjosti planeta je postala prenizka, da bi poganjala velikanski toplotni stroj, ki na Zemlji meša površinske kamenine. Tudi Zemlja se počasi ohlaja, saj se zmanjšuje količina radioaktivnih prvin, ki sproščajo toploto v njeni notranjosti. Zato jo morda čaka enaka usoda kot Mars, ko bo ta jedrski reaktor čez milijarde let ugasnil.

Na primeru planeta Mars smo se naučili, da se lahko krhko ravnovesje ogljikovega dioksida v ozračju poruši, če odstranimo samo en člen v verigi kroženja ogljika. Ker smo odstranili povratni mehanizem sproščanja ogljikovega dioksida, je temperatura pobegnila navzdol. Ali lahko temperatura pobegne tudi navzgor? Pritrdilni odgovor na to vprašanje pa nam ponuja primer planeta Venera.

Tudi atmosfera Venere je bila pri nastanku podobna Zemljini ali Marsovi. Vsebovala je precej vode in ogljikovega dioksida. Karbonatni cikel bi se lahko začel, pa se ni. Zakaj? Venera je nekoliko bliže Soncu kot Zemlja, tako da nanjo pade približno 40% več toplote. Zaradi tega je bila temperatura na Veneri na začetku nekoliko višja kot na Zemlji. Razlika v temperaturi ni bila prav velika, a je zadoščala, da se je voda na Veneri uparila. Brez tekoče vode pa se nalaganje ogljika v karbonatnih kameninah ni moglo začeti.

Nastal je tako imenovani "pobegli" učinek tople grede, saj je sproščena vodna para zadržala še več toplote, uparilo se je še več vode, itd. V milijonih let je voda iz atmosfere ušla v vesolje. Molekule H_2O se v višjih plasteh atmosfere zaradi ultravijoličnega sevanja razgradijo na kisik in vodik, ki ga šibka gravitacija majhnega planeta ne more zadržati. Ogljikov dioksid je ostal in končni rezultat učinka "pobegle" tople grede je več sto stopinj višja temperatura kot na Zemlji.

Raziskovalci svarijo pred "pobeglim" učinkom tople grede tudi na Zemlji, čeprav se bi pojavil v mnogo milejši obliki. Ogrevanje ozračja zaradi prekomernega sproščanja ogljikovega dioksida bo vplivalo na večje izparevanje vode iz oceanov. Ozračje pri višji temperaturi tudi sprejme več vlage, saj se parni tlak vode s temperaturo povečuje.

Povečanje koncentracije ogljikovega dioksida v zraku bo povzročilo tudi povečanje koncentracije vodne pare, ki je sploh najučinkovitejši plin tople grede. Učinek tople grede se bo ojačil. Čeprav nekatere teorije zagovarjajo, da bi bilo potem tudi več oblakov in bi manj sončne energije doseglo spodnje plasti ozračja, pa raziskave s pomočjo satelitskih posnetkov v zadnjem času potrjujejo prvo hipotezo[13].

Kroženje ogljika uravnava podnebje na Zemlji

Kaj se lahko naučimo iz vseh teh primerov? Najprej lahko ugotovimo, da botruje nastanku stabilnega in prijaznega podnebja na Zemlji cel splet ugodnih okoliščin. Količina sončne energije, ki jo prejema Zemlja, je ravno prava. V snovi, iz katere je sestavljena, je dovolj radioaktivnih elementov, pa tudi njena velikost je ravno pravšnja, da deluje mehanizem tektonskih plošč. Če bi bile te lastnosti samo malo drugačne, bi se razvoj planeta lahko končal tako kot na Marsu ali Veneri in življenje se verjetno ne bi razvilo.

Zakaj so se srečne okoliščine ujele ravno na Zemlji in ne kje drugje, se splača razglabljati ravno toliko kot o tem, zakaj smo se rodili prav svojim staršem in ne kakšnim drugim. Prijazno podnebje in življenje na Zemlji je dejstvo. Iz primerov manj srečnih planetov pa se lahko naučimo, da že razmeroma majhne motnje lahko povzročijo tako drastične spremembe podnebja, da življenje ni več možno.

Naučimo se tudi, da je naše podnebje rezultat ravnovesja številnih parametrov, ki nanj vplivajo: količine sončne svetlobe, sestave ozračja, hitrosti kroženja ogljika, itd. Vidimo, da obstaja nek precej ozek interval, znotraj katerega naravni povratni mehanizmi lahko uravnavajo podnebne spremembe in jih vračajo v ravnovesje. Če se zgodi sprememba, ki je večja od tega

intervala, pa povratni mehanizmi odpovedo. Še več, delovati lahko začnejo v nasprotno smer, tako da motnjo celo ojačujejo. Zgodi se lahko hitra in nepredvidljiva sprememba podnebja, nekakšen preskok v drugačno ravnovesno stanje.

Na srečo človek ne more napraviti tako velikih sprememb, da bi povzročile nesorazmeren preskok podnebja na celi Zemlji. Lahko pa se to zgodi lokalno ali za kratek čas. Raziskave geološke zgodovine kažejo, da se je tudi to na Zemlji že dogajalo[14]. Posledice takih vremenskih preskokov so zabeležene v geoloških skladih in si jih lahko ogledamo. S stališča razvoja planeta in življenja na njem niso niti velike niti dolgotrajne, merjene z merili človeške civilizacije pa so kljub temu katastrofalne.

KAOTIČNO PODNEBJE

Vremenske spremembe so najlepše zapisane v ledu, ki se nabira na Antarktiki in Grenladiji že milijone let. Vsako leto se ustvari nova, razločna plast ledu, kot letnice pri drevesnem deblu. Iz same debeline plasti in iz različnih primesi, ki jih vsebuje led, sklepamo na to, kakšna je bila temperatura tisto leto. Meritve, ki so jih nedavno opravili na Grenlandiji[15], povedo, da se je v zadnjih 100.000 letih podnebje zelo spreminjalo. Obdobjem toplega podnebja so sledila obdobja bolj hladnega vremena ali ledene dobe. Te vremenske spremembe so počasne in dolgotrajne ter zanje že dolgo vemo. Nastanejo zato, ker se zemeljska krožnica s časom rahlo spreminja, kar vpliva na količino in geografsko razporeditev toplotne energije, ki jo Zemlja prejme od Sonca.

Znanstvenike pa je presenetilo odkritje, da se poleg dolgotrajnih sprememb dogajajo tudi zelo hitre, skokovite spremembe podnebja, ko se povprečna temperatura v nekaj letih lahko spremeni za 10°C ali več. Približno 1000 let traja, preden se temperatura vrne na prejšnjo raven. Še bolj presenetljivo pa je, da se preskok zgodi nenapovedano in na prvi pogled brez pravega razloga.

Odkritje teh kratkotrajnih, kaotičnih, a zelo močnih sprememb daje slutiti, da je ravnotežje vplivov, ki ustvarjajo podnebje, veliko manj stabilno, kot si mislimo. Človek sicer ne more vplivati na kroženje Zemlje okoli Sonca in povzročiti dolgotrajne ledene dobe, lahko pa s svojim vplivom sproži kak občutljiv mehanizem, ki bo imel za tisoč let isti učinek. Še več, učinek je lahko ravno nasproten od pričakovanega.

Rezultati meritev kažejo, da se lahko obdobje ogrevanja podnebja skokovito prekine in nastopi kratkotrajna ledena doba. Človekovo igračkanje s toplo gredo se kaj lahko konča s tisočletno zaledenitvijo dobršnega dela Evrope in Severne Amerike.

Zadnja taka nenadna kratkotrajna sprememba podnebja se je zgodila pred 11.000 leti. Po dolgotrajnem obdobju ogrevanja se je podnebje zelo hitro ohladilo. Velik del severne Amerike in Evrope je prekril led, tundra se je razširila do obal Nove Anglije in preko cele Skandinavije. Tudi drugje po svetu so vidne posledice nenadne ohladitve, celo na Antarktiki in v Kitajskem morju. Kaj je povzročilo to nenadno ohladitev?

Najverjetnejša hipoteza, ki je podprta s številnimi rezultati meritev in računalniškimi izračuni, pravi, da je ohladitev nastala, ker se je spremenil doseg Zalivskega toka. To se je zgodilo kot posledica taljenja ledu na severni polobli zaradi ogrevanja ozračja. Topel Zalivski tok namreč prinaša na sever severne poloble velikanske količine toplotne energije, ki jo Zemlja prejme ob ekvatorju (pretok vode v toku je enak 100 Amazonkam).

Topla voda zalivskega toka je redkejša od hladne oceanske vode iz globin, zato teče po površini Atlantskega oceana. Na svoji poti se počasi ohlaja, dokler se približno pri Islandiji temperatura vode Zalivskega toka ne izenači s temperaturo okolišnje vode. Voda Zalivskega toka je bolj slana od vode severnega Atlantika, ker so tropska morja, od koder prihaja, zaradi močnega izhlapevanja bolj nasičena s soljo. Zato je pri isti temperaturi voda Zalivskega toka gostejša kot voda severnega Atlantika.

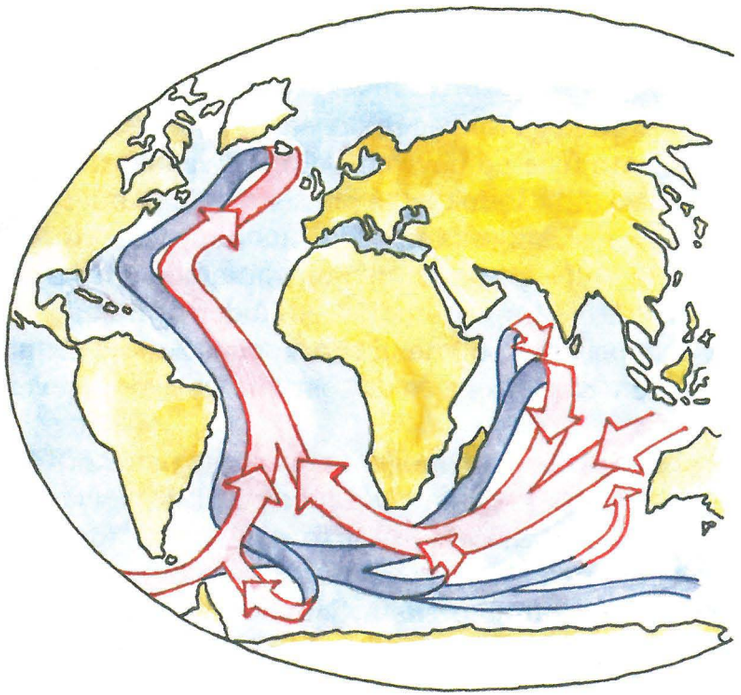
Zalivski tok potone in v mogočnem slapu pade na dno oceana. Hladna, slana in gosta voda teče po dnu v nasprotni smeri površinskega toka, dokler v južnem Atlantiku in Indijskem oceanu spet ne pride na površino in se sklene v zanko. Zalivski tok si v celoti lahko predstavljamo kot ogromen tekoči trak, ki ga žene temperaturna razlika med tropskimi in severnimi morji.

Kje v severnem Atlantiku potone Zalivski tok, je torej odvisno od gostote okoliške vode. Gostota morske vode je odvisna od temperature in slanosti. Gostota se zmanjša, če se poveča temperatura in če se zmanjša slanost. Prav to pa se je zgodilo v obdobju pred zadnjo skokovito spremebo, ki jo opisujemo. Zaradi segrevanja ozračja so se raztopili skladi ledu na severnoameriški celini.

Velike reke, ki so nastale, so prinesle ogromne količine sladke in relativno tople vode v severni Atlantik. Gostota ocean-

ske vode se je zmanjšala in Zalivski tok je potonil že več tisoč kilometrov pred obalami zahodne Evrope. Povprečna letna temperatura se je tam in na ameriški strani znižala za približno 7°C. Čeprav je najhujšo ohladitev doživela zahodna Evropa, pa se je njen vpliv odrazil na podnebje tudi drugje po svetu.

Slika 5: Zapletena pot zalivskega toka



Zalivski tok je kot tekoči trak, ki prenaša toploto iz toplih tropskih oceanov na sever Atlantika. Če bi nehal delovati, bi dobil Dublin enako arktično podnebje kot Spitzbergi, London pa tako kot Irkutsk v Sibiriji[14].

Dotok sladke vode iz raztaljenega ledu se je z ohladitvijo sicer zmanjšal in pričakovali bi, da se bo hitro vzpostavilo prejšnje stanje. Minilo pa je celih tisoč let, preden je Zalivski tok

začel znova delovati kot prej. Nizke temperature v severnem Atlantiku so namreč povzročile, da je ocean zamrznil daleč proti jugu, led pa je zaprl pot toplim tokovom.

Sprememba poti oceanskih tokov je samo eden od razlogov za nenadne spremembe podnebja. Na ta način lahko pojasnimo zadnjo veliko nenadno spremembo pred 11.000 leti.

Za številne podobne spremembe, ki se redno dogajajo vsakih 5.000 do 10.000 let, pa še nimamo pojasnila. Znanstveniki menijo, da je poleg morskih tokov še več mehanizmov, ki lahko hitro in močno spremenijo temperaturo na Zemlji, če jih zmaknemo iz ravnovesja (npr. višinski vetrovi). Nauk iz te zgodbe v zvezi s pojavom tople grede mora biti torej, da vsak večji človekov poseg v naravno podnebno ravnovesje lahko sproži nepredvidljive in nesorazmerno močne posledice.

Špekulacije o tem, da bi podnebne spremembe zaradi tople grede lahko prinesle več koristi kot problemov, so neosnovane. Kakršnakoli močna in hitra sprememba podnebja bi zamajala ali celo porušila našo civilizacijo. Nekateri znanstveniki so celo razvili teorijo, da se je civilizacija razvila zaradi srečnega naključja, ker takega podnebnega preskoka ni bilo že kar 11.000 let. Vse prejšnje začetke civilizacije naj bi namreč v kali zatrli podnebni preskoki, ki so se v zadnjih 100.000 letih dogajali precej pogosteje. Ali bo tokrat človeštvo samo od sebe nespametno zavrglo priložnost, ki mu jo je ponudila narava?

POJAV TOPLE GREDE IN ONESNAŽEVANJE

Na špekulacijo mejijo tudi nekatere sicer resne znanstvene teorije, da sežiganje fosilnih goriv poleg učinka tople grede povzroča tudi pozitivne učinke, ki zmanjšujejo segrevanje ozračja. Tak učinek je na primer onesnaževanje ozračja z žveplovim dioksidom, zaradi česar do tal prodre manj sončne svetlobe in se temperatura v nižjih plasteh ozračja zniža. Ker onesnaževanje z žveplovim dioksidom vpliva na pojav tople grede tako, da ogroža rastlinski svet, si njegov učinek oglejmo podrobneje.

Žveplovi aerosoli

Manj kvalitetni premogi in nafta vsebujejo precej žvepla, celo do 5%. Pri sežiganju se zato sprošča žveplov dioksid (SO_2). V višjih predelih ozračja se žveplov dioksid po celi vrsti kemijskih reakcij pretvori v žvepleno kislino (H_2SO_4), ki je raztoplјena v majhnih vodnih kapljicah. Žveplena kislina se spaja z različnimi primesmi v zraku (npr. amoniakom) in nastanejo trdne soli, sulfati. Če se to dogaja v suhem zraku, voda iz kapljic izhlapi in ostanejo majhni, desetinko mikrometra veliki trdni prašni delci - aerosoli. Vidimo jih kot rdečkasto prozorno meglico, značilno za onesnaženje nad velemesti.

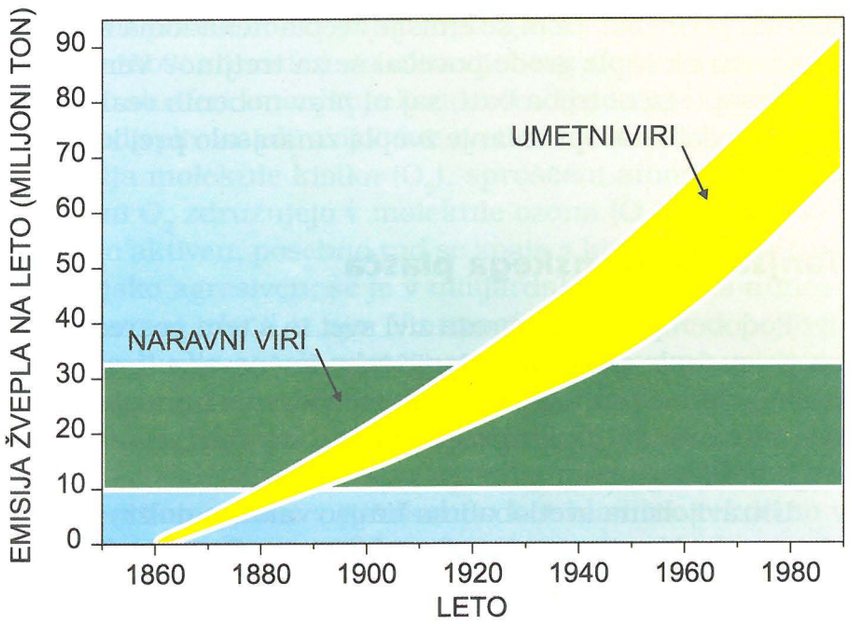
Žveplena kislina in njene soli so zelo higroskopne. Zato kapljice hitro rastejo, če pridejo v stik z vlažnim zrakom. Prašni delci v mokrem zraku delujejo kot kondenzacijska jedra. Pojavijo se oblaki in megla. Prej ali slej kapljice tako narastejo, da padejo na zemljo kot kisel dež. Žveplov dioksid torej v atmosferi ne ostane trajno, ampak se izloči v razmeroma kratkem času (manj kot v enem letu).

Aerosoli in oblaki, ki jih povzroča žveplov dioksid, povečujejo delež odbite sončne svetlobe. Ker se kar 30% vpadne sončne svetlobe odbije od oblakov in atmosfere (glej sliko 1), je vsaka sprememba njihove odbojnosti pomembna. Ocenjujejo, da zaradi žveplovega dioksida površino Zemlje doseže približno

0.5W manj svetlobe na kvadratni meter. To ni veliko, vendar podobna ocena pokaže, da ogljikov dioksid, ki ga sprošča človek, povečuje bilanco moči za 1.5W na kvadratni meter. Žveplov dioksid tako za približno tretjino ublaži učinek tople grede zaradi sežiganja fosilnih goriv[16].

Učinek je posebno izrazit nad področji, kjer se sprošča veliko žvepla: Severna Amerika, Evropa, Srednji Vzhod. Tam je ponekod sončna svetloba manjša kar za 4W na kvadratni meter. Učinek hlajenja je najmočnejši nad industrijsko razvitimi predeli sveta, učinek gretja pa se najbolj pozna v subpolarnem pasu. Kot bi narava hotela dati potuho onesnaževalcem.

Slika 6: Žveplo v ozračju



Človek na leto sprosti v ozračje od 65 do 90 milijonov ton žvepla. Sproščanje žvepla v atmosfero zaradi človekove dejavnosti že krepko presega naravne vire. Po naravni poti se žveplo predvsem sprošča v obliki rastlinskega planktona, ki ga vetrovi odnašajo z gladine oceanov.

Temna plat sproščanja žvepla v atmosfero daleč presega

njegov hladilni učinek. Kisli dež uničuje ali je že uničil cele pokrajine. Pojavi se lahko tisoče kilometrov daleč od vira onesnaževanja. Satelitski posnetki kažejo, da se žvepleni oblak, ki se sprošča nad industrijskimi predeli ZDA, razteza preko celega Atlantika do Evrope. Pred kislim dežjem niso varni niti najbolj odmaknjeni kotički narave.

Pri preučevanju tople grede ne smemo onesnaževanja z žveplovim dioksidom obravnavati kot spremljevalni pojav, ki "blagodejno" zmanjšuje segrevanje ozračja, kar včasih zaznamo kot podton v sicer resnih znanstvenih člankih. Žveplo moramo upoštevati kot še eno motnjo več v že tako porušenem naravnem klimatskem ravnovesju[17]. Nihče namreč ne ve, kakšne posredne učinke bo na toplo gredo imelo propadanje gozdov, jezer in rek zaradi kislega dežja. Nihče tudi ne ve, kako bi se odzvalo podnebje, če bi se emisije žvepla nenadoma zmanjšale. Bi se učinek tople grede povečal še za tretjino? Vendar pa se nam vsaj tega ni treba bati, saj ni prav nobenih realnih pokazateljev, da bi se sproščanje žvepla zmanjšalo prej kot v 30 do 50 letih.

Tanjšanje ozonskega plašča

Podoben pojav, ki ogroža živi svet in s tem posredno vpliva na pojav tople grede, je širjenje tako imenovane "ozonske luknje". Podobno, kot ogljikov dioksid zadržuje infrardečo svetlobo, tako ozon (O_3) v stratosferi absorbira večji del ultravijoličnega sončnega sevanja.

Ultravijolična svetloba ima krajšo valovno dolžino od infrardeče in vidne. Zato imajo fotoni ultravijolične svetlobe večjo energijo kot fotoni vidne svetlobe. Njihova energija je že tako velika, da lahko razbijejo molekule in izbijejo elektrone iz atomov nekaterih snovi. Snov se zaradi tega ionzira in poškoduje. Če se to zgodi v snovi živega organizma, se pojavijo poškodbe celic, degeneracija ali smrt.

Pri ljudeh, zlasti pri belcih, pretirane količine ultravijolične svetlobe povzročajo opekline in kožnega raka. Pred njenimi škodljivimi vplivi nas do neke mere varuje kožni pigment, ki se razvije, če je koža izpostavljena sončni svetlobi. Evolucija je

poskrbela, da imajo črnci, ki so že mnogo generacij izpostavljeni močni sončni svetlobi, kožni pigment kar prirojen. Večino živali pred ultravijolično svetlobo varuje debela koža, dlaka ali perje. Tudi kopenske rastline so se evolucijsko prilagodile nanjo.

Zelo pa so na ultravijolično svetlobo občutljivi mikroorganizmi, ki so premajhni, da bi lahko razvili učinkovito zaščito. To dejstvo s pridom izkoriščajo v bolnišnicah, kjer z ultravijoličnimi svetilkami razkužujejo zrak. V naravi pa bi povečano ultravijolično sevanje lahko povzročilo propad morskih mikroorganizmov, ki živijo v zgornjih plasteh oceanov. Ugotovili smo, da ti mikroorganizmi igrajo pomembno vlogo v ogljikovem ciklusu. Zato povečevanje prepustnosti ozračja za ultravijolične žarke vpliva tudi na naraščanje ogljikovega dioksida v ozračju in posredno na pojav tople grede.

Prepustnost atmosfere za ultravijolične žarke se povečuje, ker se v stratosferi zmanjšuje koncentracija ozona. Ozon sam nastaja pod vplivom ultravijolične svetlobe. Ultravijolična svetloba razbija molekule kisika (O_2), sproščeni atomi O pa se s preostalimi O_2 združujejo v molekule ozona (O_3). Ozon je kemijsko zelo aktiven, posebno rad se spaja s klorom. Ker je tudi klor kemijsko agresiven, se je v milijardah let razvoja atmosfere že zdavnaj izločil iz nje. V atmosferi se je znova pojavil, odkar smo ljudje začeli množično spuščati v zrak različne pline, ki vsebujejo klor. Posebno veliko je klorofluoroogljikov, ki so spojine ogljikovodikov s klorom in fluorom. Ker so to tekočine, ki se rade uparijo že pri nizki temperaturi, jih uporabljajo kot potisne pline v pršilkah in kot hladilno tekočino v hladilnikih. Klorofluoroogljiki so že sami po sebi plini tople grede, posredno pa vplivajo nanjo tudi, ker tanjšajo ozonski plašč.

Kemijske reakcije med klorofluoroogljiki in ozonom so zelo zapletene. Ko pride molekula klorofluoroogljika v stratosfero, jo ultravijolični žarki razbijejo. Sprosti se atomarni klor, ki se spaja z ozonom in drugimi plini v atmosferi, npr. z dušikovim dioksidom (NO_2). Klor se nevtralizira in umakne iz procesa v obliki različnih spojin. En atom klora tako uniči kvečjemu eno molekulo ozona. Ta proces ne predstavlja posebno velike ne-

varnosti za ozonski plašč, ker je ozona vendarle mnogo več kot klorofluoroogljikov. Znanstveniki ocenjujejo, da se je na tak način koncentracija ozona povsod v stratosferi zmanjšala za nekaj odstotkov[18]. Temu procesu pravijo včasih tudi tanjšanje ozonskega plašča.

V posebnih okoliščinah pa se kemijski proces nevtralizacije ozona lahko večkrat ponovi in ojači. Ugotovili so[19], da ledeni kristalčki, ki jih vsebujejo oblaki v velikih višinah, vplivajo na klorove spojine, da se klor iz njih ponovno sprosti. Klor znova napade ozon in proces se lahko ponovi tudi tisočkrat. En atom klora tako odstrani tisoč molekul ozona. Vpliv klorofluoroogljikov v ozračju se tako tisočkrat ojači.

Taki ugodni pogoji na srečo nastajajo zaenkrat samo pozimi (to je avgusta) nad Antarktiko. Samo takrat in tam je dovolj hladno (-80°C), da se ustvarijo obsežni oblaki ledenih kristalčkov v stratosferi. Drugje po svetu jih skoraj ni. Oblaki povzročijo pomnoževalno reakcijo med klorom in ozonom, ki zato praktično izgine. Nad Antarktiko se je zato pojavilo veliko področje brez ozona, ki ga imenujemo "ozonska luknja". Ozonska luknja se iz leta v leto veča, pojavljati se je začela že tudi nad severnim tečajem. Počasi se iznad trajno zaledenelih predelov širi nad oceane in začenja ogrožati rastlinski plankton. Kakšen vpliv bo to imelo na življenje v morju in posredno na toplo gredo, lahko samo ugibamo.

Zakaj se širi ozonska luknja v stratosferi? Izpolnjena morata biti dva pogoja: klor in oblaki. Koncentracija klorofluoroogljikov v stratosferi se povečuje kljub omejevanju porabe v zadnjih letih, saj traja dolga leta, da te težke organske molekule pripotujejo v najvišje plasti atmosfere. Strokovnjaki napovedujejo, da bo tam njihova koncentracija dosegla največjo vrednost šele čez 10 do 20 let. Ker so klorofluoroogljiki zelo obstojni, bodo izginili iz ozračja šele proti koncu naslednjega stoletja.

Na drugi pogoj za nastanek ozonske luknje, stratosferske oblake, pa običajno pozabimo. Tudi teh je vedno več, ker je v stratosferi vedno več kondenzacijskih jeder žveplovih aerosolov, okoli katerih se nabirajo ledeni kristalčki. Ozonska luknja raste torej tudi zaradi sproščanja žveplovega dioksida. Ker temu ne vidimo konca, bodo pogoji za rast ozonske luknje še

dolgo izpolnjeni.

Vrnili smo se na začetek. Katerikoli vpliv človekovega delovanja na podnebje vzamemo, ugotovimo, da je povezan in prepleten z ostalimi. Vplivi sežiganja organskih goriv in onesnaževanja so neločljivo povezani, vsi pa rušijo krhko podnebno ravnovesje, ki je že po svoji naravi kaotično.

TUDI TEMPERATURA OZRAČJA NARAŠČA

Ugotovili smo, da je podnebje odvisno od številnih dejavnikov, ki so med seboj v dinamičnem ravnovesju. Motnja, ki jo povzroča človek s stopnjevanjem učinka tople grede, to ravnovesje lahko poruši. Posledice je zelo težko napovedati, verjetno pa bo temperatura ozračja postopoma, a vse hitreje naraščala. Čeprav številne znanstvene teorije napovedujejo ogrevanje ozračja zaradi kopičenja plinov tople grede in čeprav je to kopičenje nedvomno dokazano, pa se moramo skeptično vprašati: ali obstajajo neposredni dokazi, da se temperatura ozračja že povečuje? Ali je za to res kriv človek? Ali bodo posledice res tolikšne, da je treba biti plat zvona?

Vprašanja so stara toliko kot prva opozorila o pojavu tople grede. Tja do konca osemdesetih let so raziskovalci morali kritično priznati, da na ta vprašanja ne morejo zagotovo odgovoriti, ker nimajo dovolj podatkov. Zato je prevladovalo mnenje, da je teorija tople grede pač ena od številnih teorij, na katerih si znanstveniki brusijo pamet, ki pa ne vpliva na "resnično življenje": gospodarstvo, finance, politiko. Ker ni bilo ekonomskega interesa, je bil obseg raziskav precej omejen, zaradi česar je bilo še težje priti do zanesljivih rezultatov.

Težavne meritve temperature

V drugi polovici osemdesetih let pa so nekatere velike zavarovalne družbe v ZDA in zahodni Evropi ugotovile, da izplačujejo nesorazmerno velike odškodnine zaradi vremenskih katastrof[20]. Naročili so raziskave, ki naj bi pojasnile, zakaj se to dogaja. Sumili so, da gre bolj za demografske in ekonomske spremembe kot za spremembe podnebja. Posledice vremenskih katastrof postajajo v moderni družbi namreč vedno dražje. Nevihta s točo je pred sto leti uničila pridelek in razbila kakšno okno. Danes enaka nevihta poleg pridelka poškoduje še na tisoče avtomobilov, povzroči električni mrk in uniči dragoceno računalniško opremo.

Rezultati teh raziskav so pokazali, da samo z demografskimi in ekonomskimi spremembami ne morejo pojasniti tako močnega in sistematičnega naraščanja škode. Kar naenkrat se je pojavil močan ekonomski interes za raziskave s področja vremenoslovja in klimatologije. Začele so se obsežne in drage raziskave, od razvoja zapletenih računalniških programov za simulacijo podnebja na superračunalnikih do vrtin v večnem ledu na Antarktiki.

Velik delež so prispevale tudi vojaške raziskave. V osemdesetih letih, v vročici pojemajoče hladne vojne, so se velesile zelo resno lotile klimatoloških raziskav. Pojavila se je namreč teorija, da bi globalni jedrski spopad povzročil močno ohladitev po celi Zemlji, ker bi atomske eksplozije spravile v atmosfero veliko količino prahu in saj[14]. Pojavu so nadeli dramatično ime "jedrska zima". Čeprav se je kmalu izkazalo, da so bile napovedi o klimatskih spremembah zaradi jedrskega spopada močno pretirane, pa so imele raziskave "jedrske zime" dve zelo pozitivni posledici: prvič, javnost se je začela še bolj zavedati nevarnosti, ki jo prinaša jedrsko orožje, in drugič, preučevanje "jedrske zime" je močno spodbudilo klimatološke raziskave.

Kot posledica vseh teh raziskav so se kmalu pojavili številni zanesljivi merski in teoretični rezultati, ki so se vsi ujemali v ugotovitvi, da se je v zadnjih sto letih podnebje otoplilo v povprečju za več kot 0,5°C.

Meritve temperaturnih sprememb

Morda se sprememba temperature za pol stopinje Celzija ne zdi veliko. Vendar pa so običajna nihanja temperature okoli dolgoletnega povprečja dosti manjša od te vrednosti. Samo zelo redko se zgodi, da se temperatura zaradi spleta naključnih okoliščin spremeni za pol stopinje na celi Zemlji in za daljši čas, npr. za eno leto.

To se je zgodilo l. 1816, ko se je povprečna letna temperatura znižala za pol stopinje[21]. Ohladitev je bila v zmernih geografskih širinah, npr. v Angliji in severnih predelih ZDA, tako huda, da večina poljščin ni dozorela. Še danes je tisto leto živo v izročilu med ljudmi kot "leto brez poletja", saj je zmrzovalo

celo junija. Sprememba povprečne temperature za pol stopinje torej sploh ni majhna, če upoštevamo, kašne posledice povzroči na življenje in gospodarstvo.

Majhne spremembe temperature je težko meriti, še posebno, če je treba izmeriti temperaturo za sto let nazaj in po celem svetu, na kopnem in na morju. Sistematičnih in zanesljivih meritev temperature v tem dolgem obdobju je malo. Ne samo zato, ker je bilo pred sto leti število vremenskih opazovalnic zelo majhno in omejeno na takrat razviti del sveta, ampak tudi zato, ker so se razmere v okolici nekega merskega mesta v tem času lahko spremenile. Recimo, da je bila pred sto leti opazovalnica sredi polja, danes pa so vsenaokrog stavbe. To gotovo vpliva na povprečno izmerjeno temperaturo. Pri interpretaciji rezultatov dolgoletnih meritev so morali take vplive odstraniti, saj bi lahko vodili do povsem napačnih ugotovitev.

Poseben problem so tudi meritve temperature morske vode[22]. Čeprav že več kot 100 let pomorščaki zelo sistematično in pogosto merijo temperaturo med plovbo po vseh svetovnih morjih, pa že sama metoda meritve lahko spremeni rezultat za pol stopinje ali več, kar prekrije vse majhne spremembe. Primer: Pred sto leti so zajemali vzorce vode z lesenim vedrom ali platneno vrečo in izmerili temperaturo vzorca na krovu. Metoda je bila prilagojena ladjam in tehnologiji tistega časa. Take meritve so trajale tja do leta 1940. Danes merijo temperaturo avtomatično s termometri, ki so nameščeni na vstopne šobe vode za hlajenje motorjev. Razlika med obema metodama je 0.7°C, malo zaradi različne globine, na kateri se jemlje vzorec, predvsem pa zato, ker se voda v vedru že shladi, predem ji izmerimo temperaturo.

Pojavi, ki vplivajo na temperaturo ozračja

Upoštevati so morali tudi druge vplive: dnevno in letno nihanje temperature ter različne naključne ali periodične pojave, ki vplivajo na podnebje. Od naključnih vplivov so posebno pomembni izbruhi vulkanov, ki za nekaj let lahko občutno ohladijo podnebje na celi Zemlji, ker v zgornje plasti atmosfere spravijo ogromne količine žveplovega dioksida. Izbruh ognjenika Krakatau na Javi leta 1883 je povzročil ohladitev cele atmosfere za nekaj desetink stopinje Celzija. Ohladitev je trajala dve leti. Podobni, a na srečo manjši ohladitvi smo bili priče leta 1963 po izbruhu ognjenika Agung na Baliju.

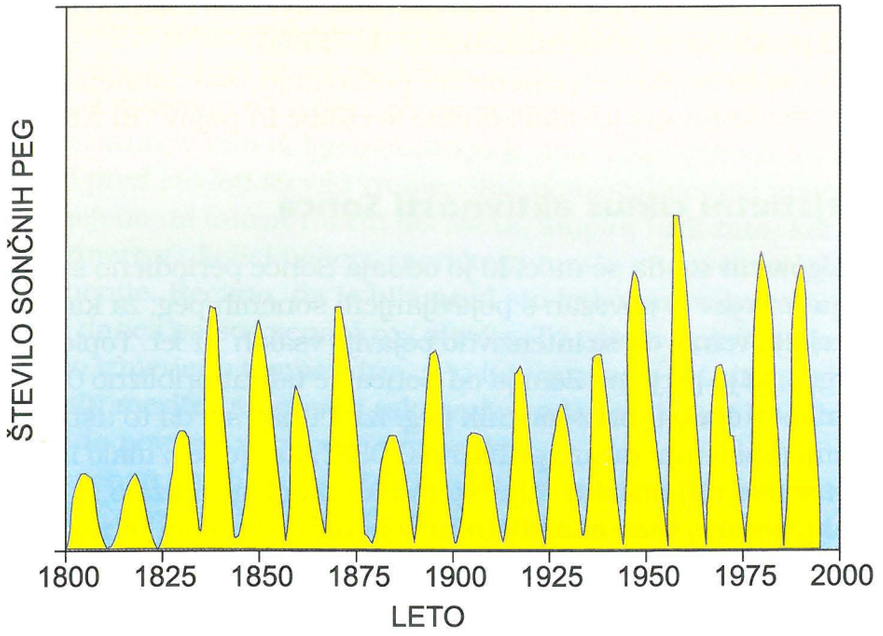
Od vplivov, ki se periodično ponavljajo, sta pomembna zlasti dva: nihanje jakosti sončne svetlobe in pojav "El Niño".

Enajstletni ciklus aktivnosti Sonca

Ugotovili so, da se moč, ki jo oddaja Sonce periodično spreminja[23]. Pojav je povezan s pojavljanjem sončnih peg, za katere že stoletja vemo, da se intenzivno pojavijo vsakih 11 let. Toplotna energija, ki jo prejema Zemlja od Sonca, je takrat približno 0.1% večja kot v obdoju brez sončnih peg. Izračunali so, da to ustreza spremembi temperature približno 0,03°C, kar je zelo malo in se ne bi smelo niti poznati. Kljub temu klimatologi opažajo statistično povezavo med enajstletnim sončnim ciklusom in temperaturo ozračja[24]. Mehanizem, ki povezuje sončno aktivnost in temperaturo na Zemlji, je torej bolj zapleten in je verjetno povezan z dogajanjem v stratosferi in magnetosferi. Znanstveniki se zadnje čase močno trudijo, da bi ga razvozljali, ker bi na ta način prišli tudi do novih spoznanj o segrevanju ozračja.

Slika 7 prikazuje spreminjanje števila sončnih peg v zadnjih 200 letih. Lepo se vidi, da se število sončnih peg ciklično spreminja približno vsakih 11 let. Število sončnih peg je merilo sončne aktivnosti. Večje število peg pomeni tudi večjo toplotno energijo, ki jo izseva Sonce. Najnovejše raziskave kažejo[24], da povprečna letna temperatura ozračja zaradi tega niha z enako periodo kot sončna aktivnost. Leta z manjšim številom sončnih peg so hladnejša, leta z večjim številom peg pa toplejša.

Slika 7: Enajstletni ciklus sončne aktivnosti



Ciklično ponavljanje hladnih in toplih let so opazili že naši predniki brez kakšnih posebnih pripomočkov, povsem izkustveno. Že v Vodnikovi Pratiki lahko preberemo, da se hude zime ponavljajo na devet let. V nekaterih drugih pratikah beremo, da se vreme ponavlja na 12 let. Oboje se lepo sklada z enajstletnim Sončevim ciklusom, ki ga odkriva moderna klimatologija. Pa še to: v skladu s to teorijo bi moralo biti leto 1996 najhladnejše po enajstih letih, ker se sončna aktivnost približuje minimumu. Kdor si lahko v spomin prikliče hude zime v letih 1985, 1974, 1963, 1952, 1941, itd., naj sam presodi, ali je na tej teoriji kaj resnice.

El Niño

Pojav "El Niño" opazijo vsakih nekaj let v Pacifiku ob obalah Srednje in Južne Amerike. Ker se običajno pojavi okrog Božiča, so ga domačini poimenovali z imenom, ki v španščini pomeni: otrok, Jezušček. Zaradi spleta različnih vplivov se takrat pokvari normalno kroženje zraka nad oceanom, kar povzroči, da v nižjih plasteh ozračja nehajo pihati vzhodni vetrovi. Običajno vzhodni vetrovi, ki pihajo stran od obale, odnašajo toplo površinsko vodo na odprti ocean, na njeno mesto pa vre hladna voda iz oceanskih globin. Če ni vetra, se kroženje ustavi in zgornja plast oceana ob obali se segreje. Ogreje se tudi ozračje, ki povzroči sušo v nekaterih predelih Amerike in poplave v drugih. Motnja je tako velika, da se pozna po celem svetu. Povsod se poveča število neviht in povprečna temperatura se zniža za kakšno desetinko stopinje.

Podnebne motnje kot sta El Niño in nihanje sončne aktivnosti lahko za krajši čas povečajo ali znižajo povprečno temperaturo ozračja. Če pogledamo večletno povprečje, pa ugotovimo, da temperatura neprestano narašča že vsaj petdeset let[25, 26].

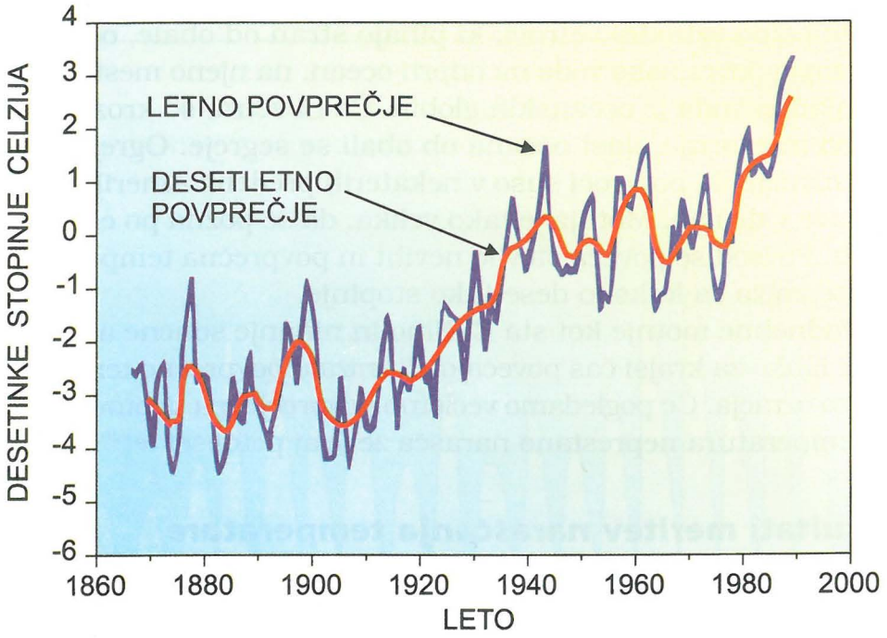
Rezultati meritev naraščanja temperature

Prvi večji porast temperature opazimo po letu 1920. Še hitreje je začela temperatura naraščati v zadnjih desetih letih, kar je v skladu s povečanim sproščanjem plinov tople grede. Naraščanje pa ni enakomerno po celi zemeljski obli. Natančne meritve med leti 1967 in 1986 namreč kažejo, da je neenakomerno [22]. Na severni polobli so največji porast temperature (1-2^{0}C) opazili v predelih Arktike in Sibirije, rahlo se je ogrelo v jugozahodni Evropi (0.5^{0}C), zahodna in severna Evropa pa sta se celo ohladili za 0.5^{0}C. Je to ohlajanje znanilec velike ohladitve zaradi spremenjenega dosega Zalivskega toka ali pa je "samo" posledica onesnaženja z žveplovim dioksidom nad industrijskimi državami severne poloble?

Slika 8 prikazuje spremembo povprečne globalne letne temperature v zadnjih 130 letih glede na leto 1980. Čeprav temperatura niha zaradi različnih vzrokov, pa je celotni porast v 100 letih večji od katerekoli letne fluktuacije. Celo najhladnejša leta zadnjega desetletja so toplejša od najtoplejših let pred 100 leti.

Tudi na južni polobli so se ogreli predeli blizu tečaja. V zadnjih petdesetih letih se je temperatura na Antarktiki ponekod povečala kar za 2.5^{0}C. Nenavadno velik porast temperature že

Slika 8: Porast povprečne letne temperature[22]



povzroča taljenje ledu. Februarja 1995 so satelitski posnetki pokazali, da se je v enem samem mesecu stopil led med celino in otokom Jamesa Rossa[27]. Preliv, ki je širok več sto kilometrov, je bil dotlej vedno pokrit z debelo plastjo ledu.

GLOBALNE POSLEDICE OGREVANJA OZRAČJA - DANES

Taljenje ledu okoli tečajev je samo ena od posledic ogrevanja ozračja, ki jih lahko opazimo. Naraščanje temperature potrjujejo meritve na kopnem, na oceanih in na večnem ledu. Posrednih dokazov pa je še več.

Neposredne posledice

Zime v zmernem pasu se krajšajo. Na osnovi natančnih meteoroloških zapiskov so opravili statistično raziskavo o začetku in trajanju obdobja, ko pade temperatura pod zmrzišče[28]. Raziskava je pokazala, da se taki dnevi pojavljajo vedno kasneje in da jih je manj kot pred sto leti.

Ledeniki v Alpah in drugih gorstvih zmernega pasu se umikajo in izginjajo. Pomislimo samo na triglavski ledenik Zeleni sneg. Na Aljaski in v arktičnih predelih Kanade se debelina tal, ki so trajno zamrznjena (permafrost), zmanjšuje iz leta v leto.

Pojavljajo se katastrofalne suše. Suša poleti 1988 je bila ena najhujših v zgodovini ZDA. Celo mogočna reka Mississippi se je skoraj posušila in prvič ni bila plovna, odkar po njej poteka rečni promet.

Število in moč viharjev v subtropskem in zmernem pasu se povečuje. Orkani sežejo bolj proti severu kot običajno. Orkan Andrew je leta 1992 zavil daleč na sever in opustošil zaledje Miamija in Los Angelesa. Ker tam niso pripravljeni na hurikane, je povzročil številne žrtve in ogromno materialno škodo. Pozimi 1990 je ciklon z viharnim vetrom povzročil v zahodni Evropi največjo škodo doslej. Tudi pri nas se pojavljajo orkanski vetrovi. Leta 1986 se je nad Notranjsko razdivjal pravi tornado, ki je sicer značilen za subtropske predele. Zračni vrtinec je odkrival strehe in podiral drevje. Njegova sled, ki vodi preko gozdov od Hotedršcice proti obronkom Krima, je vidna še danes.

Gozdarji po vsem svetu in tudi pri nas opažajo, da se spreminja sestava gozdov. Drevesne vrste, ki so prilagojene na ostrejše podnebje (npr. jelka, smreka) se umikajo v višje predele in proti severu. Na njihovem mestu se pojavljajo drevesne

vrste, ki so značilne za toplejše podnebje.

Posredne posledice

Višja temperatura pa vpliva na rastlinski svet tudi posredno. Zaradi ugodnejših pogojev za fotosintezo se prirastek organskih snovi na Zemlji povečuje. Še bolj kot to pa se pospešuje tudi njihovo razkrajanje. S stališča bilance ogljikovega dioksida sta si učinka nasprotujoča. Fotosinteza iz ozračja odstranjuje ogljik, ki se pri razpadanju organskih snovi sprošča nazaj v ozračje. Pri normalnih, dolgotrajno ustaljenih podnebnih pogojih sta oba učinka približno izenačena, nekaj ogljika se iz kroga celo izgublja v obliki poogleneliih organskih snovi, npr. šote. Če se temperatura poveča, se oba procesa pospešita. Rastline rastejo hitreje, vendar tudi hitreje razpadejo, ko odmrejo.

Raziskave kažejo, da bi povišana temperatura bolj spodbudila razpadanje organskih snovi kot njihovo kopičenje. Večino organskih snovi razgradijo mikroorganizmi, ki se z njimi hranijo. V kemijskem smislu je razpadanje organskih snovi v bistvu preprost proces oksidacije ogljika, ki pri višji temperaturi poteka hitreje kot pri nižji. Tudi mikroorganizmi se pri višji temperaturi hitreje razvijajo. Ker so to dokaj preprosta bitja, so malo občutljiva na spremembo ostalih pogojev, npr. vlage.

Po drugi strani je fotosinteza zapleten fizikalni in kemijski proces, ki poteka v občutljivih bitjih - rastlinah. Če bi bilo v atmosferi znatno več ogljikovega diksida in če bi bila temperatura višja, bi fotosinteza sicer potekala nekoliko hitreje, vendar pa bi morali biti izpolnjeni še drugi pogoji za rast rastlin, npr. zadostna količina padavin. Ker se bo razporeditev padavin po zemeljski krogli zaradi ogrevanja ozračja spremenila, se količina biomase ne bo povečevala sorazmerno s temperaturo. Proces oksidacije organskih snovi, ki je bistveno manj občutljiv in preprostejši, bo prevladal. Segrevanje ozračja bo torej spodbudilo sproščanje toplogrednih plinov, zaradi česar se bo učinek tople grede samo še povečal.

Pojav je še posebej zaskrbljujoč, ker bi zaradi povišane temperature začele razpadati organske snovi, ki so bile skoraj že

trajno izločene iz ogljikovega cikla: na šotiščih, v globljih plasteh plodne zemlje, na dnu močvirij in jezer. Zaradi pomanjkanja kisika na teh krajih poteka predvsem anaerobni razpad, pri katerem poleg ogljikovega dioksida nastaja tudi metan. Metan je dvajsetkrat bolj učinkovit plin tople grede kot CO_2. V zadnjih letih opažajo, da se koncentracija metana v atmosferi povečuje za 1% na leto. Globalno ogrevanje je že sprožilo mehanizem anaerobnega razkroja nekaterih trajnih zalog orgaskih snovi v naravi. Metan, ki se pri tem sprošča, prispeva k ogrevanju ozračja že skoraj toliko kot ogljikov dioksid iz umetnih virov.

Razpadanje dolgotrajno nakopičenih organskih snovi bo neposredno vplivalo na živo naravo, saj se bo ponekod močno spremenila sestava in debelina plodne zemlje. Napovedujejo, da se bodo največje spremembe zgodile v tundrah severne Kanade in Sibirije. Tam se je v mrzlem, vlažnem podnebju skozi tisočletja izoblikoval tanek sloj zemlje, ki jo sestavljajo ostanki borne vegetacije: šotnih mahov, lišajev, pritlikavega grmičevja. Če bi se temperatura hitro povečala, bi tanka plast humusa in šote lahko razpadla, še preden bi jo prerasla varovalna rastlinska odeja[22].

> Znanstveniki opozarjajo na resno nevarnost erozije in zakrasevanja tundre, ki bi bila posledica globalnega segrevanja. Kratkovidni gospodarstveniki in politiki severnih dežel, ki si obetajo žitna polja tam, kjer se sedaj pasejo severni jeleni, se bodo morda ušteli. Verjetno tam čez sto let ne bo ne žita, ne severnih jelenov.

Dvomi o ogrevanju podnebja izginjajo

Dokazov o ogrevanju podnebja v zadnjih 100 letih se je nabralo več kot dovolj. Resnici na ljubo pa je treba priznati, da znanstveniki z njimi niso povsem zadovoljni. Odkar obstajajo zanesljive meritve temperature, v ogrevanje sicer ne dvomijo več. Bega pa jih dejstvo, da so vse spremembe močnejše in nastopijo veliko prej, kot bi pričakovali zaradi kopičenja plinov tople grede v ozračju. Nekateri trmoglavci zato še vedno trdijo, da gre za naravni pojav, ki le naključno sovpada s kopičenjem

plinov tople grede zaradi človekove dejavnosti[29, 30]. Trdijo, da človek le neznatno prispeva k ogrevanju podnebja. Takšne trditve so seveda pesem za uho premogovnih, naftnih in plinskih družb, ki rade spodbujajo razmišljanja v to smer. Večina znanstvenikov pa meni, da se ozračje segreva predvsem zaradi človekove dejavnosti. Dejstvo, da so učinki močnejši, kot bi jih pričakovali, po njihovem mnenju dokazuje ravno nasprotno. Mnogo bolj pa je verjetno, da še ne razumemo vseh vplivov človeka na podnebje, kot to, da so ti vplivi neznatni.

GLOBALNE POSLEDICE OGREVANJA OZRAČJA - JUTRI

Pozabimo za trenutek na nepredvidljive učinke, ki jih lahko povzroči segrevanje in onesnaževanje ozračja. Predpostavimo, da se bo vsaj še naslednjih petdeset let ozračje segrevalo enako kot zadnjih petdeset let. Kakšne globalne spremembe podnebja lahko pričakujemo? Kakšne bodo posledice na prirodo in človeka? Kako se bodo odrazile v naših krajih?

Povišanje temperature

Klimatologi ocenjujejo[22], da se bo v naslednjih petdesetih letih povprečna temperatura na Zemlji dvignila še za 1.5 do 4.5°C. Povečanje ne bo enakomerno. V tropskem pasu se temperatura skoraj ne bo spremenila, zato se bo precej bolj od povprečja povišala v zmernem in subpolarnem pasu. V zmernem pasu se bodo povečale zlasti zimske temperature. Predvidevajo, da se bo na naši geografski širini povprečna zimska temperatura povečevala s hitrostjo ene stopinje na desetletje.

Sprememba temperature za eno stopinjo Celzija je enakovredna spremembi geografske širine za 100 do 150 km oziroma spremembi nadmorske višine za 100 m. Do leta 2040 se bodo torej podnebni pasovi pomaknili za kakih 600 km proti severu in za približno 400 m višje v gore. Slovenija lahko pričakuje temperature, ki so danes značilne za severno Grčijo in Makedonijo.

Sprememba količine in porazdelitev padavin

Sprememba temperature bo vplivala tudi na padavine. V celoti se bo količina padavin na Zemlji povečala, ker se bo povečalo izhlapevanje iz oceanov. Njihova geografska in časovna razporeditev pa bo zelo različna. Padavin bo več v tropskih predelih in na obrobjih kontinentov. Na nižjih in srednjih geografskih širinah se bo količina padavin verjetno zmanjšala, ker se bodo nižje plasti atmosfere ogrele, višje plasti pa ohladile. V

zmernem pasu bodo padavine tudi manj enakomerno porazdeljene preko celega leta. Poleti in pozimi jih bo manj, spomladi in jeseni pa več. To velja tudi za naše kraje.

V Sloveniji se bo verjetno izoblikoval tip vremena, za katerega bodo značilna vroča in sušna poletja, mile zime s kratkotrajnimi snežnimi obdobji ter močno pomladansko in jesensko deževje. Tako podnebje bo še najbolj podobno monsumskemu. Vendar pa bo trajalo več desetletij, preden se bo tako podnebje ustalilo. Dotlej bo podnebje predvsem nestanovitno, spremenljivo in nenapovedljivo, saj se bodo mešale nove in stare značilnosti.

Burnejše vremensko dogajanje

Ogrevanje ozračja bo povzročilo, da bo vremensko dogajanje burnejše po celi Zemlji. Zopet se bo to najbolj poznalo v zmernem pasu. Vremenski pojavi, ki so sedaj značilni za tropske in subtropske predele, se bodo približali našim geografskim širinam. Povečala se bo moč vetrov, več bo orkanskih vetrov. Cikloni, ki danes v Evropo z Atlantika prinašajo slabo vreme in padavine, se bodo bolj pogosto zgostili v viharne ujme.

Njihov vpliv bo največji na obalah zahodne Evrope, segal pa bo na tisoče kilometrov v notranjost. Čeprav bodo rušilni moči vetra najbolj izpostavljene ravnine ob obalah zahodne Evrope, pa bodo zaradi pretiranih padavin in poplav trpeli tudi obronki Alp, kjer bodo deževni ciklonski oblaki trčili na pregrado. Take poplave se v jesenskem času že nekaj let zapored pojavljajo v Nemčiji, Franciji in Italiji. Vendar alpska pregrada ne zadrži vseh viharnih padavin, tako da jih vsakih nekaj let zanese tudi do naših krajev. Spomnimo se samo poplav v Savinjski dolini jeseni 1990.

Naraščanje morske gladine

Nižinske predele ob morju bo verjetno prizadelo tudi naraščanje morske gladine. Napovedi o tem, koliko bo gladina narasla, so zelo različne, od 10 cm do 10 m. Morska gladina se bo

namreč dvignila zaradi dveh učinkov, ki ju je težko ovrednotiti. Prvi je termično raztezanje morske vode zaradi globalnega segrevanja. Približna ocena pokaže, da bi se gladina oceanov dvignila za kakih 10cm, če bi se njihova temperatura povečala za eno stopinjo Celzija. Samo zaradi toplotnega raztezanja torej lahko pričakujemo zvišanje gladine za 10 do 50 cm, ko se bo bodo oceani ogreli za toliko kot ozračje.

Kdaj se bo to zgodilo, je težko napovedati. Zaradi velike toplotne kapacitete se njihova temperatura povečuje počasneje kot temperatura ozračja. Spremembi temperature ozračja hitro sledi le temperatura površinske plasti, v večje globine pa se toplota prenaša počasi. Vendar pa ocenjujejo, da znaša zakasnitev med temperaturo ozračja in povprečno temperaturo oceanov največ nekaj desetletij.

Drugi učinek je taljenje ledu. Gladina oceanov se je zaradi taljenja ali kopičenja ledu v geološki zgodovini že večkrat spremenila. V obdobju krede v mezozoiku, ko je bil učinek tople grede, ki ga je verjetno povzročila povečana vulkanska aktivnost ali padec velikega meteorita, zelo močan, je bila povprečna gladina morja več kot sto metrov nad sedanjim nivojem. Spremembe gladine za 10 metrov, ki sledijo manjšim temperaturnim nihanjem zaradi ledenih dob, pa so v geološki zgodovini nekaj običajnega.

K povišanju gladine prispeva samo tisti led, ki je na kopnem. Če se stali led, ki plava na morski gladini, se po Arhimedovem zakonu gladina ne spremeni. Taljenje arktičnega ledu, ki plava na Severnem ledenem morju, torej ne bo prispevalo k zviševanju gladine svetovnih morij. K temu bo največ prispevalo taljenje ledu na celinskih predelih Antarktike in Grenlandije. Vendar je tudi tega ledu kar dovolj. Ocenjujejo, da bi se gladina oceanov povišala za 5 metrov, če bi se stopil samo majhen del ledu na Antarktiki.

Takšne ocene so za obdobje naslednjih petdeset let morda preveč pesimistične, saj ne upoštevajo precejšnje časovne zakasnitve med spremembami temperature zraka in ledu. Podobno kot pri oceanih, tudi pri debelih skladih ledu traja nekaj desetletij, da se ogrejejo v globino. Poleg tega ni dovolj, da se led ogreje, denimo, z -40°C na -35°C. Ogreti se mora nad le-

dišče, za to pa je potrebna precej večja temperaturna razlika ali pa mora biti že pred tem temperatura ledu blizu ničle. Takega ledu je bolj malo. Za naslednjih petdeset let se najpogosteje pojavlja ocena, da se bo morska gladina zaradi taljenja ledu povišala za kakih 30 - 50 cm.

Zaradi zakasnelih učinkov doslej še niso izmerili znatnega povišanja morske gladine. Meritve otežujejo tudi velika nihanja zaradi različnih naravnih pojavov, npr. bibavice in valovanja. Novejše satelitske meritve sicer kažejo, da se gladina svetovnih morij dviga v povprečju za tri milimetre na leto, kar ustreza raztezanju zaradi poviševanja temperature oceanov. Te meritve pa niso povsem prepričljive zaradi velike merske napake.

Demografske posledice globalnega ogrevanja

Vendar pa se prav zaradi zakasnelih učinkov lahko zgodi, da bo šlo naraščanje gladine oceanov zelo hitro, ko se bo enkrat začelo. Iz istega razloga bi morje naraščalo še desetletja po tem, ko bi nekdo s čarobno paličico zaustavil segrevanje ozračja. Za to pa bo verjetno res potreben čarodej, saj nič ne kaže, da bi bilo človeštvo samo tega sposobno. V tej luči pa naraščanje morske gladine za 5 ali celo 10 m v naslednem stoletju ni več tako nemogoče.

O tem, kakšne bodo posledice naraščanje morske gladine, si lahko vsak sam kaj hitro ustvari sliko, če se poglobi v geografski in demografski atlas. Velik delež svetovnega prebivalstva živi na morskih obalah ali blizu njih, saj je bilo morje od nekdaj vir hrane. Tudi zemlja je tam bolj rodovitna, ker je več padavin kot v notranjosti celin. Na obalah so se razvila velika pristaniška mesta. Če bi morska gladina znatno narasla, bi morje poplavilo gosto naseljena in kmetijska področja, njegov vpliv pa bi segel tudi daleč v notranjost. V nižinah bi slana voda izpodrinila podtalnico še na stotine kilometrov od obale, zaradi česar bi zemlja postala nerodovitna. V splošnem so na naraščanje morja najbolj občutljivi predeli v deltah velikih rek: Misisipija, Rena, Nila, Mekonga, Amazonke, Inda, Gangesa, Rumene reke. Zaradi razlogov, ki smo jih našteli zgoraj, so to tudi najgosteje naseljena področja na svetu.

Ostali učinki tople grede, ki smo jih obdelali doslej, bi prizadeli predvsem dežele v zmernem pasu. Naraščanje gladine pa bo prizadelo tudi tropske države, odvisno pač od njihovih geografskih značilnosti. V Aziji bi bile najbolj prizadete države Indokitajskega polotoka in Bangladeš, ki jih že sedaj pestijo vsakoletne poplave z morja. Pred naraščajočim morjem bi se tam moralo umakniti več sto milijonov prebivalcev.

V Afriki bi se zgodila prava katastrofa v Egiptu. Večina prebivalcev tam živi v prenaseljeni Nilovi delti, ki je le nekaj metrov nad gladino morja. Tam imajo že dolgo težave zaradi pronicanja slane vode v podtalnico, ker se je zaradi asuanskega jezu zmanjšal dotok vode iz Nila. Če se bo zasoljevanje plodne zemlje še stopnjevalo zaradi naraščanja morja, bo skoraj 100 milijonov ljudi ostalo brez hrane.

V Oceaniji bi nekaj majhnih otoških državic kar izginilo pod valovi. Nekatere med njimi se že čisto resno dogovarjajo z velikimi "nepotopljivimi" sosedami (predvsem z Avstralijo), da bi se preselili, če bo morje res naraslo.

V Severni Ameriki bi veliko škodo trpela velika pristaniška mesta, Florida in nižinski predeli ob spodnjem toku Misisipija. Podobne težave bi doletele gosto naseljene nižinske predele Zahodne Evrope: Nizozemsko, Belgijo, Nemčijo. Gospodarske posledice bi bile ogromne in se jih ne da izraziti v denarju. Vendar pa bi jih bogate države laže obvladale kot revne. Razvite države bi bile organizacijsko, ekonomsko in tehnološko morda celo sposobne obvladati posledice naraščanja morja, še zlasti, ker je to proces, ki poteka relativno počasi. Nizozemci npr. že stoletja dolgo uspešno branijo svojo zemljo pred morjem, ki so mu jo iztrgali.

Dolgotrajen boj z naravnimi silami pa zmore le dobro organizirana družba, ki je ne pestijo pomanjkanje in socialni pretresi. V revnih državah v razvoju, ki se dušijo v revščini, prenaseljenosti, ki jih pretresajo socialni in verski nemiri, pa bi lahko naravna katastrofa tako velikih razsežnosti privedla do gospodarskega in političnega zloma ter do kaosa. Stotine milijonov beguncev bi se razlile čez meje v sosednje države, ki same ne bi bile dosti na boljšem, in sprožila bi se lahko

verižna reakcija političnega in gospodarskega zloma celih svetovnih regij. Upamo lahko samo, da bo družbeni napredek hitrejši od napredovanja posledic tople grede. Vendar tudi tokrat ni razlogov za optimizem, ker število prebivalcev v najbolj ogroženih državah narašča hitreje od njihove ekonomske moči.

Zdravstvene posledice globalnega ogrevanja

Znanstveniki svarijo tudi pred posledicami, ki jih bo imelo globalno ogrevanje na človekovo zdravje[31]. Najpomembnejši neposredni učinki bodo naslednji:

- stres zaradi podnebnih sprememb in spremenjenega načina življenja
- obolenja, ki so posledice previsoke temperature (npr. večje število vročinskih kapi)
- povečano število obolenj za kožnim rakom
- spremembe v imunskem sistemu
- povečano število očesnih obolenj.

Še večji vpliv bodo imeli posredni učinki klimatskih sprememb. Naštejmo nekatere:

- manjša pridelava hrane zaradi škodljivih učinkov ultravijoličnega sevanja na rastline in živali na kopnem in v morju
- zmanjšanje področij, primernih za kmetijstvo in njihova geografska prerazporeditev
- ugodni pogoji za širjenje nekaterih bolezni (npr. malarije)
- pomanjkanje pitne vode, slabši higijenski pogoji in bolezni, ki se zaradi tega pojavijo (npr. kolera, paratifus).

Vsi ti učinki se bodo še ojačili, če bo prišlo do velikih, nenačrtovanih migracij prebivalstva. Takrat lahko pričakujemo tudi vse ostale zdravstvene in socialne probleme, ki spremljajo masovna neprostovoljna preseljevanja: epidemije nalezljivih bolezni, lakoto, podhranjenost, itd. V strokovni literaturi se je v tej zvezi začel uporabljati pojem "ekološki begunci" (environmental refugees). Njegov pomen sugerira tudi vse ostale probleme, ki spremljajo velika preseljevanja: politične napetosti, vojaške konflikte, rasno in versko nestrpnost, ksenofobijo.

POSLEDICE PODNEBNIH SPREMEMB V SLOVENIJI

Težko in nehvaležno je napovedovati, kakšne posledice bodo imele klimatske spremembe na majhnem koščku sveta, kot je Slovenija, saj so še globalne napovedi dokaj negotove. Naše specifične geografske, naravne in družbene značilnosti bodo morda povzročile, da bodo posledice ogrevanja ozračja drugačne kot drugod. Zato so napovedi lahko samo splošne, take, ki sledijo iz osnovnih ugotovitev o učinkih ogrevanja ozračja po celem svetu. Za bolj natančne in zanesljive napovedi pa bi bile potrebne poglobljene raziskave, ki bi dale bolj podrobno sliko o tem, kako se bodo vremenske spremembe odrazile v našem okolju, naravi, gospodarstvu in družbi kot celoti.

Začnimo pri najpreprostejši posledici ogrevanja podnebja, pri naraščanju morske gladine. Neposredno bi nas naraščanje morja prizadelo mnogo manj kot Nizozemce in celo manj kot Italijane, saj je naša obala strma. Posledice pa bi čutila obalna mesta. Ko se človek sprehaja po Tartinijevem trgu v Piranu, si težko predstavlja, da bi ga že za življenja naših otrok ali vnukov lahko zalilo morje. Enako velja za sečoveljske soline in koprsko pristanišče. Tako razmišljanje ni več samo utopija.

Čeprav bi bile gospodarske in demografske posledice naraščanja gladine morja za Slovenijo velike, pa bi bile še vedno mnogo manjše od posledic ostalih podnebnih sprememb, ki bi se v naših krajih odrazile predvsem v obliki višje povprečne temperature in spremenjenega, "monsumskega" režima padavin. Razmislimo najprej, kakšne posledice bo to imelo na pokrajino kot celoto, ker bodo od tod izvirali tudi najmočnejši vplivi na gospodarstvo in naše življenje nasploh.

Osnovna značilnost slovenske pokrajine je gozd, saj pokriva večji del države. Če bo podnebje postalo toplejše in v dobi največje vegetacije bolj suho, bo gozd, kakršnega smo vajeni, verjetno začel propadati. To se bo najprej začelo dogajati v nižinah in na plitvih tleh Krasa in alpskega visokogorja. Zgornja gozdna meja se bo na taki podlagi začela zniževati, povišala pa se bo verjetno tudi spodnja gozdna meja: pod določeno nadmorsko višino mešani, še zlasti pa iglasti gozd, v Sloveniji ne

bo več uspeval. Propad gozda bi za sabo potegnil številne pojave, ki bi temeljito spremenili podobo pokrajine: hudournike, erozijo, zemeljske in snežne plazove, zakrasevanje, zmanjšan poletni pretok potokov in rek, večjo moč vetrov, sušo, pogoste gozdne požare. Četudi bi nam uspelo sproti sanirati take posledice propadanja okolja, bi se značilna slovenska pokrajina močno spremenila. Podoba sveže, vedno zelene dežele bi se prelevila v sliko vroče, ogolele, sušnate pokrajine, kakršno dobimo na primer v severni Grčiji, v Dalmaciji ali v notranjosti Španije. Taki pokrajini bi se moralo prilagoditi tudi naše kmetijstvo, gospodarstvo in naš način življenja v celoti.

Če želimo upočasniti družbene in gospodarske spremembe zaradi klimatskih sprememb, moramo čim dalj časa ohraniti pokrajino, kakršne smo vajeni. Ključ do tega je ohranitev gozdov.

Spremembe se ne bodo zgodile čez noč in bodo sprva komaj opazne. Pravzaprav se že dogajajo, le da so posledice zaenkrat še tako majhne, da jih opazijo samo strokovnjaki. Javnost bi morala veliko bolj prisluhniti njihovim opozorilom, sicer se bodo posledice preveč nakopičile, da bi jih lahko še odpravili. S pokrajino in gozdom je treba ravnati in gospodariti z največjo pazljivostjo, splošnim okoljevarstvenim funkcijam gozda in kmetijskih zemljišč bo treba dati še večjo težo. Nekaj optimizma nam lahko vliva dejstvo, da imamo na področju gospodarjenja z gozdom zelo razvito stroko, katere vpliv se odraža na napredni zakonodaji in splošni okoljevarstveni kulturi. V Sloveniji je že dalj časa uveljavljen in celo uzakonjen sonaravni način gospodarjenja z gozdovi[32], ki ga v svetu šele uvajajo kot eno od metod, s katerimi se da omiliti posledice podnebnih sprememb.

V zvezi z gozdovi in ponovnim oživljanjem gozdov ima Slovenija še eno prednost pred svetom. Slovenija je morda edina industrijska država na svetu, v kateri se je površina pod gozdom v zadnjih 50 letih znatno povečala.

To se je zgodilo predvsem zaradi opuščanja pašnikov in drugih manjvrednih kmetijskih zemljišč in zaradi tega, ker so nekateri predeli po drugi svetovni vojni opusteli. Zaradi dobrega gospodarjenja z gozdovi pa se je povečala tudi količina lesa in ostale biomase v gozdovih. Statistični podatki[33] kažejo, da se je od l. 1953 do 1990 površina gozda povečala s 850.000 hektarov na 1.070.000 hektarov, to je kar za četrtino. Lesna zaloga se je v tem času povečala od 95 milijonov kubičnih metrov na 207 milijonov. Samo v lesni masi je tako vezanega kakih 100 milijonov ton ogljika. Toliko ogljika bi se ob današnji porabi fosilnih goriv v Sloveniji sprostilo iz vseh umetnih virov (termoelektrarne, ogrevanje, promet, industrija) v 25 letih[34]. V zadnjih 50 letih se je v slovenskih gozdovih dodatno akumuliralo vsaj 50 milijonov ton ogljika, oziroma 25 ton na prebivalca. Verjetno se s tem ne more pohvaliti nobena država na svetu!

To dejstvo bi Slovenija lahko uveljavljala kot močan argument pri mednarodnem dogovarjanju o omejevanju emisij ogljika.

Morda nam bo uspelo izkoristiti te prednosti, ki jih imamo pred svetom, da bomo uspeli zadržati pokrajino nespremenjeno do takrat, ko bo svet kot celota primoran in sposoben zaustaviti globalno ogrevanje. Žal se to celo po optimističnih napovedih ne bo zgodilo prej kot v petdesetih letih. Ker pa je to relativno kratek čas s stališča razvoja gozda, nam bo morda uspelo slovensko pokrajino ohraniti skoraj nespremenjeno.

Seveda pa se morata izpolniti dve predpostavki. Prva je, da bomo problemu v Sloveniji namenili kar največjo pozornost pa tudi sredstva. Druga predpostavka je, da bo dosežen globalni dogovor o preprečevanju klimatskih sprememb, ki jih povzroča človek, in da bo tudi imel pozitivne posledice vsaj že čez petdeset let. Če kateri od teh pogojev ne bo izpolnjen, se bo pokrajina v Sloveniji nezadržno začela spreminjati, in bo taka ostala več stoletij.

Najbolj boleče spremembe pokrajine bi se zgodile tam, kjer se že sedaj borijo s podobnimi problemi: pomanjkanjem vode, sušo, vetrom, erozijo in hudourniki. Klimatske spremembe bi

prvi čutili v Primorju, na Krasu in v goratih predelih alpskega predgorja, nekoliko kasneje in v nekoliko manj izraženi obliki pa tudi drugje. Neposredno bi najbolj trpele tiste gospodarske panoge, ki so močno odvisne od narave: kmetijstvo, gozdarstvo, turizem. Pomanjkanje vode in surovin pa bi čutile tudi številne druge: energetika, lesna in živilska predelovalna industrija, itd. Posredno bi posledice čutilo celotno gospodarstvo in zato seveda tudi celotna družba. Hrana, voda in energija bi se podražile. Tudi stroške ublažitve posledic klimatskih sprememb, kot so poplave, suše, požari, viharji, bi nosilo celotno gospodarstvo. Naše življenje bi se spremenilo in močno podražilo.

Čeprav je tak scenarij dokaj črnogled, pa je pri danih predpostavkah še vedno preveč optimističen. Ne upošteva namreč političnih in ekonomskih vplivov od zunaj. Ne smemo pozabiti, da bodo sosednje države v podobnih ali še hujših škripcih kot naša. Ekonomski in politični odnosi se bodo spremenili, energija in hrana se bosta podražili po celem svetu. Močno se bo povečal pritisk migrantov iz predelov sveta, kjer bodo klimatske spremembe povzročile lakoto in druge katastrofalne posledice.

Naš scenarij tudi optimistično predpostavlja, da bodo spremembe potekale počasi in da se bodo nanje vsi segmenti gospodarstva in družbe sproti prilagajali. To bi zahtevalo velike in vsklajene investicije, ki ne bi dajale dobička. Izkušnje nas učijo, da nihče ni pripravljen investirati v okolje, dokler ga v to ne prisilijo neposredne posledice ali širši družbeni interes, izražen v obliki zakonov. Gospodarstvo in država tudi sicer delujeta zelo počasi in konzervativno, kadar se je treba odzvati na kakšne povsem nove in nepričakovane okoliščine.

Minejo lahko leta in desetletja, preden nova spoznanja sežejo v zavest ljudi in preden se to odrazi na političnih ali gospodarskih odločitvah. Zato lahko pričakujemo, da bo nastal več desetletij dolg razkorak med časom, ko se bodo pojavile prve resnejše posledice podnebnih sprememb in časom, ko bosta reagirala država in gospodarstvo. Ker se bodo negativni podnebni učinki z leti stopnjevali, bo ta razkorak vedno težje premostljiv. Problemi se bodo kopičili in vedno težje jih bo obvladovati. Z veliko verjetnostjo lahko pričakujemo, da bodo podnebne spremembe ujele družbo, državo in gospodarstvo

nepripravljene. Ukrepi bodo verjetno kasnili in bodo zato manj učinkoviti, kot če bi jih začeli izvajati pravočasno.

Slovenija je premajhna, da bi lahko sama znatno vplivala na zmanjšanje globalnega ogrevanja. Pri tem, kako močno bo in kako hitro bo potekalo, smo odvisni od drugih. Na srečo pa Slovenija spada med države, ki jih bodo podnebne spremembe relativno malo prizadele. Večino posledic bi se dalo omiliti ali preprečiti, če bi začeli pravočasno ukrepati. Kdaj in kako bomo ukrepali, pa je odvisno od nas samih.

POVZROČITELJI GLOBALNEGA OGREVANJA

Preden začnemo valiti krivdo na pretirano industrializacijo, na preveliko in nesmotrno porabo energije, na prehitro rast svetovnega prebivalstva in preden se začnemo po stari navadi spraševati, kdo je za to kriv, si moramo priti na jasno, da k pojavu globalnega ogrevanja vsak od nas prispeva nek delež. Vsak človek kot biološko bitje za svoj obstoj potrebuje življenjski prostor, določeno količino hrane in energije. Pridobivanje teh dobrin kvarno vpliva na okolje in globalno ogrevanje je samo ena od oblik tega vpliva. Medtem, ko smo si po porabi hrane ljudje približno enaki, pa se po porabi energije in življenjskega prostora močno razlikujemo.

Poraba energije je v razvitih državah nekajkrat višja kot v nerazvitih. Obratno se poraba življenjskega prostora v nerazvitih državah hitro povečuje zaradi naraščanja prebivalstva. Prispevki h globalnemu ogrevanju se zato razlikujejo po načinu in velikosti. Vsak od nas bi moral čutiti odgovornost za reševanje problema globalnega ogrevanja vsaj v tolikšni meri, kot prispeva k njegovemu nastanku. Žal se veliko ljudi niti ne zaveda, katere njihove potrebe in dejavnosti prispevajo h globalnemu ogrevanju.

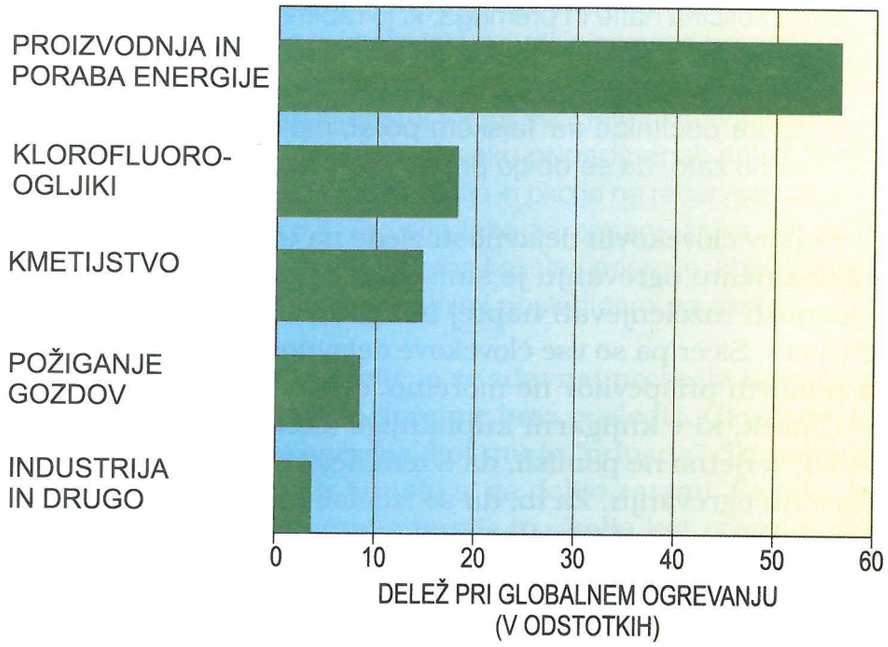
Dejavnosti, ki povzročajo pojav tople grede

Največ h globalnemu ogrevanju prispeva proizvodnja in poraba energije (55%), pri kateri se sprošča ogljikov dioksid. V to je všteta poraba vseh goriv: premoga, nafte, zemeljskega plina, lesa, itd. Drugi največji vir so fluorokloroogljiki, ki prispevajo kakih 15%. Kljub mednarodnim sporazumom o omejitvi uporabe, njihov delež ne upada in bodo znatno prispevali k pojavu tople grede še vsaj 50 let. Tretji prispevek je kmetijstvo (15%). Pri kmetijski proizvodnji se sprošča predvsem metan. Daleč največ ga nastaja na močvirnih riževih poljih, znaten delež pa tudi v živinoreji.

K pridelavi hrane lahko skupaj s kmetijstvom štejemo tudi prispevek zaradi pridobivanja novih kmetijskih zemljišč. Tu

gre predvsem za izkrčevanje in požiganje tropskih pragozdov, ki jih spreminjajo v obdelovalno zemljo[35]. Prispevek ni zanemarljiv in znaša kakih 10%. Ostale dejavnosti, od katerih je najmočnejša industrija, h globalnemu ogrevanju prispevajo še 5%.

Slika 9: Dejavnosti, ki povzročajo globalno ogrevanje[27]



Vidimo, da proizvodnja in poraba energije prispevata levji delež. Vendar je treba biti pri taki ugotovitvi previden. Večina energije se porabi za ogrevanje, v tehnoloških procesih, pri proizvodnji elektrike v termoelektrarnah in za transport. Dobršen delež te energije se porabi pri pridobivanju hrane in v industriji. To velja zlasti za električno energijo ter nafto. Če bi to energijo všteli pri proizvodnji hrane in pri industriji, bi dobili precej drugačno sliko. Prispevek energetike h globalnemu ogrevanju bi se zmanjšal, zelo pa bi se povečal delež industrije. Tudi delež zaradi pridobivanja hrane bi se povečal vsaj za kakih 5%.

Vendar pa je take prispevke težko ovrednotiti. Bolj pomembno je, da se sploh začnemo zavedati, kako je poraba energije prepletena z vsemi našimi potrebami in dejavnostmi, tudi tistimi, za katere na prvi pogled ne bi sodili.

Ali kdaj pomislimo

- da je v vsakem koščku kruha tudi nekaj nafte, ki so jo porabili pri oranju, spravilu žita, transportu, mletju in peki;
- da količina nafte in premoga, ki jo rabimo za pridobivanje energije, s katero izdelamo računalniški čip, tisočkrat presega njegovo maso;
- da za počitnice na Tajskem porabimo tisoč litrov nafte samo zato, da se do tja pripeljemo z letalom?

Delitev človekovih dejavnosti glede na to, koliko prispevajo h globalnemu ogrevanju je smiselna, če želimo vsako od teh dejavnosti razčlenjevati naprej in ugotoviti, kje bi se dalo kaj izboljšati. Sicer pa so vse človekove dejavnosti tako prepletene, da njihovih prispevkov ne moremo ločiti.

Človek, ki v knjigarni kupi knjigo (denimo o pojavu tople grede), verjetno ne pomisli, da s tem dejanjem prispeva h globalnemu ogrevanju. Za to, da so izdelali knjigo, so morali posekati drevo, porabiti določeno količino energije za izdelavo papirja in tiskanje ter za to, da so knjigo pripeljali v knjigarno. Tudi avtor knjige, založnik, delavci v tiskarni, prodajalka, njen šef in davčni inšpektor so porabili nekaj hrane in energije za to, da je človek lahko knjigo kupil. Ali lahko zaključimo, naj nehamo brati knjige, da bi zmanjšali učinek tople grede?

Taka misel je seveda absurdna. Pokazati smo samo želeli, da človek z vsemi svojimi aktivnostmi, tudi z najbolj žlahtnimi, obremenjuje okolje in prispeva h globalnemu ogrevanju. V bistvu torej ne gre samo za to, koliko energije porabi pri svojih dejavnostih, temveč koliko je zlorabi. Nadomeščanje virov energije s takimi, ki ne prispevajo h globalnemu gretju, ne bo kaj prida pomagalo, dokler bo človek energijo uporabljal nesmotrno in jo zlorabljal.

Zlorabljanje energije

O smotrni in nesmotrni rabi energije je bilo napisanega že mnogo. Prav tako se vsi zavedamo pretirane porabe energije, ki najbolj obremenjuje okolje tudi v smislu globalnega ogrevanja. Kaj torej razumemo kot "zlorabljanje" energije?

O "zlorabljanju" energije v smislu obremenjevanja okolja lahko govorimo, kadar človek porabi več energije, kot mu je pripada in več, kot je okolje lahko nudi in sprejme brez trajnih posledic. Človeku "pripada" toliko energije, kolikor je potrebuje za svoj biološki obstoj ter za svoj intelektualni in civilizacijski razvoj. Vsakemu človeku pripada enak delež. Če trošimo več, zlorabljamo energijo in okolje na račun soljudi in drugih bitij v naravi. To velja tako za posameznika kot za človeštvo v celoti, saj je celotna količina energije, ki jo lahko porabimo, omejena z globalnimi posledicami za okolje.

Celotna poraba energije je že zdavnaj presegla tisto mejo, ki jo okolje lahko nudi in sprejme brez posledic. Človeštvo kot celota torej troši več energije, kot mu jo "pripada". To počne na račun okolja in drugih bitij, ki si ga delijo z nami. Po tem, koliko prispevamo k zlorabi energije in okolja kot posamezniki, pa se seveda zelo razlikujemo.

Povprečen pripadnik moderne industrializirane in potrošniško naravnane družbe porabi desetkrat več energije kot človek v nerazviti, revni državi. Večino energije porabi za stvari, ki si jih v revnih državah niti zamisliti ne morejo. Čeprav je v ozkem ekonomskem smislu upravičen potrošiti, kar je sam ustvaril, pa gledano s stališča obremenjevanja okolja ni tako. Potrošniška družba namreč globalnih vplivov na okolje ne plačuje v tolikšni meri, kot jih ustvarja. Večino škodljivih posledic prevali na vse prebivalce planeta, tudi na tiste, ki energije in okolja ne zlorabljajo.

Zlorabljanje okolja pa ni nujno povezano s tehnološkim in ekonomskim razvojem neke družbe. Tudi nerazvite družbe lahko zlorabljajo energijo in okolje, če si obojega lastijo več, kot jim narava lahko nudi. Vzemimo za primer samo požiganje goz-

dov v nekaterih manj razvitih državah. Posledice tega početja nosimo vsi prebivalci planeta. Tudi neobrzdano rast prebivalstva bi lahko v širšem smislu označili za zlorabo energije in prostora, saj je pretirano število potomcev predvsem posledica sebičnega vztrajanja pri tradicionalnih družbenih in religioznih normah, ki se jim ljudje niso pripravljeni odpovedati.

Za ilustracijo ocenimo stopnjo "zlorabe energije" za nekaj primerov:

- Proizvodnja hrane

Hrano lahko pridobivamo na energijsko in okoljevarstveno bolj ali manj potraten način. Lahko je porabimo ravno prav ali pa preveč. Vendar se ljudje relativno malo razlikujemo po porabi hrane, če jo primerjamo z drugimi potrebami in dejavnostmi. Zato je zloraba energije pri proizvodnji hrane relativno majhna.

- Industrija

Ugotovili smo, da je za izdelavo računalniškega čipa potrebno mnogo energije. Vendar pa z uporabo računalnikov v znanosti, industriji, energetiki in drugje lahko prihranimo toliko energije, da stokrat povrne začetni vložek. Zato je zloraba energije tu zelo majhna. Seveda pa pri vseh industrijskih izdelkih ni tako. Pri nekaterih izdelkih je zloraba energije velika, zlasti pri tistih, ki so v potrošniški družbi sami sebi namen.

- Kultura

Omenili smo primer knjige. Lahko ga posplošimo na vse človekove umetniške, kulturne in znanstvene dejavnosti. Čeprav zanje neposredno ali posredno porabimo mnogo energije, pa je s tem ne zlorabljamo. Energija, ki jo prihranimo, ko znanje praktično uporabimo, je neprimerno večja od vložene. Še več: samo na tak način se ustvarjata ter širita kultura in znanje, ki lahko preprečita zlorabljanje energije in okolja.

- Turizem

Turizem si oglejmo kot primer človekove dejavnosti, ki na prvi pogled ne zlorablja energije in okolja. Če pogledamo bolj podrobno, pa vidimo, da ni tako. Ugotovili smo, da za prekooceanska potovanja, ki v bogatih državah postajajo nekaj vsakdanjega, porabimo več tisoč litrov nafte na osebo. Če k temu prištejemo še ves premog, nafto in uran, ki jih porabijo pri pridobivanju energije za izdelavo transportnih sredstev (npr. pri pridobivanju aluminija, iz katerega je izdelano letalo), zagledamo tudi energijsko "mehko" dejavnost, kot je turizem, v povsem drugačni luči.

Za izlet na Bali porabimo energijo, ki bi zadoščala za proizvodnjo hrane za več let. Pa ni treba iti na izlet na Daljni Vzhod, da bi zlorabljali energijo. Tudi na smučarskem izletu v Kranjski Gori nam to prav dobro uspeva. Nekaj energije porabimo za pot tja, pa tudi žičnic, ki nas udobno pripeljejo na vrh smučišča, ne poganja veter ali sonce.

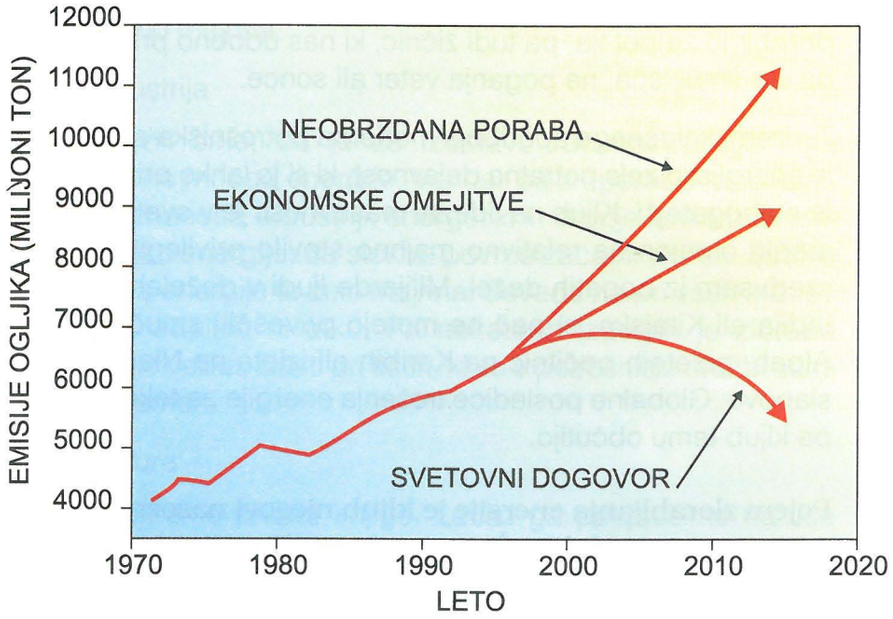
Turizem, kakršnega spodbuja moderna potrošniška družba, je energijsko zelo potratna dejavnost, ki si jo lahko privoščijo le najbogatejši. Kljub navidezni masovnosti je v svetovnem merilu omejen na relativno majhno število privilegirancev predvsem iz bogatih dežel. Milijarde ljudi v deželah kot je Indija ali Kitajska, si pač ne morejo privoščiti smučanja v Alpah, poletnih počitnic na Karibih ali izleta na Niagarske slapove. Globalne posledice trošenja energije za take izlete pa kljub temu občutijo.

Pojem zlorabljanja energije je kljub njegovi nazornosti težko kvantitativno opredeliti. Čeprav se nam intuitivno zdi, da je pridelava hrane energijsko bolj upravičena kot avtomobilske dirke, pa je v samem bistvu težko razdeliti človekove dejavnosti na koristne in nekoristne. Zato o zlorabljanju energije lahko govorimo le v primerjalni in kvalitativni obliki. Za kvantitativne ocene virov onesnaževanja s toplogrednimi plini so seveda bolj primerni količinski podatki o emisijah CO_2 in porabi fosilnih goriv.

Sproščanje plinov tople grede strmo narašča

Celotna količina sproščenega ogljika v obliki ogljikovega dioksida se iz leta v leto veča. Od 1.800 milijonov ton leta 1950 je narasla že na 6.000 milijonov ton v letu 1994. Naraščanje je skoraj premočrtno in približno sledi naraščanju industrijske proizvodnje v svetu. Strokovnjaki napovedujejo, da se bo naraščanje nadaljevalo z istim tempom še vsaj do leta 2020, če bodo o porabi fosilnih goriv odločale samo tržne zakonitosti. Tudi če bi že v devetdesetih letih prišlo do radikalne, globalne politične odločitve o omejevanju emisij CO_2, bi letno sproščanje še naraščalo do leta 2010. Žal česa takega še ne moremo kmalu pričakovati.

Slika 10: Dejanske in predvidene letne emisije CO_2[1]



Spodnja krivulja: globalni politični dogovor dosežen in udejanjen pred letom 2000.

Srednja krivulja: dogovor dosežen, vendar o emisijah CO_2 odločajo predvsem ekonomski tržni interesi (najverjetnejša opcija).

Zgornja krivulja: enaka rast kot v zadnjih letih, brez dogovora.

Priče smo šele prvim omahljivim političnim korakom v to smer. Marca 1995 je bila v Berlinu konferenca držav podpisnic Okvirne konvencije o podnebnih spremembah, na kateri so sklenili, naj se do naslednjega srečanja, ki bo l. 1997 v Kyotu, vlade dogovorijo o ukrepih za zmanjšanje emisij. Podoben sklep so sprejeli že tri leta prej na konferenci o okolju v Riu, zato se zdi, da gre bolj za diplomatsko podajanje vročega krompirja kot za resnično željo, da bi kaj storili. Do globalnega političnega dogovora je torej še daleč. In tudi ko bo dosežen, je še daleč do trenutka, ko ga bodo države, največje onesnaževalke, začele spoštovati.

Odpovedati se premogu in nafti je za gospodarstvo vsake države zelo težka in predvsem draga odločitev. Tržna logika bo zato vplivala na samo odločitev o omejevanju emisij, pa tudi kasneje, ko naj bi zaživelo v praksi. Zato lahko samo pritrdimo analitikom, da bodo vsaj še naslednjih 20 do 30 let na sproščanje ogljikovega dioksida vplivale predvsem tržne zakonitosti, kar pomeni, da se bo iz leta v leto povečevalo.

Katere države prispevajo največ?

Dogovor bo vedno teže doseči tudi zato, ker se širi krog držav, ki prispevajo znaten delež k onesnaževanju s toplogrednimi plini. Leta 1950 so razvite države prispevale kar 70% vseh emisij CO_2, leta 1994 pa samo še 40%. Prispevek držav v razvoju se je v tem času podvojil in znaša že 30%. Seveda ne smemo pozabiti da se je celotna količina letnih emisij med tem početverila: ZDA same danes spuščajo v zrak toliko ogljikovega dioksida kot leta 1950 ves svet.

ZDA so še vedno največji onesnaževalec s CO_2. Prispevajo kar 22% svetovnih emisij. Sledijo jim Kitajska s 14% svetovnih emisij, Rusija z 8%, Japonska s 5%, itd. Samo te štiri države prispevajo polovico svetovnih emisij!

Največje onesnaževalce lahko razdelimo v dve skupini: industrijske države in države z velikim številom prebivalcev. V prvo skupino spadajo ZDA, Japonska, Nemčija, Velika Britanija, itd. Zanje je značilna velika poraba energije na prebivalca, ki je posledica industrializacije in visokega življenjskega standarda.

Tabela 3: Letne emisije CO_2 v 13 državah, ki ga sproščajo največ. Njihov skupni delež znaša 70% svetovnih emisij[36]. Podana je tudi primerjava s Slovenijo[34].

država	skupne emisije l.1994 (milijoni ton ogljika)	emisije na prebivalca (tone ogljika)	razlika v emisijah od 1990 do 1994 (%)
ZDA	1371	5,26	4,4
Kitajska	835	0,71	13,0
Rusija	455	3,08	-24,1
Japonska	299	2,39	0,1
Nemčija	23	2,89	-9,9
Indija	222	0,24	23,5
Velika Britanija	153	2,62	-0,3
Ukrajina	125	2,43	-43,5
Kanada	116	3,97	5,3
Italija	104	1,81	0,8
Francija	90	1,56	-3,2
Poljska	89	2,31	-4,5
Južna Koreja	88	1,98	43,7
.....			
Slovenija	3.6	1,80	2,9

V drugo skupino lahko uvrstimo Kitajsko, Indijo in Južno Korejo. Za te države je značilna majhna poraba energije na prebivalca, nizka življenjska raven, hitro naraščanje prebivalstva, pa tudi hitra rast industrijske proizvodnje.

Lahko bi govorili še o tretji skupini držav, to je o tistih, ki so bile del bivše Sovjetske zveze ali so spadale pod njen politični vpliv. Skupna značilnost teh držav je velika poraba energije zaradi zastarele tehnologije, standard nekje vmes med bogatimi industrijskimi državami in državami v razvoju ter stagnacija števila prebivalcev. Čeprav so te države (zlasti Rusija) v preteklosti igrale odločilno vlogo pri svetovnem onesnaževanju, pa se njihov prispevek zmanjšuje, deloma zaradi hude gospodarske krize ob razpadu starega sistema, deloma pa že tudi zaradi

prestrukturiranja njihovih gospodarstev. Po svojih značilnostih so zato bliže industrializiranim kot nerazvitim državam.

Slovenija je po emisijah CO_2 na prebivalca približno na evropskem povprečju, skupaj z Italijo, Francijo in drugimi razvitimi državami[37]. Zaskrbljujoče pa je hitro naraščanje emisij v zadnjih letih. Podatek v tabeli se nanaša na obdobje 1990-1994, ko je zaradi padca industrijske proizvodnje v Sloveniji emisija ogljikovega dioksida celo upadla. V zadnjih letih pa ponovno hitro narašča, v letu 1994 se je povečala za 1,4%. To je približno toliko, kot se je v razvitih evropskih državah povečala v petih letih.

Ekonomske posledice zmanjševanja emisij

Nekatere industrializirane države so v zadnjem času začele celo zmanjševati emisije ogljikovega dioksida ali jih vsaj močno ne povečujejo. To je bolj posledica zniževanja stroškov za energijo v ceni blaga, v kar so gospodarstva teh držav prisiljene zaradi usihajoče konkurenčnosti, kot pa kakšne sistematične in načelne ekološke politike.

Po drugi strani pa dežele v razvoju svoj delež k emisiji skokovito povečujejo. Prednjači Južna Koreja, ki je v štirih letih povečala izpuste ogljikovega dioksida skoraj za polovico. Vendar sta bolj pomembni Kitajska in Indija, čeprav sta povečali emisijo CO_2 "samo" za 13% oziroma 23%, saj v njih živi skoraj polovica svetovnega prebivalstva. Če se bo taka tendenca nadaljevala, bosta v nekaj letih prevzeli vodstvo, pa tudi največjo odgovornost za reševanje problema globalnega ogrevanja.

> Malo poenostavljeno lahko zaključimo, da je reševanje problema globalnega ogrevanja odvisno od dveh držav: ZDA in Kitajske. Ostale države bodo nanju lahko učinkovito vplivale šele potem, ko bodo pometle pred lastnim pragom.

V povprečju danes znaša emisija ogljika približno eno tono na prebivalca Zemlje na leto. Če se sprijaznimo s podnebjem, kakršnega imamo sedaj, bi bila to lahko sprejemljiva omejitev za emisije v bodoče. Če bi sprejeli to omejitev, bi morale razvite

države (tudi Slovenija!) emisije zmanjšati za približno trikrat, države v razvoju pa bi jih lahko še povečale.

Zelo verjetno bo ekonomska logika države v razvoju prisilila, da bodo emisije povečale do te omejitve ali še čez. Zato bo razviti svet prisiljen izpolniti svoj del obveznosti v celoti, če bo resnično želel zaustaviti globalno ogrevanje. Zmanjšanje emisij za trikrat v relativno kratkem času pa je zelo hud zalogaj tudi za ekonomsko močne države. Zaenkrat še nobena država ne razmišlja o tako radikalnem zmanjšanju. V najboljšem primeru so nekatere razvite države pripravljene na 20% znižanja emisij CO_2 v naslednjih 10 do 20 letih.

Povprečen Kitajec porabi sedemkrat manj fosilnih goriv kot povprečen Američan, povprečen Indijec pa kar dvajsetkrat manj. Gospodarska rast v obeh državah je zelo hitra in lahko pričakujemo, da se bo poraba fosilnih goriv v nekaj letih tam podvojila. Kljub temu pa bo, preračunano na prebivalca, še vedno nekajkrat manjša od ameriške.

Dokler bo poraba fosilnih goriv na prebivalca v deželah v razvoju bistveno manjša od porabe v razvitem svetu, ni logično pričakovati, da jo bodo začeli zmanjševati zaradi globalnih ekoloških razlogov[38, 39]. Resne ekonomske študije namreč kažejo, da bi Kitajska utrpela kar 10% znižanje svojega bruto nacionalnega produkta (BNP), če bi znižala emisije ogljikovega dioksida samo za 20%.

Po drugi strani bi se razvitim industrijskim državam BNP zmanjšal samo za dva odstotka ali še manj, če bi emisije zmanjšali za 20%. Razvite države si to lahko brez škode privoščijo, države v razvoju pa bi desetodstotno znižanje dohodka močno prizadelo.

Ne smemo pozabiti, da gospodarsko rast držav v razvoju spremlja tudi rast prebivalstva. Povprečne življenjske razmere se zato izboljšujejo precej bolj počasi kot narašča industrijska proizvodnja in poraba energije. Če bi se razvoj upočasnil za 10%, bi to pomenilo drastično znižanje življenjskega standarda v deželah, ki so že tako na robu lakote. Zato se ne smemo čuditi, če se bo v naslednjih desetletjih poraba fosilnih goriv v deželah v razvoju še hitreje povečevala, dokler ne bo dosegla približno ravni porabe v razvitem svetu.

To se morda sliši utopično, saj si ne moremo predstavljati, da bi povprečen Indijec ali Kitajec lahko porabil toliko kot povprečen Evropejec. Take predstave izvirajo iz kolonialnih časov, ko je bilo samo po sebi umevno, da dvajset Indijcev dela za enega Angleža. Od tod izvira tudi ošabno prepričanje, da ima en Evropejec pravico obremeniti okolje toliko kot dvajset Indijcev ali Kitajcev.

Hiter ekonomski razvoj v deželah jugovzhodne Azije dokazuje, da so kolonialne ekonomske relacije zgodovina. Številne države stopajo po poti Japonske, ki se je v zadnjih 100 letih prebila od fevdalne, polkolonialne državice do ekonomske velesile. Industrializacija, ki je v Evropi zaznamovala devetnajsto stoletje, se v številnih deželah v razvoju dogaja danes v vsej svoji silovitosti in brutalnosti do ljudi in okolja.

Majhna poraba energije na prebivalca je v teh gospodarstvih velika komparativna prednost, saj jih razbremenjuje (vsaj v moralnem in političnem smislu) odgovornosti za globalno onesnaževanje. Stroški okolja v ceni blaga so lahko nižji kot v razvitih državah, ki si ne morejo privoščiti, da bi okolje še bolj obremenjevale. Tudi to je razlog, zakaj ni pričakovati, da bi dežele v razvoju prostovoljno omejile porabo fosilnih goriv, še preden dosežejo nivo razvitih držav.

Realno lahko pričakujemo, da se bo emisija ogljikovega dioksida v deželah v razvoju hitro povečevala, dokler ne bo (preračunano na prebivalca) dosegla vsaj tretjine ali polovice količine, ki je danes značilna za razvite države. V svetovnem merilu to pomeni ogromno povečanje. Če bi dežele v razvoju povečale porabo fosilnih goriv na prebivalca na tretjino ameriške, bi v celoti izpuščale v zrak toliko ogljikovega dioksida, kot ga danes cel svet. Ker tudi razviti svet ne bo bistveno zmanjšal emisij, se bo povečevanje sproščanja ogljikovega dioksida nadaljevalo s podobno hitrostjo kot doslej.

KAKO ZAUSTAVITI GLOBALNO OGREVANJE?

Globalno ogrevanje ni tehnološki problem, saj obstajajo številne tehnične možnosti, s katerimi bi ga lahko odpravili. Globalno ogrevanje je, podobno kot zlorabljanje okolja nasploh, ekonomsko-politični ali, bolje rečeno, globalni družbeni problem. Večina strokovnjakov vidi rešitve predvsem v ustrezni zakonodaji in davčni politiki, s katero naj bi omejili porabo fosilnih goriv. Vendar, kako priti do takih zakonov, če proti njim delujejo neposredni ekonomski interesi, ki se jim nismo pripravljeni odreči niti kot družba niti kot posamezniki? Da bi to razumeli, se moramo problema lotiti globlje, v samem bistvu obstoja človeka kot biološkega in družbenega bitja.

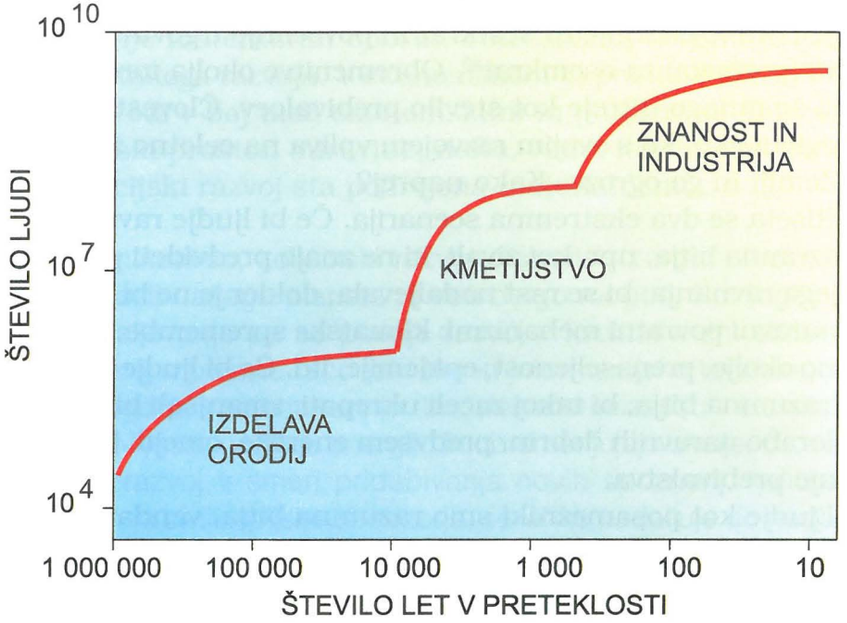
Človekove potrebe po energiji naraščajo

Globalno ogrevanje je v bistvu posledica človekove želje po nenehnem razvoju, rasti in širitvi, ki se izraža v vedno večji porabi vseh mogočih dobrin, v naraščanju števila prebivalcev in osvajanju novih ozemelj. Vsa bitja imajo tak nagon, ki je le ena od oblik nagona za ohranitev vrste. Pri drugih bitjih različni omejevalni povratni mehanizmi skrbijo, da se njihova vrsta ne razširi preveč in ogrozi sebe in drugih. Na ta način narava skrbi, da se ohrani in razvija življenje kot celota.

Naravni povratni mehanizmi so pomanjkanje hrane, vode, prostora, plenilci, bolezni, itd. Tudi človek je bil v svoji evolucijski zgodovini dolgo časa podvržen tem mehanizmom, ki so omejevali njegovo rast. Zaradi razvoja tehnologije, medicine in znanosti pa se je njihov vpliv začel zmanjševati. Vsak nov korak v razvoju tehnologije in znanosti je povzročil naraščanje števila ljudi in njihovih potreb.

Preden je človek začel uporabljati orodje, je na Zemlji živelo vsega kakih 100.000 pripadnikov te nove živalske vrste[40]. Njihovo število je bilo zelo omejeno, ker v boju za hrano in preživetje z drugimi živalskimi vrstami niso imeli kakšnih posebnih prednosti. Prva taka velika prednost je bila uporaba orodja in orožja. Človek se je iz plena prelevil v plenilca - lovca, pridobil

Slika 11: Naraščanje svetovne populacije kot posledica tehnološkega razvoja



si je lahko več hrane, osvojil je lahko nova ozemlja. Celotna svetovna populacija se je dramatično povečala za približno desetkrat na kakšen milijon naših prednikov.

Naslednji tak skok je povzročilo poljedeljstvo. Človek je postal manj odvisen od slučajnih naravnih virov, obdelana zemlja je lahko preživela mnogo več ljudi kot neobdelana. Celotno število prebivalcev na Zemlji se je kar postoterilo, vendar, gledano z današnjimi očmi, še ni bilo veliko, samo kakih 100 milijonov.

Zadnji veliki skok, ki bo ponovno postoteril populacijo, se je začel dogajati pred kakimi 200 leti in še vedno traja. Povzročil ga je hiter razvoj znanosti in tehnologije. V razvitih državah se je naraščanje prebivalstva že ustavilo, ker je družba dosegla ravnovesje pri novih pogojih, ki jih narekuje moderna znanost in tehnologija. V ostalih delih sveta se to še ni zgodilo, zato število prebivalcev še vedno narašča. V naslednjih petdesetih letih se bo tako svetovna populacija še podvojila in

dosegla kakih 10 milijard.

Strokovnjaki računajo, da vsako podvojitev prebivalstva spremlja povečanje kmetijske proizvodnje za štirikrat, povečanje porabe energije za šestkrat in povečanje trgovinske menjave (prometa) za osemkrat[40]. Obremenitve okolja torej naraščajo še mnogo hitreje kot število prebivalcev. Človeštvo je že doseglo točko, ko s svojim razvojem vpliva na celotno življenje na Zemlji in ga ogroža. Kako naprej?

Rišeta se dva ekstremna scenarija. Če bi ljudje ravnali kot nerazumna bitja, npr. kot živali, ki ne znajo predvideti posledic svojega ravnanja, bi se rast nadaljevala, dokler je ne bi zaustavili naravni povratni mehanizmi: klimatske spremembe, zastrupljeno okolje, prenaseljenost, epidemije, itd. Če bi ljudje delovali kot razumna bitja, bi takoj začeli ukrepati: zmanjšali bi porabo in zlorabo naravnih dobrin, predvsem energije, omejili bi naraščanje prebivalstva.

Ljudje kot posamezniki smo razumna bitja, vendar se kot celota, kot vrsta, obnašamo bolj podobno nerazumnim bitjem. Vse izkušnje iz zgodovine nas učijo, da se človeštvo ni nikoli odzvalo na pretečo nevarnost, dokler ni krepko občutilo njenih posledic. Zato se bo verjetno razvoj človeštva nadaljeval po poti, ki bo bliže prvemu scenariju kot drugemu.

Prej ali slej pa se bo človek moral ukloniti naravi in se začeti obnašati kot razumno bitje. To se bo verjetno zgodilo šele potem, ko bo človeštvo v resnici izkusilo vso težo posledic globalnega ogrevanja in onesnaževanja. Kako od tam naprej? Ali naj se človek odpove razvoju in se vrne v tehnološko preteklost?

Razvoj v materialnem smislu je omejen

Evolucija nas uči, da se nobeno bitje, tudi človek, razvoju ne more odpovedati, saj je razvoj povezan s samim smislom obstoja življenja. Tudi zgodovina človeške družbe kaže, da so civilizacije, ki se niso mogle več razvijati, propadle. Vendar pa se bosta morala narava in način človekovega razvoja spremeniti.

Doslej je bil razvoj človeštva predvsem kvantitativne narave, podobno kot pri drugih bioloških vrstah. Zanj je značilno

naraščanje števila osebkov in njihovih potreb do skrajnih meja naravnih danosti. V družbenem smislu se tak razvoj kaže v sistemu vrednot, ki usmerja posameznika v prizadevanje za pridobivanje materialnih dobrin. Potrošniška družba je skrajni primer takega razvoja. V ekonomskem in političnem smislu tak razvoj vodi v boj med ekonomskimi in političnimi subjekti za življenjski prostor, surovine, nafto, vodo, itd. Intelektualni in civilizacijski razvoj sta podrejena materialnemu.

> Kvantitativen, količinski razvoj človeštva zaradi omejenih danosti našega planeta ni več dolgo mogoč. Kot logično nadaljevanje pa se ponuja razvoj v kvalitativnem smislu. Razvoj moderne računalniške in informacijske tehnologije omogoča racionalizacijo in "dematerializacijo" številnih dejavnosti, ki trošijo energijo in obremenjujejo okolje. Človekov razvoj v smeri pridobivanja novih spoznanj, kulture, širjenja civilizacijskega obzorja, se lahko nadaljuje do neslutenih razsežnosti, ne da bi se poraba energije in okolja povečala. Razvoj, ki je doslej potekal v materialnem prostoru, se lahko nadaljuje v nematerialnem prostoru znanja in informacij. Prvi obrisi tega novega globalnega informacijskega prostora se že kažejo v mednarodnih računalniških mrežah.

Razvoj se seli v informacijski prostor

V sodobnem informacijskem prostoru je informacija prevzela vlogo, ki jo ima blago v materialnem svetu. Informacije in znanje se ustvarjajo, patentirajo, prodajajo, posredujejo, posedujejo, izmenjujejo, ponarejajo, kradejo, itd. Zanje veljajo enake ekonomske zakonitosti kot za materialno blago. Bolj pomembno pa je to, da ustvarjanje v informacijskem prostoru lahko človeku nudi enako zadoščenje kot ustvarjanje v materialnem svetu. To ni iznajdba modernega računalniškega časa. Do tega spoznanja so že davno prišli veliki misleci, znanstveniki, umetniki in vsi, ki cenijo znanje in duhovne dosežke bolj od materialnih. Intelektualni razvoj se od nekdaj dogaja v nematerialnem, informacijskem prostoru.

Današnji računalniško podprti informacijski prostor je samo del mnogo širšega informacijskega prostora človekovega intelektualnega ustvarjanja. Kdor spremlja bliskovit razvoj informacijskega prostora (računalniški navdušenci ga imenujejo cyberspace), lahko vidi, da že danes desetine milijonov (predvsem mladih) ljudi v njem preživijo več ur na dan. Pojavljajo se resna vprašanja in dileme: kako življenje za računalnikom vpliva na biološki in psihični razvoj človeka, kakšen vpliv bo imel informacijski prostor na socialni razvoj posameznika in družbe kot celote, itd. Vendar na ta vprašanja na tem mestu niti ne bomo poskušali odgovoriti, ker so preveč zapletena. Dovolj je, če ugotovimo, da prehod v informacijsko družbo sprejemamo kot dejstvo, nekateri sicer z odporom, drugi z navdušenjem, podobno, kot se je dogajalo pri prehodu v industrijsko dobo.

Še bolj je pomembno, da ljudje sprejemajo tudi nove vrednote, ki so manj materialne od vrednot industrijske družbe: željo po novem znanju-informaciji, zmožnost komuniciranja, ustvarjanje in posedovanje znanja-informacije, itd. Zaradi vse lažjega komuniciranja vrednote postajajo globalne. Politične, ekonomske, rasne, verske, kulturne, jezikovne in vsemogoče druge razlike med ljudmi postajajo manj pomembne. Možnost dogovarjanja o skupnih problemih, kot je globalno ogrevanje, se povečuje. Bolj kot racionalizacija industrijske proizvodnje in energetike s pomočjo računalništva in novih tehnologij prav nastajanje nove, globalne informacijske družbe vliva upanje, da se bo razvoj nadaljeval v smeri, ki ne vodi v ekološko uničenje.

Žal pa je do idealne, postindustrijske, informacijske družbe še daleč. Samo maloštevilne industrijske razvite države imajo realne pogoje, da se ji v nekaj desetletjih približajo. Države v razvoju, ki postajajo največji porabniki fosilnih goriv, so celo šele na začetni stopnji industrializacije. Zato ne smemo računati, da se bodo problemi pretirane porabe fosilne energije in globalnega ogrevanja rešili kar sami od sebe zaradi razvoja informatike in novih tehnologij. Reševati jih je treba na načine, ki so značilni za industrijsko družbo. Najpomembnejši, realno izvedljiv način zmanjšanja porabe fosilnih goriv je njihova bolj racionalna raba in nadomeščanje z drugimi viri energije, ki ne povzročajo globalnega ogrevanja.

Svetovna poraba energije se bo še povečala

Celotna svetovna poraba energije je enakovredna približno 25 milijonom ton nafte na dan[1]. Od tega je kar 85% odpade na fosilna goriva (premog 25%, nafta 40%, plin 20%) in le 15% na druge vire (jedrska energija 5%, hidroenergija in ostali obnovljivi viri 10%).

V naslednjih 20 letih se bo poraba povečevala. Možna sta dva skrajna scenarija:

1. Na porabo fosilnih goriv bodo vplivale samo ekonomske zakonitosti. Celotna poraba energije se bo povečala na ekvivalent 35 milijonov ton nafte na dan oziroma za približno 40%, pri čemer se delež fosilne energije ne bo bistveno spremenil. Posledica: sproščanje CO_2 se bo povečalo za 40%.

2. Poraba fosilnih goriv bo omejena na osnovi političnega dogovora o omejevanju emisij CO_2, ki ga bodo vse države tudi spoštovale. Celotna poraba energije bi se povečala za 20%, poraba plina in obnovljivih virov bi se vsaj podvojila, premoga in nafte pa ustrezno zmanjšala. Posledica: sproščanje CO_2 bo ostalo približno na današnji ravni.

Verjetno bodo v naslednjih 20 letih o porabi energije še odločale predvsem ekonomske zakonitosti, realizacija političnih odločitev pa bo majhna. Zato bo dejanska poraba in sproščanje ogljika nekje vmes med obema scenarijema.

Primerjava energijskih virov

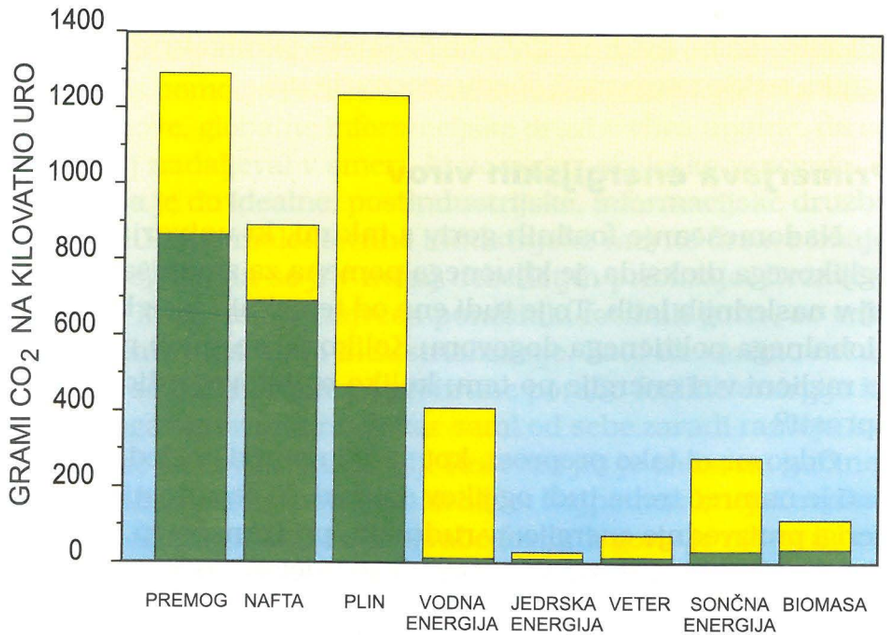
Nadomeščanje fosilnih goriv s takimi, ki ustvarjajo manj ogljikovega dioksida, je ključnega pomena za zmanjšanje emisij v naslednjih letih. To je tudi ena od temeljnih točk bodočega globalnega političnega dogovora. Koliko pa se sploh razlikujejo različni viri energije po tem, koliko ogljikovega dioksida se sprosti?

Odgovor ni tako preprost, kot se zdi na prvi pogled. Upoštevati je namreč treba tudi ogljikov dioksid, ki se sprosti v celotni verigi proizvodnje energije: v rudnikih, pri transportu, pri izdelavi gradbenih materialov, iz katerih so izdelani energijski objekti. Tako ugotovimo, da se nekaj ogljikovega dioksida sprosti

celo zaradi proizvodnje elektrike v hidroelektrarnah. Gledano fizikalno pri pretvarjanju mehanske energije vode v električno ogljikov dioksid seveda ne nastaja. Sprošča pa se takrat, ko izdelujejo cement, iz katerega je izdelan jez, ali ko z gradbenimi stroji pripravljajo dno jezera. Tudi ko je hidroelektrarna gotova, še prispeva h kopičenju toplotnih plinov. Novejše raziskave namreč kažejo, da so akumulacijska jezera pomemben izvir metana.

Pomembno je tudi, kakšno energijo dobimo kot končni izdelek. Primer: Za proizvodnjo ene kilovatne ure električne energije v termoelektrarni porabimo trikrat več premoga in sprostimo trikrat več CO_2 kot za proizvodnjo ene kilovatne ure toplotne energije v toplarni ali doma v kaminu, ker je pač izko-

Slika 12: Primerjava količine CO_2, ki se sprosti pri proizvodnji električne energije iz različnih energijskih virov (v gramih CO_2 na kilovatno uro). Upoštevana je cela energijska veriga. Zaradi različne kvalitete in uporabe energijskih virov ter zaradi različnih tehnoloških pogojev in načinov za njihovo izkoriščanje, se ocene za isti vir lahko razlikujejo. Za vsak vir je podana najnižja in najvišja ocena[41].



ristek pri pretvarjanju toplotne energije v električno v termoelektrarni samo kakih 30%. Zato so ocene o sproščanju CO_2 po energijskih virih zelo kompliciranе in se med seboj močno razlikujejo glede na to, kakšno verigo proizvodnje energije predpostavimo.

Čeprav je sproščanje CO_2 močno odvisno od cele verige dejavnosti pri pridobivanju energije, pa lahko v grobem zaključimo, da fosilna goriva sprostijo vsaj desetkrat toliko ogljikovega dioksida na enoto energije kot katerikoli drug vir. Fosilna goriva se glede na sproščanje CO_2 razlikujejo med seboj predvsem zaradi različne kemijske sestave. Prednjači premog, ki ga sestavljajo ogljikovodiki z največjim deležem ogljika. Pri sežigu nastaja pretežno ogljikov dioksid. Nafta in zemeljski plin sta sestavljena iz ogljikovodikov, ki vsebujejo več vodika. Pri sežigu se sprošča manj ogljikovega dioksida in več vode, pa tudi kurilna vrednost na enoto mase je večja.

Zemeljski plin je najboljše fosilno gorivo

Gledano samo s kemijskega stališča, bi se pri pridobivanju energije iz zemeljskega plina sproščalo približno trikrat manj ogljikovega dioksida kot iz premoga. Zato večina strategij za zmanjšanje emisij CO_2 temelji na zamenjavi premoga z zemeljskim plinom. Zamenjava je zlasti učinkovita, če se plin uporablja za ogrevanje.

Vendar nekatere analize kažejo, da je lahko učinek zemeljskega plina na globalno ogrevanje precej večji, če upoštevamo vse prispevke: izgube na črpališčih, gradnjo plinovodov, itd. To zlasti velja v primerih, ko je porabnik energije blizu premogovnika in daleč od nahajališča plina. V Evropi in tudi pri nas so zgradili številne termoelektrarne tik ob premogovnikih. Če jih želimo predelati na plin, moramo zgraditi več tisoč kilometrov dolg plinovod iz Alžirije ali iz Sibirije. Izgradnja plinovoda pa ni draga samo v finančnem smislu, ampak tudi v smislu porabe energije, materialov in sproščanja CO_2.

Nadomeščanje premoga z zemeljskim plinom se kljub temu kaže kot edina realna možnost za zmanjšanje emisij ogljikovega dioksida v bližnji bodočnosti. Zemeljski plin ima pred pre-

mogom namreč tudi to prednost, da praktično ne povzroča onesnaževanja z žveplovim dioksidom, sajami in pepelom. Zaradi tega so v razvitih državah in tudi pri nas[37] začeli uvajati zemeljski plin že pred desetletji, čeprav je začetna investicija visoka. Če se osnovnemu motivu, zmanjšanju onesnaževanja, pridruži še težnja po zmanjšanju emisij ogljikovega dioksida, bo plinifikacija postala še bolj privlačna in bo hitreje potekala.

Kljub svojim dobrim lastnostim pa je zemeljski plin fosilno gorivo. Nadomeščanje enega fosilnega goriva z drugim, ki je sicer nekoliko boljše, ne more biti dolgoročna rešitev, če se bo poraba fosilnih goriv povečevala. Poraba fosilnih goriv se bo v naslednjih 30-40 letih podvojila, celo če se bo nadaljevala z manjšim tempom kot doslej. Preprost račun pokaže, da bi se tudi emisije CO_2 povečale za dvakrat, čeprav bi povsem nadomestili premog in nafto z zemeljskim plinom.

Vendar pa je povsem nerealno pričakovati, da bi se to zgodilo. Morda bo razvitim državam uspelo zadržati porabo premoga in nafte na današnji ravni, povečanje porabe energije pa kriti s plinom. Državam v razvoju pa ne bo uspelo niti to, temveč bodo najverjetneje potrojile ali početverile tako porabo premoga in nafte kot plina. Zato je glorificiranje zemeljskega plina kot energijskega vira 21. stoletja, ki lahko z enim zamahom odpra-vi vse ekološke probleme, samo propagandna poteza in nič več.

Zmanjševanje porabe fosilnih goriv

Dolgoročna rešitev problema globalnega ogrevanja je samo zmanjševanje porabe fosilnih goriv. To se lahko zgodi na dva načina: z racionalno rabo in zmanjševanjem porabe energije nasploh ali z nadomeščanjem fosilnih virov z drugimi.

O prvi možnosti smo že govorili. Ugotovili smo, da je problem pretirane in potratne rabe energije predvsem problem razvoja in vrednot celotne človeške družbe, čeprav se morda navzven vidi kot tehnološki in ekonomski problem. V zadnjih desetih letih se kar vrstijo raziskave na področju učinkovite rabe energije in materialov. Vsak dan se pojavljajo bolj varčni in bolj "okolju prijazni" modeli gospodinjskih strojev, ogrevalnih in klimatskih naprav, avtomobilov, letal, motornih čolnov, itd. Pa s tem res

prihranimo kaj energije?

Vzemimo za primer avtomobil. V zadnjih letih lahko kupimo avtomobile, ki porabijo kakih 30% manj goriva kot starejši modeli. Kljub temu je poraba goriva povsod po svetu narasla, ker avtomobilski promet narašča hitreje kot se razvija tehnologija. Rešitev torej ni samo v iskanju bolj varčnih rešitev, saj imajo svoje meje, ki smo jim z moderno tehnologijo že kar blizu. Dolgoročna rešitev je v odgovoru na vprašanje, kako spremeniti naše življenjske navade, da bi enako ali celo bolj polno živeli tudi brez energijsko razsipnih igračk moderne tehnologije.

Zelo naivno pa bi bilo vso krivdo naprtiti samo moderni tehnologiji. Dobršen del je nosijo tudi nekatere tradicionalne, tisočletja stare družbene vrednote, ki nas v modernem prenaseljenem svetu začenjajo ogrožati. Kako rešiti problem pretiranega naraščanja prebivalstva, če ostane odnos do načrtovanja družine in števila potomcev enak kot pred tisočletji, ko je bilo na Zemlji stokrat manj ljudi? Kako prepričati, recimo, povprečno indijsko družino, da bi bili lahko enako ali bolj srečni, če bi imeli tri otroke kot če jih imajo deset? To pa so že sociološka, religiozna in morda tudi filozofska vprašanja.

Posvetimo se raje bolj tehnološkim aspektom zmanjševanja porabe fosilnih goriv, to je nadomeščanju z nefosilnimi viri energije. Najpomembnejši viri energije, ki ne prispevajo znatno h globalnemu ogrevanju, so vodna energija, jedrska energija, biomasa, sončna energija in energija vetra. Fosilna goriva se uporabljajo za proizvodnjo električne energije, kot pogonsko gorivo in za ogrevanje. Od vrste uporabe so tudi odvisne tehnološke možnosti za nadomeščanje fosilnih goriv.

ELEKTRIČNA ENERGIJA

Oglejmo si najprej proizvodnjo električne energije. Današnja tehnologija omogoča tri načine pridobivanja elektrike, ki so si med seboj ekonomsko približno enakovredni: v termoelektrarnah na fosilna goriva, v jedrskih elektrarnah in v hidroelektrarnah. Ostali načini so mnogo dražji ali pa temeljijo na tehnologiji, ki bo široko uporabna šele v bodočnosti. Omenimo

samo sončne elektrarne, elektrarne na veter in energijo morja ter fuzijske elektrarne, ki pa so odmaknjene še daleč v bodočnost.

Največ električne energije proizvedejo klasične termoelektrarne na fosilna goriva. Na drugem mestu so hidroelektrarne, na tretjem pa jedrske, katerih delež se povečuje.

Hidroelektrarne

V večini razvitih držav je hidroenergija že skoraj v celoti izkoriščena, saj se je razvoj elektroenergijskih sistemov začel prav s hidroelektrarnami. Tam hidroenergija v bodoče ne more nadomestiti termoelektrarn. V nekaterih državah je vodni potencial še relativno neizkoriščen (npr. Kitajska, Kanada, Brazilija, Rusija, države Jugovzhodne Azije). Vendar imajo te države kot nalašč v izobilju tudi drugih energijskih virov, tako da o izbiri odločajo predvsem ekonomski interesi.

Sliši se protislovno, vendar postaja gradnja hidroelektrarn vse manj privlačna za investitorje tudi zaradi okoljevarstvenih razlogov. Izgradnja velike hidroelektrarne je zelo velik poseg v prostor. Na enoto proizvedene moči hidroelektrarna "porabi" od desetkrat do tisočkrat toliko prostora kot termoelektrarna. V naseljenih področjih je zelo težko pridobiti soglasje lastnikov zemljišč, da jih odstopijo za gradnjo jezu ali akumulacijskega jezera in da se sami morda celo preselijo kam drugam. To gre toliko težje, čim bolj je družba demokratična in ekološko osveščena.

V razvitih državah javno mnenje vedno bolj nasprotuje velikim posegom v prostor, pa če so še tako ekonomsko upravičeni. Če je država poleg tega še demokratična, kar pomeni, da se spoštuje volja večine, so taki projekti povezani z dolgotrajnim prepričevanjem javnosti ter pridobivanjem soglasij in dovoljenj. Čas izgradnje velikih hidroelektrarn v ZDA in Evropi je bil čas skrajno liberalističnih ali totalitarnih režimov, npr. čas stalinizma v Sovjetski zvezi. Danes velike hidroenergijske projekte načrtujejo le še tam, kjer je interes posameznika še vedno povsem podrejen interesu države, npr. na Kitajskem. Tam so začeli graditi gigantsko hidroelektrarno na Rumeni reki, zaradi katere se bo moralo preseliti več milijonov ljudi. V takem primeru je res težko pretehtati, kaj je bolje: povečano onesnaženje in globalno ogrevanje, če bi zgradili termoelektrarno, ali stotisoči kvadratnih kilometrov potopljene plodne zemlje in milijoni preseljenih ljudi, če bi zgradili hidroelektrarno.

Majhne hidroelektrarne, o katerih se pri nas mnogo govori, ne morejo znatno nadomestiti termoelektrarn. Tipična moč majhne elektrarne je podana s pretokom in izkoriščenim padcem vodotoka. Ker so male elektrarne pri nas predvsem na potokih in manjših rekah z majhnim padcem, ki so običajno hudourniške narave, je njihova tipična letna povprečna moč od 10 do 100 kilovatov. Tipična termoelektrarna pa ima moč od 100.000 do 1.000.000 kilovatov. Da bi nadomestili eno samo termoelektrarno, bi morali zgraditi vsaj tisoč majhnih hidroelektrarn. Male elektrarne torej ne bodo rešile problema globalnega ogrevanja.

V zvezi s klimatskimi spremembami imajo zanimivo posredno funkcijo. S svojimi majhnimi, a številnimi vodnimi zajetji uravnavajo pretok, saj akumulirajo vodo v sušnih obdobjih in jo zadržujejo, kadar je padavin preveč. Zlasti pomembno je, da zadržujejo vodo majhnih vodotokov blizu izvirov, kjer jo lahko veliko bolj učinkovito izkoristimo kot v velikih akumulacijskih jezerih.

Male elektrarne lahko delujejo tudi na biomaso, predvsem na lesne odpadke, veje, lubje, slamo, itd. Za Slovenijo, ki je gozdnata dežela, bi bile male termoelektrarne lahko bolj zanimive kot male hidroelektrarne. Tipična moč takih malih elektrarn bi bila lahko precej večja od vodnih, tako da bi bil njihov prispevek v elektroenergijski bilanci kar opazen. Pri današnji tehnologiji pa je njihova pomanjkljivost zelo slab izkoristek. Cena kuriva mora biti zato izredno nizka, da se investicija izplača. Če se odpadna toplota izkorišča še za ogrevanje naselja, industrijskega ali kmetijskega obrata, je naložba že bolj privlačna. To dokazujejo primeri vaških kombiniranih toplarn-elektrarn na lesne odpadke v Avstriji.

Hidroelektrarne ne morejo nadomestiti električne energije iz termolektrarn, ker so vodni viri povečini že izkoriščeni. Tudi alternativni obnovljivi viri energije kot je biomasa, izkoriščanje

vetra ali bibavice, pa tudi sončna energija, so tehnološko še premalo razviti in predragi, da bi v bližnji bodočnosti prispevali znaten delež. V dolgoročni perspektivi je drugače, saj se prav obnovljivi viri kažejo kot edina sprejemljiva alternativa obstoječim fosilnim gorivom. Zato se bomo k nekaterim od njih, zlasti k sončni energiji, še povrnili.

Jedrska energija

Energijski vir, ki bi v principu lahko povsem nadomestil fosilna goriva pri pridobivanju elektrike v relativno kratkem času, je jedrska energija[42, 43]. Čeprav je to tehnološko izvedljivo, pa ni verjetno, da se bo tako tudi zgodilo. Uporabe jedrske energije namreč ne moremo presojati z enakimi merili, kot veljajo za druge energijske vire. Poleg ekonomskih, tehnoloških in ekoloških kriterijev, ki pri drugih energijskih virih v celoti opredeljujejo njihovo uporabo, moramo pri jedrski energiji upoštevati tudi psihološki in sociološki moment. Zato so predvidevanja o bodočnosti jedrske energije bolj negotova kot pri drugih energijskih virih.

Jedrska energija je zgodovinsko gledano nov vir energije. Zelo verjetno so v prazgodovini ljudje z enakim strahom in nezaupanjem začeli uporabljati ogenj in šele stoletne izkušnje so jih prepričale, da imajo od njega več koristi kot škode. Tudi v moderni dobi ljudje potrebujejo nekaj generacij, da se privadijo na novo tehnologijo. Spomnimo se samo, s kakšnim strahom in predsodki so naši pradedi sprejeli prvi vlak. Sliši se kot anekdota, vendar je takrat v resnici mnogo ljudi verjelo, da bodo potniki pri 40km/h umrli od hitrosti. Danes prevladuje mnenje, da je vlak nekaj zelo koristnega in varnega, čeprav v železniških nesrečah po svetu na leto umre na tisoče ljudi.

Šele izkušnje pomagajo razbiti predsodke, ki nastanejo zaradi nepoučenosti in nezaupanja. Tako se tudi v zavesti sodobnega človeka še ni izoblikovalo objektivno mnenje o varnosti in nevarnosti jedrske energije. Prevladuje prvinski strah pred vsem novim in nepreizkušenim, ki človeka že od nekdaj varuje v njegovem razvoju. Potrebna bodo desetletja, da se bodo ljudje na osnovi svojih lastnih izkušenj opredelili do jedrske energije in jo sprejeli ali dokončno zavrnili. Do takrat pa bo jedrska energija hvaležen predmet za različne manipulacije in propagando za doseganje pragmatično zastavljenih ciljev.

Velik problem atomske energije je tudi to, da se je človeštvo prej srečalo z njeno zlorabo kot z njeno koristno uporabo. Šele več let po eksploziji prve atomske bombe so začele delovati prve jedrske elektrarne. Nobenega energijskega vira človek tudi ne uporablja neposredno v vojaške namene: ne poznamo pojmov kot so "premogova bomba" ali "bomba na zemeljski plin". Pojem jedrske energije pa je ostal v zavesti ljudi neločljivo povezan z vojno in vsem, kar ta prinaša: ubijanje, prisilo, nedemokratičnost. Temna slika vojaške uporabe se je v teku let neločljivo oprijela tudi uporabe jedrske energije v miroljubne namene in pomagala izoblikovati pretežno odklonilen odnos javnega mnenja do jedrske energije nasploh.

Nezaupanje do jedrske tehnologije se konkretno izraža v izredno visokih tehničnih, varnostnih in okoljevarstvenih standardih, ki jih morajo v razvitih državah izpolnjevati jedrske elektrarne. Standardi so se še posebno zaostrili, ko se je po začetnem obdobju evforičnega razvoja in rastočega zaupanja v novo tehnologijo zgodilo nekaj jedrskih nesreč, kot npr. Windscale v Veliki Britaniji in Otok treh milj v ZDA. Čeprav te nesreče niso zahtevale žrtev med prebivalstvom in niso imele katastrofalnih posledic na okolje, pa so temeljito razburkale javno mnenje in streznile tudi strokovno srenjo. Postavili so nove, dodatne varnostne zahteve, ki so jih potencialni investitorji v jedrsko energijo občutili kot veliko povečanje stroškov in močan rizični element. Kjer je bilo le mogoče, so investicije preusmerili drugam, saj je vlaganje v jedrsko energijo postalo predrago in preveč tvegano.

Velik šok in zelo grenka izkušnja z jedrsko energijo je bila tudi černobilska katastrofa. Čeprav se je zgodila na jedrski elektrarni, ki je že po svoji zasnovi mnogo manj varna od velike večine drugih in čeprav se je zgodila v političnem sistemu, ki je s svojim ciničnim odnosom do človeka celo jedrsko varnost podredil "višjim" ciljem, je laična javnost po celem svetu Černobil razumela predvsem kot dokaz, da jedrska tehnologija še ni vredna zaupanja. Javno mnenje se je še bolj ohladilo

do jedrske opcije, v številnih državah, tudi naši, se je obrnilo celo izrazito proti njej. Z leti je spomin na to negativno izkušnjo sicer zbledel, ljudje se začenjajo ponovno zavedati tudi dobrih strani jedrske energije, vendar nezaupanje ostaja.

Jedrska energija ima tako kot vsi drugi viri svoje dobre in slabe strani. Običajno se poudarjajo slabe strani: možnost jedrske nesreče, problem odpadkov. Gledano povsem hladno skozi številke, je verjetnost za jedrsko nesrečo s človeškimi žrtvami zelo majhna, mnogo manjša, kot pri drugih virih energije.

Tudi izkušnje kažejo tako. Kljub tragičnim posledicam černobilske katastrofe je število ljudi, ki so umrli ali bili poškodovani v nesrečah pri pridobivanju ali uporabi drugih virov energije, veliko večje. Spomnimo se številnih velikih nesreč v premogovnikih ali na naftnih ploščadih. Samo na sibirskem plinovodu se je v nekaj letih zgodilo več hudih nesreč s številnimi človeškimi žrtvami. V eni zadnjih je zgorel cel potniški vlak, ki je zapeljal v oblak puščajočega plina.

Tudi problem jedrskih odpadkov je v bistvu mnogo manjši od problema onesnaževanja z odpadki pri izkoriščanju drugih energijskih virov. Če bi vse jedrske odpadke na svetu enakomerno raztopili v oceanih, bi bilo povečanje radioaktivnosti vode neznatno v primerjavi z njeno naravno radioaktivnostjo. Seveda nikomur ne pride na misel, da bi to storil. Pri drugih odpadkih pa je to običajna praksa. Vsak trenutek spustimo v zrak milijone ton žveplovega dioksida, prahu, saj in ogljikovega dioksida.

V bistvu jih skladiščimo in celo trajno odlagamo kar v zraku, ki ga dihamo. Velja prepričanje, da so pepel, saje, žveplov dioksid, dušikovi oksidi, ozon, ogljikov monoksid in vse ostalo, kar se sprošča pri gorenju, nekaj naravnega. Čeprav povzročajo vsako leto na milijone pljučnih in drugih obolenj, smo pripravljeni potrpeti. Prav nič nas ne vznemirja, da smo ozračje spremenili v neurejeno, smrdljivo deponijo, ki poleg vsega grozi še s klimatsko katastrofo.

Po drugi strani pa smo zelo pozorni in natančni, kadar gre za shranjevanje in odlaganje jedrskih odpadkov. In prav je tako. Samoumevno je, da morajo biti jedrski odpadki shranjeni tako, da ne vplivajo na življenjsko okolje in biosfero. Zahtevamo celo, da ne smejo priti v okolje več tisočletij po tem, ko jih trajno odložimo.

Pri onesnaževanju z jedrskimi odpadki ne mislimo samo nase, ampak celo na stotere prihodnje generacije. Vendar pa tak način razmišljanja, ki bi moral veljati za vse odpadke, uporabljamo samo pri jedrskih. Kdaj bomo tudi za odpadke drugih energijskih virov začeli uporabljati enaka merila? Kdaj se bomo začeli zavedati, da moramo tudi o podnebnih spremembah razmišljati za več generacij vnaprej?

Stroga varnostna merila pri proizvajanju jedrske energije in pri ravnanju z odpadki vplivajo na ceno jedrske elektrike. V številnih državah je jedrska elektrika mnogo dražja od tiste, pridobljene v klasičnih termoelektranah. V ZDA stane kilovatna ura elektrike iz jedrske elektrarne 8 centov, iz termoelektrarne na premog pa 3 do 4 cente.

Ministrstvo za energijo (Department of Energy) v eni svojih zadnjih analiz[43] predvideva, da bodo v ZDA v prihodnjih dvajsetih letih zaprli za 37.000 megavatov jedrskih elektrarn, kar je enakovredno približno šestdesetim krškim nuklearkam. Na novo bo treba zgraditi 230.000 megavatov kapacitet. Ker jedrska energija ni konkurenčna, bodo primanjkljaj najverjetneje pokrile termoelektrarne na premog, zaradi česar se bodo letne emisije ogljika povečale za 160 milijonov ton.

Podobno kot ZDA razmišljajo tudi druge države, ki imajo velike zaloge premoga, npr. Kitajska in Rusija, ki skupaj z ZDA tudi odločajo o ekološki prihodnosti planeta. Jedrska energija kot alternativa fosilnim virom je zanje ekonomsko neprivlačna. Za širitev uporabe jedrske energije se odločajo le države, ki nimajo drugih virov in kjer nasprotovanje javnosti ni tako izrazito, npr. Japonska, Južna Koreja, Francija, ali ki imajo zaradi premoga resne ekološke probleme, npr. Češka. Po drugi strani številne pomembne države zaradi nasprotovanja javnosti zmanjšujejo uporabo jedrske energije (npr. Nemčija), zato v globalnem merilu o nadomeščanju fosilnih goriv z jedrsko energijo v bližnji bodočnosti ne moremo govoriti.

Fuzijska energija - energija naših pravnukov

Dostikrat, kadar govorimo o nadomeščanju sedanjih termoelektrarn, pa naj si bodo jedrske ali fosilne, se kot bodoča idealna alternativa omenjajo elektrarne na termonuklearno fuzijo. V teh elektrarnah naj bi pridobivali energijo s pomočjo reakcij spajanja jeder lahkih elementov, predvsem vodika in litija. Energijski viri bi bili zato praktično neomejeni, pa tudi problemov z radioaktivnimi odpadki ne bi bilo, ker pri teh reakcijah nastaja zelo malo radioaktivnih produktov.

Ideja o termonuklearnih reaktorjih se je rodila skoraj istočasno z idejo o cepitvenih. Skoraj istočasno, že v petdesetih letih, se je začel tudi njihov tehnološki razvoj, ki pa je mnogo počasnejši od razvoja cepitvenih reaktorjev. Danes deluje na stotine komercialnih cepitvenih jedrskih reaktorjev, termonuklearni, ali fuzijski, kot jih tudi imenujemo, pa so še vedno v fazi laboratorijskega razvoja.

Vse kaže, da vsaj še trideset let fuzijski reaktorji ne bodo prišli v komercialno uporabo. Čeprav je princip delovanja znan, morajo rešiti številne tehnološke probleme, ki pa jih z današnjo znanostjo komaj obvladujemo. V ilustracijo navedimo samo en tak problem. Za vzdrževanje termonuklearne reakcije so potrebni tako močni magneti, da se lahko zmečkajo zaradi lastnih privlačnih sil, ki vladajo med navitjem in v kotvi. Izdelava takih magnetov torej ni samo zahteven elektrotehniški problem, ampak tudi problem mehanske konstrukcije magneta in problem materialov, ki bi prenesli tako hude obremenitve.

Med raziskovalci, ki delajo na področju fuzije in ki se zavedajo vseh teh problemov, kroži naslednja anekdotična ugotovitev: Razvoj fuzijskih reaktorjev je zelo stabilen. Že trideset let napovedujemo, da bo prvi fuzijski reaktor nared čez trideset let.

Tudi potem, ko bodo fuzijski reaktorji tehnološko razviti, morda ne bodo tako uporabni, kot si mislimo. Zaradi specifične tehnologije se bo izplačalo graditi samo fuzijske elektrarne z močjo nad 5.000 megavatov. Vsaka elektrarna pa lahko ekonomično in brez posebnih rezervnih kapacitet

obratuje samo v elektroenergijskem sistemu, ki lahko kompenzira njen izpad. Celotna moč vseh elektrarn v sistemu mora biti mnogo večja od posamezne enote.

Termonuklearne elektrarne bodo preprosto prevelike, in predvsem na začetku, premalo zanesljive, da bi jih v katerikoli državi zgradili večje število. Njihovo uvajanje bo zahtevalo prilagoditve v elektroenergijskem sistemu, kar bo povzročilo še dodatno kasnitev. Samo z veliko mero optimizma lahko napovemo, da bo fuzijska energija nadomestila znaten delež fosilne ali jedrske prej kot v petdesetih letih.

Sončna energija - energija naših otrok in vnukov

V naslednjih dvajsetih, tridesetih letih tudi proizvodnja elektrike iz sončne energije ne more nadomestiti fosilnih elektrarn[44]. Danes je delež sončne elektrike povsem zanemarljiv v primerjavi z ostalimi viri. Deluje le nekaj majhnih poizkusnih elektrarn. In vendar so si strokovnjaki edini, da le sončna energija lahko v znatni meri nadomesti fosilna goriva že za življenja naših otrok in vnukov.

Cena elektrike iz sončne elektrarne bo še vsaj nekaj desetletij višja kot iz premogove. Za to je več razlogov. Najpomembnejši je tudi pri sončni energiji ta, da tehnologija še ni dovolj razvita. Čeprav obstaja več tehnoloških možnosti (od elektrarn, ki delujejo kot klasične termoelektrarne, le da zbirajo sončno svetlobo z zrcali, do polprevodniških sončnih celic), pa so še daleč od poceni množične uporabe.

Najbolj obetaven je razvoj na področju svetlobnih celic, ki sončno svetlobo neposredno pretvarjajo v električno energijo. V sončni celici se svetlobna energija pretvarja v električno s pomočjo fotoelektričnega pojava, ki pa je značilen samo za določene materiale, npr. za nekatere polprevodnike.

Fotoni v polprevodnem materialu ustvarjajo proste naboje in vrzeli, zaradi česar se pojavi električna napetost. Napetost je nizka, okoli enega volta, in enosmerna, podobno kot pri bateriji digitalne ročne ure. Zato sončnih celic ne moremo kar preprosto priključiti na običajno električno omrežje, kot si nekateri naivno predstavljajo. Pred tem je treba s posebnimi

elektronskimi napravami pretvoriti enosmerno napetost v izmenično in jo transformirati na višjo napetost.

Sončna celica je zahtevna naprava, ki zahteva vrhunsko polprevodniško tehnologijo. Zato je izdelava in uporaba sončnih celic še draga in, preračunano na enoto proizvedene energije, celo ekološko vprašljiva.

Tudi izkoristek celic je relativno majhen, okrog 20%. Ob jasnem vremenu opoldne, ko je sonce najmočnejše, kvadratni meter sončne celice daje teoretično približno 200 vatov električne moči, če jo postavimo pravokotno na sončne žarke. Če pa upoštevamo še dnevno in letno gibanje Sonca, če odštejemo oblačne dneve in če predpostavimo, da celica ni ves čas postavljena pravokotno na žarke, pa dobimo za letno povprečje od 40 do 80 vatov. Spodnja ocena bi približno ustrezala naši geografski širini in podnebju, zgornja ocena pa bi veljala npr. za Saharo.

Predpostavimo, da bi ZDA vseh 230.000 megavatov dodatnih potreb po električni moči do leta 2015 hotele pokriti z elektrarnami na sončne celice, ki bi v letnem povprečju proizvajale 60 vatov električne moči na kvadratni meter. Izdelati bi morali približno štiri milijarde kvadratnih metrov sončnih celic. Taka elektrarna bi se razprostirala na približno 5.000 kvadratnih kilometrih, kar ustreza kvadratu s stranico 70 km.

Če bi v Sloveniji danes hoteli nadomestiti vse termoelektrarne s sončnimi, bi potrebovali kakih 20 kvadratnih kilometrov sončnih celic. Če bi tako elektrarno postavili na Obali, kjer je veliko sonca, in če bi segala od Debelega rtiča do Sečovelj, bi bila še vedno široka skoraj en kilometer.

Cena sončnih celic na enoto efektivne električne moči je mnogo višja od klasičnih virov. Vendar pa se znižuje in samo vprašanje časa je, kdaj bo postala konkurenčna. To se še ne bo zgodilo kmalu, vendar strokovnjaki napovedujejo, da bi lahko čez kakih 50 let sončna energija že nadomestila fosilna goriva za proizvodnjo elektrike.

Ekonomska konkurenčnost sončne elektrike pa ni odvisna samo od razvoja tehnologije. Sončna energija bi postala privlačna mnogo prej, če bi bili v ceno energije iz fosilnih in ostalih virov vračunani vsi stroški, tudi stroški zaradi onesnaževanja okolja in klimatskih sprememb. Ker ti stroški niso vračunani v ceno energije, jih plačujemo vsi Zemljani približno enako, tako tisti, ki porabijo ogromno energije, kot tisti, ki od energijskih virov uporabljajo samo suhljad, s katero zakurijo ogenj za pripravo hrane.

Industrijske, energijsko potratne države v bistvu prevalijo del ekoloških stroškov na energijsko manj potratne. Če bi bili v ceni nafte vračunani stroški za odstranitev posledic zaradi sproščenega ogljikovega dioksida, bi se po nekaterih ocenah cena povečala za trikrat. Če se peljemo z letalom na izlet v Indijo, torej plačamo samo tretjino stroškov, ki jih s tem povzročimo vsem zemljanom. Ostali dve tretjini plačajo tudi tisti, ki si izleta z letalom ne morejo privoščiti.

Problemi pri uvajanju sončne energije

Problem uvajanja sončne elektrike je deloma tudi politične narave. Velike sončne elektrarne bodočnosti bi bilo najbolj smotrno zgraditi v tropskih puščavah, kjer je sonca na pretek in kjer ne bi motile s svojo velikostjo. Ker je večina porabnikov v zmernem pasu, bi bilo treba energijo prenašati na velike razdalje v smeri jug-sever. Čeprav je že to tehnološko zelo zahtevno, pa je še večji problem doseči politični sporazum o gradnji sončnih elektrarn in prenosu energije čez številne države.

Razvite države zmernega pasu bi se tudi težko odločile, da postanejo energijsko povsem odvisne od držav, proizvajalk sončne elektrike. Problem se še bolj zaplete, ker bi bilo energijo treba prenašati na velike razdalje tudi v smeri zahod-vzhod ali pa poskrbeti za velikanske akumulatorje energije, ki bi kompenzirali dnevna in letna nihanja sončne svetlobe. Po sončnem zahodu bi namreč take elektrarne nehale delovati. Njihovo vlogo bi morale prevzeti sončne elektrarne nekaj tisoč kilometrov

bolj proti zahodu, kjer bi še sijalo sonce.

Nadomeščanje drugih virov s sončno energijo za proizvodnjo elektrike bi v tehničnem smislu torej zahtevalo globalno elektroenergijsko omrežje, ki pa bi moralo temeljiti na trdnih in nesebičnih političnih dogovorih. Le tako bi lahko začele v večji meri izkoriščati sončno energijo tudi industrijske države, ki ne slovijo po soncu, npr. Norveška, Švedska, Anglija, Nemčija, Rusija.

Tu pa se pojavijo enaki problemi, kot pri sprejemanju političnega dogovora o zmanjšanju emisij ogljikovega dioksida. Zaradi nasprotujočih si interesov držav proizvajalk in držav potrošnic energije ter zaradi specifičnih energijskih potreb in potencialov posameznih držav bo težko prišlo do dogovorov, ki bi vključevali večje število držav. Politični razvoj bo verjetno počasnejši od tehnološkega. Večina držav bo iskala lastne rešitve znotraj svojih meja in le malo jih je, ki imajo ugodne pogoje za proizvodnjo elektrike iz sončne energije. Uvajanje sončne energije bo zato počasen in drag postopek, ki se ga bodo v naslednjih letih lahko polotile le nekatere bogate države.

TOPLOTNA ENERGIJA

Pretvorba sončne energije v električno je drag in zapleten proces. Uporaba sončne energije za ogrevanje pa je zelo preprosta in tudi mnogo bolj ekonomsko upravičena.

Velik del fosilnih goriv se porabi za ogrevanje bivališč in za prozvajanje procesne toplote, npr. v železarnah ali kemijski industriji. Klasično gorivo za te namene je premog. V novejšem času ga zamenjuje nafta oziroma njeni derivati. Vse bolj pa tudi nafto izpodriva zemeljski plin, ki običajno ni cenejši, zato pa veliko bolj čist vir energije. V smislu sproščanja ogljikovega dioksida torej poteka pozitiven proces zamenjave premoga, ki ustvarja veliko ogljikovega dioksida, z gorivi, ki ga sproščajo manj. Vendar pa tudi tu zamenjava enega fosilnega goriva z drugim ne more biti končna rešitev. Trajna rešitev je ista kot pri električni energiji: racionalna raba, zmanjšanje porabe in zamenjavanje z nefosilnimi viri.

Racionalna raba energije za ogrevanje

O racionalni rabi je težko postaviti kakšno splošno ugotovitev, saj se rešitve razlikujejo od primera do primera, odvisno od procesa uporabe toplotne energije. V industrijskih procesih se da privarčevati toploto na številne načine: s spremenjeno tehnologijo, z boljšim izkoristkom toplotnih virov, z izkoriščanjem toplote, ki se sprošča med procesom, ne nazadnje z opustitvijo nerentabilne proizvodnje.

Pri ogrevanju bivališč se največ prihrani z daljinskim ogrevanjem in s toplotno izolacijo. Pri daljinskem ogrevanju prihranek nastane, ker je izkoristek velike toplarne običajno mnogo večji kot izkoristek majhnega individualnega kurišča. Tudi z ekološkega stališča ima daljinsko ogrevanje prednosti pred individualnim, saj v toplarni lahko poskrbimo za optimalno kvaliteto kuriva, za čiščenje dimnih plinov in urejeno odlaganje pepela.

Največ energije za ogrevanje pa lahko prihranimo s toplotno izolacijo prostorov. Slabo izolirano zgradbo lahko primerjamo s posodo, ki pušča. Na dva načina lahko dosežemo, da ostane

polna: vanjo lahko neprestano dotakamo vodo ali pa zamašimo špranje. "Špranje", skozi katere odteka toplota, mašimo seveda na drugačen način, vendar z modernimi izolacijskimi materiali to ni posebno težko.

Izkušnje številnih graditeljev pri nas kažejo, da lahko z dobro izolacijo enodružinske stanovanjske hiše (npr. izolacija fasade, podov in strehe, trislojna okna), ki podraži gradnjo za kakih 5%, prihranimo pri ogrevanju vsaj 1.000 litrov kurilnega olja na leto. Prihranjena energija je ekvivalentna energiji, ki bi jo v enem letu porabil grelec z močjo 1 kilovata, če bi neprestano deloval. Če bi to energijo hoteli pridobiti z električnimi sončnimi celicami, bi jih potrebovali vsaj $20m^2$. Toplotnih sončnih kolektorjev bi rabili manj, le $5\text{-}10m^2$, vendar pa primerjava ni umestna, saj bi večino energije pridobili poleti, ko ogrevanja ne rabimo.

Ogrevanje s sončno energijo

Pri nadomeščanju fosilnih goriv za ogrevanje bivalnih prostorov velja omeniti naslednje možnosti: sončno energijo, biomaso in geotermalno energijo. Prvi dve možnosti sta uporabni za ogrevanje posamičnih stavb, izkoriščanje geotermalne energije pa je običajno smotrno le kot daljinsko ogrevanje v sistemu več porabnikov.

Sončno energijo lahko uporabimo za ogrevanje na več načinov. Z lego in obliko zgradbe, izbiro materialov, postavitvijo in velikostjo oken, lahko vplivamo na količino sončne svetlobe, ki prodre v notranjost zgradbe in jo ogreva. Spomnimo se znova, da je gostota toplotnega toka direktne sončne svetlobe približno $1kW/m^2$. Skozi povprečno veliko okno torej priteka približno kilovat toplotne moči, kadar nanj sije sonce. Seveda moramo upoštevati, da se nekaj energije skozi okna tudi izgublja. Kljub temu je lahko prispevek sončne toplote, ki pride v zgradbo skozi okna, tudi pozimi kar znaten. Žal pa je še večji poleti, ko ga običajno ne želimo. Zato moramo biti previdni, če želimo na tak način prihraniti energijo.

Običajen način izkoriščanja sončne svetlobe za ogrevanje

prostorov, še raje pa za ogrevanje vode, so sončni kolektorji. Sončni kolektorji so po svoji tehnični zasnovi in namembnosti povsem drugačni od sončnih celic. Sončni kolektor je narejen tako, da se sončna svetloba v njem absorbira s čim manjšimi izgubami in ga na tak način ogreva. Nastalo toploto odvajamo s hladilno tekočino, ki kroži skozi kolektor, običajno je to voda. Sončni kolektor je relativno preprosta naprava. Dober izkoristek dobimo že z zasteklenim, na črno prebarvanim ploščatim radiatorjem za centralno kurjavo. Kljub temu, da je izdelava in uporaba sončnih kolektorjev preprosta in cenena, se vložek vanje pri sedanjih cenah energije ne povrne prej kot v desetih letih. Zato se uporaba sončnih kolektorjev le počasi povečuje.

Toplotno izoliranje stavb in uporaba sončnih kolektorjev sta dva načina, s katerima bi lahko v kratkem času zelo učinkovito prihranili velik delež fosilne energije za ogrevanje. Zaradi nizke cene fosilnih goriv (ki je nizka predvsem zato, ker ne vključuje odpravljanja ekoloških posledic), pa investiranje v tako varčevanje z energijo ni posebno privlačno. Zato so v številnih državah uvedli posebne stimulativne ukrepe, s katerimi ga želijo pospešiti: davčne olajšave, ugodne kredite.

Biomasa in geotermalna energija

Nekaj fosilnih goriv bi lahko pri ogrevanju nadomestili tudi z biomaso. Za nas so najbolj zanimiva drva in lesni ostanki, v bolj poljedeljskih deželah pa tudi drugi organski ostanki, npr. slama. Ponekod gojijo posebne hitro rastoče kulture (predvsem grmovnice in trstičevje) za kurjavo v toplarnah, vendar predvsem v poskusne namene.

Podobno kot pri sončni energiji se izkoriščanje biomase v splošnem namreč ekonomsko ne izplača v primerjavi s fosilnimi gorivi. Potrebno bi bilo sistematično spodbujanje s pomočjo države, ki pa je v najboljšem primeru omejeno na vlaganja v raziskave in razvoj. Stimulativnih ukrepov, ki bi podobno kot pri sončni energiji neposredno pocenili uporabo (davčne olajšave, krediti), pri biomasi običajno ni. Tudi pri nas so drva, edini pomembnejši predstavnik goriv s področja biomase, draga in njihova uporaba se zmanjšuje, namesto da bi se pove-

čevala. Sprejetje ukrepov za spodbujanje porabe biomase bi bil lahko konkreten korak k zmanjševanju porabe fosilnih goriv.

Za ogrevanje je primerna geotermična energija, vendar sta način izkoriščanja in cena močno odvisna od geoloških pogojev. Ekonomsko privlačno je zaenkrat samo izkoriščanje naravnih toplih vrelcev. Pa še tu cena toplotne energije postane hitro nekonkurenčna, če so potrebne obširne geološke raziskave in globoke vrtine. Drugi načini izkoriščanja toplote iz zemljine notranjosti, kot npr. proizvodnja pare z uvajanjem vode v globoke in razvejane vrtine, so zelo dragi in se jih lotevajo samo poskusno.

PROMET

Prometna sredstva so zelo velik porabnik fosilnih goriv, zlasti nafte. Poraba se iz leta v leto veča, saj se po nekaterih ocenah promet povečuje štirikrat hitreje kot narašča svetovno prebivalstvo[46]. Podobno kot pri porabi drugih fosilnih goriv tudi tu razmišljamo v dve smeri: kako zmanjšati porabo ali kako jih nadomestiti z viri energije, ki ne povzročajo globalnega ogrevanja.

Ugotovili smo že, da je zmanjšanje porabe energije bolj družboslovno in ekonomsko kot tehnološko vprašanje. Za promet to velja celo bolj kot za druge načine porabe energije. Velik delež energije se pri prometu porabi v prazno zaradi neustreznega načina transporta, slabih prometnih povezav, neprimernih urbanističnih rešitev, za potovanja brez pravega razloga, itd.

Racionalizacija prevoza blaga

Pri prevozu blaga strokovnjaki predlagajo čimvečjo uporabo načinov prevoza, ki porabijo manj energije. Taka načina sta ladijski in železniški prevoz. Vendar pa je preusmerjanje prometa z letal in kamionov na vlake in ladje težaven proces, ker dostikrat poteka v nasprotni smeri od tiste, ki jo narekujejo neposredni ekonomski interesi.

Morda je interes človeštva in države, da se prevoz izvaja na ekološko primeren način. Interes lastnika blaga pa je samo ta, da se blago prepelje čim ceneje in čim hitreje. Ker neposredni ekonomski interesi v družbi očitno prevladujejo nad občečloveškimi, se dogaja ravno nasproten proces od zaželenega: namesto da bi se zmanjševal, se promet blaga na ekološko neprimeren način povečuje. Priče smo zelo hitremu naraščanju cestnega in še posebej letalskega prometa. Za prevoz tovora z letalom porabimo vsaj desetkrat toliko nafte kot za prevoz po železnici ali z ladjo. In vendar se vse več blaga prevaža z letali. Pa ne zato, ker bi se lastniki bali, da se bo sicer blago pokvarilo, ampak zato, ker želijo blago čimprej spraviti do kupca in čimprej obrniti vloženi kapital.

Z razvojem prometnih povezav in zaradi neupravičeno nizkih cen energije je postalo ekonomsko privlačno tudi to, da se

nek izdelek pošlje v dodelavo na drug konec sveta, kjer so delovna sila in ostali stroški za ta specifični del izdelavnega procesa cenejši. Tak način je postal kar nekakšen vzor učinkovite moderne industrijske proizvodnje. Hitrost prevoza je pri tem načinu proizvodnje zelo pomembna, saj je kapital vezan v obliki polizdelkov, ko le-ti potujejo. Zato izberejo najhitrejši ekonomsko upravičeni način transporta, ki je najpogosteje prevoz po cesti. Tako se lahko zgodi, da nek kos pohištva prepotuje več tisoč kilometrov po evropskih cestah, preden je narejen. Če kupimo kavbojke uvožene iz ZDA, je prav verjetno, da so bile sešite v Indoneziji, kamor so blago zanje pripeljali iz Anglije, surovino za blago pa iz Egipta.

S stališča ekonomske logike je tak način proizvodnje upravičen, če je najcenejši. Isto velja za trgovanje. Vsi raje kupujemo paradižnik, ki ga pripeljejo iz Španije, če je cenejši od domačega. Vendar pa je dobršen del konkurenčnosti v obeh primerih skrit v nizkih prevoznih stroških, ki ne vključujejo stroškov zaradi degradacije okolja. Povedali smo že, da bi se cene pogonskih goriv morale povečati za trikrat, če bi hoteli vključiti tudi odpravljanje vzrokov globalnega ogrevanja. Pri trikrat višjih cenah nafte bi se pa tudi sprehajanje pohištva po Evropi, medcelinska potovanja oblačil in turistična potovanja paradižnika pokazala ekonomsko v drugačni luči.

Žal se vedno znova vračamo na staro dilemo, ki smo jo že večkrat srečali pri obravnavanju posledic globalnega ogrevanja. Ali si sploh želimo kaj storiti? Ali smo pripravljeni že danes plačevati dražjo hrano in izdelke samo zato, da preprečimo posledice globalnega ogrevanja, ki bodo doletele šele naše zanamce? Kaj pa, če se znanstveniki motijo in posledice sploh ne bodo tako hude? Ali ni škoda potrošiti ogromnih sredstev za nekaj, kar se morda sploh ne bo zgodilo? Ali ni bolj modro začeti reševati probleme šele takrat, ko se bodo resnično pokazali?

In navsezadnje, slehernik razmišlja tudi takole: morda bo globalno ogrevanje res prizadelo celo človeštvo, vendar se mu bomo jaz sam in moja družina že nekako izmuznili. Če

bomo začeli zganjati paniko, bom še izgubil službo kot šofer tovornjaka (rudar v premogovniku, delavec na naftni ploščadi, krojač v tekstilni tovarni, ...). Če bomo začeli zganjati paniko, bo nazadnje še padla vrednost mojih delnic v naftni družbi (premogovniku, tekstilni tovarni, ...).

Verjetno so ljudje tako razmišljali tudi pred izbruhom druge svetovne vojne.

Racionalizacija prevoza ljudi

Podobne ugotovitve kot za prevoz blaga veljajo tudi za prevoz ljudi. Razlika je le v tem, da nanj ne vplivajo samo ekonomski učinki ampak tudi cel splet družbenih in psiholoških vplivov.

Vsakodnevna preseljevanja milijonov ljudi iz svojih bivališč na delovna mesta in v šole ter nazaj, počitniška preseljevanja narodov, milijoni poslovnežev in turistov, ki v letalih neprestano krožijo okoli planeta, vse to pač ni podvrženo samo zakonom ekonomije. Zato so drugačni tudi ukrepi, s katerimi bi zmanjšali porabo nafte.

Velik prihranek bi dosegli že s pametno urbanizacijo mest in ureditvijo javnega prevoza. Orjaška, razpršena velemesta so prometno bolj potratna kot manjša, strnjena naselja, kjer človek lahko vse opravi peš ali s kolesom. Promet bi lahko zmanjšali tudi z uporabo modernih komunikacijskih sredstev, predvsem računalniških mrež. Številna opravila, ki danes zahtevajo človekovo prisotnost, bi se dala v bližnji bodočnosti opraviti preko komunikacijskih medijev: bančni posli, nakupi, šolanje, obiski pri advokatu in celo pri zdravniku, itd.

Številna dela tudi ne zahtevajo fizične prisotnosti delavca in se lahko opravljajo od doma preko terminala. Poslovneži bodo poslovne sestanke, zaradi katerih so danes neprestano na poti, lahko zelo kmalu opravili po računalniškem omrežju, ki bo v živo posredovalo sliko, zvok in ostale informacije.

Potovanja za zabavo naj dobijo vsebino

Ljudje že od nekdaj potujemo tudi za zabavo. Z razvojem prometnih sredstev postajajo cilji potovanj vsebolj oddaljeni in pestri. Še ne dolgo tega je bil cilj nedeljskega izleta bližnji hrib ali reka, potovalo se je peš, s kolesom ali z vlakom. Danes je cilj nedeljskega izleta lahko oddaljen tudi več sto kilometrov, potujemo pa z avtomobilom. Cilj letnega oddiha je bil še pred nekaj desetletji tam, kamor danes skočimo na nedeljski izlet. Danes letni oddih milijoni turistov preživljajo na tisoče kilometrov daleč od svojega doma.

Potovanje za zabavo ima v človekovem življenju podobno vlogo kot šport ali kulturno udejstvovanje: neposredno ne prispeva k človekovi blaginji ali materialnemu razvoju, njegovi posredni učinki pa so veliki. Ljudje se na potovanjih srečujejo, spoznajo druge običaje, drugo kulturo. Postanejo bolj tolerantni, dovzetni za novosti, obzorje se jim razširi preko ograje njihovega vrtička. V tem smislu so potovanja koristna, ker pomagajo zmanjševati kulturne razlike med ljudmi, iz katerih se rade rodijo napetosti in konflikti.

Vendar pa je tudi turizem podvržen neizprosnim pravilom tržne logike, ki pa v človekovi želji po potovanju vidi predvsem vir zaslužka. V boju za trg turistična industrija zato ponuja vedno bolj rafinirane, drage in energijsko potratne izdelke, kot n.pr. "trekking" v Himalaji, nakupovalni vikend v Londonu (za Američane), safari v Keniji, seksualni oddih v Bangkoku.

Pri večini teh turističnih izdelkov se pravi smisel potovanja izgubi: bavarski turist, ki se odloči za oddih na Sejšelih, bo večino časa preživel s svojimi bavarskimi rojaki, ki potujejo z njim v isti skupini. Živel bo v hotelu Hilton, ki je na las podoben Hiltonu v Münchnu. Jedel bo hrano, ki jo postrežejo v takih hotelih po vsem svetu. Po satelitski televiziji bo gledal nemške programe ali pa CNN. Skratka, namesto zanimivega potovanja v eksotično deželo je kupil njegov nadomestek, surogat brez okusa in vsebine. Takim potovanjem se človek lahko odpove brez škode.

V celoti pa se človek potovanjem za zabavo ne bo nikoli odpovedal. Želja po potovanju je odraz težnje po gibanju, spreminjanju, svobodi, težnje po odkrivanju novega in neznanega, kar izhaja iz samega bistva človekovega obstoja. Podobno kot pri drugih svojih aktivnostih pa se bomo morali tudi pri turizmu in potovanjih odpovedati potrošniškemu načinu. Množični turizem, ki je povrh še začinjen z geslom "gost naj porabi čimveč", je v globalnem energijskem in ekološkem smislu neustrezen in nima prihodnosti.

Danes je v turistični vrtiljak vključenih kakih 100 milijonov bogatih ljudi predvsem iz bogatih dežel Evrope in Amerike. Pomislimo, kaj se bo zgodilo, ko se mu bodo pridružile danes revne dežele, ki pa se zelo hitro ekonomsko razvijajo, Kitajska, Koreja, Malezija, Indonezija, Indija? Turistični promet se lahko kaj hitro podeseteri. Kdor je doživel turistični vrvež na kakem velikem letališču, si sploh ne upa predstavljati, kaj bi to pomenilo.

Nadomeščanje fosilnih pogonskih goriv

Pa pustimo ob strani ostale učinke povečevanja prometa in se vrnimo k izhodiščnemu, to je k porabi fosilnih goriv, predvsem nafte. Problemi, ki smo jih pravkar obravnavali v opisni obliki, se v suhoparni, statistični obliki odražajo v obliki hitro rastoče krivulje porabe fosilnih goriv in sproščanja ogljikovega dioksida. Čeprav obstajajo nekatere tehnične možnosti, s katerimi bi v principu lahko nadomestili fosilna goriva za pogon vozil, pa so vse še v plenicah.

Predvsem si veliko obetajo od vodikove tehnologije, zlasti od tako imenovanih vodikovih celic. Princip delovanja vodikove celice najpreprosteje razložimo, če rečemo, da v njej pri posebnih pogojih poteka obraten proces kot pri elektrolizi vode. Vodik se spaja s kisikom, pri tem pa se sprošča električna energija, ki lahko poganja elektromotor. Moč takih celic je lahko precej velika, zato so uporabne tudi za vozila, ki rabijo močnejše motorje. V Nemčiji celo razvijajo podmornico, ki jo bodo poganjale vodikove celice.

Vodikova celica je že sto let star izum. Doslej se ni uveljavila v širši uporabi predvsem zaradi dveh razlogov. Prvi je tehnološke narave: ker je vodik zelo eksploziven, zahteva

njegovo pridobivanje, shranjevanje in uporaba posebne, relativno drage tehnološke prijeme. Drugi razlog je cena vodika kot energenta. Vodika ne moremo šteti med primarne energijske vire, kot so npr. nafta, zemeljski plin ali premog, saj nahajališč prostega vodika v naravi ni. Pridobivajo ga s kemijskimi ali z elektrolitskimi postopki iz vodikovih spojin (n.pr. vode), njihova skupna značilnost pa je velika poraba energije. Za proizvodnjo neke količine vodika namreč rabimo v celoti precej več energije, kot je iz njega lahko kasneje pridobimo. Cena enote energije iz vodika je zato vedno višja od cene enote energije, ki smo jo porabili pri njegovem pridobivanju.

Nadomeščanje nafte še ni upravičeno

S stališča pojava tople grede pa se ponuja še tretji pomislek. Če gledamo celotno energijsko bilanco od primarnega energijskega vira do končnega uporabnika, je vodik, ki poganja vodikove celice (ali kakšen drug pogonski stroj), samo nekakšno sredstvo za vskladiščenje energije, podobno kot je električna energija vskladiščena v akumulatorju. Čeprav stroji na vodik ne sproščajo ogljikovega dioksida in ne prispevajo h globalnemu ogrevanju, pa se to v povsem enaki ali celo večji meri dogaja tam, kjer proizvajajo vodik in energijo, ki se rabi pri tem. Nadomeščanje fosilnih pogonskih goriv z vodikom torej ne zmanjšuje emisij ogljikovega dioksida temveč jih celo povečuje, če se za pridobivanje vodika uporabljajo fosilni energijski viri.

Povsem enako razmišljanje velja tudi za električne motorje za pogon avtomobilov ali vlakov. Elektrifikacija železniškega omrežja ne zmanjša porabe fosilnih goriv, če se električna energija proizvaja v elektrarnah na fosilna goriva. Masovna uporaba električnih avtomobilov (ko bodo le-ti tehološko nared in ekonomsko konkurenčni) bo sicer povzročila manjšo porabo nafte, v energijskem smislu pa se bo najmanj za prav toliko povečala poraba električne energije.

Nadomeščanje fosilnih goriv za pogon prevoznih sredstev z vodikom ali (akumulirano) električno energijo torej samo za sebe ne odpravi problema sproščanja ogljikovega dioksida,

temveč ga samo prevali na proizvodnjo električne energije.

O realnih možnostih za zmanjšanje uporabe fosilnih goriv pri proizvodnji elektrike pa smo že povedali svoje. Dovolj je, če povzamemo, da se bo delež električne energije iz fosilnih elektrarn povečeval vsaj še nekaj desetletij. V tem času bi torej nadomeščanje sedanjih motorjev z vodikovimi ali električnimi v celoti gledano samo še povečalo porabo fosilnih goriv in s tem učinek globalnega ogrevanja.

> Masovna uporaba vodika in akumulirane električne energije za transport bo s stališča globalnega ogrevanja smiselna šele takrat, ko bomo električno energijo proizvajali iz nefosilnih virov.

KAKO ZNOVA ODSTRANITI OGLJIKOV DIOKSID IZ OZRAČJA?

Zmanjševanje porabe fosilnih goriv s pomočjo racionalne rabe energije ali nadomeščanja z nefosilnimi viri je edini način, s katerim lahko v znatnem obsegu in v realnem času omejimo sproščanje ogljikovega dioksida v ozračju. O tem, kako in kdaj lahko to dosežemo ter kakšne so tehnološke možnost, smo že govorili.

Naraščanje koncentracije ogljikovega dioksida v ozračju pa lahko v principu zmanjšujemo tudi tako, da ogljikov dioksid iz atmosfere umetno odstranjujemo. Metode, ki jih imamo za to na voljo, so veliko manj učinkovite kot omejevanje sproščanja in same zase ne morejo rešiti problema globalnega ogrevanja. V grobem jih lahko razdelimo na take, ki temeljijo na bolj ali manj zapletenih tehnoloških postopkih, in na take, ki temeljijo na spodbujanju naravnih procesov za odstranjevanje ogljikovega dioksida iz ozračja.

Kot primere tehnoloških metod omenimo raztapljanje ogljikovega dioksida v oceane, črpanje v izpraznjena nahajališča zemeljskega plina in metodo kemijske pretvorbe ogljikovega dioksida v neškodljiv magnezijev karbonat.

Od naravnih metod sta najpomebnejši ponovno pogozdovanje (reforestacija) in trajno odlaganje organskih snovi.

Običajno so tehnološke metode deležne veliko večje pozornosti od naravnih. To verjetno izvira iz želje, da bi problem globalnega ogrevanja rešili na lagoden, neboleč način, brez ekonomskih pretresov in ne da bi nam bilo treba spreminjati življenjskih navad. Človek bi pač veliko raje iznašel zdravilo proti pljučnemu raku kot se odpovedal kajenju. Vendar pa take čudežne tehnološke metode, ki bi odpravila problem globalnega gretja, še ne poznamo. Sedanje tehnološke metode so veliko manj učinkovite in veliko dražje od naravnih. Poleg tega bi njihova široka uporaba sprožila vrsto novih ekoloških problemov, ki jih vnaprej lahko samo slutimo in ki bi bili morda še bolj neprijetni kot ogrevanje ozračja.

Umetne metode

Ena od metod, o kateri resno razmišljajo, je odlaganje ogljikovega dioksida v globinskih slojih oceanske vode. Dimne pline iz termoelektrarn bi po ceveh vodili v globine oceanov, kjer bi se raztapljali. Metoda temelji na predpostavki, da so oceani sposobni akumulirati še mnogo več ogljikovega dioksida, kot ga je že sicer raztopljenega v njih. Kako bi to tehnično izvedli in kolikšni bi bili stroški raje pustimo ob strani. Zamislimo se samo nad tem, ali resnično lahko predvidimo vse posledice, ki bi nastale, če bi milijarde ton ogljikovega dioksida in ostalih primesi dimnih plinov začeli črpati v globine oceanov?

Tehnološko nekoliko bolj obetavna in ekološko manj problematična je metoda spajanja ogljikovega dioksida iz dimnih plinov z magnezijevim oksidom, ki ga vsebujejo nekatere kamenine, npr. serpentenit ali olivin[47]. Kemijska reakcija poteka pri povišani temperaturi, zato je treba kamenino najprej zmleti in segreti. Pri reakciji se sprošča toplota. Energije skoraj ne bi bilo več treba dovajati, ko bi se proces enkrat začel, tako da je s stališča porabe energije metoda ugodna.

Slaba stran metode pa je velika poraba vhodne surovine-magnezijevega oksida in kopičenje velikih količin končnega produkta-magnezijevega karbonata. Za vsako tono pokurjenega premoga bi porabili šest ton kamenja. Čeprav je dovolj nahajališč kamenin, ki vsebujejo magnezijev oksid, pa so običajno daleč od velikih termoelektrarn. Dimne pline bi morali voditi po ceveh več sto kilometrov daleč do rudnikov magnezijevega oksida, kjer bi stale čistilne naprave za ogljikov dioksid.

Poskrbeti pa bi bilo treba tudi za odlagališča ogromnih količin magnezijevega karbonata. Grobe ekonomske ocene kažejo, da bi se cena elektrike iz elektrarn na premog v ZDA podražila za 300%, če bi odstranjevali ogljikov dioksid iz dimnih plinov po tej metodi.

Čeprav se mnogo govori o tehnoloških metodah za odstranjevanje ogljikovega dioksida, pa še nikjer v svetu ne obratuje niti ena takšna idustrijska naprava. Celo raziskave

ne pridejo mnogo dlje od osnovnih idej in konceptov. Zaradi velikanskih stroškov in ostalih problemov nihče ne želi ugrizniti v to kislo jabolko. Zato nas ne sme zavesti iluzija, da je problem odstranjevanja ogljikovega dioksida tehnološko obvladljiv.

Tako razmišljanje se namreč kaj rado konča s privlačno ugotovitvijo, da bomo čez deset let pač začeli vgrajevati čistilne naprave za ogljikov dioksid v termoelektrarne na fosilna goriva, podobno kot danes vgrajujemo čistilne naprave za žveplov dioksid, in problem globalnega ogrevanja bo rešen. Z današnjo tehnologijo in pri nespremenjenih cenah energije je to povsem nemogoče. Tehnološke metode odstranjevanja CO_2 bodo postale ekonomsko zanimive šele, ko bodo porabniki pripravljeni za enoto energije plačati nekajkrat toliko kot danes.

Naravne metode

Odstranjevanje ogljika iz ozračja bi človek lahko v principu lahko pospeševal tudi z umetnim izločevanjem organskih snovi iz ogljikovega kroga. Obstajajo ideje, da bi odpadne organske snovi trajno odlagali v opuščene rudnike, v puščave ali na dno oceanov, kjer bi bile vsaj za nekaj stoletij varne pred razgradnjo in oksidacijo v ogljikov dioksid.

Z ekonomskega stališča pa so take ideje povsem utopične, dokler se večina energije na svetu pridobiva iz fosilnih goriv, ki so tudi organske snovi. Kakšen smisel bi imelo na eni strani zakopavati organske snovi (čeprav odpadne), dokler se na drugi strani trudimo, da bi jih čimveč iztrgali iz zemlje v obliki premoga, nafte, zemeljskega plina, oljnih škriljavcev, itd.

Naravne metode za odstranjevanje ogljikovega dioksida iz ozračja temeljijo na procesih, ki za to skrbijo v naravi že od nekdaj. Od vseh procesov človek lahko znatno vpliva le na ogljikov krog, ki se začne z vezavo ogljika s pomočjo fotosinteze v rastlinah, konča pa s ponovnim sproščanjem pri razpadu ali sežigu organskih snovi. Na ogljikov krog v oceanih ne moremo bistveno vplivati.

Človek pa lahko vpliva na količino biomase, ki nastane s fotosintezo na kopnem. Vpliva pa lahko tudi na to, koliko časa je ogljik vezan, preden se vrne v atmosfero. Količino in prirastek biomase lahko povečamo na dva načina. Povečamo lahko prostor, ki je namenjen rastlinam in izboljšamo njegovo kakovost. Ugotovili smo že, da je na kopnem gozd tisti ekosistem, ki najbolj učinkovito in dolgotrajno veže ogljik. Zato je najpomembnejša metoda, s katero bi lahko vsaj malo zavrli naraščanje koncentracije ogljikovega dioksida v ozračju, ponovno pogozdovanje (reforestacija) tistih predelov na Zemlji, kjer gozd uspeva, a ga je človek izrinil na račun kmetijskih in bivalnih površin.

Oživljanje gozda

V strokovnem, tehničnem smislu gozdarji prav dobro vedo, kako ponovno zasaditi gozd. Problem reforestacije je politične narave, podobno kot večina globalnih ekoloških problemov. Človek je zaradi naraščanja prebivalstva v tisočletjih močno skrčil površine pod gozdom. Izkrčevanje gozdov, ki je v Evropi potekalo predvsem v srednjem veku, v Severni Ameriki v prejšnjem stoletju, se je danes skupaj z ekonomskim razvojem, industrializacijo in naraščanjem prebivalstva preselilo v dežele v razvoju. Odgovornost zaradi izkrčevanja gozdov zato običajno skušamo naprtiti samo deželam v razvoju.

Različni aktivisti se z veliko odmevnostjo borijo proti izkrčevanju tropskih pragozdov, pri tem pa ne pomislijo, da so naši predniki na enak način in iz enakih razlogov izkrčili pragozdove v Evropi. Podobno kot pri potrošnji energije gre tudi tu za dvojno moralo: razviti apelirajo in pritiskajo na nerazvite, naj ne uveljavijo enakih pravic do skupnih dobrin, kot so jih sami že davno konzumirali.

Seveda to ne pomeni, da je treba odobravati kruto in neobrzdano uničevanje tropskih pragozdov. Povedati želimo, da problem izsekavanja gozdov ni preprost, ker je posledica železnih pravil ekonomskega razvoja, in da smo zanj odgovorni vsi, še najbolj pa razviti del sveta.

Ponovno pogozdovanje s ciljem zmanjšati globalno ogre-

vanje torej ni naloga samo dežel v razvoju, kjer se to dogaja pred našimi očmi, ampak predvsem dežel, ki so v zgodovini najbolj izkrčile gozdove. Ker so to povečini gosto naseljene, industrializirane države, je iluzorno pričakovati, da bodo lahko kaj več kot simbolično povečale površine pod gozdovi na svojem ozemlju. Preostali delež k svetovni reforestaciji bi morale prispevati tako, da bi pomagale pri obnovi gozdov tam, kjer sami ne zmorejo. Le na tak način bi lahko zaustavili proces zmanjševanja gozdnih površin in ga obrnili v nasprotno smer, tako da bi se gozdne površine na svetu znova začele povečevati.

Verjetno pa razvite države še ne bodo kmalu pripravljene zbrati toliko politične volje (in sredstev), da bi se tak globalni proces lahko začel. Najverjetneje bomo še vrsto let priče intenzivnemu izsekavanju gozdov s tempom milijon hektarov na leto, reforestacija pa bo omejena na projekte parkovnega obsega in še to samo v bogatih državah.

Oživljanje narave

Za reforestacijo pa ni potrebno le to, da se gozdu vrne prostor, ki ga je nekoč zasedal. Vrniti mu je treba tudi druge pogoje za rast, predvsem neonesnažen zrak, vlago, svetlobo in primerno temperaturo. V posplošenem smislu bi lahko rekli, da gre za širši proces obnavljanja ali oživljanja prvotnega stanja v naravi. Ni nujno, da se obnavljanje narave omeji samo na reforestacijo. Kopičenje ogljika lahko pospešimo tudi:

- če obnovimo naravne funkcije onesnaženih jezer, rek, močvirij, morij;
- če vrnemo naravi površine, ki jih zasedamo s svojimi preveč razbohotenimi dejavnostmi: nenačrtnim poseljevanjem, redundantnimi prometnicami, intenzivnim kmetijstvom, industrijskim turizmom, itd.;
- če zadržimo napredovanje puščav in preprečimo erozijo plodne zemlje;
- če kmetijstvo prilagodimo tako, da se obnovi naravna funkcija zemljišča;
- če oživimo zemljišča, na katerih so opuščeni industrijski

obrati, rudniki, odlagališča jalovine, pepela in ostalih odpadkov;
- če vrnemo življenje ožganim in opustelim industrijskim pokrajinam, tako da preprečimo kisli dež in druge vrste onesnaževanja, skratka, če vrnemo naravo naravi.

ZAKLJUČEK

Umetni in naravni mehanizmi za odstranjevanje ogljika so prepleteni med seboj in povezani s problemom globalnega ogrevanja in ostalih klimatskih sprememb v neločljivo povratno zvezo. Človek mora zelo previdno poseči v ta krog, če želi doseči pravi učinek. Z gotovostjo lahko zaupamo samo ukrepom in metodam, ki težijo k vzpostavljanju prvotnega stanja v naravi: zmanjšanju porabe fosilnih goriv, zmanjšanju onesnaževanja in obnavljanju prvobitnih, naravnih funkcij prostora. V tem pa so si ukrepi za zmanjšanje učinka tople grede in splošni naravovarstveni ukrepi enaki.

Na začetku industrijske revolucije je nekaj časa prevladovalo prepričanje, da so stroji in tehnološki napredek krivi za brezposelnost in bedo med delavci. Zgodovinski razvoj je pokazal, da so bile korenine problemov povsem drugje: v socialnih in ekonomskih odnosih, ki so vladali v tedanji družbi. Danes bi tehnološkemu napredku radi naprtili krivdo za globalno onesnaževanje in ogrevanje ozračja.

Korenine problemov pa so zopet drugje. V bistvu izvirajo iz nas samih, iz naših arhaičnih vrednot, sebičnih navad, tekmovalnosti, predsodkov, samozaverovanosti, brezbrižnega odnosa do življenja in narave. Vse to se odraža v družbenih, ekonomskih in političnih odnosih, ki poganjajo vse bolj pogoltni stroj tehnološkega in ekonomskega napredka.

Zgodovina nas uči, da človek globalne probleme povečini rešuje na konflikten način. Tudi z naravo smo vzpostavili konflikten odnos: naravo želimo premagati, si jo podrediti, namesto da bi živeli z njo in v njej. Ekološki problemi, med katere spada tudi globalno ogrevanje ozračja, so le odraz tega konflikta. Rešimo jih lahko, če bomo znali omejiti svoje potratne, rastoče potrebe po energiji, prostoru in surovinah. To pomeni, da bomo morali napredek v kvantitativnem, potrošnem smislu, nadomestiti z napredkom v kvalitativnem, nematerialnem pogledu.

Le v takem svetu bo človek znova našel sožitje z naravo in s samim seboj, klimatske spremembe pa bodo znova odvisne bolj od tektonike plošč kot od rezultatov političnih dogovorov.

Viri in priporočljiva strokovna literatura

1 G. R. Davis, Energy for Planet Earth, Scientific American, September 1990
2 R. A. Houghton in sod., Global Climate Change, Scientific American, April 1989
3 S. H. Schneider, Climate Modeling, Scientific American, May 1987
4 H. N. Pollack in sod., Underground Records of Changing Climate, Scientific American, June 1993
5 J. R. Gosz in sod., The Flow of Energy in a Forest Ecosystem, Scientific American, March 1978
6 Profile: Dr. Greenhouse- Roger Revelle started the world thinking about global warming, Scientific American, December 1990
7 R. M. White, The Great Climate Debate, Scientific American, July 1990
8 Murky Water: Just what role do oceans play in absorbing greenhouse gases?, Scientific American, May 1990
9 J. F. Kasting in sod., How Climate Evolved on the Terrestrial Planets, Scientific American, Februar 1988
10 R. A. Berner in sod., Modeling the Geochemical Carbon Cycle, Scientific American, March 1989
11 R. A. Berner, The Carbonate-Silicate Geochemical Cycle and Its Effects on Atmospheric Carbon Dioxide over the Past 100 Million Years, American Journal of Science, September 1983
12 Gaia, Scientific American, December 1989
13 Vapor Trail-Observations support a key aspect of warming forecasts, Scientific American, March 1990
14 W. S. Broecker, Chaotic Climate, Scientific American, November 1995
15 W. Dansgaard in sod., Evidence for General Instability of Past Climate from a 250-KYR Ice-Core Record, Nature, July 15, 1993
16 R. C. Charlson in sod., Sulfate Aerosol and Climatic Change, Scientific American, February 1994
17 R. J. Charlson in sod., Climate Forcing by Anthropogenic Aerosols, Science, January 24, 1992
18 Holes in Ozone Science- Researchers look at loss of the protective layer above our heads, Scientific American, January 1995
19 O. B. Toon in sod., Polar Stratospheric Clouds and Ozone Depletion, Scientific American, June 1991
20 Green Policies- Insurers warm to climate change, Scientific American, February 1996
21 H. Stommel in sod., The Year Without a Summer, Scientific American, June 1979
22 P. D. Jones in sod., Global Warming Trends, Scientific American, August 1990
23 Talk about the Weather- Insights help to explain solar effects on climate, Scientific American, November 1994
24 E. Nesme-Ribes in sod, The Stellar Dinamo, Scientific American, August 1996
25 P. D. Jones in sod., Global Temperature Variations Between 1861 and 1984, Nature, July 31, 1986
26 J. Hansen in sod., Global Trends of Measured Surface Air Temperature, Journal of Geophysical Research, November 20, 1987
27 It's Melting, It's Melting, Scientific American, July 1995

28 Global Warming is Still a Hot Topic- Arrival of the seasons may show greenhouse effect, Scientific American, February 1995
29 Not so Hot- New studies question estimates of global warming, Scientific American, November 1989
30 No global warming? CO_2 reading on Mauna Loa show declining emissions, Scientific American, February 1994
31 Potential health effects of climatic change, World Health Organization Geneva, WHO/PEP/90.10
32 Zakon o gozdovih s komentarjem, Republika Slovenija, Ministrstvo za kmetijstvo in gozdarstvo, Ljubljana 1994
33 Statistični letopis Republike Slovenija 1994, Zavod RS za statistiko, 1995
34 Onesnaženost zraka v Sloveniji v letu 1995, Hidrometeorološki zavod Republike Slovenije
35 G. M. Woodwell in sod., Global Deforestation: Contribution to Atmospheric Carbon Dioxide, Science, December 9, 1983
36 Zemlja 1996, L. R. Brown in sod., Medium D.O.O. Radovljica, 1996
37 A. Urbančič, Izhodišča za oceno tehnoloških možnosti in osnove nacionalnega programa za zmanjševanje emisij CO_2, IJS-DP-6841, Institut Jožef Stefan, Ljubljana, 1993
38 The Analytical Economist- Green economists, Scientific American, May 1990,
39 S. H. Schneider, The Greenhouse Effect: Science and Policy, Science, February 10, 1989,
40 R. W. Kates, Sustaining life on the Earth, Scientific American, October 1994
41 British Petroleum Statistical Review of World Energy, 1995
42 M. Acero, The role of nuclear energy in the next century, Nuclear Europe Worldscan, 7-8/1996
43 G. C. van Uitert, Greenhouse gas from electricity production: can nuclear be a way out of global warming?, Nuclear Europe Worldscan, 1-2/1996
44 United States: Energy Forecast, IAEA Bulletin, 1/1996
45 W. Hoagland, Solar Energy, Scientific American, September 1995
46 Steering a New Course: Transportation, Energy and the Environment, D. Gordon, Island Press, 1991
47 Clearing the Air- Common rocks may deliver cleaner power, Scientific American, November 1995

Splošni viri

Greenhouse Effect, Microsoft (R) Encarta, 1993, laserska zgoščenka

Global Warming, Microsoft (R) Encarta, 1993, laserska zgoščenka

The Chemical Evolution of the Atmosphere and Oceans. H. D. Holland, Princeton University Press, 1984

Changing Climate: Report on the Carbon Dioxide Assessment Committee. US National Research Council, National Academy Press, 1983

The Greenhouse Effect, Climatic Change and Ecosystems. Edited by B. Bolin, B. R. Doos, J. Jager and R. A. Warick, John Wiley & Sons Inc., 1986

Technology and Environment. Edited by J. Ausubel and H. E. Sladovich, National Academy Press, 1989

The Earth as Transformed by Human Action: Global and Regional Changes in the Biosphere Over the Past 300 Years. Edited by B. L. Turner II, Cambridge University Press, 1990

CIP - Kataložni zapis o publikaciji
Narodna in univerzitetna knjižnica

504.305:551.58

RAVNIK Matjaž
Topla greda : podnebne spremembe, ki jih povzroča človek /
Matjaž Ravnik, - Ljubljana : Tangram : Prirodoslovno društvo Slovenije, 1997.
(Zbirka Proteusova knjižnica)

ISBN 961-6239-01-5

656885952

Po mnenju Ministrstva za kulturo Republike Slovenije se za to publikacijo plačuje 5% davek od prometa proizvodov. Številka mnenja 415- 588/96 z dne 15.11. 1996.

O knjigi

Na kratko in brez praznih besed poskuša predvsem z naravoslovnega stališča pojasniti pojave na Zemlji, ki so pomembni za okolje in nas poučiti o današnjem znanju o njih. Prizadeva si postaviti skrb za okolje na trdne temelje in se pri tem ne boji priznati, da na nekatera vprašanja še nimamo dokončnih odgovorov.

Za zemljo in za poznejše rodove na njej bo koristilo, če se bo širši krog ljudi zavedal razmer in našel voljo za premišljeno ukrepanje. To bo po sedanjih izkušnjah zaradi različnih interesov v različnih delih sveta zelo težko doseči. Za zdaj tudi glede tega ni boljše poti kot ozaveščanje.

V Topli gredi bodo bralci našli veliko podatkov in zanimivosti. Še pomembneje pa je, da se ob branju ne bodo mogli izogniti razmišljanju o svojem mestu na Zemlji.

dr. Janez Strnad

O avtorju

Dr. Matjaž Ravnik sodi v srednjo generacijo slovenskih fizikov. Kot raziskovalec na področju reaktorske fiziki dela na inštitutu Jožef Štefan. Objavil je več znanstvenih člankov. Skupaj s sodelavci je razvil več računalniških programov, ki jih uporabljajo v jedrski elektrarni Krško in na številnih raziskovalnih reaktorjih na svetu. Predava na univerzah v Ljubljani in Mariboru. Večkrat predava tudi v tujini. Omeniti velja zlasti predavanja na uglednem Medarodnem centru za teorijsko fiziko v Trstu. Kot ekspert Organizacije združenih narodov za uporabo jedrskih reaktorjev v raziskovalne namene je delal v številnih državah v razvoju: v Peruju, na Tajskem, v Indoneziji, v Maleziji, itd. Prav izkušnje s teh potovanj, kjer je videl probleme podnebnih sprememeb zaradi industralizacije, prevelike porabe, eksplozije prebivalstva in uničevanja okolja v še bolj jasni luči kot doma, so ga spodbudile k pisanju pričajoče knjige.

9 789616 239011