



**ANTROPOGENI
DELEŽ CO_2
V OZRAČJU (1. del)**

► Erik Margan

V preteklih treh desetletjih je postalo že navada, da za segrevanje planeta (oziroma podnebne spremembe) obtožujemo človeško rabo fosilnih goriv, natančneje antropogene izpuste ogljikovega dioksida v ozračje. Ker pa je ta tam tudi zaradi naravnih bioloških in fizikalnih procesov, bi bilo prav ugotoviti, kolikšen je dejanski delež CO₂, ki ga lahko pripišemo človeški dejavnosti.

☞ Čeprav je jasno, da človeški izpusti zagotovo prispevajo k celotni vsebnosti CO₂ v ozračju, pa pretežni delež izhaja iz naravnih virov.

V PRVEM DELU ČLANKA BOMO PRIMERJALI UGOTOVITVE IZ ZNANSTVENIH POROČIL Medvladnega odbora za podnebne spremembe (angl. IPCC – Intergovernmental Panel for Climate Change) z meritvami vsebnosti CO₂ v ozračju, ki jih od leta 1958 opravljajo v opazovalnici Mauna Loa na Havajih, jih nato primerjali z dobro znanimi količinami človekovih izpustov in pokazali, da se te med seboj ne ujemajo. V drugem delu članka pa bomo pokazali preprost, vendar natančen izračun antropogene deleža CO₂, rezultate katerega bo potem mogoče objektivno uporabiti za oceno podnebnih tveganj ter s tem povezanih potreb po političnih in gospodarskih ukrepih.

IPCC nas že od svoje ustanovitve leta 1988 opozarja na izpuste CO₂, ki so pretežno posledica uporabe fosilnih goriv (ŽIT 2012/2, str. 46),

pa tudi drugih človeških dejavnosti, predvsem v poljedelstvu in gozdarstvu. Vsebnost CO₂ v ozračju je začela hitreje naraščati po drugi svetovni vojni (diagram 3), in sicer hkrati z naglim industrijskim razvojem ter s povečanjem prometa in pridelave hrane (diagram 1). Vendar se je globalna temperatura do sredine 70. let prejšnjega stoletja zniževala, zaradi česar so mnogi opozarjali na prihod nove ledene dobe. Takrat so ta učinek pripisovali povečanju izpustov aerosolov, ki tudi nastajajo pri zgozrevanju. Toda v obdobju 1977–1987 so klimatologi opazili naraščanje temperature planeta, kar so nekateri povezali z rastjo vsebnosti CO₂ v ozračju ter začeli opozarjati, da se nebrzdano nadaljevanje teh trendov utegne odraziti v podnebnih spremembah. O tem v medijih lahko zasledimo celo paletu različnih napovedi (ŽIT 1990/7–8, str. 85; ŽIT

2004/4, str. 12; ŽIT 2009/6, str. 51; ŽIT 2010/1, str. 50; ŽIT 2011/1, str. 28; ŽIT 2016/2, str. 54; ŽIT 2016/3, str. 64; ŽIT 2019/1, str. 22; ŽIT 2019/2, str. 14; ŽIT 2019/3, str. 38), od predvidevanja razmeroma blagih in počasnih sprememb do resnih groženj s katastrofalnimi posledicami, če človeštvo – predvsem na področju rabe energije – ne bo spremenilo svojih navad. Temu so sledila opozorila in zahteve po političnih in gospodarskih ukrepih za prehod na do okolja manj obremenjujoče proizvodne procese, kar naj bi omililo posledice podnebnih sprememb. Stroški tega prehoda se že kažejo v večjih davčnih obremenitvah ter višjih cenah energentov, izdelkov in storitev za industrijo in kmetijstvo ter tudi za prebivalstvo v celoti. Zaradi tega je nujno treba ugotoviti dejanski človeški vpliv na podnebje, pretehtati negativne in pozitivne učinke ter temu primerno določiti obseg in dinamiko uvajanja dolgoročnih sprememb.

Problematiko vpliva človeka na podnebje lahko razčlenimo na več dejavnikov, kot so izpusti različnih odpadnih snovi industrijskih procesov v naravno okolje, odlaganje odpadkov, ki so posledica izrabe nekaterih izdelkov in našega življenjskega sloga, razgozdovanje ter vzgoja monokultur na velikih površinah, spremembe namembnosti zemljišč, ukrepi za zagotavljanje večje pridelavo hrane, promet itn. V tej razpravi se bomo osredotočili izključno na vprašanje izpustov CO₂, ker naj bi bil prav to pglavitni vzrok za zvišanje temperature ozračja. Ta plin, ki ga sicer izdihavamo v stokrat večjih koncentracijah, kot ga vdihavamo, nastaja pri skoraj vseh gorilnih procesih, pa tudi pri počasnejših oksidacijskih procesih

in razkroju bioloških snovi ter kot industrijski stranski proizvod pri nekaterih kemičnih procesih, zlasti pri proizvodnji cementa, apna, sode in nekaterih drugih materialov.

Tudi sam vpliv CO₂ lahko razčlenimo na več vidikov, ki jih je treba natančno opredeliti in analizirati njihov prispevek k celotnemu učinku. Nekateri učinki so brez dvoma pozitivni: denimo višje koncentracije CO₂ v ozračju omogočajo rastlinam učinkovitejšo fotosintezo, zato rastline rastejo hitreje in potrebujejo manj vode, kar dobro vedo proizvajalci zelenjave v zaprtih toplotno-grednih rastlinjakih, kjer umetno dodajajo do štirikrat več CO₂, kot ga je običajno v zraku. Po satelitskih podatkih ameriške vesoljske agencije NASA se tudi v naravi dogaja podobno: z rastlinami pokrita površina planeta se je v preteklih treh desetletjih povečala za okoli 15 %, kar pripisujejo prav povečani koncentraciji CO₂ v ozračju [1]. Po drugi strani pa vemo, da CO₂ zajema del toplotnega sevanja Zemlje proti vesolju in s tem upočasnjuje nočno ohlajanje ozračja, kar zviša povprečno temperaturo. Nekateri ta pojav povezujejo s toplogrednim učinkom, vendar se ta bistveno razlikuje od tistega v zaprtih rastlinjakih. Namreč, pglavitni razlog za zvišanje temperature v zaprtem prostoru je preprečevanje toplemu zraku, da bi se dvigoval in širil; te omejitve pa v odprtem ozračju ni, saj tam prevladujeta sevalni toplotni učinek in adiabatno ogrevanje.

Termično sevalno ravnovesje planeta je temeljno klimatološko vprašanje. Za analizo termičnega učinka CO₂ je treba ugotoviti vsaj naslednje:

1. Kolikšna je občutljivost podnebja na povečanje CO₂ v ozračju

(za koliko se zviša temperatura ozračja, če se vsebnost CO₂ podvoji)?

2. Kolikšen je termični učinek CO₂ v primerjavi z drugimi plini, predvsem z vodno paro (v katerem spektralnem območju so absorpcijski učinki največji, se posamezni absorpcijski spektri morda prekrivajo in kateri plin ima ob kakšni koncentraciji prevladujočo vlogo)?

3. Kateri naravni procesi pospešujejo in kateri zavirajo toplotni učinek CO₂?

4. Kakšna je razlika med termičnim sevanjem površja in izstopnim sevanjem ozračja?

5. Kakšno je sevalno ravnovesje planeta in kolikšen je toplotni učinek celotnega ozračja?

6. Kolikšen je človeški in kolikšen naravni prispevek k povečanju CO₂ v ozračju?

7. Kolikšen je naravni ponor CO₂ (v oceane in kopno), ki določa, koliko izpuščenega CO₂ se dolgoročno ohranja v ozračju, in kako dolgo se ohranja?

To so le nekatera najpomembnejša vprašanja v zvezi z vplivom CO₂, obstaja pa še več različnih učinkov drugih snovi, bodisi ločeno bodisi v različnih medsebojnih povezavah.

Za podroben prikaz vseh naštetih vprašanj bi verjetno potrebovali celo knjigo in ne zgolj nekaj strani revije. Zato se bomo v nadaljevanju tega prispevka omejili samo na točki 6 in 7. Za reševanje te naloge moramo poznati tri ključne parametre:

a – celotno količino CO₂ v ozračju in količine, ki se naravno pretakajo v zemeljskem ekosistemu,

b – letne količine CO₂, ki nastajajo kot posledica človeških izpustov,

c – povprečni rezidenčni čas, ki ga ekosistem potrebuje za absorpcijo dodane količine CO₂.

Pri točki a si bomo pomagali z

izsledki raziskav, ki so jih opravili številni znanstveniki različnih strok tako v svojih ločenih raziskovalnih programih kot tudi namensko v pripravah za znanstvena poročila IPCC (Assessment Reports, AR1–AR5; zadnje je bilo objavljeno leta 2014, v pripravi pa je že AR6). Te izsledke lahko najbolj pregledno prikažemo v obliki sheme, ki smo si jo za ta namen sposodili v publikaciji ameriškega vladnega oddelka za energijo (US DOE) iz leta 2008 [2]. (Podobne prikaze je mogoče najti tudi v drugih publikacijah, med drugim v poročilih IPCC [3], in tudi številke so podobne.) Podatki v shemi so za obdobje 2005–2008, ko je bila ta raziskava narejena, današnje količine iz človeških virov pa so nekoliko večje (~10 Gt C). Toda za ustvarjanje celovite predstave o kroženju CO₂ v naravi to niti ni tako pomembno. V poznejših izračunih bomo uporabili najnovejše podatke.



☞ Shematski prikaz smeri in količin letnih pretokov ogljika (C; ne CO₂!); številke so v milijardah ton oziroma gigatonah (Gt), z rumeno so označeni naravni viri in ponori, z rdečo človeški viri in deleži, ki jih narava absorbira, ter z belo (v oklepajih) naravne zaloge. Vidimo, da so površinske zaloge ogljika mnogo večje (oceani 1000 Gt C, kopno 2300 Gt C) od količin v ozračju (800 Gt C), vsako leto pa se ga v ozračju izmenja ena četrtina oziroma 210 Gt C (120 + 90). Človeštvo je k temu v zadnjem času prispevalo 9 Gt C na leto, pri čemer naj bi ga 5 Gt C poniknilo v oceane in kopno, 4 Gt C pa v ozračje.

Shema na prvi pogled deluje popolnoma logično in sprejemljivo. A treba je opozoriti, da so vse številke, povezane z naravnimi viri in ponori, zgolj grobe ocene (in ne izmerjene količine), določene na podlagi znanih biokemičnih in fizikalnih procesov ter približnih povprečnih koncentracij ogljika v naravi. Natančno poznamo samo količine, povezane s človeško dejavnostjo. Količine in cene energentov ter različnih materialov so namreč pomemben del celotne ekonomije, zato jih že od nekdaj natančno beležimo.

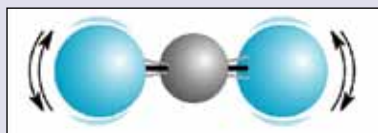
Druga velika pomanjkljivost tovrstnih prikazov je, da se vse ocene ujemajo, kot bi bila narava navidezno v popolnem ravnovesju, moteči dejavnik pa je izključno človek. To prav gotovo ne more biti res, saj iz zgodovine vemo za velika naravna nihanja tako temperature kot vsebnosti CO₂ [4], ki so se zgodila mnogo prej, preden sta človeška populacija in industrijski razvoj dosegla sedanje razsežnosti. In prav spričo velikanskih količin, ki se naravno pretakajo med površjem in ozračjem, bi bilo logično pričakovati, da že majhno neravnovesje med naravnimi viri in ponori zlahka povzroči enake ali še večje spremembe, kot jih povzroča človek v preteklih sedmih desetletjih. Zato je treba take prikaze jemati z zdravo mero zadržkov.

Tretji problem pa je posledica prikaza v obliki vsebnosti ogljika – in ne CO₂. Ni povsem jasno, ali gre tu za izrazno malomarnost, ali za medijsko odmevnost (ker je besedni sklop 'ogljikov dioksid' predolg in zveni preveč učeno, na dojemanje ljudi bolj vpliva 'ogljik', ki ga povežemo s premogom in ga imamo za 'umazanega'), ali gre za bližnjice v izračunih ali pa gre morda za namerno zavajanje (ker je k 'ogljiku' mogoče priključiti še druge snovi, ki vsebujejo C, in ne samo CO₂). Najbrž je vsaj delno res vse od naštetega. Zagotovo pa drži, da človeški izpusti poleg CO₂ pogosto vsebujejo tudi ogljik v drugačni sestavi, saj denimo pri zgoznavanju nastajajo tudi saje, v odpadnih snoveh pa na splošno najdemo tudi različne organske in neorganske kemične ogljikove spojine, katerih razpad je različno dolg: nekatere razpadejo že v nekaj minutah, druge pa za razgradnjo potrebujejo stoletja.

Saje in drugi aerosoli v ozračju preprečujejo osončenost Zemljinega površja in znižujejo temperaturo, zato pa prispevajo k dvigu temperature ozračja takrat, ko padejo na sneg ali led in z absorpcijo sončnega sevanja pospešijo taljenje; s tem se zmanjša odsevnost (albedo) površja, ki se zato bolj ogreva, s tem pa ogreva tudi ozračje. Toda te učinke je treba obravnavati posebej in ne

Toplotni učinek CO₂ je pretežno posledica ozkega infrardečega spektralnega območja valovnih dolžin okoli 15 μm.

⇒ Kemijski model molekule CO₂



Ta se energijsko ujema s simetričnim nihanjem obeh kisikovih atomov glede na atom ogljika v smeri prečno na molekularno os. Zato med strokovnjaki kroži naslednja šala: ker valovna dolžina 15 μm ustreza valovnemu številu 666 valov/cm, je torej hudič v kisiku, ne pa v 'črnem' ogljiku!

kot neposredni toplogredni učinek CO₂. Če so torej človeški izpusti ogljika prikazani tako, kot da ves ogljik, ki ga tako ali drugače obdelamo, na koncu preide v CO₂, s tem naredimo precejšnjo napako pri oceni vpliva na temperaturo ozračja. Na primer zajeten delež nafte uporabljamo v kemični industriji kot surovino za različne izdelke (mazila, plastiko itn.), katerih življenjska doba je lahko zelo dolga. Neizrabljene produkte frakcijske destilacije pa uporabljamo pri proizvodnji asfalta. V teh primerih ostaja ogljik dolgoročno vezan in ne uhaja kot CO₂ v ozračje. Vpliv asfalta se pozna v spremembi namembnosti zemljišč, ko gradimo nove ceste; ko popravljamo stare, pa seveda ne. Ker torej ves ogljik ne konča kot CO₂ v ozračju, je treba te deleže obravnavati ločeno.

Če predpostavimo, da res velja naravno ravnovesje, kot je prikazano

na prej omenjeni shemi, in če privzamemo, da ves predelani ogljik konča v obliki izpustov CO₂, se postavi vprašanje, ali so prikazane količine in deleži človeških izpustov, ki jih narava vsrka na leto, dejansko taki, kot jih je mogoče odčitati s sheme. Kako bi to lahko ocenili?

Najprej je treba upoštevati, da je količine ogljika mogoče v masni delež CO₂ zelo preprosto preračunati tako, da količine na shemi pomnožimo z razmerjem atomskih mas. Atomska masa ogljika je 12 in kisika 16, zato je razmerje CO₂ : C enako $(12 + 2 \times 16) : 12 = 3,67$. Torej tistih 9 Gt C, ki so posledica človeških izpustov, naraste na $9 \times 3,67 = 33$ Gt CO₂. Enako lahko naredimo z drugimi številkami v obravnavanem shematskem prikazu.

S tem smo pri točki b in diagramu 1, ki kaže človeške izpuste CO₂ po posameznih dejavnostih; podatke

KNJIGA MESECA Tehniške založbe Slovenije



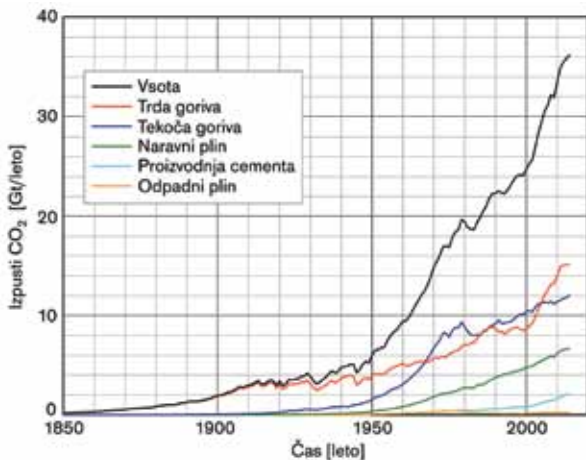
ZANIMIVE
ZGODBE
ZGRADB

Hiše, ki so videti kot košare, nebotičniki, ki segajo do oblakov, veličastne katedrale, po meri narejene vile, viseči mostovi – vse to ter še veliko drugih stavb, med njimi nekaj zelo pomembnih in nekaj preprosto nenavadnih: čakajo, da jih odkrijete.

Redna cena: 17,99 €

CENA ZA NAROČNIKE REVIJE ŽIT: 12 €

Akcija velja do izida naslednje številke revije ŽIT.



☛ Diagram 1 kaže letne izpuste CO₂, ki so posledica človeških dejavnosti (uporaba fosilnih goriv in proizvodnja cementa). Lepo so vidni posamezni pomembnejši zgodovinski dogodki: stagnacija med prvo svetovno vojno (1914–1918), borzni zlom (1929), padec ob koncu druge svetovne vojne (1945), eksponentna rast porabe nafte (po letu 1950), prvi in drugi t. i. naftni šok (1972, 1978), z njima povezano zmanjšanje porabe nafte in premoga v razvitih državah ter hkratni prehod na zemeljski plin, hitra gospodarska rast Kitajske (po letu 2000), ki jo spremlja povečana raba premoga, ter končno gospodarska kriza (2008) in upočasnitev rasti (po letu 2012).

zbira ameriški CDIAC [5]. Zraven je podana še vsota vseh izpustov. Izpusti zaradi bioloških procesov v kmetijski dejavnosti niso prikazani, saj naj bi šlo za izenačene vire in ponore CO₂, ki naj ne bi vplivali na rast vsebnosti CO₂ v ozračju. (To sicer ni povsem res, vendar so razlike razmeroma majhne.) Skupni izpusti so leta 1950 dosegli okoli 6 Gt CO₂, potem pa so se ob hitri gospodarski rasti povečali za šestkrat – najhitreje v obdobju do leta 1970 in nato spet po letu 2000, takrat predvsem zaradi hitrega razvoja Kitajske. Izpusti so se po letu 2014 znova ustalili in so leta 2018 dosegli 36 Gt CO₂. Nič čudnega torej, da je tako hitro povečanje izpustov CO₂ ter ob njem še številnih drugih do okolja neprijaznih snovi sprožilo zaskrbljenost zaradi onesnaženja okolja in celo usode planeta ter botrovalo ustanovitvi številnih aktivističnih

NAROČILNICA

Knjigo ZANIMIVE ZGODBE ZGRADB naročam:

- kot naročnik revije ŽIT po ceni 12 €
 po redni ceni 17,99 €

*Ime in priimek:

*Ulica in hišna številka:

*Poštna št.: *Kraj:

*Telefon: E-pošta:

Datum: *Podpis:

Vaša udeležba pri poštini je 2,99 €. Rok za reklamacijo je 8 dni. Morebitni odstop od naročila je 15 dni po prejemu pošiljke.

* Podatki, označeni z zvezdico, so obvezni. S svojim podpisom dovoljujete Tehniški založbi Slovenije, da vaše podatke hrani v svoji evidenci ter vas redno obvešča o najboljših ponudbah in možnostih za osvojitve privlačnih nagrad. Vaše podatke bomo hranili, dokler se med da ne boste odločili drugače – kadar koli lahko pisno ali po telefonu zahtevate, da v 15 dneh trajno ali začasno nehamo uporabljati vaše osebne podatke za namen neposrednega trženja. Tehniška založba Slovenije zagotavlja varstvo osebnih podatkov po Zakonu o varstvu osebnih podatkov.

Poštnina plačana po pogodbi št. 88/1/S. Znamka ni potrebna.

Tehniška založba Slovenije, d. d.
p. p. 541

1001 Ljubljana

www.tzs.si

MODRA ŠTEVILKA
080 17 90

 Tehniška založba Slovenije

gibanj z namenom ozaveščanja ljudi in političnih pritiskov, da se stanje spremeni.

Pa poglejmo, ali ta zaskrbljenost zdrži resno matematično presojo. Najprej bomo predstavili, kako so se stvari lotili v dokumentih IPCC (glej shemo na strani 23), kjer so predpostavili, da naravni procesi na leto vsrkajo več kot polovico vseh človeških izpustov, tj. okoli 18 Gt CO₂ (5 Gt C), od tega oceani 7 Gt CO₂ (2 Gt C), kopno (rastline, bakterije) 11 Gt CO₂ (3 Gt C), v ozračju pa naj bi ga torej ostalo skoraj 15 Gt CO₂ (4 Gt C). V dokumentih IPCC (AR5) najdemo diagram 2, v katerem so časovno prikazani skupno vsi viri in ponori CO₂. Med vire so poleg vsote vseh izpustov z diagrama 1 prišteli še vpliv sprememb namembnosti zemljišč, denimo razgozdovanje, ipd., ponori pa odslikavajo to, kar smo že videli na shemi na začetku članka: okoli 5/9 (56 %) CO₂ naj bi vsrkali oceani in kopno, 4/9 (44 %) pa naj bi ga ostalo v ozračju.

Očitno je, da časovni potek ponorov na diagramu 2 odslkava dinamiko virov. Razlog za to tiči v predpostavki, da so naravni viri in ponori med seboj v popolnem ravnovesju, njihova vsota naj ne bi vplivala na vsebnost CO₂ v ozračju in bi bila dolgoročno konstantna – zato je tudi diagram zrcalno simetričen. Torej naj bi (po IPCC) kopičenje vsebnosti CO₂ v ozračju pripisali izključno človeškemu vplivu.

Opazimo lahko še, da edino potek za ozračje kaže zelo močna nihanja. Od kod ta izvirajo? Da bi to pojasnili, si moramo ogledati izmerjene vsebnosti CO₂ v ozračju. Meritve, ki naj bi pomenile globalno povprečje, opravljajo vsakega 15. v mesecu že od leta 1958 v opazovalnici Mau-

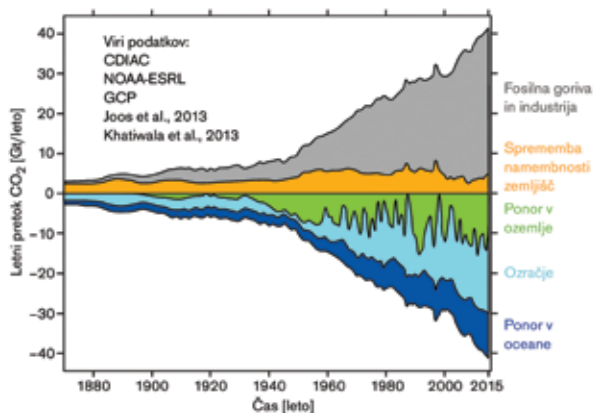
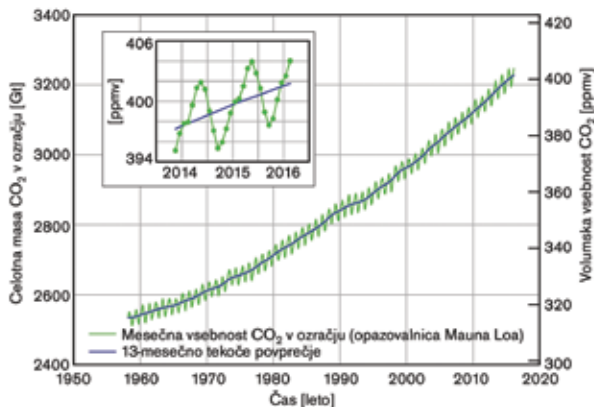


Diagram 2 kaže dinamiko letnih virov CO₂, ki so posledica človeških dejavnosti, in naravnih ponorov. Fossilska goriva in industrija ustrezajo vsoti izpustov z diagrama 1, dodatni vir pa pomenijo spremembe namembnosti zemljišč, razgozdovanje ipd. V skladu s shemo z začetka članka 56 % CO₂ vsrkajo oceani in kopno, 44 % pa ga ostane v ozračju.

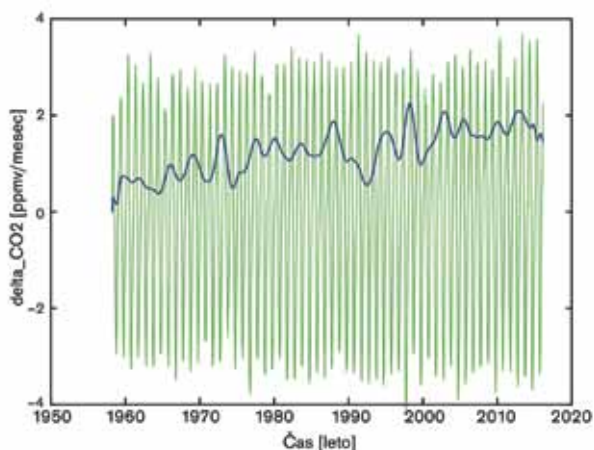
na Loa na Havajih. To so referenčni podatki za IPCC, ki pa jih je treba jemati z nekaj pridržki. Omenjena opazovalnica namreč stoji na pobočju dejavnega ognjenika, otok pa obkroža ocean, ki je glede na temperature lahko vir ali ponor CO₂. Zato je treba meritve izvajati v točno določenem obdobju dneva, ko je ozračje mirno, da se vpliv lokalnega okolja zmanjša. Pozneje so postavili merilna mesta še drugje po svetu, a čeprav meritve nakazujejo podoben trend rasti, se vrednosti med njimi opazno razlikujejo. Tudi satelitske meritve, ki jih v zadnjem desetletju izvaja NASA, kažejo, da mora preteči več mesecev, preden se ozračje dobro premeša, saj vsebnosti CO₂ nikoli niso enakomerno porazdeljene. To zlasti velja na južni polobli, kjer so človeški izpusti zanemarljivo majhni, a tudi na severni polobli opazno prevladuje vpliv sprememb letnih časov, človeški izpusti pa so enakomerno razporejeni prek celega leta.

Diagram 3 kaže časovni potek mesečnih vrednosti in 13-meseč-



⦿ Diagram 3 kaže časovni potek povprečne mesečne vsebnosti CO₂ v ozračju, izmerjen v opazovalnici Mauna Loa na Havajih. Navpična lestvica na levi ponazarja skupno maso CO₂ v ozračju (v Gt), lestvica na desni pa volumsko vsebnost v številu molekul CO₂ na milijon molekul zraka (ppmv). Enakomerna nihanja so posledica letnih časov, nas pa bolj zanima dolgoročni trend rasti vsebnosti CO₂; ta naj bi bil posledica razlik med viri in ponori CO₂, kar je vidno z diagrama 2.

no tekoče povprečje, izmerjeno na Havajih, manjši vstavljeni graf pa podrobneje kaže nihanja dveh let, ki so posledica letnih časov. Naravni



⦿ Diagram 4 kaže diferencial časovnega poteka vsebnosti CO₂ z diagrama 2. Primerjamo nezglajeni in poprej zglajeni diferencial. Na slednjem že lahko opazimo vzpenjajoči se trend vsebnosti CO₂ na letni ravni. Ta diagram je podoben poteku diagrama za letni prirastek CO₂ v ozračju, ki ga je objavil IPCC (diagram 1), le da je tam obrnjen okoli vodoravne osi, ker je predstavljen skupaj z drugimi ponori CO₂, zato ima tam negativen predznak.

viri in ponori CO₂ namreč ne delujejo vse leto, ampak so odvisni od temperature ter bioloških in drugih dejavnikov. Nihanja, ki jih vidimo na diagramu, pa so posledica razlik teh procesov med južno in severno poloblo ter razlike v razmerju med njunimi kopenskimi in morskimi površinami.

Kar vidimo na diagramu 3, je v resnici časovni integral letnih prirastkov. Da iz tega dobimo letne prirastke, ki bi jih lahko primerjali z diagramom 2, moramo ta časovni potek numerično diferencirati. Opazovalnica Mauna Loa nam že daje številčne podatke [6], torej preprosto vzamemo razliko med sosednjimi mesečnimi podatki. A ker so te razlike velike, mi pa želimo opazovati razmeroma majhne letne prirastke, moramo izvirne podatke najprej zgladiti. Ko tako obdelane podatke nato diferenciramo, dobimo časovni potek mesečnih prirastkov. Primerjavo teh z diferencialom nezglajene funkcije prikazuje graf 4. Ugotovimo, da bi iz nezglajenega diferenciala težko določili dolgoročni trend, na poprej zglajeni funkciji pa je ta dobro opazen.

Z diagrama 4 potem lahko razberemo, da CO₂ v zadnjem času narašča za približno 2 ppmv/leto (kar sicer tudi lahko sklepamo z diagrama 2: od 360 leta 1996 na nekaj več kot 400 leta 2016). Primerjajmo še, kako se to ujema z rastjo celotnih človeških izpustov (diagram 1). Ker imamo te podatke zgolj na letni ravni, moramo izračunani mesečni diferencial pomnožiti z 12, da dobimo pravo velikost letnega prirastka. Diagram 5 kaže primerjavo obeh časovnih potekov, dodali pa smo še 12-letno tekoče povprečje, da je lažje razbrati dolgoročne trende.

Mesečne podatke zgladimo z izračunom tekočega 13-mesečnega povprečja (13-mesečnega zato, da se izognemo morebitnemu 12-mesečnemu ujemanju, ki bi vneslo dodatne nepravilnosti). Vzamemo prvih 13 podatkov, jih seštejemo in delimo s 13, nato postopek ponovimo na podatkih od 2 do 14, pa od 3 do 15 in tako naprej. Po potrebi lahko uporabimo nekoli-

ko zapletenejši postopek, če denimo s kakšno funkcijo dolžine 13 točk (npr. s kvazi-Gaussovo ali s kvadratom kosinusne funkcije ipd.) obežimo (pomnožimo) posamezne podatke v skupini. Pri vsakem takem glajenju (filtriranju) je nujno popraviti časovni zamik, ki ob tem nastane in znaša polovico dolžine filtrske funkcije (v tem primeru $13/2 = 6,5$ meseca).

Oba poteka sta bila do leta 1998 primerljiva po hitrosti, čeprav sta se po velikosti razlikovala za skoraj dvakrat. Pri IPCC si to razlagajo z naravnim letnim ponorom CO₂ v oceane in kopno. Toda po letu 1998 se je zgodil preobrat: prirastek CO₂ v ozračju se je ustalil, prirastek človeških izpustov pa podvojil. Očitno povečanje CO₂ v ozračju – vsaj v prikazanem obdobju – veliko bolj ustreza časovnemu poteku globalne temperature kakor pa človeškim izpustom!

Vidimo, da je pred letom 1990 kljub precejšnji razliki v velikosti obeh prirastkov med njima obstajala neka povezava. James Hansen, zdaj že upokojeni, sicer pa dolga leta vodilni klimatolog pri NASA GISS, je bil med prvimi, ki je pri primerjavi po-

datkov postal pozoren na omenjeno razliko. Leta 1988 je v enem izmed člankov predlagal razlago, da približno 56 % človeških letnih izpustov vsrkajo oceani in kopno, preostalih 44 % pa potem prispeva k rasti CO₂ v ozračju. Ta razlaga je, kot je razvidno z diagrama 2, v dokumentih IPCC navzoča še dandanes.

Toda po letu 1990 v časovnih potekih obeh prirastkov ni nobene korelacije več. Celo nasprotno: ob tem, ko so človeški izpusti poskočili z dvojno hitrostjo, se je povečanje CO₂ v ozračju ustalilo pri približno 2 ppmv/leto! Že iz tega lahko sklepamo, da mora biti s Hansenovo razlago nekaj hudo narobe. Če so namreč vsi naravni procesi v ravnovesju in je moteči dejavnik le človek (kot predpostavljajo pri IPCC), potem bi

V novi številki
revije preberite:



Strokovna konferenca
IKTEM 2019

svet
ELEKTRONIKE



<https://svet-el.si>



Nov ultrazvočni merilnik
nivoja LU240

morale biti spremembe sorazmerne. Toda ugotovljena razlika priča, da se narava obnaša po svoje in se ne zmeni kaj prida za človekove izpuste. V scenariju, ki ga zagovarja IPCC, ni nobenega procesa, zaradi katerega bi narava nenadoma začela vsrkavati dodatne količine CO₂. Še zlasti ne, če naj bi CO₂ povzročil naraščanje temperature ozračja, zaradi česar naj bi se zvišala tudi temperatura površja oceanov, to pa, kot vemo, povzroči tudi povečano izločanje v oceanu raztopljenega CO₂. Mimogrede, to prav tako nasprotuje še eni 'popularni' trditvi IPCC, da namreč povečana vsebnost CO₂ v ozračju poveča tudi vsebnost CO₂ v oceanu, zaradi česar naj bi nastajalo več ogljične kisline, kar zniža stopnjo pH v vodi, to pa naj bi povzročilo odmiranje koral (ŽIT 2018/7–8, str. 18). Oboje hkrati pač ne more biti res!

Z diagrama 5 je torej vidno, da korelacija med človeškimi izpusti in prirastkom CO₂ v ozračju ne obstaja. Še več, iz izmerjenih koncentracij CO₂ v ozračju ni mogoče neposredno zaznati količin, ki so posledica človekove rabe fosilnih goriv in drugih človeških dejavnosti. Nekateri sicer opozarjajo, da se delež radioaktivnih izotopov ogljika (¹³C in ¹⁴C) v ozračju znižuje, kar naj bi bila očitna posledica rabe fosilnih goriv, v katerih teh izotopov ni, ker so že razpadli. Toda enako je mogoče trditi za ogljik, ki ga oceanski tokovi iz globin spravijo na površje in od tam preide v ozračje. Podobno velja za ogljik, ki ga ognjeniški izbruhi spravijo v ozračje. Čeprav je jasno, da človeški izpusti zagotovo prispevajo svoj delež k celotni vsebnosti CO₂ v ozračju, pa na podlagi vsega doslej povedanega še ne moremo do-

ločiti, kolikšen je ta delež. To bomo poskušali ugotoviti z dodatno analizo v drugem delu članka v naslednji številki revije ŽIT.

Za zdaj z gotovostjo lahko trdimo le to, da pretežni delež CO₂ v ozračju izhaja iz naravnih virov.

VIRI, LITERATURA IN SPLETNI NASLOVI

- ▶ [1] Greening of the Earth and its drivers, Zaichun Zhu, Shilong Piao, [...] Ning Zeng *Nature Climate Change* volume 6, pages 791–795 (2016).
www.nature.com/articles/nclimate3004
www.nasa.gov/feature/goddard/2016/carbon-dioxide-fertilization-greening-earth
- ▶ [2] U. S. DOE, 2008. Carbon Cycling and Biosequestration: Integrating Biology and Climate Through Systems Science; Report from the March 2008 Workshop, DOE/SC-108, U.S. Department of Energy Office of Science (genomicscience.energy.gov/carboncycle/).
public.ornl.gov/site/gallery/originals/BioComponents_Carbon.jpg
- ▶ [3] Poročila IPCC:
www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_ALL_FINAL.pdf
Chapter 6: Carbon and other biogeochemical cycles, page 487
www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.shtml
- ▶ [4] Law Dome historical CO₂ combined data:
cdiac.ornl.gov/ftp/trends/co2/lawdome.combined.dat
cdiac.ornl.gov/trends/co2/lawdome.combined.html
cdiac.ornl.gov/trends/co2/ice_core_co2.html
- ▶ [5] CDIAC, Carbon Emissions
cdiac.ornl.gov/ftp/ndp030/global.1751%5F2010.ems
- ▶ [6] Mauna Loa CO₂ concentrations (NOAA)
ftp://afftp.cmdl.noaa.gov/products/trends/co2/co2_mm_mlo

OGLAS 1/1??