

Toplogredni učinek ozračja – ali sploh obstaja?*

Atmospheric Greenhouse Effect – Does It Exist?

Erik Margan[†]
Oddelek za fiziko osnovnih delcev
Institut Jožef Stefan
Ljubljana, Slovenija
erik.margan@ijs.si

POVZETEK

Problem izračuna efektivne povprečne temperature planeta je v osnovi domneve o učinku tople grede ozračja (ta učinek ni bil nikoli fizikalno dokazan). S tem je povezan problemom ocene vpliva na podnebje s strani naravnih procesov in človeškega vpliva prek izpustov t. im. 'toplogrednih' plinov. Pri IPCC izhajajo iz termičnega sevalnega ravnovesja tako, da iz povprečnega izstopnega dolgovalovnega toplotnega sevanja ($\sim 240 \text{ W m}^{-2}$) neposredno izračunajo povprečno temperaturo (255K), ki pa je premajhna glede na dejansko izmerjeno (288K). Razliko (33K) pripišejo učinku tople grede ozračja, zaradi česar so ocenjeni vplivi 'toplogrednih' plinov preveliki in posledično klimatski računalniški programi napovedujejo segrevanje, za katerega že zdaj vidimo, da je preveliko glede na dejansko zabeleženo hitrost segrevanja planeta ($\sim 0,15 \text{ K}$ na desetletje). Drugačen izračun, podoben tistemu s katerim ameriška vesoljska agencija NASA izračunava temperaturo Lune in drugih teles brez ozračja, daje rezultat, ki odpravi potrebo po domnevi o toplogredne učinku ozračja in daje osnovo za bolj realne napovedi.

KLJUČNE BESEDE

Toplogredni učinek ozračja, sevalno ravnovesje, Stefan-Boltzmannov zakon, efektivna povprečna temperatura planeta

ABSTRACT

The problem of calculating the effective average temperature of the planet is at the basis of the alleged greenhouse effect of the atmosphere (which was never physically proven). The problem of estimating the natural versus anthropogenic influence on climate is closely related to this calculation. In IPCC reports the idea of thermal radiation balance is used to obtain the average outgoing thermal radiation ($\sim 240 \text{ W m}^{-2}$) to directly calculate the average temperature (255K), which is too small compared to the known value (288K). The difference (33K) is attributed to the atmospheric greenhouse effect and because of that the estimated influence of the greenhouse gases is too large. Consequently the climate computer programs are giving warming projections

*Toplogredni učinek ozračja – ali sploh obstaja?

[†]Erik Margan, Oddelek za fiziko osnovnih delcev, Institut Jožef Stefan

Permission to make digital or hard copies of part or all of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. Copyrights for third-party components of this work must be honored. For all other uses, contact the owner/author(s).

Information Society 2023, 9–13 October 2023, Ljubljana, Slovenia

© 2023 Copyright held by the owner/author(s).

which are large in comparison with the measured warming rate ($\sim 0.15 \text{ K}$ per decade). A different calculation, similar to the one used by NASA to calculate the temperature of the Moon and other bodies with weak or no atmosphere, eliminates the need for the atmospheric greenhouse effect and gives the basis for more realistic projections of future climate.

KEYWORDS

Atmospheric greenhouse effect, radiative balance, Stefan-Boltzmann law, effective average temperature of the planet

1 Toplogredni učinek ozračja

Vprašanje v naslovu se seveda nanaša na primer odprtega ozračja, ne pa na zastekljeni rastlinjak. Prvo teoretično razlago učinka tople grede je podal Jean-Baptiste Joseph de Fourier. Slaven matematik je kot topniški general v Napoleonovi vojski spoznal problem širjenja topovskih cevi s temperaturo, kasneje pa je svoje raziskave razširil še na druge materiale, tudi zrak. Za topla gredo je zapisal: "Če segretemu zraku preprečimo, da se dviga in širi, ter s tem ohlaja, potem ...". Fourieru je torej bilo jasno, da v odprtem ozračju toplogrednega učinka ni, oziroma je lahko le kratkotrajen, dokler se ne vzpostavi vertikalni zračni pretok.

"Podnebne spremembe so resnične, povzročajo jih človek in so nevarne!", je bilo jedro sporočila predsednika ZDA Baraka Obame v govoru, ki ga je imel v Skupščini Združenih narodov leta 2009. Enaka sporočila poslušamo prek množičnih medijev že kakšnih 35 let s strani številnih podnebnih aktivistov, politikov, pa tudi znanstvenikov. Znanstveno podlago za take trditve najdemo v poročilih, ki jih vse od svoje ustanovitve leta 1988 vsakih nekaj let izdaja Medvladni odbor za podnebne spremembe, IPCC (*Intergovernmental Panel for Climate Change*) [1].

Pri tem se pojavljajo trditve, da je o problemu podnebnih sprememb znanost že vse dorekla ('*science is settled*'), da je čas za razprave že potekel in je sedaj čas za akcijo. Ostra medijska kampanja o tej temi pa je v zadnjem času šla tako daleč, da že mnogi odkrito pozivajo, da je dvomljivcem in 'zanikovalcem' (termin je namenoma izbran tako, da spominja na zanikovalce Holokavsta po drugi svetovni vojni) podnebnih sprememb onemogočiti dostop do medijev in jim tako preprečiti širjenje 'neresnic in zavajanj'.

Tovrstna politična cenzura je sicer pogosta v ideoloških in političnih razpravah, toda v znanstvenih razpravah cenzure in dogmatskega razmišljanja ne smemo tolerirati, ker to pomeni konec znanosti. Bistvo znanosti je ravno v tem, da se že dosežena spoznanja v luči novih dognanj ponovno preverijo in ovrednotijo, ter po potrebi ustrezno popravijo, ali pa občasno v celoti zavržejo in se nadomestijo z novo teoretično paradigmo. Pri tem je od ključnega pomena odprta razprava o vseh vidikih problema, od osnovnih predpostavk, metodologije izvajanja eksperimentov in analize ugotovljenih podatkov in zakonitosti, primerjanja s teoretično izpeljanimi rezultati, umeščanja v strukturo že obstoječega znanja, pa do njihovih znanstvenih in filozofskih interpretacij.

Eden od temeljev, na katerih stoji domneva o človeškem vplivu na podnebje je učinek tople grede, ki naj bi bil pogojen s sevalnim ravnovesjem planeta. Institucija v kateri sem zaposlen nosi ime najslavnejšega fizika slovenskega rodu, svetovno znanega ravno po dognani zakonitosti termodinamičnega sevalnega ravnovesja. Zato se mi zdi primerno, da o tem spregovorim nekaj besed.

Jožef Stefan in njegov učenec in asistent Ludwig Boltzmann sta eksperimentalno dognala, da je sevanje idealnega črnega telesa v termodinamičnem ravnovesju sorazmerno četrti potenci absolutne temperature. Konstanta sorazmernosti je v tem primeru Stefanova konstanta, označena z grško črko sigma. Zakonitost simbolično zapišemo takole:

$$j^* = \sigma T^4$$

Pri tem je:

j^*	površinska gostota sevalne moči v enotah [Wm^{-2}]
σ	Stefanova konstanta: $5,67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$
T	absolutna temperatura v Kelvinih [K]

Ob tem je treba upoštevati predpostavko, da se sevalna površina obnaša kot idealni Lambertov sevalnik, ki seva v pol-krogelni prostor z jakostjo odvisno od kosinusa sevalnega kota, merjenega glede na normalo na sevalno površino. Kasneje je bila Stefanova konstanta teoretično izpeljana s pomočjo drugih fizikalnih konstant in na teoretičnih osnovah Boltzmannove termodinamike:

$$\sigma = (2/15) \pi^5 k^4 c^{-2} h^{-3}$$

Tu je k Boltzmannova konstanta, h je Planckova konstanta in c hitrost svetlobe v vakuumu. Planckov zakon sevanja pa je le nekoliko drugače zapisan Stefan-Boltzmannov zakon, in sicer v odvisnosti od frekvenčnega spektra sevanja.

Telo, katerega sevanje ne ustreza Planckovi spektralni funkciji idealnega črnega telesa, je možno modelirati s pomočjo dodatnega faktorja emisivnosti ε , katerega vrednost je med 0 in 1, odvisno od fizikalnih lastnosti sevalne površine. Vendar je v splošnem emisivnost funkcija valovne dolžine, pa tudi temperature, kar pa običajno za nizke temperature zanemarjamo, saj je v takih razmerah emisivnost večine materialov blizu vrednosti 1.

Eksperimentalno je mogoče ugotoviti, da spektralna funkcija sončnega sevanja ustreza Planckovemu spektru z maksimumom pri valovni dolžini 555 nm, kar ustreza temperaturi fotosfere okoli 5772 K (že Stefan je izračunal, da mora biti temperatura

sončeve fotosfere okoli 5700 K). Efektivno temperaturo Sonca lahko uporabimo za določitev gostote sevalne moči, ki pa se na razdalji zemeljske orbite zmanjša za razmerje kvadratov radijev Sonca in zemeljske orbite, R_s^2/R_o^2 :

$$j^* = (R_s^2/R_o^2) \sigma T^4$$

Tako dobimo sevalno gostoto moči na razdalji zemeljske orbite, ki jo imenujemo solarna konstanta in jo običajno označujemo kot $S_o = 1366 \text{ Wm}^{-2}$ (čeprav ni ravno konstantna, malo se spreminja, saj je odvisna od sončeve aktivnosti, eliptičnosti zemeljske orbite, pa tudi položaj velikih zunanjih planetov vpliva na spremembo položaja Sonca glede na težišče sistema). To vrednost in njene majhne spremembe potrjujejo satelitska merjenja.

Kako pri IPCC določijo učinek tople grede?

Iz solarne konstante pri IPCC izpeljejo povprečno gostoto sevalne moči, ki segreva površje planeta tako, da upoštevajo še albedo $a = 0,3$ ker se okoli 30% sevanja odbije v vesolje. Vstopno sevanje doteka skozi površino navidezne velikosti zemeljskega diska πR_z^2 , med tem ko celotno površje Zemlje $A_z = 4\pi R_z^2$ seva kot približno črno telo proti vesolju. Če velja enačba za termično ravnovesje med vstopnim in izstopnim sevanjem lahko zapišemo:

$$(1-a)\pi R_z^2 S_o = 4\pi R_z^2 \sigma T_e^4$$

Površinski faktor πR_z^2 okrajšamo, nakar izrazimo efektivno temperaturo planeta takole:

$$T_e = [(1-a)S_o/4\sigma]^{1/4}$$

Ko v to relacijo vstavimo ustrezne količine dobimo $T_e = 255 \text{ K}$ (ali -18°C). To naj bi bila temperatura brez ozračja, vendar z obstoječim albedom, ki vključuje oblake! Vendar vemo, da je dejanska povprečna temperatura planeta precej višja, $T_p = 288 \text{ K}$ (ali 15°C). Razliko pri IPCC pripišejo učinku tople grede ozračja, ki naj upočasnjuje odtekanje dela sevanja proti vesolju in s tem segreva ozračje:

$$T_{\text{utg}} = T_p - T_e = 33 \text{ K}$$

Dejansko sevalno ravnovesje planeta nastopa pri $T_e = 255 \text{ K}$ na višini približno 5 km, kjer je ozračje približno pol manj gosto in je tlak približno polovica tistega pri površju. To lahko razložimo tudi s pomočjo kvantno-mehanskih verjetnosti, da posamezna molekula zajame ali spontano izseva foton pred trkom s sosedno molekulo, vendar se s tem tu ne bomo ukvarjali. Pri IPCC potem sklepajo, da se zaradi povečanja vsebnosti toplogrednih plinov v ozračju (predvsem CO_2) spodnje plasti ozračja dodatno segrejejo za faktor, ki ga je možno izračunati, če poznamo T_{utg} in termično občutljivost na podvojitve vsebnosti CO_2 , kar je mogoče izmeriti v laboratoriju. Pravzaprav merimo spremembo gostote sevalne moči, če gre sevanje skozi plin, seveda pa je sprememba sorazmerna spektralni absorpciji plina pri določeni koncentraciji. Izmerjena odvisnost absorpcije od koncentracije CO_2 se dobro prilega logaritmični funkciji [2]:

$$\Delta F = 5,35 \ln(C/C_0)$$

kjer je razmerje koncentracij $C/C_0 = 2$ (v primeru podvojitve). Sledi $\Delta F(2) = 3,7 \text{ Wm}^{-2}$.

Potrebujemo še podatek za koliko se spremeni površinska temperatura T_p za omenjeno spremembo vsiljenega segrevanja. Za podrobno izpeljavo tu ni prostora, podana je v literaturi [3], nam pa naj zadošča naslednja relacija:

$$\Delta T_p = \Delta F \{T_p / [(1-a)S_0]\}$$

Potemtakem za $T_p = 288$ K, $a = 0,3$ in $S_0 = 1366$ Wm⁻² dobimo $\Delta T_p = 0,301 \Delta F$, oziroma za razmerje koncentracij $\Delta T_p = 1,61 \ln(C/C_0)$. Ob $C/C_0 = 2$ torej dobimo $\Delta T_p = 1,11$ K. Vsaka podvojitve koncentracije CO₂ bi nas torej ogreela za le 1,11 K – če vse ostalo ostane enako.

Vendar s tem takoj naletimo na težavo. Zgodovinsko se je koncentracija CO₂ od leta 1950 do danes povečala z 310 na 420 ppm (*parts per million*, volumskih delov na milijon), ali za 35%, torej smo še zelo daleč od podvojitve. V istem času pa se je povprečna globalna temperatura povišala za okoli 0,8 K. Iz tega pri IPCC sklepajo, da mora biti dejanska klimatska občutljivost za podvojitve koncentracije CO₂ približno trikrat večja, vsaj 2,4 K. Temu dodajo še manjši vpliv drugih toplogrednih plinov, ter odštejejo vpliv aerosolov in visoke oblačnosti, zato domnevajo, da mora biti klimatska občutljivost v območju med 2,5 in 3,5 K (v literaturi sicer najdemo vrednosti od 0,4 do 6 K; pri enem temeljnih klimatskih parametrov ni ravno visokega soglasja).

Kako pojasnjujejo to večjo občutljivost? Najpomembnejši toplogredni plin je v resnici vodna para, vendar jo IPCC obravnava kot nevtralno, saj naj bi se s povečanjem vodne pare v zraku sorazmerno povečala tudi oblačnost, ki del sončnega sevanja odbije nazaj v vesolje in tako zmanjša segrevanje tal in posledično temperaturo ozračja. Toda za pojasnitev omenjene razlike v občutljivosti vendarle vpeljejo pozitivno povratno zanko prek vodne pare: več CO₂ ogreje ozračje, to potem lahko po Clausius-Clapeyronovi relaciji omogoča zraku da vsebuje več vodne pare, kar dodatno segreje ozračje, zato se ogreje tudi površje oceanov, ki izpusti več CO₂, in tako v krog, dokler ne nastane novo sevalno ravnovesje.

Tako dobljena 3× večja občutljivost ponuja možno razlago zakaj računalniški klimatski modeli (CMIP5, CMIP6) vsi po vrsti (razen dveh Ruskih modelov, INM RAS CM) napovedujejo hitrejšo rast temperature (v povprečju 3× hitreje), kot nam kažejo meritve ozračja z meteorološkimi baloni in sateliti.

Mnogi raziskovalci pa pravijo, da gledano v celoti vodna para ne more imeti ojačevalnega učinka [4], saj na temperaturo planeta močno vpliva oblačnost. Po nekaterih ugotovitvah bi vpliv toplogrednih plinov odtehtala že sprememba oblačnosti za okoli 2%. Poleg tega pa sevalno ravnovesje ni edini način prenosa toplotne energije v ozračju, približno 1/4 odpade na konvekcijo. Prav tako planet nikoli ni v popolnem termodinamičnem ravnovesju, saj se zaradi rotacije izmenjujeta dan in noč, razdalja od Sonca se spreminja, ker se spreminjajo orbitalni parametri, zračni in oceanski tokovi prenašajo toploto iz ekvatorialnega pasu proti poloma, pa tudi ogromna termična kapaciteta oceanov zamika prenos toplote za več stoletij. Zato je uporaba Stefan-Boltzmannovega zakona za izračun učinkovite povprečne temperature brez dodatnih popravkov vprašljiva.

2 Kaj pravi zadnje poročilo IPCC AR6?

Vpričo številnih do sedaj zgrešenih napovedi so v zadnjem poročilu IPCC (AR6) opustili izrecno napovedovanje prihodnje rasti temperature. Namesto tega ponujajo več različnih možnih 'scenarijev' in 'projekcij' v odvisnosti od prihodnjega omejevanja izpustov CO₂.

Scenariji, poimenovani '*Shared Socio-economic Pathways*', nosijo ob okrajšavi SSP še dve karakteristični števili, prvo se nanaša na predvideno spremembo temperature do leta 2100, drugo pa predstavlja temu primerno dodatno sevalno siljenje. Tako denimo scenarij SSP5-8.5 (ki ustreza RCP8.5 v AR5) ponazarja porast temperature za 5 K in večje sevalno siljenje za 8.5 Wm⁻², kar naj bi bilo posledica povečanja letnih izpustov CO₂ s sedanjih 40 Gt na 130 Gt leta 2100. Kljub hudim kritikam je ta scenarij v preteklosti veljal za najbolj verjetnega, če bi pri omejevanju izpustov še naprej bili tako 'uspešni' kot doslej ('*business as usual*'). V AR6 je ta scenarij predstavljen kot manj verjeten skrajni primer, za najbolj verjetnega pa imajo SSP3-7.0, ki predvideva povečanje izpustov CO₂ na 80 Gt letno, ter posledično višje sevalno siljenje za 7 Wm⁻² in povprečno globalno temperaturo za 3,7 K. Ostali scenariji predvidevajo znižanje izpustov, zato tudi ustrezno manjše temperature.

Poglejmo podrobneje SSP3-7.0. Po zelo zapletenih izračunih najprej določijo sevalno siljenje na podlagi predvidenega vpliva koncentracije CO₂ in ostalih toplogrednih plinov, čemur dodajo še vpliv mnogih drugih faktorjev, potem pa na osnovi tega izračunajo rast temperature, tej pa dodajo kot podlago do sedaj izmerjeno rast (od referenčnega obdobja 1850-1900 naprej). Po zgodovinskih podatkih naj bi do sedaj izmerjena rast temperature znašala 1,1 K (pri tem naj bi toplogredni plini prispevali 1,5 K, drugi faktorji, predvsem izpusti SO₂ in aerosolov, naj bi to znižali za okoli 0,4 K). Predvidena rast temperature zaradi podvojitve izpustov CO₂ do leta 2100 naj bi bila 2,6 K, skupno torej 3,7 K. To je izračunano na podlagi povečanega sevalnega siljenja 7 Wm⁻².

Tu imamo nov problem. Povečanje temperature za 3,7 K daje po Stefan-Boltzmannovem zakonu precej večje povečanje sevanja. Če izhajamo iz sedanje povprečne temperature planeta 15°C in to povečamo za 3,7°C bomo imeli:

$$j^*_{1} = 5,67 \times 10^{-8} (273+15)^4 = 390 \text{ Wm}^{-2}$$

$$j^*_{2} = 5,67 \times 10^{-8} (273+15+3,7)^4 = 410 \text{ Wm}^{-2}$$

$$j^*_{2} - j^*_{1} = 410 - 390 = 20 \text{ Wm}^{-2}$$

Kako naj bi tistih predvidenih 7 Wm⁻² proizvedlo učinek 20 Wm⁻² ni jasno. In spet imamo opravka s presežkom za faktor 3×. Morda bo kdo pripomnil, da v zgornjih izrazih ni albede, vendar pri izračunu sevanja izhajamo iz temperature, ki je že bila izračunana ob upoštevanju albede. Pri tleh pa prav tako mora veljati kontinuitetna enačba, torej tudi sevalno ravnovesje. Lahko sklepamo le, da tako modelirani sistem na nek način ustvarja energijo iz nič, kar fizikalno seveda ni možno.

Vidimo, da je v osnovi vseh modelov IPCC nekaj hudo narobe. Napak je lahko več [4]. Poleg problema sevalnega ravnovesja in načinov prenosa toplote, ter različno ocenjenih vrednosti občutljivosti planeta na koncentracijo toplogrednih plinov, se ena

od napak verjetno skriva v načinu kako je izračunana efektivna sevalna temperatura planeta, zaradi česar imamo opravka z odločno prevelikim vplivom tople grede. Raziščimo to podrobneje.

Drugačen izračun učinka tople grede

Najprej moramo pojasniti zakaj je izračun učinka tople grede pomemben. Ta faktor nastopa v vseh enačbah s katerimi klimatski računalniški programi ekstrapolirajo razvoj temperature v prihodnje v odvisnosti od spremembe koncentracije CO₂ in vseh ostalih pomembnih parametrov. Navidezno preproste enačbe imajo obliko:

$$\Delta T_i(C) = f_{CO_2} \times T_{utg} \times \{ [F_0 + \sum \Delta F_i(t)] / F_0 \}$$

$\Delta T_i(C)$ sprememba temperature T v času t v odvisnosti od koncentracije C

f_{CO_2} klimatska občutljivost na podvojitve vsebnosti CO₂

T_{utg} efektivna temperaturna razlika zaradi učinka tople grede (privzeto 33K)

F_0 osnovno sevalno siljenje

$\Delta F_i(t)$ časovna odvisnost siljenja številnih drugih faktorjev

Zapletenosti klimatskih računalniških modelov se skrivajo v vrednostih F_i , ki se spreminjajo s časom, mnoge v medsebojni soodvisnosti, njihove spremembe se seštevajo in dodajo osnovnemu siljenju, na katerega je vse skupaj normirano. Z večjo vrednostjo občutljivosti in večjo vrednostjo učinka tople grede že majhne spremembe drugih faktorjev močno vplivajo na spremembo temperature. Videli smo že, da laboratorijsko določena občutljivost ima lahko v naravi precej drugačne vrednosti, kot so ugotavljali različni avtorji.

Nadalje je treba opozoriti še na eno pomembno zadevo. V izračunu efektivne sevalne temperature je vstopno sevanje S_0 deljeno s 4. Tukaj faktor 2 prispeva izmenjava dneva in noči, preostali faktor 2 pa je posledica krogelne oblike planeta, kar pomeni, da je treba upoštevati kvadrat kosinusa vpadnega kota (Lambertov zakon). S tem je doseženo, da je celotno površje planeta obsevano z ¼ sončevega sevanja nepretrgoma dan in noč. Vsakomur bi moralo biti jasno, da to povsem uniči dinamiko segrevanja in ohlajanja. A pri IPCC to upravičijo s tem, da je vrtenje planeta dovolj hitro, zato da so razlike majhne in četrti koren dodatno zmanjša spremembe. Tako naj bi po njihovem izračun povprečne temperature bil zadovoljivo natančen.

Mimogrede, 'dvomljivce' in 'zanikovalce' podnebnih sprememb v medijih pogosto ozmerjajo z 'ravnozemljaši'. Vpričo pravkar povedanega se je treba vprašati kdo je tu ravnozemljaš.

Pri izračunu povprečne temperature obsevane polkrogle je seveda treba upoštevati da se ta segreva hitro s celotno gostoto moči sončevega sevanja S_0 , oziroma tistega dela, ki doseže površje. Ohlajanje celotnega površja s sevanjem pa poteka počasneje vseh 24 ur, in sicer z gostoto moči, ki je podana z razliko med povprečno temperaturo planeta (z dodano modulacijo med dnevom in nočjo) in temperaturo vesolja, ki znaša okoli 3 K. S tem ohranjamo dinamiko sistema neokrnjeno.

V ta namen razdelimo osvetljeno površje planeta na ozke koncentrične kroge, Sl.1, na površje katerih pada sončeva svetloba pod enakim kotom θ glede na normalo na njihovo površino [5, 6, 7]. Izhajamo torej iz nekoliko drugačne relacije za povprečno temperaturo, a da se izognemo zmešnjavi bomo namesto T_e pisali T_r . Tako bo odvisnost od kota vpadnega sevanja:

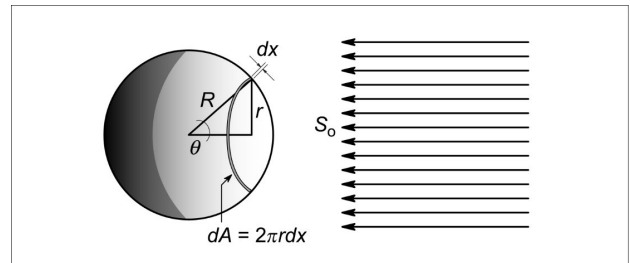
$$T_r(\theta) = [(1-a)S_0 \cos\theta / \sigma]^{1/4}$$

Ločimo konstante in spremenljivko:

$$T_r(\theta) = [(1-a)S_0 / \sigma]^{1/4} (\cos\theta)^{1/4}$$

Tako od θ odvisno temperaturo ima krožni izsek širine dx , z radiem $r = 2\pi R^2 \sin\theta$. Njegova površina je $dA = 2\pi r dx = 2\pi R^2 \sin\theta d\theta$. Srednjo temperaturo T_{sr} dobimo, če izraz $T_r dA$ integriramo po kotu θ , ki se spreminja med 0 in $\pi/2$.

$$T_{sr} = (1/2\pi R^2) \int T_r dA = (1/2\pi R^2) \int [(1-a)S_0 / \sigma]^{1/4} (\cos\theta)^{1/4} 2\pi R^2 \sin\theta d\theta$$



Sl.1: Geometrija insolacije za izračun povprečne temperature

Po izpostavljanju konstant in krajšanju dobimo:

$$T_{sr} = [(1-a)S_0 / \sigma]^{1/4} \int (\cos\theta)^{1/4} \sin\theta d\theta$$

Rezultat integracije za vrednosti θ med 0 in $\pi/2$ je:

$$T_{sr} = [(1-a)S_0 / \sigma]^{1/4} [-(4/5)\cos^{5/4}\theta] \Big|_0^{\pi/2}$$

Ker je $\cos(0)=1$ in $\cos(\pi/2)=0$, dobimo preprost izraz:

$$T_{sr} = (4/5)[(1-a)S_0 / \sigma]^{1/4} = 288,3 K$$

Ta presenetljiv rezultat je le za 0,3 K večji od 288 K, kolikor po IPCC znaša povprečna globalna temperatura planeta. To pomeni, da je učinek tople grede 100× manjši od izračunanega po IPCC metodi (33 K), zato ga lahko mirne vesti zanemarimo.

In če učinka tople grede v resnici ni, je tudi vpliv toplogrednih plinov zanemarljiv. To potrjujejo tudi eksperimenti [8, 9]. Na temperaturo planeta torej neposredno vplivata le vpadno sončevo sevanje in albedo, ki seveda ni konstanta, ampak se spreminja odvisno od fizikalnih lastnosti površine, pa tudi časovno, denimo zaradi rasti rastlin, oblakov, vsebnosti aerosolov v zraku, zasnženosti površin, itd. Na povprečno temperaturo ozračja pa seveda vpliva še temperatura oceanov in globalna termo-halinska cirkulacija, saj ima voda okoli 3200× večjo volumsko termično kapaciteto kot zrak (in CO₂ je le 0,04% volumskega deleža zraka). Zaradi velike termične kapacitete vode pa prihaja do velikih časovnih zamikov v transportu toplote, celo za nekaj stoletij, kar pomeni, da pri analizi podnebja moramo upoštevati

tudi daljšo zgodovino planeta. Vemo, da smo pred 150 leti izšli iz 400 let trajajoče male ledene dobe, zato sodobno zabeleženo segrevanje ne bi smelo biti nobeno presenečenje.

3 Sklep: Ni panike!

Zaradi vsega povedanega lahko sklenemo, da panika zaradi kakšne (namišljene) točke preloma, po kateri naj bi podnebje podivjalo, ni upravičena.

To pa ne pomeni, da lahko nehamo s prizadevanjem za čisti zrak, vodo in okolje. Vendar pa bo potrebno ukvarjati se z resničnim onesnaževanjem. Demoniziranje CO₂ nima prav nobenega smisla, saj je CO₂ hrana za rastline: pod koncentracijo 150 ppm rastline ne morejo več vsrkavati dovolj CO₂ za fotosintezo in odmrejo, kmalu zatem pa tudi vsi višji organizmi; temu smo se med zadnjo veliko ledeno dobo nevarno približali, koncentracija CO₂ je pred 12000 leti bila le 180 ppm.

Reference:

- [1] IPCC, <<https://www.ipcc.ch/report/or4/wg1/historical-overview-of-climate-change-science-2/>>
- [2] Myhre, G. D., et al. (2013) Anthropogenic and Natural Radiative Forcing Supplementary Material. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/07/WGI_AR5.Chap_8_SM.pdf>
- [3] John F.B. Michell, Meteorological Office, Bracknell, England The Greenhouse Effect and Climate Change <<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/RG027i001p00115>>
- [4] Gerhard Gerlich, Ralf D. Tscheuschner Falsification Of The Atmospheric CO₂ Greenhouse Effects Within The Frame Of Physics <<https://arxiv.org/pdf/0707.1161>>
- [5] William et al., 2017, The global surface temperature of the Moon as measured by the Diviner Lunar Radiometer Experiment Icarus, Volume 283, Feb. 2017, pp 300-325 <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0019103516304869>>
- [6] Uli Webber, Numerical Solution <<https://www.eike-klima-energie.eu/2019/09/11/anmerkungen-zur-hemisphaerischen-mittelwertbildung-mit-dem-stefan-boltzmann-gesetz/>>
- [7] F. Aires et al., 2004, Fig.6. <https://pubs.giss.nasa.gov/docs/2004/2004_Aires_ai00100w.pdf>
- [8] Seim, T.O. and Olsen, B.T. (2020) The Influence of IR Absorption and Backscatter Radiation from CO₂ on Air Temperature during Heating in a Simulated Earth/Atmosphere Experiment, Atmospheric and Climate Sciences, 10, 168-185. <<https://doi.org/10.4236/acs.2020.102009>>
- [9] Thomas E. Shula, A Novel Perspective on the Greenhouse Effect <<https://wattsupwiththat.com/2023/04/18/a-novel-perspective-on-the-greenhouse-effect/>>