

**Fizika podnebnih sprememb  
gradiva za aktivnosti**

**Aleš Mohorič, Gregor Skok,**

**FMF, Univerza v Ljubljani**

**2025**

## **Aktivnost 1: Povprečna temperatura ozračja blizu površja**

*Cilj: uporabiti znanje računanja povprečne vrednosti, risanja grafov, prepoznavanja lastnosti grafa, vrednotenja pomena (relevantnosti) vzorcev v grafu, spoznati naravno spremenljivost klimatskega sistema ter negotovosti določitve njegovega povprečnega stanja, spoznati globalno segrevanje*

*Oprema: kalkulator, možnost risanja grafov*

V priloženi tabeli so zbrani podatki o povprečni letni globalni temperaturi zraka blizu tal.

- a) Da zmanjšamo količino podatkov, predstavite podatke po desetletjih.
- b) Narišite graf temperature v odvisnosti od časa in opišite vzorec, ki ga opazite.
- c) V skupini se pogovorite zakaj pride do razlik v povprečni letni globalni temperaturi v zaporednih letih in kako bi lahko ocenili tipično velikost te spremenljivosti. Diskutirajte, če prisotnost časovnega trenda v nizu lahko vpliva na oceno velikosti medletne spremenljivosti in kakšen bi ta vpliv lahko bil. Določite dolžino časovnega intervala, ki bi ga potrebovali, da bi lahko dokaj natančno (z negotovostjo manjšo od  $0,02^{\circ}\text{C}$ ) določili povprečno vrednost letne globalne temperature v nekem obdobju, ob predpostavki, da ni časovnih trendov. Glede na velikost medletne spremenljivosti temperature določite obdobja za katera lahko oziroma ne moremo potrditi prisotnosti trendov.
- d) Oblikujte več možnih razlag za opaženi vzorec spremembe povprečne temperature v času. Predlagajte testne poskuse, s katerimi bi razlage preverili in napovejte izide poskusov za razlage.
- e) Primerjajte graf globalnih temperatur z grafom za Ljubljano. Opišite podobnosti in razlike, ki jih opazite in razmislite o njihovih vzrokih. Kako podatki za Ljubljano vplivajo na vaše razlage iz d), jih ovržejo, okrepijo?

## Aktivnost 2: Sevalno ravnovesje

*Cilj: spoznati koncept ravnovesnega stanja in ravnovesne temperature ter kako na to vplivajo različni toplotni tokovi*

- a) Globus, kot model Zemlje, stoji v sobi in njegova temperatura je konstantna. Uporabite znanje o sevanju črnega telesa, kot sistem obravnavajte globus in narišite vse sevalne toplotne tokove, ki jih izmenjuje z okolico. Zapišite vse predpostavke in upoštevajte, da je širina puščice, ki ponazarja toplotni tok, sorazmerna toku.

Poglejte poskus, ki ga bo pokazal demonstrator (globus z žarnico v njegovi notranjosti, žarnica sveti s stalno močjo).

- b) Kot sistem obravnavajte globus in narišite vse toplotne tokove, ki jih izmenjuje z okolico, takoj po tem, ko vključimo žarnico. Uporabite znanje o sevanju črnega telesa, napovejte kvalitativni časovni potek temperature.
- c) Narišite toplotne tokove za sistem po tem, ko doseže ravnovesje, in izračunajte končno temperaturo površja globusa, ko sistem doseže termično ravnovesje. Moč žarnice je 18 W, premer globusa je 36 cm in temperatura okolice je 22,8 °C. Zapišite predpostavke, ki jih pri tem naredite.

Doseganje ravnovesja traja predolgo, zato ga ne bomo čakali, namesto tega si oglejte graf na prosojnici, ki kaže temperaturo površja globusa.

- d) Iz grafa odčitajte končno temperaturo površja in preverite, če se rezultat ujema z napovedjo. Razpravljajte o morebitnih odstopanjih.

V drugem delu poskusa, po tem ko se temperatura že ustali, globus ogrnemo z odejo.

- e) Napovejte, kvalitativno, kaj se bo v nadaljevanju zgodilo s temperaturo površja. Narišite sistem in toplotne tokove, ki jih izmenjuje z okolico.

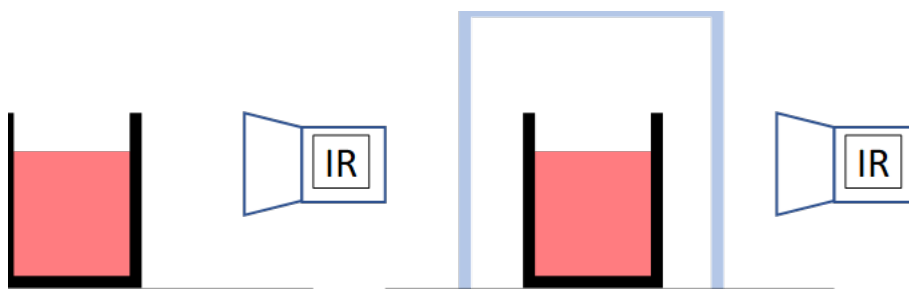
Graf temperature na površju globusa kaže diagram na prosojnici.

- f) Ali se rezultati ujemajo z vašimi napovedmi? Razpravljajte o morebitnih odstopanjih.
- g) Kako bi opisali pojav, če za sistem vzamete globus in odejo skupaj? Kateri toplotni tokovi so enaki kot v prejšnjem primeru? Kako pojasnite povišanje temperature površja globusa za ta primer? Ali lahko kaj poveste o temperaturi zunanjega površja odeje? Napovejte, kaj bi se spremenilo, če bi globus ogrnili z dodatno odejo?
- h) Primerjajte obravnavani modelu globusa, svetilke in odeje z Zemljo in njeno okolico, naštejete nekaj podobnosti in nekaj razlik.

### Aktivnost 3: Spektralne lastnosti ozračja in sončne svetlobe

*Cilj: pozna razliko med sončnim in terestričnim sevanjem, pozna absorpcijo sevanja v Zemljini atmosferi, razume, da ozračje ustvari učinek tople grede z absorpcijo večine sevanja, ki ga oddajajo tla, ta pa nazaj prejemajo tudi del sevanja, ki ga oddaja ozračje, razume, kako povečanje količine toplogrednih plinov v ozračju vodi v višjo ravnovesno temperaturo in posledično do globalnega segrevanja in drugih sprememb podnebja, proučiti lastnosti sončnega in terestričnega sevanja, spoznati absorpcijske spektre plinov ozračja in njihove toplogredne lastnosti*

Oglejte si opazovalni poskus, katerega skica je narisana spodaj.



- a) Opišite, kaj opazite pri poskusu in podajte razlago za ta pojav.

Namen naslednje aktivnosti je spoznati nekatere ključne razlike in podobnosti med dvema emisijskima spektroma – sončnim in terestričnim - in absorpcijske lastnosti ozračja – predvsem razlike med plini.

- b) Izmerite spekter sončne svetlobe in opišite njegove lastnosti.

Graf na prosajnici kaže spektra svetlobe, ki ju Sonce in Zemlja oddajata v vesolje.

Wienov zakon povezuje valovno dolžino največje spektralne gostote s temperaturo telesa. Wienov zakon pove, da je zmnožek temperature površja telesa in valovne dolžine vrha spektra oddanega sevanj enak  $2,9 \times 10^{-3} \text{ K m}$ .

- c) Izračunajte temperaturi površja Sonca in Zemlje, ki ustrezata emisijskima spektroma na sliki.

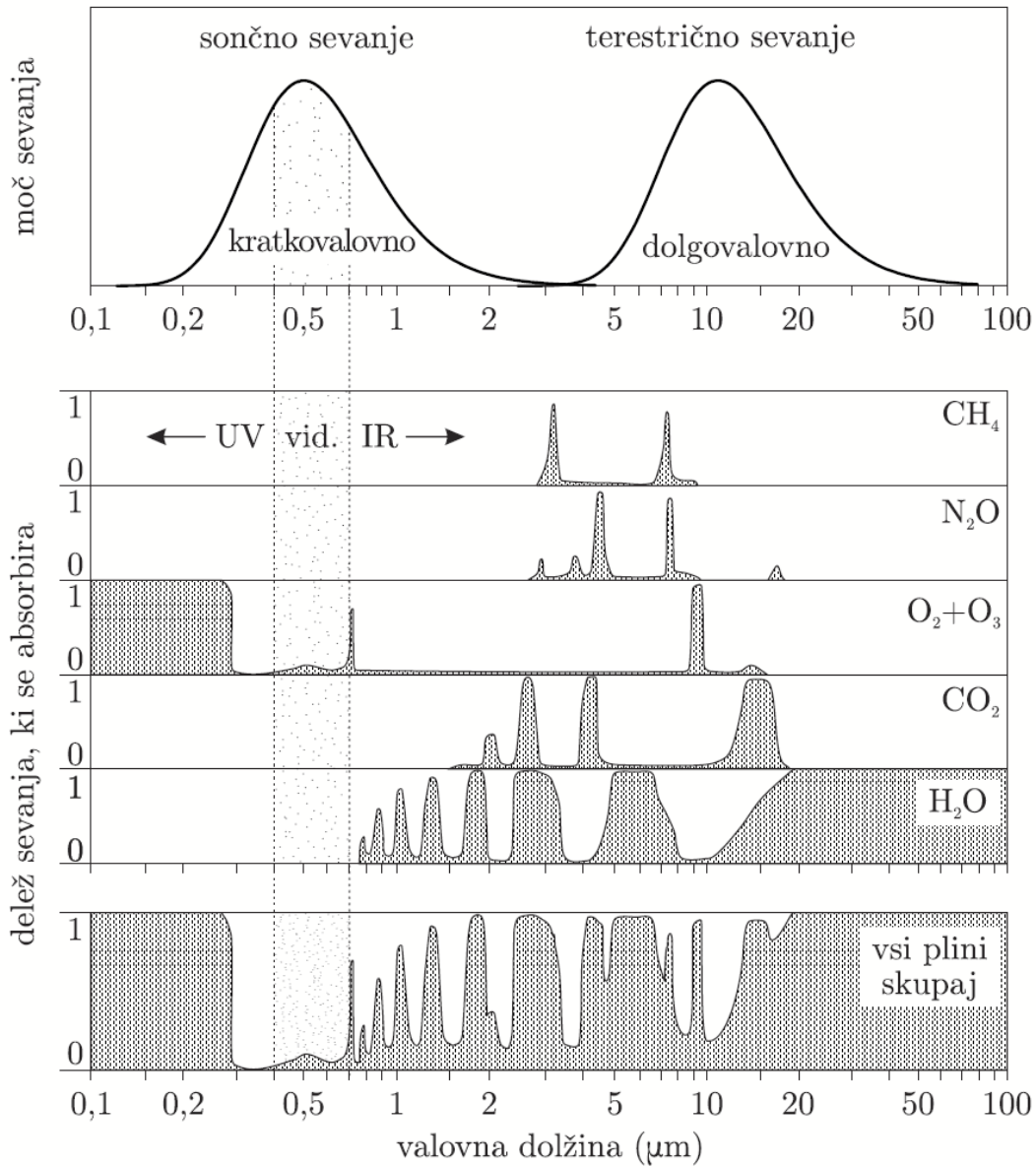
Oglejte si poskus v katerem opazujemo svečo z infrardečo kamero, najprej skozi zrak, nato skozi zrak s povečano koncentracijo ogljikovega dioksida. Posnetek poskusa je na povezavi:

<https://www.youtube.com/watch?v=SeYfl45X1wo>

- d) Opišite, kar opazite pri poskusu. Kaj lahko na podlagi opaženega poveste o lastnostih plina in svetlobnih tokovih skozenj? Podajte vsaj dve razlagi, kaj se zgodi z infrardečo svetlobo, ko doseže plast plina z veliko koncentracijo ogljikovega dioksida

- e) Uporabite razlagi in dajte napovedi, kaj se zgodi pri naslednjem, testnem poskusu, v katerem merimo temperaturo v dveh prozornih plastenkah, na kateri sveti močna halogenska žarnica. Ena plastenka je napolnjena z zrakom, druga z ogljikovim dioksidom. Po napovedi si oglejte poskus na povezavi: <https://www.youtube.com/watch?v=kwtt51gvaJQ> Ali se vaša napoved ujema z izidom poskusa? Pojasnite morebitna odstopanja.

Spodnji graf kaže absorpcijske spektre nekaterih plinov ob prehodu skozi celotno ozračje.

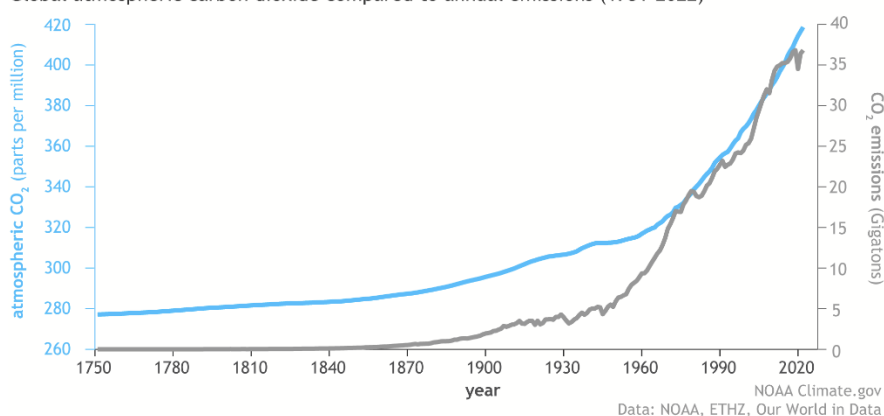


- f) Primerjajte grafe absorpcijskih spektrov z grafom emisijskih spektrov sončnega in zemeljskega sevanja. Kaj lahko na podlagi primerjave sklepate o vplivu na temperaturo površja. Obravnavajte Zemljo kot sistem, Sončevo svetlobo kot vpadni toplotni tok. Poiščite podobnosti s poskusom z globusom in odejo ter napovejte posledice absorpcijskih lastnosti ozračja.

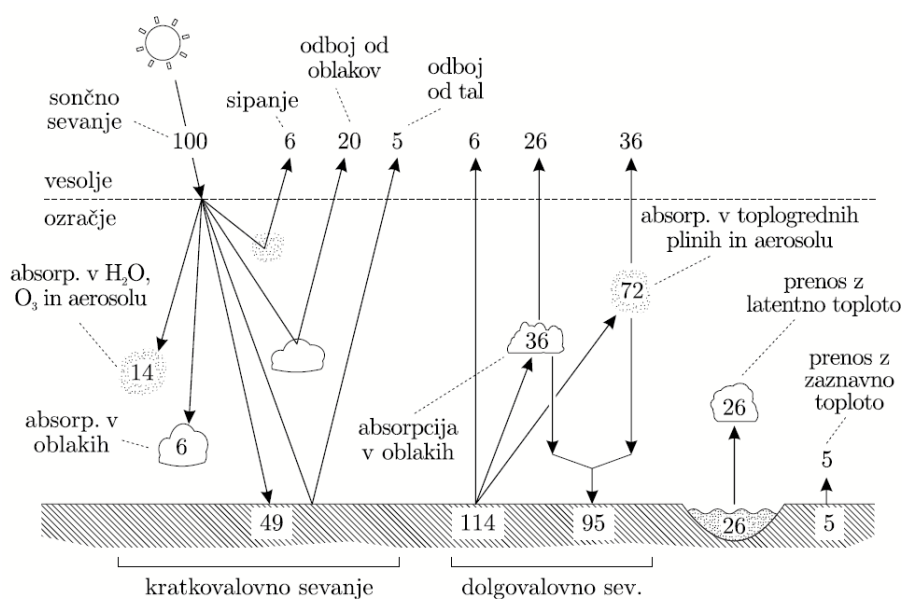
#### Aktivnost 4: Količina ogljikovega dioksida v ozračju, njene spremembe in vpliv na klimatski sistem

- Koncentracijo ogljikovega dioksida v ozračju običajno podajamo z enoto ppmv – parts per million by volume. Diskutirajte kaj pomeni, če je koncentracija ogljikovega dioksida enaka 300 ppmv.
- Opazujte poskus s svečo v zaprtem loncu pri katerem merimo koncentracijo CO<sub>2</sub>. Opišite, kaj opazite, in oblikujte razlago.
- Poglejte si graf na prosajnici, ki kaže koncentracijo CO<sub>2</sub> v ozračju v zadnjih 250 letih. Izračunajte za koliko se je koncentracija spremenila in rezultat podajte v % ter diskutirajte zakaj je prišlo do te spremembe.

Global atmospheric carbon dioxide compared to annual emissions (1751-2022)



- Oblikujte razlago kako lahko večja koncentracija CO<sub>2</sub> v ozračju vpliva na ravnovesne temperature na Zemlji. Poglejte si sliko na prosajnici, ki kaže energijske tokove med različnimi deli klimatskega sistema na Zemlji. Razmislite, kateri tokovi bi ob povečani koncentraciji CO<sub>2</sub> v ozračju ostali enaki in kateri bi se povečali ali zmanjšali.



Slika 58: Skica povprečnih energijskih tokov na Zemlji. Števila predstavljajo delež, izražen v odstotkih, v primerjavi s skupno močjo sončnega sevanja, ki vpada na Zemljo (100 % ustreza moči približno  $1,74 \cdot 10^{17}$  W). Prirejeno po [10].

## Aktivnost 5: Gladina oceanov in taljenje ledu

*Cilj: uporabiti znanje o anomaliji vode in vzgonu, uporabi znanje temperaturnega raztezanja, spozna dvig gladine oceanov*

Oglejte si posnetek poskusa <https://youtu.be/VI0dTQHzKXs?t=41>

- a) Uporabite svoje znanje o vzgonu in podatka o gostoti vode ( $1000 \text{ kg/m}^3$ ) in ledu ( $917 \text{ kg/m}^3$ ), da opišete rezultat poskusa. Odgovor utemeljite.

Oglejte si posnetek taljenja ledenika na Tirolskem- <https://www.youtube.com/watch?v=t7izrPtLnsM>

- b) Iz podatka, koliko se je na kopnem do sedaj stalilo ledu (približno  $41\,000 \text{ Gt}$ ), izračunajte povprečni dvig gladine oceanov, ki se zgodi na ta račun. Privzemite povprečno globino oceanov  $3\,688 \text{ m}$ . V oceanih je  $1,335 \cdot 10^9 \text{ km}^3$  vode, pokrivajo pa  $361 \cdot 10^6 \text{ km}^2$  površja.
- c) Primerjajte rezultat z izmerjeno vrednostjo (približno  $20 \text{ cm}$ ). Razmislite, zakaj pride do razlike med izračunanim in dejanskim dvigom gladine?
- d) Izračunajte, koliko bi se dvignila gladina v primeru, če bi se stalil ves kopenski led (približno  $24\,000\,000 \text{ Gt}$ ) ali pa če bi se temperatura oceanov povsod povečala za  $1 \text{ }^\circ\text{C}$ . Temperaturna razteznost vode je  $2 \cdot 10^{-4}/\text{K}$ .