

# Zemljina energetska ravnoteža i učinak staklenika



REPUBLIKA HRVATSKA  
Ministarstvo regionalnoga razvoja  
i fondova Europske unije



Grad Šibenik

Iceland  
Liechtenstein  
Norway grants



Norway  
grants

# Temperatura i toplina

- Unutarnja energija – zbroj potencijalne i kinetičke energije čestica u tijelu – ne možemo ju izmjeriti
- Promjena unutarnje energije – uočavamo promjenom temperature tijela
- Primanje/predavanje energije (opisuje proces) → **TOPLINA**
- Povećanje/smanjenje kinetičke energije čestica (opisuje stanje tijela) → **TEMPERATURA**

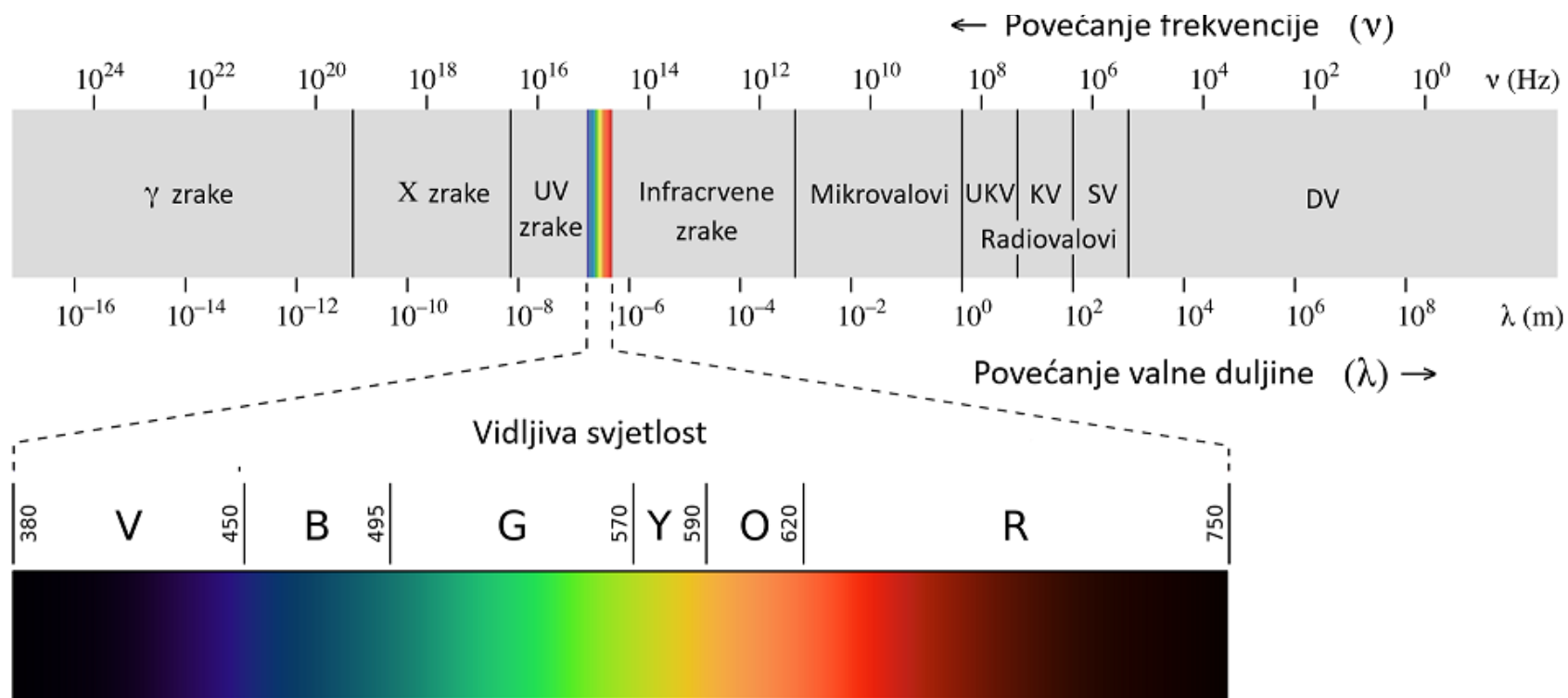
# Temperatura i toplina

- Toplina je dio unutarnje energije tijela koju tijela izmjenjuju među sobom zbog razlike u temperaturama.
- Temperatura je objektivna mjera zagrijanosti tijela proporcionalna s povećanjem ili smanjenjem kinetičke energije čestica u tijelu.
- Ako tijelo primi toplinu, povećava unutarnju energiju i temperatura mu raste. Ako tijelo preda toplinu, smanjuje unutarnju energiju i temperatura mu opada.

# Mehanizmi prijenosa topline - elektromagnetsko zračenje

- Potječe od gibanja atoma
- Prenosi se vakuumom brzinom svjetlosti
- Spektar zračenja
- Energija zračenja ovisi o valnoj duljini (veća energija – manja valna duljina)
- Dugovalno infracrveno zračenje – toplinsko zračenje
- Što se tijelo nalazi na višoj temperaturi, to je maksimum zračenja na nižoj valnoj duljini (Wienov zakon) → tijelo na većoj temperaturi emitira više zračenja

# Spektar elektromagnetskog zračenja



Izmijenjeno prema [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:EM\\_spectrumrevised.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:EM_spectrumrevised.png)

# Mehanizmi prijenosa topline – kondukcija

- Kondukcija ili vođenje zahtjeva da su dva tijela na različitim temperaturama u **kontak**tu
- Čestice tijela u kontaktu se sudaraju i tako prenose energiju
- Toplina prelazi s tijela više na tijelo niže temperature
- Kondukcija se događa dok se temperature ne izjednače
- Toplinski **vod**iči – metali
- Toplinski **izol**atori – drvo, zrak, vuna

# Mehanizmi prijenosa topline – konvekcija

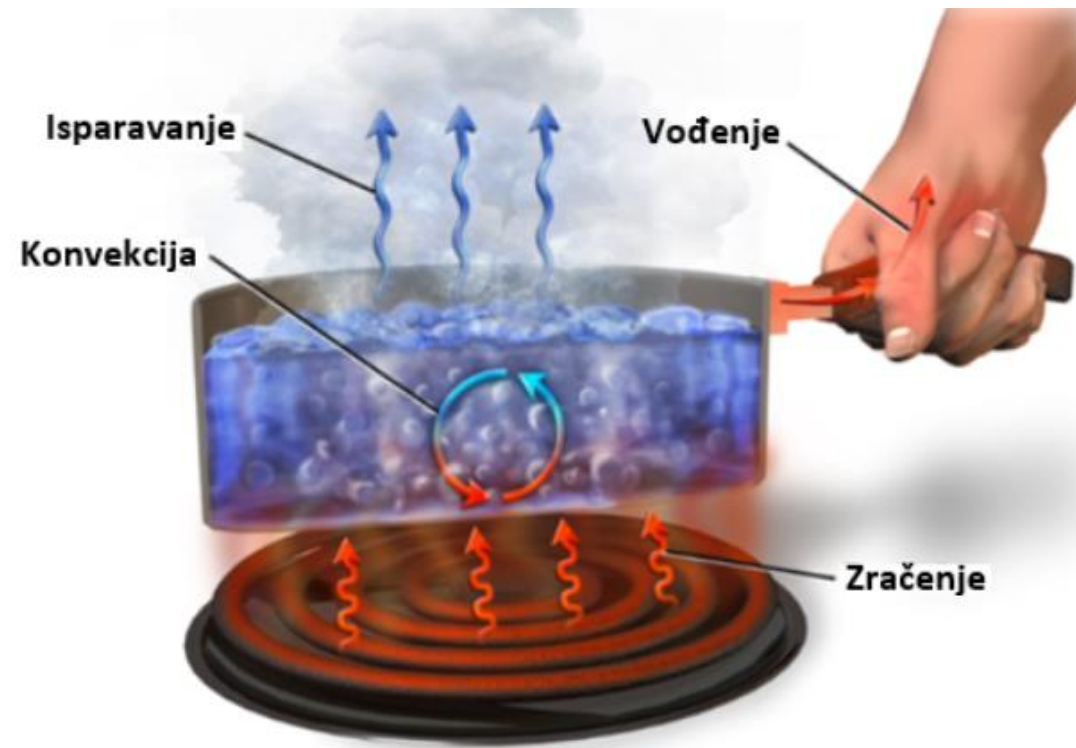
- Prijenos topline u fluidima
- Zagrijavanjem se čestice fluida brže gibaju → zagrijani sloj fluida zauzima veći volumen → smanjuje se gustoća
- Zbog smanjene gustoće zagrijani sloj se uzdiže → prenosi toplinu hladnijim slojevima (hladi se)
- Ohlađeni sloj fluida se spuša zbog smanjene gustoće

# Mehanizmi prijenosa topline – isparavanje

- U tekućem agregatnom stanju jače međumolekularne sile nego u plinovitom
- Ovisi o temperaturi i tlaku pare iznad tekućine
- Ključanje – prijelaz iz tekućeg u plinovito agregatno stanje na temperaturi vrelišta (prosječna kinetička energija cijelog obujma tekućine dovoljna za isparavanje)
- Hlapljenje – prijelaz iz tekućeg u plinovito agregatno stanje na temperaturama nižim od vrelišta (samo najbrže čestice imaju dovoljno kinetičke energije za isparavanje)
- Isparavanjem tekućini smanjuje se prosječna kinetička energija pa tako i temperatura



# Mehanizmi prijenosa topline



Izvor slike: <https://thermtest.com/heat-transfer-through-conduction-examples-in-everyday-life>

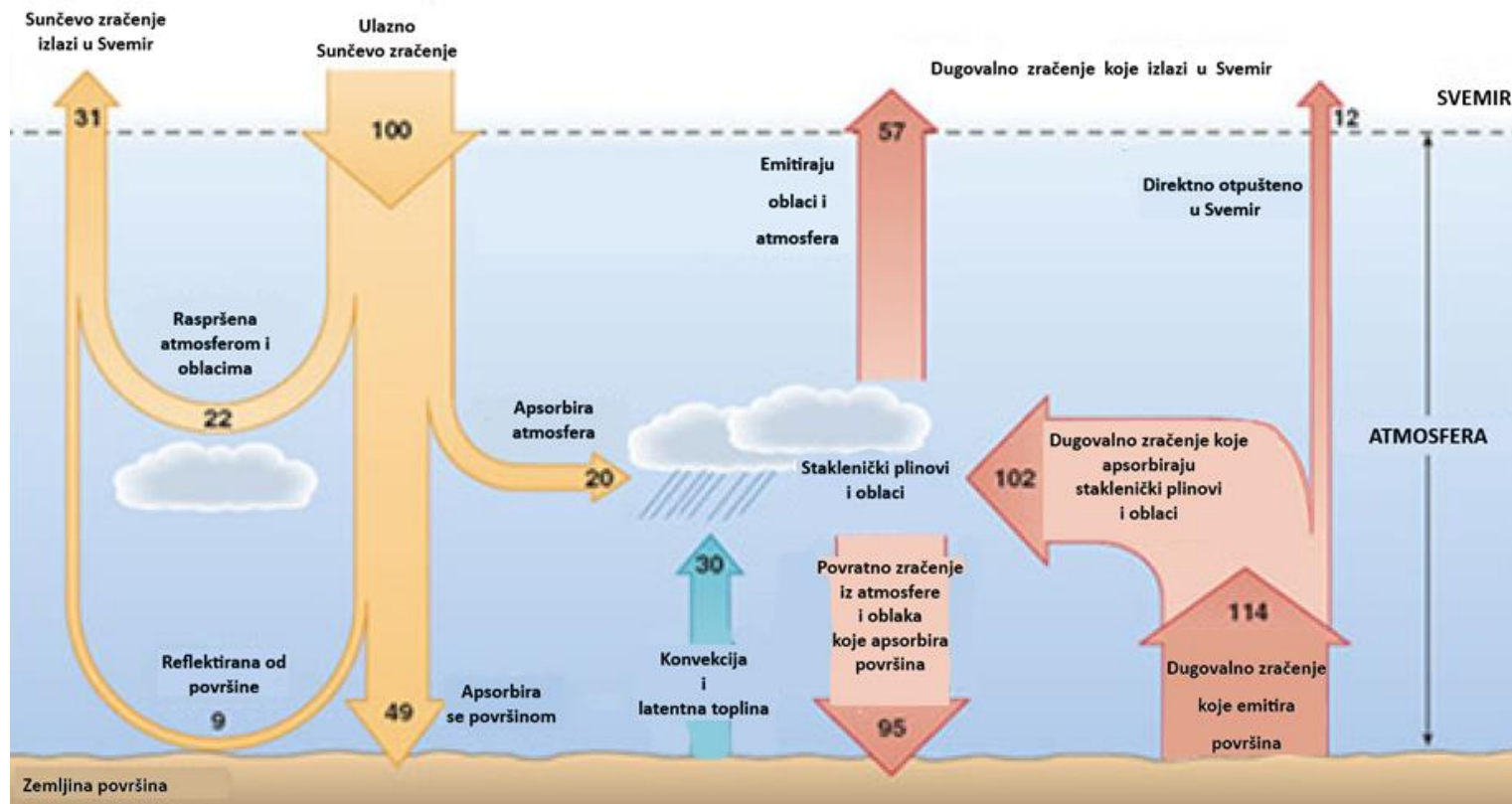
# Zemlja i Sunce

- Sunce – glavni izvor energije na Zemlji
- Temperatura Sunca  $\sim 5\,500\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Energija sa Sunca na Zemlju dolazi preko **elektromagnetskog zračenja**
- **Kratkovalno zračenje** (oko 50% vidljiva svjetlost, 40% infracrveno, 10% UV)
- Protok energije prema Zemlji približno konstantan (solarna konstanta  $\sim 1368\text{ W/m}^2$ )
- Zemlja – **stalna** prosječna temperatura  $\sim 15\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Povezanost temperature na Zemlji s primanjem Sunčevog zračenja

# Energetska ravnoteža Zemlje i atmosfere

- Zemlja i atmosfera upadno sunčevo zračenje djelomično **apsorbiraju**, a djelomično **reflektiraju** natrag u Svemir
- Albedo  $\approx 0.3$  (30% se reflektira)
- Apsorpcijom zračenja Zemlja i atmosfera se zagrijavaju
- Uvjet stale prosječne temperature: Na vrhu atmosfere upadna i izlazna energija moraju biti u ravnoteži!

# Energetska ravnoteža



Izvor slike: <https://www.open.edu/openlearn/nature-environment/climate-change/content-section-1.4>

# Mehanizmi održavanja stalne prosječne svjetske temperature

- Zagrijana površina predaje toplinu kontaktom prizemnom sloju atmosfere – **kondukcija**
- Zagrijani sloj atmosfere se širi (smanjuje gustoću) i podiže uvis pri čemu predaje toplinu i višim slojevima (hladi se) – **konvekcija**
- Vodene površine i biljke isparavaju – **evapotranspiracija**
- Zrak sadrži vodenu paru – konvekcijom vodena para gubi energiju i kondenzira u kapljice vode (nastaju oblaci)
- Zagrijana površina i atmosfera emitiraju elektromagnetsko **zračenje** s maksimumom u **dugovalnom infracrvenom** dijelu spektra
- Atmosfera prelazi u vakuum – na vrhu atmosfere samo zračenje

# Temperatura Zemlje

- Primjena Stefan-Boltzmannovog zakona za račun temperature na Zemlji:

$$F = \sigma T^4$$

F – izračena snaga po površini

$\sigma$  – S-B konstanta ( $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$ )

T - temperatura

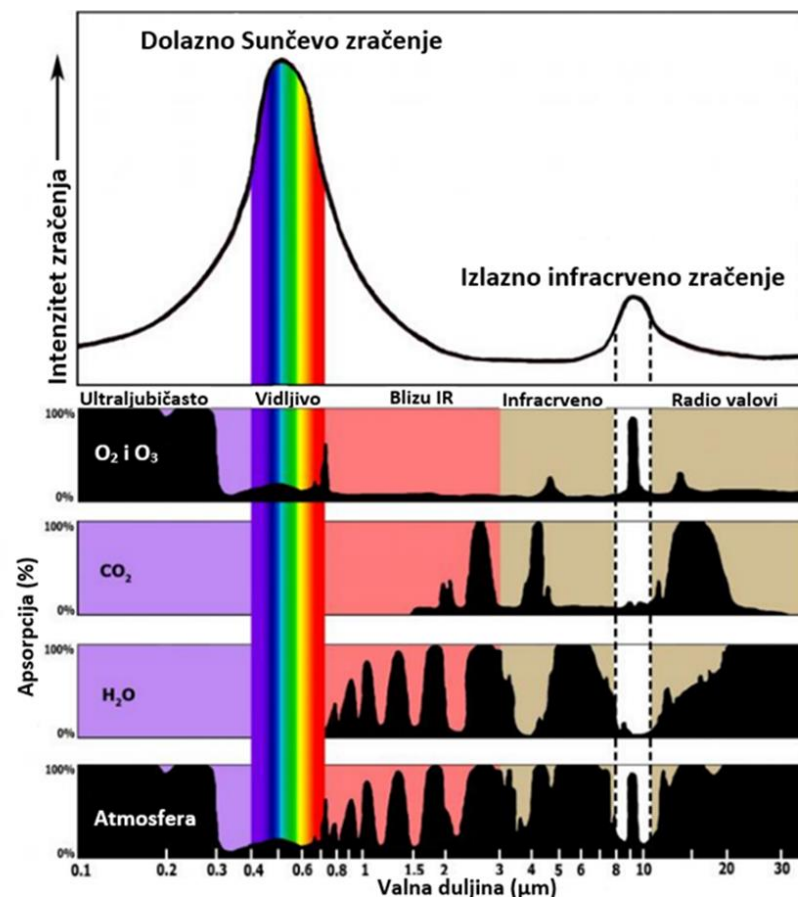
$$T = \sqrt[4]{\frac{1368 \text{ Wm}^2 \cdot 0,7}{4 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}}} \approx -18 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad \text{??!}$$

- Opažena temperatura:  $15 \text{ }^{\circ}\text{C}$  → odgovara zračenju koje je veće od zračenja apsorbiranog od Sunca

# Učinak staklenika

- Dio topline koju Zemlja emitira zadržava se u prirodnom procesu koji zovemo **učinak staklenika**
- Većina plinova u atmosferi prozirna za kratkovalno upadno zračenje
- Neki plinovi u atmosferi su dobri apsorberi infracrvenog zračenja (emitira Zemlja) → **staklenički plinovi**
- Neki staklenički plinovi: vodena para, ugljikov dioksid, dušikov dioksid, freoni, metan
- Staklenički plinovi – složene molekule

# Apsorpcijski spektar nekih stakleničih plinova

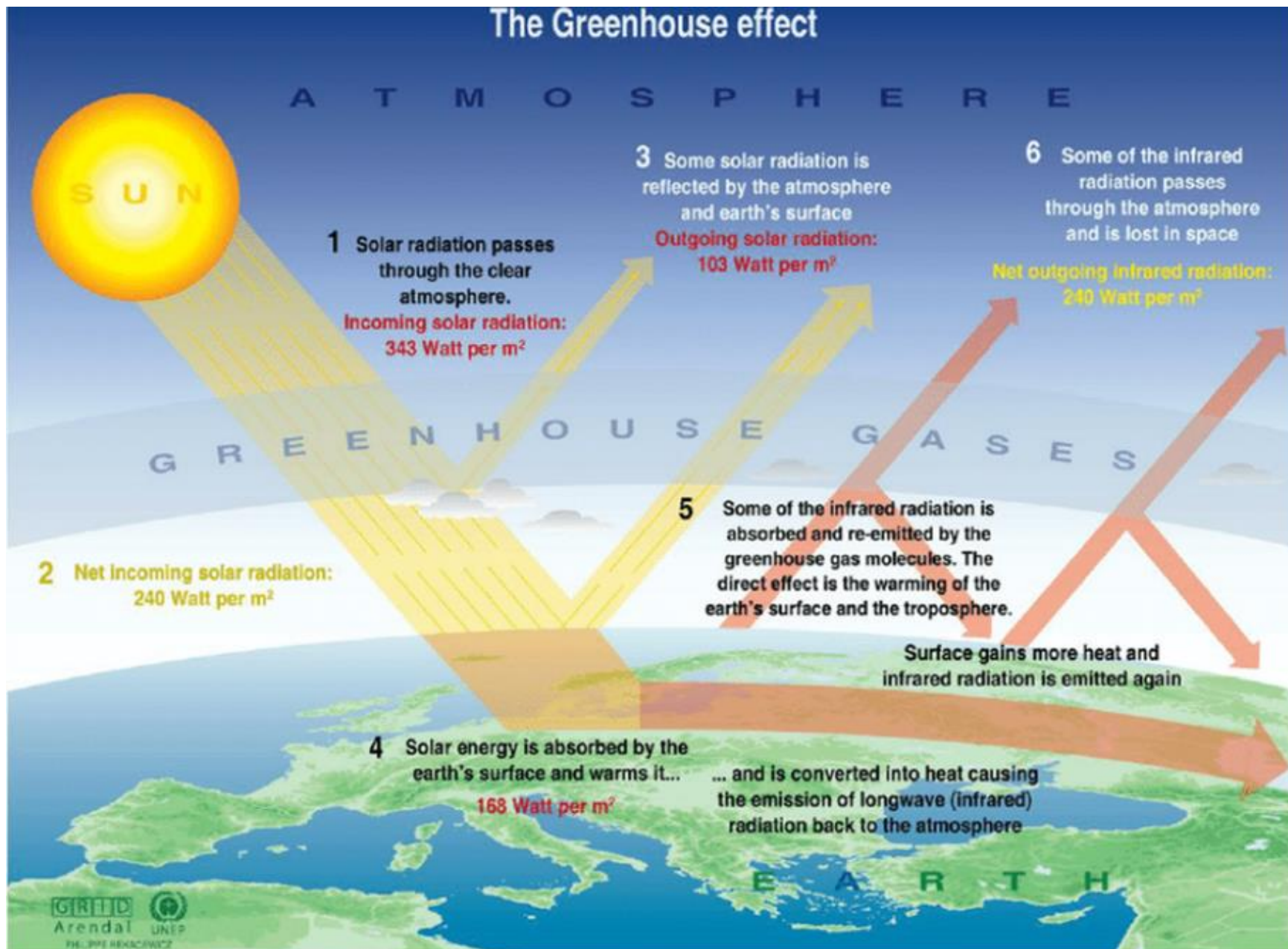


Izvor slike:

<https://www.ces.fau.edu/nasa/module-2/how-greenhouse-effect-works.php>



# The Greenhouse effect



Sunčevo zračenje prolazi kroz atmosferu

Dio zračenja se zbog raspršenja i refleksije u atmosferi i na Zemljinoj površini vraća u svemir

Zemljina površina apsorbira Sunčevo zračenje čime povećava unutarnju energiju

Zemlja zrači dugovalno (IC) zračenje

Dio dugovalnog zračenja izlazi u svemir, a dio apsorbiraju molekule stakleničkih plinova

Pobuđene molekule stakleničkih plinova emitiraju dugovalno zračenje u svim smjerovima pa se dio topline vraća na Zemlju

Sources: Okanagan university college in Canada, Department of geography, University of Oxford, school of geography; United States Environmental Protection Agency (EPA), Washington; Climate change 1995, The science of climate change, contribution of working group 1 to the second assessment report of the intergovernmental panel on climate change, UNEP and WMO, Cambridge university press, 1996.

Klimatske promjene

# Energetska ravnoteža i učinak staklenika

- Povećanjem koncentracije stakleničkih plinova smanjuje se izlazna energija (više energije ostaje → ulazna > izlazna)
- Zato se povećava temperatura Zemlje (tijelo veće temperature više zrači)
- S vremenom se ponovo uspostavi energetska ravnoteža ulaznog i izlaznog zračenja, ali na novoj, višoj temperaturi
- Razdoblje tijekom kojeg se izlazna energija, tj. temperatura povećava osjetimo kao klimatske promjene

# Hvala na pažnji!

