

Klimatske promjene i globalno zagrijavanje

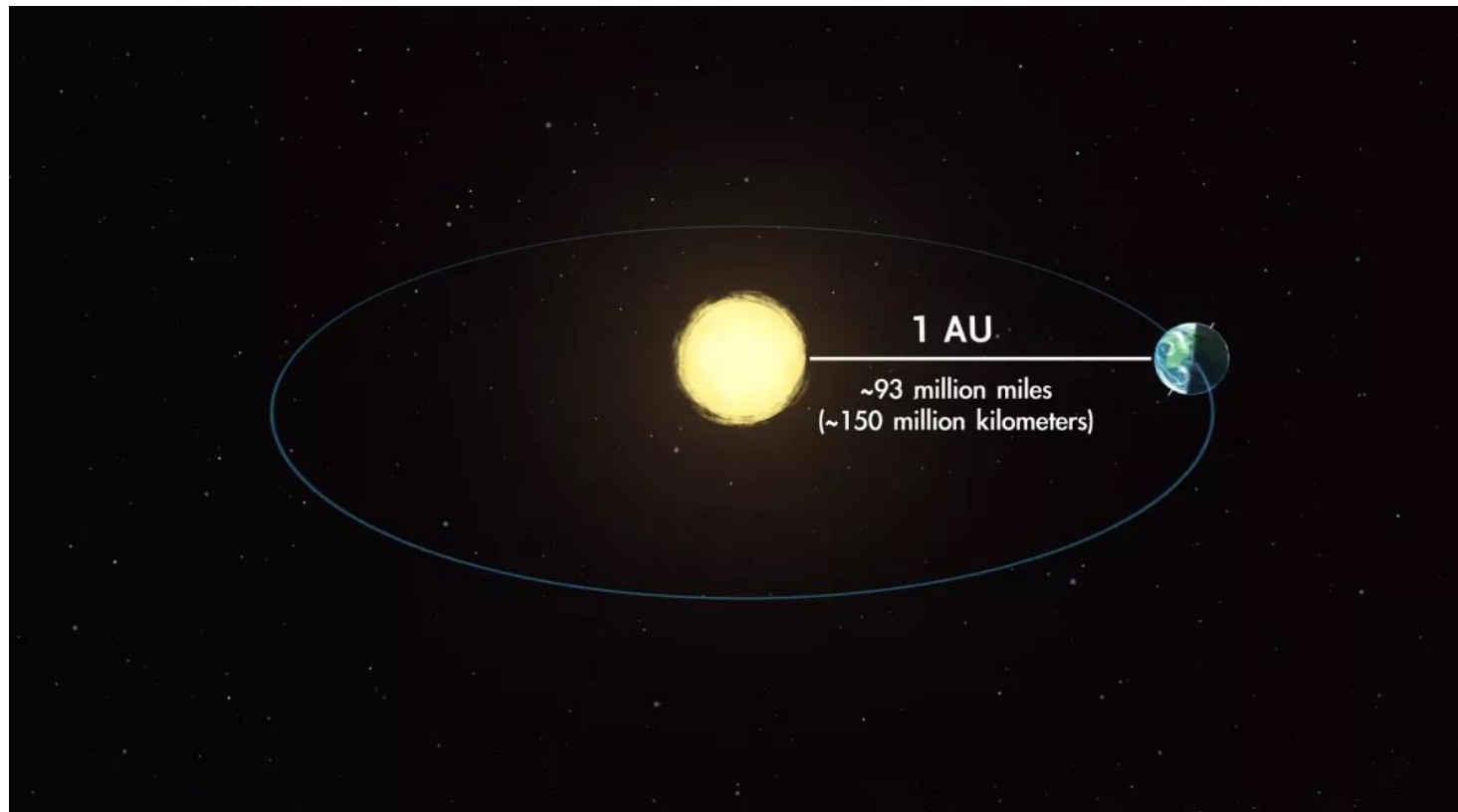
Energetska ravnoteža na vrhu atmosfere

Energija zračenja	Promjena energije na vrhu atmosfere	Promjena temperature
Ulazna	porast	porast
Ulazna	zmanjenje	zmanjenje
Izlazna	porast	zmanjenje
Izlazna	zmanjenje	porast

Ulazno zračenje

- Ulazno zračenje ovisi o protoku sunčevog zračenja prema Zemlji (prosječna vrijednost solarne konstantne 1368 W/m^2)
- Stvarna vrijednost solarne konstante mijenja se kroz godinu – najveća je u siječnju, a najmanja u srpnju
- Uzrok promjene solarne konstante kroz godinu je **eliptičnost** Zemljine putanje oko Sunca
- Elipsa Zemljine putanje je vrlo slična kružnici – svejedno, razlika primljenog zračenja u perihelu i afelu oko 7%

Zemljina putanja



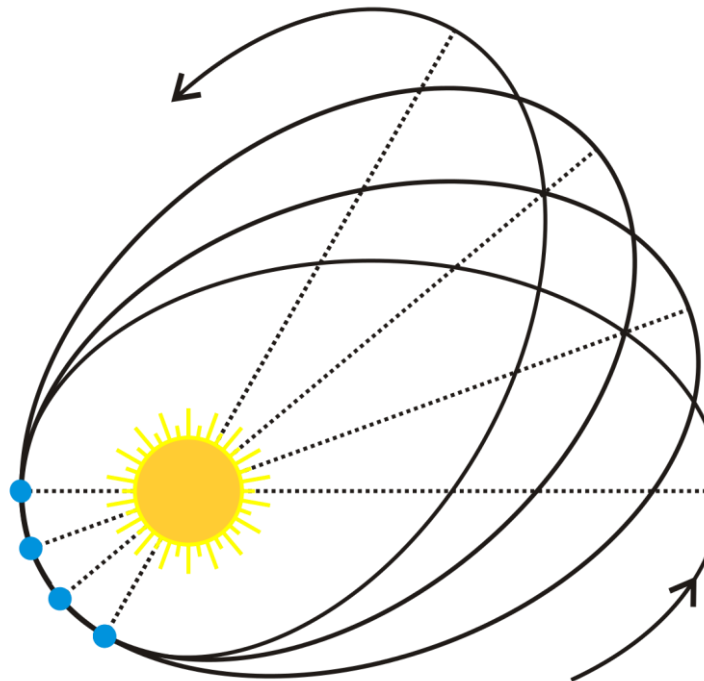
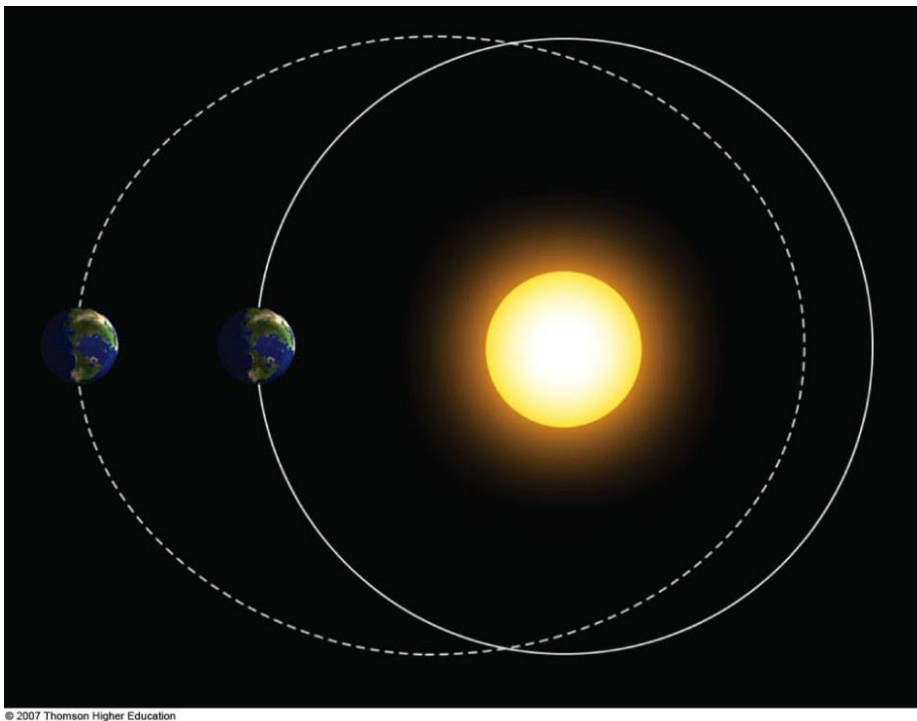
- Astronomska jedinica – mjerna jedinica za duljinu u astronomiji; prosječna udaljenost Zemlje od Sunca iznosi 1 AJ (oko 150 milijuna km)
- Zemljina putanja oko Sunca eliptična
- Osim sa Suncem, Zemlja gravitacijski međudjeluje s ostalim planetima Sunčevog sustava

Izvor slike: <https://www.space.com/17081-how-far-is-earth-from-the-sun.html>

Ulazno zračenje – promjena ekscentriciteta Zemljine putanje

- Ekscentricitet Zemljine putanje mijenja se u periodima od oko 100 tisuća godina zbog gravitacijskog privlačenja Zemlje i najvećih planeta Sunčevog sustava, Jupitera i Saturna
- Varira između vrijednosti 0.0034 i 0.058
- Trenutno ekscentricitet iznosi oko 0.0167 i povećava se (razlika udaljenosti od Sunca u perihelu i afelu oko 5 milijuna km)
- Veći ekscentricitet uzrokuje veću razliku u primljenoj energiji u afelu i perihelu (maksimalno 23%)
- Zbog vremenske skale u kojoj se događa ova promjena ulaznog zračenja ne možemo ju povezati sa današnjim klimatskim promjenama

Promjene vezane uz Zemljinu putanju

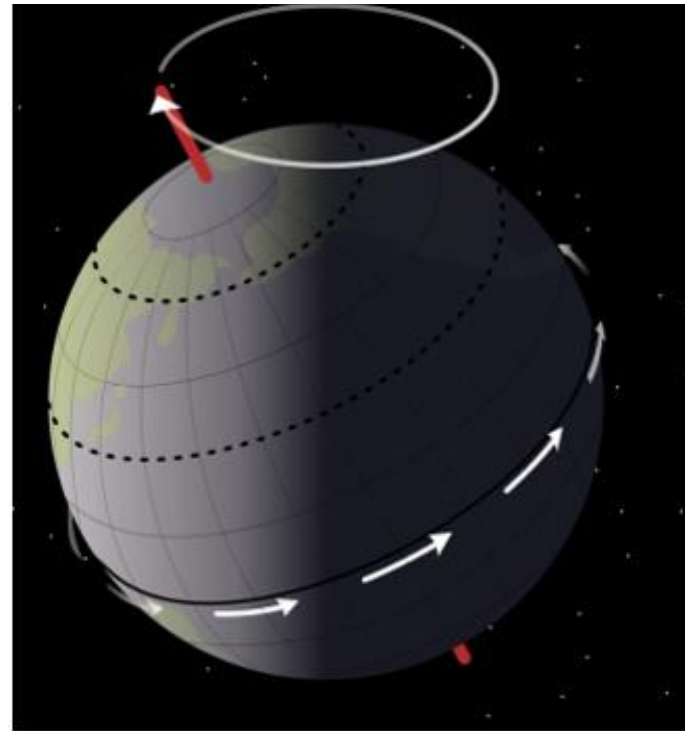
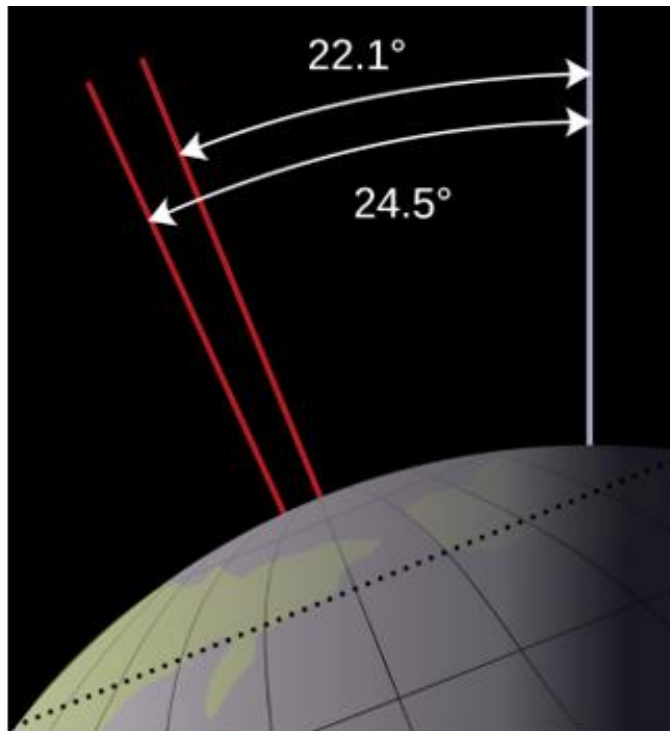


Promjena ekscentriciteta (lijevo) i apsidna precesija ili precesija perihela (desno). Precesija orbite događa se u periodima od oko 112 tisuća godina.

Ulazno zračenje – nagnutost Zemljine osi

- Kada je na sjevernoj polutci ljeto, Zemlja se nalazi najdalje Suncu
- Ljeti dani traju duže nego zimi
- Zemljina zamišljena os rotacije ima nagib u odnosu na putanju oko Sunca
- Trenutni nagib Zemljine osi $23,4^\circ$ (smanjuje se)
- Nagib osi mijenja se između vrijednosti $22,1$ i $24,5^\circ$ u periodima od oko **41 000 godina**.
- Veći nagib osi – ekstremnija godišnja doba
- Manji nagib osi – blaža godišnja doba, ali pogodno za rast ledenog pokrivača (porast albeda) → zahlađenje

Promjene vezane uz Zemljinu os



Zemljina os precesira, tj. opisuje kružnicu zbog gravitacijskog međudjelovanja Zemlje sa Suncem i Mjesecom u periodima od oko 26 000 godina

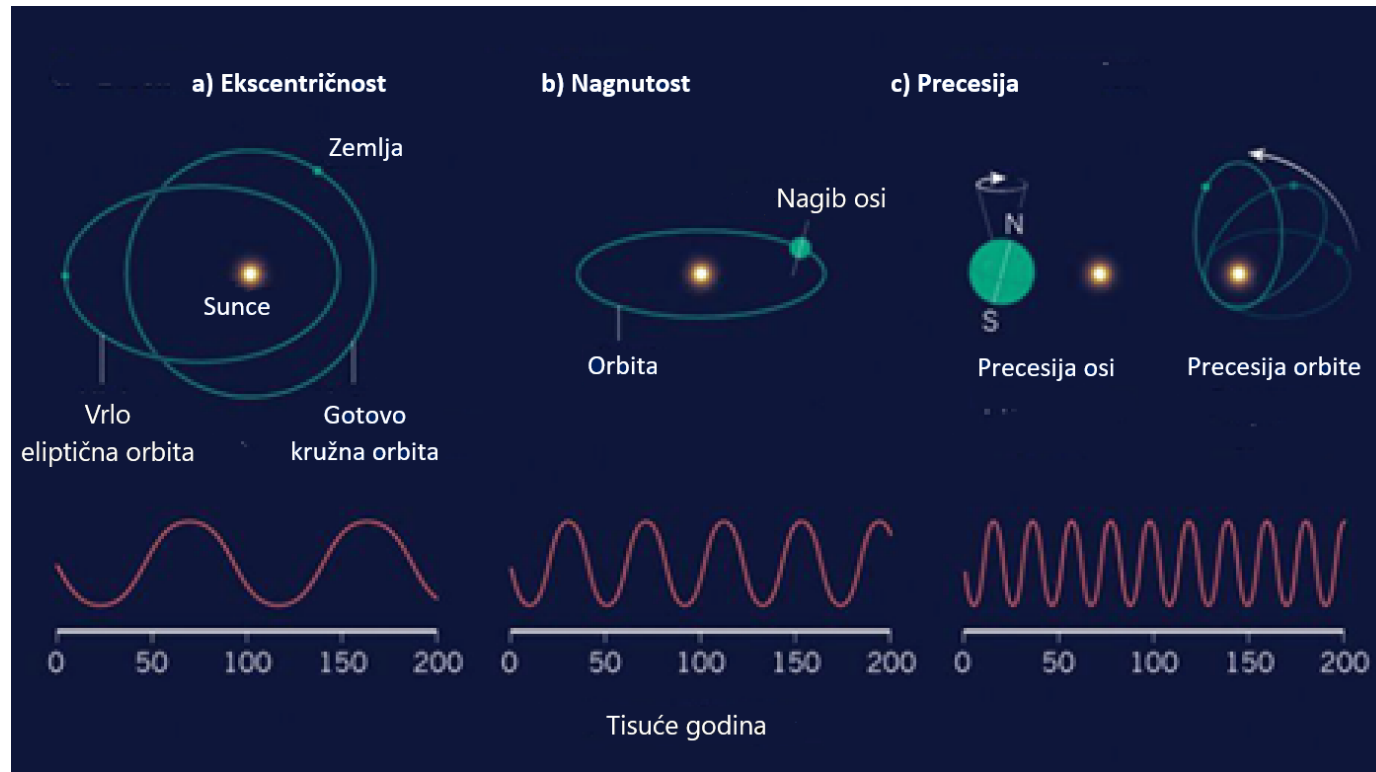
Promjena nagiba Zemljine osi (lijevo) i precesija Zemljine osi (desno)

Izvor slika:
https://earthobservatory.nasa.gov/features/Milankovitch/milankovitch_2.php

Milankovićevi ciklusi

- Milutin Milanković matematički opisao prethodno navedene cikluse vezane uz gibanje Zemlje te ih zajedno povezao u matematički model za računanje razlika u Sunčevom zračenju različitih geografskih širina i odgovarajućih temperatura na Zemlji s obzirom na fazu ciklusa
- Paleoklimatološki uzorci preklapaju se s previđanjima Milankovićevog modela
- I dalje predmet znanstvenih istraživanja

Milankovićeви ciklusi

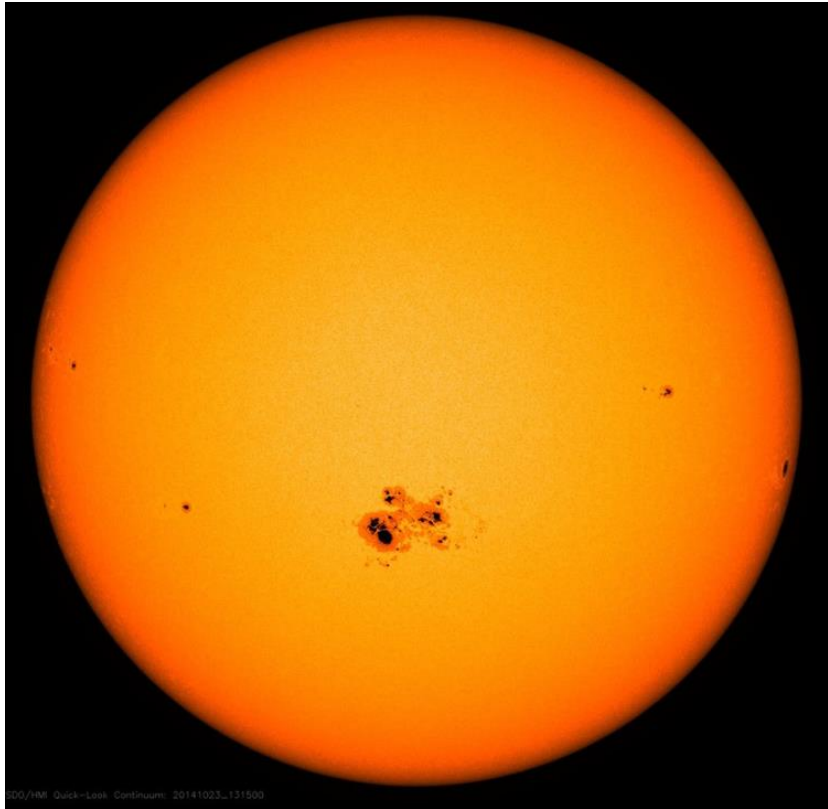


Izvor slike: https://www.researchgate.net/publication/328730355_Astronomical_climate_theory_from_the_point_of_vortical_physics

Solarni ciklus

- 11-godišnji ciklus promjene solarne aktivnosti zbog zamjene magnetskih polova
- Sunčeva aktivnost određuje se brojem sunčevih pjega
- Solarni minimum – minimalni broj pjega
- Solarni maksimum – maksimalni broj pjega
- Veliki Solarni minimum – aktivnost Sunca manja od prosjeka kroz više desetljeća ili stoljeća; trenutno razdoblje

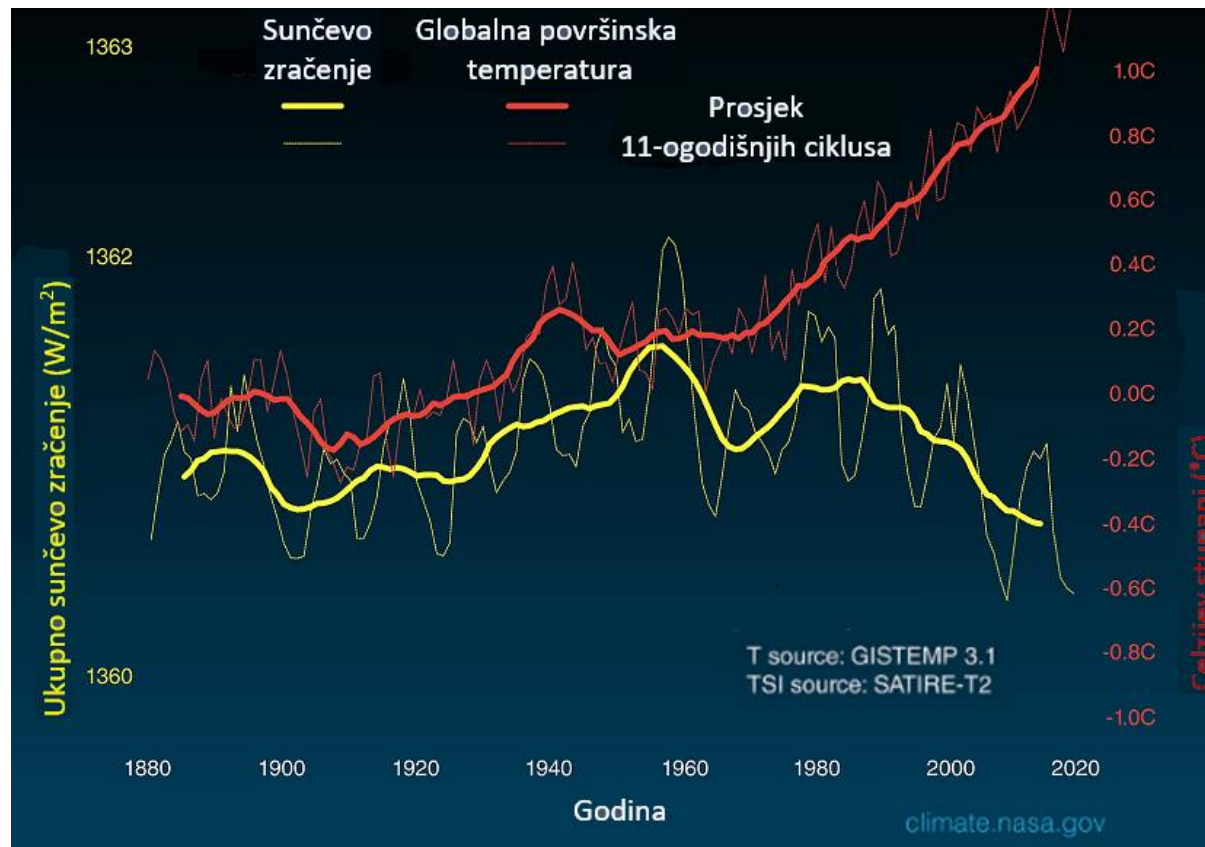
Solarni ciklus



- Sunčeve pjege – područja niže površinske temperature uzrokovana promjenama u magnetskom polju

Izvor slike: <https://www.space.com/sunspots-formation-discovery-observations>

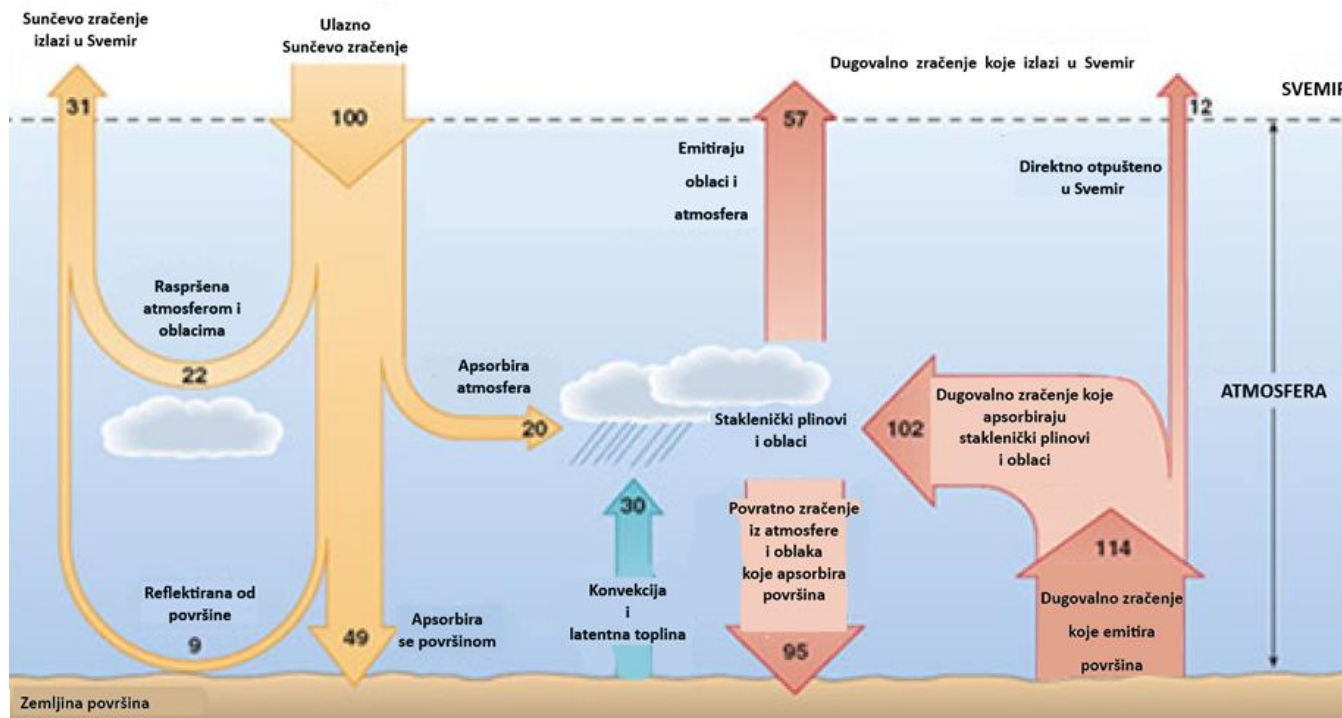
Solarni ciklus i srednja površinska temperatura na Zemlji



Izvor slike: climate.nasa.gov, <https://climate.nasa.gov/faq/14/is-the-sun-causing-glob>

Izlazno zračenje

- Na promjenu izlaznog zračenja mogu utjecati **albedo** Zemljine površine i atmosfere te **koncentracija stakleničkih plinova** u atmosferi



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

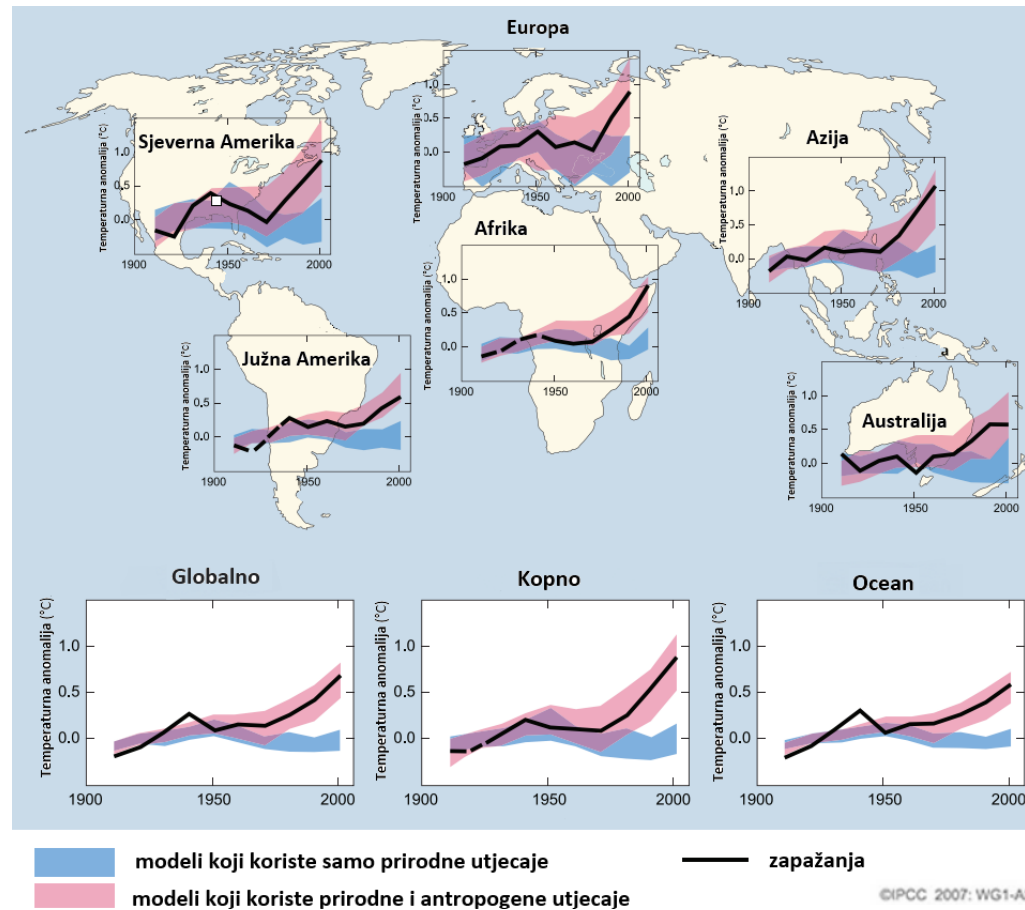
Albedo

- Zemljina površina i atmosfera reflektiraju oko 30% ulaznog zračenja
- Svjetlije površine reflektiraju bolje nego tamnije
- Najveći doprinos albedu imaju oblaci i ledeni pokrivač
- Novi snijeg ima visoki albedo (do 0,9), otapanjem snijega albedo se smanjuje
- Ocean ima nizak albedo – oko 0,06 (tj. reflektira 6%, a upija 94% upadnog zračenja)
- Tamne površine poput asfalta imaju vrlo nizak albedo (oko 0,04)
- Na albedo Zemlje utječu i čestice aerosola jer uglavnom reflektiraju upadno zračenje (osim čađe)

Koncentracija stakleničkih plinova i globalno zagrijavanje

- Povećanje koncentracije stakleničkih plinova pojačava učinak staklenika i tako smanjuje zračenje koje napušta atmosferu
- Korelacija promjene koncentracije stakleničkih plinova u atmosferi i promjene globalne temperature
- Znanstveni konsenzus o odgovornosti čovjeka za današnje klimatske promjene
- Za klimatske promjene danas najčešće koristimo naziv **globalno zagrijavanje** ili zatopljenje
- Globalno zagrijavanje – postupni porast površinske temperature uzrokovan pojačanim učinkom staklenika

Rezultati klimatskih modela

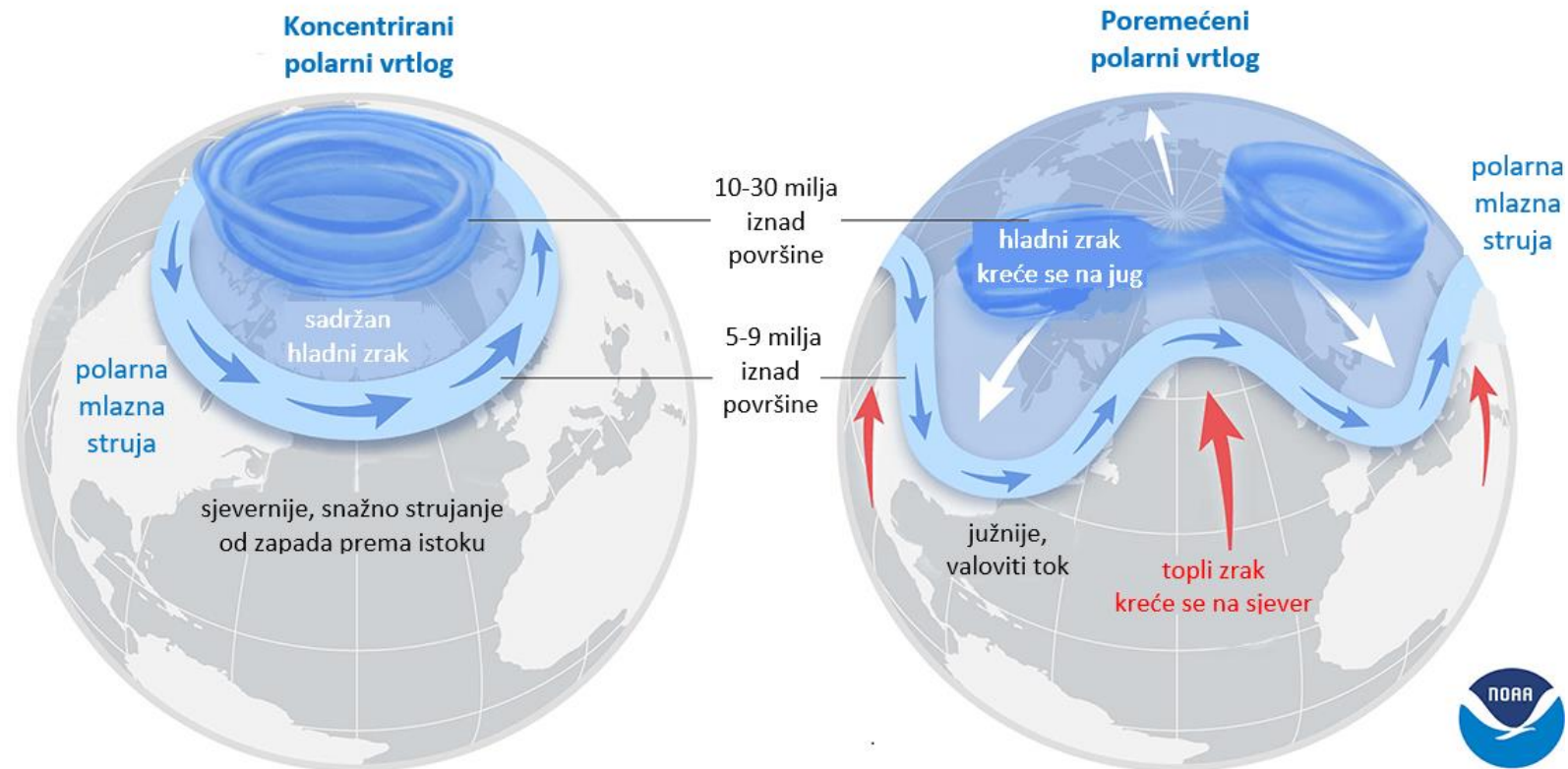


Izvor slike: IPCC, 2007: Summary for Policymakers

Globalno zagrijavanje i ekstremne hladnoće

- Unatoč trendu zagrijavanja, posljednjih godina javljala su se kraća razdoblja neuobičajenih hladnoća
- Primjer SAD prosinac 2022.
- Uzrok: spuštanje hladnog polarnog zraka u južnije geografske širine zbog slabljenja polarne mlazne struje
- Polarna mlazna struja drži polarni vrtlog koncentriran iznad sjevernog pola
- Veća razlika temperatura na polu i na srednjim g.š. – stabilnija mlazna struja
- Povećanje temperatura na polu – slabljenje mlazne struje → spuštanje polarnih hladnoća u južnije g.š.

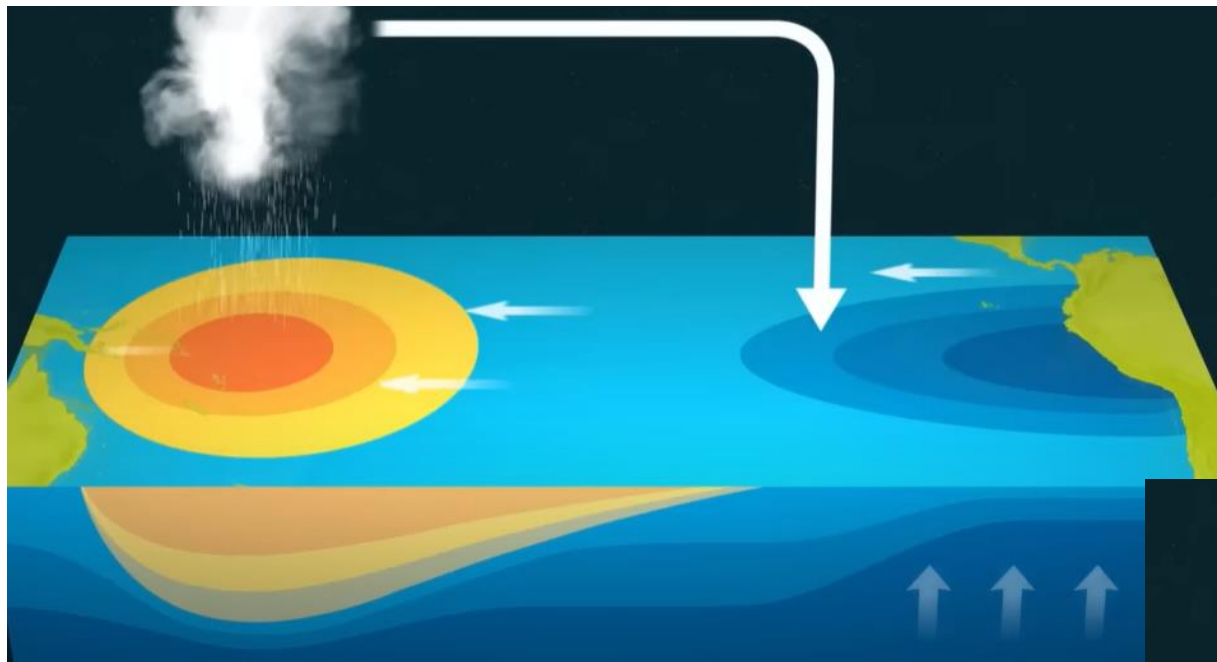
Polarni vrtlog



Izvor slike: NOAA, <https://scijinks.gov/polar-vortex/>

El Niño – južna oscilacija

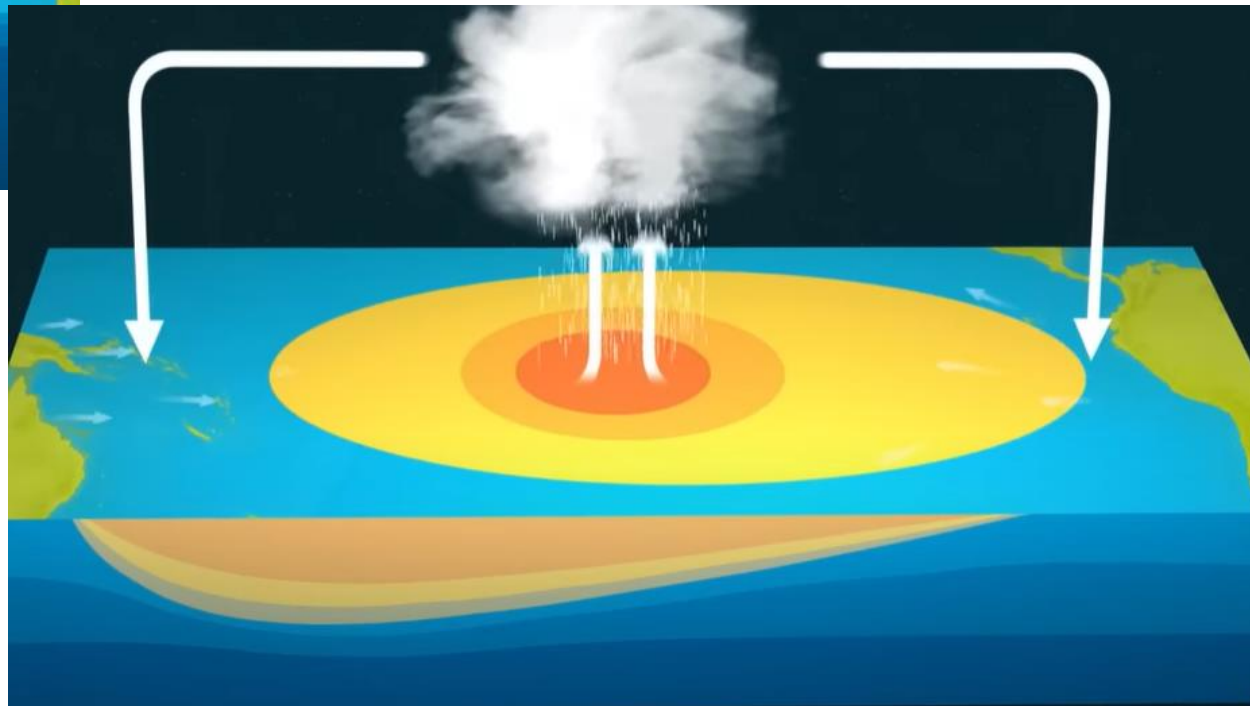
- Uzrok varijabilnosti klime na globalnoj razini
- Javlja se ciklički u prosjeku svakih 5 godina
- Traje oko godinu dana
- Posljedice se najizraženije na području tihog oceana, ali osjete se na cijeloj Zemlji
- Zbog oslobađanja velikih količina topline iz oceana u atmosferu uzrokuje povećanje globalne temperature
- La Niña – suprotan učinak



Normalno stanje na tropskom dijelu Tihog oceana: Pasati (pušu od istoka prema zapadu) odnose toplu vodu s površine prema zapadu. Hladna voda se uzdiže iz dubine da zamijeni odnesenu toplu vodu. Stvara se područje niskog tlaka zraka uz područje Australije i dijelove Azije te visokog tlaka zraka uz obalu Južne i Srednje Amerike.

Snimke zaslona iz videozapisa s adrese
<https://www.youtube.com/watch?v=WPA-KpldDvc>

Slabljemjem pasata dolazi prestaje opisana cirkulacija. Hladna voda koja je nosila hranjive tvari se prestaje uzdizati, a područje niskog tlaka se širi. Temperatura oceana raste te se velike količine topline otpuštaju u atmosferu.



Hvala na pažnji!

