

Da li je Sunce bitan čimbenik za klimatske promjene na Zemlji?



Dr. sc. Jaša Čalogović, dipl. ing.

jcalogovic@geof.hr
Opservatorij Hvar, Geodetski Fakultet
Kačićeva 26, 10 000 Zagreb

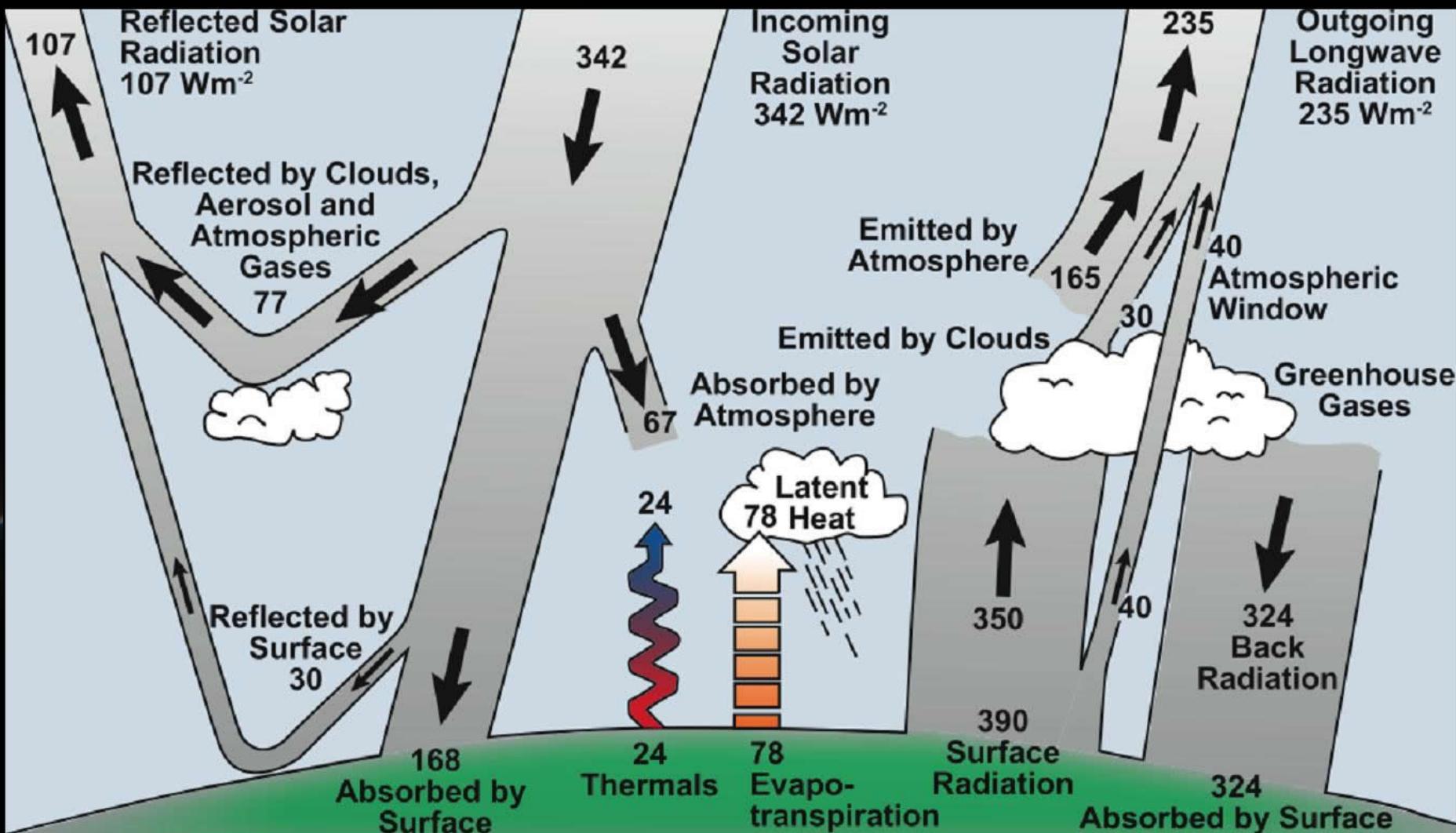


Kako se definira klima?

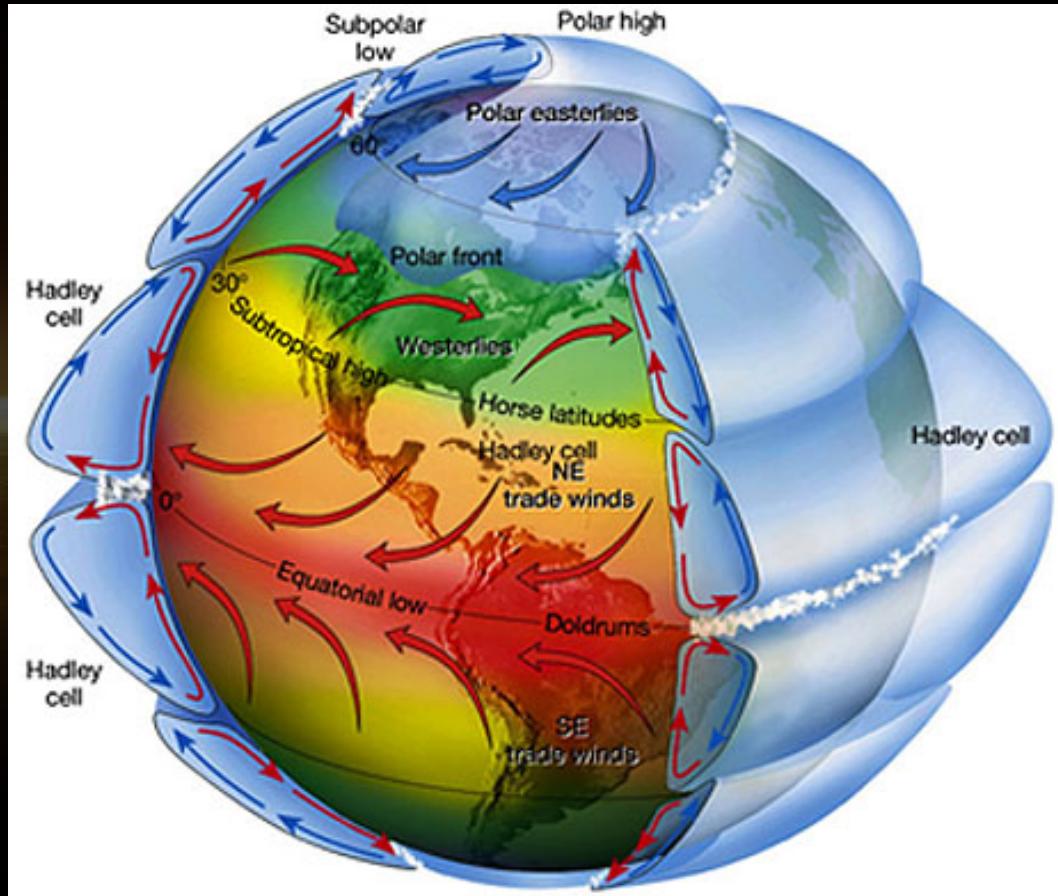
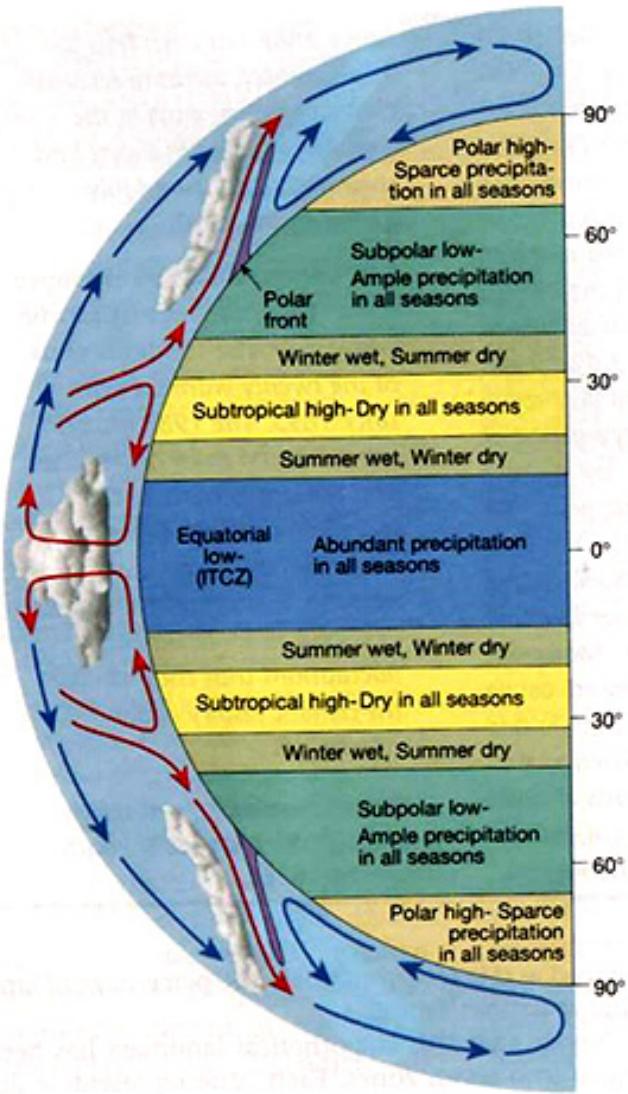
Klima (grč. nagib)

- Skup meteoroloških čimbenika i pojava koje u određenom vremenskom periodu čine prosječno stanje atmosfere nad nekim dijelom Zemljine površine
- Određuje se za neki prostor tako da se bilježe meteorološki podaci u razdoblju od 25 do 30 godina
- Određena je složenim međudjelovanjem Sunčevog grijanja Zemlje i procesa kojima se toplina raspoređuje po planetu

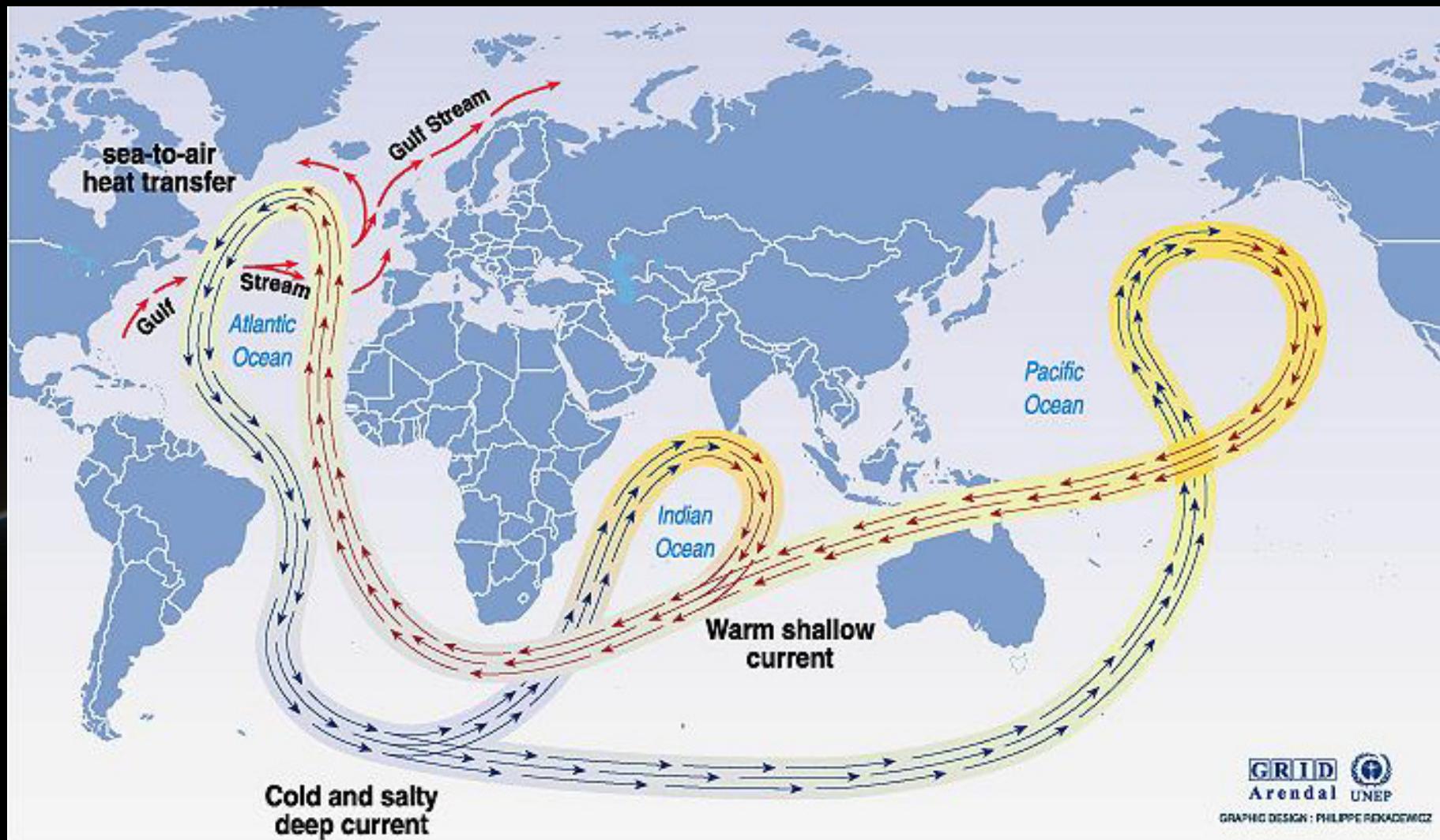
Bilanca raspodjele sunčeve energije u atmosferi



Strujanja u Zemljinoj atmosferi određuju klimu pojedinih područja na Zemlji



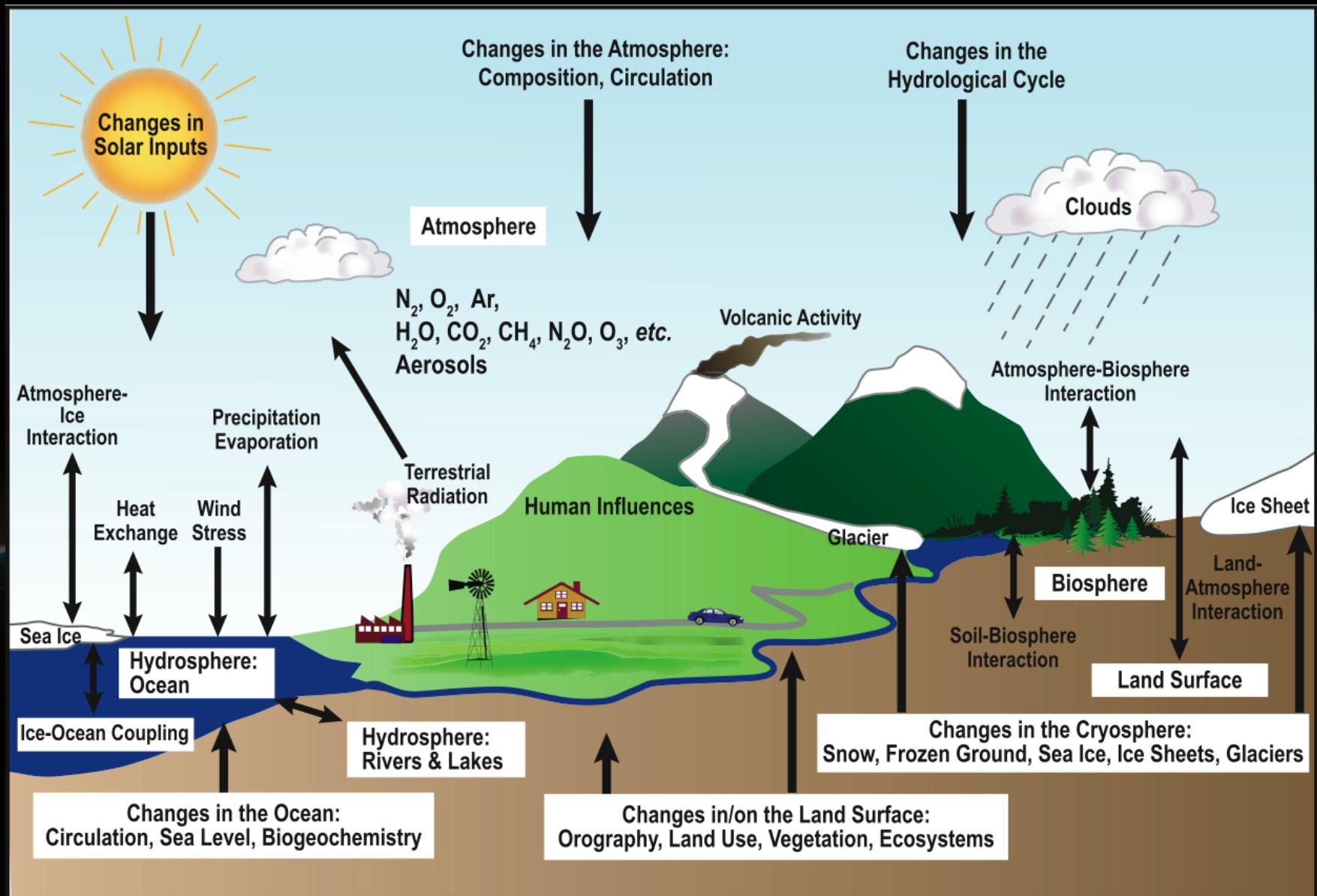
Oceanska globalna strujanja također uvelike utječu na Zemljinu klimu



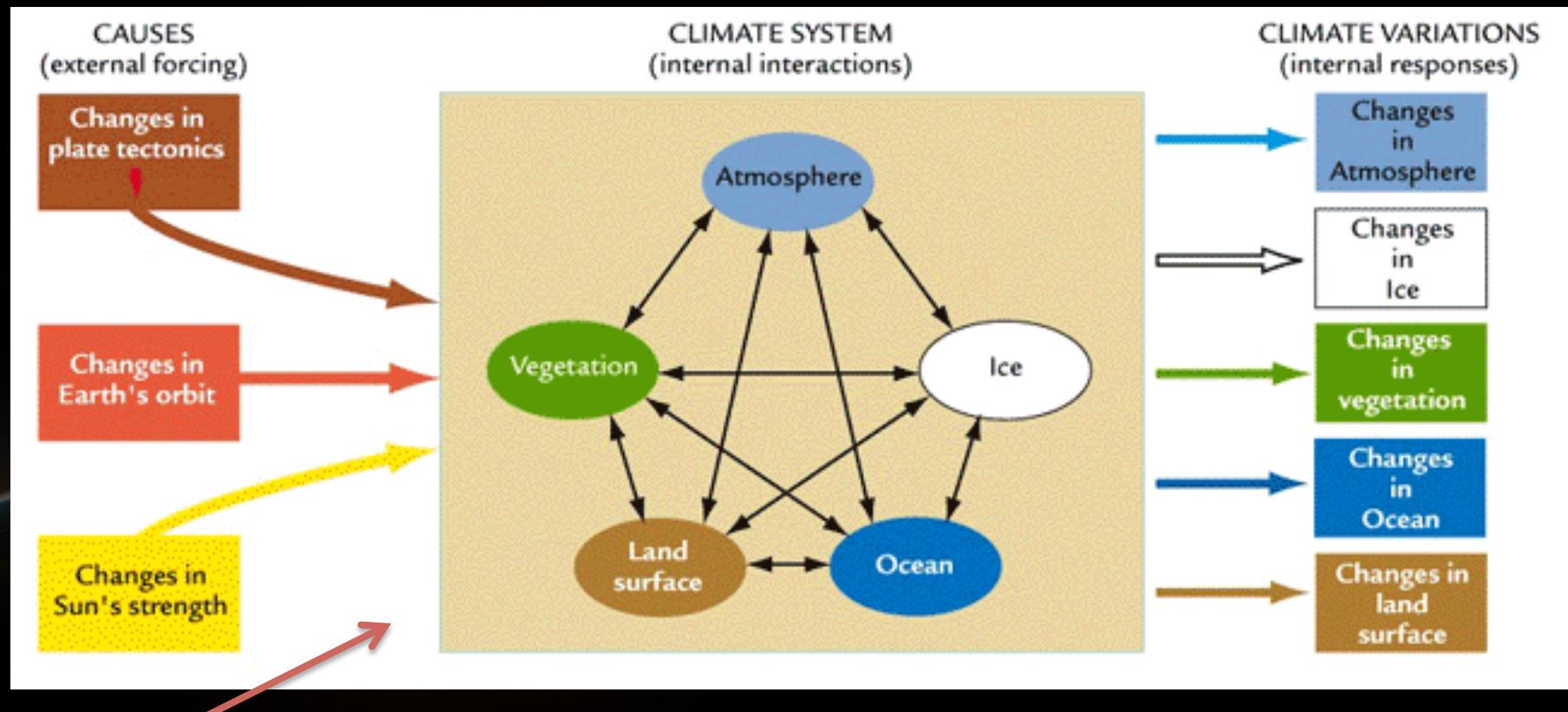
GRID
Arendal UNEP

GRAPHIC DESIGN: PHILIPPE RENADEMZ

Klimatski sustav na Zemlji

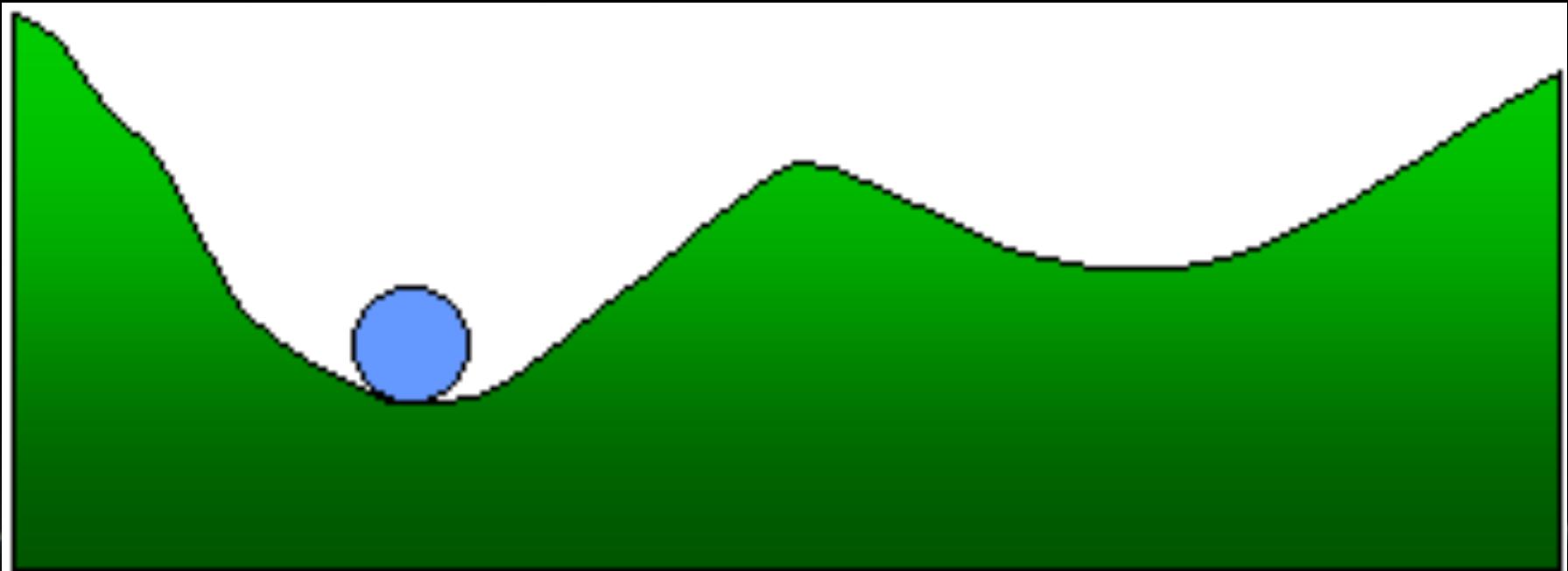


Shematski prikaz klimatskog sustava



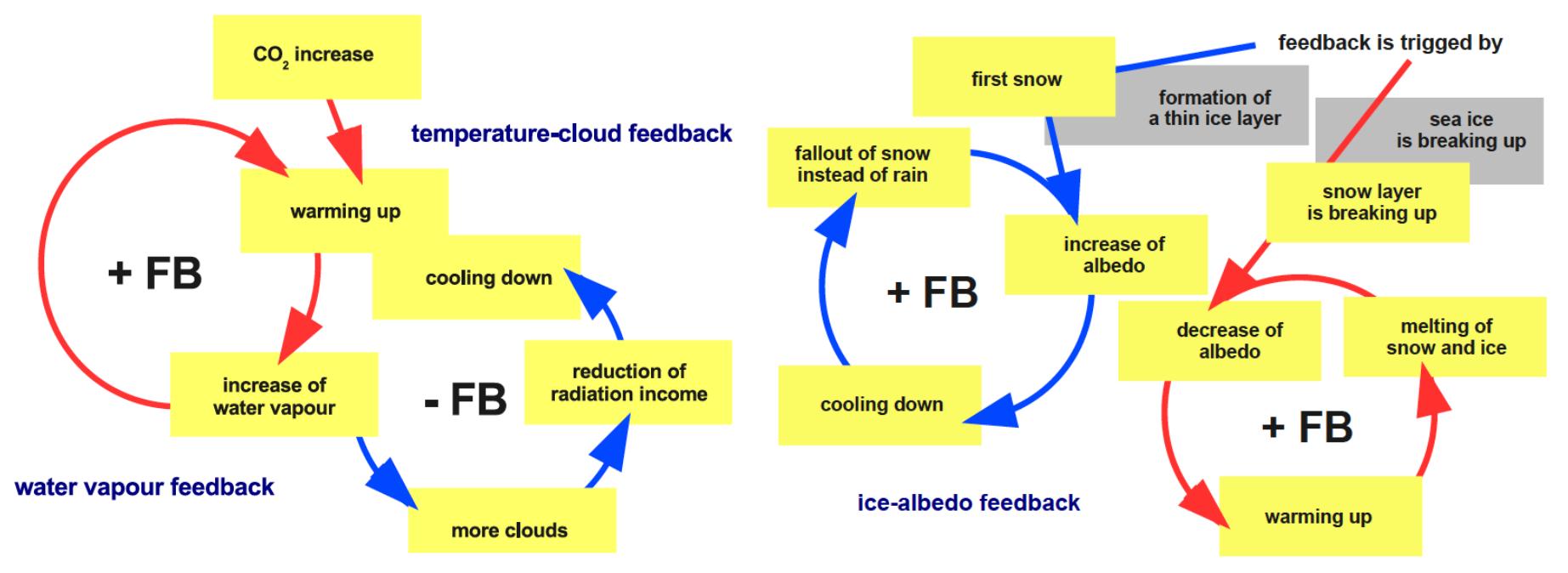
- vulkanska aktivnost
- udar svemirskih tijela (asteroidi, kometi, meteori)

Povezanost između različitih elemenata klimatskog sustava nije linearan



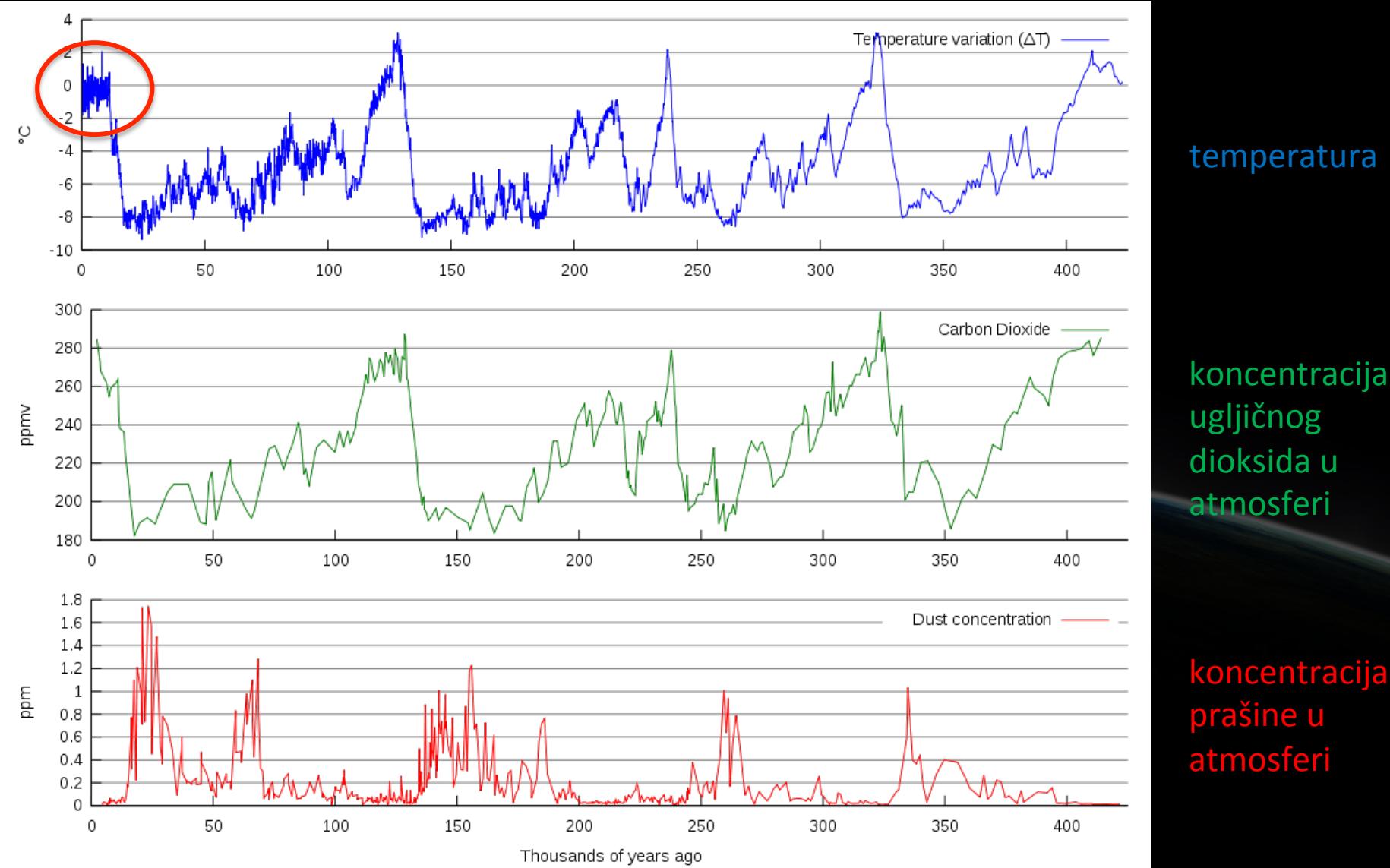
- Crvena strelica predstavlja određeni utjecaj na klimu (eng. forcing)
- Utjecajem (“forsiranjem”) na neki klimatski parametar (kuglica na slici) on se ne povećava nužno linearno već može doći do “skokova” iz jednog ravnotežnog stanja u drugo

Primjeri povratnih sprega (eng. Feedback)



Kirchner & Prömmel, 2015

Ledena doba i velike promjene klime u povijesti



Podaci iz jezgre leda sa Vostoka, Antartika

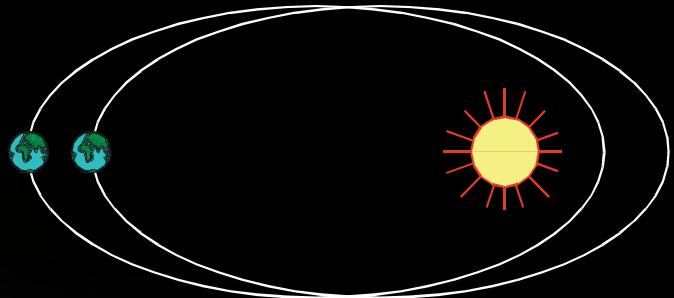
Milankovićevi ciklusi



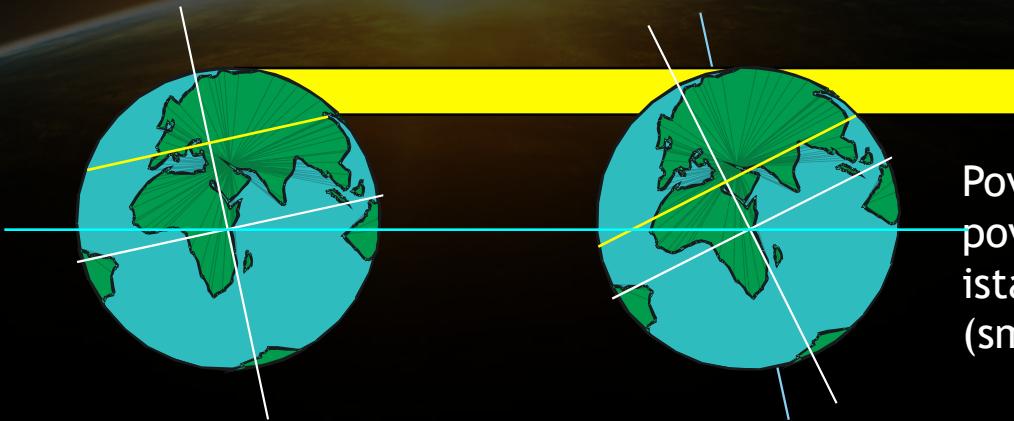
PRECESIJA ZEMLJINE OSI
19-23.000 g.



PROMJENA NAGIBA ZEMLJINE OSI
 $21,5^\circ - 24,5^\circ$ / 41.000 g.

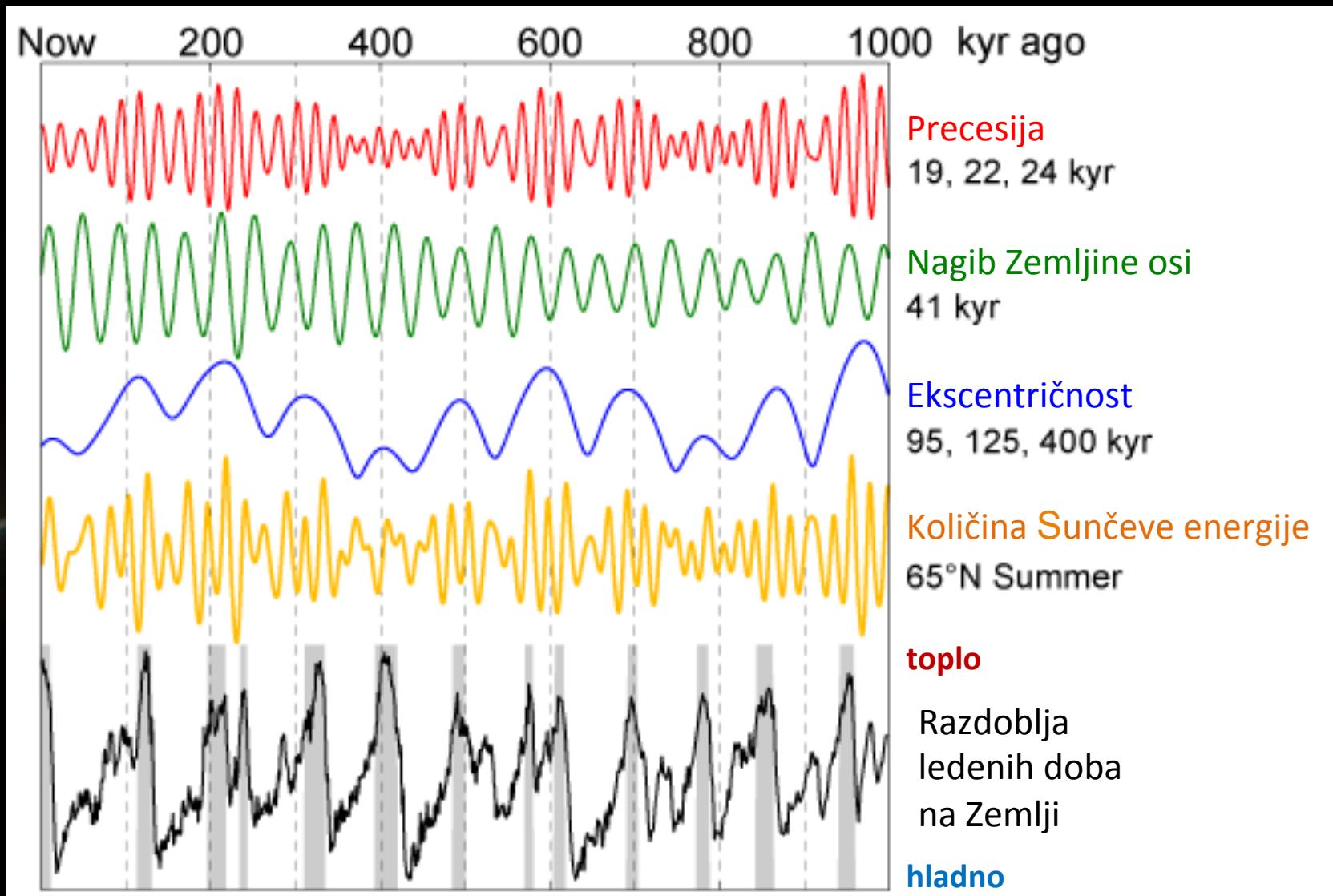


EKSCENTRIČNOST ZEMLJINE ORBITE
100.000 g. i 400.000 g.



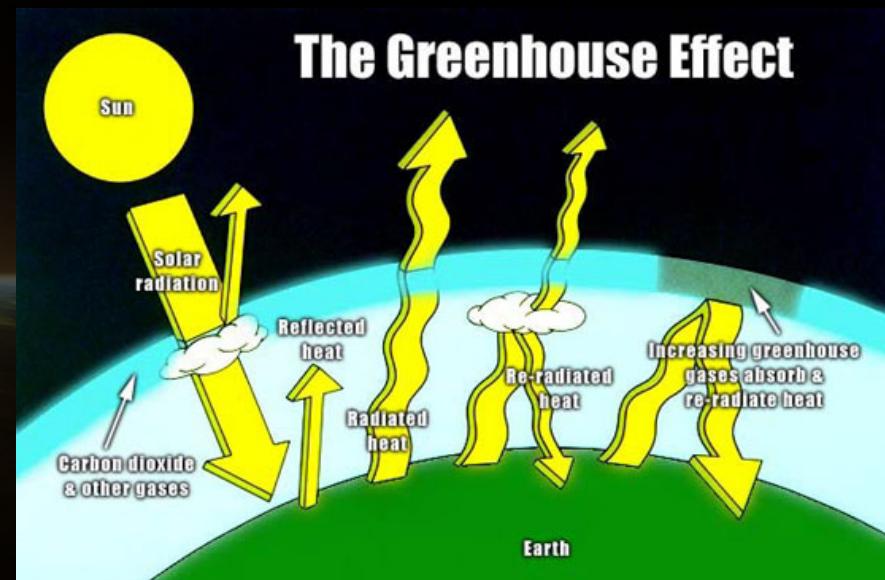
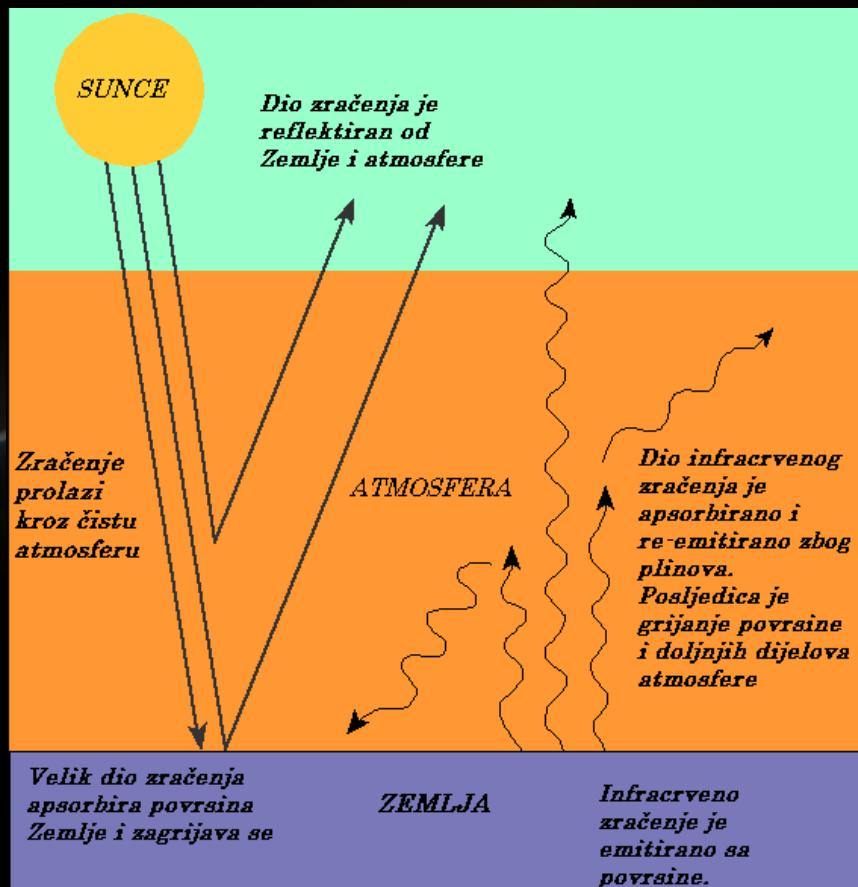
Povećanjem nagiba Zemljine osi,
povećava se površina koju obasjava
ista količina sunčeve svjetlosti
(smanjuje se insolacija).

Milankovićevi ciklusi su jedan od uzroka ledenih doba na Zemlji



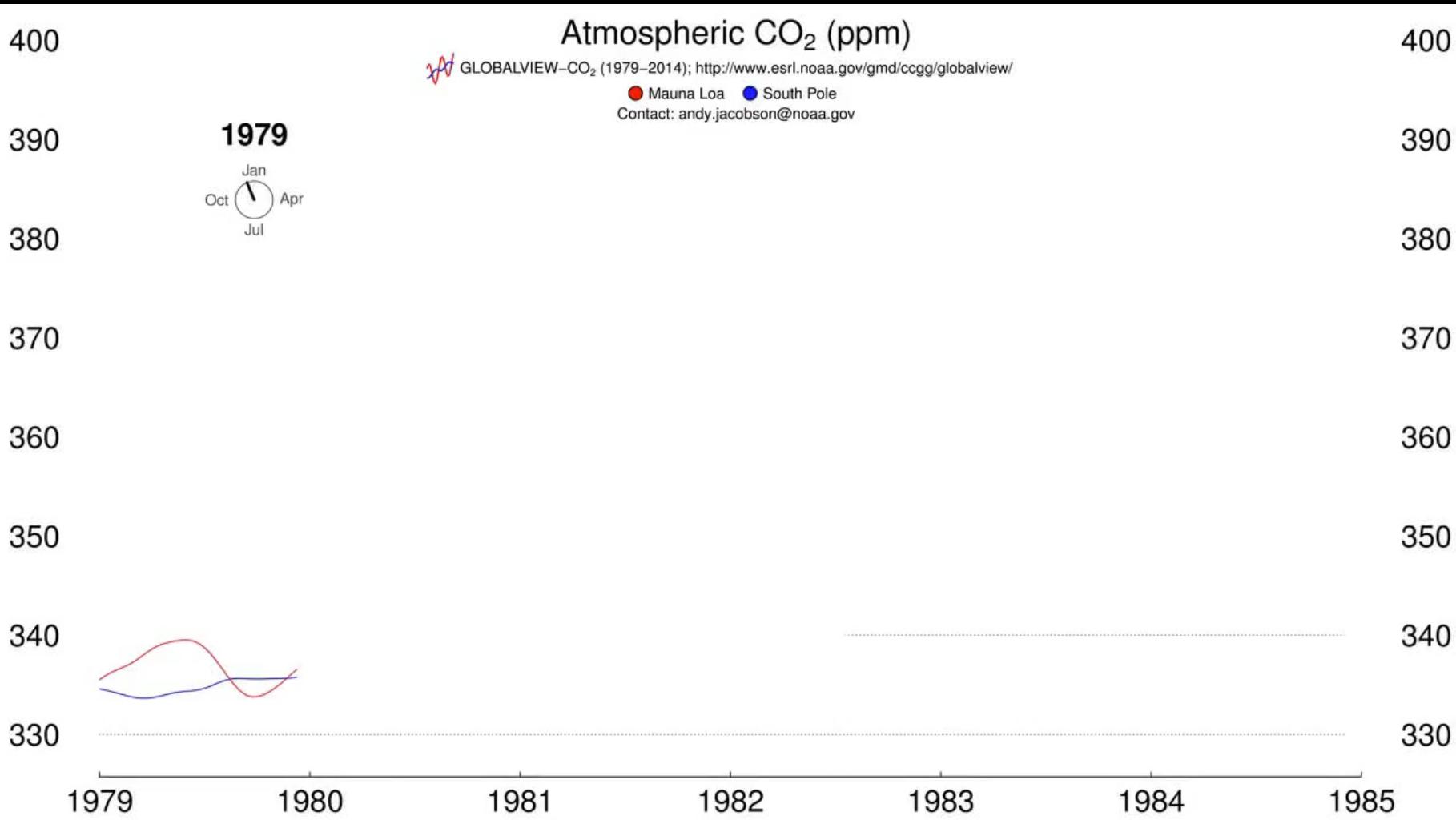
Efekt staklenika

- Zemljina atmosfera zadržava jedan dio primljene Sunčeve energije što je posljedica različite propusnosti atmosfere u spektru elektromagnetskog zračenja
- Bez efekta staklenika prosječna temperatura na Zemlji (+15°C) bi bila 33°C niža (-18°C)

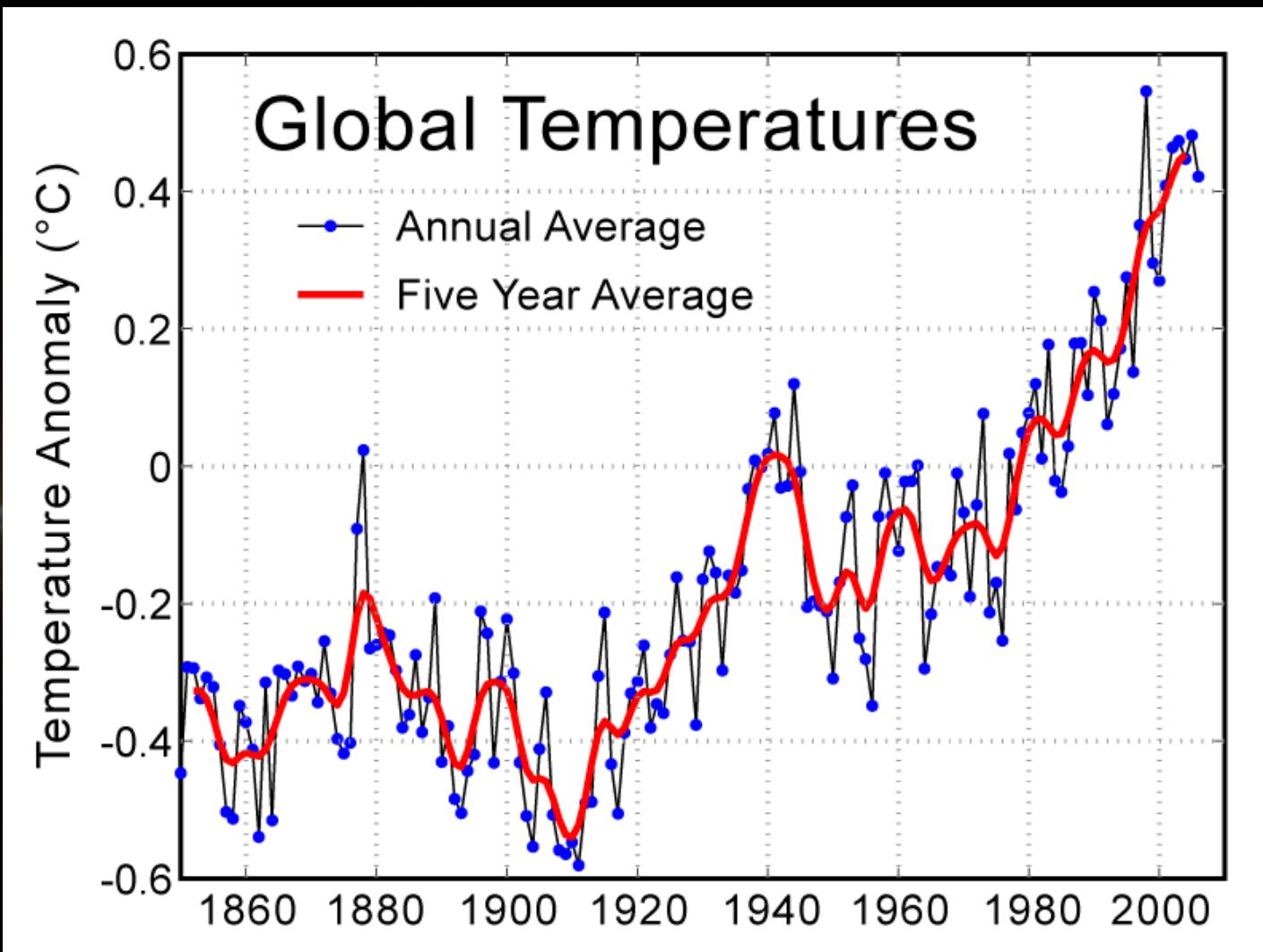


Najvažniji staklenički plinovi: vodena para (H_2O), ugljični dioksid (CH_4), metan (CH_4), ozon (O_3)

Koncentracija ugljičnog dioksida u atmosferi



Porast globalne temperature u nekoliko proteklih dekada



IPCC

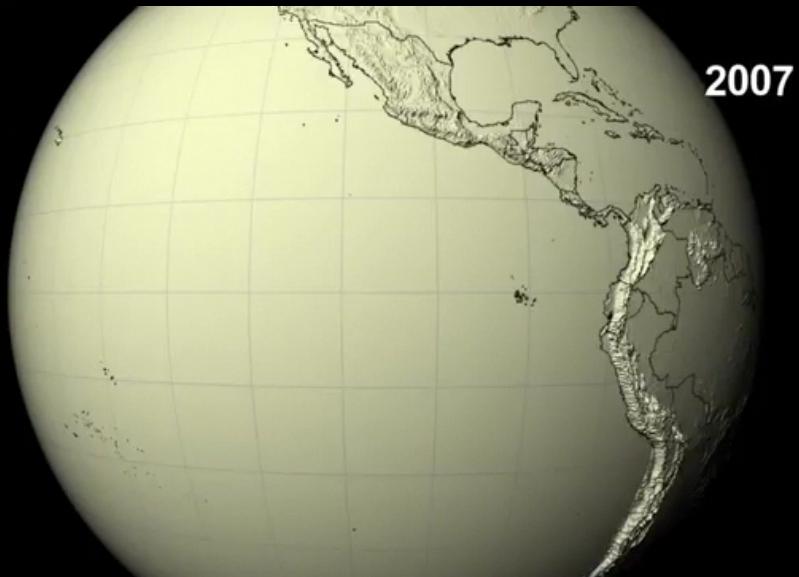
Klimatske promjene u budućnosti dobivene pomoći klimatskih modela uzimajući u obzir porast koncentracije CO₂ (IPCC)

temperatura



2010

padaline

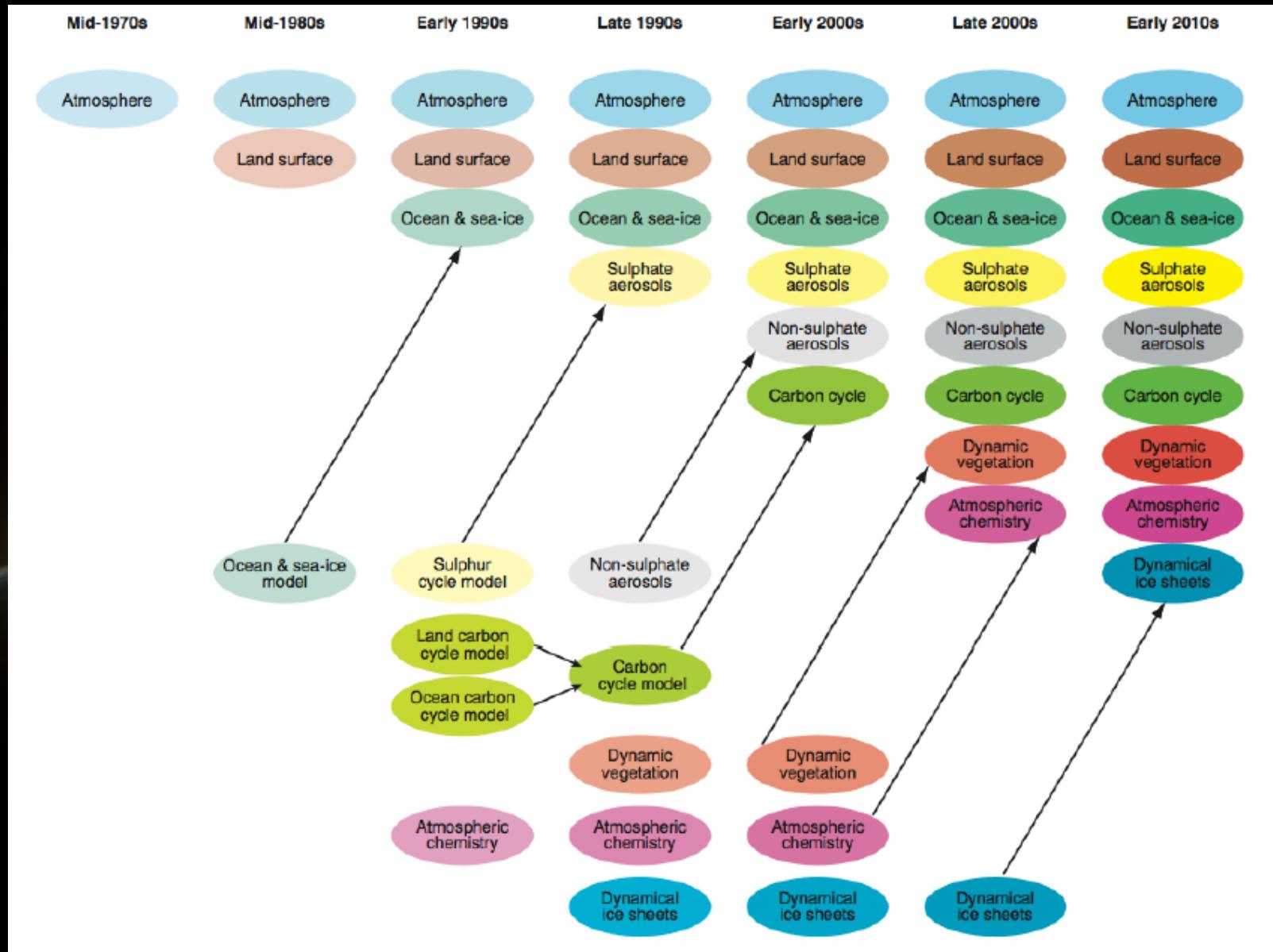


2007

Vizualizacija NASA

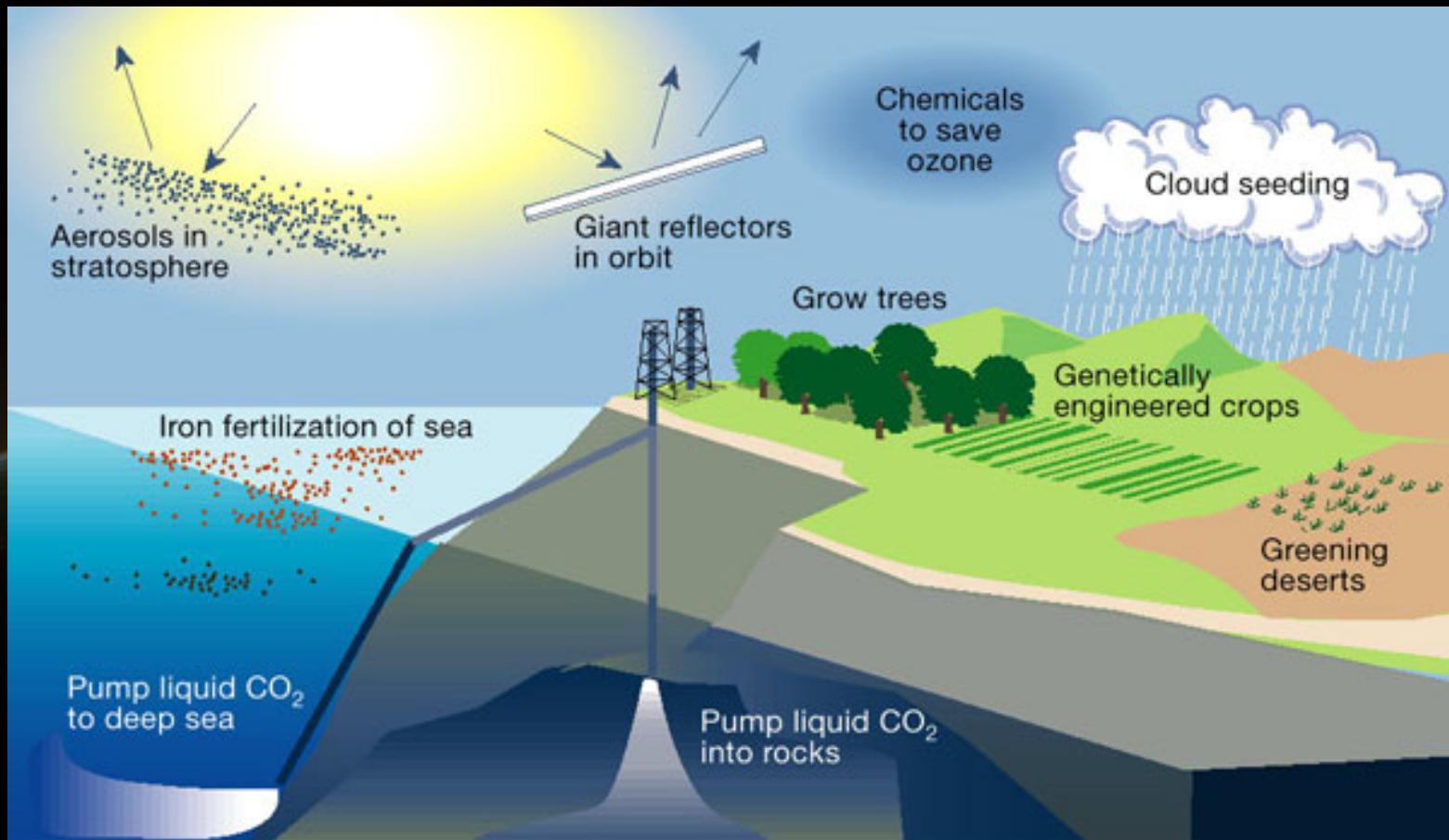
- Promjenom globalne temperature ne reagiraju sva područja na Zemlji jednoliko

Kompleksnost klimatskih modela kroz vrijeme



Klimatski inženjering

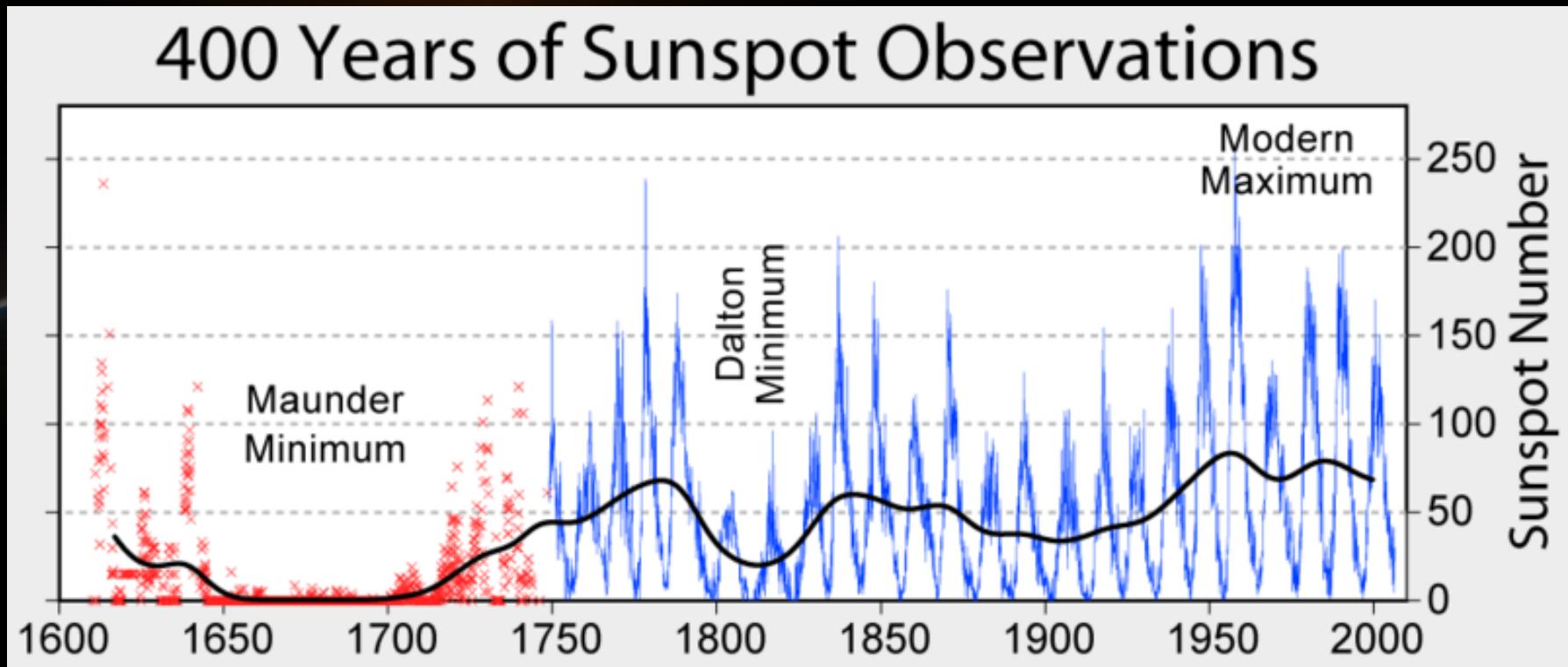
- prijedlozi kako umjetno utjecati na Zemljinu klimu sa svrhom da se poništi ili smanji globalno zatopljenje



Schematic representation of various climate-engineering proposals (courtesy B. Matthews).

Sunčeva aktivnost i Sunčev ciklus

- Heinrich Schwabe (1824.) - 11 godišnji Sunčev ciklus
- poznati su još ciklusi: 22 godine (Hale), 87 godina (Gleissberg), 210 godina (Suess), 2300 i 6000 godina



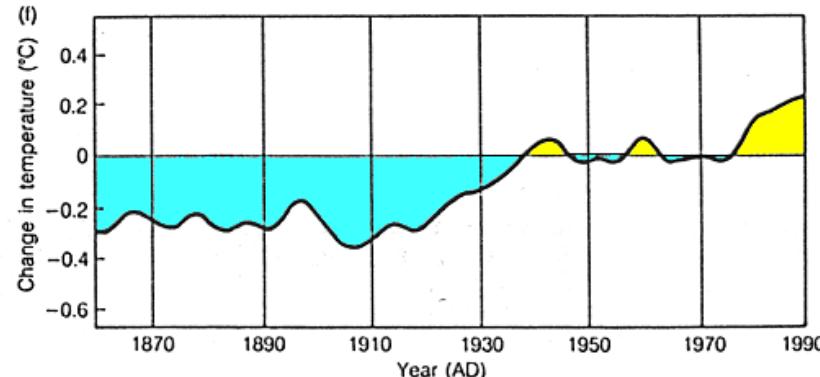
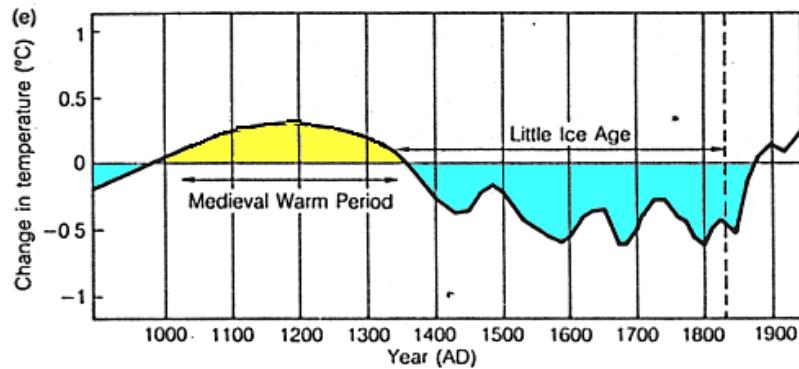
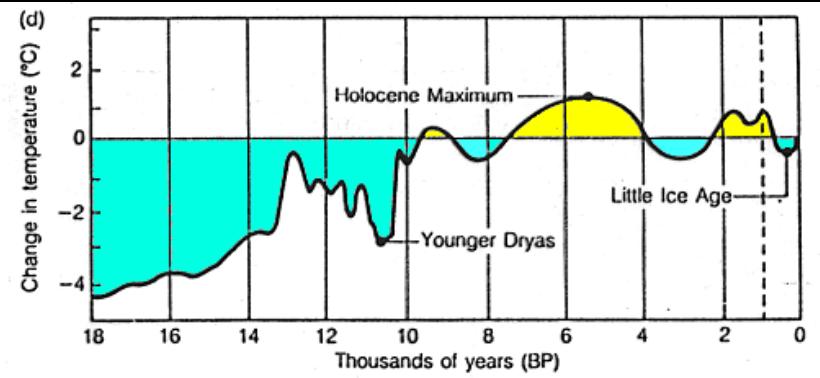
Sunčeva aktivnost i klima

- Promjene globalne temperature na Zemlji pokazuju podudarnost s promjenama Sunčeve aktivnosti (mjerena broja Sunčevih pjega i izotopa ^{10}Be , ^{14}C)
- Period malog ledenog doba na Zemlji se podudara sa periodima slabe Sunčeve aktivnosti (15 - 18 st.)

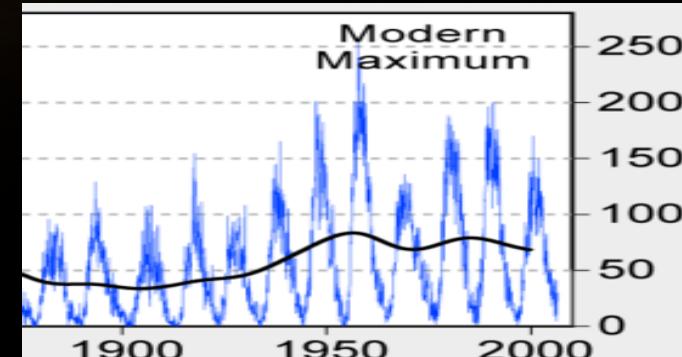
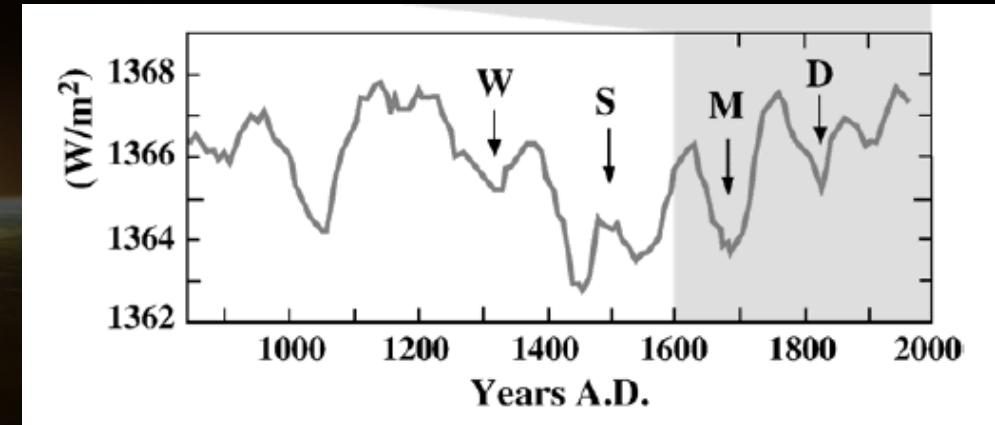


Pieter Bruegel
the Elder
(1565 g.)

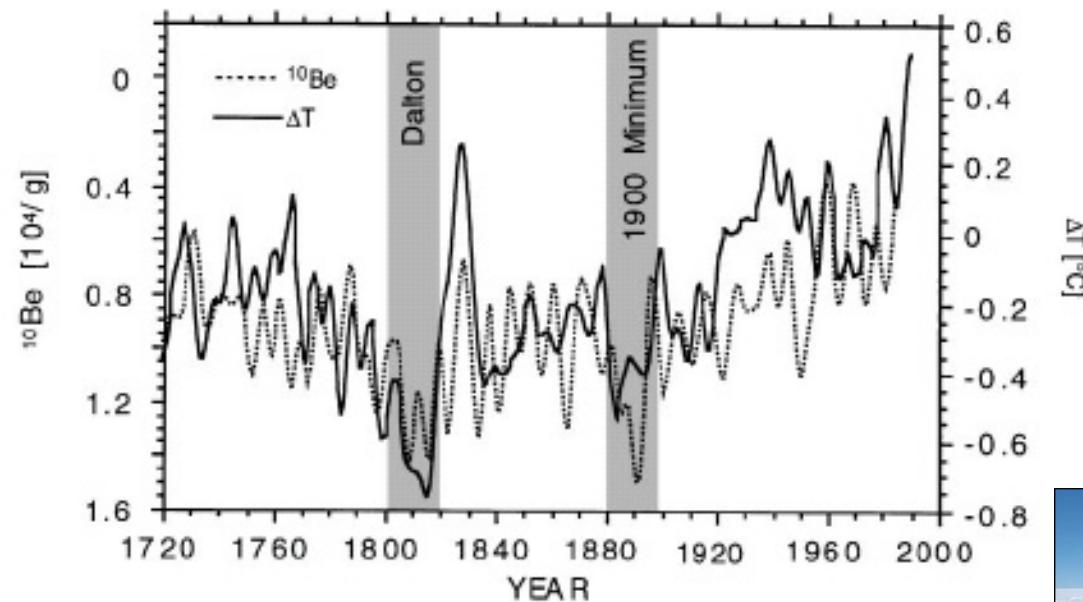
Sunčeva aktivnost utječe na Zemljinu klimu



Rekonstrukcija Sunčevog zračenja
(bazirano na mjerenu izotopa ^{10}Be u ledu),
Bard et. al. 2000

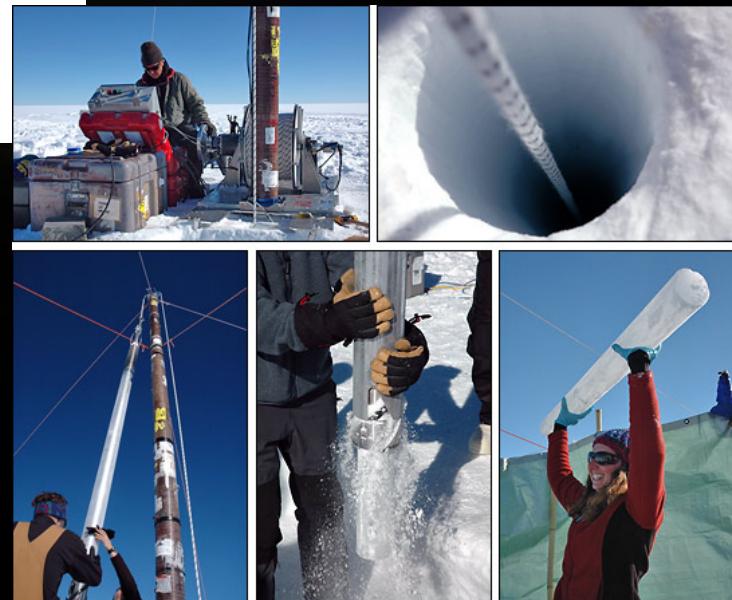


Globalna temperatura i Sunčeva aktivnost

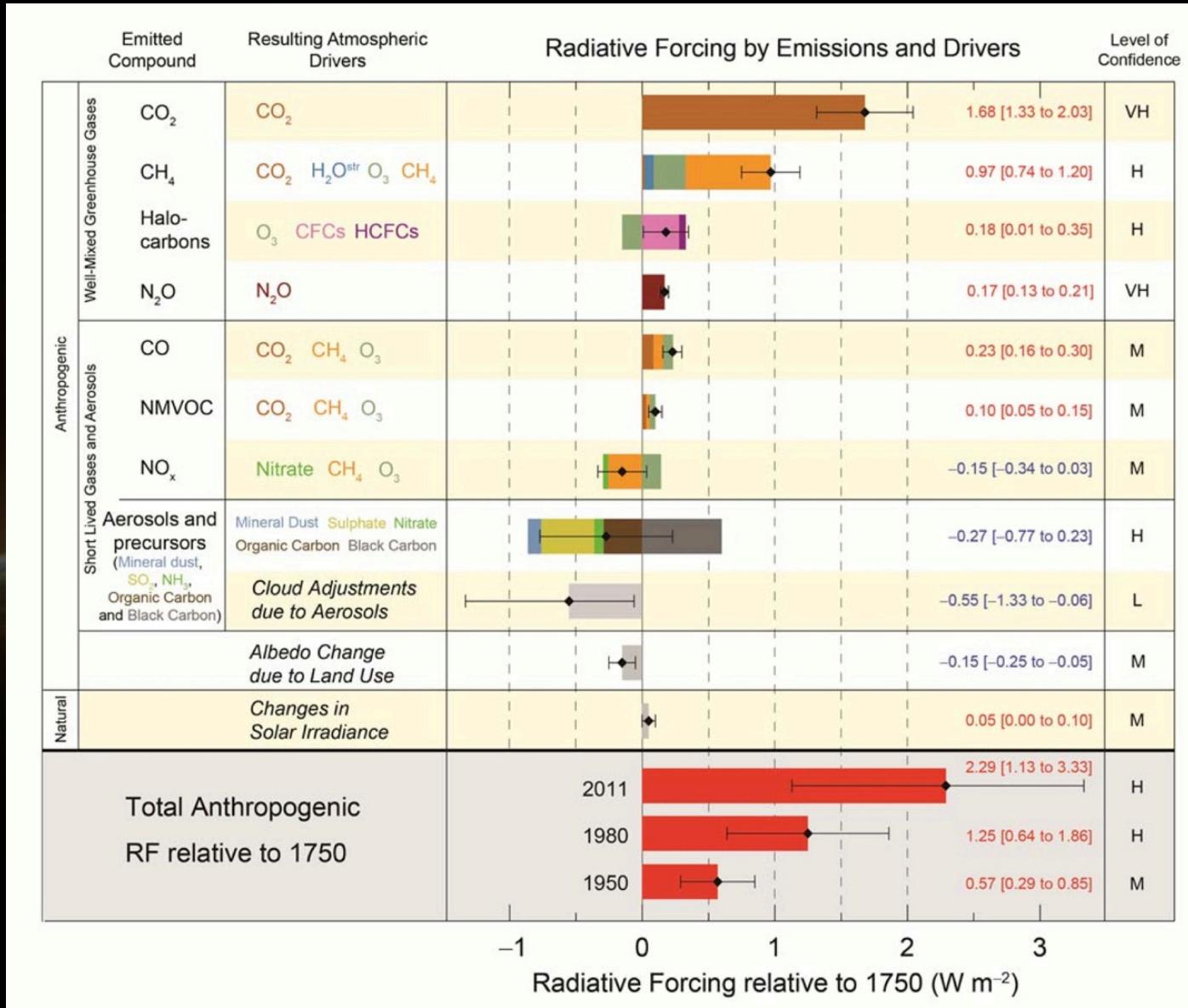


Beer et. al. 2000

Podaci o Sunčevoj aktivnosti u povijesti izračunati su pomoću izotopa Berilija (^{10}Be) koji se vadi iz jezgri leda na Grenlandu

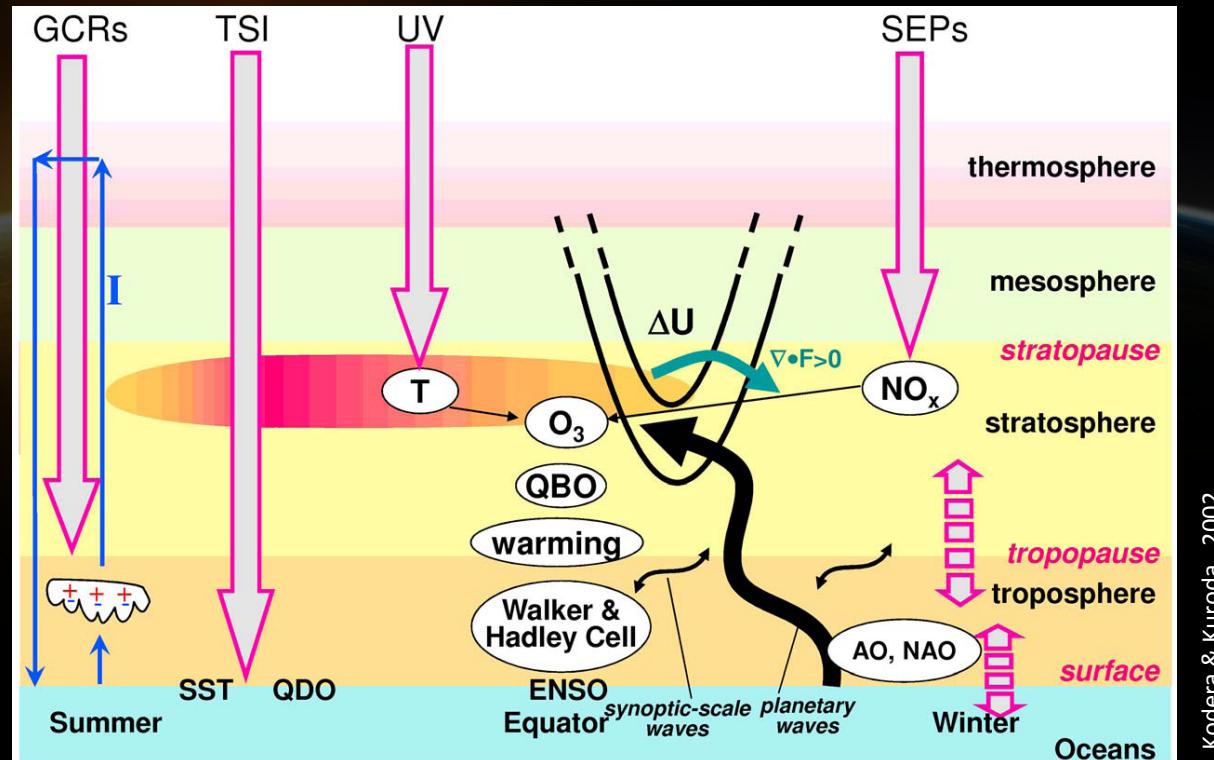


Procjena utjecaja različitih čimbenika na klimu (IPCC, 2013)



Mehanizmi utjecaja Sunca na klimu

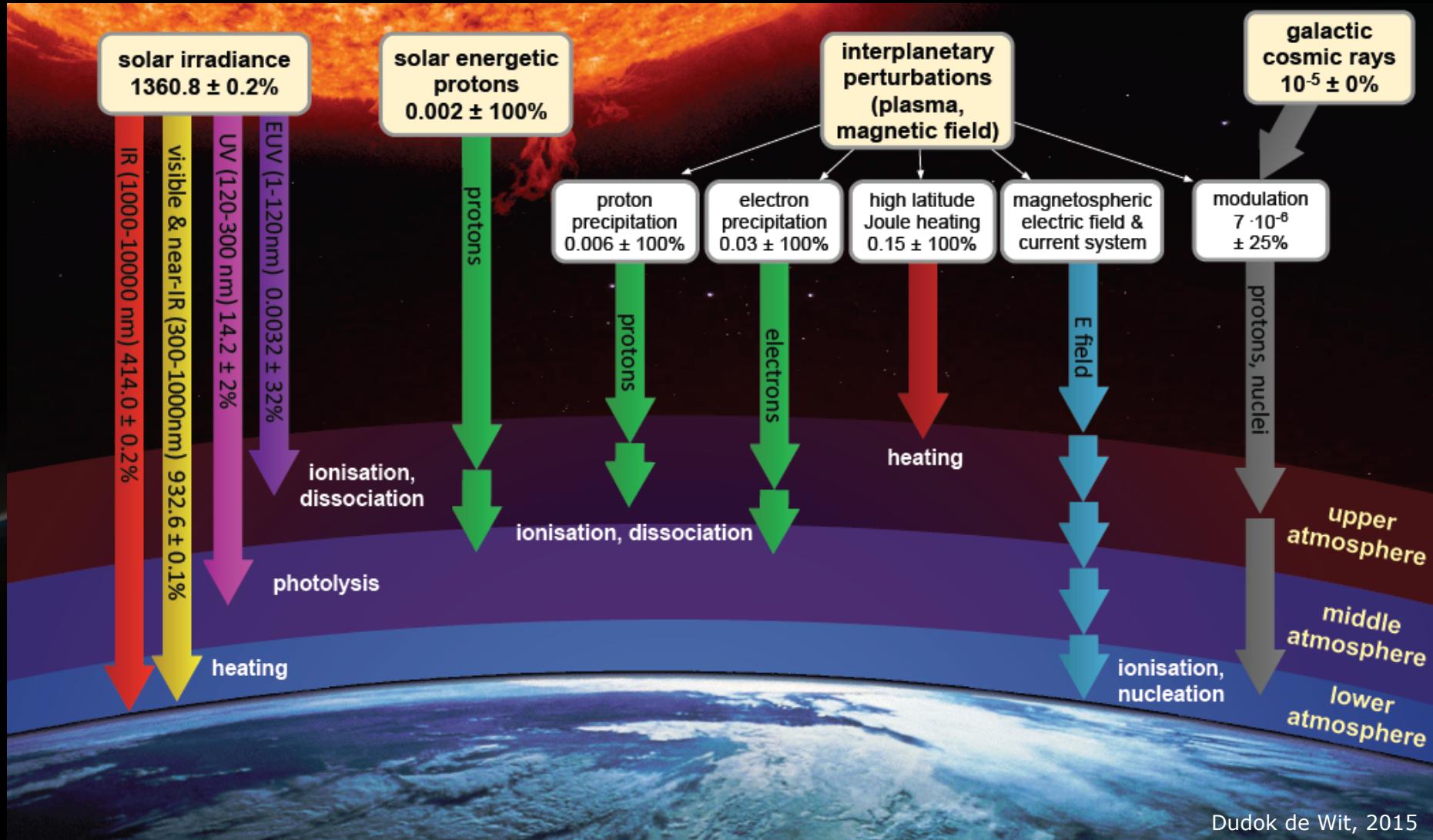
- promjene u intenzitetu ukupnog Sunčevog zračenja (Total Solar Irradiance, TSI) - utječu na promjenu temperature oceana
- promjene u intenzitetu ultraljubičastog (UV) zračenja - utječu na zagrijavanje stratosfere i ozona
- promjene u intenzitetu kozmičkog zračenja (Galactic Cosmic Rays, GCRs) - utječu na stvaranje oblaka u atmosferi



Kodera & Kuroda , 2002

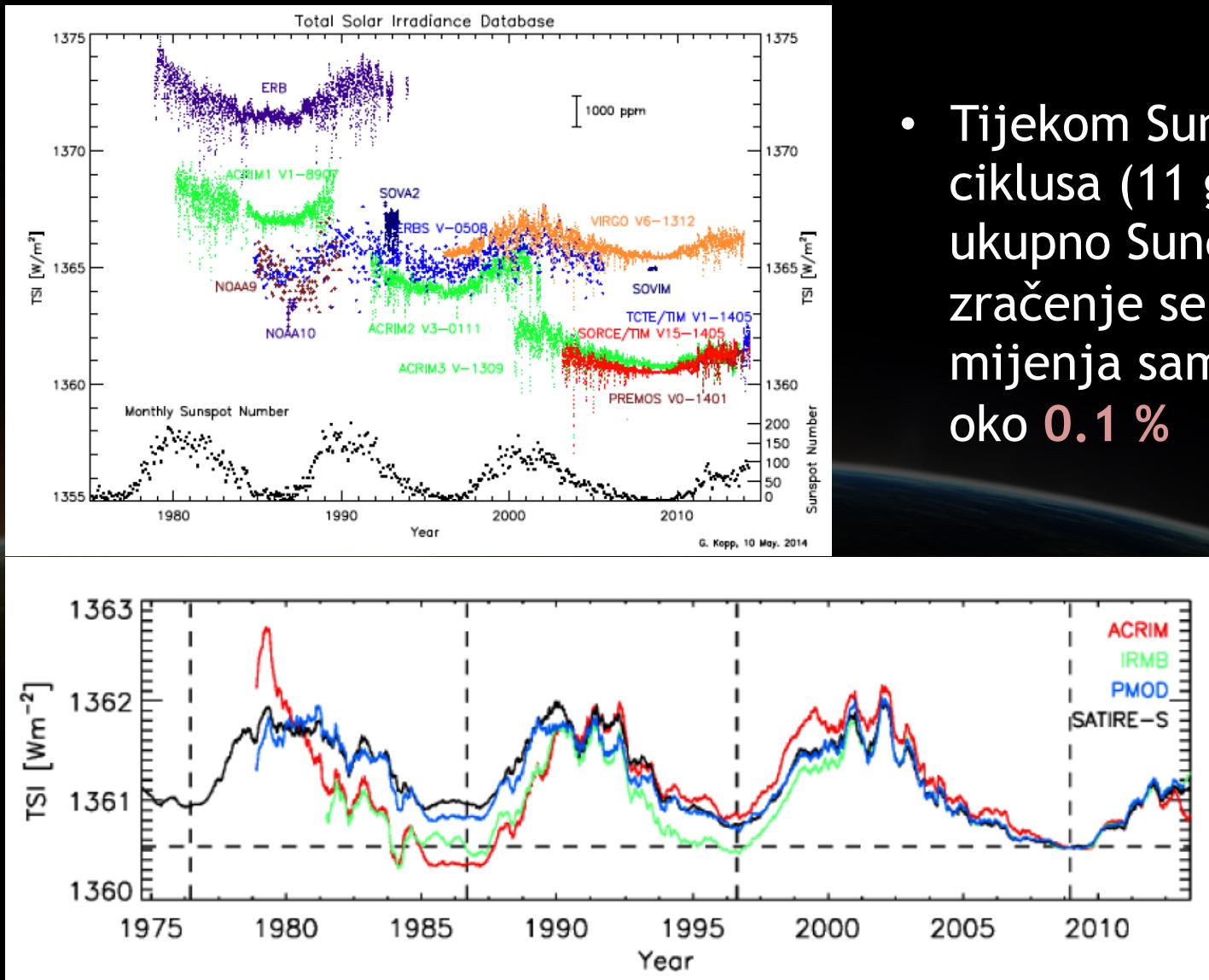
Glavni Sunčevi čimbenici koji utječu na Zemljinu atmosferu

(W/m² ± oscilacije za vrijeme 11-godišnjeg Sunčeva ciklusa)



Dudok de Wit, 2015

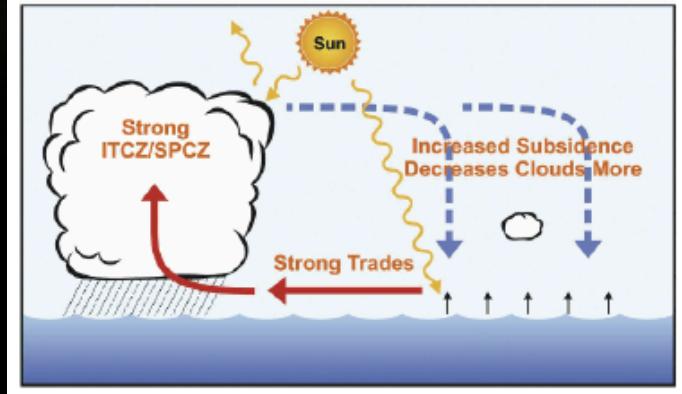
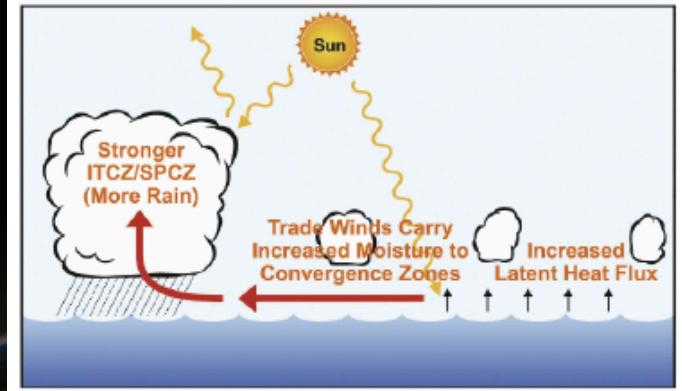
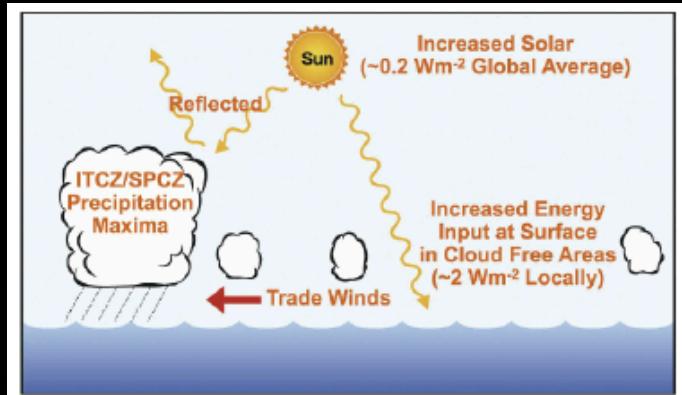
Preciznija mjerena ukupnog Sunčevog zračenja dostupna su tek od ere satelita i povezana su s problemima u kalibraciji



- Tijekom Sunčeva ciklusa (11 god.) ukupno Sunčeve zračenje se mijenja samo za oko 0.1 %

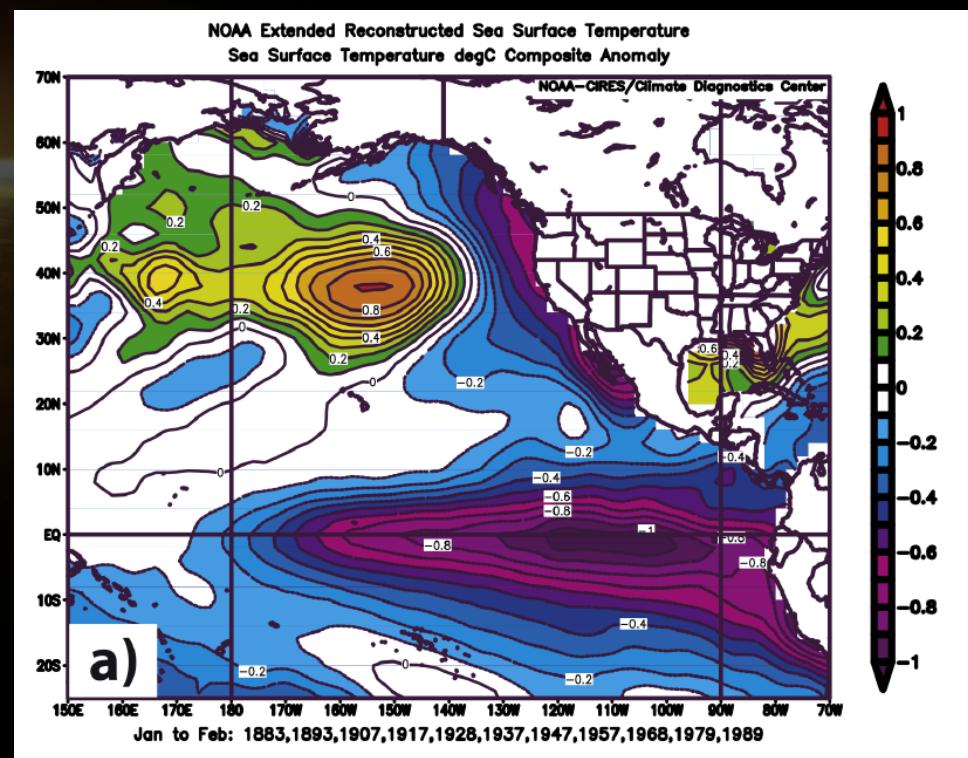
Krivova & Ermolli, 2015

“Bottom-up” mehanizam



- Zagrijavanje površine oceana uzrokuje promjene u atmosferskim strujanjima - povratna sprega s oblacima

mjerena površinske temperature oceana za vrijeme Sunčevih maksimuma

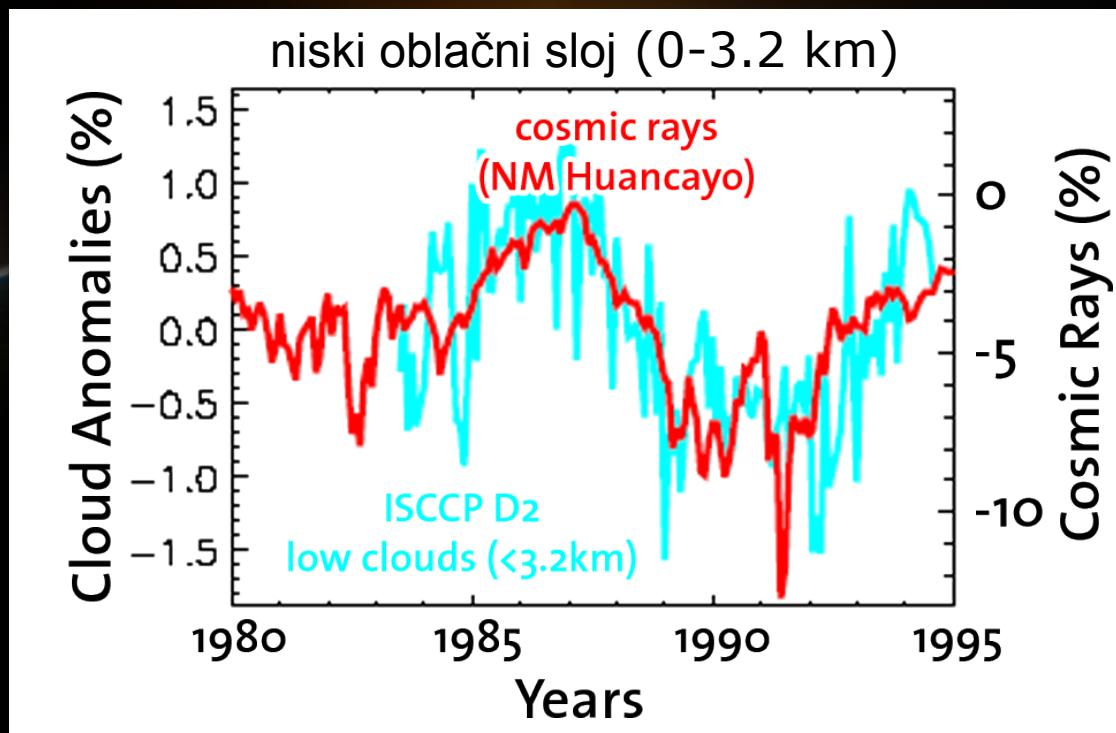


Hipoteza sveze između kozmičkoga zračenja i naoblake

Svensmark and Friis-Chistensen (1997)

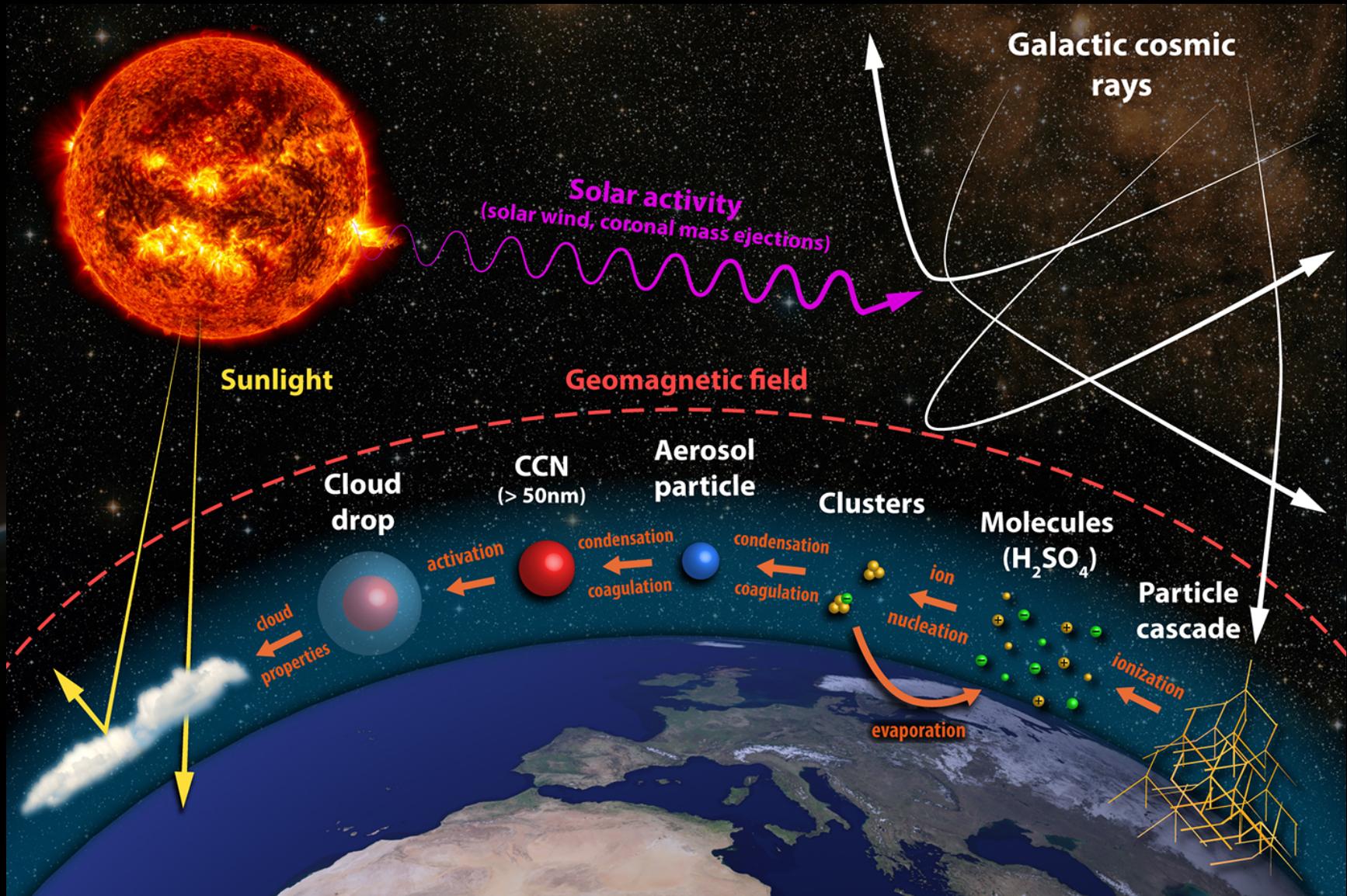
- analizirali su podatke tijekom jednog Sunčevog cikusa i zaključili da se globalna naoblaka mijenjala za 2-3% ovisno o promjenama kozmičkog zračenja.

Marsh and Svensmark, 2000



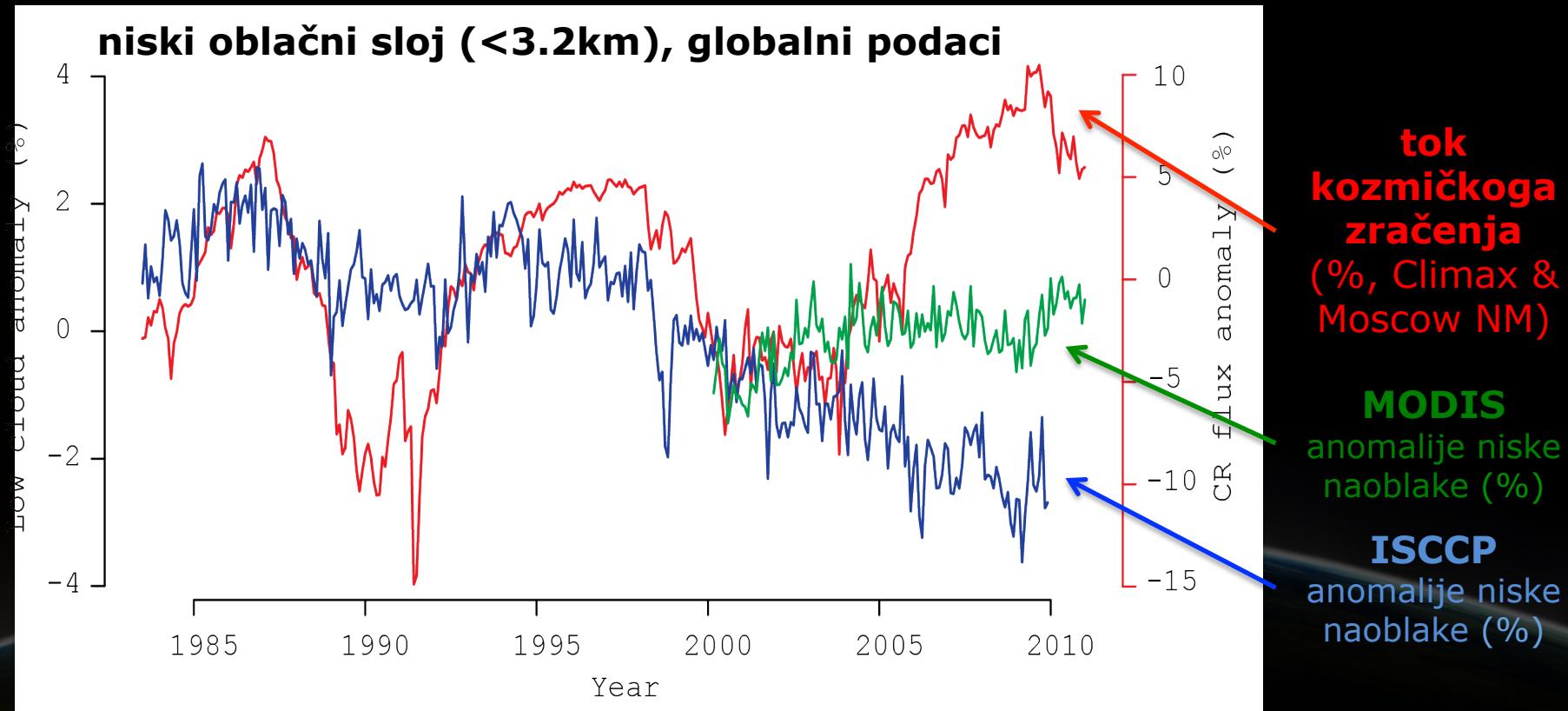
- Ukupna energija kozmičkog zračenja na Zemlji je 10^9 puta manja nego ukupno Sunčeve zračenje ($\sim 10^{-5} \text{ W/m}^2$)
- Potreban je snažan mehanizam!!
- Mnoge kritike i rasprave u znanstvenoj zajednici

Mehanizam utjecaja kozmičkog zračenja (ionizacije) na rast kondenzacijskih jezgri



Laken & Čalogović, 2015

Satelitska opažanja naoblake ne podržavaju hipotezu



- Korelacija prisutna samo za nisku (<3.2km) ISCCP naoblaku (1983-1995)
- Jake korelacije u izglađenim podacima (12 mjeseci, DOF=4)
- Slabe (stat. neznačajne) korelacije sa podacima koji nisu filtrirani
- Kratkoročne studije sa Forbushевим smanjenjima nisu potvrdile hipotezu

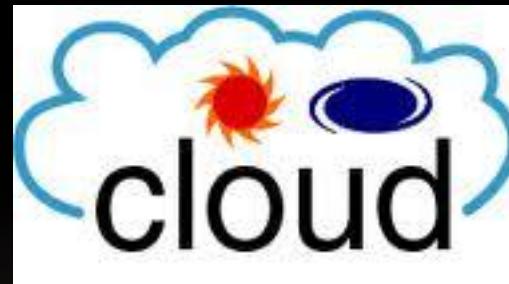
Laken, Pallé, Čalogović & Dunne, 2012, SWSC

CERN CLOUD eksperiment

- **Cosmics Leaving OUtdoor Droplets**

Laboratorijski eksperiment u kojem se istražuje utjecaj kozmičkog zračenja na naoblaku u posebnoj komori za oblake (spojena na protonski sinkrotron)

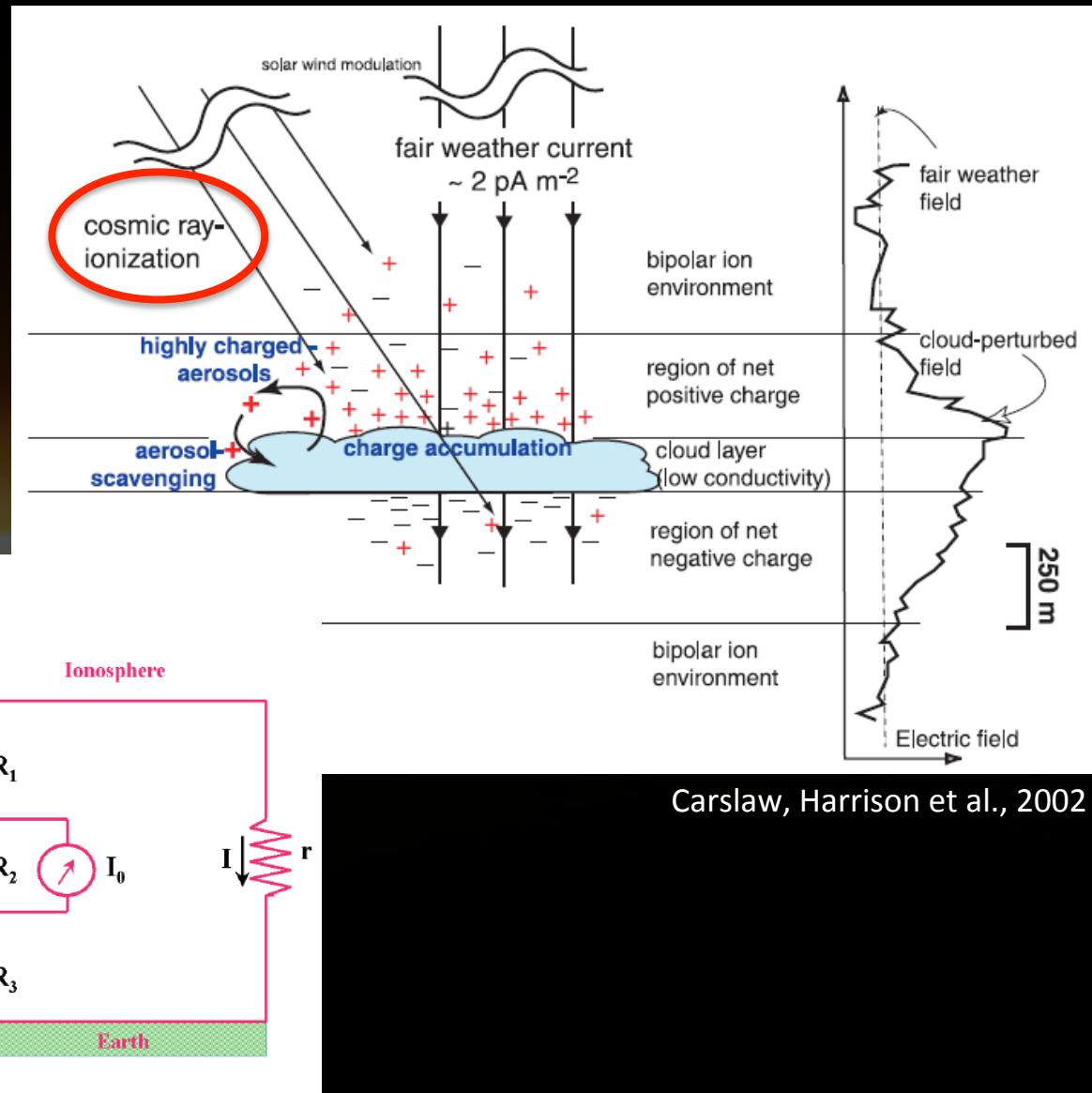
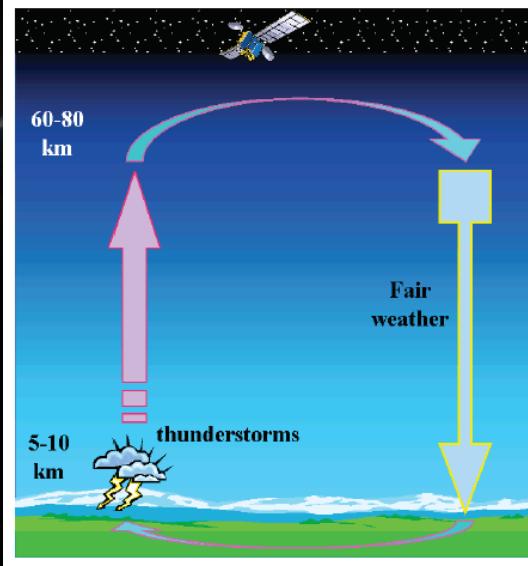
Almeida et al., 2013, Nature
novi rezultati općenito
pokazuju **malen doprinos**
ionski nastalih aerosola
(malen utjecaj kozmičkoga
zračenja na stvaranje
kondenzacijskih jezgri – osim
za spore brzine nastajanja)
Nukeacija s aminima može
objasniti brži nastanak
čestica (brzine koje su opažane
u atmosferi)



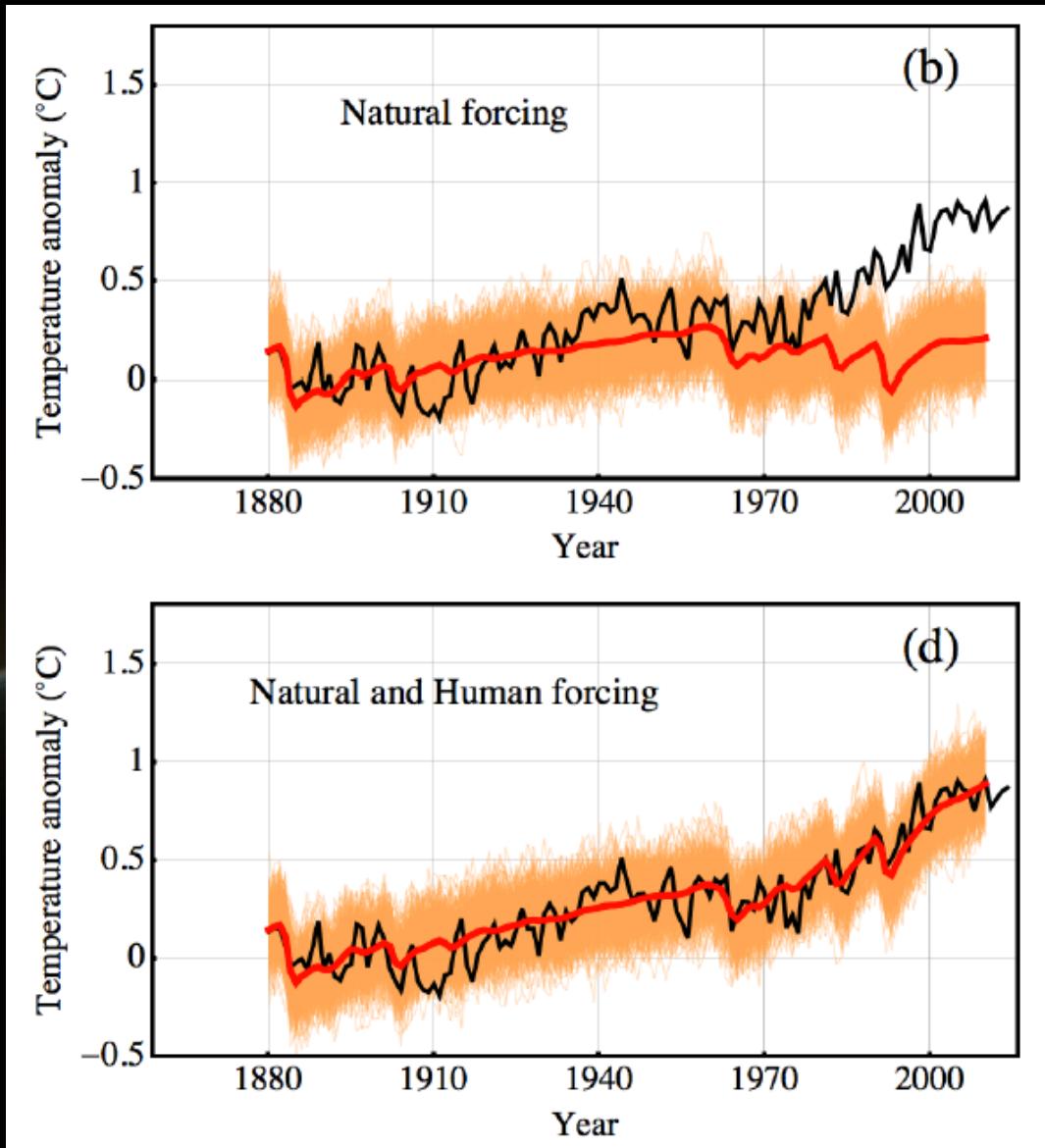
Mehanizam globalnoga električnoga strujnog kruga

Utjecaj na mikrofizikalna svojstva oblaka
(kondenzacijske i ledene jezgre)

Globalni električni strujni krug
(eng. global electric circuit)

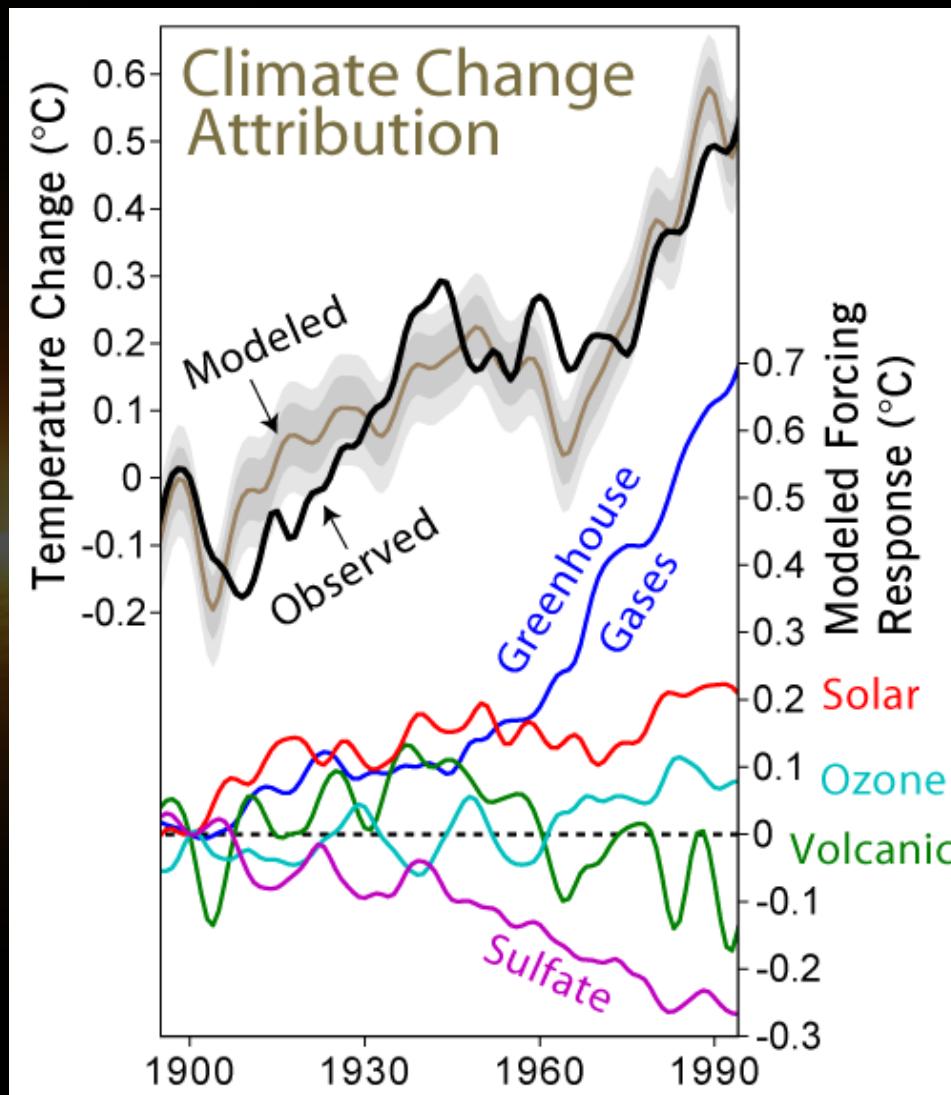


Prirodni i antropogeni utjecaj na klimu



- Crna linija - promatrane/ izmjerene temperature
- Crvena linija - model u kojem su uključeni samo prirodni čimbenici (Sunce, vulkani...)
- Crvena linija - model u kojem su uključeni prirodni i antropogeni ($\text{CO}_2...$) čimbenici

Proračunate vrijednosti utjecaja na Zemljinu klimu za različite čimbenike



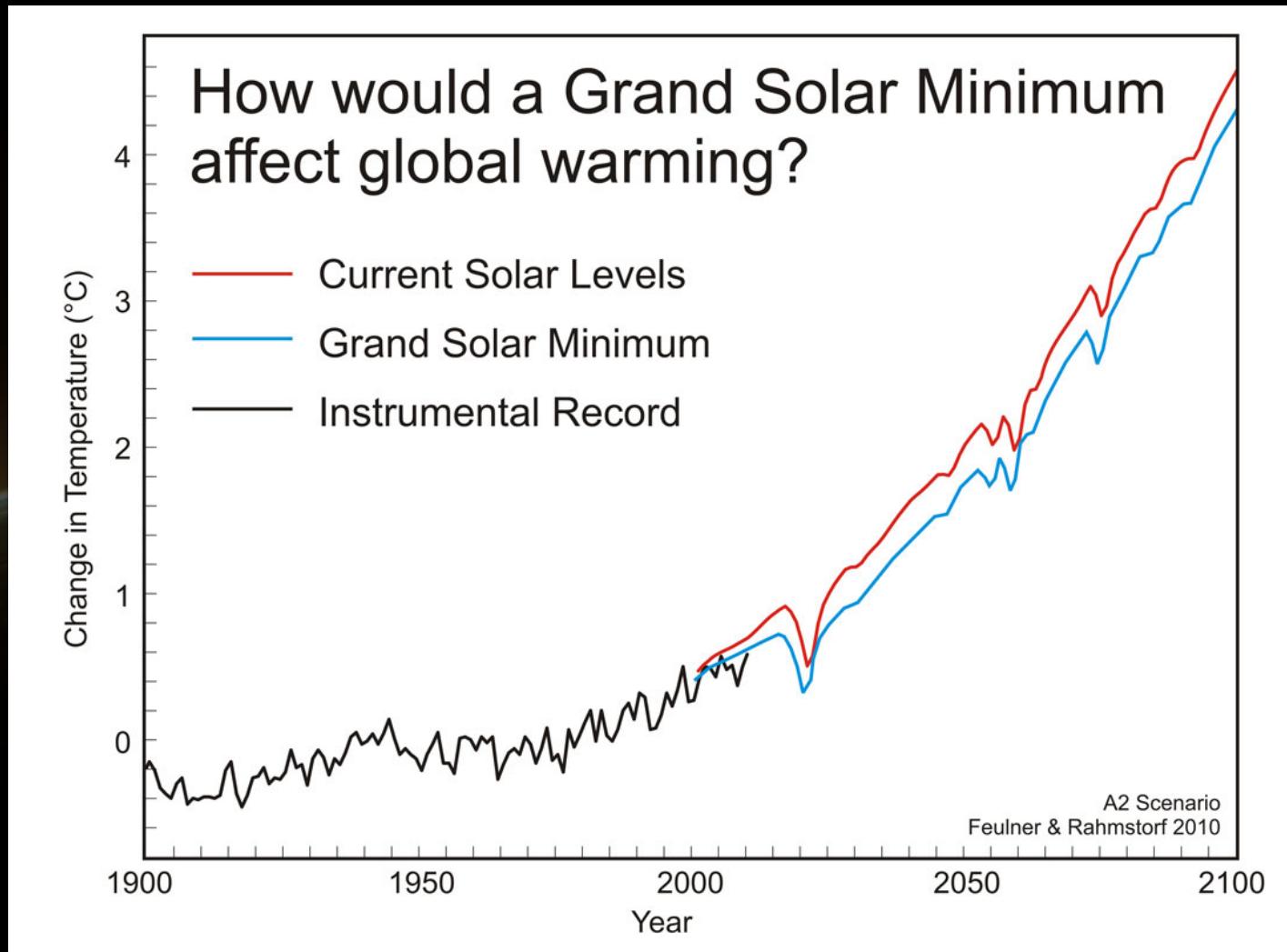
Što možemo zaključiti...

- Sunce nam donosi najveći dio energije potreban za održavanje života na Zemlji
- Sunce je vrlo važan čimbenik u Zemljinom klimatskom sustavu
- Promjene Sunčeve aktivnosti mogu bitno utjecati na Zemljinu klimu (ledena i topla doba)
- Mehanizmi utjecaja Sunčeve aktivnosti na klimu su i dalje predmet intenzivnog istraživanja i mnogih znanstvenih debata
- Da bi u budućnosti mogli predvidjeti klimatske promjene uzrokovane čovjekovim djelovanjem (npr. efekt staklenika - CO_2) potrebno je razumjeti sve važne prirodne klimatske faktore pa tako i utjecaj Sunca
- U posljednjih nekoliko dekada čovjek je nedvojbeno glavni uzročnik klimatskih promjena

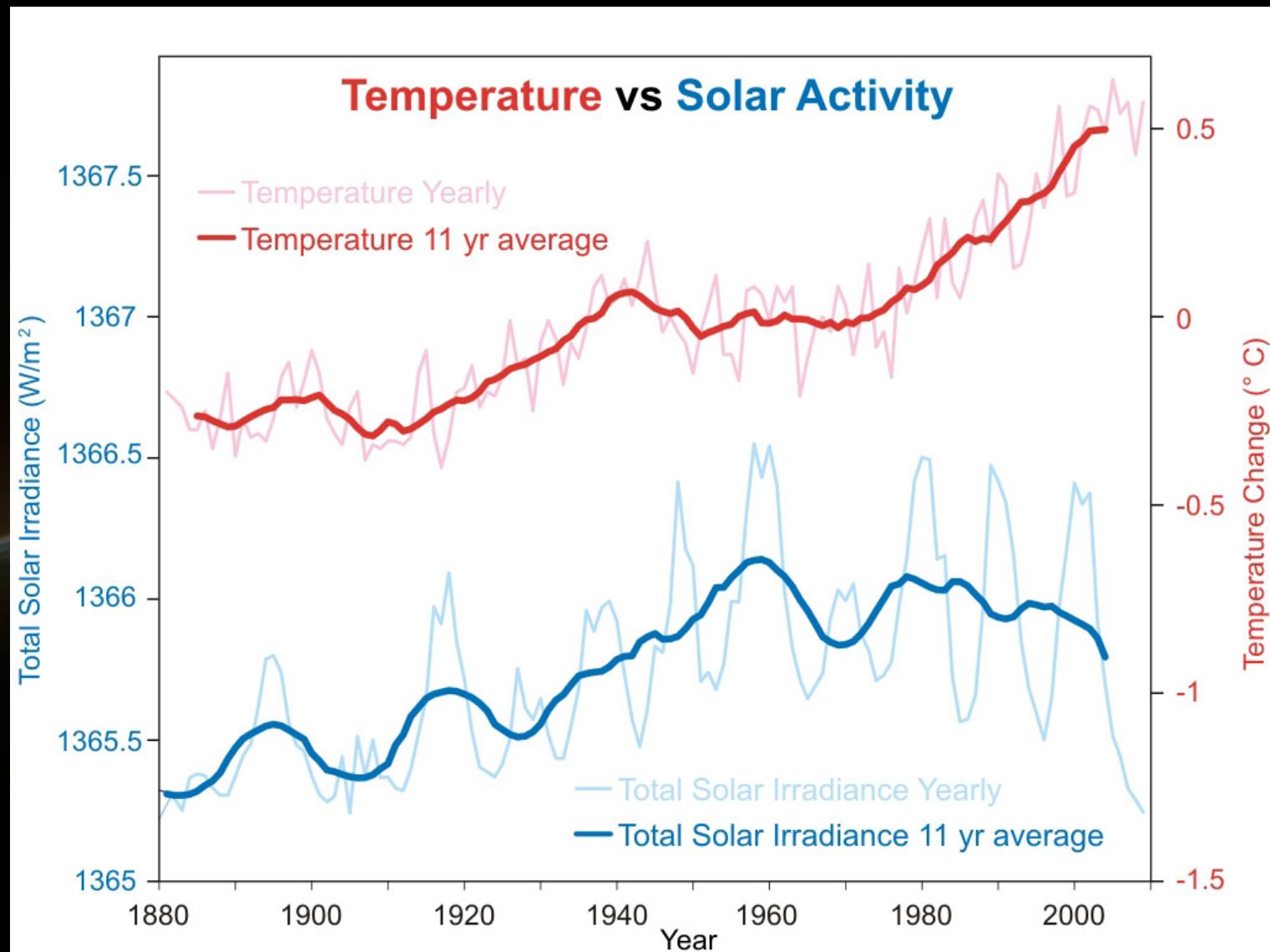
Hvala na pažnji!!!



**Čak ni Sunčev veliki minimum u aktivnosti ne bi promjenio
značajno klimu u budućnosti prema izračunima današnjih modela
ako će koncentracija stakleničkih plinova u atmosferi i dalje rasti**



Ukupno Sunčeve zračenje i globalna temperatura



Čestični tuš iznad grada Chicagoa

