



Osnovne spoznaje o klimatskim promjenama i pripadnim ekstremima

Mirko Orlić

Geofizički zavod 'Andrija Mohorovičić',

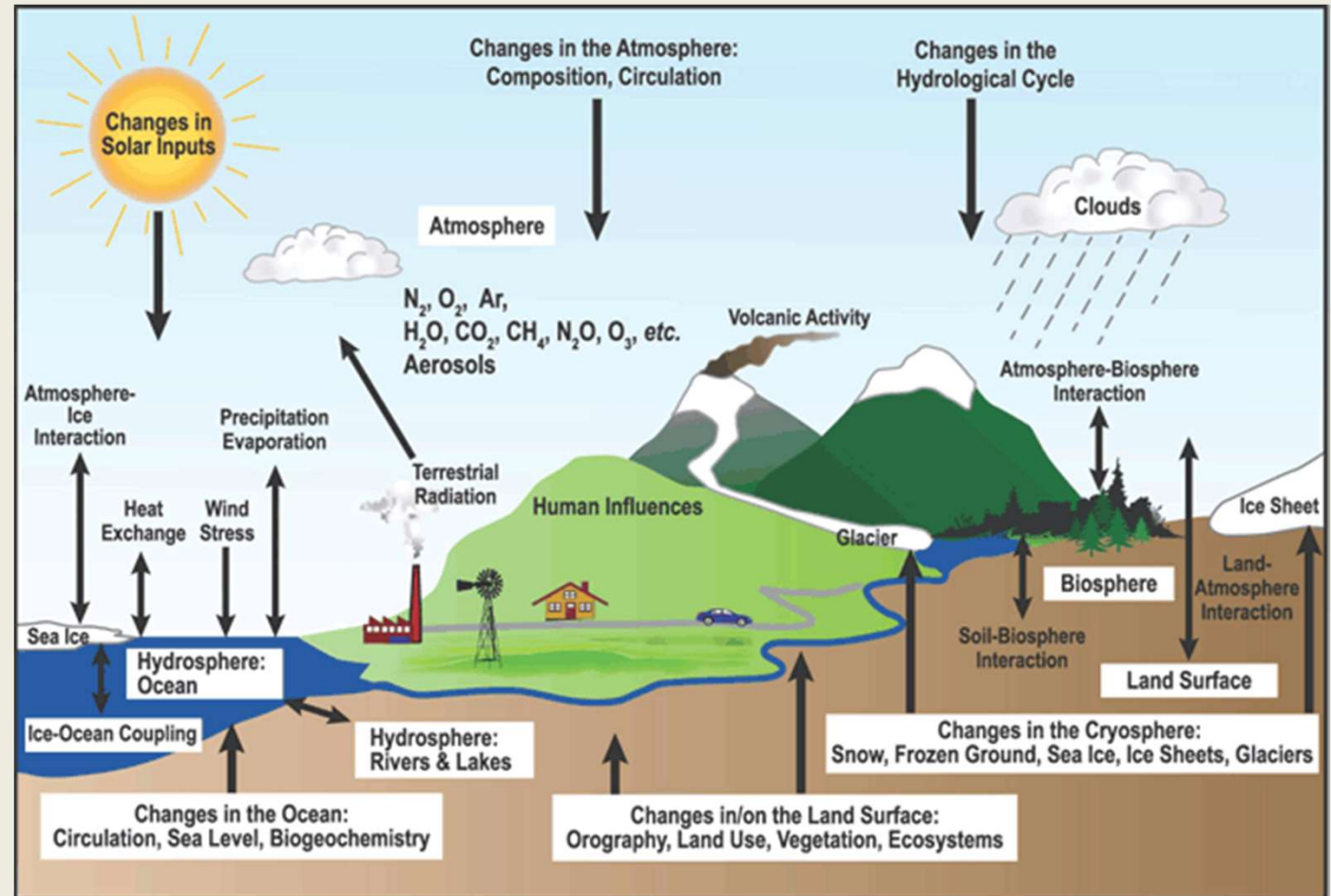
Prirodoslovno-matematički fakultet,

Sveučilište u Zagrebu

Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti

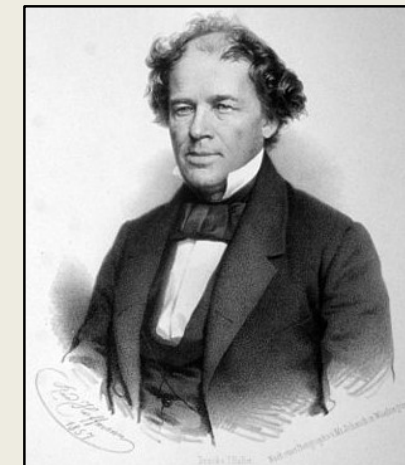
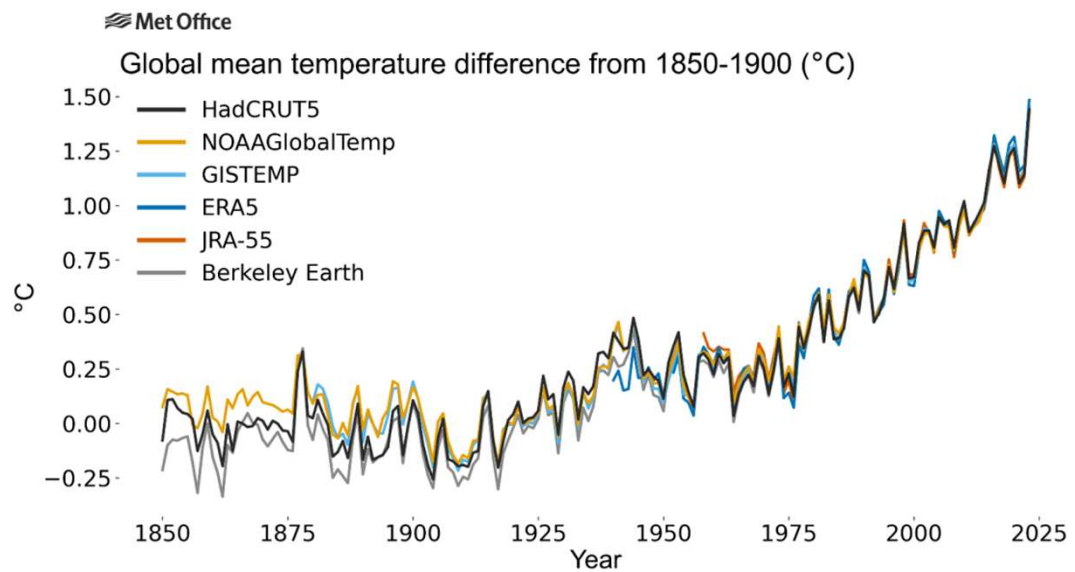
Okrugli stol „Klimatske promjene i njihov utjecaj na gospodarstvo”,
Akademija tehničkih znanosti Hrvatske, Rijeka, 15. listopada 2024.

Klimatski sustav



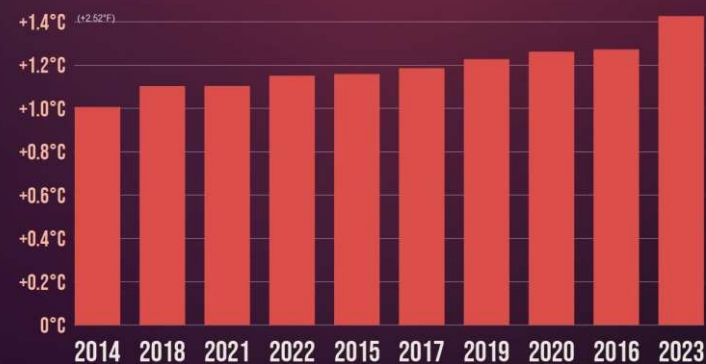
- Atmosfera
- Oceani i mora
- Ledeni pokrov
- Rijeke i jezera
- Podzemne vode
- Kopno
- Biosfera

Opažanja temperature i rekordi



M. F. Maury (1853)

10 HOTTEST GLOBAL YEARS ON RECORD



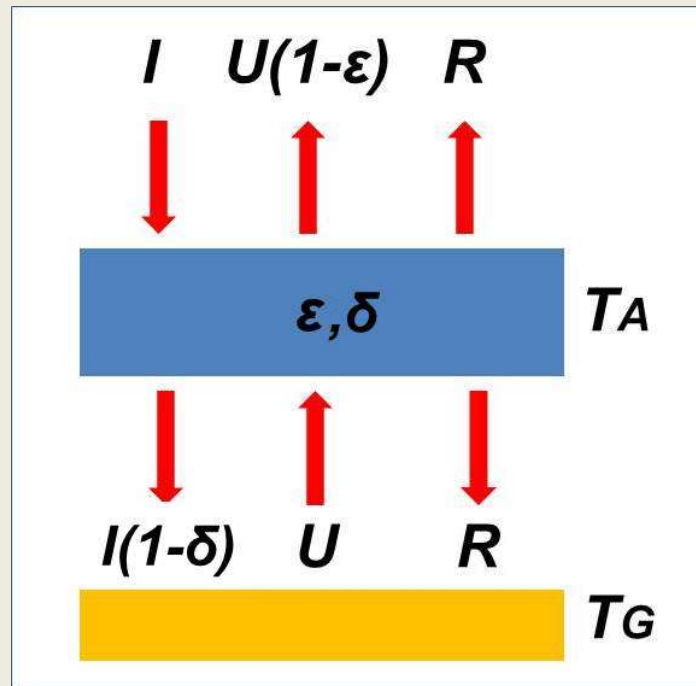
Global temperature anomalies (°C) averaged and adjusted to early industrial baseline (1861-1910).
Data as of 1/12/2024.
Source: NASA GISS & NOAA NCEI

CLIMATE CENTRAL



S. Arrhenius (1896)

Efekt staklenika i njegove promjene

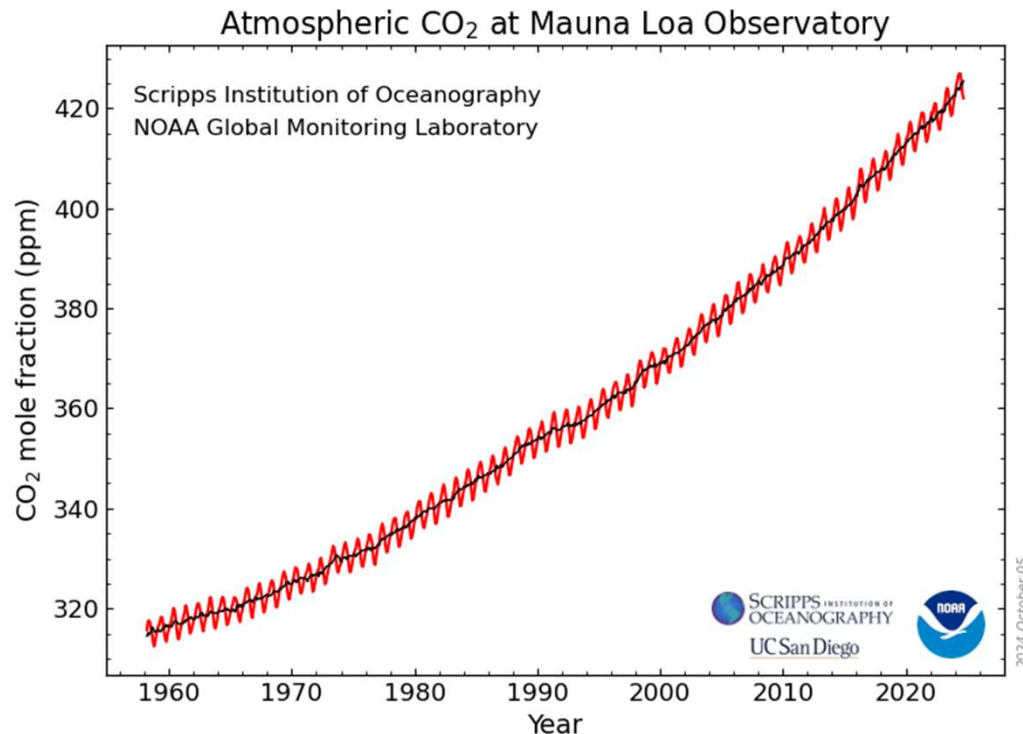
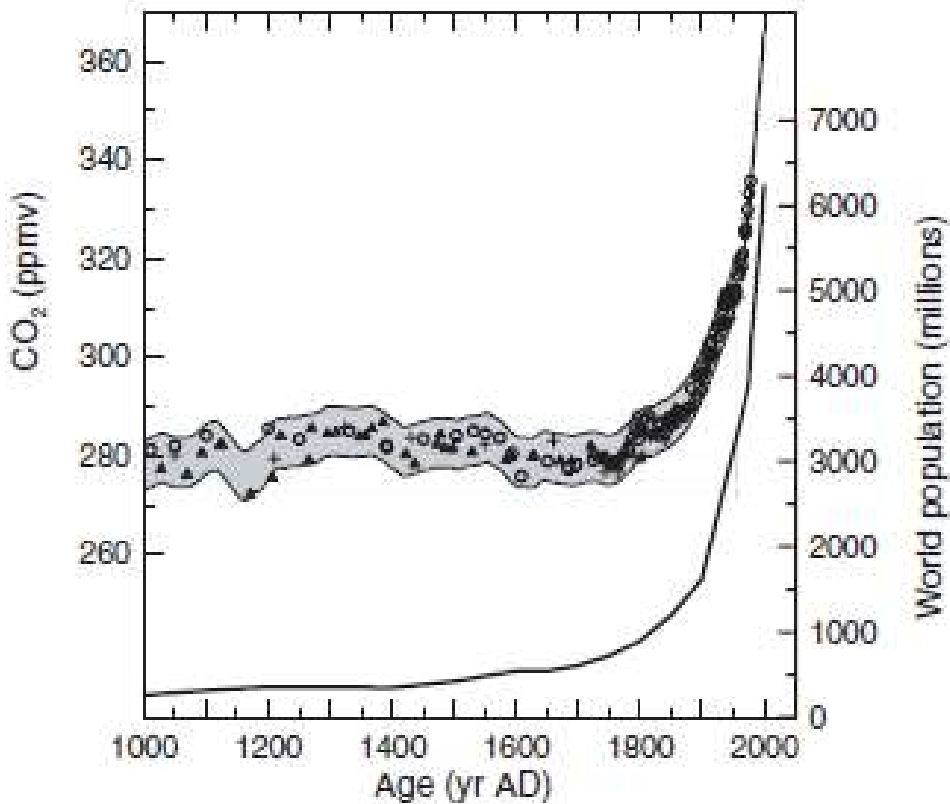


$$U = \frac{I(2 - \delta)}{2 - \varepsilon}, R = \frac{I(\varepsilon + \delta - \varepsilon\delta)}{2 - \varepsilon},$$

$$T_G = \sqrt[4]{\frac{I(2 - \delta)}{\sigma(2 - \varepsilon)}}, T_A = \sqrt[4]{\frac{I(\varepsilon + \delta - \varepsilon\delta)}{\sigma\varepsilon(2 - \varepsilon)}}$$

$$I = 239 \frac{W}{m^2}, \sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}, \varepsilon = k_e \rho_e H, \delta = k_d \rho_d H$$

Staklenički plinovi (CO₂...)



J. M. Barnola (1999)



S. Manabe, K. Bryan (1969)

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} - fv = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + F_x$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} + fu = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + F_y$$

$$0 = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} - g$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w) = 0$$

$$p = \rho RT$$

$$C_p \frac{dT}{dt} - \frac{1}{\rho} \frac{dp}{dt} = Q$$

Numeričko modeliranje sustava atmosfera-more



IBM POWER7 775

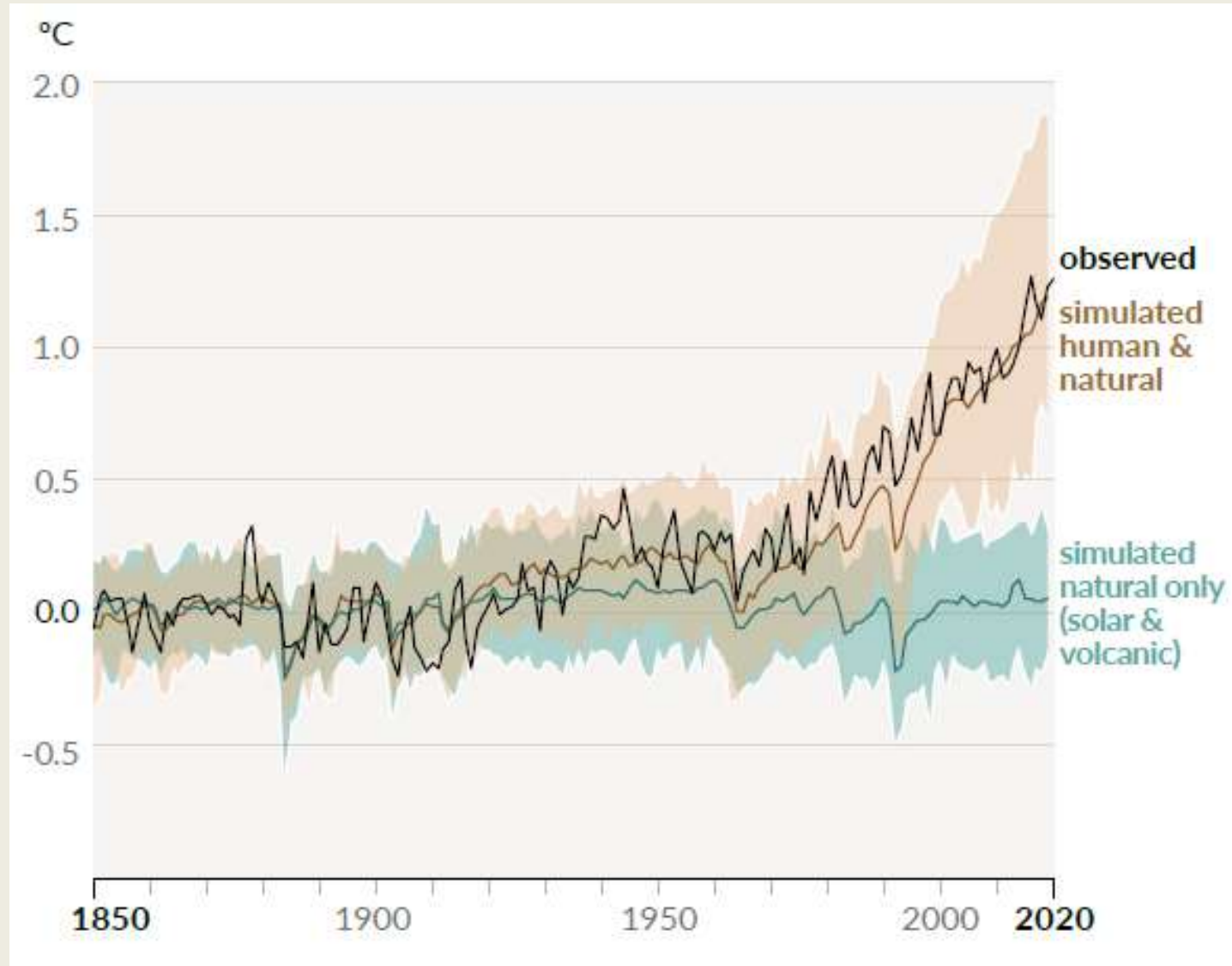
F_x, F_y – friction

Q – heating / cooling



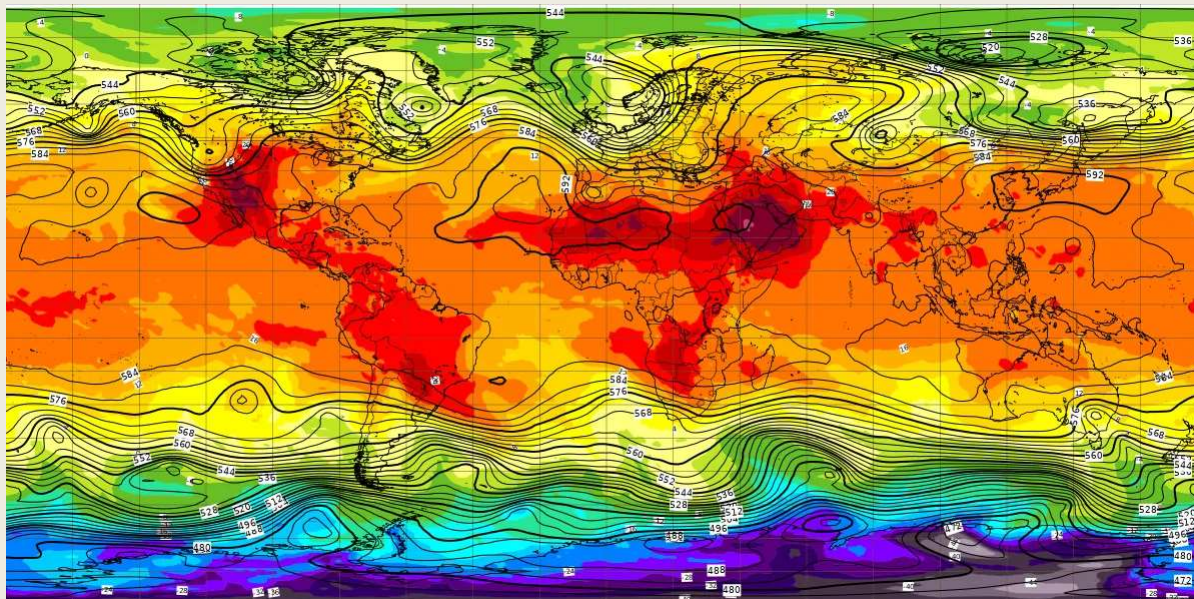
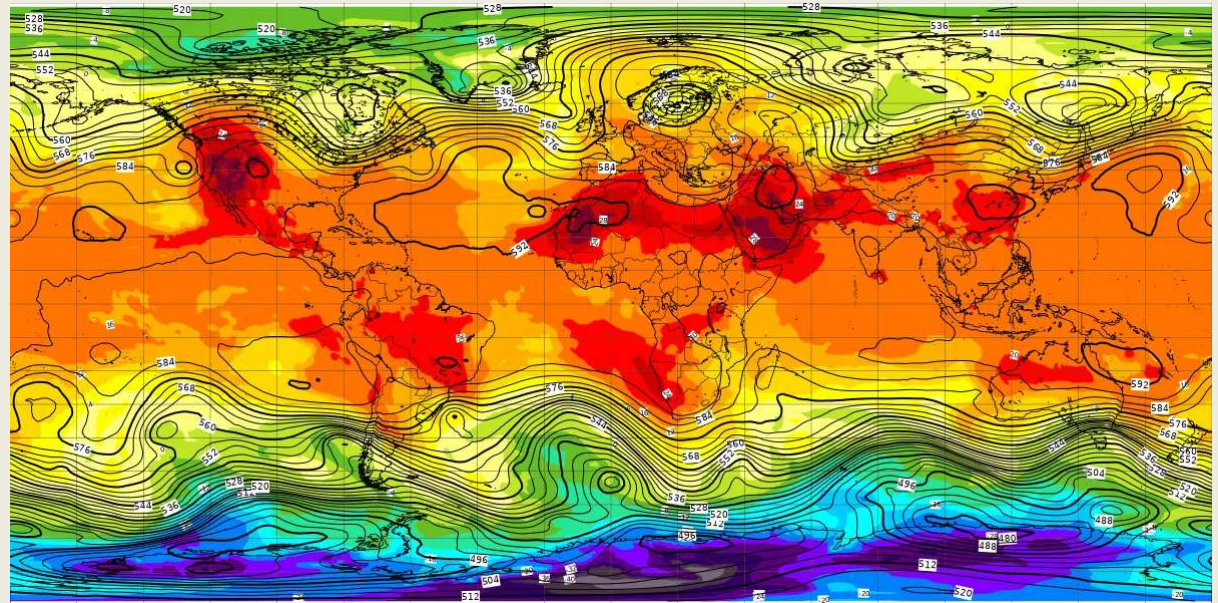
K. Hasselmann
(1976, 1979)

Razlikovanje prirodnih i antropogenih procesa



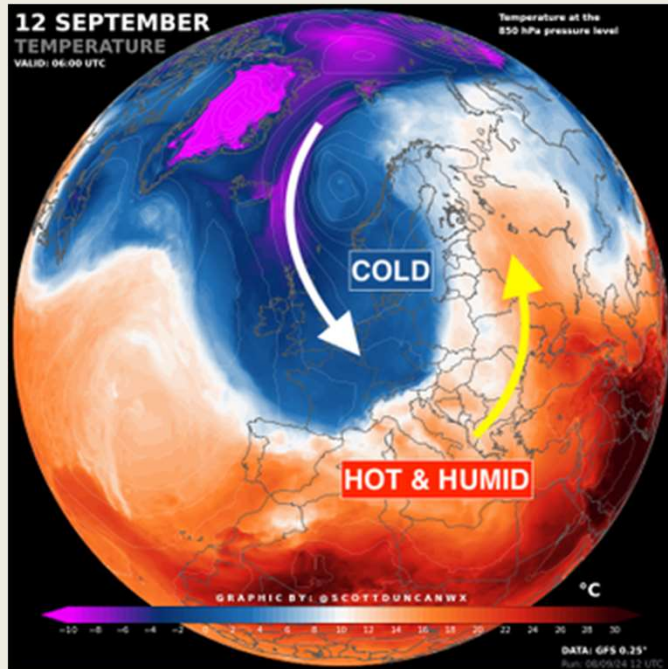
Utjecaj na atmosfersku dinamiku (primjer: rujna 2024.)

2. rujna 2024.

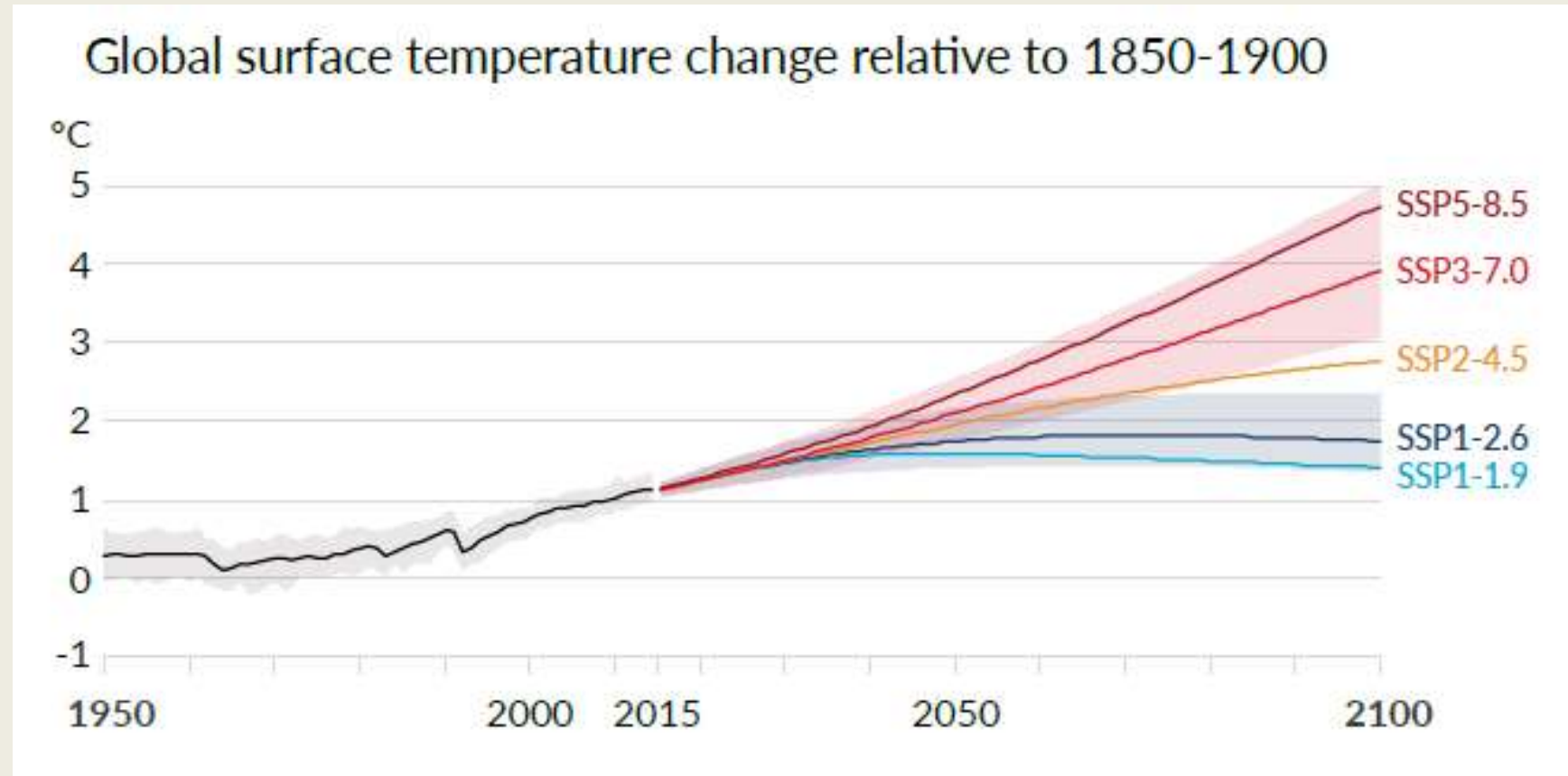


12. rujna 2024.

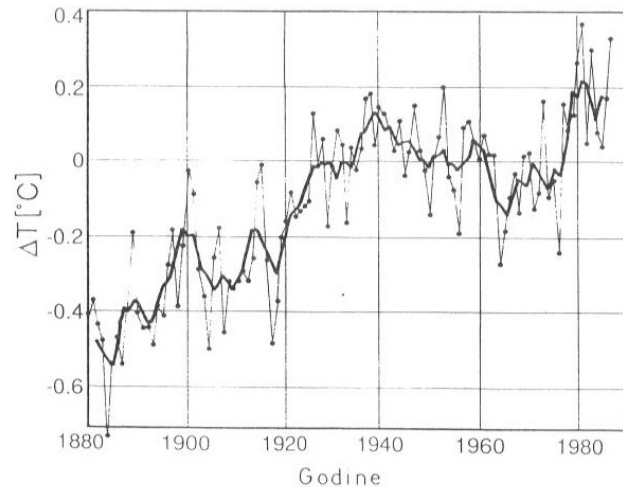
Razvoj ciklone (Boris) i poplave širom Europe u rujnu 2024.



Projekcije globalne temperature



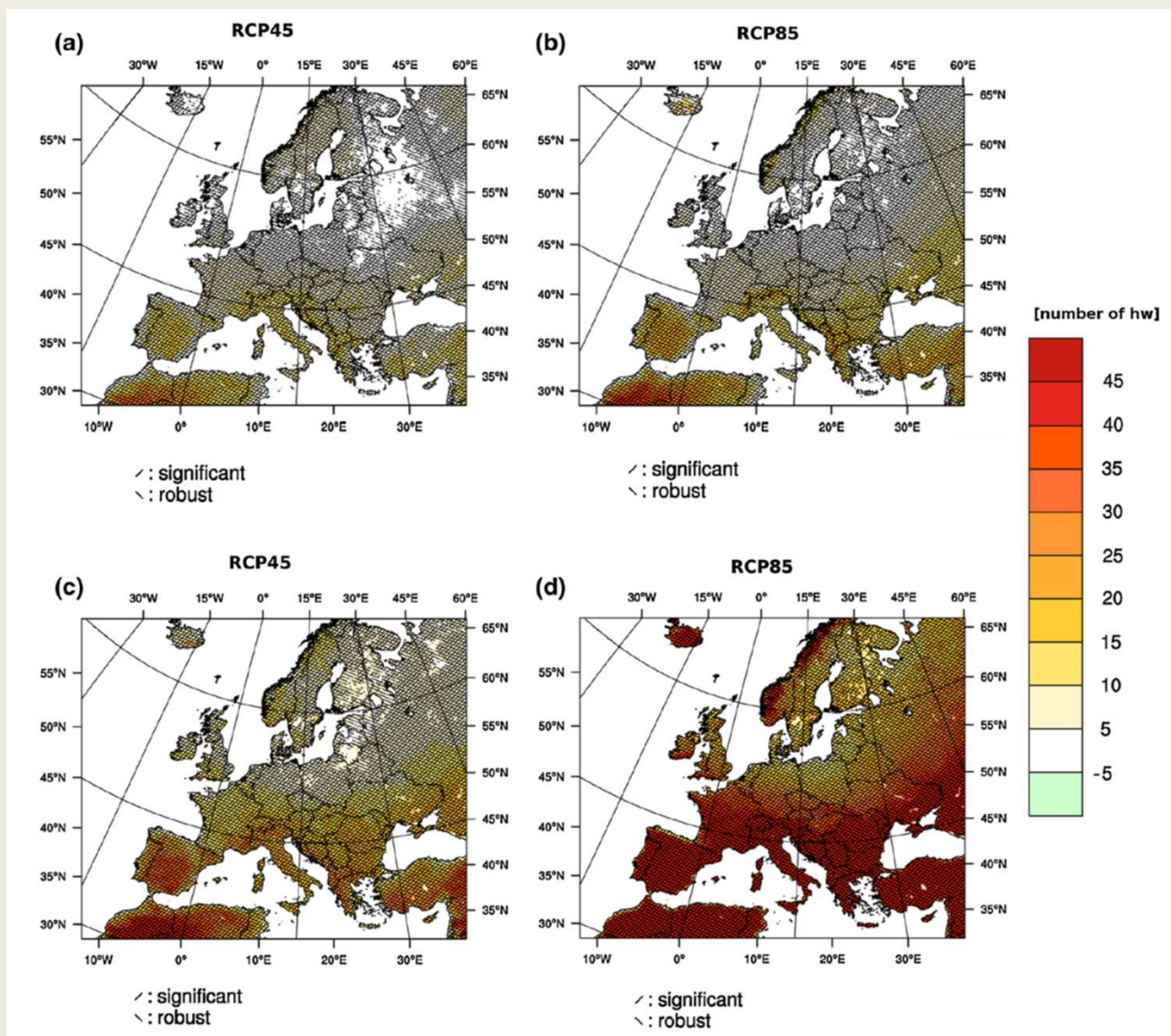
Kvaliteta klimatskih projekcija



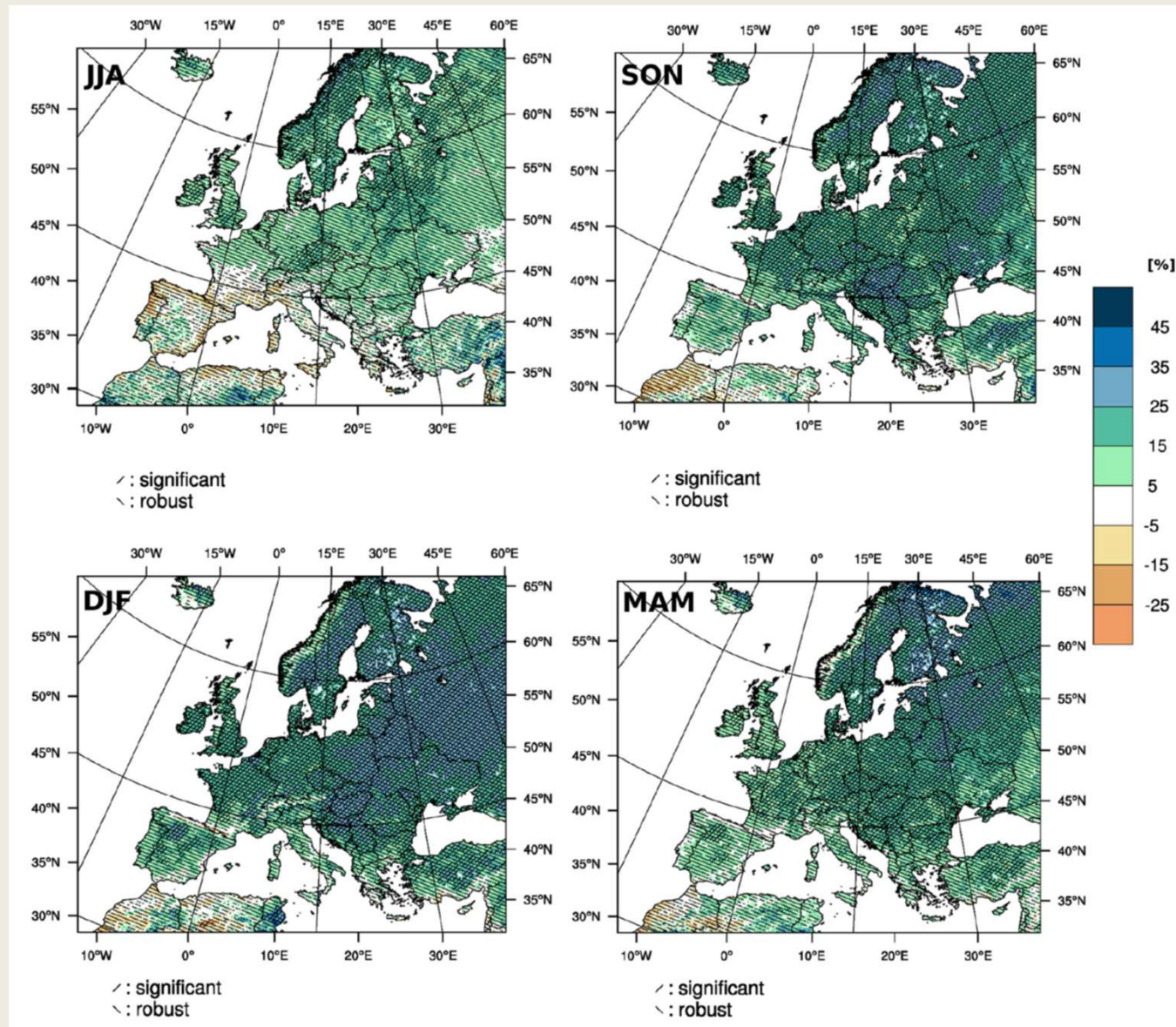
„Slika prikazuje promjene temperature zraka pri površini Zemlje zabilježene unatrag stotinjak godina. Jasno se vide kolebanja na godišnjoj skali koja su posljedica prirodne promjenjivosti u sustavu atmosfera-more. Ta se kolebanja superponiraju na **tendenciju porasta temperature atmosfere od kojih 0,5 °C u posljednjih 100 godina**. Ta bi tendencija mogla biti povezana sa zatopljenjem koje traje od posljednjeg ledenog doba, sa širenjem gradskih područja u kojima se mjeri temperatura zraka i posljedičnim grijanjem, ali i s čovjekovim utjecajem na klimu. Naime, zbog poljoprivrednih i tvorničkih aktivnosti povećava se koncentracija različitih plinova u

atmosferi. Tako je npr. u razdoblju od 1740. do 1980. koncentracija ugljičnog dioksida povećana za 25%. Povećava se i koncentracija metana, dušikovih oksida, klorofluorouglijaka... Ti plinovi razmjerno slabo apsorbiraju kratkovalno Sunčevo zračenje koje stiže na Zemlju, ali dobro apsorbiraju dugovalno zračenje što ga odašilje Zemlja. Zato se toplina zadržava uz Zemlju, a temperatura u tom području raste. To je poznati 'efekt staklenika' koji je i prije djelovao na klimatske prilike na Zemlji, ali se u posljednje vrijeme pojačao zbog povećane čovjekove aktivnosti... Što se tiče predviđanja budućih promjena, valja reći da se očekuje daljnji porast temperature zraka... **Klimatolozi koji djeluju u Svjetskom klimatskom istraživačkom programu predviđaju da će se idućih 50 godina temperatura zraka povisiti za bar 1 °C**. Dakako, ta se promjena neće u istoj vrijednosti očitovati svugdje na Zemlji. Povišenje temperature zraka uzrokovat će i druge izmjene – u hidrološkom ciklusu, u vodostaju mora i oceana...“

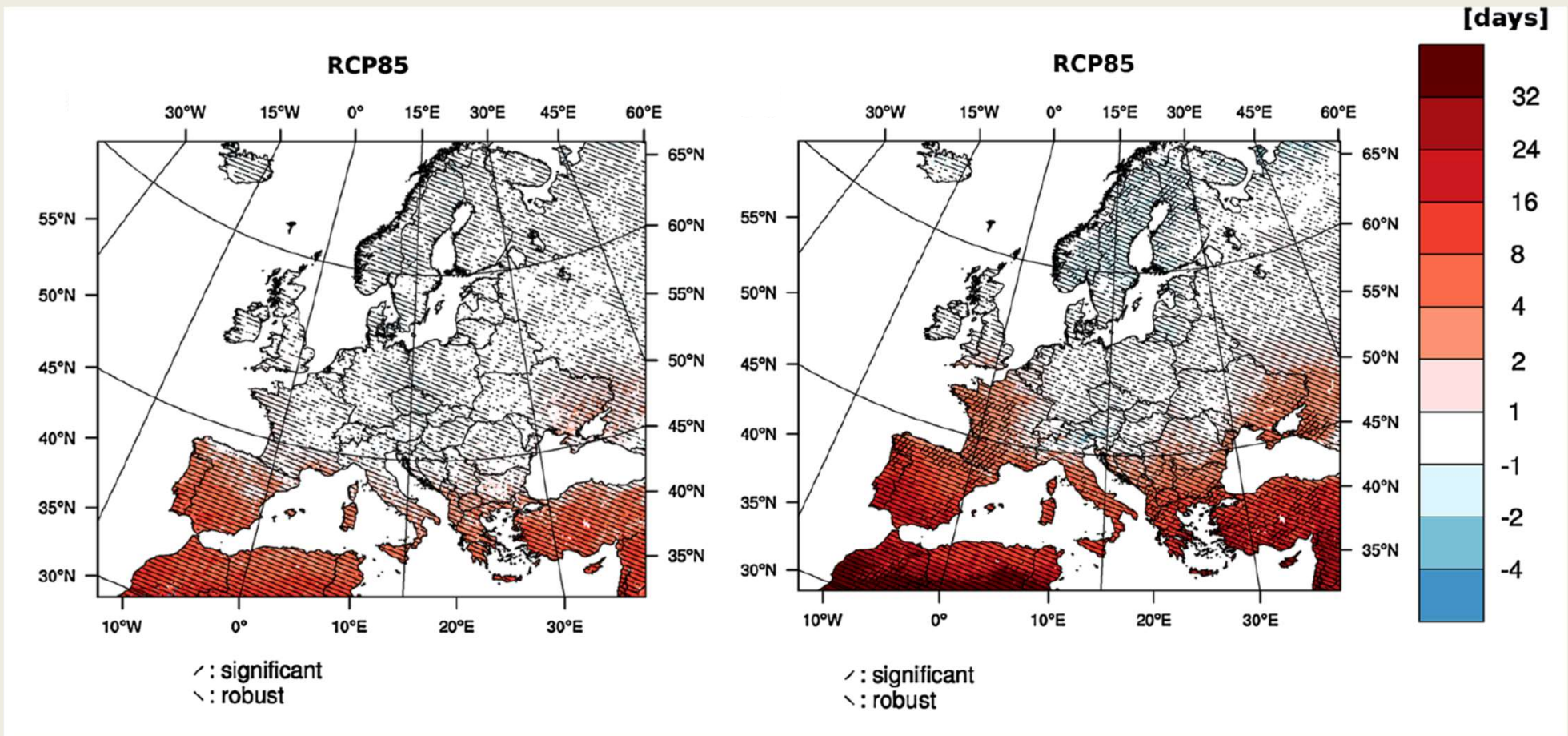
Promjena broja toplinskih valova (od 1971./2000. do 2021./2050. i do 2071./2100.)



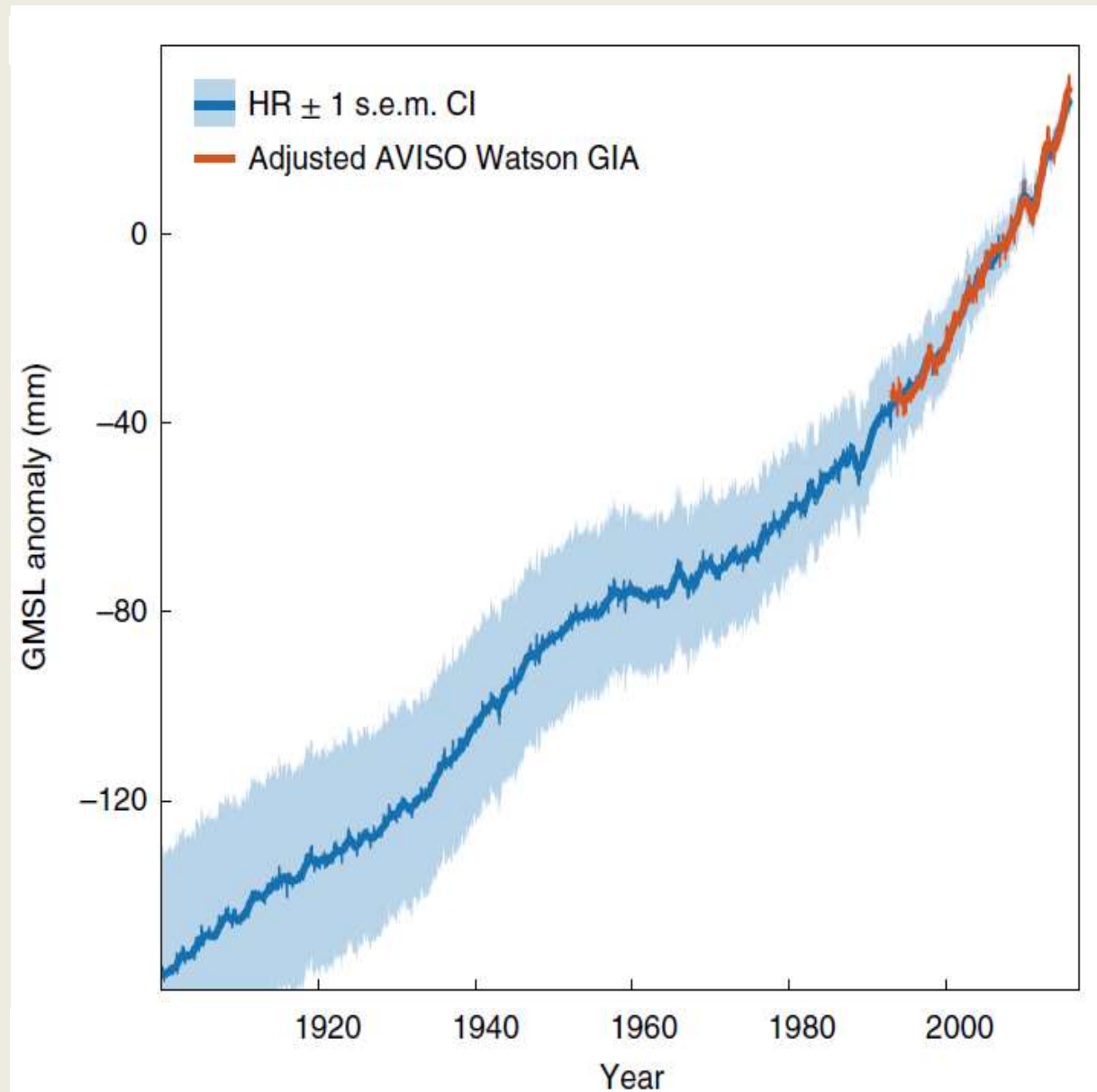
Postotna promjena intenzivnih oborina (od 1971./2000. do 2071./2100., scenarij RCP8.5)



Promjena trajanja sušnih razdoblja (od 1971./2000. do 2021./2050. i do 2071./2100.)



Registrirane visine morske razine



New Orleans (2005)



Poplavljanje obalnog područja

Mianmar (2008)



New York (2012)



Filipini (2013)



Jadranska poplava 1. studenoga 2012.



Rijeka



Rab

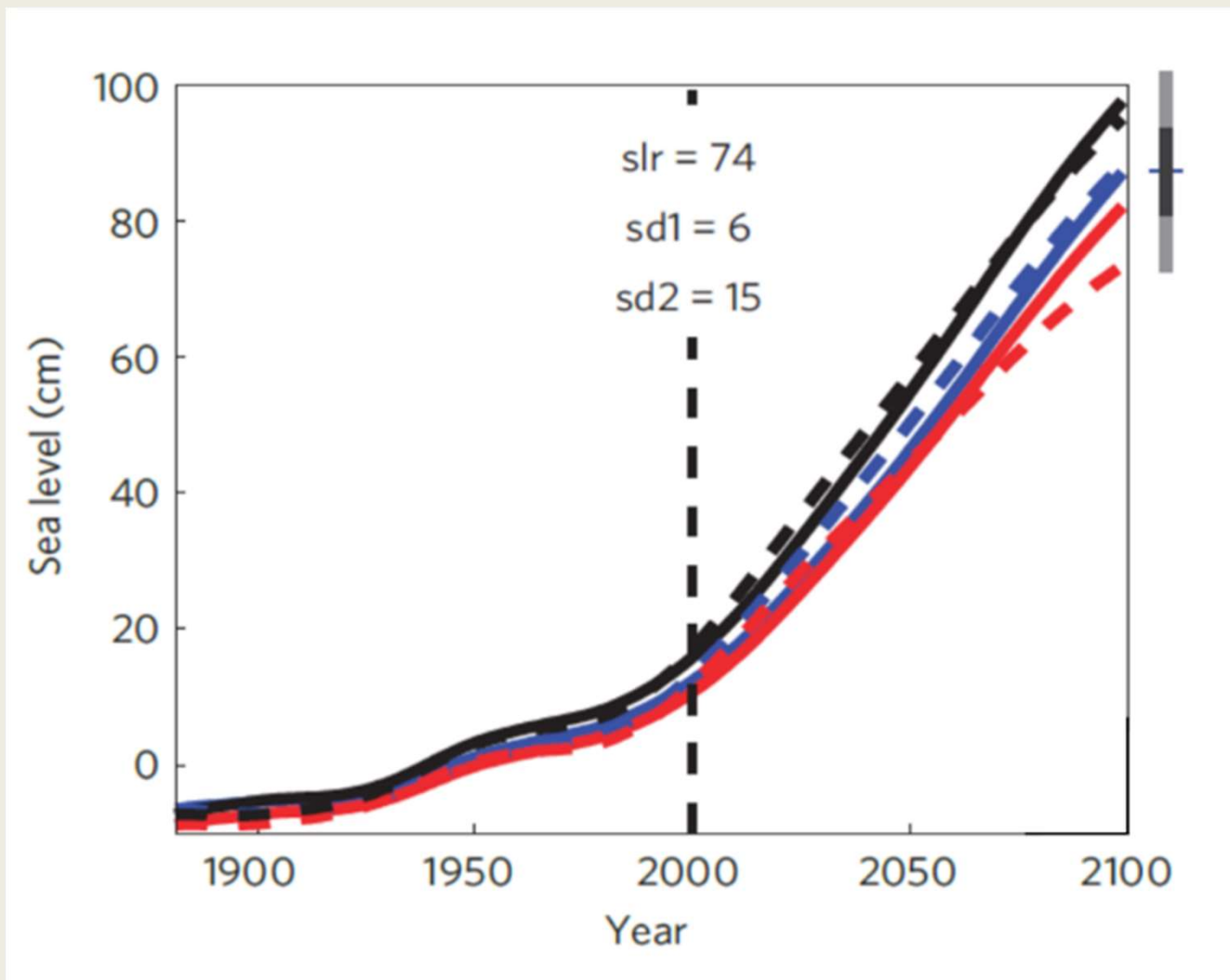


Cres



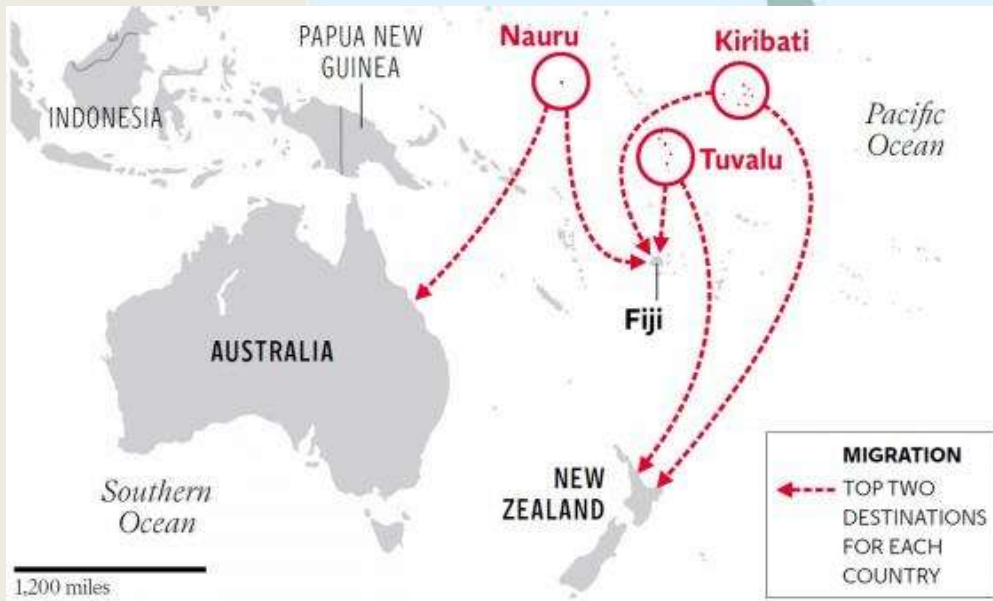
Murter

Projekcija visine morske razine



Očekivani utjecaj na migracije

Delte (R. J. Nicholls, P. P. Wong, 2007)

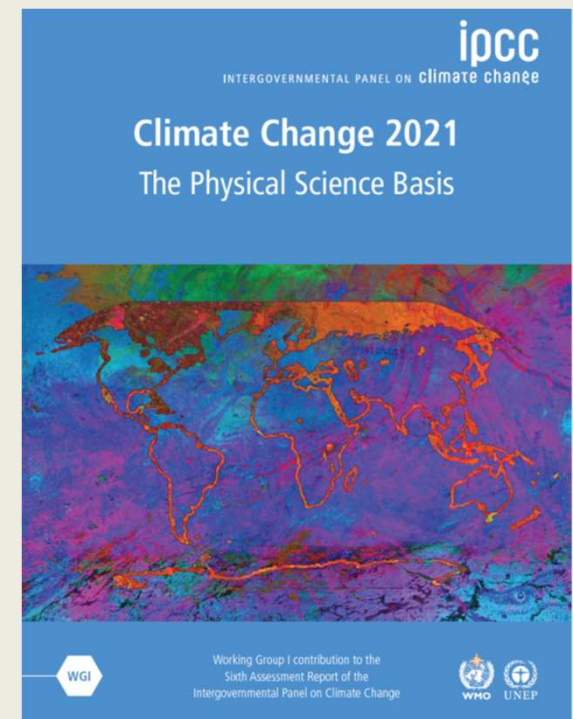


Otoci (T. Bawden, 2015)

Što mogu učiniti znanstvenici

- Vršiti istraživanja da bi se reducirala nepouzdanost projekcija (*investigation*).
- Istražiti kako se mogu ublažiti klimatske promjene i time izbjegnuti najgori scenariji (*mitigation*).
- Razmotriti mogućnost prilagodbe novim uvjetima života, gdje god je moguće (*adaptation*).

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC),
Assessment Reports
(1990, 1995, 2001, 2007, 2013, 2021)



Što mogu učiniti političari

- Razviti politike koje će omogućiti njihovim državama da se prilagode klimatskim promjenama.
- Podržati sudjelovanje svojih država u međunarodnim projektima ublažavanja klimatskih promjena.
- Poticati međunarodnu suradnju koja uvažava činjenicu da su klimatskim promjenama najviše pridonijele razvijene države dok će posljedice tih promjena najviše osjetiti države u razvoju.



Paris Climate Agreement (2015)

Što svatko može učiniti

- Smanjiti upotrebu automobila.
- Koristiti avionski prijevoz samo kad je to nužno potrebno.
- Promijeniti prehrambene navike.
- Paziti na efikasnost zagrijavanja/hlađenja domova.
- Štititi zelene površine.
- Pažljivo ulagati svoj novac (tako da se smanji ugljični otisak).
- Utjecati na političare.

