



Prijelazni instrument
Europske unije za Hrvatsku

STRATEGIJA PRILAGODBE KLIMATSKIM PROMJENAMA

*Jačanje kapaciteta Ministarstva zaštite okoliša i energetike
za prilagodbu klimatskim promjenama te priprema
Nacrta Strategije prilagodbe klimatskim promjenama*

www.prilagodba-klimi.hr



REPUBLIKA HRVATSKA
MINISTARSTVO ZAŠTITE
OKOLIŠA I ENERGETIKE

eptisa
Adria d.o.o.



Prijelazni instrument, Jačanje kapaciteta Ministarstva zaštite okoliša i energetike za prilagodbu klimatskim promjenama te priprema Nacrta Strategije prilagodbe klimatskim promjenama

Klima i klimatsko modeliranje

Čedo Branković

cedo.brankovic@cirus.dhz.hr

Zagreb, 16. veljače 2017. (Rijeka)



Sadržaj

1. Klima i klimatske promjene
2. Opažene klimatske promjene, klimatska varijabilnost i ekstremi
3. Klimatski modeli i modeliranje klime
4. Neki rezultati klimatskog modeliranja





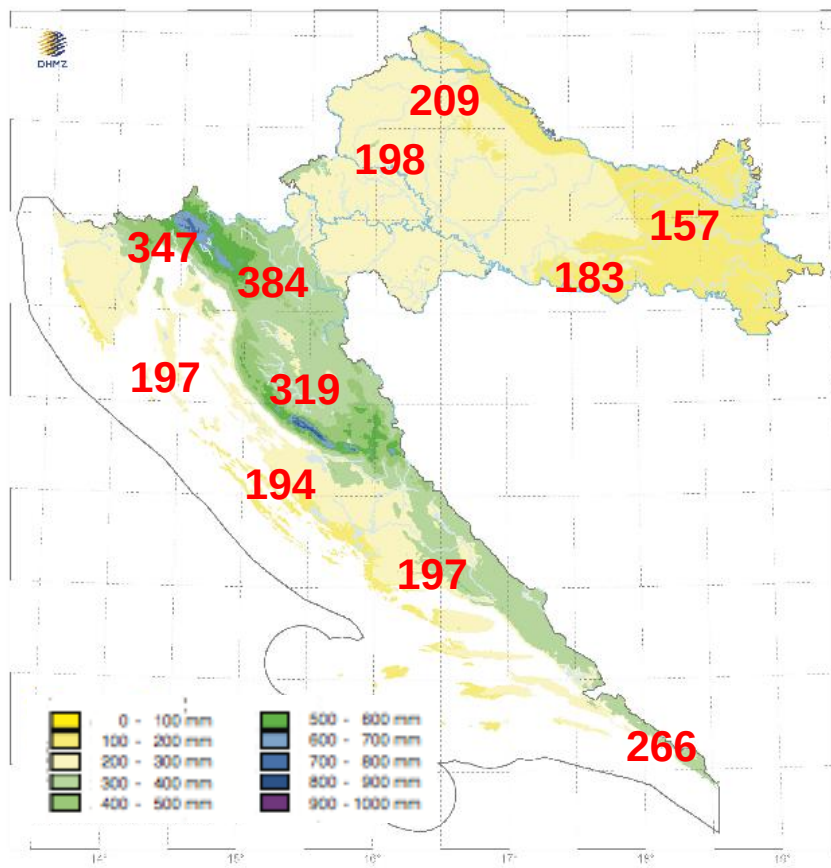
Klima

- * **Klimu** nekog područja definiramo kao skup **srednjih** ili **očekivanih** vrijednosti meteoroloških elemenata i pojava (**osrednjeno vrijeme**)
- * Klima se klasificira prema vrijednostima **srednjaka** i tipičnog **raspona** vrijednosti klimatskih elemenata → kontinentalna, planinska, primorska, oceanska, pustinska, tropska, monsunaska, arktička, itd.
- * Klima ovisi o **sunčevoj energiji** → atmosfera i oceani prenose sunčevo zagrijavanje od ekvatora prema polovima i od površine natrag u svemir
- * **Na klimu utječu:** Sunčevo, Zemljino i atmosfersko zračenje, oceanske i zračne struje, zemljopisna širina, razdioba kopna i mora, reljef, nadmorska visina, udaljenost od mora ili većih vodenih površina, razdioba kopnenog i morskog leda, sastav tla, biljni pokrov, djelovanje čovjeka
- * Klima je samo **“vanjska”** manifestacija klimatskih procesa, dinamike i međudjelovanja komponenata klimatskog sustava: atmosfera, oceani, ledeni pokrov, tlo, vegetacija, ...
- * Elementi vremena ujedno su i **elementi klime**

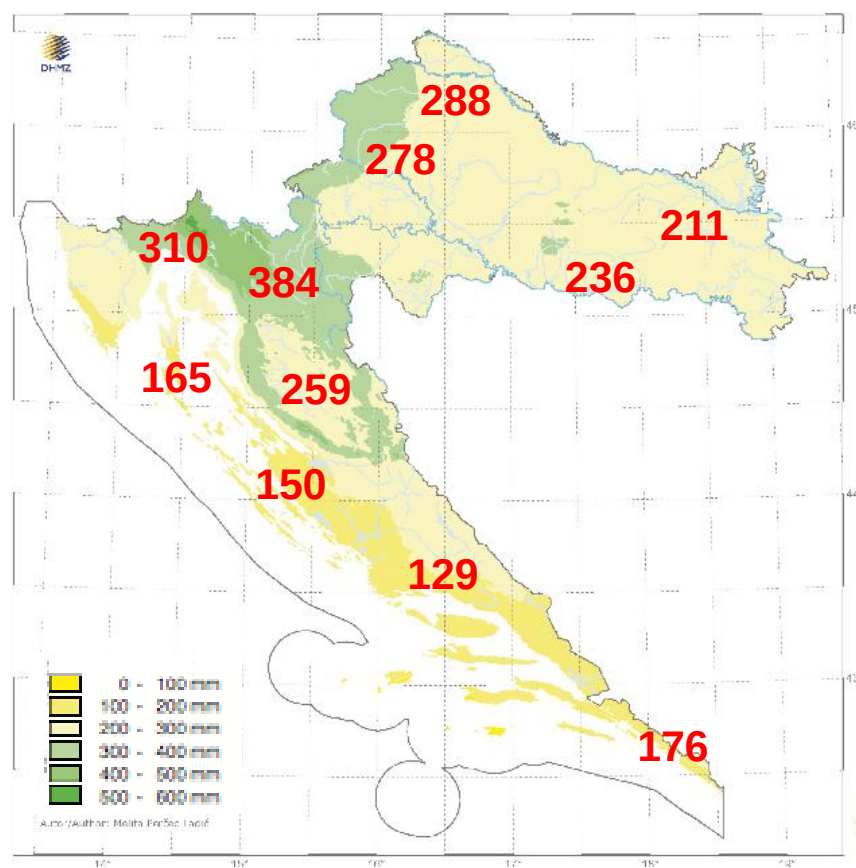


Klima Hrvatske za razdoblje 1961-1990

Srednja količina oborine u proljeće



Srednja količina oborine u ljeto



Izvor: Zaninović i sur., Atlas klime Hrvatske (2008, DHMZ)



REPUBLIKA HRVATSKA

MINISTARSTVO ZAŠTITE
OKOLIŠA I ENERGETIKE



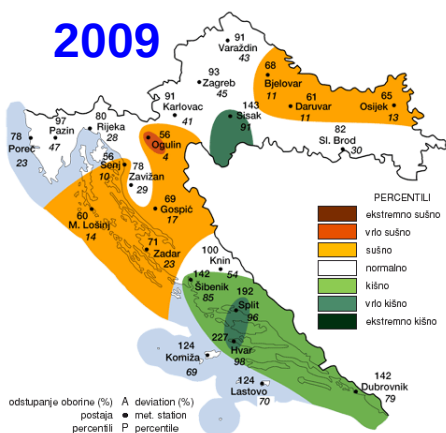
eptisa
Adria d.o.o.

Klimatska varijabilnost

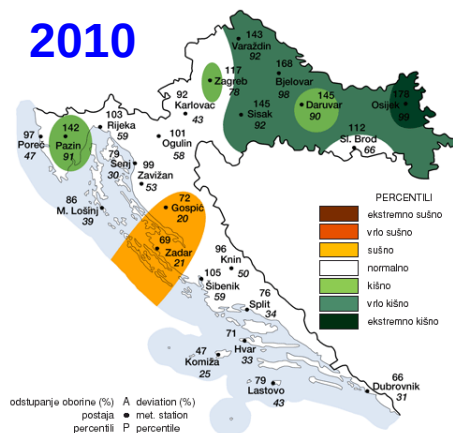
Ljetna oborina u Hrvatskoj 2009-2016



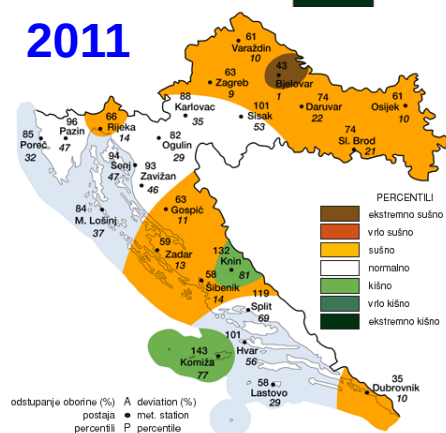
2009



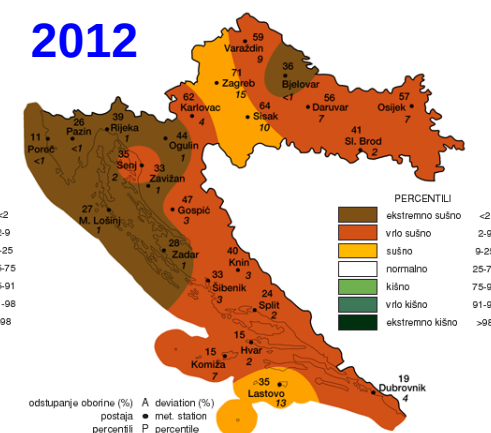
2010



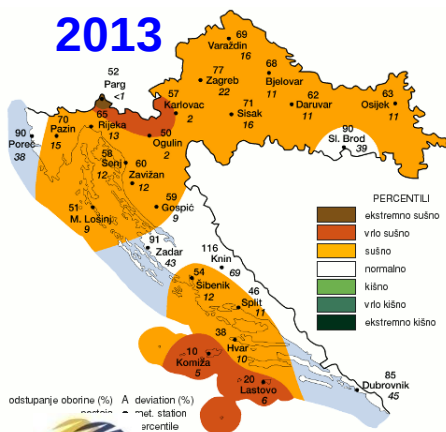
2011



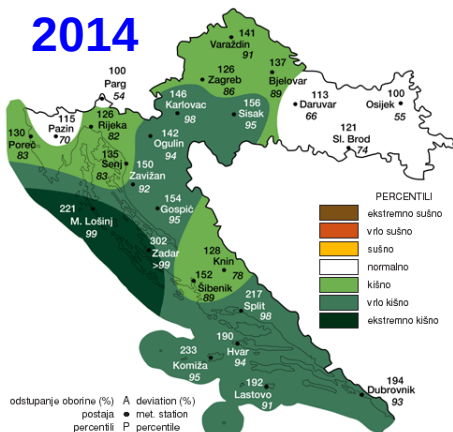
2012



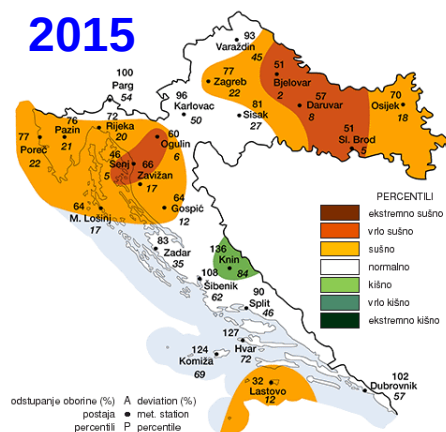
2013



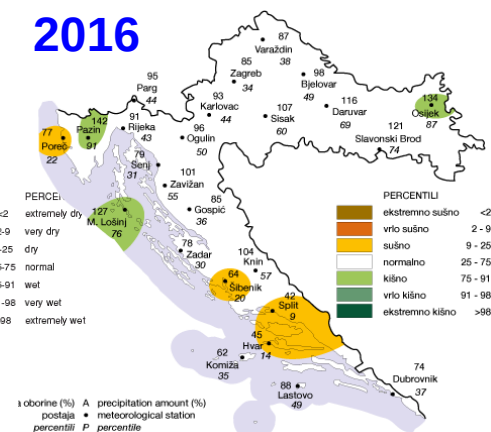
2014



2015



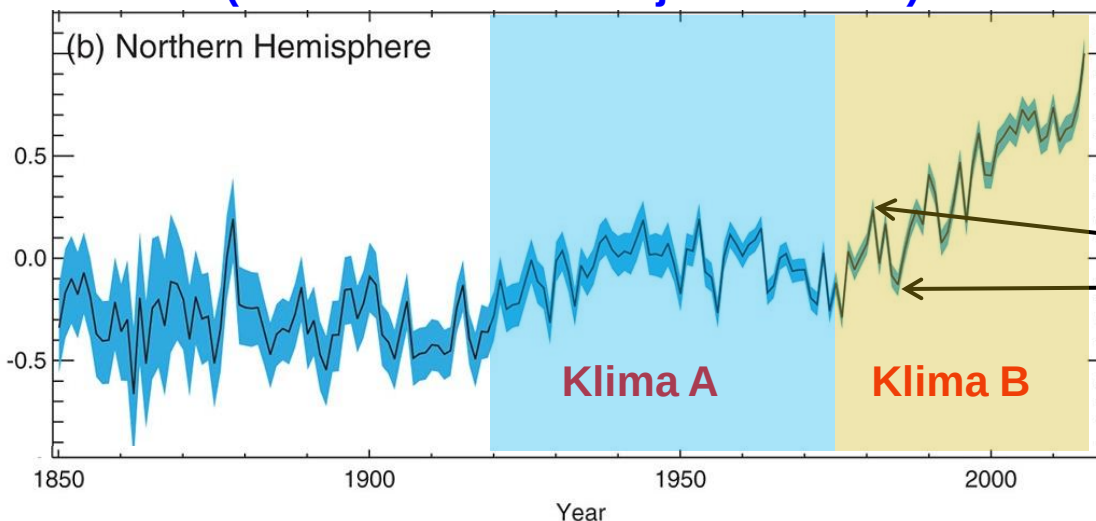
2016



DHMZ

Klimatska varijabilnost i klimatske promjene

Godišnje anomalije temperature na sjev. hemisferi
(u odnosu na razdoblje 1961-1990)



Klimatske
varijacije

Izvor: Kennedy
i sur., Weather
(2016)

- * **Klimatske varijacije** su razlike u vrijednostima klimatskih elemenata unutar razdoblja koja su kraća od klimatskog razdoblja
- * Klimatske varijacije ne ukazuju da je došlo do klimatske promjene
- * **Klimatske promjene** su značajne i trajne promjene u statističkoj razdiobi vremenskih pojava (dekade do milijuni godina)

**Lokalna klima: opažene promjene 1961-1990 i 1971-2000**

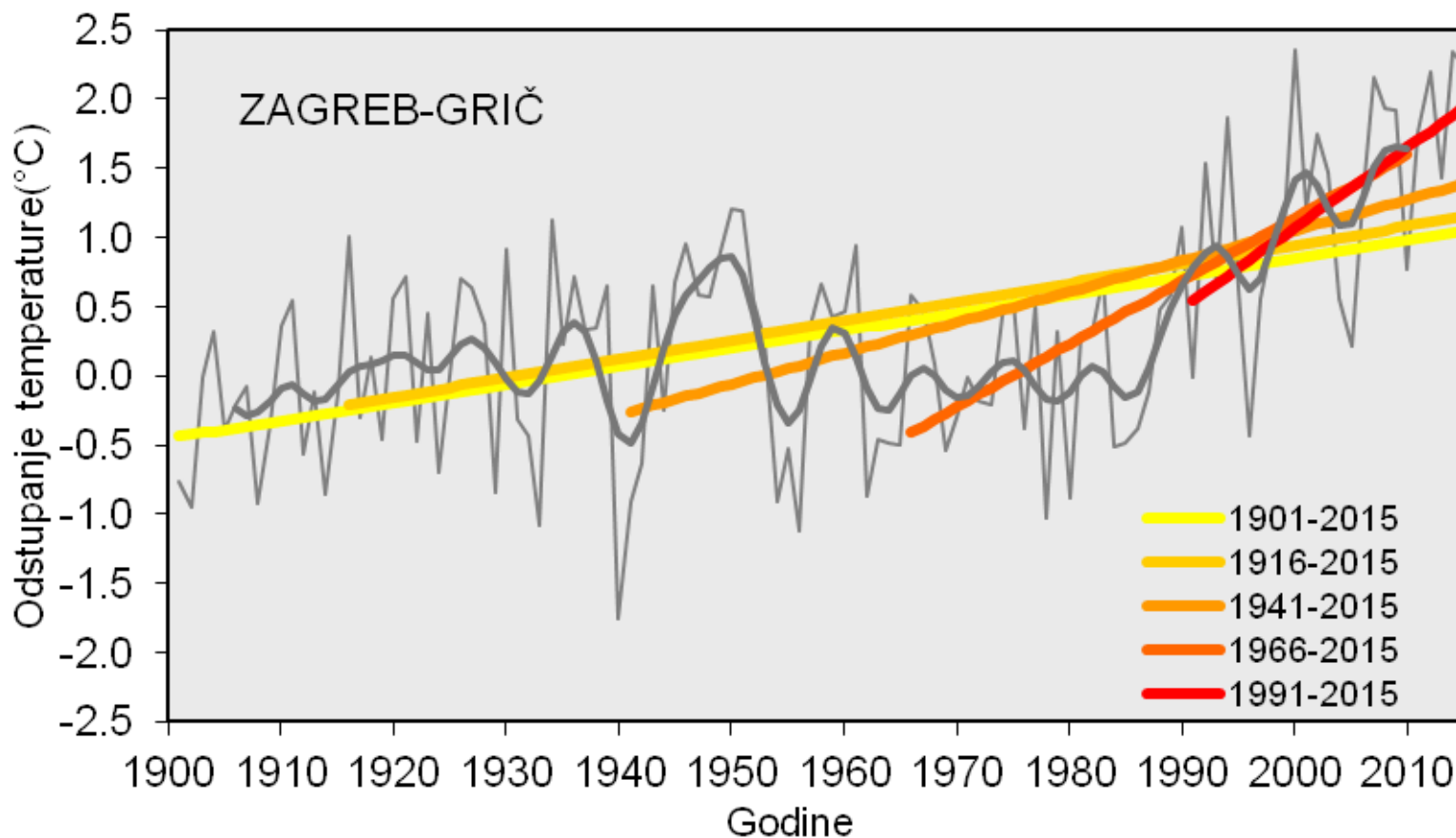
Rijeka		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Z	P	Lj	J	G
t (°C)	1961-1990	5.3	6.1	8.5	12.2	16.6	20.1	22.8	22.3	18.9	14.4	9.8	6.5	6.0	12.4	21.8	14.4	13.6
	1971-2000	5.8	6.3	8.8	12.0	16.8	20.3	23.1	23.1	18.8	14.2	9.6	6.8	6.3	12.6	22.2	14.2	13.8
tmax (°C)	1961-1990	8.5	9.5	12.2	16.0	20.7	24.4	27.5	27.2	23.6	18.8	13.4	9.8	9.3	16.3	26.4	18.6	17.6
	1971-2000	9.1	9.9	12.6	15.9	21.1	24.6	27.9	28.1	23.5	18.5	13.2	10.1	9.7	16.5	26.8	18.4	17.9
tmin (°C)	1961-1990	2.4	3.2	5.3	8.7	12.6	15.9	18.2	18.1	15.1	11.1	6.8	3.6	3.1	8.9	17.4	11.0	10.1
	1971-2000	2.9	3.2	5.5	8.4	12.8	16.0	18.6	18.6	14.9	10.9	6.6	4.0	3.3	8.9	17.7	10.8	10.2
tmax ≥30°C (vrući)	1961-1990						1.7	7.4	7.3	0.7						16.4	0.7	17.1
	1971-2000						1.8	8.4	9.7	0.5						19.9	0.5	20.4
tmin ≥20°C (trop.)	1961-1990					0.1	1.7	8.5	7.9	0.6					0.1	18.2	0.6	18.9
	1971-2000					0.1	2.0	9.7	10.2	0.7					0.1	21.9	0.7	22.7
Rd≥1 mm (d)	1961-1990	9.1	8.2	8.7	9.8	9.9	9.1	6.3	7.5	7.8	8.5	9.7	8.4	25.9	28.4	22.9	26.0	103.
	1971-2000	8.6	7.0	7.7	9.6	9.2	9.4	5.9	7.0	8.6	9.7	9.6	8.8	24.3	26.5	22.3	27.8	101.

Izvor: Zanimović i sur. (2008) Atlas klime Hrvatske (DHMZ)



Opažene klimatske promjene (Zagreb-Grič)

Odstupanja godišnje temperature u odnosu na razdoblje 1961-1990



Autor: K. Zaninović (DHMZ)

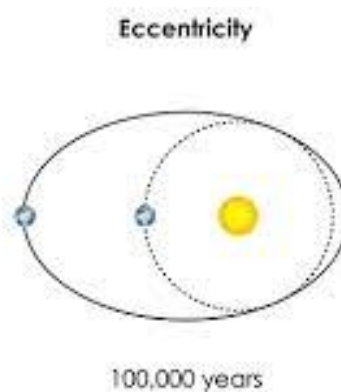
Klimatske promjene

* **Uzroci klimatskih promjena** su promjene u energetskej ravnoteži Zemlje

* **Prirodni uzroci:** varijacije u sunčevom zračenju
varijacije u rotaciji i orbiti Zemlje
vulkanske erupcije ...

Izvor:

[uk.pinterest.com/explore/
milankovitch-cycles/](https://uk.pinterest.com/explore/milankovitch-cycles/)



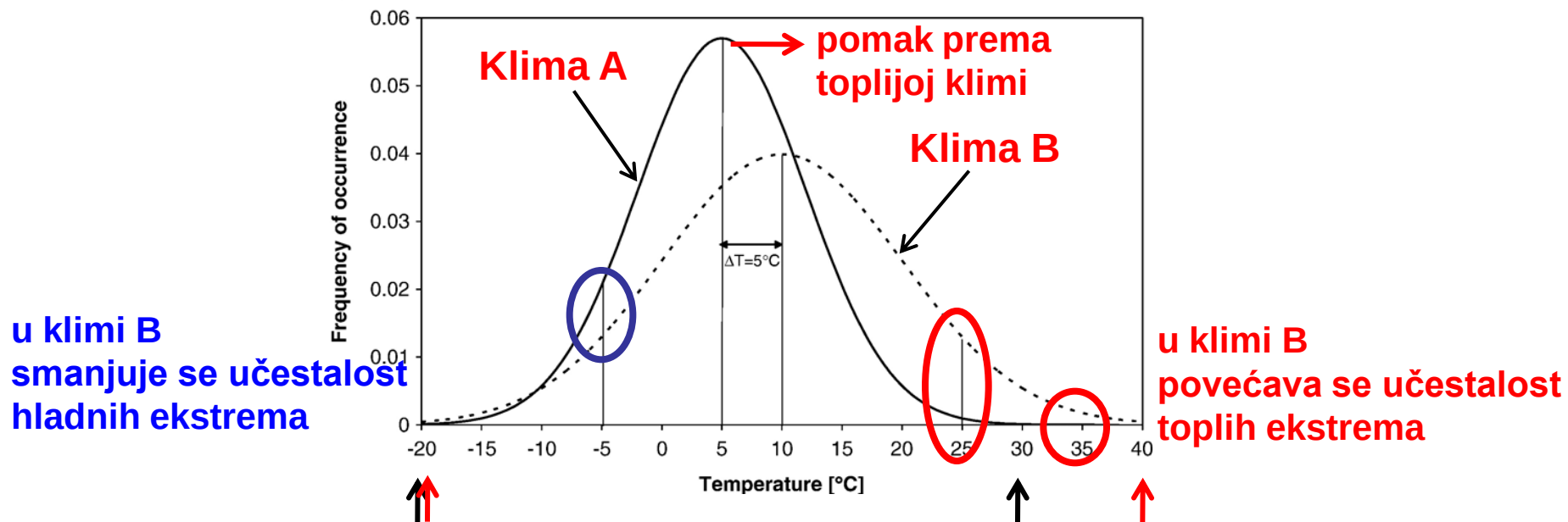
* **Ljudski utjecaj:** deforestacija
korištenje zemljišta
izgaranje fosilnih goriva ...

Zbog ljudskog utjecaja dolazi do povećanje razine plinova staklenika, aerosola, promjene u ozonskom omotaču, ...

Klimatske promjene i ekstremni događaji

* Učestalost nekog događaja (primjer za **temperaturu zraka**)

Promjena učestalosti događaja uz
povećanu klimatsku varijabilnost



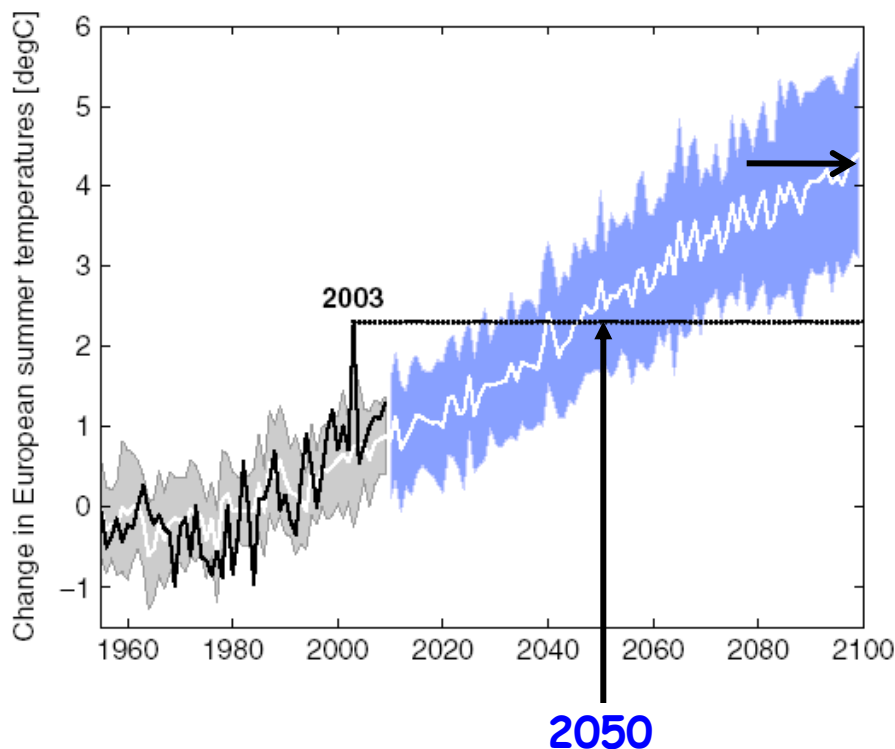
Izvor: Beniston & Goyette, Global and Planetary Change (2007)



Varijabilnost i ekstremni događaji u budućoj klimi

* Varijabilnost kao analog za budućnost

Promjena ljetne temperature u Europi



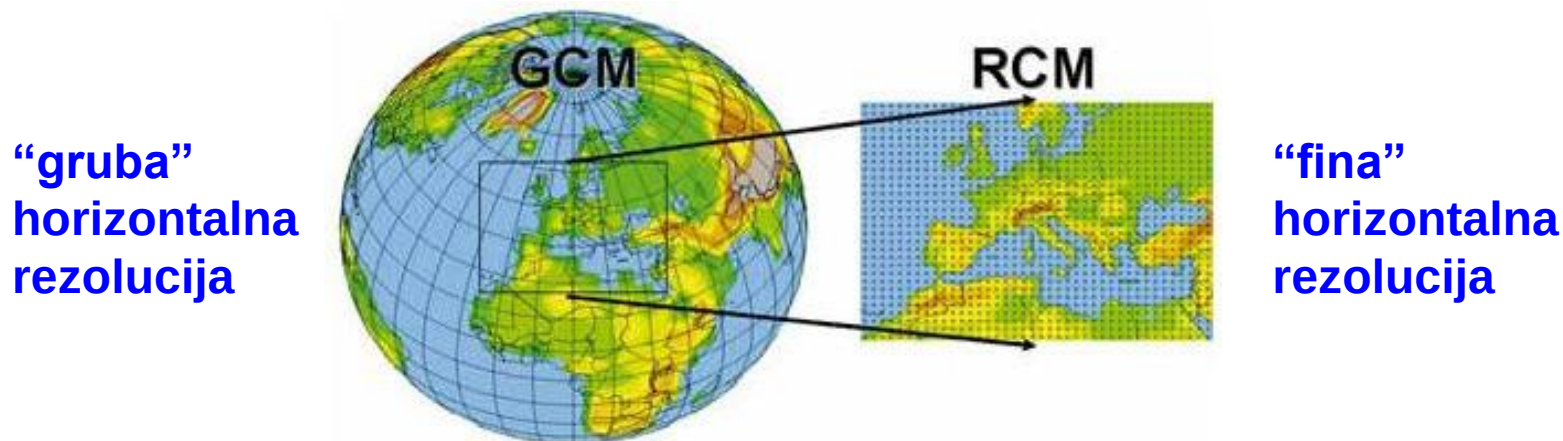
Koncem stoljeća ljeta u
Europi neće biti tako
hladna kao ljeto 2003

U 2050 će ljetna
temperatura iz 2003
biti **normalna**

Izvor: Hawkins, Weather (2011)

Modeliranje klime i klimatskih promjena - Klimatski modeli

- * Atmosfera je fluid u kojem vladaju zakoni fizike koji se mogu opisati matematičkim jednažbama
- * Primjena skupa takvih jednadžbi u praksi naziva se **model atmosfere**
- * Klimatski modeli mogu biti **globalni (GCM)** ili **regionalni (RCM)**



- * Zbog razmjerno grube rezolucije (150-250 km) **globalni modeli su neprikladni za istraživanje klime na lokalnim i regionalnim skalama**
- * RCM “ugniježđeni” u GCM: dobivaju početne i rubne uvjete od globalnih modela – **dinamička prilagodba (downscaling)**



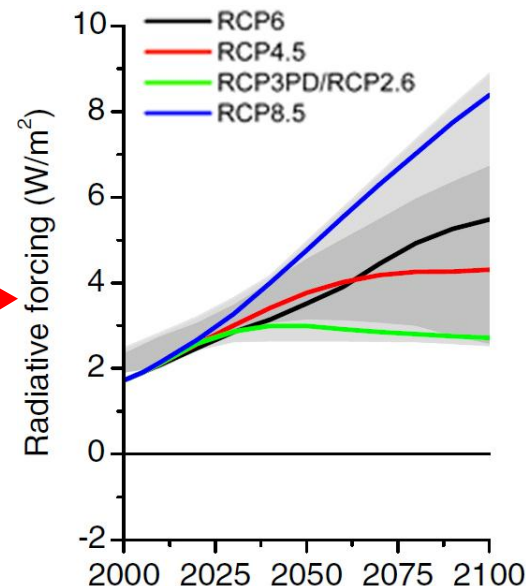
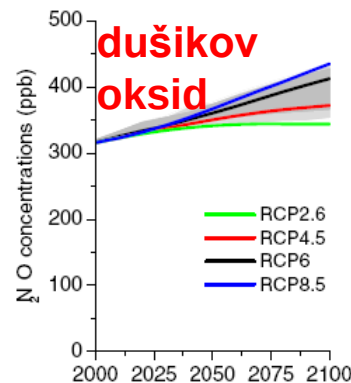
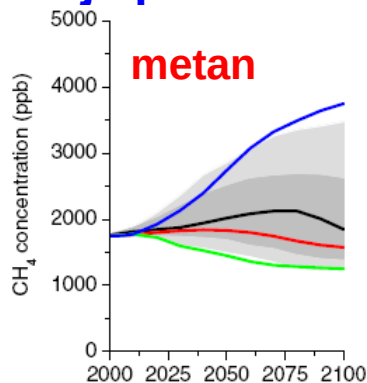
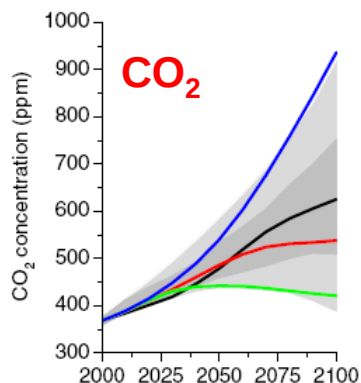
Modeliranje klime i klimatskih promjena - Klimatski modeli

- * Buduće stanje atmosfere (prognoza vremena, projekcije buduće klime) izračunava se pomoću atmosferskih (klimatskih) modela na **super-računalima** (HPC)
- * Regional Climate Model – **RegCM** (na DHMZ-u od 2003)
- * Super-računalo (klaster) **VELEbit** (SRCE):
 - 64 radna čvora s ukupno 1792 procesorske jezgre
 - 6 spremišnih čvorova
 - 220 TB standardnog spremišta
 - 12 TB brzog spremišta (SSD diskovi)
 - 44.4 TFLOPS-a
 - potrošnja energije 28 kW
- * **DHMZ tim** – Ivan Güttler, Lidija Srnec, Tomislav Stilinović



Modeliranje klime - Scenariji klimatske budućnosti

Trendovi koncentracije plinova staklenika u budućoj klimi



* RCP – representative concentration pathways:

2.6, 4.5, 6.0, 8.5

* Kumulativna mjera ukupne čovjekove emisije plinova staklenika u 2100.

* U RCP8.5 kontinuirani porast koncentracija plinova staklenika

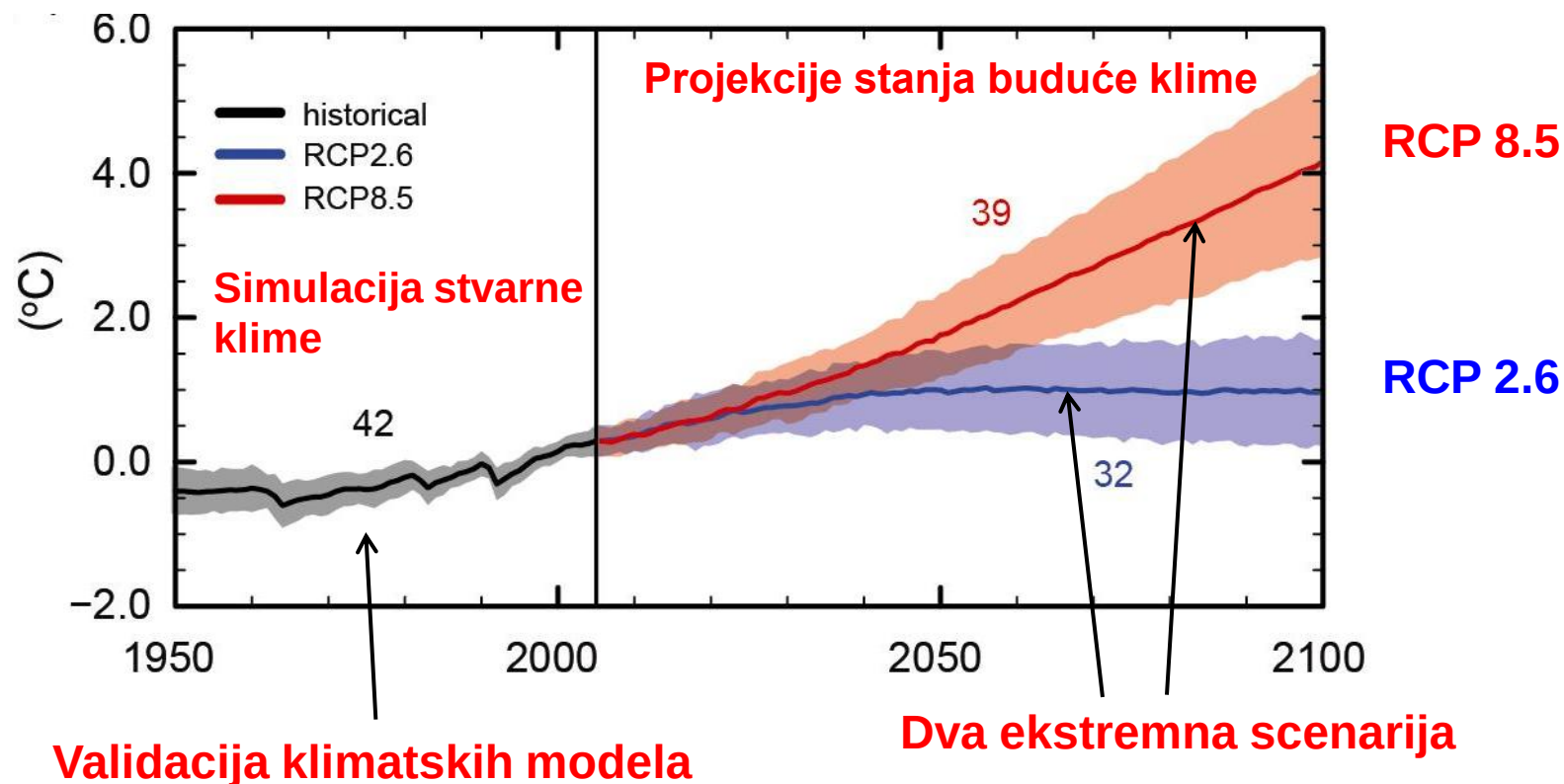
* U RCP4.5 i RCP2.6 stabilizirajući trend za koncentracije CO₂

Izvor: van Vuuren i sur., Climatic Change (2013)



Modeliranje klime i klimatskih promjena

Globalna promjena srednje temperature





Modeliranje klime i klimatskih promjena

- * Klimatski modeli su jedini “alat” kojim možemo **predvidjeti** buduće klimatske promjene
- * Uz modeliranje klime i klimatskih promjena vezane su mnoge **neizvjesnosti** (nesigurnosti)
 - **prirodna varijabilnost klimatskog sustava**
 - **nesavršenost klimatskih modela**
 - **nepoznavanje buduće koncentracije plinova staklenika - RCP2.6, 4.5, 6.0, 8.5**
- * Neizvjesnost u klimatskom modeliranju može se donekle ublažiti višestrukim ponavljanjem simulacija: više modela
više scenarija
više različitih početnih uvjeta

Ansambl (*ensemble*) simulacijâ i raspon mogućih stanja buduće klime



RCM rezultati (*output* regionalnih klimatskih modela)

- * **Osnovni klimatološki parametri:** prizemna temperatura, ukupna oborina, brzina vjetrova, tlak zraka, evapotranspiracija, vlažnost zraka, ukupna naoblaka, isparavanje, površinsko otjecanje, insolacija, ...
- * **Ali i:** dnevna max temperatura, dnevna min temperatura, konvektivna oborina, visoka (srednja, niska) naoblaka, komponente vjetrova, varijable na različitim visinama (temperatura, vlažnost, komponente vjetrova), pokrivenost snijegom, ...
- * **Primjena:**
 - broj dana s temperaturom $>$ ili $<$ od zadanog praga
 - toplinski valovi: broj dana s max temperaturom $>$ od zadanog praga
 - broj dana s količinom oborine $>$ ili $<$ od zadanog praga (vrlo kišni dani)
- * **Prikazi:**
 - godišnje, sezonske, mjesečne vrijednosti
 - karte, tablice (excel, ...)



REPUBLIKA HRVATSKA

MINISTARSTVO ZAŠTITE
OKOLIŠA I ENERGETIKE



eptisa
Adria d.o.o.

Temperatura zraka (srednjak ansambla)

RegCM, 50 km, RCP4.5

P0=1971-2000, P1=2011-2040, P2=2041-2070

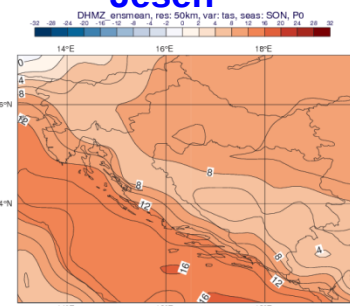
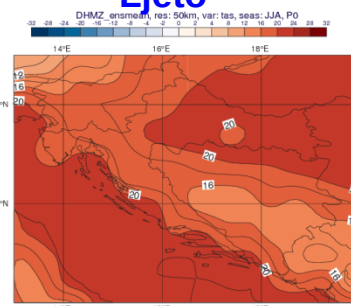
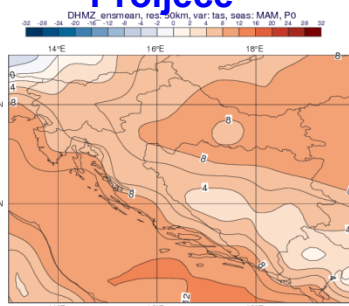
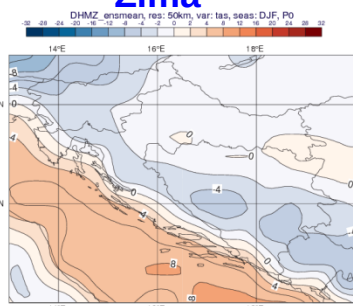
Zima

Proljeće

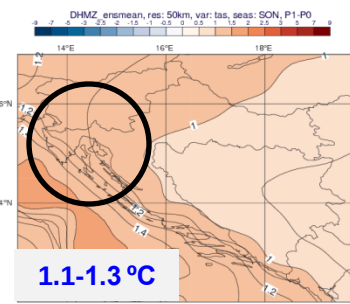
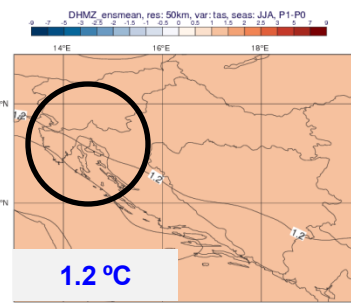
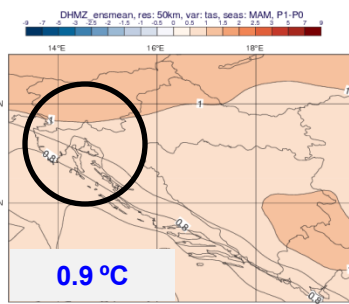
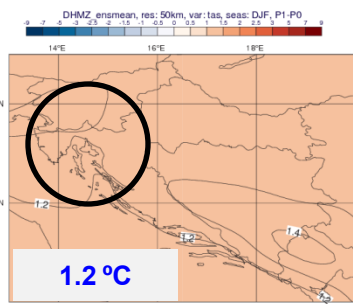
Ljeto

Jesen

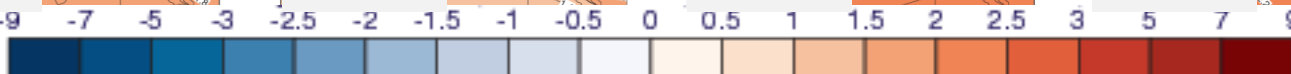
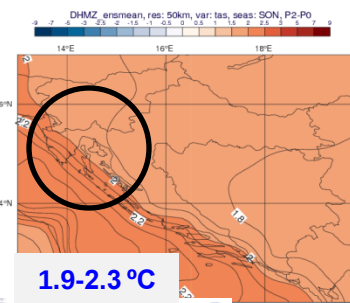
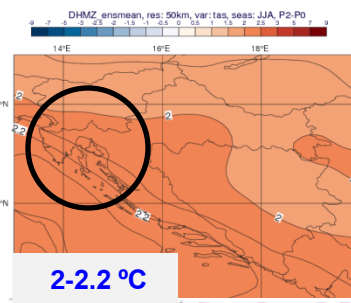
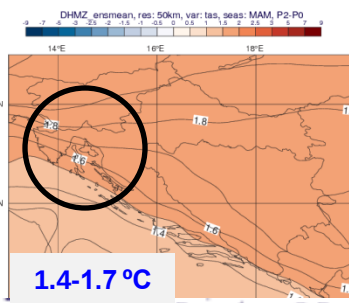
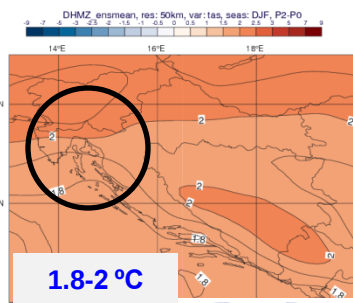
P0



P1-P0



P2-P0





REPUBLIKA HRVATSKA

MINISTARSTVO ZAŠTITE
OKOLIŠA I ENERGETIKE



eptisa
Adria d.o.o.

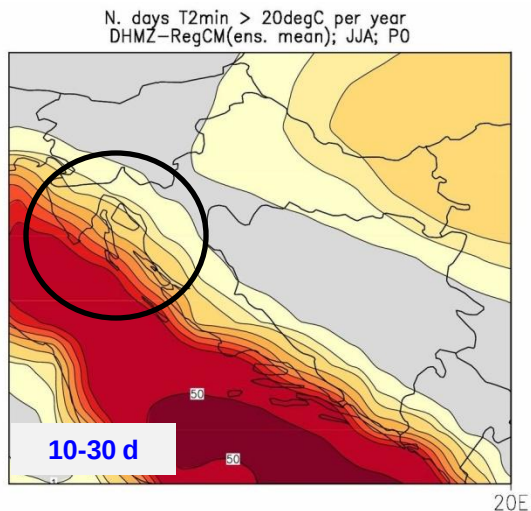
Broj dana s $t_{min} > 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (srednjak ansambla)

RegCM, 50 km, RCP4.5

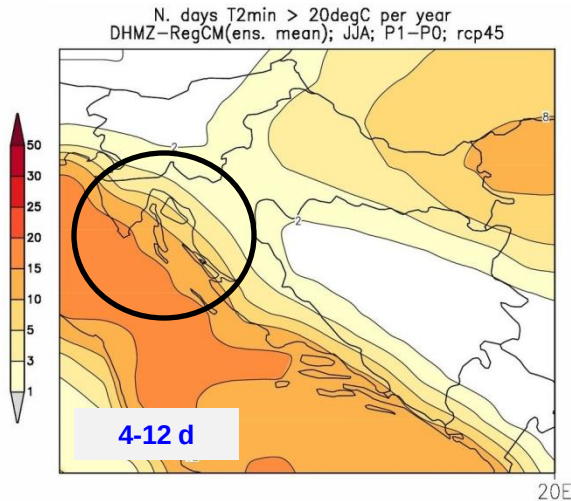
P0=1971-2000, P1=2011-2040, P2=2041-2070

Ljeto

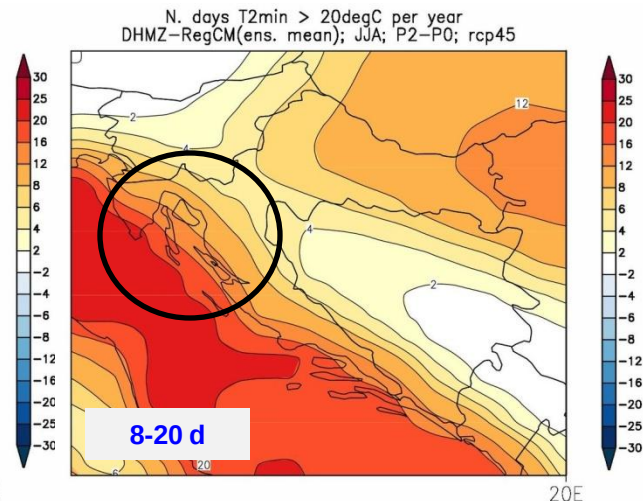
P0



P1-P0



P2-P0





REPUBLIKA HRVATSKA

MINISTARSTVO ZAŠTITE
OKOLIŠA I ENERGETIKE



eptisa
Adria d.o.o.

Ulazna sunčana energija (srednjak ansambla)

RegCM, 50 km, RCP4.5

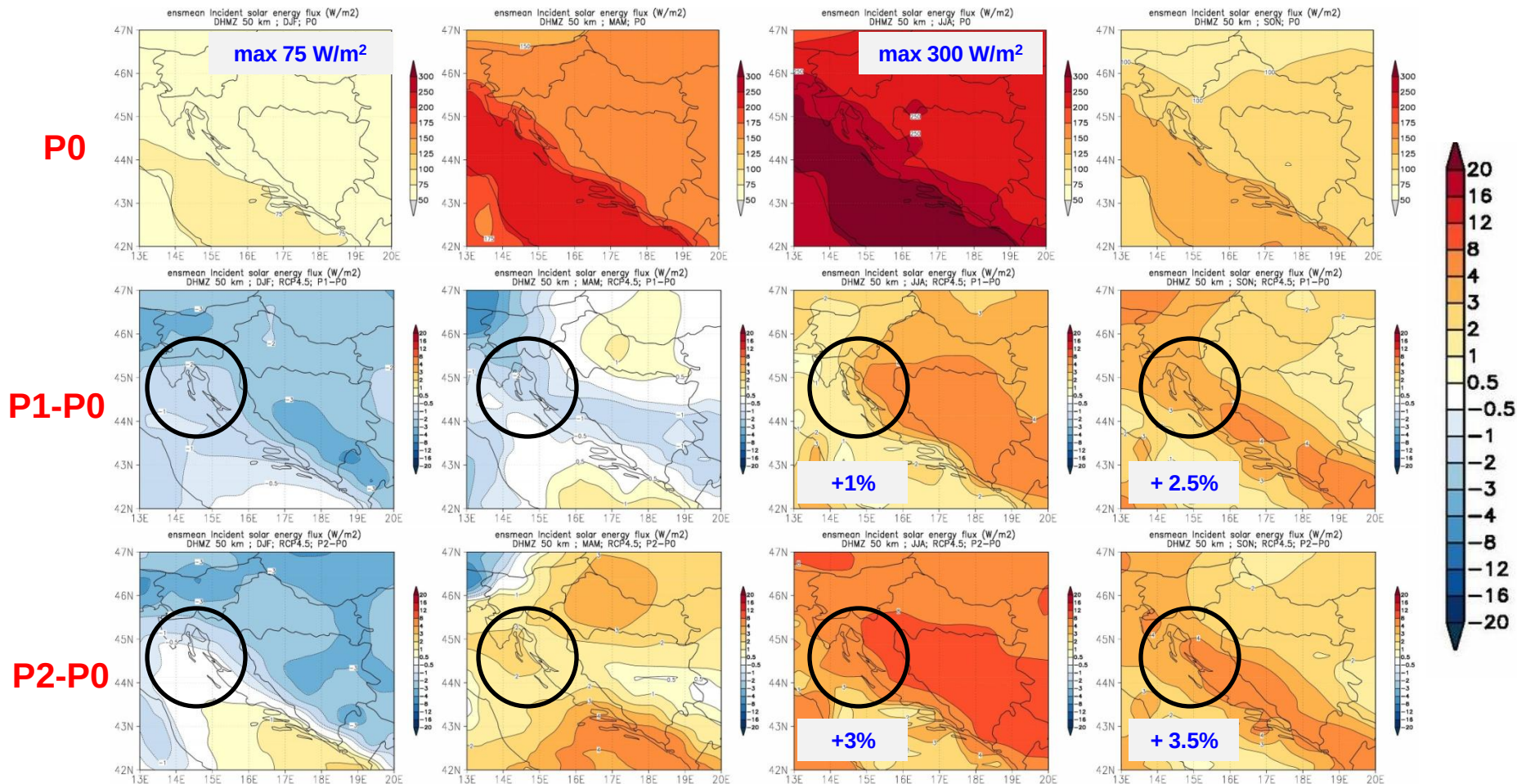
P0=1971-2000, P1=2011-2040, P2=2041-2070

Zima

Proljeće

Ljeto

Jesen





Maksimalna brzina vjeta (srednjak ansambla)

RegCM, 50 km, RCP4.5

P0=1971-2000, P1=2011-2040, P2=2041-2070

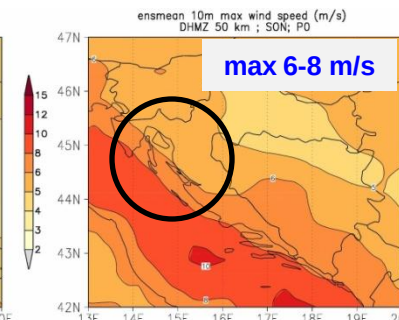
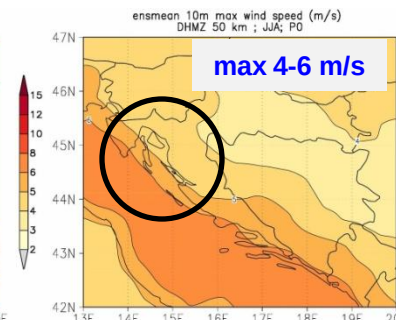
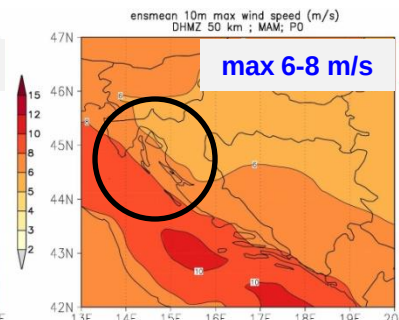
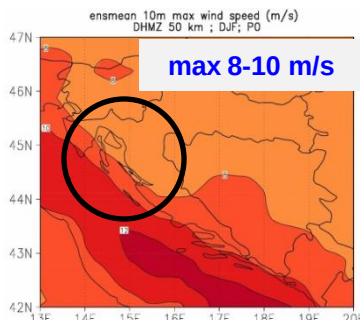
Zima

Proljeće

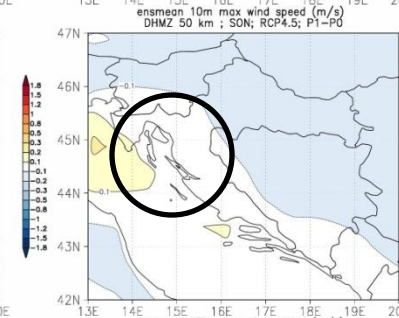
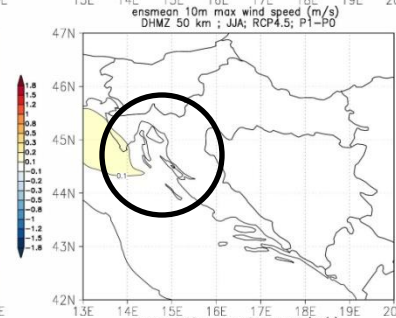
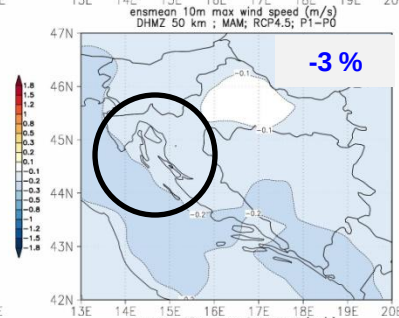
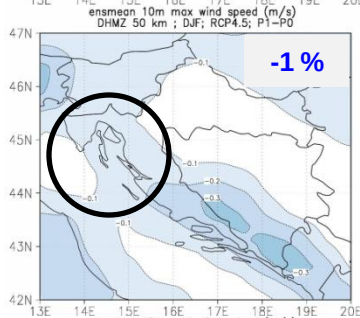
Ljeto

Jesen

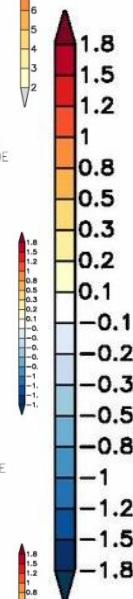
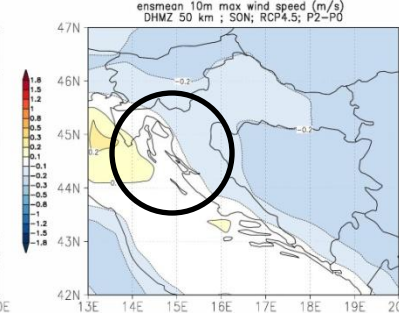
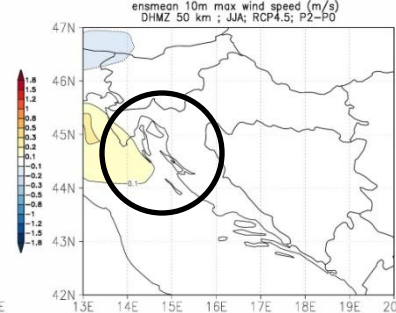
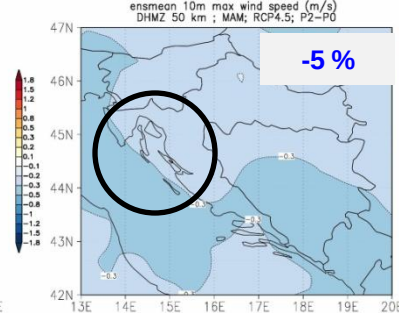
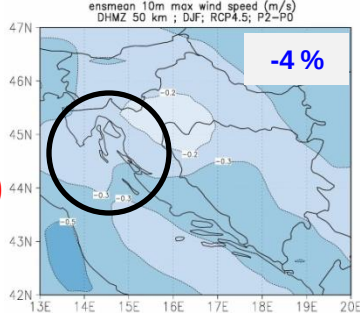
P0



P1-P0



P2-P0





Prijelazni instrument
Europske unije za Hrvatsku

STRATEGIJA PRILAGODBE KLIMATSKIM PROMJENAMA

*Jačanje kapaciteta Ministarstva zaštite okoliša i energetike
za prilagodbu klimatskim promjenama te priprema
Nacrta Strategije prilagodbe klimatskim promjenama*

www.prilagodba-klimi.hr



REPUBLIKA HRVATSKA
MINISTARSTVO ZAŠTITE
OKOLIŠA I ENERGETIKE

eptisa
Adria d.o.o.