



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

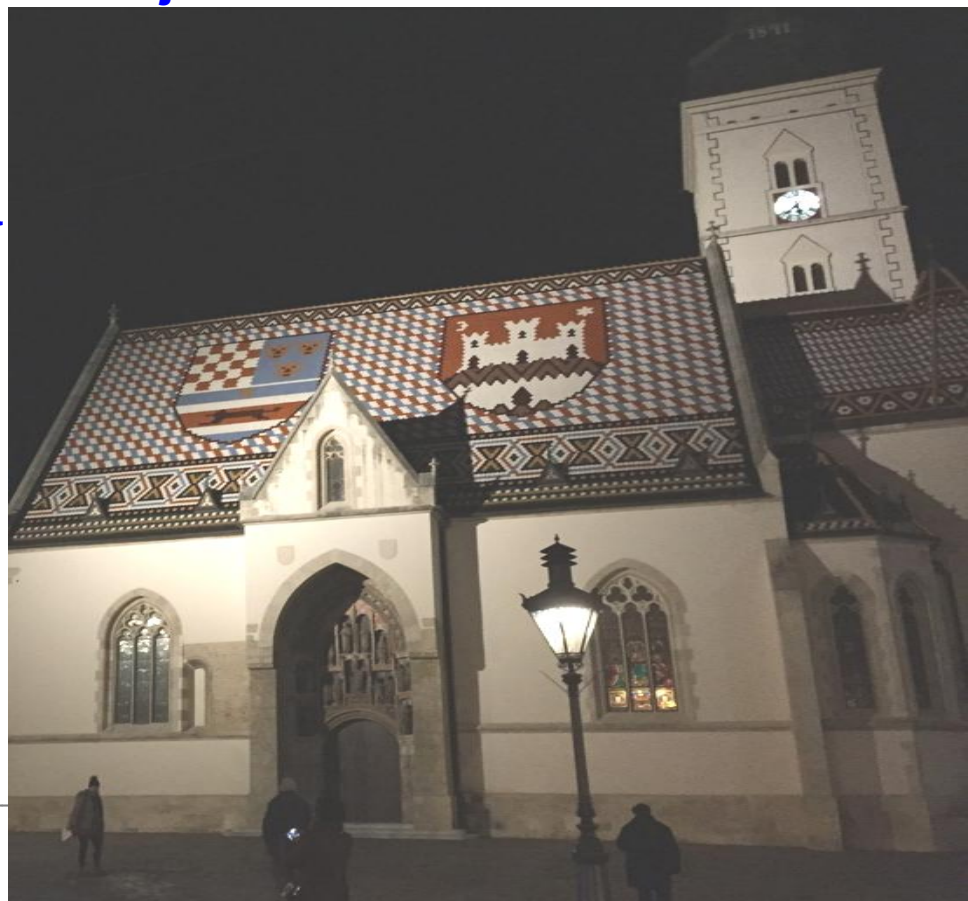
cedo.brankovic@cirus.dhz.hr

Zagreb, 6. travnja 2017. (Zagreb)



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





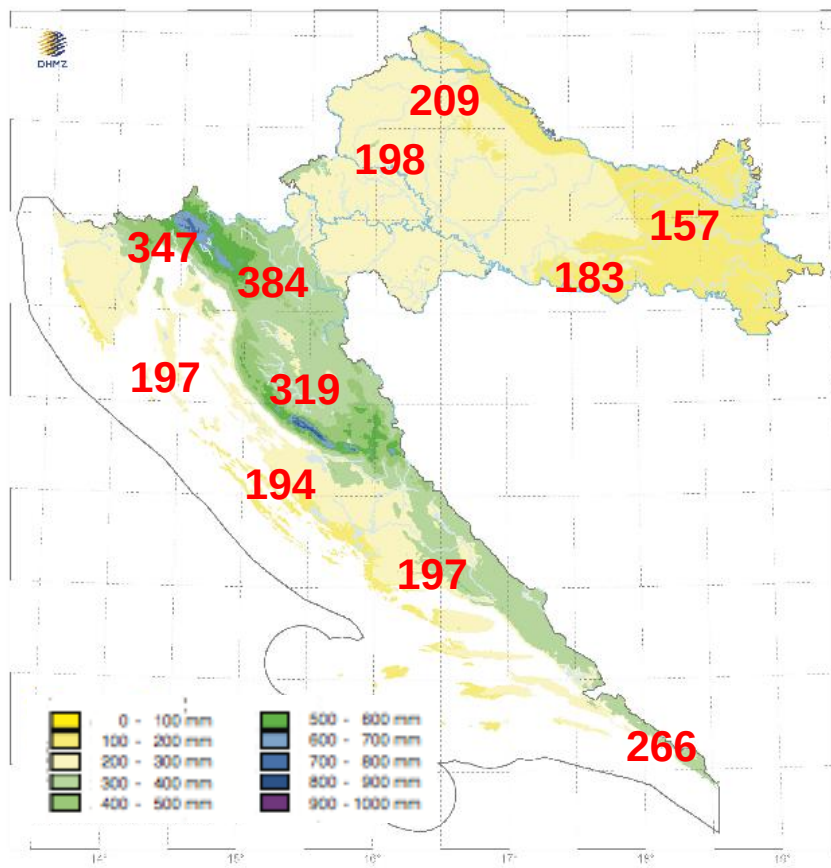
Klima – neke definicije

- * **Klimu** nekog područja definiramo kao skup **srednjih ili očekivanih vrijednosti meteoroloških elemenata i pojava (osrednjeno vrijeme)**
- * Klima se definira za razdoblje od **najmanje 30 godina** (preporuka WMO)
- * Klima se klasificira prema vrijednostima **srednjaka** i tipičnog **raspona** vrijednosti klimatskih elemenata → kontinentalna, planinska, primorska, oceanska, pustinjska, tropska, monsunska, arktička, itd.
- * **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**

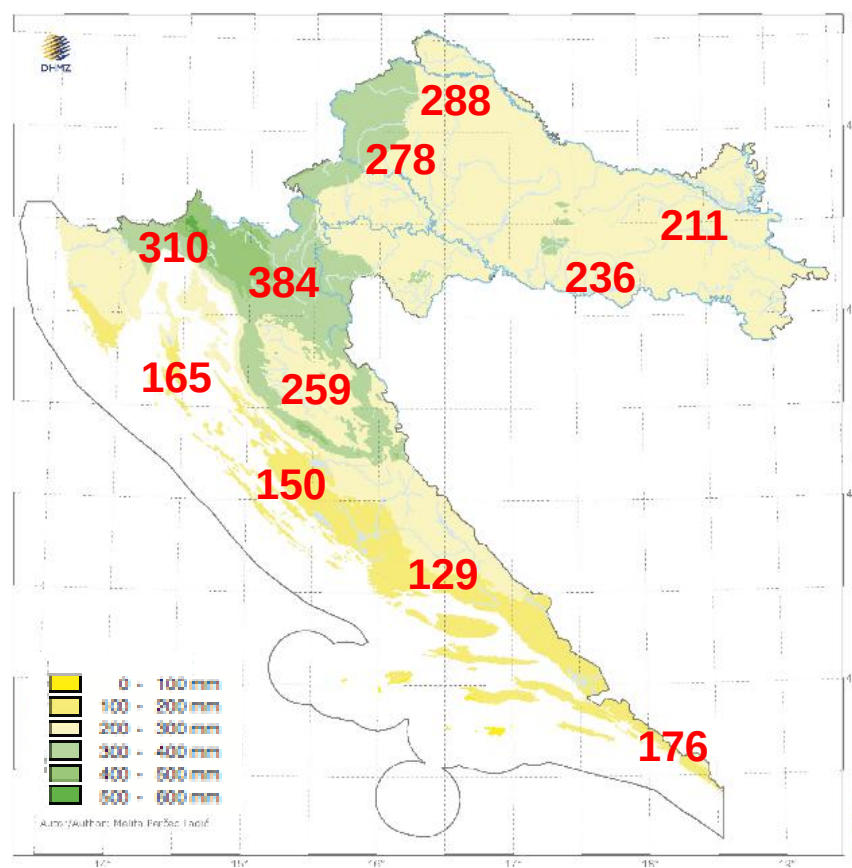


Klima Hrvatske za razdoblje 1961-1990

Srednja količina oborine u proljeće



Srednja količina oborine u ljeto

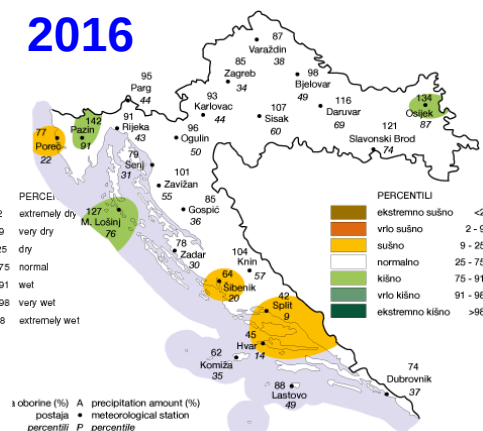
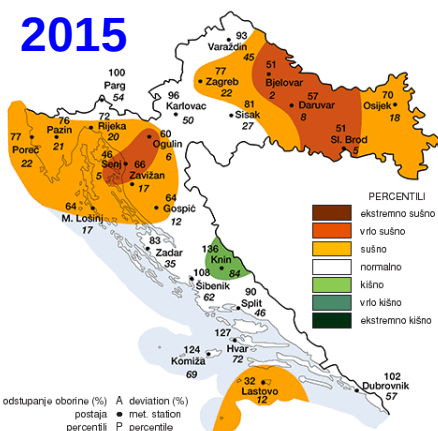
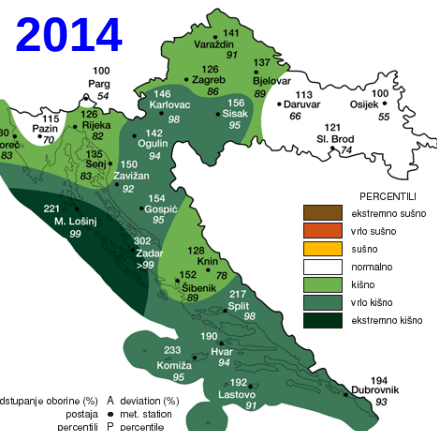
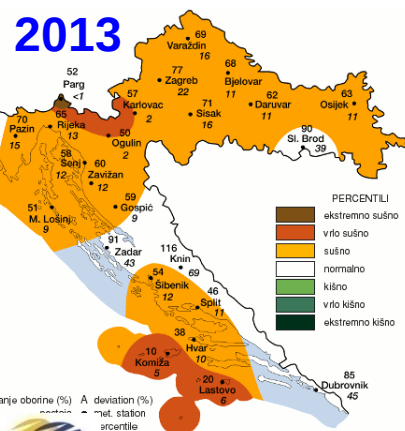
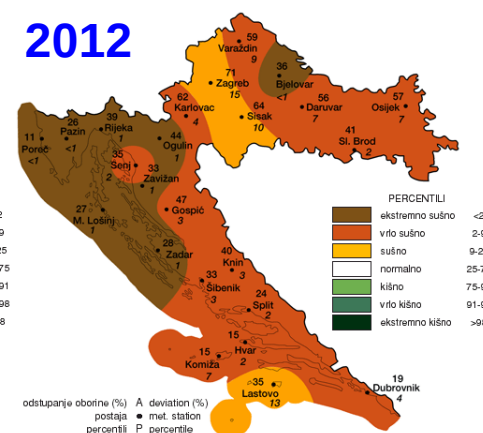
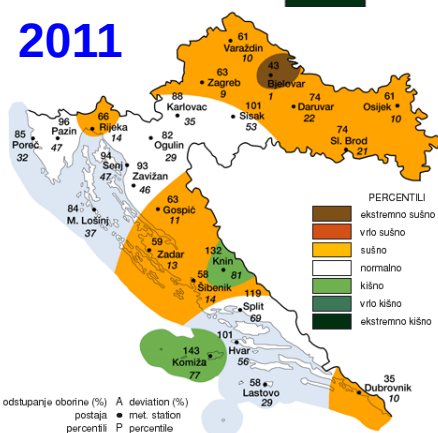
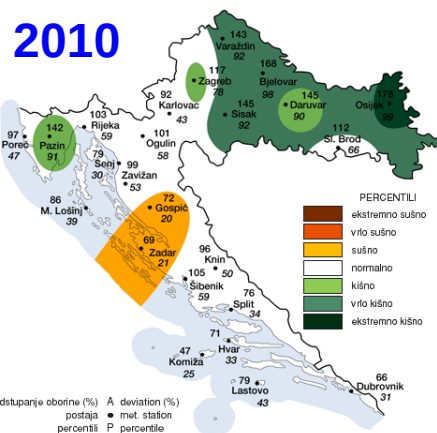
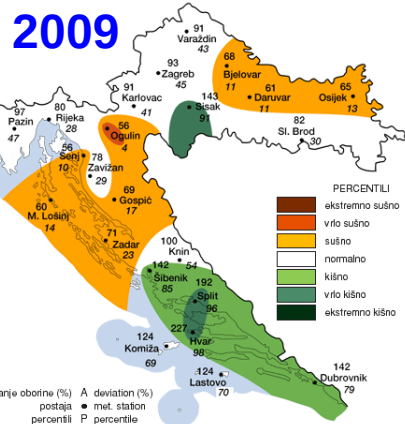


Izvor: Zaninović i sur., Atlas klime Hrvatske (2008, DHMZ)



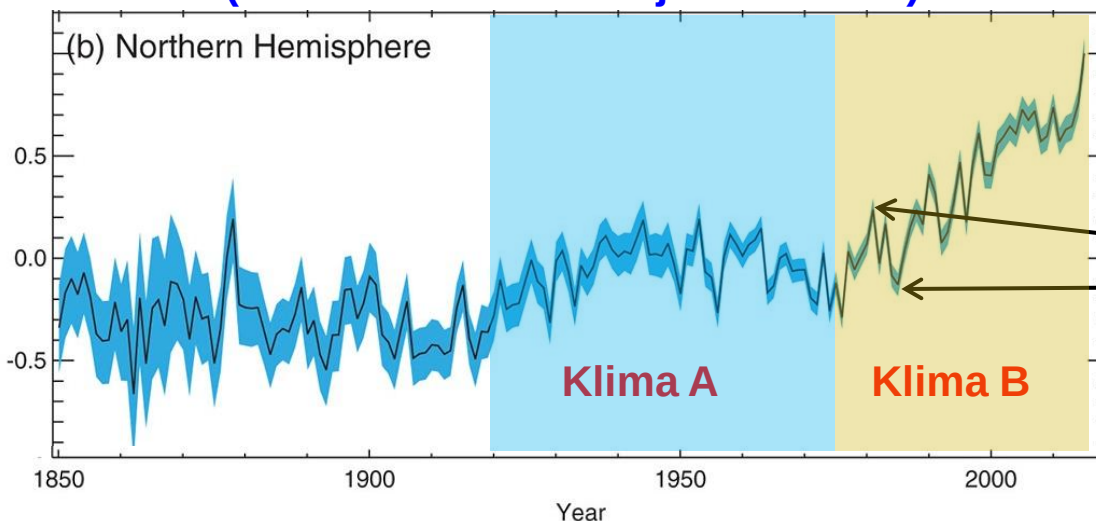
Međugodišnja varijabilnost

Ljetna oborina u Hrvatskoj 2009-2016



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 vs. 1971-2000**

1961 1971 1990 2000

Zagreb-Maks		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Z	P	Lj	J	G
t (°C)	61-90	-0.8	1.9	5.9	10.6	15.3	18.5	20.1	19.3	15.8	10.5	5.3	0.9	0.7	10.6	19.3	10.5	10.3
	71-00	0.3	2.3	6.4	10.7	15.8	18.8	20.6	20.1	15.9	10.5	5.0	1.4	1.3	11.0	19.8	10.5	10.7
tmax (°C)	61-90	2.6	6.0	11.3	16.3	21.1	24.2	26.3	25.6	22.1	16.1	9.2	3.9	4.2	16.2	25.3	15.8	15.4
	71-00	3.7	6.8	11.9	16.3	21.5	24.5	26.7	26.3	22.1	15.8	8.9	4.6	5.0	16.6	25.8	15.6	15.8
tmin (°C)	61-90	-4.2	-1.9	1.2	5.1	9.2	12.6	14.1	13.7	10.6	5.9	1.6	-2.2	-2.7	5.1	13.5	6.0	5.5
	71-00	-3.0	-1.8	1.6	5.2	9.8	13.0	14.7	14.4	10.8	6.2	1.4	-1.7	-2.2	5.5	14.0	6.1	5.9
tmax d ≥ 25°C (topli)	61-90			0.1	0.9	5.8	13.4	20.0	17.3	7.9	0.6				6.7	50.7	8.5	65.9
	71-00			0.1	0.7	7.1	14.1	21.3	20.0	8.0	0.8				7.9	55.4	8.8	72.1
R (mm)	61-90	46	42	56	64	79	100	83	95	79	69	81	58	147	198	278	230	852
	71-00	43	39	53	59	73	95	77	92	86	83	80	60	139	185	265	249	840
S≥1 cm (d)	61-90	13.4	8.1	2.8	0.1							2.6	8.2	29.7	2.9		2.6	35.2
	71-00	10.3	7.1	1.8	0.2							2.9	6.7	24.5	2.0		2.9	29.0
magla (d)	61-90	12.0	5.9	2.2	0.8	0.8	0.8	0.6	1.4	4.7	8.6	9.1	11.3	29.2	3.9	2.8	22.5	58.4
	71-00	9.6	3.9	2.0	0.8	0.7	0.7	0.6	1.0	4.0	7.9	8.7	10.7	24.2	3.5	2.3	20.6	50.6

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

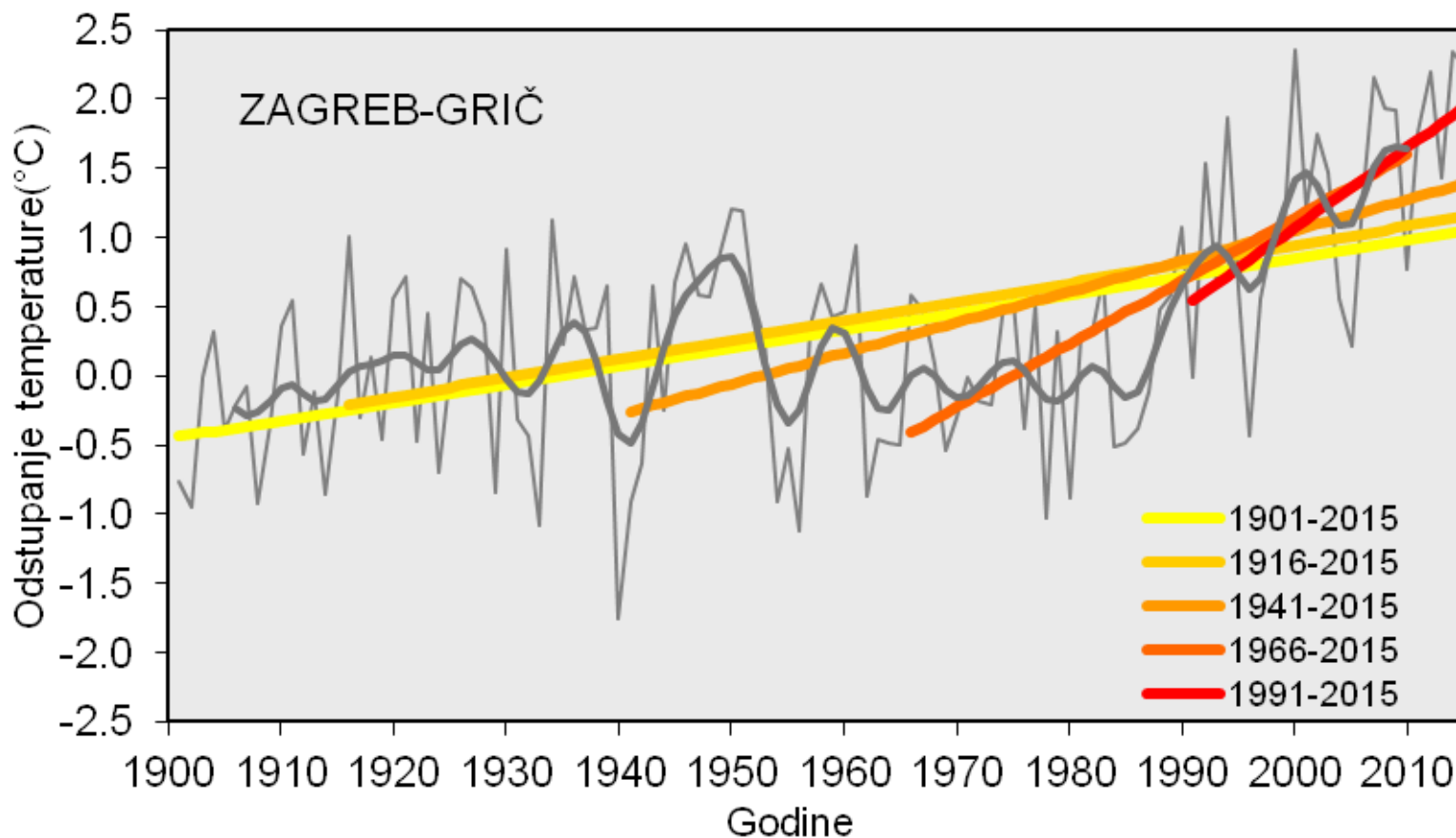
Ovaj projekt financira Europska unija

Sadržaj ove publikacije je isključiva odgovornost Eptisa Adria d.o.o. i ne predstavlja nužno stav Europske unije.



Opažene klimatske promjene (Zagreb-Grič)

Odstupanja godišnje temperature u odnosu na razdoblje 1961-1990

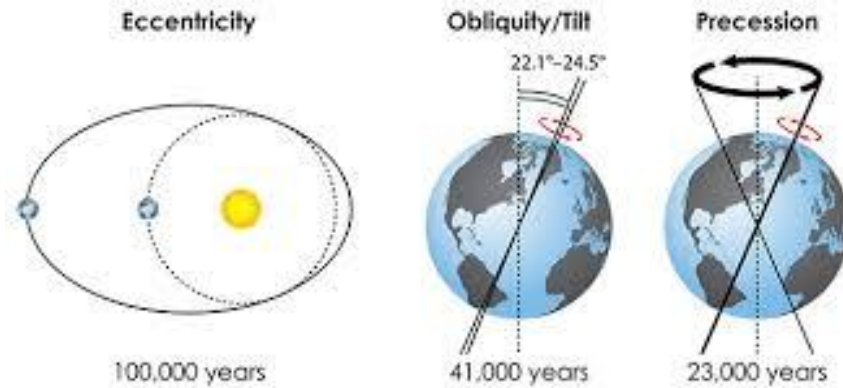


Autor: K. Zaninović (DHMZ)

Uzroci klimatskih promjena

* Promjene u energetskej ravnoteži Zemlje

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



Izvor:

uk.pinterest.com/explore/milankovitch-cycles/

vulkanske erupcije ...

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

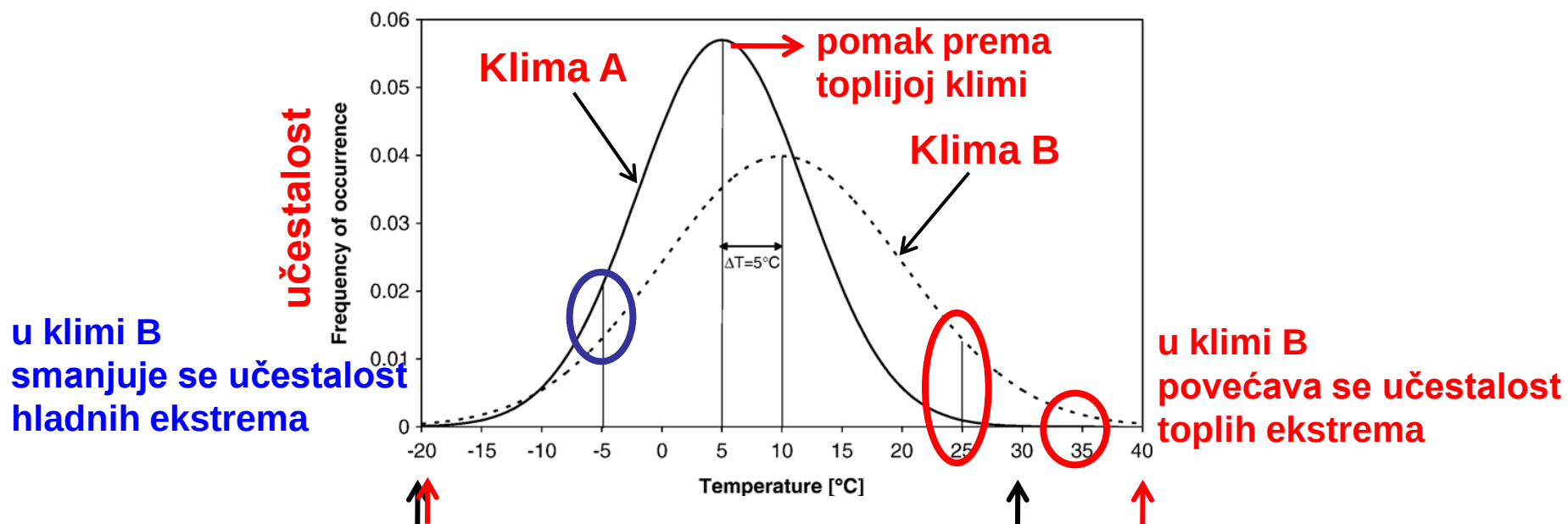
Zbog ljudskog utjecaja dolazi do povećanje razine plinova staklenika, aerosola, promjene u ozonskom omotaču, ...



Klimatske promjene i ekstremni događaji

* Učestalost nekog događaja (primjer za temperaturu zraka)

Promjena učestalosti događaja uz
povećanu klimatsku varijabilnost



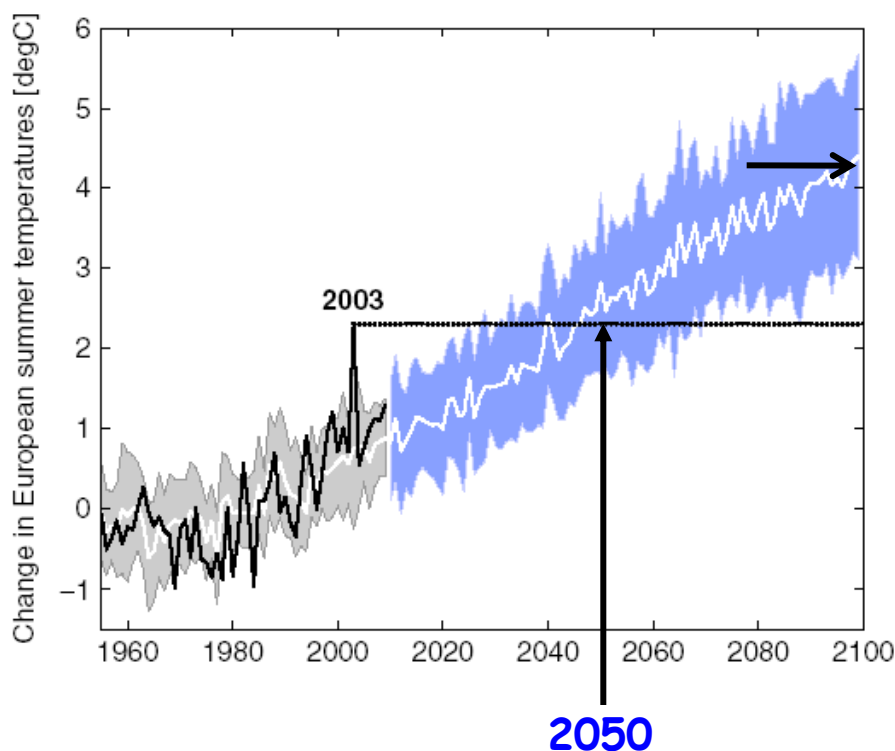
Izvor: Beniston & Goyette, Global and Planetary Change (2007)



Varijabilnost i ekstremni događaji u budućoj klimi

* Varijabilnost kao analog za budućnost

Promjena ljetne temperature u Europi



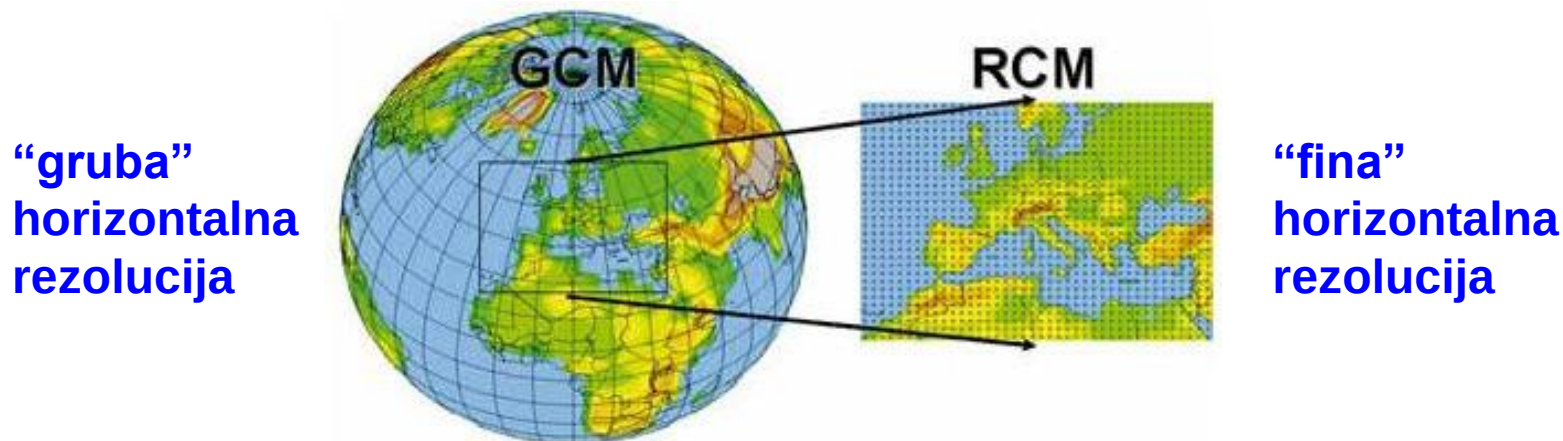
Koncem stoljeća ljeta u
Europi neće biti tako
hladna kao ljeto 2003

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) **GCM 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)**



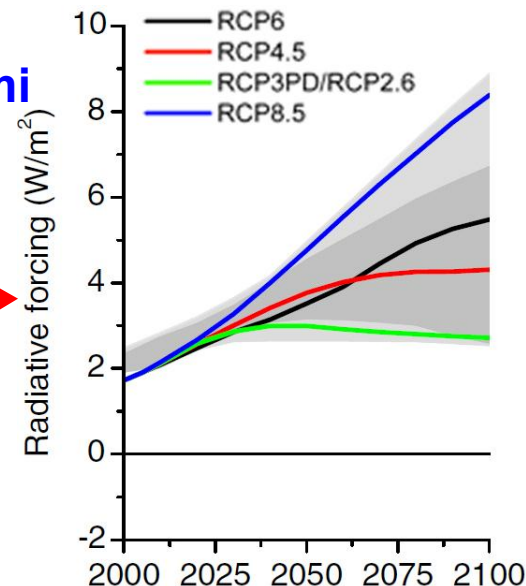
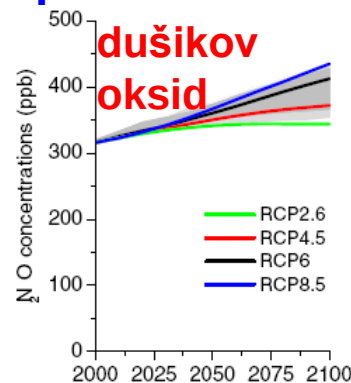
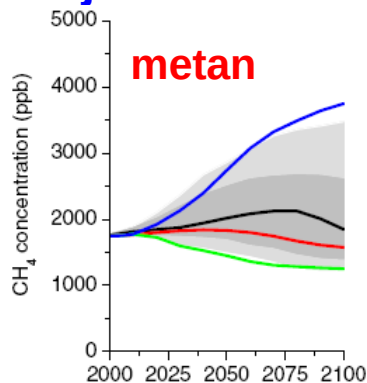
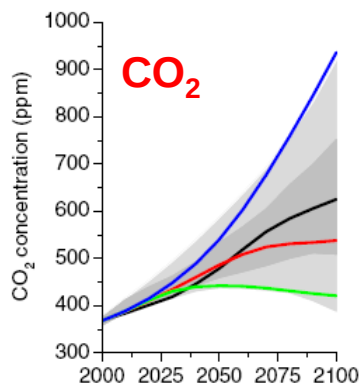
Modeliranje klime i klimatskih promjena - Klimatski modeli

- * Izračuni budućeg stanja atmosfere (projekcije buduće klime) su računalno vrlo zahtjevni
- * Za te izračune koriste se snažna i brza računala → **super-računala (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 stakleničkih plinova u budućoj klime



* 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 stakleničkih plinova

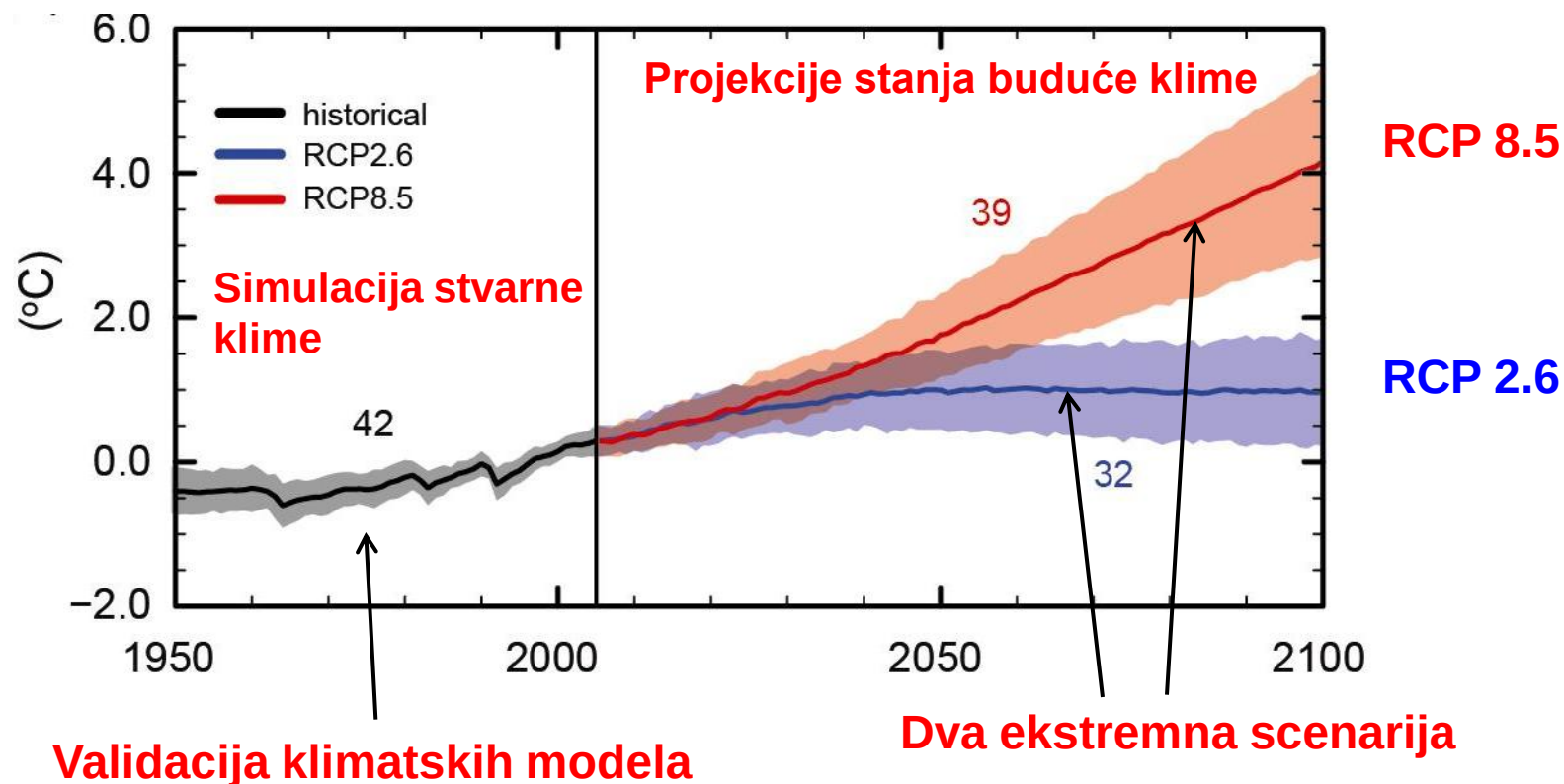
* U RCP4.5 i RCP2.6 stabilizirajući trend za koncentracije CO₂

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

Ansambli (*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

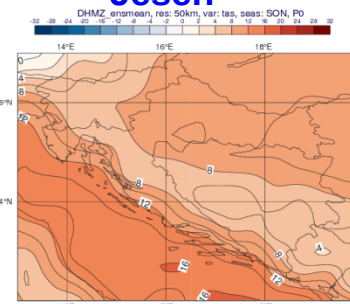
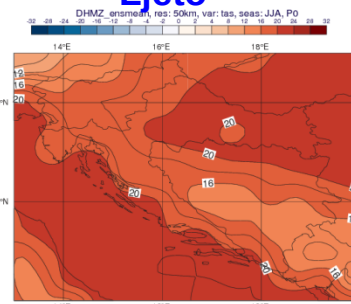
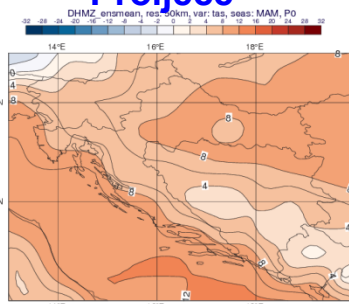
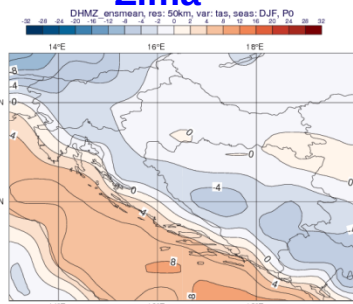
Zima

Proljeće

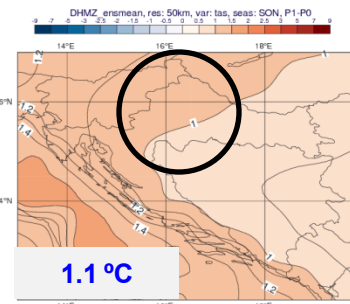
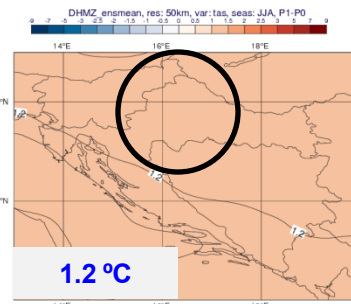
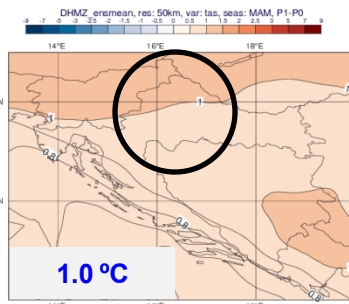
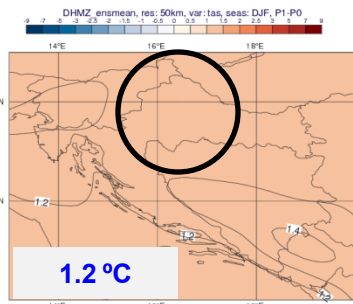
Ljeto

Jesen

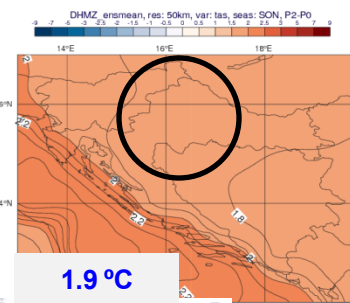
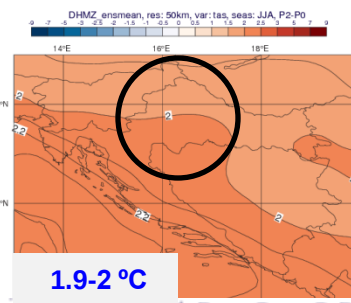
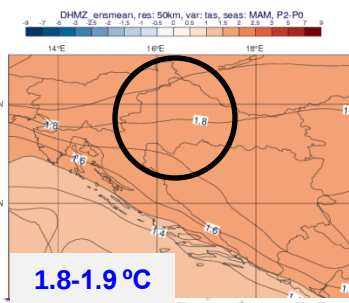
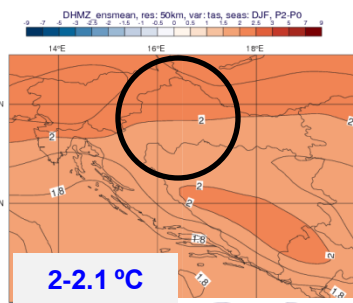
P0



P1-P0



P2-P0





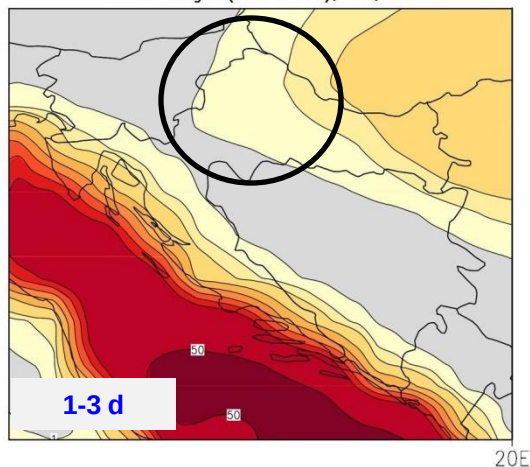
Promjena broja dana s $t_{min} > 20^{\circ}\text{C}$ (tropske noći) (srednjak ansambla, ljeto)

P1=2011-2040, P2=2041-2070

RegCM, 50 km
(P0=1971-2000)

P0

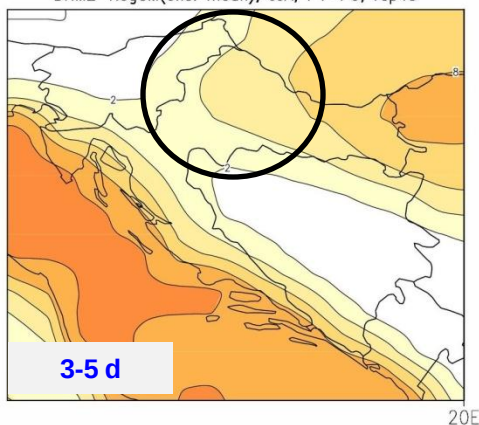
N. days $T_{2min} > 20^{\circ}\text{C}$ per year
DHMZ-RegCM(ens. mean); JJA; P0



P1-P0

RCP4.5

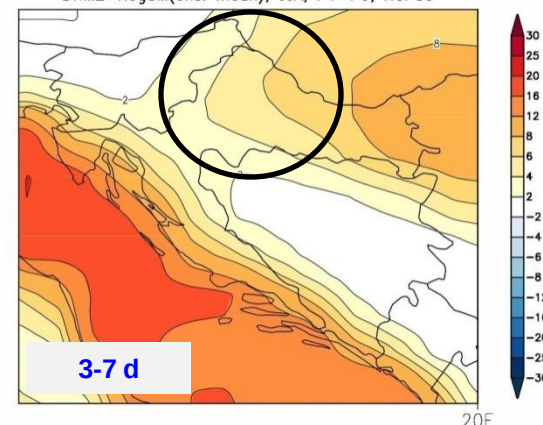
N. days $T_{2min} > 20^{\circ}\text{C}$ per year
DHMZ-RegCM(ens. mean); JJA; P1-P0; rcp45



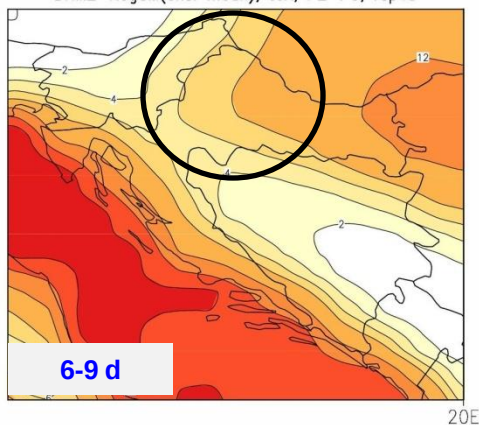
P2-P0

RCP8.5

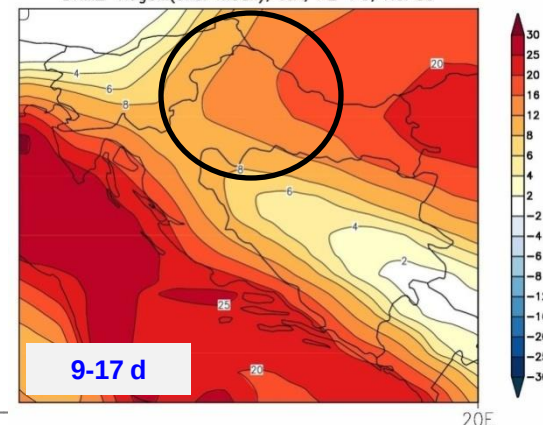
N. days $T_{2min} > 20^{\circ}\text{C}$ per year
DHMZ-RegCM(ens. mean); JJA; P1-P0; RCP85



N. days $T_{2min} > 20^{\circ}\text{C}$ per year
DHMZ-RegCM(ens. mean); JJA; P2-P0; rcp45



N. days $T_{2min} > 20^{\circ}\text{C}$ per year
DHMZ-RegCM(ens. mean); JJA; P2-P0; RCP85

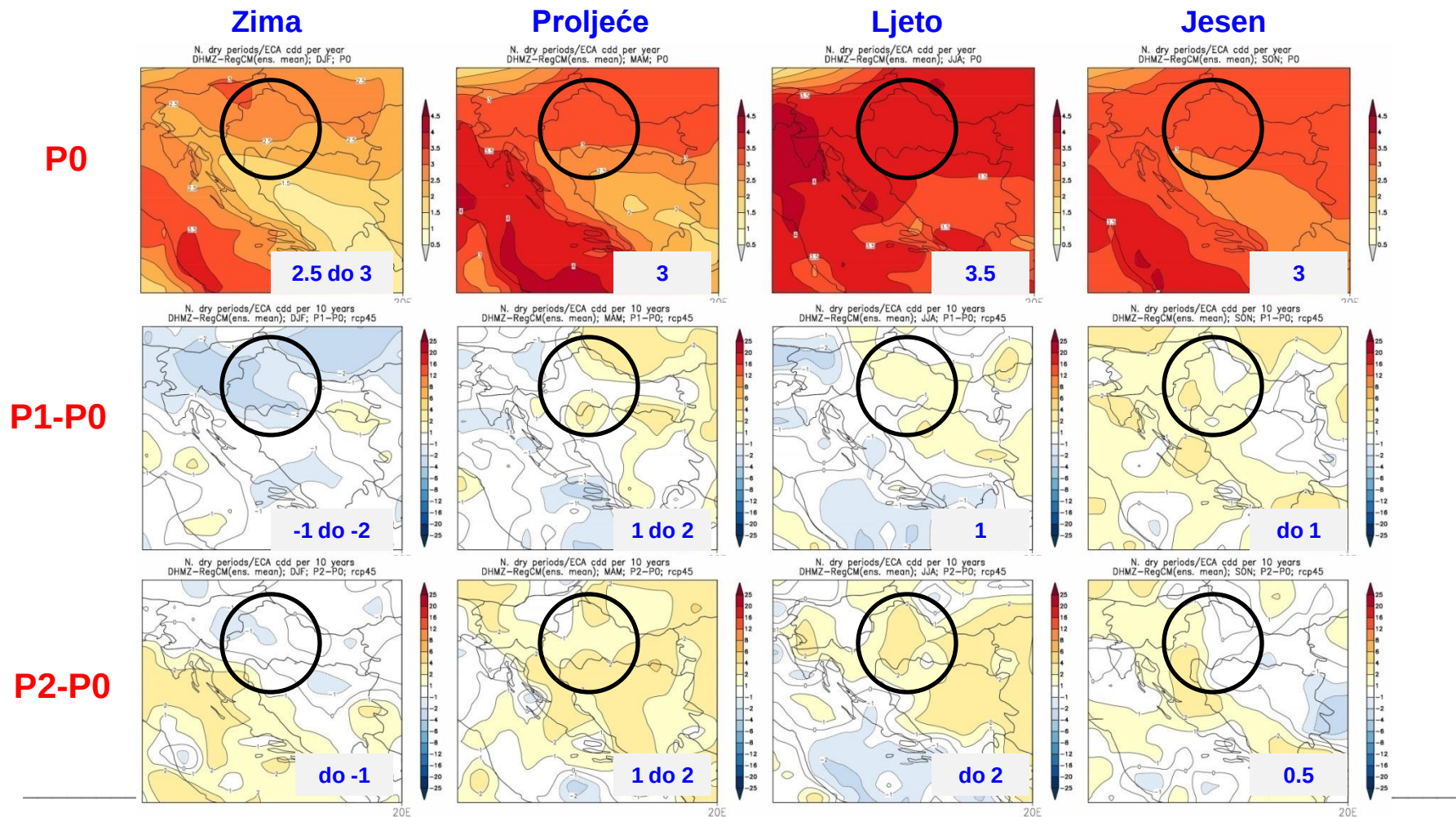




Broj sušnih razdoblja (barem 5 dana s $R < 1$ mm)

RegCM, 50 km, RCP4.5

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





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.