



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

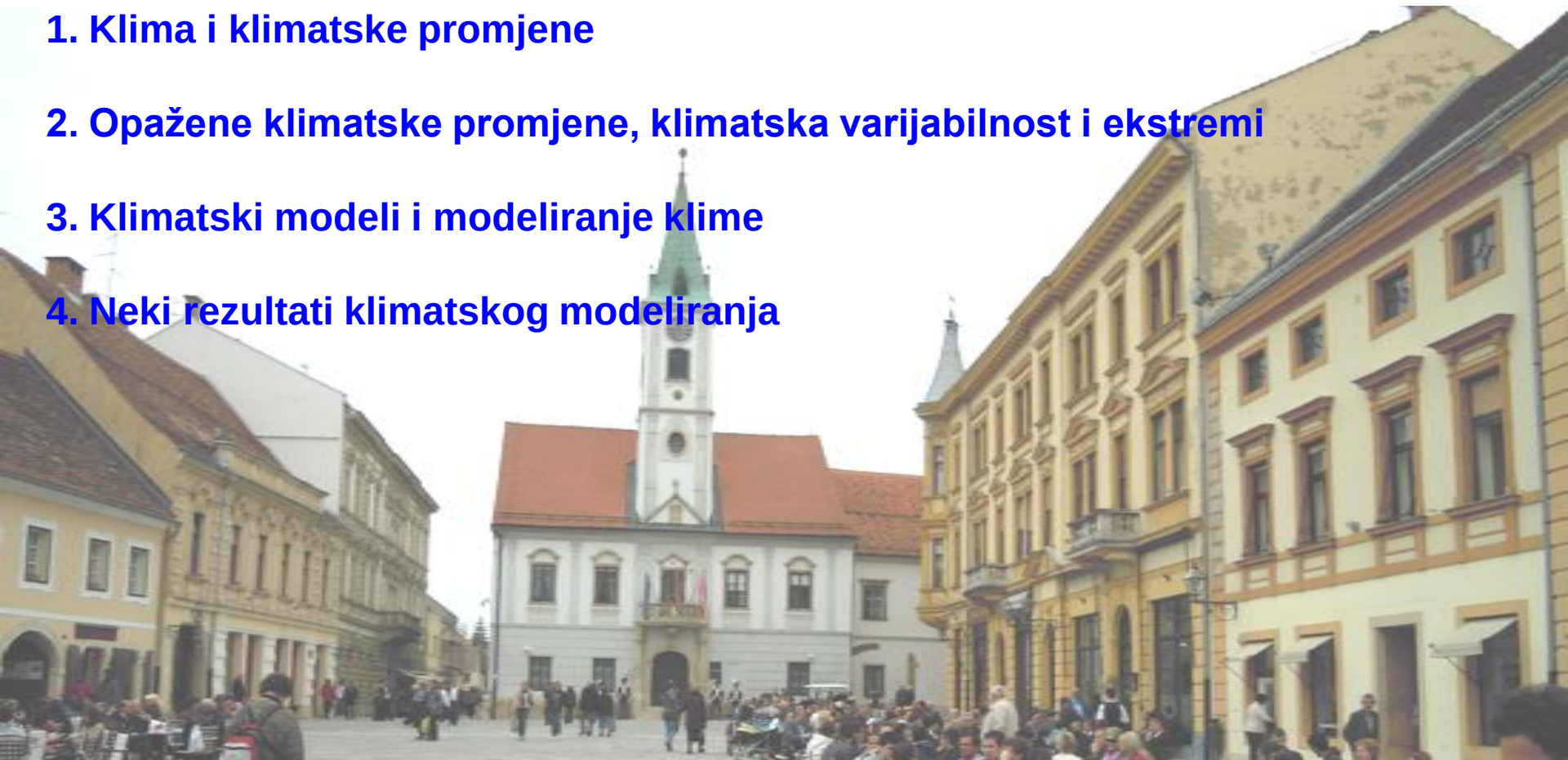
cedo.brankovic@cirus.dhz.hr

Zagreb, 21. ožujka 2017. (Varaždin)



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





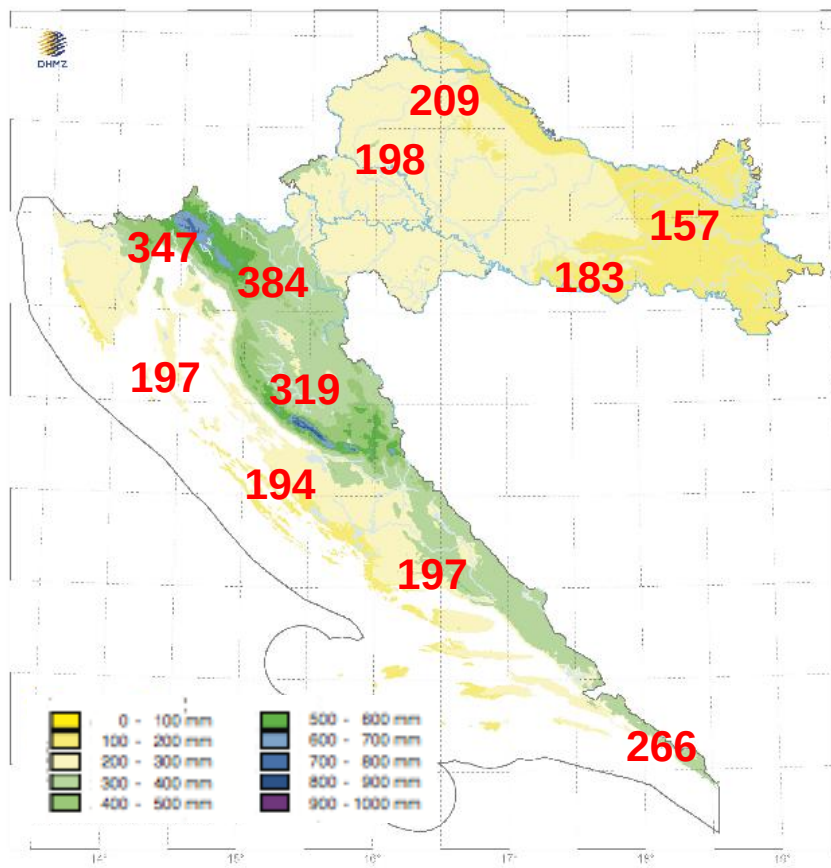
Klima

- * **Klimu** nekog područja definiramo kao skup **srednjih ili očekivanih vrijednosti meteoroloških elemenata i pojava (osrednjeno vrijeme)**
- * Klima se 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, monsunaska, 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**

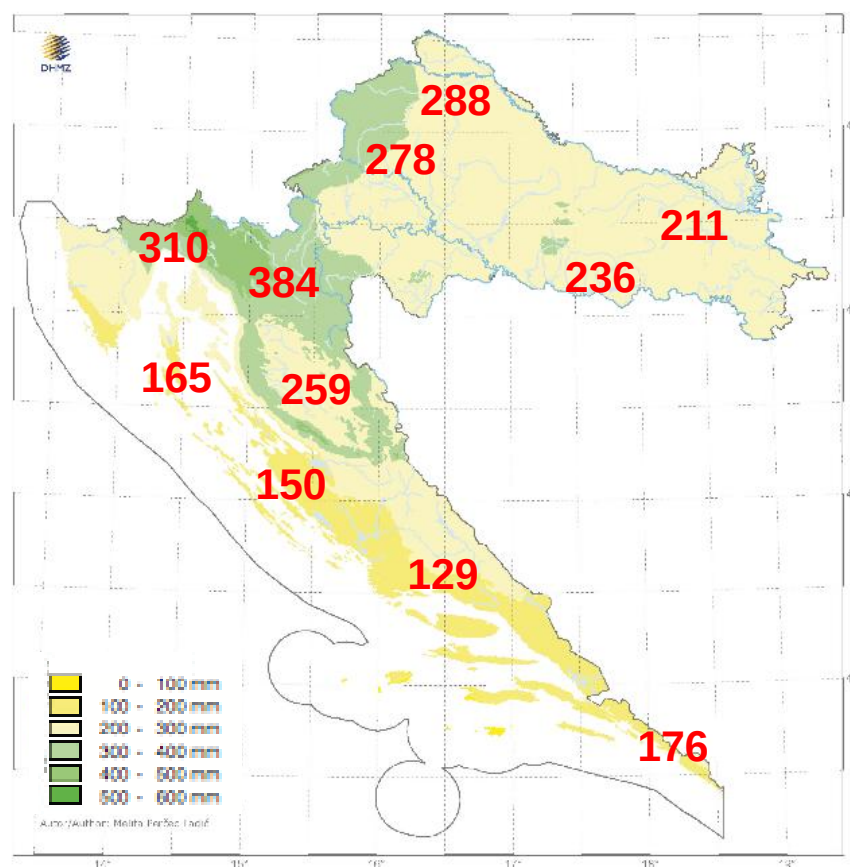


Klima Hrvatske za razdoblje 1961-1990

Srednja količina oborine u proljeće



Srednja količina oborine u ljeto



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



REPUBLIKA HRVATSKA

MINISTARSTVO ZAŠTITE
OKOLIŠA I ENERGETIKE



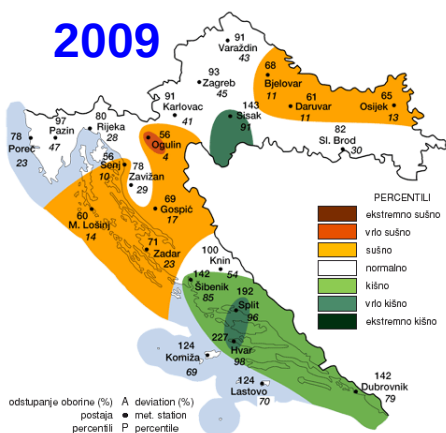
eptisa
Adria d.o.o.

Klimatska varijabilnost

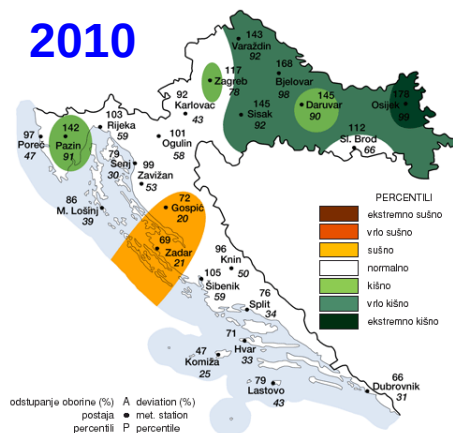
Ljetna oborina u Hrvatskoj 2009-2016



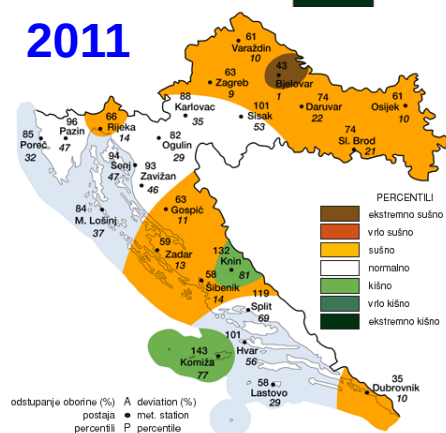
2009



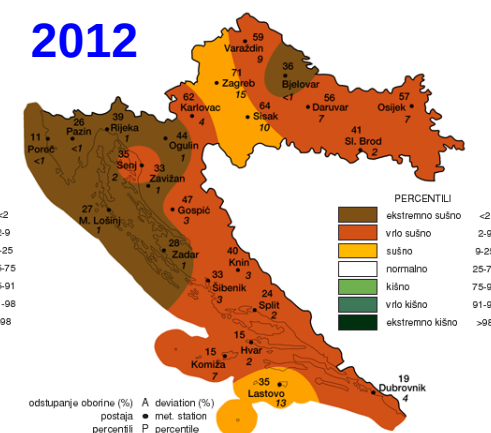
2010



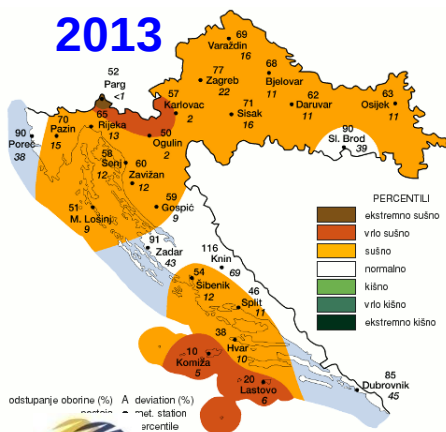
2011



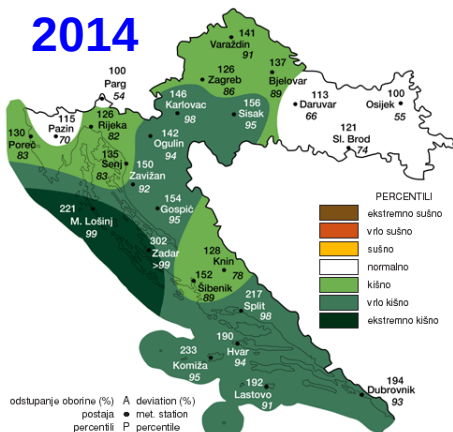
2012



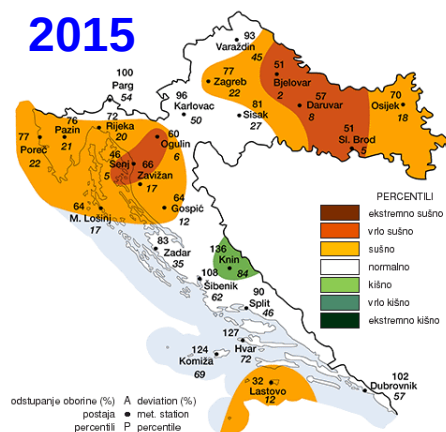
2013



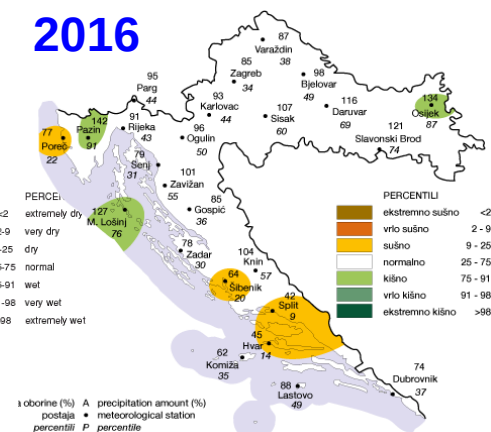
2014



2015



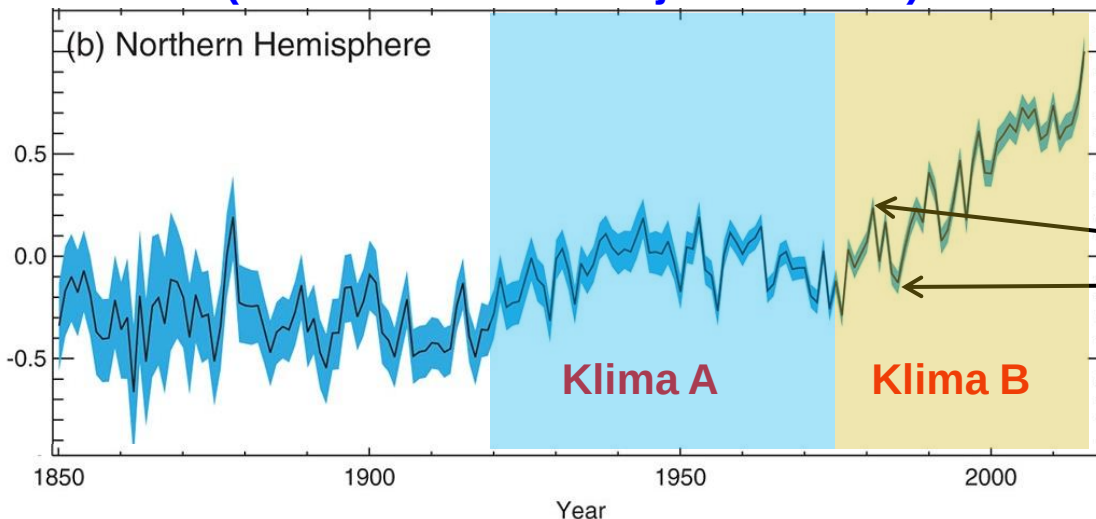
2016



DHMZ

Klimatska varijabilnost i klimatske promjene

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



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

Varaždin		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Z	P	Lj	J	G
t (°C)	61-90	-1.3	1.3	5.4	10.3	15.1	18.3	19.8	18.9	15.4	10.1	4.9	0.5	0.2	10.3	19.0	10.1	9.9
	71-00	-0.2	1.6	5.8	10.3	15.4	18.5	20.2	19.5	15.4	10.0	4.6	1.0	0.7	10.5	19.4	10.0	10.2
tmax (°C)	61-90	2.4	5.4	10.6	15.8	20.7	23.8	25.8	25.2	21.7	15.9	9.0	3.8	3.9	15.7	24.9	15.6	15.0
	71-00	3.4	6.1	11.1	15.7	20.9	23.9	26.0	25.8	21.5	15.5	8.6	4.4	4.6	15.9	25.2	15.2	15.2
tmin (°C)	61-90	-4.9	-2.5	0.8	4.8	9.1	12.5	13.7	13.1	9.9	5.4	1.3	-2.7	-3.3	4.9	13.1	5.5	5.0
	71-00	-3.7	-2.5	1.0	4.7	9.2	12.6	14.1	13.5	10.0	5.5	1.0	-2.2	-2.8	5.0	13.4	5.5	5.3
tmax d ≥ 30°C (vrući)	61-90					0.1	1.6	4.1	3.7	0.4					0.2	9.3	0.4	9.9
	71-00					0.1	1.9	4.0	4.8	0.3					0.1	10.7	0.3	11.1
tmin d ≤ -10°C (ledeni)	61-90	5.7	2.2	0.6								0.4	2.4	10.3	0.6		0.4	11.4
	71-00	3.4	2.3	0.5								0.5	2.1	8.0	0.5		0.5	8.9
R (mm)	61-90	45	45	55	70	84	98	92	98	81	69	83	58	149	209	288	234	879
	71-00	39	42	51	63	72	97	91	88	85	81	77	58	138	186	276	242	843
S≥1 cm (d)	61-90	17.6	10.8	4.8	0.3							3.5	11.6	39.6	5.2		3.5	48.6
	71-00	13.5	9.9	3.4	0.5							3.7	9.4	33.1	3.9		3.7	40.4

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

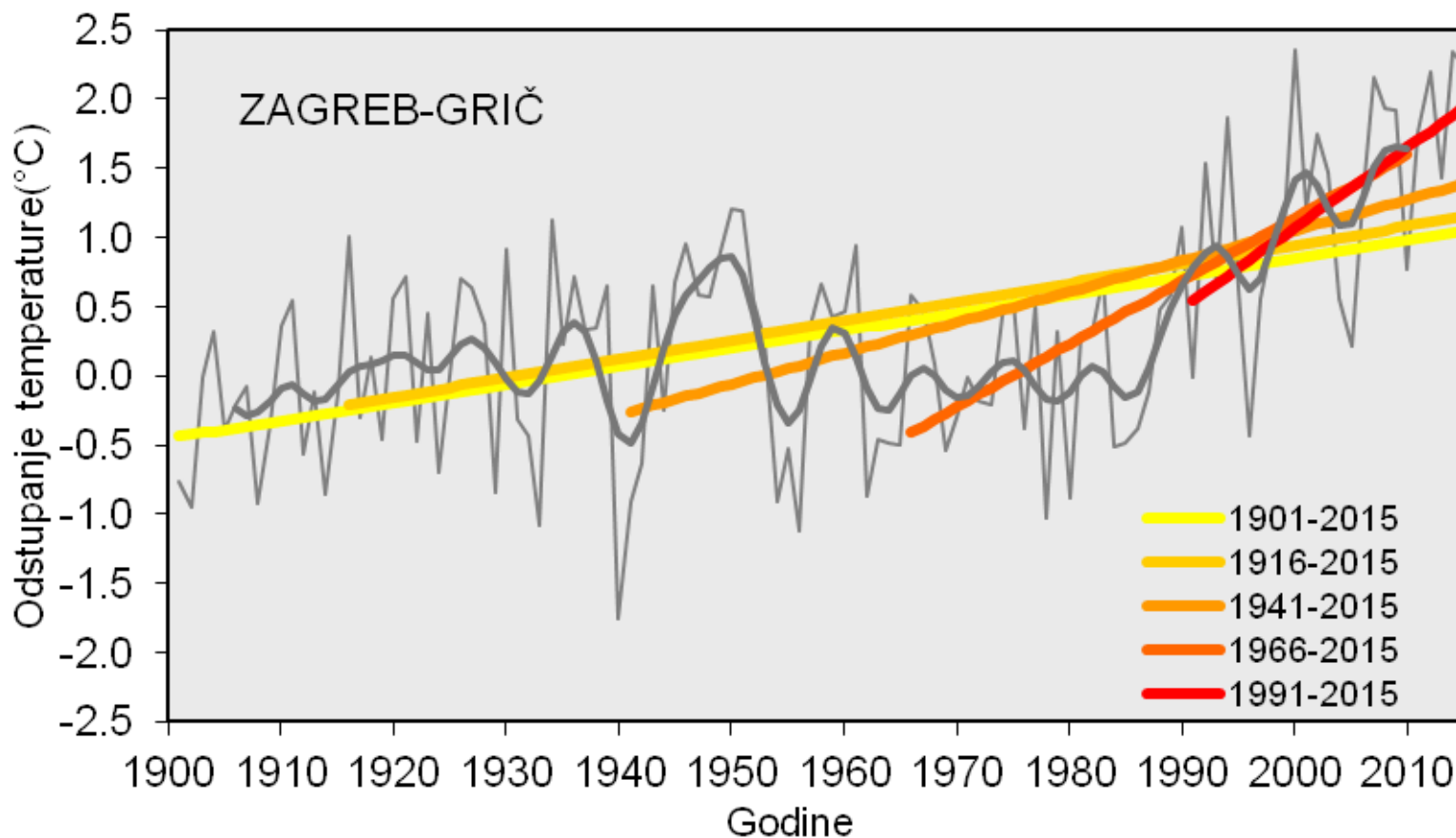
Ovaj projekt financira Europska unija

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

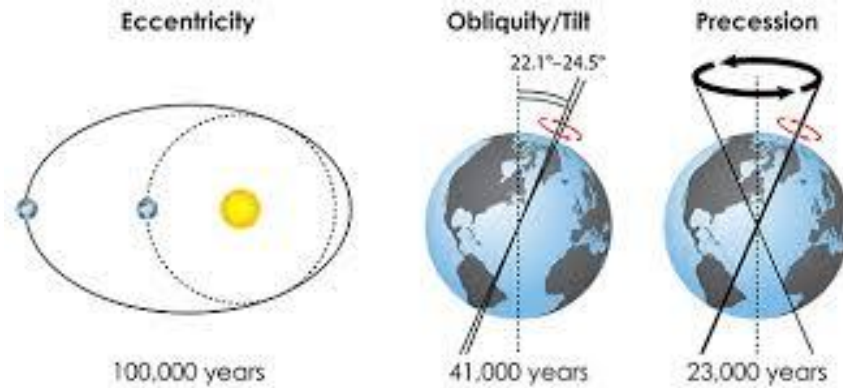


Autor: K. Zaninović (DHMZ)

Klimatske promjene

* **Uzroci klimatskih promjena** su 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 ...

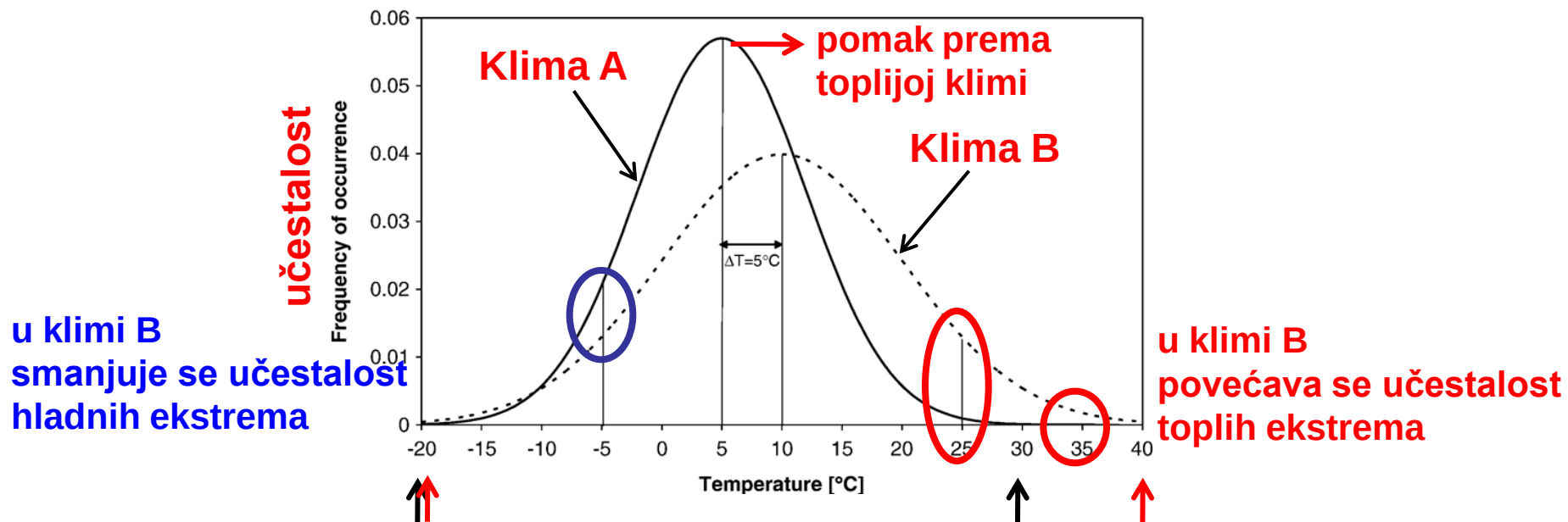
Zbog ljudskog utjecaja dolazi do povećanje razine plinova staklenika, aerosola, promjene u ozonskom omotaču, ...



Klimatske promjene i ekstremni događaji

* Učestalost nekog događaja (primjer za temperaturu zraka)

Promjena učestalosti događaja uz
povećanu klimatsku varijabilnost



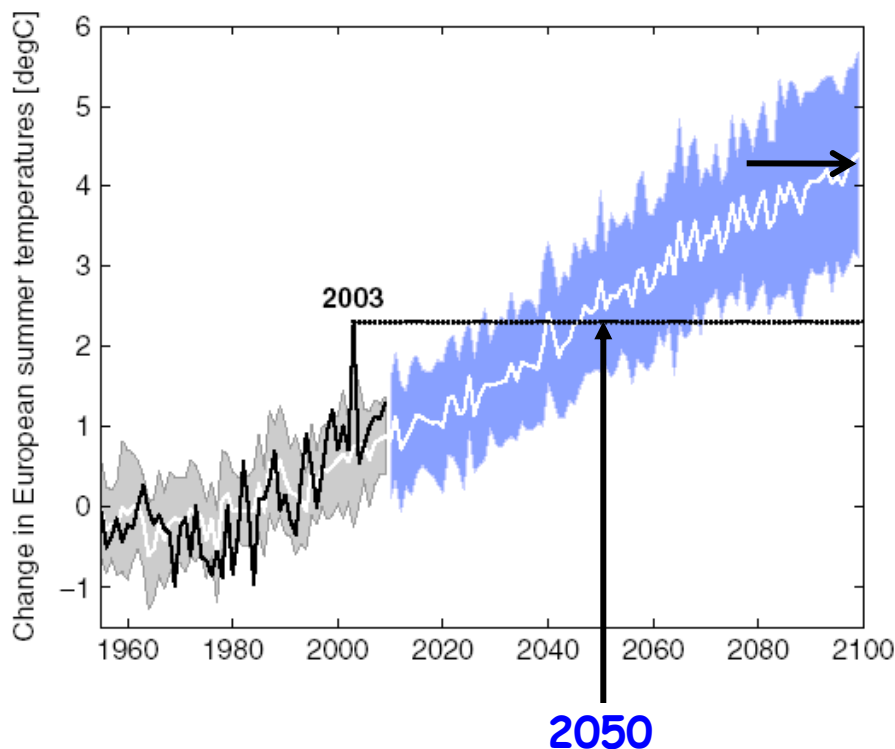
Izvor: Beniston & Goyette, Global and Planetary Change (2007)



Varijabilnost i ekstremni događaji u budućoj klimi

* Varijabilnost kao analog za budućnost

Promjena ljetne temperature u Europi



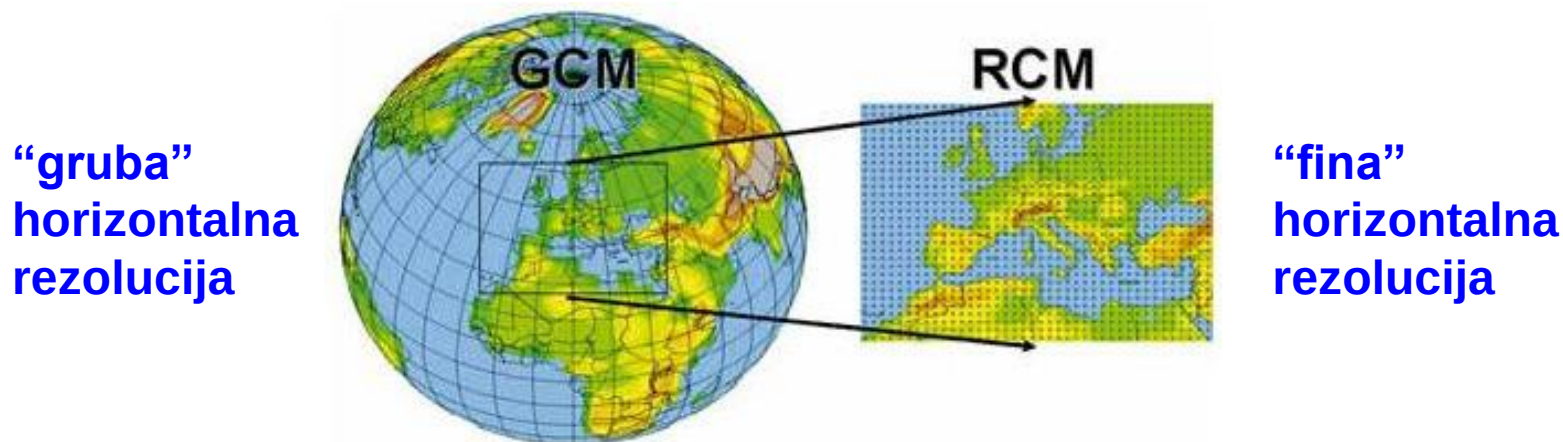
Koncem stoljeća ljeta u
Europi neće biti tako
hladna kao ljeto 2003

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) **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)**



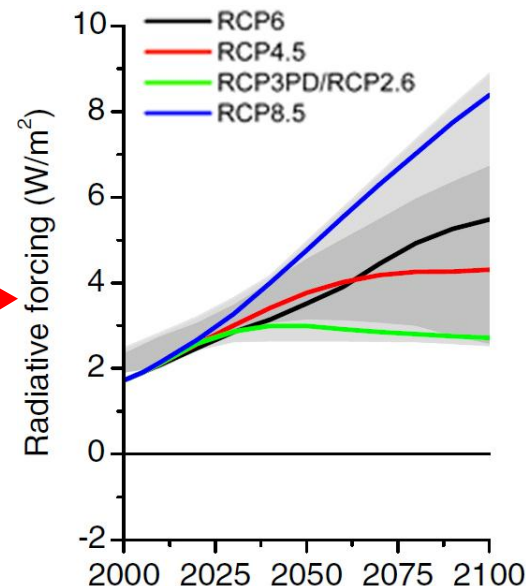
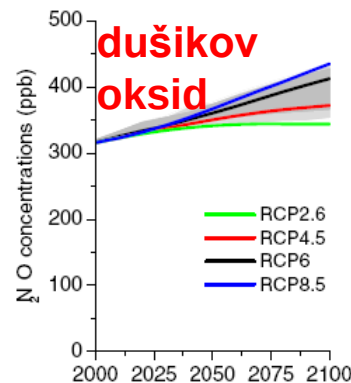
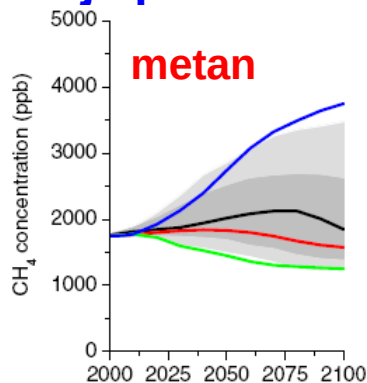
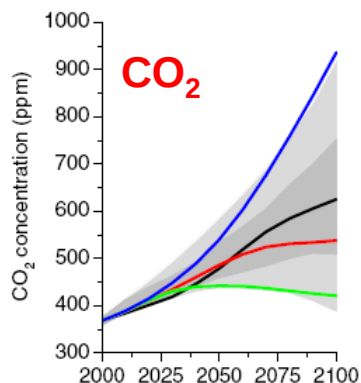
Modeliranje klime i klimatskih promjena - Klimatski modeli

- * Projekcije buduće klime (buduće stanje atmosfere) 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

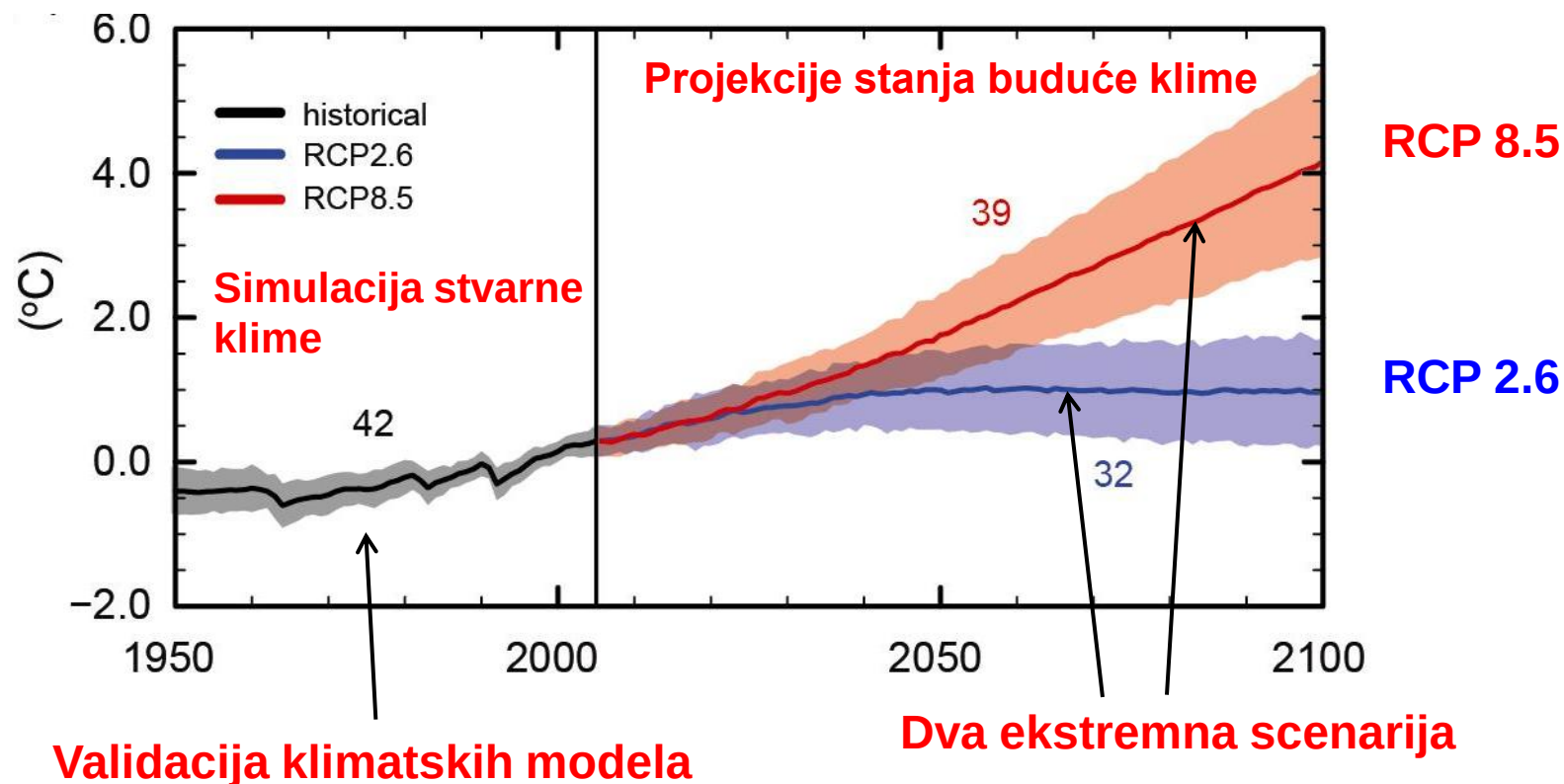
* U RCP4.5 i RCP2.6 stabilizirajući trend za koncentracije CO₂

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

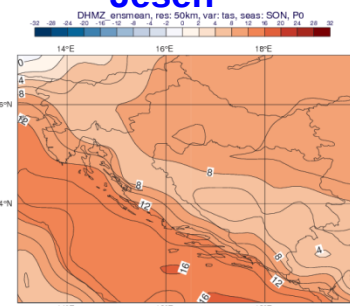
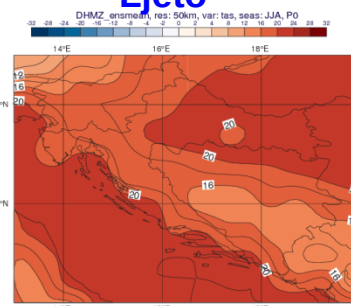
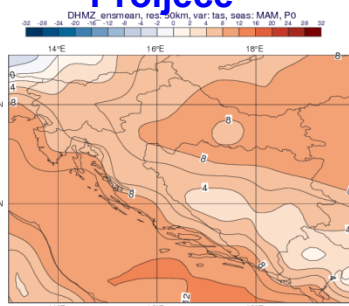
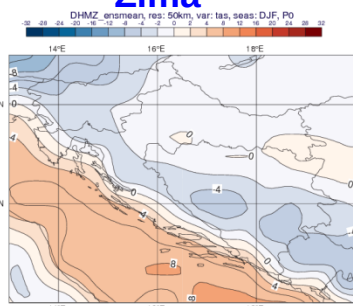
Zima

Proljeće

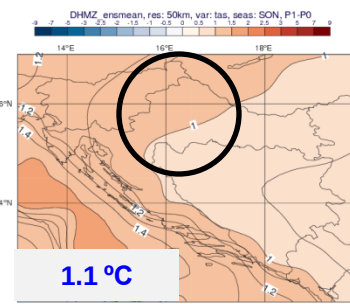
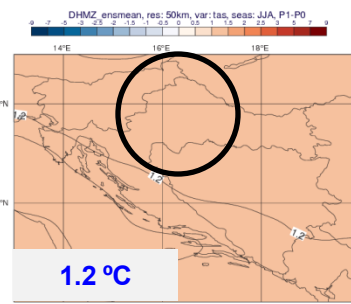
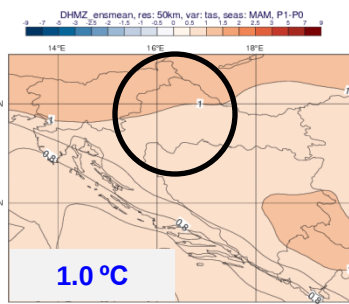
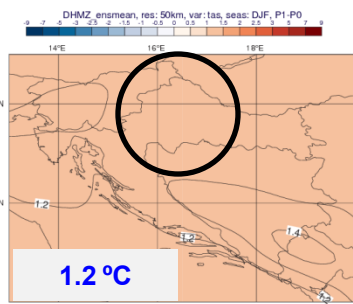
Ljeto

Jesen

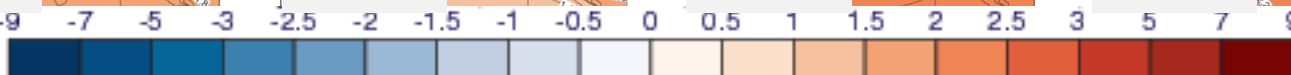
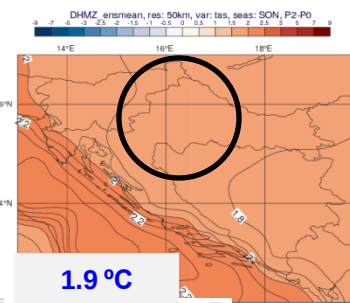
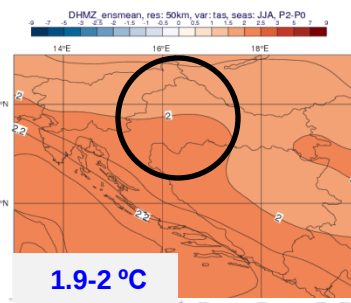
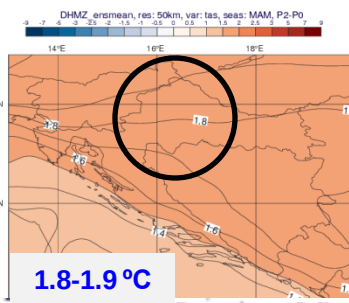
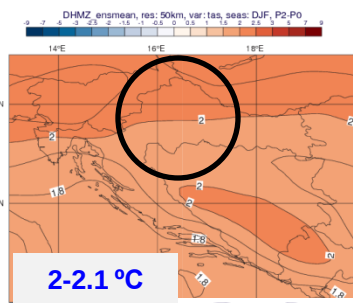
P0



P1-P0



P2-P0





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

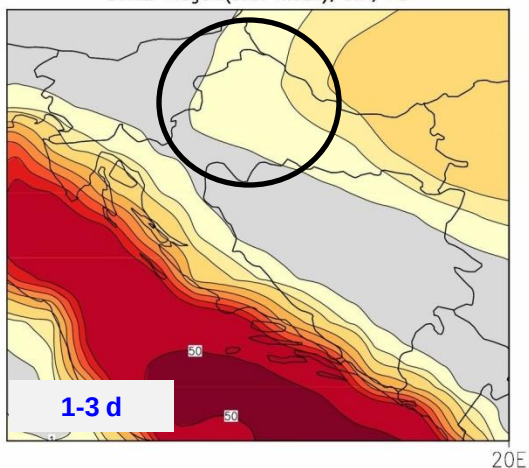
RegCM, 50 km, RCP4.5

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

Ljeto

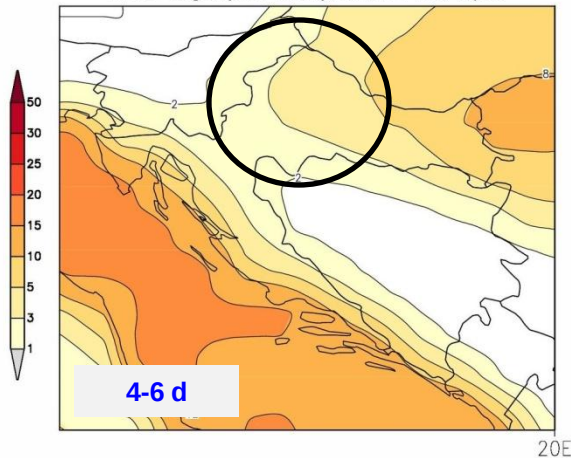
P0

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



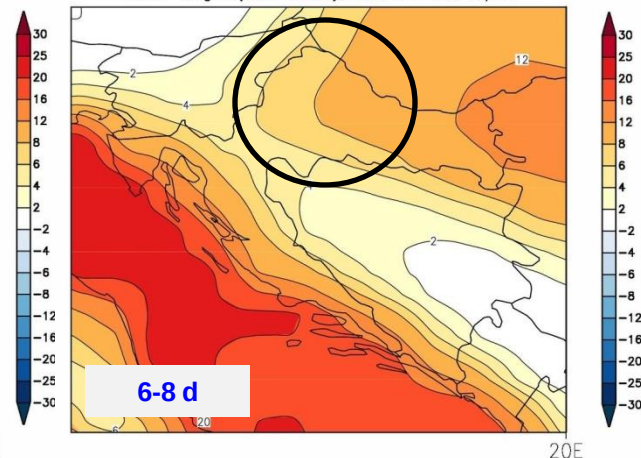
P1-P0

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



P2-P0

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





REPUBLIKA HRVATSKA

MINISTARSTVO ZAŠTITE
OKOLIŠA I ENERGETIKE

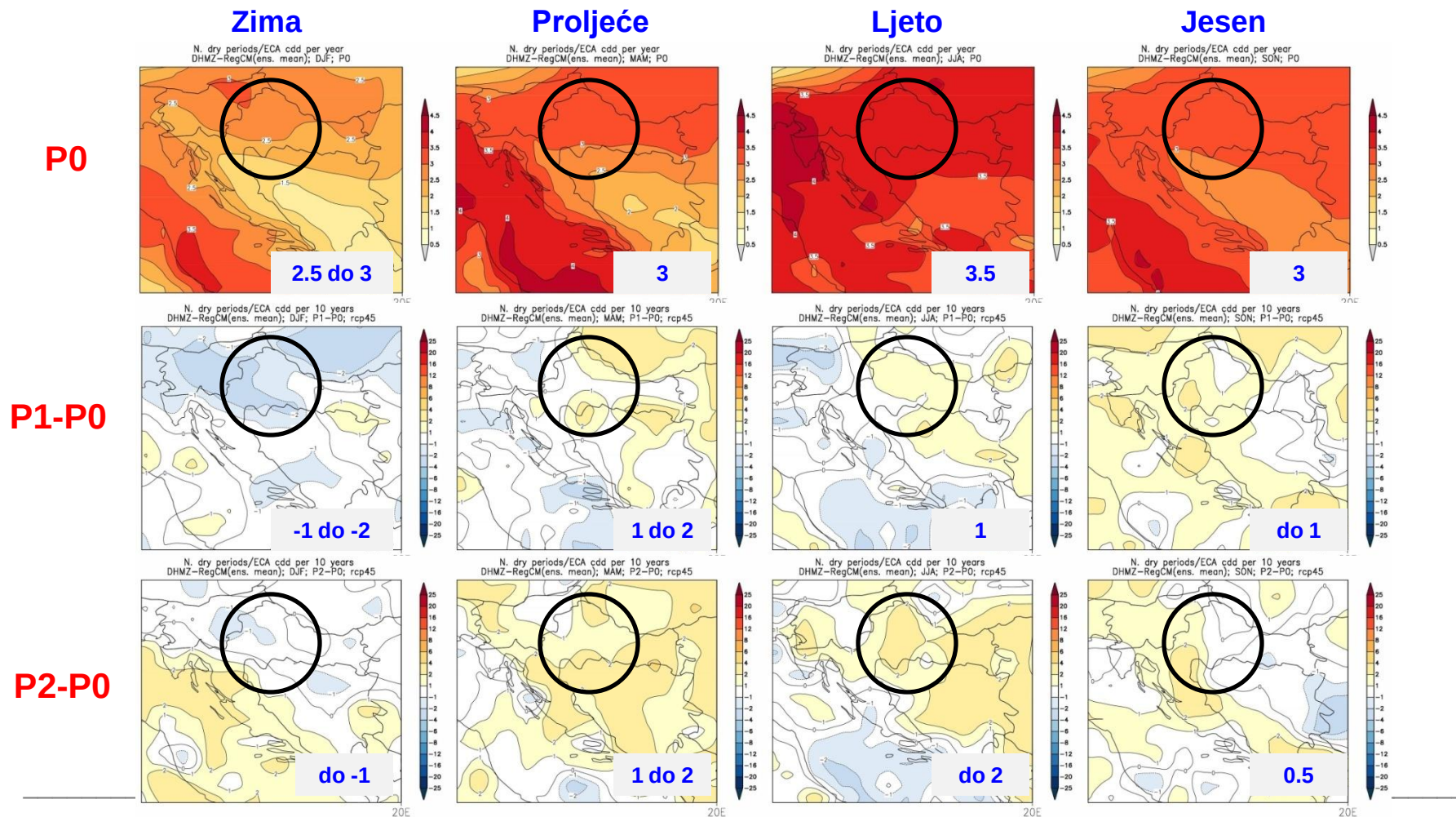


eptisa
Adria d.o.o.

Broj sušnih razdoblja (barem 5 dana, $R < 1$ 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.