

# Klimatsko modeliranje u DHMZ-u

Čedo Branković, Lidija Srnec, Mirta Patarčić, Ivan Güttler

Državni hidrometeorološki zavod (DHMZ)  
Grič 3, Zagreb

# Klimatski modeli

- \* **Sustav diferencijalnih jednadžbi** koje opisuju osnovne zakone fizike, gibanja fluida i kemije.
- \* **Aproksimacija** stvarnog stanja klimatskog sustava
  - nepoznavanje svih procesa
  - analitičke jednadžbe --> diskretizacija
  - ... ali sustav jednadžbi **mora biti usklađen s teoretskim spoznajama**
- \* **Program** koji se rješava na računalu (numerički model).
- \* Razvoj klimatskih modela ovisi i o razvoju računalne tehnologije, napose **super-računala**
- \* Klimatski modeli nezaobilazni u procjeni klimatskih promjena
  - jedini način kako "predvidjeti" klimatske promjene

# Klimatski modeli

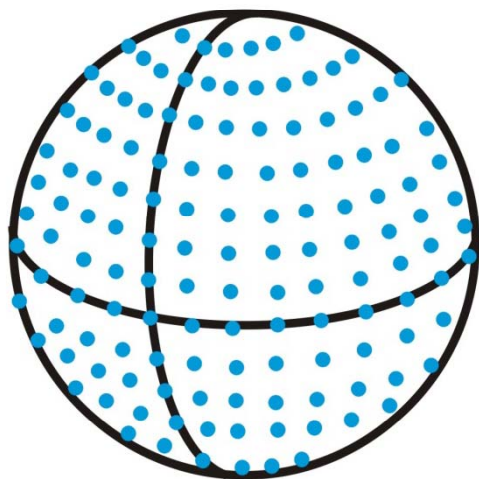
## \* Kompleksnost

- nelinearnost jednadžbi
- veliki broj (milijuni) stupnjeva slobode
- povezani podsustavi

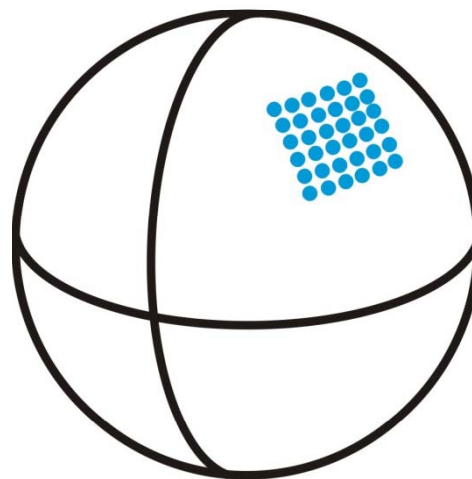
## \* Podjela klimatskih modela

- atmosferski (+tlo), oceanski, združeni (*coupled*), ...
- globalni (GCM), regionalni (RCM) → trebaju početne i rubne uvjete
- ...

GCM: high resolution



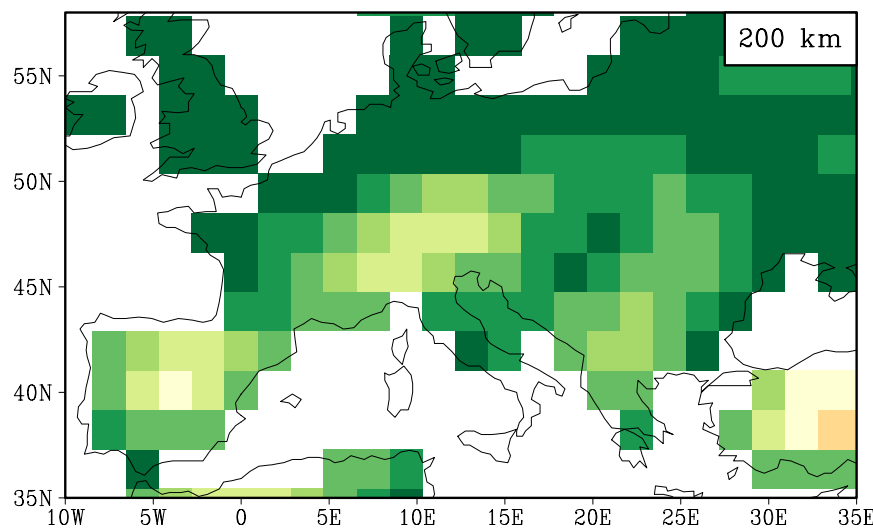
RCM



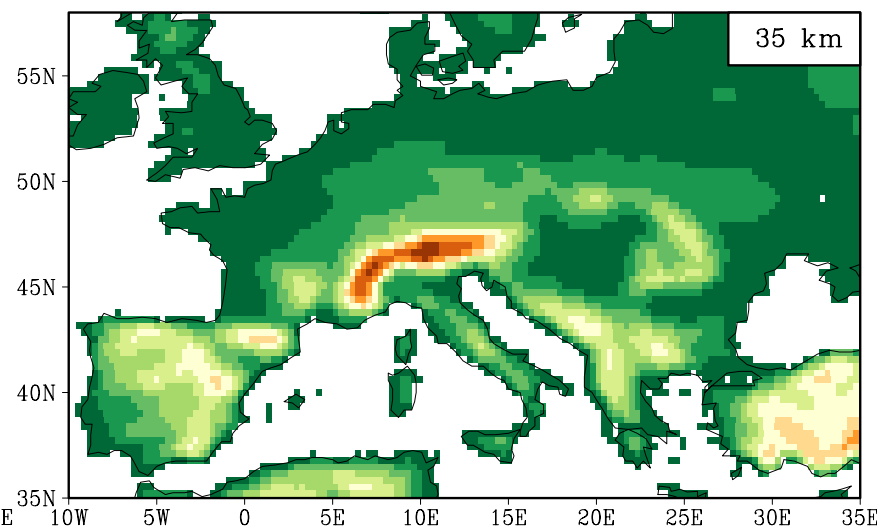
## Regionalni klimatski modeli (RCMs)

- \* Zbog razmjerno grube rezolucije (150-250 km) GCMs su neprikladni za istraživanje klime i klimatskih varijacija na lokalnim i regionalnim skalama
- \* RCMs omogućuju da se rezultati GCMs **dinamički prilagode** (*downscaling*) manjim skalama; RCMs moraju dobiti početne i rubne uvjete iz GCMs
- \* Podaci se mogu koristiti u studijama utjecaja (hidrološki modeli, modeli agro prinosa, ...) ili za usporedbu s podacima mjerenja

### Orografija



200 km



35 km

## Klimatsko modeliranje u DHMZ-u

### \* Regionalni atmosferski klimatski model RegCM (ICTP, Trst, Italija)

- RegCM4 (Giorgi et al. 2012, Clim Res)
- potječe od MM4 (PSU, NCAR) - 1989,1990
- hidrostatski, sigma vertikalna koordinata (23 nivoa), Arakawa B mreža
- primitivne jednadžbe hidro- i termo-dinamike
- parametrizacija fizikalnih procesa (različite opcije):
  - PBL (Holtslag, UW)
  - konvekcija (Grell, Kuo, Emanuel, Tiedtke) - "noćna mora"
  - oborina velikih skala - SUBEX schema
  - procesi u tlu i na površini (BATS, CLM)
  - oceanski fluksevi (BATS, Zeng)
  - aerosoli, kemijski procesi
- združivanje: model jezera, oceanski model (MIT, Protheus)

### \* Analiza drugih klimatskih modela

- Max-Planck Institute globalni združeni model ECHAM5/MPI-OM
- ENSEMBLES regionalni modeli

# RegCM: Kako smo počeli? Testiranje modela

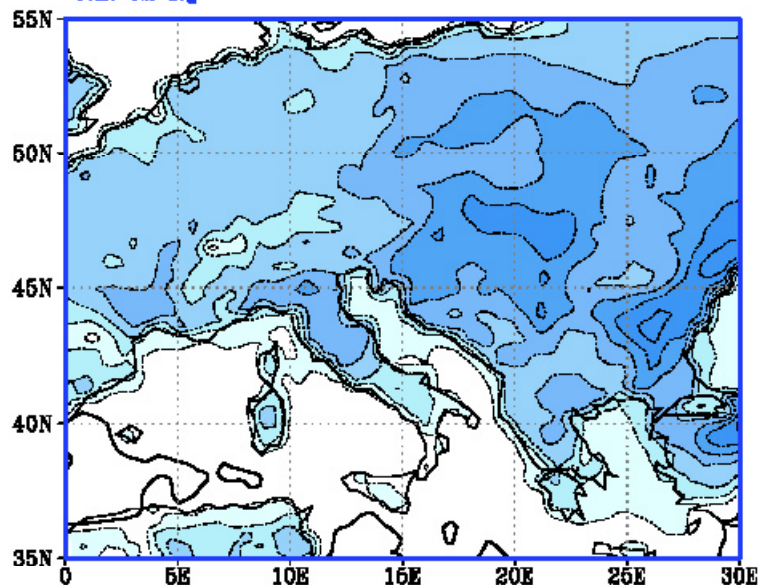
## \* Eksperimenti "osjetljivosti" (RegCM3, forsiranje s ERA40)

- Promjene u konfiguraciji modela: varijacije u konvekciji, frekvenciji rubnih uvjeta, vrhu atmosfere modela, horizontalnoj rezoluciji početnih i rubnih uvjeta

## Razlike zbog promjene u konfiguraciji

frekvencija rubnih uvjeta (6 vs 12 hr)

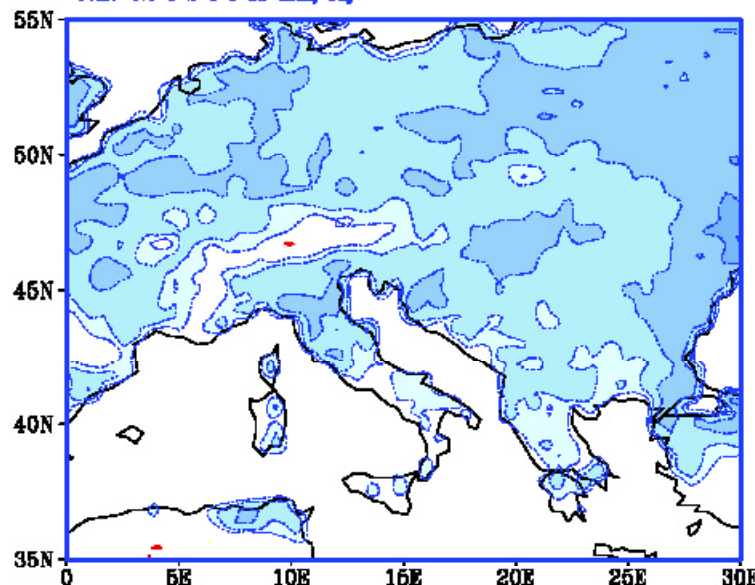
Temperature 2m; DJF 1993/94 (12Z); HR\_f12 minus HR\_f6  
cont=0.2 deg



T2m, zima

zatvaranje (*closure*) u shemi za konvekciju

Convective precip.; JJA 1997 (allZ); HR\_f12\_AS minus HR\_f6  
cont=0.5 1 2 4 8 16 mm/day



Konvektivna oborina, ljeto

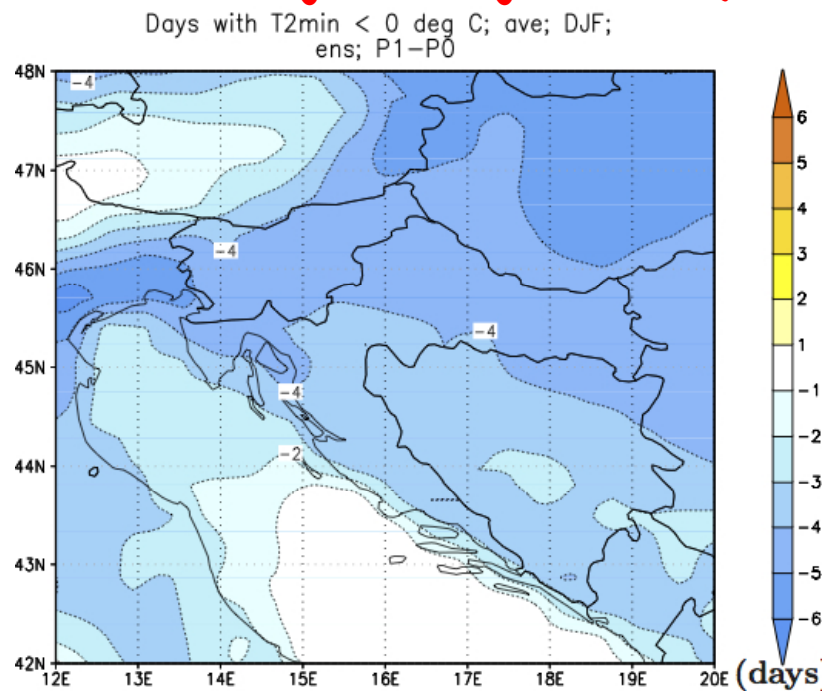
# RegCM: Forsiranje globalnim modelom (1)

\* Klimatske promjene, A2 scenarij, 2011-2040 vs. 1961-1990

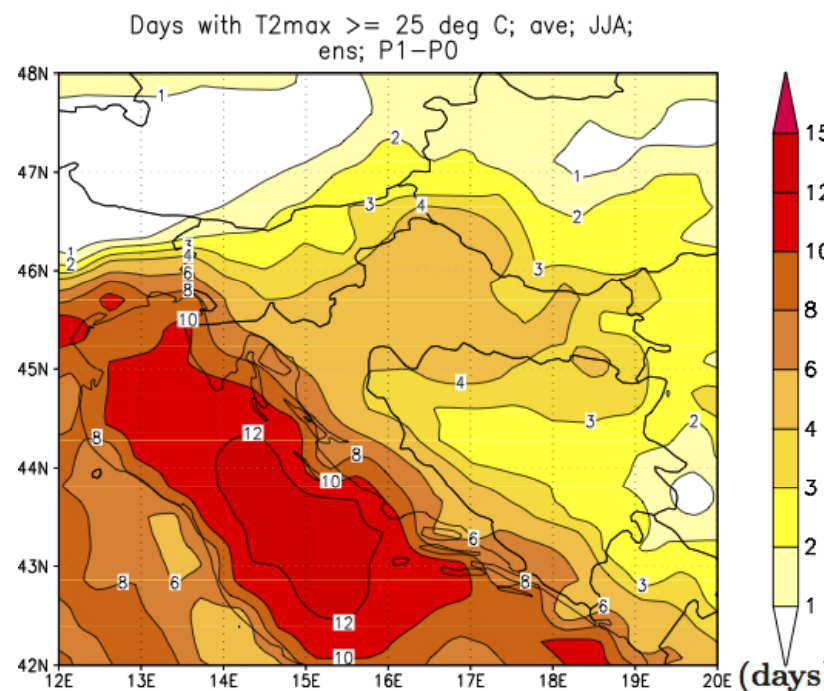
- RegCM3: 35 km; 23 nivoa

- ECHAM5/MPI-OM: tri integracije (*ensemble*), ~200 km, 31 nivo

## Promjena broja dana: (2011-2040) minus (1961-1990)



**T2min < 0°C, zima**



**T2max > 25°C, ljeto**



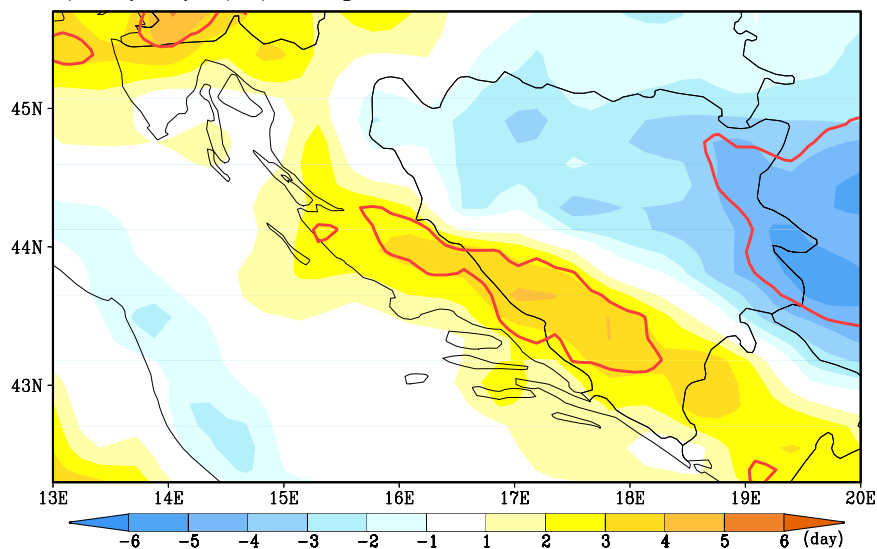
## RegCM: Forsiranje globalnim modelom (2)

\* Klimatske promjene, A2 scenarij, 2011-2040 vs. 1961-1990

- Indeksi ekstremne oborine (suhi dani, uzastopni suhi dani, vrlo vlažni dani, ...)

**Promjena broja dana:  
(2011-2040) minus (1961-1990)**

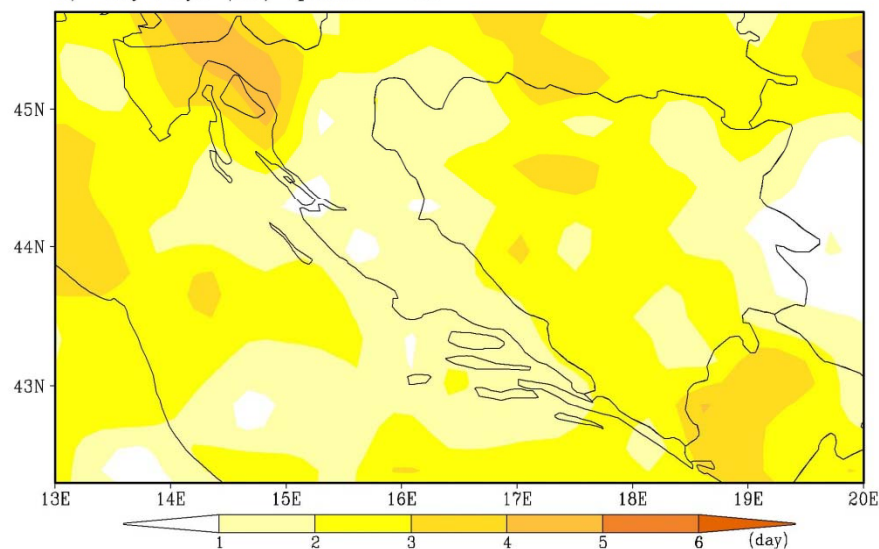
b) Dry days (DD) change - YEAR



**Suhi dani, godina**

**Rasap (spread)**

d) Dry days (DD) spread - YR



**Suhi dani, godina**

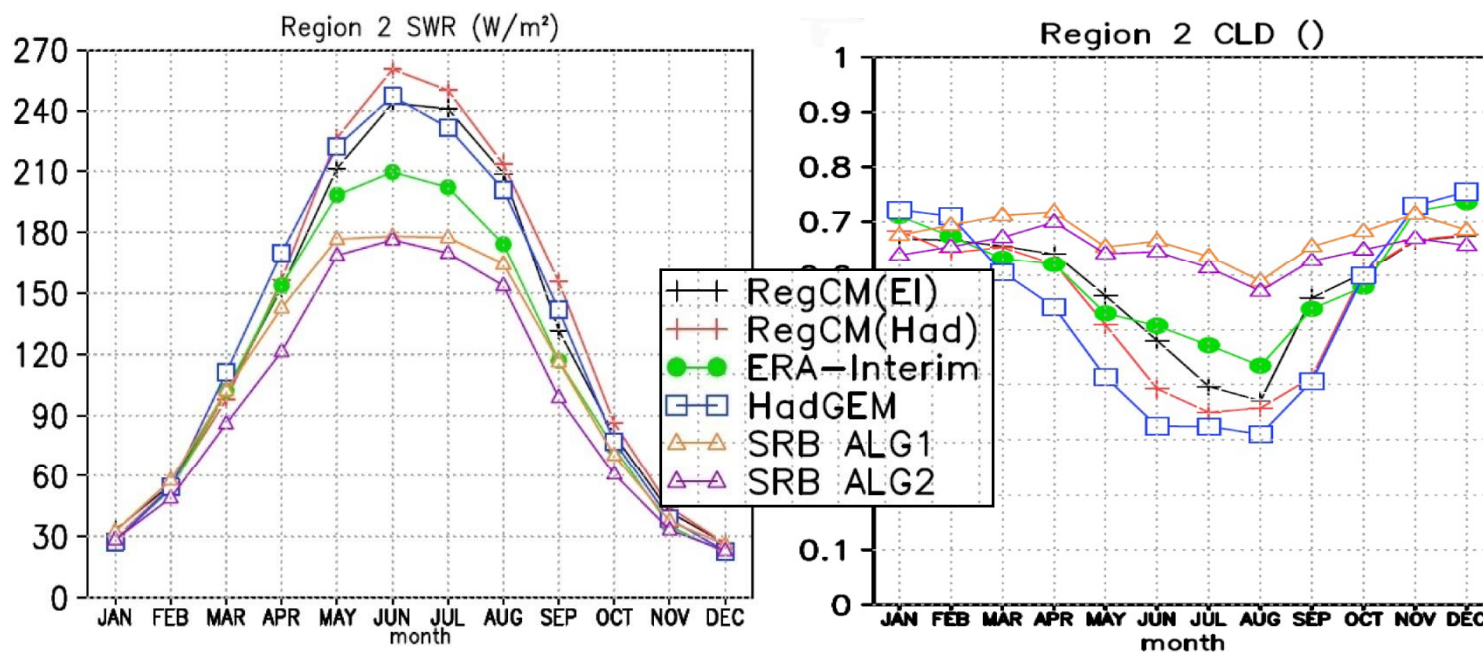


# RegCM: Utjecaj (rubnih) graničnih uvjeta

\* Energetska bilanca na tlu (razdoblje 1989-2005)

- RegCM4 forsiran podacima ERA-Interim i HadGEM2 GCM (CMIP5)

## Godišnji hod, središnja Europa



Kratkovalno zračenje

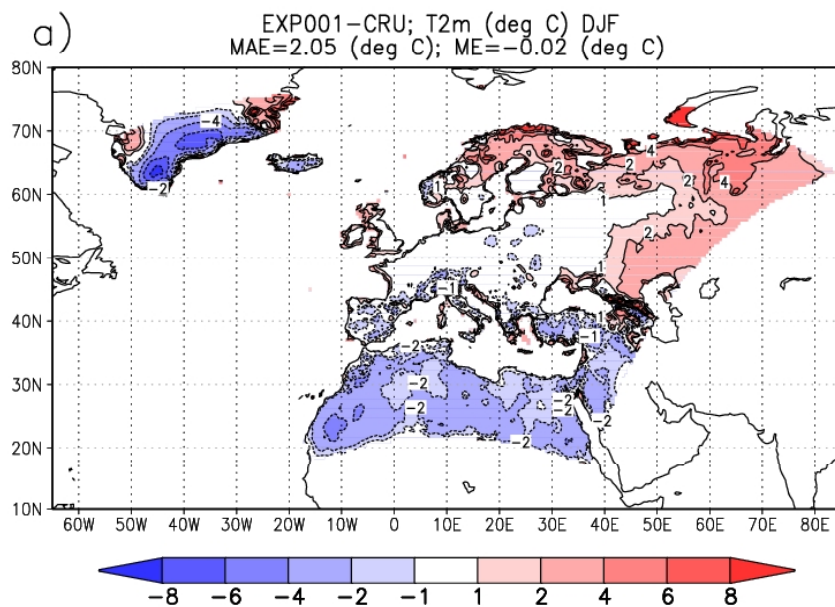
Naoblaka

# RegCM: Parametrizacija PBL-a

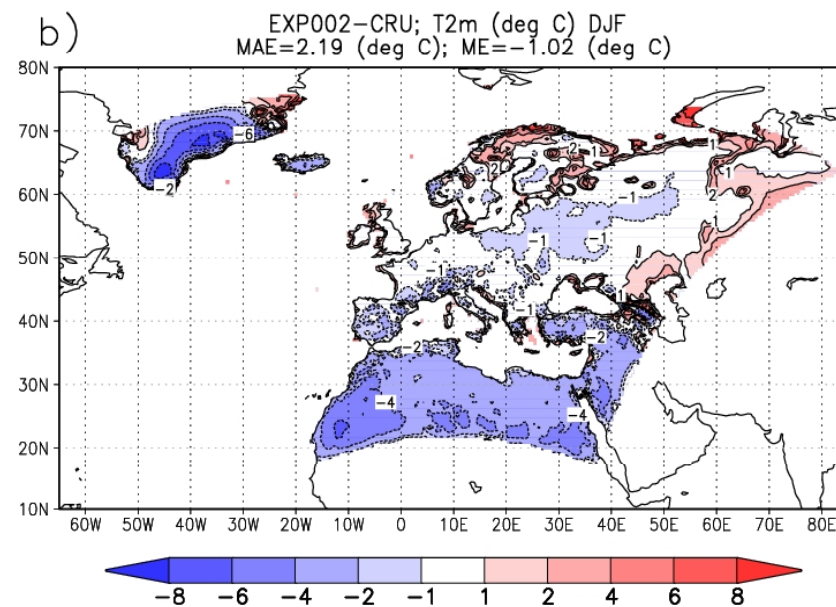
## \* Utjecaj Holtslag i UW PBL shema

- RegCM4 forsiran podacima ERA-Interim 1989-1998

### T2m sistemske pogreške, zima



Holtslag PBL



UW PBL

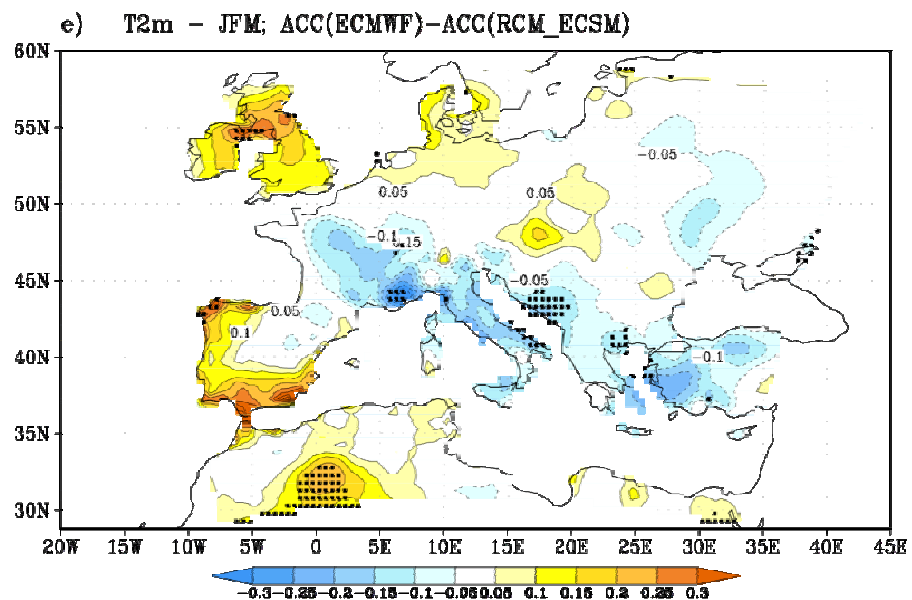
# RegCM: Ansambl kratkoročnih klimatskih simulacija

\* Dinamička prilagodba ECMWF eksperimentalnih sezonskih prognoza

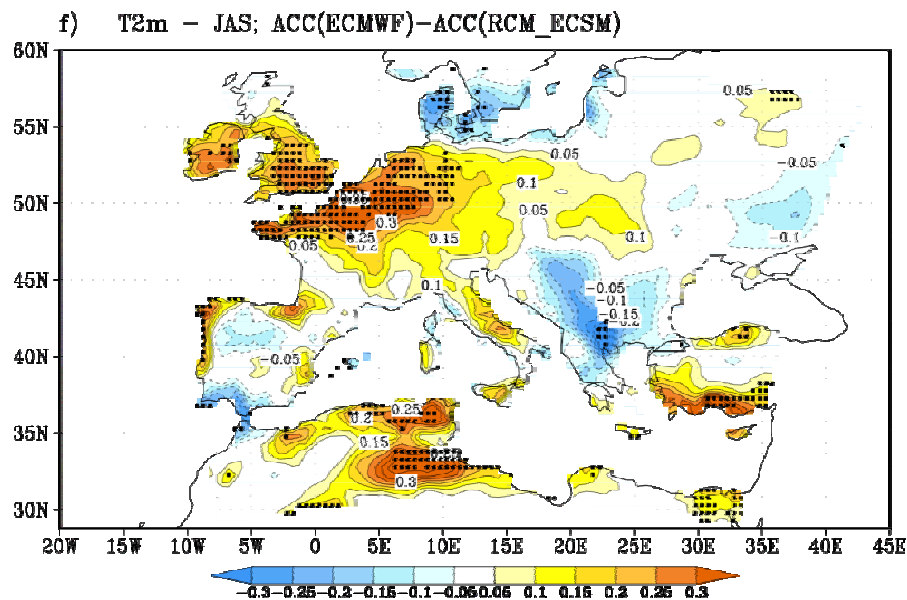
- 1991-2001, 9 integracija → 11 god × 9 int = 99 članova, zima i ljeto

- ECMWF: 200 km, 40 nivoa; RegCM3: 50 km, 18 nivoa

**T2m, razlike u koef. korel. anom. ECMWF minus RegCM**



**Zima**



**Ljeto**

## RegCM: Dodatna i druge vrste istraživanja

### \* Druge vrste istraživanja s RegCM modelom i primjena

- Razvoj RegCM modela (Giorgi et al. 2012, Climate Research)
- Aerosoli - testiranje
- Biometeorologija - Brosy, Zaninović, Matzarakis (2013) Int J Biometeorol
  - CIT (osjećaj ugone za turiste)
- Obnovljiva energija - Pašičko, Branković, Šimić (2012) Renewable Energy
- Vodno gospodarstvo - Güttler et al. (2011) Hrvatske vode
  - Patarčić et al. (2011) Hrvatske vode
- DUZS, NIKP, HEP, EI "Hrvoje Požar", ...

### \* Projekti

- CLIM-RUN
- Euro-CORDEX
- CARE



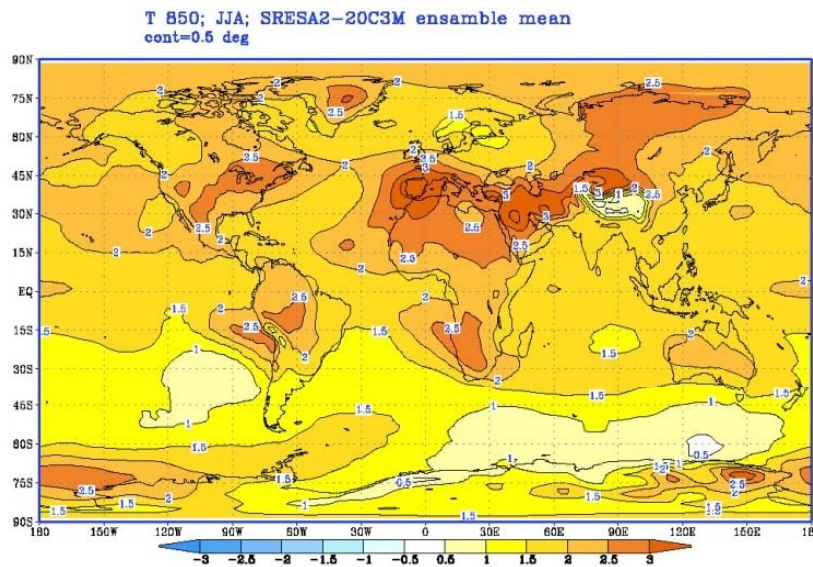
# Analiza drugih klimatskih modela: GCM

\* Važna komponenta u klimatskom modeliranju

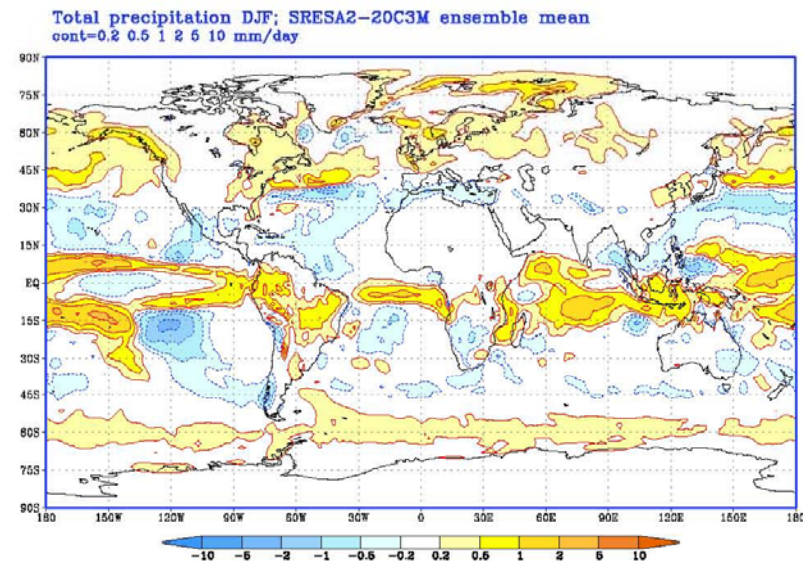
- ECHAM5/MPI-OM; tri integracije

- Klima 21. st. 1961-1990, buduća klima: 2041-2070 prema scenariju A2

(2041-2070) minus (1961-1990)



**T850, JJA**



**Ukupna oborina, DJF**

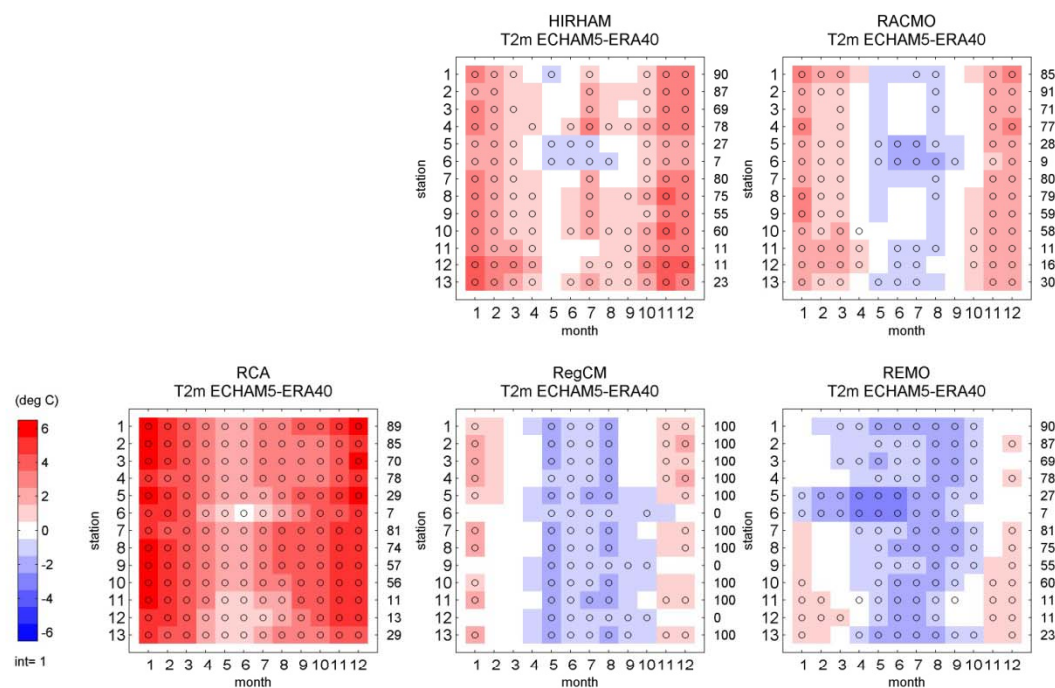
# Analiza drugih klimatskih modela: RCMs

\* Pet RCMs iz ENSEMBLES projekta, forsirani s ERA40 i ECHAM5/MPI-OM

- RCMs: 25 km, buduća klima prema A1B scenariju

- Usporedba na lokacijama 13 jadranskih postaja

T2m, RCM (ECHAM5) minus RCMs (ERA40)



## Klimatsko modeliranje u DHMZ-u

- \* Sadašnji status modeliranja RegCM4 modelom
  - Euro-CORDEX
  - 50 km, dinamička prilagodba 5 GCMs (CMIP5)
- \* Planovi za budućnost
  - Euro-CORDEX
  - 12.5 km, dinamička prilagodba (barem) 2 GCMs
  - analiza CMIP5 GCMs
- \* ...



# Klimatsko modeliranje u DHMZ-u

## \* **Uzbudljivo**

- "kontinuirano" otkrivanje bugova i suočavanje s raznim problemima

## \* **Inovativno**

- pronalaženje dobrih rješenja u raznim fazama modeliranja i analize rezultata, kontinuirano učenje

## \* **Važno**

- što će biti s našom klimom i našim planetom ? - proširenje spoznaja

## \* **Naporno, puno posla i ponekad frustrirajuće**

- rješavanje problema i bugova, pogonjenje modela, problemi s računalima (procesori, diskovi), manipuliranje s velikom količinom podataka

## \* **... ima i nekog zadovoljstva (!?)**

- DHMZ se profilirao kao jedna od europskih klimatskih grupa (CLIM-RUN, Euro-CORDEX)
- publicirani radovi, konferencije, timski rad, kontakti s kolegama supatnicima, ...