

# REGIONÁLIS MODELLFUTTATÁSOK ÉS EREDMÉNYEK ELEMZÉSE AZ ELTE METEOROLÓGIAI TANSZÉKÉN



PONGRÁCZ Rita,  
BARTHOLY Judit, PIECZKA Ildikó,  
ANDRÉ Karolina, KELEMEN Fanni, KIS Anna



Eötvös Loránd Tudományegyetem Meteorológiai Tanszék, Budapest

# VÁZLAT

- ⇒ A RegCM modell fejlesztése, felépítése
- ⇒ RegCM3:  
adaptálás a Kárpát-medence térségére
- ⇒ RegCM4:  
tesztfutások, tervezett futtatások
  - Validációs eredmények
  - Projekciók a jövőre vonatkozóan
- ⇒ Összefoglalás



# A RegCM modell fő fejlesztési lépései

MM4 (Mesoscale Model)

Összenyomható véges differenciális hidrosztatikus modell szigma rendszerben  
Dickinson et al. 1989, Giorgi 1989



**RegCM1** (NCAR-PSU, National Center for Atmospheric Research-  
Pennsylvania State University) – BATS + CCM1  
Giorgi 1991



Modell fizikájának fejlesztése, egyenletek finomítása



**RegCM2** Giorgi et al. 1993 (CCM2 + MM5)



**RegCM3** 1999 (CCM3) --- RegCM3.1, 2007



**RegCM4** 2010

(új fizikai parametrizációk, pre- és post-processing fejlesztése)

# RegCM3.1 és RegCM4

- **Dinamika:**
  - MM5 Hidrosztatikus (Grell et al. 1994)
  - Nem-hidrosztatikus (Bi; folyamatban)
- **Sugárzás:**
  - CCM3 (Kiehl 1996)
- **Nagy skálájú felhőzet és csapadék:**
  - SUBEX (Pal et al. 2000)
- **Cumulus konvekció:**
  - Grell (1993) + FC80 közelítés
  - Anthes-Kuo (1977)
  - Emanuel (1991)
  - Betts-Miller (1993)
  - Tiedtke (1989 -- RegCM4)
- **Határréteg:**
  - Holtslag (1990)
- **Nyomanyagok/Aeroszolok:**
  - Qian et al. (2001); Solmon
- **Felszín:**
  - BATS (Dickinson et al. 1991)
  - SUB-BATS (Giorgi et al. 2003)
  - CLM (Dai et al. 2003 -- RegCM4)
  - IBIS (Foley; folyamatban)
- **Óceán fluxusok:**
  - Zeng et al. (1998)
  - BATS (Dickinson et al. 1991)
- **Programozás**
  - Parallel Kód (Yeh, Gao)
  - Több platformon
  - Felhasználó barát

Fejlesztések a RegCM2 verzióhoz képest

# A RegCM által használt konvektív csapadék sémák

1. **Módosított Kuo (1965)** Konvekció oka: a nedvesség konvergenciája  
**Anthes 1974** A légoszlopba beáramló légnedvesség:  
nedvesítés + csapadékképződés

2. **Grell 1993**

Felhők: fel- és leáramlások  
Környezettel való keveredés:  
csak alul és felül

A tömegáramlás független  
a magasságtól, a peremen 0

Kondenzáció:  
a felemelkedő telített légelemből

--- szárazföldi felszínre

**Arakawa és Schubert 1974 (AS74)**  
instabilitás változását veszi figyelembe

**Fritsch és Chappell 1980 (FC80)**  
instabilitás aktuális értékét veszi figyelembe

3. **MIT-Emanuel 1991**

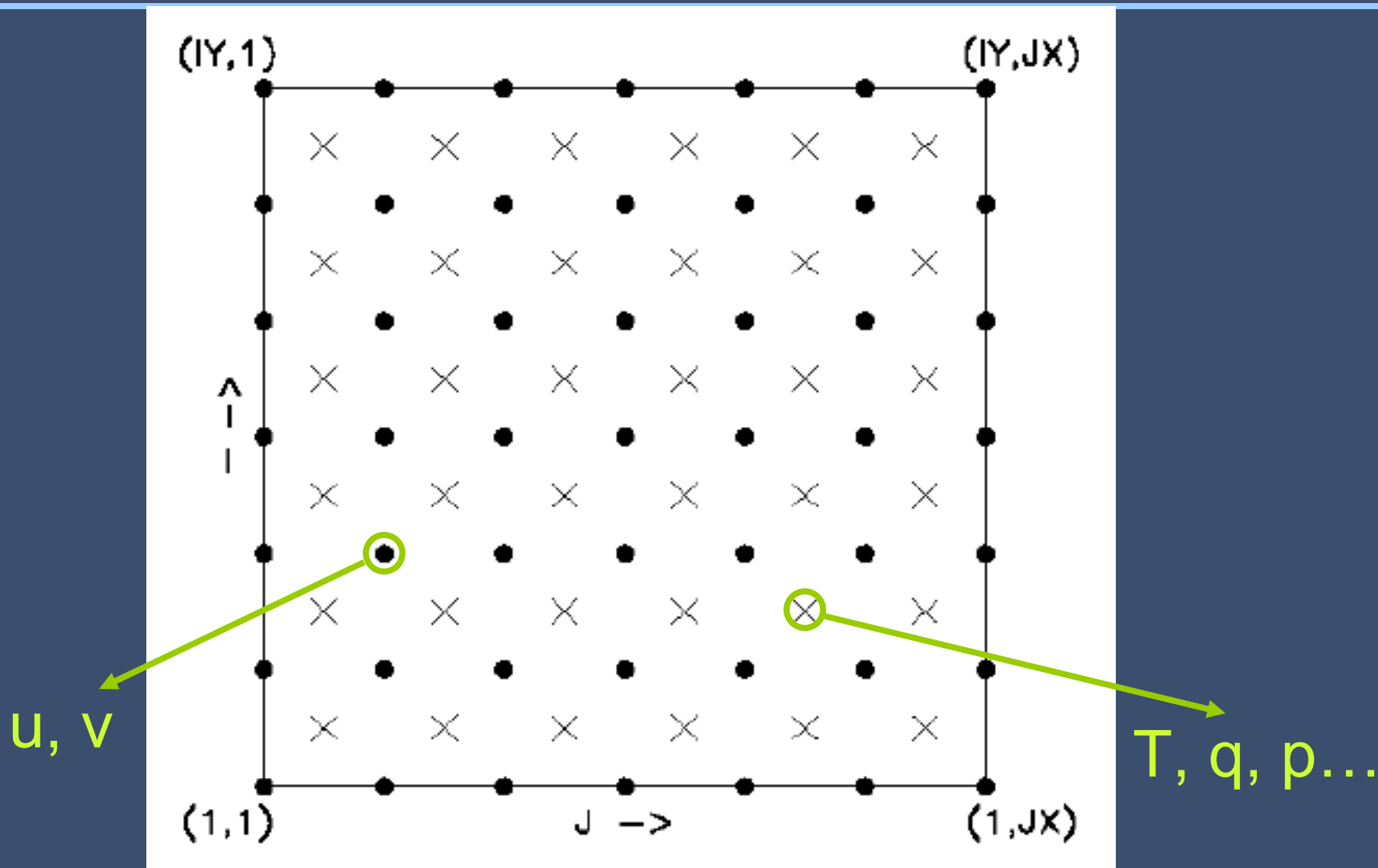
--- vízfelszín fölött

Keveredés a felhőkben időszakosan

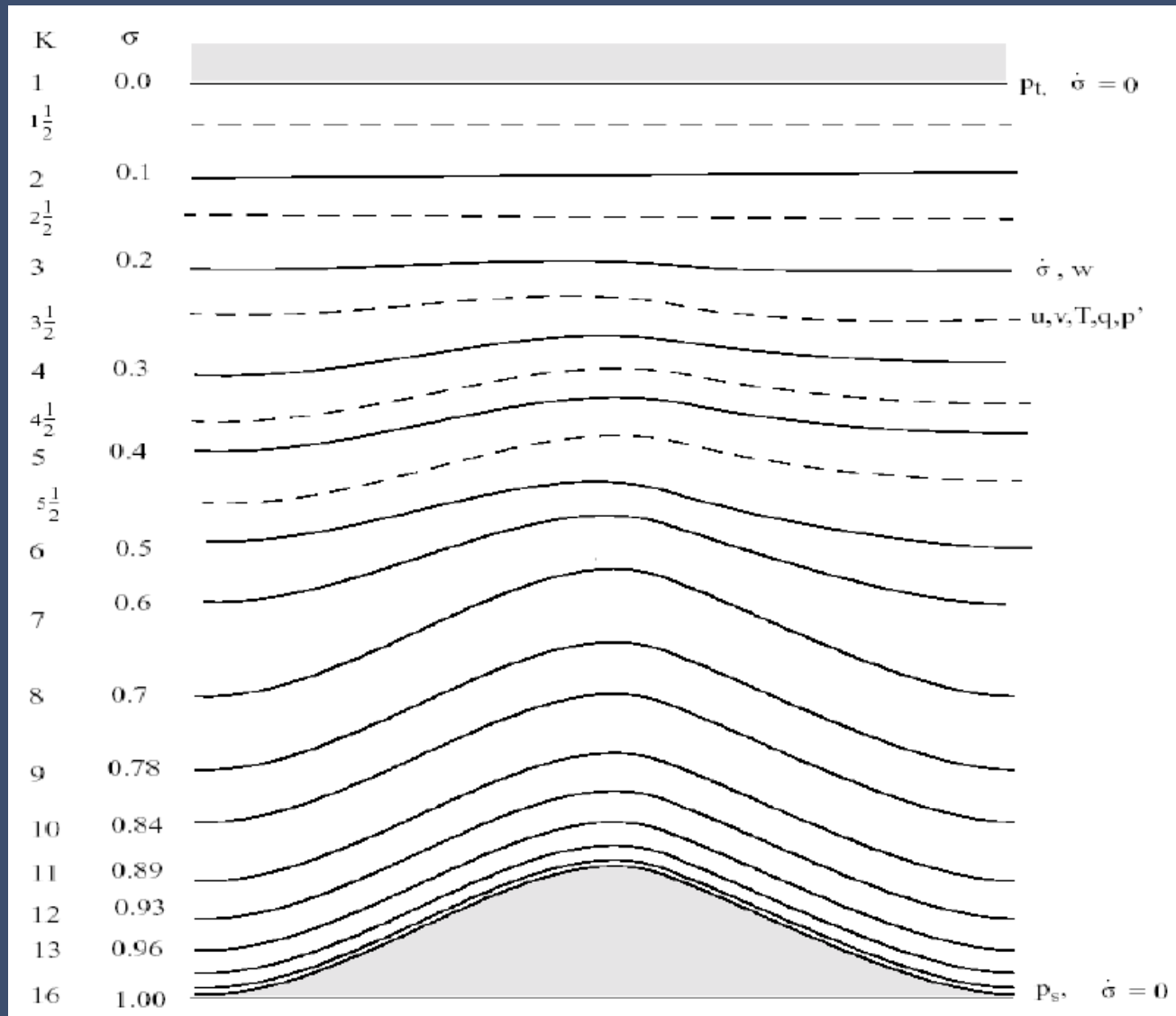
Konvektív fluxusok a felhőméretnél kisebb fel- és leáramlásokon alapszanak

Felemelkedő levegő: csapadék és felhőzet (keveredés)

# Horizontális rácshálózat: Arakawa B rács a horizontális diszkretizációból eredő fázishibák csökkentésére



# Vertikális leírás: $\sigma$ koordináta-rendszer 14 -- 18 -- 23 szint



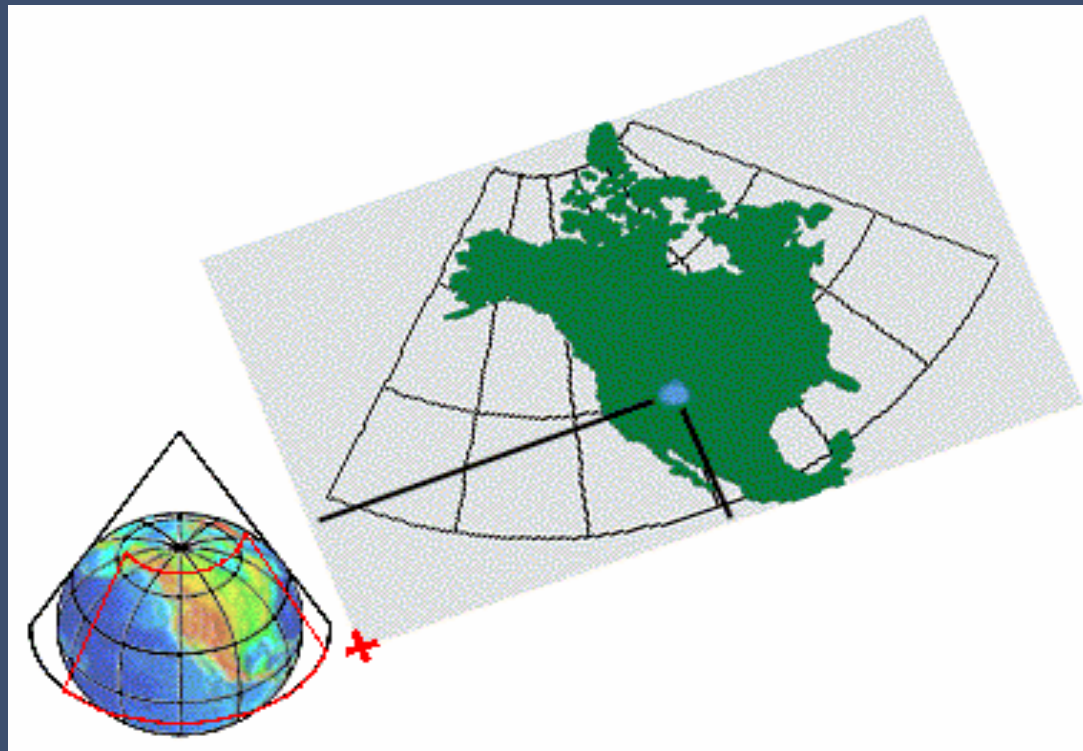
kisimult  
izobár felületek



felszínkövető  
felületek

# Leképezési módok

- Normal Mercator vetület: alacsony  $\varphi$
- Lambert kúpvetület: közepes  $\varphi$
- Sztereografikus vetület: magas  $\varphi$
- Elforgatott Mercator vetület: speciális

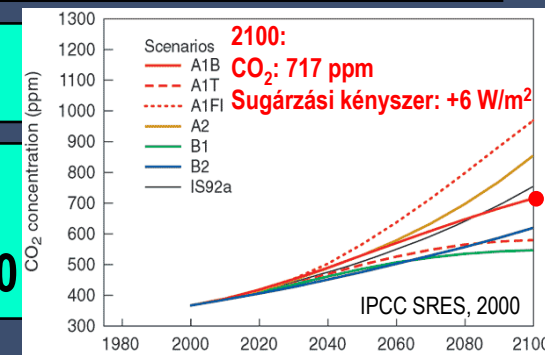




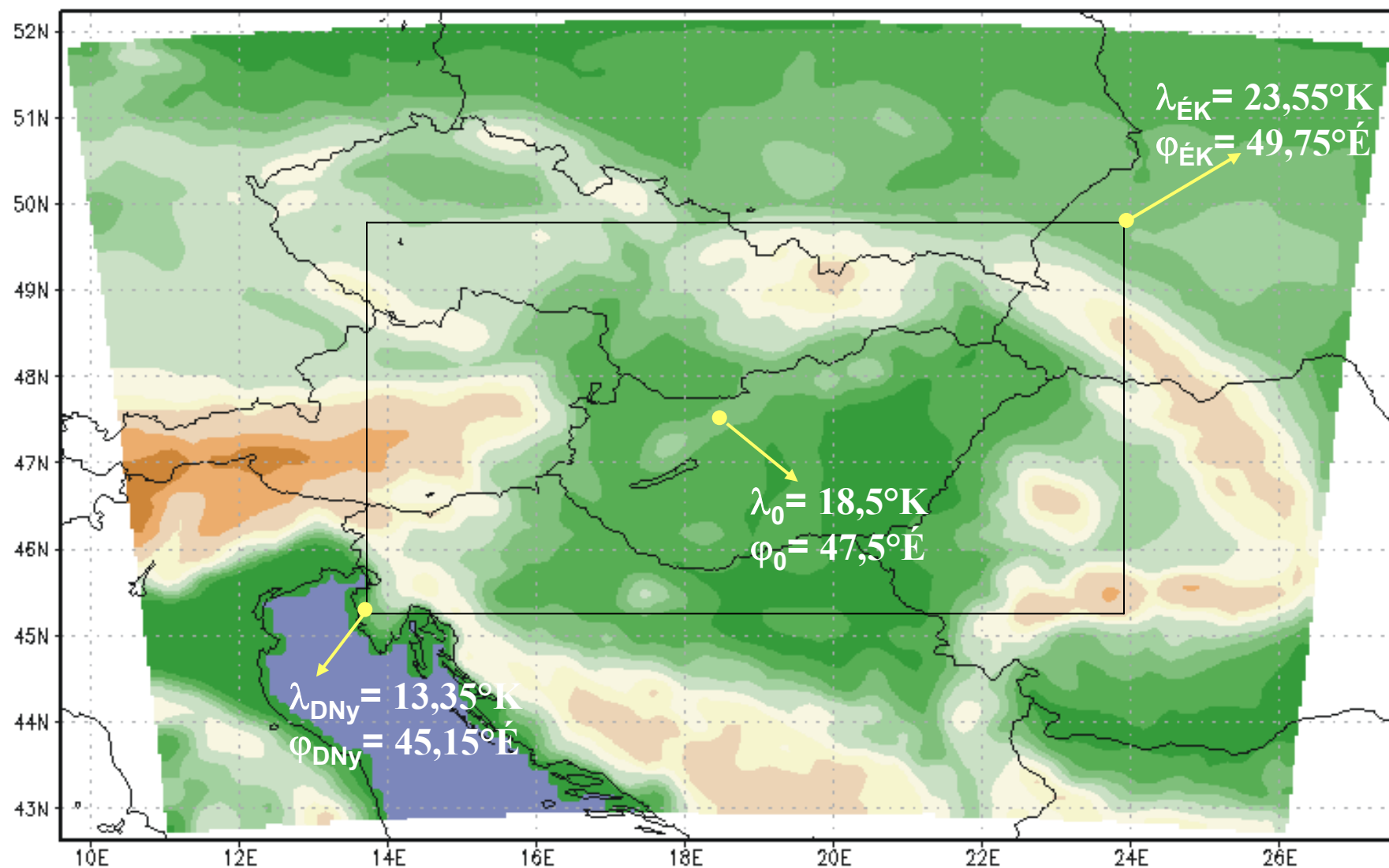


# Lezárult RegCM szimulációk: 4 időszak

Az adaptált modellverzió	<b>RegCM 3 és 3.1</b> (RCM: ICTP, Trieszt – F.Giorgi/CCM3, MM5, 1999, ill. 2007)
Kezdeti és peremfeltételek	<b>ERA40</b> (1,15°), <b>ECHAM5</b> (MPI GCM: 1,25°) <b>6 óránként</b>
Alkalmazott koordináta-rendszer	<b>Lambert vetület</b>
Horizontális felbontás	<b>50 km</b> (0.44°), <b>25 km</b> (0.22°), <b>10 km</b> (0.11°)
Vertikális felbontás	<b>14, 18 v. 23 légréteg szint</b> ( $\sigma$ -koordináták), <b>3 talajszint</b>
Időlépcső	<b>90 s</b> (megőrizve 1 naponként, mentési szegmensek: 1 hónap)
Felpörgési idő	<b>1 év</b>
Szimulációs időszakok	<b>Referencia 1961-90: ERA40, CTL</b> <b>SRES A1B: 2021-2050, 2071-2100</b>



# A RegCM integrálási tartománya és vizsgálati célterülete



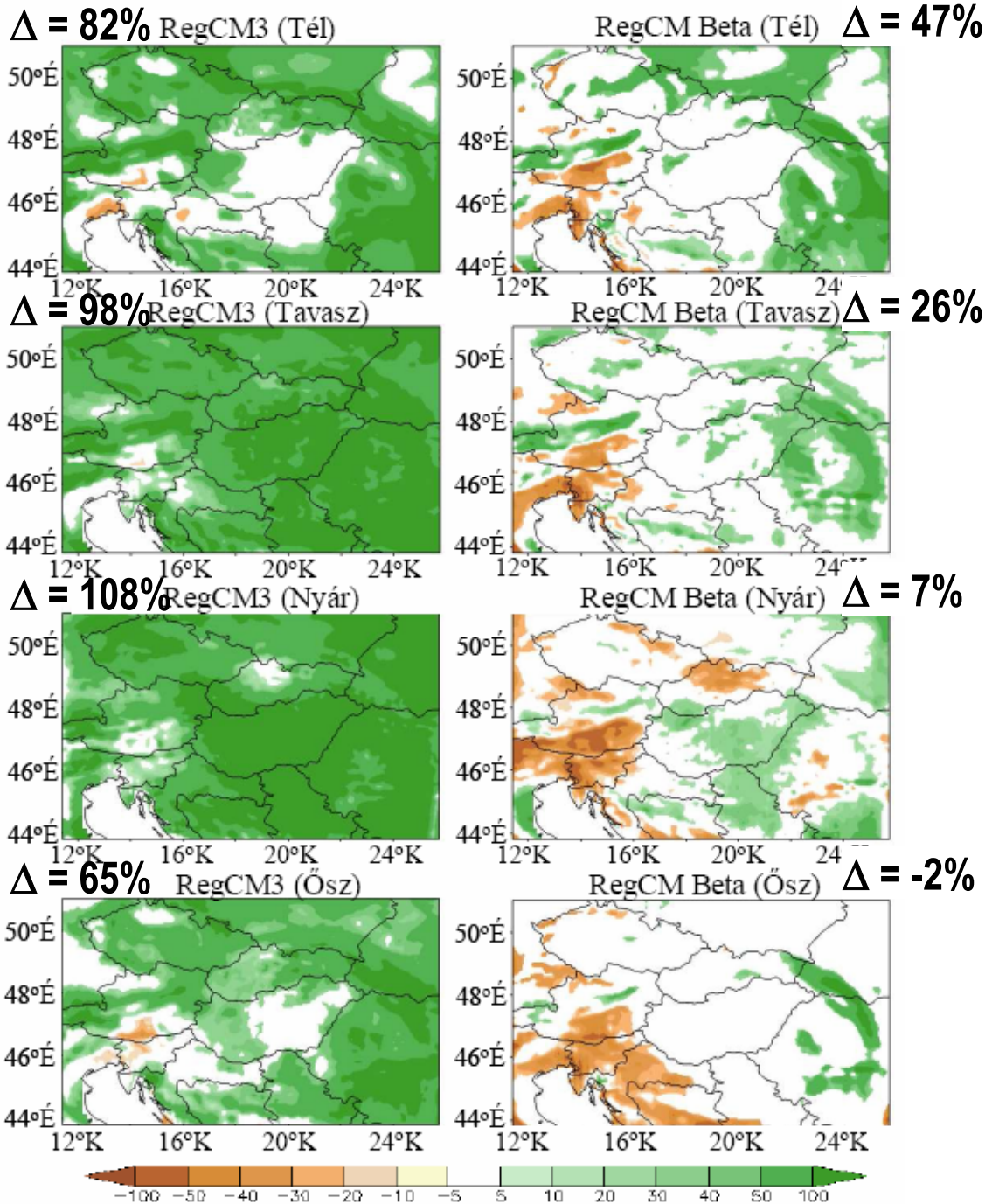
Alkalmazott rács: 120×100 cella



**TESZT-FUTTATÁSOK  
A REGCM3  
KÁRPÁT-MEDENCEI  
ADAPTÁLÁSÁRA  
(1961-1970)**

**Horizontális felbontás: 10 km**

**Validációs adatbázis: CRU**



**A kontroll-futtatások  
eredményei:  
évszakos átlagos  
csapadékösszeg,  
1961-1970**

**Meghajtó adatok:  
ERA40**

**A csapadék-parametrizáció javítása:**

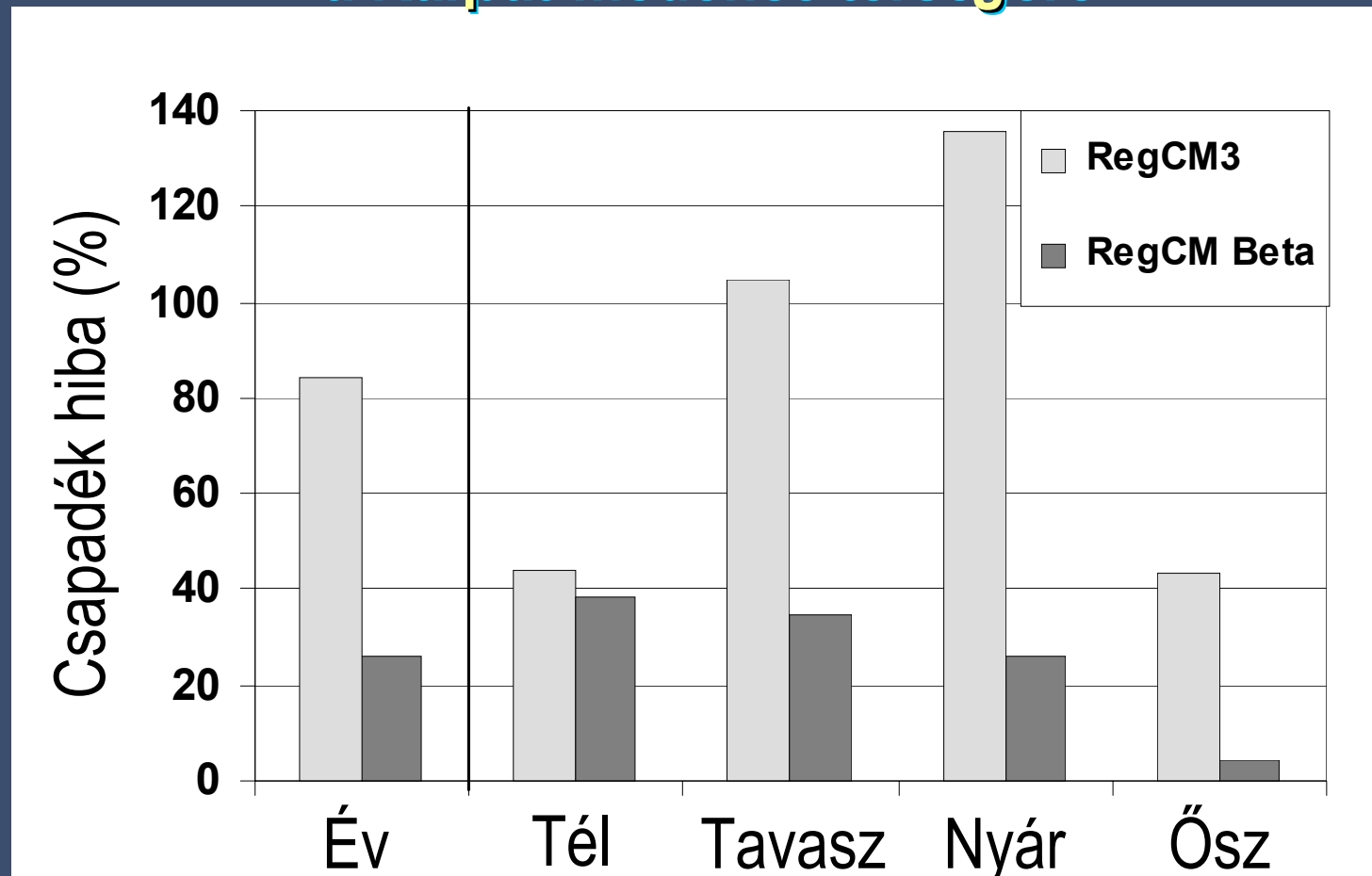
- felhő-csapadék képződési arány  
(0,0005  $\rightarrow$  0,00025)
- esőcseppek gyarapodási üteme  
(6  $\rightarrow$  3 m<sup>3</sup>/kg/s)
- esőcseppek párolgási üteme  
(0,2  $\rightarrow$  10  $\times$  10<sup>-4</sup> (kg m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>)<sup>-1/2</sup> s<sup>-1</sup>)

Torma et al. 2008, 2011

# A kontroll-futtatások eredményei, 1961-1970

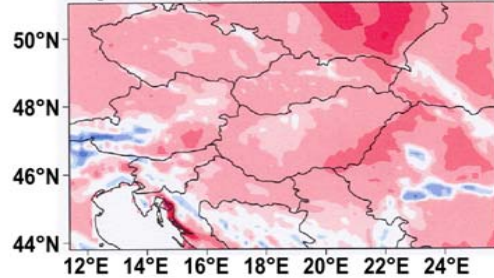
## Meghajtó adatok: ERA40

### Az éves és évszakai csapadékösszeg hibái a Kárpát-medence térségére

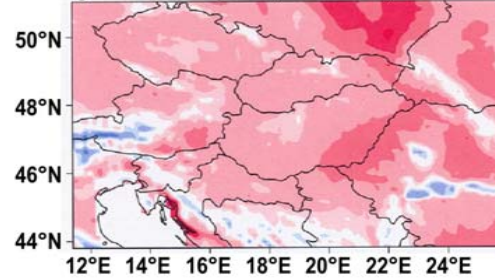


Torma et al.  
2008, 2011

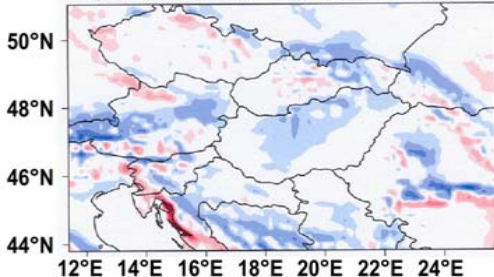
RegCM3 Temp Bias, 1961-1970, DJF: 1.2°C



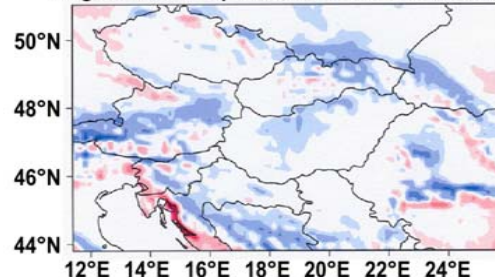
RegCM Beta Temp Bias, 1961-1970, DJF: 1.3°C



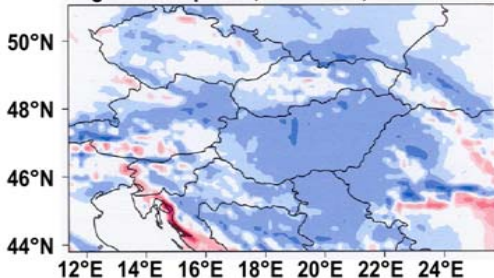
RegCM3 Temp Bias, 1961-1970, MAM: -0.2°C



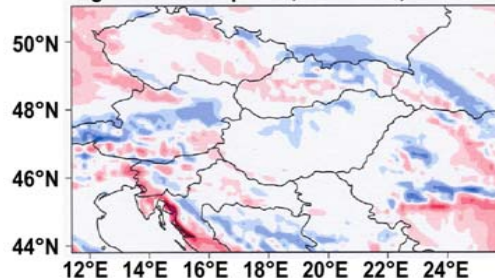
RegCM Beta Temp Bias, 1961-1970, MAM: -0.2°C



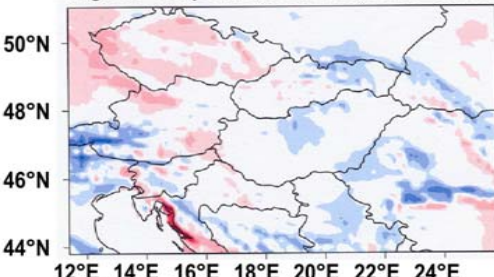
RegCM3 Temp Bias, 1961-1970, JJA: -0.7°C



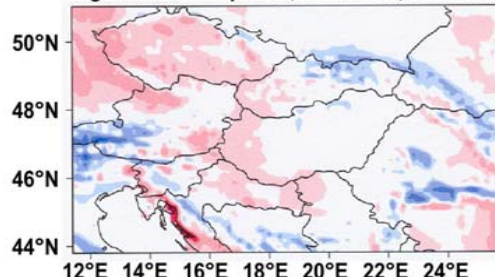
RegCM Beta Temp Bias, 1961-1970, JJA: 0.1°C



RegCM3 Temp Bias, 1961-1970, SON: -0.0°C



RegCM Beta Temp Bias, 1961-1970, SON: 0.2°C



**A kontroll-futtatások**

**eredményei:**

**évszakos átlagos**

**középhőmérséklet**

**1961-1970**

**Meghajtó adatok:**

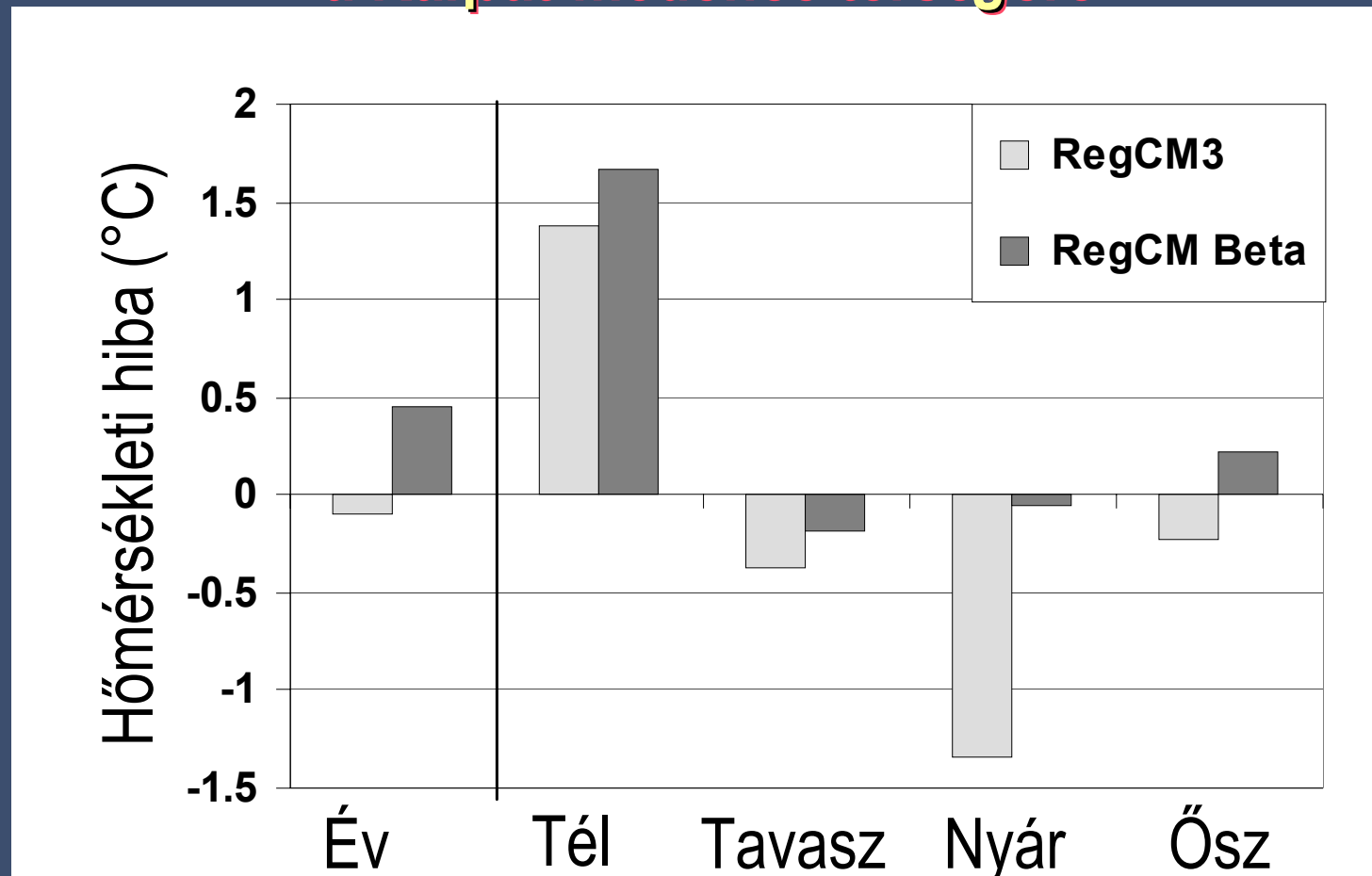
**ERA40**

Torma et al. 2008, 2011

# A kontroll-futtatások eredményei, 1961-1970

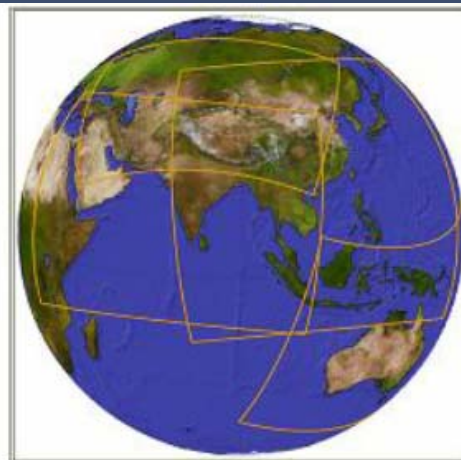
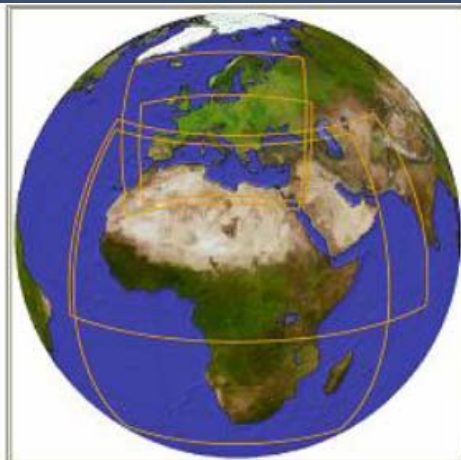
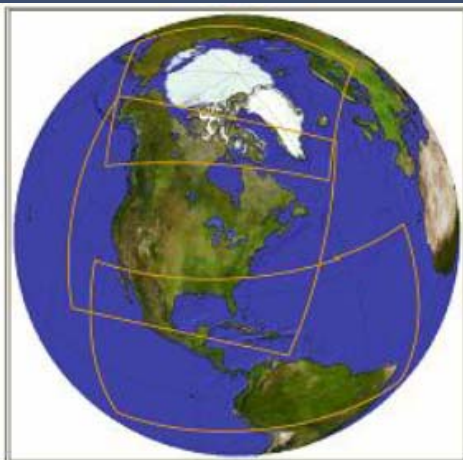
## Meghajtó adatok: ERA40

### Az éves és évszakai átlaghőmérséklet hibái a Kárpát-medence térségére



Torma et al.  
2008, 2011

# CORDEX: Globális éghajlati modellek leskálázása regionális éghajlati modellekkel



- Arctic CORDEX
- North America CORDEX
- Central America CORDEX

- EURO-CORDEX
- **MED-CORDEX**
- CORDEX Africa
- MENA-CORDEX

- Central Asia CORDEX
- South Asia CORDEX
- East Asia CORDEX
- Australasia CORDEX

- South America CORDEX
- CORDEX Antarctica

Alkalmazott légköri RCM-ek a MedCORDEX alprogramon belül:  
 RegCM, ALADIN, REMO, LMDZ, EBU, WRF, COSMO-CLM, PROMES  
 (10 km -- 20 km -- 25 km -- 50 km)



# Folyamatban lévő RegCM szimulációk

Az adaptált modellverzió

**RegCM 4.3.4** (RCM: ICTP, Trieszt – F.Giorgi/CCM3, MM5, 2010)

Kezdeti és peremfeltételek

**ERA Interim** (1,5°), **HadGEM** (UKMO GCM: 1,25°)  
**6 óránként**

Alkalmazott koordináta-rendszer

**Lambert vetület**

Horizontális felbontás

**50 km** (0.44°) **és 10 km** (0.11°)

Vertikális felbontás

**23 légköri szint ( $\sigma$ -koordináták), 3 talajszint**

Időlépcső

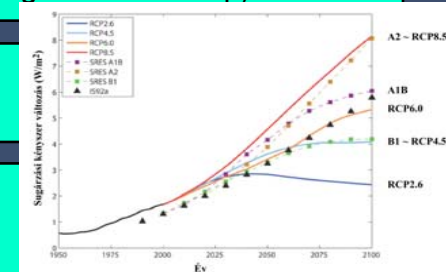
**150 s és 30 s** (megőrizve 3 h (1 nap), mentési szegmens: 1 hónap)

Felpörgési idő

**1 év**

Szimulációs időszekletek

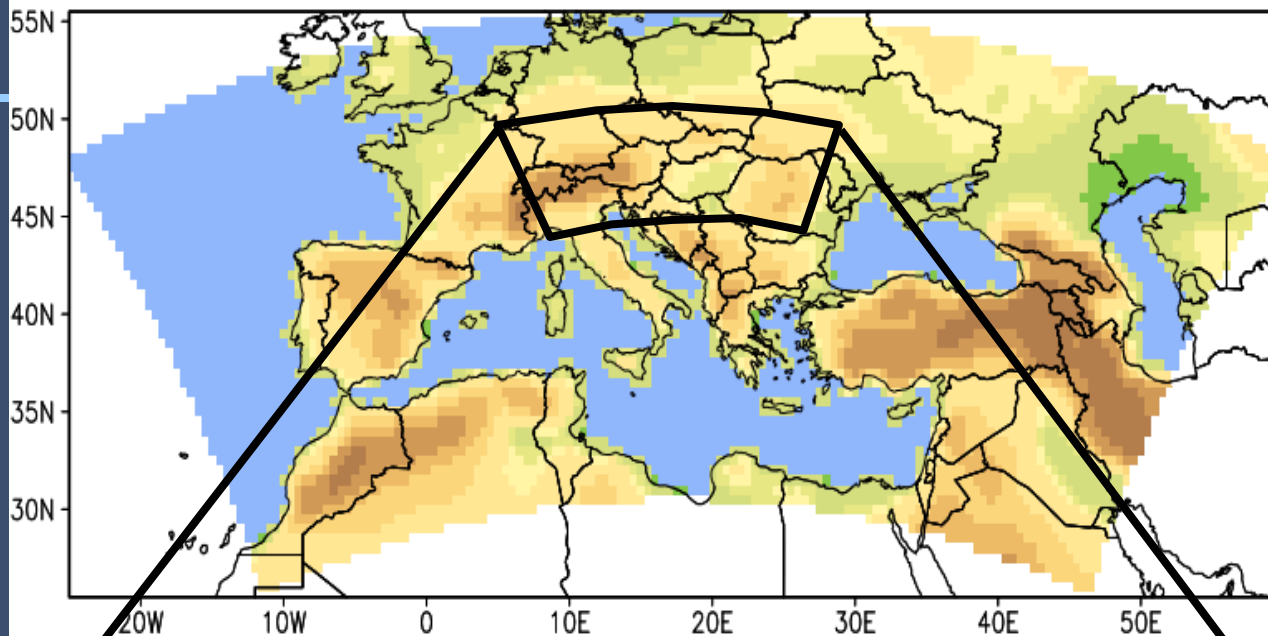
**Validáció 1971-2005: ERAInt, HIST**  
**RCP4.5, RCP 8.5: 2005-2100 tranziens futtatások**



# A RegCM4 integrálási tartományai

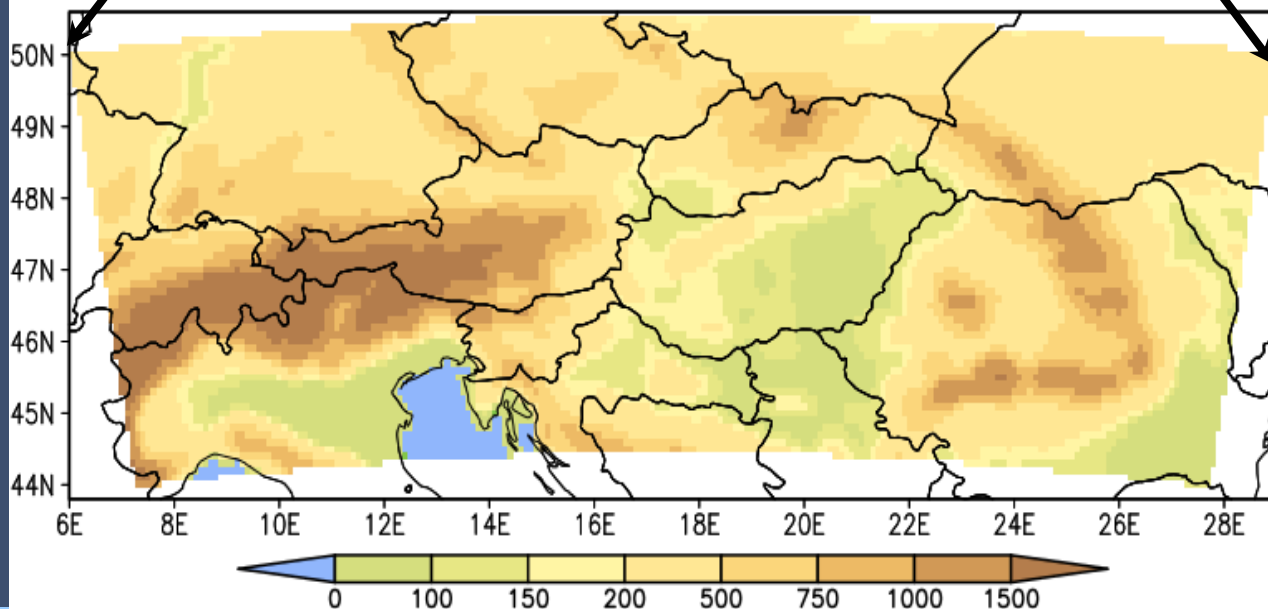
I.  
144 × 82 rácscella

Horizontális  
felbontás:  
50 km



II.  
216 × 120 rácscella

Horizontális  
felbontás:  
10 km



# A RegCM4 beállítása az ELTE futtatásokban

## Subgrid-módszer (Pal et al. 2003)

-- **Finom felbontású rácshálózat** definiálása a durvább rácshálózat minden celláján belül (földhasználat, domborzat, talajtextúra megadása a finomabb rácshálózatra)

-- A meteorológiai változók (pl.: T, q, P) **leskálázása** a finomabb rácshálózatra: a kétféle rácshálózat közötti magasság-különbségeken ( $h - h^{sg}$ ) alapulva és az átlagos vertikális gradienst figyelembe véve

A hőmérsékletre:  $T_{i,j}^{sg} = \bar{T} + \Gamma_T (\bar{h} - h_{i,j}^{sg})$   
( $\Gamma_T = 6,5 \text{ °C/km}$ )

A nedvesség nagyjából állandónak tekinthető

Mivel h, T, q konzervatívak, ezért pl.  $\bar{h} = \frac{1}{N} \sum_{i,j} h_{i,j}^{sg}$

A konvektív csapadék a rácscella 30%-ában véletlenszerűen oszlik el (CCM -- Kiehl et al. 1996)

-- A **BATS-séma alkalmazása** a finomabb rácshálózaton

-- A felszíni mezők (hőáram, T, q) **felskálázása**

a finomabbról a durvább rácshálózatra, pl. a látens hőre:

$$\overline{LH} = \frac{1}{N} \sum_{i,j} LH_{i,j}^{sg}$$

# A RegCM4 beállítása az ELTE futtatásokban

## Subgrid-módszer hatása

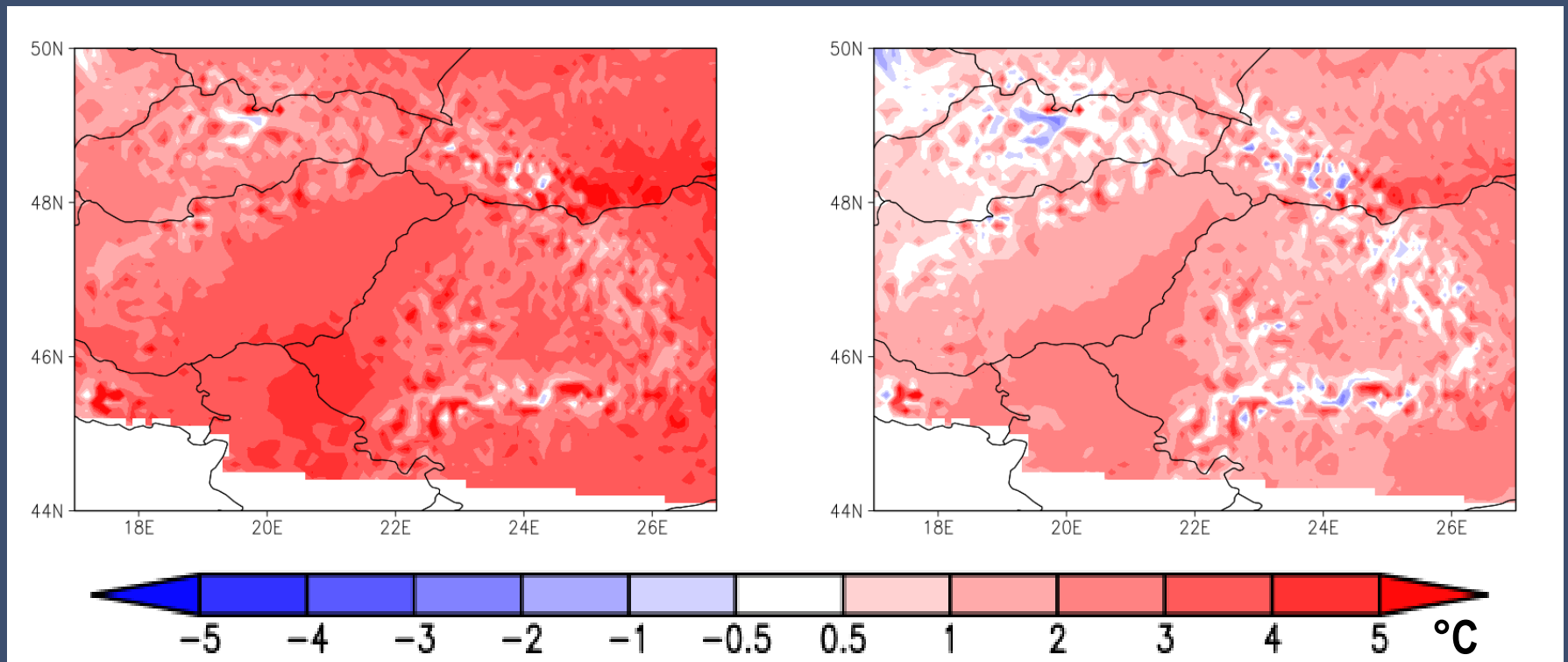
## a RegCM4 tesztfutások során kapott eredményekre

Subgrid-módszer alkalmazása nélkül

HU: +3.1 °C

Subgrid-módszer alkalmazásával

HU: +1.5 °C



Évszakos átlagos középhőmérséklet: 1971-1975, nyár

Referencia adatbázis: CARPATCLIM

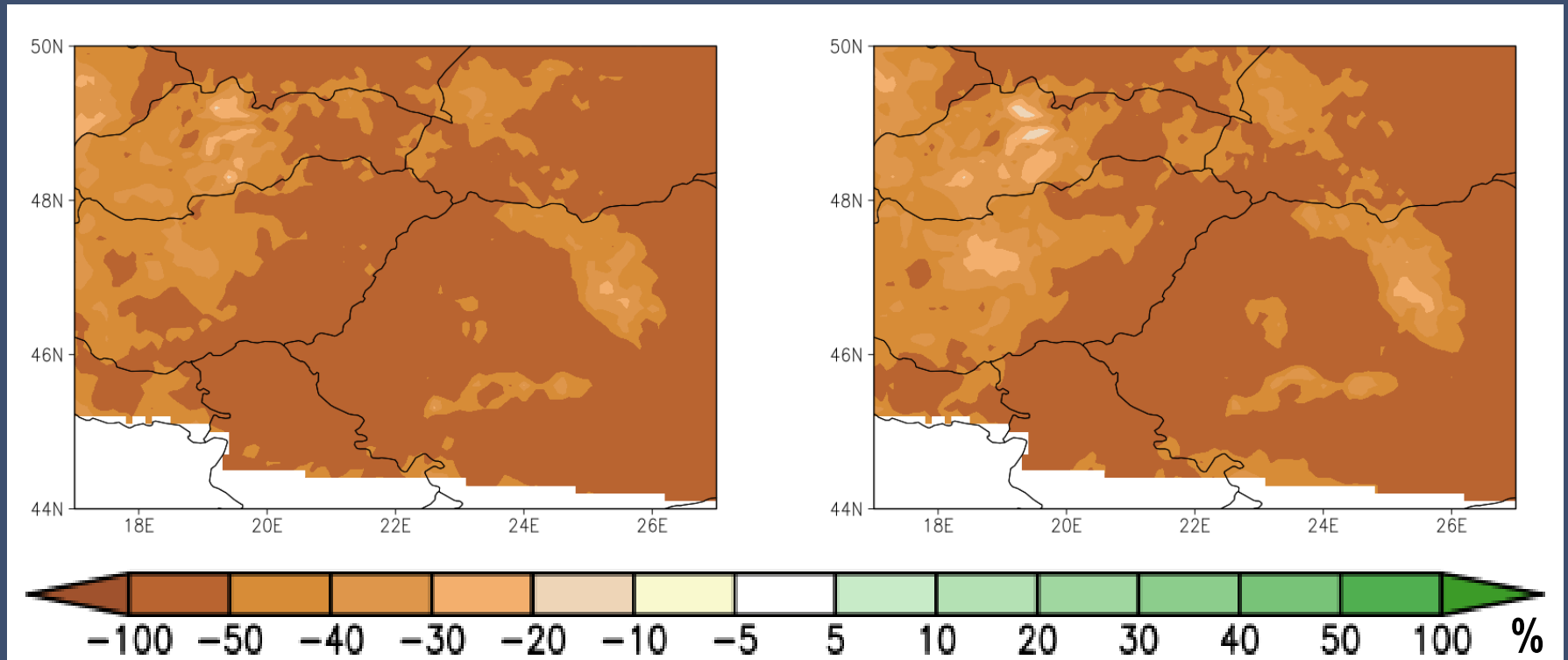
# A RegCM4 beállítása az ELTE futtatásokban

## Subgrid-módszer hatása

## a RegCM4 tesztfutások során kapott eredményekre

Subgrid-módszer alkalmazása nélkül  
HU: -40 mm/hó

Subgrid-módszer alkalmazásával  
HU: -37 mm/hó



Évszakos átlagos csapadékösszeg: 1971-1975, nyár

Referencia adatbázis: CARPATCLIM

**RegCM4 futtatások  
a MEDCORDEX régióra  
(1981-2000)**

**Horizontális felbontás: 50 km**

**Validációs adatbázis: E-OBS**

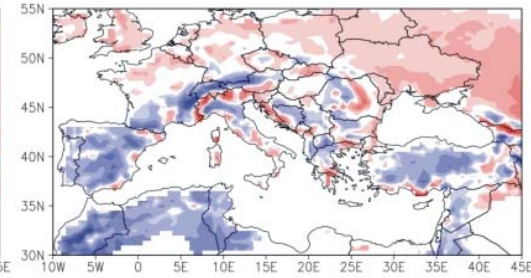
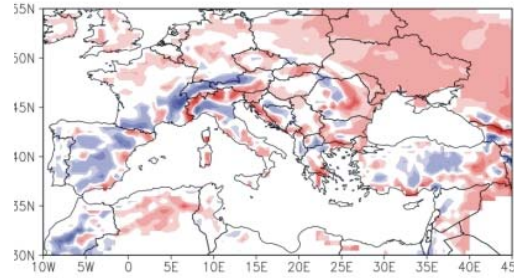
**Átlagos  
évszakos  
hőmérsékleti  
hibamezők**

**ICBC:  
ERA-Interim és  
HadGEM2  
1981-2000**

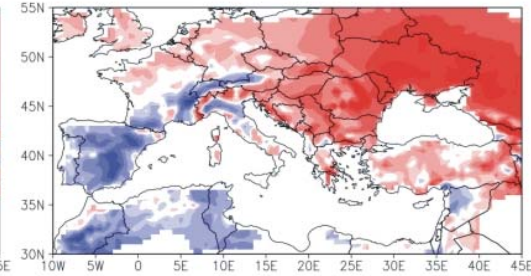
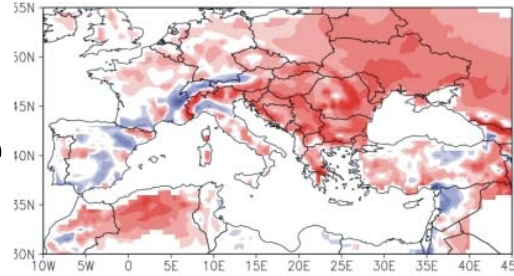
**ERA-Interim**

**HadGEM2**

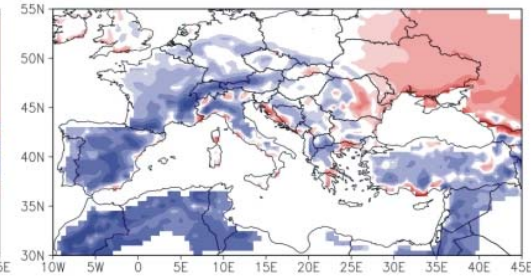
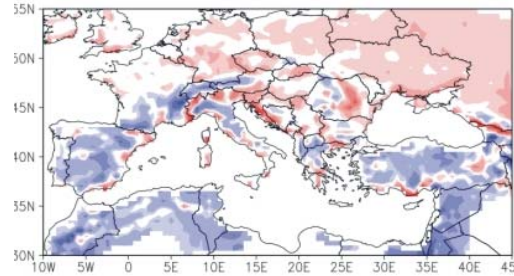
**Tavas**



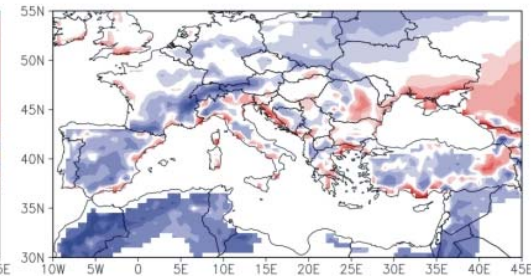
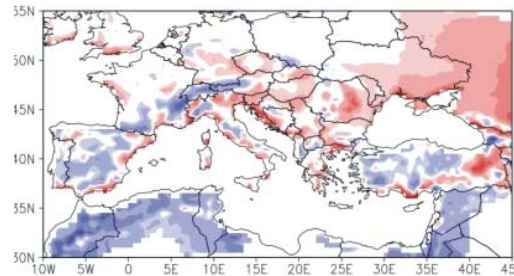
**Nyár**



**Ősz**



**Tél**



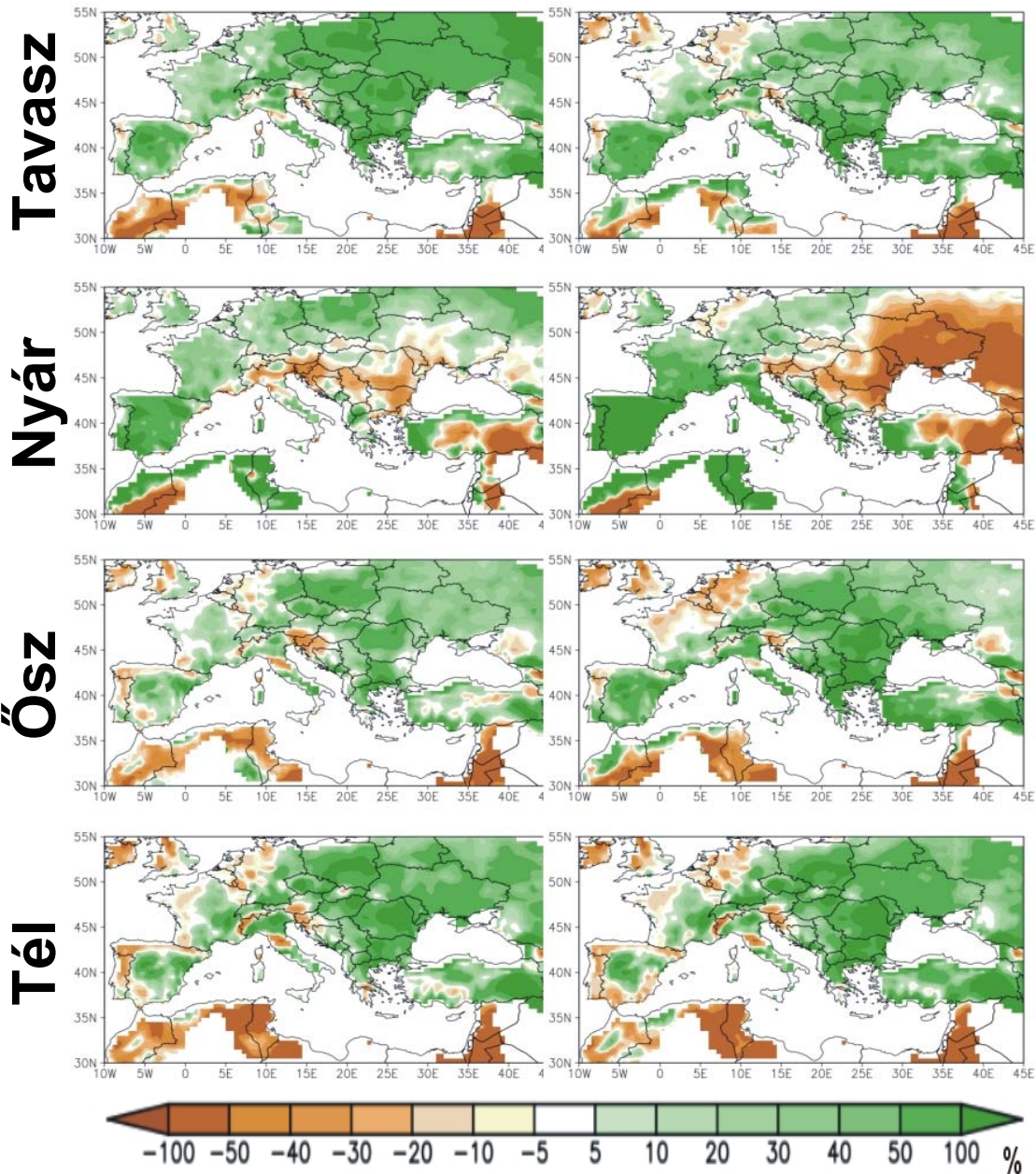
Forrás: Pieczka at al., 2014

# Átlagos évszakos csapadék hibamezők

ICBC:  
ERA-Interim és  
HadGEM2  
1981-2000

ERA-Interim

HadGEM2



Forrás: Pieczka at al., 2014

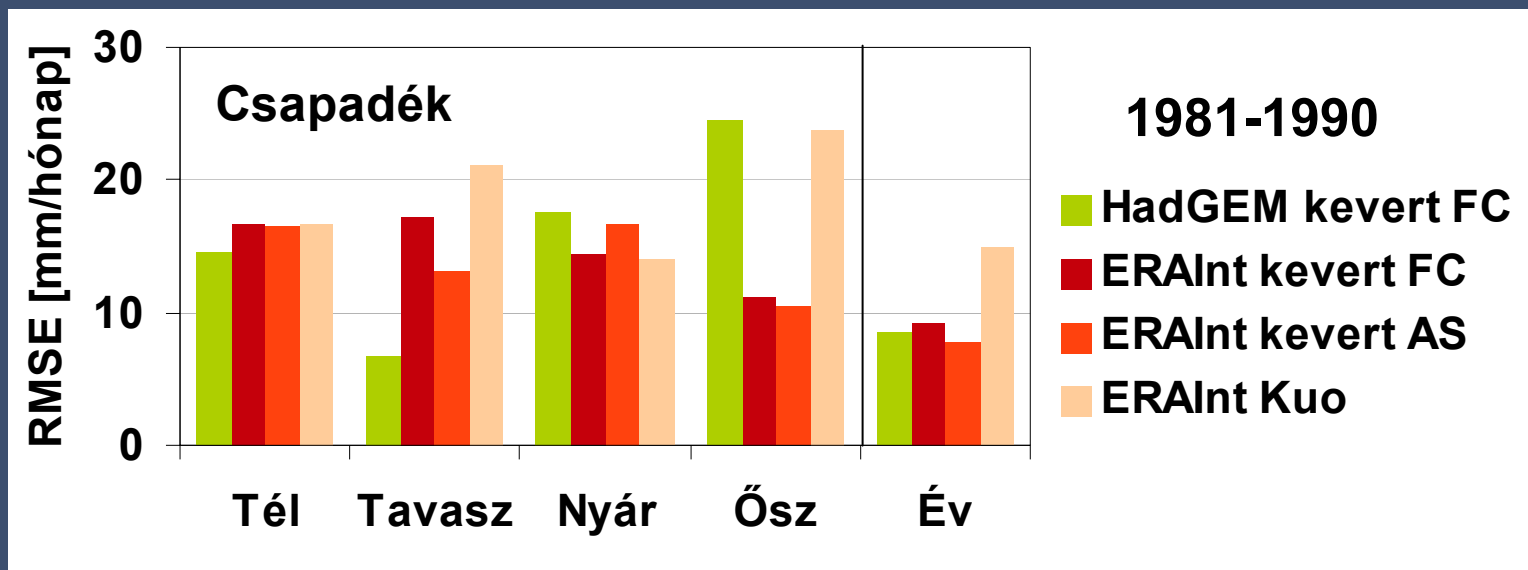
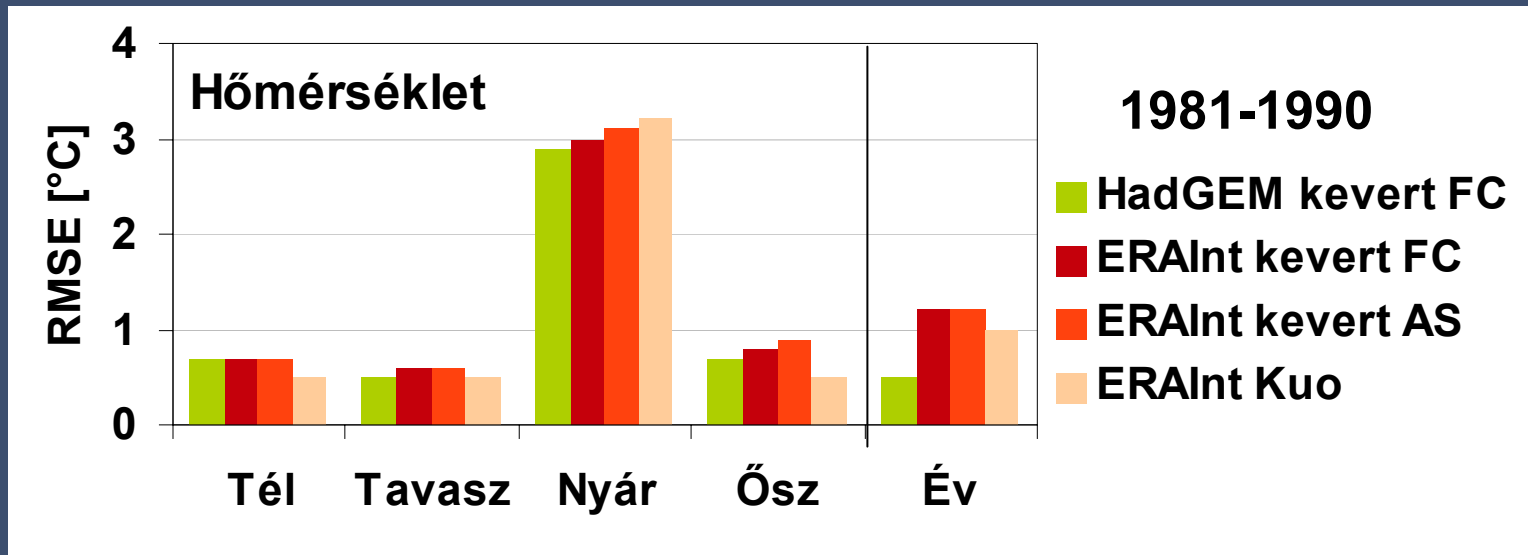


**RegCM4 futtatások  
a Kárpát-régióra  
(1981-1990)**

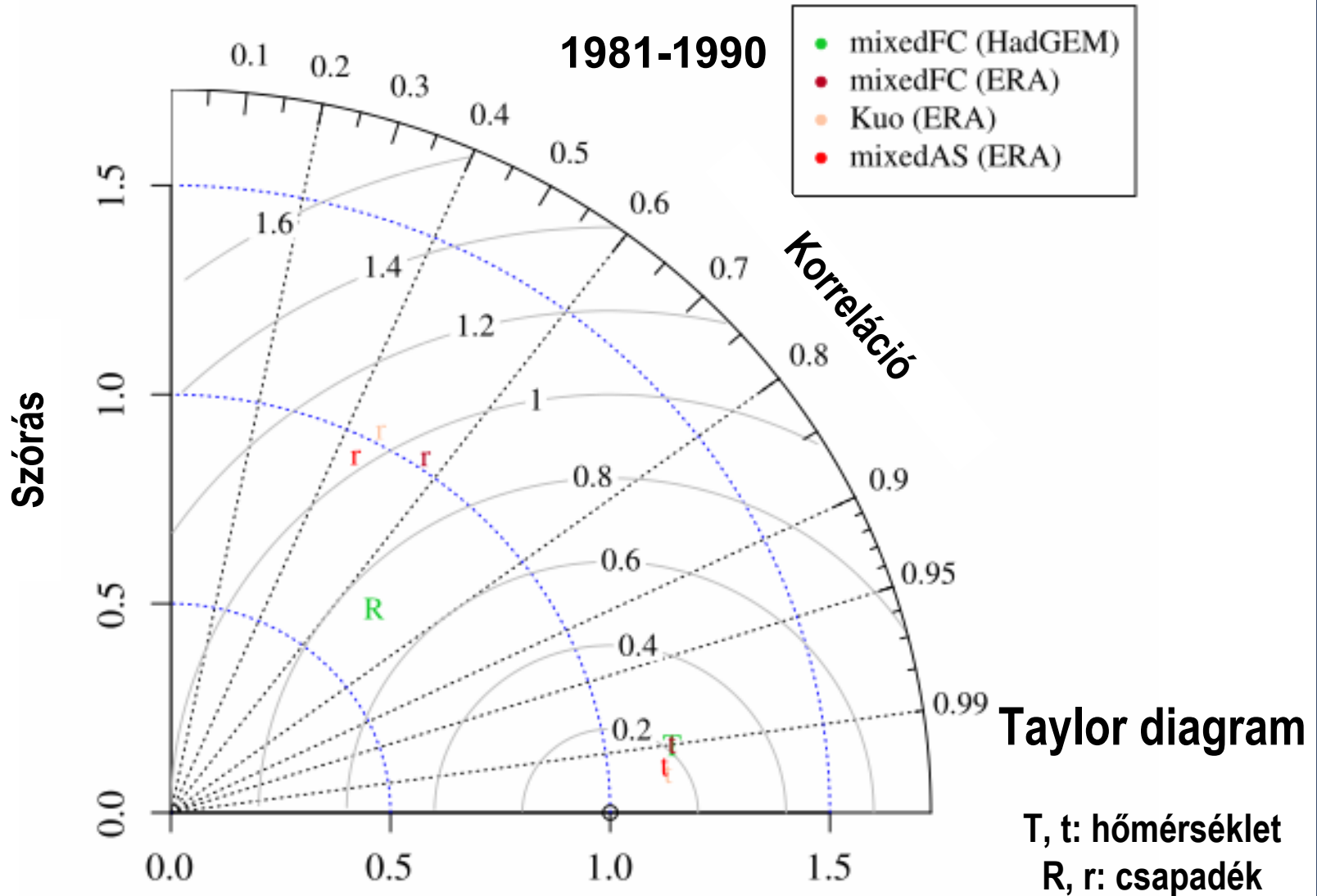
**Horizontális felbontás: 10 km**

**Validációs adatbázis: CARPATCLIM**

# A különböző alkalmazott csapadéksémák hatása: Magyarországi rácspontok átlagos hibamezőí



# A különböző alkalmazott csapadéksémák hatása: Magyarországi rácspontok átlagos hibája



# ÖSSZEFOGLALÁS

- Az ún. **subgrid** módszer alkalmazásával pontosabb eredményeket kaphatunk 10 km horizontális felbontásban
- **Kevert (Grell/Emanuel) csapadék séma** alkalmazásával összességében véve jobb egyezést kaptunk a referencia adatbázissal
- A RegCM4 jövőre vonatkozó futtatásai az **új RCP scenáriók** figyelembe véve adnak majd finom térbeli felbontású becslést a XXI. században Magyarországon várható éghajlati viszonyokra