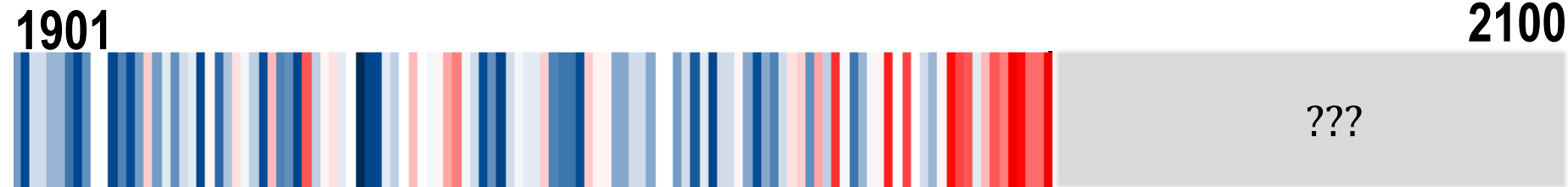


Éghajlati modellezés

Allaga-Zsebeházi Gabriella, Bán Beatrix, Megyeri-Korotaj Otília,
Suga Réka, Szépszó Gabriella

Klíma-modellező Csoport, Modellezési Osztály



Tartalom

1. Elméleti alapok
2. Éghajlati modellezés
3. Vizsgálatok az OMSZ-ban
4. „Miből áll egy munkanapunk?”

Bevezetés

Milyen tantárgyak keretében tanultatok az éghajlatváltozásról?

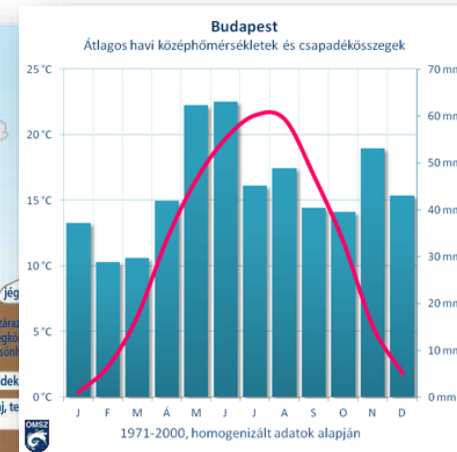
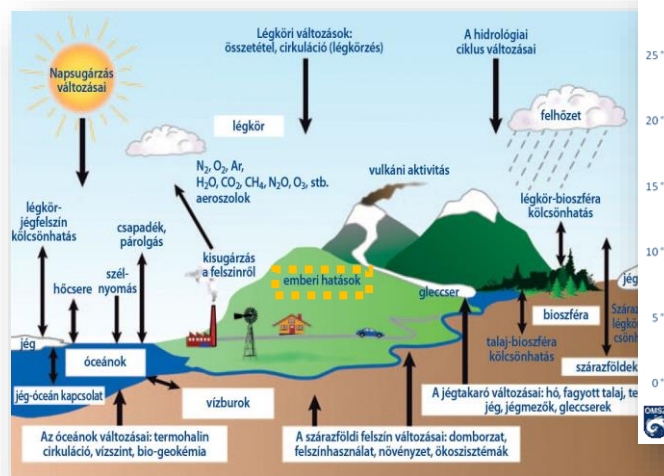
Hol/hogyan tájékozódtok a témában?

Szerintetek mit csinál egy klímamodellező?

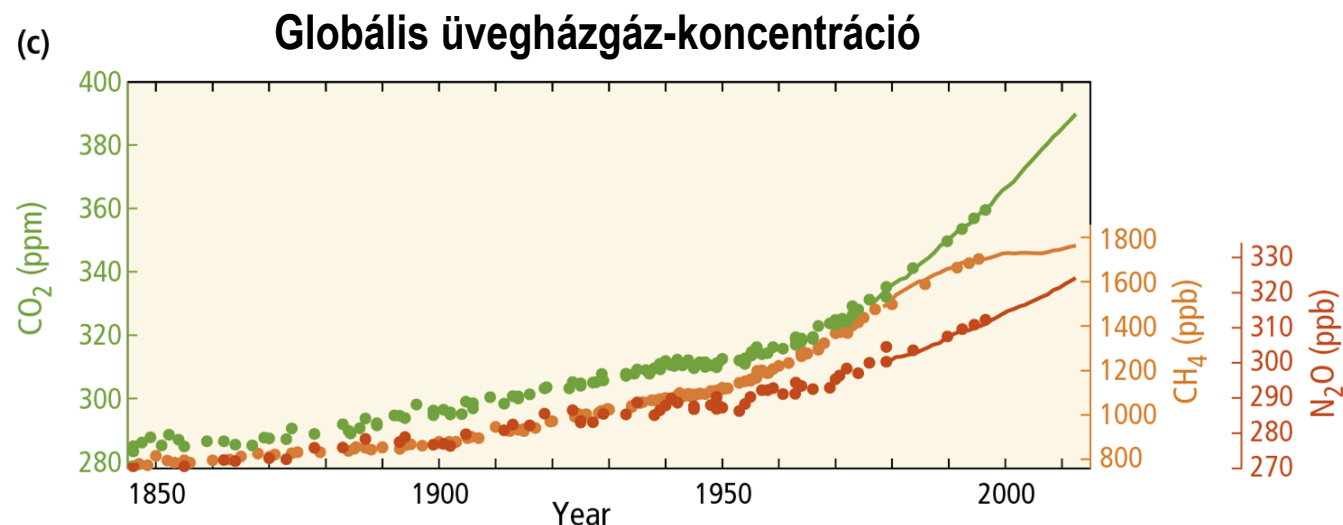
Éghajlat és éghajlatváltozás

Éghajlat

- Az éghajlati rendszer szokásos viselkedése
- A meteorológiai változók statisztikai jellemzőivel írjuk le (pl. átlag, eloszlás)



Miért változik?



A jövőbeli éghajlatváltozás vizsgálata

A hidro-termodinamikai egyenletrendszer

$$\frac{d\vec{V}}{dt} = -\frac{1}{\rho}\nabla p + \vec{g} - 2\vec{\Omega} \times \vec{V}$$

$$\frac{d\rho}{dt} = -\rho\nabla\vec{V}$$

$$\frac{dq}{dt} = -\frac{M}{\rho}$$

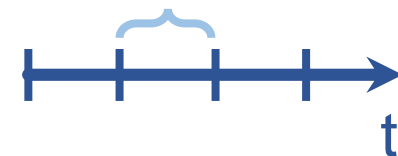
$$\frac{dT}{dt} = \frac{1}{\rho c_p} Q + \frac{RT}{\rho c_p} \frac{dp}{dt}$$

$$p = \rho RT$$

- A légköri folyamatok éghajlati „előrejelzése” hasonló módszerekkel történik, mint az időjárás előrejelzése
- Feladat: az egyenletrendszer megoldása
- A pontos megoldást csak közelíteni tudjuk
- Közelítések, például:



pl. 6 perc

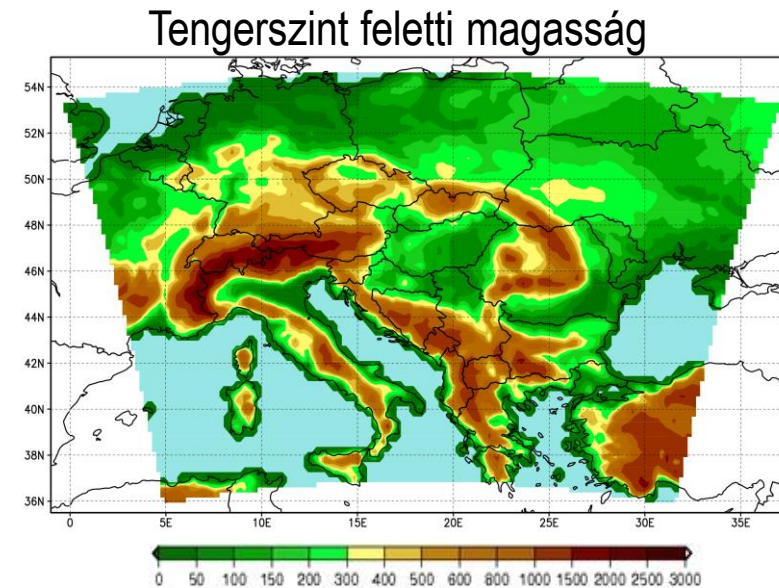


A modellezés erőforrásigénye

Háttér adatok:

- Horizontális felbontás: 10 km
- Horizontális rácspontok száma: $253 \times 203 = 51\,359$
- Modellszintek száma: 27
- Rácspontok száma összesen: $27 \times 51\,359 = \underline{1,4 \times 10^6}$ rácspont
- Időlépcső hossza: 30s
- Integrálás hossza: 150 év
- Időlépések száma összesen: $(150 \text{ év} \times 365 \text{ nap} \times 24 \text{ óra} \times 3600 \text{ másodperc}) / 30 = \underline{1,6 \times 10^7}$ időlépés

Egy regionális modell példája



A modellszimuláció elvégzése csak **szuperszámítógépen** lehetséges. Gyakorlatban:

- Processzorok száma: 384
- 1 év integrálás futási ideje: ~ 14,5 óra → 150 év: ~ 90 nap
- Tárhelyigénye: ~ 9,5 TB



Apollo szuperszámítógép

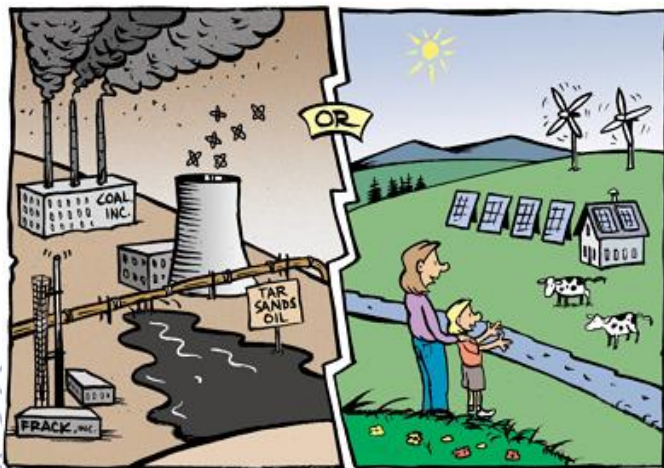
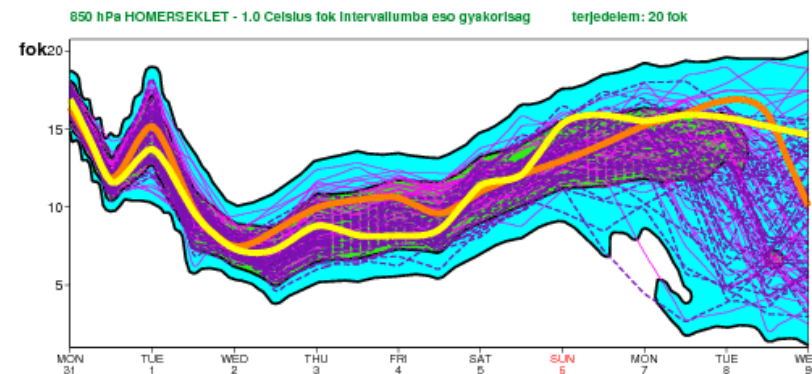
Előrejelzés 100 évre? Hogyan?

Időjárás előrejelzés

- a légköri folyamatok változását tekintjük
- Előrejelzés: pontos időbeli és térbeli leírás
- A kiindulási állapot meghatározása kulcsfontosságú

ECMWF 100 TAGU ENSEMBLE ELOREJELZES: Magyarország
DATUM: 20200831_00_utc Budapest LAT: 47.4 LONG: 19.2

0.5 - 10 % 10 - 30 % 30 - 50 % 50 - 100 %
DET12 DET00 EM12 EM00



Éghajlat „előrejelzése”

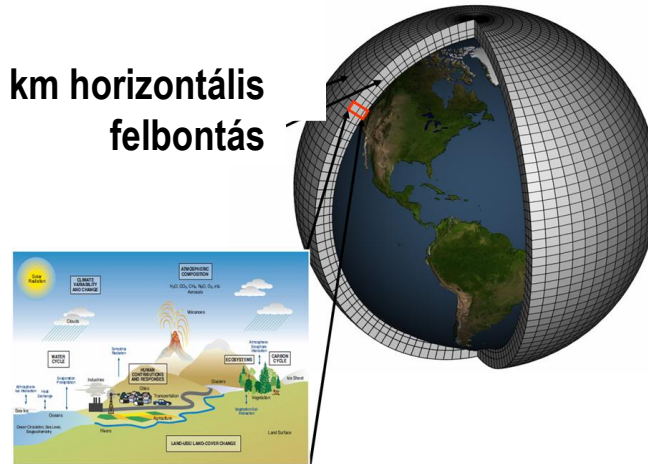
- A légkört a lassú folyamatok (pl. óceáni) kormányozzák → teljes éghajlati rendszert tekintjük
- Szokásos viselkedést írunk le (nem 2050 nyarának időjárása)
- Valamely kényszerre adott választ vizsgáljuk

Éghajlati modellek

Globális modellek

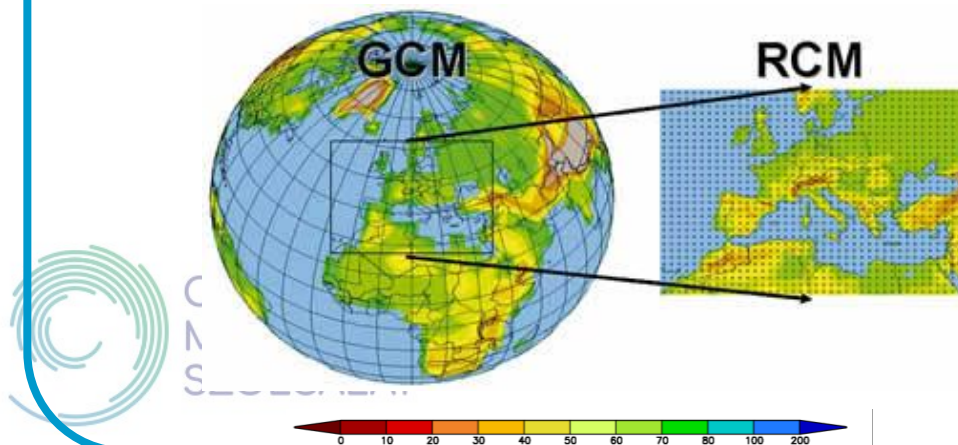
- Légtörő-óceáni modellek, Föld rendszer modellek, stb.
- Alkalmazás: az éghajlati rendszer válasza a megváltozott kényszerre

150-250 km horizontális felbontás



Regionális modellek

- Kisebb terület, finomabb felbontás (10-25 km) → folyamatok pontosabb leírása
- Alkalmazás: a globális információ finomítása, a lokális változások vizsgálata

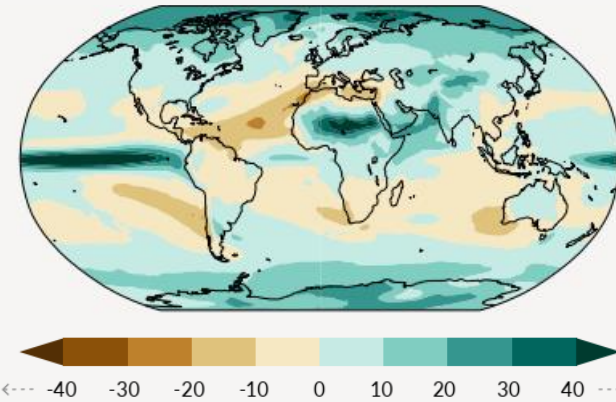


Éghajlati modellek

Globális modellek

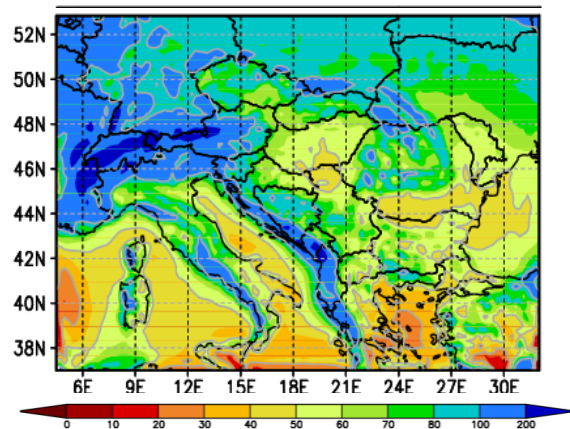
- Légtörri-óceáni modellek, Föld rendszer modellek, stb.
- Alkalmazás: az éghajlati rendszer válasza a megváltozott kényszerre

Csapadékváltozás (%) 2 °C globális hőmérséklet-változás esetén



Forrás: IPCC AR6 WGI SPM

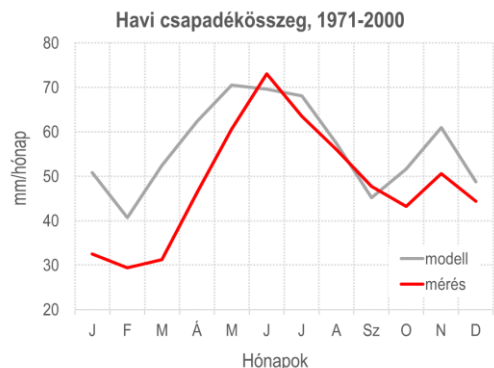
Átlagos évi csapadék [mm/hó]
1961–1990, regionális (25 km)



Regionális modellek

- Kiseb terület, finomabb felbontás (10-25 km) → folyamatok pontosabb leírása
- Alkalmazás: a globális információ finomítása, a lokális változások vizsgálata

A modellek alkalmazása



Validáció: a modelleredményeket mérésekkel vetjük össze. Elvárt pontosság: az éghajlati jellemzők megfelelő leírása (többtíz évet vizsgálva)

SZIMULÁCIÓ A MÚLTRA

Kényszer: légköri szennyező anyagok **megfigyelt** változása

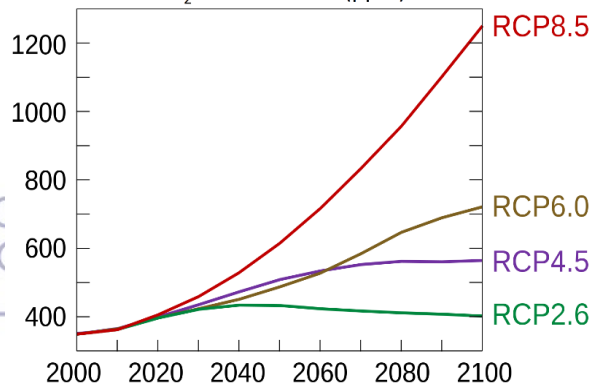
1950 1971 2000

SZIMULÁCIÓ A JÖVŐRE

Kényszer: légköri szennyező anyagok **forгатókönyvek** szerinti változása

2021 2050 2071 2100

CO₂ koncentráció (ppm)



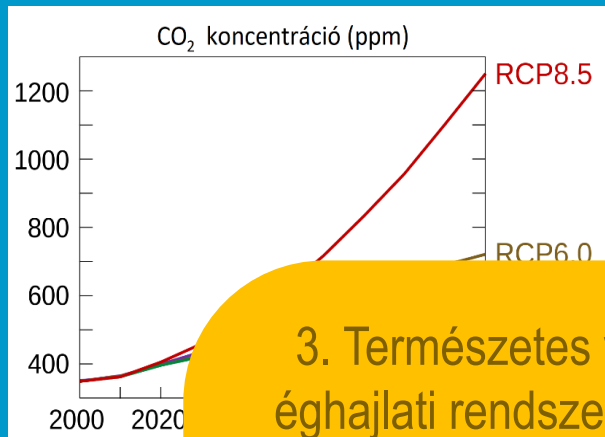
A jövőbeli időszakon az emberi tevékenység leírására **forгатókönyvekkel**.

Ha ... → ... akkor típusú kérdés. → **feltételes projekciók**

Egy modellszimuláció nem elég...

A modelleredmények bizonytalanságokkal terheltek

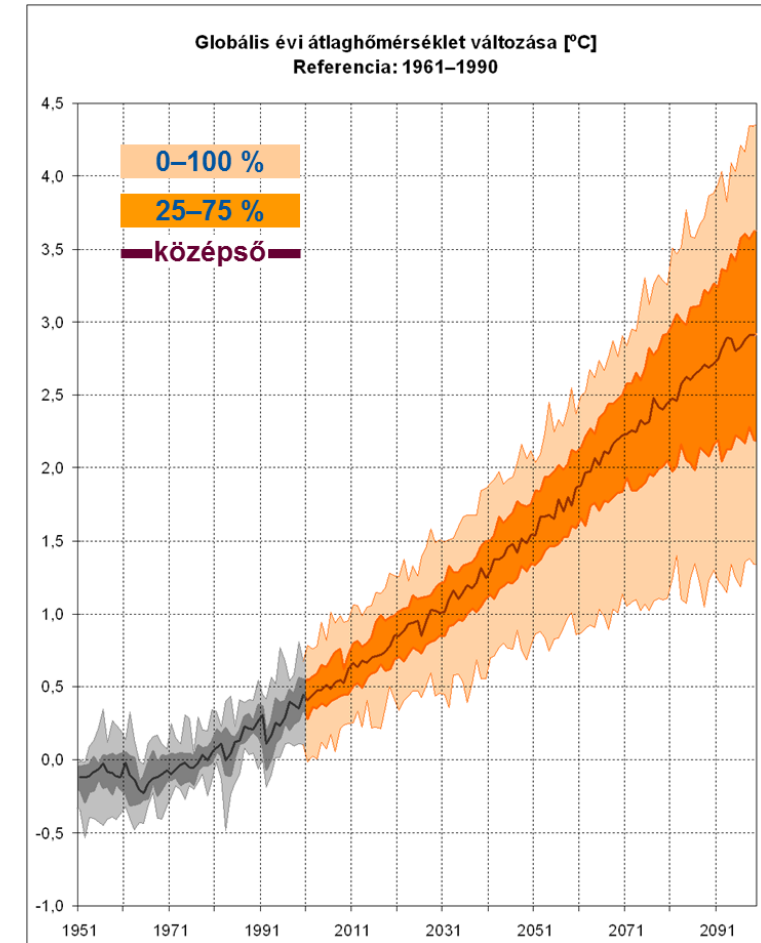
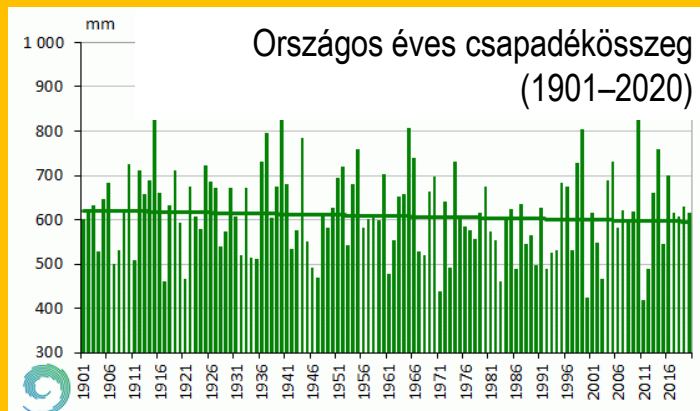
1. Jövőbeli gazdasági-társadalmi változások: csak feltételezések



2. Különböző modellek, különböző közelítő módszerek → eltérő eredmények



3. Természetes változékonyság: az éghajlati rendszer belső tulajdonsága

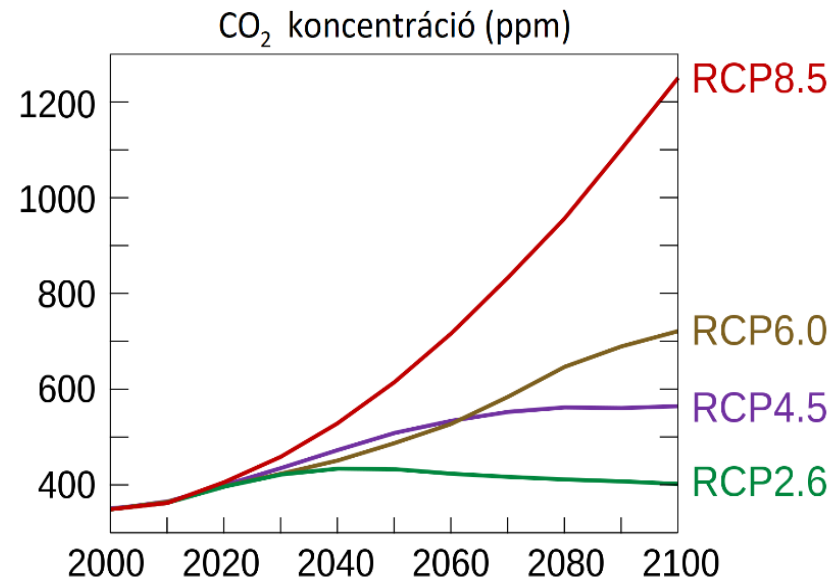


Ensemble technika: egy modellekísérlet helyett több, kismértékben különböző szimuláció

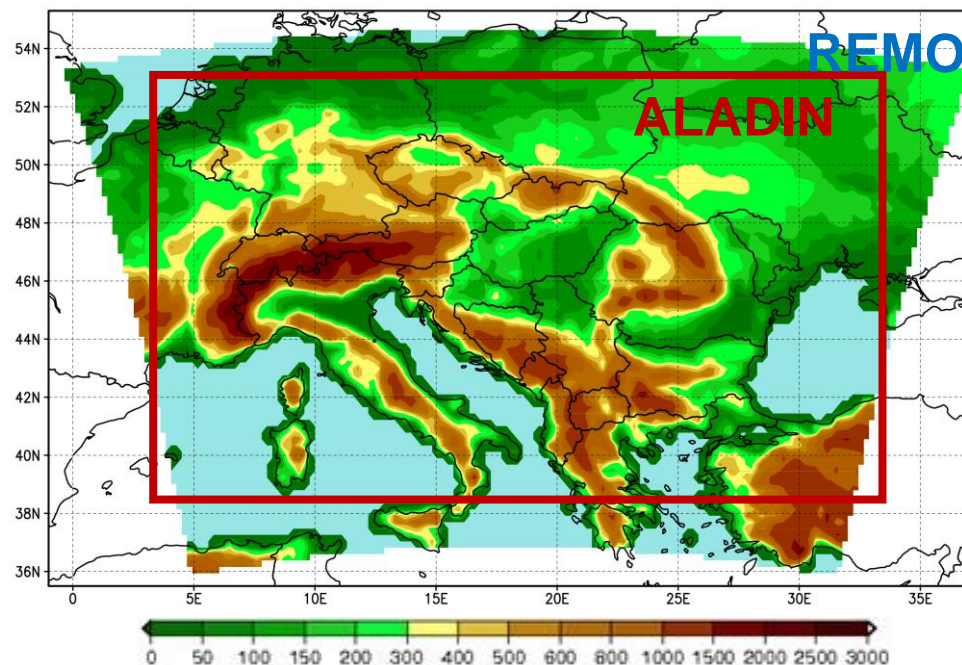


Modellkísérletek

Modell	Felbontás	Időszak	Forgatókönyv
ALADIN	10 km	1951–2100	RCP4.5, RCP8.5
REMO	10 km	1951–2100	RCP4.5, RCP8.5



- További vizsgálatok európai modelleredmények felhasználásával
- Jövőbeli változások vizsgálata: 2021–2050, 2071–2100
- Referencia: 1971–2000



Milyen vizsgálatokat végzünk?

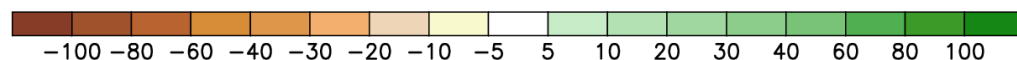
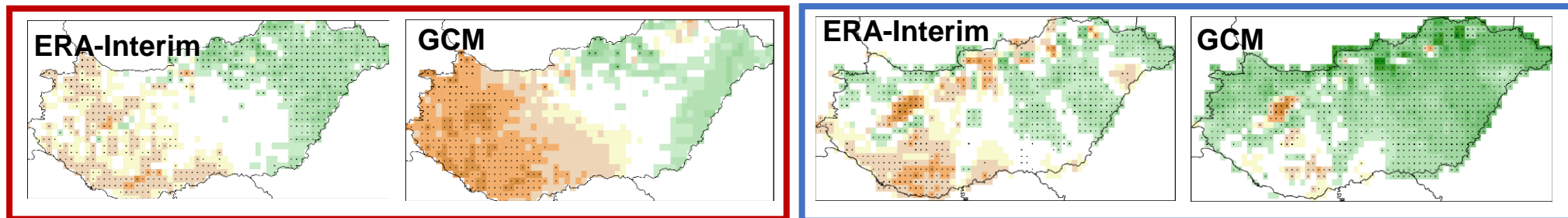
Hosszabb validációs vizsgálat (2 szimuláció, kétfajta határfeltétellel)

1. Re-analízis (kvázi-valóság) → információ a regionális modell hibájáról
 2. Globális klímamodell → információ a globális és regionális modell együttes hibájáról
- Kiértékelési időszak: 1981–2000
 - Referencia: rácsra interpolált megfigyelés (CarpatClim-Hu)

ALADIN

Téli csapadékmennyiség eltérése [mm/hónap], 1981-2000

REMO



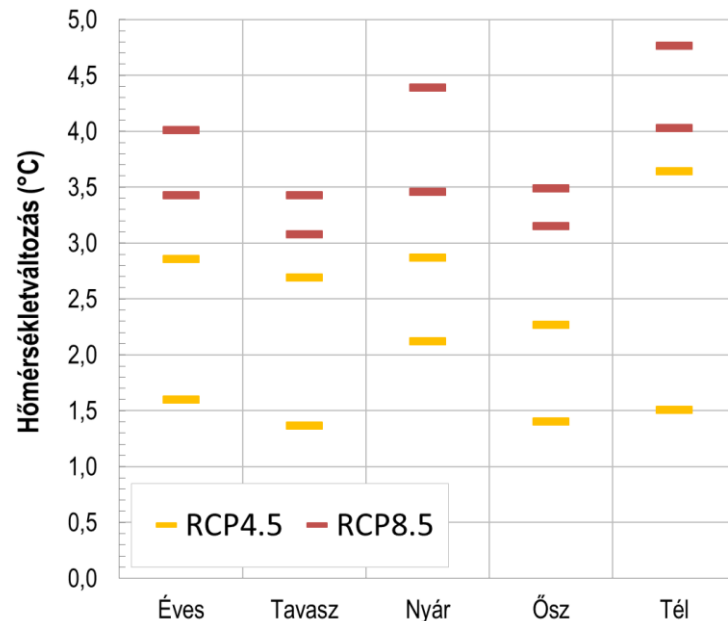
Bán B., Megyeri-Korotaj O., Suga R.

Milyen vizsgálatokat végzünk?

Éghajlati projekció

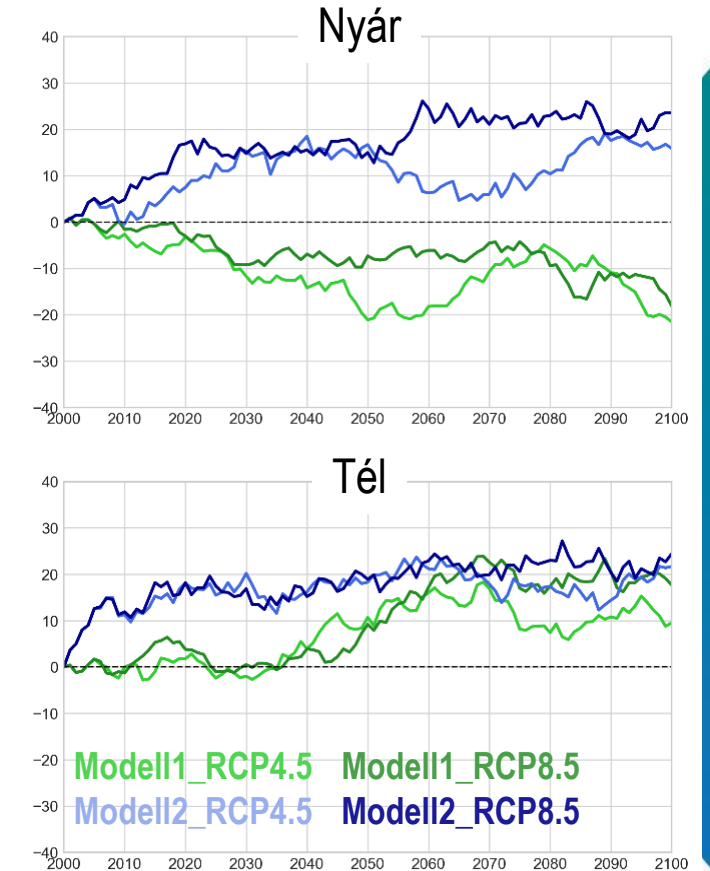
- Szimulációs időszak: 1950–2100
- Referencia: a modell múltbeli állapota

Éves és évszakos hőmérséklet-változás intervalluma 4 modell alapján Magyarországon. Időszak: 2071–2100.



- Legnagyobb változás nyáron és télen
- Nagyobb kibocsátás, nagyobb melegedés

Magyarországi nyári és téli relatív csapadékváltozás (%)

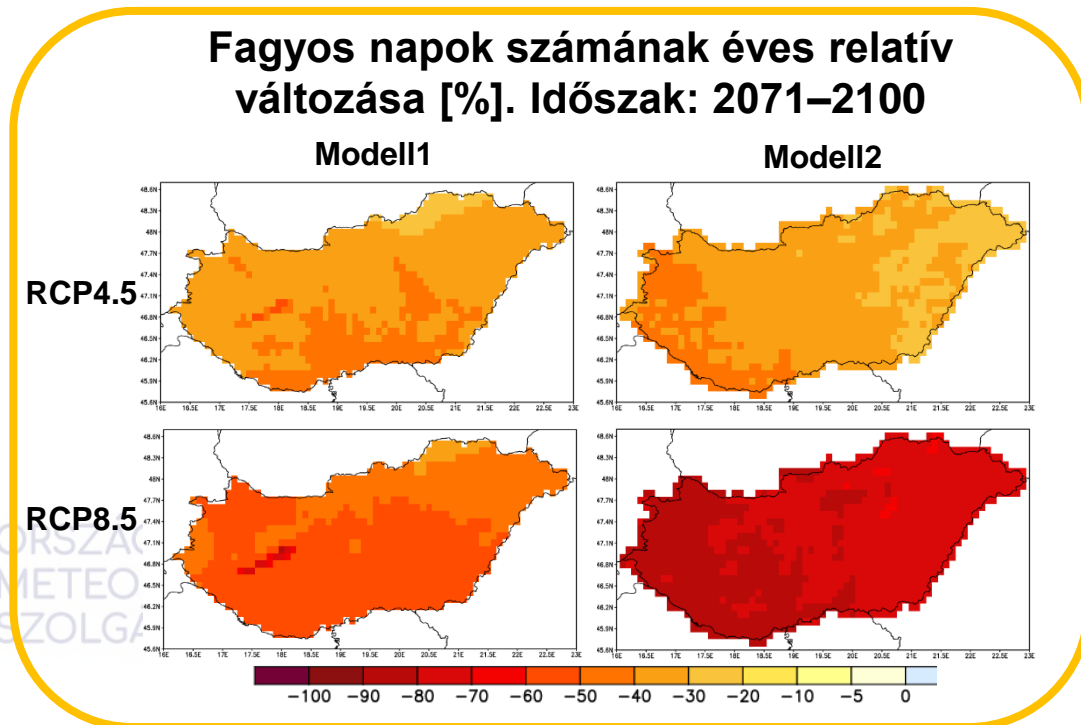


- Télen növekvő csapadék (10-20% század végére)
- Nyáron hasonló mértékű növekedés és csökkenés

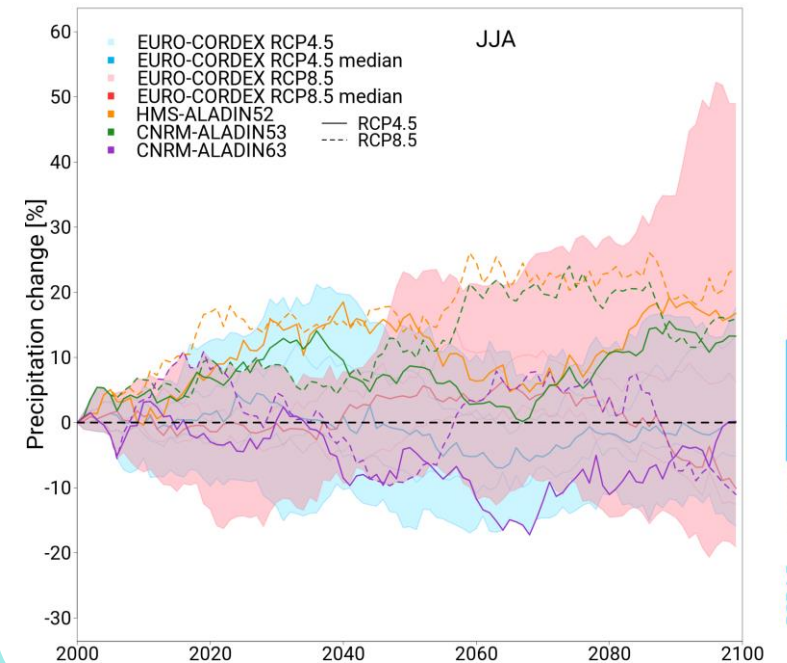
Milyen vizsgálatokat végzünk?

4. A modelleredmények utófeldolgozása

- Az eredményeket rendszerezjük, kiértékeljük (minden lépésben)
- Különböző statisztikákat, térképeket, grafikonokat készítünk
- Származtatott változókat számítunk (pl. éghajlati indexek)
- Az eredményeinket összevetjük az európai eredményekkel is



Nyári csapadékösszeg változása [%] a 2000-2100 időszakon az európai, valamint az ALADIN modell eredményei alapján

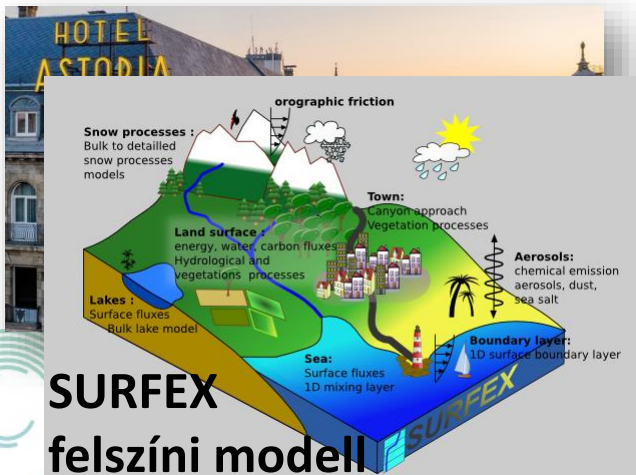


A modelleredmények felhasználása

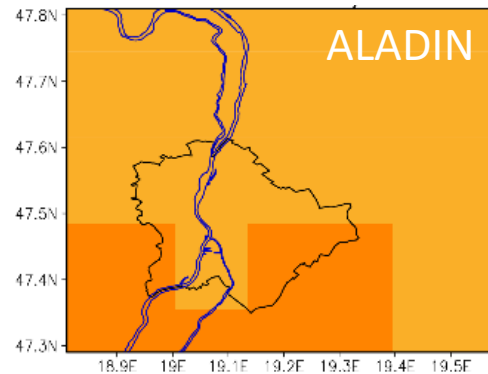
A jövőbeli éghajlatváltozással kapcsolatos célkitűzés:

- Mérsékelni a változást (elsősorban kibocsátás-csökkentés)
- Alkalmazkodni az elkerülhetetlen változásokhoz
- A klímamodellek csak meteorológiai információt adnak. De azt is tudnunk kell, hogy az éghajlatváltozás hogyan hat a társadalomra, iparra, gazdaságra, stb.

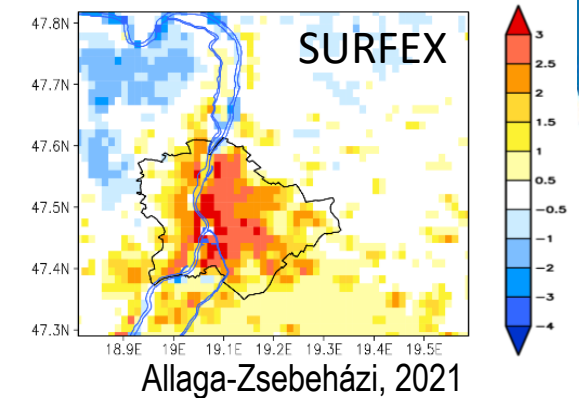
Pl: Milyen hatást gyakorol a klímaváltozás a városokra?



2-m hőmérséklet-változás nyáron (°C)
2071–2100



A városi területek többlethőmérséklete (°C)
a vidék átlaghőmérsékletéhez képest,
nyáron éjszaka, 2071–2100



Allaga-Zsebeházi, 2021

A városi modelleredmények tovább használhatók: pl. mit kell tenni ahhoz, hogy a negatív hatásokat (pl. hőszigetet nyáron) mérsékeljük?

A KlimAdat adatbázis (<https://klimadat.met.hu>)

- Magyarországra és Budapestre vonatkozó, méréseken és modelleredményeken alapuló éghajlati adatbázis és megjelenítő rendszer (térképek és grafikonok)
- Lefedett időszak: 1971–2020 (mérések), 2021–2100 (modelleredmények)

Modelladatok:

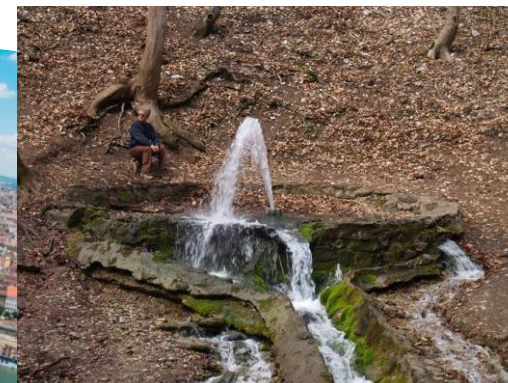
- Magyarországra 4 regionális éghajlati projekció alapján (modellekből és forgatókönyvekből származó bizonytalanság) 0,1 fokos felbontásban (kb. 10 km)
- Budapestre 2 városi éghajlati projekció alapján (forgatókönyvekből származó bizonytalanság) 0,01 fokos felbontásban (kb. 1 km)
- Jövőbeli éghajlatváltozási eredmények megjelenítése:
 - Jövőbeli átlagos értékek a modellkísérletek kvantilisei (minimum, medián, maximum) alapján
 - Adott változás irányának és mértékének valószínűsége (csak Magyarországra)

Mit csinálunk a kutatás mellett?

Együttműködünk más szervezetekkel, információt és szolgáltatást nyújtunk számos vizsgálathoz



Hogyan érinti a klímaváltozás az egyes területeket?



Többszöri egyeztetés a felhasználókkal, új paraméterek előállítása (pl. hidrológiai modellezéshez potenciális evapotranszpiráció)

Mit csinálunk a kutatás mellett?

Eredményeinket hazai és nemzetközi konferencián, publikációkban mutatjuk be



45. Meteorológiai Tudományos Napok

A Magyar Tudományos Akadémia Földtudományok Osztálya Meteorológiai Tudományos Bizottság



European Meteorological Society

Adv. Sci. Res., 18, 157–167, 2021
https://doi.org/10.5194/asr-18-157-2021
© Author(s) 2021. This work is distributed under the Creative Commons Attribution 4.0 License.



Article Metrics Related articles

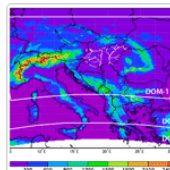
Download

- ▶ Article (15226 KB)
- ▶ Full-text XML
- ▶ BibTeX
- ▶ EndNote

22 Sep 2021

Short summary

10-year long sensitivity study on domain size was performed with REMO regional climate model. We...
▶ Read more



Share



f(+) Turn MathJax on

Sections

Sensitivity study of the REMO regional climate model to domain size

Réka Suga, Otilia A. Megyeri-Korotaj, and Gabriella Allaga-Zsebeházi
Hungarian Meteorological Service (OMSZ), Budapest, 1024, Hungary

Correspondence: Réka Suga (suga.r@met.hu)

Received: 15 Jan 2021 – Revised: 01 Sep 2021 – Accepted: 02 Sep 2021 – Published: 22 Sep 2021

Impacts of different RCP scenarios on ALADIN-Climate regional climate model projections over Hungary

Beatrix Bán (ban.b@met.hu) and Gabriella Zsebeházi
Regional Climate Modelling Group
Hungarian Meteorological Service, Budapest

EGU 2020; Sharing Geoscience Online
4–8 May 2020

SZÉCHENYI 2020

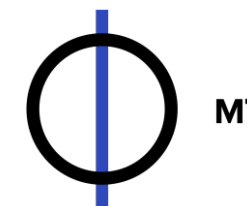
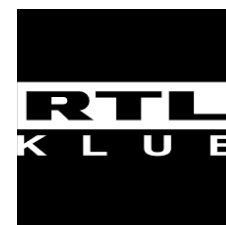
HUNGARIAN METEOROLOGICAL SERVICE KLIMADAT HUNGARIAN GOVERNMENT European Union Cohesion Fund INVESTING IN YOUR FUTURE

Mit csinálunk a kutatás mellett?

Ismeretterjesztő előadásokat tartunk,
cikkeket írunk, interjút adunk.
Oktatunk egyetemen (ELTE, BME),
képzést adunk szakmai szervezeteknek.
Szakdolgozati/diplomamunka témát
vezetünk.



Múzeumok
Éjszakája



Milyen elméleti és gyakorlati ismeretekre van szükség munkánkhoz?

- ✓ Dinamikus meteorológia, éghajlatlan, statisztika, matematika alapos ismerete
- ✓ A modellezéshez elengedhetetlen az elméleti háttér ismerete is (Numerikus modellezés)



```
typeset -Z2 MONTH=$2
typeset -Z2 nap=$3
typeset -Z2 ora=$4
NPASS=$5
step=3

INPUT=${HOME}/forcing_bp
OUTPUT=${HOME}/surfex_out_bp
WORKDIR=/vol002/zsebehazi/SURFEX/ALADIN52_ARP_1960-2005/work/budapest/surfex

if [[ ! -d "$WORKDIR" ]]; then mkdir -p $WORKDIR; fi
if [[ ! -d "$OUTPUT/${YEAR}/${MONTH}" ]]; then mkdir -p $OUTPUT/${YEAR}/${MONTH}; fi

cd $WORKDIR
rm $WORKDIR/*

echo $YEAR $MONTH $nap $ora > datum.dat

DAY="/home/zsebehazi/myprograms/MAXIMUM.scr $YEAR $MONTH"
MAXSTEP=$(( DAY * 24. / step ))      ### forcing timestep

if [[ $NPASS -eq 1 ]]; then
  MSTEP=$(( MAXSTEP ))
  XTIME=$(( step * 3600. ))
fi
```

- ✓ Alap programozási ismeret
- ✓ A modellek Fortran programnyelven íródtak, azokat shell scripttekkel futtatjuk
- ✓ A feldolgozásban Grads, cdo, R, programokat használunk

Minden megtanulható

1901-2018

2019-2100

MODELL 1

Köszönöm szépen a
figyelmet!

Elérhetőség: klimadinamika@met.hu
zsebehazi.g@met.hu

Honlap: www.met.hu/RCM