

# Éghajlati modellezés

**Zsebeházi Gabriella**

Bán Beatrix, Király Andrea, Megyeri Otília Anna, Suga Réka

Klímamodellező Csoport, Modellezési Osztály  
Országos Meteorológiai Szolgálat



ELTE meteorológus BSc. nyári terepgyakorlat  
2020. szeptember 2.

# Bevezetés

---

Milyen tantárgyak keretében tanultatok az éghajlatváltozásról?

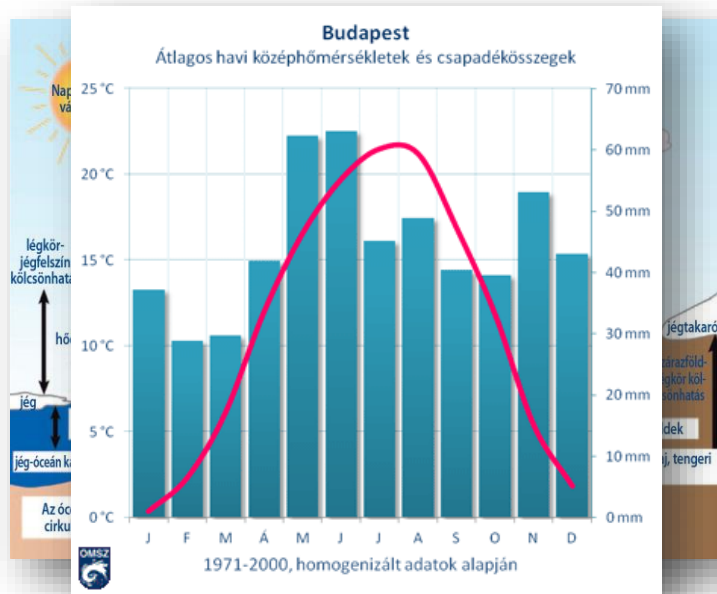
Milyen kérdések foglalkoztatnak leginkább az éghajlatváltozással kapcsolatban?

Szerintetek mit csinál egy klímamodellező?

# **Elméleti alapok**



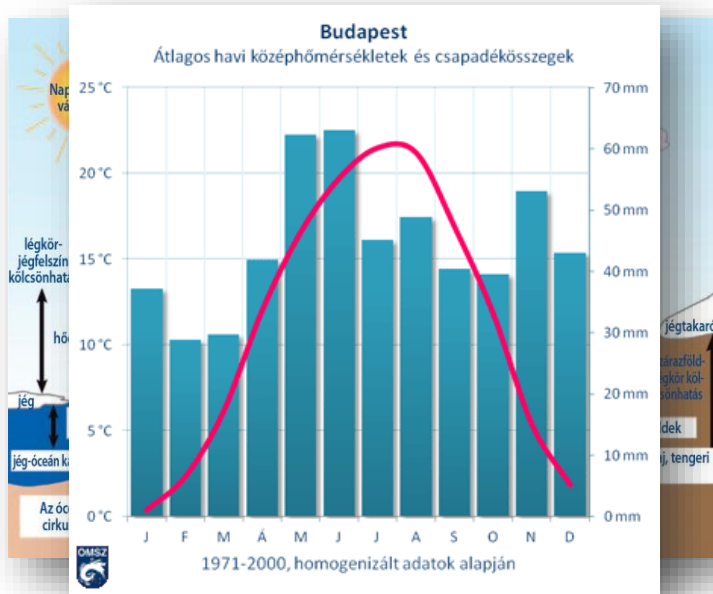
# Éghajlat és éghajlatváltozás



## Éghajlat

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

# Éghajlat és éghajlatváltozás



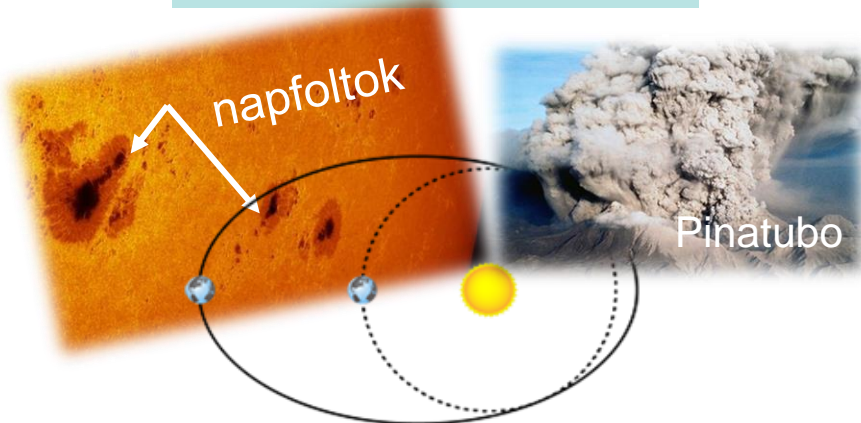
## Éghajlat

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

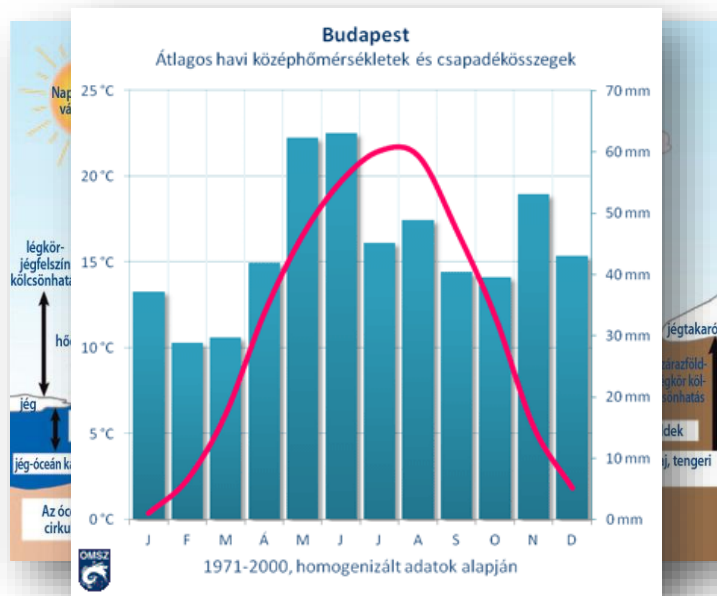
## Miért változik?

Természetes tényezők

Emberi tényezők



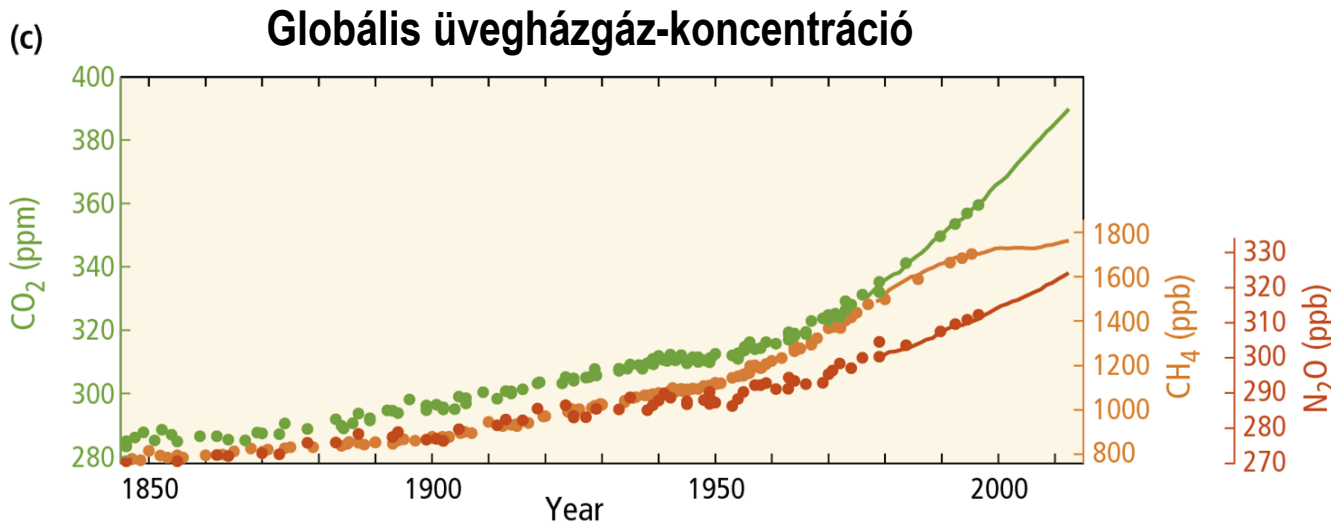
# Éghajlat és éghajlatváltozás



## Éghajlat

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

Miért változik?



# A jövőbeli éghajlatváltozás modellezéssel vizsgálható

## A hidro-termodinamikai egyenletrendszer

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

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

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

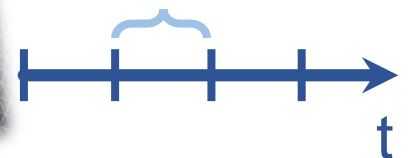
$$\frac{dT}{dt} = \frac{1}{\rho c_p} Q + \frac{RT}{\rho c_p} \frac{dp}{dt}$$

$$p = \rho RT$$

- 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



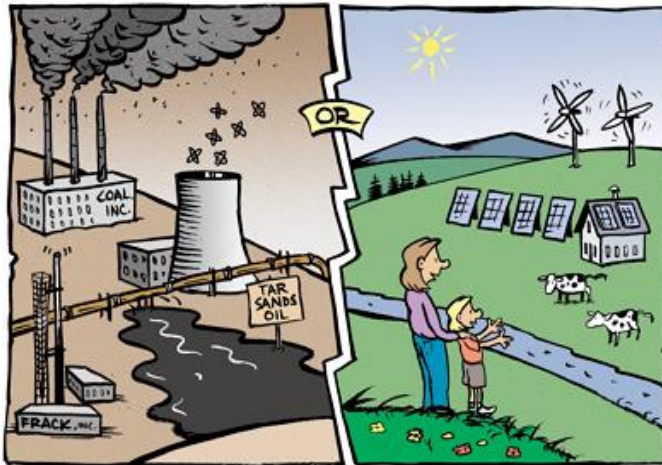
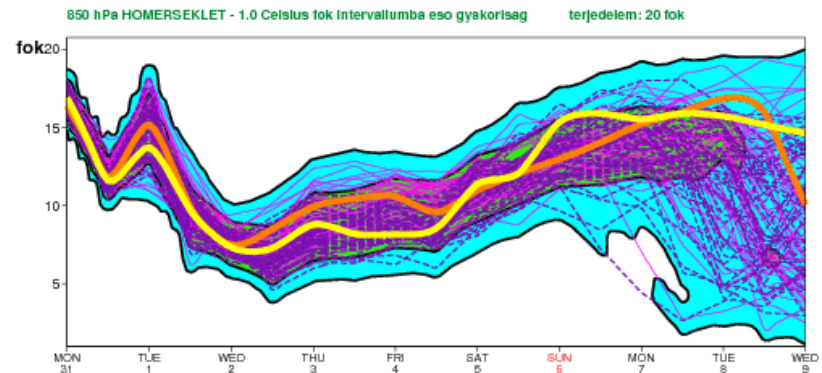


# Előrejelzés 100 évre? Hogyan?

## 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



## Éghajlat „előrejelzése”

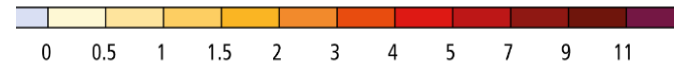
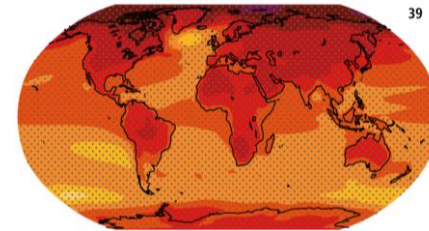
- A légkört a lassú folyamatok (pl. óceáni) kormányozzák → teljes éghajlati rendszert tekintjük
- Szokásos viselkedést írunk le (nem 2050 nyarának időjárása)
- Valamely kényszerre adott választ vizsgáljuk

# Éghajlati modellek

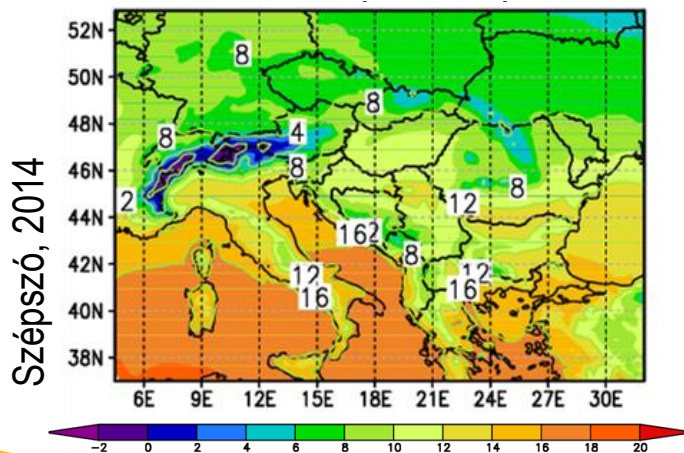
## Globális modellek

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

## A globális átlaghőmérséklet változása [°C] 2081–2100-ra



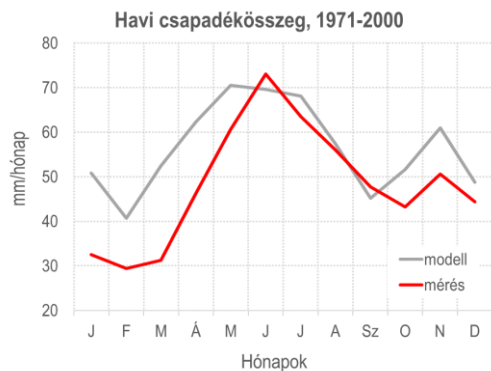
## Átlaghőmérséklet [°C], 1961–1990 Regionális (25 km)



## 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 (legalább 30 évet vizsgálva)



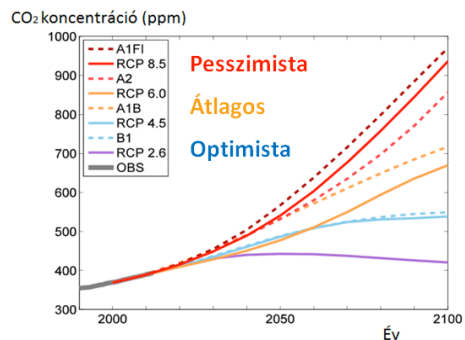
## SZIMULÁCIÓ A MÚLTRA

**Kényszer:** légköri szennyező anyagok **megfigyelt** változása



## SZIMULÁCIÓ A JÖVŐRE

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



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

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

# A modellezés erőforrásigénye

## *Egy regionális modell példája*

### 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

A modellszimuláció elvégzése csak szuperszámítógépen lehetséges.

Gyakorlatban:

- Processzorok száma: 384
- 1 év integrálás futási ideje: ~ 14,5 óra → 150 év: ~ 90 nap
- Tárhelyigénye: ~ 40 TB

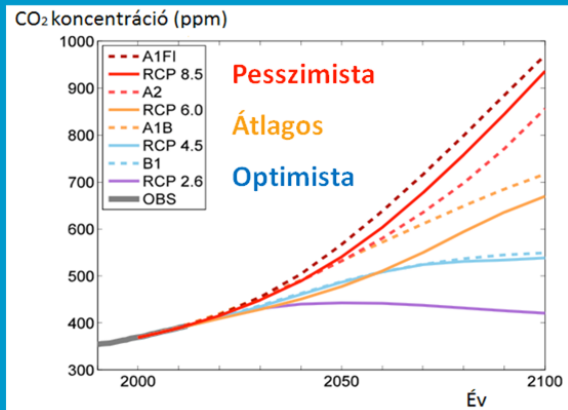


Apollo szuperszámítógép

# Egy modellszimuláció nem elég...

A modelleredmények bizonytalanságokkal terheltek

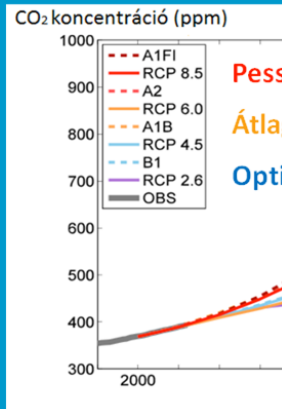
## 1. Jövőbeli gazdasági-társadalmi változások: csak feltételezések



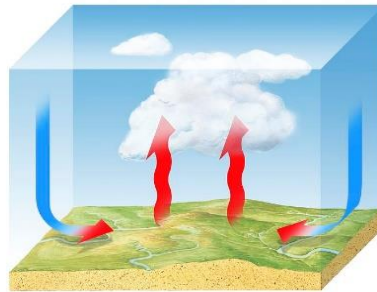
# Egy modellszimuláció nem elég...

A modelleredmények bizonytalanságokkal terheltek

1. Jövőbeli gazdasági-társadalmi változások: csak feltételezések



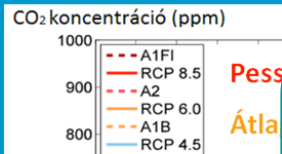
2. Különböző modellek,  
különböző közelítő módszerek →  
eltérő eredmények



# Egy modellszimuláció nem elég...

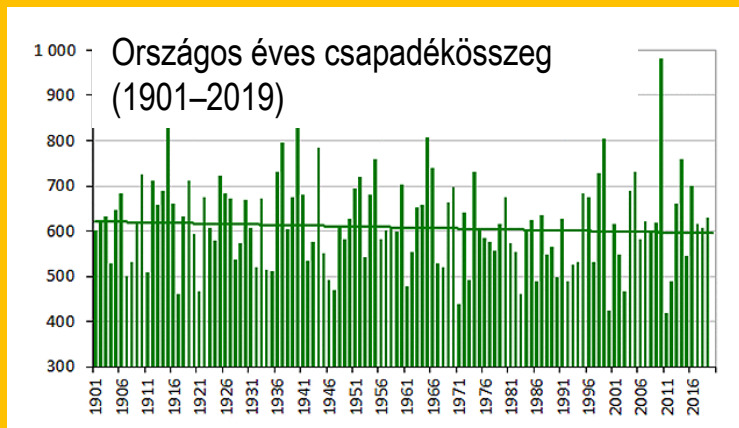
A modelleredmények bizonytalanságokkal terheltek

1. Jövőbeli gazdasági-társadalmi változások: csak feltételezések



2. Különböző modellek,  
különböző közelítő módszerek →

3. Természetes változékonyság: az éghajlati rendszer belső tulajdonsága

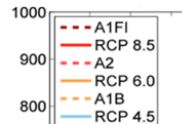


# Egy modellszimuláció nem elég...

A modelleredmények bizonytalanságokkal terheltek

1. Jövőbeli gazdasági-társadalmi változások: csak feltételezések

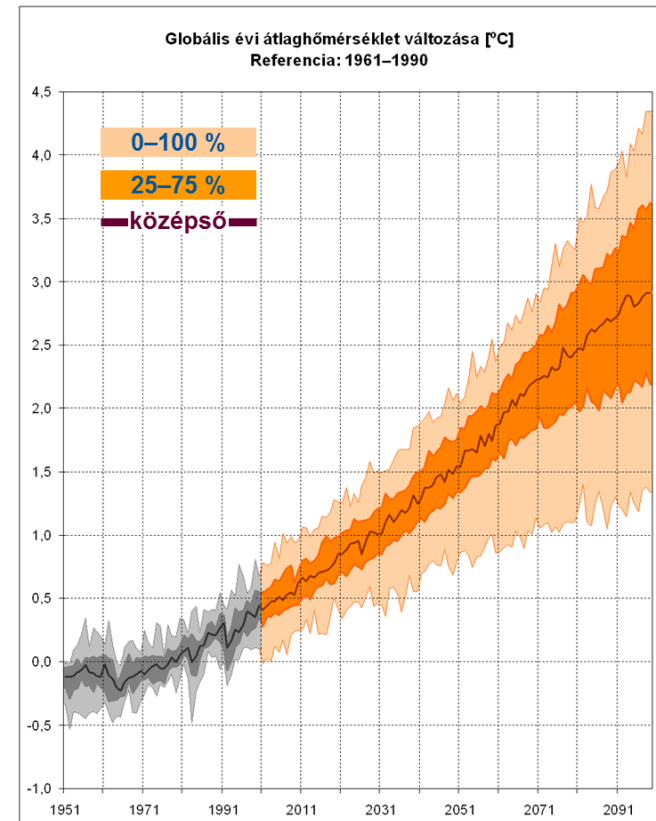
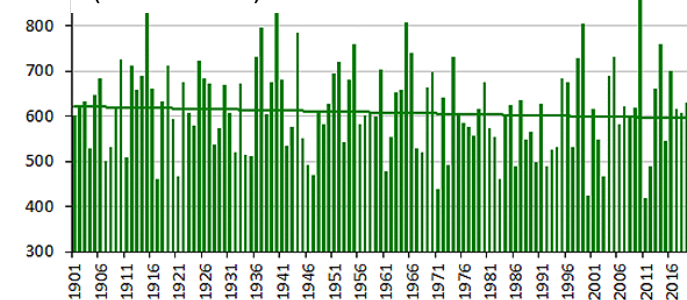
CO<sub>2</sub> koncentráció (ppm)



2. Különböző modellek, különböző közelítő módszerek →

3. Természetes változékonyság: az éghajlati rendszer belső tulajdonsága

Országos éves csapadékösszeg (1901–2019)

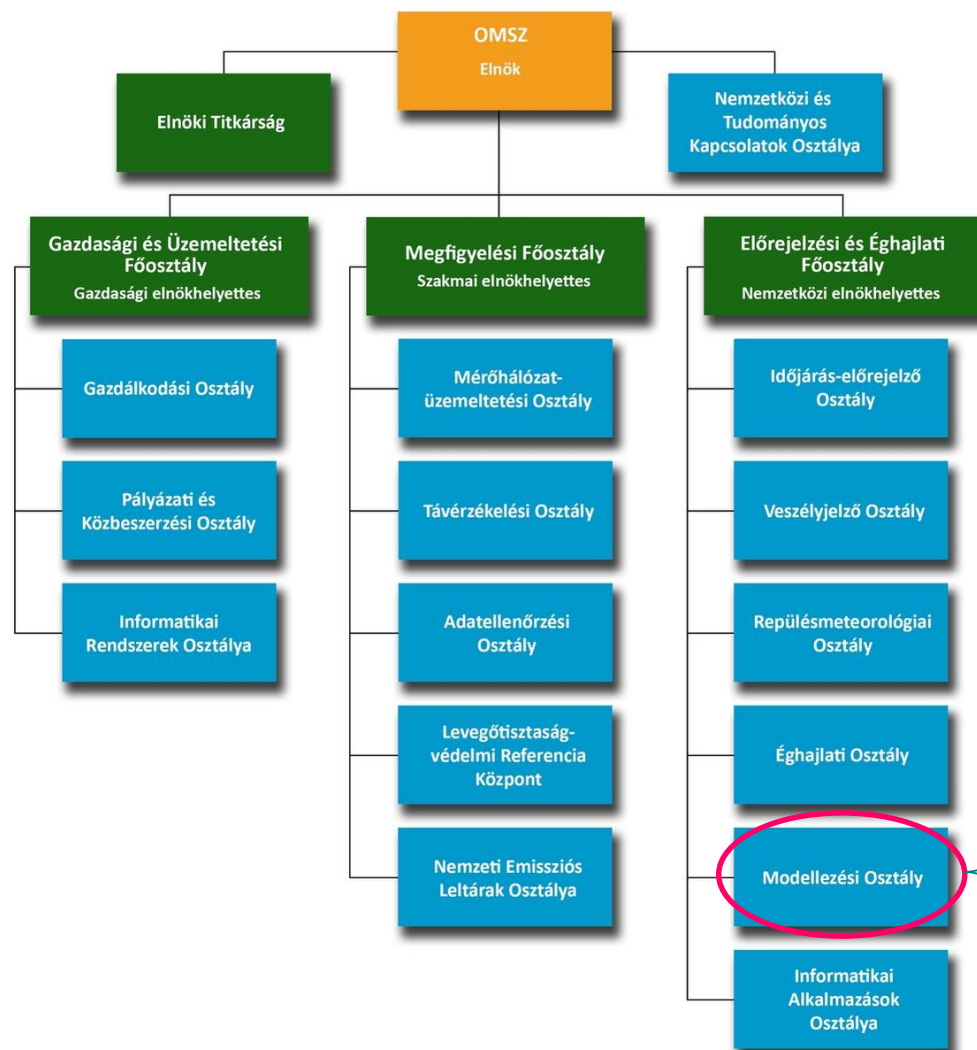


**Ensemble technika:** egy modellkísérlet helyett több, kismértékben különböző szimuláció



# **Klímodellezés az OMSZ-ban**

# A Klímamodellező Csoport



## Klímamodellező Csoport

Bán Beatrix

Király Andrea

Megyeri Otília Anna

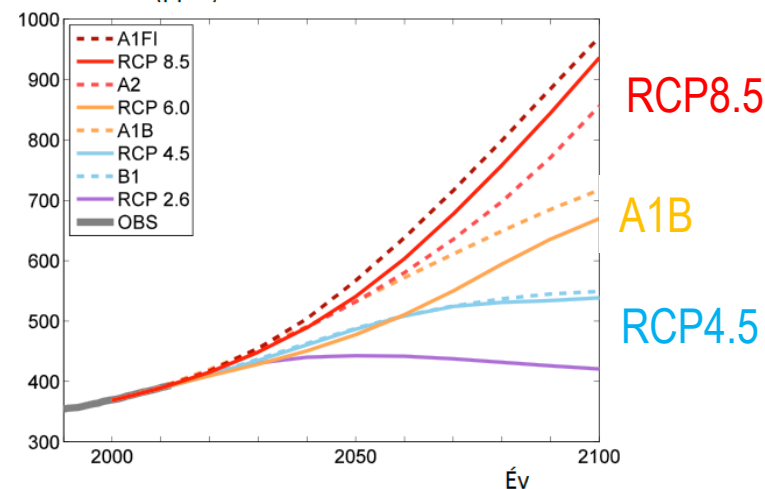
Suga Réka

Zsebeházi Gabriella

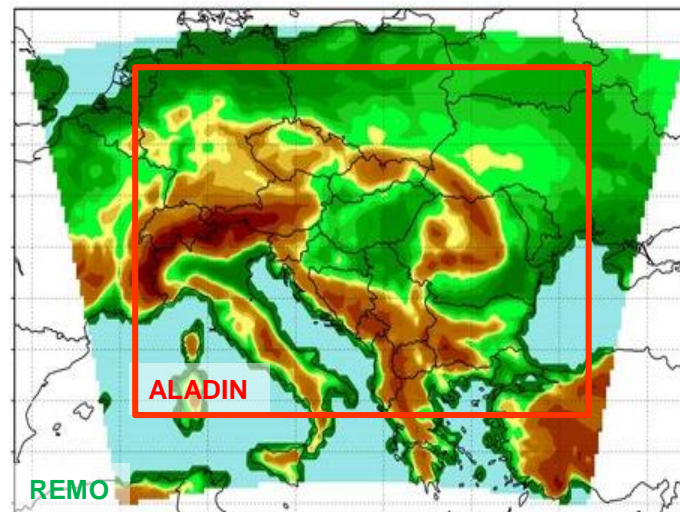
# Jelenlegi modellkísérletek

| Modell                | Felbontás | Időszak   | Forgatókönyv     |
|-----------------------|-----------|-----------|------------------|
| ALADIN                | 10 km     | 1961–2100 | A1B              |
| REMO                  | 25 km     | 1951–2100 | A1B              |
| ALADIN                | 10 km     | 1950–2100 | RCP8.5<br>RCP4.5 |
| REMO<br>(folyamatban) | 10 km     | 1950-2100 | RCP8.5<br>RCP4.5 |

CO<sub>2</sub> koncentráció (ppm)



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

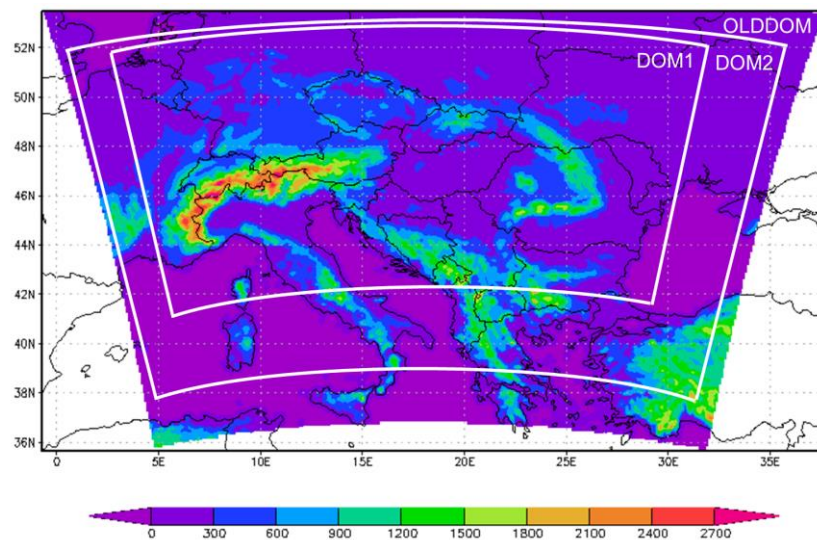
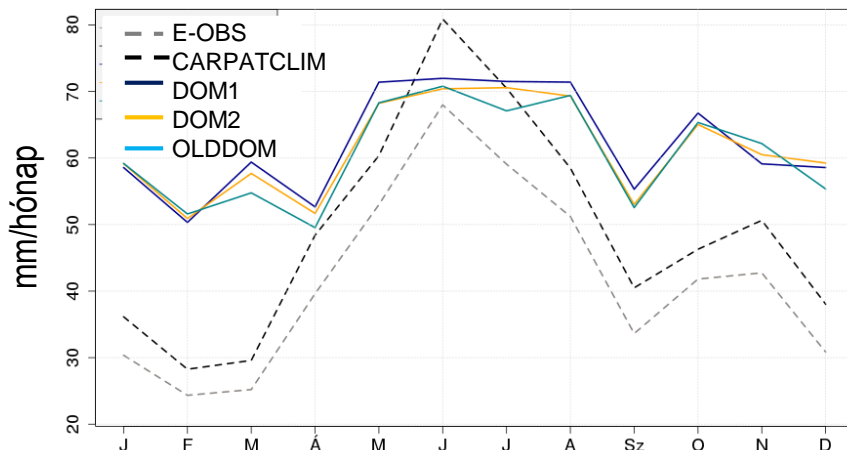


# Milyen vizsgálatokat végzünk?

## 1. Rövid tesztelés

- A REMO regionális klímamodell tartományának megválasztására
- Integrálási időszak: 1971–1980
- Referencia: rácsra interpolált megfigyelés (CarpatClim-Hu és E-OBS)

Havi csapadékösszeg Magyarországon



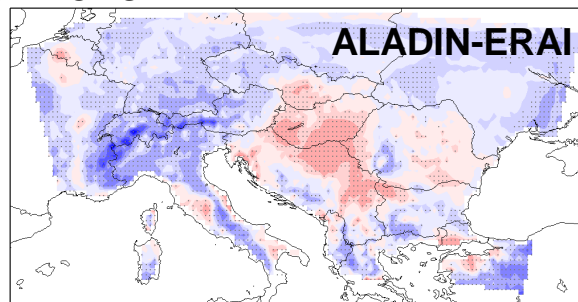
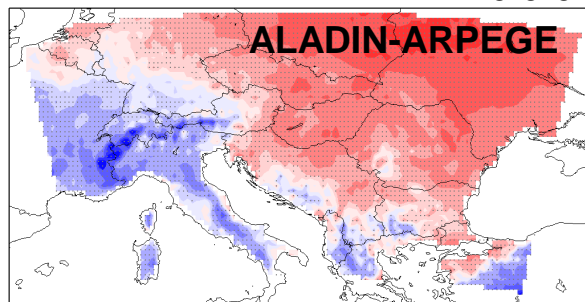
Az egyes modellszimulációk között kis különbségek, de általában a legjobb eredményt a legnagyobb tartományon kaptuk

# Milyen vizsgálatokat végzünk?

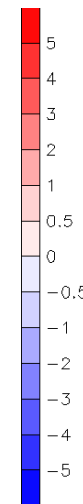
## 2. Hosszabb validációs vizsgálat (2 szimuláció)

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 és E-OBS)

**Az ALADIN modell nyári átlaghőmérséklet-hibája**  
Referencia: E-OBS



Forrás: Ily et al., 2015



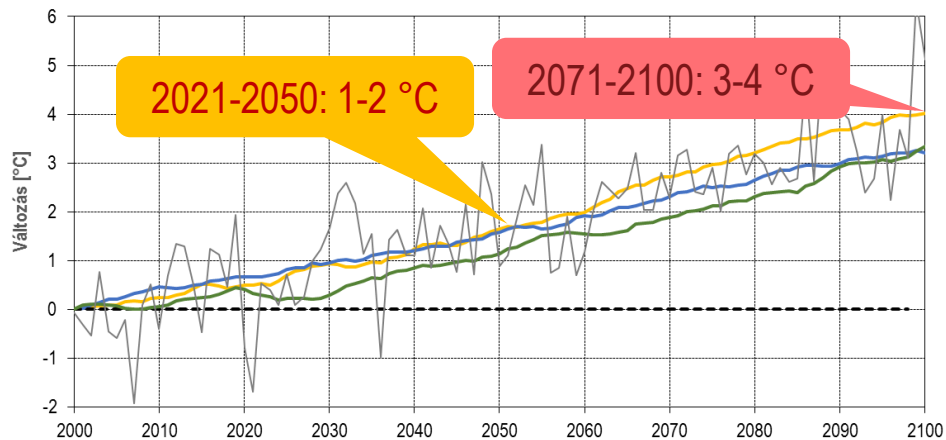
A validációs eredmények értékes információval szolgálnak a modell képességeiről a jövőbeli éghajlatváltozás leírása szempontjából.

# Milyen vizsgálatokat végzünk?

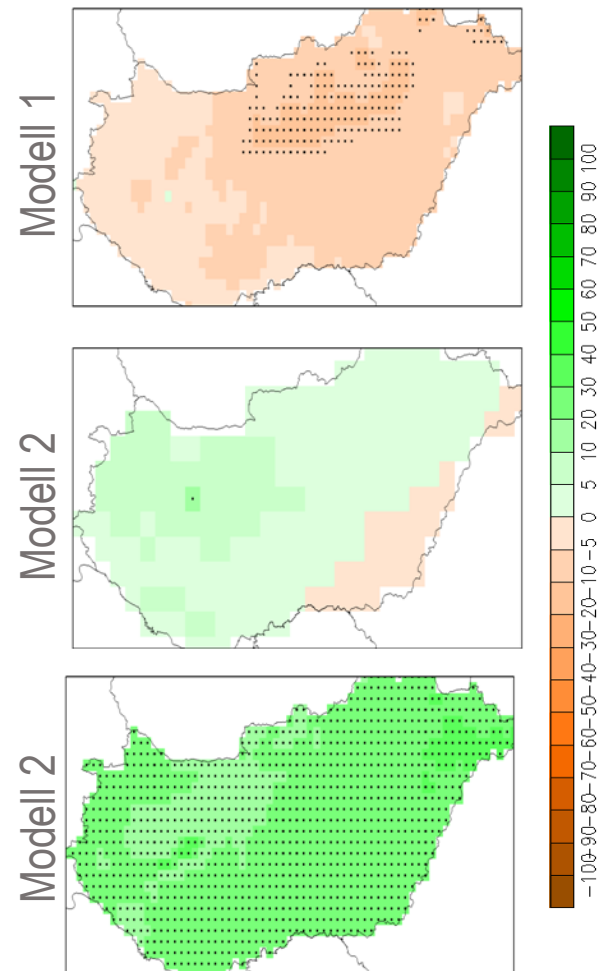
## 3. Éghajlati projekció

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

Magyarországi éves hőmérsékletváltozás (°C)  
Referencia: 1971–2000



Éves csapadékösszeg változása (%)  
Referencia: 1971–2000

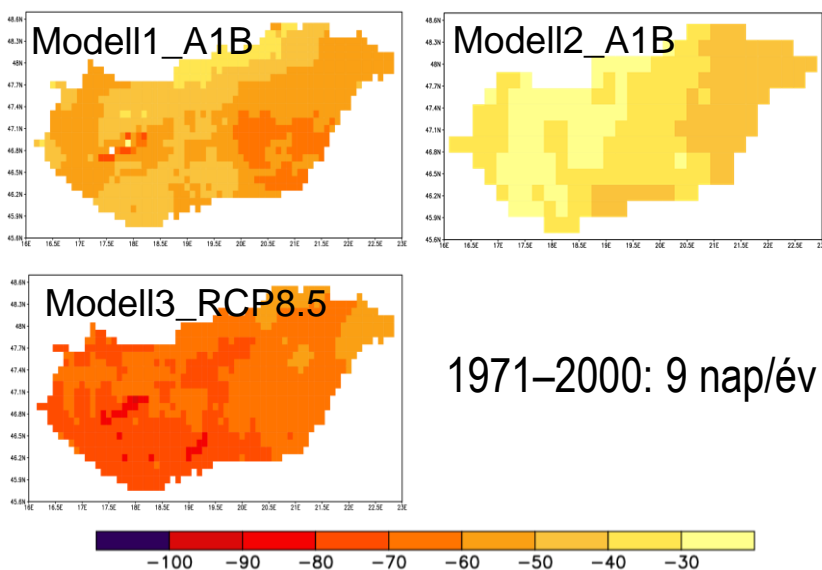


# Milyen vizsgálatokat végzünk?

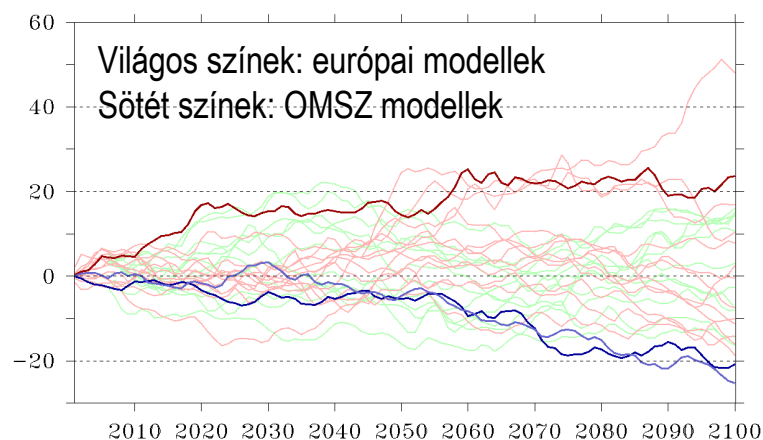
## 4. A modelleredmények utófeldolgozása

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

### -10 °C-nál hidegebb napok relatív változása



### Nyári csapadékváltozás (%) Referencia: 1971–2000

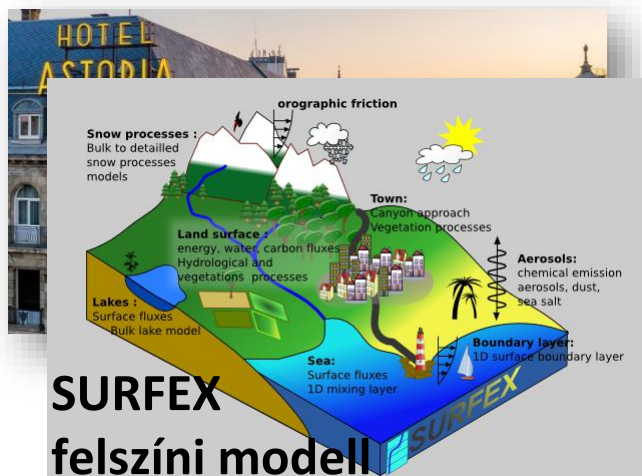


# A modelleredmények felhasználása

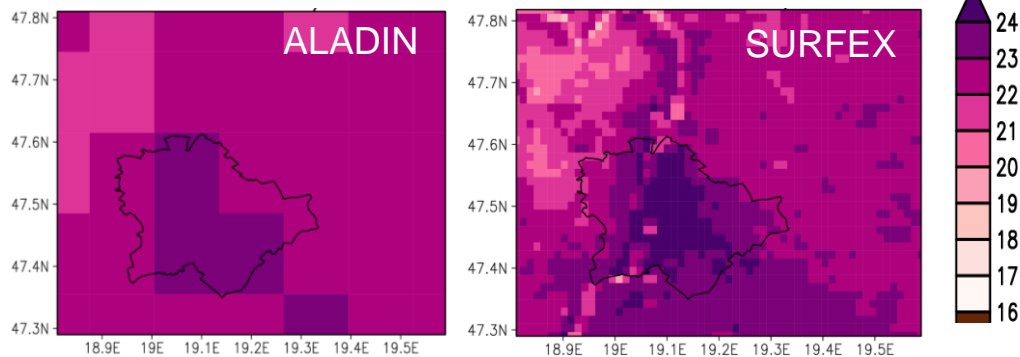
## A jövőbeli éghajlatváltozással kapcsolatos célkitűzés:

- 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 városok légtérére?



2-m hőmérséklet nyáron (°C)  
Budapest, 1971-2000



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



# Mit csinálunk a klímamodellezés mellett?

Részt veszünk hazai és nemzetközi pályázatokban → Új kutatási feladatok, együttműködés más szervezetekkel



A Klímamodellező Csoport projektjei 2003-tól napjainkig



# Mit csinálunk a klímamodellezés mellett?

Információt és szolgáltatást nyújtunk számos vizsgálathoz

Hogyan érinti a klímaváltozás az egyes területeket?



Többszöri egyeztetés a felhasználókkal, új paraméterek előállítása (pl. turizmusnak sörkerti napok száma)

# Mit csinálunk a klímamodellezés 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

162

LÉGKÖR 60. évfolyam(2015)

## SZÉLENERGIA BECSLÉSEK REGIONÁLIS ÉGHAJLATI MODELLEK EREDMÉNYEI ALAPJÁN ASSESSMENT OF FUTURE WIND CONDITIONS OVER HUNGARY USING REGIONAL CLIMATE MODELS

Illy Tamás, Szépszó Gabriella

Országos Meteorológiai Szolgálat, 1024 Budapest, Kitaibel Pál utca 1., [illy.t@met.hu](mailto:illy.t@met.hu), [szepszo.g@met.hu](mailto:szepszo.g@met.hu)

**Összefoglalás.** Az éghajlati rendszer viselkedése és jövőbeli fejlődése numerikus modellek segítségével írható le. Az éghajlati modellek eredményeinek megfelelő értelmezéséhez elengedhetetlen a szimulációk bizonytalanságainak számszerűsítése az ensemble módszer, azaz több globális és regionális klímamodell, valamint kibocsátási forgatókönyv alkalmazásával meg. Jelen tanulmányban a magyarországi szélviszonyok jövőbeli változását vizsgáljuk az Országos Meteorológiai Szolgálatnál alkalmazott két regionális klímamodell, az ALADIN-Climate és a REMO eredményei alapján. Az elemzés során a két modell mellett a 100 méteres szélsebességet, valamint a 100 méterre vonatkozó potenciális szélenergiát és teljesítményt vizsgáljuk. A vizsgálatok során a HUGRID és a CARPATCLIM-HU rácspontri megfigyelési adatbázissal vetettük össze a modellek eredményeit két (a HUGRID és a CARPATCLIM-HU) rácspontri megfigyelési adatbázissal vetettük össze a 1990 referencia-időszakra; a jövőben várható változásokat pedig 2021–2050-re és 2071–2100-ra számszerűsítettük.

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

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

EGU 2020: Sharing Geoscience Online  
4-8 May 2020



# Mit csinálunk a klímamodellezés mellett?

Ismeretterjesztő előadásokat tartunk, cikkeket írunk, interjúkat adunk TV-nek, rádiónak, újságnak.



BALATON

## Fog még valaha havazni a Balatonnál?

MOLNÁR ZOLTÁN

Az ember okozta éghajlatváltozás a Balatonnál kevesebbet havazik, ami esik, mégis több jég. Mi áll a háttérben?



FŐLDAL > KIÁLLÍTÁSOK > VÁLTOZÓ VILÁGUNK KIHÍVÁSAI

## Változó világunk kihívásai

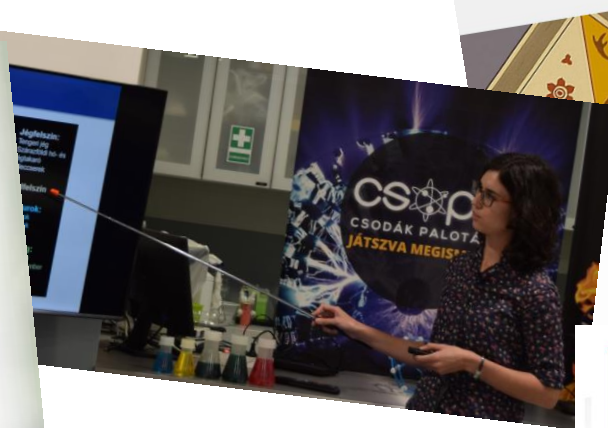
Klímaváltozás – élelmiszerbiztonság  
2020. február 18-tól



**KOSSUTH  
RÁDIÓ**



**FENNTARTHATÓSÁGI  
Témahét**



# 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/ALADINS2_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. ))
  if [[ $YEAR -eq 2005 ]] && [[ $MONTH -eq 11 ]] && [[ $DAY -eq 15 ]]; then
```

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

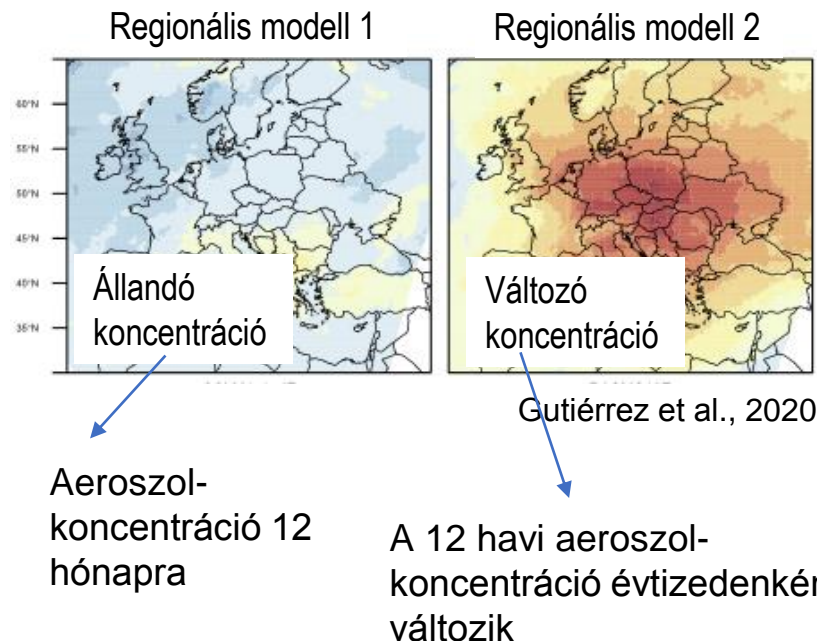
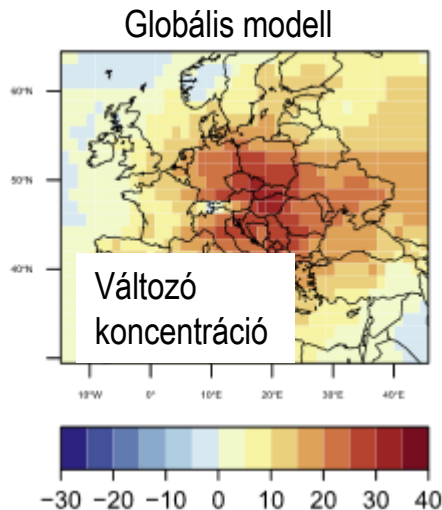
Minden megtanulható

# Szakedolgozat- és diplomamunka témáink

## 1. A légtörő aeroszol-koncentráció leírásának módja az ALADIN-Climate modellben

- A regionális klímamodellekben az aeroszol-koncentráció külső kényszerként van figyelembe véve (nem a modell számítja)

Bejövő rövidhullámú sugárzás változás 2021–2050-ben  
Referencia: 1971–2000



Az aeroszol-koncentráció figyelembevételének módja többek között hatással van a sugárzásra, hőmérsékletre.

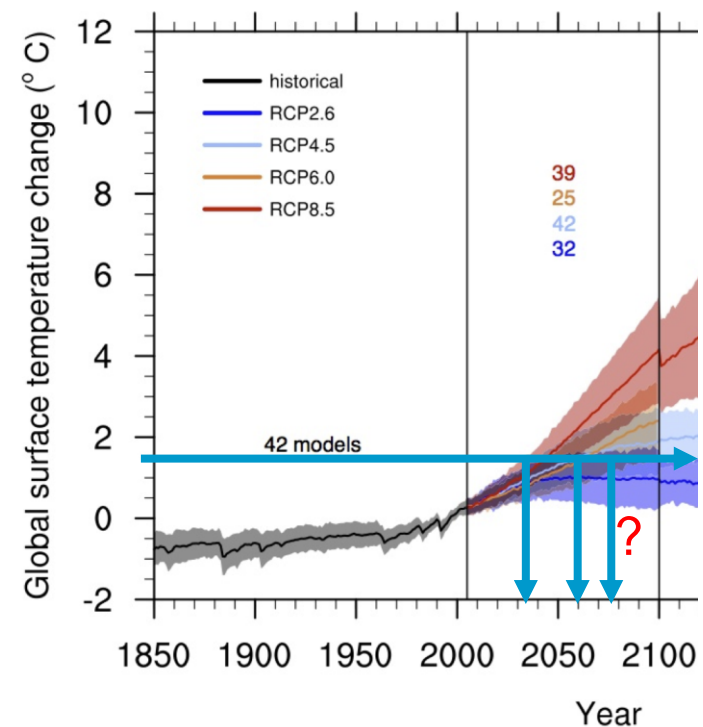
Modellezési,  
kiértékelési  
feladat

# Szakedolgozat és diplomamunka témáink

## 2. A 1,5 fokos és a 2 fokos globális átlaghőmérséklet-emelkedés hatása Magyarország éghajlatára globális és regionális klímamodell-eredmények alapján

- A párizsi megállapodás célkitűzése: az évszázad végére a globális átlaghőmérséklet-emelkedést 1,5 és 2 °C alatt tartani az iparosodás előtti szinthez képest
- Feladat: A globális modellekben megkeresni azt az időszakot, amikor a hőmérsékletváltozás eléri az adott értéket, majd a regionális modellben megvizsgálni ezt az időszakot Magyarországra fókuszálva

Modellkiértékelési feladat



# Köszönöm szépen a figyelmet!

METEOROLÓGIAI SZOLGÁLAT 1870-2000

Nincs érvényben riasztás

IDŐJÁRÁS ÉGHAJLAT LEVEGŐKÖRNYEZET ISMERET-TÁR OMSZ

Hírek Szervezeti felépítés Történet **Tevékenységek** Videók Minőségirányítás Közérdekű adatok Pályázatok, projektek Rendezvények

OMSZ > Tevékenységek > Klímamodellezés > Modellezési háttér

### Modellezési háttér

A jövőbeli éghajlatváltozás vizsgálata hasonló tudományos eszközökkel történik, mint az időjárás előrejelzése. Mielőtt belevágunk a klímamodellezés háttérének bemutatásába, definiáljuk az éghajlat fogalmát és azt, hogy miben különbözik az időjárástól. Az **időjárás** a légkör pillanatnyi állapota vagy annak néhány óra, nap, hét folyamán tanúsított viselkedése; leírása a légköri állapothatározók (hőmérséklet, légnyomás, szélsébség, stb.) aktuális értékeivel vagy azok megváltozásával történik. Az **éghajlati rendszer** a légkör, a felszíni és a felszín alatti vizek, a szárazföld, a hó- és jégtakaró és az élővilág kölcsönható együttese (*1. ábra*). Folyamatai rendkívül széles időskálán zajlanak a komponensek eltérő tulajdonságai miatt. Ezért az éghajlatot a meteorológiai változók hosszabb időszak – általában több évtized – során mutatott statisztikai tulajdonságaival, pl. 30-éves átlaghőmérséklet, szélsőséges állapotok gyakorisága) jellemezzük.

**Modellezési háttér**

- ▶ Modellkísérletek
- ▶ Éghajlati szélsőségek
- ▶ Bizonytalanságok
- ▶ Felhasználás
- ▶ Városklíma modellezés
- ▶ Projektek
- ▶ Ismeretterjesztés

A OMSZ további tevékenységeit bemutató oldalak megtalálhatók a régi honlap [OMSZ - Szolgáltatunkról](#) oldalán.

**Elérhetőség:**

**[klimadinamika@met.hu](mailto:klimadinamika@met.hu)**

**[zsebehazi.g@met.hu](mailto:zsebehazi.g@met.hu)**

**Honlap: [www.met.hu/RCM](http://www.met.hu/RCM)**