

# Éghajlatváltozás - tudhatjuk-e, mi lesz holnapután?

Szépszó Gabriella

Országos Meteorológiai Szolgálat  
Numerikus Modellező és Éghajlat-dinamikai Osztály



2009. január 30.

# TARTALOM

1. Bevezetés
2. Időjárás és éghajlat
3. A számítógépes előrejelzések alapjai
4. Az éghajlati modellezés sajátosságai
5. Néhány eredmény
6. Összefoglalás

# TARTALOM

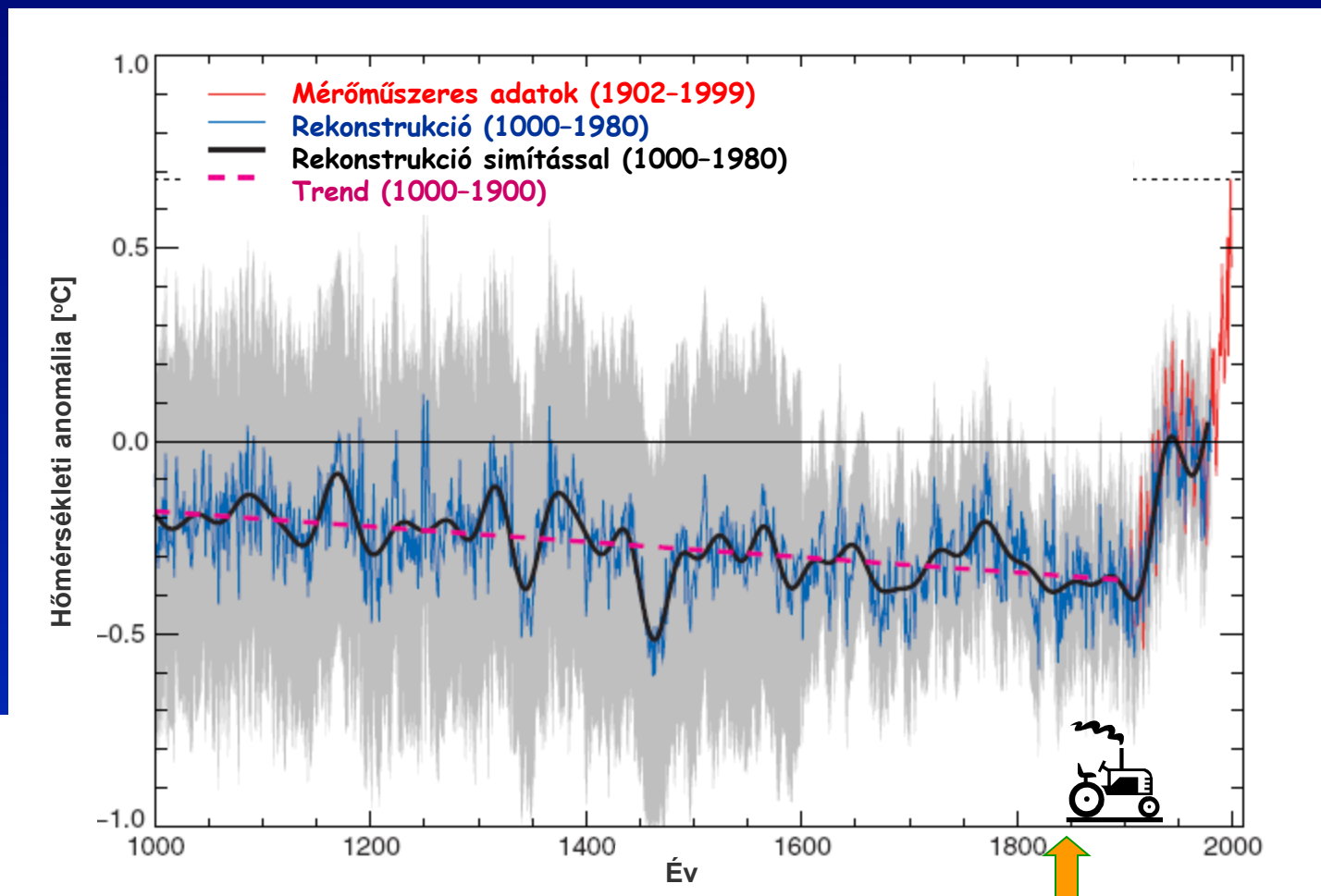
1. Bevezetés
2. Időjárás és éghajlat
3. A számítógépes előrejelzések alapjai
4. Az éghajlati modellezés sajátosságai
5. Néhány eredmény
6. Összefoglalás

# Bevezetés, motiváció

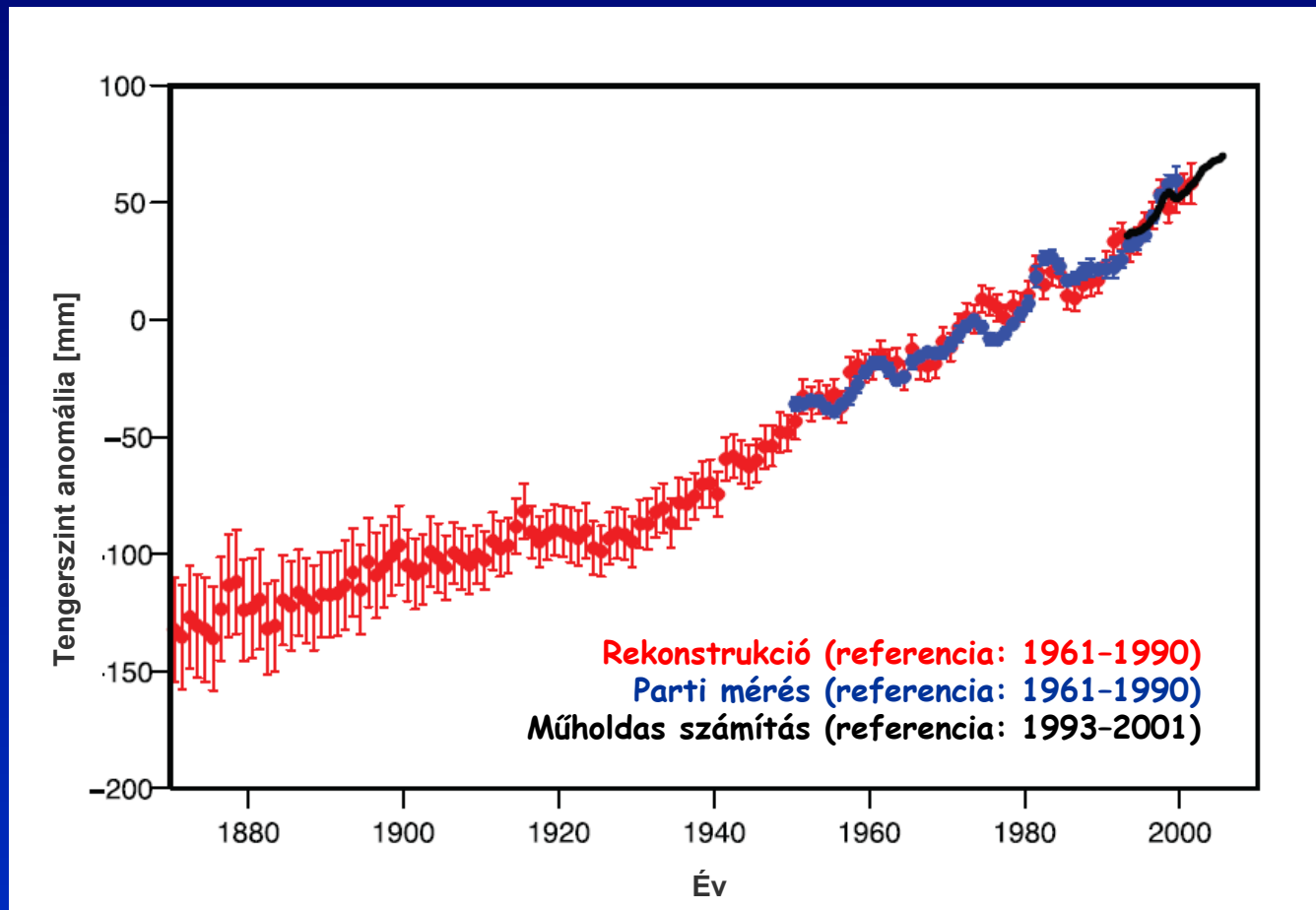
- A klímaváltozás témája nagy „érdeklődésre” tart számot...
- ... és legalább olyan sokan „értenek” hozzá manapság, mint a focihoz
- Éghajlatváltozás vagy éghajlatingadozás?
- Mennyiben okolható az egyre növekvő emberi beavatkozás?
- Előrejelezhetők-e a változások?



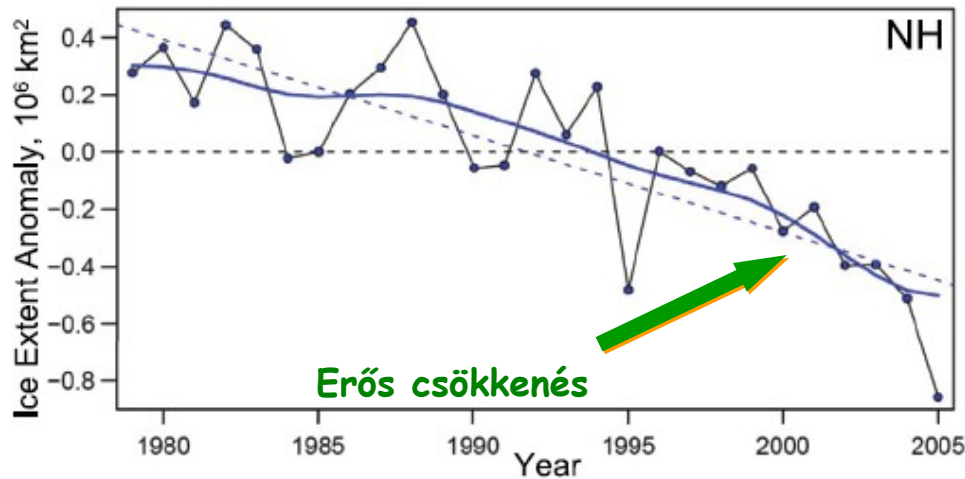
# Az északi félteke hőmérséklet-eltérése az 1961-1990 időszak átlagától - hokibot-görbe



# Az óceánok átlagos vízszintjének változása



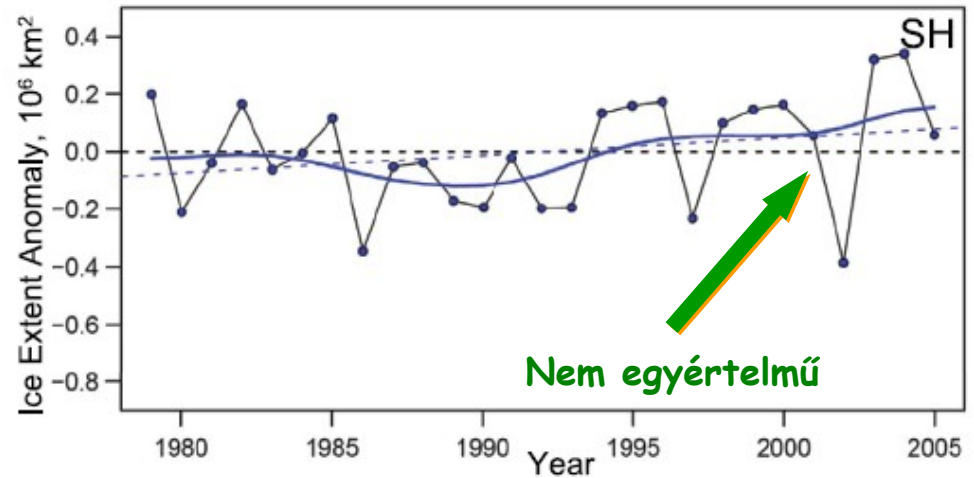
# A jégmennyiség változása



Északi  
félteke

Forrás: IPCC, AR4

Déli  
félteke



# Népszerű tévhitek

- Egyedi szélsőséges időjárási eseményeket (évszakokat) a klímaváltozás jeleként értékelünk - pl. 2006. augusztus 20.
- A klímaváltozásról alkotott képünk alapján azon éghajlati jellemzők kiemelése, ami ezzel egybevág - pl. 2007. évi enyhe tél (ami ugyanakkor száraz is volt)
- Párhuzamot vonunk különböző területek (városok) éghajlata között - pl. Európa - Szibéria, Magyarország - Várna, Firenze
- Új elméletek ellenőrzés nélküli elfogadása, katasztrófavárás - pl. hirtelen gyors változások, mint a Golf-áramlat leállása

**Miért hibás logika? Az előadás végére kiderül.**



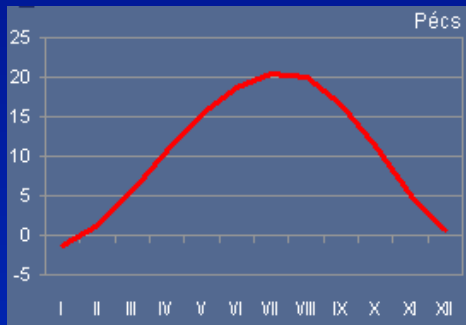
# TARTALOM

1. Bevezetés
2. Időjárás és éghajlat
3. A számítógépes előrejelzések alapjai
4. Az éghajlati modellezés sajátosságai
5. Néhány eredmény
6. Összefoglalás

# Alapfogalmak

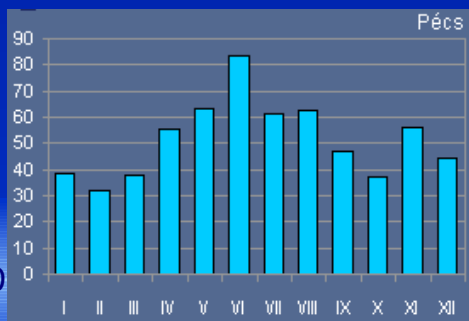
## Időjárás:

- A **légkör** egy adott időponthoz tartozó pillanatnyi **állapota**
- Jellemzése: pillanatnyi értékekkel

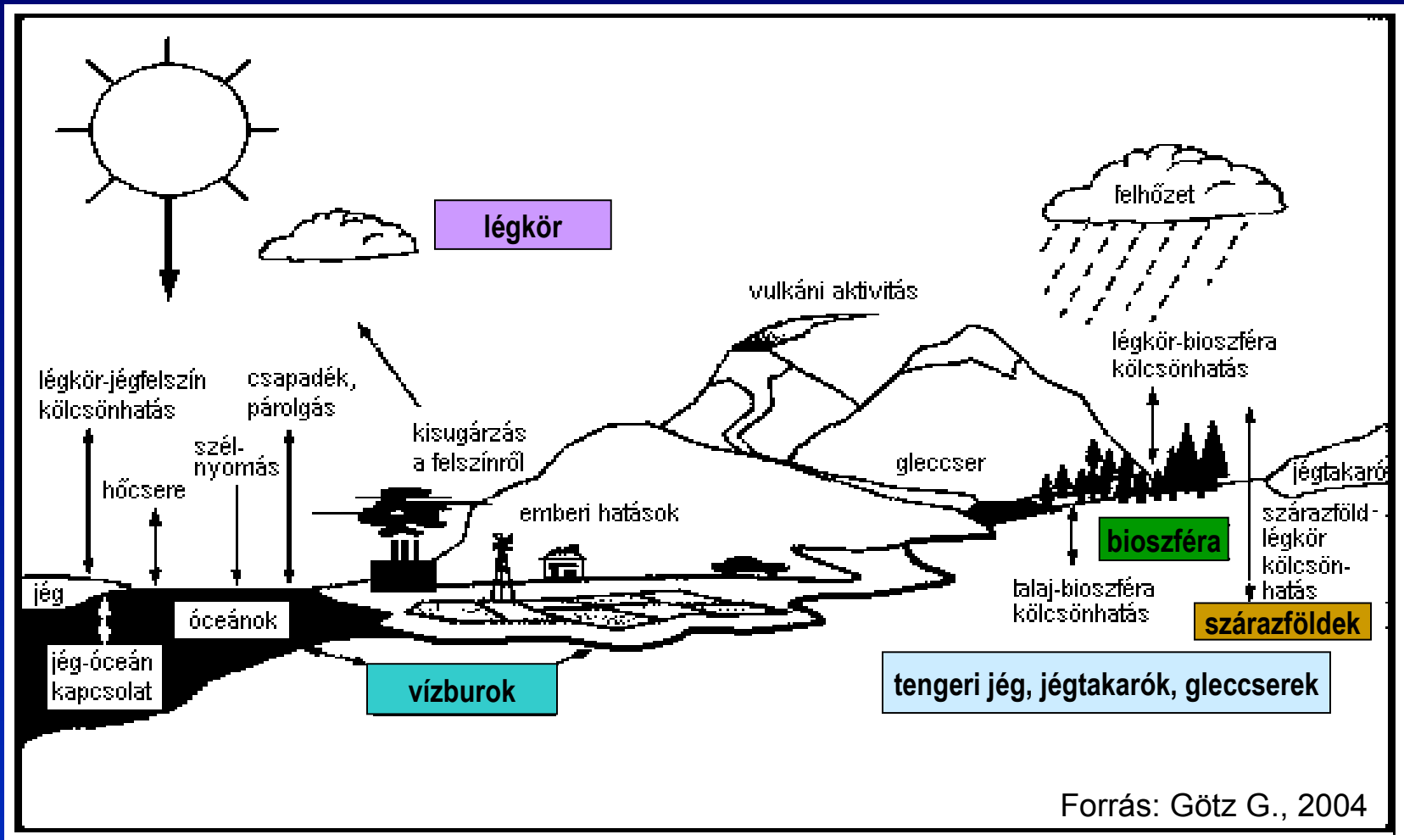


## Éghajlat (klíma):

- Az **éghajlati rendszer** (ami már nemcsak a légkör) hosszú idő folyamán tanúsított **szokásos viselkedése**
- Jellemzése: statisztikai paraméterekkel



# Az éghajlati rendszer elemei



Éghajlati rendszer: a légkör és a vele érintkezésben levő négy geoszféra kölcsönhatásban álló együttese

## Légekör

- Az éghajlati rendszer központi, leggyorsabban változó része

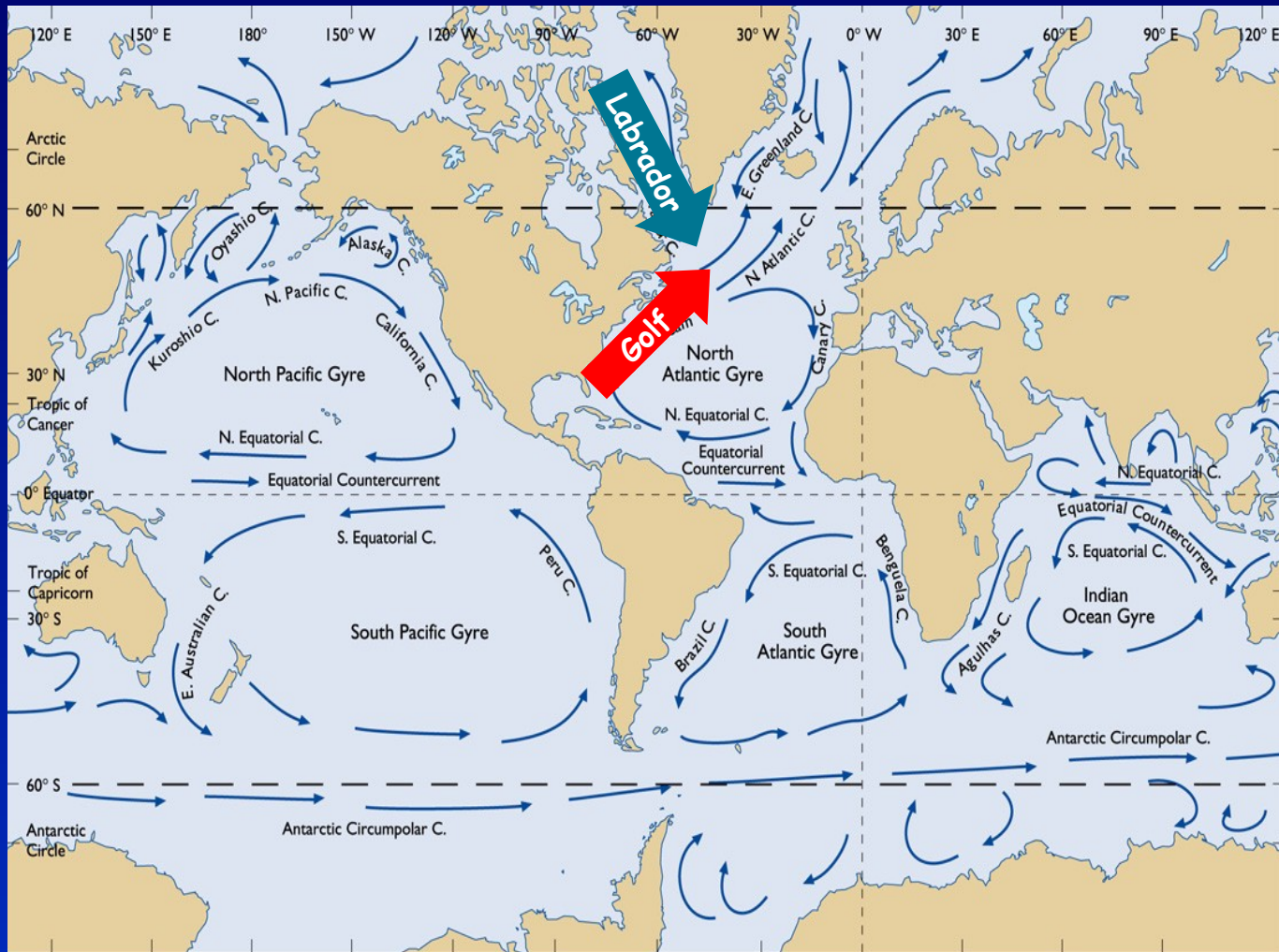


## Hidroszféra



- Az összes felszíni és felszín alatti víz (a földfelszín 71%-a)
- Nagy hőtároló képesség
- Lassú változások

# A felszíni tengeráramlatok rendszere



Óceánfelszíni áramlások létrehozója: szél

Mélységi mozgások: sűrűségkülönbségek - só + hőmérséklet

# Krioszféra - jégtakaró



- Sarki jégmezők, gleccserek, felszíni hó, tengerjég
- Tükör: a beérkező Napsugárzás nagyarányú visszaverése

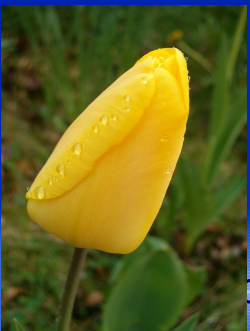
# Szárazföldi felszín

- Talajfelszín hatása: a Napsugárzás visszaverése



# Bioszféra - élővilág

- Az élet színtere a Földön - az ember is része





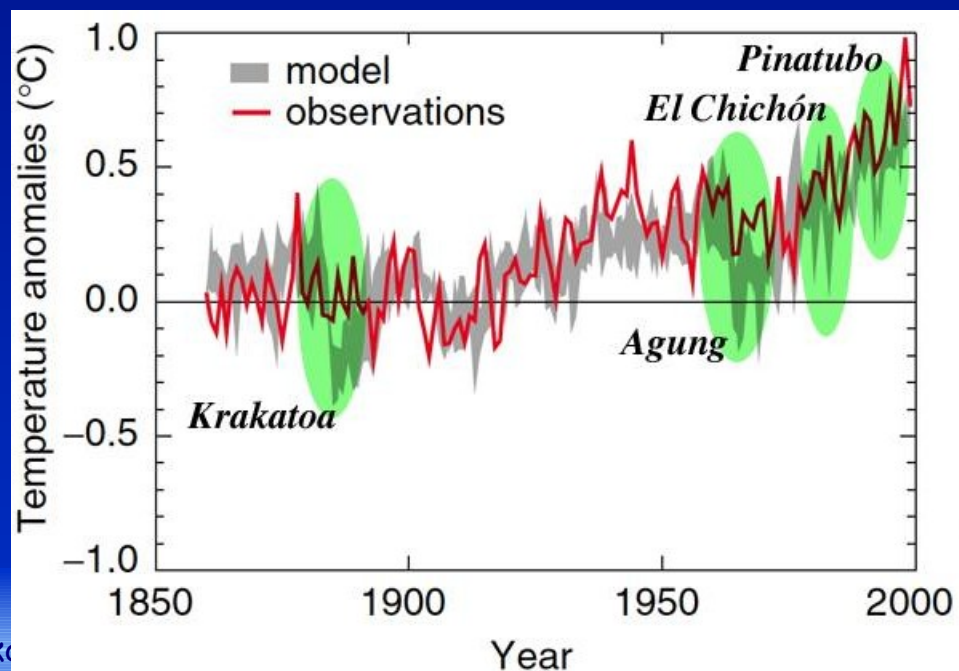
# Melyek az üvegházgázok és mi az üvegházhatás?



Természetes üvegházhatás: ha nem lenne, mintegy 35 fokkal lenne alacsonyabb a földi átlaghőmérséklet (most 15 °C)

- Az egyensúly megváltozhat:
  - „Természetes” hatások: pl. a Föld (keringési) pályájának megváltozása, a Napsugárzás változása, vulkánkitörés
  - Emberi hatások: ipari tevékenység, természetes felszín átalakítása

- Az éghajlati rendszer minden körülmények között egyensúlyra törekszik





# Kölcsönhatások, visszacsatolások

- A klímaállapot természetes változékonyságát idézik elő
- **Hőmérséklet - jég-albedó** visszacsatolás:

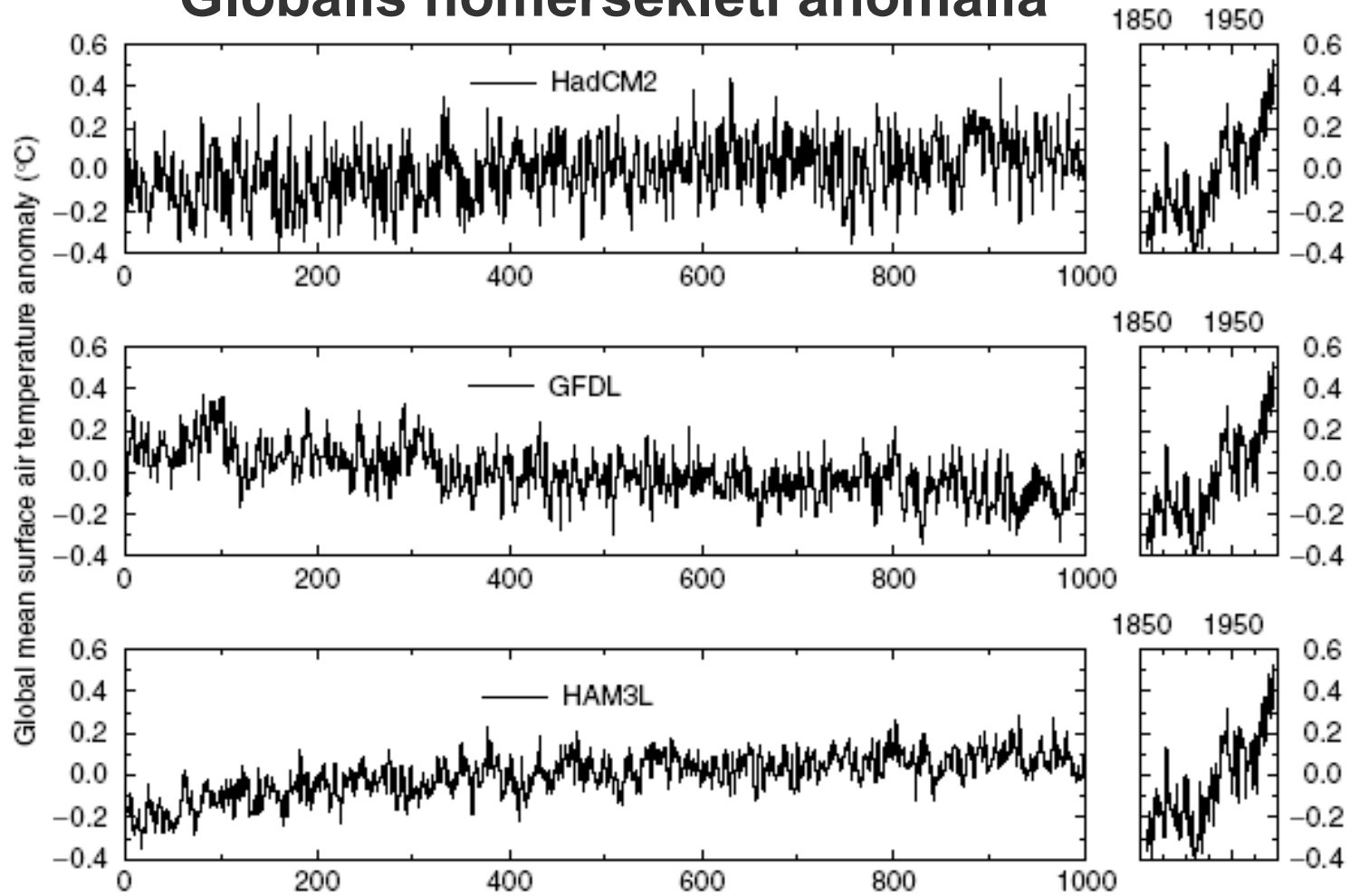
**+** Felszíni hőmérsékletcsökkenés → jégtakaró növekedése → sugárzás-visszaverődés növekedése

- **Felhőzet - sugárzás** visszacsatolás:

**-** Felhők: a bennük lévő vízgőz üvegházhatású (melegít), ugyanakkor a fehér felület sok Napsugárzást visszaver (hűt) → összességében inkább hűtenek, mint fűtenek

# Éghajlatváltozás vagy változékonyság?

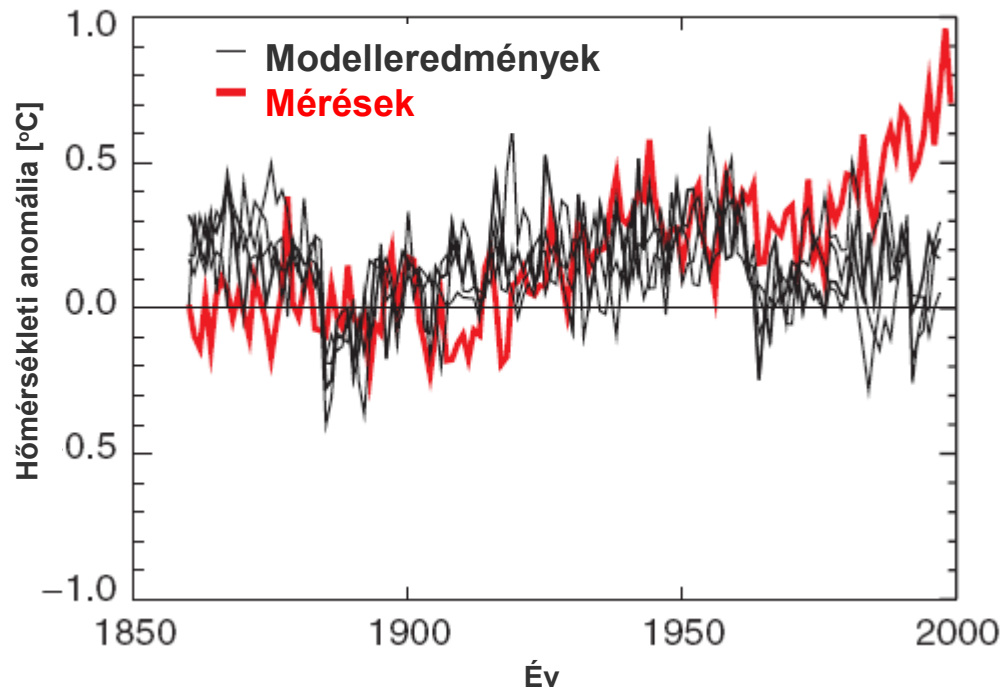
## Globális hőmérsékleti anomália



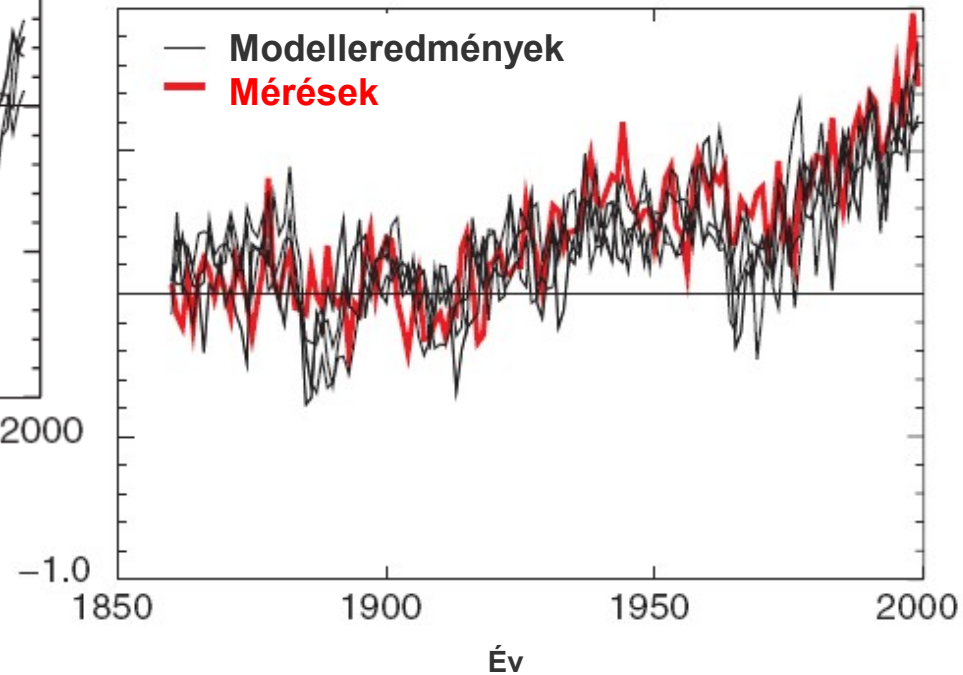


# A változásban szerepet játszik-e az ember hatása?

Csak a természetes hatások figyelembe vételével:  
globális éves átlaghőmérséklet eltérése

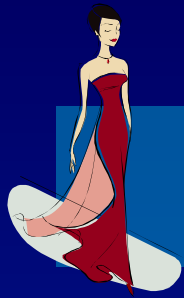


Minden hatás figyelembe vétele után:  
globális éves átlaghőmérséklet eltérése



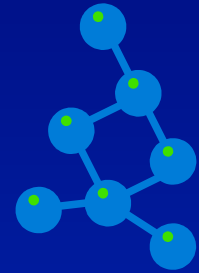
# TARTALOM

1. Bevezetés
2. Időjárás és éghajlat
3. A számítógépes előrejelzések alapjai
4. Az éghajlati modellezés sajátosságai
5. Néhány eredmény
6. Összefoglalás

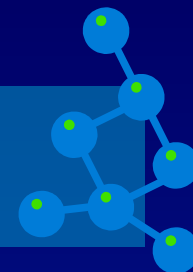


# Mi a modell?

- A valóság „egyszerűsített” vagy idealizált mása
- Egyszerűsítés:
  - Kicsinyítés, nagyítás
  - Összetettség csökkentése
- Modellalkotás célja:
  - Áttekinthetőség
  - Elméleti vagy gyakorlati kipróbálás
  - Tanulmányozás, megértés



# Modellezés



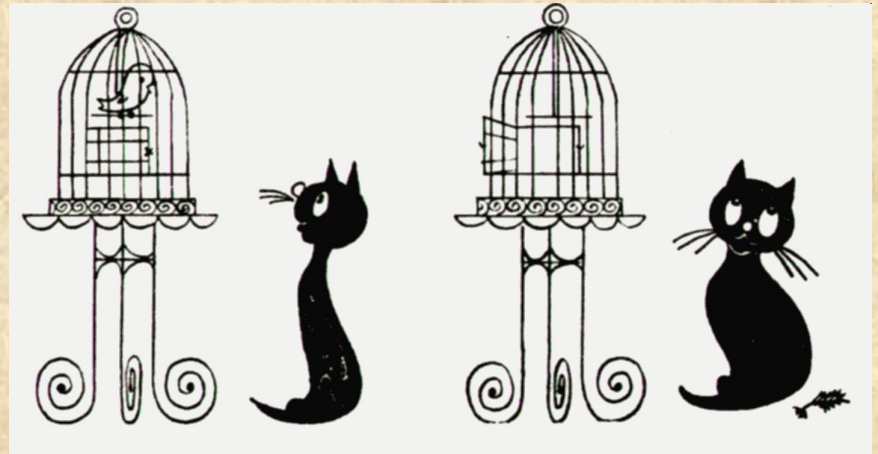
- Az időjárási és éghajlati modellek célja, hogy segítségével a körülöttünk zajló folyamatokat minél pontosabban leírjuk, megértsük és előrejelezzük
- A légkörben (óceánban) zajló folyamatok fizikai törvényeknek engedelmeskednek
- Pl. Newton-törvények, energia-megmaradás, tömeg-megmaradás
- Bonyolult matematikai egyenletrendszer
- Tekintsük át az egyenleteket!

# A fizikai folyamatokat leíró egyenletek

- ✓ Newton II. törvénye: mozgásegyenletek
- ✓ Termodinamika I. főtétele: energia-megmaradás
- ✓ Tömeg-megmaradás
- ✓ Nedvesség tömeg-megmaradása

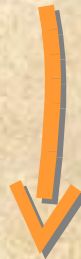


Bonyolult matematikai  
egyenletrendszer



# Az egyenletek megoldhatósága

- ✓ Mozgásegyenletek: 3 egyenlet a 3 sebességkomponensre
- ✓ Energia-megmaradás: változója a hőmérséklet
- ✓ Tömeg-megmaradás: változója a felszíni nyomás
- ✓ Nedvesség tömeg-megmaradása: változója a nedvesség



6 változó időbeli fejlődését leíró 6 egyenlet - elvileg megoldható



# Egyéb szükséges feltételek

- Mivel a feladat időbeli fejlődést ír le, ezért ismernünk kell a kiindulási állapotot
- A kezdeti állapot ismeretében tudunk következtetni a továbbiakra
- A határokon - alul, felül és szükség esetén oldalt - határfeltételekre van szükségünk
- Globális modellek: az egész Föld folyamatait írják le
- Regionális modellek: egy „érdekes” területre koncentrálnak

# Tényleges megoldhatóság

- Tehát elvileg minden adott a feladat megoldásához:
  - Ugyanannyi egyenlet van, ahány változó
  - Ismerjük a szükséges kezdeti és határfeltéteket
- DE: nincsen „megoldó-képlet”, mint pl. a másodfokú egyenleteknél:

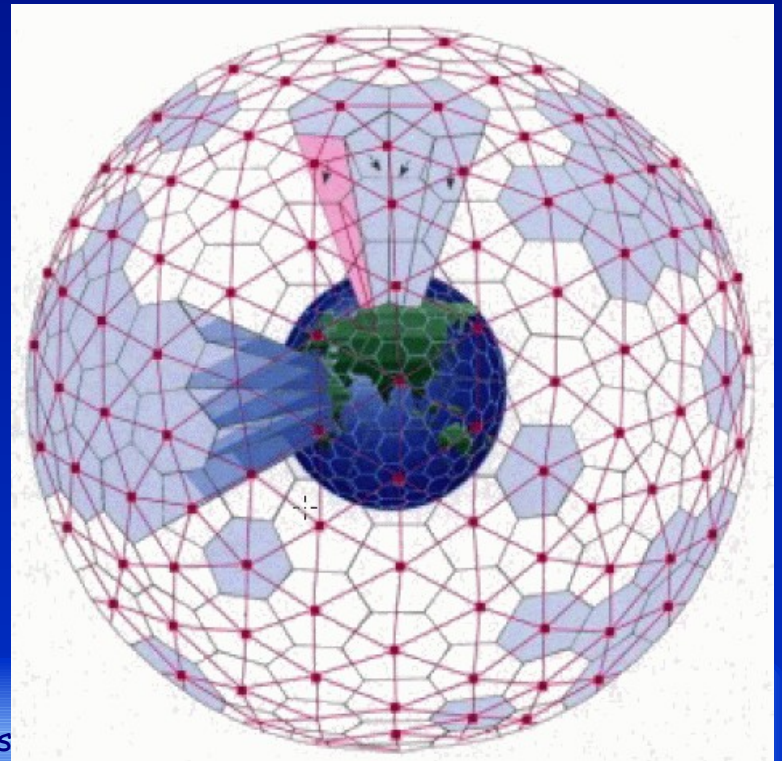
$$x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

- „Numerikus” megoldás, melynek eszköze a számítógép
- Mit jelent a numerikus megoldás?



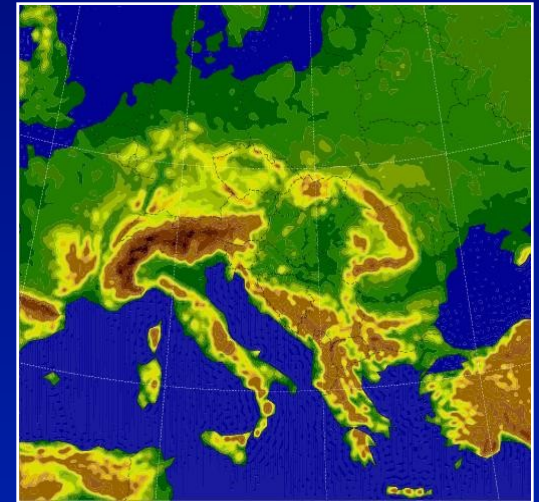
# A feladat numerikus megoldása

- A (3-dimenziós) teret egy ráccsal fedjük le - mind vízszintes, mind függőleges irányban
- A számításokat lépésenként végezzük el: időlépcsők



# A numerikus megoldás számításigénye

- Változók száma: 6
- 8 km-es rácstávolságnál: 320x360 pont
- Szintek száma: 49
- Időbeli lépések száma: 48 óráig 5 percenként - 576 lépés



Számításigény:

$$6 \times 320 \times 360 \times 49 \times 576 \sim 2 \times 10^{10}$$

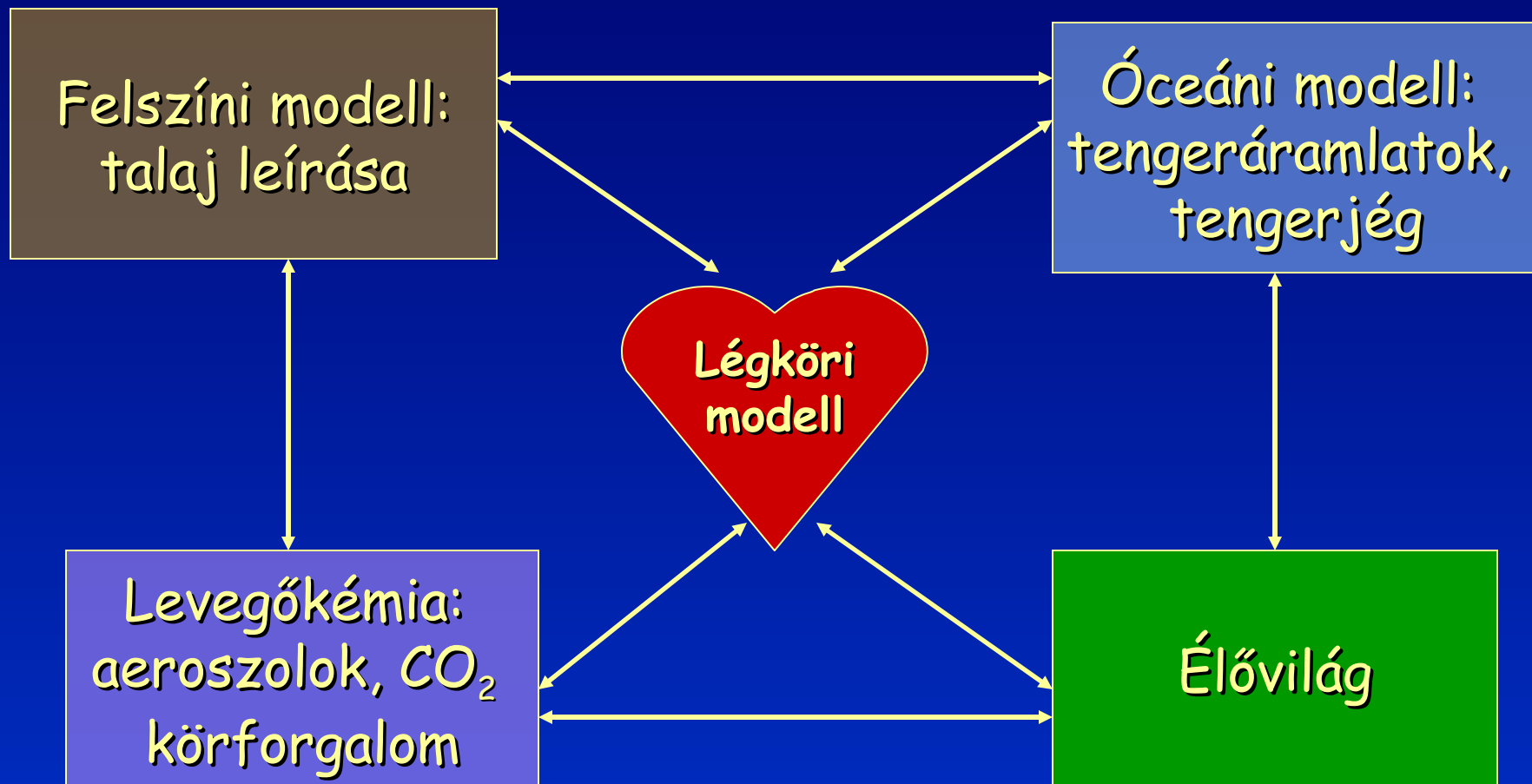
# TARTALOM

1. Bevezetés
2. Időjárás és éghajlat
3. A számítógépes előrejelzések alapjai
4. Az éghajlati modellezés sajátosságai
5. Néhány eredmény
6. Összefoglalás

# Éghajlati modellezés

- Az éghajlati rendszer, illetve a rendszer összetevőinek tanulmányozására, s az összetevők közötti kölcsönhatások elemzésére
- A környezetünkben végbemenő folyamatok fizikai hátterének megismerése
- Egyetlen válaszadási lehetőség az alábbi kérdésre: miként reagál az éghajlat egy feltételezett (hipotetikus) kényszerre?

# A globális éghajlati modellek összetevői

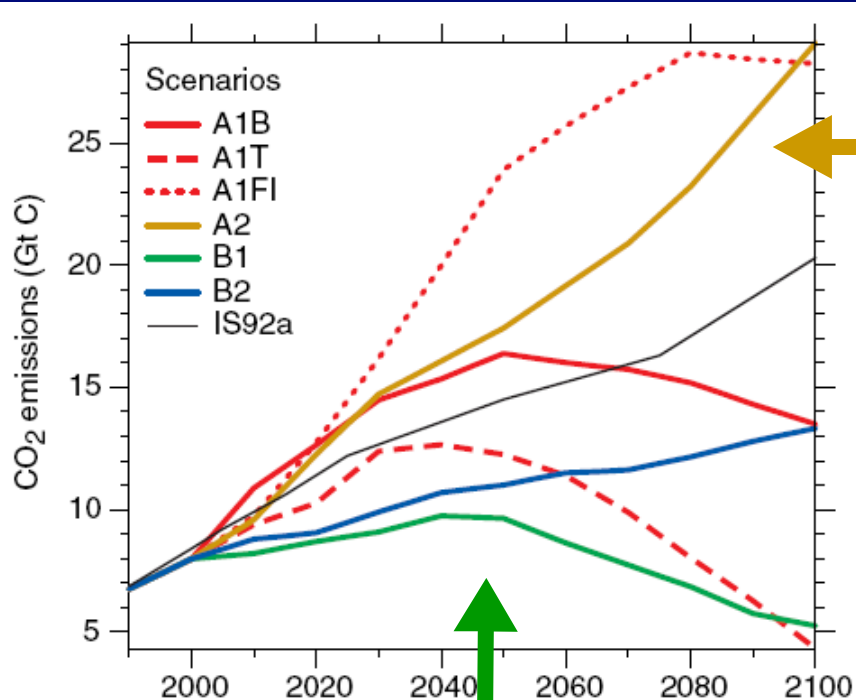


# Globális éghajlati modellek alkalmazása

- Hipotéziseink vannak arra, hogyan fog változni a következő száz évben világszerte a gazdaság, technológiai fejlődés, népesség
- Ezek között vannak optimista, pesszimista, realista elképzelések
- Ezek alapján éghajlati **forgatókönyvek** felállítása: minden „átváltása” üvegházgáz-kibocsátásra és koncentrációra
- **Projekciók** készítése globális modellek segítségével az egész Föld éghajlatára vonatkozóan a forgatókönyvek felhasználásával

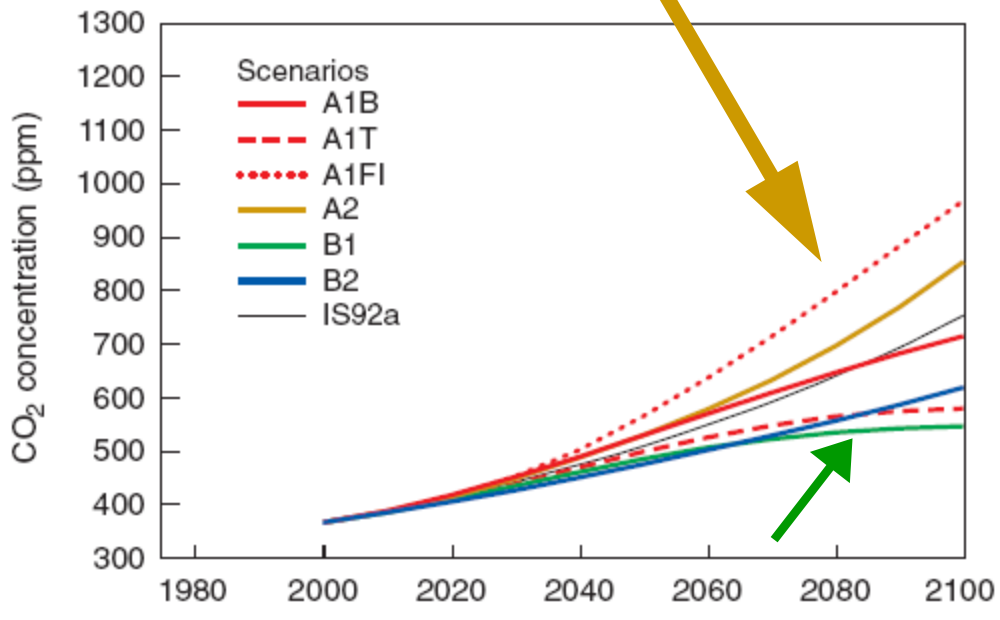


# Szén-dioxid kibocsátásra és a koncentráció változására vonatkozó forgatókönyvek



pesszimista

optimista

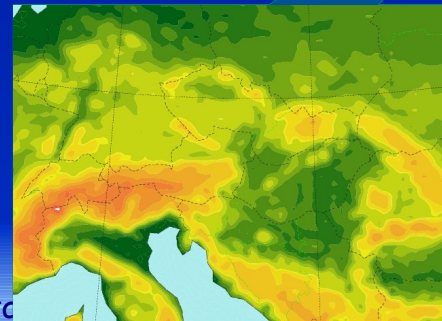
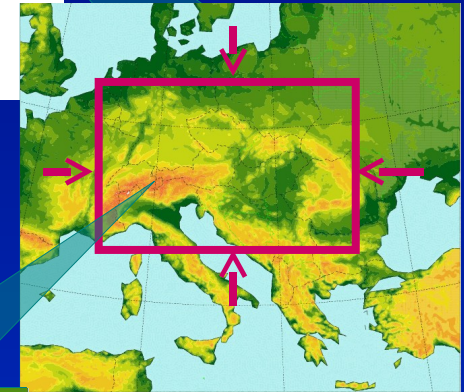
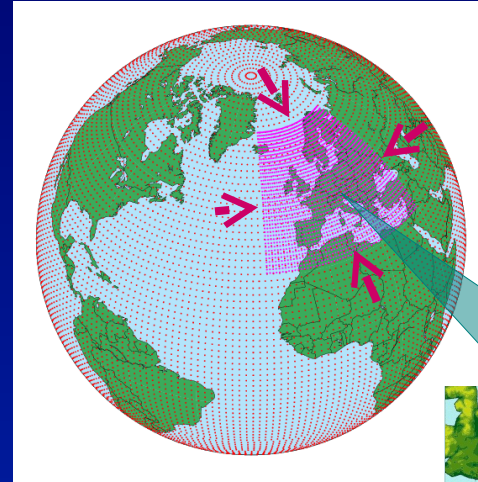


# Regionális sajátosságok

- Globális modellek: 250-100 km-es vízszintes és 1 km-es függőleges rácssűrűség - Magyarország fölé ebből néhány (2-10) pont esik
- A regionális klímaváltozás iránya ellentétes lehet a globális változásokéval
- A globális információ finomítása szükséges

# Regionális (korlátos tartományú) modellek

- Több fizikai folyamat pontosabb leírása lehetséges általuk
- A domborzat és más felszíni jellemzők pontosabb figyelembevétele
- Tartományon kívül zajló folyamatok

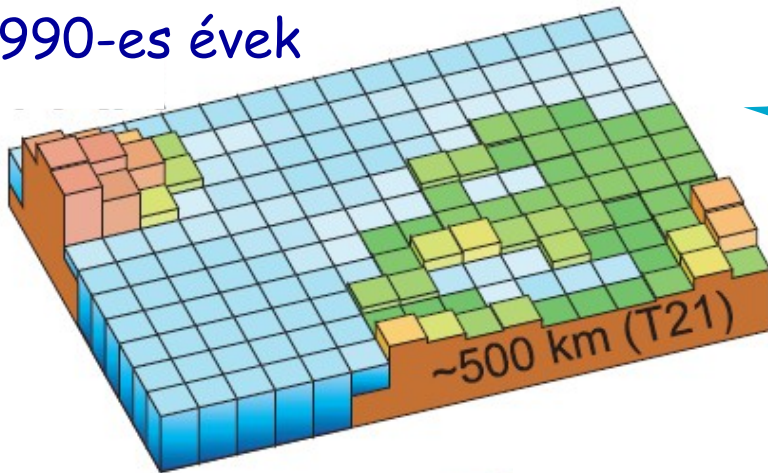


# A regionális modellek alkalmazása

- A modellt először a múltra vonatkozóan teszteljük - eredményeit összehasonlítjuk a múltban összegyűjtött megfigyelésekkel
- Elvárt pontosság: az éghajlat átlagos jellemzőinek visszatükrözése - egy éghajlati modell úgy is lehet „tökéletes”, hogy közben egyetlen időjárási eseményt sem jelzett előre
- A feltérképezett gyengeségek alapján a modellt fejlesztik
- A kellően pontos modellel a jövőre vonatkozó projekciókat készítene

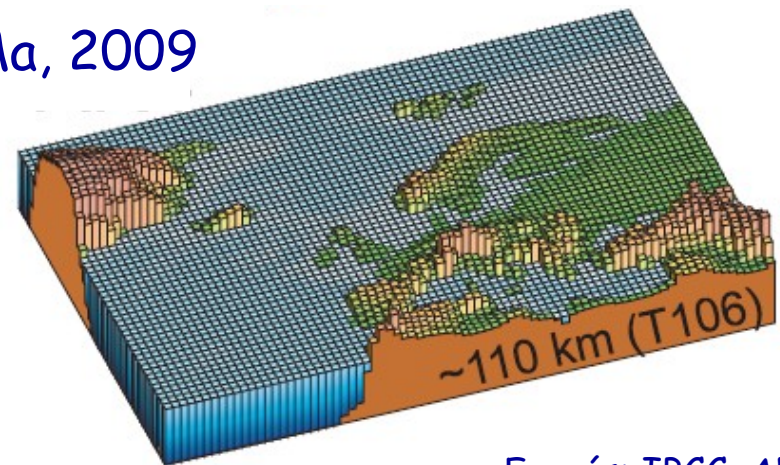
# A globális éghajlati modellek felbontás-változása

1990-es évek



Olaszország, Izland  
nem látható

Ma, 2009

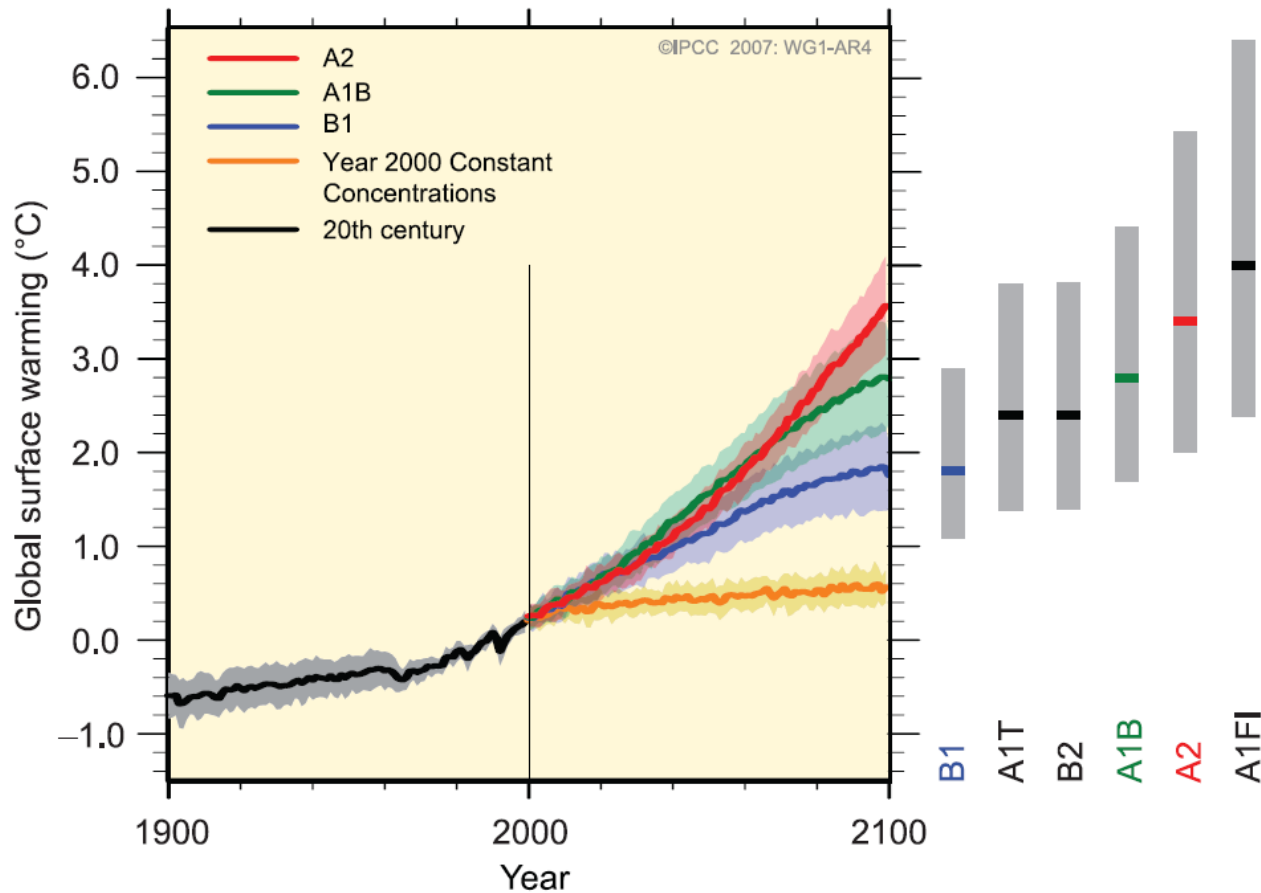


# TARTALOM

1. Bevezetés
2. Időjárás és éghajlat
3. A számítógépes előrejelzések alapjai
4. Az éghajlati modellezés sajátosságai
5. Néhány eredmény
6. Összefoglalás

# Globális eredmény

## A globális modellek által jelzett globális hőmérsékletváltozás



# Néhány hazai eredmény

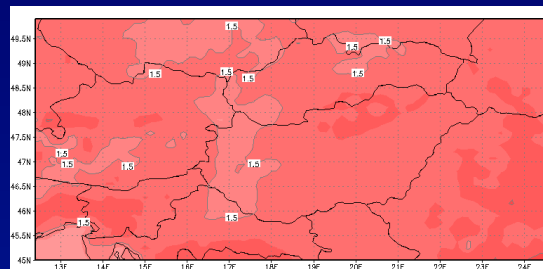
---

- Az Országos Meteorológiai Szolgálatnál két regionális éghajlati modellt használunk
- Ezeket először a múltra vonatkozóan teszteltük
- Ezt követően jövőbeli projekciókat készítettünk a modellekkel

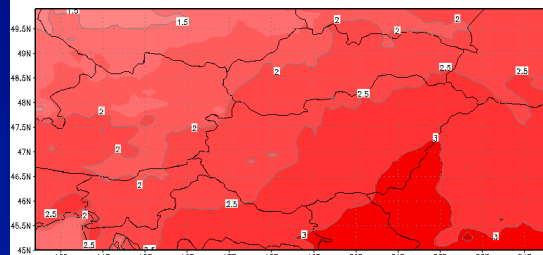
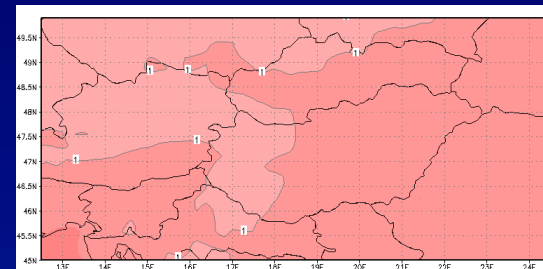


# Évszakos hőmérsékletváltozás 2021-2050-re [°C]

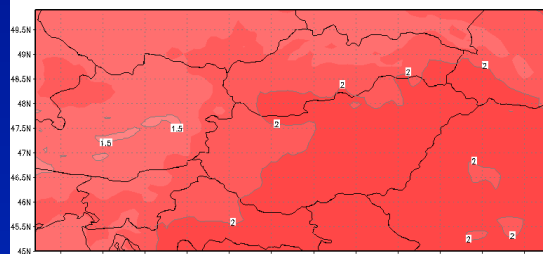
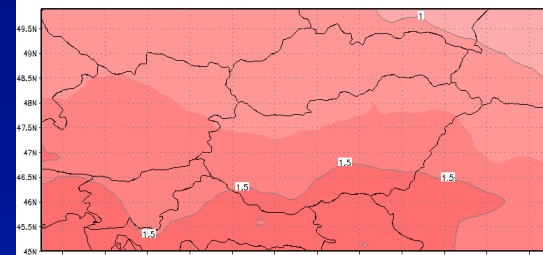
## Referencia: 1961-1990 modellátlaga, két modell



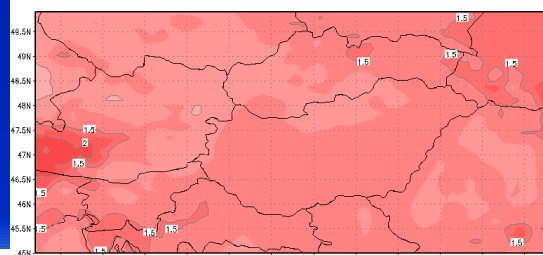
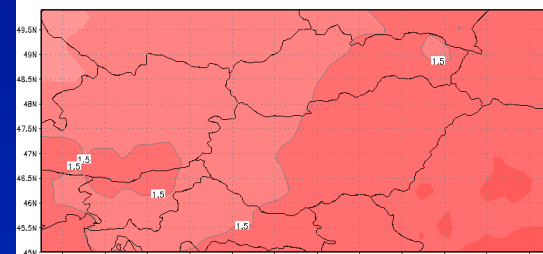
Tavaszi



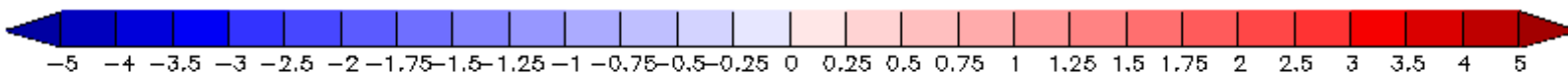
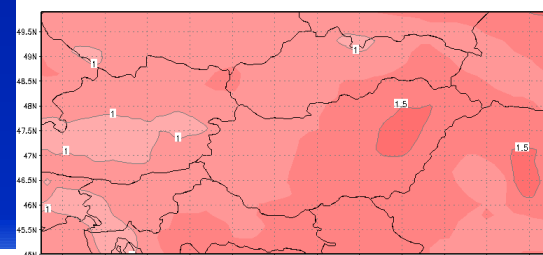
Nyári



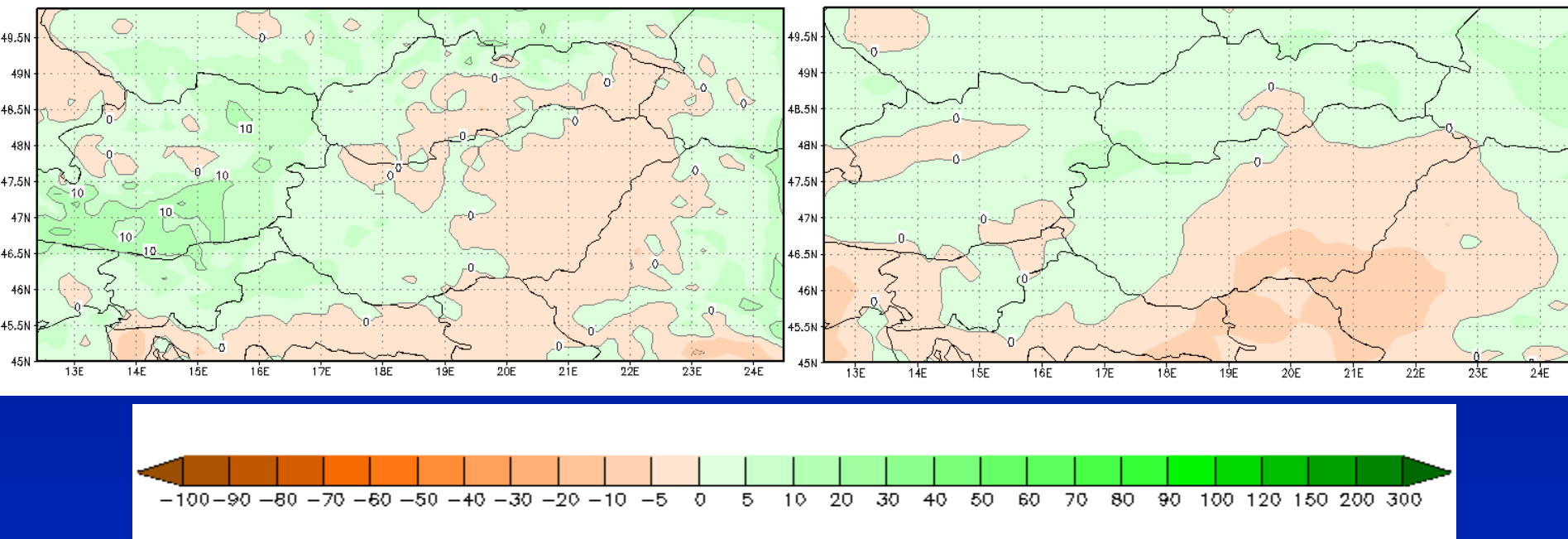
Őszi



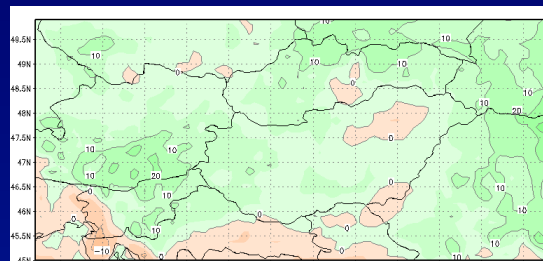
Téli



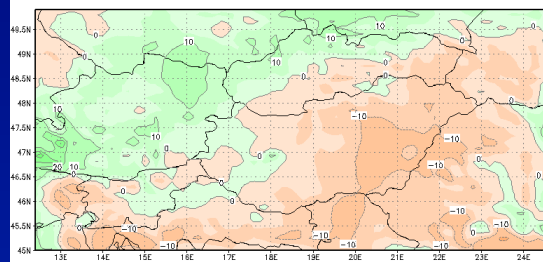
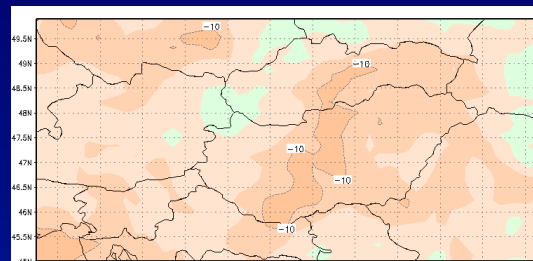
# Éves relatív csapadékváltozás 2021-2050-re [%] Referencia: 1961-1990 modellátlaga Két modellkísérlet



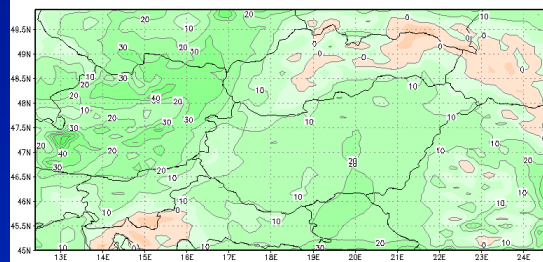
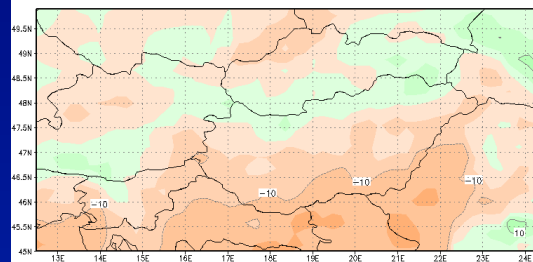
# Évszakos relatív csapadékváltozás 2021-2050-re [%] Referencia: 1961-1990 modellátlaga, két modell



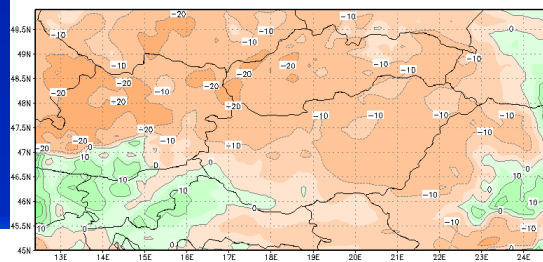
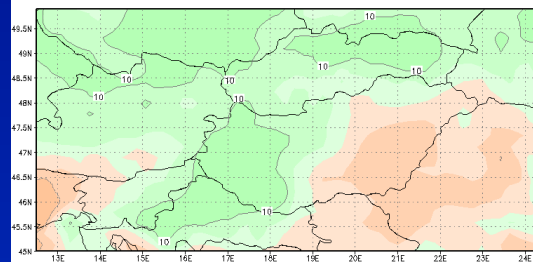
Tavaszi



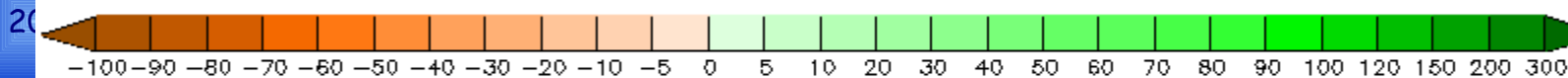
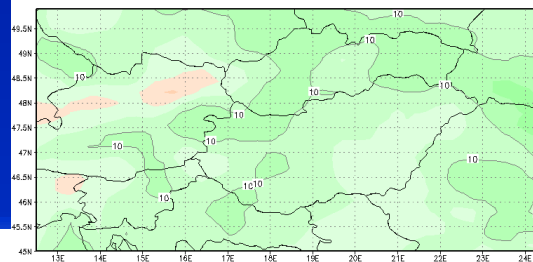
Nyári



Őszi



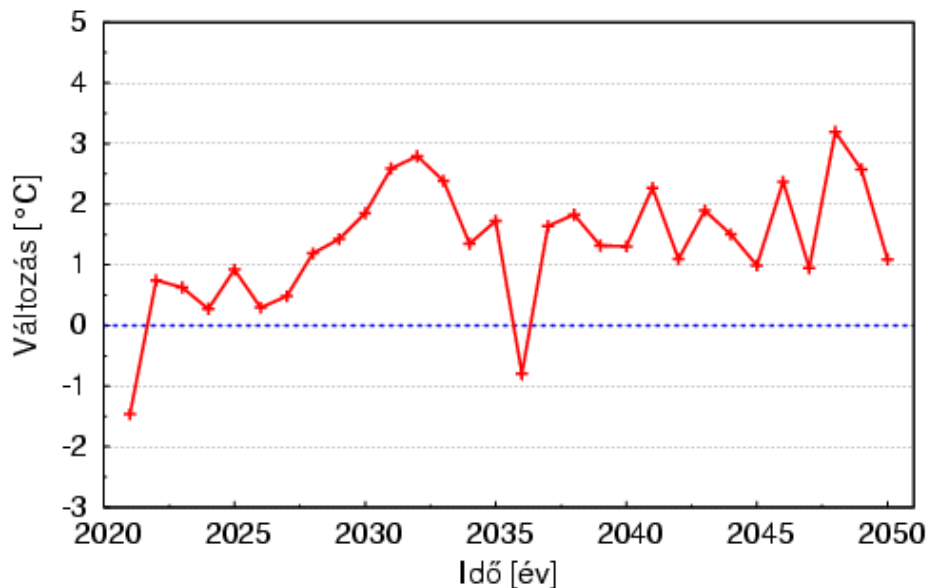
Téli



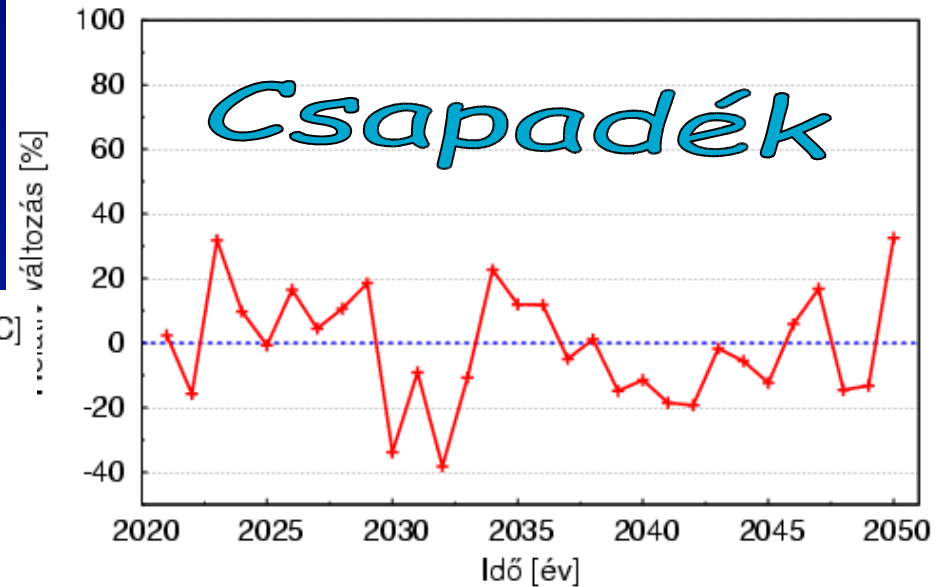
# Éves csapadékváltozás 2021-2050-re [%] Referencia: 1961-1990 modellátlaga

## Hőmérséklet

Éves átlaghőmérséklet változása; terület: Magyarország [°C]



Éves csapadékatlag változása; terület: Magyarország [%]



# TARTALOM

1. Bevezetés
2. Időjárás és éghajlat
3. A számítógépes előrejelzések alapjai
4. Az éghajlati modellezés sajátosságai
5. Néhány eredmény
6. Összefoglalás

# Mit nem tudhatunk?

## Tévhitek

1. Egyedi időjárási események, évszakok mint a klímaváltozás jelei
2. Magyarország-Firenze
4. Új elméletek ellenőrzés nélküli elfogadása

## Indokok

1. Az éghajlat csak hosszútávon értelmezhető, az időjárás rövidtávú
2. A helyi éghajlatot bonyolult tényezők összessége alakítja ki
3. Az elméleteket modellek segítségével kell próbára tenni

# Mit tudunk?

- A globális átlaghőmérséklet emelkedése
- Régióként a globális iránytól eltérő tendenciák lehetnek
- Magyarországra:
  - Hőmérsékleti melegedés: melegebb nyár, enyhébb tél
  - Csapadék éven belüli eloszlásának változása (nyári csökkenés, téli növekedés)

# A reklám helye

- Az OMSZ modellezési tevékenysége:

<http://www.met.hu/nmo>

Országos Meteorológiai Szolgálat

**Klímadinamikai  
tevékenység**



- Részvételünkkel zajló hazai éghajlatmodellezési kutatások:

[http://www.met.hu/palyazat/nkfp\\_klima2005.php](http://www.met.hu/palyazat/nkfp_klima2005.php)

- Tudományos ismeretterjesztés



**Köszönöm a figyelmet!**

[horanyi.a@met.hu](mailto:horanyi.a@met.hu)



[szepszo.g@met.hu](mailto:szepszo.g@met.hu)