

A jövő éghajlatának kutatása

Zsebeházi Gabriella
Klímamodellező Csoport

Hogyan lehet előrejelezni a következő évtizedek csapadékváltozását, miközben a következő heti is bizonytalan?



TARTALOM

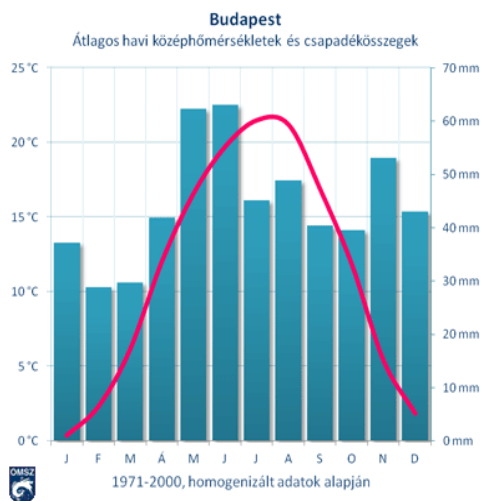
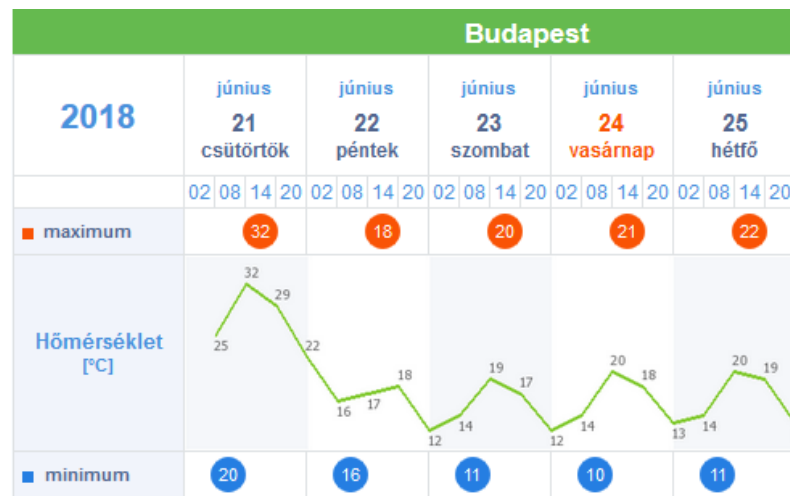


- **Időjárás vs. éghajlat**
- **Az éghajlati rendszer elemei, kölcsönhatások**
- **Természetes és ember okozta éghajlatváltozás**
- **Klímamodellelés**
- **A csapadék jövőbeli változása**
- **Mire használjuk a modelleredményeket?**

IDŐJÁRÁS vs. ÉGHAJLAT

Időjárás

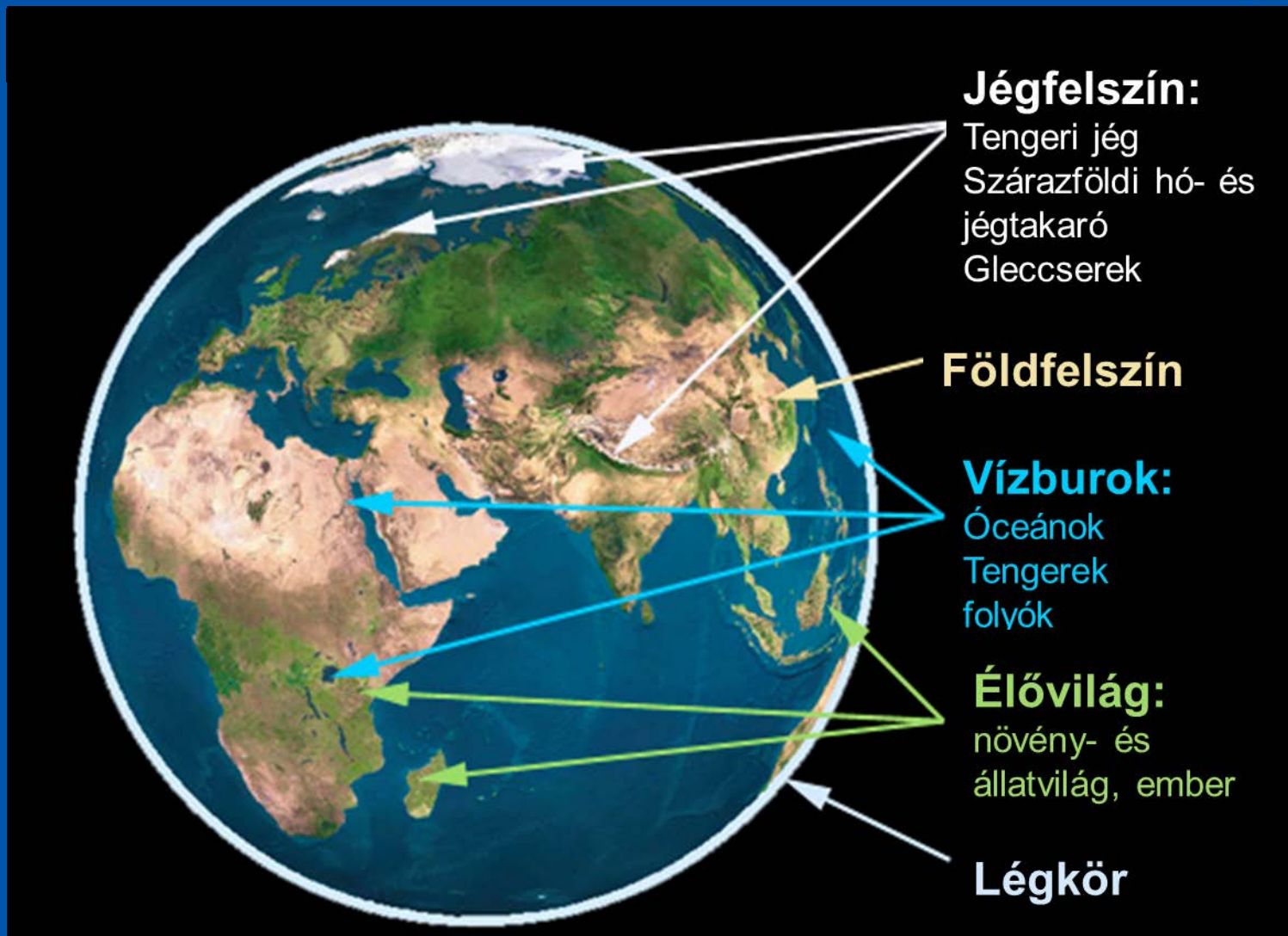
- A légkör pillanatnyi állapota
- Gyors változások – néhány óras, napos, hetes előrejelezhetőség
- A meteorológiai változók pillanatnyi értékével írjuk le



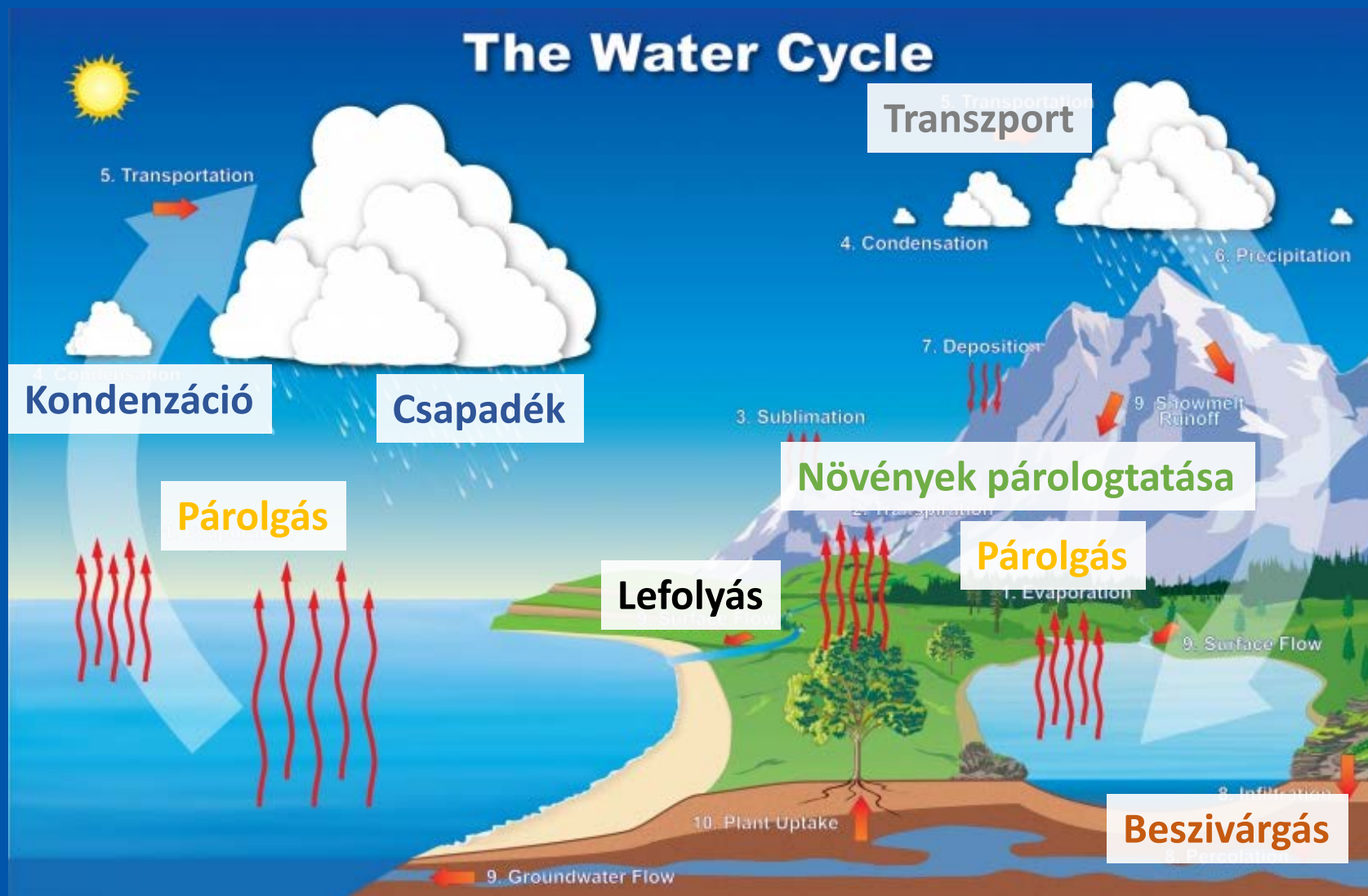
Éghajlat

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

AZ ÉGHAJLATI RENDSZER



A VÍZ KÖRFORGÁSA

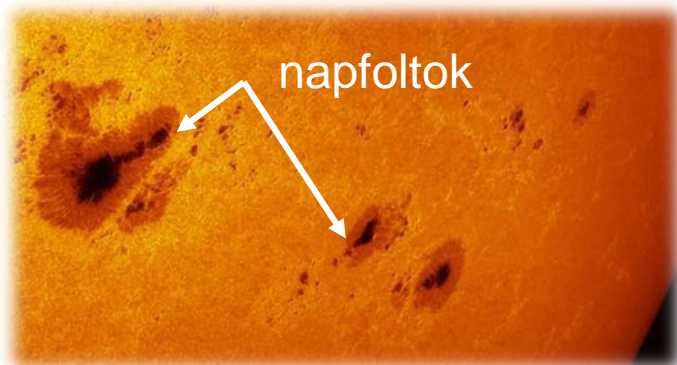


AZ ÉGHAJLAT MOTORJA A NAPSUGÁRZÁS

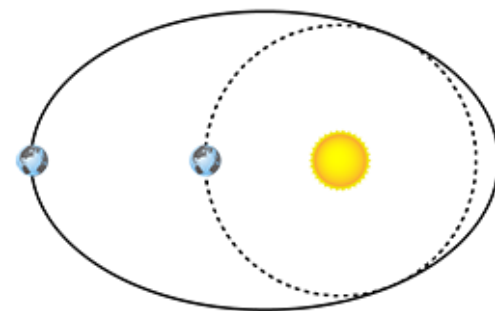


AZ ÉGHAJLATVÁLTOZÁS TERMÉSZETES OKAI

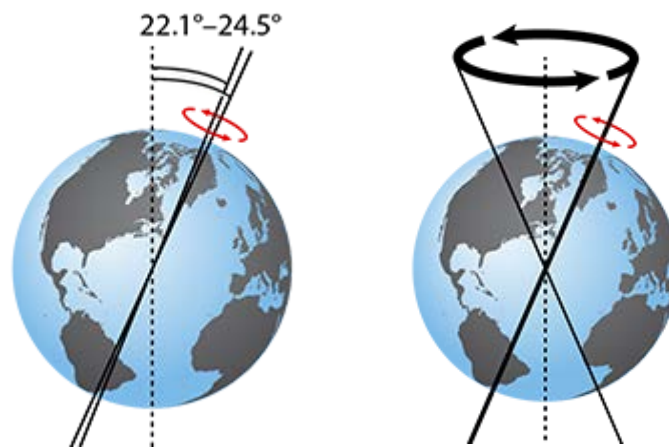
Napsugárzás változása



Föld pályaelemeinek módosulása



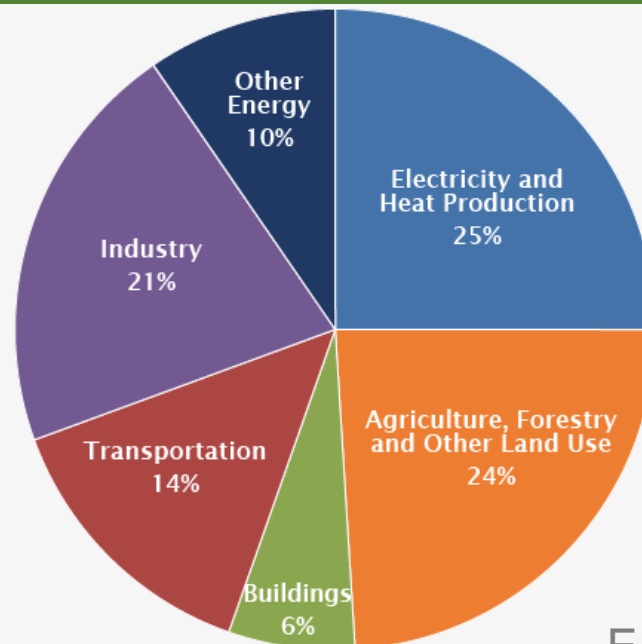
Vulkánkitörések



AZ ÉGHAJLATVÁLTOZÁS EMBERI OKAI

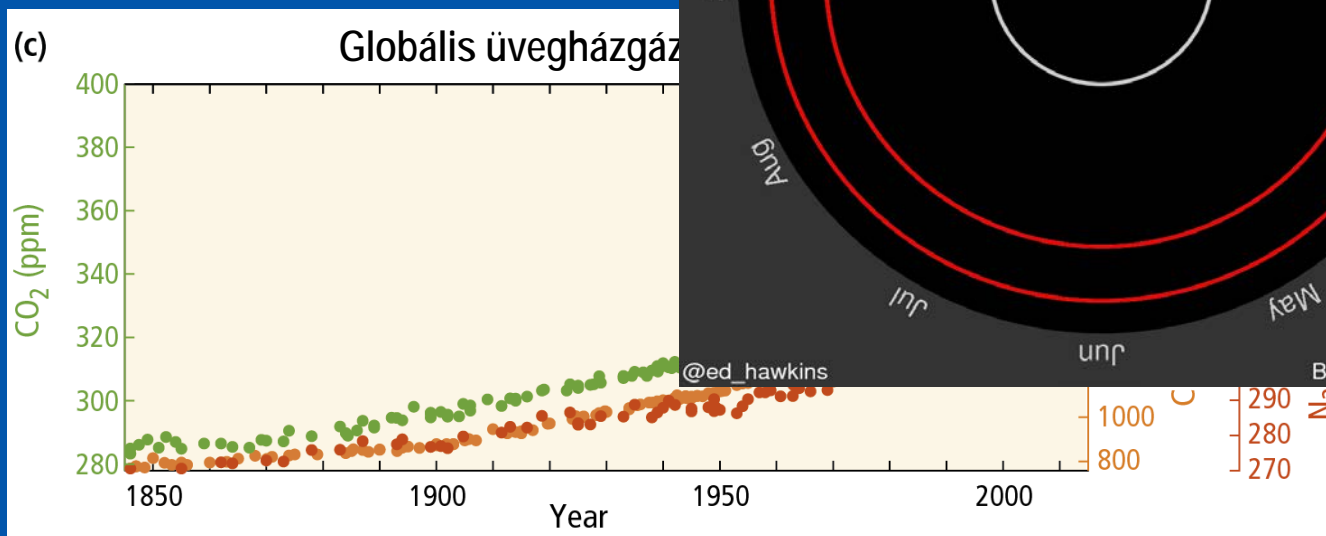
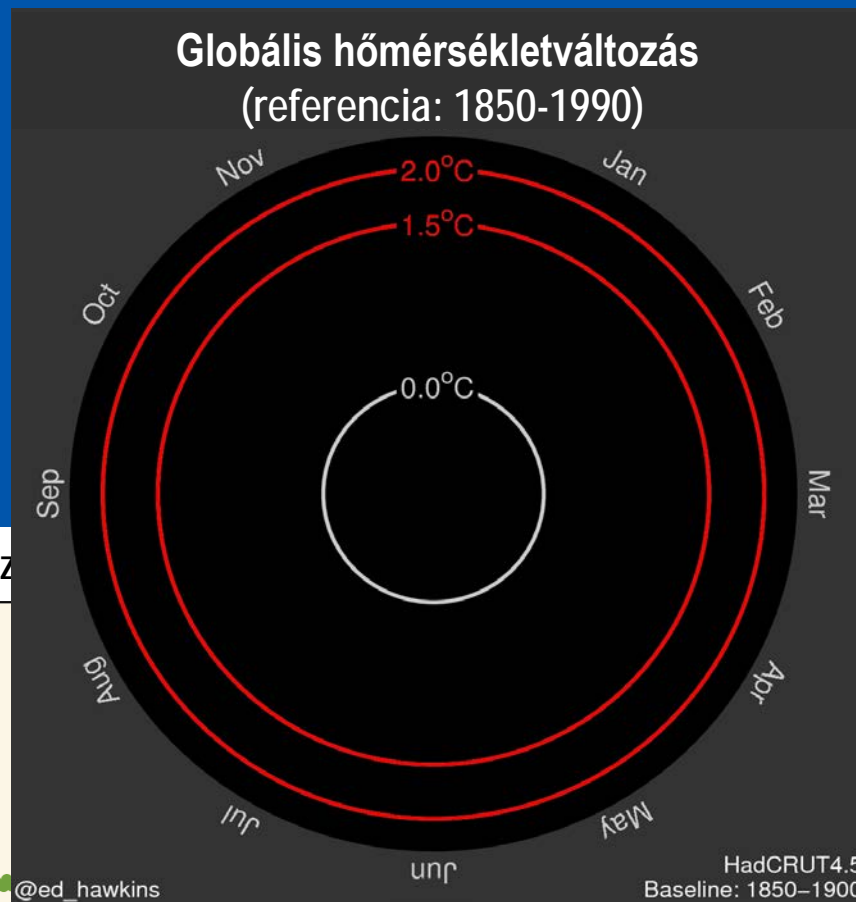
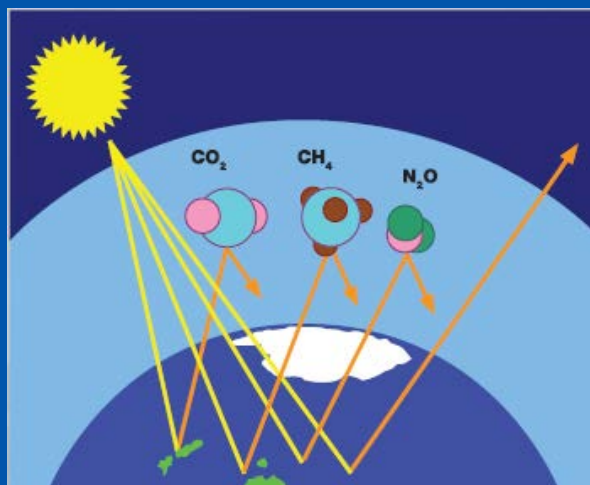


Az egyes szektorok hozzájárulása a globális üvegházgáz-kibocsátáshoz



EPA

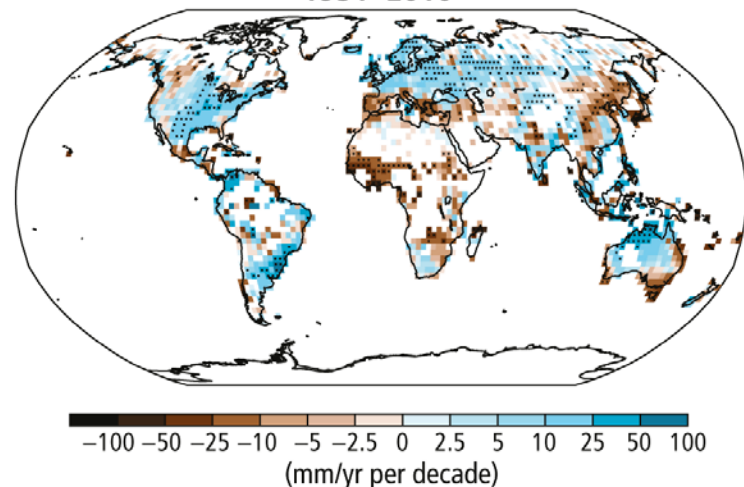
AZ ÜVEGHÁZHATÁS ERŐSÖDIK



HOGYAN HAT A MELEGEDÉS A CSAPADÉKRA?

- A melegebb levegő több vízgőzt tud magában tartani
- A száraz területek szárazabbá, a nedves területek nedvesebbé válnak
- Európában a nagy csapadékok gyakorisága és intenzitása növekedett
- A tavaszi hóolvadás korábbra tolódott

Éves csapadékváltozás, 1951–2010



ENSZ: ma a Föld lakosságának > 40%-a vízhiánnyal küzd. Az éghajlatváltozás következtében ez tovább súlyosbodhat.

AZ ÉGHAJLAT MODELLEZÉSE

- Az éghajlati rendszert és minden elemét, valamint a közöttük lévő kölcsönhatásokat fizikai törvények kormányozzák

- ✓ Newton II. törvénye: mozgásegyenletek
- ✓ Energia-megmaradás
- ✓ Tömegmegmaradás
- ✓ Nedvesség tömegmegmaradása
- ✓ Állapotegyenlet

AZ ÉGHAJLAT MODELLEZÉSE

- Az éghajlati rendszert és minden elemét, valamint a közöttük lévő kölcsönhatásokat fizikai törvények kormányozzák

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

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

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

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

$$p = \rho RT$$

- Matematikai formulákkal írjuk le
- Az egyenletrendszernek nincs „megoldóképlete”

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

- Közelítő módszereket kell alkalmaznunk

AZ ÉGHAJLAT MODELLEZÉSE



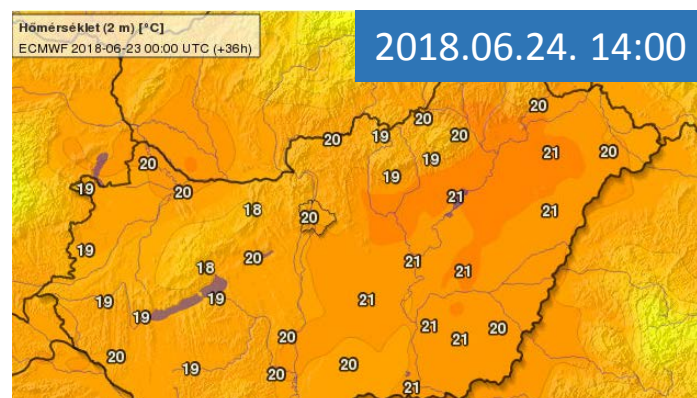
Az egyenletek megoldása csak szuperszámítógépekkel végezhető el reális időn belül

IDŐJÁRÁS ELŐREJELZÉS vs. ÉGHAJLAT MODELLEZÉS

Hogyan lehet az éghajlatot 100 évre előrejelezni, amikor még a holnapi időjárást sem tudjuk 100% bizonyossággal megmondani?

Időjárás előrejelzés

- a légköri folyamatok változását tekintjük
- Előrejelzés: pontos időbeli és térbeli leírás

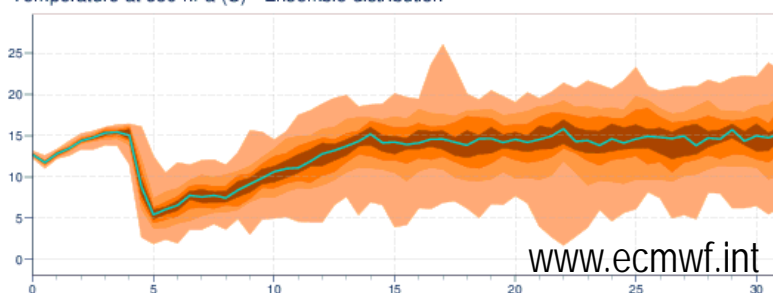


ECMWF Ensemble forecasts for HUNGARY - BUDAPEST

Location: 47.48°N 19.08°E

Base Time: Monday 18 June 2018 00 UTC

Temperature at 850 hPa (C) - Ensemble distribution



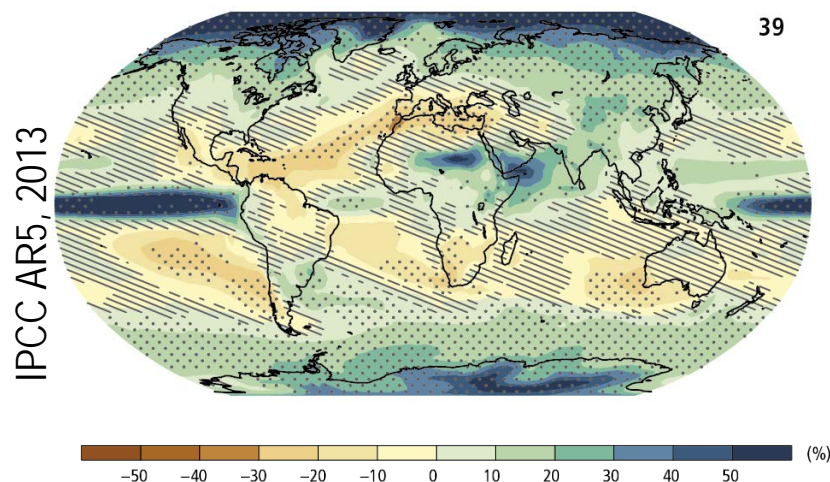
IDŐJÁRÁS ELŐREJELZÉS vs. ÉGHAJLAT MODELLEZÉS

Hogyan lehet az éghajlatot 100 évre előrejelezni, amikor még a holnapi időjárást sem tudjuk 100% bizonyossággal megmondani?

Éghajlat „előrejelzése”

- A teljes éghajlati rendszert tekintjük
- A szokásos viselkedését akarjuk leírni (több tíz évet tekintve)
- Nem szezonális előrejelzés

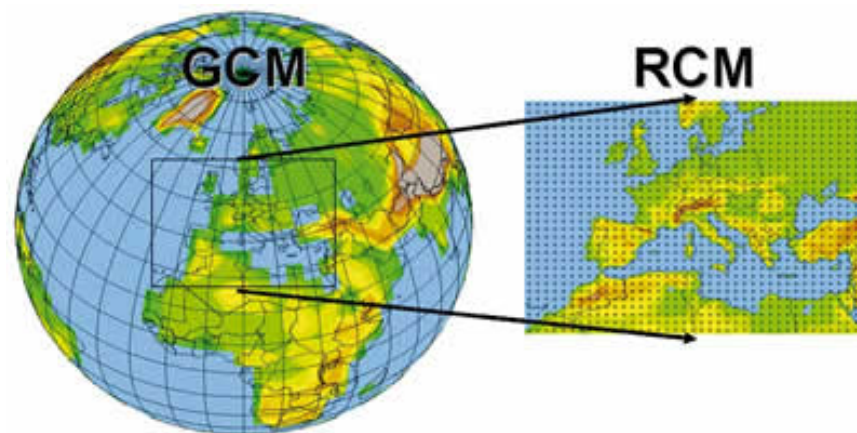
Csapadékváltozás 2081–2100
Referencia: 1986–2005



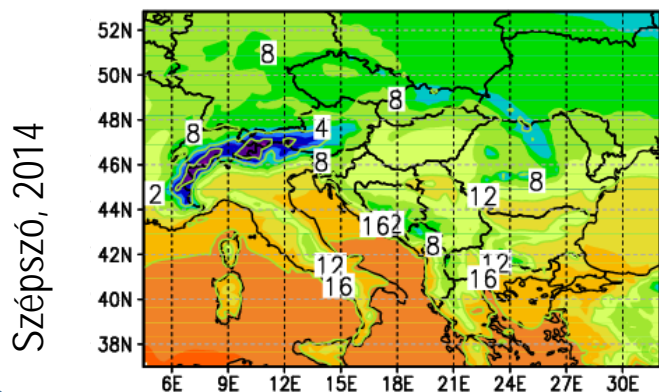
ÉGHAJLATI MODELLEK

Globális modellek

- 250-100 km felbontás
- Magyarországra néhány pont
- Alkalmazás: az éghajlati rendszer válasza a megváltozott kényszerre



Átlaghőmérséklet [$^{\circ}\text{C}$], 1961–1990
Regionális (25 km)

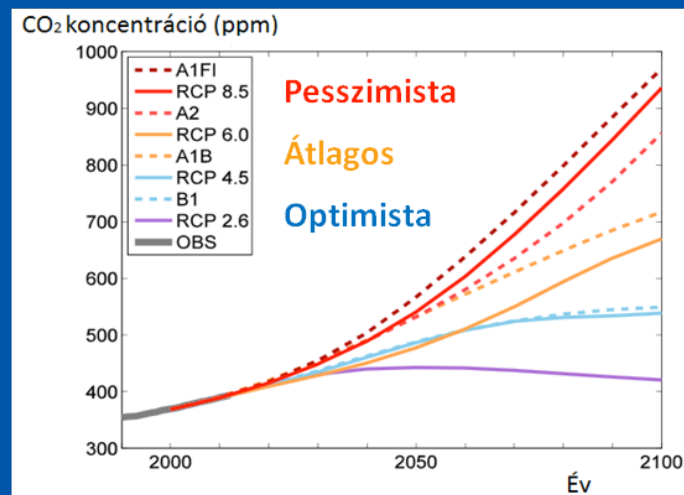
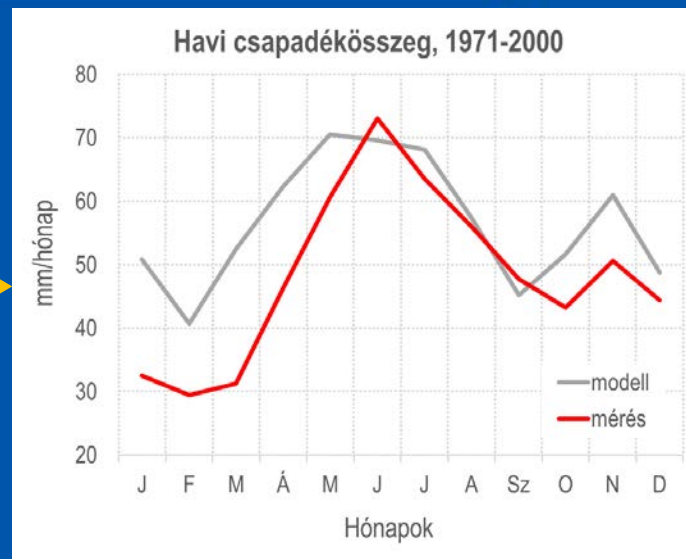


Regionális modellek

- Kiseb terület, finomabb felbontás
→ folyamatok pontosabb leírása
- Alkalmazás: a globális információ finomítása, a lokális változások vizsgálata

A MODELLEK ALKALMAZÁSA

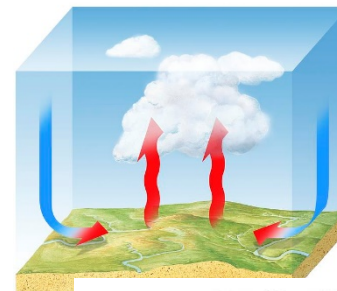
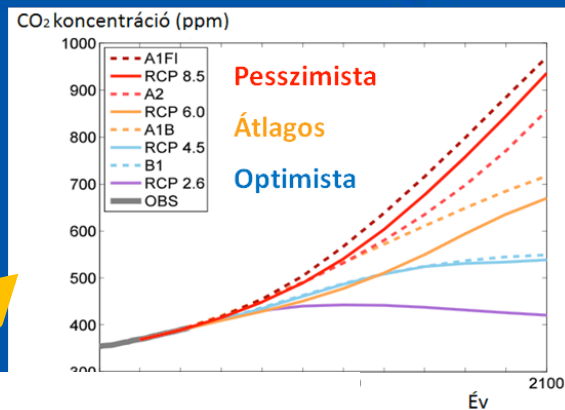
1. Futtatási időszak: általában 1950–2100
2. Múltbeli időszakon mérésekkel összevetés
 - Elvárt pontosság: az éghajlati jellemzők leírása (legalább 30 év vizsgálata)
3. Jövőbeli időszakon az emberi tevékenység alakulása bizonytalan
 - Leírására forgatókönyvek
 - Ha ... → ... akkor kérdésre keressük a választ
 - Feltételes projekciók



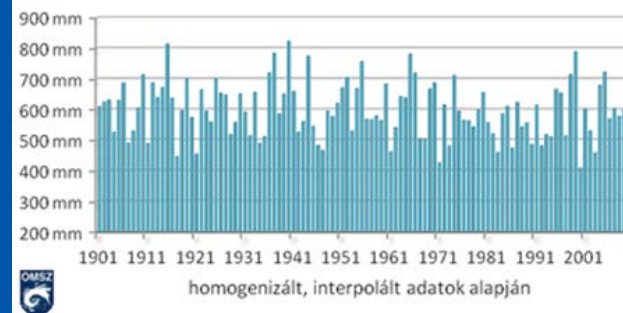
A KLÍMAMODELLEZÉS BIZONYTALANSÁGAI

- 1. Gazdasági-társadalmi változások:** hogy alakul a jövőben? Csak feltételezések
- 2. Modellek közelítő jellege:** eltérő közelítő módszerek → eltérő eredmények
- 3. Természetes változékonyság:** ingadozás → az éghajlati rendszer belső tulajdonsága

Több (különböző modellel és forgatókönyvvel elvégzett) szimuláció együttes vizsgálata szükséges



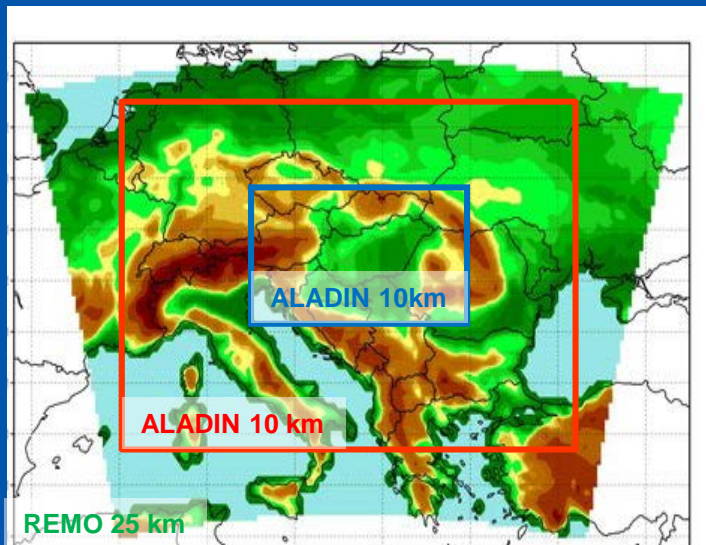
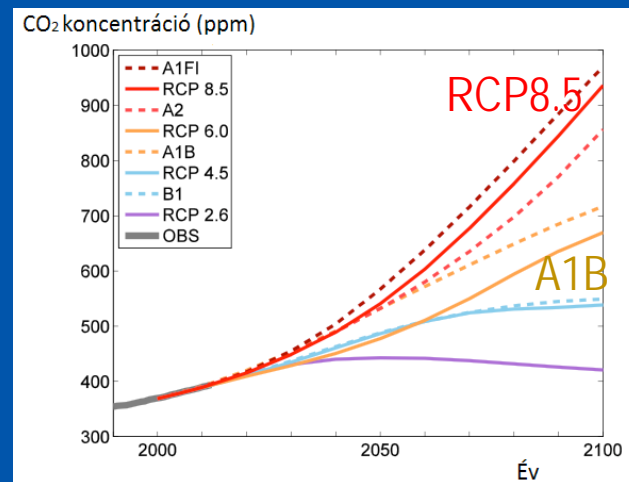
Országos éves csapadékösszegek
1901-2009



HAZAI VIZSGÁLATOK

- OMSZ-ban kutatások két modellel és két forgatókönyvvel:

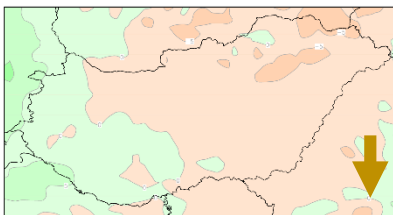
Modell	Felbontás	Időszak	Forgatókönyv
ALADIN	10 km	1961–2100	A1B
REMO	25 km	1951–2100	A1B
ALADIN	10, 50 km	1950–2100	RCP 8.5



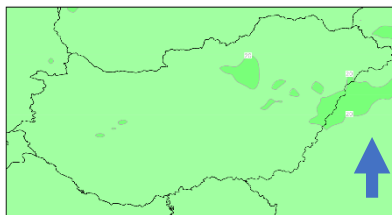
- További vizsgálatok európai modelleredmények felhasználásával
- Jövőbeli változások vizsgálata: 2021–2050, 2071–2100
- Referencia: 1971–2000

ÉVES CSAPADÉKÖSSZEG VÁLTOZÁSA

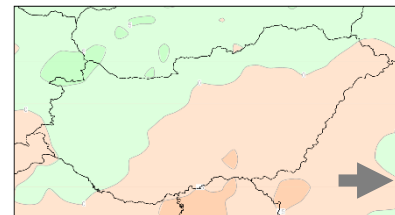
Szimuláció 1



Szimuláció 2

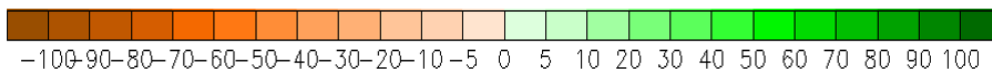
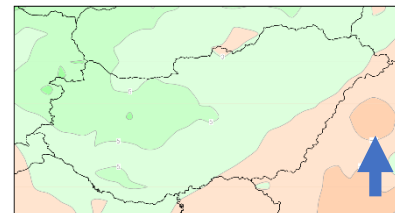
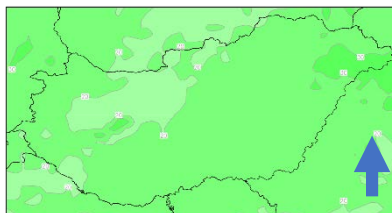
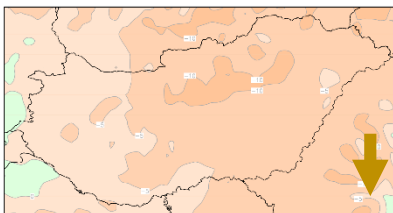


Szimuláció 3



2021–2050: -1 – 17 %

2071–2100: -6 – 24%



Mit mondanak az európai modelleredmények?

ÉVES CSAPADÉKÖSSZEG VÁLTOZÁSA

Növeljük a vizsgált modellek számát 24-re!

Szimuláció 1

Szimuláció 2

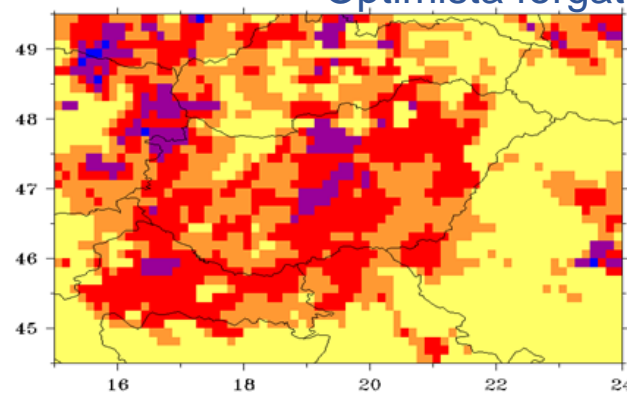
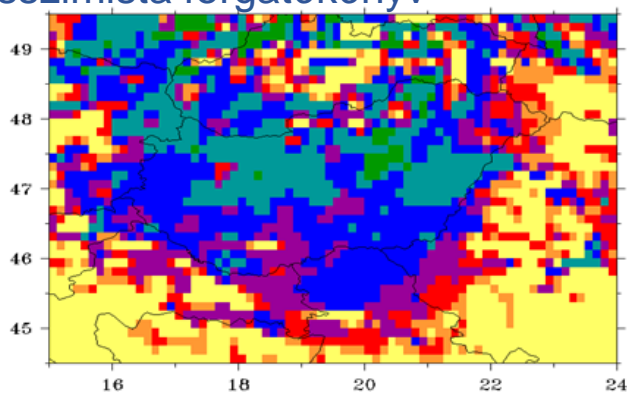
Szimuláció 3



Éves csapadékösszeg 10%-ot meghaladó mértékű
növekedésének valószínűsége

Pesszimista forgatókönyv

Optimista forgatókönyv



- Pesszimista forgatókönyv: jelentősebb mértékű csapadéknövekedés a modellek 60-80%-a szerint
- Optimista forgatókönyvvel ennek valószínűsége kisebb

MEDITERRÁN LESZ HAZÁNK ÉGHAJLATA?

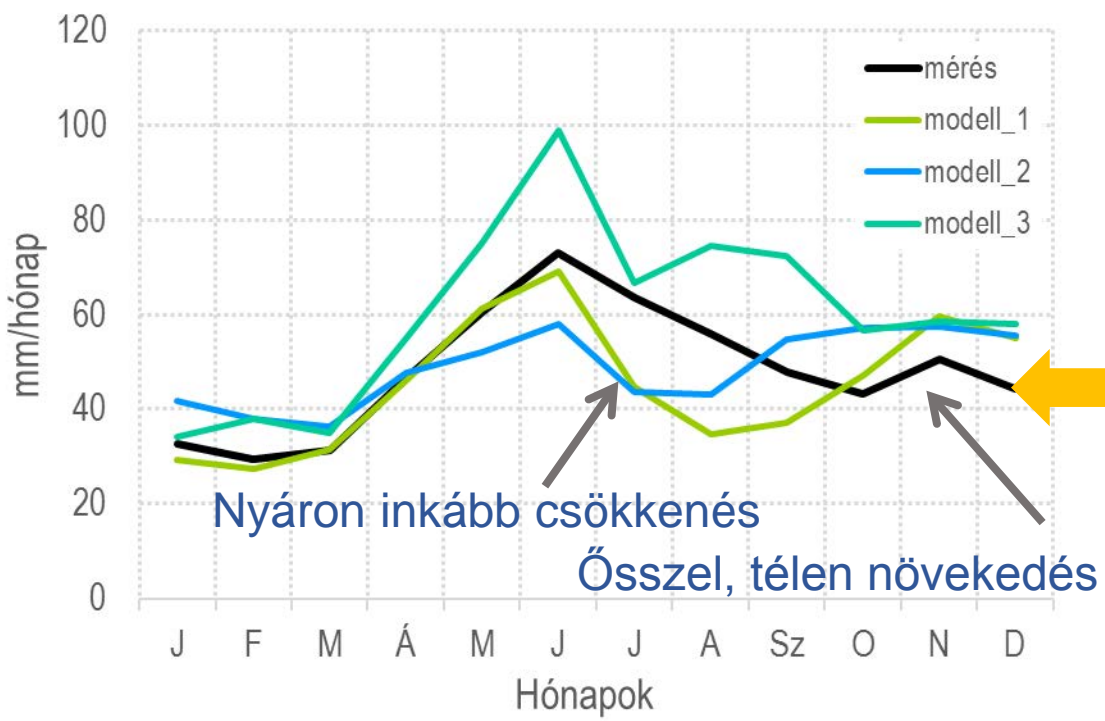


Szimuláció 1

Szimuláció 2

Szimuláció 3

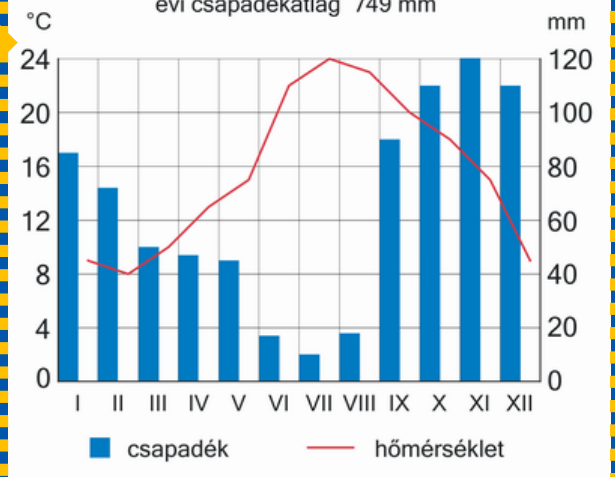
Magyarországi havi átlagos csapadékösszeg



Nem. Az éghajlatváltozás nem jelenti a földrajzi övek egyszerű eltolódását

Mediterrán terület

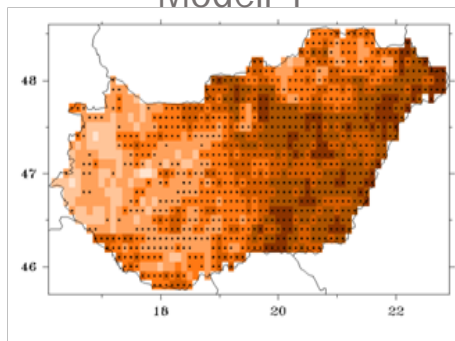
évi középhőmérséklet 15,9 °C
évi csapadékatlag 749 mm



A SZÉLSŐSÉGES CSAPADÉKOK VÁLTOZÁSA

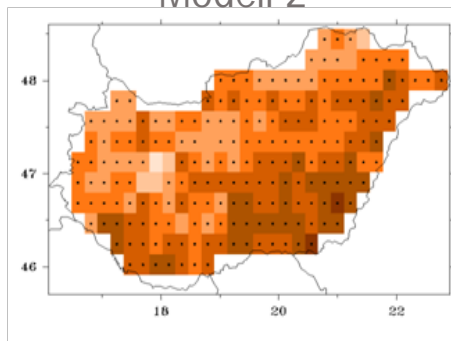
Nyári száraz időszakok maximális hosszának változása (%)

Modell 1

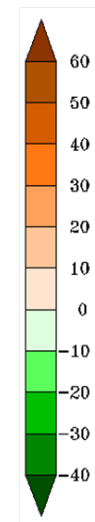
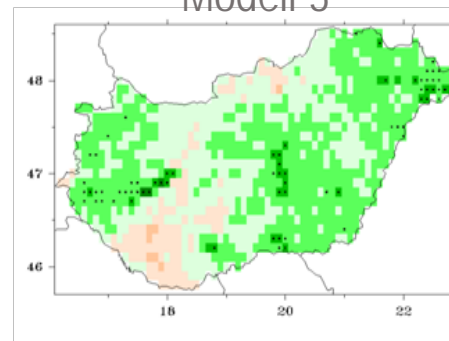


Napi csapadékösszeg < 1 mm

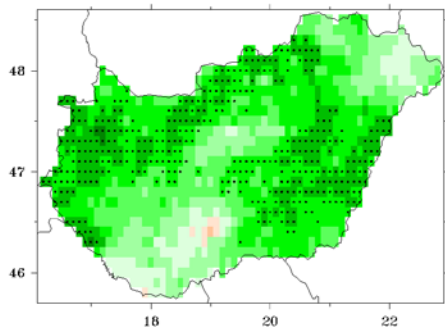
Modell 2



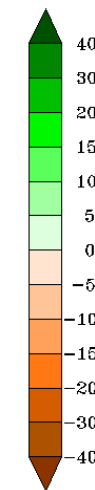
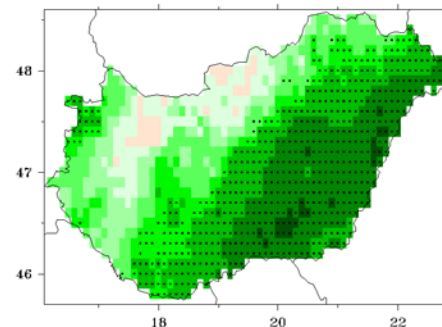
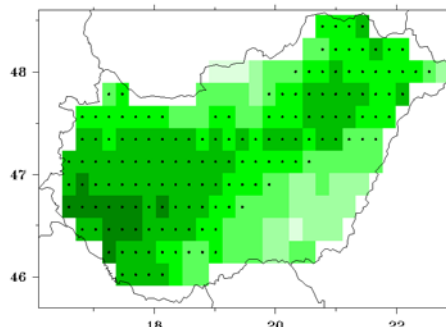
Modell 3



Őszi csapadékintenzitás változása (%)

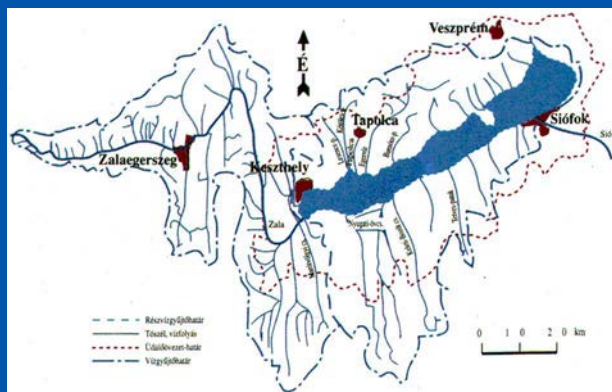


Csapadékösszeg / csapadékos napok száma



A MODELLEREDMÉNYEK FELHASZNÁLÁSA

- Milyen hatásokkal jár az éghajlatváltozás?
- Megválaszolása: klímamodelledmények alapján hatásvizsgálatok
- A hatások ismeretében megfelelő döntések hozhatók



PI: a Balaton jövőbeli vízkészletének változása (Varga, 2016)

- Az évszázad végére a Balaton lefolyástalanná válhat

+ + -

Időszak	Csapadék	Hozzáfolyás	Párolgás	Természetes vízkészlet-változás
1961–1990 CC	609	1001	807	803
2021–2050 ALADIN	631	725	926	430
2071–2100 ALADIN	602	224	1137	-311

Köszönjük a figyelmet!



zsebehazi.g@met.hu