



A klímaváltozás a Balatonnál a meteorológiai számítások tükrében

HORÁNYI ANDRÁS (horanyi.a@met.hu)

Krüzselyi Iлона, Szabó Péter, Szépszó Gabriella



Országos Meteorológiai Szolgálat

Numerikus Modellező és Éghajlat-dinamikai Osztály (NMO)



TARTALOM

- Bevezetés: motiváció, háttér, a klímamodellezés alapjai
- Az OMSZ regionális klímamodelljeinek legújabb eredményei a Kárpát-medence jövőbeli éghajlatának becslésére
- Összefoglalás, kitekintés



BEVEZETÉS



MOTIVÁCIÓ, HÁTTÉR

- Napjaink egyik fontos környezeti, gazdasági és társadalmi problémája az éghajlatváltozás
- Manapság már mindenki ért az éghajlatváltozáshoz (mint a focihoz), s sok minden pontatlanul (vagy rosszul) hangzik el a médiákban (és másutt)
- Magyarországon úgy beszélnek az éghajlatváltozás hatásairól és az arra való felkészülésről, hogy nem foglalkoznak azzal, hogy pontosan milyen irányú és mértékű lesz ez a változás
- Az éghajlat jövőbeli viselkedésének becslésére egyedüli járható út a modellezés (a spekulatív megközelítés nem vezet eredményre)



PONTATLAN ÁLLÍTÁSOK

- Egyedi szélsőséges jelenségek, mint a klímaváltozás megkérdőjelezhetetlen jelei (pl. 2006. augusztus 20.)
- Adott évszak jellemzői alapján következtetést vonunk le a klímaváltozás várható tendenciáira (például a 2003-as forró nyár vagy a 2006/2007-es enyhe tél, vagy a 2009/2010-es hideg tél)
- Párhuzam különböző térségek éghajlata között (pl. Budapest és Firenze?)
- Katasztrófavárás, félelemkeltés (hirtelen gyors változások, mint például a Golf-áramlat leállása)

vélemény & vita

Harminccentis Balaton


Zágoni Miklós

fizikus a száraz-meleg, illetve a szél-
ségezés időjárás forgatókönyvét tartja a legvalószínűbbnek.

Az elmúlt hónapok-évek összes szakértői jelentése, intézményi jóslata szerint 2004 elejére a Balatonnak 85-100 centi körül, a teljes regenerálódás közelében kellene lennie. Ezzel szemben csak az őszel három cikkben szögezték le: „egyelőre nem látom a kedvező fordulat kibontakozásának jeleit... Nem mutatkozik az a nagy léptékű légi kör változás, amely elegendően tartós esőket terelhetne ide.”

Nos, az a helyzet, hogy a jelenlegi vízmagasság húsz centivel marad el a tavalyi ilyenkoritól, negyvennel a tavasziól és hatvanhétvennel a hivatalos várakozásuktól. A teli felév kezdete (egyúttal prognózisunk közzététele), október elseje óta a vízszint máig csupán hét centimétert emelkedett, a további a rendkívül száraz időjárás következtében.

Várakozásomnak megfelelően az idei márciusi nyitó értek ismét alacsonyabb lesz a tavalyinál, ami már a negyedik csökkenő szezonkezdést jelenti. S hacsak abnormálisan nagy esők nem jönnek, a vízszint – immár ötödikszor – nyárig végére megint az előző évi alatt marad. Ez a statisztikailag kirívó, jelentős szélsőség nyugodtan tekinthető a regionális klímaváltozás bizonyítékának, hiszen tudjuk,

hogy eddig három ilyen sem detektáltak. Ezáltal a kormány tudományos tanácsadó testülete által jószolt évi 20 centiméteres emelkedés helyett ismét az én prognózisom válna valóra.

Miért? Mi okozhatja a különbséget? Válaszként – mint már annyiszor – a klímaváltozás előrehaladásával kapcsolatos fizikai folyamatok eltérő megítélésére kell utálnom. (Persze azt gondolom, nem nekem kellene magyaráznom ezt az eltérést.) Kiindulásként támpontot ad a Meteorológiai Világszervezetnek az esztendő éghajlati viszonyairól szóló éves jelentése. Eszerint a nyári európai hőhullám páratlan a megfigyelések történetében: az átlaghőmérséklet több országban öt fokkal haladta meg tartóssan a szokásosat. Az eddigi hűvös, óceáni éghajlatú London és Párizs soha nem látott csúcshőmérsékletet ért át, de az egész északi féltekén rekordmelegségeket mértek. A XX. század utolsó évtizedeinek melegezése példa nélküli az elmúlt évezredben. A legutóbbi ezer évben az 1998-as esztendő volt a legmelegebb, utána sorrendben 2002, 2003 és 2001 következtek. Rendkívüli a 70-es évek közepé óta megfigyelt felmelegedés tempója is (szoros összefüggésben a hatmilliárdos emberiség széndioxid-, metán- és freon-gáz-kibocsátásával). Az eredmény közvetlenül is megfigyelhető a sarki jég és a hegyi gleccserek területének fogyásában, az ózonréteg rekordmértékű elvékonyodásában. Idehaza legutóbbi évben a két évvel ezelőtti téli a harmadik legszárazabb volt a nyolcvan éves statisztika szerint, a 2003-as esztendő pedig magasan szárazsági rekordot döntött.

Miközben a világ a globális felmelegedés következményeiről elmélkedik, idehaza rendre „időszaka-

A XX. század utolsó évtizedeinek melegezése példa nélküli az elmúlt évezredben.



Finis 2004

Kéjén Tibor rajta

kos”, „átmeneti”, „vissza-visszatérő” változásról beszélnek. Úgy tűnik, mintha az elmúlt évtizedek speciális, egyedi, ember okozta klímaváltozást szándékosan relativizálnák, hogy bekénszerítessék a múltbeli hosszú távú természetes klímáingadozások sorába.

A két vélekedésből erősen eltérő jövőképek származnak. Szakmai meggyőződésemet mondom, nem a hazai mainstream álláspontját. A melegező trend folytatódására számítok, ezen belül két fő forgatókönyvet tartok valószínűnek a száraz-meleg, illetve a szélsőséges időjárás forgatókönyveit. Az első a jelenlegi állapot rögzítését, a második a rendkívüli jelenségek megszorodását feltételezi. Az első esetben a Balaton további száradás, a második a száradó trend közben időnként teljes visszatöltődés vár. Hogy ezek közül melyik valósul meg – netán egy harmadik vagy negyedik –, azt csak egy regionális klímadinamikai program végigvitele után lehetne megmondani.

Mindeme bizonytalanságok mellett hat pontban foglalom össze a vízpótlási tanulmánnyal kapcsolatos álláspontomat:

1. Vitatom, hogy átmeneti klímáingadozástól van szó, állítom az alaprendelése változást.
 2. Célom, hogy a Balaton múltbeli víztöbbletéből biztonságos jövőbeli többlet lehetne következtetni.
 3. Tagadom, hogy ne állna fenn a további száradás-zsugorodás veszélye.
 4. A vízpótlás kapcsán sürgetem a „nem szükséges és nem lehetséges” szlogen visszavonását, s helyette a „szükséges, csak nagyon nehezen lehetséges” beismertését.
 5. Furcsállom, sőt elfogadhatatlannak tartom, hogy a tanulmánytizenkét szerző között egyetlen időjárás-kutató vagy klimatológus sem akad.
 6. Egyetérték azonban azzal a következtetéssel, hogy a legjobb megoldás a parti védművek megemlése lenne a majdani esetleges bővíző évek magasabb vízszintjének tárolására.
- Összességében tehát azt állítom, hogy a klímaváltozás valóság, a globális védelmi intézkedések elmaradása miatt a „megelőzés, védekezés, alkalmazkodás” hármasból az első elenyészni látszik.

Közszolga

Ha szilveszter estején az óra mutatója éjfél felé cammog, és megsörren a telefonom, hármennyi euróba hajlandó vagyok fogadni, hogy François barátom jelentkezik. Monsieur K. Grignyből, ebből a Párizs környéki, meglehetősen ronda, mert betonrengeteg elővárosból, ahol hájos lakásban él még bájosabb feleségével, Barbarával.

A barátságunk immár több évtizedes, és még soha, egyetlenegyszer sem mulasztotta volna el, hogy az első között kívánjon Bonne Année-t, boldog új esztendőt. Nem sajnálja a jó magas telefonárifát sem, vagy húsz perc hosszat, néha fél órát beszél, csak hogy egymás hangját hallhassuk.

Ilyenkor minden szóba kerül. Olyan is, amire mindketten tudjuk a választ, mégis illik szólni róla.

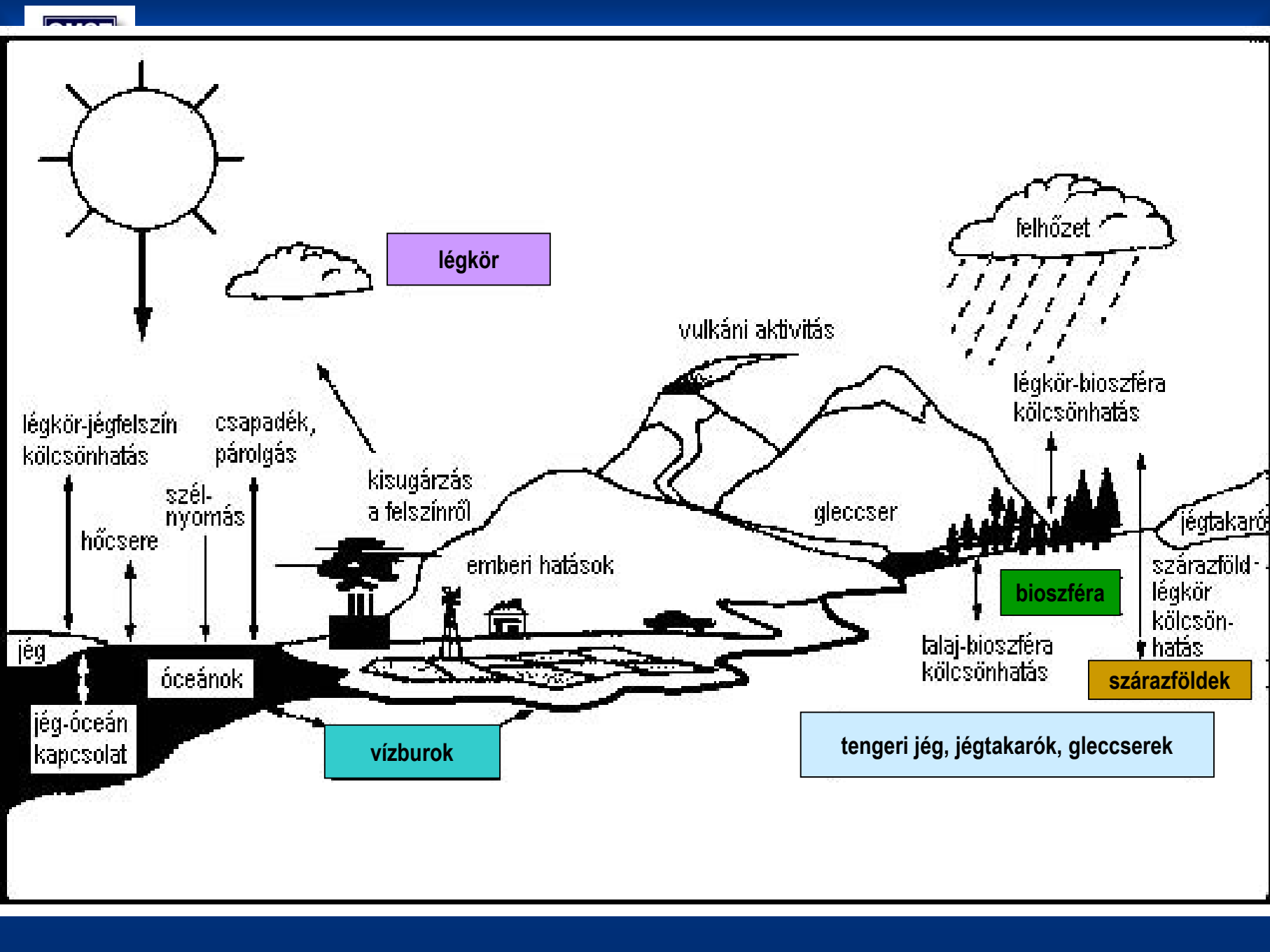
François ugyanis csak évtizedek óta ugyanabban a párizsi miniszterhivatalban dolgozik. Mindent kívülről tudom, mégis megkérdeztem, ugyanott nyúvi-e az íróasztalt. Ugyanott és ugyanabban a minőségben – válaszolta. Kajánul hozzátettem, így te, aki megrogózt szocialista párti szavazó vagy, ezáltal jobboldali kormányt szolgálás. François-t, akinek egyébként jóval a humorérzéke, ezáltal váratlanul kihozta a sodrából a következőt: „A választás a megkegyezés. [En köztisztviselő vagyok, soha semmilyen kormányt nem szolgálok, mindig a közt, függetlenül a kormány színtől.”

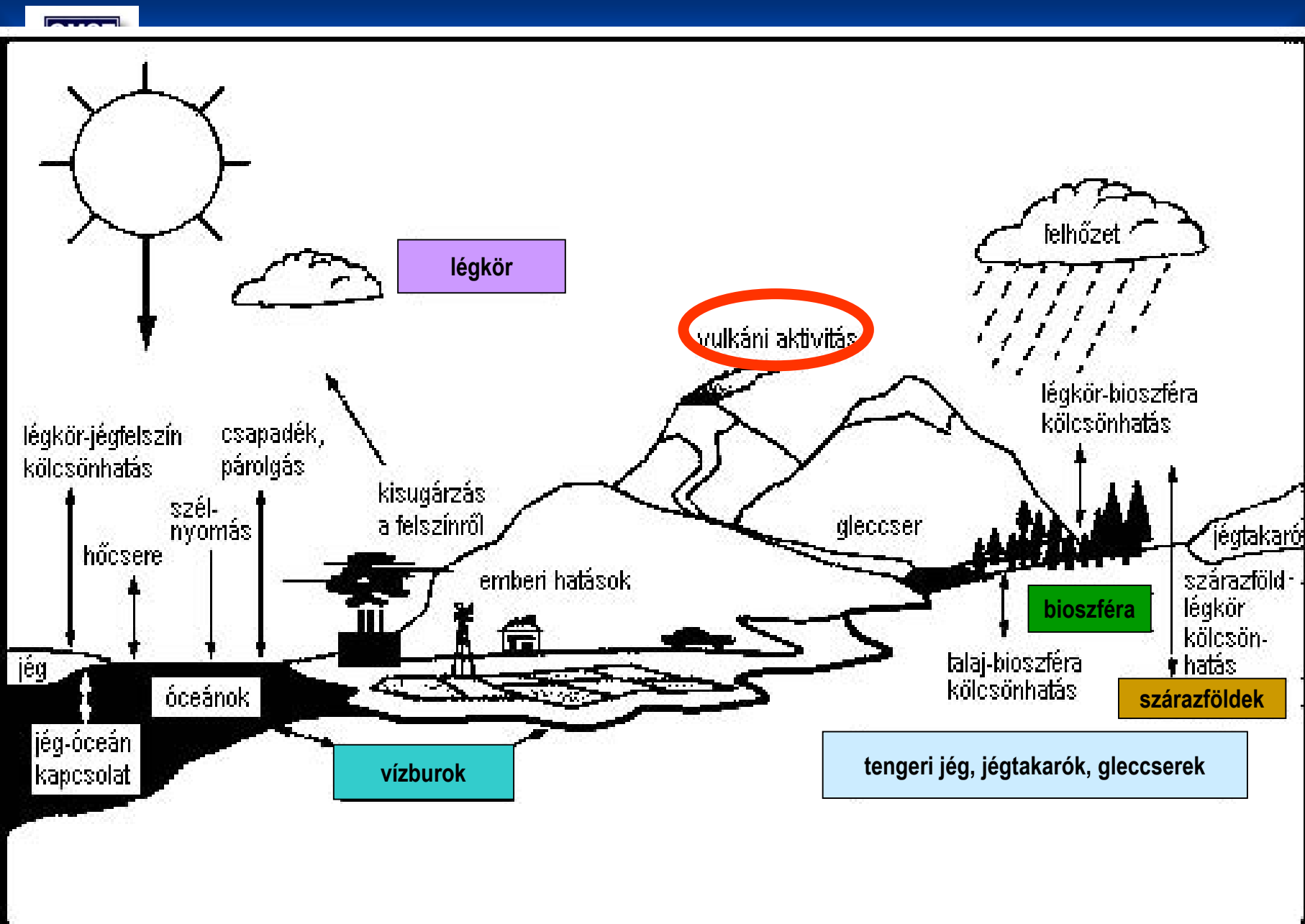
Szegény Franciaország! Alkalmisint elküldhetné a köztisztviselő Magyarországra tanulni. Például demokráciát.

(vártib)



AZ ÉGHAJLATI RENDSZER ELEMEI





légkör

vulkáni aktivitás

felhőzet

légkör-jégt felszín kölcsönhatás

csapadék, párolgás

kisugárzás a felszínről

gleccser

emberi hatások

bioszféra

jégtakaró

jég

óceánok

talaj-bioszféra kölcsönhatás

szárazföld-légkör kölcsönhatás

szárazföldek

vízburok

tengeri jég, jégtakarók, gleccserek

jég-óceán kapcsolat

szél-nyomás

hőcsere

légkör-bioszféra kölcsönhatás

szárazföld-légkör kölcsönhatás



MILYEN ELŐREJELZÉSEK KÉSZÍTHETŐEK ÉGHAJLATI MODELLEKKEL?

- Az éghajlati rendszer (elsősorban a légkör és az óceán) hosszabb időszakra vonatkozó (tipikusan 30 év) viselkedésének jellemzése statisztikai mutatókkal (átlagok, összegek, extrém indexek stb.)
- Szükséges és lehetséges a szimulációkban rejlő bizonytalanságok számszerűsítése (valószínűségi forma, „együttes” előrejelzések: több modellfuttatás)
 - Ez kiegészítő információ és nem korlát!!



AZ ÉGHAJLAT DINAMIKAI ALAPÚ „ELŐREJELZÉSE”

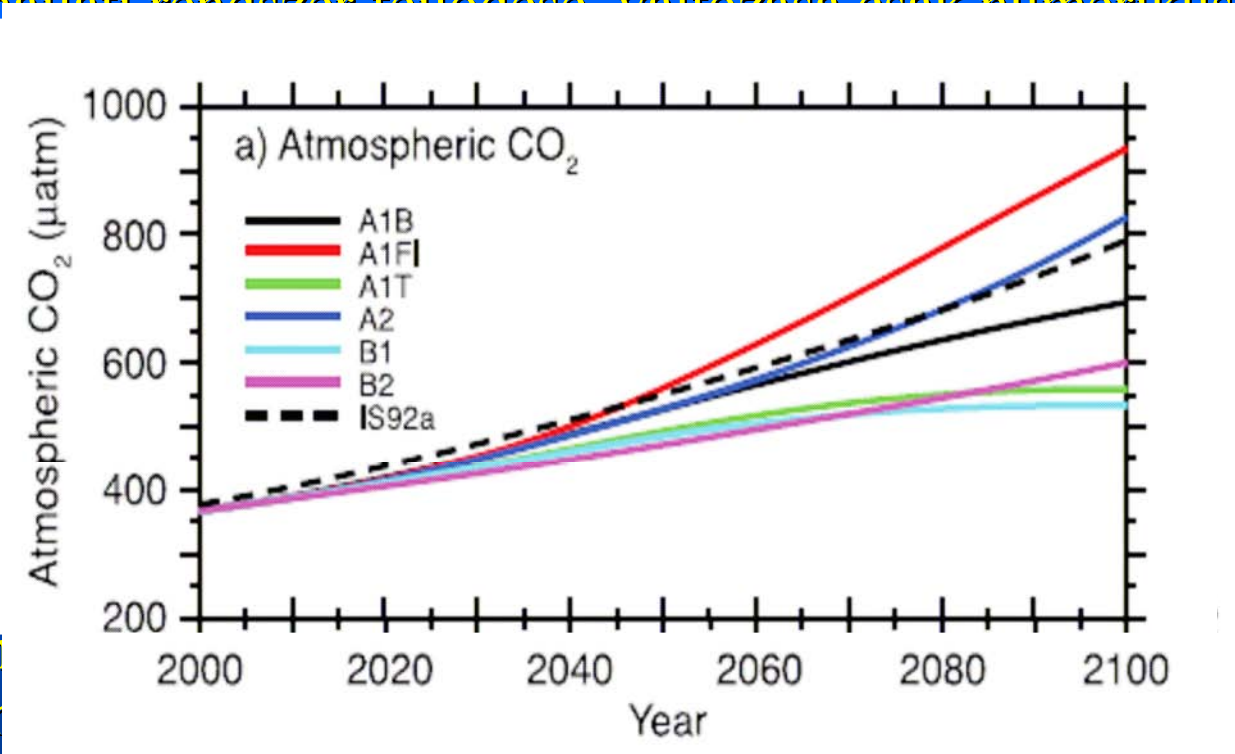
- Az éghajlati rendszer fejlődése, változása csak numerikus modellek segítségével írható le (túl bonyolult – nemlineáris, turbulens, kaotikus – a spekulatív megközelítéshez!)
- Globális klímamodellek: az egész éghajlati rendszer jellemzésére (a külső kényszerek – például szén-dioxid koncentráció: kibocsátási forgatókönyvek – változása figyelembevétel; de NEM adnak regionális részleteket)
- **Dinamikai leskálázás: regionális éghajlati modellek alkalmazása a globális szimulációk regionális pontosítására (nagyobb térbeli felbontás, pontosabb felszíni – például domborzat – jellemzők)**

AZ ÉGHAJLAT DINAMIKAI ALAPÚ „ELŐREJELZÉSE”

- Az éghajlati rendszer fejlődése, változása csak numerikus modellek segítségével lehet megérteni, a kaotikus jelleg miatt.

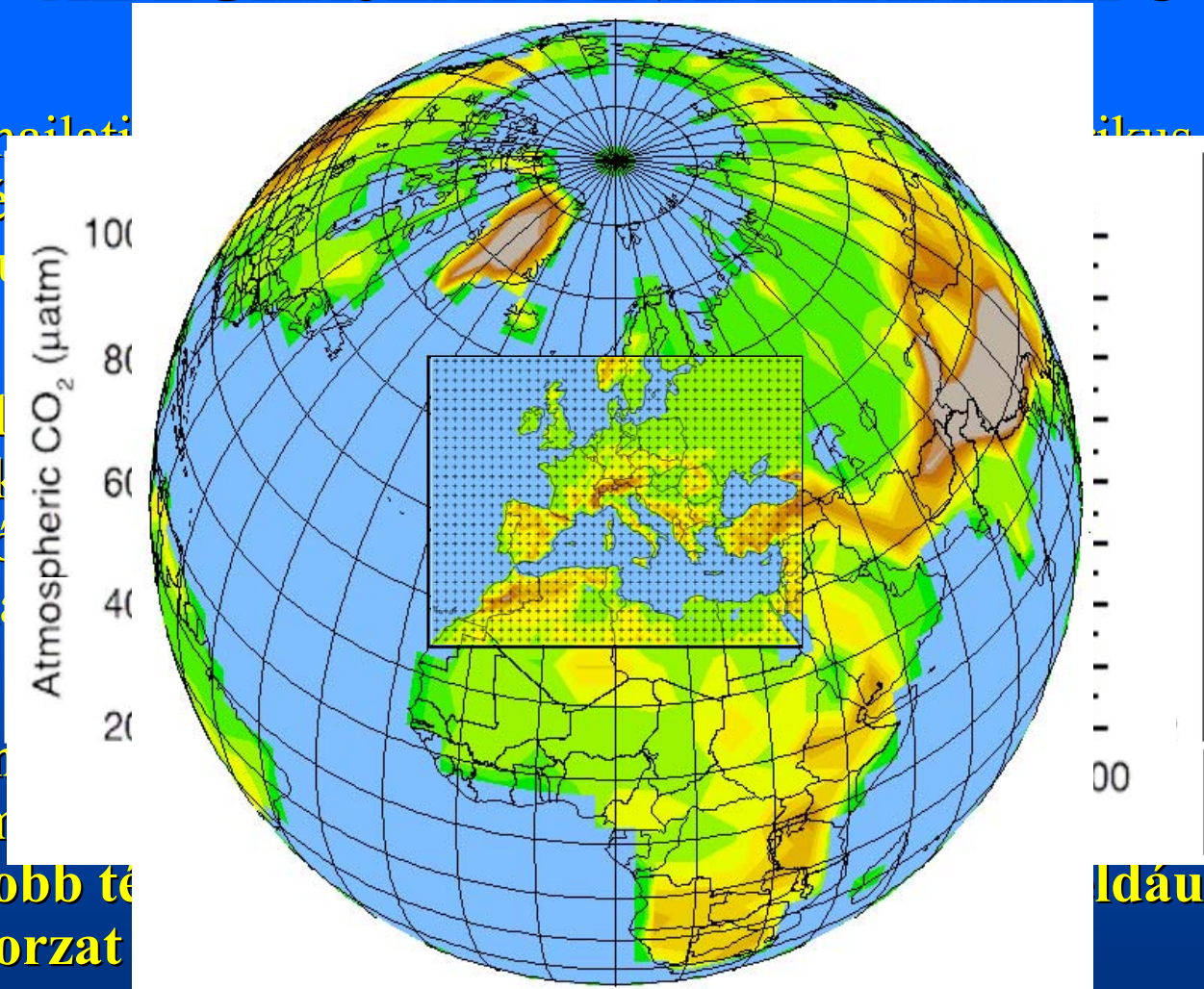
- Globális és regionális külső kényszerítő tényezők forgatókönyveire (a csátási módok)

- Dinamikus modellek alkalmazása (nagyobb térbeli felbontás, pontosabb felszíni – például domborzat – jellemzők)



AZ ÉGHAJLAT DINAMIKAI ALAPÚ

- Az éghajlati...
segítség...
kaotik...
- Globál...
külső...
forgató...
region...
- Dinam...
alkalm...
(nagyobb té...
domborzat



...modellek
...s,
...zésére (a
...csátási
...nak
...sára
...ldául

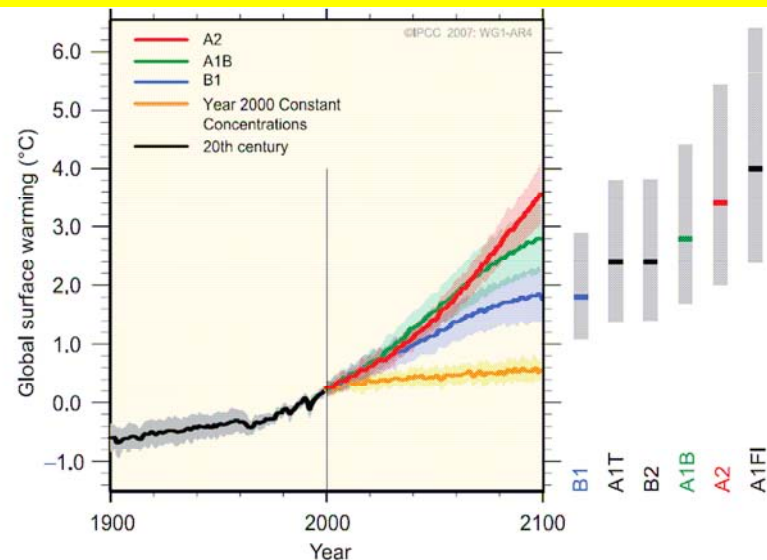
A BIZONYTALANSÁGOK ELSŐDLEGES FORRÁSAI

Az éghajlati modellezésben:

1. Természetes változékonyság
2. Modellek felírásából adódó bizonytalanság
3. Az emberi tevékenység bizonytalansága

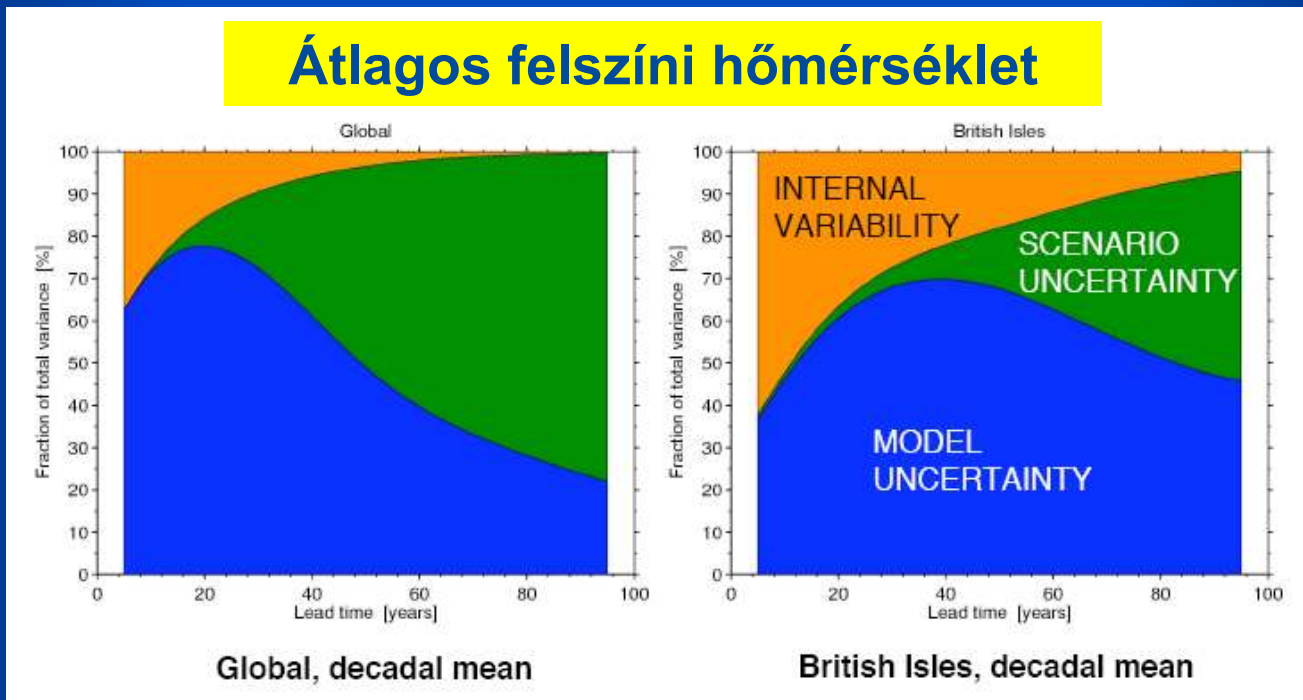
Egy tipikus éghajlati projekció –
több modellkísérlet együttese

A globális modellek által jelzett globális hőmérsékletváltozás



A BIZONYTALANSÁGOK RELATÍV MÉRTÉKE

Átlagos felszíni hőmérséklet



Forrás: Hawkins and Sutton

Az egyes bizonytalanság típusok egymáshoz viszonyított aránya függ a vizsgált területtől



EREDMÉNYEK

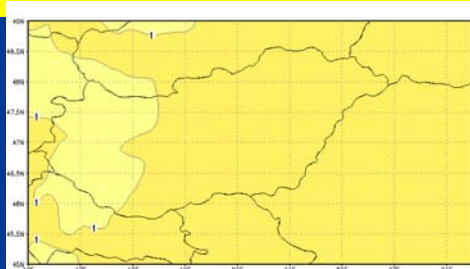


MODELL FUTTATÁSOK AZ OMSZ-NÁL

	ALADIN-Climate	REMO
Integrálási időszak	1961–2100	1951–2100
Peremfeltételek	ARPEGE (50 km)	ECHAM5/MPI-OM (200 km)
Térbeli felbontás	10 km	25 km
Vertikális szintek száma	31	20
Forgatókönyv	A1B	A1B

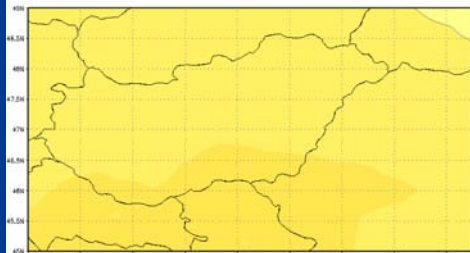
Évszakos hőmérsékletváltozás 2021–2050-re [°C]

Referencia: 1961–1990 modellátlaga



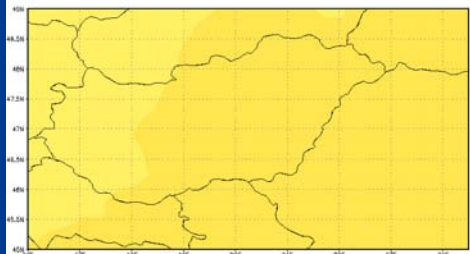
Tavaszi

1.1 – 1.6



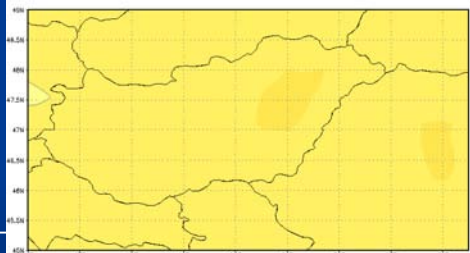
Nyári

1.4 – 2.6



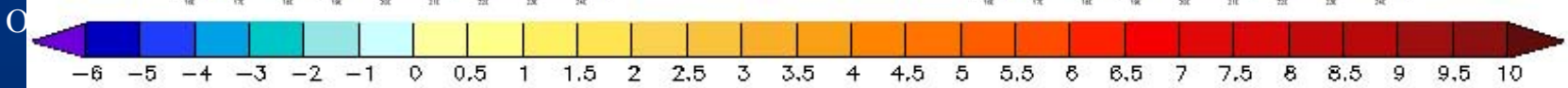
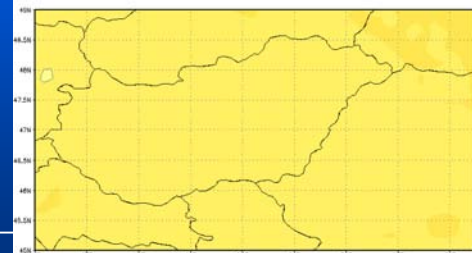
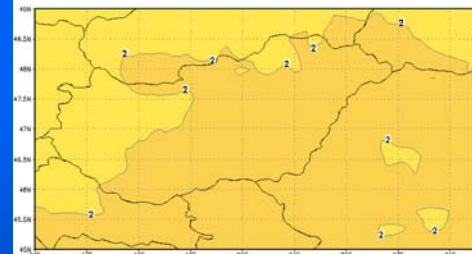
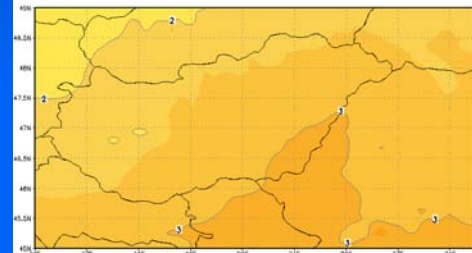
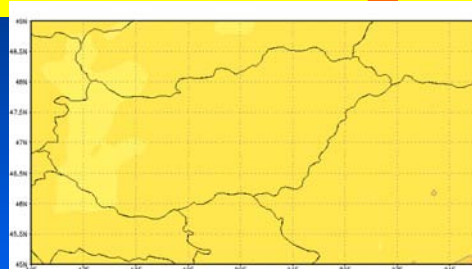
Őszi

1.6 – 2.0



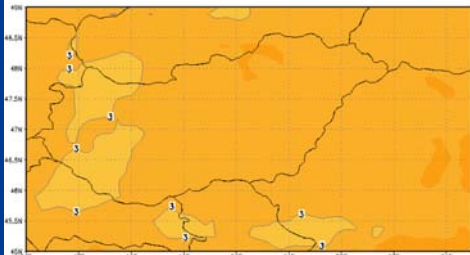
Téli

1.3



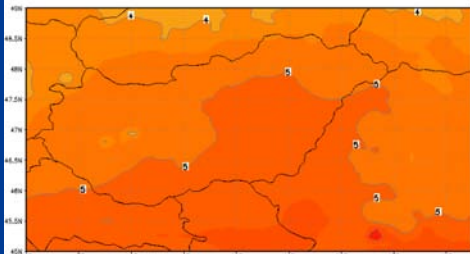
Évszakos hőmérsékletváltozás 2071–2100-ra [°C]

Referencia: 1961–1990 modellátlag



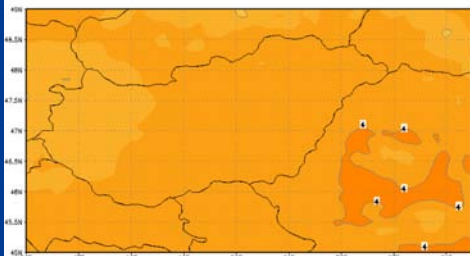
Tavaszi

2.3 – 3.1



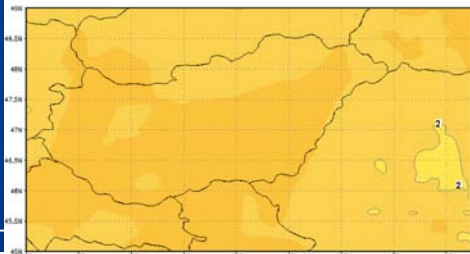
Nyári

4.1 – 4.9



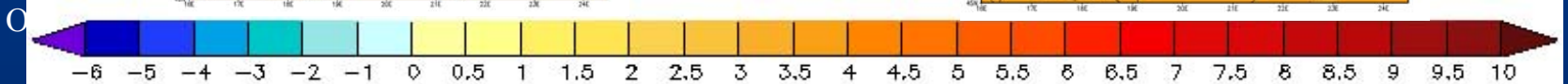
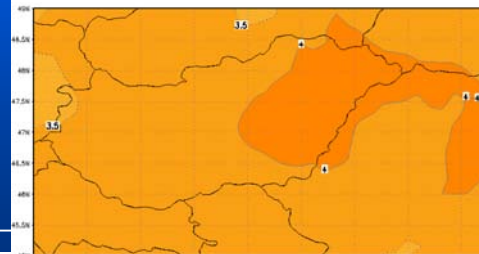
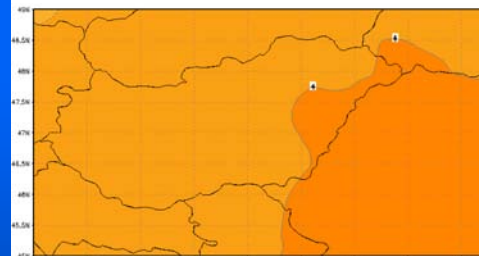
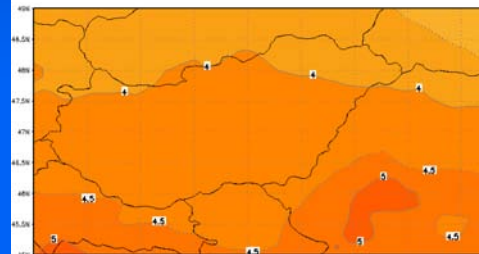
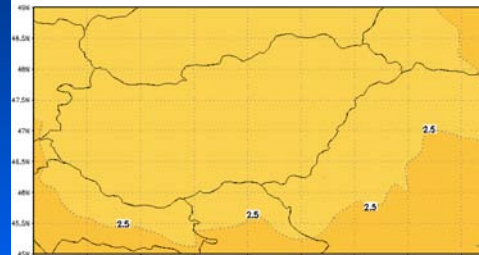
Őszi

3.6 – 3.8



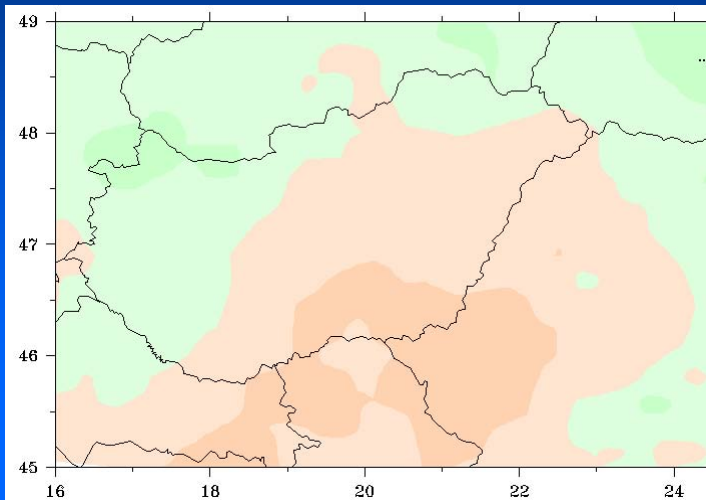
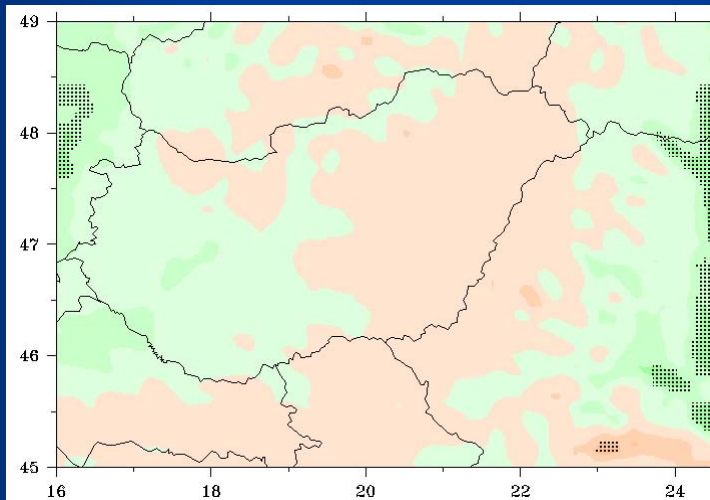
Téli

2.5 – 3.9



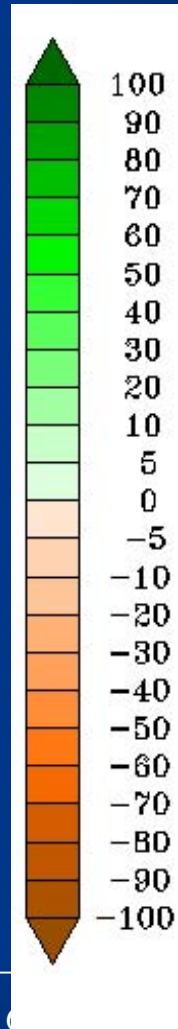
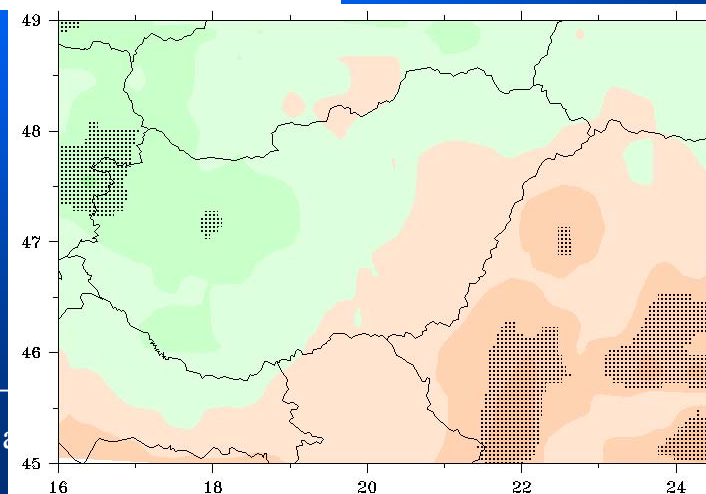
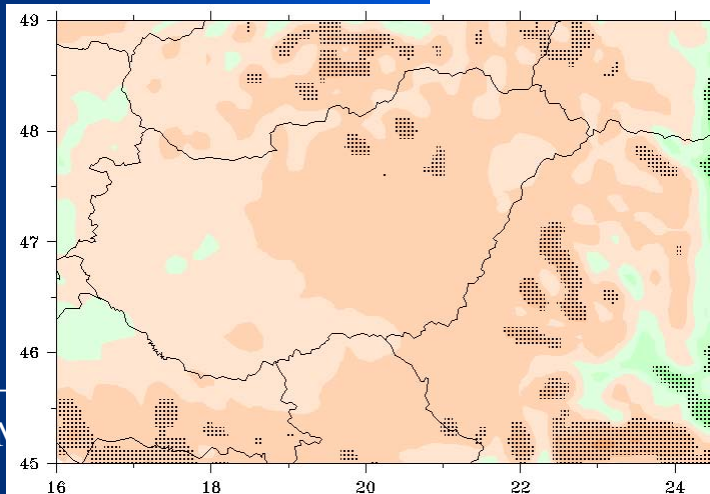
Éves relatív csapadékváltozás [%]

Referencia: 1961–1990 modellátlaga

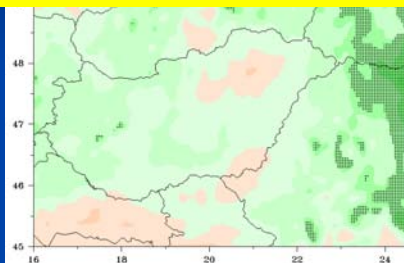


2021–2050: -0.9 – -0.2

2071–2100: -5 – 3

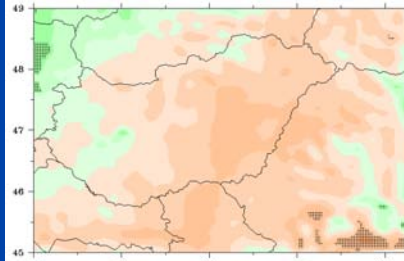


Évszakos relatív csapadékváltozás 2021–2050-re [%] Referencia: 1961–1990 modellátlaga



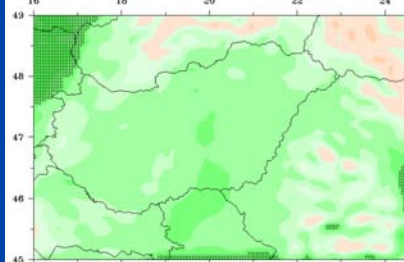
Tavas

-7 - 3



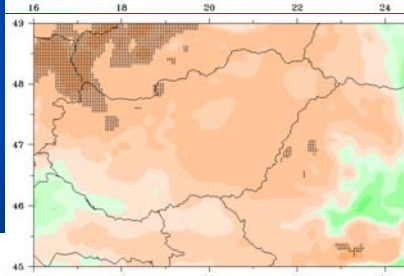
Nyár

-5



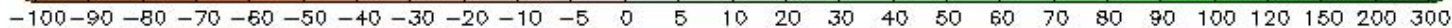
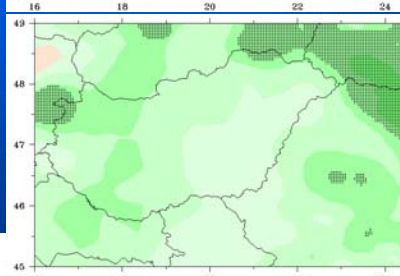
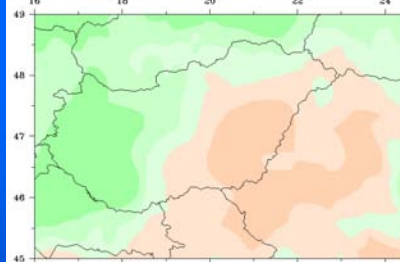
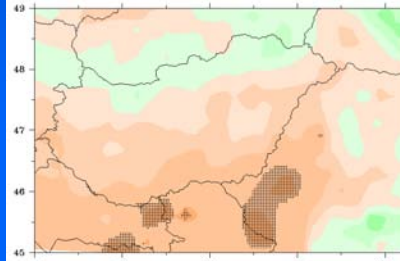
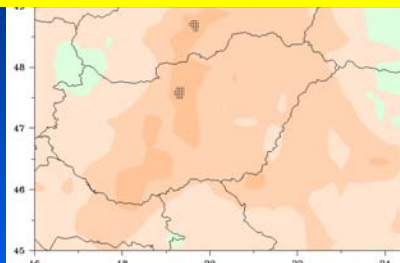
Ősz

3 - 14

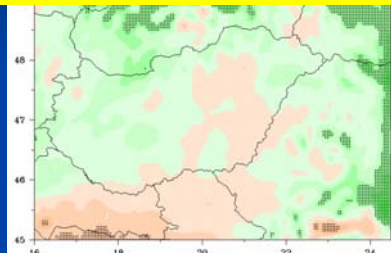


Tél

-10 - 7

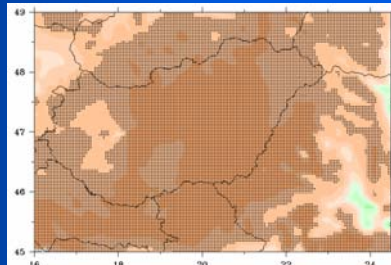
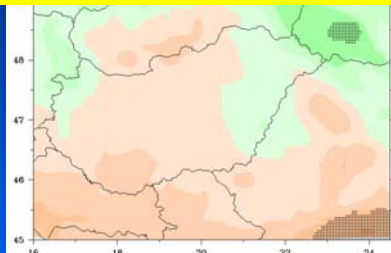


Évszakos relatív csapadékváltozás 2071–2100-ra [%] Referencia: 1961–1990 modellátlaga



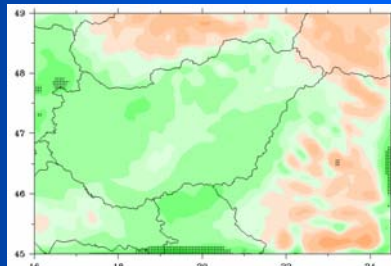
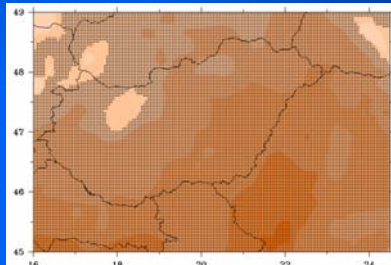
Tavas

-2 – 2



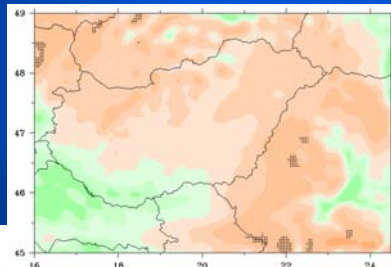
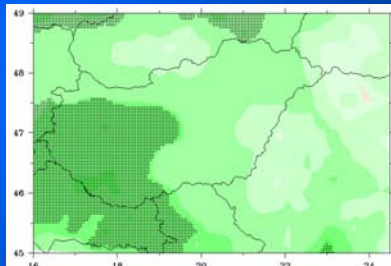
Nyár

-26 – -20



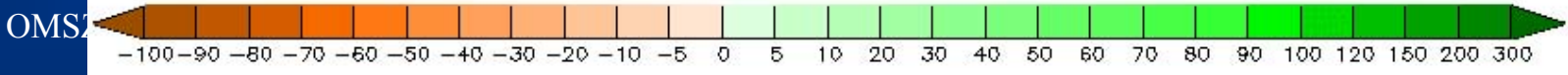
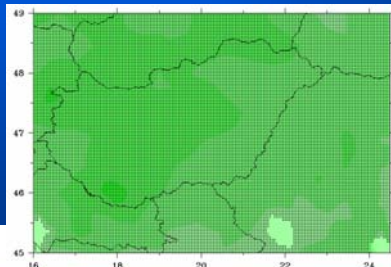
Ősz

10 – 19



Tél

-3 – 31

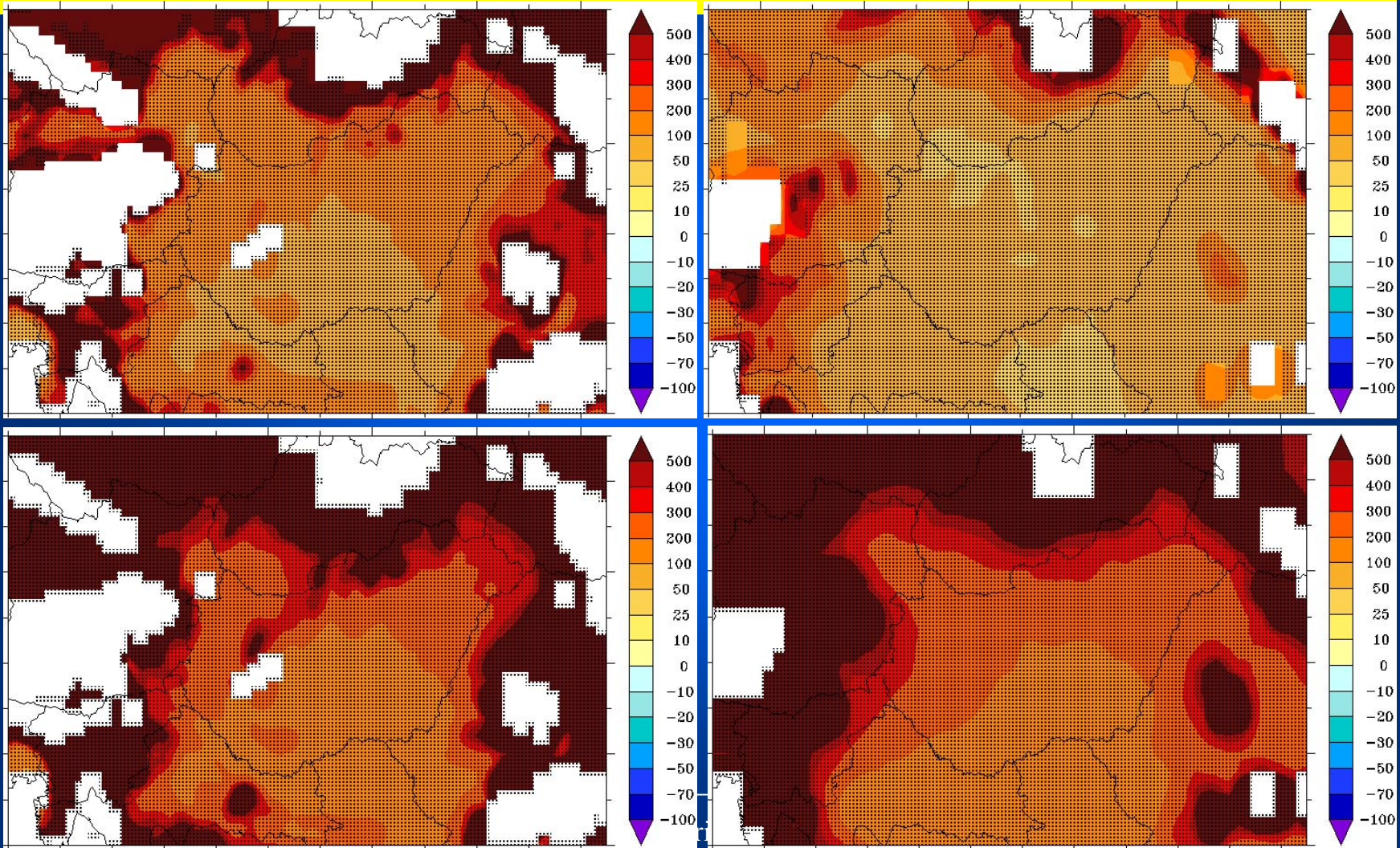




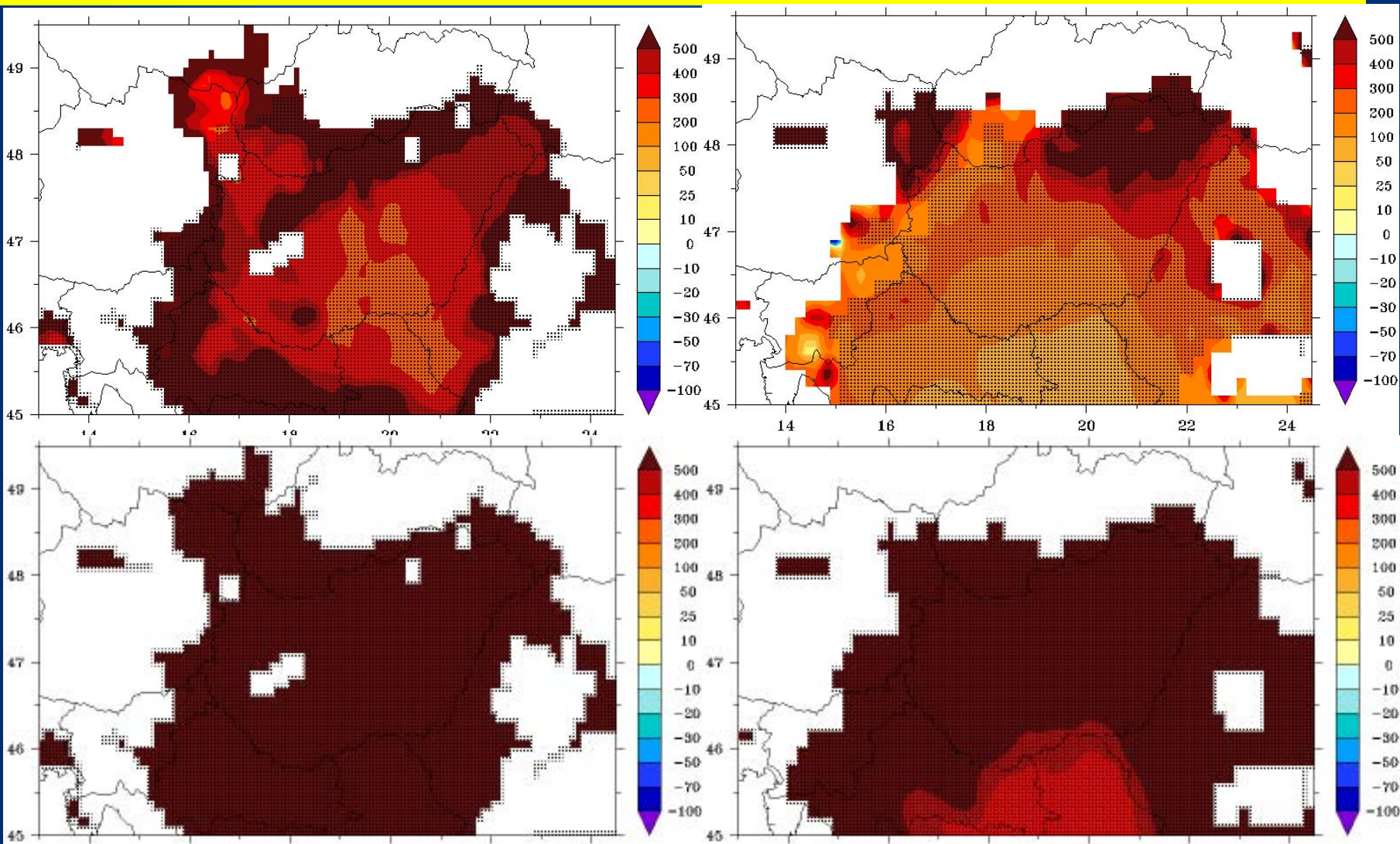
Összefoglalás: átlagos változások Magyarországon

- Hőmérséklet:
 - A modellek melegedést jeleznek minden évszakra
 - Legnagyobb mértékű nyáron-ősszel (1.4-2.6 illetve 3.6-4.9 °C)
 - Elsősorban nyáron erős Ny-K-i változékonyság
- Csapadék:
 - Nagyobb bizonytalanság, mint a hőmérsékletnél (Magyarország két zóna határán, nem-lineáris időbeli változás)
 - **Kevés statisztikailag szignifikáns változás**
 - Az éves összeg kismértékű változása (+/- 5 %)
 - A csapadék éven belüli átrendeződése:
 - Nyáron: egyértelmű csökkenés
 - Ősszel: némi növekedés
 - Tél, tavasz: modellenként eltérő (ellentétes) tendenciák

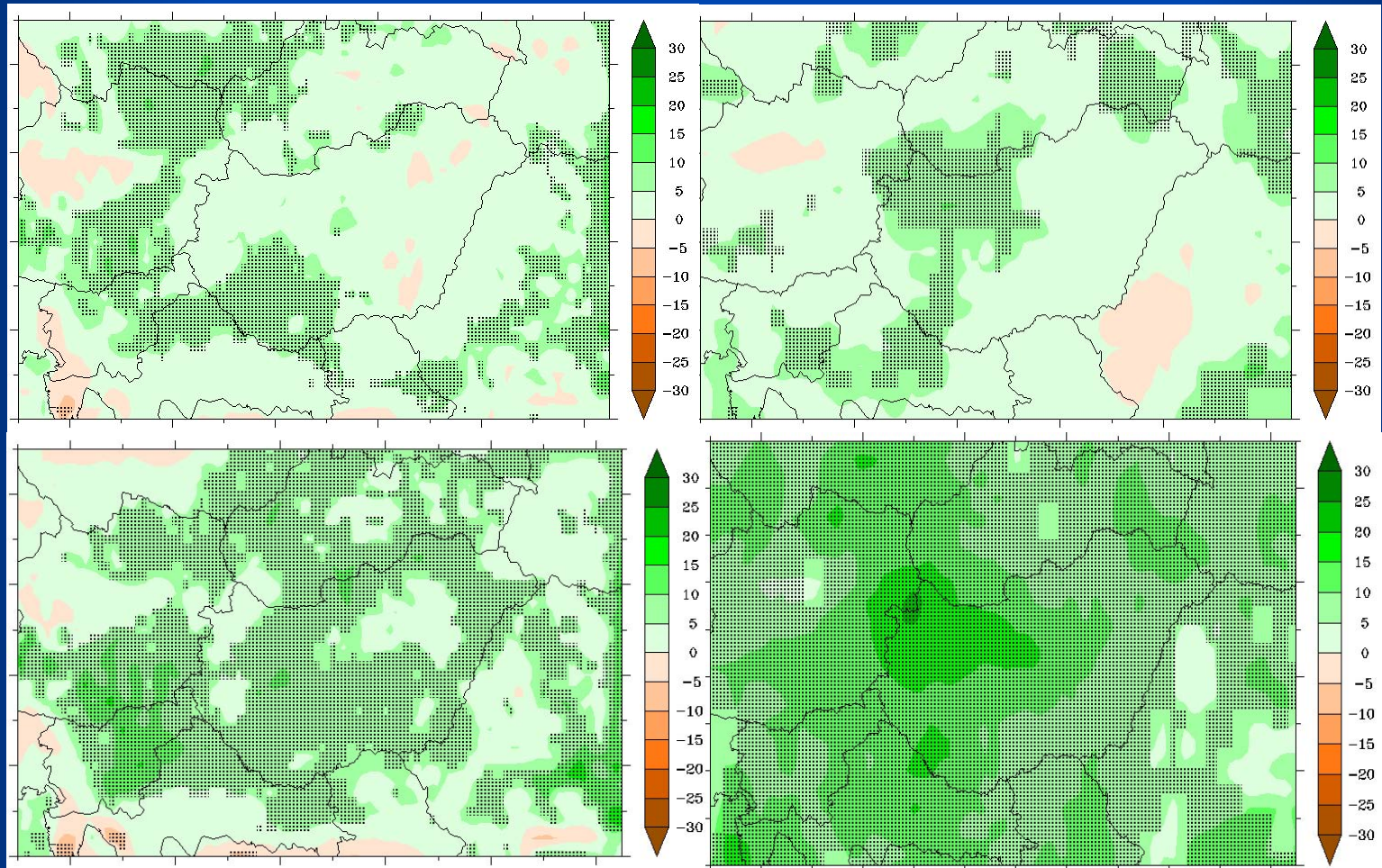
Hőségnapok ($T_{\max} \geq 30 \text{ }^\circ\text{C}$) számának változása 2021–2050-re és 2071–2100-ra [%] Referencia: 1961–1990



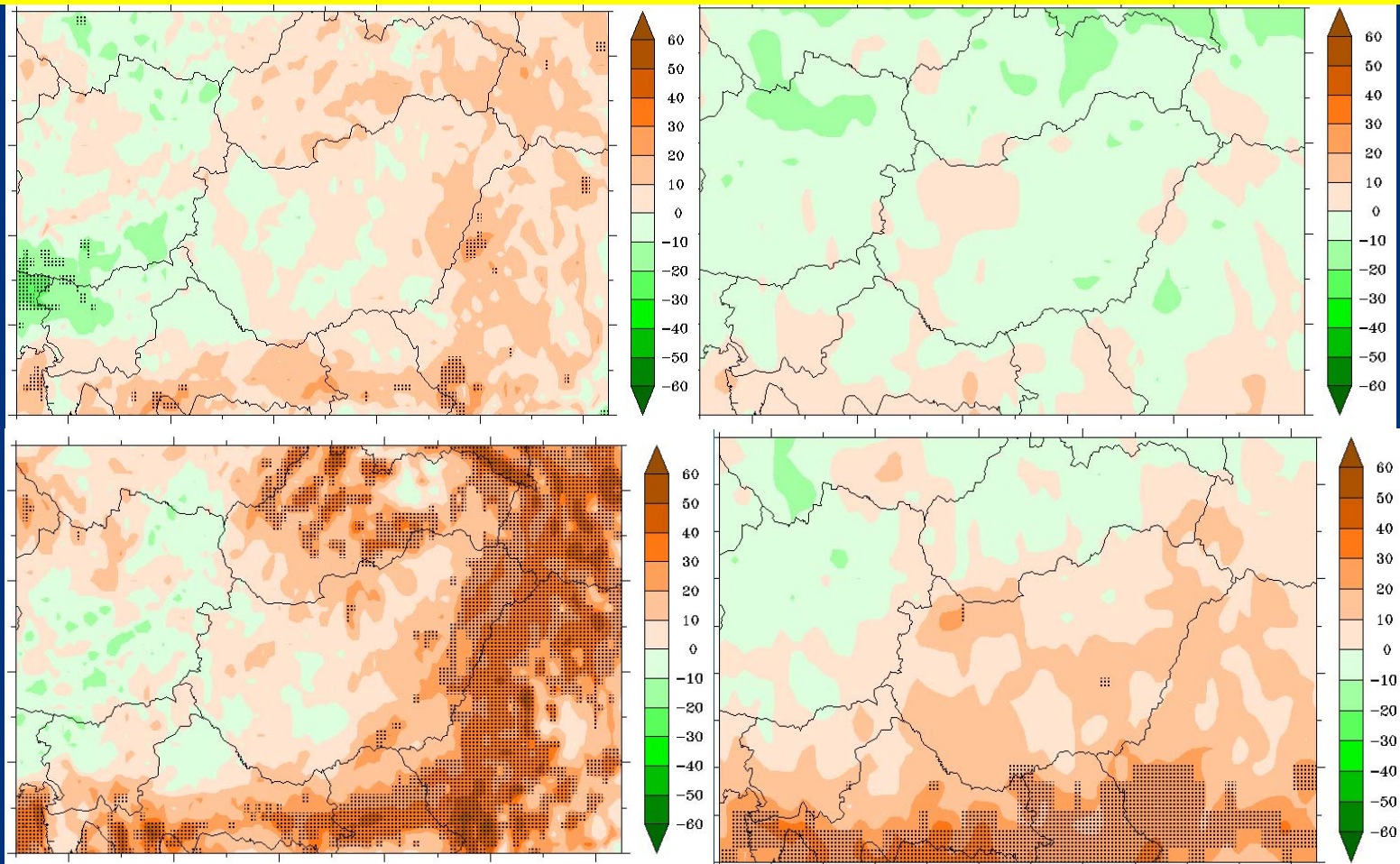
Forró napok ($T_{\max} \geq 35\text{ }^{\circ}\text{C}$) számának változása 2021–2050-re és 2071–2100-ra [%] Referencia: 1961–1990



Csapadék intenzitás várható változása 2021–2050-re és 2071–2100-ra [%] Referencia: 1961–1990



Egymást követő száraz napok maximális hosszának várható változása 2021–2050-re és 2071-2100-ra [%] Referencia: 1961–1990





Összefoglalás: szélsőségek változásai Magyarországon

- Hőmérséklet (szignifikáns változások):
 - Hőség- és forró napok száma növekszik
 - Hőhullámok gyakoribbá válása
- Csapadék (többnyire nem szignifikáns változások):
 - Növekvő csapadék-intenzitás (lehullott csapadék / csapadékos napok száma, 2071-2100-ra szignifikáns)
 - Az évszázad végére az egymást követő száraz napok száma növekszik (nem szignifikáns)



ÖSSZEFOGLALÁS



JELLENLEGI ISMERETEINK A MAGYARORSZÁGI ÉGHAJLAT MEGVÁLTOZÁSÁRÓL (1)

- Az éghajlati modellek eredményei alapján látható, hogy a magyarországi átlaghőmérséklet emelkedni fog (a globális átlagnál nagyobb mértékben)
 - A melegedés mértéke a legerőteljesebb nyáron és ősszel lesz (és ekkor lehetnek nagyobb különbségek az országon belül)
- Az éves csapadékösszeg alapvetően nem fog változni

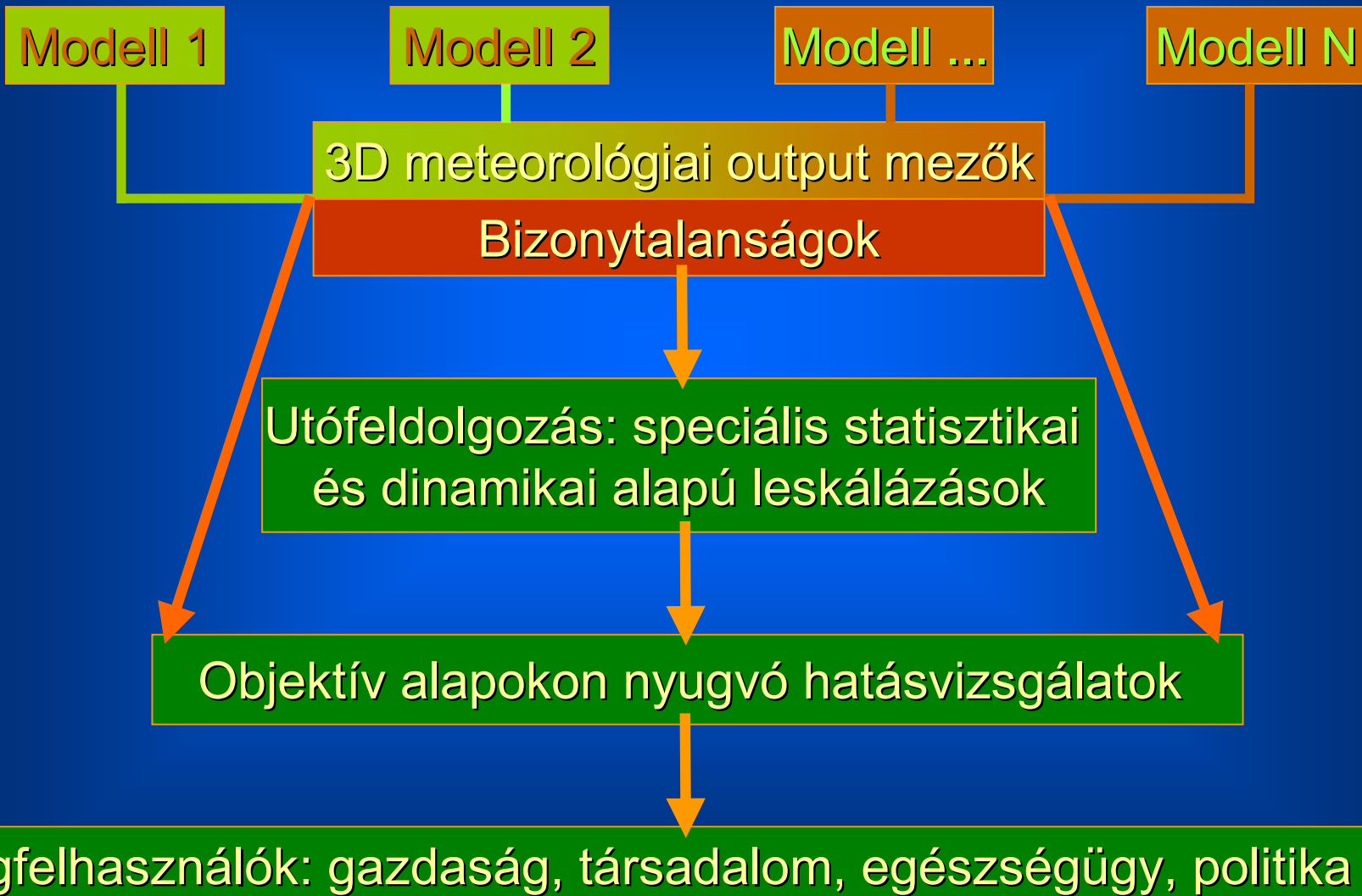


JELLENLEGI ISMERETEINK A MAGYARORSZÁGI ÉGHAJLAT MEGVÁLTOZÁSÁRÓL (2)

- DE: a csapadék éven belüli eloszlása változni fog
 - Nyári csapadékcsökkenés és őszi növekedés
 - A többi évszak (tél, tavasz) változási iránya bizonytalan
- Szélsőséges jelenségek
 - Meleg szélsőségek egyértelmű növekedése
 - Nagy csapadékkal járó események relatív növekedése, de a csapadékos napok számának csökkenése (nem szignifikáns módon!!)



AZ ÉGHAJLATI MODELLEK EREDMÉNYEINEK FELHASZNÁLÁSA





ZÁRÓ MEGJEGYZÉSEK

- Az éghajlat bonyolultsága miatt spekulatív módon nem jellemezhető és viselkedése csak modellezési alapon jelezhető előre
- Az éghajlati modellek (globális és regionális) fejlesztése folyamatos szerte a világban és Magyarországon is
- Saját modellfuttatásaink állnak rendelkezésre a Kárpát-medence éghajlatának várható alakulása jellemzésére, amelyek alkalmazhatóak az éghajlatváltozás hatásaira való felkészülés során
- Az (éghajlati) modellek eredményeiben rejlő bizonytalanságok számszerűsíthetőek és a bizonytalanságokkal kapcsolatos mérőszámok (valószínűségek) beépíthetőek a döntési folyamatba

HOGYAN TOVÁBB?

- Ha általános információkra van szükségük (hasonlóakra, mint amelyek most elhangzottak)
 - A előadás anyaga rendelkezésre áll
 - Hamarosan elkészül egy állásfoglalás a magyarországi éghajlat várható alakulásáról (négy magyarországi modell eredménye alapján)
- Ha részletesebb információkra van szükségük
 - Részletezni kell, hogy mely terület, mely időszak és legfőképpen mely meteorológiai változók jövőbeli alakulására kíváncsiak
 - Ebben az esetben testre szabott javaslatot tudunk tenni



TOVÁBBI INFORMÁCIÓ, KAPCSOLAT

- Országos Meteorológiai Szolgálat honlapja
(www.met.hu/nmo/climate)
- Hazai és nemzetközi projektek honlapjai:
 - Nemzeti K+F projekt (NKFP):
www.met.hu/palyazat/nkfp_klima2005.php
 - CECILIA EU projekt: www.cecilia-eu.org
 - CLAVIER EU projekt: www.clavier-eu.org
- Tudományos ismeretterjesztő kiadványok





***Köszönöm szépen
a figyelmet és
a lehetőséget!***

horanyi.a@met.hu