

Regionális klímamodellek és eredményeik alkalmazhatósága éghajlati hatásvizsgálatokra

II. felvonás

HORÁNYI ANDRÁS (horanyi.a@met.hu)

Csima Gabriella, Szabó Péter, Szépszó Gabriella



Országos Meteorológiai Szolgálat

Numerikus Modellező és Éghajlat-dinamikai Osztály (NMO)

ELŐZMÉNYEK ÉS TARTALOM

- 2008 szeptembere: közös OTKA pályázat
- Előadás szeptember 26-án ugyanitt:
 - Az éghajlati rendszer és modellezése (a klímamodellezés alapjai)
 - Az éghajlati modellek eredményeinek alkalmazása hatásvizsgálatok céljaira
- A hazai regionális klímamodellek néhány legújabb eredménye a Kárpát-medence jövőbeli éghajlatának becslésére
- Összefoglalás, kitekintés

BEVEZETÉS

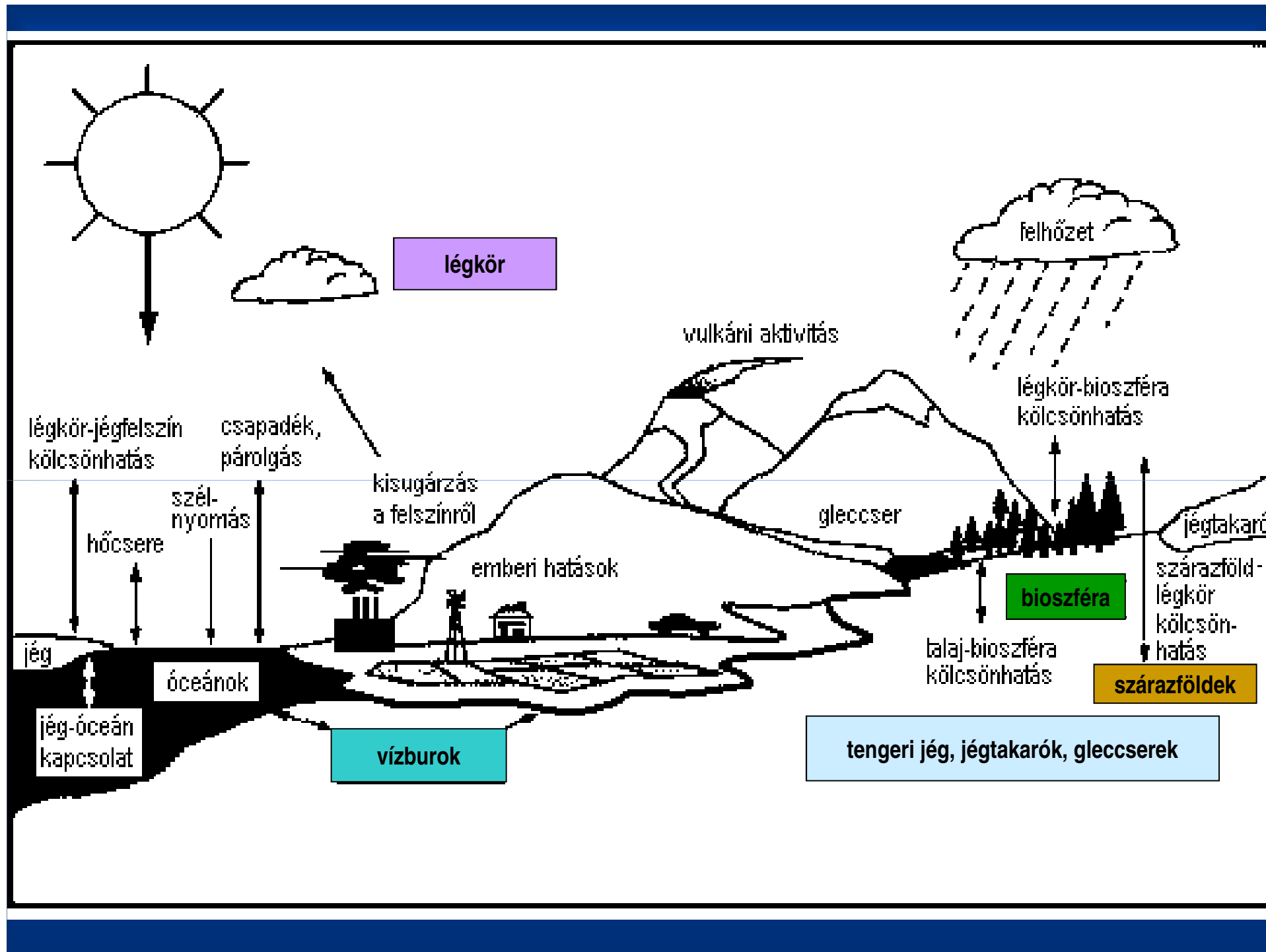
MOTIVÁCIÓ, HÁTTÉR

- Napjaink egyik fontos környezeti, gazdasági és társadalmi problémája az éghajlatváltozás
- Manapság sok minden pontatlanul (vagy rosszul) hangzik el a médiákban (és másutt) a klímaváltozás kapcsán
- Magyarországon sokszor „csak” kvalitatív alapon beszélnek az éghajlatváltozásról és annak hatásairól (kevés a kvantitatív vizsgálat, pedig ezeknek már megvannak az alapjai; ezen jó lenne változtatnunk)
- Az éghajlat jövőbeli viselkedésének becslésére egyedüli járható út a modellezés (a spekulatív megközelítés nem vezet eredményre)

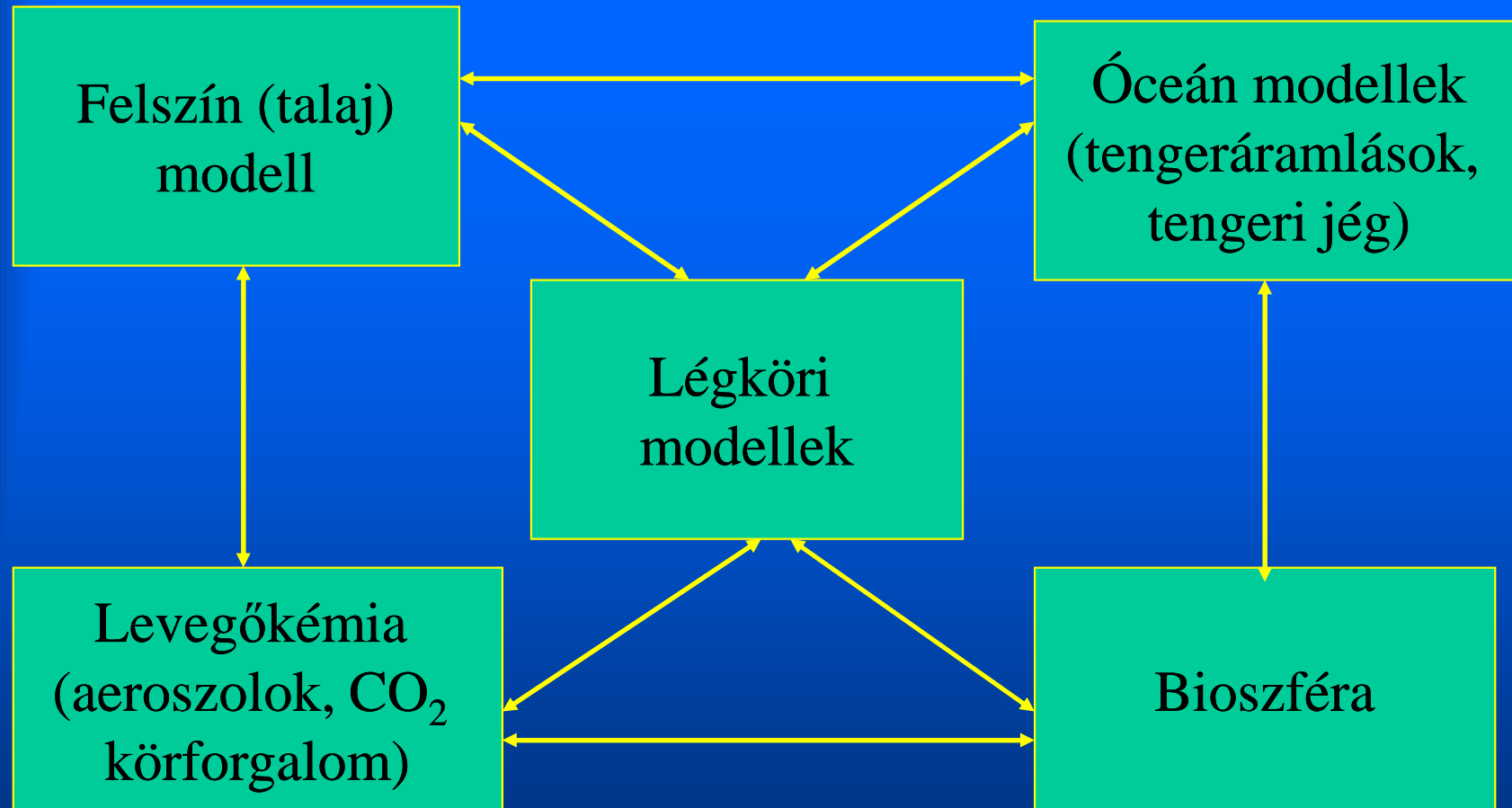
PONTATLAN MEGÁLLAPÍTÁSOK

- Egyedi szélsőséges jelenségek, évszakok és a klímaváltozás közötti egyértelmű kapcsolat deklarációja (augusztus 20., 2006/2007-es enyhe tél)
- A klímaváltozásról alkotott képünk alapján azon éghajlati jellemzők kiemelése, ami ezzel egybeesik (2006/2007-es tél: enyhe volt, DE száraz)
- Párhuzam különböző térségek éghajlata között (például Budapest éghajlata Várna vagy Firenze éghajlatához fog hasonlítani)
- Új elméletek ellenőrzés nélküli elfogadása (pl.: hirtelen gyors változások, mint például a Golf-áramlat leállása; sugárzási visszacsatolások újragondolása)

AZ ÉGHAJLATI RENDSZER ÉS JELLEMZÉSE

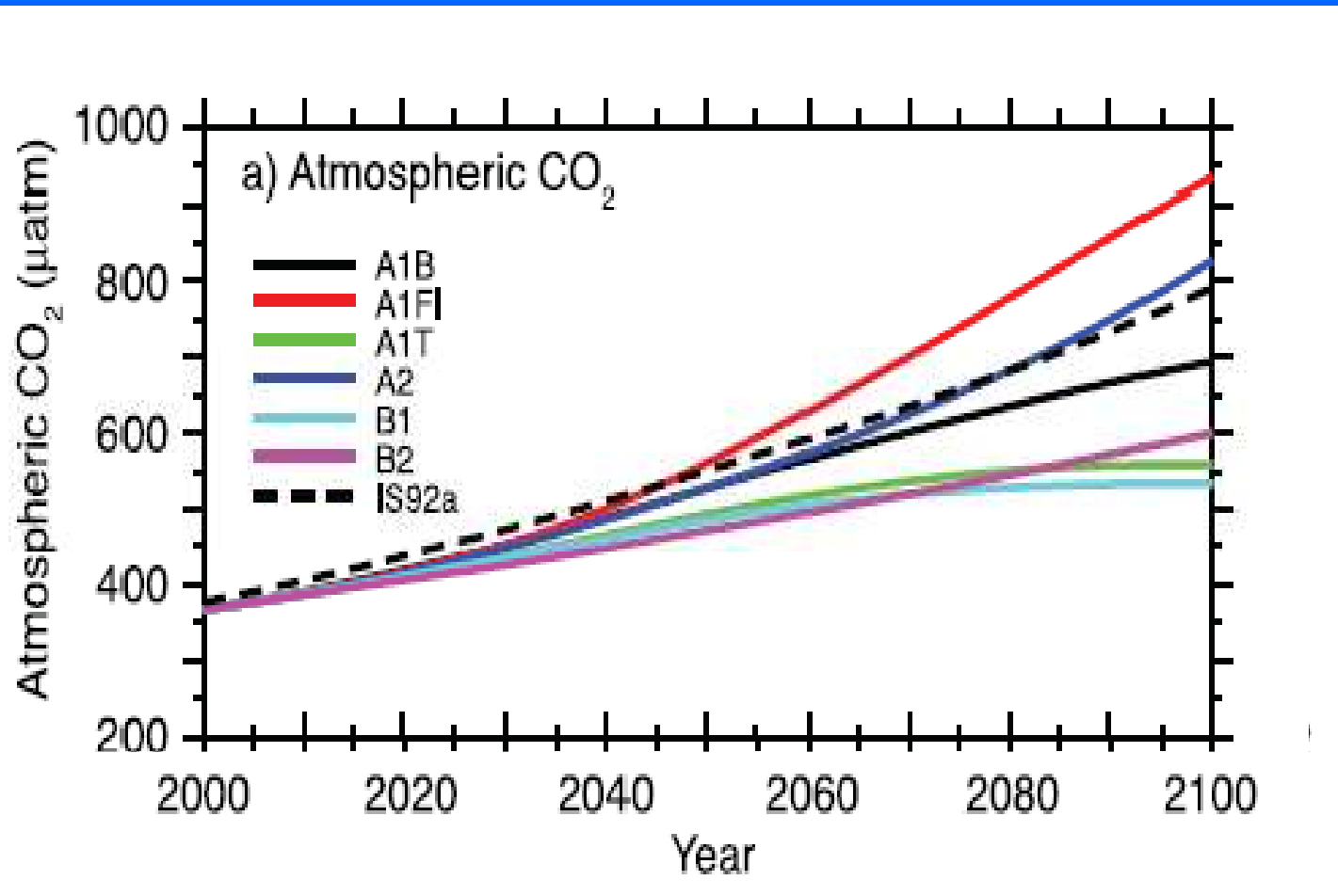


AZ ÉGHAJLATI MODELLEK LEGFONTOSABB ELEMEI



AZ ÉGHAJLAT DINAMIKAI ALAPÚ „ELŐREJELZÉSE” (GLOBÁLIS SKÁLA)

- Az ég...
segíts...
kaotik...
- Globa...
külső...
forga...
regio...
- DE: a...
inform...
regio...
változ...



lelek

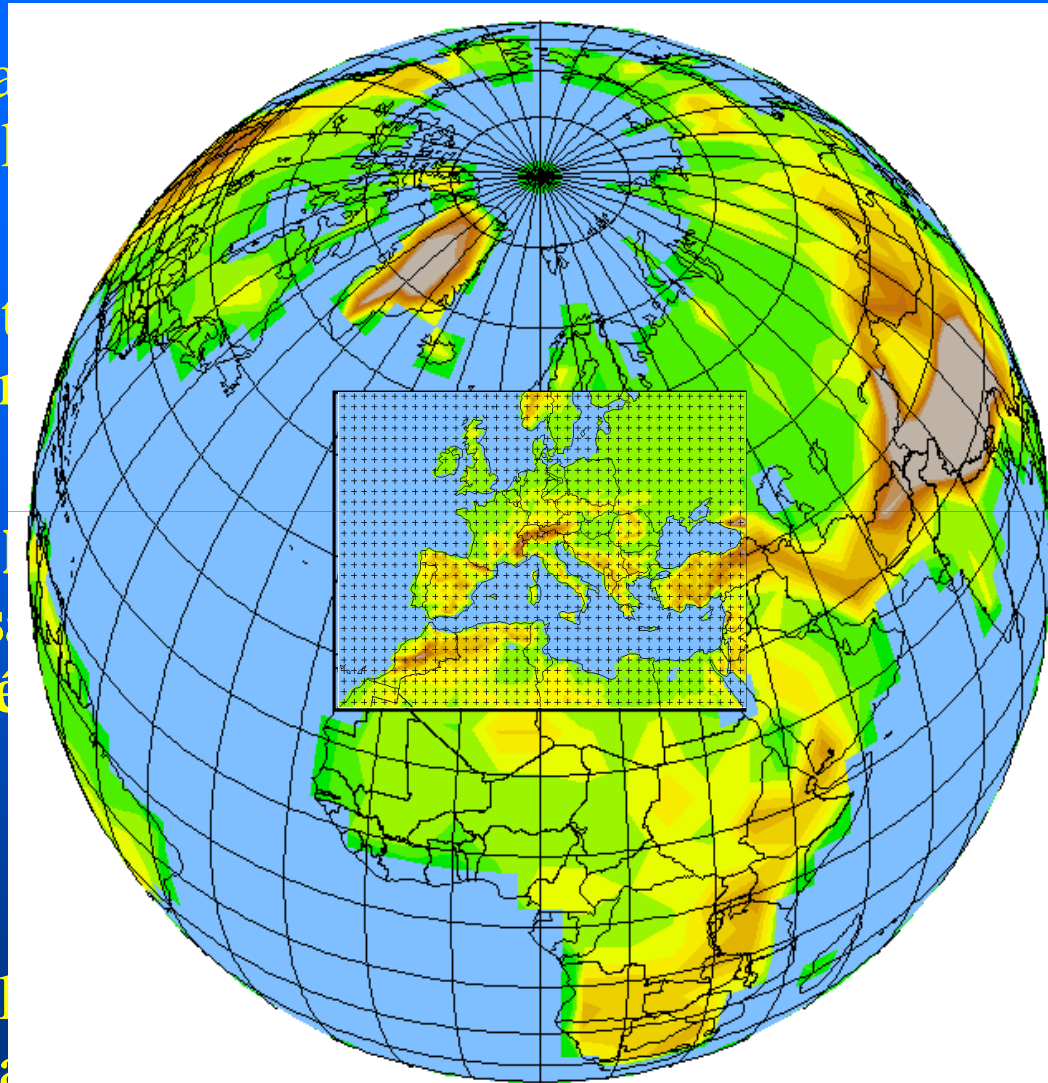
ére (a
tási

lnak

REGIONÁLIS PONTOSÍTÁS

Kiindulás: a
előrejelzés

- Nagyfelbontású számításigény
- Dinamikai alkalmazás (nagyobb térszemléletű modellek)
- Statisztikai regionális va



ségű

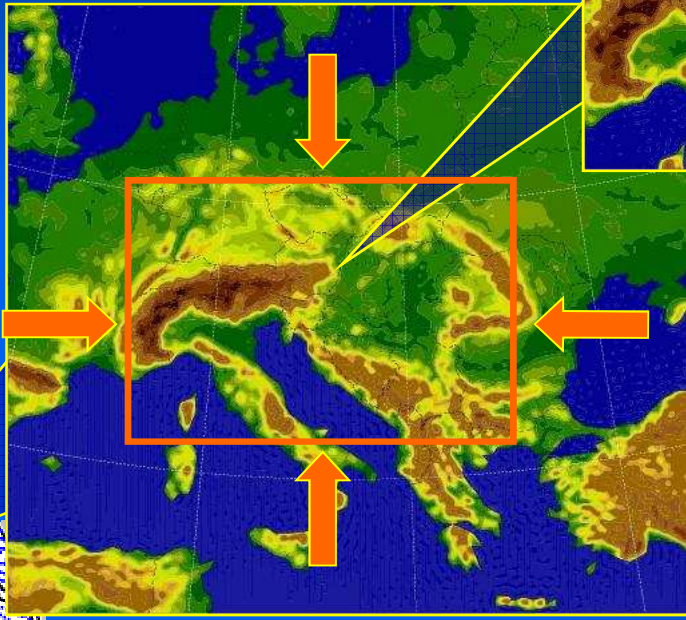
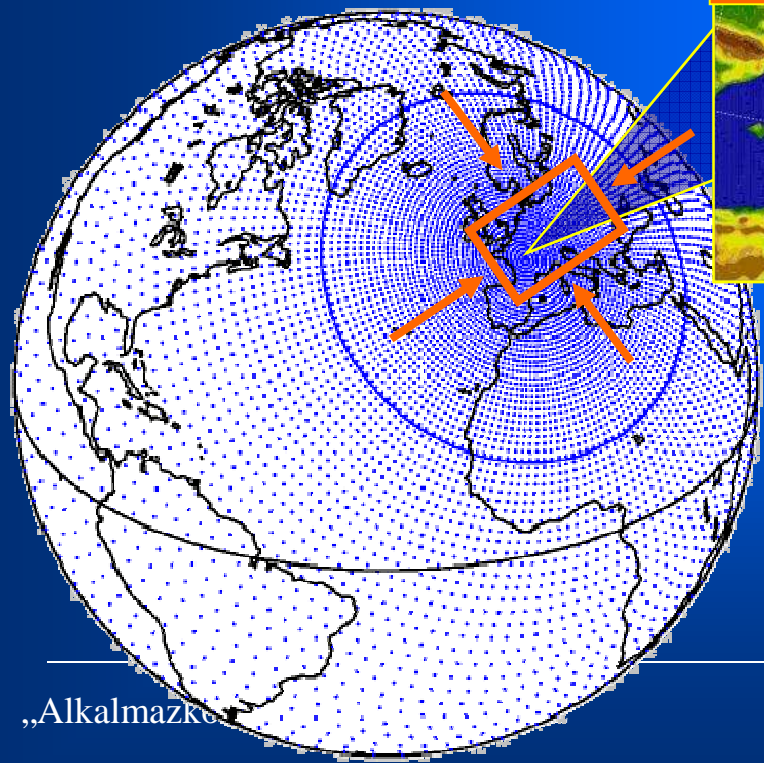
lelek (nagy

k
osítására
ldául
obális

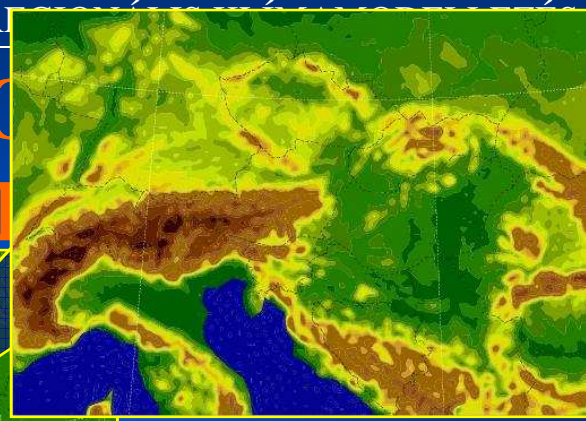
li globális és
re nézve)

BEÁGYAZOTT KORLÁTOZOTT TARTOMÁNYÚ MODELL

GLOBÁLIS MODELL



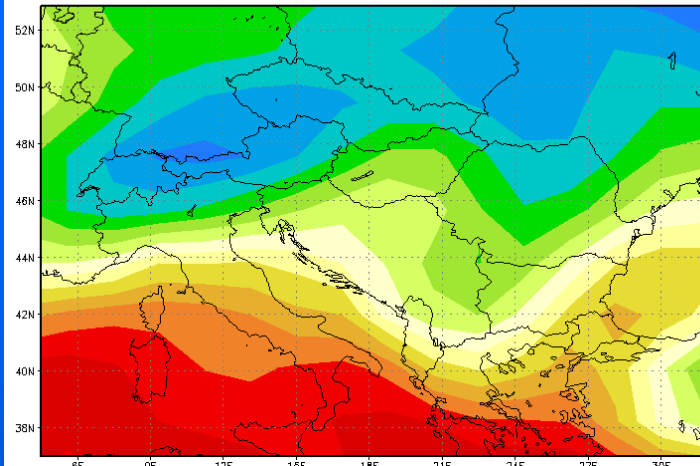
REGIONÁLIS MODELL



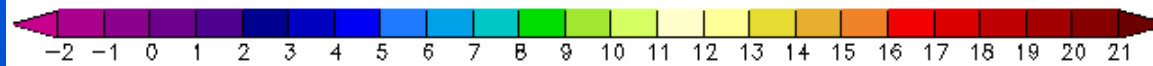
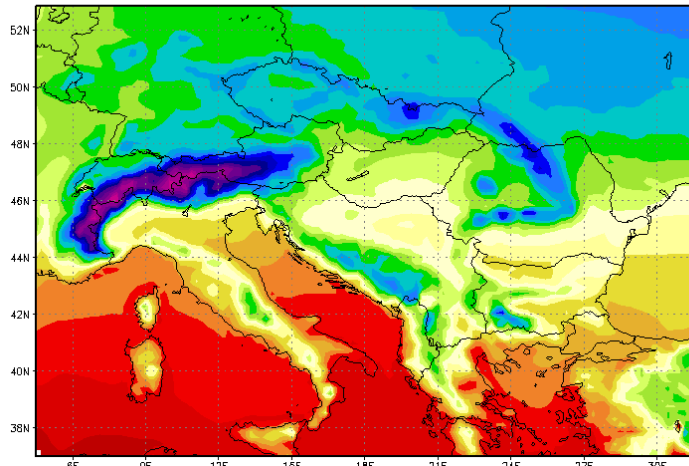
LOKÁLIS MODELL

GLOBÁLIS VS. REGIONÁLIS REGIONÁLIS KLÍMAMODELLEZÉS

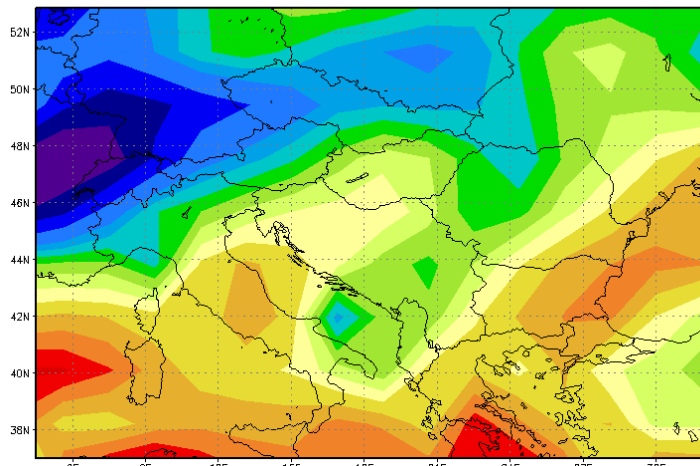
Annual mean temperature (ECHAM) [°C]
Period: 1961–1990; resolution: 1.875 deg.



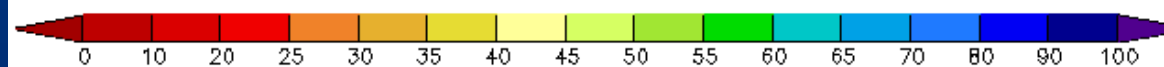
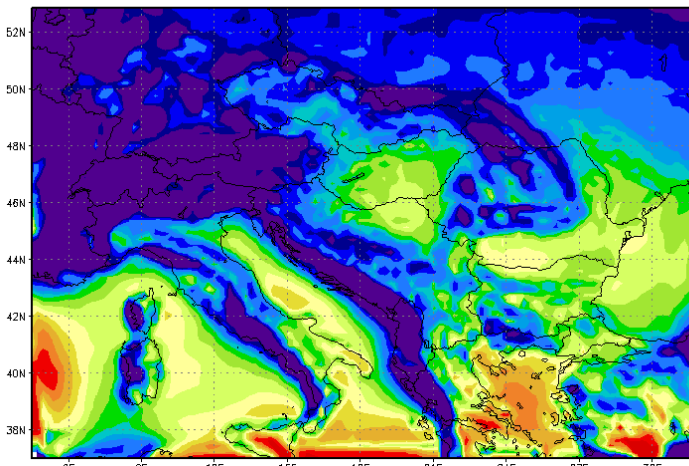
Annual mean temperature (REMO) [°C]
Period: 1961–1990; resolution: 0.22 deg.



Annual mean of precipitation (ECHAM) [mm/month]
Period: 1961–1990; resolution: 1.875 deg.



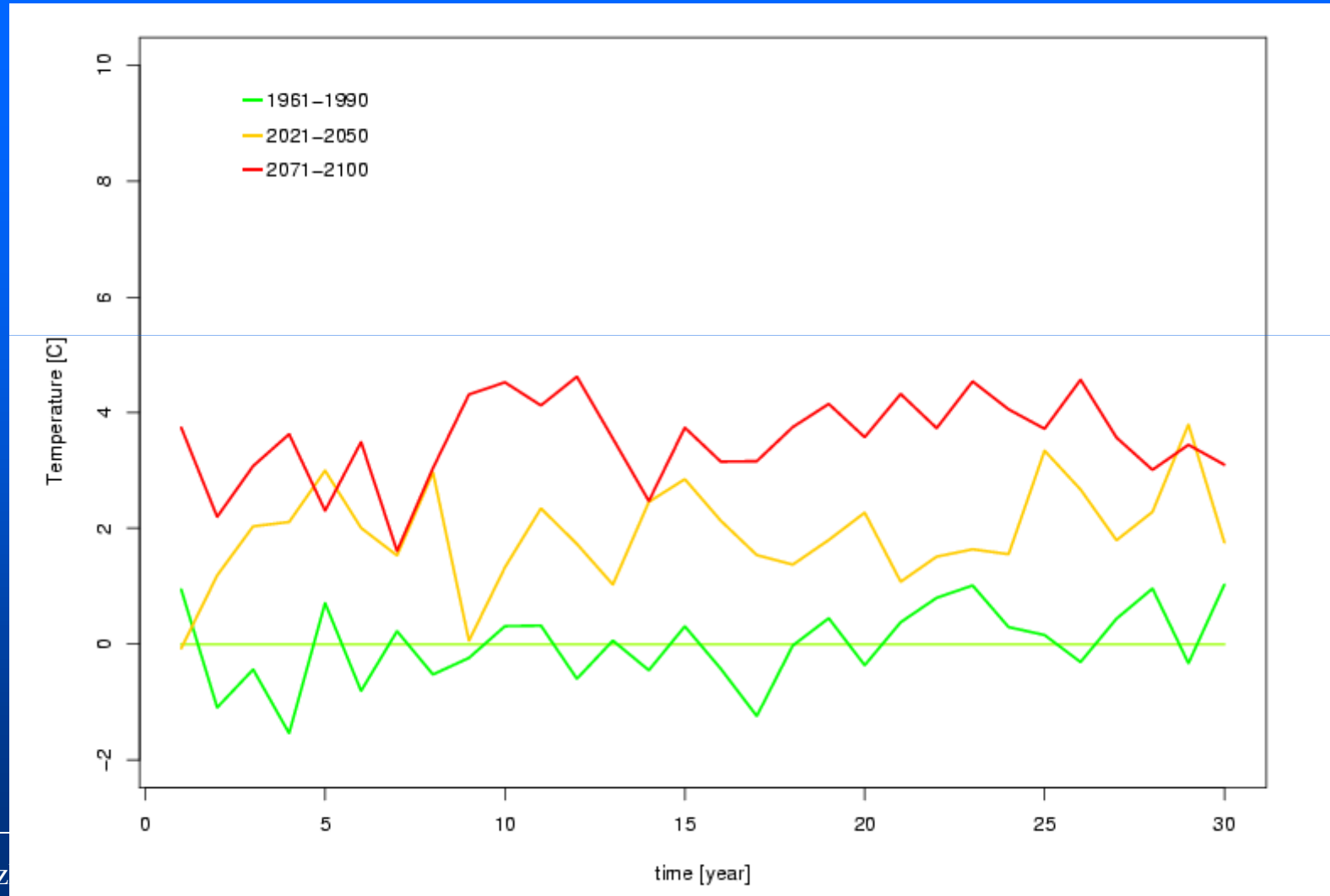
Annual mean of precipitation (REMO) [mm/month]
Period: 1961–1990; resolution: 0.22 deg.



MILYEN ELŐREJELZÉSEK KÉSZÍTHETŐEK ÉGHAJLATI MODELLEKKEL?

- Az éghajlati rendszer (elsősorban a légkör és az óceán) **átlagos** viselkedésének jellemzése statisztikai mutatókkal (átlagok, összegek stb.)
 - A jövőre nézve nem tudunk adott évre vonatkozó információkat adni!!
- Szükséges és lehetséges a szimulációkban rejlő bizonytalanságok számszerűsítése (valószínűségi forma, „együttes” előrejelzések: több modellfuttatás)
 - Ez kiegészítő információ és nem korlát!!

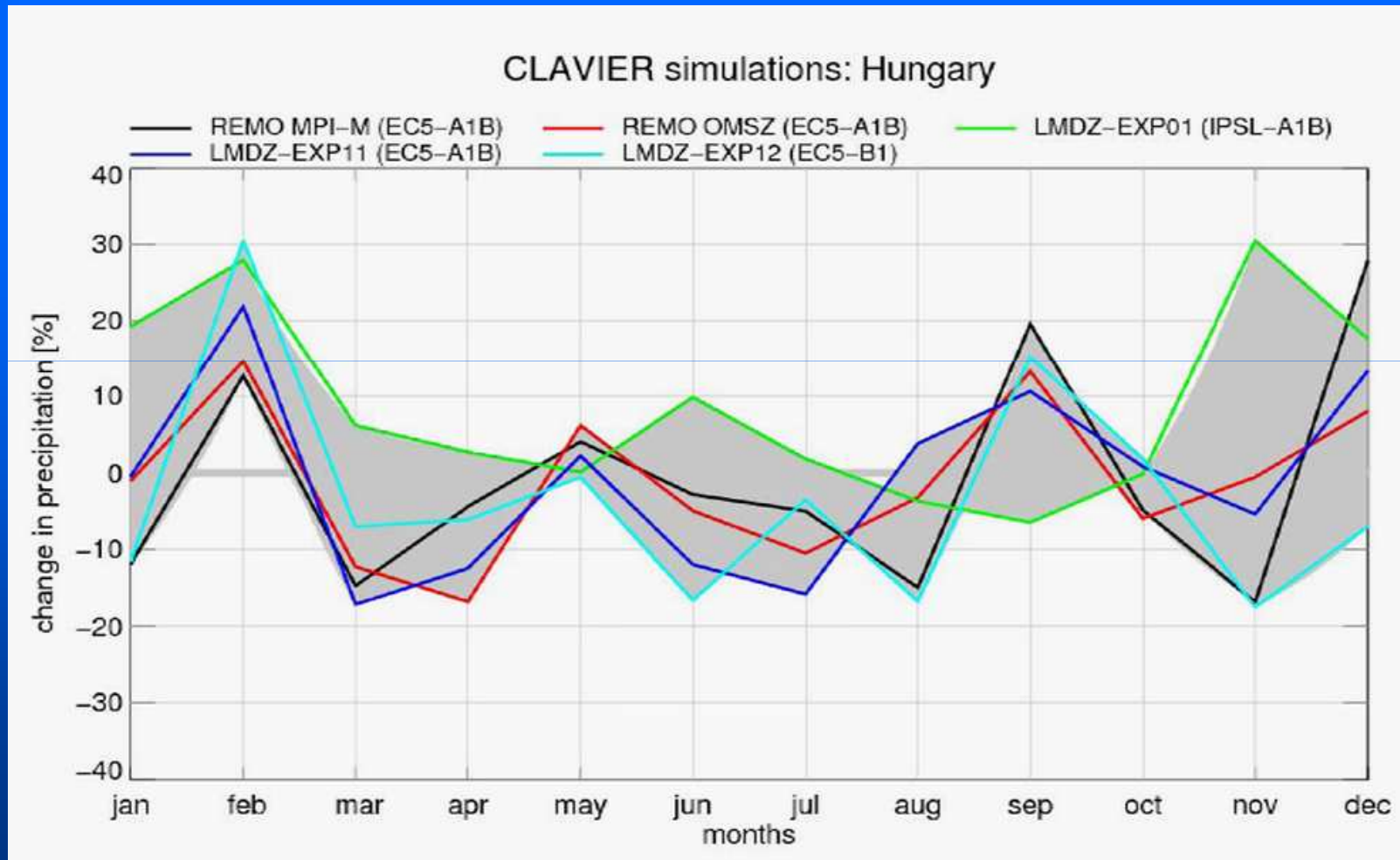
AZ ÉVES ÁTLAGHŐMÉRSÉKLET VÁLTOZÁSÁNAK MENETEI



AZ ÉGHAJLATI MODELLEK TESZTELÉSE, MAJD ALKALMAZÁSA

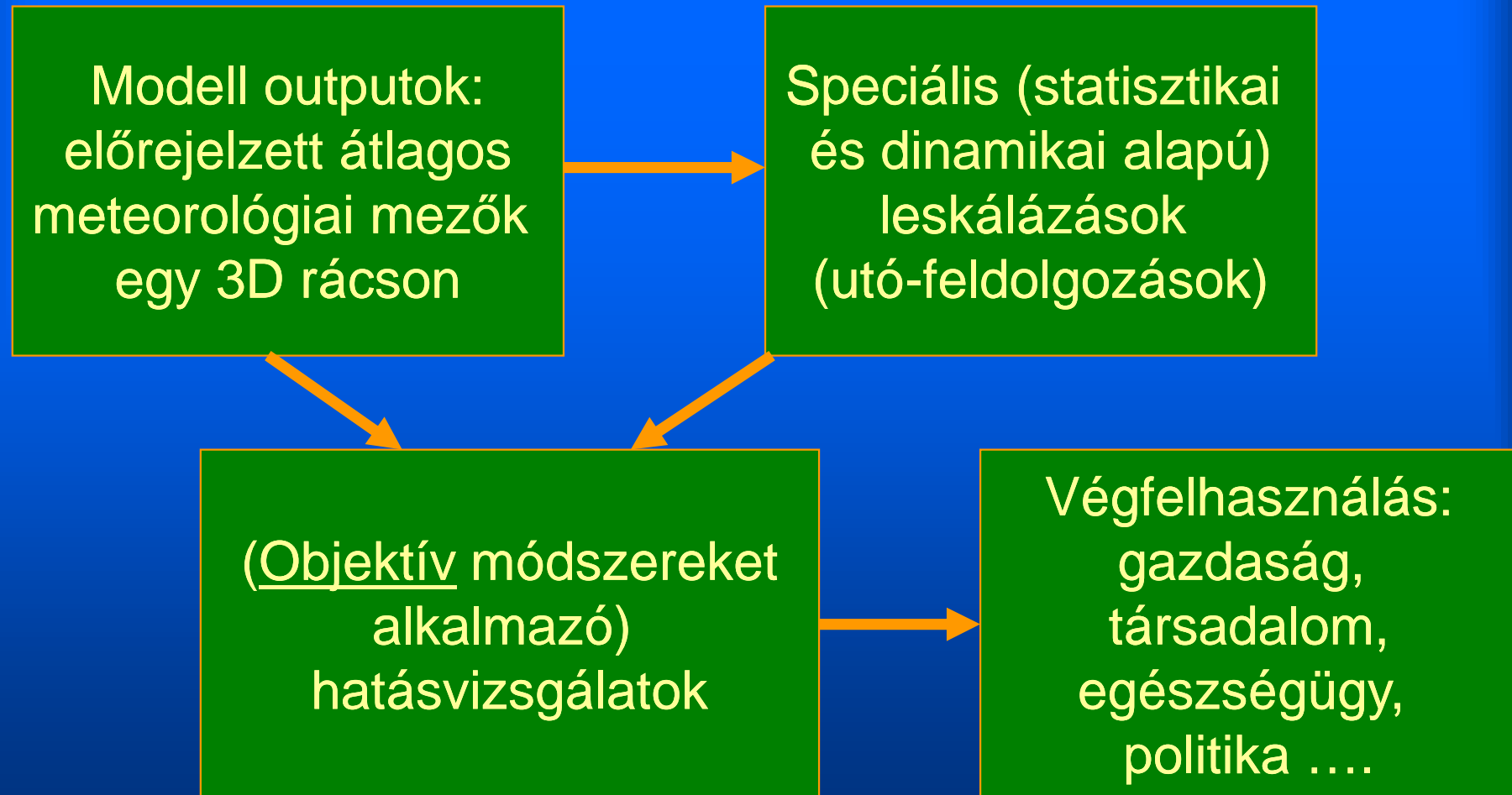
- A múlt éghajlatának rekonstruálása: globális és regionális referencia megfigyelési adatbázisok alkalmazása
 - Climatic Research Unit (CRU)
 - ERA40 vagy NCEP re-analízis adatok
 - Nemzeti adatbázisok
- A modellek folyamatos fejlesztése, tökéletesítése (tökéletes múlt = tökéletes jövő???)
- Jövőre vonatkozó előrejelzések készítése globális és regionális skálán (több modell eredményeinek együttes kiértékelése a bizonytalanságok számszerűsítésére)

TÖBB MODELL EREDMÉNYÉNEK EGYÜTTES KIÉRTÉKELÉSE



**AZ ÉGHAJLATI MODELLEK
ALKALMAZÁSA
HATÁSVIZSGÁLATOKRA**

HOGYAN HASZNÁLHATÓAK FEL AZ ÉGHAJLATI MODELLEK EREDMÉNYEI?



ÉGHAJLATI HATÁSVIZSGÁLATOK

1. Mi a kapcsolat a meteorológiai változók (indikátorok) és a vizsgálni kívánt „jelenség” között?
 - Objektív, kvantitatív összefüggés legyen!
 - Ismert legyen a többi tényező szerepe is (ami a nem meteorológiai hatást biztosítja)!
2. A fenti összefüggés tesztelése, finomítása mérési, megfigyelési adatok segítségével (meteorológiai és a vizsgálni kívánt jelenségre jellemző karakterisztikák)
3. A hatásvizsgálatok elvégzése a modell-eredmények felhasználásával (múltra és jövőre)

ALKALMAZHATÓ MODELL OUTPUTOK

- Múltra vonatkozó teszt modell futtatás „tökéletes” határfeltételekkel (re-analízisek!)
 - A „kapcsolat” tesztelésére, valamint a múltra vonatkozó modell-információk alkalmazhatóságának vizsgálata
- Múltra vonatkozó teszt futtatás múltra vonatkozó globális adatokkal meghajtva
 - A jövőre vonatkozó vizsgálatokhoz hasonló módszertan, de mégis ellenőrizhető, tesztelhető eredményekkel
- Jövőre vonatkozó futtatási eredmények

JAVASOLT LÉPÉSEK HATÁSVIZSGÁLATI TERÜLETENKÉNT (1)

- Azon jelenségek „beazonosítása”, amelyekre a klímaváltozás hatással lehet /hatásvizsgálók/
- Az adott tevékenységekhez kapcsolódó meteorológiai indikátorok kiválasztása (pl. téli fagyos napok száma vagy nyári hőség periódusok vagy heves esőzések stb.) /közösen/
- Melyek a fentiekhez kapcsolódó adekvát, jövőre vonatkozó meteorológiai információk (korlátokkal együtt; pl. a heves esőzések várható gyakoriságának változása valószínűségi értelemben) /meteorológusok/

JAVASOLT LÉPÉSEK HATÁSVIZSGÁLATI TERÜLETENKÉNT (2)

- Az elvégzendő hatásvizsgálatok listája a bemenő és kimenő paramétereik felsorolásával /hatásvizsgálók/
- A szükséges meteorológiai utó-feldolgozási eljárások kidolgozása /meteorológusok/
- A meteorológiai információk alkalmazása a hatásvizsgálatok elvégzésére (múltra és jövőre) /közösen/

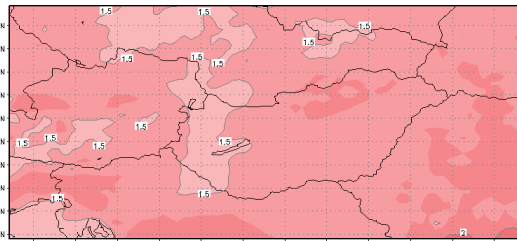
EREDMÉNYEK

ALAPMENNYISÉGEK (ÁTLAGOS VISELKEDÉS)

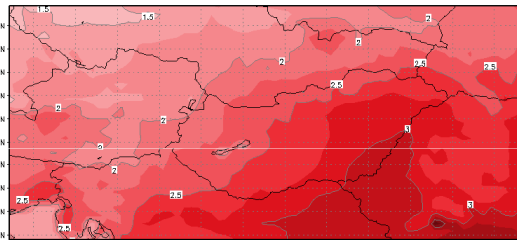
HŐMÉRSÉKLET

JÖVŐRE VONATKOZÓ PROJEKCIÓK: HŐMÉRSÉKLET (A1B, 2021–2050-re 1961–1990-hez képest)

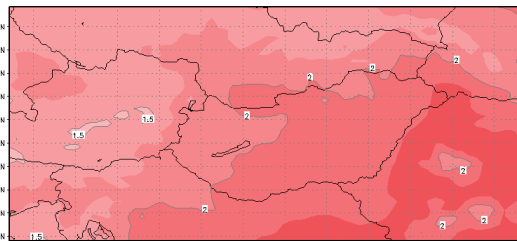
ALADIN



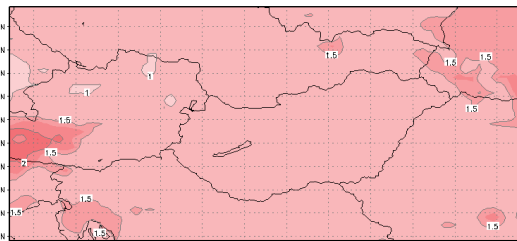
Tavaszi



Nyári

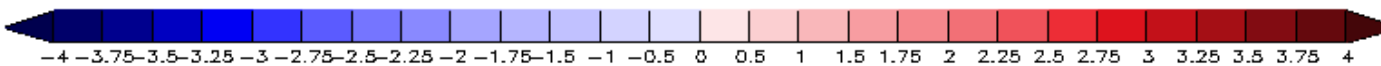
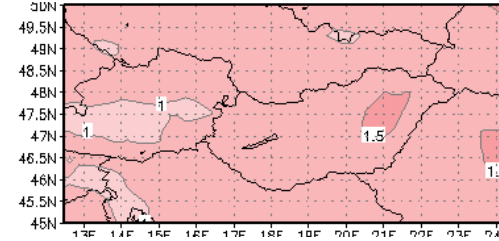
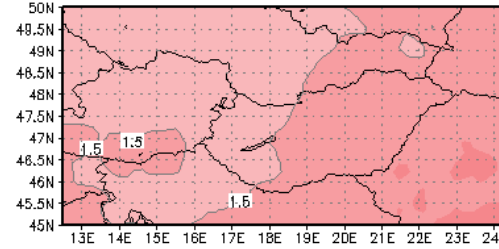
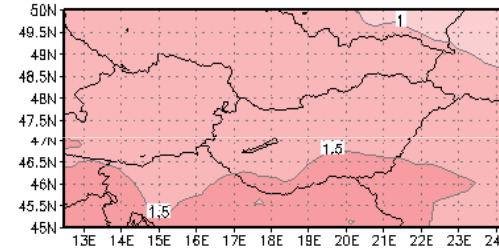
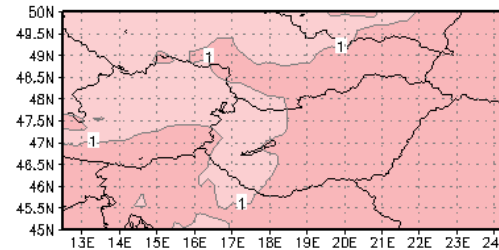


Őszi



Téli

REMO

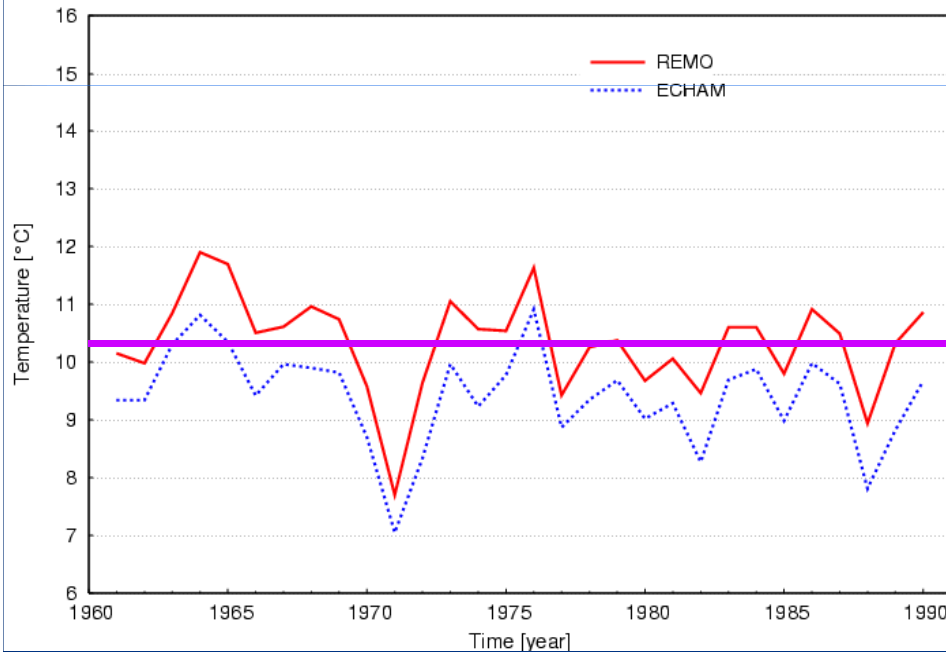


MAGYARORSZÁGI ÉVES ÁTLAGHŐMÉRSÉKLET ALAKULÁSA (REMO MODELL)

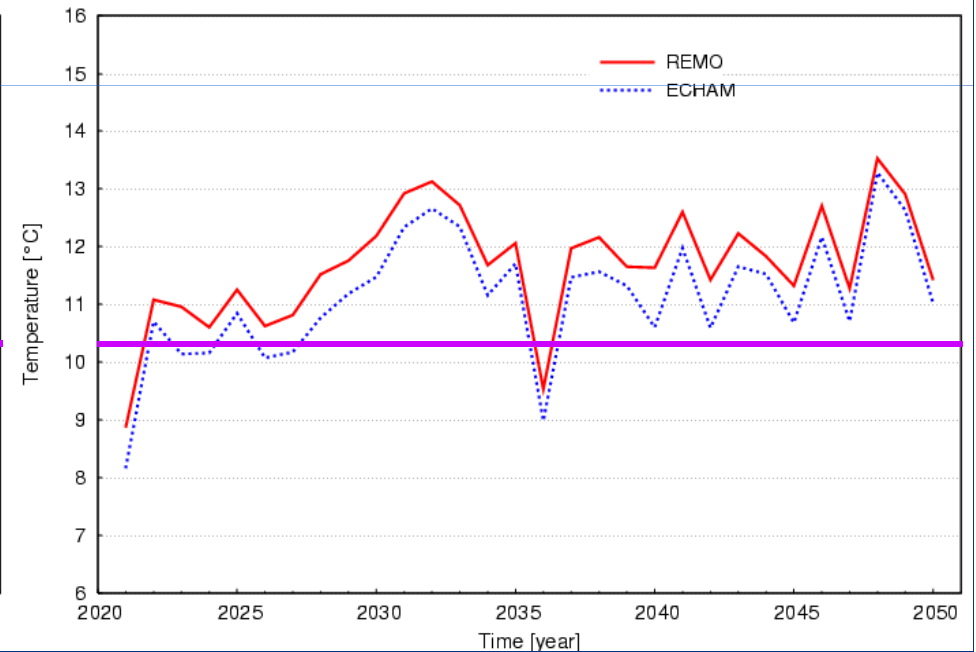
1961–1990

2021–2050

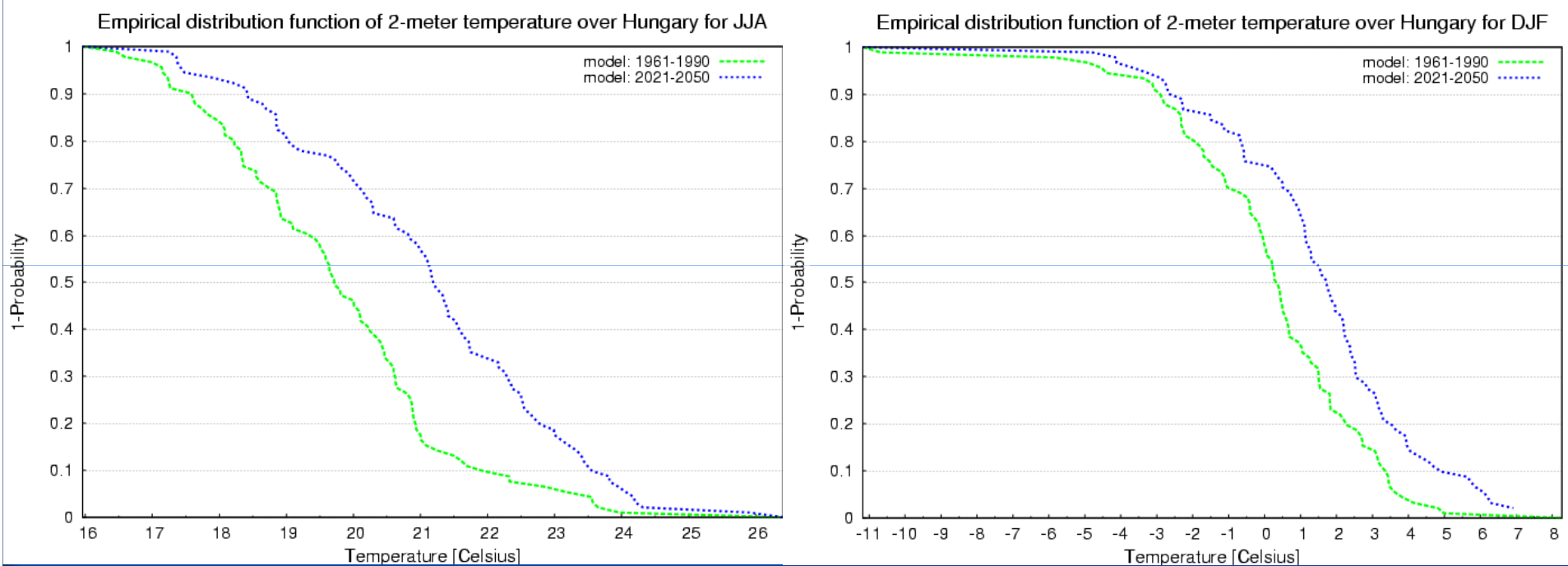
Annual mean temperature over Hungary based on model results [°C]



Annual mean temperature over Hungary based on model results [°C]



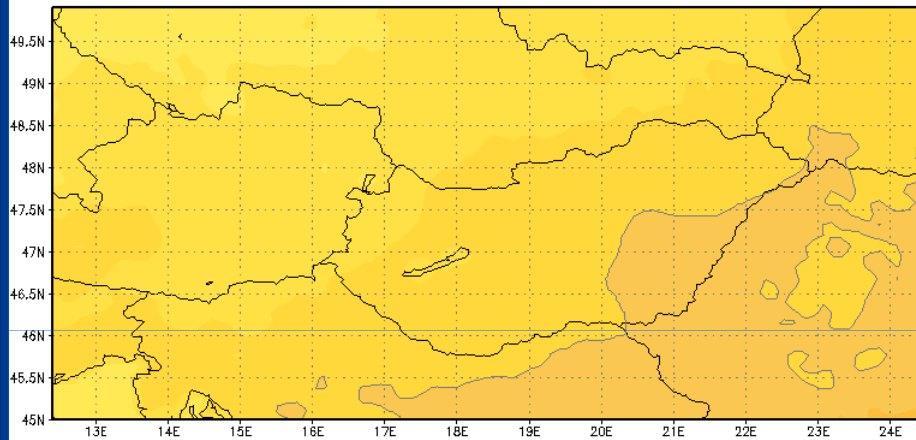
ÉVSZAKOS ÁTLAGHŐMÉRSÉKLET EMPIRIKUS ELOSZLÁSFÜGGVÉNYÉNEK VÁLTOZÁSA



Nyár

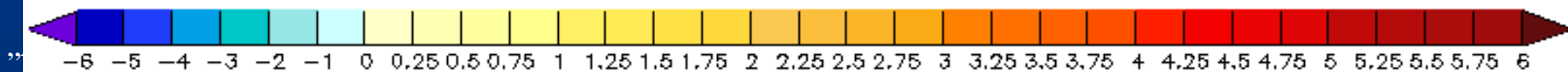
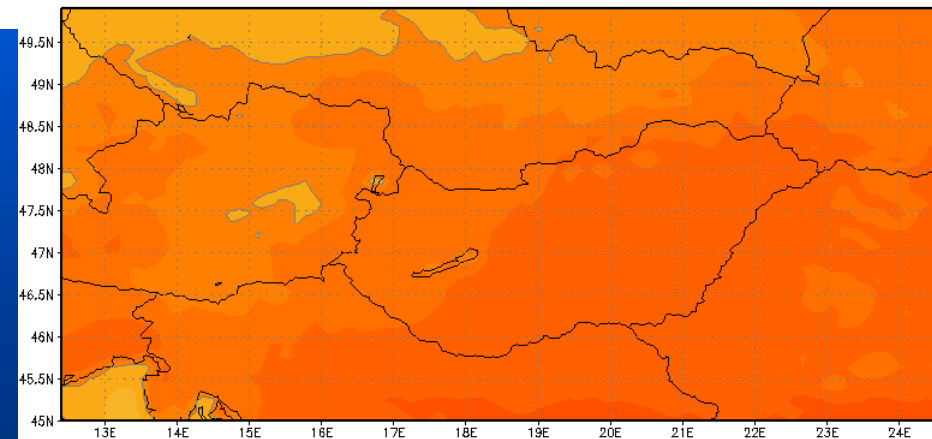
Tél

MAGYARORSZÁGI ÉVES ÁTLAGHŐMÉRSÉKLET VÁLTOZÁSA (ALADIN modell, 2021-2050, 2071-2100)



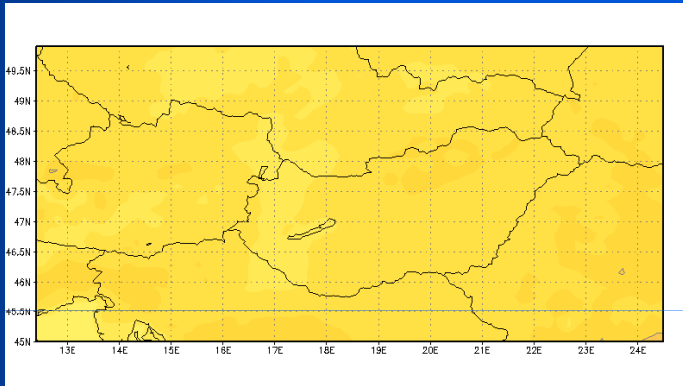
2021-2050

2071-2100

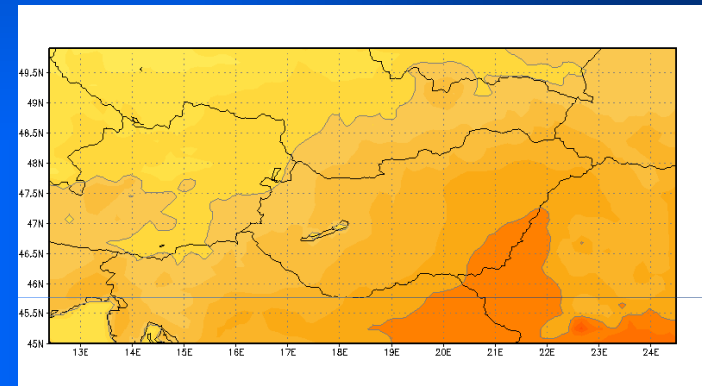


MAGYARORSZÁGI ÉVSZAKOS ÁTLAGHŐMÉRSÉKLET VÁLTOZÁSA (ALADIN modell, 2021-2050, referencia: 1961-1990)

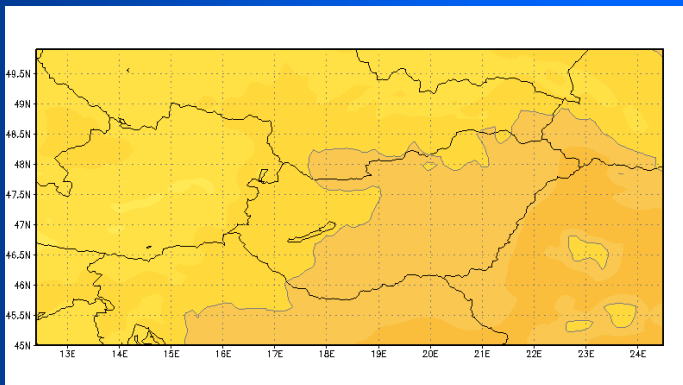
Tavaszi



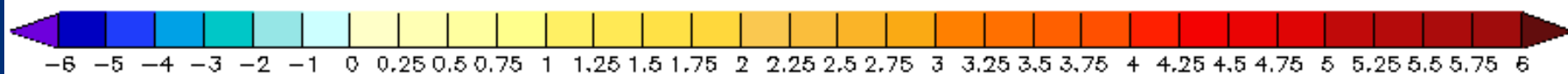
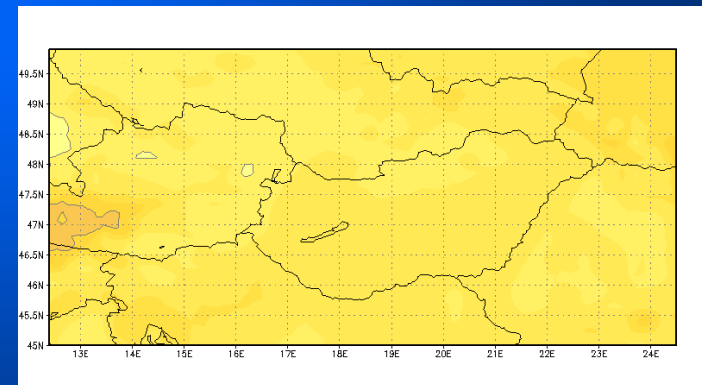
Nyári



Ősz

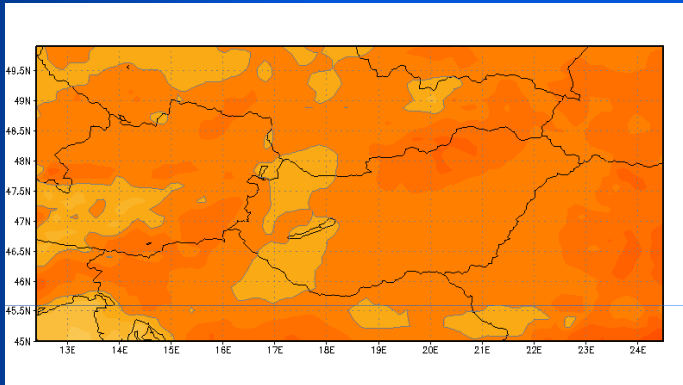


Téli

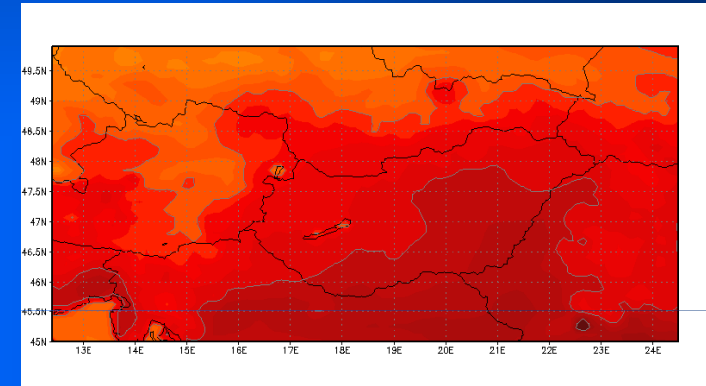


MAGYARORSZÁGI ÉVSZAKOS ÁTLAGHŐMÉRSÉKLET VÁLTOZÁSA (ALADIN modell, 2071-2100, referencia: 1961-1990)

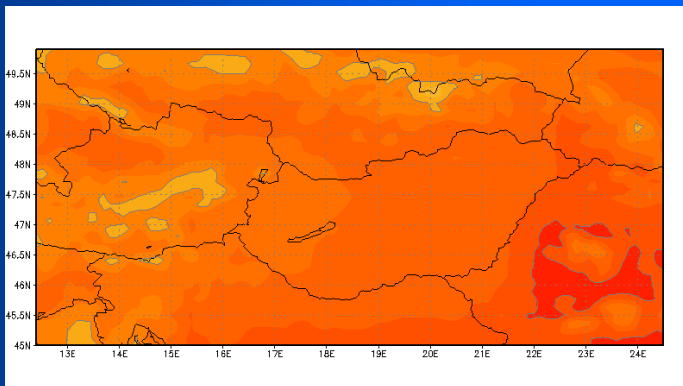
Tavaszi



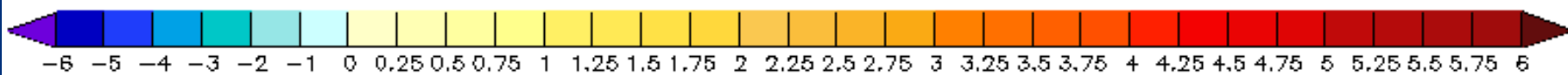
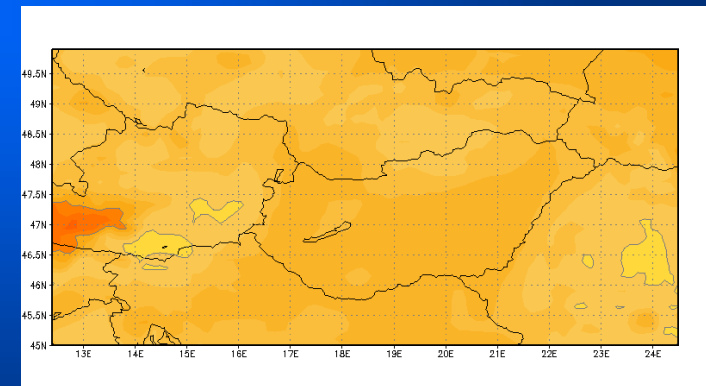
Nyári



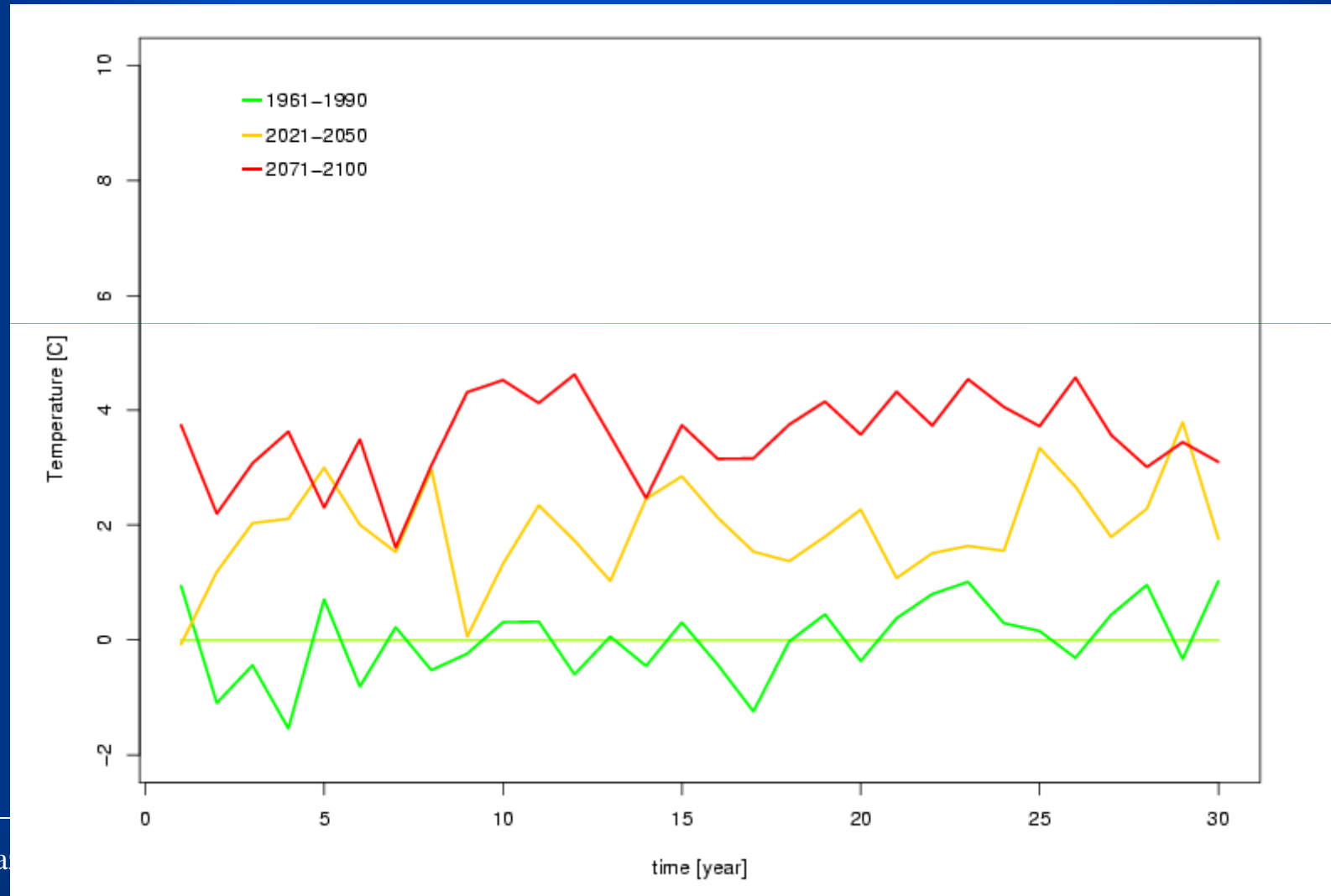
Őszi



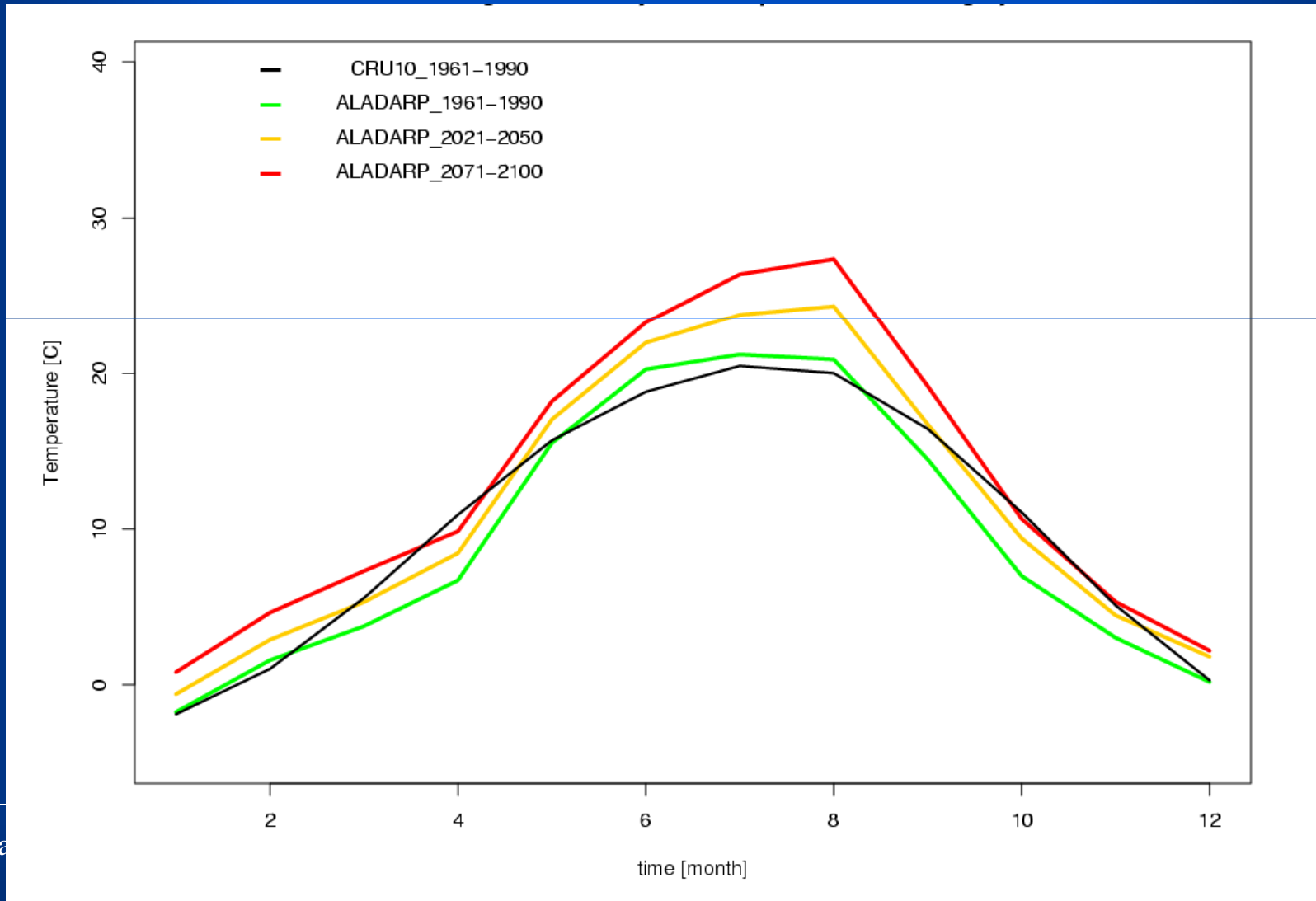
Téli



MAGYARORSZÁGI ÉVES ÁTLAGHŐMÉRSÉKLET ALAKULÁSA (ALADIN MODELL)



MAGYARORSZÁGI HAVI HŐMÉRSÉKLETI ÁTLAG MENETE (ALADIN MODELL)



ÉVES és ÉVSZAKOS ÁTLAGHŐMÉRSÉKLET VÁLTOZÁSA ÉS SZÓRÁSA (ALADIN MODELL)

2021-2050	Éves	Tavaszi	Nyár	Ősz	Tél
Változás [°C]	1.90	1.60	2.59	2.04	1.34
Szórás [°C]	0.85	1.01	1.49	1.30	1.11

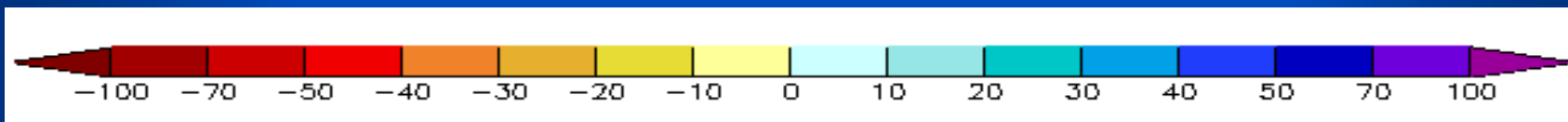
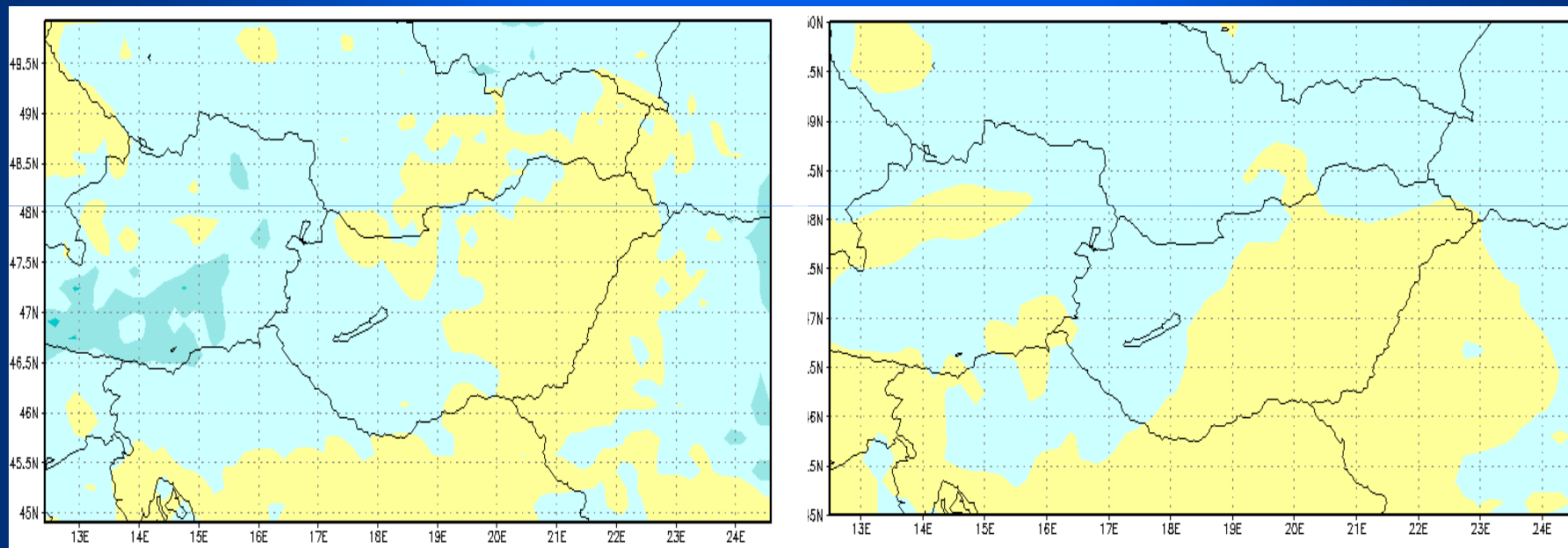
2071-2100	Éves	Tavaszi	Nyár	Ősz	Tél
Változás [°C]	3.54	3.13	4.92	3.56	2.53
Szórás [°C]	0.74	0.94	1.50	0.94	1.55

CSAPADÉK

JÖVŐRE VONATKOZÓ PROJEKCIÓK: ÉVES CSAPADÉK (A1B, 2021–2050-re 1961–1990-hez képest)

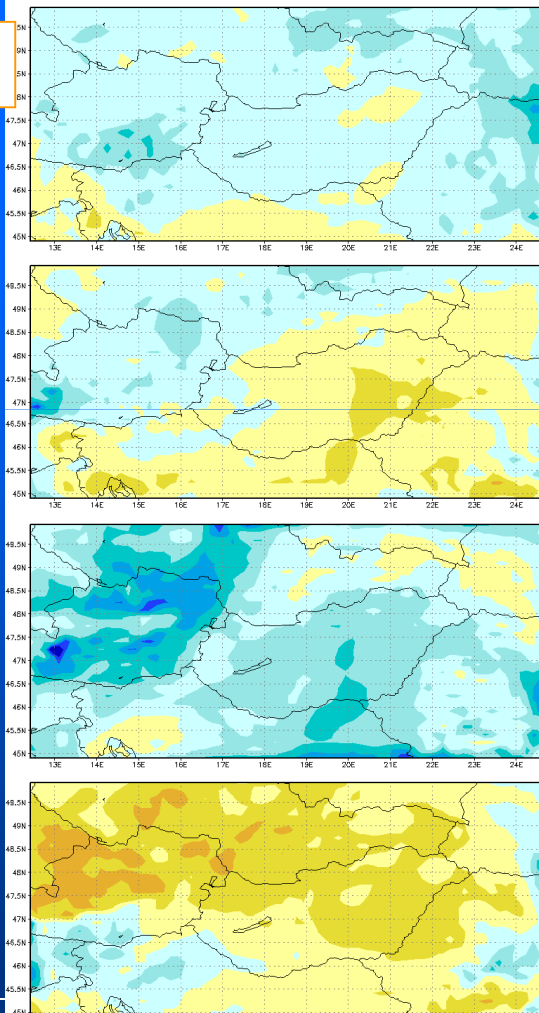
ALADIN

REMO



JÖVŐRE VONATKOZÓ PROJEKCIÓK: CSAPADÉK (A1B, 2021–2050-re 1961–1990-hez képest)

ALADIN



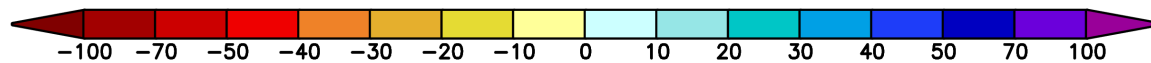
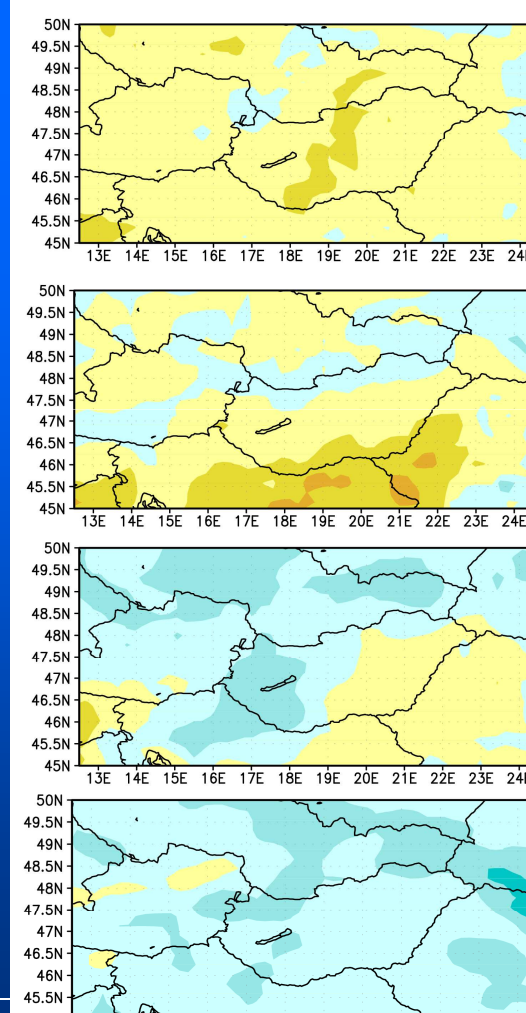
Tavaszi

Nyár

Ősz

Tél

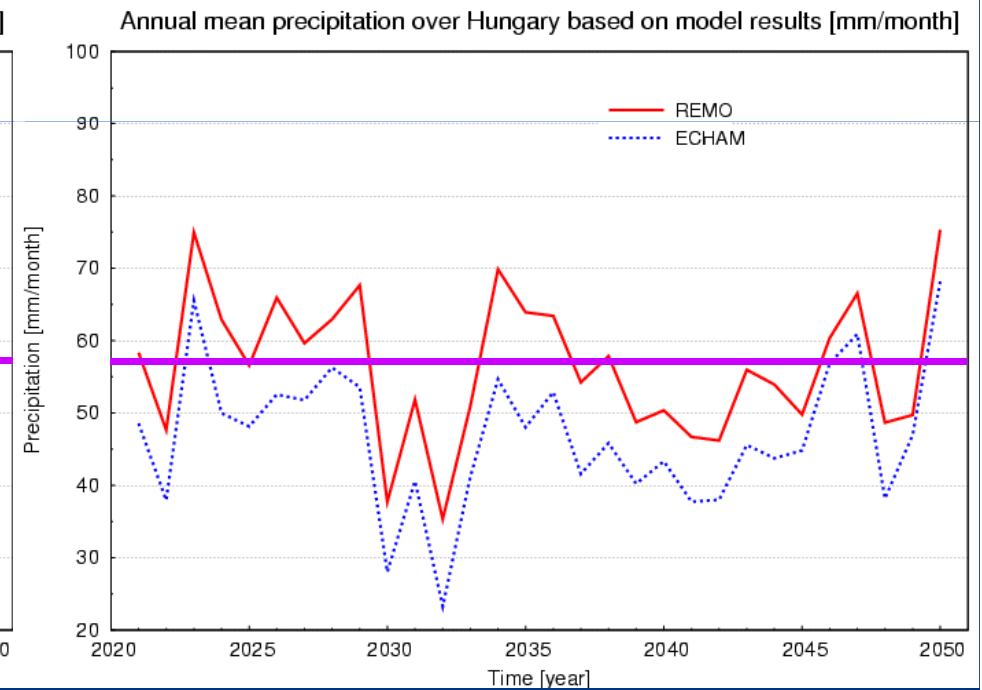
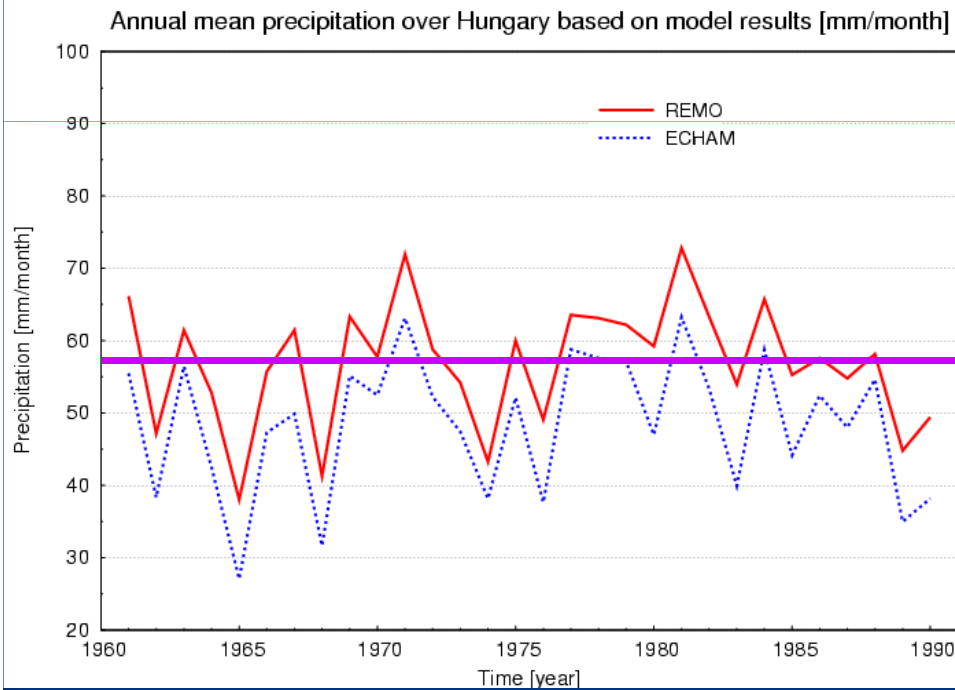
REMO



MAGYARORSZÁGI ÉVES CSAPADÉKÁTLAG ALAKULÁSA (REMO MODELL)

1961–1990

2021–2050

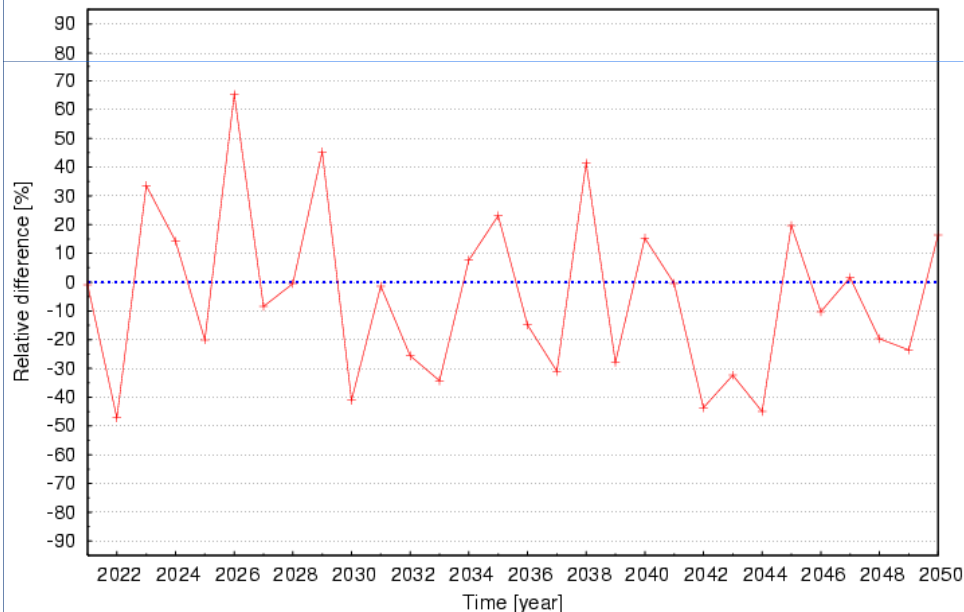


MAGYARORSZÁGI ÉVSZAKOS CSAPADÉKÁTLAG VÁLTOZÁSÁNAK ALAKULÁSA (referencia: 1961-1990-es időszak átlaga; REMO modell)

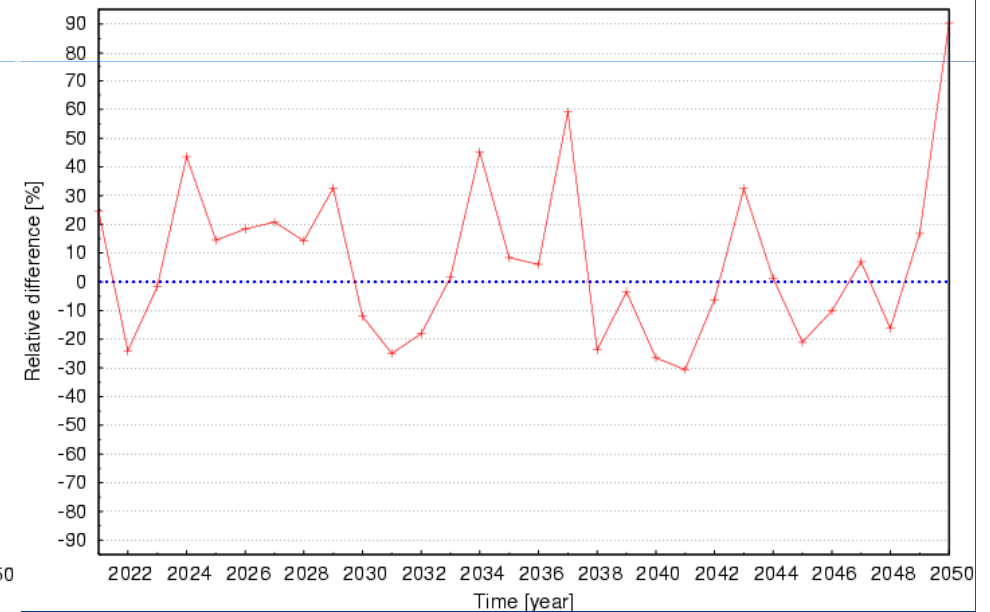
Nyár

Tél

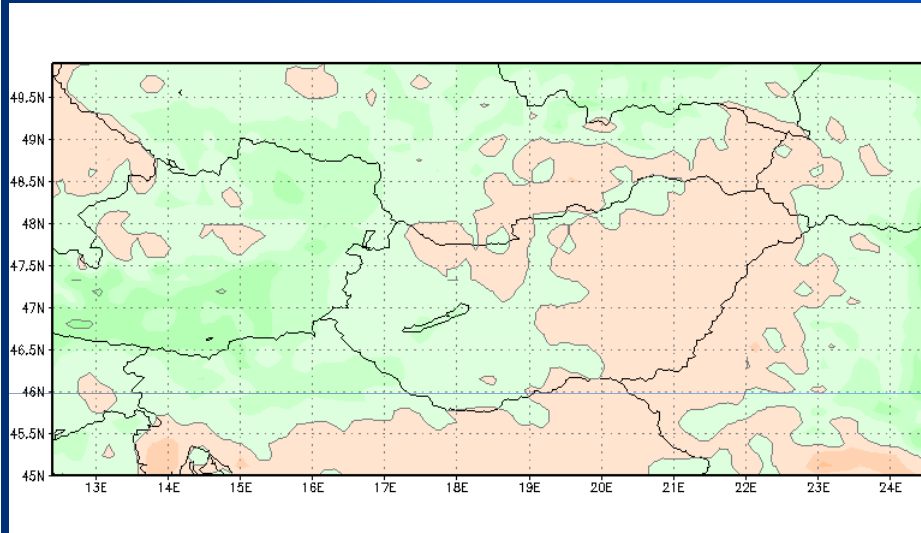
Change of seasonal (JJA) mean precipitation in REMO for 2021-2050 [%]
Reference period: JJA, 1961-1990; area: Hungary



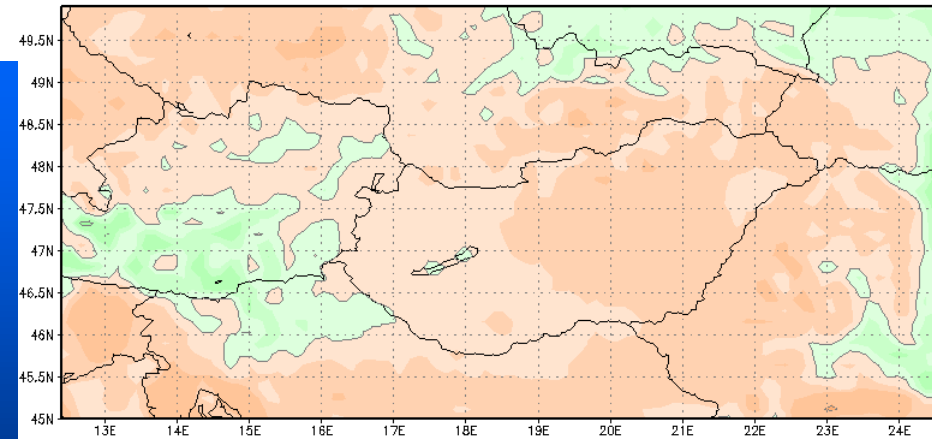
Change of seasonal (DJF) mean precipitation in REMO for 2021-2050 [%]
Reference period: DJF, 1961-1990; area: Hungary



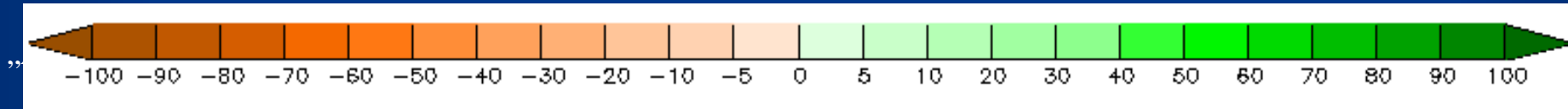
ÉVES CSAPADÉKÁTLAG VÁLTOZÁSA (A1B, ALADIN, 2021–2050-re, illetve 2071-2100-ra 1961–1990-hez képest)



2021-2050

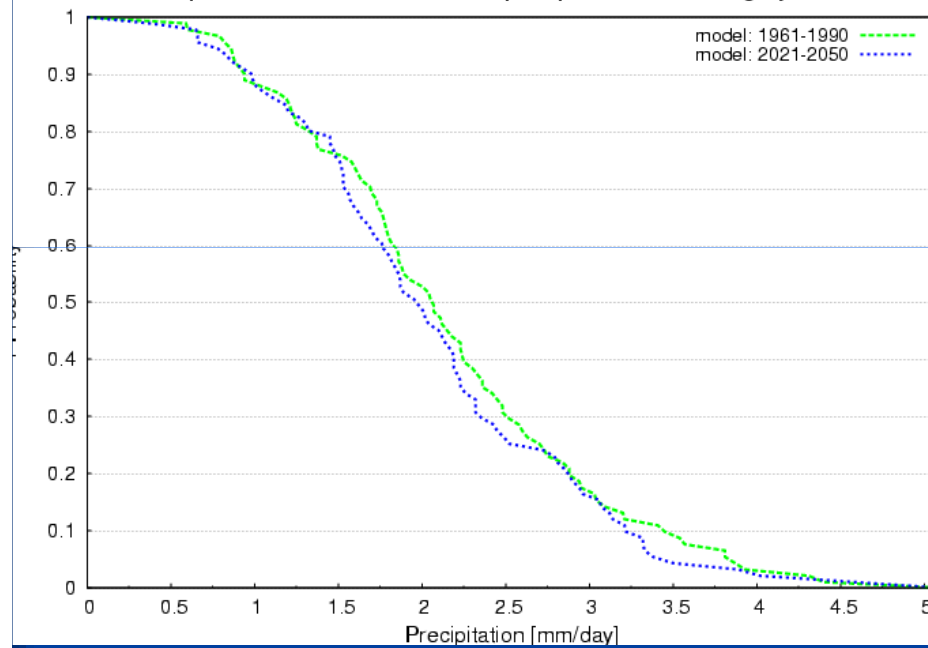


2071-2100

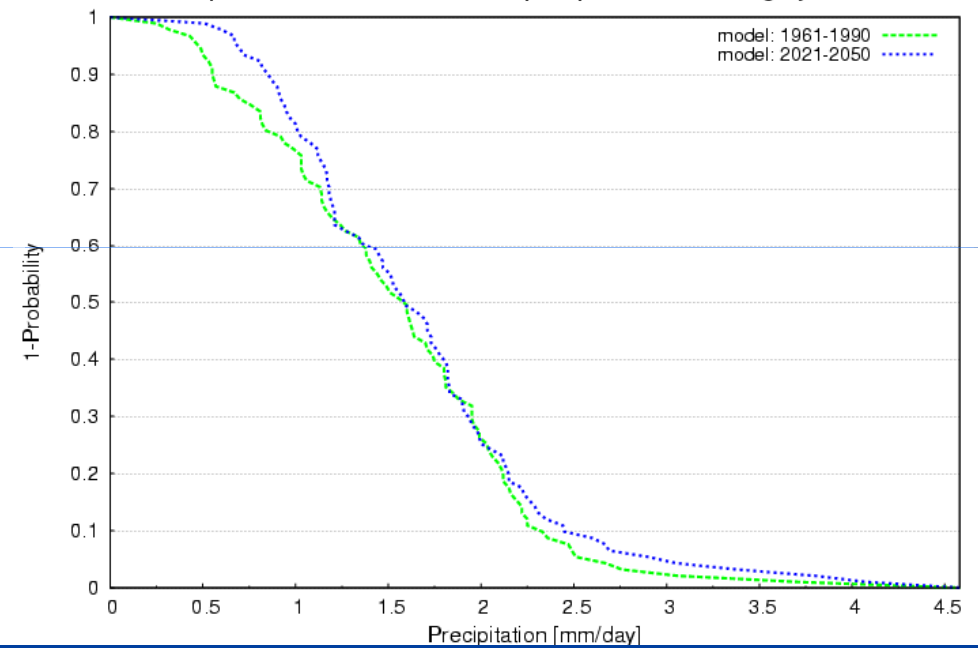


ÉVSZAKOS CSAPADÉKÁTLAG EMPIRIKUS ELOSZLÁSFÜGGVÉNYÉNEK VÁLTOZÁSA (REMO MODELL)

Empirical distribution function of precipitation over Hungary for JJA



Empirical distribution function of precipitation over Hungary for DJF

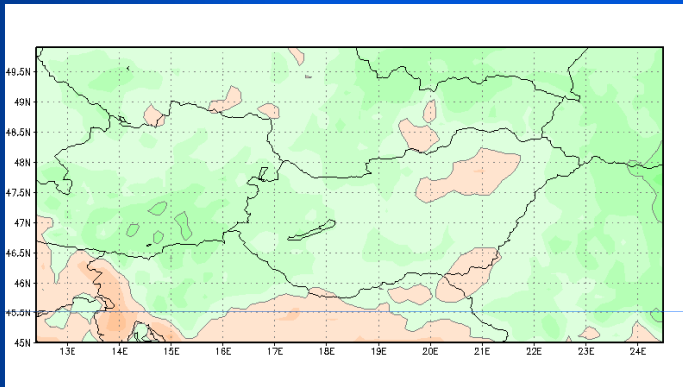


Nyár

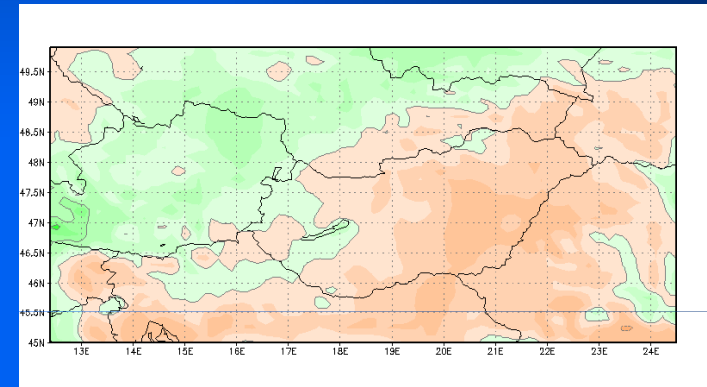
Tél

MAGYARORSZÁGI ÉVSZAKOS CSAPADÉK VÁLTOZÁSA (ALADIN modell, 2021-2050, referencia: 1961-1990)

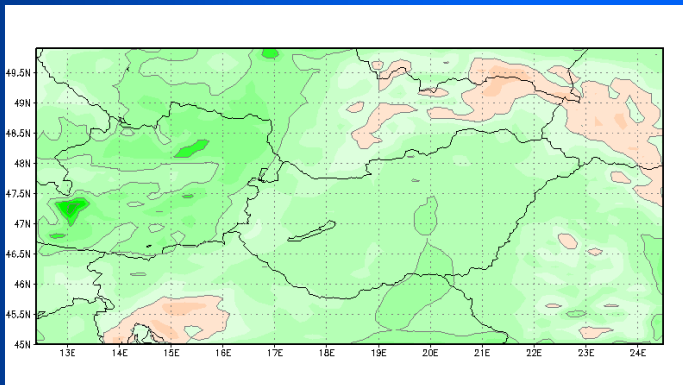
Tavaszi



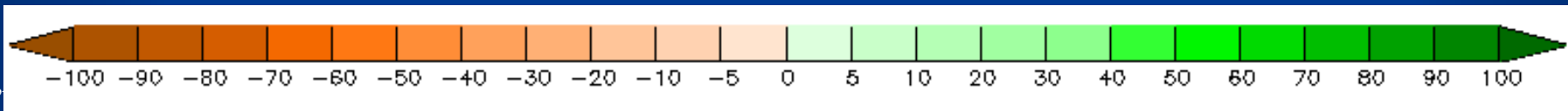
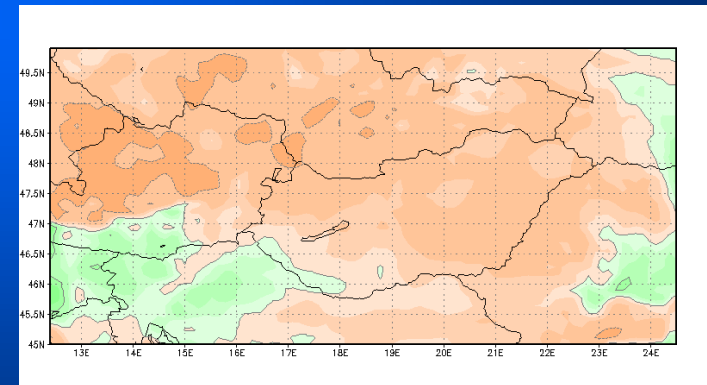
Nyári



Őszi

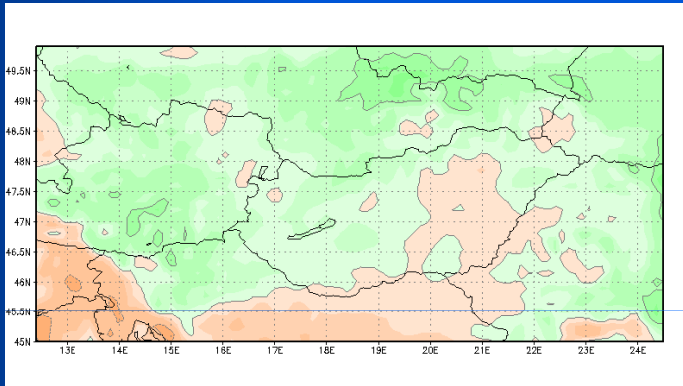


Téli

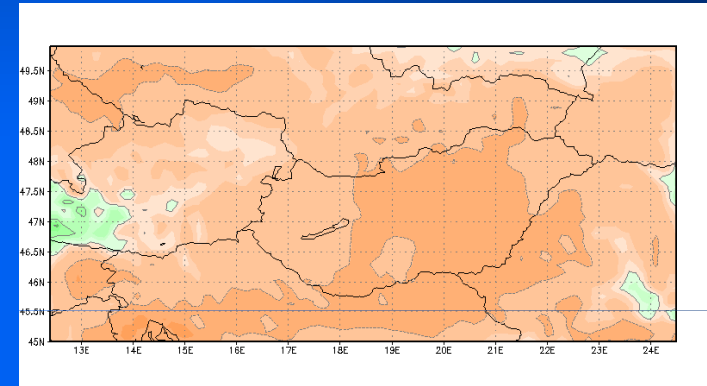


MAGYARORSZÁGI ÉVSZAKOS CSAPADÉK VÁLTOZÁSA (ALADIN modell, 2071-2050, referencia: 1961-1990)

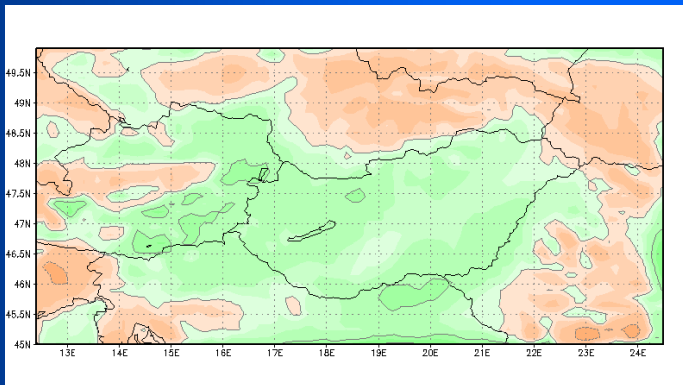
Tavaszi



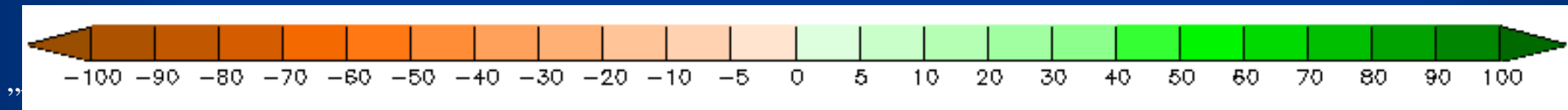
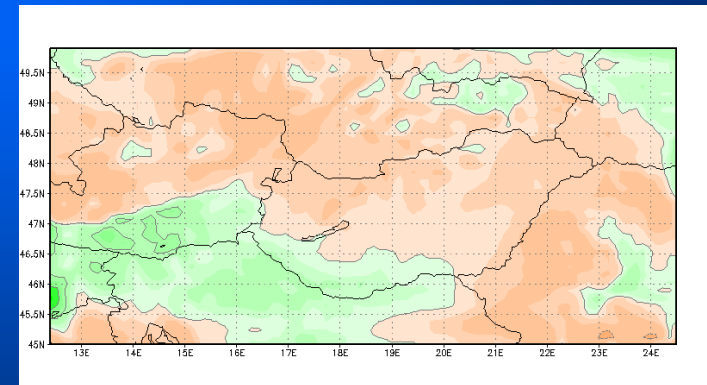
Nyári



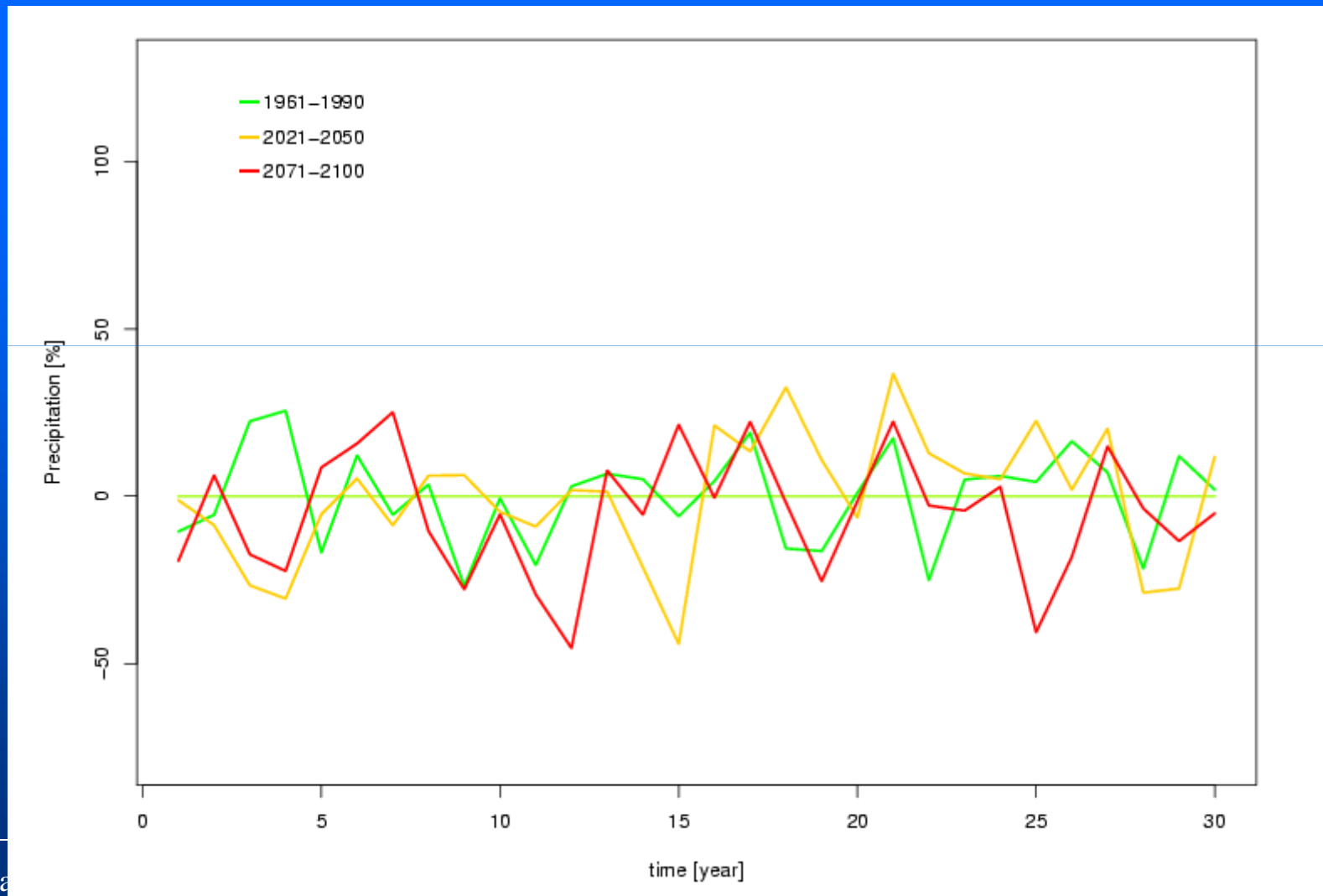
Ősz



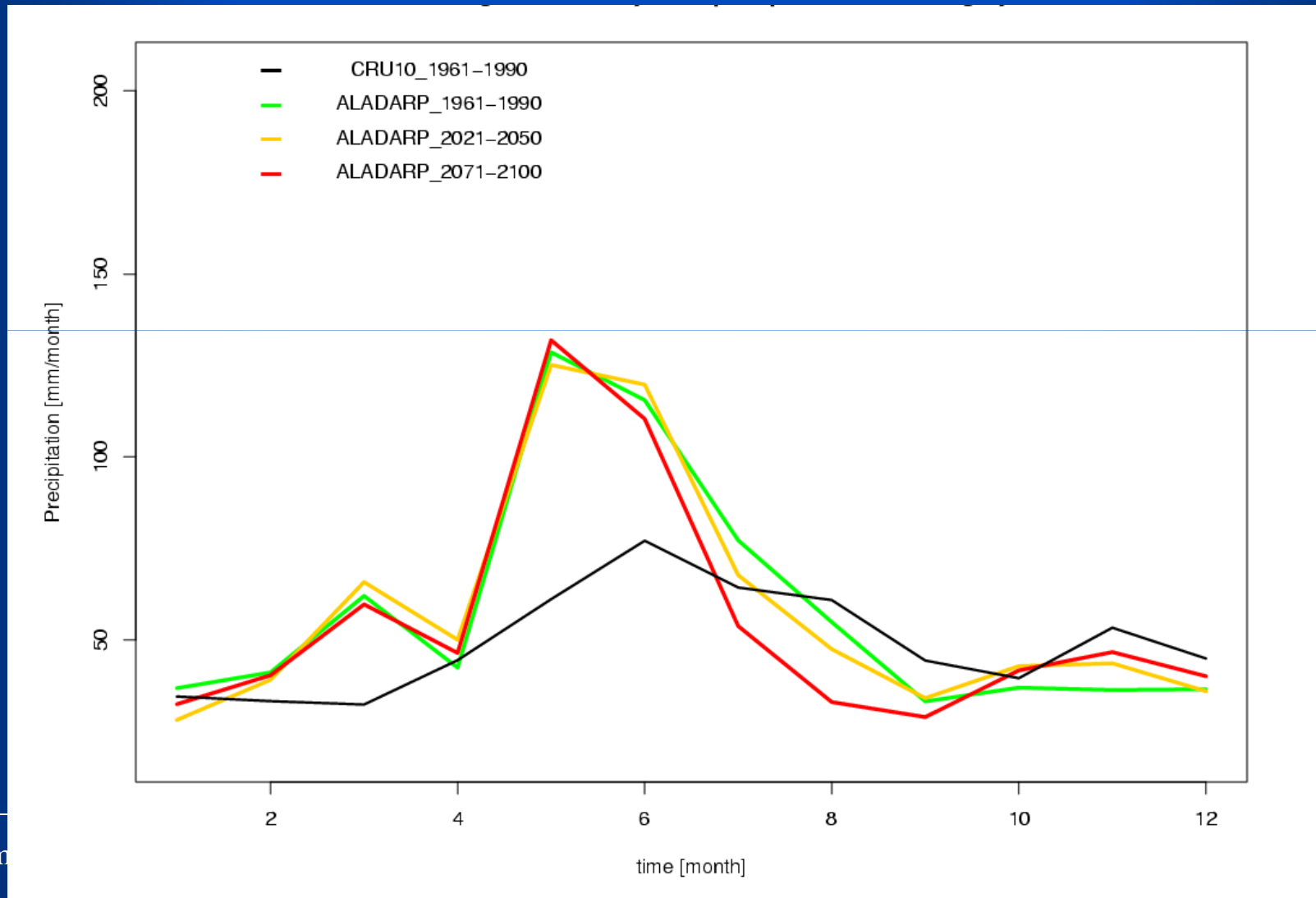
Téli



AZ ÉVES CSAPADÉKÁTLAG RELATÍV VÁLTOZÁSA (ALADIN MODELL)



MAGYARORSZÁGI HAVI CSAPADÉKÖSSZEG MENETE (ALADIN MODELL)



ÉVES és ÉVSZAKOS CSAPADÉKÁTLAG VÁLTOZÁSA ÉS SZÓRÁSA (ALADIN MODELL)

2021-2050	Éves	Tavaszi	Nyári	Őszi	Téli
Változás [%]	-0.27	3.40	-5.11	13.19	-10.05
Szórás [%]	19.01	20.48	29.47	44.94	34.90

2071-2100	Éves	Tavaszi	Nyári	Őszi	Téli
Változás [%]	-5.16	2.14	-20.34	10.11	-3.43
Szórás [%]	18.41	24.97	28.69	53.41	38.52

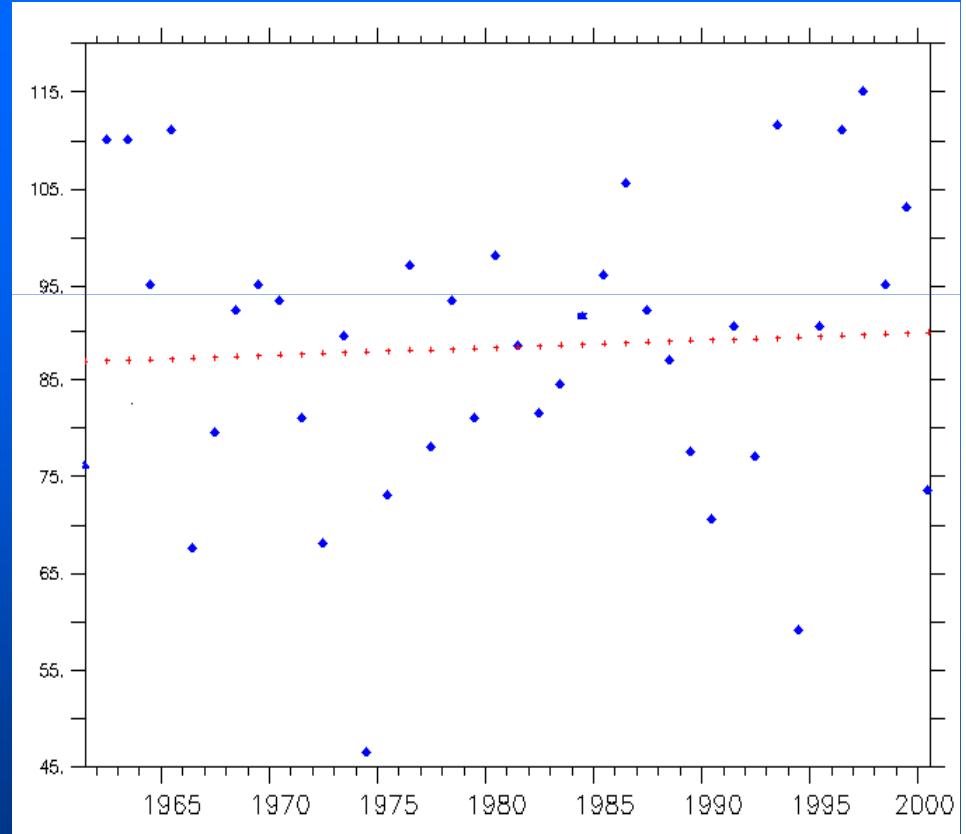
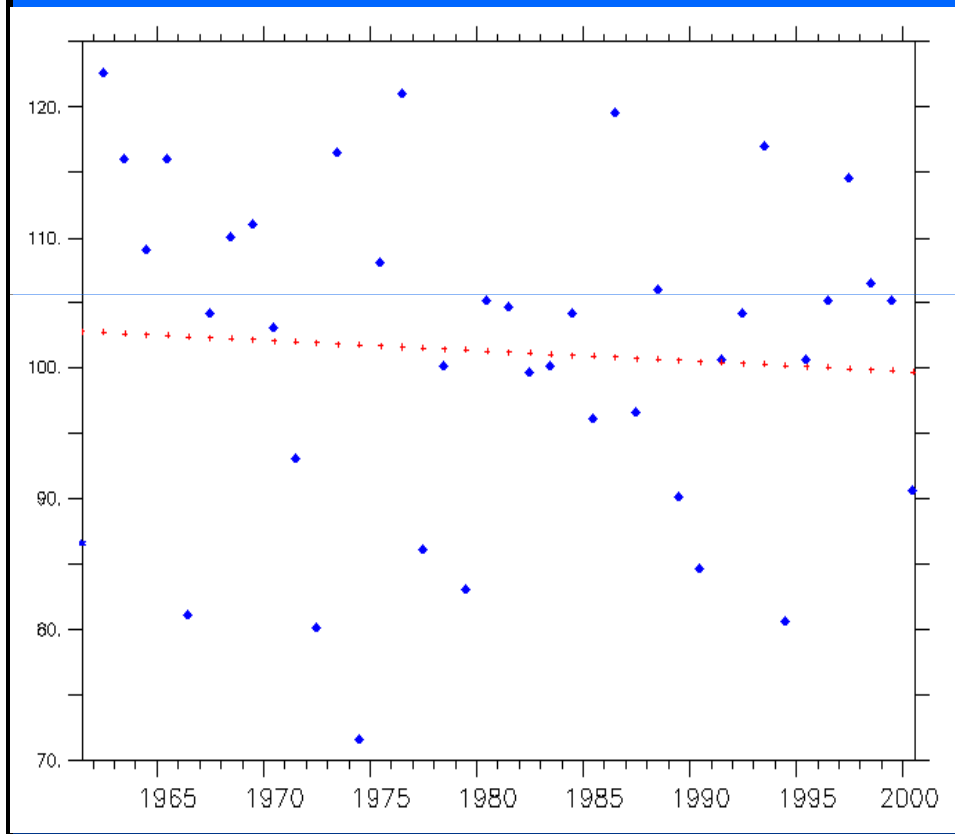
AZ ALAPMENNYISÉGEK ÁTLAGOS VISELKEDÉSE

- Hőmérséklet
 - A modellek jellegüket tekintve hasonló eredményeket adnak (más-más a referencia a modelleknél)
 - Melegedés, ami nyáron és ősszel a legnagyobb mértékű
 - Elsősorban nyáron erős Ny-K-i gradiens (nagyfelbontású modell!)
- Csapadék
 - A modellek jelentősen eltérnek egymástól (kivéve nyáron)
 - A csapadék éves összegében nem várható jelentős változás, de az eloszlásában igen!
 - Nagyfokú bizonytalanság (Magyarország két zóna határán, illetve az időbeli változás nem lineáris)

SZÉLSŐSÉGEK

HŐMÉRSÉKLET

FAGYOS NAPOK ÉVES SZÁMA ($T_{min} < 0$ FOK, 1961-2000, MEGFIGYELÉSEK)

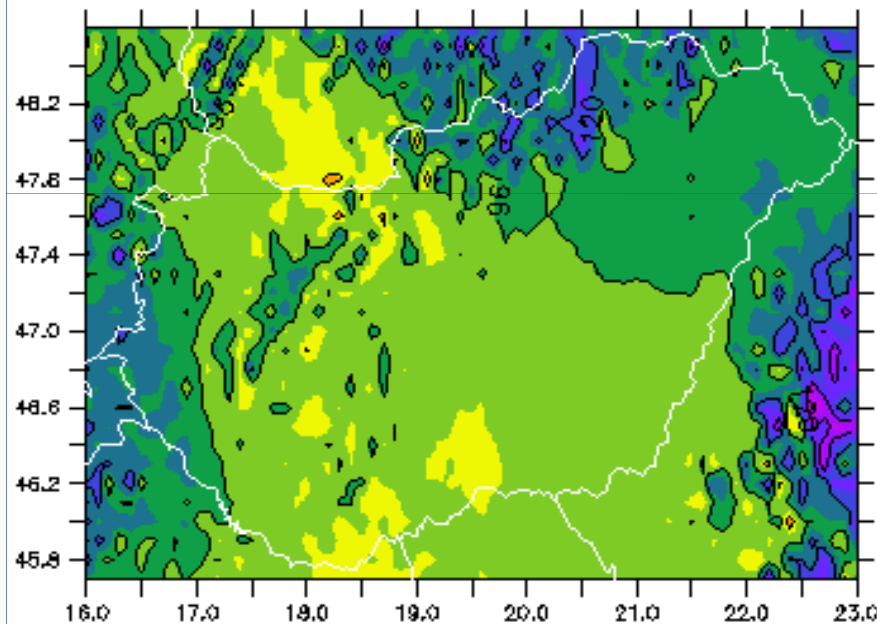


Debrecen

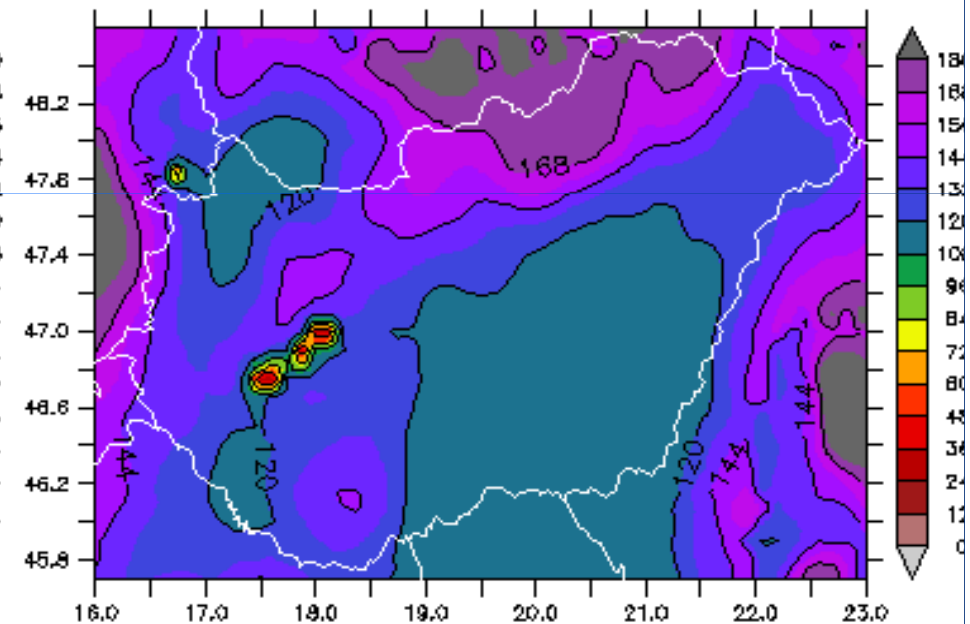
Győr

FAGYOS NAPOK ÉVES SZÁMA ($T_{min} < 0$ FOK, 1961-2000, MEGFIGYELÉSEK VS. MODELL)

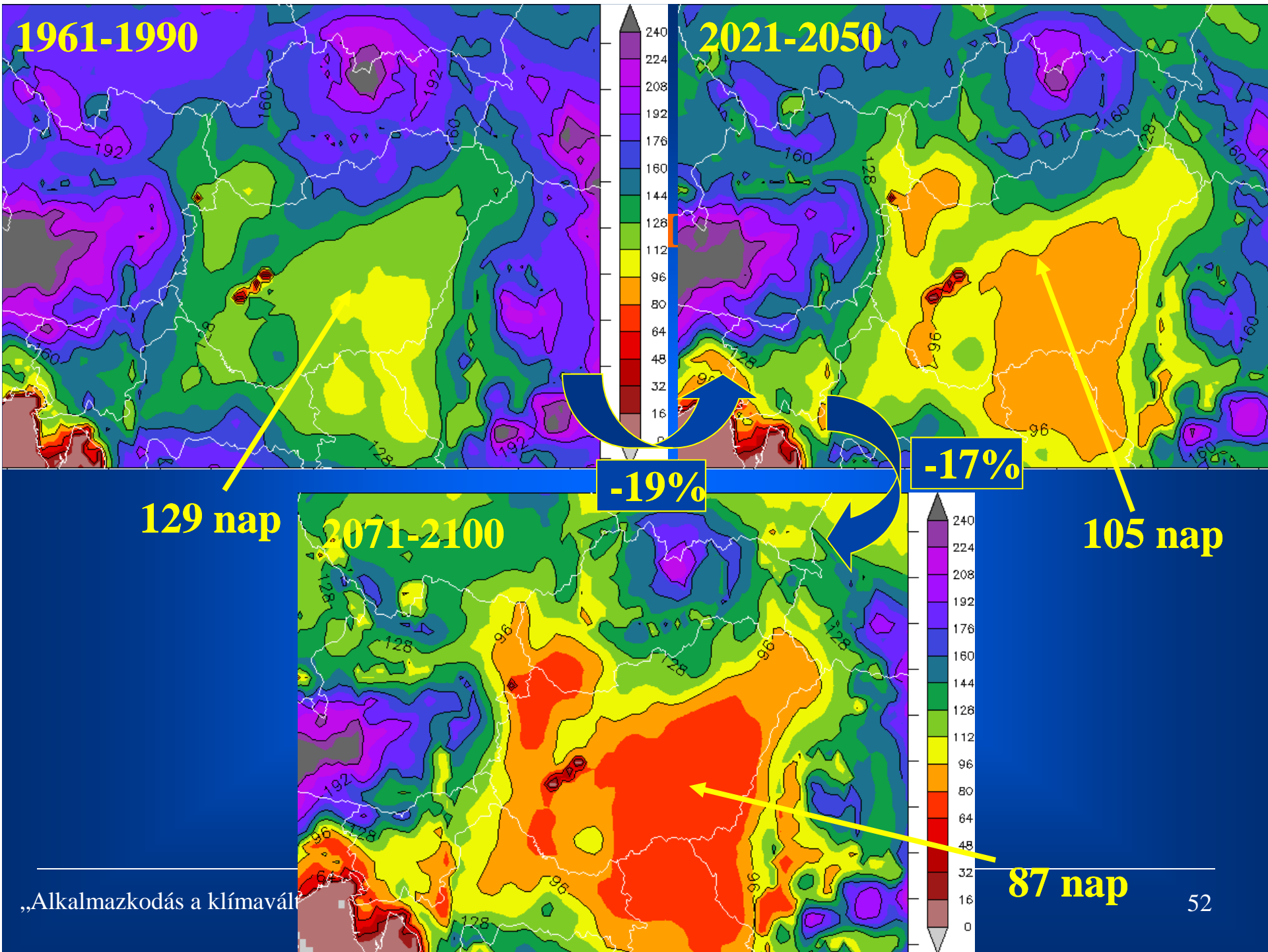
Annual number of frost days ($T_{min} < 0$ C)



HUGRID 1961–1990

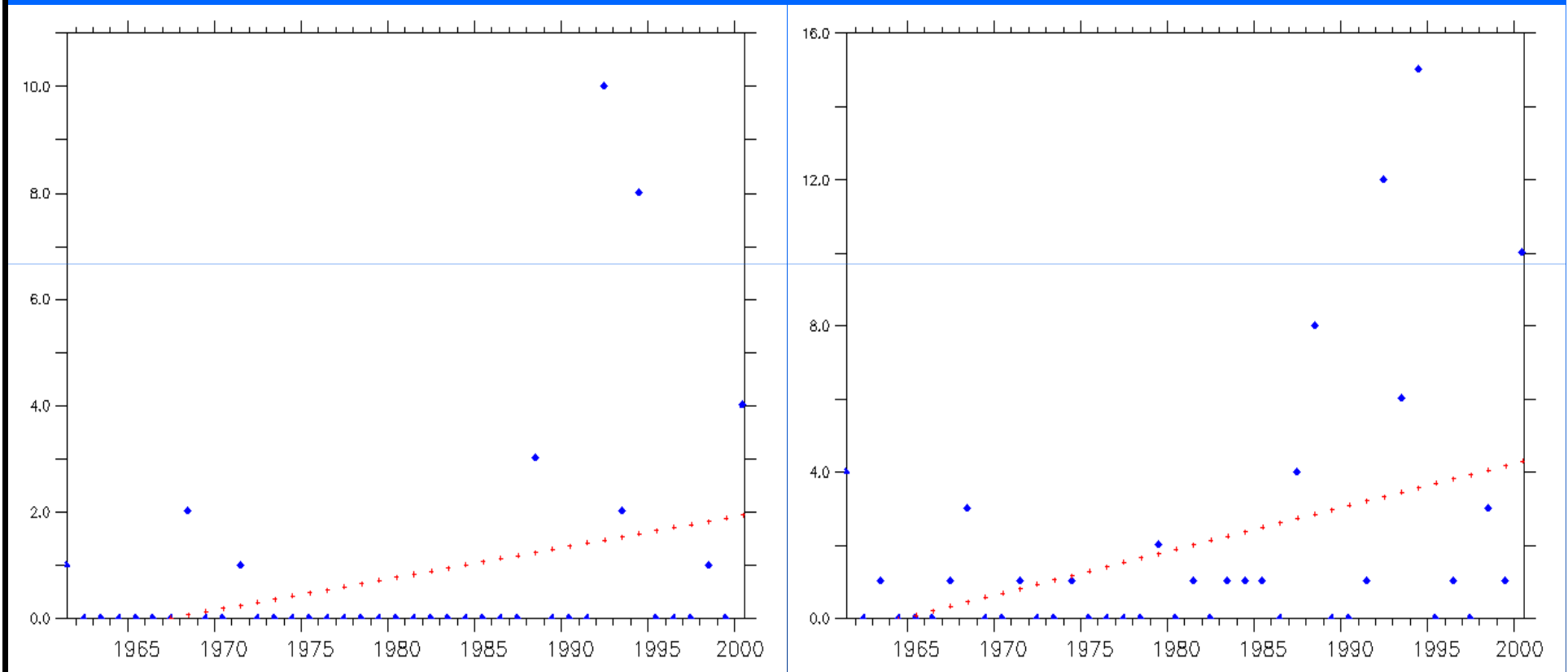


ALADIN 1961–1990



„Alkalmazkodás a klímaváltozáshoz”

FORRÓ NAPOK ÉVES SZÁMA ($T_{max} > 35$ FOK, 1961-2000, MEGFIGYELÉSEK)

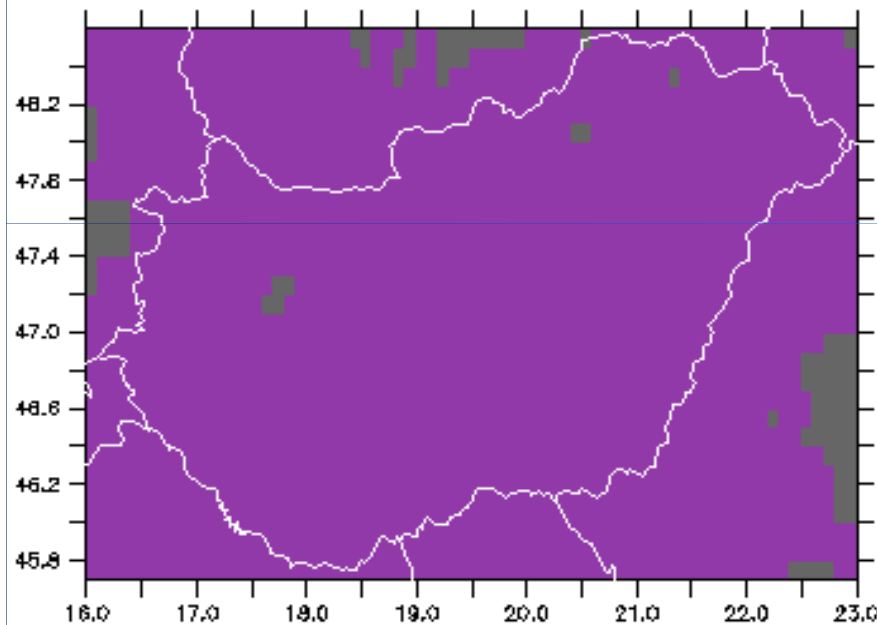


Győr

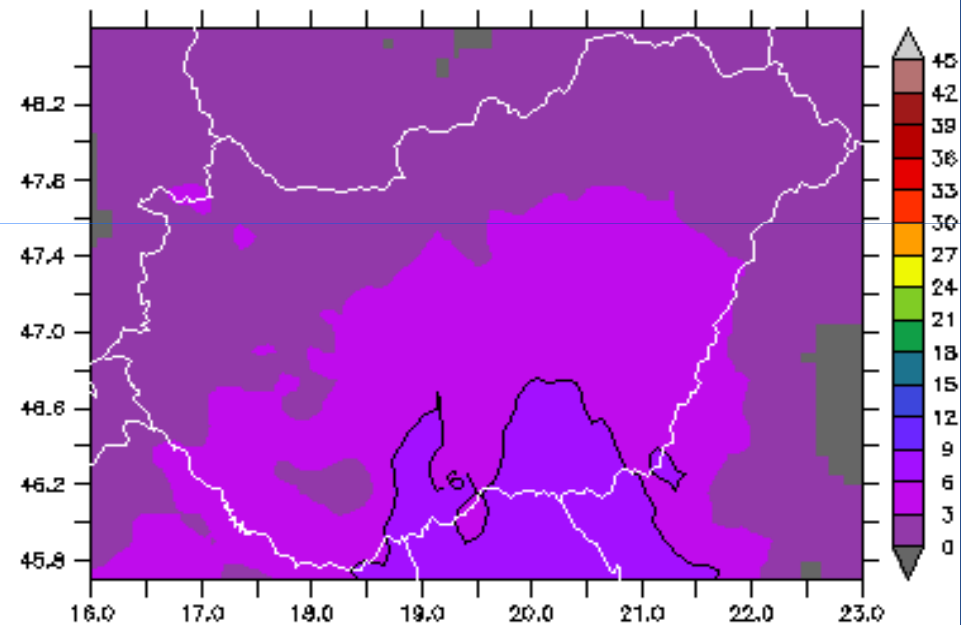
Szeged

FORRÓ NAPOK ÉVES SZÁMA ($T_{min} < 0$ FOK, 1961-2000, MEGFIGYELÉSEK VS. MODELL)

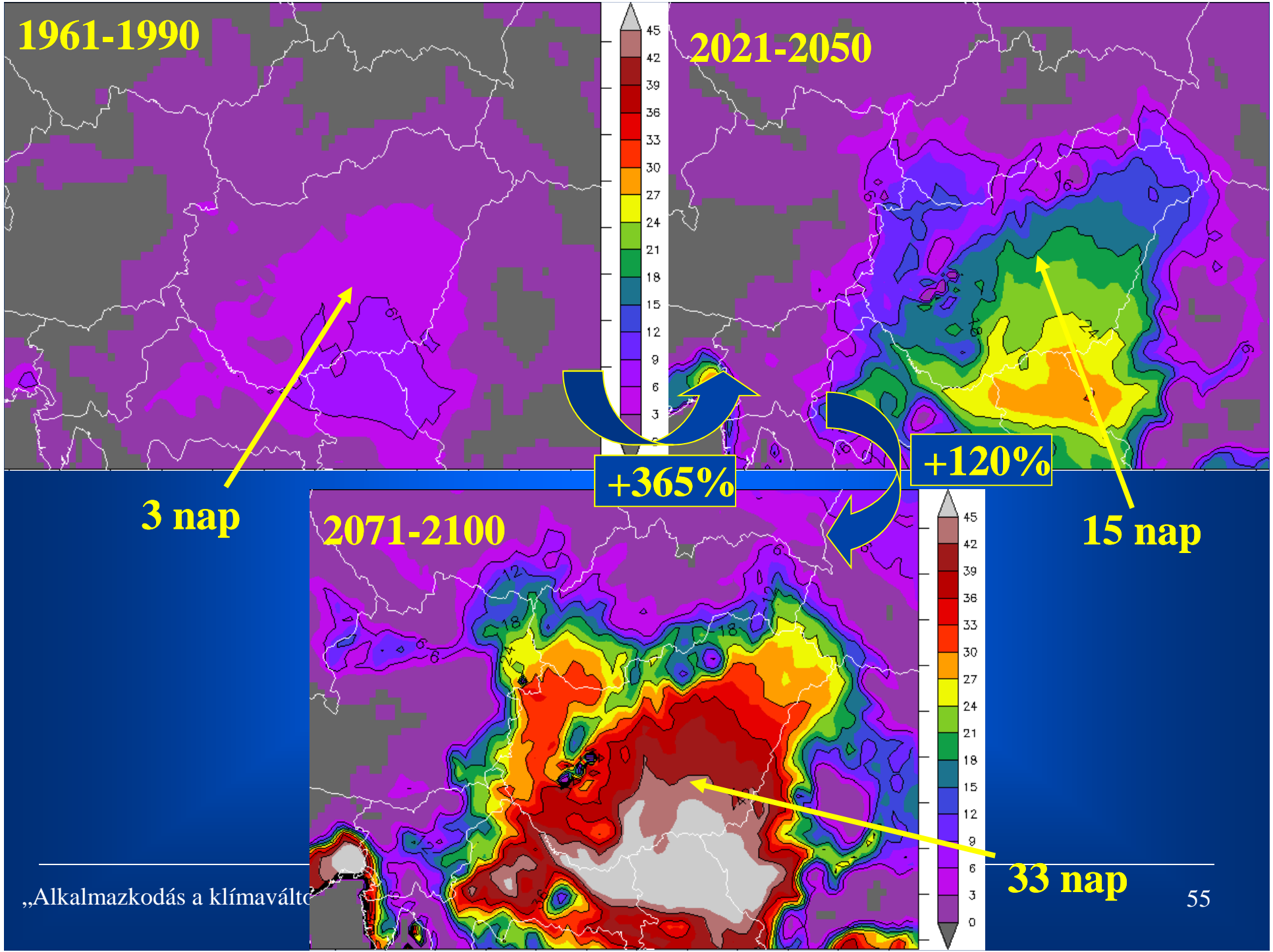
Annual number of extremely hot days ($T_{max} \geq 35^{\circ}C$)



HUGRID 1961–1990



ALADIN 1961–1990

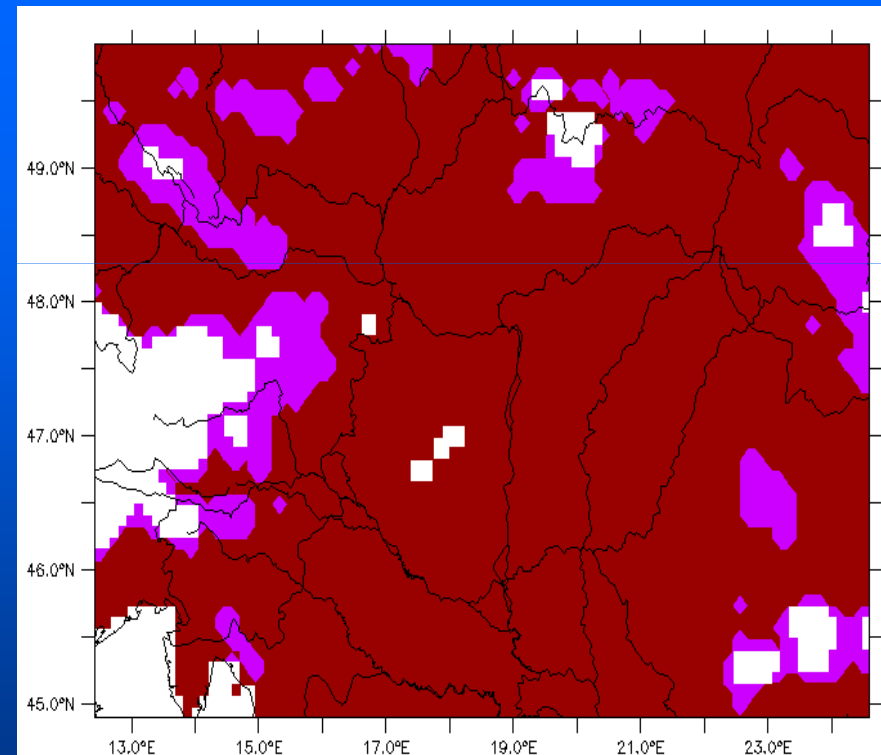
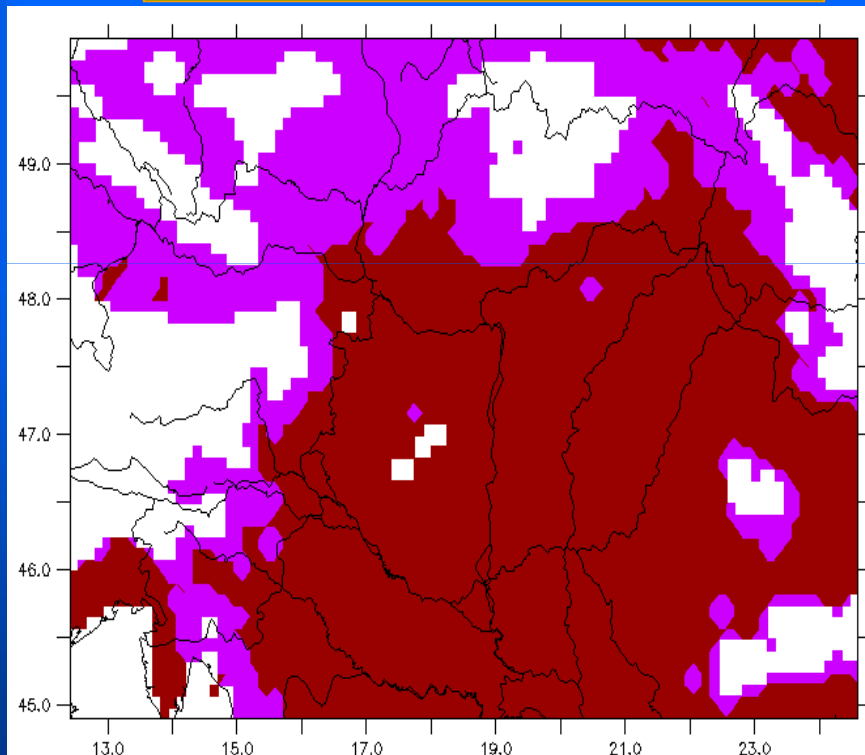


„Alkalmazkodás a klímaválto

FORRÓ NAPOK ÉVES SZÁMÁNAK 95%-OS VALÓSZÍNŰSÉG MELLETTI VÁRHATÓ SZIGNIFIKÁNS VÁLTOZÁSA (BORDÓ: SZIGNIFIKÁNS)

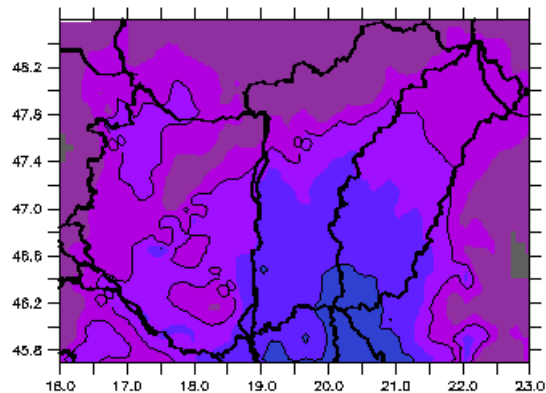
3 nap → 15 nap (+ 365%)

15 nap → 33 nap (+ 120%)

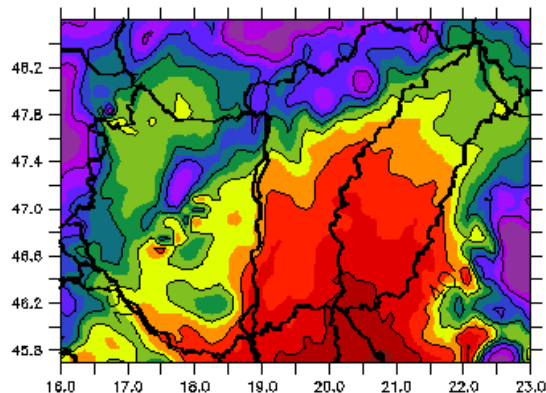


1961-1990 → 2021-2050

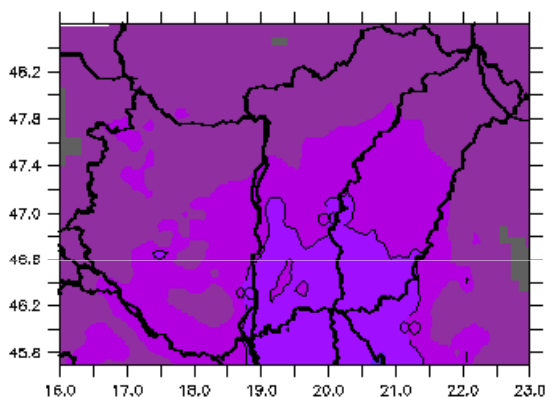
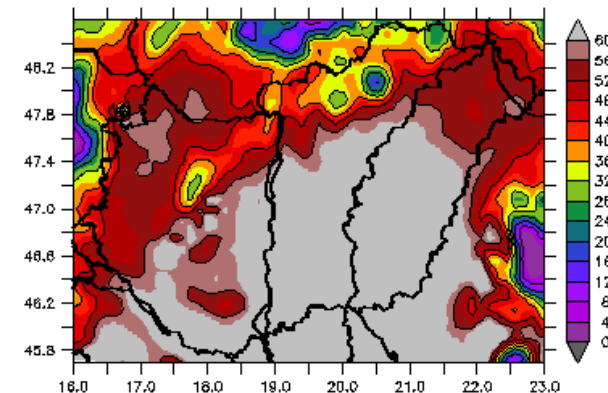
2021-2050 → 2071-2100



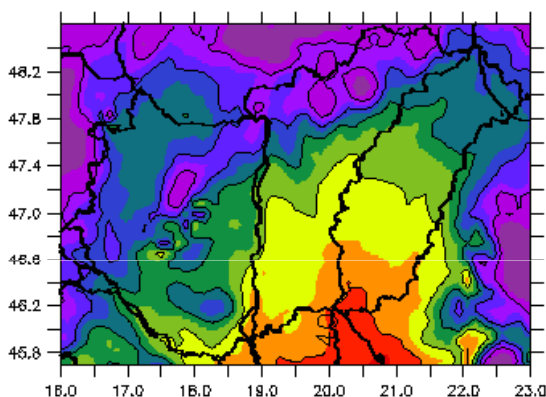
Elsófoku hósegrádió éves átlagos száma 1961–1990 (balra), 2021–2050



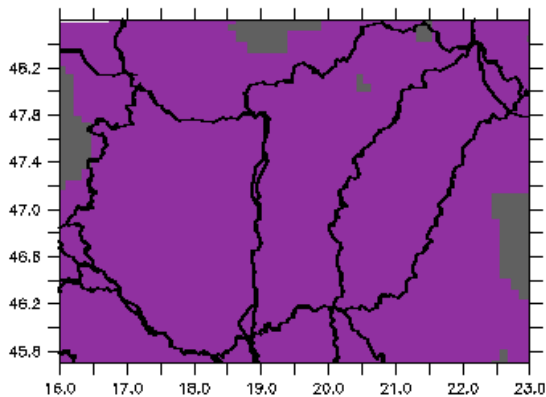
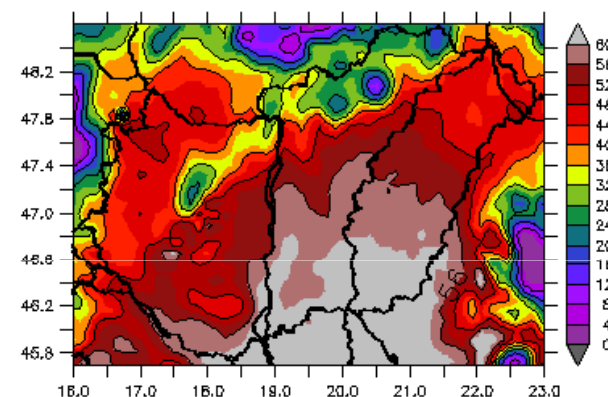
1961–1990 (balra) és 2071–2100 között



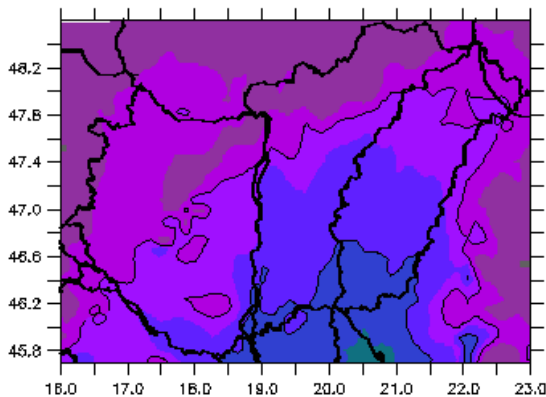
Masodfoku hósegrádió éves átlagos száma 1961–1990 (balra), 2021–2050



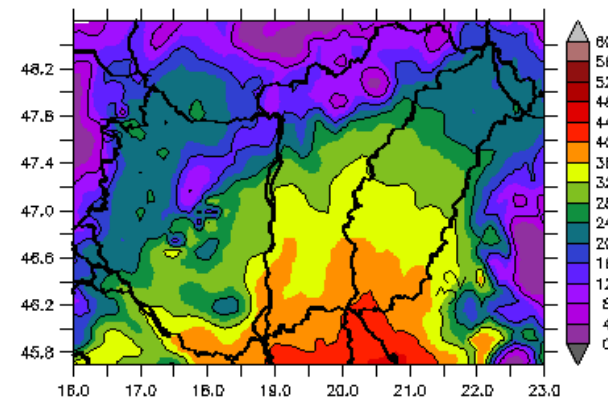
1961–1990 (balra) és 2071–2100 között

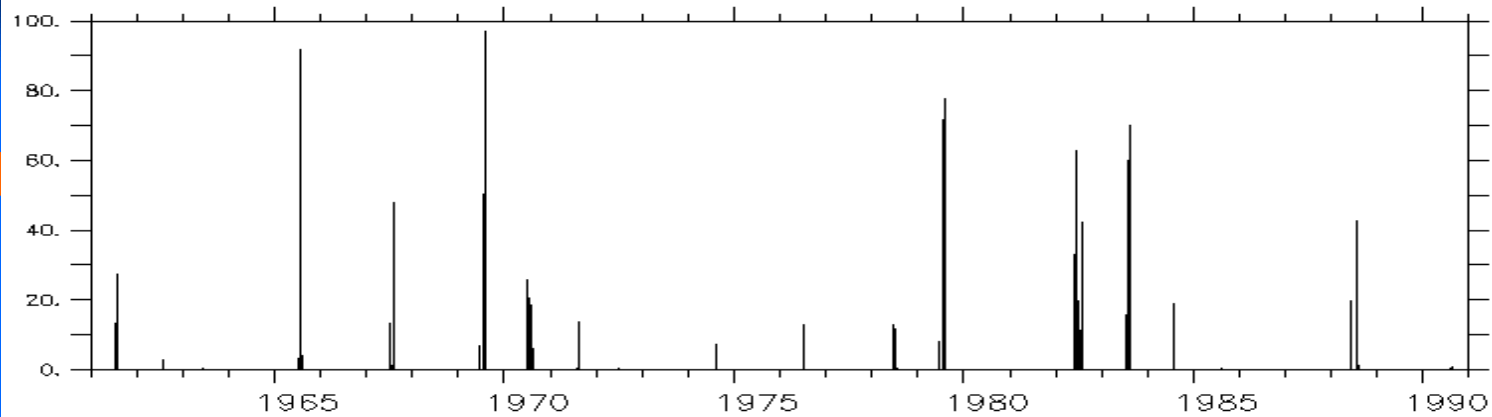


Harmadfoku hósegrádió éves átlagos száma 1961–1990 (balra), 2021–2050

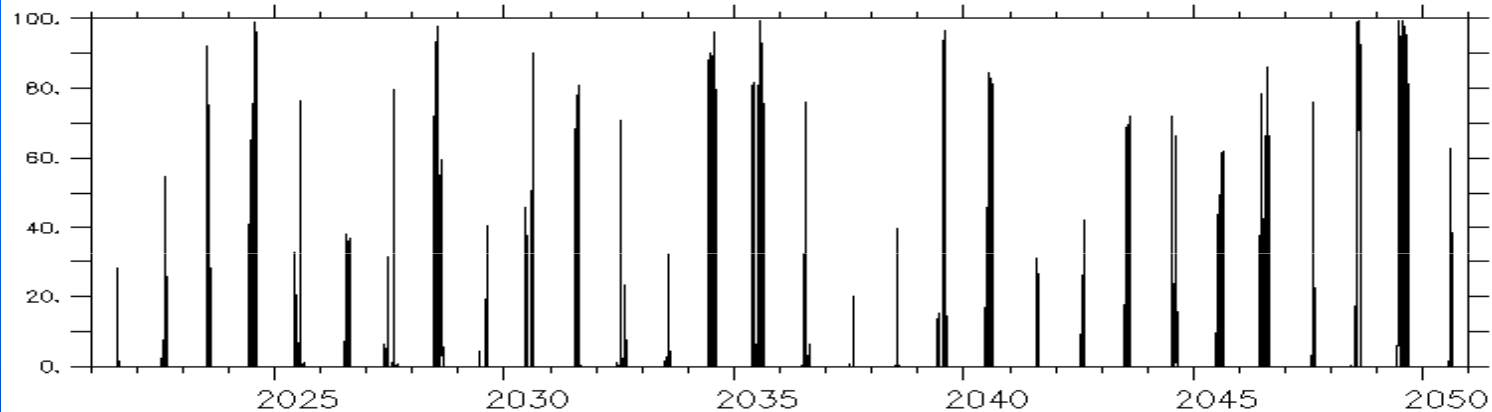


1961–1990 (balra) és 2071–2100 között

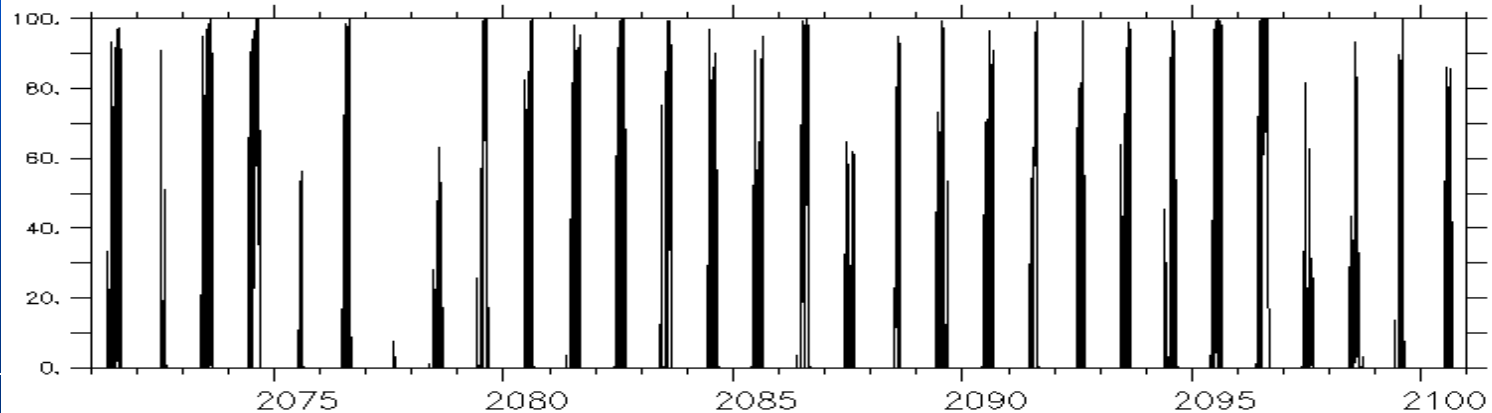




Harmadfokú hósegrádo területi és időbeli előfordulása Magyarországon (1961–1990)



Harmadfokú hósegrádo várható területi és időbeli előfordulása Magyarországon (2021–2050)



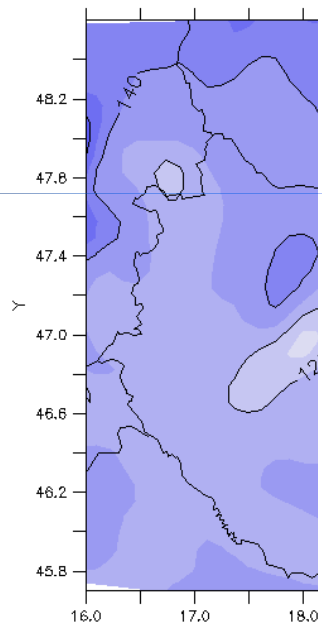
Harmadfokú hósegrádo várható területi és időbeli előfordulása Magyarországon (2071–2100)

CSAPADÉK

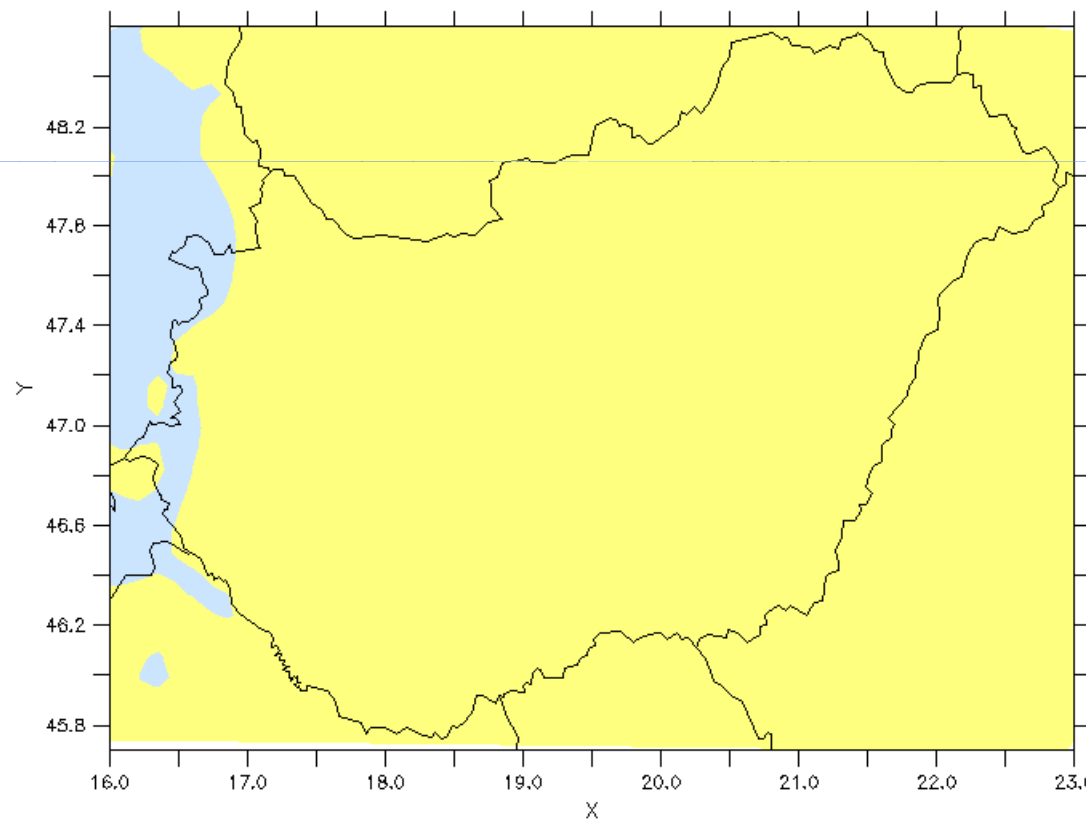


1 MM-t MEGHALADÓ CSAPADÉKOS NAPOK SZÁMA (ALADINClimate, A1B, 2021–2050 vs. 1961–1990)

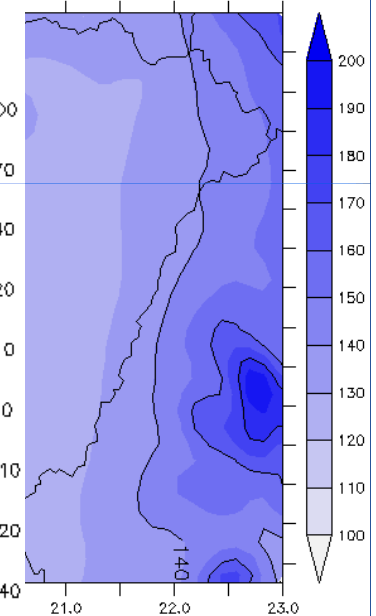
VÁLTOZÁS (%)



Number of precipitation days

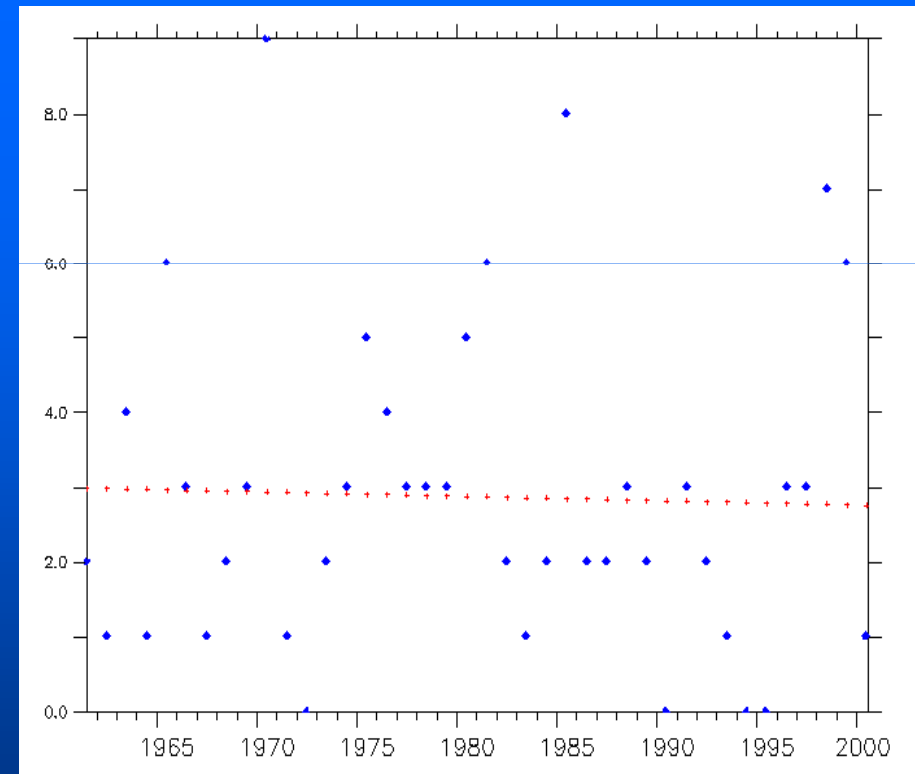
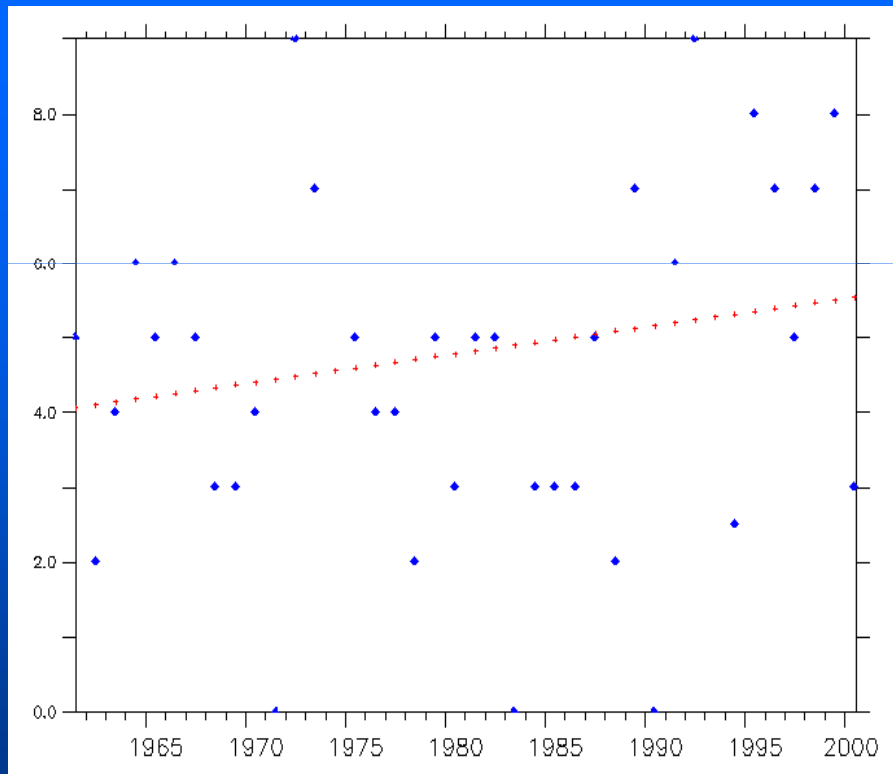


Change of number of precipitation days exceeding 1 mm (Rday=> 1 mm), ALADIN_ARPEGE (percent)



-70 -2050, ALADIN_ARPEGE (days/year)

EXTRÉM CSAPADÉKÚ NAPOK ÉVES SZÁMA (NAPI CSAPADÉKÖSSZEG $\geq 20\text{mm}$, 1961-2000, MEGFIGYELÉSEK)

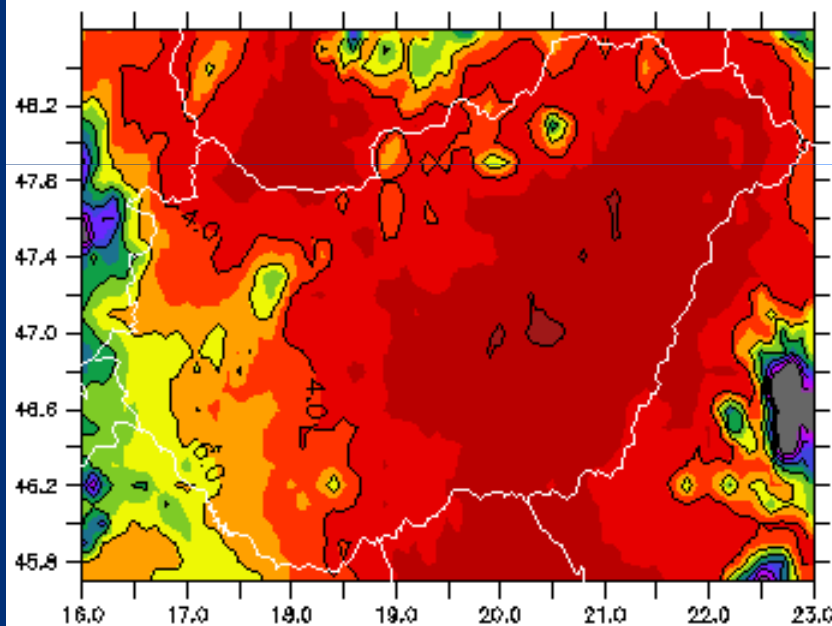


Pécs

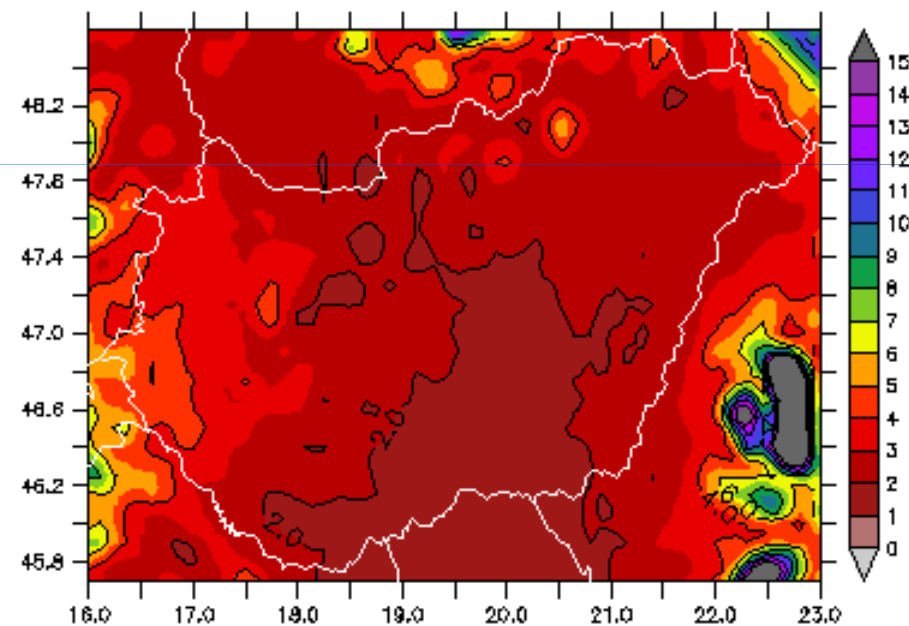
Debrecen

EXTRÉM CSAPADÉKÚ NAPOK ÉVES SZÁMA (NAPI CSAPADÉKÖSSZEG ≥ 20 mm, 1961-2000, MEGFIGYELÉSEK VS. MODELL)

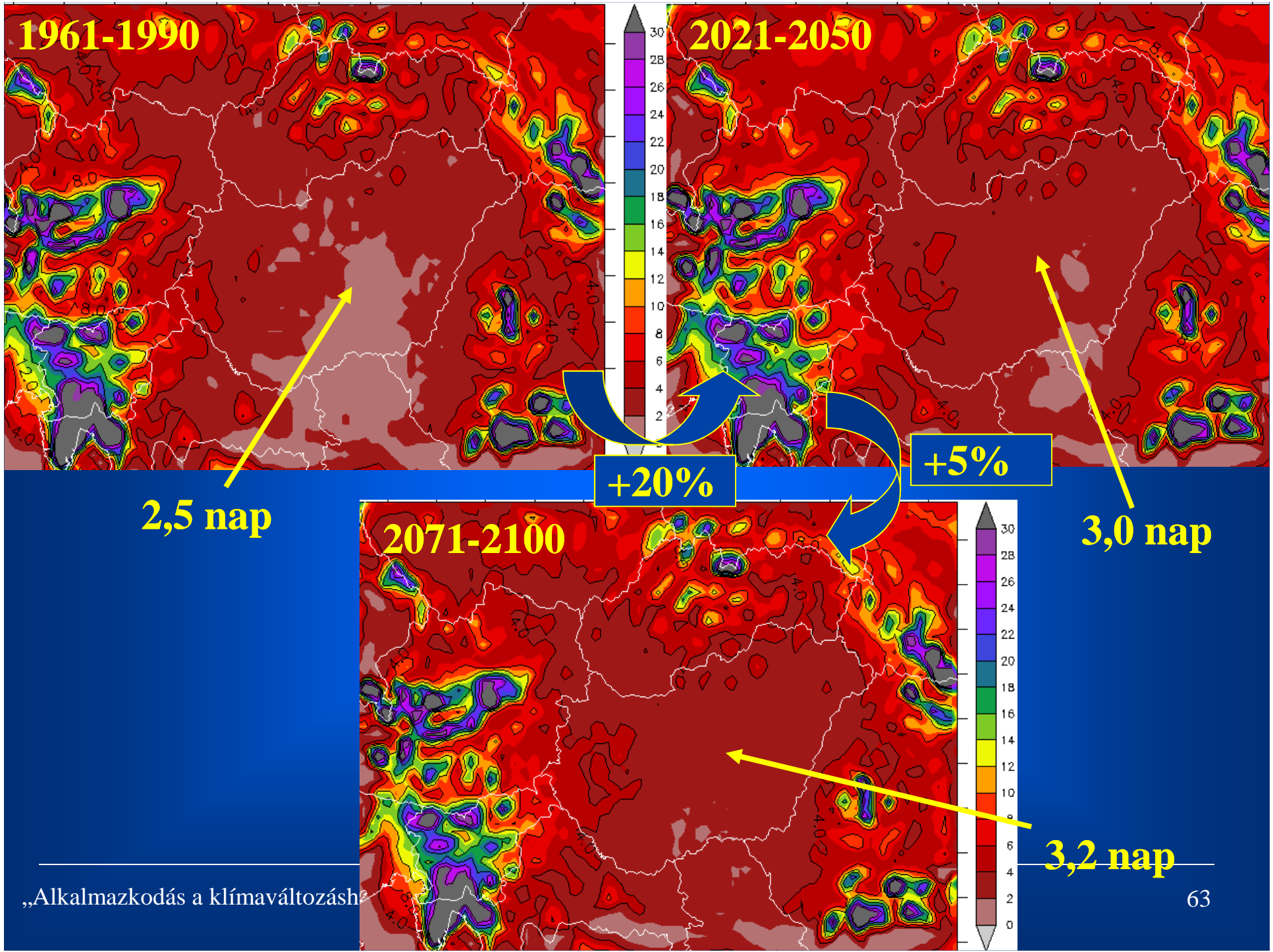
Very heavy precipitation days in a year (RR GE 20 mm)



HUGRID 1961–1990

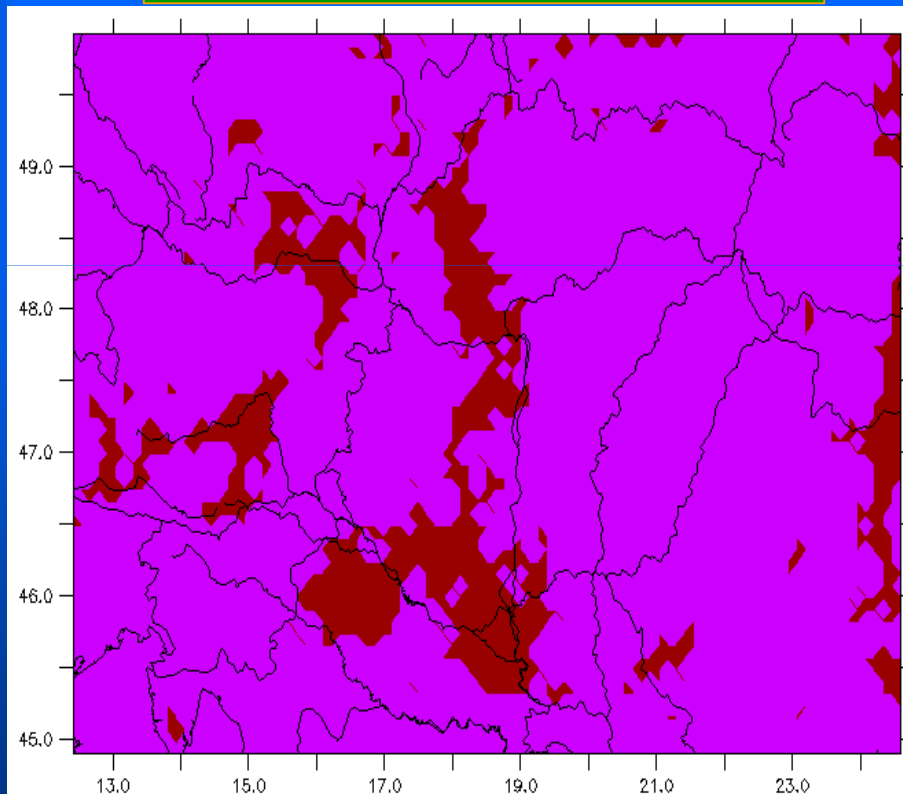


ALADIN 1961–1990



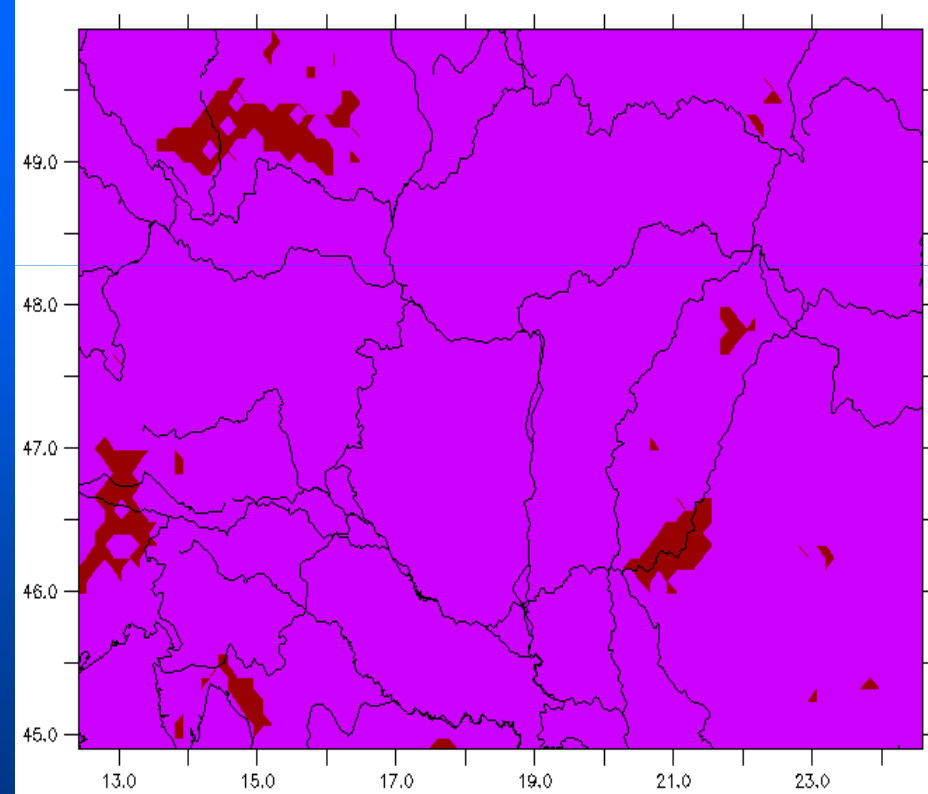
EXTRÉM CSAPADÉKÚ NAPOK ÉVES SZÁMÁNAK 95%-OS VALÓSZÍNŰSÉG MELLETTI VÁRHATÓ SZIGNIFIKÁNS VÁLTOZÁSA (LILA: NEM-SZIGNIFIKÁNS)

2,5 nap → 3 nap (+ 20%)



1961-1990 → 2021-2050

3 nap → 3,2 nap (+ 5%)



2021-2050 → 2071-2100

SZÉLSŐSÉGEK VÁRHATÓ ALAKULÁSA

- A csapadékos jelenségek száma összességében kissé csökken
- A nagycsapadékos jelenségek némi növekedése (főleg az ország nyugati részén, de NEM szignifikáns!!)
- A kiscsapadékos jelenségek némi csökkenése
- A „meleg” szélsőségek egyértelmű (szignifikáns) növekedése (főleg az ország keleti részében)
- A „hideg” szélsőségek némi csökkenése

Megjegyzés: ezek előzetes eredmények egy modell eredményei alapján (az A1B kibocsátási forgatókönyvvel)!!

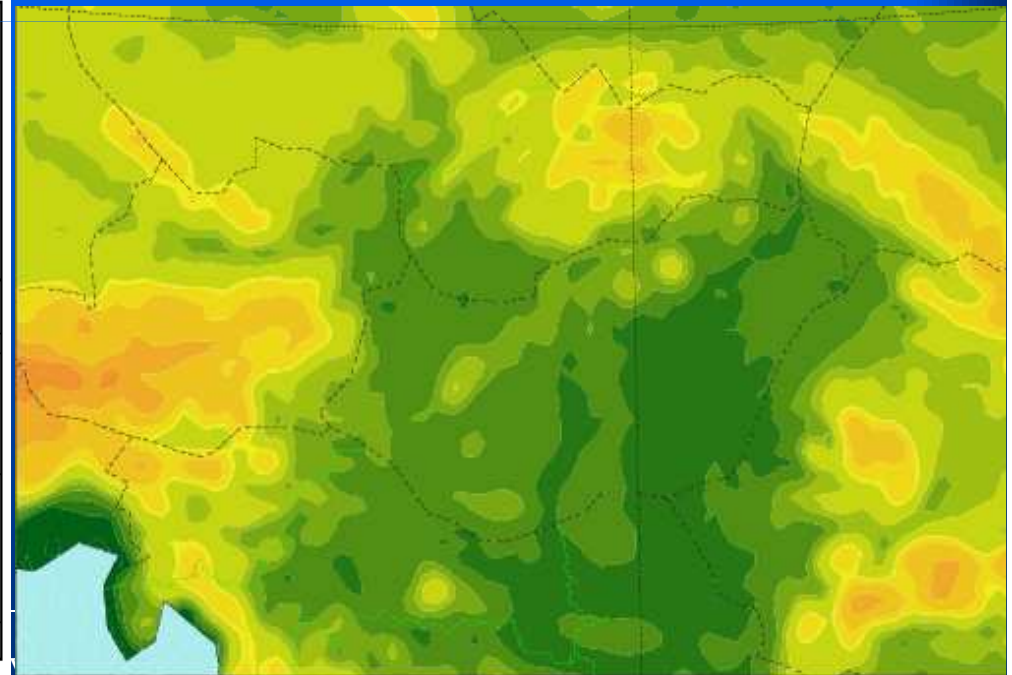
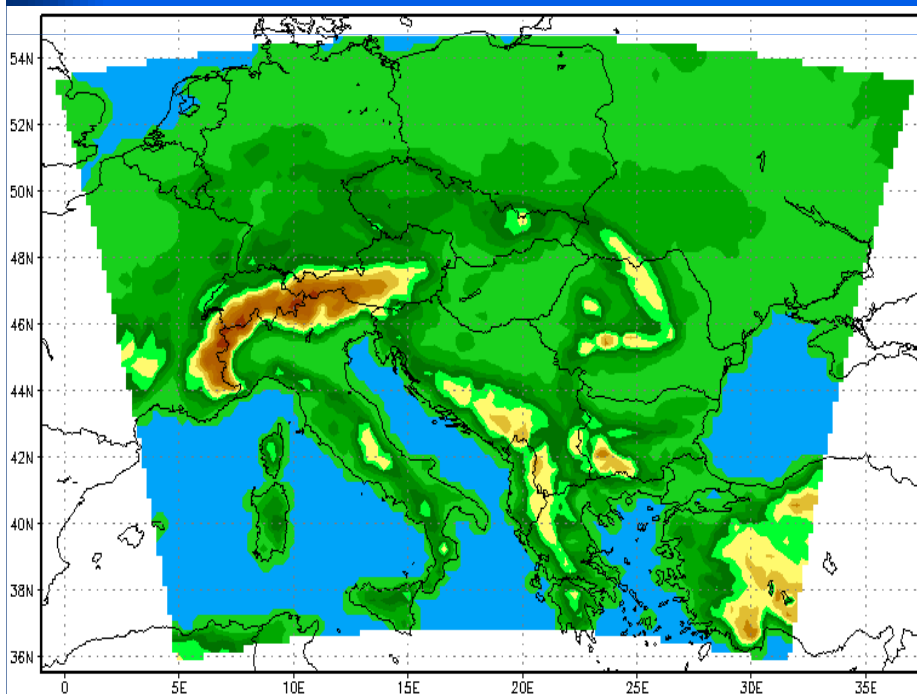
ÖSSZEFOGLALÁS, KITEKINTÉS

ÖSSZEFOGLALÁS, TANULSÁGOK

- Az éghajlat bonyolultsága miatt spekulatív módon nem jellemezhető és pláne nem jelezhető előre: az egyedül járható út a modellezés
- Az éghajlati modelleket (globális és regionális) nagy erővel fejlesztik, fejlesztjük
- Saját modellfuttatásaink állnak rendelkezésre a Kárpát-medence éghajlatának várható alakulása jellemzésére (és az eredmények használhatóak hatásvizsgálatok elvégzésére)

REGIONÁLIS KLÍMAMODELLJEINK

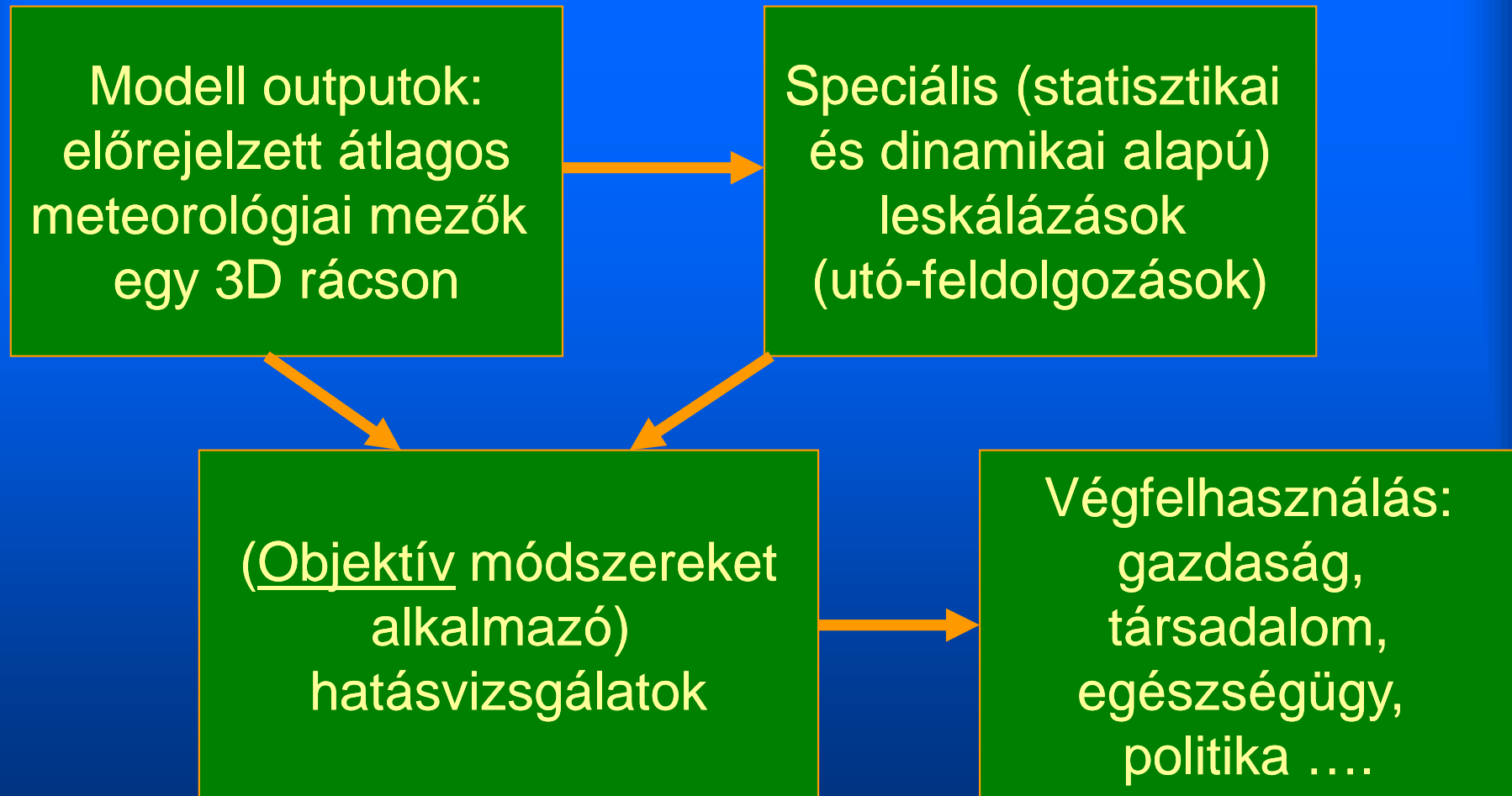
- Regionális klímamodelljeink rendelkezésre állnak a jövő éghajlatának (és az azokban rejlő bizonytalanságok) becslésére
 - REMO (A1B, 1951-2050, 25km)
 - ALADIN/Climate (A1B, 2021-2050, 2071-2100, 10km)



JELLENLEGI ISMERETEINK AZ ÉGHAJLAT KÁRPÁT-MEDENCÉRE VONATKOZÓ MEGVÁLTOZÁSÁRÓL

- Magyarországon az átlagnál nagyobb mértékű melegedés várható
- Hőmérséklet emelkedése: melegebb nyár és enyhébb tél (meglehetősen bizonyossággal)
- Csapadék éven belüli eloszlásának változása: nyári csökkenés, téli növekedés (NAGY bizonytalanság!!)
- Meleg szélsőségek (szignifikáns) növekedése várható
- Nagy csapadékos szélsőségek változása NEM szignifikáns

AZ ÉGHAJLATI MODELLEK EREDMÉNYEINEK FELHASZNÁLÁSA



TOVÁBBI INFORMÁCIÓ, KAPCSOLAT

- Országos Meteorológiai Szolgálat honlapja (www.met.hu alatt „OMSZ”, „Szolgálatunkról”, „Szervezeti felépítés” vagy „Kutatás és fejlesztés”)
- 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 meghívást!***

horanyi.a@met.hu