

# **Az ALADIN-Climate modellkísérletek eredményeinek validációja**

Illy Tamás, Sábitz Judit, Szépszó Gabriella

Országos Meteorológiai Szolgálat



Budapest, 2015. augusztus

# Tartalom

Bevezetés.....	3
Modellkísérletek.....	3
Validáció .....	5
Módszertan.....	5
Megfigyelési adatok.....	5
Korábbi eredmények összefoglalása.....	6
Eredmények.....	7
Hőmérséklet .....	7
Csapadék.....	11
Tengerszinti légnyomás .....	15
Összefoglalás.....	17
Irodalom .....	18

## Bevezetés

Az éghajlatváltozás hatásaihoz való hazai alkalmazkodási stratégiák és az ezzel kapcsolatos klímapolitikai döntéshozatal támogatására 2013-ban létrehozták a Nemzeti Alkalmazkodási Térinformatikai Rendszert (NATÉR). A NATÉR legfontosabb rétegét a meteorológiai adatok jelentik: a múltbeli mérések és a jövőre vonatkozó modellbecslések. Ezekre az éghajlati információkra épülnek az objektív hatásvizsgálatok, melyek eredményei kijelölik az adaptáció legfontosabb területeit és irányait.

A NATÉR első változatában a jövőbeli éghajlatváltozás hazai jellemzőinek leírásához az ALADIN 4.5 és a RegCM 3.1 regionális klímamodellek szimulációs eredményei szolgálnak alapul. A modellkísérletek 10 km-es rácsfelbontással készültek egy Magyarországot lefedő tartományra, az emberi tevékenység leírására a közepes SRES (Special Report on Emissions Scenarios; Nakicenovic et al., 2000) A1B kibocsátási forgatókönyv alkalmazásával. „*A sugárzási kényszer változásán alapuló új éghajlati scenáriók a Kárpát-medence térségére*” című RCMTÉR projekt keretében a rendelkezésre álló éghajlati scenáriók fejlesztését végezzük el. A két modellel új modellszimulációkat hajtunk végre a legfrissebb modellváltozatok segítségével, egy nagyobb integrálási tartomány és új határfeltételek alkalmazásával, és az IPCC legújabb RCP (Representative Concentration Pathways; Moss et al., 2010) kibocsátási forgatókönyveinek használatával.

A projekt keretében több lépésben hajtjuk végre a szimulációkat: az ALADIN-Climate modellel először érzékenységvizsgálatot készítettünk az integrálási tartomány optimális méretének meghatározásához, majd az új modellváltozat és az integrálási terület teszteléshez validációs vizsgálatokat végeztünk egy 20-éves múltbeli időszakra, s végül ezt követik később a projekciós kísérletek. A jelen beszámolóban a validációs vizsgálat eredményeit mutatjuk be.

## Modellkísérletek

A klímamodellezés egyik alapvető célja, hogy számszerű becsléseket adjunk a jövő éghajlatának várható alakulására. Ahhoz, hogy ezeket a becsléseket megfelelő objektivitással tudjuk értelmezni, az alkalmazott numerikus modellt validációval kell tesztelnünk. A validációs eljárás során a modellt egy múltbeli időszakra futtatjuk, majd megvizsgáljuk, hogy a modelleredmények milyen pontossággal reprodukálják ezen referencia időszak éghajlati jellemzőit.

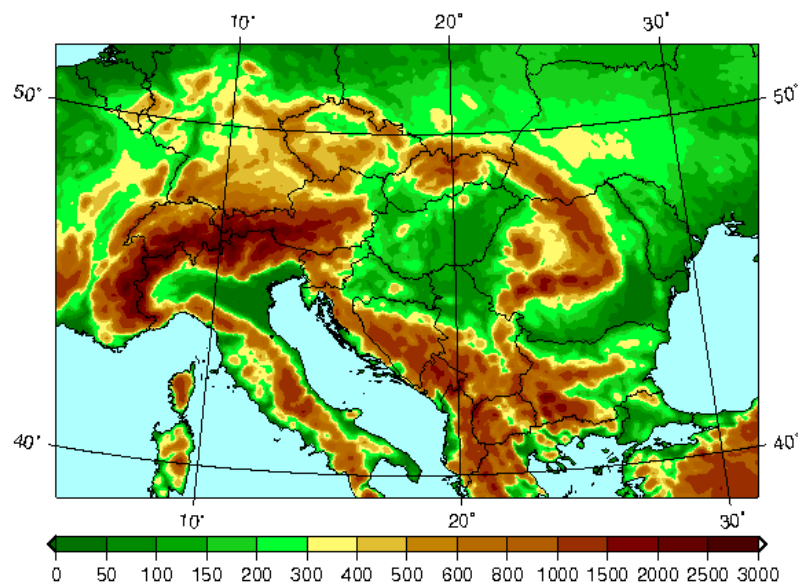
Az ALADIN-Climate korlátos tartományú modell, ezért az integrálási tartományon kívül zajló folyamatok hatását a tartomány peremén megadott oldalsó határfeltételek formájában veszi figyelembe. A múltra vonatkozóan kétféle szimulációt hajtottunk végre a modell 5.2-es verziójával (**1. táblázat**), 10 km horizontális felbontással, egy Közép-Európát magába foglaló integrálási tartományon (**1. ábra**), melynek optimális méretét egy előzetes érzékenységi vizsgálat (Szépszó et al., 2015) során állapítottuk meg. A két kísérletben különböző peremfeltételeket alkalmaztunk:

1. Az első kísérlet során az ECMWF (European Center of Medium Range Weather Forecast) ERA-Interim re-analízisei (Dee et al., 2011) szolgáltatták a határfeltételeket a modell számára. A re-analízisek a hidro-termodinamikai egyenletrendszer prognosztici-

kai változóit tartalmazó (globális vagy regionális) meteorológiai mezők, melyeket mérési információkból és rövidtávú előrejelzésekből adatasszimilációs módszerek segítségével állítanak elő, s a 3-dimenziós légkör múltbeli állapotának legpontosabb reprezentációját adják. Az ERA-Interim adatbázis horizontális rácsfelbontása hozzávetőlegesen 80 km, 60 vertikális szintet tartalmaz, és az 1979–2015 időszakot fedi le 6-órás időbeli sűrűséggel.

2. A második kísérletben az ALADIN határfeltételeit egy korábban futtatott, az ARPEGE-Climat/OPA kapcsolt légkör–óceán általános cirkulációs modell mezőinek dinamikus leskálázásával előállított ALADIN-Climate szimuláció eredményei biztosították. Ebben az esetben tehát egy szintén korlátos tartományú éghajlati szimulációt skáláztunk le finomabb felbontásra. A határfeltételek 50 km-es felbontású térbeli rácson, 31 vertikális szinten, 6-órás időbeli sűrűséggel álltak rendelkezésre.

Az eltérő peremfeltételeknek elvi jelentősége van. Mivel a re-analízisek készítése során mérési információkat is felhasználnak, az ezekből előállított határfeltételek (többnyire) csekély hibával közelítik a valóságot. Emiatt a re-analízis határfeltételekkel végrehajtott szimuláció elsősorban a regionális modell hibáiról illetve erősségeiről ad információt, ami elengedhetetlen a regionális modell fejlesztéséhez. Ezzel szemben a második típusú szimuláció a regionális modell és az azt meghajtó modell együttes viselkedését jellemzi. A re-analízis határfeltételekkel előállított eredmények ezen túlmenően leírják egy adott időszakban az egyes évek jellemzőit. A globális klímamodell-eredmények leskálázásán alapuló szimuláció azonban erre nem képes, az eredmények az adott térség éghajlati viszonyait reprezentálják (ugyanis a re-analízisekkel ellentétben a globális klímamodell csak a légköri gázok koncentrációján keresztül van kapcsolatban a valósággal). A jövőre vonatkozóan csak az utóbbi típusú éghajlati szimulációt lehetséges készíteni, ezért a második kísérlet validációja ugyancsak fontos.



1. ábra: A 10 km-es felbontású ALADIN modellkísérletek integrálási tartománya és domborzata.

**1. táblázat:** Az ALADIN-Climate modellkísérletek jellemzői.

Kísérlet	AL_EAI	ALADIN_EUR44
Határfeltétel	ERA-Interim re-analízis	ALADIN-Climate (EUR44) (ARPEGE-Climate leskálázás)
Horizontális felbontás	10 km	10 km
Határfeltételek felbontása	80 km	50 km

## Validáció

### Módszertan

A validáció során kiszámítjuk mekkora az eltérés az egyes meteorológiai változókra a modell eredményekből és a mérésekből kiszámított időbeli átlagértékek között, mennyire van összhangban a megfigyelésekkel a szimulációs eredmények térbeli és időbeli eloszlása, továbbá mennyire adja vissza a modell a meteorológiai változók változékonyságát. A jelen vizsgálatban három meteorológiai változóra, a 2-méteres hőmérsékletre, a csapadékra és a tengerszinti légnyomásra koncentráltunk. Az ALADIN-Climate eredményeit az 1981–2000 időszakra vizsgáltuk havi, évszakos és éves szinten a teljes integrálási tartományon és külön Magyarország területére. Az alábbiakban röviden felsoroljuk a validációs eljárás során végzett számítások legfontosabb módszertani jellemzőit:

- *Szisztematikus hiba:* minden rácspontban kiszámítottuk a modelleredmények és a mérési adatok átlagos különbségét. Az összevetést a referencia adatbázis rácshálózatán végeztük el.
- *Átlagos szisztematikus hiba:* az adott meteorológiai változó modelleredményekből számolt magyarországi átlagának és a referencia magyarországi átlagának képeztük a különbségét.
- *Szignifikancia:* a modell és a referencia közötti eltérés szignifikanciáját hipotézisvizsgálattal ellenőriztük. Kétoldali Welch-próbát hajtottunk végre 0,05 szignifikancia-szinttel rácspontonként, vagyis a próbastatisztikát és a hozzá tartozó szabadsági fokot illetve kritikus értéket minden egyes rácspontban kiszámoltuk. Azon rácspontokban, ahol a próbastatisztika meghaladta az adott kritikus értéket, az eltérést szignifikánsnak vettük.

### Megfigyelési adatok

A validációs vizsgálatok során két különböző megfigyelési adatbázist használtunk referenciaként, hogy a modell hibái mellett a megfigyelési adatok bizonytalanságát is jellemezzük:

1. A teljes integrálási tartományra vonatkozóan az E-OBS v10.0 (Haylock et al., 2008; van den Besselaar et al., 2011) 0,25-fokos (kb. 25 km-es) térbeli felbontású napi adatsorait használtuk referenciaként. Az adatbázis homogenizálatlan, többnyire publikus adatok felhasználásával készült. (Hazánkra vonatkozóan ez csak néhány állomást jelent,

ezért a tartomány magyarországi részén az E-OBS különösen nagy eltéréseket mutathat a hazai adatoktól.)

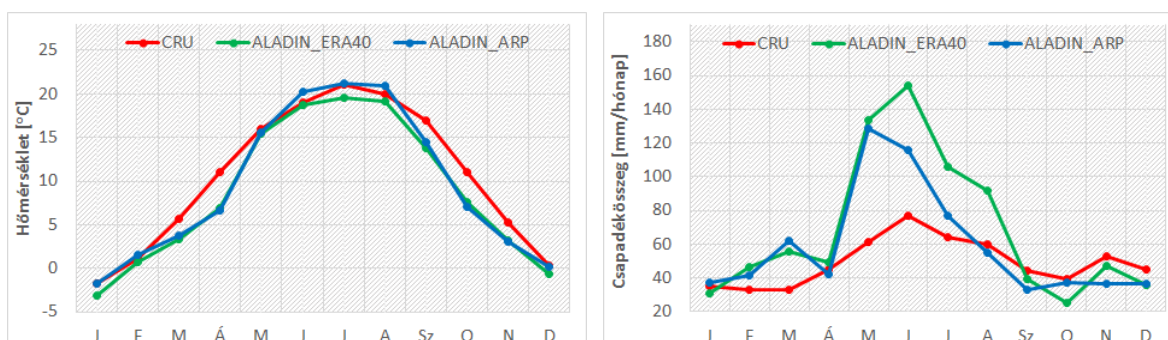
- Magyarország területére külön validációt végeztünk a CARPATCLIM megfigyelési adatok (Lakatos et al., 2013) felhasználásával. A napi adatokat tartalmazó adatbázist a hazai és környező országok állomási mérési adatsoraiból a speciálisan meteorológiai célokra kifejlesztett a MASH (Multiple Analysis of Series for Homogenization; Szentimrey, 2008) homogenizációs és MISH interpolációs eljárás (Meteorological Interpolation based on Surface Homogenized Data Basis; Szentimrey és Bihari, 2007) alkalmazásával állították elő egy 0,1-fokos (kb. 10 km-es) felbontású rácson.

A megfigyelési információkat Magyarország területén közvetlenül is összevetettük egymással.

### Korábbi eredmények összefoglalása

Annak érdekében, hogy képet kapjunk arról, hogy az új modellszimulációk eredményei mennyiben térnek el a korábbiaktól, az alábbiakban röviden áttekintjük a NATéR első változatának alapjául szolgáló ALADIN-Climate modellkísérletek validációs eredményeit. Az ALADIN-Climate 4.5 szimulációihoz a kezdeti- és peremfeltételeket egyrészt az ECMWF ERA-40 re-analízis adatbázisa (Uppala et al., 2005), másrészt az ARPEGE-Climat légköri általános cirkulációs modell biztosították. Az összehasonlítás (Csima és Horányi, 2008) alapjául a 18 km-es felbontású CRU megfigyelési adatbázis (Mitchell et al., 2004) szolgált, a választott referencia időszak pedig az 1961–1990 éghajlati normálidőszak volt.

Az ALADIN modell éves és évszakos szinten 1-4 °C-kal alulbecsülte az átlaghőmérsékletet, különösen az átmeneti évszakokban, vagyis a modell a mérésekhez képest tavasszal lassabb melegedést, ősszel pedig gyorsabb lehűlést mutatott (**2. ábra** bal panelje). Az éves és évszakos hibák szinte az ország teljes területén statisztikailag szignifikánsak voltak, s a legnagyobb hőmérsékleti hibák az északi tájakon fordultak elő. A csapadékot tekintve (**2. ábra** jobb panelje) a szezonális menetet, vagyis a nyári félévi maximumot és a téli hónapok kisebb csapadékösszegeit jól jellemezte a modell. Ugyanakkor az év nagy részében mindkét ALADIN modellszimuláció felülbecsülte a csapadékmennyiséget, s ez különösen a nyári időszakban volt jelentős (júniusban meghaladta a 70 mm-t).



**2. ábra:** A hőmérséklet (bal) és a csapadékösszeg (jobb) magyarországi havi átlagértékei (°C) az 1961–1990 időszakban a mérések (CRU), valamint az ERA-40 és ARPEGE-Climat határfeltételekkel készült regionális modellszimulációk eredményei (ALADIN\_ERA40, ALADIN\_ARP) alapján.

## Eredmények

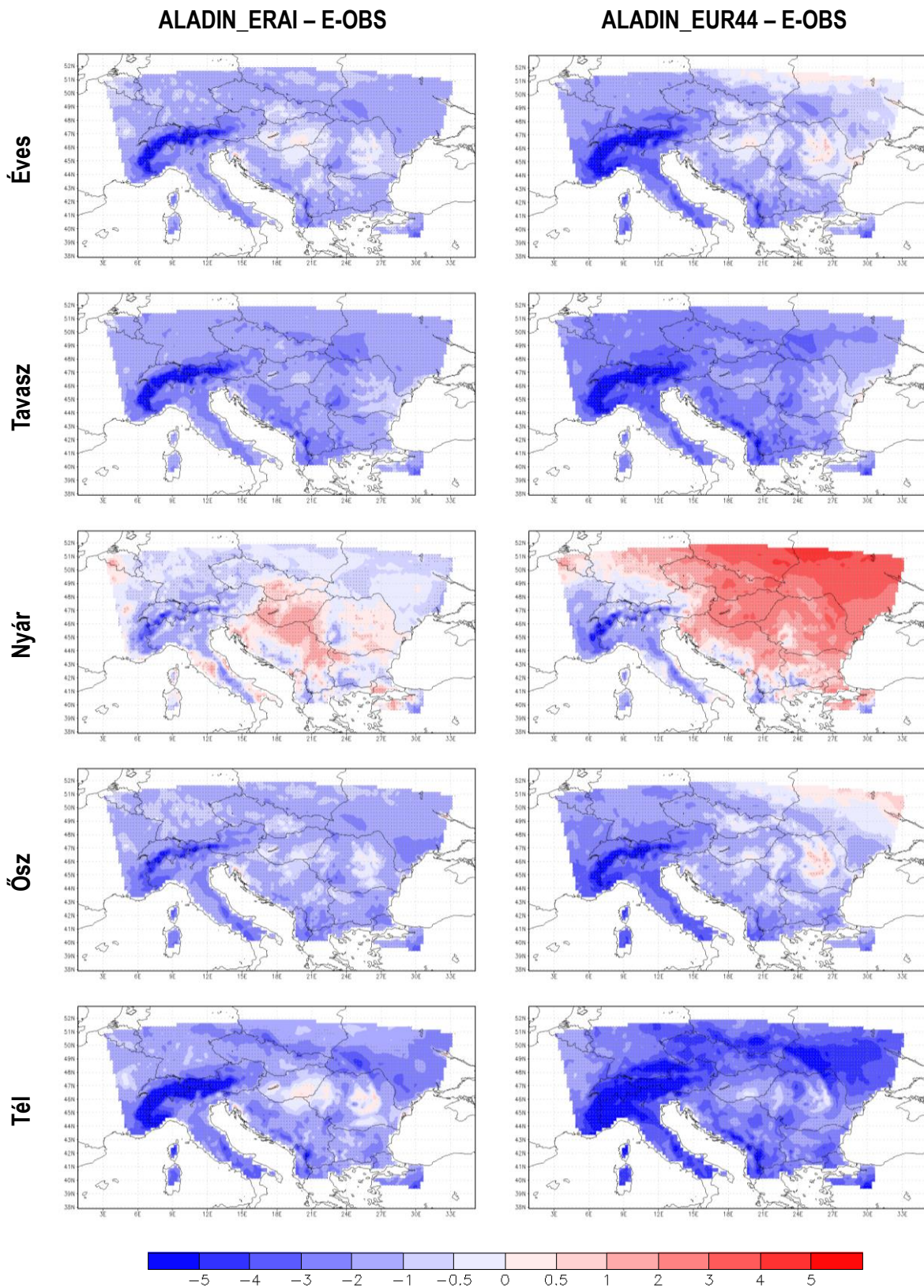
### Hőmérséklet

Az új modellkísérletek az éves átlaghőmérsékletet a teljes integrálási tartományon alulbecslik (**3. ábra**). Az alábecslés a nyár kivételével évszakosan is jellemző, különösen tavasszal és télen, valamint az Alpok területén. Nyáron a tartomány egyes részein akár 3-5 °C-os pozitív eltérés is megfigyelhető a globális klímamodell eredményeinek kétszeres leskálázásával elvégzett szimuláció és a mérési adatok között. A felülbecslés különösen az Alpoktól keletre eső területeken jelentős, így hazánkban is. Az éves és évszakos eltérések az integrálási tartomány szinte egészén szignifikánsak.

A CARPATCLIM adatbázissal való összehasonlításkor hazánk területére ugyanezek a tendenciák adódtak, az átlagos magyarországi hőmérsékleti értékek legfeljebb 1 tizedesjegyben térnek el (**2. táblázat**), így ezeket az eredményeket térképes formában külön nem mutatjuk be. Ugyanakkor mivel a CARPATCLIM átlaghőmérsékleti értékeit a mért napi minimum- és maximumhőmérsékletek átlagaként határozták meg, megvizsgáltuk, hogy ezek milyen egyezést mutatnak az E-OBS értékeivel. A két megfigyelési adatbázis minimumhőmérsékleteinek eltérését a **4. ábra** térképes formában mutatja be. A különbség itt már valamelyest nagyobb, mint az átlaghőmérséklet esetén. A referencia adatbázisok Magyarországon a legnagyobb mértékben télen mutatnak egyezést. Tavasztól őszig a Tisza vonalától nyugatra, egy DNy-ÉK sávban van számottevő, és többnyire szignifikáns eltérés, ami az ország északi területein elérheti a 3 °C-ot is. Éves átlagban a CARPATCLIM az E-OBS-nál 0,3°C-kal alacsonyabb minimum- és 0,2°C-kal magasabb maximumhőmérsékleteket tartalmaz, ami a középhőmérséklet számításánál kiegyenlíti egymást, ezért nem tapasztaltunk a középhőmérséklet esetében jelentős eltéréseket a két referencia között.

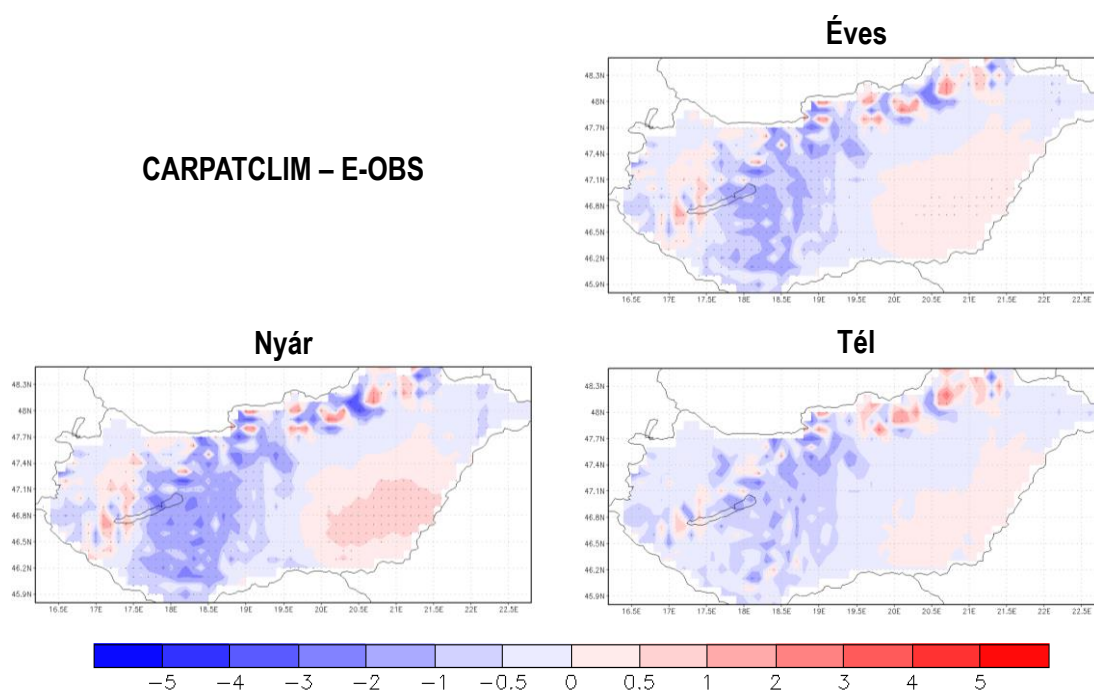
**2. táblázat:** Az ALADIN\_ERAI és az ALADIN\_EUR44 modellszimulációk eredményei alapján számított éves és évszakos átlaghőmérséklet átlagos magyarországi eltérése (°C) az E-OBS és a CARPATCLIM megfigyelési adatbázisoktól az 1981–2000 időszakban.

Kísérlet	Referencia	Éves	Tavasz	Nyár	Ősz	Tél
AL_ERAI	E-OBS	-0,6	-1,5	0,8	-1,0	-0,7
	CARPATCLIM	-0,6	-1,5	0,9	-1,2	-0,7
AL_EUR44	E-OBS	-0,6	-1,9	2,5	-1,0	-1,9
	CARPATCLIM	-0,7	-2,0	2,5	-1,2	-1,9



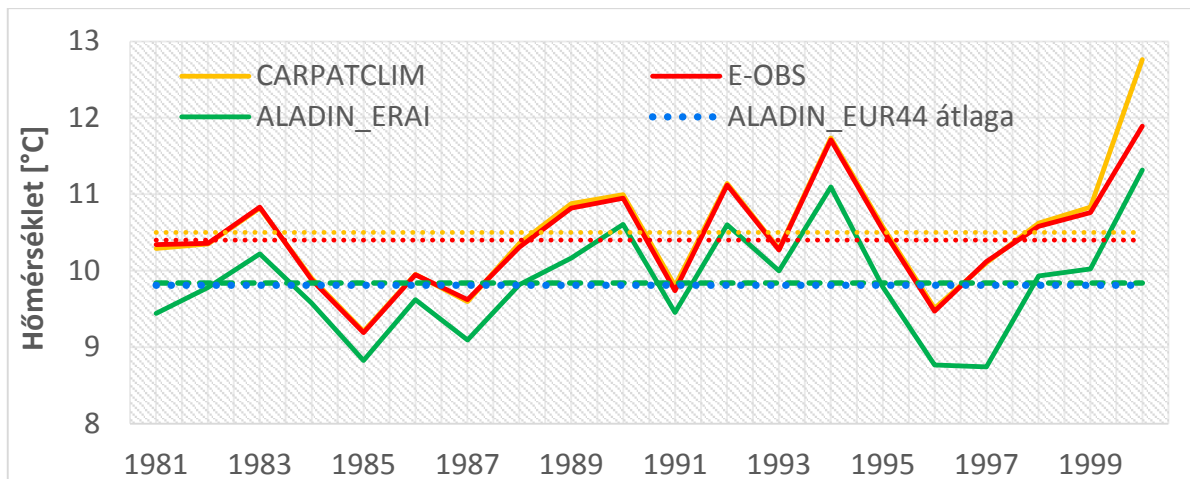
**3. ábra:** Az ALADIN\_ERA1 és az ALADIN\_EUR44 modellszimulációk eredményei alapján számított éves és évszakos átlaghőmérséklet átlagos eltérése (°C) az E-OBS megfigyelési adatbázistól az 1981–2000 időszakban.



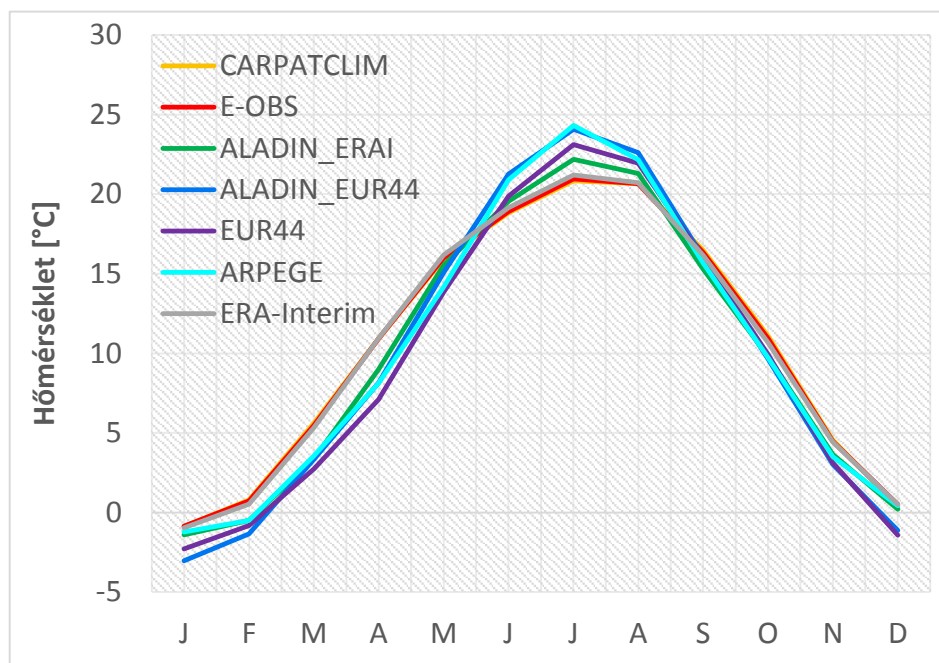


**4. ábra:** A CARPATCLIM és az E-OBS megfigyelési adatbázisok átlagos éves, nyári és téli eltérései (°C) a napi minimumhőmérséklet esetén az 1981–2000 időszakban. A szignifikáns eltérések helyét pontozással jelöltük.

Ha a 20-éves validációs időszak egyes éveit külön vizsgáljuk, akkor az ERA-Interim adatokkal meghajtott futtatás jól visszaadja a Magyarországon megfigyelt trendet, de a teljes időszakban szisztematikusan alulbecsli az éves átlaghőmérséklet értékeit (**5. ábra**). Hasonló átlagos hibát mutatnak a globális modelleredmények kétszeres leskalázásával készített szimuláció eredményei is. (Az ALADIN\_EUR44 kísérletből csupán a húsz év átlagát tüntettük fel ugyanis az egyes múltbeli évek sajátosságait egy globális klímamodell eredményeinek leskalázása nem képes visszaadni.) Nézzük meg, hogy a szisztematikus alábecsléshez milyen éves eloszlás társul! Ehhez a két 10 km-es felbontású kísérlet eredményei és a referencia adatbázisok mellett megvizsgáltuk a közvetlen határfeltételeket adó ERA-Interim re-analíziseket és az 50 km-es felbontású ALADIN modellszimuláció (EUR44) eredményeit, valamint az EUR44 futtatás számára peremfeltételt nyújtó ARPEGE globális modell eredményeit is (**6. ábra**). A hőmérséklet hazánkban jellemző átlagos éves menetét mindegyik adatsor jól visszaadja az 1981–2000 időszakra: a legalacsonyabb értéket januárra, míg a maximumot júliusra mutatják. Valamennyi szimuláció esetén elmondható, hogy a modellek szeptembertől májusig 1-2 °C-kal alulbecslik a hőmérséklet havi átlagértékeit, majd – ahogyan azt már a térképeken is láthattuk – júniustól augusztusig felülbecslés jellemző, ami elérheti akár a 4°C-ot is. A referencia adatbázisok hőmérsékleti menetét legjobban a re-analízis meghajtott ALADIN futtatás követi. A legnagyobb eltéréseket az ARPEGE mutatja, s ennek köszönhetően az általa meghajtott EUR44 szimuláció is átlagosan 2-3 °C-os alul- illetve felülbecslést mutat, ugyanakkor ezeken az eredményeken a 10-es felbontású (ALADIN\_EUR44) leskalázás javít. A korábbi vizsgálatok során az ALADIN egész évben a magyarországi megfigyeléseknél alacsonyabb átlaghőmérsékletet adott, a jelenlegi eredmények esetében átlagosan kismértékű javulás tapasztalható.



**5. ábra:** Az éves átlaghőmérséklet magyarországi értékei (°C) az 1981–2000 időszakban a mérések (CARPATCLIM, E-OBS) és az ALADIN\_ERAI modellszimuláció eredményei alapján. Az egyenesek a teljes időszakra vonatkozó átlagértékeket jelölik a mérések, valamint az ALADIN\_ERAI és ALADIN\_EUR44 modellszimulációk eredményei alapján.



**6. ábra:** A hőmérséklet magyarországi havi átlagértékei (°C) az 1981–2000 időszakban a mérések (CARPATCLIM, E-OBS), a 10 km-es felbontású regionális modelleredmények (ALADIN\_ERAI, ALADIN\_EUR44) és a modellsimulációk határfeltételei (EUR44, ARPEGE, ERA-Interim) alapján.

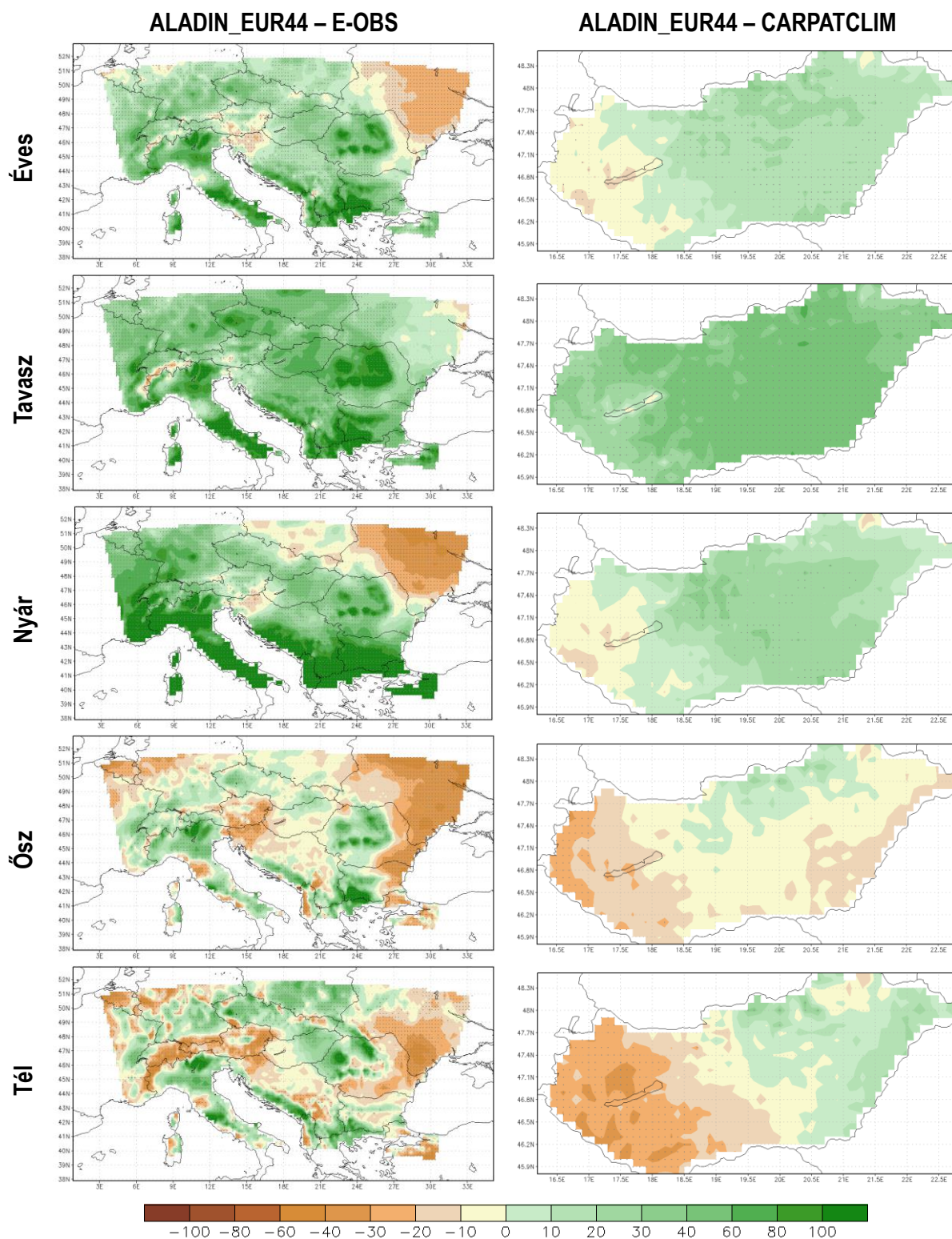
## Csapadék

A teljes integrálási tartományt vizsgálva a modellkísérletekre az éves csapadékmennyiség 22-36 %-os felülbecslése jellemző. Az eltérések térbeli struktúrája hasonló a két eltérő határfeltételű kísérletben, a hiba mértéke azonban az EUR44 határfeltételek alkalmazásával kisebb (**3. táblázat**), ami arra utal, hogy a határfeltételek és a leskálázás hibái bizonyos mértékig kompenzálják egymást. Az éves átlagos eltérések az integrálási tartomány szinte egészén szignifikánsak. A magas domborzattal tagolt területeken (pl. Alpok, Kárpátok) a felülbecslés fokozottabban jelentkezik, és helyenként a 80-100 %-os értéket is elérheti. Kiterjedt alulbecslés csupán a Fekete-tengertől északra fekvő területekre, illetve Magyarország délnyugati határvonala és az Adriai-tenger közötti régióra jellemző (**7. ábra** bal panelje). Hazánk területére a validációt a CARPATCLIM finomabb felbontású csapadékadatával is elvégeztük. A hőmérséklettel ellentétben a csapadékösszegre vonatkozó eredményeknél jelentős eltéréshez vezetett a különböző referencia adatbázisok használata, ezért mindkét vizsgálati eredményt térképes formában is bemutatjuk. A CARPATCLIM adatokkal végzett validáció megerősíti, hogy a modell éves viszonylatban az ország nagyobb részén túl sok csapadékot ad, de ebben az esetben alulbecslés is megjelenik az ország csapadékosabb, nyugati része felett (**7. ábra** jobb panelje).

Még nagyobb szerepe van a referencia adatbázis megválasztásnak, ha a csapadékösszeg validációs eredményeit évszakos szinten vizsgáljuk. A megfigyelésektől vett eltérés térbeli mintázata az egyes évszakokban hasonló ugyan, de azok területi átlagában számottevő a különbség (**3. táblázat**). A felülbecslés maximuma mindkét referencia szerint a tavaszi évszakra esik, mértéke az E-OBS-ot használva 55-78 %, míg referenciának a CARPATCLIM adatbázist tekintve kisebb, 39-58 %. A nyári csapadék-felülbecslés ennél enyhébb, ráadásul a modelleredmények csak az E-OBS-szal végzett validációban mutatnak szignifikáns eltérést a mérésektől. Az őszi és téli modellhibák előjelükben és nagyságukban is változatos képet mutatnak attól függően, hogy melyik határfeltételre, illetve melyik referencia adatbázisra vonatkozó validációt tekintjük. Példaként kiemelhetjük az EUR44 határfeltétellel készült kísérlet téli csapadékát. A hiba-mezőben mindkét esetben egy egyértelmű nyugat–keleti gradienst figyelhetünk meg, de az E-OBS szerint a keleti felülbecslés a jelentősebb, így országos átlagban is ez dominál (9,1 %; **3. táblázat**), míg a CARPATCLIM alapján a nyugati alulbecslés a szignifikáns, ami az országos átlagos hibát negatív irányba tolja (-9,1 %).

**3. táblázat:** Az ALADIN\_ERAI és az ALADIN\_EUR44 modellszimulációk eredményei alapján számított éves és évszakos csapadékösszeg átlagos magyarországi eltérése (%) az E-OBS és a CARPATCLIM megfigyelési adatbázisoktól az 1981–2000 időszakban.

Kísérlet	Referencia	Éves	Tavaszi	Nyár	Ősz	Tél
AL_ERAI	E-OBS	36	78	43	1,8	20
	CARPATCLIM	24	58	27	-2,3	0,2
AL_EUR44	E-OBS	22	55	26	-4,5	9,1
	CARPATCLIM	9,0	39	12	-8,7	-9,1



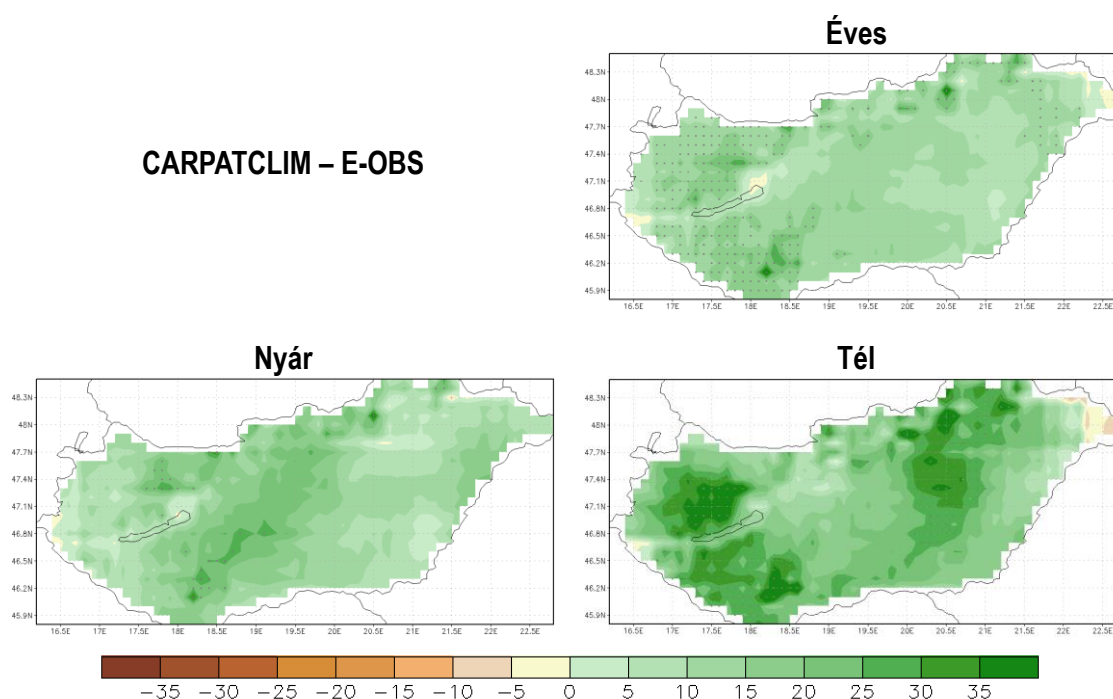
**7. ábra:** Az ALADIN\_EUR44 modellszimuláció eredményei alapján számított éves és évszaki csapadékösszeg átlagos eltérése (%) az E-OBS és a CARPATCLIM megfigyelési adatbázisoktól az 1981–2000 időszakban. A szignifikáns eltérések helyét pontozással jelöltük.

Ahhoz, hogy számszerűsíthessük a referencia adatbázis megválasztásából adódó bizonytalanságot, a CARPATCLIM és az E-OBS megfigyelési adatait közvetlenül is összehasonlítottuk egymással (**8. ábra**). Az eredmények szerint az E-OBS éves szinten mintegy 11 %-kal

kevesebb csapadékot ad, mint a CARPATCLIM. Ez az eltérés az ország területének több mint negyedén szignifikáns. A legnagyobb relatív eltérés a téli évszakra esik, amire vonatkozóan a CARPATCLIM több mint 20 %-kal nagyobb csapadékösszeget mutat (**4. táblázat**). Az eredmény jól alátámasztja a fent említett téli validációs példát. A mérési adatok eltéréseinek számos oka van, többek között az adatbázisok különböző térbeli felbontása, az E-OBS adatbázis előállításához figyelembe vett csekély számú hazai állomás, illetve az, hogy a CARPATCLIM adatbázis homogenizált adatokat tartalmaz.

**4. táblázat:** A CARPATCLIM és az E-OBS és a megfigyelési adatbázisok éves és évszakai csapadékösszegeinek átlagos magyarországi eltérése (% és mm/hónap) az 1981–2000 időszakban.

Éves	Tavasz	Nyár	Ősz	Tél
11 %	12 %	13 %	4,2 %	21 %
4,8 mm	4,8 mm	6,7 mm	1,9 mm	5,9 mm

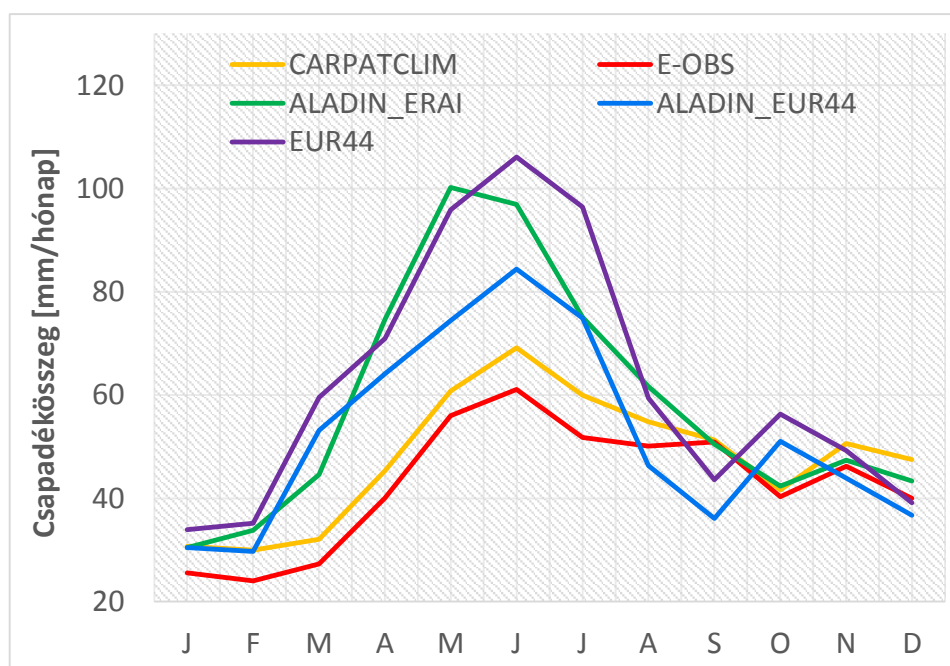


**8. ábra:** A CARPATCLIM és az E-OBS megfigyelési adatbázisok átlagos eltérései (%) az éves, a nyári és a téli csapadékösszeg esetén az 1981–2000 időszakban. A szignifikáns eltérések helyét pontozással jelöltük.

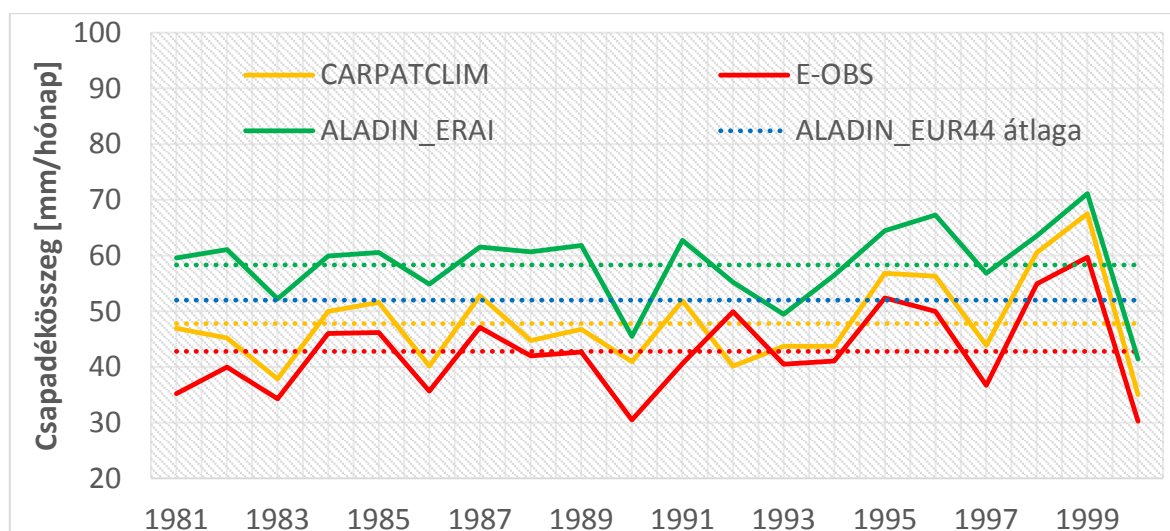
A csapadék validációjának fontos részét képezi az átlagos éves eloszlás vizsgálata, amelybe a két 10 km-es felbontású modellkísérleten és a két megfigyelési adatbázison kívül ezúttal is bevontuk az ALADIN\_EUR44 kísérlet határfeltételét adó (EUR44) regionális modellszimuláció eredményeit (**9. ábra**; az ERA-Interim csapadékadatait azért nem tüntetjük fel, mivel azok nem re-analízisek, hanem rövidtávú előrejelzések; az ARPEGE-Climat csapadékeredményei pedig – mivel a csapadék nem prognosztikai változó – nem szolgáltatnak közvetlen határfeltételt a leskálázásokhoz). Az ábrán jól látszik a csapadék tavaszi és nyári erős felülbecslése és az őszi-téli viszonylagos kiegyenlítődése. A re-analízis határfeltételű szimulációban a nyári csapadékmaximum egy hónappal korábbra esik, a novemberi másodmaximum

azonban megfelelő. Az EUR44 határfeltételű futtatásban éppen a fordítottját tapasztaljuk, a nyári maximum helyesen júniusra esik, az őszi azonban egy hónappal megelőzi a mérésekből származó maximumot. Az ábráról az is egyértelműen leolvasható, hogy az 50 km-es felbontású EUR44 szimuláció további dinamikus leskalázása a csapadékösszegeket közelebb hozta a mérési eredményekhez, vagyis a finomabb térbeli felbontás Magyarország területén minőségileg jobb csapadékeloszlást eredményezett. Szintén megfigyelhető az ábrán a két megfigyelési adatbázis közti különbség, mely például a téli évszakban összemérhető mértékű a modellektől vett eltéréssel.

A **10. ábra** az éves átlagos csapadékmennyiségek 20-éves idősorát mutatja, a teljes időszakra vonatkozó átlagokkal (pontozott vonalak). A re-analízis határfeltételű szimuláció láthatóan jól követi a nedvesebb és szárazabb évek váltakozását, a teljes időátlaga (58 mm/hónap) azonban szisztematikusan magasabb a méréseknél. Az ALADIN\_EUR44 kísérletből csupán a húsz év átlagát tüntettük fel, ugyanis az egyes múltbeli évek sajátosságait egy globális klíma-modell eredményeinek leskalázása nem képes visszaadni, de a teljes időszak átlagának ebben az esetben is fontos információtartalma van. Látható, hogy a 20 évre vetített 52 mm/hónapos átlagos értékével nemcsak az ERA-Interim határfeltételű kísérletnél esik közelebb a mérésekhez, de ráadásul a CARPATCLIM átlagos értékétől való eltérése is némileg kisebb, mint a két mérési adatbázis átlagának különbsége.



**9. ábra:** A csapadékösszeg magyarországi havi átlagértékei (mm/hónap) az 1981–2000 időszakban a mérések (CARPATCLIM, E-OBS), a 10 km-es felbontású regionális modelleredmények (ALADIN\_ERAI, ALADIN\_EUR44) és az ALADIN\_EUR44 modellkísérlet határfeltételei (EUR44) alapján.

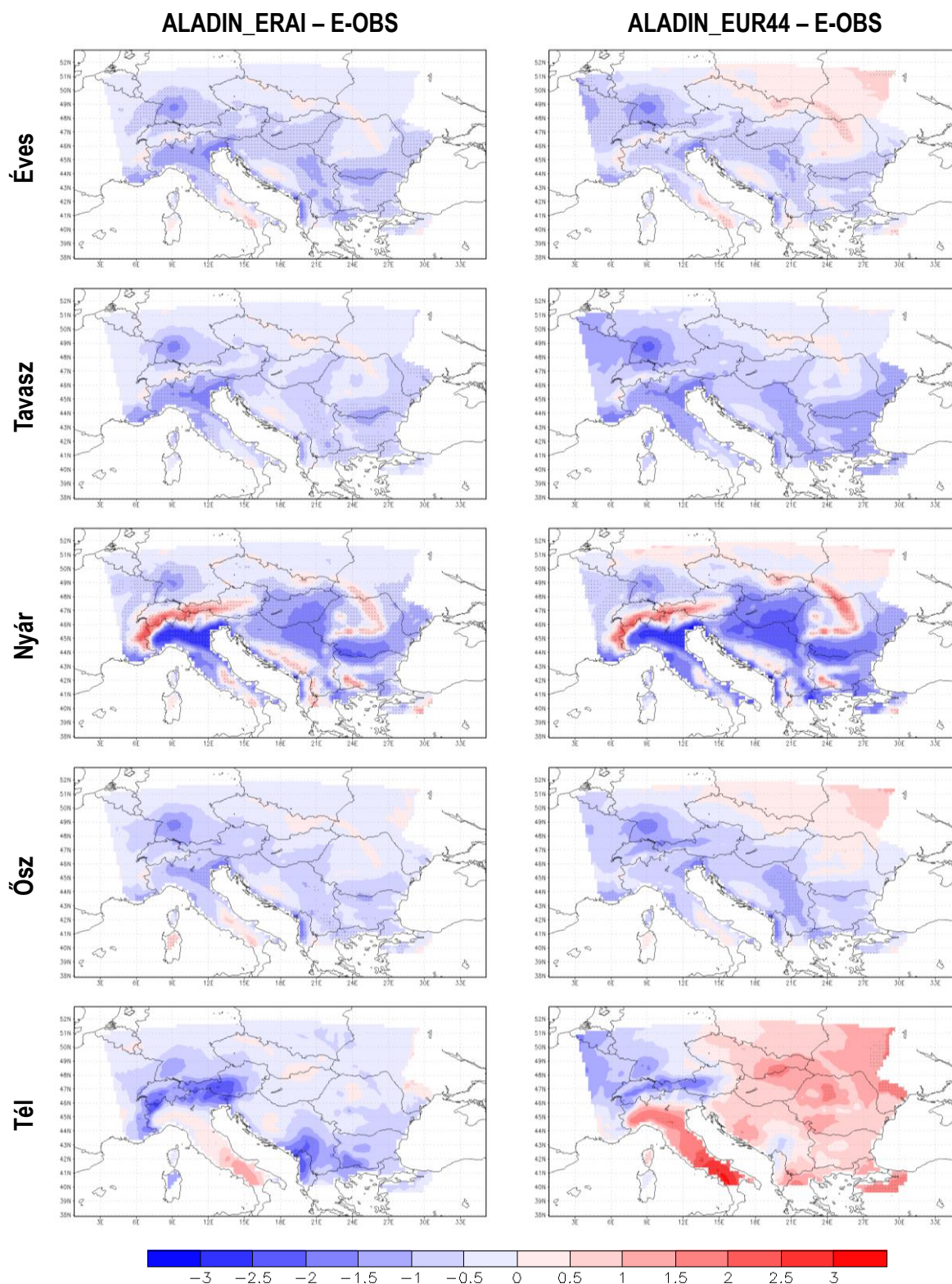


**10. ábra:** Az éves csapadékösszeg magyarországi értékei (mm/hónap) az 1981–2000 időszakban a mérések (CARPATCLIM, E-OBS) és az ALADIN\_ERAI modellszimuláció eredményei alapján. Az egyenesek a teljes időszakra vonatkozó átlagértékeket jelölik a mérések, valamint az ALADIN\_ERAI és ALADIN\_EUR44 modellszimulációk eredményei alapján.

### Tengerszinti légnyomás

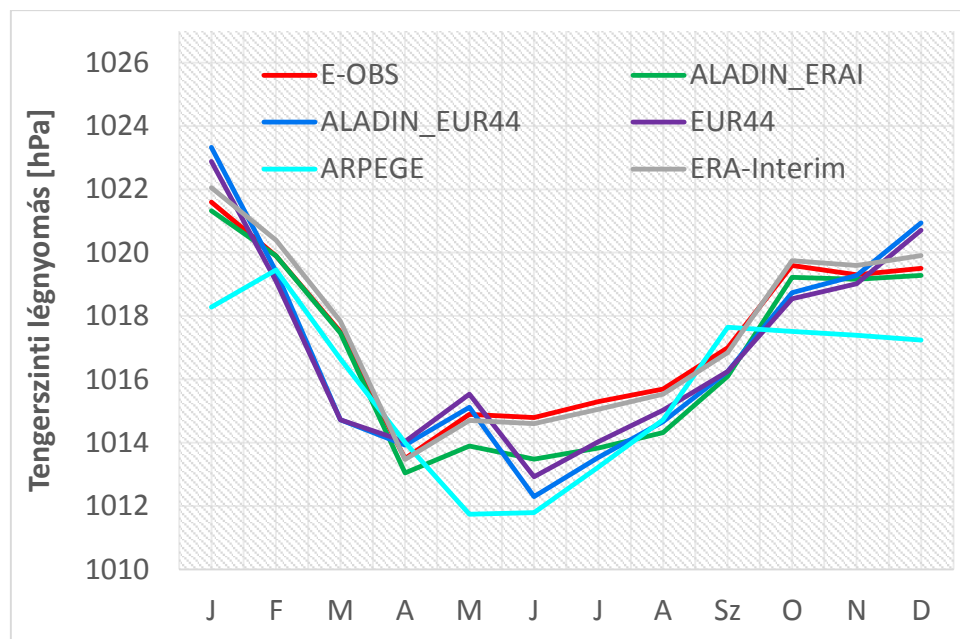
A validációt elvégeztük a tengerszinti légnyomásra vonatkozóan is, azonban mivel a CARPATCLIM adatbázisban ilyen változó nem szerepel, az összehasonlítást ebben az esetben csak az E-OBS adatbázissal készítettük el. A megfigyelésektől vett eltérés éves szinten 1-2 hPa, és a magasabb hegységek, valamint az Appennini-félsziget kivételével alulbecslés jellemző (**11. ábra**). Évszakosan a legnagyobb eltéréseket nyáron adta a modell, ami valószínűleg a hőmérséklet felülbecsléséből adódik. Ekkor az Alpok és a Kárpátok területén 2-3 hPa-os felülbecslés figyelhető meg, míg a tartomány nagy részén jelentős, helyenként a 3 hPa-t is meghaladó alulbecslés látható. A re-analízisekkel meghajtott és a globális modelleredmények kétszeres leskálázásával készített szimuláció télen mutatja a legnagyobb eltérést: az előbbi a többi évszakhoz hasonlóan alábecsli a tengerszinti légnyomás értékeit, míg az utóbbi a méréseknél 1-3 hPa-lal magasabb értékeket ad. Magyarország területén a legnagyobb alulbecslés nyáron 2-3 hPa, aminek mértéke északról dél felé csökken. A téli felülbecslés a globális modell-meghajtású kísérletben 0,5-2,5 hPa, az eltérés délnyugatról északkelet felé növekszik.

Az éves menet validációjához a két 10 km-es felbontású kísérlet eredményei és a megfigyelések mellett megvizsgáltuk a közvetlen határfeltételeket adó ERA-Interim re-analíziseket és az 50 km-es felbontású ALADIN modellszimuláció (EUR44) eredményeit, valamint az EUR44 futtatás számára peremfeltételt nyújtó ARPEGE globális modell eredményeit is (**12. ábra**). A légnyomás hazánkban jellemző éves menetét mindegyik adatsor jól tükrözi az 1981–2000 időszakra: a tengerszinti légnyomás maximuma a kísérletekben januárra esik, a legnagyobb különbségek nem haladják meg a 2 hPa értéket. A megfigyelt éves menetet a re-analízis határfeltételeket használó futtatás jobban visszaadja, bár áprilistól októberig kismértékben alulbecsli, míg az ALADIN\_EUR44 szimulációnál alá- és fölébecslés is előfordul. Érdekes, hogy a június–szeptember időszakban mindkét 10 km-es felbontású szimulációnál jobb eredményeket mutatnak a határfeltételeik (ERA-Interim és EUR44).



**11. ábra:** Az ALADIN\_ERA1 és az ALADIN\_EUR44 szimulációk eredményei alapján számított éves és évszakos tengerszintű légnyomás átlagos eltérése (hPa) az E-OBS megfigyelési adatbázistól az 1981–2000 időszakban.





**12. ábra:** A tengerszinti légnyomás magyarországi havi átlagértékei (hPa) az 1981–2000 időszakban a mérések (E-OBS), a regionális modelleredmények (ALADIN\_ERAI, ALADIN\_EUR44) és a modellkísérletek határfeltételei (EUR44, ARPEGE, ERA-Interim) alapján.

## Összefoglalás

A jelen beszámolóban két, az ALADIN-Climate regionális klímamoddellel végrehajtott kísérlet validációs vizsgálatát mutattuk be abból a célból, hogy teszteljük a modellt egy múltbeli időszakon. Ez a vizsgálat nélkülözhetetlen a modell viselkedésének és hibáinak megismeréséhez, valamint a jövőbeli eredmények értelmezéséhez.

Az ALADIN-Climate modellt 10 km-es rácsfelbontáson futtattuk az 1981–2000 időszakra, kétféle, az ERA-Interim re-analízisekből és az ARPEGE-Climat globális klímamodell eredményeinek leskálázásából származó határfeltételekkel. A két kísérlet eredményeit mérésekkel vetettük össze, ennek során a hőmérséklet, a csapadékösszeg és a tengerszinti légnyomás éves, évszakos és havi átlagértékeit vizsgáltuk. Bemutattuk az egyes változókra vonatkozóan a modelleredmények és a mérési információk eltérését ábrázoló hibatérképeket, a magyarországi éven belüli eloszlást és a 20 éven belüli menetet jellemző grafikonokat, valamint kiszámítottuk az országos átlagos hibákat. A modelleredményeket két rácsponti megfigyelési adatbázissal is összevetettük: egyrészt a Magyarország területére a legpontosabb információval szolgáló CARPATCLIM adatbázissal, amely hazánkra 10 km-es felbontással tartalmaz homogenizált napi adatokat, másrészt felhasználtuk az Európát lefedő, 25 km-es felbontású E-OBS adatbázis homogenizálatlan napi adatait is. Láttuk, hogy a két adatbázis különösen a csapadékadatok esetében mutat nagy eltéréseket Magyarország területén.

Megállapítottuk, hogy az ALADIN-Climate modell a nyarat kivéve túl alacsony hőmérsékleti értékeket ad, s a megfigyelésektől átlagosan 1-2 °C-kal tér el, ez az eltérés azonban kisebb, mint a NATÉR első változatához információt szolgáltatató korábbi ALADIN modellkísérletek esetében. Nyáron a felülbecslés a tartomány középső és keleti tájain meghaladhatja a 3-5 °C-ot, s az eltérések a terület nagy részén statisztikailag szignifikánsak. Ezek a tendenciák

a hőmérséklet Magyarországon megfigyelt éves eloszlásában, és mindkét mérési adatbázis esetén láthatók.

A csapadékösszeg esetében éves szinten 20-40 %-os felülbecslés jellemző, amely szinte a teljes tartományon szignifikáns. A NATÉR első változatához információt szolgáltató korábbi ALADIN modellkísérletek esetében tapasztalt nagymértékű nyári felülbecslés jelentős mértékben javult. A hiba mértékét tekintve a két kísérlet eltér egymástól, ugyanakkor a referenciaként használt mérési adatbázisok között is nagy különbségeket tapasztaltunk, különösen évszakos szinten. Az eredmények szerint az E-OBS éves átlagban mintegy 11%-kal kevesebb csapadékot ad, mint a CARPATCLIM, ez az eltérés különösen nagy a téli évszakban és az ország területének több mint negyedén szignifikáns.

A tengerszinti légnyomást csak az E-OBS mérési információival vetettük össze. A hiba nagysága elfogadható mértékű a vizsgált tartományon, éves szinten átlagosan 1-2 hPa-os alulbecslést tapasztaltunk, s csak a magasabb hegységekben és kisebb területeken haladja meg a 3-4 hPa-t. A legnagyobb eltéréseket nyáron adja a modell, ami valószínűleg a hőmérséklet felülbecsléséből adódik.

## Irodalom

- Csima, G., Horányi, A., 2008: Validation of the ALADIN-Climate regional climate model at the Hungarian Meteorological Service. *Időjárás* 112, 3–4, 155–177.
- Dee, D.P., Uppala, S.M., Simmons, A.J., Berrisford, P., Poli, P., Kobayashi, S., Andrae, U., Balmaseda, M.A., Balsamo, G., Bauer, P., Bechtold, P., Beljaars, A.C.M., van de Berg, L., Bidlot, J., Bormann, N., Delsol, C., Dragani, R., Fuentes, M., Geer, A.J., Haimberger, L., Healy, S.B., Hersbach, H., Hólm, E.V., Isaksen, L., Kållberg, P., Köhler, M., Matricardi, M., McNally, A.P., Monge-Sanz, B.M., Morcrette, J.-J., Park, B.-K., Peubey, C., de Rosnay, P., Tavolato, C., Thépaut, J.-N., Vitart, F., 2011: The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 137, 553–597.
- Haylock, M.R., Hofstra, N., Klein Tank, A.M.G., Klok, E.J., Jones, P.D., New, M., 2008: A European daily high-resolution gridded dataset of surface temperature and precipitation. *J. Geophys. Res. (Atmospheres)* 113, D20119, doi: 10.1029/2008JD10201.
- Mitchell, T.D., Carter, T.R., Jones, P.D., Hulme, M., New, M., 2004: A comprehensive set of climate scenarios for Europe and the globe. Tyndall Centre Working Paper 55.
- Lakatos, M., Szentimrey, T., Bihari, Z., Szalai, S., 2013: Creation of a homogenized climate database for the Carpathian region by applying the MASH procedure and the preliminary analysis of the data. *Időjárás* 117, 1, 143–158.
- Moss, R.H., Edmonds, J.A., Hibbard, K.A., Manning, M.R., Rose, S.K., van Vuuren, D.P., Carter, T.R., Emori, S., Kainuma, M., Kram, T., Meehl, G.A., Mitchell, J.F.B., Nakicenovic, N., Riahi, K., Smith, S.J., Stouffer, R.J., Thomson, A.M., Weyant, J.P., Wilbanks, T.J., 2010: The next generation of scenarios for climate change re-search and assessment. *Nature* 463, 747–756.
- Nakicenovic, N., Alcamo, J., Davis, G., de Vries, B., Fenhann, J., Gaffin, S., Gregory, K., Grübler, A., Jung, T.Y., Kram, T., La Rovere, E.L., Michaelis, L., Mori, S., Mori-ta, T.,

- Pepper, W., Pitcher, H., Price, L., Raihi, K., Roehrl, A., Rogner, H. H., Sankovski, A., Schlesinger, M., Shukla, P., Smith, S., Swart, R., van Rooijen, S., Victor, N., Dadi, Z., 2000: IPCC special report on emissions scenarios. Cambridge University Press, Cambridge.
- Szentimrey, T., 2008: Development of MASH homogenization procedure for daily data. Proceedings of the Fifth Seminar for Homogenization and Quality Control in Climatological Databases, Budapest, Hungary, 2006, WCDMP-No. 71, WMO/TD-NO. 1493, 123–130.
- Szentimrey, T., Bihari, Z., 2007: Mathematical background of the spatial interpolation methods and the software MISH (Meteorological Interpolation based on Surface Homogenized Data Basis). Proceedings of the Conference on Spatial Interpolation in Climatology and Meteorology (eds.: S. Szalai, Z. Bihari, T. Szentimrey, M. Lakatos) 2007, COST Office, Luxemburg, ISBN 92-898-0033-X, 17–28.
- Szépszó G., Krüzselyi I., Illy T., Sábitz J., 2015: Az ALADIN-Climate regionális klímamodell integrálási tartományának megválasztására vonatkozó érzékenységvizsgálat. RCMTÉR (EEA-C13-10) projekt beszámoló, Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest, pp. 19.
- Uppala, S.M., Kallberg, P.W., Simmons, A.J., Andrae, U., Bechtold, V.D., Fiorino, M., Gibson, J.K., Haseler, J., Hernandez, A., Kelly, G.A., Li, X., Onogi, K., Saarinen, S., Sokka, N., Allan, R.P., Andersson E., Arpe K., Balmaseda M.A., Beljaars A.C.M., Van De Berg L., Bidlot J., Bormann N., Caires, S., Chevallier, F., Dethof, A., Dragosavac, M., Fisher, M., Fuentes, M., Hagemann, S., Holm, E., Hoskins, B.J., Isaksen, L., Janssen, P.A.E.M., Jenne, R., McNally, A.P., Mahfouf, J.F., Morcrette, J.J., Rayner, N. A., Saunders, R.W., Simon, P., Sterl, A., Trenberth, K.E., Untch, A., Vasiljevic, D., Viterbo, P., Woollen, J., 2005: The ERA-40 re-analysis. Q. J. R. Meteorol. Soc. 131, 2961–3012.
- van den Besselaar, E.J.M., Haylock, M.R., van der Schrier, G., Klein Tank, A.M.G., 2011: A European Daily High-resolution Observational Gridded Data set of Sea Level Pressure. J. Geophys. Res. 116, D11110, doi: 10.1029/2010JD015468.