

## A REGCM4.5 REGIONÁLIS KLÍMAMODELL TESZTELÉSE: A HIDROSZTATIKUS ÉS NEM-HIDROSZTATIKUS KÖZELÍTÉS SZEREPE KÜLÖNBÖZŐ CSAPADÉKSÉMÁK ALKALMAZÁSA MELLETT

Kalmár Tímea<sup>(1)</sup> , Pieczka Ildikó<sup>(1)</sup> , Pongrácz Rita<sup>(1,2)</sup> 

<sup>(1)</sup>ELTE Meteorológiai Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A

<sup>(2)</sup>ELTE TTK Kiválósági Központ, 2462 Martonvásár, Brunszvik u. 2.

e-mail: kalmartimea@caesar.elte.hu, pieczka@nimbus.elte.hu, prita@nimbus.elte.hu

### Bevezetés

Az éghajlati rendszer működésének minél pontosabb megértéséhez elengedhetetlen a klíma-modellek alkalmazása és folyamatos fejlesztése. A modellfejlesztések egyik célja a múltban detektált éghajlati viszonyok, változások minél pontosabb rekonstruálása. Ha ez elfogadható mértékben sikerül, akkor következő lépésként a klíma-modellek felhasználásával becsülhetjük az éghajlat jövőben várható változásait is. Napjainkban a regionális modellek már néhány km-es horizontális felbontással is rendelkezhetnek, amely sokszor nem-hidrosztatikus közelítést igényel. Ahhoz, hogy a modell megfelelően működjön, szükséges a modelldinamika módosítása, valamint a modell rácsfelbontásánál finomabb térszkálájú folyamatok fizikai parametrizációinak további fejlesztése.

Vizsgálataink során a RegCM4.5 regionális klíma-moddellel végeztünk modellfuttatásokat 10 km-es horizontális felbontás mellett a Kárpát-medencére az 1981–1990 időszakra. A kezdeti- és peremfeltételeket az ERA-Interim reanalízis adatbázis (0,75°-os horizontális felbontással) szolgáltatta. A választásunk azért esett a RegCM4.5 modellverzióra, mert a korábbi verziókhöz képest a hidrosztatikus (H) közelítés mellett már nem-hidrosztatikus (NH) dinamikával is futtatható. E modellverzió másik nagyobb újítása, hogy a nem-konvektív eredetű felhőzet és csapadék kezelésére egy új csapadéksémát is beépítettek. A vizsgálatok során egyrészt a modelldinamikát, másrészt a nagytérségű csapadéksémákat teszteltük különböző beállítások mellett.

### A RegCM4.5 regionális klíma-modell

A RegCM regionális klíma-modellt a trieszti központú ICTP<sup>1</sup> fejleszti (Elguindi et al., 2014). A RegCM4.5 verzió már nem-hidrosztatikus dinamikával is rendelkezik, amelynek alapja az MM5 mezoszkálájú modell nem-hidrosztatikus verziója. A korábbi verziókhöz képest a másik lényeges fejlesztés, hogy egy új parametrizációs sémát építettek a modellbe, ami a réteges felhőzet mikrofizikájának és a csapadékképződésnek a részletesebb leírására szolgál (Nogherotto et al., 2016). A modell által használt régebbi séma, az ún. SUBEX<sup>2</sup> (Pal et al., 2000) a nem-konvektív eredetű felhőzet és csapadék kezelésére szolgál. A séma Sundqvist et al. (1989) munkája alapján figyelembe veszi a felhőzet rácscellákon belüli változását úgy, hogy kapcsolatot teremt a rácscella átlagos relatív nedvességtartalma, a felhővel való borítottság, valamint a felhővíz között. Az új NogTom<sup>3</sup> felhő-mikrofizikai sémát az ECMWF's IFS<sup>4</sup> alapján dolgozták ki (Tiedtke, 1993; Nogherotto et al., 2016). Az új séma öt prognosztikai egyenletet old meg vízgőz, felhővíz, eső, jég és hó keverési arányra (Elguindi et al., 2014).

<sup>1</sup> International Centre for Theoretical Physics

<sup>2</sup> SUBgrid EXplicit moisture scheme

<sup>3</sup> NOGherotto TOMpkins cloud-microphysics scheme

<sup>4</sup> ECMWF Integrated Forecast System

Összehasonlítva a korábbi sémával, ez az újítás a vegyes halmazállapotú felhőzet, a felhő mikrofizikájának és a csapadéknak fizikailag reálisabb reprezentációját teszi lehetővé.

## Elvégzett szimulációk és validáció

E tanulmányban bemutatandó vizsgálataink során a RegCM4.5 regionális klímamoddellel végeztünk modellfuttatásokat 10 km-es horizontális felbontás mellett a Kárpát-medencére (lefedő rácspontok száma  $120 \times 216$ , a vertikális szintek száma 23), a teljes integrálási idő 1979.12.01–1990.12.31, melyből az első évet felpörgési időként tekintettük, s így az értékelésből természetesen kihagytuk. A kezdeti- és peremfeltételeket az ERA-Interim reanalízis adatbázis ( $0,75^\circ$ -os horizontális felbontás mellett) szolgáltatta. A szimulációk főbb beállításai az 1. táblázatban láthatók.

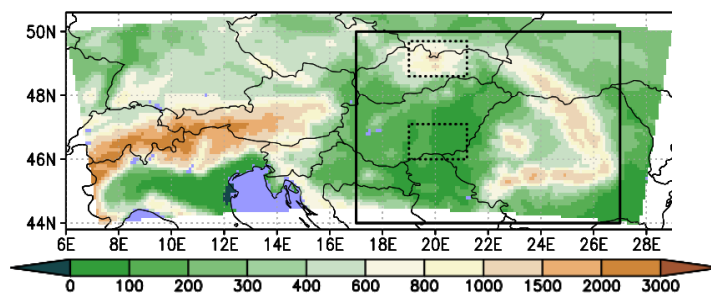
1. táblázat: Az elvégzett szimulációk főbb jellemzői.

|                                     | H_SUBEX   | H_SUB4.3 | NH_SUBEX | H_NogTom                         | NH_NogTom | NH_NogTom_NC |
|-------------------------------------|---|----------|----------|----------------------------------|-----------|--------------|
| Földfelszíni almodell               | BATS (Dickinson et al., 1993)                               |          |          |                                  |           |              |
| Közelítés                           | H   |          | NH       |                                  | NH        |              |
| Nagyterésű csapadékséma             | SUBEX (Pal et al., 2000)                                    |          |          | NogTom (Nogherotto et al., 2016) |           |              |
| Konvektív csapadékséma (szárazföld) | Grell séma (1993) FC (Fritsch és Chappell, 1980) lezárással |          |          |                                  |           | nincs        |
| Konvektív csapadékséma (vízfelszín) | MIT-Emanuel (Emanuel, 1991)                                 |          |          |                                  |           |              |

Megjegyzendő, hogy a SUBEX sémában Torma et al. (2011) módosították a 2. táblázatban feltüntetett paraméterek értékét: az autokonverziós együtthatót a felére csökkentették, az eső-csepp párolgási együtthatóját két nagyságrenddel növelték, ugyanakkor az akkréciós (csepp-befogási) együtthatót a felére csökkentették. Mindezek a szimulált csapadék felülbecslésének csökkentésére szolgáltak és bekerültek a RegCM4.3-ba (H\_SUB4.3), azonban a RegCM4.5-ben visszaállították a régi értékekre (H\_SUBEX). Az NH\_NogTom\_NC szimuláció esetén a konvektív parametrizációt kapcsoltuk ki a szárazföld felett. A vízfelszín felett számítás esetén technikai okok miatt hagytuk meg a konvektív sémát.

2. táblázat: A H\_SUBEX és a H\_SUB4.3 szimuláció közti különbség.

|                               | H SUB4.3   | H SUBEX  |
|-------------------------------|--|--|
| Autokonverziós együttható     | 0,00025  | 0,0005   |
| Esőcsepp párolgási együttható | $1,0 \cdot 10^{-3} (\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})^{-1/2} \cdot \text{s}^{-1}$ | $1,0 \cdot 10^{-5} (\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})^{-1/2} \cdot \text{s}^{-1}$ |
| Esőcsepp akkréciós együttható | $3 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$   | $6 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$   |



1. ábra: A RegCM teljes integrálási tartománya és a validációhoz használt CarpatClim adatbázis által lefedett terület domborzata (fekete téglalap). A vizsgálatok során kiválasztott két kisebb terület: Tatra térsége (felső pontozott vonallal jelölt téglalap) és az Alföld egy kisebb része (alsó pontozott vonallal jelölt téglalap).

A validációhoz a CarpatClim adatbázist (Szalai et al., 2013) választottuk, mivel Magyarország területére jelenleg ez a publikusan elérhető legrészletesebb, legfinomabb –  $0,1^\circ$ -os – horizontális felbontású adatbázis. A CarpatClim adatbázis idősorai közül a 2 m-es középhőmérsékletet ( $^\circ\text{C}$ ), illetve a napi csapadékösszeget (mm) használtuk fel. A meteorológiai változók orográfiától való jelentős függése miatt az egész területre vonatkozó átlagértékek mellett két kisebb – domborzatát tekintve jelentősen eltérő – régiót választottunk ki, és így az egyes vizsgálatok során területi átlagokat képeztünk az Alföld déli részére és a Tátra környékére (1. ábra).

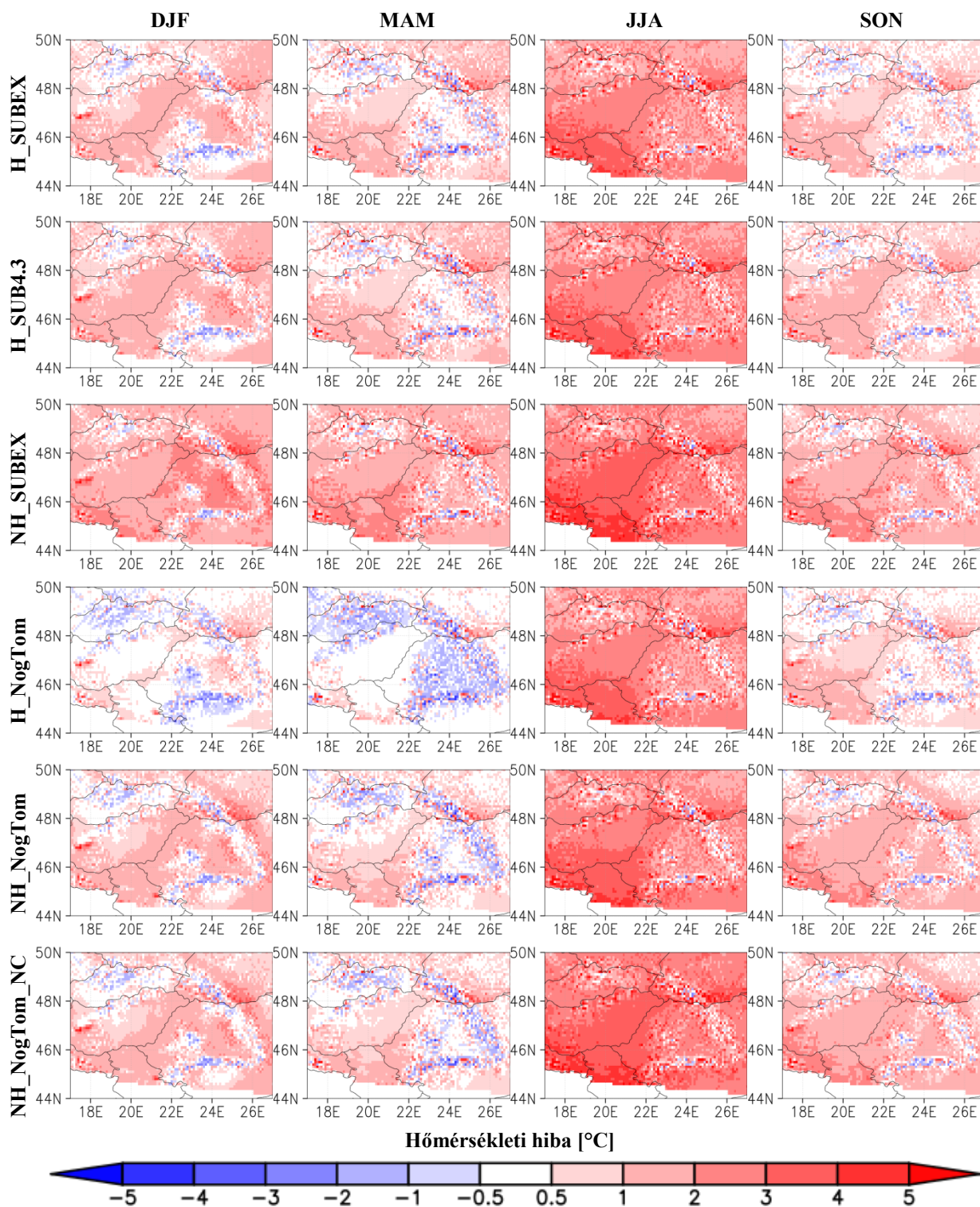
## Eredmények

A modelleredmények validációs értékelése során a havi és évszakos középhőmérsékletet, valamint a havi és évszakos átlagos csapadékösszeget vetettük össze a CarpatClim adatbázisból származtatott referencia adatokkal. Ebben a tanulmányban az egyes futtatásokból kapott átlagos hibamezőket és az átlagos évi menet reprodukálását vizsgáljuk először a hőmérsékletre, majd a csapadékra vonatkozóan. A csapadék esetén külön hangsúlyt fektettünk a konvektív csapadék részletesebb vizsgálatára.

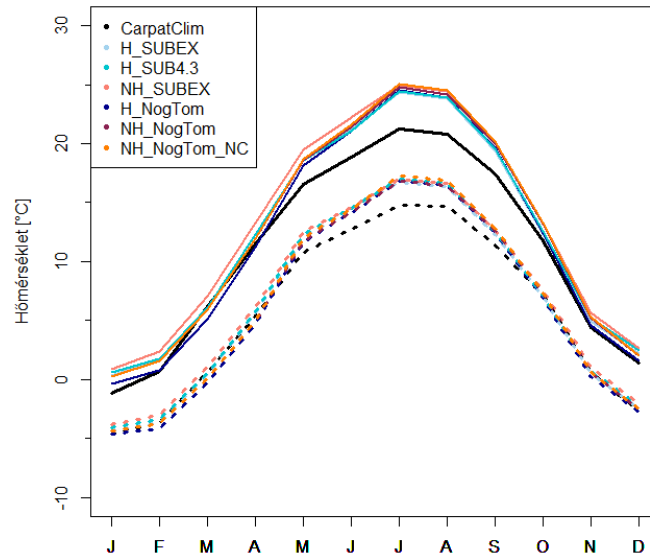
### *Hőmérséklet*

A 2. ábrán az átlagos évszakos hibamezők láthatók a CarpatClim adatbázishoz képest az 1981–1990-es időszakra. Mindegyik modellbeállítás esetén szembevetendő a nyári jelentősebb ( $3^\circ\text{C}$  körüli) felülbecslés, ami a korábbi modellverziókra (RegCM3: Torma et al., 2011; RegCM4.3: Pieczka et al., 2017), illetve más modellekre (Hagemann et al., 2001) is jellemző. Az okok felderítése érdekében több kutatás is folyt: Machenhauer et al. (1998) a meghajtó modell és az RCM közötti dinamikai leskátlázás okozta hibára, míg Hagemann et al. (2001) a szárazföldi területek fizikai parametizációira vezette vissza a nyári felülbecslést. Seneviratne et al. (2006) a talajnedvesség-tartalommal és annak inicializálásával hozta kapcsolatba a megfigyelésekhez képest átlagosan melegebb és szárazabb nyarakat. A RegCM-mel kapott korábbi tanszéki eredményekhez (Torma et al., 2011; Pieczka et al., 2017) képest újdonság, hogy a Balaton területén ősszel és télen viszonylag nagy ( $2\text{--}3^\circ\text{C}$ -os) pozitív hiba jelenik meg. Ez egyrészt amiatt történt, hogy a CarpatClim adatbázis homogenizált adatsor, a vízfelszín felett nem tartalmaz méréseket, csak a parton, emiatt a Balaton nem jelenik meg benne. Másrészt a RegCM4.5 a korábbi verziókhoz képest más interpolációs eljárást alkalmaz a felszín előállításakor, melynek eredményeképpen a Balaton itt már mint vízfelszín jelenik meg, ahol a modell a szárazföldhöz képest más parametizációs sémákat és konstansokat alkalmaz a számításokban, amelyek hatással lehetnek a hőmérséklet alakulására is. A téli időszakban a legkisebb hiba összességében a H\_NogTom futtatásnál tapasztalható, míg a legnagyobb hiba az NH\_SUBEX-nél látható. A Kárpátok vonulatainál minden futásnál kismértékű, jellemzően inkább negatív hiba tapasztalható. Habár tavasszal az Alföld területére a H\_NogTom futtatás adta a legjobb becslést, a Kárpátok vonulataira és Erdély területére negatív hiba jellemezte.

Az átlagos évszakos hibák mellett a havi átlaghőmérséklet éven belüli menetét is meghatároztuk a két kiválasztott területre. Az alföldi és a Tátra környéki (3. ábra) területre a modellek az éven belüli menetet visszaadták, azonban a nyári félévben felülbecsülték az átlagos havi középhőmérsékletet. Jól látszik, hogy az alföldi területen nagyobb hőmérsékleti értékek adódtak és a különbségek is nagyobbak a modellszimulációk és a CarpatClim között, mint a Tátra térségében. A legnagyobb felülbecslés júliusban jellemző: az alföldi területen átlagosan  $3^\circ\text{C}$  a modellszimulációk hibája, míg a hegyvidéken  $2^\circ\text{C}$  körüli.



2. ábra: Az egyes modellszimulációk átlagos évszakos hőmérsékleti eltérése a CarpatClim adatbázistól (1981–1990).



3. ábra: A havi átlaghőmérséklet éven belüli eloszlása a két kiválasztott területre. Az Alföldre vonatkozó értékek folytonos vonallal jelennek meg, míg a Tatra térségére pontozott vonallal. Referencia adatbázis: CarpatClim (1981–1990).

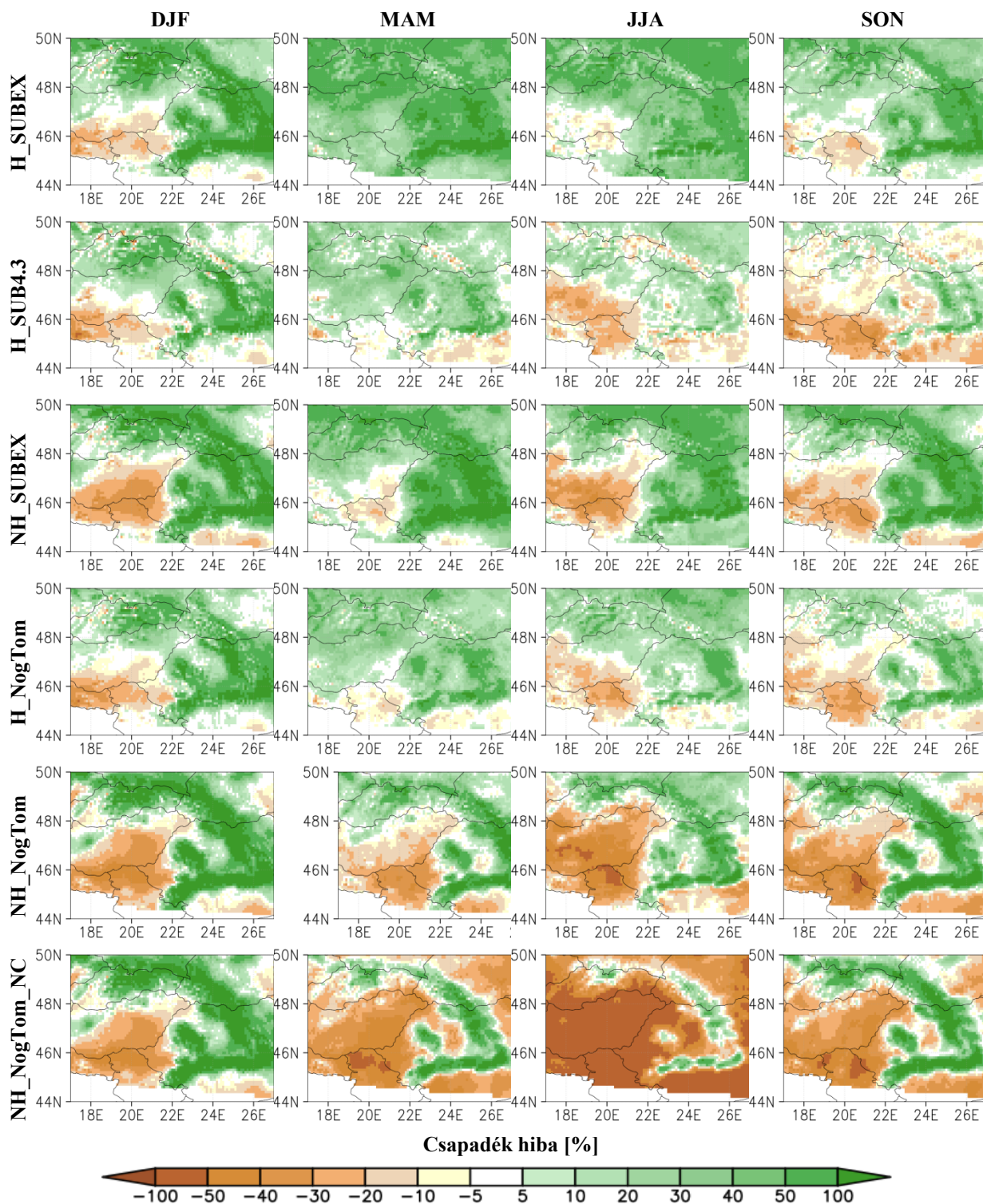
### Csapadék

A 4. ábrán láthatók az egyes szimulációkhoz tartozó átlagos évszakos relatív hibamezők. A hőmérséklethez viszonyítva a csapadék esetén jóval nagyobb különbségek vannak az egyes szimulációk között. A csapadékmezők térbeli struktúrájára jellemző, hogy a hegyvidéki területeken a szimulációk mindegyik évszakban felülbecslik a CarpatClim referencia értékeit. Az is jól látható, hogy a H\_SUB4.3 futtatás csapadékhibái kisebbek a hegyvidéki területen, mint a SUBEX sémával készített futásé (H\_SUBEX). Ezek alapján érdemes visszatérni azokra a változtatásokra a SUBEX séma alkalmazása esetén, amelyek a 2. táblázatban szerepelnek. A legnagyobb negatív hiba – ami az Alföld területén jelent meg – mindegyik évszakban az NH\_NogTom\_NC-nél tapasztalható: a síkvidékeken 50% vagy annál nagyobb alulbecslés figyelhető meg minden évszakban, de nyáron a legszembetűnőbb. Ez az eredmény természetesen nem meglepő: a nagy hibát a konvektív csapadékséma kikapcsolása okozza, amikor csak a modeldinamika által és a nagytérségű csapadékséma által számolt csapadék jelenik meg, mely 10 km-es felbontás mellett a megfigyeltnél jóval kevesebb.

A legkisebb hibák ősszel és télen fordulnak elő az egész terület átlagát tekintve, ami abból adódik, hogy a hegységekben előforduló nagy pozitív hibák és az alacsonyabb síkvidéki területek negatív hibái kiejtik egymást. A tavaszi hibamezők esetén látható, hogy a H\_SUBEX szinte mindenhol felülbecsülte a csapadékmennyiséget, míg a nem-hidrosztatikus dinamikát alkalmazó szimulációk a Kárpátokban felülbecslik, az alföldi területeken pedig alulbecslik a csapadékot. A korábbi tanszéki vizsgálatokkal (Pieczka et al., 2017) összevetve – ahol negatív értékek főleg az északi területeken jelentek meg – itt az alföldi területeken látható negatív hiba.

Összességében elmondható, hogy várakozásainknak megfelelően az NH\_NogTom\_NC futtatás adta a legpontatlanabb becsléseket minden évszakra: az alföldi területeken alulbecsülte, míg a hegyvidéki területeken jelentősen felülbecsülte a csapadékot. A hibamezők ezen általános struktúrája – különböző mértékben – más futtatások esetén is megfigyelhető. A legpontosabb eredményeket a H\_NogTom, illetve a H\_SUB4.3 szimuláció produkálta mind a négy évszakot tekintve, tehát a hidrosztatikus közelítés a 10 km-es horizontális felbontás alkalmazásával kisebb hibákat eredményezett, mint a nem-hidrosztatikus közelítés.





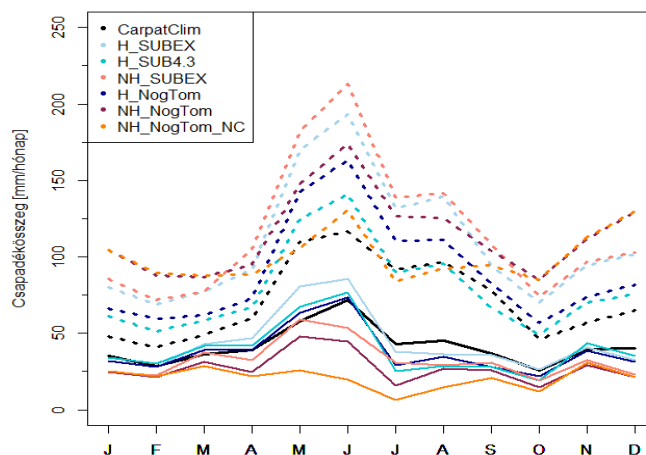
4. ábra: Az egyes modellszimulációk átlagos évszakos csapadék-eltérése a CarpatClim adatbázistól (1981–1990).

Az átlagos havi csapadékösszegek éven belüli eloszlása látható az 5. ábrán az alföldi és a Tátra környéki területre átlagolva. Jól látszik, hogy az Alföldön és a Tátrában a szimulált csapadék éves menete hasonló a CarpatClim adatbázis adataiból számított éven belüli eloszláshoz. Ennek ellenére a hibamezőkből kapott eredményeknek megfelelően az alföldi terü-

leten általánosságban tekintve a csapadék alulbecslése jellemző, míg a Tátrában inkább felülbecslés jelenik meg.

Az Alföldre vonatkozólag az NH\_NogTom és az NH\_NogTom\_NC becsli legnagyobb mértékben alul az átlagos havi csapadékösszegeket a nyári félévben. (Az NH\_NogTom\_NC közel 30 mm-rel, míg az NH\_NogTom 15 mm-rel.) A késő tavaszi, kora nyári időszakban a H\_SUBEX futtatás becsüli felül legjobban a megfigyeléseket. A csapadék éves menetét az itt bemutatott hat szimuláció közül a H\_NogTom adta vissza a legpontosabban az Alföldre.

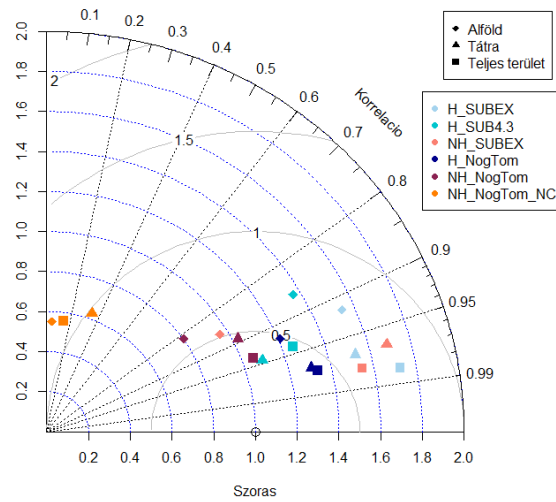
A Tátra térségére a szimulációk felülbecslése jellemző az egész év során. A legkisebb különbség a szimulált csapadékösszeg és a referencia adatok között a H\_SUB4.3 futtatás esetén figyelhető meg. Télen az NH\_NogTom\_NC adja a legnagyobb értékeket, míg nyáron az NH\_SUBEX és a H\_SUBEX.



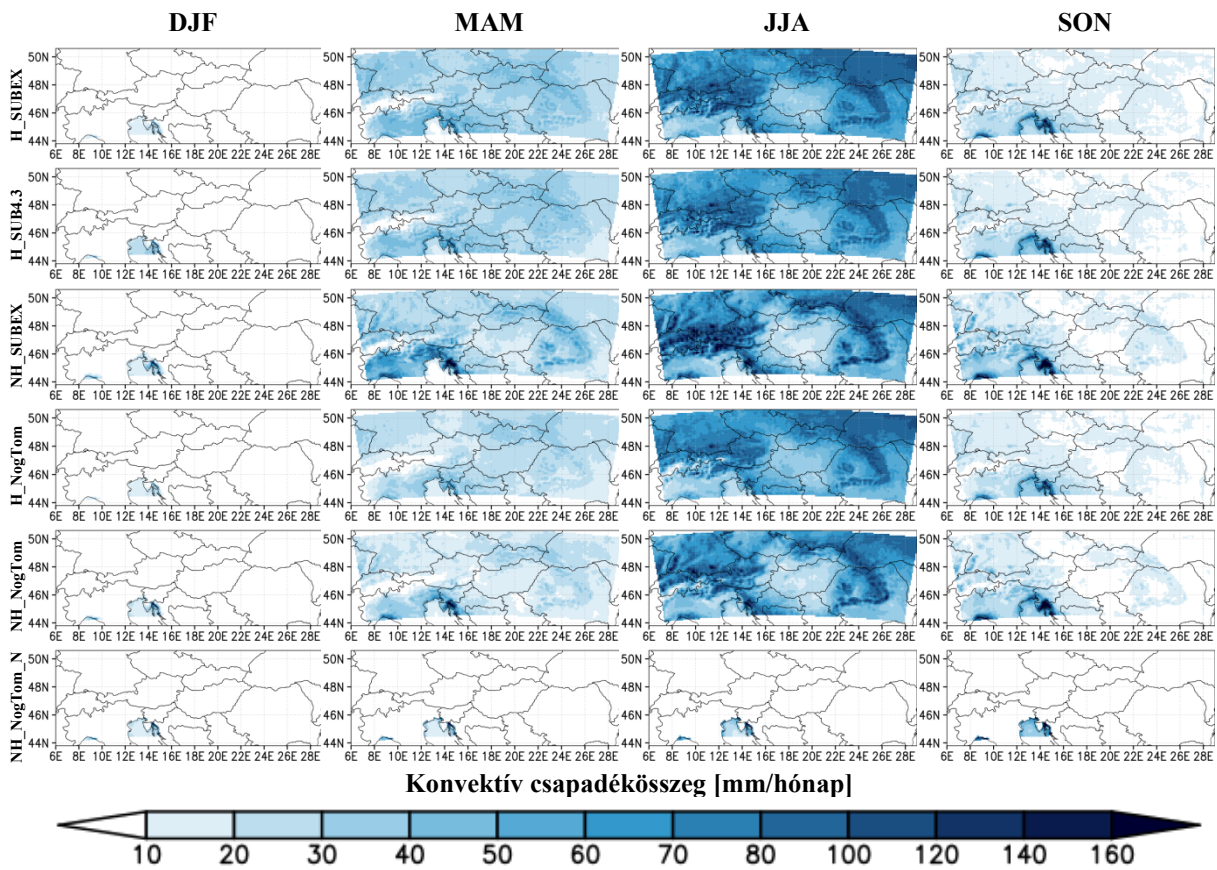
5. ábra: Az átlagos havi csapadékösszegek éven belüli eloszlása a két kiválasztott területre. Az Alföldre vonatkozó értékek folytonos vonallal jelennek meg, míg a Tátra térségére pontozott vonallal. Referencia adatbázis: CarpatClim (1981–1990).

Taylor-diagramon (Taylor, 2001) is összehasonlítottuk a szimulációk csapadékbecsléseit (6. ábra). A színek a különböző beállításokat reprezentálják, míg a szimbólumok az adott térségre (Alföld, Tátra és a teljes CarpatClim kivágot) vonatkoznak. Annál pontosabb a szimuláció eredménye, minél közelebb helyezkedik el a megfigyeléshez tartozó, üres körrel jelölt ponthoz. A diagramon jól látszik, hogy az NH\_NogTom\_NC beállítás mellett a legpontosabb a csapadékbecslés: ilyenkor a legnagyobbak a szórások és a legkisebbek a korrelációs együtthatók. A megfigyelésekhez az új mikrofizikai sémát alkalmazó szimulációk (H\_NogTom, NH\_NogTom) vannak a legközelebb, ezeknek egyértelműen kisebb a szórásuk. A teljes kivágot tekintve a SUBEX sémát tartalmazó szimulációkra erősebb korreláció adódott a CarpatClim referencia adataival, mint a NogTom felhő-mikrofizikai sémával készült futtatások esetén.

A csapadék esetén a kapott szimulációs hibák indokolták a konvektív és nem-konvektív eredetű csapadék külön-külön történő értékelését. Ebben a tanulmányban a konvektív csapadékot vizsgáljuk részletesen. Az alkalmazott nem-hidrosztatikus közelítésű beállításokban a vertikális irányú gyorsulásokat számolja a modell, de emellett az általánosan megadott konvektív parametrizációt is bekapcsolva hagytuk. Ez alól csak az NH\_NogTom\_NC szimuláció kivétel, amely esetén csak a szárazföld felett használatos Grell sémát kapcsoltuk ki, míg a tengerek felett továbbra is használtuk az MIT-Emanuel sémát. A konvektív csapadéokra vonatkozóan a CarpatClim adatbázis nem tartalmaz adatokat, így az eddigiekkel ellentétben nem hibaterképeket mutatunk be, továbbá a teljes integrálási tartományra készültek a 7. ábra térképei.



6. ábra: Az átlagos havi csapadékösszeg időbeli menetének Taylor-diagramja (1981–1990).

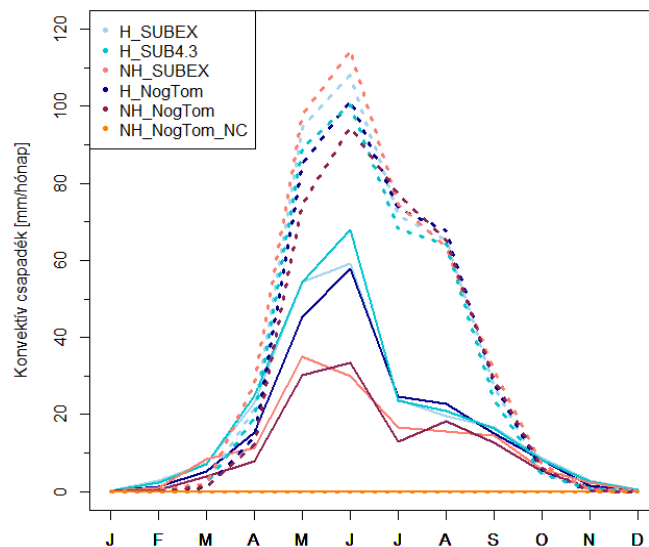


7. ábra: Az egyes modellszimulációk átlagos évszakos konvektív csapadékösszege (mm/hónap) (1981–1990).

Jól látszik, hogy várakozásainknak megfelelően télen (és ősszel) a legkisebb a konvektív csapadék mennyisége. A konvekcióhoz szükséges energetikai feltételek hiánya miatt télen elhanyagolható a konvektív csapadék. Ez alól kivételt képez a Dinári-hegység nyugati oldala, ahol a téli félévben is viszonylag sok konvektív csapadék hullik. Ez egyrészt a nyugati áramlásoknak való kitettségnek, másrészt a Földközi-tengerhez való közelségnek és az orográfának köszönhető: a nyugatias áramlásokkal érkező nedves légtömegeket a hegység a téli hónapokban is felemelkedésre kényszeríti. A kapott eredmények további oka a víz-



felszínek felett alkalmazott MIT-Emanuel séma, ami hatással van ezekre a területekre. Tavasszal már a síkvidéken is megjelenik jelentősebb konvektív csapadék, mely alól kivétel csupán az utolsó szimuláció, ahol továbbra is csak a Dinári-hegység környékén okoz konvektív csapadékot az MIT-Emanuel séma. Mindez nem jelenti azt, hogy a szimuláció nem számol konvektív csapadékot, csak az ún. 'prc' változóba a parametrizáció által számolt csapadék kerül bele; a modelldinamika általi pedig nem. A szimulációk közül az NH\_SUBEX eredményezi a legtöbb csapadékot tavasszal. A legmagasabb értékek – ahogyan az ebben a régióban megszokott – minden esetben nyáron fordulnak elő mindegyik szimuláció esetén. Nyáron a legnagyobb értékek az Alpok vonulatainál tapasztalhatók: a nem-hidrosztatikus szimulációk esetén sokkal markánsabb a konvektív csapadék mennyisége, mint a hidrosztatikus közelítéssel készített futtatásokban.



8. ábra: Az átlagos havi konvektív csapadékösszeg éven belüli eloszlása a két kiválasztott területre. Az Alföldre vonatkozó értékek folytonos vonallal jelennek meg, míg a Tátra térségére pontozott vonallal. (1981–1990).

A 8. ábra az Alföldre és a Tátra térségére vonatkozó átlagos havi konvektív csapadékösszegeket hasonlítja össze. A grafikonon jól látszik, hogy várakozásainknak megfelelően a Tátra térségében általában magasabb értékek fordultak elő, mint az Alföldön.

Az Alföldön a nem-hidrosztatikus közelítéssel készült futásoknál (NH\_SUBEX, NH\_NogTom) a csapadékeloszlás időbeli menetében kisebb éven belüli különbségek jelentkeznek, mint a hidrosztatikus futások esetén. A késő tavaszi, kora nyári időszakban viszont a hidrosztatikus közelítéssel készített szimulációk akár 50 mm-rel is meghaladták a nem-hidrosztatikus közelítést alkalmazó szimulációk átlagos konvektív csapadékösszegét.

A hegyvidéki területnél a nyári félév legnagyobb értékei az NH\_SUBEX futtatásnál fordultak elő, míg a második legnagyobb értéket a H\_SUBEX eredményezte. Ezek alapján elmondható, hogy a régi SUBEX séma a hegyvidéki területeken jobban felülbecsli a csapadékot, mint a NogTom új mikrofizikai séma. A módosított SUBEX séma viszont nagyságrendileg hasonló értékeket eredményezett, mint a NogTom séma.

## Összefoglalás

Munkánk során a RegCM4.5 regionális klímamoddellel végeztünk modellfuttatásokat 10 km-es horizontális felbontás mellett a Kárpát-medencére az 1981–1990 időszakra. A futtatások során egyrészt a hidrosztatikus és nem-hidrosztatikus dinamikát hasonlítottuk össze, másrészt

a modellben rendelkezésre álló két nagytérségű csapadéksémát. Az eredményeket a CarpatClim adatbázissal hasonlítottuk össze a hőmérséklet és a csapadék esetén. Ezen kívül az egyes futtatások által szimulált konvektív csapadékot is elemeztük.

A kapott eredmények alapján a modell a nyári hőmérsékletet jelentős mértékben (3 °C) felülbecsülte. Az új NogTom mikrofizikai sémával csak tavasszal javultak az eredmények.

A csapadék esetén a korábbi eredményekhez (Pieczka et al., 2017) képest különbségek a hegyvidéki és síkvidéki területek között figyelhetők meg. A hegységekben a nem-hidrosztatikus közelítéssel készített szimulációk jobban felülbecsülték a csapadékot, kivételt képez az NH\_NogTom\_NC futtatás, ahol a speciális beállítások hatására a legnagyobb negatív hibák fordultak elő.

A konvektív csapadék vizsgálatokor – mivel a CarpatClim adatbázis nem tartalmazza ezt a változót – a teljes kivágatra készítettünk térképet, illetve a kiválasztott régiókra az éves menetet reprezentáló diagramot. A konvektív csapadék esetén a szimulációk nyáron a hegységekben (Alpok, Kárpátok) adták a nagyobb értékeket.

Összességében elmondható, hogy a korábbi eredményekhez (RegCM4.3) képest a csapadék esetén javulás tapasztalható az új (RegCM4.5) modellverzióval készített szimulációkban. Megállapítható továbbá az is, hogy a hidrosztatikus közelítéssel készített szimuláció az új NogTom mikrofizikai sémával adta a pontosabb eredményeket. Ebből arra következtethetünk, hogy a 10 km-es felbontás még nem elég finom ahhoz, hogy a modelldinamika expliciten számolja a csapadékot.

További terveink között szerepel – többek között – az alapértelmezett felszíni séma (BATS<sup>5</sup>) helyett a CLM<sup>6</sup> alkalmazása, illetve a legújabb modellverzió (RegCM4.7) használata.

## Köszönetnyilvánítás

Kutatásainkat támogatta a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alap K-120605 és K-129162 számú projektje, a Széchenyi 2020 program, Magyarország Kormánya és az Európai Regionális Fejlesztési Alap az AgroMo kutatási projekt (GINOP-2.3.2-15-2016-00028) keretében, valamint az Emberi Erőforrások Minisztériuma az ELTE Felsőoktatási Intézményi Kiválósági Program (1783-3/2018/FEKUTSRAT) keretében. A CARPATCLIM Adatbázis előállítását az Európai Közösség támogatta a JRC intézeten keresztül kiírt kutatási program keretében.

## Hivatkozások

- Dickinson, R.E., Errico, R.M., Giorgi, F., Bates, G.T., 1989: A regional climate model for the western United States. *Clim. change*, 15(3): 383–422. <https://doi.org/10.1007/BF00240465>
- Elguindi, N., Bi, X., Giorgi, F., Nagarajan, B., Pal, J., Solmon, F., Rauscher, S., Zakey, A., O'Brien, T., Nogherotto, R., Giuliani, G., 2014: Regional climatic model RegCM Reference Manual version 4.5. ITCP, Trieste, Italy. 37p.
- Emanuel, K.A., 1991: A scheme for representing cumulus convection in large-scale models. *J. Atmospheric Sci.*, 48(21), 2313–2329. [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1991\)048<2313:ASFRCC>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1991)048<2313:ASFRCC>2.0.CO;2)
- Fritsch, J.M., Chappell, C.F., 1980: Numerical prediction of convectively driven mesoscale pressure systems. Part II. Mesoscale model. *J. Atmospheric Sci.*, 37(8): 1734–1762. [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1980\)037<1734:NPOCDM>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1980)037<1734:NPOCDM>2.0.CO;2)

---

<sup>5</sup> Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme

<sup>6</sup> Coupled Land Model

- Grell, G.A., 1993: Prognostic evaluation of assumptions used by cumulus parameterizations. *Mon. Weather Rev.*, 121(3): 764–787. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1993\)121<0764:PEOAUB>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1993)121<0764:PEOAUB>2.0.CO;2)
- Hagemann, S., Botzet, M., Machehauer, B., 2001: The summer drying problem over south-eastern Europe: sensitivity of the limited area model HIRHAM4 to improvements in physical parameterization and resolution. *Physics and Chemistry of the Earth. Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere*, 26(5–6): 391–396. [https://doi.org/10.1016/S1464-1909\(01\)00024-7](https://doi.org/10.1016/S1464-1909(01)00024-7)
- Machehauer, B., Windelband, M., Botzet, M., Christensen, JH., Déqué, M., Jones, RG., Ruti, PM., Visconti, G., 1998: Validation and analysis of regional present-day climate and climate change simulations over Europe. *Max Planck Intitut für Meteorologie Report*, 275, MPI, Hamburg, Germany.
- Nogherotto, R., Tompkins, A.M., Giuliani, G., Coppola, E., Giorgi, F., 2016: Numerical framework and performance of the new multiple-phase cloud microphysics scheme in RegCM4. 5: precipitation, cloud microphysics, and cloud radiative effects. *Geosci. Model Dev.*, 9(7): 2533–2547. <https://doi.org/10.5194/gmd-9-2533-2016>
- Pal, J.S., Small, E.E., Eltahir, EA., 2000: Simulation of regional-scale water and energy budgets: Representation of subgrid cloud and precipitation processes within RegCM. *J. Geophys. Res.: Atmospheres*, 105(D24), 29579–29594. <https://doi.org/10.1029/2000JD900415>
- Pieczka, I., Pongrácz, R., André, K.S., Kelemen, F.D., Bartholy, J., 2017: Sensitivity analysis of different parameterization schemes using RegCM4. 3 for the Carpathian region. *Theor. Appl. Climatol.*, 130(3–4), 1175–1188. <https://doi.org/10.1007/s00704-016-1941-4>
- Seneviratne, S.I., Lüthi, D., Litschi, M., Schär, C., 2006: Land–atmosphere coupling and climate change in Europe. *Nature*, 443(7108): 205. <https://doi.org/10.1038/nature05095>
- Szalai, S., Auer, I., Hiebl, J., Milkovich, J., Radim, T., Stepanek, P., Zahradnicek, P., Bihari, Z., Lakatos, M., Szentimrey, T., Limanowka, D., Kilar, P., Cheval, S., Deak, Gy., Mihic, D., Antolovic, I., Mihajlovic, V., Nejedlik, P., Stastny, P., Mikulova, K., Nabyvanets, I., Skyrýk, O., Krakovskaya, S., Vogt, J., Antofie, T., Spinoni, J., 2013: Climate of the Greater Carpathian Region. *Final Technical Report*. [www.carpatclim-eu.org](http://www.carpatclim-eu.org)
- Sundqvist, H., Berge, E., Kristjansson, J.E., 1989: Condensation and cloud parameterization studies with a mesoscale numerical weather prediction model. *Mon. Weather Rev.*, 117(8): 1641–1657. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1989\)117<1641:CACPSW>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1989)117<1641:CACPSW>2.0.CO;2)
- Taylor, K.E., 2001: Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. *J. Geophys. Res.: Atmospheres*, 106(D7): 7183–7192. <https://doi.org/10.1029/2000JD900719>
- Tiedtke, M., 1993: Representation of clouds in large-scale models. *Mon. Weather Rev.*, 121(11): 3040–3061. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1993\)121<3040:ROCILS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1993)121<3040:ROCILS>2.0.CO;2)
- Torma, C., Coppola, E., Giorgi, F., Bartholy, J., Pongrácz, R., 2011: Validation of a high-resolution version of the regional climate model RegCM3 over the Carpathian basin. *J. Hydrometeor.*, 12(1): 84–100. <https://doi.org/10.1175/2010JHM1234.1>
- 

## ORCID

Kalmár T.  <https://orcid.org/0000-0003-0405-4404>

Pieczka I.  <https://orcid.org/0000-0001-5657-9494>

Pongrácz R.  <https://orcid.org/0000-0001-7591-7989>