

REGIONÁLIS KLÍMAMODELLEZÉS A KÁRPÁT-MEDENCÉRE – ÉRZÉKENYSÉGVIZSGÁLATOK KÜLÖNBÖZŐ CSAPADÉKSÉMÁK ALKALMAZÁSÁVAL

Pongrácz Rita, Bartholy Judit, Pieczka Ildikó, Szabóné André Karolina

ELTE Meteorológiai Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A
e-mail: prita@nimbus.elte.hu, bartholy@caesar.elte.hu,
pieczka@nimbus.elte.hu, karol@nimbus.elte.hu

Bevezetés

A jövőben várható éghajlat becsléséhez a legelső lépés általában a globális klímamodellek (GCM-ek) alkalmazása, melyekkel a teljes Földre vonatkozóan lehetséges az éghajlati rendszer elemeinek fizikai alapú leírása. Napjainkra ezek a GCM-ek meglehetősen finom – akár 1–2°-os – térbeli felbontással futtathatók, ám kisebb régiók részletesebb elemzéséhez a kapott eredmények további finomítása, leskálázása szükséges. Ez történhet dinamikai vagy statisztikai közelítés alkalmazásával. Tanszéki kutatásaink során az előbbit választottuk: regionális éghajlati modellek (RCM-ek) felhasználásával a Kárpát-medence térségére vonatkozó scenáriókat elemeztünk (pl.: Bartholy et al., 2007, 2008; Pongrácz et al., 2011), valamint az általunk adaptált RCM-ekkel készítettünk hazánkra fókuszáló éghajlati becsléseket (pl.: Bartholy et al., 2008, 2010, 2012; Torma et al., 2008, 2011; Pieczka et al., 2011).

Ebben a cikkben a RegCM klímamodellel végzett érzékenységvizsgálat eredményeit mutatjuk be. Az elemzés célja, hogy a konvektív csapadéokra vonatkozó parametrizációs beállítások közül kiválasszuk azt, amelyik a leginkább alkalmazható a Kárpát-medence térségében. Ezzel kívánjuk folytatni hosszabb időtávra, a XXI. század végéig a modell-futtatást. A konkrét hatásvizsgálatok, további elemzések elősegítése érdekében kapott eredményeink az RCMTÉR¹ alrendszer egyik elemeként bekerülnek a fokozatosan kiépülő hazai NATÉR² rendszerbe.

A felhasznált regionális éghajlati modell

A RegCM korlátos tartományú hidrosztatikus éghajlati modellt eredetileg az NCAR³-ban fejlesztették ki (Giorgi et al., 1993a, 1993b), s jelenleg a Triesztben működő ICTP⁴ közvetítésével hozzáférhető kutatási célokra. A RegCM4.3 modellverzió (Elguindi et al., 2011) a korábbiakhoz képest új felszíni, planetáris határréteg és légkör-tengerfelszín fluxus sémákat tartalmaz, továbbá az eddigi sugárzás-átviteli és határréteg sémák is módosításra kerültek. A modellben többféle konvektív séma (Anthes, 1977; Grell, 1993; Emanuel, 1991; Emanuel és Zivkovic-Rothman, 1999) is megtalálható, s a legújabb verzióban ezek ún. „kevert módban” történő alkalmazása is lehetséges. A jelenlegi modell már párhuzamos futtatásra is alkalmas, ami lényeges tulajdonság a futtatások minél rövidebb gépidő alatt történő kivitelezéséhez.

Vizsgálataink végső célja a jövőben várható éghajlat – globális modellekhez képest – részletesebb leírására alkalmas regionális éghajlati modellfuttatás elvégzése. Ennek keretében a múltra és a jövőre vonatkozó modell-szimulációkat készítünk a RegCM regionális éghajlati

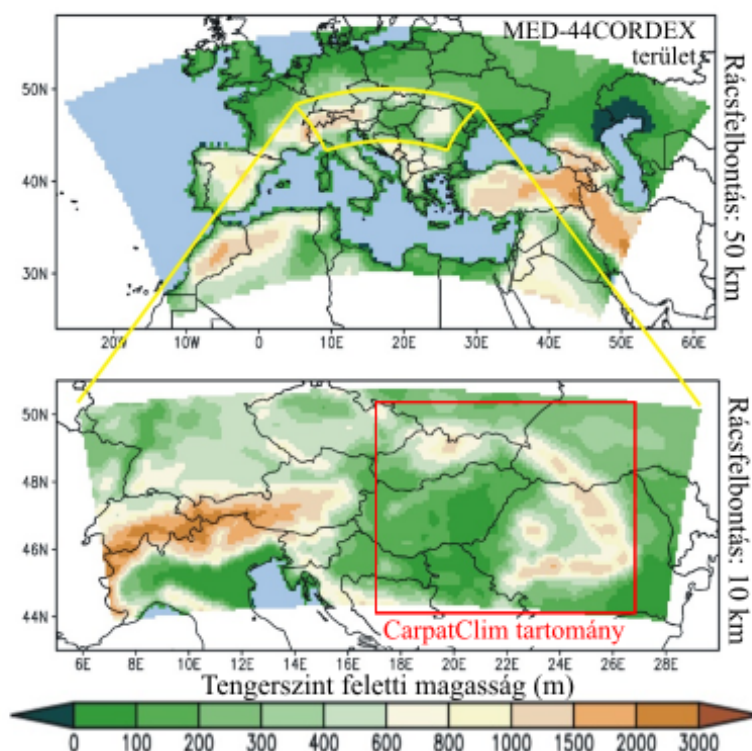
¹ A sugárzási kényszer változásán alapuló új éghajlati scenáriók a Kárpát-medence térségére

² Nemzeti Alkalmazkodási Térinformatikai Rendszer

³ National Center for Atmospheric Research (amerikai Nemzeti Léggörkutató Központ)

⁴ Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics (Nemzetközi Elméleti Fizikai Központ)

modell felhasználásával. A Kárpát-medence térségére fókuszáló modellfuttatásainkhoz első lépésként 50 km-es horizontális felbontással végzünk modellszimulációkat. Ez a viszonylag durvább rácsfelbontás hazánk mérete miatt még nem alkalmas arra, hogy éghajlatváltozási hatástanulmányokat alapozzon meg, azonban megfelelő peremfeltételeket szolgáltat a további dinamikus alapú leskálázáshoz. Az 50 km-es felbontásban előálló eredményeinket tehát a finomabb, 10 km-es felbontású szimulációk készítéséhez használjuk fel (1. ábra), amelyekre a hazai végfelhasználók igényt tartanak a hatástanulmányok, adaptációs vizsgálatok készítéséhez.



1. ábra: Az 50 km-es (fent) és a 10 km-es (lent) horizontális felbontású modellszimulációkban alkalmazott tartomány domborzata

A RegCM-szimulációk outputjainak a kiválasztott csapadéksémákra való érzékenységét az 1981–1990 időszakra vonatkozóan vizsgáltuk. Az 50 km-es felbontású szimulációhoz az ERA-Interim reanalízis adatok biztosították a kezdeti- és oldalsó peremfeltételeket, melybe beágyazva hajtottuk végre 10 km-es futtatásainkat. Elemzéseink során a RegCM-futtatáshoz beállítható sémák közül a módosított Kuo (Anthes, 1977), valamint a kevert MIT-Emanuel/Grell sémát alkalmaztuk 10 km-es horizontális felbontás mellett. A kevert sémában a tengeri felszínnek esetén az MIT-Emanuel közelítés (Emanuel, 1991; Emanuel and Zivkovic-Rothman, 1999) szerepel, a szárazföldi felszínnek felett viszont a Grell (1993) sémával számolunk. Ez utóbbi esetén kétféle lezárást alkalmaztunk: AS (Arakawa and Schubert, 1974; Grell et al., 1994) és FC (Fritsch and Chappell, 1980). A bemenő adatokat biztosító durvább – 50 km-es – felbontású szimuláció készítéséhez a kevert MIT-Emanuel/Grell sémát használtuk FC lezárással.

Az alkalmazott sémák fő tulajdonságai az alábbiakban foglalhatók össze.

(1) A Kuo sémában a konvekció akkor indul meg, amikor egy instabil légoszlopban a nedvesség-konvergencia elér egy bizonyos küszöbértéket. Ez a közelítés viszonylag egyszerű és általában durvább felbontáson jobban működik, mint finomabb felbontáson (Elguindi et al., 2011).

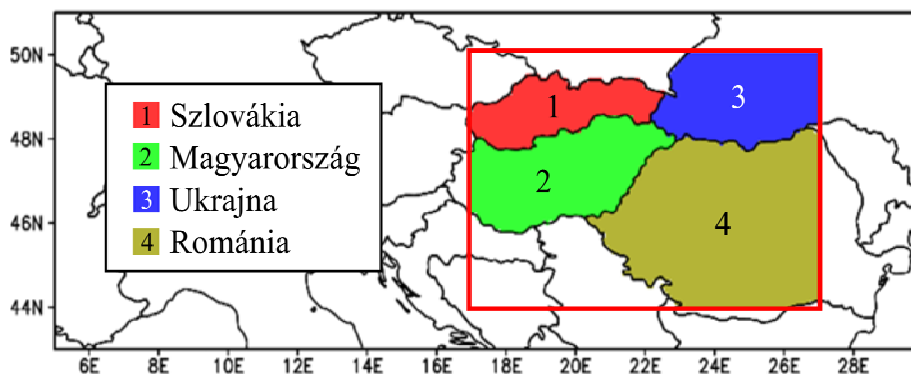
(2) A Grell sémában a felhők leírására két stabil cirkulációt használnak: egy felszálló, illetve egy leszálló áramlást. Amikor egy telített légréteg emelkedik, akkor megtörténik a kondenzáció. Az ehhez a sémához alkalmazott két lezárás közötti fő különbség az, hogy az AS lezárás a konvektív fluxusokat és a csapadékot a légkör állapotának változásával kapcsolja össze, míg az FC lezárás a konvektív fluxusok és a légkör instabilitási foka közötti összefüggést használja fel.

(3) Az MIT-Emanuel közelítésben a konvekció akkor következik be, amikor a semleges felhajtóerő szintje a felhőalap felett található.

Az MIT-Emanuel séma a szárazföldi felszínek felett általában felülbecsüli a csapadékot, a Grell séma pedig a trópusi óceánok felett kevésbé pontos (Davis et al., 2009). Emiatt lehet érdemes a két séma kombinációjaként beépített kevert MIT-Emanuel/Grell sémát használni.

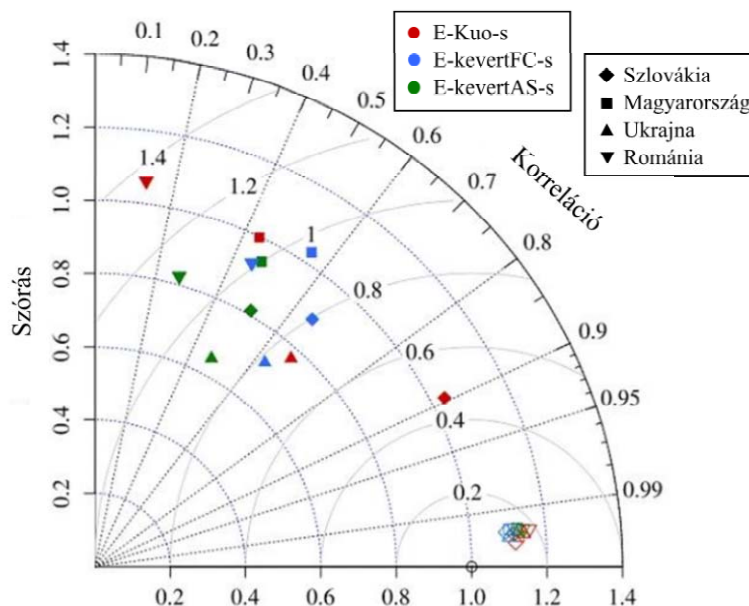
Az érzékenységvizsgálat eredményei

Elemzéseink során 10 évre vonatkozó átlagos éves, illetve évszakos hibákat vizsgáltunk a hőmérsékletre és a csapadékösszegre, melyek alapján megállapítható, hogy a RegCM szimulációk általánosságban véve melegebb és szárazabb nyarakat, valamint az év többi részében összességében több csapadékot becsülnek a CarpatClim (Spinoni et al., 2015) referencia adataihoz képest. Az egyes beállítások közötti különbségek az átlagos hibamezők áttekintésével nehezen meghatározhatók, ezért a komplexebb elemzést lehetővé tevő Taylor-diagramok (Taylor, 2001) felhasználásával végeztünk további elemzéseket. Ehhez a CarpatClim adatbázis által lefedett tartományba eső négy régió – Szlovákia, Magyarország, DNy-Ukrajna és Románia – területi átlagait tekintettük (2. ábra).



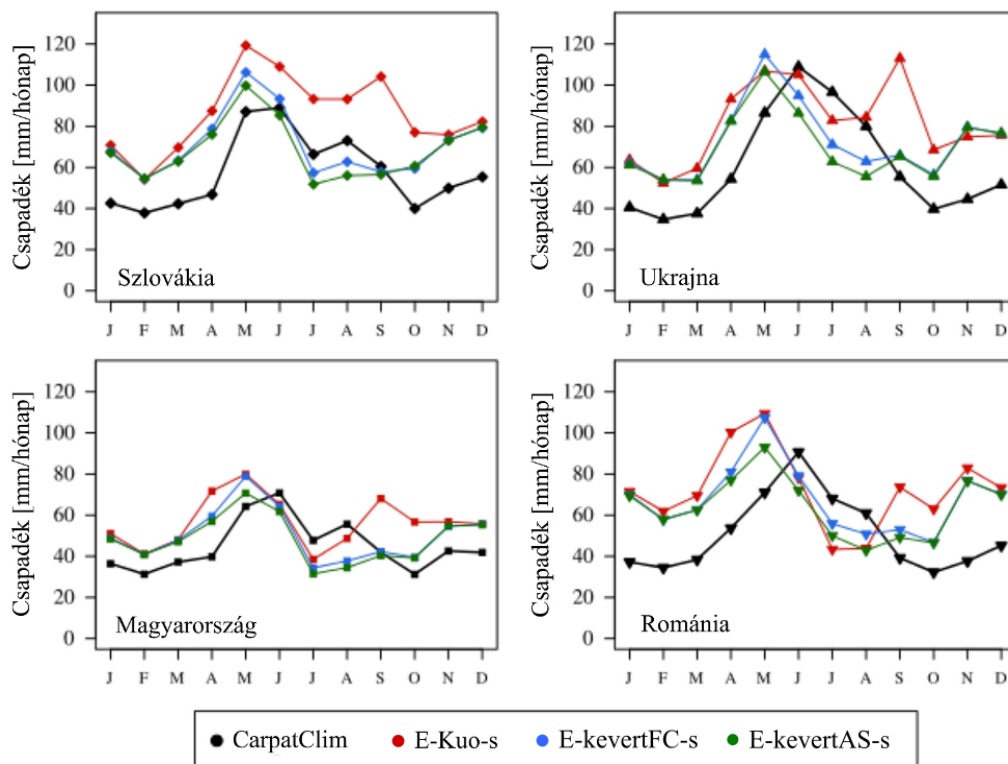
2. ábra: A 10 km horizontális felbontású szimulációk esetén a vizsgált régiók megjelenése a teljes integrálási tartományon belül

A havi átlaghőmérsékletek és átlagos csapadékösszegek időbeli menetét elemző Taylor-diagram a 3. ábrán látható. Erről egyértelműen leolvasható, hogy a hőmérséklet (üres szimbólumok) esetében mindhárom beállítással hozzávetőlegesen egyforma a modell-szimuláció hibája, továbbá az is jól látszik, hogy ez a hiba összességében nem számottevő. A csapadék esetében a Kuo parametrizáció alkalmazásával (piros teli szimbólumok) jól elkülönül a négy régió, ami a hiba területi változékonyságára utal. A modellszimuláció Szlovákia területére eredményezte a legpontosabb csapadékbecsléseket ezzel a parametrizációval. A MIT-Emanuel/Grell parametrizációt vizsgálva azt mondhatjuk, hogy mind a négy régió esetében az FC lezárás alkalmazásával kaptunk pontosabb becslést a Taylor-diagramon megjelenített mindhárom mérőszám (korrelációs együttható, szórás, négyzetes hiba) tekintetében.



3. ábra: A csapadéksémákkal kapcsolatos érzékenységvizsgálat: a havi átlaghőmérséklet (üres szimbólumok) és csapadékösszeg (teli szimbólumok) időbeli menetének Taylor-diagramja (1981–1990)

A fenti komplex jellemzés mellett megvizsgáltuk a havi csapadékösszegek éven belüli átlagos menetét (4. ábra). A CarpatClim adatai alapján mind a négy vizsgált régióban általában a nyári félévben nagyobbak, a téli félévben kisebbek a havi csapadékok. A maximális havi csapadékmennyiség júniusra tehető. A modell-szimulációk összességében alulbecsülik a nyári csapadékösszegeket, a többi időszakban pedig felülbecsülnek.



4. ábra: A csapadéksémákkal kapcsolatos érzékenységvizsgálat: az átlagos havi csapadékösszegek éven belüli eloszlása (1981–1990)

Szlovákiában a Kuo parametrizáció alkalmazásával egész évben felülbecslést tapasztalunk. Ugyancsak a Kuo-féle parametrizáció esetén Ukrajnában a szeptemberi csapadékösszegre a többi becsléshez képest szokatlanul nagy felülbecslést kapunk. Ennél a szimulációnál a másik három régióban is megfigyelhető a relatíve magasabb becsült szeptemberi csapadékösszeg, de nem annyira feltűnő az eltérés, mint Ukrajnában. A Kuo-féle parametrizációval ellentétben a kevert MIT-Emanuel/Grell séma mindkét lezárással alkalmazva elfogadhatóan reprodukálta a csapadék évi menetét, a referencia adatokhoz képest egy hónapos előbbre tolódás figyelhető meg mind a négy vizsgált régióban: a júniusi helyett májusi csapadékmaximummal. Habár a tavaszi felülbecslés magasabb, a nyári alulbecslés egyértelműen kisebb mértékű az egész Kárpát-régióban az FC lezárás esetén, mint az AS lezárással.

A csapadék évi menetére kapott eredmények megerősítik a Taylor-diagram (3. ábra) alapján levonható következtetést, amely szerint összességében a regionális éghajlati viszonyok legpontosabb leírása a kevert MIT-Emanuel/Grell konvektív csapadék parametrizációs séma, FC lezárással történő alkalmazásával érhető el. Éppen ezért a további munkánk során ezt a modellfuttatást fogjuk vizsgálni hosszabb időszakra integrálva.

Köszönetnyilvánítás

Kutatásaink az Európai Gazdasági Térség (EGT) Támogatási Alap „Alkalmazkodás az Éghajlatváltozáshoz” Program (EEA-C13-10) támogatta. A validációs adatokat a CarpatClim Adatbázis szolgáltatta, amelynek előállítását az Európai Közösség támogatta a JRC intézeten keresztül kiírt kutatási program keretében.

Hivatkozások

- Anthes, R.A., 1977: A cumulus parameterization scheme utilizing a one-dimensional cloud model. *Mon. Wea. Rev.*, 105: 270–286.
- Arakawa, A., Schubert, W.H., 1974: Interaction of a cumulus cloud ensemble with the large scale environment. Part I. *J. Atmos. Sci.*, 31: 674–701.
- Bartholy, J., Pongrácz, R., Gelybó, Gy., 2007: Regional climate change expected in Hungary for 2071–2100. *Applied Ecology and Environmental Research*, 5: 1–17.
- Bartholy, J., Pongrácz, R., Gelybó, Gy., 2008: Milyen mértékű éghajlatváltozás várható a Kárpát-medencében? *Léggör*, 53/2: 19–24.
- Bartholy, J., Pongrácz, R., Torma, Cs., Pieczka, I., Kardos, P., Hunyady, A., 2009: Analysis of regional climate change modelling experiments for the Carpathian basin. *Int. J. Global Warming*, 1: 238–252.
- Bartholy, J., Pongrácz, R., Torma, Cs., 2010: A Kárpát-medencében 2021–2050-re várható regionális éghajlatváltozás RegCM-szimulációk alapján. *Klíma-21 Füzetek*, 60: 3–13.
- Bartholy, J., Pongrácz, R., Práger, T., Pieczka, I., Torma, Cs., Kelemen, F., 2012: Regionális klímamodellek adaptációja, parametrizációs kísérletei a Kárpát-medence térségére. *Léggör*, 57: 150–152.
- Davis, N., Bowden, J., Semazzi, F., Xie, L., Önal, B., 2009: Customization of RegCM3 regional climate model for eastern Africa and a tropical Indian Ocean domain. *J. Climate*, 22: 3595–3616.
- Elguindi, N., Bi, X., Giorgi, F., Nagarajan, B., Pal, J., Solmon, F., Rauscher, S., Zakey, A., Giuliani, G., 2011: Regional climatic model RegCM user manual version 4.3. 32p. ITCP, Trieste, Italy.
- Emanuel, K.A., 1991: A scheme for representing cumulus convection in large-scale models. *J. Atmos. Sci.*, 48: 2313–2335.
- Emanuel, K.A., Zivkovic-Rothman, M., 1999: Development and evaluation of a convection scheme for use in climate models. *J. Atmos. Sci.*, 56: 1766–1782.
- Fritsch, J.M., Chappell, C.F., 1980: Numerical prediction of convectively driven mesoscale pressure systems. Part I: Convective parameterization. *J. Atmos. Sci.*, 37: 722–733.

- Giorgi, F., Marinucci, M.R., Bates, G.T., 1993a: Development of a second generation regional climate model (RegCM2). Part I: Boundary layer and radiative transfer processes. *Mon. Wea. Rev.*, 121: 2794–2813.
- Giorgi, F., Marinucci, M.R., Bates, G.T., DeCanio, G., 1993b: Development of a second generation regional climate model (RegCM2). Part II: Convective processes and assimilation of lateral boundary conditions. *Mon. Wea. Rev.*, 121: 2814–2832.
- Grell, G.A., 1993: Prognostic evaluation of assumptions used by cumulus parameterizations. *Mon. Wea. Rev.*, 121: 764–787.
- Grell, G.A., Dudhia, J., Stauffer, D.R., 1994: Description of the fifth generation Penn State/NCAR Mesoscale Model (MM5), Tech. Rep. TN-398+STR, NCAR, Boulder, Colorado, USA. 121p.
- Pieczka, I., Pongrácz, R., Bartholy, J., 2011: Comparison of simulated trends of regional climate change in the Carpathian Basin for the 21st century using three different emission scenarios. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica*, 7: 9–22.
- Pongrácz, R., Bartholy, J., Miklós, E., 2011: Analysis of projected climate change for Hungary using ENSEMBLES simulations. *Applied Ecology and Environmental Research*, 9: 387–398.
- Spinoni, J., Szalai, S., Szentimrey, T., Lakatos, M., Bihari, Z., Nagy, A., Németh, Á., Kovács, T., Mihic, D., Dacic, M., Petrovic, P., Kržič, A., Hiebl, J., Auer, I., Milkovic, J., Štěpánek, P., Zahradníček, P., Kilar, P., Limanowka, D., Pyrc, R., Cheval, S., Birsan, M.-V., Dumitrescu, A., Deak, G., Matei, M., Antolovic, I., Nejedlik, P., Štastný, P., Kajaba, P., Bochníček, O., Galo, D., Mikulová, K., Nabyvanets, Y., Skrynyk, O., Krakovska, S., Gnatiuk, N., Tolasz, R., Antofie, T., Vogt, J., 2015: Climate of the Carpathian Region in the period 1961–2010: climatologies and trends of 10 variables. *Int. J. Climatol.*, 35: 1322–1341. doi: 10.1002/joc.4059
- Taylor, K.E., 2001: Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. *J. Geophys. Res.: Atmospheres* (1984–2012), 106(D7): 7183–7192.
- Torma, Cs., Bartholy, J., Pongrácz, R., Barcza, Z., Coppola, E., Giorgi, F., 2008: Adaptation and validation of the RegCM3 climate model for the Carpathian Basin. *Időjárás*, 112: 233–247.
- Torma, Cs., 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. Hydrometeorology*, 12: 84–100.