

A MODELLTARTOMÁNY MEGVÁLASZTÁSÁNAK HATÁSA WRF REGIONÁLIS KLÍMASZIMULÁCIÓKRA

Varga Ákos János , Breuer Hajnalka 

ELTE Eötvös Loránd Tudományegyetem, Földrajz- és Földtudományi Intézet,
Meteorológiai Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A
e-mail: vakos94@staff.elte.hu, breuer.hajnalka@ttk.elte.hu

Bevezetés

Számos tanulmány kimutatta, hogy a modellezési tartomány mérete és elhelyezkedése jelentős hatást gyakorol egy numerikus szimuláció eredményeire (pl. Leduc & Laprise, 2009). Ennek megfelelően a regionális éghajlati modellek hosszú távú integrálása előtt a különböző fizikai-dinamikai beállítások tesztelése mellett érdemes vizsgálatokat végezni a modellterület (ún. domain) megválasztására is.

Az amerikai fejlesztésű WRF¹ modell (Skamarock et al., 2019) regionális klímamodellként történő adaptálását a Kárpát-medence térségére korábban megkezdtuk (Varga & Breuer, 2020). A legjobban teljesítő konfiguráció kiválasztása érdekében kísérleteztünk többek között fizikai parametizációkkal, a vertikális modellszintek számával, a hidrosztatikus és a nemhidrosztatikus dinamikai maggal. Az érzékenységvizsgálatok után az optimálisnak bizonyult beállításokkal múltbeli verifikációs szimulációt készítettünk az 1985–2010 időszakra, 50 és 10 km-es ráctávolság mellett (Varga & Breuer, 2022). Az eredmények javítása érdekében azonban további tesztfuttatások váltak szükségessé, amelyek főként a domain felülvizsgálatára irányultak.

A tanulmányban bemutatjuk, hogy a modelltartomány megválasztása milyen hatást gyakorol a WRF regionális éghajlati modell szimulációs eredményeire. Ehhez rövid és hosszú távú futtatásokat egyaránt felhasználunk.

WRF szimulációk

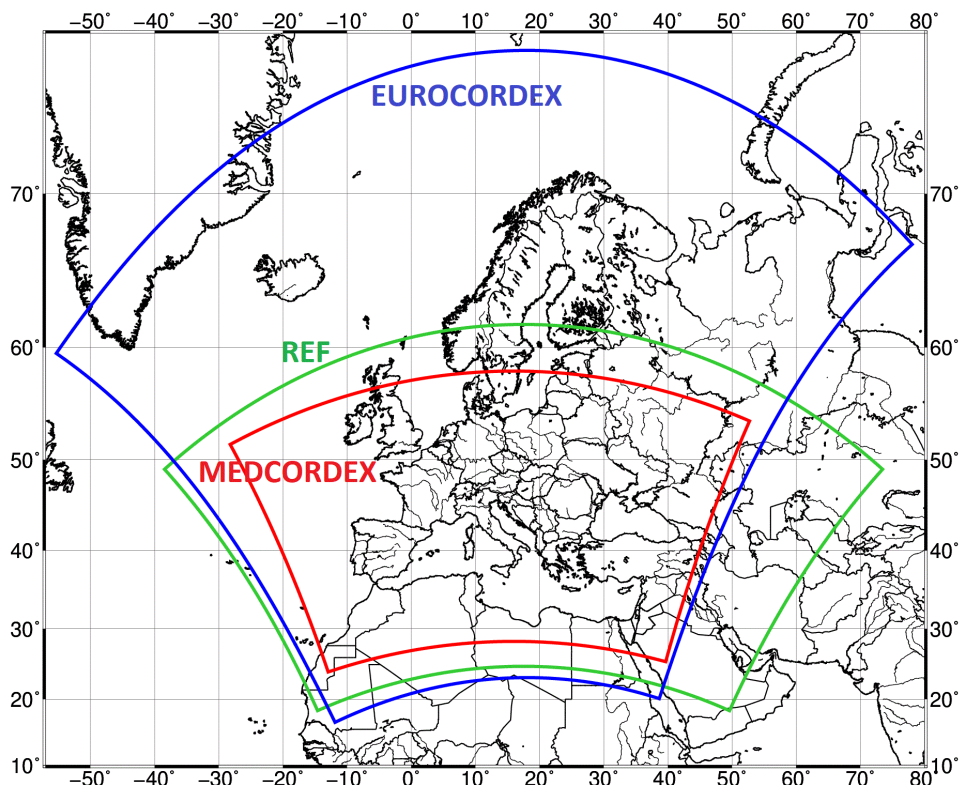
A WRFv4.2 egy mezoskálájú, nemhidrosztatikus, a teljesen összenyomható Euler-egyenleteket megoldó légköri numerikus modell (Skamarock et al., 2019). A regionális éghajlati szimulációk vertikálisan 61 hibrid σ -p modellszint alkalmazásával készültek. A hatóránként csatolt kezdeti- és peremfeltételeket a korlátos tartományú modell számára az ECMWF² ERA5 reanalízis adatbázisából (Hersbach et al., 2020) származtattuk. A modelltartomány megválasztásának hatását először rövid (egy évre vonatkozó), majd hosszú távú (26 évet lefedő) szimulációkon keresztül vizsgáltuk. A kísérletek során a fizikai parametizációkon és az egyéb modellbeállításokon nem változtattunk.

Érzékenységvizsgálat keretében elsőként az 1994-es évre készítettünk rövid távú futtatásokat három eltérő tartomány használatával, 50 km-es ráctávolság mellett (*1. ábra*). A tanulmányban referenciának (REF) nevezzük a korábban elkészült, 1985–2010 időszakra vonatkozó verifikációs szimuláció által lefedett területet, amely 144×82 rácpontból áll. Célként tűztük ki a referencia futtatás eredményeinek javítását. Ennek érdekében két további, a nemzetközi regionális éghajlati kutatásokban gyakran használt modelltartományt teszteltünk: az EUROCORDERX (Jacob et al., 2020) és a MEDCORDEX (Ruti et al., 2016) domain-t, melyek rendre 126×123 és 110×69 rácpontot tartalmaznak.

¹ Weather Research and Forecasting

² European Centre for Medium-Range Weather Forecasts – Európai Középtávú Előrejelző Központ

Második lépésként az egy évre vonatkozó érzékenységi szimulációk eredményeinek ismeretében újból elkészítettük a hosszú távú múltbeli időszakra (1985–2010) vonatkozó futtatást azon a modelltartományon, amelyen a legjobb teljesítményt tapasztaltuk. Ez által elemezni tudjuk a domain megválasztásának hatását egy hosszabb, 26 évet lefedő időszak során is.

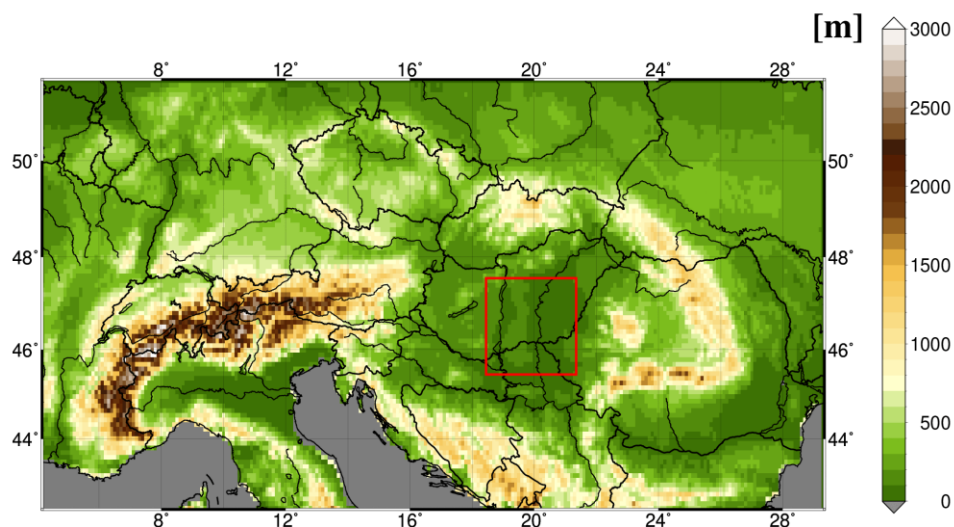


1. ábra: A vizsgált modellezési tartományok.
Zöld: referencia (REF), kék: EUROCORDEX, piros: MEDCORDEX.

Mérési adatok

A WRF modell által szimulált felszíni (2 m-es) hőmérséklet, csapadékösszeg, globálsugárzás és relatív nedvesség mezőket az E-OBSv23.1e (Cornes et al., 2018) és a Carpatclim (Spinoni et al., 2015) rácsponti megfigyelési adatbázisokkal hasonlítottuk össze, melyek ráctávolsága $0,1^\circ$ -os. Mindkét adatbázis in-situ megfigyeléseken alapul és napi időbeli felbontású.

Az összehasonlításhoz a mért és a modellezett adatokat egy közös, $0,5^\circ$ -os felbontású szabályos rácstra interpoláltuk. Az eredményeket mezőátlagok formájában mutatjuk be, melyeket egy alföldi jellegű területre számítottunk (2. ábra).

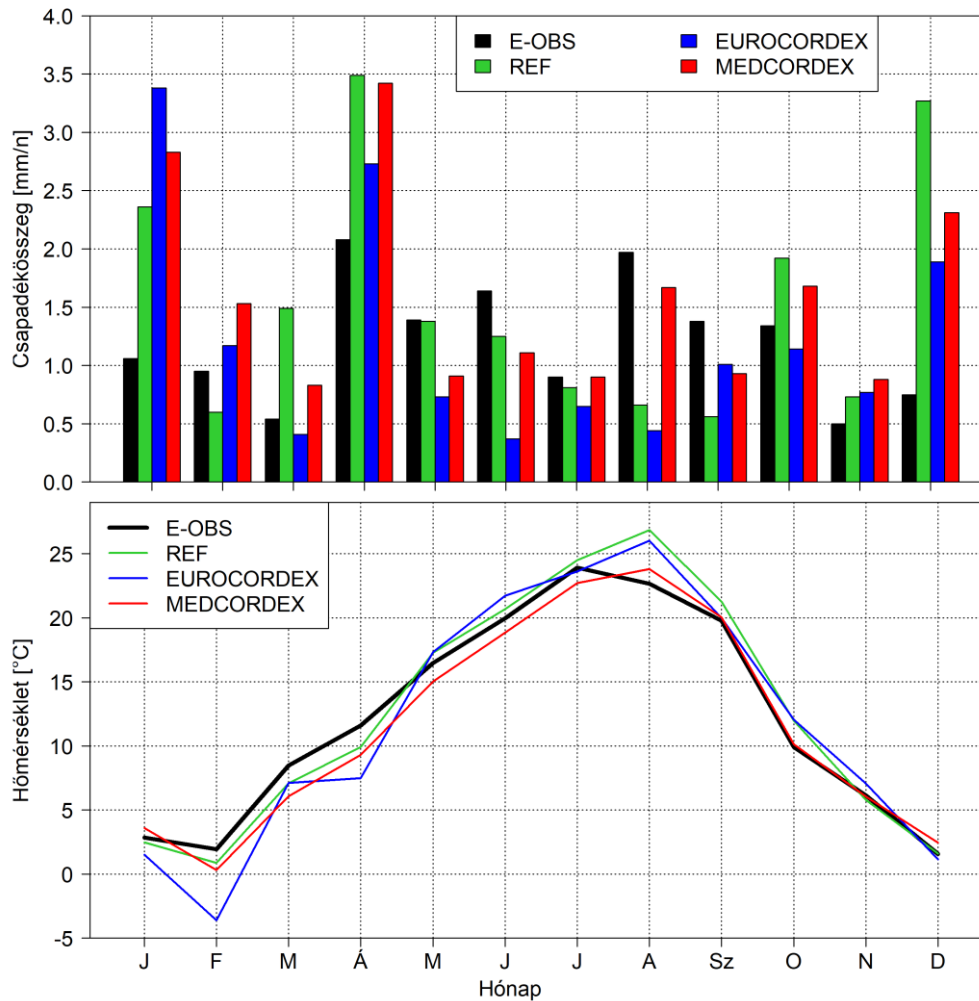


2. ábra: A regionális éghajlati szimulációk feldolgozási területe a 0,1°-os E-OBS rács tengerszint feletti magasság értékeivel. Piros téglalap jelöli a mezőátlagok területét (k. h. 18.375°–21.375°, é. sz. 45.375°–47.625°).

Eredmények

Elsőként az 1994-re vonatkozó érzékenységi szimulációk eredményeit mutatjuk be. A napi átlagos csapadékösszeg és a hőmérséklet éves menete nagy érzékenységet mutat a modelltartomány-konfigurációra (3. ábra).

Korábbi vizsgálatainkban a tavasz végi és a nyári csapadék alábecslését, ezzel párhuzamosan a hőmérséklet és a globálsugárzás felülbecslését tapasztaltuk (Varga & Breuer, 2022). Ennek megfelelően fő célként a nyári évszak éghajlati jellemzőinek minél pontosabb reprodukálását tűztük ki. A legjelentősebb csapadékhiány a legnagyobb méretű (EUROCORDEX) tartományon áll elő, májustól egészen októberig (3. ábra). Augusztusban például az EUROCORDEX szimuláció 1,53 mm/nappal alábecsüli az E-OBS adatbázisból származó referenciaértéket. Ezzel szemben a legkisebb, MEDCORDEX tartományon az alábecslés nagysága mindössze 0,3 mm/nap. Az őszi és a téli hónapokban minden konfigurációval túl sok csapadékot generál a WRF, de a felülbecslés mértéke eltérő az egyes futtatások között. A hőmérsékletre vonatkozó eredményeket tekintve elmondható, hogy a MEDCORDEX tartományon a legkisebb a nyári felülbecslés. Az EUROCORDEX szimuláció januárban és februárban a másik kettőnél nagyobb mértékben becsüli alá a hőmérsékletet. Megállapítható tehát, hogy a nyári évszakban a legkisebb domain használata enyhíti, míg a legnagyobb erősíti a modellhibákat. Mindezek következtében úgy döntöttünk, hogy a hosszú távú (1985–2010) múltbeli futtatásokat a MEDCORDEX tartományon készítjük el újból.

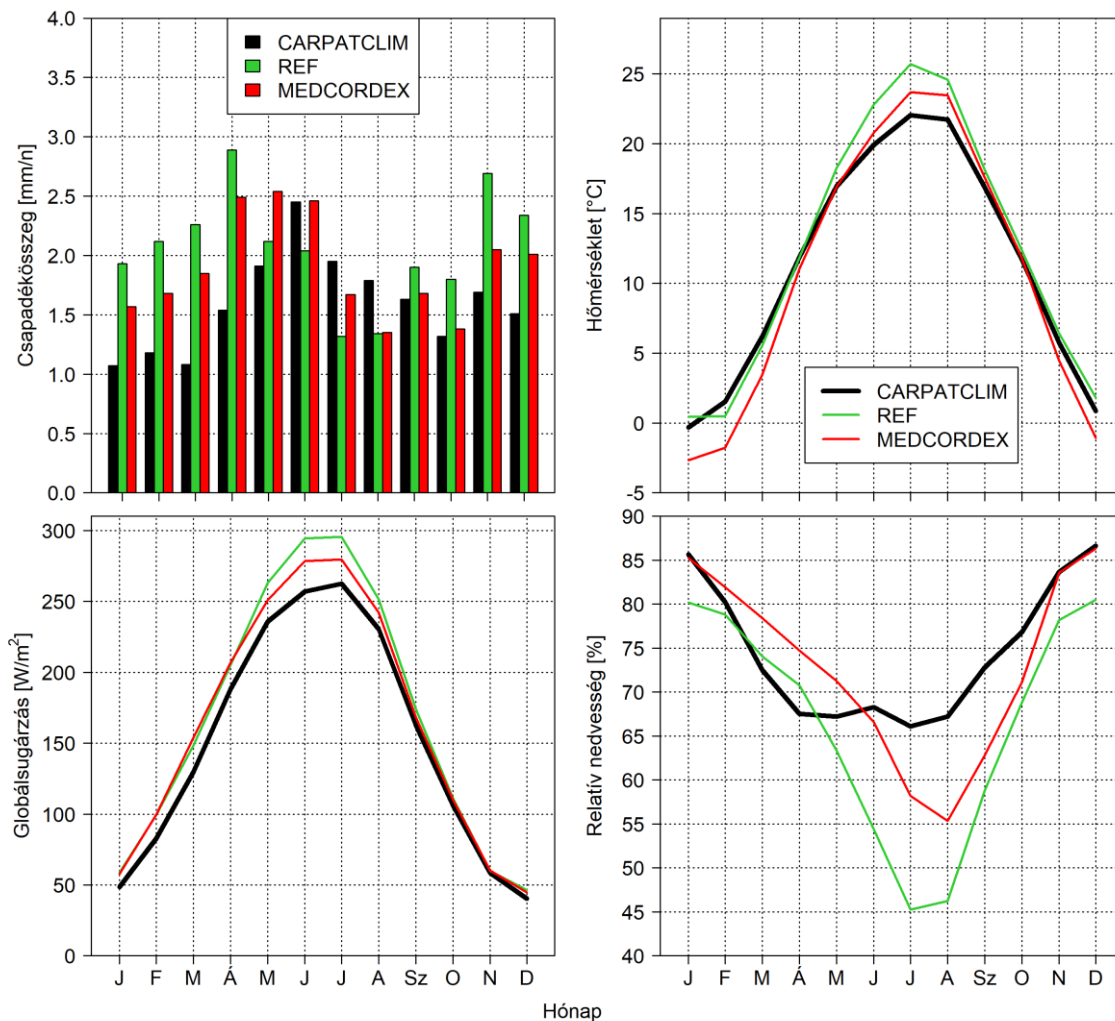


3. ábra: Napi csapadékösszeg (fent) és hőmérséklet (lent) havi átlagértékei az 1994-es évben az E-OBS mérések és a WRF modellszimulációk alapján ($\Delta x = 50$ km).

Amint azt az 1994-re vonatkozó érzékenységvizsgálat előrevetítette, a MEDCORDEX domain a hosszú távú, 26 évet lefedő verifikációs szimuláció eredményeinek tekintetében is jelentős javulást tudott elérni a referencia futtatáshoz képest (4. ábra).

Az 1985–2010 időszakra számított csapadékhibák az év legtöbb hónapjában kb. 0,5 mm/nappal csökkentek a MEDCORDEX tartományon a referenciával összevetve. A hőmérséklet és a globálisugárzás túlbecslése szintén kisebb mértékű lett a legmelegebb hónapokban, rendre 1,5–2 °C-kal és 10–20 W/m²-rel. Télen és kora tavasszal azonban 2–3 °C-kal hidegebb a WRF szimuláció a Carpatclim mérésekhez képest, míg korábban, a referencia domain esetében nem fordult elő jelentős alábecslés. Tavasz végén és nyáron a felszínközeli relatív nedvesség alábecslése egyes hónapokban akár 10%-ot meghaladó mértékben is csökkent. Júniusban és júliusban a MEDCORDEX futtatás csapadékhibái alacsonyabbak a korábbi (REF) tartomány eredményeivel összehasonlítva. Habár augusztusban mindkét szimulációnál 0,5 mm/nap körüli alábecslés tapasztalható, összességében a nyári évszakban kisebbek lettek a modellhibák a MEDCORDEX domain használata mellett. Megjegyezzük azonban, hogy a fő hibakarakterisztikák, mint a csapadék és a relatív nedvesség alábecslésében megnyilvánuló túlzott nyári szárazság, illetve ezzel párhuzamosan a hőmérséklet és a beérkező napsugárzás túlbecslése kisebb mértékben ugyan, de továbbra is fennálló probléma. További tesztfuttatások szükségesek, hogy a nyári szárazsági problémát csökkenteni tudjuk (például eltérő mélykonvekciós és planetáris

határréteg parametrizációs sémák használatával). A múltbeli verifikációs szimulációt 10 km-es rácsávolsággal is elkészítjük, amely várhatóan további javulást fog eredményezni a modellteljesítmény tekintetében.



4. ábra: Napi csapadékösszeg (balra fent), hőmérséklet (jobbra fent), globálisugárzás (balra lent) és relatív nedvesség (jobbra lent) havi átlagértékei az 1985–2010 időszakban a Carpatclim mérések és a WRF modellszimulációk alapján ($\Delta x = 50$ km).

Összefoglalás

Rövid (az 1994-es évre vonatkozó) és hosszú távú (az 1985–2010 időszakot lefedő) WRF regionális klímaszimulációkon keresztül vizsgáltuk a modelltartomány megválasztásának hatását a különböző éghajlati paraméterek reprezentációjára. A modellezett hőmérséklet, csapadékösszeg, globálisugárzás és relatív nedvesség értékeket az E-OBS és a Carpatclim mérési adatbázisokkal vetettük össze verifikáció céljából.

Eredményeink szerint a WRF éghajlati modell nagy érzékenységet mutat az alkalmazott tartománykonfigurációra. A legjobb eredményeket a legkisebb, ún. MEDCORDEX domain használata mellett kaptuk, míg a nagyobb modelltartományok rosszabb teljesítményhez vezettek. Céljainknak megfelelően különösen a nyári időszakban tudtunk javulást elérni a modellezett éghajlati paraméterek pontosságában, azonban a hibákat nem sikerült teljesen

kiküszöbölni. Ennek megfelelően további vizsgálatok szükségesek finomabb felbontás és eltérő fizikai parametrizációs sémák használatával.


Köszönetnyilvánítás

A tanulmány az OTKA FK132014 pályázat támogatásával készült. Breuer Hajnalka munkáját a Bolyai János Kutatási Ösztöndíj támogatta.

Hivatkozások

- Cornes, R. C., van der Schrier, G., van den Besselaar, E. J., Jones, P. D., 2018: An ensemble version of the E-OBS temperature and precipitation data sets. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 123(17): 9391-9409. <https://doi.org/10.1029/2017JD028200>
- Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., et al., 2020: The ERA5 global reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 146(730): 1999-2049. <https://doi.org/10.1002/qj.3803>
- Jacob, D., Teichmann, C., Sobolowski, S., et al., 2020: Regional climate downscaling over Europe: perspectives from the EURO-CORDEX community. *Regional environmental change*, 20(2): 1-20. <https://doi.org/10.1007/s10113-020-01606-9>
- Leduc, M., Laprise, R., 2009: Regional climate model sensitivity to domain size. *Climate Dynamics*, 32(6): 833-854. <https://doi.org/10.1007/s00382-008-0400-z>
- Ruti, P. M., Somot, S., Giorgi, F., et al., 2016: MED-CORDEX initiative for Mediterranean climate studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 97(7): 1187-1208. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-14-00176.1>
- Skamarock, W. C., Klemp, J. B., Dudhia, J., Gill, D. O., Liu, Z., Berner, J., Wang, W., Powers, J. G., Duda, M. G., Barker, D. M., Huang, X.-Y., 2019: A Description of the Advanced Research WRF Model Version 4. NCAR Tech Note NCAR/TN-556+STR, Mesoscale and Microscale Meteorology Division, Boulder CO, USA, 162 p. <https://doi.org/10.5065/1dfh-6p97>
- Spinoni, J., Szalai, S., Szentimrey, T., et al., 2015: Climate of the Carpathian Region in the period 1961–2010: climatologies and trends of 10 variables. *International Journal of Climatology*, 35(7): 1322-1341. <https://doi.org/10.1002/joc.4059>
- Varga, Á. J., Breuer, H., 2020: Sensitivity of simulated temperature, precipitation, and global radiation to different WRF configurations over the Carpathian Basin for regional climate applications. *Climate Dynamics*, 55: 2849–2866. <https://doi.org/10.1007/s00382-020-05416-x>
- Varga, Á. J., Breuer, H., 2022: Evaluation of convective parameters derived from pressure level and native ERA5 data and different resolution WRF climate simulations over Central Europe. *Climate Dynamics*, 58(5): 1569-1585. <https://doi.org/10.1007/s00382-021-05979-3>
-

ORCID

Varga Á. J.  <https://orcid.org/0000-0003-2033-2689>
Breuer H.  <https://orcid.org/0000-0002-0271-095X>