

A WRF-CHEM MODELL TESZTELÉSE PONTFORRÁSBÓL SZÁRMAZÓ LÉGSZENNYEZŐ TERJEDÉSÉNEK VIZSGÁLATÁRA

Kovács Attila¹, Mészáros Róbert¹, Leelőssy Ádám¹, Lagzi István László²

1: ELTE Meteorológiai Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A

2: BMGE Fizikai Intézet, 1111 Budapest, Budafoki út 8.

e-mail: attila23.8@gmail.com

Bevezetés

A WRF-Chem a WRF-ARW (*Weather Research and Forecasting – Advanced Research WRF*) numerikus időjárás előrejelző modell levegőkémiával csatolt kiegészítése. Az időjárás és a levegőkémiai modul között ún. „*online*” csatolás van, amellyel – ellentétben az *offline* csatolással, ahol csak a meteorológia hat a levegőkémiára – a modell képes a meteorológiai és a kémiai adatok közti kétirányú kölcsönhatások vizsgálatára egy időlépésén belül. Ez ugyan nagyobb számításgépi igényt és futtatási időt jelent, de a modelleredmények között az időjárás előrejelzés mellett megjelenik a levegőtisztaság (kémiai időjárás) előrejelzése is. A csatolás további előnye, hogy az aeroszol részecskék direkt (közvetlen) és indirekt (közvetett) hatásainak figyelembevételével adott időjárás helyzetben (elvben) pontosabb előrejelzés készíthető a modellel, mint a csatolás nélkül.

A WRF és a WRF-Chem modell

A WRF modell folyamatos fejlesztés alatt áll az egyesült államokbeli NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) és NCAR (*National Center for Atmospheric Research*) kutatóintézetek vezetésével, emellett a modell nyílt forráskódú, ezáltal szabadon hozzáférhető és ingyenesen használható. Az Országos Meteorológiai Szolgálatnál több modellt is használnak operatív időjárás-előrejelzés céljából: az ECMWF, az AROME, és az INCA-HU modellek mellett a WRF modellt is, amelyet nagy felbontással (2,5 km) és nem-hidrosztatikus módban futtatnak naponta négyszer. Az ELTE Meteorológiai Tanszékén korábban is folytak (l. pl. Ács et al., 2014), illetve jelenleg is folynak kutatások a WRF modell alkalmazásával. Jelen kutatás keretében a WRF és a WRF-Chem modell együttes alkalmazását kívánjuk megvalósítani.

A csatolt modell felépítése

A WRF és a WRF-Chem modell felépítését az 1. ábra mutatja. A bemenő adatok a meteorológiai, a statikus földrajzi adatok, valamint az emissziós adatok. A meteorológiai és földrajzi adatokat először a WPS (*WRF Preprocessing System*) előfeldolgozó alrendszer használja fel, majd ennek kimeneti fájllai kerülnek a WRF-ARW főfeldolgozó alrendszerbe.

A WPS alprogramjai:

- a) *geogrid.exe* – létrehozza a globális statikus földrajzi adatokból a modelltartományokat
- b) *ungrib.exe* – kicsomagolja a tömörített meteorológiai adatokat
- c) *metgrid.exe* – horizontálisan interpolálja a meteorológiai adatokat

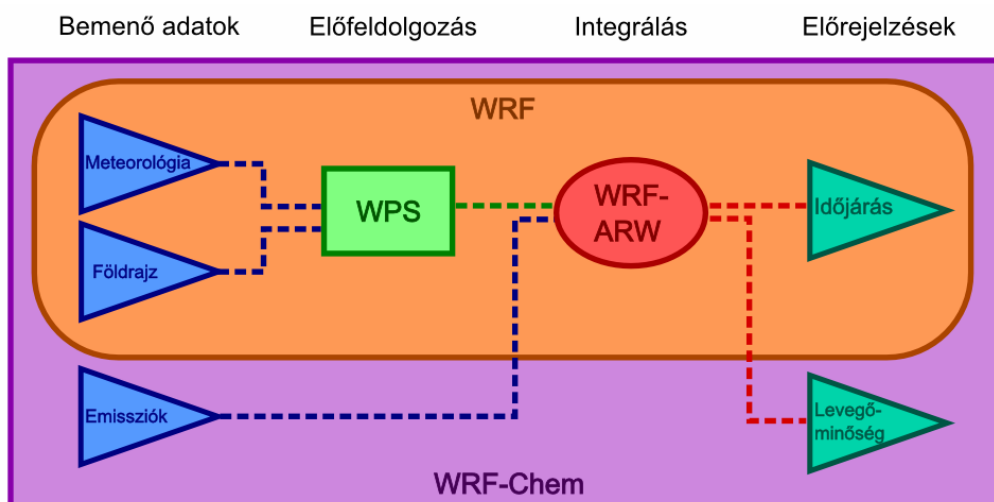
A WRF-ARW alprogramjai:

- a) *real.exe* – inicializálja az előfeldolgozó rendszer fájllait

b) *wrf.exe* – létrehozza a modell előrejelzést

Emissziós adatok létrehozásához:

- prep-chem-sources.exe* – létrehozza a globális adatokból a futtatáshoz szükséges kivágatra az emissziós adatok bináris fájljait
- make_wrfem.exe* – antropogén emissziós adatok megadása bináris fájlal
- convert_emiss.exe* – a bináris fájlok átkonvertálása netcdf fájllokká



1. ábra: A WRF és a WRF-Chem modell felépítése

Bemenő adatok

A modell számára az alábbi bemenő adatokat kell megadni:

- statikusföldrajzi adatok
- meteorológiai adatok (GFS, *Global Forecast System*, $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ horizontális felbontással és 3 órás időbeli felbontással)
- emissziós adatok:
 - globális emisszió adatok
 - antropogén emissziók

A futtatás során felhasznált globális emisszió adatok:

- RETRO (*Reanalysis and theTROposphericchemicalcomposition*): havi $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ felbontású antropogén-és vegetációtüzből származó nyomgázemissziók
- EDGAR (*EmissionDatabasefor Global Atmospheric Research*): éves $0,1^\circ \times 0,1^\circ$ felbontású üvegházgáz- és légszennyező-emissziók
- GOCART (*GOddardChemistryAerosolsRadiationTransportmodel*): főbb troposzférikus aeroszolok (szulfátok, por, korom (*blackcarbon*, BC), szerves szénvegyületek (*organiccarbon*, OC), éstengeri só)

Egyéb lehetőségek:

- vulkanikus eredetű aeroszolok
- biogén emissziók: MEGAN (*Emissions of Gases and AerosolsfromNature*)
- vadtüzek: GFEv2 (*Global FireEmissionsDatabase version 2*)

Modellbeállítások

A modellbeállításokat az ún. *namelist* fájlokban változtathatjuk meg, ezeka fájlok tartalmazzák a szimulációs tartományok számát és elrendezését (beágyazását), időbeli és térbeli határaikat, felbontásukat, a kiválasztott térképvetület típusát, valamint a különböző fizikai és kémiai séma beállításokat (Wang et al., 2014). A futtatásaink során alkalmazott beállításokat az 1. és 2. táblázat tartalmazza.

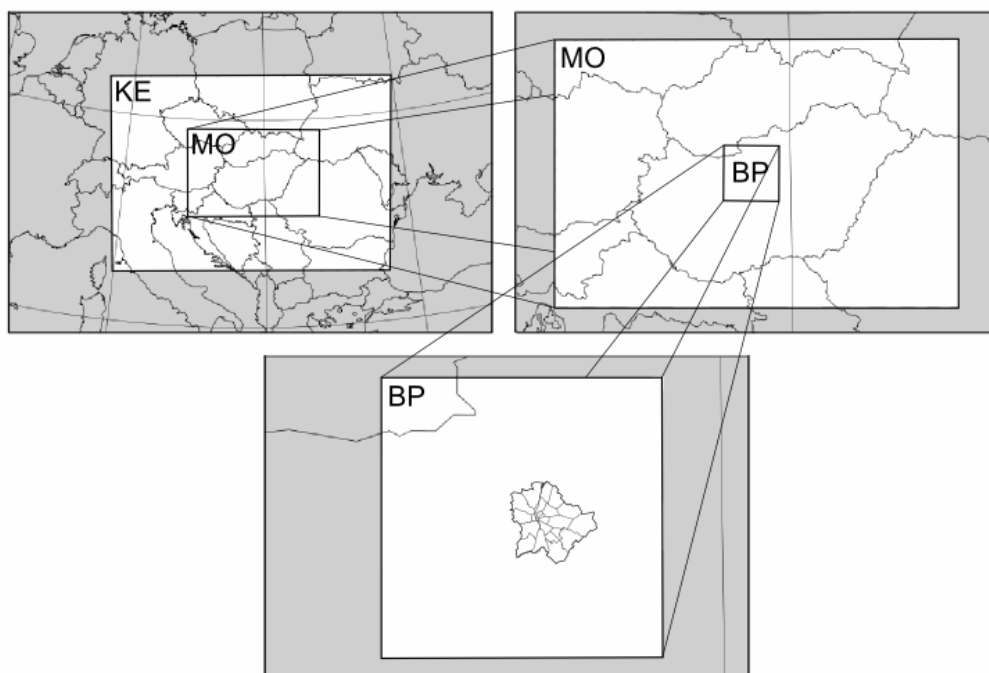
1. táblázat: Az előfeldolgozórendszer beállításai

Szimuláció kezdete	2014. 06. 09. 00 UTC
Szimuláció vége	2014. 06. 10. 00 UTC
Szimulációs idő	24 óra
Térkép-projekció típusa	Lambert-féle kúpvetület
Referencia szélesség	é.sz. 47,50°
Referencia hosszúság	k.h. 19,00°
KE horizontális felbontás	30 km × 30 km
MO horizontális felbontás	10 km × 10 km
BP horizontális felbontás	2 km × 2 km
KE méret [rácspont; Ny-K × D-É]	52 × 37
MO méret [rácspont; Ny-K × D-É]	73 × 49
BP méret [rácspont; Ny-K × D-É]	51 × 51
Bemenő GFS adatok időfelbontása	3 óra
Kimenő WRF adatok időfelbontása	1 óra

2. táblázat: Az alkalmazott WRF-Chem modellkonfiguráció

Mikrofizika séma	WSM (<i>WRF Single-Moment</i>) 5-class scheme (KE, MO) New Thompson et al. scheme (BP)
Hosszúhullámú sugárzási séma	RRTM (<i>Rapid Radiative Transfer Model</i>)
Rövidhullámú sugárzási séma	Goddardshortwave
Felszíni réteg séma	MM5 Monin–Obukhov
Szárazföld-felszín séma	NoahLandSurfaceModel
Határreteg séma	MYNN (<i>Mellor–YamadaNakanishi and Niino</i>) Level 2.5
Cumulusparametrizáció	New Grell3D scheme
Gáz-fázisú kémiai mechanizmus	RADM2 (<i>Regional Acid Deposition Model, 2nd generation</i>)
Aeroszol modul	MADE/SORGAM (<i>Modal Aerosol Dynamics Model for Europe / Secondary Organic Aerosol Model</i>)

A modellfuttatásokat három egymásba ágyazott tartományra hajtottuk végre: a legkülső, szülő tartomány egy közép-európai kivágat (KE); az ebbe beágyazott első tartomány egy magyarországi (MO); és az ebbe beágyazott legbelső tartomány, amely Budapestet és környezetét reprezentálja (BP) (2. ábra).



2. ábra: A három modelltartomány

Kimeneti fájlok értelmezése

A WRF-Chem kimeneti fájljaiban a koncentrációértékek ppmv értékben szerepelnek, azonban a mérőberendezések adatait és a levegőminőségi határértékeket általában $\mu\text{g}/\text{m}^3$ mértékegységben adják meg. Az átszámításhoz (az ideális gáztörvényt felhasználva) a légszennyező anyag moláris tömege, valamint az adott cellára vett légnyomási és hőmérsékleti értékek szükségesek. A modellezett légszennyező koncentráció-értékek verifikálása történhet az OLM (Országos Légszennyezettségi Mérőhálózat) mérőállomásainak egyikével vagy helyszíni mérésekkel.

A legpontosabb (legkisebb hibát adó) modelleredmények modellkonfigurációja változhat évszaktól, időjárási helyzetűl függően, ezért a modellfejlesztés szempontjából a különböző modellbeállítások összehasonlítása fontos szerepet kap.

Lehetőség van még a levegőminőség kezdeti mezejének megadására is, ami szintén pontosíthatja a számításokat. Ezt úgy tehetjük meg, hogy egy korábbi modellfuttatásunk eredményét visszavezetjük a modellbe, mint kezdeti feltételt. Ezzel a módszerrel javíthatjuk a levegőminőség előrejelzését.

Az eredményekre nagy hatással lehet a különböző fizikai sémák megválasztása is. Ezt a modell érzékeny vizsgálatával ellenőrizhetjük. Ekkor a beállítások változtatásával az eredményeket egy referencifuttatással hasonlítjuk össze, és az eltéréseket statisztikailag értelmezzük (Hu et al., 2014).

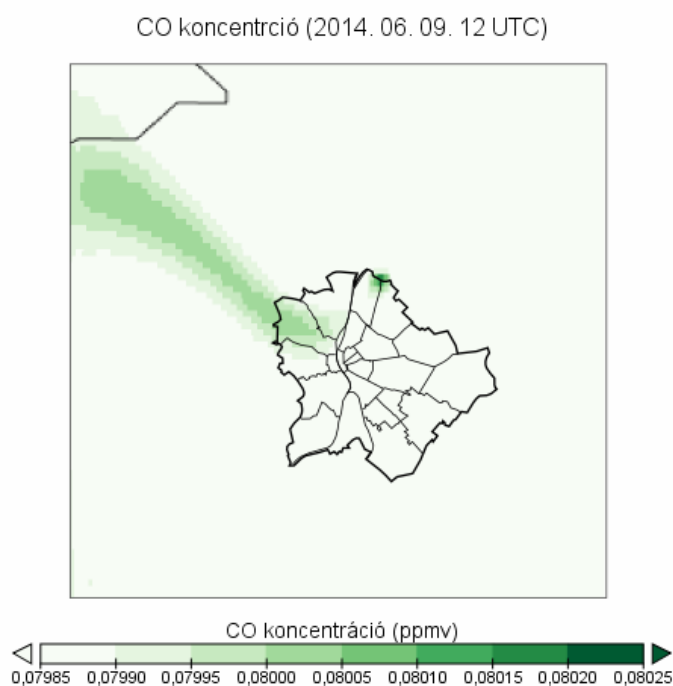
Egy esettanulmány

Elsődleges vizsgálataink során egy egyedi pontforrásból származó légszennyezőanyag terjedését vizsgáltuk egy nyári napon (2014. június 09-én). A pontforrásnak a Fővárosi Hulladékhasznosító Mű (XV. kerület, Rákospalota) kéményét választottuk. Az üzemeltető (Fővárosi Közterület-fenntartó Zrt.) bevallása szerint az üzem szén-monoxid kibocsátása 2014-ben 30 294 kg/év volt (Forrás: OKIR– Országos Környezetvédelmi Információs Rendszer). Ez az

éves mennyiség 3 455,85 g CO kibocsátásnak felel meg óránként (azzal a feltevéssel élve, hogy az üzem napi 24 órában egyenletesen bocsátja ki a szén-monoxidot). A WRF-Chem bemenő emissziós adatait mol/km²h mértékegységben kell megadnunk. Mivel a CO moláris tömege 28 g/mol, és a budapesti modelltartomány egy cellájának mérete 2 km × 2 km = 4 km², ezért a szén-monoxid emisszióját 30,86 mol/km²h értékűnek kell beállítanunk a hulladék-hasznosító földrajzi helyzetének (é.sz. 47,58°, k.h. 19,13°) megfelelő cellára.

2014. június 9-én az Országos Meteorológiai Szolgálat archív napijelentés kiadványa szerint Magyarországon anticiklonális hatás érvényesült sok napsütéssel, 30–32 °C maximális hőmérséklettel és gyenge légmozgással. Az ilyen időjárási helyzet kedvez a légköri szennyezőanyagok felgyülemelésének, koncentrációjuk növekedésének.

A 3. ábrán a folyamatos kibocsátás hatására a pontforrásból származó CO modellezett koncentrációját láthatjuk a budapesti tartományra 2014. június 9-re, 12 UTC-re. Az ábrán a kivágat széleit levágtuk, ugyanis a tartomány szélein lévő cellák általában inkonzisztens eredményt adnak a szülő tartomány (MO) peremfeltételeihez való illesztés miatt.



3. ábra: A modellezett CO koncentráció (ppmv)

A WRF és a WRF-Chem modell sikeres csatolása lehetőséget teremt a további tesztelésekre, érzékenységi vizsgálatok elvégzésére és a modell rutinszerű alkalmazásának megalapozására.

Hivatkozások

- Ács, F., Gyöngyösi, A.Z., Breuer, H., Horváth, Á., Mona, T., Rajkai, K., 2014: Sensitivity of WRF-simulated planetary boundary layer height to land cover and soil changes. *Meteorologische Zeitschrift*, 279–293.
- Hu, X., Li, D., Huang, H., Shen, S., & Bou-Zeid, E., 2014: Modeling and sensitivity analysis of transport and deposition of radionuclides from the Fukushima Dai-ichi accident. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 14(20): 11065–11092.
- Wang, W., Bruyère, C., Duda, M., Dudhia, J., Gill, D., Lin, H. C., ...Mandel, J., 2014: ARW version 3 Modeling System User's Guide. Mesoscale&Microscale Meteorology Division. National Center for Atmospheric Research, http://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/user_guide_V3/ARWUsersGuideV3.pdf.