

ÚJ ESZKÖZ A LEVEGŐKÖRNYEZETI ELŐREJELZÉSBEN, A WRF-SMOKE-CMAQ MODELLRENDSZER

Lázár Dóra, Weidinger Tamás

ELTE Meteorológiai Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A
e-mail: ladqaat@caesar.elte.hu

Bevezetés

A földi szférák között a légkör különleges helyet foglal el: ez a környezet legdinamikusabb, legmozgékonyabb közege. A légköri mozgások a kibocsátott szennyezőanyagokat azok forrásaitól messzire elszállítják. A légszennyeződés hatásainak megállapításához, valamint a levegőtisztaság-védelmi intézkedések tudományos megalapozásához alapvetően fontos a levegő minőségének rendszeres mérése, illetve a kibocsátó források és a légszennyeződés kapcsolatának modellezése (Bozó et al., 2006).

Az ELTE Meteorológiai Tanszékén több éve fut a WRF modell, ami alkalmas előrejelzési feladatokra, illetve bemenő adatokat szolgáltat különböző környezeti modellekhez (pl. DNDC). PhD ösztöndíjas munkám során egy regionális skálájú terjedési modellrendszert adaptálok és futtatok az ELTE ATLASZ szerverén. Céлом a magyarországi ózon-koncentrációeloszlás modellezése és mérési adatokkal történő összehasonlítása, továbbá érzékenységi vizsgálatok elvégzése (mind a bemenő adatokra, mind a modellparametrizációs eljárásokra).

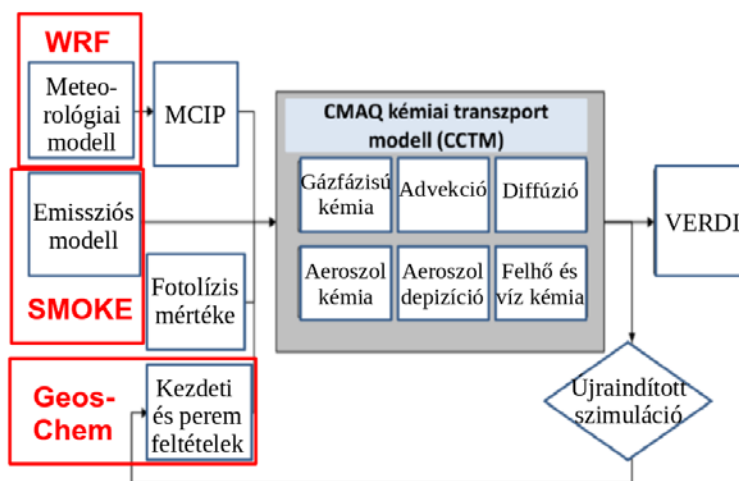
Az általam vizsgált szennyező anyagok (szálló por, nitrogénvegyületek, ózon koncentráció) előrejelzésére a CMAQ (Community Multiscale Air Quality – Többléptékű Községi Levegőminőségi, <http://www.cmascenter.org/cmaq/>) modell kiválóan alkalmas. Mivel a meteorológiai adatok mellett az emisszió-kataszterek adják a levegőkörnyezeti modellek másik fő bemeneti adatforrását, munkám során emissziós adatokra is szükségem van, melyeket a SMOKE (Space Operator Kernel Emissions) modell szolgáltat. Tanulmányomban részletesen bemutatom az általam alkalmazott modellek felépítését, ismertetem a beállítási módszerüket, és összegzem az eddigi kutatási eredményeim.

A modellrendszer felépítése

A WRF modell szolgáltatja a rendszernek az időjárási adatokat. Mivel a tanszéken a WRF modellt kutatási és oktatási célra egyaránt alkalmazzuk, így a véges terjedelem miatt nem kerül bemutatásra. Az elmúlt szemeszterben tanszékünkön több, az említett modellt alkalmazó szakdolgozat és diplomamunka is született (Pl. Odrobina, 2015, Simon, 2015, Bán, 2015). A levegőkörnyezeti előrejelző rendszer sematikus felépítését az *1. ábrán* szemléltetem. A terjedési modell számára szükséges adatokat az MCIP (Meteorology-Chemistry Interface Processor) interfész segítségével rendeztem a megfelelő formátumba.

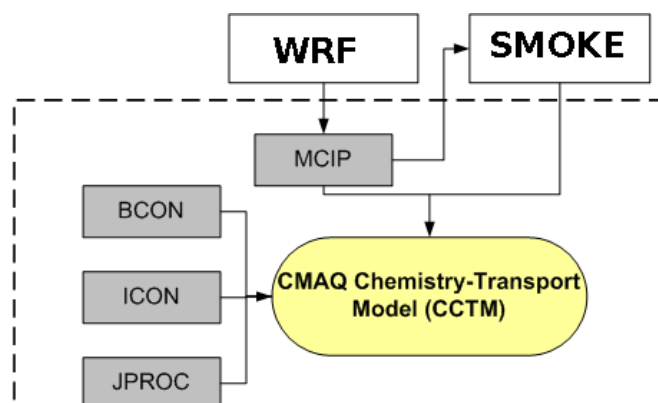
Mint említettem, a rendszernek szüksége van még kibocsájtási adatokra, amelyeket a SMOKE emissziós modell szolgáltat és rendez a CMAQ számára. A SMOKE-ot az MNCN-Észak-karolinai Szuperszámítógép központ fejleszti az 1990-es évektől. Mivel a szoftvert Észak- és Közép-Amerikára készítették, így más régiókra történő alkalmazása meglehetősen nehéz feladat. A megfelelő felbontású emissziós adatbázishoz nagy felbontású kibocsájtási adatokat kellene, amelyeket a modellrácsra kell illeszteni. A magyarországi modellrács felbontása már 10 km alatti kell legyen, hiszen az alsó légkörben lévő szennyezőanyagok tér-

és időbeli változékonyságát kell visszatükröznie, figyelembe véve például a fotokémiai reakciókat.



1. ábra: CMAQ-SMOKE-WRF modellrendszer felépítése

A CMAQ – mint említettük – többléptekű levegőminőségi modell, használható mind regionálisan, mind városi léptékben. A modellt az USA Környezetvédelmi Hivatala (EPA – Environmental Protection Agency) fejleszti. Nyílt forráskódú, a tudományos közösség számára 1998 óta elérhető. Addig a levegőminőség-előrejelzési modellek az USA-ban tipikusan egy-egy szennyezőanyagra koncentráltak. Alkalmasak voltak szabályozási feladatokra, kibocsátás csökkentési stratégiák kialakítására, de nem kezelték a szennyezőanyagok együttes hatását. Például a terjedési folyamatokban résztvevő gázkomponensek, aeroszol részecskék emissziós, kémiai átalakulási és ülepedési folyamatai túl szorosan kapcsolódtak ahhoz, hogy külön kezeljék őket. Így szükségessé vált egy új stratégia kidolgozása (Pederzoli, 2008). A légköri szennyezőanyagok modellezésében a felhasználó állítja be a vizsgálati tartományt, a tér- és időbeli felbontást (lokálistól a kontinentálisig), illetve a modellfuttatás idejét (órák, napok, hetek). Számos előrejelző intézetben, egyetemi tanszéken alkalmazzák a CMAQ-et napi levegőkörnyezeti előrejelzésekre, illetve parametrizációs eljárások fejlesztésére, szabályozási és levegőkörnyezeti feladatok megoldására (Gyöngyösi és Weidinger, 2013).



2. ábra: CMAQ modell felépítése

A modellrendszer felépítését, a CMAQ struktúráját a 2. ábrán szemléltetjük. Fő jellemzője a modularitás. Ez azt jelenti, hogy nem csak egy szubrutinból vagy szubrutin csoportokból áll, hanem megfigyelhető a modulok jól meghatározott sorrendje, melyek mindegyike egy-egy

feladatot lát el (kibocsátás, meteorológia, kezdeti- és határfeltételek beállítása, kémiai reakciósorok). A CMAQ minden bemenő adatsora egyben egy másik modell, vagy pre-processzor kimenő mezeje. A CCTM (CMAQ Chemistry Transport Model – CMAQ kémiai transzport modell) a modell fő alkotórésze, minden egyes időlépcsőben megoldja a kémiai és dinamikai egyenleteket. A CCTM tartalmazza a légköri folyamatokat érintő kibocsátási, advekción, kémiai transzportokat, és az egyes anyagfajtára vonatkozó ülepedési (száraz és nedves) parametrizációkat.

A modellrendszer adatbázisa és beállításai

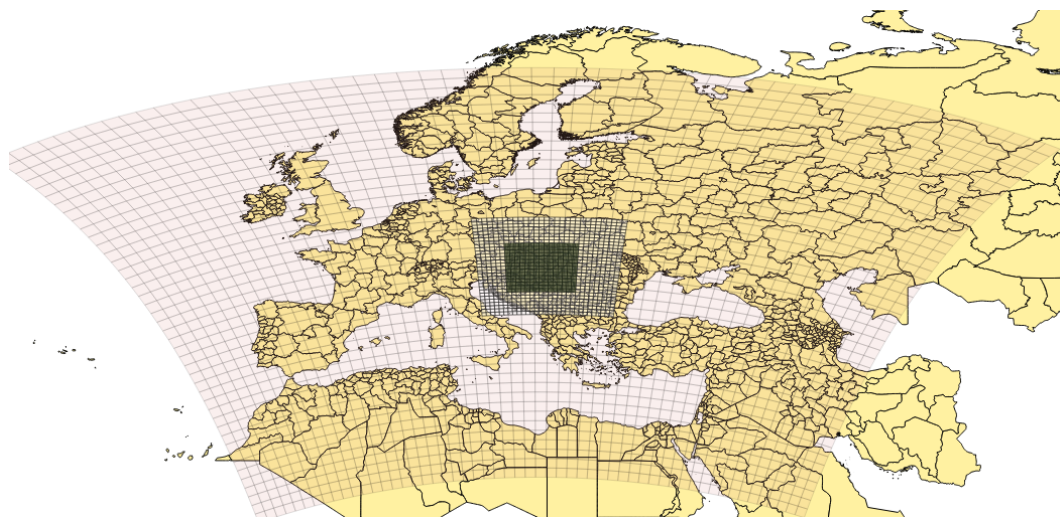
A kibocsátási modell futtatásához szükség van emissziós adatbázisokra, amelyeket megfelelő formátumban kell megadnunk. A SMOKE négy kibocsátási kategóriát kezel: területi, pontbeli, mobil és biogenikus. Területi adatbázisok egy-egy régió kibocsátásait adják meg, a mobilforrásoknál a közlekedés hatásait parametrizáljuk, míg a pontforrásokra ún. nagy kibocsátási pontokat (LPS) használ. Ezek reprezentálják a mezőgazdasági forrásokat (pl. állattartás), az ipari szennyezőanyagokat (pl. kohók, erőművek, ipartelepek, olajfinomítók).

Nagy-Britannia területén például grófság szintű kibocsátási adatokkal dolgoztak (Pederzoli, 2008). Ez azt jelenti, hogy minden geográfiaailag jól meghatározott területnek kell rendelkeznie egy azonosító kóddal. Ez egy 6 digités kód (CC/SS/cc), amiből a CC az országot, SS a megyét, cc pedig a grófságot jelenti. Ez azért is nehézkes, mivel ez a felosztás az amerikai felosztási logikát követi, így nem mindig egyezik meg az egyes országok területi-közigazgatási rendszerével. Nagy-Britanniára például régiók/megyék/helyi hatóságokra módosul. A 3. ábrán Nagy-Britanniára látható egy példa a terület felosztására egy 8 éve készült PhD-dolgozathoz (Pederzoli, 2008).



3. ábra: Nagy-Britannia területi felosztásai (régiók, megyék és helyi hatóságok) (Pederzoli, 2008)

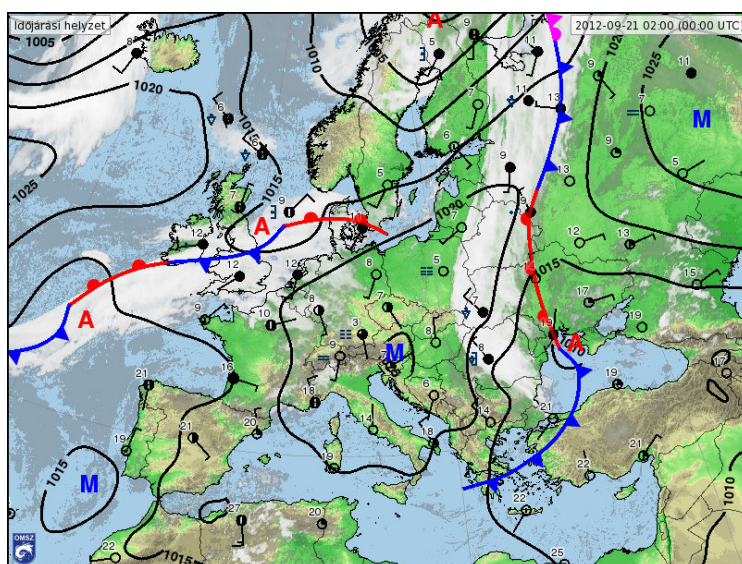
Magyarországra egyelőre egy általam 4 területre felosztott régió van definiálva, amely a végleges emissziós adatbázis kiépítésekor módosulni fog ország/régió/megye felosztásra. A WRF, SMOKE és CMAQ modelleket egyaránt 3 rácskivágra definiáltam (három beágyazást alkalmaztam): 108 km × 108 km-es, 36 km × 36 km-es és 12 km × 12 km-es rácshálózatra oldottam meg a modellegyenleteket, futtattam a meteorológiai és a terjedési modellt (4. ábra).



4. ábra: Az alkalmazott háromszoros modellbeágyazás rácsrendszere

A hazai modelladaptáció első eredményei

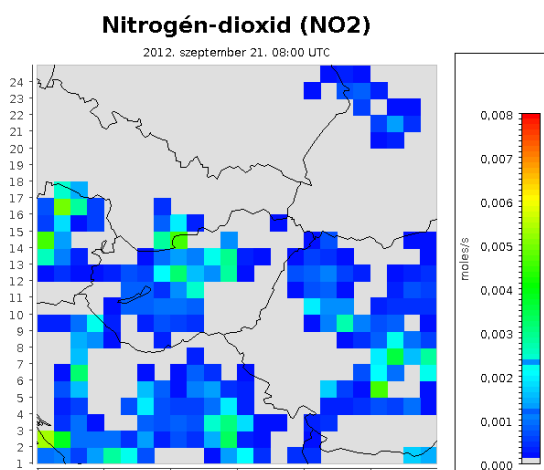
A modellrendszer reális meteorológiai adatok felhasználásával – egyelőre egyszerű levegőkörnyezeti és emissziós háttérmezők alkalmazásával fut. Működik a háromszoros beágyazás. A modelleredményeket egy 3 napos tesztfuttatással szemléltetjük. A kiválasztott kezdeti időpont 2012. szeptember 21. 00 UTC volt. Ekkor a Barents-tengertől észak-déli tengellyel egészen a Fekete-tengerig hullámzó frontrendszer húzódott (5. ábra). A Kárpát-medence időjárását anticiklon alakította, amely folyamatosan kelet felé helyeződött át, így az előrejelzési időszak második felében már kissé nedvesebb levegő áramlott hazánk fölé (forrás: <http://met.hu>).



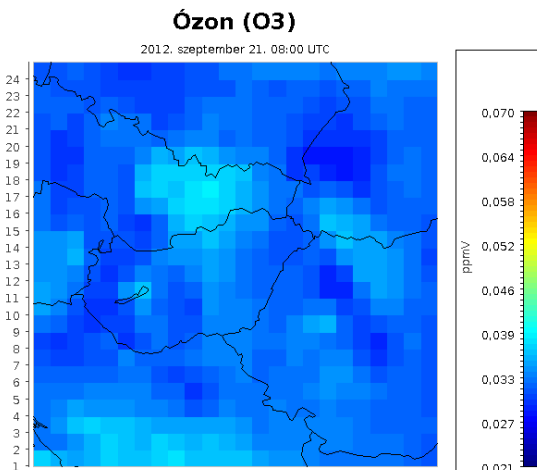
5. ábra: OMSZ által kiadott időjárási helyzetkép Európára
2012. szeptember 21. 00 UTC-re (Forrás: met.hu)

A NO_2 emissziós adatbázist a 6. ábrán láthatjuk a magyarországi kivágotra, míg a CMAQ ózon előrejelzését a 7. ábrán (2012. szeptember 21. 00 UTC +08 h). Az ózon és a nitrogén-oxidok (NO_x) napi koncentrációjának alakulását a 9. ábra mutatja, az ózon értékek csúcs-

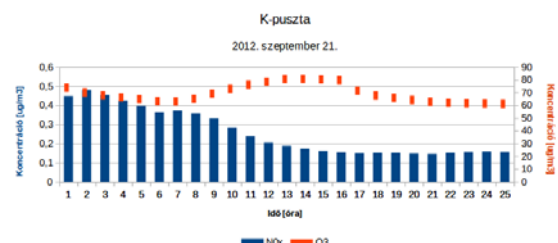
pontja délután, míg a nitrogén-oxid csúspontja délelőtt van. A mérési eredményeket és a modelleredményeket diagramon összevetve láthatjuk, hogy a modelleredmények jól reprezentálják az ózon koncentráció maximumait, de mivel a városi pontforrásokat még nem sikerült bevinni az adatbázisunkba, a koncentráció értékek nagyobbak. Szintén problémát jelent, hogy a rendszerben egyelőre a kezdeti értékek homogének, ez azonban a Geos-Chem adatok adaptálásával kiküszöbölhető.



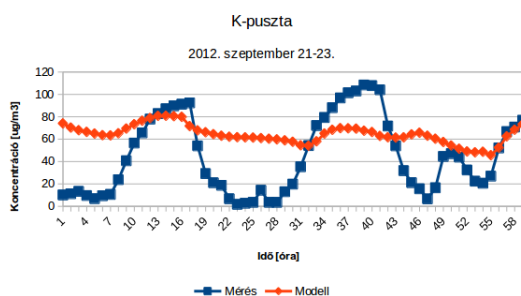
6. ábra: Nitrogén-dioxid (NO_2) emisszió mol/s-ban
2012. 09. 21-én 08 UTC-kor



7. ábra: Ózon (O_3) koncentráció ppmV-ben
2012. 09. 21-én 08 UTC-kor



9. ábra: Ózon (O_3) és nitrogén-oxid (NO_x)
koncentráció napi menete 2012. 09. 21-én



8. ábra: Ózon (O_3) koncentráció alakulása 2012. 09.
21. 00 UTC - 2012. 09. 23. 12 UTC között

A munka közepén járunk, számos lehetőség kínálkozik az emissziós adatbázisok fejlesztésében, a szennyezőanyag-háttérmezőket szolgáltatató Geos-Chem modell adaptálásában. A kutatásban – például egy TDK-dolgozat révén – az alap- és mesterképzésben részt vevő hallgatók számára is adott a részvételi lehetőség. Javasolt témák:

- az emissziós adatbázis kiépítése és ezek vizsgálata, a SMOKE outputok részletes vizsgálata
- szükség van növényzeti adatokra, növény- és talajemissziós adatbázisok fejlesztésére. Szintén lényegesek a modellérzékenységi vizsgálatok, pl. különböző felszín- és növényfajtákra, illetve pont- és vonalforrás intenzitásokra, valamint a modellezett adatok összevetése az OLM (Országos Légszennyezettségi MÉRőhálózat) adatbázisával.

Hivatkozások

- Bán, B.*, 2015: Globálsugárzás modellezése energetikai vizsgálatokhoz. BSc szakdolgozat. ELTE Meteorológiai Tanszék, Budapest. (témavezető: Weidinger T.) 50p.
- Bozó, L., Mészáros, E., Molnár, Á.*, 2006: Levegő környezet. Akadémia kiadó, Budapest. 250p.
- Odrobina, K.*, 2015: A planetáris határréteg-magasság napi menetének vizsgálata a Kárpát-medencei térség nyári időszakában különböző időjárási helyzetekben. ELTE Meteorológiai Tanszék, Budapest. (témavezető: Ács F., Mona T.) 35p.
- Pederzoli, A.*, 2008: The application of an Eulerian chemical and transport model (CMAQ) at fine scale resolution to the UK. *PhD thesis*, 232p.
- Simon, G.*, 2015: Szegedi légköri profil mérések összehasonlítása WRF modell szimulációkkal. BSc szakdolgozat. ELTE Meteorológiai Tanszék, Budapest. (témavezető: Breuer H.) 35p.
- Gyöngyösi, A. Z., Weidinger, T.*, szerk. 2013: Alkalmazott számszerű előrejelzés - numerikus időjárási és csatolt modellek a gyakorlatban. <http://elte.prompt.hu/sites/default/files/tananyagok/AlkalmazottNumerikusPrognosztika/ch05s02.html>