

# Budapest légszennyezettségének előrejelzése

OTKA 75500 PD

## Zárójelentés

2008. október 1. és 2011. október 31. közötti időszakról

### 1. Bevezetés

Az OTKA által támogatott kutatás célja olyan modell-rendszer kifejlesztése, amely képes a légszennyezőanyagok két napos előrejelzésére Budapest területére. Az alkalmazott meteorológia-diszperziós modell-rendszer két részből áll, egy numerikus időjárás előrejelző modellből és a CHIMERE fotokémiai transzport modellből. A levegőminőség előrejelző modell-rendszerhez újabb fejlesztésként egy emisszió-számolási modult csatlakoztattunk. A kémiai transzport modell meteorológiai támogatását jelenleg a WRF (Weather Research and Forecasting) nem-hidrosztatikus mezo-skálájú modell 18 UTC-s futtatása biztosítja. A kapcsolt modellrendszert nagy térbeli és időbeli felbontással Budapest térségére alkalmaztunk. A modellszámítások eredményeképpen megkaptuk az NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> és O<sub>3</sub> szennyezőanyagok előrejelzett órás és napi átlagos koncentrációinak budapesti térbeli eloszlását az elkövetkező 48 órára, valamint 11 légszennyezettség mérő állomásra óránként frissítve 48 órára előre négy szennyezőanyag előrejelzett koncentráció értékeit. Az eredmények térképeken, grafikonokon és táblázatokban a Meteorológiai Szolgálat internetes honlapján 2010. augusztus 1-jétől nyomon követhetőek. A honlap elérhetősége: [http://www.met.hu/levegokornyezet/legszenyezettseg\\_eforejelzes/](http://www.met.hu/levegokornyezet/legszenyezettseg_eforejelzes/). Az OTKA projekt támogatásával elért eredményeket az alábbi pontban foglaljuk össze.

### 2. Budapesti antropogén emissziók meghatározása

A levegőminőség előrejelzésében meghatározó tényező az emissziós értékek pontos ismerete. Különösen a közlekedési emissziók esetében szükséges a részletes emisszió felmérés a hatékony közlekedés-szabályozási stratégiák bevezetéséhez.

A CHIMERE modell antropogén emissziós input adatai az alábbiak:

- Pont források:
  - Erőművek emissziói;

- Nagyobb ipari kibocsátások;
- Területi források:
  - Lakossági fűtés;
  - Ipari folyamatok emissziói;
  - Közlekedés.

Ezek az emissziós adatok rácsponti értékeként kerültek meghatározásra, amelyeknek időbeli és térbeli változékonyságának pontos ismerete javíthatja az előrejelzést.

A 2004-os időszakra vonatkozó forgalomszámlálási adatokat a Fővárosi Önkormányzat bocsátotta rendelkezésünkre. Mivel a főváros területén jelenleg nincs folyamatos forgalomszámlálás és adatrögzítés, a közúti közlekedés napi és heti változékonyságát csak becsülni tudjuk. Az emisszió számításához elengedhetetlen az emissziós faktorok pontos ismerete, melyek számos tényezőtől függnnek (gépjármű állomány, üzemanyag fajtája, forgalmi viszonyok, sebesség, stb.) Magyarországra alkalmazott emissziós faktorokat a COPERT IV emissziós modellből nyerhetjük, de városi viszonyokra érvényes értékeinek finomabb meghatározását lokális léptékű útmodell futtatásával végeztük el [1][4][6]. A lokális léptékű útmodellt (CALINE4) Budapest belvárosára és külvárosi területére alkalmaztuk, és a budapesti mérőhelyek adataira kimutattuk a helyi közúti közlekedés hatását [8][6]. Az ilyen típusú vizsgálatok segítenek az emisszió csökkentési stratégiák kidolgozásában. Megadható például, hogy milyen gépjárművek, milyen napszakban, hány százalékos csökkenésével javítható a kialakult magas szennyezettségi helyzet.

### **3. Az integrált meteorológiai/kémiai előrejelző modellrendszer létrehozása**

A CHIMERE egy Euler-i típusú, több térbeli skálán – a regionálistól a városiig - futtatható légköri transzport modell, amely numerikus időjárás előrejelző modellek meteorológiai mezőit képes használni inputként, és szimuláció végén az ózon, az aeroszok és más légszennyezőanyag koncentrációk havi, napi és órás értékeit adja meg. A légköri fotokémiai folyamatok leírására a MELCHIOR2 gáz-fázisú kémiai modul mechanizmusait használja. Az alkalmazott planetáris határréteg modell Troen és Mahrt parametrizációján alapul, amely konzisztens a modellben a keveredési mechanizmusokat leíró formulával [3][9][13].

Kémiai transzport modell (CHIMERE) futtatásához (amely előrejelzi a vizsgált terület várható légszennyezettségét) szükség van egy időjárás előrejelző modellre a megfelelő meteorológiai paraméterek biztosításának érdekében. A CHIMERE közvetlenül kezelni képes az MM5 (Fifth-Generation NCAR/Penn State Mesoscale Model), a WRF (Weather Research and Forecasting) mezoskálájú és az AROME korlátos tartományú időjárás-előrejelző modellek outputjait. A CHIMERE modell futtatásához szükséges input meteorológiai adatokat jelenleg a WRF finom felbontású numerikus előrejelző modell szolgáltatja. Esetünkben a modell vizsgált területének kiterjedése: 135 x 175 km<sup>2</sup>; területi felbontása 2.7 km x 1.7 km; időbeli felbontása pedig 1 óra.

Időjárás-előrejelző modellek 3 dimenziós rácshálón állítják elő az egyes meteorológiai paramétereket. A kémiai transzport modell meghajtásához legalább az alábbi órás felbontású meteorológiai adatok szükségesek [10][11]:

- rácspontok szélességi és hosszúsági koordinátái (2D-s rácspontokban);
- szélesség horizontális és meridionális komponensei (3D-s rácspontokban);
- hőmérséklet (3D-s rácspontokban);
- specifikus nedvesség (3D-s rácspontokban);
- 2 m-es hőmérséklet (2D-s rácspontokban).

A planetáris határrétegben lezajló légköri folyamatok pontos leírásához további opcionális paraméterek –, mint felszíni szenzibilis hőáram, a felszíni latens hőáram, a sűrűlási sebesség és a határréteg magasság – megadása is lehetséges. Ezen paraméterek pontos meghatározásához kidolgozott módszereket légköri fluxus méréseken teszteltük, továbbá a fluxus mérésekhez kidolgozott korrekciós eljárások hatását is megvizsgáltuk [12].

#### **4. Webes megjelenítés**

A budapesti levegőminőségi előrejelzések 2010. augusztus 1-je óta folyamatosan, operatíván készülnek, és az eredmények rendszeresen elérhetőek az Országos Meteorológiai Szolgálat honlapján, a [http://www.met.hu/levegokornyezet/legszenyeztseg\\_elorejelzes/](http://www.met.hu/levegokornyezet/legszenyeztseg_elorejelzes/) oldalon. Az itt bemutatott PM<sub>10</sub>, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> koncentrációk városi területi eloszlásai az Országos Meteorológiai Szolgálat HAWK3 (Hungarian Advanced WorkStation) megjelenítő rendszerével készültek. Az előrejelzések közzétételének egyik célja (a lakosság informálásán kívül) az, hogy a

Fővárosi Önkormányzat szmog helyzet esetén meghozandó intézkedéseit segítse. A szmogriadó rendeletben a levegőminőségi mérőhelyek adatai alapján történik intézkedés, így a honlapon a város 11 levegőminőségi mérőhelyére vonatkozóan diagramokon, – szintén órás felbontásban – kísérelhetjük figyelemmel a következő 24 órában várható PM<sub>10</sub>, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> szennyezettséget [4].

A modell-rendszer

- kiszámolja a várható NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> és PM<sub>10</sub> koncentráció értékeket;
- térképes megjelenítés segítségével szemlélteti a különböző szennyezőanyagok térbeli alakulását óráról órára változóan;
- grafikonok segítségével szemlélteti a várható egészségügyi határérték túllépéseket.
- a térképes megjelenítésnél különböző színekkel jelzi azon mérőállomásokat, ahol az egészségügyi határérték alatti és feletti, valamint a szmogriadó tájékoztatási fokozata alatti és feletti értékek várhatóak.

## **5. A műholdas szennyezőanyagok profilok asszimilációja a CHIMERE kémiai transzport modellbe**

A rendszer számos lehetőséget rejt magában a fejlesztésre, az eredmények pontosítására. A jövőben megvalósítandó terveink között szerepel a műholdak által mért NO<sub>2</sub> és O<sub>3</sub> profilok asszimilációja a CHIMERE fotokémiai transzport modellbe. A munkához előkészítő kutatások történtek, melyekben műholdas légszennyezettségi méréseket hasonlítottunk össze felszínközelségben mért szennyezettségi adatokkal, valamint CHIMERE modell-eredményekkel [5][7]. A műholdas adatokat az O<sub>3</sub>MSAF produktumok, míg a felszíni levegőminőségi méréseket az ország regionális és városi mérőhelyei szolgáltatják [2].

A vizsgálataink főképpen a NO<sub>2</sub> és O<sub>3</sub> profilok tanulmányozására terjedtek ki, mivel ezek alapvető fontossággal bírnak a troposzférikus légoszlop ózon tartalmát meghatározó fotokémiai folyamatokban. A modellfuttatások eredményét - az O<sub>3</sub>MSAF produktumok között elérhető számos szennyezőanyag közül - a troposzférikus NO<sub>2</sub> koncentrációval vetettük össze [5][7].

A műholdakról mért szennyezőanyag profilok CHIMERE modellbe történő asszimilációja a levegőminőség előrejelző modell-rendszer fejlesztésének egyik lehetősége, mely az elkövetkezendő időszakban valósulhat meg.

## 6. A modell eredmények értékelése, verifikálása

A modell értékelése, a verifikáció és az eredmények összehasonlítása a modell fejlesztés fontos része, azonban az integrált meteorológiai kémiai modellek validálásának és az alkalmazásának metodikája és eszközei még nem kidolgozottak. A korábbi gyakorlat szerint az értékelések epizód helyzeteken alapultak, vagyis esettanulmányok és epizód helyzetek előrejelzésének sikerességén keresztül történtek. Napjainkban egészen újfajta közelítés kidolgozása van folyamatban egy nemzetközi együttműködés keretében, amelynek a mi kutatócsoportunk is tagja. Seigneur et al. (2000) és Dennis et al (2010) ajánlásai alapján négy fő értékelési modell típust határoztak meg.

1. Operatív modell értékelés: a modell eredmények és a megfelelő megfigyelések közvetlen összehasonlítását jelenti. Rutin megfigyelési eredményeket használ az emisszió, a meteorológia és más lényeges változók között.
2. Diagnosztikai modell értékelés azt vizsgálja, hogy hogyan képes a modell előre jelezni a légszennyező anyag koncentrációkat a fizikai és kémiai folyamatok pontos leírásán keresztül. Ez a modell értékelési típus általában olyan részletes légköri méréseket igényel, amelyekre a rutinszerű mérési programok nem terjednek ki.
3. Dinamikai modell értékelés azt vizsgálja, hogy a modell, hogyan képes előre jelezni a légszennyezettségi változásokat, amelyeket az emisszióban vagy az időjárási feltételekben bekövetkezett változások okoznak. Ez a gyakorlat olyan múltbeli esettanulmányokat igényel, amelyeknél pontosan ismert az emisszió vagy a meteorológiai paraméterekben bekövetkezett változások mértéke.
4. Valószínűségi modell értékelés statisztikai eszközökkel próbálja meg a modell sajátosságok leírását, beleértve a modell eredmények bizonytalansági faktorait is. Ez a közelítés szükségszerűen a mind az előrejelzés, mind a megfigyelés bizonytalansági faktorainak az ismeretét feltételezi.

A modell értékelések ezen eljárásaihoz hosszú megfigyelési periódussal kell rendelkezniük mind a meteorológiai, mind a kémiai elemek, valamint a modell eredmények tekintetében. Ez azt jelenti, hogy kiterjedt adatgyűjtési eljárásnak kell megelőznie az online integrált meteorológiai-

kémiai modellek validálási és verifikációs eljárásait. Jelenleg az eredmények összehasonlításához párhuzamos modellfuttatásokat végzünk több időjárás előrejelző modell (MM5, WRF és AROME) alkalmazásával.

## **7. Összefoglalás**

A kutatási projekt keretében kifejlesztett kapcsolt meteorológiai-diszperziós modell-rendszer hatékony eszköze lehet a javasolt közlekedési korlátozások tesztelésének, továbbá segítheti a magas légszennyezettségi helyzetek okainak feltárását. A kifejlesztett meteorológiai-kémiai modell-rendszer – a budapesti forgalmi adatok és a főbb ipari létesítmények kibocsátását, valamint a meteorológiai helyzet változását figyelembe véve – grafikonok és táblázatok segítségével mutatja meg a levegőminőség várható alakulását, így figyelmeztet a riasztási küszöbértékek esetleges elérésére [14].

A modell operatív előrejelzésein alapul a Fővárosi Önkormányzat – 2010. augusztus 6-án érvénybe lépett, – megújított szmog rendelete, amelynek értelmében a szmog helyzet riasztási fokozatában már nem a páros és páratlan rendszám alapján korlátozzák az autók közlekedését, hanem a környezetvédelmi plakettek színe szerint.

**A kutatási témában** (az OTKA hivatkozási szám feltüntetésével) **megjelent publikációk:**

**Külföldi lektorált folyóiratban megjelent cikk:**

- [1] Gyöngyösi, A. Z., Weidinger, T., Makra, L. and **Baranka, G.**, 2009: Application of a dispersion model for Szeged, a medium sized Hungarian city: a case study. *Fresenius Environmental Bulletin* Volume 18-No. 5b-2009 pp 788-797 (ISSN 1018-4619)
- [2] Weidinger T., **Baranka Gy.**, Pinto J, Balázs R. and Tóth K. 2011: Comparison study of concentrations and depositions of ozone measured in the 19<sup>th</sup> century and at present time. *Acta Silv. Ling. Hung.* (submitted).

**Lektorált konferencia kiadványok:**

- [3] Labancz, K. and **Baranka, Gy.** 2009: Urban Air Quality Forecasting System for Budapest. *7th International Conference on Air Quality – Science and Application*, Istanbul, Turkey, 24-27 March, 2009.
- [4] **Baranka, Gy.**, and Labancz, K. 2009: Urban Air Quality Forecast for the City of Budapest, Hungary, *Conference on Modelling Fluid Flow (CMFF'09), The 14<sup>th</sup> International Conference on Fluid Flow Technologies, Conference Proceedings*, (Editor: J. Vad) Vol. I., pp. 119-124.
- [5] **Baranka Gy.**, 2009: A műholdadatok felhasználási lehetőségei a hazai levegőkémiai kutatásokban. *35. Meteorológiai Tudományos Napok, Műholdmeteorológia. Bővített kivonatok CD-n.* Országos Meteorológiai Szolgálat könyvtára. ISBN 978-963-9931-09-3, 40-43.

**Könyvfejezet:**

- [6] Weidinger, T., **Baranka, Gy.**, Makra, L. and Gyöngyösi, A.Z., 2010: Urban air quality and road traffic air pollution modelling of Szeged. Urban transport and hybrid vehicles (ed. Soyly, S.) *Published by Sciyo. ISBN 987/953-307-100-8*, 60-102.

**Konferencia és workshop előadások:**

- [7] **Baranka Gy.**, 2009: A műholdadatok felhasználási lehetőségei a hazai levegőkémiai kutatásokban. *35. Meteorológiai Tudományos Napok*, 2009. nov. 19-20, MTA Budapest [http://www.met.hu/pages/seminars/metnap35/10\\_Baranka\\_Metnap2009.pdf](http://www.met.hu/pages/seminars/metnap35/10_Baranka_Metnap2009.pdf)

- [8] Labancz, K. and **Baranka, Gy.** 2009: Urban Air Quality Forecasting System for Budapest. *7th International Conference on Air Quality – Science and Application*, Istanbul, Turkey, 24-27 March, 2009.
- [9] **Baranka, Gy.**, and Labancz, K. 2009: Urban Air Quality Forecast for the City of Budapest, Hungary, *Conference on Modelling Fluid Flow (CMFF'09), The 14<sup>th</sup> International Conference on Fluid Flow Technologies*, Budapest, Hungary, September 9-12, 2009
- [10] Labancz, K., Ferenczi, Z. and Steib, R. 2010: Chemical Weather Forecasting and Information System for Budapest. COST Action ES0602: Towards a European Network on Chemical Weather Forecasting and Information Systems *7th MC/WG Meeting*, Copenhagen, 17-18 March 2010.
- [11] Ferenczi, Z., Labancz, K. and Steib, R. 2011: Chemical Weather Forecasting and Information System for Budapest. Part II. COST Action ES0602: Towards a European Network on Chemical Weather Forecasting and Information Systems *8th MC/WG Meeting*, Helsinki, 19-20 March 2011.

**Poszter:**

- [12] Nagy, Z., Weidinger, T., **Baranka, G.**, Mészáros, R., Popov, Z. and Törék, O. (2010): Evaluation of climate reference mast measurements at Debrecen, Hungary for climate studies *EMS 2010 Session AW11: Poster Programme AW6: Atmospheric measurements from local to regional scale: A data source for climate studies and model validation*, Zurich, Switzerland, 13 September – 17 September 2010, (EMS2010-515).
- [13] **Baranka, Gy.**, and Labancz, K. 2009: Urban air quality forecast for the city of Budapest, Hungary, *9<sup>th</sup> EMS/ 9<sup>th</sup> ECAC Meeting, Environmental Meteorology: Meteorology and Atmospheric Pollution: from the urban to meso/regional scale*. Toulouse, France, 28 September - 2 October 2009.

**Egyéb:**

- [14] **Baranka Gy.** (2011):Városi levegőminőség. Városklíma kalauz: 2011. Készítette: Városklíma Műhely (szerk. Ongjerth Richárd), Budapest.