

# LÉGSZENNYEZŐ KOMPONENSEK IDŐ- ÉS TÉRBELI STRUKTÚRÁJÁNAK KOMPLEX VIZSGÁLATA REPÜLŐTÉRI KÖRNYEZETBEN

készítette

**Oláhné Groma Veronika**

MTA Energiatudományi Kutatóközpont, Környezetfizikai Laboratórium

Doktori értekezés

Eötvös Lóránd Tudományegyetem

Környezettudományi Doktori iskola (Kiss Ádám, Prof., Galács András, Prof., Jánosi Imre, Prof.)

Környezetfizika Program (Kiss Ádám, Prof., Jánosi Imre, Prof.)

*Tézisfüzet*

*Témavezető:*

**Török Szabina, DSc.**

MTA Energiatudományi Kutatóközpont, Környezetfizikai Laboratórium

*Társtémavezető:*

**dr. Osán János**

MTA Energiatudományi Kutatóközpont, Környezetfizikai Laboratórium



Budapest

2017

## **1. BEVEZETÉS ÉS CÉLOK**

Az elmúlt évtizedek során a repülőgép forgalomban megfigyelhető óriási növekedés számos környezeti problémát okozott, amelyek közül a zajterhelés, valamint a légköri szennyezőanyag kibocsátás a két legjelentősebb. A repülőtér és környezete levegőminőségét a légi járművek az ún. le- és felszállási ciklusuk (angol rövidítése LTO) során terhelik. Az egészségügyi hatások pontos becsléséhez a precíz emissziós leltár mellett a források kellő idő- és térbeli felbontású karakterisztikáinak ismerete szükséges. A repülőtérhez köthető levegőminőség-vizsgálatok széles skálán mozognak: a hajtóművek különböző mozgásformáihoz köthető kibocsátási értékek meghatározásától kezdve a repülőtéri szennyezőanyag-kibocsátás lokális és regionális hatásának tanulmányozásáig. Ezeken felül számos – nem feltétlenül repülőtér specifikus – légkörfizikai és levegőkémiai folyamat kutatása is lehetséges, hiszen a szennyezőanyag-források és azok mozgása sok esetben pontosan rögzített, mi több tipikus ciklikusságot mutatnak. Jelen kutatás egyik célja a budapesti repülőtér levegőminőségi állapotának felmérése egy nemzetközileg széleskörűen alkalmazott modell, valamint mérési kampányok eredményeinek együttes kiértékelése alapján. Emellett célul tűztem ki repülőtérre jellemző aeroszol részecskék kémiai összetételének meghatározását. Kutatómunkám harmadik célja a repülőgépek hajtóművi kibocsátásának, valamint a friss csóva diszperziójának vizsgálata volt.

## **2. VIZSGÁLT TERÜLET ÉS MÉRÉSI KAMPÁNYOK**

Munkám során a budapesti Liszt Ferenc Nemzetközi Repülőtér (továbbiakban Ferihegyi Repülőtér) területén végeztünk levegőminőségi méréseket egy hazai konzorciumi együttműködés keretében. A mérési kampányok 2006 és 2008 között zajlottak, mely során a repülőtér több pontján időszakosan, illetve rögzített helyszíneken hosszú (éves) időszakra végeztük számos légszennyező komponens együttes mérését. 2008-ban egy monitoring állomás telepítésére is sor került, melynek adatait részlegesen a feldolgoztam.

## **3. MÓDSZEREK**

### **Mintavételezési módszerek:**

A mérési kampányok során számos mérőberendezés alkalmazására került sor. A klasszikus gáz halmazállapotú légszennyezők légköri koncentrációinak meghatározása a vonatkozó szabványoknak megfelelő környezeti gázelemzők segítségével történt. Emellett egy nyílt fényutas fényabszorpciós elven működő DOAS (Differential Optical Absorption Spectroscopy) berendezés alkalmazására is lehetőség nyílt, amely alkalmas a légköri NO<sub>2</sub> koncentrációk meghatározására. A PM<sub>10</sub> méretfrakció (10 µm alatti aerodinamikai átmérőjű aeroszol részecskék) tömegkoncentrációjának mérése a

szabványoknak megfelelő kombinált bétasugár-abszorpciós elven működő berendezés (Environnement S.A. MP101-CPM) és két darab nem szabványos ún. kúpos elemű oszcilláló mikromérleg (Model 1405 TEOM Ambient Air Monitor, Thermo Scientific) segítségével történt. Az aeroszol korom (BC) tartalmának meghatározásához egy Magee Scientific Portable Aethalometer® Model AE42 típusú berendezést használtunk. PM<sub>2.5</sub> méretfrakció (2,5 µm alatti aerodinamikai átmérőjű aeroszol részecskék) ionos komponensei koncentrációit Dionex DX 300 típusú ionkromatográffal határozták meg. Méretfrakcionált aeroszol minta nyomelem összetételének meghatározásához a mintavételezést Si lapkákra May-rendszerű kaszkádimpaktor segítségével végeztük el, melyeket SR-TXRF (Szinkrotronsugárzás alapú totálreflexiós röntgenfluoreszcencia analízis) és XANES (Röntgenabszorpció élközeli szerkezete) módszerekkel analizáltunk.

#### **Szimulációs módszer:**

A Ferihegyi Repülőtér szennyezőanyag forrásai következtében kialakuló többletterhelés területi eloszlásának meghatározását egy Európa-szerte gyakran alkalmazott EDMS (Emissions and Dispersion Modelling System) diszperziós modellel (CCSI, 2004) végeztem el.

#### **Adatelemzésre használt módszerek:**

Háttérkoncentrációk meghatározásához az Országos Légszennyezettségi Mérőhálózat Gilice téri külvárosi állomás adatsorát vettem alapul, melyből a lokális, forgalomhoz köthető járulék szűrését FFT (Gyors Fourier Transzformáció) analízis segítségével végeztem el.

A felszálló repülőgéphez rendelhető NO<sub>2</sub> emisszió vizsgálatához, a friss csóva időbeli lefutásának matematikai leírásához egy általam kidolgozott statisztikus adatsoron alapuló módszertant alkalmaztam.

#### **4. TÉZISEK**

1. A mért koncentráció idősorok, valamint az EDMS modell szimulációs eredményeiként kapott szennyezőanyag koncentrációnövekmény területi eloszlása alapján vizsgáltam a Ferihegyi Repülőtér levegőterheltségi állapotát a 2006-2012 időszakra. Megállapítottam, hogy a Ferihegyi Repülőtér belterületén levegőminőségi szempontból legszennyezettebb régió NO<sub>x</sub>, CO és PM<sub>10</sub> komponensekre a 2-es Terminál környezete (ún. apron). Levegőegészségi kategória szempontjából PM<sub>10</sub> kivételével valamennyi komponens esetén a Levegőhigiénias Index alapján meghatározott levegőterheltségi állapotot *elfogadhatónak* találtam.

2. Az Országos Légszennyezettségi Mérőhálózat és a Ferihegyi Repülőtér 2-es Termináljánál telepített monitoring hálózat adatainak felhasználása alapján megállapítottam, hogy CO, NO<sub>x</sub> és PM<sub>10</sub>

komponensekre a 2012-es időszak mintegy 80 százalékában alacsonyabb koncentrációkat mértünk, mint a legközelebbi külterületi OLM állomáson (Gilice tér). Budapest belterületi állomáson (Széna tér) mért adatokkal összevetve azon időszakok részaránya, amelyek során a repülőtér szennyezettebb CO esetén 12,2%, NO<sub>x</sub> 3,3%, PM<sub>10</sub> 9,7%. Határérték túllépést a 2-es Terminálnál csupán NO<sub>x</sub> esetén detektáltunk 8 alkalommal. Gilice téren ugyanezen időszakban NO<sub>x</sub> esetén 54-szer, míg PM<sub>10</sub> esetén 25-ször mértek határérték túllépést. Összességében megállapítottam, hogy a repülőtér levegőminőségi szempontból leginkább szennyezett régiójában tipikusan kisebb a környezeti légszennyezettségi terhelés, mint Budapest belvárosi területeken. (Bozó és mts., 2006)

3. A két kiválasztott bázisú (2006 és 2012) kapott EDMS szimulációs eredmények, valamint egy monitoring állomás adatainak felhasználásával elvégeztem az EDMS modell verifikációját. A háttérkoncentrációk és a modellezett koncentrációnövekmények összegét a mért koncentrációkkal összehasonlítva megállapítottam, hogy a napi átlagok időbeli változása CO, NO<sub>x</sub> és PM<sub>10</sub> komponensekre jó egyezést mutat, amelyet statisztikai mutatók (korrelációs együttható, RMSE, torzítás) segítségével igazoltam. A mérési és modellezett eredmények alapján generált kétváltozós szennyezési rózsák segítségével kimutattam, hogy mind a bel-, mind a külterületi gépjárműforgalom CO és NO<sub>x</sub> emisszióját mintegy 10 százalékkal alul, míg a repülőgép felszállása során kibocsátott NO<sub>x</sub> mennyiségét 15 százalékkal felülbecsli az EDMS modell. Bebizonyítottam, hogy az EDMS modell segítségével a fenti korrekciók alkalmazásával Budapest városi levegőterheltségi állapot meghatározásához a repülőtéri járulék kellő pontossággal becsülhető (Groma et al., 2016).

4. Hajtóművek NO<sub>2</sub> csóva hígulásának vizsgálatára új eljárást dolgoztam ki, amellyel több repülőgép- és hajtóműtípus esetén vizsgáltam a hajtómű mögött kialakuló talajmenti koncentrációt (Schaefer et al, 2007). Bár az ICAO adatbázis szerint a kibocsátás szempontjából a hajtómű típusa a meghatározó amely széles intervallumban mozog, megállapítottam, hogy az azonos repülőgéptípus esetén hiába különbözőek a hozzájuk tartozó hajtóművek, a kibocsátási pont mögött mért legnagyobb koncentrációnövekmények csupán 10 százalékos szórást mutat. Eltérő aerodinamikai tulajdonságú repülőgépek esetén, közel azonos hajtómű kibocsátási értékek mellett több mint kétszeres maximális koncentrációnövekményt is detektáltunk. Ezek alapján megállapítható, hogy a hajtómű mögött kialakuló talajmenti NO<sub>2</sub> koncentráció nincs szoros összefüggésben a hajtóműre jellemző emisszióval, mely alapján közvetlenül nem lehet az egyes repülőgépek emissziójára (g/s) következtetni. Mivel az eljárás alkalmazható valamennyi LTO cikluson belüli mozgásformára, valamint tetszőleges légszennyező komponensre, megállapítható, hogy az általam kidolgozott módszerrel a nyílt fényutas fényabszorpciós berendezés (DOAS) alkalmassá tehető valós emissziós monitoringra, amely célja a kiugró emissziós források azonosítása.

5. Kutatómunkám során 2008 nyarán egy két hetes intenzív mintavételezés eredményeképpen meghatároztam a PM<sub>2.5</sub> méretfrakció szerves kémiai összetételét. Megállapítottam, hogy 14,8%-a BC, 4,6%-a nyomelem és 17,8%-a mért ionos komponensek (Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), összességében 37,2 százalékát adják a PM<sub>2.5</sub> mérettartomány tömegének. A repülőtérhez közeli külterületi mérőállomáson 2015-ben elvégzett mintavételezés eredményeképpen PM<sub>2.5</sub> méretfrakció szerves összetételére a következő eredményeket kaptuk: 4% EC, 6,9% nyomelem, 29,3% ionos komponens. Budapest belvárosra vonatkozó szakirodalmi adat (Maenhaut et al, 2005) szerint a PM<sub>2.5</sub> méretfrakció szerves részaránya 57 százalék.

6. Megmutattam, hogy May impaktorral vett méretfrakcionált aeroszol minta SR-TXRF analízise során kapott kimutatási határok a környezeti levegőre vonatkoztatva 20 perces mintavételezési idővel, 400 liter levegőtérfogatra könnyű elemek (Al, Si) esetén ng/m<sup>3</sup>, míg közepes rendszámú elemekre (Sr, Rb) pg/m<sup>3</sup> nagyságrendbe esnek (Groma et al., 2008). Általánosan elmondható tehát, hogy a mintavételezési és analitikai eljárás kombinációja alkalmas kismennyiségű minta elemösszetételének meghatározására, s így nagyon rövid karakterisztikus idejű források (például landolás) által kibocsátott aeroszol részecskék kémiai jellemzésére. A futópályánál, valamint a 2-es Terminálnál gyűjtött méretfrakcionált aeroszol minták elemösszetételének összehasonlítása eredményeképpen réz esetén tapasztaltam legnagyobb eltérést, a futópályánál a 2–4 µm-es mérettartományban a terminálnál mért hatszorosát, míg az 1–2 µm-es mérettartományban a koncentráció több mint tizenkétszeresét tapasztaltam. Mivel a futópályánál a kiszolgáló járművek fékkopásához köthető réz kibocsátása elhanyagolható, feltételezésem szerint ezen többlet forrása a repülőgépek landolásához köthető repülőgép alkatrészek, valamint fékbetétek kopása. Ezt megerősítik a minták TXRF detektálási módú Cu kémiai állapotára vonatkozó XANES spektroszkópiai eredményei melyek szerint az aeroszol minta 2–4 µm-es durva mérettartományában főképpen Cu(I) állapot jellemző, ellentétben a helyszínen vett talajmintákkal, ahol a réz Cu(II) állapotú (Osán et al., 2010).

#### **TÉMÁBAN MEGJELENT PUBLIKÁCIÓK**

*Groma, V., Ferenczi, Z., Alföldy, B., Osán, J., Török, Sz., Steib, R., 2016: EDMS model verification considering remarkable changes in airport traffic system, 17th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes 9-12 May 2016, Budapest, Hungary, pp. 7-12, (ISBN:978-963-9931-10-7).*

*Osán, J., Meirer, F., Groma, V., Török, S., Ingerle, D., Strelí, C., Pepponi, G., 2010: Speciation of copper and zinc in size-fractionated atmospheric particulate matter using total reflection mode X-ray absorption near-edge structure spectrometry. *Spectrochimica Acta Part B.* 65, 1008-1013.*

*Groma, V., Osán, J., Torok, S., Meirer, F., Strelí, C., Wobrauschek, P., Falkenberg, G., 2008: Trace element analysis of airport related aerosols using SR-TXRF, *Időjárás* 112, 83-97.*

Schäfer, K., Schürmann, G., Jahn, C., Matuse, C., Hoffmann, H., Takacs, E., Alföldy, B., Groma, V., Kugler, Sz., 2007: Budapest airport air quality long-term studies by remote sensing with DOAS and FTIR with focus upon runway emissions, *Proceedings Paper of SPIE, Vol. 6745. Remote Sensing of Clouds and the Atmosphere XII*, doi: 10.1117/12.738799.

Schürmann, G., Schäfer, K., Jahn, C., Hoffmann, H., Groma, V., Török, S., Emeis, S., 2006: Airport air quality and emission studies by remote sensing and inverse dispersion modelling, *Proceedings Paper of SPIE, Vol. 6362: Remote Sensing of Clouds and the Atmosphere XI*. doi: 10.1117/12.695821.

Bozó, L., Czitrovsky, A., Alföldy, B., Osán, J., Groma, V., Ferenczi, Z., Labancz, K., Nagy, A., Steib, R., Kalocsainé, M., Récssei, I., Polay, P., Török, Sz., 2006, Environmental monitoring system of airport traffic - A repülőtéri közlekedés környezeti monitoring rendszere: AEKI-SKL-2006-204-01-01-0. KFKI, Budapest.

#### **EGYÉB PUBLIKÁCIÓ**

Hartmann, B., Török, Sz., Börcsök, E., Groma, V., 2014: Multi-objective method for energy purpose redevelopment of brownfield sites, *Journal of Cleaner Production* 82: pp. 202-212.

#### **KONFERENCIA ANYAGOK**

Groma, V., Ferenczi, Z., Alföldy, B., Osán, J., Török, S., Steib, R., 2016: EDMS model verification considering remarkable changes in airport traffic system, 17th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes 9-12 May 2016, Budapest, Hungary

Hartmann, B., Török, S., Börcsök, E., Groma, V., 2014: Energy purpose redevelopment of Brownfield sites -An examination & evaluation method In: 37th World Energy Engineering Congress, WEEC 2014. Konferencia helye, ideje: Washington, Amerikai Egyesült Államok, 2014.10.01-2014.10.03.pp. 1391-1397.

Alföldy, B., Groma, V., Börcsök, E., Nagy, A., Czitrovsky, A., Török, S., 2009: Determination of vertical distribution of air pollution over Budapest by aircraft based measurements, European Aerosol Conference 2009, Karlsruhe

Groma, V., Osán, J., Alsecz, A., Török, S., Meirer, F., Strelí, C., Wobrauschek, P., Falkenberg, G., 2007: Trace element analysis of airport related aerosols using SR-TXRF. 12th Conference on Total Reflection X-Ray Fluorescence Analysis and Related Methods, 18–22 June 2007, Povo (Trento), Italy.

Schuermann, G., Schaefer, K., Emeis, S., Torok, S., Groma, V., 2007: Application of Bayesian Inverse Methods to Determine Emission Strengths on the Airport Budapest, 8th International Conference on Emissions Monitoring, 5-6 Sep. 2007, Zürich, Switzerland.

Groma, V., Alföldy, B., Osán, J., Kugler, S., Kalocsai, M., 2007: Impact of the airport related traffic on the urban particulate pollution. European Aerosol Conference, 9th-14th Sept. 2007, Salzburg, Austria.

Schäfer, K., Schürmann, G., Jahn, C., Matuse, C., Schäfer, K., Schürmann, G., Jahn, C., Matuse, C., Hoffmann, H., Takacs, E., Alföldy, B., Groma, V., Kugler, Sz., 2007: Budapest airport air quality long-

term studies by remote sensing with DOAS and FTIR with focus upon runway emissions, Proceeding of SPIE meeting, 2007

*Schürmann, G., Schäfer, K., Jahn, C., Hoffmann, H., Groma, V., Török, S., Emeis, S.:* Airport air quality studies by remote sensing and inverse dispersion modelling. In: Remote Sensing of Clouds and the Atmosphere XI, Remote Sensing, An SPIE Europe Event, Stockholm, Sweden, 11. – 16.09.2006

*Groma, V., Osán, J., Török, S., Strelí, C., Wobrauschek, P., Meirer, F., Falkenberg, G.,* 2006: Trace element analysis of fine aerosol particles with high time resolution using SR- TXRF. EXRS 2006, European Conference on X-Ray Spectrometry, June 19-23, 2006 – Paris, France

*Osán, J., Groma, V., Stefaniak, E., Worobiec, A., Török, S., Rasztočky, M. K., Kugler, S., Grieken, R.V.,* 2006: Microcharacterization and identification of tire debris of airplanes. EXRS 2006, European Conference on X-Ray Spectrometry, June 19-23, 2006 – Paris, France

## **REFERENCIÁK**

*CCSI, Inc., 2004:* Emissions and Dispersion Modeling System (EDMS) User's Manual. Prepared for: Federal Aviation Administration Office of Environment and Energy. Washington, DC. FAA-AEE-04-02.

*Maenhaut, W., Raes, N., Chi, X., Cafmeyer, J., Wang, W., Salma, I.,* 2005: Chemical composition and mass closure for fine and coarse aerosols at a kerbside in Budapest, Hungary, in spring 2002. *X-ray Spectrometry* 34, 290–296.