

Egyetemi doktori (PhD) értekezés tézisei  
Abstract of PhD Thesis

**Debrecen városi aeroszol forrásai 2007 és 2011 között**

**Urban aerosol sources in Debrecen between 2007 and 2011**

**Angyal Anikó**

Témavezető/Supervisor:  
Dr. Kertész Zsófia  
és Dr. Posta József



Debreceni Egyetem  
Juhász-Nagy Pál Doktori Iskolája

University of Debrecen  
Pál Juhász-Nagy Doctoral School  
Debrecen, 2015

**Készült**

a Debreceni Egyetem Juhász-Nagy Pál Doktori Iskolájának  
Környezetanalitika és alkalmazott ökológia programja keretében  
az MTA Atommagkutató Intézetben.

**Prepared at**

the University of Debrecen

Pál Juhász-Nagy Doctoral School

and

the Institute for Nuclear Research, Hungarian Academy of  
Sciences

## Bevezetés

A légköri aeroszol diszperz kolloid rendszer, amelyet a levegő és a benne szuszpendált formában lévő szilárd és/vagy cseppfolyós részecskék alkotnak. A jelentőségét az adja, hogy hatással van a Föld sugárzási mérlegére, az emberi egészségre, az épített környezetre és az ökológiai rendszerekre. Miután az antropogén perturbáció általában forgalmas nagyvárosokban, városrészeken és iparvidékeken koncentrálódik, a légköri aeroszol egészségügyi hatásai elsősorban ezeken a területeken figyelhetők meg. A nagyvárosokban olykor kialakuló kedvezőtlen időjárási tényezőknek köszönhetően a levegőbe jutó szennyezőanyagok függőleges elszállítása legyengül vagy teljesen megszűnik, amely *szmog* (füstköd) kialakulásához vezet. Mindezek következményeként a kutatók és a hivatalos szervek számára egyre égetőbb kérdéssé vált az aeroszol részecskék forrásainak meghatározása, amely alapjául szolgálhat a magas aeroszol koncentráció csökkentéséhez. Mindehhez szükséges az adott területen a részecskék mennyiségének, kémiai összetételnek, méret szerinti eloszlásának, valamint időbeli változásainak ismerete.

## **Célkitűzések**

Bekapcsolódva az MTA Atommagkutató Intézetének Ionnyaláb-fizikai Osztályán folyó légtörő aeroszol kutatásokba PhD munkám célja a városi aeroszol forrásainak azonosítása és jellemzése volt. Munkám során meghatároztam a városi aeroszol forrásait, azok szezonális, napi, napszaki változásait, valamint az időjárási paraméterektől való függését. Az aeroszol összetétel erősen változik az időben, ezért szükséges volt olyan mintavételi és analitikai technikák alkalmazására, amelyek lehetővé teszik a gyors időbeli változás nyomon követését. A városi aeroszol forrásainak jellemzését óras feloldást adó mintavételi technika, nukleáris analitikai módszerek, egyedi szemcse analízis, valamint statisztikai analízis (korreláció-számítás, hierarchikus klaszteranalízis, valamint pozitív mátrix faktorizációs modell) kombinált alkalmazásával valósítottam meg.

## Vizsgálati módszerek

A városi aeroszol vizsgálatokhoz gyűjtött aeroszol minták Debrecenben, az MTA Atommagkutató Intézet (MTA Atomki) udvarán lévő mintavételi állomásról származnak. Az aeroszol-koncentrációban bekövetkező gyors időbeli változások nyomon követésére „streaker” mintavevőt alkalmaztunk, valamint egyes mintavételi kampányok alatt az aeroszol méreteloszlásának megállapításához tízfokozatú kaszkád impaktort. Az aeroszol minták elemösszetételét proton indukált röntgenemissziós (PIXE) analitikai módszerrel határoztuk meg. A PIXE a légköri aeroszolak elemi analízisére különösen jól használható és széles körben alkalmazott multielemes analitikai technika, ugyanis nagy érzékenységgű (0,1-100  $\mu\text{g/g DL}$ ) és kis anyagmennyiségek ( $10^{-9}$ - $10^{-12}$  g) kimutatására alkalmas. Az analízist az MTA Atomki 5 MeV névleges feszültségű Van de Graaff gyorsítójának jobb 45°-os nyalábcatornáján lévő PIXE mérőkamrában történt. Az így kapott, elemi összetevőket tartalmazó adatbázis elemzését az Egyesült Államok Környezetvédelmi Ügynöksége által receptor területek forrásanalízisére kifejlesztett pozitív mátrix faktoranalízis modellel végeztem mindkét méretfrakcióra. Meghatároztam a források profilját és az egyes források járulékát. Az emissziós eseményként azonosított mintákon, valamint azokon a mintákon,

amikor magas klór koncentrációt mértünk, egyedi aeroszolszemcse vizsgálatokat végeztünk az MTA Atomki pásztázó ion mikroszondáján, amely a fent említett gyorsító 0°-os nyalábszarnájára van telepítve. A mintákat 100 pA áramerősségű,  $1,2 \times 1,2 \mu\text{m}^2$  méretű, 2 MeV-es energiájú protonokból álló nyalábbal sugároztuk be. A mintákon  $100 \times 100 \mu\text{m}^2$  területen pásztázó üzemmódban elemterképeket vettünk fel, és vizsgált területen minden egyes azonosított részecskének meghatároztuk az elemi összetételét. A spektrumok kiértékelése, az elemkoncentrációk meghatározása a PIXEKLM számítógépes programmal történt. Az aeroszol részecskék csoportosítását, forrásainak meghatározását statisztikai módszerek, pl. hierarchikus klaszteranalízis segítségével végeztem.

## Új tudományos eredmények

A doktori dolgozatomban bemutatott eredményeimet az alábbi tézispontokban foglalom össze:

### 1. Debrecen városi aeroszol forrásai témaköréből

A 2007 és 2011 között, néhány órás időfeloldással gyűjtött minták elemi összetevőinek időbeli változásait, egymással való korrelációját, valamint a források hosszú és rövidtávú változásait, a meteorológiai paraméterektől és az emberi tevékenységtől való függését vizsgáltam.

1.1 PMF analízissel (a 2007 és 2009 között gyűjtött minták adatai alapján) megállapítottam, hogy a finom módusban az aeroszol forrásai a szulfát, a biomassza égetés, a talaj, az út pora és villamosközlekedés, a Pb-Zn korrelációval nyomjelzett forrás, Cl-al nyomjelzett és a Si. A durva frakcióban azonosított források a közlekedés, az olajégetés, a talaj, a biomassza égetés, a villamosközlekedés, a Pb-ban bedúsult talaj, valamint egy Cl-os forrás.

1.2 A talaj járuléka az őszi és a tavaszi, míg a közlekedés járuléka az őszi és a téli mintavételi kampányok alatt érte el maximumát. A talaj forraserőssége hétköznapiakon és nappal

volt maximális. A klórként és a biomassza égetésként azonosított források legnagyobb forrás járulékát télen figyeltem meg. Az égetés esetében éjszakai maximumokat tapasztaltam. A kampányok alatt a szulfát hozzájárulása mind szezonálisan mind napi szinten egyenletes volt.

## **2. A források azonosítása egyediszemcse-analízis alapján**

Egyediszemcse-analízissel vizsgáltam az emissziós epizódokat, valamint magas Cl tartalmú mintákat, mivel a Cl eredetét nem sikerült a „bulk” analízissel megfelelően tisztázni.

- 2.1. Azonosítottam természetes és antropogén eredetű epizódokat. Szaharai por jelent meg több mintavételi kampány alatt (2008. május, 2008. augusztus, 2009. január, 2009. július), amelyeket a Ti/Fe és a Ti/Ca elemarányok változásában figyeltem meg. Továbbá több antropogén epizód esetében a Cl fémekkel (Cu, Zn, Pb) való megjelenése volt jellemző 2009-ig, melynek forrása valószínűen a hulladékfeldolgozó üzem.
- 2.2. Hierarchikus klaszteranalízissel kimutattam, hogy a városi klórtartalmú részecskék elsődleges forrásai a durva frakcióban a téli sózás, a tengeri só, a biomassza égetés, a mezőgazdaság és az építkezés.



2.3. Azonosítottam az emissziós események forrásait a durva frakción, amelyek a következők: biomassza égetés, olajégetés, közlekedés. Kimutattam, hogy az amorf szemcsék elsősorban biomassza égetésből származnak. Azonosítottam magas hőmérsékletű folyamatok eredményeként kialakuló gömb alakú szemcséket, valamint NaCl-szerkezetben kristályosodó sókat.

### **3. A városi aeroszol vizsgálata szmog ideje alatt**

A 2011 novemberében elrendelt *szmogriadó* ideje alatt gyűjtött mintákat vizsgáltam.

3.1. Megállapítottam, hogy a mért összetevők közül a finom módusú aeroszol tömegkoncentrációjához legnagyobb mértékben a S, K és a korom járult hozzá, míg a durva frakció esetében inkább a talaj eredetű elemek (Si, Ca), valamint a kén volt a meghatározó.

3.2. Megállapítottam, hogy a földkéreg eredetű elemek méreteloszlása (4-8  $\mu\text{m}$ ) a nagyméretű részecskék tartományában mutatott koncentrációnövekedést, míg a S, K, Cl és Zn legnagyobb koncentrációban a cseppmódusban (0,5-1  $\mu\text{m}$ ) volt megfigyelhető.

- 3.3. PMF analízissel megállapítottam, hogy a finom frakció forrásai a talaj, a közlekedés, a szulfát, a biomassza égetés, míg a durva módus esetén a talaj talajjavítószerrel, az út pora, és a biomassza égetés. A források napi menetében a biomassza égetés éjszakai maximumait figyeltem meg, mikor a keveredési rétegvastagság alacsony volt. A talaj járuléka azonban azonos tendenciát mutatott a keveredési rétegvastagság alakulásával.
- 3.4. Megmutattam a források lokális széliránytól és szélsébségtől való függését is. Az elsődleges szélirány észak-északkeleti volt, ahol a lakóövezet és a mezőgazdasági tangazdaság található. Ezt azonosítottam forrásterületként több esetben (biomassza égetés, talaj talajjavítószerrel). A közlekedés és a szulfát esetében a dél-nyugati szélirány volt a meghatározó, ahol az ipari park (ipari vállalkozások, csapágygyár) és forgalmas főutak találhatók.

## **Introduction**

Atmospheric aerosols are defined as a suspension of solid and liquid particles in the air. Aerosol particles play an important role because of their effects on global climate change, human health, ecological systems and cultural heritage. Anthropogenic perturbations concentrate in urban and industrial areas, thus the negative impact on human health also identifiable these regions. Due to unfavourable weather conditions, sometime in urban environment, the vertical transport of aerosols decreases or stops resulting in smog episodes. Thus characterization of aerosol sources is a relevant task for not only researchers but for governmental agencies too. In order to understand the effects of atmospheric aerosols, its elemental composition, size distribution as well as its diurnal and spatial variation should be known.

## **Objectives**

The aim of my PhD work was - by joining the atmospheric aerosol research program at the Section of Ion Beam Physics of MTA Atomki - to identify the sources of urban aerosol. During my work I focused on the identification of the urban aerosol sources, their diurnal and seasonal variation and their emission areas. The characterization of urban aerosols was

achieved by applying sampling methods which could provide good size separation and time resolution (cascade impactor and streaker). The elemental composition of the samples was determined by PIXE and micro-PIXE measurements. Furthermore statistical analysis (Positive Matrix Factorisation, hierarchical cluster analysis) were used to identify the aerosol sources.

### **Applied methods**

In the frame of this work aerosol samples were collected with a PIXE International streaker sampler and a PIXE International cascade impactor at the court of MTA Atomki. The elemental composition of aerosol samples was determined by proton induced X-ray emission (PIXE). The PIXE method is widely used for elemental analysis of atmospheric aerosols since sample preparation is not needed and only a small amount of sample is required. The measurements were carried out using the PIXE chamber of the IBA Lab. of the MTA Atomki installed on the left 45° beamline of the 5 MV Van de Graaff accelerator. Source apportionment was carried out with the positive matrix factorisation receptor model version PMF 3.0 developed for aerosol source characterization, provided by US Environmental Protection Agency (EPA). Mass of species apportioned to factor, percentage of species apportioned to factors and contributions

associated with factors were determined for the coarse and fine fractions separately. The hourly evolution of the elemental components showed several emission episodes while concentration values of one or more elements significantly increased for a few-hour-long period in both size fractions. Some of these events could be related to heavy metals like Fe, Cu, Zn, Ni, Co, Ba and Pb. Further, Cl behaved differently from other elements in the coarse mode. In these samples single particle analysis was carried out by nuclear and electron microscopy. The investigation of selected samples was done on the ATOMKI Scanning Nuclear Microprobe in order to determine the chemical composition of aerosol particles and thus their possible sources. The samples were irradiated with a  $1,2 \times 1,2 \mu\text{m}^2$   $\text{H}^+$  beam of 2 MeV energy and of 100 pA current. In each sample, measurements were carried out by scanning several  $75 \times 75$  and  $100 \times 100 \mu\text{m}^2$  regions. The elemental composition of all identified particles was determined. The evaluation of the X-ray spectra was done with the PIXEKLM program code. In order to group the particles hierarchical cluster analysis (Ward method) was carried out on the obtained elemental concentration data set.

## **New scientific results**

I have summarized the results of my PhD dissertation in the following thesis points:

### **1. Identification of the urban aerosol sources in Debrecen**

In the frame of this study I examined aerosol samples collected in the period of 2007 - 2011. I investigated the hourly evolution of elemental composition and the correlation between the elements, the temporal variation of the aerosol sources in a short and a long time scale, as well as how the identified sources depend on meteorological parameters and anthropogenic activities.

1.1. Performing PMF (Positive Matrix Factorisation) analysis, the following sources were identified: sulphates originating from combustion and regional background, biomass burning, road dust and tram traffic, a source which can be characterized by strong correlation between Pb and Zn, a source traced by Cl and a source traced by Si in the fine size fraction. In the coarse fraction the main sources were: traffic, oil combustion, biomass burning, tram traffic, soil with enriched Pb and a source traced by Cl.

1.2. I determined the seasonal and diurnal contribution of factors by PMF analysis. The soil showed the highest contribution in spring and autumn while the higher contribution of traffic was detected in autumn and in winter. Biomass burning showed large contributions during the night time. The factor was the most significant in January 2009, this overlaps the time of the “gas crisis” in Europe. The strength of the source of chlorine was significant during winters. The source of sulphate had a relatively uniform distribution in time.

## **2. Source identification by single particle analysis**

The aim of this part of my research activities was to give a more accurate characterization of the possible sources of Cl-containing aerosol particles and emission episodes.

2.1. Both natural and anthropogenic emission episodes were identified during the campaigns. Through the (Ti/Fe, Ti/Ca) elemental ratios, I have shown that the samples collected in Debrecen contained particles of Saharan origin. Such episodes appeared during the following campaigns: May 2008, August 2008, January 2009, July 2009. Furthermore anthropogenic emission episodes identified by elevated Cl and heavy metal

concentrations could be connected to the operation of a waste recycling plant.

2.2. Hierarchical cluster analysis showed the presence of five particle groups which explained the sources of Cl. The main sources were the salting of streets during winter and sea-salt in spring and autumn. This latter was confirmed by backward trajectory modelling, showing that the aerosol particles arrived here by long-range transport processes. Buildings could give the most important source-contribution in springs, the agriculture in summer and the biomass burning in winter.

2.3. In the coarse fraction, the following sources of emission episodes were identified: biomass burning, oil combustion, traffic. Amorphous particles could be derived from biomass burning. Furthermore, spherical shape of particles was identified too, which could be created in high temperature processes. NaCl-crystalline particles comprised NaCl and KCl. Their origin was probably sea-salt, fertilizer or construction.



### **3. Urban aerosol investigations during smog episodes**

For two weeks in November 2011 a smog alert was ordered due to the continuous high pollution level in Debrecen. I examined aerosol samples collected during this smog episode.

- 3.1. Sulphur, potassium and black carbon gave the highest contribution - in the mass concentration of fine aerosol. At the same time the contribution of the soil-derived elements (Si, Ca) and sulphur were the most relevant in the mass concentration of the coarse aerosol.
- 3.2. The size distribution of the soil-derived elements showed an increase in the coarse fraction with a dominant peak at the 4-8  $\mu\text{m}$  range. It is likely that these elements were formed by mechanical processes such as resuspension of soil or road dust. In case of anthropogenic elements (K, Cl, S and Zn), one prevalent peak could be found in droplet mode (0.5-1  $\mu\text{m}$ ).
- 3.3. The PMF analysis resulted four factors in both size fractions. The sources were identified as soil, biomass burning, traffic and sulphate in case of the fine fraction while soil with soil improvement agent, biomass burning, and road dust were recognised in the coarse mode. Diurnal pattern of the biomass

burning was the following: the contributions were high during night and low in the afternoon, mainly due to the residual heating and minimum height of PBL (planetary boundary layer) at nights. At the same time the diurnal trends of soil were similar to the variation of the PBL.

3.4. The dominant wind direction varied from north-northeast to east, which correspond to the location of the suburb area. This area was identified as the origin of some sources *i.e.* biomass burning, soil with soil improvement agent. In case of traffic and sulphate, the southwest was the prevalent wind direction, where the industrial park and the main roads can be found.

*Referált folyóiratban megjelent publikációk*  
*Publications in refereed journals*

1. **A. Angyal**, Zs. Kertész, Z. Szikszai and Z. Szoboszlai: *Study of Cl-containing urban aerosol particles by ion beam analytical methods*, NIM B **268**, (2010) 2211-2215. (impakt faktor:1.042; független hivatkozás:1)
2. **A. Angyal**, Zs. Kertész, Z. Szikszai, Z. Szoboszlai, E. Furu, L. Csedreki, L. Daróczi: *Study of emission episodes of urban aerosols by ion beam analytical techniques*, NIM B. **269** (2011) 2399-2403. (impakt faktor:1.211; független hivatkozás:0)
3. Zs. Kertész, Z. Szoboszlai, **A. Angyal**, E. Dobos, I. Borbély Kiss, *Identification and characterization of fine and coarse particulate matter sources in a middle-European urban environment*, NIM B. **268** (2010) 1924-1928. (impakt faktor:1.042; független hivatkozás:8)
4. **A. Angyal**, Zs. Kertész, Z. Ferenczi, E. Furu, Z. Szoboszlai, Zs. Török, Z. Szikszai, *Variation of atmospheric aerosol components and sources during smog episodes in Debrecen, Hungary* (megjelenés alatt).

*Magyar nyelvű konferencia közlemények*  
*Hungarian conference proceedings*

5. **Angyal A.**, Kertész Zs., Szikszai Z., Szoboszlai Z., Furu E.: *Városi aeroszol emissziós epizódjainak vizsgálata ionnyaláb analitikai módszerekkel*. 6. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia. Nyíregyháza, 2010. április 22-24. Proceedings. Szerk.: Szabó B., Tóth Cs. (2010) 1:277-282.
6. **Angyal A.**, Kertész Zs., Szikszai Z., Szoboszlai Z., Furu E.: *Városi aeroszol forrásai*. 7. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia. Kolozsvár, Románia, 2011. március 24-27. Szerk.: Mócsy I. A. (2011) 90-94.
7. **Angyal A.**, Kertész Zs., Ferenczi Z., Furu E., Szoboszlai Z., Török Zs., Szikszai Z.: *Debreceni városi aeroszol forrásai szmog ideje alatt*. 11. Magyar Aeroszol Konferencia. Debrecen, 2013. október 28-30. Szerk.: Kertész Zs., Szikszai Z., Angyal A., Furu E., Szoboszlai Z., Török Z. (2013) 78-79.

*Rövid közlemények és előadások*  
*Proceedings, posters and talks*

1. **A. Angyal**, Zs. Kertész, Z. Szikszai, Z. Szoboszlai: *Study of Cl containing urban aerosol particles by ion beam analysis*. 19th International Conference on Ion Beam Analysis. Cambridge, UK, 7-11 Sept., 2009.
2. **Angyal A.**, Kertész Zs., Szikszai Z., Szoboszlai Z.: *Emissziós epizódok analízise debreceni városi aeroszol mintákon ionnyaláb-analitikai módszerekkel* 9. Magyar Aeroszol Konferencia. Balatonfüred, 2009. április 27-28.
3. **Angyal A.**, Kertész Zs., Szikszai, Szoboszlai Z., Furu E., Csedreki L.: *Study of emission episodes of urban aerosols by ion beam analytical techniques*. 12th International Conference on Nuclear Microprobe Technology and Applications. Leipzig, Germany, 26-30 July, 2010.
4. **Angyal A.**, Kertész Zs., Szikszai Z., Szoboszlai Z., Furu E.: *Városi aeroszol emissziós epizódjainak vizsgálata ionnyaláb analitikai módszerekkel*. 6. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia. Nyíregyháza, 2010. április 22-24.
5. **Angyal A.**, Kertész Zs., Szikszai Z., Szoboszlai Z.: *Study of Cl containing urban aerosol particles by ion beam analytical methods*. International Conference: Natural and Artificial Ecosystems in the Somes, Cris, Mures, Tisa River Basin. Arad, Romania, 7-8 May, 2010.

6. **Angyal A.**, Furu E., Szoboszlai Z., Török Zs., Kertész Zs.: *Debrecen városi aeroszol összetevőinek szélirány szerinti eloszlása*. 10. Magyar Aeroszol Konferencia. Galyatető, 2011. október 20-21.
7. **Angyal A.**, Molnár T., Kertész Zs., Szikszai Z., Szoboszlai Z., Furu E.: *Városi aeroszol forrásai*. 7. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia. Kolozsvár, Románia, 2011. március 24-27.
8. **Angyal A.**, Szoboszlai Z., Furu E., Török Zs., Kertész Zs.: *Study of urban aerosol by ion beam analytical techniques*. Regional Training Course on Air Sampling and Nuclear Analytical Characterisation of Atmospheric Particulate Matter (APM), including Quality Assurance/Quality Control (QA/QC). Zagreb, Croatia, 4-8 June, 2012.
9. **Angyal A.**, Kertész Zs., Ferenczi Z., Furu E., Szoboszlai Z., Török Zs., Szikszai Z.: *Debreceni városi aeroszol forrásai szmog ideje alatt*. 11. Magyar Aeroszol Konferencia. Debrecen, 2013. október 28-30.
10. **Angyal A.**, Kertész Zs., Ferenczi Z., Furu E., Szoboszlai Z., Török Zs., Szikszai Z.: *Variation of atmospheric aerosol componenets and sources during smog episodes in Debrecen, Hungary*. 13th International Conference on Particle Induced X-ray Emission. Gramado, Brazil, 3-8 March, 2013.

11. **Angyal A.**, Kertész Zs., Ferenczi Z., Furu E., Szoboszlai Z., Török Zs., Szikszai Z.: *Temporal variation of urban atmospheric aerosol during smog episodes in Debrecen, Hungary*. European Aerosol Conference. EAC 2013. Prague, Czech Republic, 1-6 Sept., 2013.

*Egyéb publikációk*

*Other publications*

1. Csedreki L., Szabó Sz, Uzonyi I., Kertész Zs., Szoboszlai Z., **Angyal A.**, Furu E, Kiss Á. Z.: *Felső-tiszai ártér környezeti nevezésm-szennyeződések vizsgálata röntgenfluoreszcens analízissel*. 6. Kárpát-medencei Környezet-tudományi Konferencia. Nyíregyháza, Proceedings. Szerk.: Szabó B., Tóth Cs. (2010) 289-294.
2. Furu E., Kertész Zs., Borbélyné Kiss I., Dobos E., Szikszai Z., **Angyal A.**, Szoboszlai Z., *Változások és tendenciák a debreceni aeroszol (szálló por) koncentrációjában és összetételében*. 6. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia. Nyíregyháza, Proceedings. Szerk.: Szabó B., Tóth Cs. (2010) 283-288.
3. Furu E., Szoboszlai Z., **Angyal A.**, Török Zs., Kertész Zs.: *Beltéri aeroszol vizsgálat debreceni oktatási intézményekben*. 7. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia. Kolozsvár, Románia, Szerk.: Mócsy I.A. (2011) 99-103.

4. Török Zs., Kertész Zs., Szikszai Z., Szoboszlai Z., **Angyal A.**, Furu E.: *Európa "aeroszol ujjlenyomata" Debrecen város légkörében.* 7. Kárpát-medencei Krnyezettudományi Konferencia. Kolozsvár, Románia, Szerk.: Mócsy I.A. (2011) 95-98.
5. Z. Szikszai, Zs. Kertész, E. Bodnár, I. Borbíró, **A. Angyal**, L. Csedreki, E. Furu, Z. Szoboszlai, Á. Z. Kiss, J. Hunyadi: *Nuclear microprobe investigation of the penetration of ultrafine zinc oxide into human skin affected by atopic dermatitis.* Nucl. Inst. and Meth. B. **269** (2011) 20:2278-2280.
6. Z. Szoboszlai, Gy. Nagy, Zs. Kertész, **A. Angyal**, E. Furu, Zs. Török, K. Ratter, P. Sinkovicz, Á.Z. Kiss. *Characterization of atmospheric aerosols in different indoor environments,* Acta Physica Debrecina **45** (2011) 207-217.
7. Szabó Gy., **Angyal A.**, Csikós A., Bessenyei E., Tóth E., Kiss P., Szabó Sz.: *A talajvíz szennyezettségének vizsgálata alföldi településeken.* Földtani Közlöny 134 (2010) 173-187.
8. Z. Szoboszlai Z., E. Furu, **A. Angyal**, Z. Szikszai, Zs. Kertész: *Investigation of indoor aerosols collected at various educational institutions in Debrecen, Hungary.* X-Ray Spectrometry **40** (2011) 176-180.



9. Z. Szoboszlai, Zs. Kertész, Z. Szikszai, **A. Angyal**, E. Furu, Zs. Török, L. Daróczy, Á. Z. Kiss: *Identification and chemical characterization of particulate matter from wave soldering processes at a printed circuit board manufacturing company*. Journal of Hazardous Materials **203** (2012) 308-316.
10. E. Furu, I. Katona-Szabó, **A. Angyal**, Z. Szoboszlai, Zs. Török, Zs. Kertész: *The construction of the Debrecen No2 tramline: Effects on the urban aerosol pollution*. 1. Innovation in Science - Doctoral Student Conference 2014. Szeged, Hungary, 2-3 May, 2014. Szeged, Magyar Kémikusok Egyesülete 0 (2014) 176-177.
11. Zs. Török, Zs. Kertész, Z. Szoboszlai, **A. Angyal**, E. Furu, Z. Szikszai, I. Borbély-Kiss: *Long range transport and local anthropogenic sources of fine aerosol particles over Debrecen*. 1. Innovation in Science - Doctoral Student Conference 2014. Szeged, Hungary, 2-3 May, 2014. Szeged, Magyar Kémikusok Egyesülete 0 (2014) 189-190.
12. Gy. Szabó, **A. Angyal**, A. Csikós, É. Bessenyei, E. Tóth, P. Kiss, P. Csorba, S. Szabó: *Examination of the groundwater pollution at lowland settlements*. Stud. Univ. „Vasile Goldis” Ser Stiint vietii **20** (4) (2010) 89-95.
13. Furu E., Katona-Szabó I., **Angyal A.**, Szoboszlai Z., Török Zs., Kertész Zs.: *Aeroszol szennyezettség vizsgálata villamos pályaépítés mentén Debrecenben*. 11. Magyar Aeroszol Konferencia. Debrecen, 2013. október 28-30.

- Előadások. Szerk.: Kertész Zs., Szikszai Z., **Angyal A.**, Furu E., Szoboszlai Z., Török Z. Debrecen, MTA Atommagkutató Intézete (2013) 76-77.
14. Papp E., Furu E., **Angyal A.**, Szoboszlai Z., Török Zs., Kertész Zs.: *Légköri aeroszol terhelés vizsgálata tömegközlekedési eszközökön.* 11. Magyar Aeroszol Konferencia. Debrecen, 2013. október 28-30. Előadások. Szerk.: Kertész Zs., Szikszai Z., **Angyal A.**, Furu E., Szoboszlai Z., Török Z. Debrecen, MTA Atommagkutató Intézete 0 (2013) 90-91.
15. Szoboszlai Z., Kertész Zs., Szikszai Z., **Angyal A.**, Furu E., Török Zs., Daróczy L., Kiss Á. Z.: *Nyomatott áramkörök hullámforrasztása során keletkezett aeroszolrészecskék azonosítása és kémiai jellemzése.* 11. Magyar Aeroszol Konferencia. Debrecen, 2013. október 28-30. Előadások. Szerk.: Kertész Zs., Szikszai Z., **Angyal A.**, Furu E., Szoboszlai Z., Török Z. Debrecen, MTA Atommagkutató Intézete (2013) 50-51.
16. Török Zs., **Angyal A.**, Furu E., Szoboszlai Z., Kertész Zs.: *Fejlesztések Debrecenben: Levegőre kivezetett ionnyalábos mikro-PIXE rendszer aeroszol minták mérésére.* 11. Magyar Aeroszol Konferencia. Debrecen, 2013. október 28-30. Előadások. Szerk.: Kertész Zs., Szikszai Z., **Angyal A.**, Furu E., Szoboszlai Z., Török Z. Debrecen, MTA Atommagkutató Intézete (2013) 36-37.

17. Kozmáné Szirtes K., **Angyal A.**, Szoboszlai Z., Furu E., Török Zs., Kertész Zs.: *Aeroszol vizsgálatok ócsai passzívház-közeli épületekben*. 11. Magyar Aeroszol Konferencia. Debrecen, 2013. október 28-30. Előadások. Szerk.: Kertész Zs., Szikszai Z., Angyal A., Furu E., Szoboszlai Z., Török Z. Debrecen, MTA Atommagkutató Intézete (2013) 48-49.

**Publikációk és előadások listája:**

**List of publications and talks:**

<http://www.atomki.hu/p2/authors/aut18308.htm#Table>

<http://www.atomki.hu/p2/authors/aut18308.htm#Table>



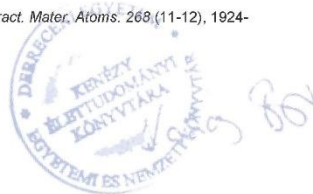
Nyilvántartási szám: DEENK/147/2015.PL  
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Angyal Anikó  
Neptun kód: U95GGP  
Doktori Iskola: Juhász-Nagy Pál Doktori Iskola  
MTMT azonosító: 10018360

### A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

#### Idegen nyelvű tudományos közlemény(ek) külföldi folyóiratban (3)

1. **Angyal, A.**, Kertész, Z., Szikszai, Z., Furu, E., Csedreki, L., Daróczy, L.: Study of emission episodes of urban aerosols by ion beam analytical techniques.  
*Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. B-Beam Interact. Mater. Atoms.* 269 (20), 2399-2403, 2011. ISSN: 0168-583X.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.nimb.2011.02.057>  
IF:1.211
2. **Angyal, A.**, Kertész, Z., Szikszai, Z.: Study of Cl-containing urban aerosol particles by ion beam analytical methods.  
*Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. B-Beam Interact. Mater. Atoms.* 268 (11-12), 2211-2215, 2010. ISSN: 0168-583X.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.nimb.2010.02.090>  
IF:1.042
3. Kertész, Z., Szoboszlai, Z., **Angyal, A.**, Dobos, E., Borbély-Kiss, I.: Identification and characterization of fine and coarse particulate matter sources in a middle-European urban environment.  
*Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. B-Beam Interact. Mater. Atoms.* 268 (11-12), 1924-1928, 2010. ISSN: 0168-583X.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.nimb.2010.02.103>  
IF:1.042





Magyar nyelvű konferencia közlemény(ek) (3)

4. **Angyal A.**, Kertész Z., Ferenczi Z., Furu E., Szoboszlai Z., Török Z., Szikszai Z.: Debreceni városi aeroszol forrásai szmog ideje alatt.  
In: XI. Magyar Aeroszol Konferencia : programok és előadáskivonatok: Debrecen 2013.  
október 28-30. MTA Atommagkutató Intézet, Debrecen, 74-75, 2013. ISBN: 9789638321503
5. **Angyal A.**, Kertész Z., Szikszai Z., Szoboszlai Z., Furu E.: Városi aeroszol forrásai.  
In: VII. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia: 2011. március 24-27., Kolozsvár.  
Szerk.: Mócsy Ildikó et al., Ábel Kiadó, Kolozsvár, 90-94, 2011.
6. **Angyal A.**, Kertész Z., Szikszai Z., Szoboszlai Z., Furu E.: Városi aeroszol emissziós epizódjainak vizsgálata ionnyaláb analitikai módszerekkel.  
In: VI. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia Nyíregyháza, 2010. április 22-24.  
Szerk.: Szabó Béla, Tóth Csilla, Bessenyei Kvk., Nyíregyháza, 277-282, 2010. ISBN:  
9789639909571

**További Közlemények**

Magyar nyelvű közlemény(ek) hazai folyóiratban (1)

7. Szabó G., **Angyal A.**, Csikós A., Bessenyei É., Tóth E., Kiss P., Szabó S.: A talajvíz veszélyeztetettségének vizsgálata alföldi településeken.  
*Földrajzi Köz.* 134 (2), 173-187, 2010. ISSN: 0015-5411.

Idegen nyelvű közlemény(ek) hazai folyóiratban (1)

8. Szoboszlai, Z., Nagy, G., Kertész, Z., **Angyal, A.**, Furu, E., Török, Z., Ratter, K., Scincovicz, P., Kiss, Á.Z.: Characterization of atmospheric aerosols in different indoor environments.  
*Acta Phys. Debr.* 45, 207-217, 2011. ISSN: 1789-6088.





Idegen nyelvű közlemény(ek) külföldi folyóiratban (4)

9. Szoboszlai, Z., Kertész, Z., **Angyal, A.**, Furu, E., Török, Z., Daróczy, L., Kiss, Á.Z.: Identification and chemical characterization of particulate matter from wave soldering processes at a printed circuit board manufacturing company.  
*J. Hazard. Mater.* 203-204, 308-316, 2012. ISSN: 0304-3894.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.12.030>  
IF:3.925
10. Szoboszlai, Z., Furu, E., **Angyal, A.**, Szikszai, Z., Kertész, Z.: Investigation of indoor aerosols collected at various educational institutions in Debrecen, Hungary.  
*X-Ray Spectrom.* 2011, 176-180, 2011. ISSN: 0049-8246.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/xrs.1323>  
IF:1.445
11. Szikszai, Z., Kertész, Z., Bodnár, E., Borbíró, I., **Angyal, A.**, Csedreki, L., Furu, E., Szoboszlai, Z., Kiss, Á.Z., Hunyadi, J.: Nuclear microprobe investigation of the penetration of ultrafine zinc oxide into human skin affected by atopic dermatitis.  
*Nucl. Instrum. Methods. Phys. Res. B.* 269 (20), 2278-2280, 2011. ISSN: 0168-583X.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.nimb.2011.02.055>  
IF:1.211
12. Szabó, G., **Angyal, A.**, Csikós, A., Bessenyei, É., Tóth, E., Kiss, P., Csorba, P., Szabó, S.: Examination of the groundwater pollution at lowland settlements.  
*Stud. Univ. "Vasile Goldis" Ser. Ştiinţ. vieţii.* 20 (4), 89-95, 2010. ISSN: 1584-2363.

Magyar nyelvű konferencia közlemény(ek) (9)

13. Furu E., Katona-Szabó I., **Angyal A.**, Szoboszlai Z., Török Z., Kertész Z.: Aeroszol szennyezettség vizsgálata villamos pályaépítés mentén Debrecenben.  
In: XI. Magyar Aeroszol Konferencia : programok és előadáskivonatok: Debrecen 2013. október 28-30. MTA Atommagkutató Intézet, Debrecen, 76-77, 2013. ISBN: 9789638321503
14. Papp E., Furu E., **Angyal A.**, Szoboszlai Z., Török Z., Kertész Z.: Légekő aeroszol terhelés vizsgálata tömegközlekedési eszközökön.  
In: XI. Magyar Aeroszol Konferencia : programok és előadáskivonatok: Debrecen 2013. október 28-30. MTA Atommagkutató Intézet, Debrecen, 48-49, 2013. ISBN: 9789638321503



15. Szoboszlai Z., Kertész Z., Szikszai Z., **Angyal A.**, Furu E., Török Z., Daróci L., Kiss Á.Z.:  
Nyomatott áramkörök hullámforrasztása során keletkezett aeroszolrészecskék azonosítása  
és kémiai jellemzése.  
In: XI. Magyar Aeroszol Konferencia : programok és előadáskivonatok: Debrecen 2013.  
október 28-30. MTA Atommagkutató Intézet, Debrecen, 50-51, 2013. ISBN: 9789638321503
16. Török Z., **Angyal A.**, Furu E., Szoboszlai Z., Kertész Z.: Fejlesztések Debrecenben:Levegőre  
kihozott ionnyalábos mikro-PIXE rendszer aeroszol minták mérésére.  
In: XI. Magyar Aeroszol Konferencia : programok és előadáskivonatok: Debrecen 2013.  
október 28-30. MTA Atommagkutató Intézet, Debrecen, 36-37, 2013.
17. Kozmáné Szirtesi K., **Angyal A.**, Szoboszlai Z., Furu E., Török Z., Kertész Z.: Aeroszol  
vizsgálatok ósai passzivház-közelí épületekben.  
In: XI. Magyar Aeroszol Konferencia : programok és előadáskivonatok: Debrecen 2013.  
október 28-30. MTA Atommagkutató Intézet, Debrecen, 48-49, 2013. ISBN: 9789638321503
18. Furu E., Kertész Z., Borbély-Kiss I., Dobos E., **Angyal A.**, Szoboszlai Z.: Váitózások és  
tendenciák a debreceni aeroszol (szálló por) koncentrációjában és összetételében.  
*VI. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia Nyíregyháza, 2010. április 22-24. /  
szerk. Szabó Béla, Tóth Csilla*, p. 283-288. -, 2010.
19. Furu E., Szoboszlai Z., **Angyal A.**, Török Z., Kertész Z.: Beltéri aeroszol vizsgálat debreceni  
oktatási intézményekben.  
*Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia Proceedings 7.*, 99-103, 2011.
20. Török Z., Kertész Z., Szikszai Z., Szoboszlai Z., **Angyal A.**, Furu E.: Európa "aeroszol-  
újijnyomata" Debrecen város legkörében.  
*VII. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia: 2011. március 24-27., Kolozsvár /  
[szerk. Mócsy Ildikó et al]*, p. 95-98., 2011.
21. Csedreki L., Szabó S., Uzonyi I., Kertész Z., Szoboszlai Z., **Angyal A.**, Furu E., Kiss Á.Z.: Felső-  
tiszaí ártér környezeti nevezéfm-szenyvezódésinek vizsgálata röntgenfluoreszcens  
analízissel.  
In: VI. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia. Nyíregyháza, 2010. április 22-24.  
Szerk.: Szabó Béla, Tóth Csilla, Bessenyei György Kiadó, Nyíregyháza, 289-294, 2010.  
ISBN: 9789639909571





Idegen nyelvű konferencia közlemény(ek) (2)

22. Török, Z., Kertész, Z., Szoboszlai, Z., **Angyal, A.**, Furu, E., Szikszai, Z., Borbély-Kiss, I.: Long range transport and local anthropogenic sources of fine aerosol particles over Debrecen. *Magyar Kémikusok Egyesülete Proceedings 2014*, 189-190, 2014.
23. Furu, E., Katona-Szabó, I., **Angyal, A.**, Szoboszlai, Z., Török, Z., Kertész, Z.: The construction of the Debrecen No2 tramline: Effects on the urban aerosol pollution. In: 1st Innovation in Science 2014 : Doctoral Student Conference : May 2-3, 2014, Szeged [elektronikus dok.]. Magyar Kémikusok Egyesülete : Doktoranduszok Országos Szövetsége, [Budapest], 176-177, 2014. ISBN: 9789639970526

**A közlő folyóiratok összesített impact faktora: 9,876**

**A közlő folyóiratok összesített impact faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre): 3,295**

A DEENK a Jelölt által az IDEa Tudóstérbe feltöltött adatok bibliográfiai és tudományometriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2015.07.17.

