



Tel: +36-52-509200

Fax: +36-52-416181

E-mail: zsofi@atomki.hu

projekt száma: OTKA F60377

Debrecen, 2009. április 30.

SZAKMAI ZÁRÓJELENTÉS

LÉGKÖRI AEROSZOLOK TULAJDONSÁGAINAK ÉS HATÁSAINAK IONNYALÁB ANALITIKAI MÓDSZEREKEN ALAPULÓ VIZSGÁLATA

Projekt kezdete: 2006. február 1

Projekt vége: 2009. január 31.

Résztvevő: Kertész Zsófia

A kutatást biztosító intézmény: MTA Atommagkutató Intézete, Debrecen

1. A projekt célja

Az emberi egészségre gyakorolt negatív hatásuk valamint a Föld sugárzási egyensúlyának alakulásában játszott szerepük miatt a légköri aeroszol részecskék tulajdonságainak pontos, kvantitatív felmérése már nemcsak a kutatók számára fontos, hanem az egyes kormányok és hatóságok számára is. A debreceni Atommagkutató Intézet (ATOMKI) Ionnyaláb Alkalmazások Laboratóriumában (IBA Lab) közel 30 éve rendszeresen végzünk PIXE módszerre alapozott aeroszol vizsgálatokat. Tanulmányozzuk a régióra jellemző aeroszol mennyiségét, elemösszetételét, méreteloszlását, szezonális és hosszú távú változásait, forrásait és a légzőrendszer mentén való lerakódási valószínűségét.

A jelen OTKA projekt célja az volt, hogy folytassuk és bővítsük az IBA Laborban folyó aeroszol kutatást annak érdekében, hogy új, részletesebb és pontosabb információkat nyerjünk a régióra jellemző aeroszol eredetéről, tulajdonságairól és hatásairól. A cél elérése érdekében fejlesztettük és bővítettük a rendelkezésre álló analitikai, mintavételi és kiértékelési módszereket. A kidolgozott technikák felhasználásával aeroszol mintavételi kampányokat folytattunk nagy méret és időfeloldással és a kapott mintákat ionnyaláb analitikai módszerek segítségével vizsgáltuk makro és mikro szinten is.

2. Fejlesztések

2.1. Mintavétel

2.1.1. Mikrometeorológiai állomás üzembeállítása

A projekt keretén belül beszereztem egy Davis Instruments Vantage Pro2 típusú mikrometeorológia állomást, és üzembe helyeztem az ATOMKI VI. épületének tetején. A mikrometeorológiai állomás 2007 áprilisa óta folyamatosan szolgáltatja a helyi meteorológiai paramétereket (hőmérséklet, relatív páratartalom, légnyomás, szélirány, szélereősség, csapadék mennyisége) 1 órás időfeloldással.

2.1.2. Membránszivattyúk és mintavevők üzembe állítása

Üzembe állítottam két, már meglévő membrán szivattyút és egy új, időbeli változások monitorozását lehetővé tevő szakaszosan léptető streaker mintavevőt. Rendbehoztuk az évek során tönkrement, terepi használatra kifejlesztett hordozható membránszivattyúkat is. Mivel az egyik nagyobb kapacitású (18 l/perc) szivattyú meghibásodott, ezért az OTKA pályázat terhére beszereztem egy hordozható, személyi mintavételre is alkalmas 15l/perc teljesítményű aeroszol mintavevőt. A szivattyú üzembe állítása és kalibrálása megtörtént.

2.1.3. Mintavételi kampányok

Mintavételi kampányokat folytattam a debreceni városi aeroszol méreteloszlásának és elemi összetevőiben bekövetkező órás időbeli változások nyomonkövetésére PIXE International gyártmányú 9 fokozatú kaszkád impaktor és 2-fokozatú streaker mintavevőkkel.

A nagyobb mintavételi kampányok időpontjai 2007. április 9-16, 2007. október 10-19, 2008. január 24-30, 2008. május 15-24, 2008. augusztus 18-27 és 2009. január 13-19 voltak. A mintavétel helyszíne az ATOMKI udvara Debrecen belvárosában, a szokásos aeroszol mintavételi hely.

2007 és 2008 folyamán több kisebb mintavételi kampány is zajlott beltéri és kültéri aeroszol méreteloszlásának meghatározására, valamint új impaktor fóliák tesztelése céljából.

2.1.4. Új impaktor fóliák tesztelése

A pásztázó ion mikorszondával végzett egyedi aeroszol szemcse vizsgálataink során hamar bebizonyosodott, hogy a makro-PIXE vizsgálatokhoz használt kommerciális szűrők és impaktor fóliák nem alkalmasak hordozónak akkor, ha az aeroszol részecskék könnyű elemi összetevőit (H, C, N, O) és morfológiáját is vizsgálni akarjuk. Ezek a szűrők (polikarbonát membránszűrő) és fóliák (paraffinnal bevont kapton) általában vastagok (8-12 μm), ezért a hátlap hozzájárulása miatt a C, O, N térképezés és koncentráció meghatározás nem lehetséges még a nagyobb méretű részecskék esetében sem. A ráadásul ezek a hordozó anyagok különféle szennyezőket is tartalmaznak.

Ezért a projekt keretében több új anyagot próbáltunk ki aeroszol hordozóként, és teszteltük ezek alkalmasságát ionnyaláb analízis során. Az alábbi anyagokra vettünk aeroszol mintát: Nuclepore polikarbonát membránszűrő (szokásos szűrő), PTFE szűrő, paraffinnal bevont kapton fólia (szokásos impaktor fólia), pioloform és LUXFilm (transzmissziós elektronmikroszkópiához használt hordozó filmek) valamint vékony Al fólia. Az ionnyaláb analízis során az alábbi tulajdonságokat tanulmányoztuk: nyalábbal szembeni ellenállás, háttérspektrum, részecskék lepergése nyaláb hatására, és teljes kvantitatív analízis lehetősége különböző méretű aeroszol részecskékre. Néhány eredményt az 1. táblázatban foglaltam össze.

1. táblázat. Aeroszol hordozó anyagok tulajdonságai

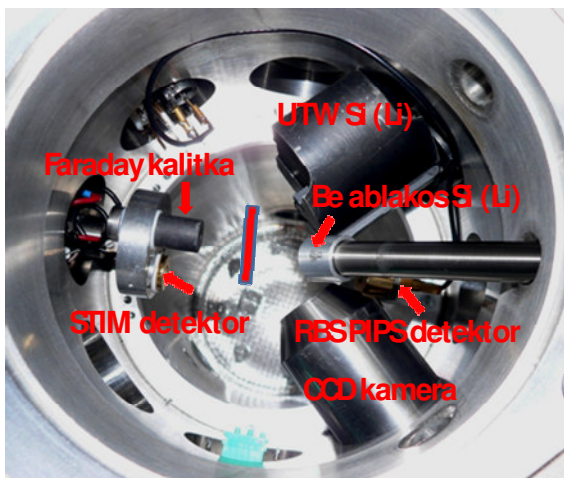
	polikarbonát	PTFE	kapton	Pioloform	LUXFilm	Al
fő összetevő	H, C, N, O	C, F	H, C, N, O	H, C, O	H, C, N, O	Al
szennyező ($\mu\text{g/g}$)	Na (1150) Si (570) P (580) S (160) Cl (430) Cr, Br		Na, Si, P, S, Cl, K, Ca, Fe, Cu (100-500) változik	Al (100) Si (400) S (80) Cl (260)	Si (77) Cu (220)	C (0.3%) O (0.7%) Cl (405) Fe (2330)
Vastagság	10 μm	4 μm	12 μm	~ 250 nm	50 nm	750 nm
Lepergés	van		nincs	nincs	ritkán	nincs
nyaláb- tűrés	közepes	rossz	jó	jó	jó	jó

A mintavétel szempontjából a vékony polimer filmek (pioloform, LUXFilm) megbízható, ellenálló anyagnak bizonyultak, míg az Al fólia gyakran sérült a mintavétel során. A PTFE a bombázó nyaláb hatására „elégett” már kis nyalábbintenzitás esetében is, míg a polimer filmek és az Al fólia esetében nem volt elváltozás.

Az ionnyaláb analízis szempontjából azt találtuk, hogy 2 μm -nél nagyobb méretfrakciók esetében a vékony polimer filmek megfelelő hordozó anyagok a részecskék komplex mikoranalíziséhez (kvantitatív C, N, O térképezés lehetséges PIXE-vel és kvalitatív H térképezés off-axis STIM-mel), azonban szubmikronos méretfrakciók esetében, amikor a részecske mérete összemérhető a fólia vastagságával, Al és vékony polimer vagy kapton fólia párhuzamos alkalmazása ajánlott [2].

2.2. Analitikai módszerek és mérőrendszerek a debreceni pásztázó ion mikroszondán

A projektnek az egyik fő célja az volt, hogy olyan mérő és adatgyűjtő rendszert hozzunk létre az ATOMKI pásztázó ion mikroszondáján, amellyel lehetővé válik könnyű elemek rutinszerű kimutatás is a szokásos, PIXE-vel meghatározható elemtartomány (Na-U) mellett. Egy nagykapacitású, gyakorlatilag a teljes periódusos rendszert átfogó, nagy térbeli feloldású komplex analitika megvalósításhoz több ionnyaláb-analitika egyidejű alkalmazására van szükség. A debreceni pásztázó ion mikroszondán rendelkezésre álló analitikai technikák a PIXE (részecskeindukált röntgenemisszió), RBS (Rutherford visszaszórás spektrometria), ERDA (rugalmasan meglökött magok analízise), STIM (transzmissziós ion mikroszkópia) valamint magreakció analitikai módszerek, pl. PIGE/DIGE (proton/deuteron indukált gamma emisszió). Több ionnyaláb analitikai technika kombinálásával lehetővé válik egy minta tömegének, morfológiájának (méret és alak), fő- és nyomelem összetételének és eloszlásának valamint az elemek mélységi eloszlásának mennyiségi meghatározása.



Egyedi aeroszol részecske vizsgálatokhoz elsősorban egy STIM, PIXE és RBS technikákon alapuló mérőrendszert használunk, amely a korábban létrehozott „bio-PIXE” mérőrendszer [Kertész Zs. et al, Nucl. Instr and Meth. B 231 (2005) 106] továbbfejlesztett változata. A részecskék alakját, méretét és morfológiáját STIM módszerrel határozzuk meg. Elemkoncentráció értékeket $Z \geq 6$ elemekre egy ultravékony ablakos és egy Be ablakos detektorral nyert röntgenspektrumokból számítunk. Mikro-RBS szolgál a minta vastagságának, a mátrix összetételének és a mélységi profil meghatározására. Off-axis módban a STIM technika információt ad a minta H tartalmáról is.

Az egyedi aeroszol mérésekhez használt mérőkamra képe látható az ábrán.

A mérőrendszer részletes leírása megtalálható a [2,9,14,16] publikációkban.

Amikor szükségessé válik egy minta H tartalmának kvantitatív meghatározása jó térbeli feloldással, a mikro-ERDA technikát alkalmazzuk. Mivel az aeroszol mintáink vékonyak, a projekt keretében teszteltük az ERDA-t transzmissziós módban [14]. Ennek nagy előnye lett volna, hogy egyidejűleg lehetett volna alkalmazni a fent említett technikákkal, és képesek lettünk volna egyidejűleg meghatározni egy minta teljes elemi összetételét és szerkezetét. Azonban a tesztmérések során számos nehézség merült fel, ezért az IBA csoport munkatársai egy másik geometriájú RBS - ERDA mérőrendszert fejlesztettek ki, amellyel megvalósult a minták H (és könnyű elem) tartalmának és eloszlásának kvantitatív analízise [Huszánk R. et al., Nucl. Instr and Meth. B (2009), doi:10.1016/j.nimb.2009.03.065]. A mérőrendszer tesztelése aeroszol minták esetében folyamatban van.

Előfordulhat, hogy a már említett analitikai módszerek nem elég érzékenyek vagy pontosak könnyű elemek koncentrációjának meghatározásához. A könnyű elemek nyomelem szintű kimutatására az egyik legalkalmasabb módszer a DIGE, amelynek rutinszerű analitikai alkalmazása felé jelentős lépéseket tettünk 2005-ben és 2006-ban. Ennek keretében részt vettem a DIGE módszer abszolutizálását szolgáló mérőrendszerben. Meghatároztuk a ${}^6\text{Li}(d,p\gamma){}^7\text{Li}$, ${}^9\text{Be}(d,n\gamma){}^{10}\text{B}$, ${}^{11}\text{B}(d,p\gamma){}^{12}\text{B}$, ${}^{16}\text{O}(d,p\gamma){}^{17}\text{O}$ és ${}^{19}\text{F}(d,p\gamma){}^{20}\text{F}$ magreakciók reakció-hatáskeresztmetszeteit a 0,6 - 2 MeV energiatarományban. Ezáltal lehetővé vált a mintákban lévő Li, Be, B, O, F (és a későbbiek során a N és C) tartalom standard nélküli analízise akár 1-2 $\mu\text{g/g}$ kimutathatósági határral [6, 27]. A DIGE technika alkalmazható mind „bulk”, mind mikronyalábos analízisre.

3. Eredmények

3.1. Aeroszol források meghatározása [4,5,8,10,11,15]

Számos mintavételi kampányt folytattam 2007 áprilisától kezdve az aeroszol összetevőinek gyors időbeli változásának és méreteloszlásának monitorozására. A kampányonként gyűjtött 150-200 minta elemösszetételét ($Z \geq 13$) makro-PIXE technikával határoztuk meg. Vizsgáltam az egyes elemkoncentrációkban bekövetkező változásokat, azok periodicitását, korrelációját a többi elemmel valamint meteorológia paraméterekkel, úm. szélirány, szélerősség, hőmérséklet, páratartalom, légnyomás. A kapott adatok statisztikai értékelése az EPA által aeroszol források meghatározására kifejlesztett PMF modellel történt. A modellszámítás alapján mind a finom mind a durva frakcióban 7 forrást különítettünk el.

Kiszámítottam az összetevők források (faktorok) közötti tömeg szerinti és százalékos megoszlását, valamint az egyes források hozzájárulását az idő függvényében a durva és a finom frakcióra külön-külön.

Megállapítható, hogy a debreceni városi aeroszol jelentősebb forrásai a közlekedés direkt és indirekt emisszió valamint az útról felvert talaj eredetű por által, másodlagos szervesetlen aeroszol (szulfát), amely nagyrészt hosszú távú transzportból származik és a háztartási tüzelés (biomassza égetés). Ezen kívül mind a durva mind a finom frakcióban megjelent egy-egy Cl-ral dúsult forrás, amelyek eredete nem tisztázott. A finom frakcióban valószínűleg ipari eredetű, míg a durva frakcióban a Cl forrása valószínűsíthetően az utak téli sózása és tengeri só.

3.2. Emissziós epizódok észlelése [4,5,8,10,11,15]

A források meghatározásán kívül számos emissziós eseményt észleltünk, amikor is egy vagy több elem koncentrációja szignifikánsan megnövekedett néhány óra időtartamra. Ezek eredete jórészt ismeretlen, csak néhány forrását sikerült azonosítani. Egyik ilyen forrás az augusztus 20-i tűzijáték, amely megnövekedett S koncentrációhoz vezetett. Ezen kívül 2009. május 21-22-én a Ti/Ca és Ti/Fe arányok változásából azonosítottunk szaharai eredetű por epizódokat is.

3.3. Debreceni aeroszol méreteloszlása és tüdőbeni kiülepedésének valószínűsége [5,12,18,47]

Az időbeli változások nyomonkövetése mellett meghatároztuk a debreceni városi aeroszol elemi összetevőinek méreteloszlását is. A méreteloszlások alapján két alapvető részecsketípust tudunk megkülönböztetni. A talajeredetű elemek (Al, Si, Ca, Fe, Ba, Ti, Mn és Co) méreteloszlásban egy domináns csúcs található a 2-4 μm -es mérettartományban, és esetenként egy kisebb csúcs a 0,25-0,5 μm -es tartományban. Az antropogén elemek (S, K, Cl, Zn, Cu, Pb) esetében a domináns csúcs a 0,25-0,5 μm -re esik. A K és S bimodális eloszlást mutat, amelyben a finom és durva frakciós csúcsok erőssége évszaktól függően változik utalva arra, hogy ezen elemek legalább két különböző forrásból származnak. Megfigyeltük, hogy a talaj eredetű elemek méreteloszlása télen eltolódik a kisebb méretfrakciók felé. Hétfégen és hétköznapokon mért méreteloszlás között nem volt különbség.

Az impaktorral nyert méreteloszlás adatok bemenő paraméterként szolgáltak sztochasztikus tüdőmodell számításokhoz. Vizsgáltuk a különböző eredetű aeroszol légút menti lerakódásának valószínűségeit különböző légzési feltételek és fizikai terhelés mellett a KFKI AEKI-ben kifejlesztett IDEAL sztochasztikus tüdőmodellel.

3.4. Különböző mintavételi helyek vizsgálata [5,15,47]

Egy diplomamunka [47] keretében vizsgáltuk a debreceni városi aeroszol mennyiségét és összetételét két különböző mintavételi helyen: a belváros közelében (ATOMKI udvara) és egy újonnan létesített forgalmas közlekedési csomópont (4-es főút és M35 kereszteződése) szomszédságában. Azt találtuk, hogy az antropogén eredetű elemek koncentrációjában nincs szignifikáns különbség a két mintavételi hely között, azonban munkanapokon a közlekedési csomópontban kétszer-háromszor nagyobb koncentrációban voltak jelen a talajeredetű elemek mind

a finom, mind a durva frakcióban, jelezve, hogy ezen elemek fő forrása a közlekedés által felvert por.

3.5. Debreceni aeroszol hosszú távú tendenciái és Debrecen Európa aeroszol térképén [1,13,19]

A pályázat keretében vizsgáltuk még a debreceni városi aeroszol PM₂, PM₁₀ és elemi szén koncentrációjának valamint az egyes elemkoncentrációknak hosszú távú tendenciáit, valamint végeztünk összehasonlítást más európai nagyvárosokban mért aeroszol elemkoncentrációkkal. Ezekhez a tanulmányokhoz a 15 éve folyó, szokásos heti kétszeri 24 órás mintavételből származó adatokat használtuk.

3.6. Aeroszol vizsgálatok a debreceni pásztázó ion mikroszondán – egyedi szemcse analízis

3.6.1. Szaharai epizódból származó részecskék eredetének vizsgálata [3,9]

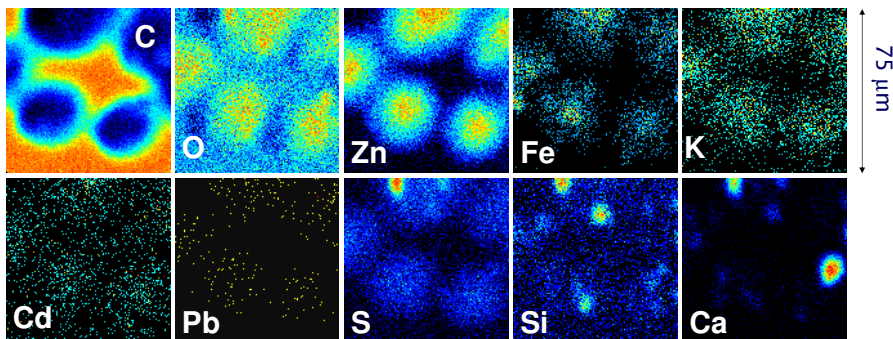
1991 óta közel 50 szaharai por eredetű epizódot észleltünk Debrecen atmoszférájában. Annak érdekében, hogy még több információt nyerjünk hosszú távú transzportból származó részecskék tulajdonságairól, egyedi szemcse analízist végeztünk szaharai port tartalmazó és kontrol mintákon. Mintegy 250, 2 µm-nél nagyobb aeroszol részecskének határoztuk meg elemi összetételét C, N, O, Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Br, Sr, Ba és Pb elemekre.

A szaharai hatást egyértelműen sikerült kimutatni a Ti/Ca, a Ti/Fe és az Al/Ca elemarányokon keresztül.

Hierarchikus klaszteranalízis segítségével csoportosítottuk a részecskéket. Azonosítottuk a talajt alkotó különböző ásványfajtákat. Megállapítottuk, hogy a szaharai és helyi por ásványi összetétele nagyon hasonló, ezért Al, Si és Ca nem alkalmas szaharai homok nyomjelzőnek. Találtunk olyan részecskeosztályokat, amelyek a szaharai epizódra voltak jellemzőek: ezek egyikét magas Fe és Ti koncentráció jellemezte, míg egy másikban NaCl dominált. Ez utóbbi valószínűleg a Mediterrán Tengerből származó tengeri só, amely a szaharai port szállító légtömeggel érkezett. Megállapítottuk továbbá, hogy az Al, Fe és Ti mellett Mg is jó nyomjelzője a szaharai homoknak.

3.6.2. Nehézfém tartalmú beltéri aeroszol analízise [2]

Egy egyetemi hallgatónak tartott laboratóriumi gyakorlat keretében aeroszol mintákat gyűjtöttünk kétfokozatú mintavevővel az IBA Laboratóriumban. A minták makro-PIXE vizsgálatokor meglepődve tapasztaltuk, hogy azok a durva frakción nagy mennyiségben tartalmaznak Cd-ot, (470 ng/m³), Pb-ot (2830 ng/m³) és Zn-et (67 µg/m³). Ezért megvizsgáltuk ezeket a mintákat ion mikroszondán is. Az ábrán néhány PIXE elem térkép látható.



Megfigyeltük, hogy a legtöbb részecske 20-30 µm átmérőjű gömb, amelynek fő összetevője ZnO. E mellett tartalmaznak még S-t, K-t, Cl-t, Cu-t, Pb-t és Cd-t is. A szokásos aeroszol részecskék (szilikátok, szulfátok, kalcitok, stb) ezeknek a gömböknek a felületén ülnek.

Ezen részecskék forrásaként a fűtőrendszer korszerűsítését azonosítottuk. A mintavétellel egy időben a laboratóriumba vezető folyósón épp eltávolították a régi, 40 éves csőrendszert. A Zn és Fe valószínűleg a csőből, míg a Cd és Pb pedig a festékből származik.

3.5.3. Emissziós epizódok ion-mikroszonda vizsgálata [7,48]

Ion mikroszonda vizsgálatokat kezdtünk azokon a streakerrel gyűjtött mintákon, amelyeken emissziós eseményeket detektáltunk, valamint azokon, amelyek nagy koncentrációban tartalmaztak Cl-t. Ezidáig 10 mintán közel 500 aeroszol részecskének határoztuk meg az elemi összetételét. Az adatbázison hierarchikus klaszteranalízist és korreláció vizsgálatokat végeztünk. Első lépésként a Cl eredetének meghatározására koncentráltunk. A durva frakción eddig 3 különböző Cl tartalmú részecske csoportot tudunk megkülönböztetni, amelyek valószínű eredte tengeri só, utak téli sózása és műtrágyázás.

A fentiek egy új mérésorozat első eredményei, de az már most látszik, hogy az egyedi részecske analízis hasznos új információkkal szolgál a részecskék eredetéről és kialakulásáról. Az eredményeket, kiegészítve az újabb kampányokból származó Cl epizódok analízisével, a Nemzetközi Ionnyaláb Analitikai Konferencián (IBA2009) tervezzük bemutatni 2009 szeptemberében Cambridgeben.

4. Összegzés, következtetések

Az OTKA pályázat keretein belül kiterjesztettem a mintagyűjtést az aeroszol összetevőiben rövid idő alatt bekövetkező változások monitorozása irányába, és számos mintavételi kampány keretében mértük a debreceni városi aeroszol elemi összetevőinek méreteloszlását és óras időbeli változásait.

Ezen adatok alapján faktoranalízis segítségével meghatároztuk a városi aeroszol forrásait. Meghatároztuk a forrásprofilokat és a források hozzájárulását az aeroszol koncentrációhoz az idő függvényében. Észleltünk rendkívüli emissziós periódusokat és hosszútávú transzport epizódokat.

Sztochasztikus tüdőmodell segítségével kiszámítottuk a különböző részecsketípusok emberi légzőrendszer mentén való lerakódásának valószínűségét, különböző légzési feltételek mellett, egészséges és beteg tüdőre egyaránt. A tüdőmodell számításokhoz az általunk meghatározott méreteloszlás adatok szolgáltattak bemenő paraméterként.

A debreceni pásztázó ion mikroszondán létrehoztunk egy olyan mérő és adatgyűjtő rendszert, amely lehetővé teszi egyedi aeroszol részecskék rutinszerű analízisét a teljes elemtartományban. A mérőrendszert sikeresen alkalmaztuk aeroszol mikrorészecskék vizsgálatára:

- (1) Azonosítottunk hosszú távú transzportfolyamatokból származó aeroszol részecskéket és információt nyerünk azok kémiai összetételéről és keletkezéséről.
- (2) Információt nyertünk toxikus fémeket tartalmazó beltéri aeroszol szerkezetéről, összetételéről és meghatároztuk lehetséges forrásait.
- (3) Emissziós epizódokból származó, Cl-tartalmú részecskék egyedi összetételéből sikeresen azonosítottunk több forrást, amire „bulk” analitikai technikákkal nem volt lehetőség.

Lépéseket tettünk az irányban, hogy a hagyományos mintavevő szűrőket és fóliákat olyan anyagokkal váltsuk fel, amely lehetővé teszi a komplex ionnyaláb analízist mind a könnyű mind a nehéz elemekre a szubmikronos mérettartományban is.

A projekthez szorosan kapcsolódva, témavezetésem mellett három környezettudomány-fizikus szakos diák készítette diplomamunkáját, és Szoboszlai Zoltán PhD hallgató megkezdte kutatómunkáját, amely részben kapcsolódik a most záruló projektben végzett kutatásokhoz.

Az eredményeket számos hazai és nemzetközi konferencián mutattuk be sikerrel (19 konferencia előadás vagy poszter); hat cikk jelent meg nemzetközi referált folyóiratban, 13 cikk konferencia kiadványokban, és 8 rövid közlemény az ATOMKI évkönyvben.

Az OTKA pályázat keretében elért eredményeknek is köszönhetően egy új együttműködés kezd körvonalazódni az ATOMKI IBA Csoportja és a Tiszántúli Környezetvédelmi Természetvédelmi és Vízügyi Felügyelőség között debreceni városi aeroszol vizsgálata terén.

Eredményeink azt mutatják, hogy az OTKA pályázatban megkezdett és elvégzett kutatási feladatokat érdemes folytatni és tovább bővíteni. Többek között tervezzük az új impaktor anyagok alkalmazásának tesztelését mintavétel során is, az ion mikroszonda vizsgálatok kiterjesztését az egészség szempontjából fontos mikrométer alatti mérettartományokra és aeroszol vizsgálatok megkezdését belső terekben is. A gyors időbeli változások monitorozása terén további célunk részletesen vizsgálni az aeroszol és összetevői meteorológiai paramétereiktől való függését valamint az egyes források szezonális, napi és napszaki változásait.

5. A projekt keretében megjelent összes publikáció jegyzéke

Folyóiratcikkek

- 1) Dobos E., Borbély-Kiss I., Kertész Zs., Szabó Gy. Koltay E.: *Debrecen, Hungary on the fine-fraction aerosol map of Europe*, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry 279 (2009) 143-157
- 2) Kertész Zs., Szikszai Z., Szoboszlai Z., Huszánk R., Simon A., Uzonyi I.: *Complex study of atmospheric aerosol particles at the Debrecen ion microprobe*. megjelenés alatt, Nuclear Instruments and Methods in Phys. Res. B (2009), doi:10.1016/j.nimb.2009.03.050
- 3) Szoboszlai Z., Kertész Zs., Szikszai Z., Borbély-Kiss I., Koltay E.: *Ion beam microanalysis of individual aerosol particles originating from Saharan dust episodes observed in Debrecen, Hungary*. megjelenés alatt, Nuclear Instruments and Methods in Phys. Res. B (2009), doi:10.1016/j.nimb.2009.03.019
- 4) Kertész Zs., Szoboszlai Z., Dobos E., Borbély-Kiss I.: *Characterization of urban aerosol sources in Debrecen, Hungary*. Acta Geographica Debrecina 2 (2009) 109-119,
- 5) Kertész Zs., Dobos E., Fenyős B., Kéki R., Borbély-Kiss I.: *Time and size resolved elemental component study of urban aerosol in Debrecen, Hungary*. X-Ray Spectrometry 37:(2) (2008), 107-111
- 6) Szíki G. Á., Simon A., Szikszai Z., Kertész Zs., Dobos E.: *Gamma ray production cross-sections of deuteron induced nuclear reactions for light element analysis*. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms 251 (2006) 343-351.

Konferencia kiadvány

- 7) Angyal Anikó, Kertész Zsófia, Szikszai Zita, Szoboszlai Zoltán: *Emissziós epizódok analízise debreceni városi aeroszol mintákon ionnyaláb-analitikai módszerekkel*, IX Magyar Aeroszol Konferencia programja és előadások összefoglalói, pp. 26-27., 2009
- 8) Kertész Zsófia, Szoboszlai Zoltán, Dobos Erik, Angyal Anikó, Borbélyné Kiss Ildikó.: *Városi aeroszol forrásai debreceni aeroszol elemösszetételében bekövetkező órák változások alapján*, IX Magyar Aeroszol Konferencia programja és előadások összefoglalói, pp. 22-23., 2009
- 9) Szoboszlai Zoltán, Kertész Zsófia, Szikszai Zita, Borbélyné Kiss Ildikó, Koltay Ede: *Egyedi aeroszol részecskék analízise a debreceni pásztázó ion mikroszondán*, IX Magyar Aeroszol Konferencia programja és előadások összefoglalói, pp. 44-45., 2009
- 10) Kertész Zs., Szoboszlai Z., Dobos E., Angyal A., Borbély-Kiss I.: *Study of urban aerosol sources in Debrecen, East-Hungary*, 7th International Conference on Air Quality Science and Application. Istanbul, Turkey, 24-27 March, 2009. Proceedings of Short Papers. Eds: Vazhappilly, X., Khaiwal, R., C, 2009

- 11) Kertész Zs., Dobos E., Szoboszlai Z., Borbély-Kiss I.: *Városi aeroszol forrásainak vizsgálata a debreceni aeroszol koncentrációjában és elemösszetételében bekövetkező gyors időbeli változások alapján*. 4. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia. Debrecen, 2008. március 28-29. Szerk.: Orosz Z., Szabó V., Molnár G. etc. Debrecen, REXPO Kft. 2 (2008) 335-341
- 12) Szoboszlai Z., Kertész Zs., Dobos E., Borbély-Kiss I.: *Debreceni városi aeroszol méreteloszlása és tüdőbeni kiülepedésének valószínűsége*. 4. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia. Debrecen, 2008. március 28-29. Szerk.: Orosz Z., Szabó V., Molnár G. etc. Debrecen, REXPO Kft. 2 (2008) 342-348.
- 13) Dobos E., Borbély-Kiss I., Kertész Zs., Szabó Gy., Koltay E.: *Comparison of Debrecen fine fraction aerosol data with others collected in a European collaboration*. Proceedings of the 11th International Conference on Particle-Induce X-ray Emission and its Analytical Applications. Puebla, Mexico, 25-29 May, 2007. Editors: J. Miranda, J. L. Ruvalcaba-Sil, O. G. de Lucio (2007) CD PII-25 1-4
- 14) Kertész Zs., Simon A., Szikszai Z., Dobos E., Szíki G. Á., Kiss Á. Z., Uzonyi I.: *Development of an ion microprobe setup for the complex microanalysis of individual microparticles and microstructures*. Proceedings of the 11th International Conference on Particle-Induce X-ray Emission and its Analytical Applications. Puebla, Mexico, 25-29 May, 2007. Editors: J. Miranda, J. L. Ruvalcaba-Sil, O. G. de Lucio (2007) CD PI-12 1-4
- 15) Kertész Zs., Dobos E., Fenyő B., Kéki R., Borbély-Kiss I.: *Time resolved elemental component study of urban aerosol in Debrecen, Hungary*. Proceedings of the 11th International Conference on Particle-Induce X-ray Emission and its Analytical Applications. Puebla, Mexico, 25-29 May, 2007. Editors: J. Miranda, J. L. Ruvalcaba-Sil, O. G. de Lucio (2007) CD PII-26 1-4
- 16) Zs. Kertész: *The Debrecen scanning nuclear microprobe and its application in biology and environmental science*. 4th International Summer School on Nuclear Physics Methods and Accelerators in Biology and Medicine. Prague, Czech Republic, 8-19 July, 2007. Proceedings. Eds: Granja, C., Stekl, I. New York, AIP (AIP Conference Proceedings 958) (2007) 33-36
- 17) Kertész Zs., Borbély-Kiss I., Dobos E., Simon A., Szíki G. Á., Szikszai Z., Uzonyi I.: *Fejlesztések a debreceni pásztázó ion minroszondán: új lehetőségek a légköri aeroszol kutatásban*, 8. Magyar Aeroszol Konferencia. MAero2006. Siófok-Szabadifürdő, 2006. május 25-26, Szerkesztő: Salma Imre, 17-18.
- 18) Dobos E., Borbély-Kiss I., Balásházy I., Horvat A., Kertész Zs., Hofmann W.: *A Sztochasztikus Tüdőmodell továbbfejlesztése asztmára*. 8. Magyar Aeroszol Konferencia. MAero2006. Siófok-Szabadifürdő, 2006. május 25-26, Szerkesztő: Salma Imre 41-42
- 19) Borbély-Kiss I., Dobos E., Kertész Zs., Koltay E., Szabó Gy.: *Debreceni, városi PM10 és PM2.5 aeroszol koncentrációjának és elemösszetételének változásában megfigyelt tendenciák*. 8. Magyar Aeroszol Konferencia. MAero2006. Siófok-Szabadifürdő, 2006. május 25-26, Szerkesztő: Salma Imre, 49-50

ATOMKI Annual Report

- 20) Kertész Zs, Szikszai Z, Szoboszlai Z, Angyal A: *Atmospheric aerosol particle analysis at the Debrecen Nuclear Microprobe*. Atomki Annual Report 2008 (2009) megjelenés alatt
- 21) Szoboszlai Z., Kertész Zs, Szikszai Z., Borbély Kiss I., Koltay E.: *Ion micro-beam anylsis of single aerosol particles originating from Saharan dust episodes observed in Debrecen, Hungary*, Atomki Annual Report 2008 (2009) megjelenés alatt
- 22) Kertész Zs., Szoboszlai Z., Dobos E., Borbély-Kiss I: *Elemental mass size distribution of the Debrecen urban aerosol*. Atomki Annual Report 2007 (2008) 67

- 23) Kertész Zs., Dobos E., Szoboszlai Z., Borbély-Kiss I.: *Hourly variation of elemental components of urban aerosol in Debrecen*. Atomki Annual Report 2007 (2008) 66
- 24) Koltay E., Borbély-Kiss I., Dobos E., Kertész Zs., Szabó Gy.: *Comparison of Debrecen fine fraction aerosol data with others collected in some European collaboration*. Atomki Annual Report 2006 (2007) 59
- 25) Borbély-Kiss I., Dobos E., Kertész Zs., Koltay E., Szabó Gy.: *Variation of the elemental concentrations of urban aerosol in Debrecen*. Atomki Annual Report 2006 (2007) 58
- 26) Borbély-Kiss I., Dobos E., Kertész Zs., Koltay E., Szabó Gy.: *Variation of the PM10, PM2.5 and BC particulate masses of urban aerosol in Debrecen*. Atomki Annual Report 2006 (2007) 57
- 27) G. Á. Szíki, A. Simon, Z. Szikszai, Zs. Kertész, E. Dobos, I. Uzonyi and Á. Z. Kiss: *Cross-sections for deuteron induced γ -ray emission analysis of light elements*. ATOMKI Annual Report 2005 (2006) 78.

Konferencia előadások, poszterek

- 28) Angyal Anikó, Kertész Zsófia, Szikszai Zita, Szoboszlai Zoltán: *Emissziós epizódok analízise debreceni városi aeroszol mintákon ionnyaláb-analitikai módszerekkel*, IX Magyar Aeroszol Konferencia, Balatonfüred, 2009 április 27-28.
- 29) Kertész Zsófia, Szoboszlai Zoltán, Dobos Erik, Angyal Anikó, Borbélyné Kiss Ildikó,: *Városi aeroszol forrásai debreceni aeroszol elemösszetételében bekövetkező órák változások alapján*, IX Magyar Aeroszol Konferencia, Balatonfüred, 2009 április 27-28.
- 30) Szoboszlai Zoltán, Kertész Zsófia, Szikszai Zita, Borbélyné Kiss Ildikó, Koltay Ede: *Egyedi aeroszol részecskék analízise a debreceni pásztázó ion mikroszondán*, IX Magyar Aeroszol Konferencia, Balatonfüred, 2009 április 27-28.
- 31) Kertész Zs., Szoboszlai Z., Dobos E., Angyal A., Borbély-Kiss I.: *Study of urban aerosol sources in Debrecen, East-Hungary*. 7th International Conference on Air Quality Science and Application. Istanbul, Turkey, 24-27 March, 2009.
- 32) Borbély-Kiss I., Dobos E., Kertész Zs., Szabó Gy.: *Variation of urban PM10 and PM2.5 aerosol concentrations and their elemental components from 1997 to 2007*, 10th International Symposium on Particle Size Analysis, Environmental Protection and Powder Technology. PORANAL 2008,
- 33) Kertész Zs., Szoboszlai Z., Dobos E., Borbély-Kiss I.: *Characterization of urban aerosol sources in Debrecen by studying the hourly variation and size distribution of the elemental component.*, 10th International Symposium on Particle Size Analysis, Environmental Protection and Powder Technology. PORANAL 2008,
- 34) Z. Szoboszlai, Zs. Kertész, Z. Szikszai, I. Uzonyi: *Analysis of individual microparticles on the Debrecen Ion Microprobe Facility*, 10th International Symposium on Particle Size Analysis, Environmental Protection and Powder Technology, Debrecen, Hungary, 27-29 August, 2008.
- 35) Z. Szoboszlai, Zs. Kertész, Z. Szikszai, I. Borbély-Kiss, E. Koltay: *Ion beam microanalysis of individual aerosol particles originating from Saharan dust episodes observed in Debrecen, Hungary*. 11th International Conference on Nuclear Microprobe Technology and Applications. 3rd International Workshop on Proton Beam Writing. Debrecen, Hungary, 20-25 July, 2008
- 36) Zs. Kertész, Z. Szikszai, Z. Szoboszlai, R. Huszánk, A. Simon, I. Uzonyi: *Complex study of atmospheric aerosol particles at the Debrecen ion microprobe*. 11th International Conference on Nuclear Microprobe Technology and Applications. 3rd International Workshop on Proton Beam Writing. Debrecen, Hungary, 20-25 July, 2008

- 37) Zs. Kertész: *The Debrecen scanning nuclear microprobe and its application in biology and environmental science*. 4th International Summer School and Workshop on Nuclear Physics Methods and its Application in Biology and Environmental Science. IEAP CTU Prague. Prague, Czech Republic, 8-19 July, 2007
- 38) Kertész Zs., Dobos E., Szoboszlai Z., Borbély-Kiss I.: *Városi aeroszol forrásainak vizsgálata a debreceni aeroszol koncentrációjában és elemösszetételében bekövetkező gyors időbeli változások alapján*. 4. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia. Debrecen, 2008. március 28-29
- 39) Szoboszlai Z., Kertész Zs., Dobos E., Borbély-Kiss I.: *Debreceni városi aeroszol méreteloszlása és tüdőbeni kiülepedésének valószínűsége*. 4. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia. Debrecen, 2008. március 28-29.
- 40) Kertész Zs., Dobos E., Fenyő B., Kéki R., Borbély-Kiss I.: *Time resolved elemental component study of urban aerosol in Debrecen, Hungary*. 11th International Conference on Particle Induced X-ray Emission and its Analytical Applications. Puebla, Mexico, 25-29 May, 2007
- 41) Zs. Kertész, A. Simon, Z. Szikszai, E. Dobos, G. Á. Szíki, Á. Z. Kiss, I. Uzonyi: *Development of an ion microprobe setup for the complex microanalysis of individual microparticles and microstructures*. 11th International Conference on Particle Induced X-ray Emission and its Analytical Applications. Puebla, Mexico, 25-29 May, 2007
- 42) Dobos E., Borbély-Kiss I., Kertész Zs., Szabó Gy., Koltay E.: *Comparison of Debrecen fine fraction aerosol data with others collected in a European collaboration*. 11th International Conference on Particle Induced X-ray Emission and its Analytical Applications. Puebla, Mexico, 25-29 May, 2007
- 43) Kertész Zs., Borbély-Kiss I., Dobos E., Simon A., Szíki G. Á., Szikszai Z., Uzonyi I.: *Fejlesztések a debreceni pásztázó ion minroszondán: új lehetőségek a légköri aeroszol kutatásban*, 8. Magyar Aeroszol Konferencia. MAero2006. Siófok-Szabadifürdő, 2006. május 25-26,
- 44) Dobos E., Borbély-Kiss I., Balásházy I., Horvat A., Kertész Zs., Hofmann W.: *A Sztochasztikus Tüdőmodell továbbfejlesztése asztmára*. 8. Magyar Aeroszol Konferencia. MAero2006. Siófok-Szabadifürdő, 2006. május 25-26,
- 45) Borbély-Kiss I., Dobos E., Kertész Zs., Koltay E., Szabó Gy.: *Debreceni, városi PM10 és PM2.5 aeroszol koncentrációjának és elemösszetételének változásában megfigyelt tendenciák* 8. Magyar Aeroszol Konferencia. MAero2006. Siófok-Szabadifürdő, 2006. május 25-26,
- 46) G. Á. Szíki, A. Simon, Z. Szikszai, Zs. Kertész, E. Dobos, I. Uzonyi and Á. Z. Kiss: *Deuteron Induced Gamma Emission (DIGE) on Nuclear Microprobes*, 10th International Conference on Nuclear Microprobe Technology and Applications, ICNMTA 2006, 9-14 July 2006, Singapore

Diplomamunka

- 47) Kéki Renáta: *Városi aeroszol méreteloszlásának és egészségügyi hatásainak vizsgálata PIXE módszerrel*., diplomamunka, tv.: Kertész Zsófia, Debreceni Egyetem Természettudományi Kar, 2008
- 48) Angyal Anikó: *Emissziós epizódok vizsgálata debreceni városi aeroszol mintákon ionnyaláb mikroanalitikai módszerekkel*, diplomamunka, tv.: Kertész Zsófia, Debreceni Egyetem Természettudományi Kar, 2009