



Tézisfüzet

**A légekőri aeroszol inherens és látszólagos abszorpciós
jellemzőinek és az abszorpciós spektrum
jelentéstartalmának fotoakusztikus vizsgálata**

Utry Noémi

Környezettudományi Doktori Iskola

Optikai és Kvantumelektronikai Tanszék

Szegedi Tudományegyetem, Természettudományi és Informatikai Kar

Témavezetők:

Dr. Bozóki Zoltán, egyetemi tanár

Dr. Ajtai Tibor, tudományos munkatárs

Szeged

2015

1. Bevezetés

Napjaink egyik kiemelt fontosságú tudományos célkitűzése az antropogén eredetű éghajlat-módosító hatások minél megbízhatóbb és pontosabb meghatározása. Annak ellenére, hogy a légköri aeroszolok szerepe a Föld-légkör rendszer sugárzásos egyensúlyának alakításában összemérhető az üvegházhatású gázok összesített hatásával, az aeroszolok inherens (azaz közvetlenül a légkörbe jutáskor) illetve látszólagos (azaz a légköri aeroszolok egyensúlyi állapotában jellemző) optikai tulajdonságairól csak korlátozott számú és jelentős bizonytalansággal terhelt adat áll a rendelkezésünkre. Az optikai abszorpciós tulajdonságokra vonatkozó ismereteink mind a darabszám-koncentrációban domináns és erősen fényelnyelő széntartalmú aeroszolok, mind a tömegkoncentrációban domináns, de alacsony fajlagos abszorpcióval rendelkező ásványi por aeroszolok vonatkozásában hiányosak és pontatlanok. Ez döntő mértékben hozzájárul az aeroszolok éghajlat-módosító hatására vonatkozó becslések bizonytalanságához. A légköri aeroszolok a klimatikus hatásuk mellett a levegőminőség-védelem perspektívájából is jelentős tudományos érdeklődésre tartanak számot: mai tudásunk szerint a tömegkoncentrációban elhanyagolható frakcióval rendelkező korom aeroszolok felelősek a teljes szálló por koncentráció toxicitásának jelentős hányadáért. A légköri aeroszolok emberi egészségre gyakorolt hatásának vizsgálata, illetve a kibocsátó források beazonosítása napjaink egyik kiemelt jelentőségű tudományos célkitűzése. A legújabb kutatások során szignifikáns összefüggéseket mutattak ki a korom aeroszolok kémiai összetétele és a valós időben is mérhető optikai abszorpciós spektruma között, ami új lehetőségeket teremtett ezen aeroszolok kibocsátó forrásainak valós idejű meghatározására.

Számos okra vezethető vissza, hogy fontossága ellenére a légköri aeroszolok abszorpciós válaszárol nem állnak megbízható adatok a rendelkezésünkre, kezdve a megbízható adatokat szolgáltatni képes és megfelelő érzékenységű mérőműszerek hiányával, a légköri korom aeroszolok laboratóriumi modellezésének nehézségein át, egészen az eltérő mérés- és mintavételi technikák alkalmazásából származó, az adatok összehasonlíthatóságát korlátozó hibáig bezárólag.

További probléma, hogy az aeroszolak fizikai-kémiai tulajdonságai a légköri kölcsönhatások következtében jelentős változáson mennek át, ami a környezetével egyensúlyban lévő aeroszol légköri mérések során meghatározott ún. látszólagos optikai válasza és a kémiai összetétele közötti összefüggés kvantitatív analízisét jelentősen korlátozza.

Mivel a tudományos közvélemény döntő része egyetért abban, hogy a légköri aeroszolak hullámhosszfüggő abszorpciós válaszána megbízható és precíz vizsgálatára a fotoakusztikus spektroszkópia a legígéretesebb mérési módszer, az utóbbi években egyre több kutatócsoport (és cég) dolgozik fotoakusztikus aeroszol-mérő műszerek fejlesztésén. A Szegedi Tudományegyetem Fotoakusztikus Csoportja 2003 óta folytat az aeroszolak abszorpciójának vizsgálatára irányuló kísérleteket. Ezen kutatásokba 2010-ben kapcsolódtam be. Doktori munkám a klímareleváns aeroszol összetevők abszorpciós tulajdonságainak laboratóriumi, továbbá terepi körülmények közötti vizsgálatára irányult..

2. Célkitűzések

A fentiek alapján célul tűztem ki a klímareleváns aeroszol összetevők *inherens* optikai abszorpciós tulajdonságainak kontrollált laboratóriumi körülmények közötti, aeroszol fázisban történő minél pontosabb meghatározását, illetve a légköri aeroszol elegy valós idejű mérések során meghatározott *látszólagos* abszorpciós spektruma és fizikai-kémiai sajátosságai között összefüggések feltárását és számszerűsítését.

A kitűzött célok eléréséhez az alábbi részfeladatokat végeztem el:

1. Mesterségesen generált széntartalmú részecskék aeroszol fázisú inherens abszorpciós spektrumának nagypontosságú meghatározását; a vizsgált spektrumjellemzők alkalmazhatóságának vizsgálatát a szálló por szennyezés forrásainak valós idejű meghatározásában.
2. Légköri körülmények között gyűjtött filteres mintákból extrahált légköri humuszszerű anyag (HULIS) minta aeroszol fázisú abszorpciós spektrumának meghatározását; a mért eredmények összehasonlítását eltérő mérés technikát alkalmazó irodalmi adatokkal. A HULIS aeroszol fotoakusztikus módszerrel meghatározott és a HULIS oldat folyadékfázisú UV-látható spektroszkópiai módszerrel mért spektrumának összehasonlítását.
3. A szálló por jellegzetes ásványi összetevőinek inherens, aeroszol fázisú abszorpciós sajátosságainak vizsgálatát, az eredmények összehasonlítását tömbi illetve vékonyréteg mintákon meghatározott irodalmi adatokkal.
4. Valós légköri aeroszol elegyek látszólagos abszorpciós sajátosságainak meghatározását téli városias mérési körülmények között; az AAE napi ingadozásának vizsgálatát.
5. A terepi körülmények között meghatározott AAE értékek és a vizsgált aeroszol fizikai-kémiai sajátosságai között összefüggések feltárását és számszerűsítését.

3. Alkalmazott módszerek

3.1 Laboratóriumi mérés: az aeroszol-generálási módszerek

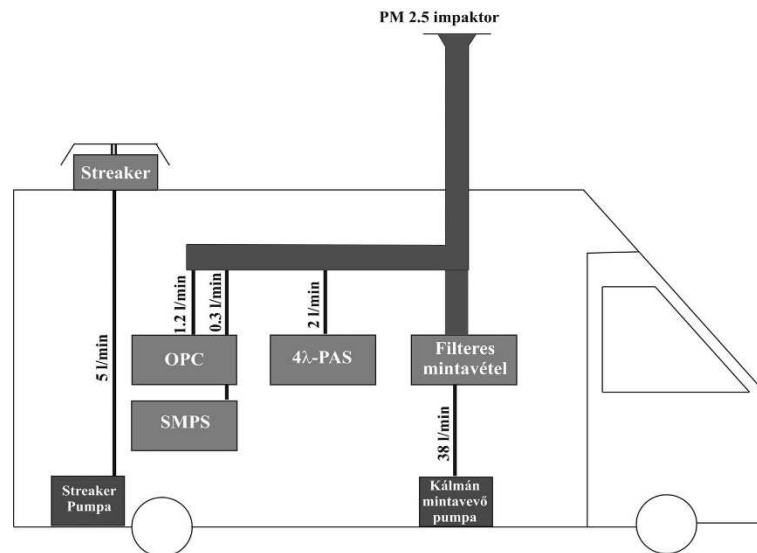
A **széntartalmú aeroszol** generálását egyrészt égetési körülmények modellezésén alapuló módszerekkel, másrészt valós égetési körülmények között valósítottam meg. Előbbire két kereskedelmi forgalomban kapható koromgenerátort (a Miniature Combustion Aerosol Standard (mini-CAST) és a Palas GFG 1000 készülékeket), továbbá egy elemi szén minták lézeres ablálásán alapuló módszert alkalmaztam, mely az SZTE TTIK Optikai és Kvantumelektronikai Tanszékén működő Ablációs Csoport és a Fotoakusztikus Kutatócsoport együttműködése során került kifejlesztésre. A mini-CAST aeroszol vizsgálata a Karlsruhe-i Technológiai Intézet Meteorológiai és Klímakutató részlegén (eredeti nevén Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Meteorologie und Klimaforschung) valósult meg. A valós égési körülmények között – dízel autó és fatüzelési kályha üzemeltetése során – keletkező aeroszol vizsgálatára vonatkozó kísérletek a svájci Paul Scherrer Intézetben (eredeti nevén Paul Scherrer Institut) történtek.

A **légköri humusz-szerű anyagot (HULIS)** valós terepi körülmények között gyűjtött aeroszol mintáról kinyert HULIS extraktum acetonitriles oldatának porlasztásával vittem aeroszol-fázisba.

Az ásványi por összetevők re-diszpergálását egy szintetikus levegővel hajtott és automatikusan rázatott felporzó egység biztosította.

3.2. Terepi mérés: a mintavétel

A terepi méréseket 2011. január 12-26-ig terjedő időszakban Szeged belvárosában végeztem a Csongrád Megyei Kormányhivatal mérőállomása mellett, egy állandó hőmérsékletre és páratartalomra szabályozott, erre a célra tervezett professzionális mobil mérőplatformon. Az aeroszol szabványos mintavételezésére szolgáló PM2.5 mintavevőt a mérőbusz tetejére, a földfelszíntől 5 m magasságba szereltük fel. A mérőműszerek mintavétele, továbbá a kémiai analízist kiszolgáló filteres mintavétel is ezen a leválasztón keresztül valósult meg (1. ábra).



1. ábra. A mérőbusz sematikus rajza.

3.3. Alkalmazott mérőműszerek

Az aeroszol abszorpciós sajátosságait az optikai abszorpciós együtthatóval (OAC-optical absorption coefficient), a tömegre vonatkoztatott abszorpciós együtthatóval (MAC-mass specific absorption coefficient), az abszorpciós spektrum hullámhosszfüggésének leírására használt Angström-exponenssel (AAE- Absorption Angström Exponent), valamint az ásványi por esetében a komplex törésmutató képzetes részével jellemeztem.

- Az OAC 266, 355, 532 és 1064 nm-en történő mérésére a Négy-hullámhosszú Fotoakusztikus Aeroszolvérőt (4-λ PAS),
- a tömeg mérésére kúpos elemű oszcilláló mikromérleget (TEOM-Tapered Element Oscillating Microbalance),
- a méreteloszlás mérésére pásztázó mozgékonyág szerinti részecskeszeparátort (SMPS-Scanning Mobility Particle Sizer), továbbá optikai részecskeszámlálót (OPC-Optical Particle Sizer) használtam.
- A komplex törésmutató képzetes részének meghatározása a mért méreteloszlás és az irodalmi valós törésmutató adatok alapján inverz Mie-számolással történt.

4. Összefoglalás

Az abszorpciós spektrum a légköri aeroszol egyetlen olyan valós időben mérhető fizikai jellemzője, amely mind az éghajlati hatás, mind a kibocsátó források, mind pedig az élettani hatások vonatkozásában tartalmazhat információkat, tanulmányozása ezért napjaink egyik aktuális és kiemelt jelentőségű tudományos célkitűzése. Míg a légköri aeroszol szórási sajátosságairól kielégítő ismeretekkel rendelkezünk, addig az aeroszol fényelnyelő komponenseiről rendelkezésre álló ismereteink meglehetősen hiányosak. A doktori munkám során a mesterségesen generált modell vagy visszadiszpergált valós aeroszol minták laboratóriumi vizsgálatánál, valamint a légköri aeroszol valós idejű vizsgálatánál egyaránt az optikai abszorpciós spektrum pontos meghatározása és a spektrum jelentéstartalmának vizsgálata állt a középpontban.

Az eredmények tézispontszerű megfogalmazása:

I. Laboratóriumi körülmények között meghatároztam mesterségesen generált széntartalmú aeroszlok abszorpciós Angström exponens (AAE) értékeit. A négy-hullámhosszú fotoakusztikus aeroszlmérő teljes mérési hullámhossz-tartományára meghatározott AAE értékek az égési folyamatok modellezésén alapuló koromgenerátorok, tehát a lézeres ablációs módszer, a mini-Cast illetve a Palas GFG 1000 készülék esetében rendre 1.04 ± 0.11 , 1.25 ± 0.14 és 1.80 ± 0.20 értékeknek adódtak. A valós égetési folyamatok laboratóriumi körülmények közötti fotoakusztikus vizsgálata során a dízel autó és a fatüzelés által kibocsátott aeroszolra 1.30 ± 0.14 és 1.95 ± 0.21 AAE értékeket határoztam meg. A több hullámhosszon történő fotoakusztikus mérések alapján igazoltam, hogy a különböző aeroszol minták AAE értékük alapján jól megkülönböztethetőek egymástól, továbbá a lézeres abláció által generált aeroszol kivételével AAE értékük hullámhosszfüggést mutat. A laboratóriumi fotoakusztikus mérések eredményei alapján megállapítottam, hogy az égési folyamatok modellezésén alapuló különböző aeroszol generátorok optikai szempontból sikerrel modellezik az egyes valós égési folyamatokat. Abszorpciós válasz tekintetében a propán-levegő keverékének diffúziós égetésén alapuló mini-CAST generátor a dolgozatban bemutatott beállítások mellett a dízel kibocsátást, míg a szikrakisülés jelenségén alapuló Palas GFG

1000 készülék inkább a vegyes kibocsátással jellemezhető téli aeroszolt modellező részecskéket állít elő. A lézeres abláció a tiszta korom (BC) részecskéket modellezi jól optikai szempontból. A laboratóriumi fotoakusztikus vizsgálat eredményeit terepi mérések adataival összehasonlítva megállapítottam, hogy a laboratóriumi körülmények között mért értékek jó egyezést mutatnak a terepi mérések olyan (csúcsforgalmi vagy forgalommentes) időszakaiban mért átlagos AAE értékekkel, amikor feltehetőleg az aeroszol források egyike (közlekedés vagy fűtés) volt a domináns. Ez alapján közvetett módon arra a megállapításra jutottam, hogy terepi méréseim során a légköri körülmények befolyásoló hatása nem érvényesült számottevő mértékben. **[1,12,16]**

II. Terepi körülmények között ősszel gyűjtött filteres mintáról izolált légköri humuszszerű anyag (HULIS) aeroszol fázisú, laboratóriumi vizsgálata során megállapítottam, hogy a HULIS a látható tartományban gyakorlatilag elhanyagolható ($2.97 \cdot 10^{-2} \pm 2.67 \cdot 10^{-3} \text{m}^2/\text{g}$ @532 nm), de a rövidebb hullámhosszak felé folytonosan növvő fajlagos abszorpcióval (MAC) rendelkezik. A HULIS MAC értéke az UV tartományban már összemérhető ($4.925 \pm 0.5418 \text{m}^2/\text{g}$ @266 nm) a légköri aeroszol fő elnyelő komponensének, a korom aeroszol (BC) fajlagos abszorpciójával. Kimutattam továbbá a HULIS AAE értékének hullámhosszfüggését. A HULIS minta AAE értékei az 1064-532nm, az 532-355nm, valamint a 355-266 nm hullámhossztartományon rendre a következők voltak: 2.23 ± 0.23 , 5.87 ± 0.49 , 9.48 ± 0.76 . Ez az eredmény összhangban van az irodalomban fellelhető folyadékfázisú mérések eredményeivel, de aeroszol fázisban elsőként mutattam ki.

Saját mérés eredményét azonos helyszínen, nyáron gyűjtött HULIS minta in-situ vizsgálati módszerrel meghatározott eredményével összehasonlítva arra a következtetésre jutottam, hogy a HULIS aeroszol fázisban mért spektruma (a folyadék fázisú spektrumhoz hasonlóan) a források és/vagy képződési mechanizmusok indikátora lehet. Az aeroszol fázisú fotoakusztikus méréseim eredményét az UV-látható spektrofotometriai mérések eredményeivel összehasonlítva kísérleti úton alátámasztottam, hogy a HULIS folyadék fázisban mért optikai tulajdonságai (MAC és AAE) kiterjeszthetők részecskékre abban az esetben, ha a részecskék alakja gömbbel közelíthető és mérete kicsi a besugárzás hullámhosszához viszonyítva. **[2]**

III. Fotoakusztikus módszerrel meghatároztam a talajeredetű por fő ásványi alkotóinak, úgymint agyagásványok (illit, kaolin és bentonit), oxidok (kvarc, hematit és rutil) és karbonát (mészke) összetevők fajlagos abszorpciós együtthatóit (MAC). A mért értékekből képzetes törésmutató adatokat származtattam (k). A vizsgált minták elsősorban az ultraibolya tartományban mutatnak abszorpciót. Ebben a tartományban a porminták közül a hematit és rutil rendelkeznek a legmagasabb k értékekkel (1.26 ± 0.31 és 1.1 ± 0.28 @266 nm). Összehasonlítva a széntartalmú aeroszolok hasonló adataival, megállapítható, hogy még ezen ásványi összetevők képzetes törésmutatói is elmaradnak a BC-t jellemző értékektől, a BrC részecskék k értékeivel azonban már összemérhetőek. A k értékek tekintetében az oxidokat az agyagásvány összetevők (illit, kaolin, bentonit) követik a sorban ($1.1 \cdot 10^{-2} \pm 2.8 \cdot 10^{-3}$, $4.2 \cdot 10^{-2} \pm 1.05 \cdot 10^{-2}$ és $3.1 \cdot 10^{-2} \pm 7.75 \cdot 10^{-3}$ @266 nm), míg a leggyengébb elnyeléssel a kvarc és a mészke jellemezhető ($6.5 \cdot 10^{-3} \pm 1.63 \cdot 10^{-3}$ és $3.0 \cdot 10^{-3} \pm 7.5 \cdot 10^{-4}$ @266 nm). Ez utóbbi összetevők k értékei nagyságrendekkel kisebbek az aeroszol széntartalmú összetevőinél (BC, BrC).

A mérésekkel demonstráltam, hogy a fotoakusztikus módszer előnyös mérés technikai sajátosságainak köszönhetően (közvetlen, szórás-érzékeny és nullahátterű mérés technika lévén) sikeresen alkalmazható az alacsony abszorpciós együtthatóval rendelkező ásványi por összetevők abszorpciós sajátosságainak pontos és megbízható aeroszol-fázisú meghatározására. Kísérleti úton bizonyítottam, hogy a részecskevesztés figyelembe vétele növeli a mérési eredmények megbízhatóságát. Az általam meghatározott MAC értékeket irodalmi adatokkal állítottam párhuzamba. Az összehasonlítás alapját az irodalmi adatok általam alkalmazott mérési körülményekre adaptált értékei képezték. Az irodalmi adatok közvetett mérési módszerekkel és tömbi fázisban, eltérő minta előkészítési körülmények, míg a saját adataim aeroszol fázisban közvetlenül és standardizált körülmények között kerültek meghatározásra. Igazoltam, hogy a fotoakusztikus módszer alkalmazható az optikai tulajdonságok tömbi-részecske átmeneteinek vizsgálatában, amennyiben azonos mintán, standardizált minta-előkészítést követően történnek az összehasonlító mérések. Az eredmények hasznosíthatóak a légköri ásványi por globális sugárzási kényszerének modellezésénél.

[3, 5,9,13]

IV. Szegeden végzett téli terepi mérés során kimutattam, hogy a fotoakusztikusan mért AAE értékek napi ingadozással rendelkeznek, melynek hátterében a közlekedési kibocsátás aktivitásának napi menete áll. Kimutattam és számszerűsítettem továbbá az AAE értékek hullámhosszfüggését a fotoakusztikus mérőműszer teljes hullámhossztartományában. Párhuzamosan mértem az aeroszol más karakterisztikus jellemzőit, úgymint részecskeméret és kémiai tulajdonságok (levoglükozán-, széntartalom). Bemutattam, hogy a mért mennyiségekből képzett arányok (N_{100}/N_{20} , LG/TC , $OC_{ft}/EC_{köz}$) alkalmasabbak a kibocsátó források relatív aktivitásának nyomon követésére, mint az egyes mennyiségek. **[5, 10, 14]**

V. Feltártam a fotoakusztikusan mért abszorpcióból származtatott AAE értékek és a légköri aeroszolak forrás-specifikus fizikai és kémiai sajátosságai közötti összefüggéseket. Az AAE értékek és a fűtési eredetű szerves/közlekedési eredetű szervesetlen szénarány közötti erős korrelációk kimutatásával igazoltam, hogy az AAE értékét elsősorban a kibocsátó források relatív aktivitásában bekövetkező változások határozzák meg. Igazoltam továbbá, hogy a mennyiségek közötti kapcsolat szorossága függ az alkalmazott hullámhossztartománytól, az ultraibolya tartományban mutattam ki a legerősebb korrelációkat. Az $AAE@355-266$ és N_{100}/N_{20} ; LG/TC ; $OC_{ft}/EC_{köz}$ arányok között rendre $R=0.93$; $R=0.95$; 0.96 korrelációs együtthatók adódtak. Megállapítottam és az ún. Aethalometer-modell alkalmazásával demonstráltam, hogy az UV gerjesztést is alkalmazó több hullámhosszon történő fotoakusztikus mérések lehetőséget teremthetnek a kibocsátó források valós idejű szelektív azonosítására. **[5, 10, 14]**

A tézispontokhoz kapcsolódó referált folyóiratcikkek

1. Utry, N., Ajtai, T., Pintér, M., Bozóki, Z., Szabó, G. (2014) Wavelength-Dependent Optical Absorption Properties of Artificial and Atmospheric Aerosol Measured by a Multi-Wavelength Photoacoustic Spectrometer. A laboratory and a field study. INT J THERMOPHYS 35: (12) 2246-2258

IF: 0.963

2. Utry, N., Ajtai, T., Filep, Á., Pintér, M., Hoffer, A., Bozóki, Z., Szabó, G. (2013) Mass specific optical absorption coefficient of HULIS aerosol measured by a four-wavelength photoacoustic spectrometer at NIR, VIS and UV wavelengths. Atmospheric Environment 69: 321-324

IF: 3.062

3. Utry, N., Ajtai, T., Pintér, M., Tombácz, E., Illés, E., Bozóki, Z., Szabó, G. (2015) Mass specific optical absorption coefficients and imaginary part of complex refractive indices of mineral dust components measured by a multi wavelength photoacoustic spectrometer, Atmos. Meas. Tech. 8: 401-410

IF: 3.368

4. Utry, N., Ajtai T., Filep, Á., Pintér, M., Török, Zs., Bozóki, Z., Szabó, G. (2014) Correlations between absorption Angström exponent (AAE) of wintertime ambient urban aerosol and its physical and chemical properties, Atmospheric Environment.95: 52-59.

IF: 3.062

A dolgozat témakörében született egyéb közlemények

5. Utry Noémi, Ajtai Tibor, Filep Ágnes, Pintér Máté, Bozóki Zoltán, Szabó Gábor. (2012) Ásványi porok abszorpciós spektrumának vizsgálata. In: Környezettudományi Doktori Iskolák Konferenciája: A környezetvédelem és az élelmiszerminőség aktuális kérdései. Konferencia helye, ideje: Eötvös Lóránd Tudományegyetem, Budapest. 2012.08.30-2012.08.31., 2012. p. 81-89. (ISBN: 978-963-284-242-4)
6. T.Ajtai, Á. Filep, N. Utry, M. Pintér, Z. Bozóki, G. Szabó.(2012)Optical behaviour of mineralogical composition. A laboratory study.In: European Aerosol Conference. Konferencia helye, ideje: Granada, Spanyolország.2012.09.02-2012.09.07. Granada: EAA, p. 5.
7. Tibor Ajtai, Noémi Utry, Ágnes Filep, Dávid Tátrai, Zoltán Bozóki, Gábor Szabó. (2013) Spectral characterisation of mineralogical components of dust, HULIS and winter time aerosol using multi-wavelength photoacoustic spectrometer. A laboratory and a field study In: EGU2013. Konferencia helye, ideje: Bécs, Ausztria, 2013.04.07-2013.04.12.pp. 1-2.
8. T. Ajtai, N. Utry, Á. Filep, Z. Bozóki, G. Szabó. (2013) In-situ absorption measurement of HULIS and mineral dust components as well as winter time ambient aerosol using multiwavelength photoacoustic instrument. A laboratory and a field study. European Aerosol Conference. Konferencia helye, ideje: Prága, Csehország, 2013.09.01-2013.09.06.p. 29.
9. Ajtai Tibor, Utry Noémi, Pintér Máté, Bozóki Zoltán, Szabó Gábor. (2013) Rediszpergált ásványi porösszetevők spektrális válaszáinak in-situ mérése négy hullámhosszú fotoakusztikus spektrométerrel In: Princz Péter (szerk.) XI. Környezetvédelmi Analitikai és Technológiai Konferencia: Innovatív környezetdiagnosztikai módszerekkel és technológiákkal az egészségesebb emberi környezetért. 111 p. Konferencia helye, ideje: Hajdúszoboszló, Magyarország, 2013.10.02-2013.10.04. (Környezetvédelmi Analitikai és Technológiai Társaság) Budapest: Magyar Kémikusok Egyesülete, 2013. p. 13. (ISBN:978-963-9970-40-3)
10. Ajtai Tibor, Utry Noémi, Pintér Máté, Bozóki Zoltán, Szabó Gábor. (2013) Léggöri széntartalmú összetevők klímareleváns tulajdonságainak in-situ vizsgálata In: Princz Péter (szerk.) XI. Környezetvédelmi Analitikai és Technológiai Konferencia: Innovatív környezetdiagnosztikai módszerekkel és technológiákkal az egészségesebb emberi környezetért. 111 p. Konferencia helye, ideje: Hajdúszoboszló, Magyarország, 2013.10.02-2013.10.04. (Környezetvédelmi Analitikai és Technológiai Társaság) Budapest: Magyar Kémikusok Egyesülete, 2013. p. 12. (ISBN:978-963-9970-40-3)
11. Ajtai Tibor, Utry Noémi, Pintér Máté, Bozóki Zoltán, Szabó Gábor. (2013) Léggöri aeroszolok abszorpciós spektrumának in-situ mérése fotoakusztikus módszerrel In: Princz Péter (szerk.) XI. Környezetvédelmi Analitikai és Technológiai Konferencia: Innovatív környezetdiagnosztikai módszerekkel és technológiákkal az egészségesebb emberi környezetért. 111 p. Konferencia helye, ideje: Hajdúszoboszló, Magyarország, 2013.10.02-2013.10.04. (Környezetvédelmi

Analitikai és Technológiai Társaság) Budapest: Magyar Kémikusok Egyesülete, 2013. p. 11. (ISBN:978-963-9970-40-3)

12. Ajtai Tibor, Utry Noémi, Pintér Máté, Bozóki Zoltán, Szabó Gábor. (2013)
Lézergenerált koromaeroszolok előállítása és karakterizálása
In: Kertész Zs., Szikszai Z., Angyal A., Furu E., Szoboszlai Z., Török Zs. (szerk.)
XI. Magyar Aeroszol Konferencia. 95 p. Konferencia helye, ideje: Debrecen,
Magyarország, 2013.10.18-2013.10.20. Debrecen: MTA ATOMKI, 2013. pp. 30-31.
(ISBN:978-963-8321-50-3)
13. Ajtai Tibor, Utry Noémi, Pintér Máté, Bozóki Zoltán, Szabó Gábor. (2013)
Re-diszpergált ásványi por összetevők abszorpciós válaszának mérése fotoakusztikus
módszerrel
In: Kertész Zs., Szikszai Z., Angyal A., Furu E., Szoboszlai Z., Török Zs. (szerk.)
XI. Magyar Aeroszol Konferencia. 95 p. Konferencia helye, ideje: Debrecen,
Magyarország, 2013.10.18-2013.10.20. Debrecen: MTA ATOMKI, 2013. pp. 28-29.
(ISBN:978-963-8321-50-3)
14. Ajtai Tibor, Utry Noémi, Pintér Máté, Bozóki Zoltán, Szabó Gábor. (2013)
Légköri korom aeroszolok valós idejű vizsgálata fotoakusztikus módszerrel városi
környezetben In: Kertész Zs., Szikszai Z., Angyal A., Furu E., Szoboszlai Z.,
Török Zs. (szerk.) XI. Magyar Aeroszol Konferencia. 95 p. Konferencia helye, ideje:
Debrecen, Magyarország, 2013.10.18-2013.10.20. Debrecen: MTA ATOMKI,
2013. pp. 26-27. (ISBN:978-963-8321-50-3)
15. Utry Noémi, Ajtai Tibor, Smausz Tomi, Kecskeméti Gabriella, Tápai Csaba, Hopp
Béla, Bozóki Zoltán. (2013) Lézeres abláció által generált aeroszolok
fotoakusztikus vizsgálata. Magyar Fizikus Vándorgyűlés 2013. augusztus 21-24.
Debrecen.
16. Utry Noémi, Ajtai Tibor, Smausz Kolumbán Tomi, Kecskeméti Gabriella, Tápai Csaba,
Pintér Máté, Hopp Béla, Bozóki Zoltán. (2014) Lézergenerált korom-aeroszolok
fotoakusztikus vizsgálata. FIZIKAI SZEMLE 64:(7-8) pp. 233-236