

Mesterségesen generált és légköri széntartalmú aeroszolk vizsgálata

Tézisfüzet

Készítette:

Pintér Máté Dániel

Témavezető

Dr. Ajtai Tibor

tudományos főmunkatárs



Környezettudományi Doktori Iskola

Optikai és Kvantumelektronikai Tanszék

Természettudományi és Informatikai Kar

Szegedi Tudományegyetem

Szeged

2018

1. BEVEZETÉS

A légköri aeroszol éghajlati és egészségügyi hatásai miatt áll a tudományos érdeklődés középpontjában. Törvényi szabályozásának kérdésköre is izzó vitákat szít a tudományos közösségben. A légköri szálló por részecskék közvetlen (szórják, illetve elnyelik a rájuk eső elektromágneses sugárzást) és közvetett módon (részt vesznek a felhőképződésben) is hatást gyakorolnak a klímára. Az aeroszokok általi fényszórás hűtő (negatív sugárzási kényszer), míg a fényelnyelés fűtő hatású (pozitív sugárzási kényszer). Egyre növekvő figyelem övezi a légköri széntartalmú szálló port, különös tekintettel annak optikai abszorpcióval rendelkező frakciójára. A tudomány jelenlegi állása szerint a fényelnyelő széntartalmú aeroszol rendelkezik a második legnagyobb pozitív éghajlati kényszerrel a szén-dioxid után. Az aeroszol kutatás jelentőségét tovább növeli, hogy az aeroszokok éghajlati hatásának becslése rendkívül nagy bizonytalansággal terhelt. Napjainkban az aeroszol részecskék felhőképződésben betöltött szerepükkel összefüggő közvetett sugárzási kényszert tekintik a klimatikus előrejelzések legnagyobb bizonytalansági tényezőjének.

A bizonytalanságot két fő tényező okozza. Elsősorban az, hogy a széntartalmú aeroszol részecskék inherens tulajdonságait elsődlegesen az égési körülmények és a tüzelőanyag határozzák meg. Másodsorban, a különböző légköri fizikai és kémiai folyamatok nagyban befolyásolják a részecskék látszólagos tulajdonságait. Ezeket összefoglaló néven légköri öregedésnek nevezzük. Ebből következően a valós légköri mérési adatokból levonható konklúziók korlátozottak. Ezen limitációk csökkentésére szolgálnak azon mérőkampányok, melyek során az aeroszol részecskék komplex tulajdonságainak online és offline módszerekkel párhuzamosan történő egyidejű mérésével, jól-kontrollált laboratóriumi körülmények között, valamint változatos terepi helyszíneken vizsgálják. További nehézség, hogy nem létezik egy általánosan elfogadott, szabványos referenciaként alkalmazható anyag, amely jól modellezi a széntartalmú aeroszol részecskék összetett jellemzőit. Léteznek olyan piaci forgalomban is kapható részecske generátorok, melyek képesek modellezni a közlekedés, illetve a háztartási égetés során keletkező részecskék tulajdonságait. Ez egyike sem teszi lehetővé azt, hogy a keletkező részecskék tulajdonságait egymástól független, a keletkezési körülmények függvényében történő vizsgálatát.

A városi széntartalmú szálló por jelentős hányada különböző antropogén kibocsátó forrásokból származik. Számos tanulmány kimutatta, hogy téli városi környezetben a közlekedés és a legtöbb esetben fűtési célzatú háztartási tüzelés a két fő kibocsátó forrás. Az

Egészségügyi Világszervezet (WHO) a rákkeltő hatású légszennyezők közé sorolja a dízelmotor által kibocsátott széntartalmú aeroszolt. Ezen felül több tanulmány is igazolta a dízelmotort szálló por ökoszisztémára gyakorolt toxikus hatását. A dízelmotort szigorodó jogi szabályozása, valamint az egyre hatékonyabb technológiai megoldások - dízelmotort részecskeszűrő (DPF), a kipufogógáz szívócsőbe történő visszavezetéséről gondoskodó EGR (exhaust gas recirculation) szelep, valamint dízelmotort oxidációs katalizátor (DOC) – hosszú távon várhatóan csökkenteni fogják a dízelmotortokhoz köthető egészségügyi kockázatokat. Ezzel ellentétben, a háztartási tüzelésből származó széntartalmú részecskék egészségkárosító hatásának jelentőségét csupán nemrég fedezték fel. Átfogó stratégiák kidolgozása a háztartási szálló por szennyezés mérséklésére csak a jövőben várható.

2011-ben kapcsolódtam be szakdolgozóként az SZTE-TTIK Optikai és Kvantumelektronikai Tanszékén működő MTA-SZTE Fotoakusztikus Kutatócsoportban folyó aeroszol kutatásba. A kutatócsoport aeroszol laboratóriuma és az SZTE-TTIK kiegészítő laboratóriumi infrastruktúrája nemzetközi szinten is egyedülálló háttérrel biztosít légköri és mesterségesen generált széntartalmú aeroszokok komplex fizikai és kémiai jellemzőinek, valamint élettani hatásainak vizsgálatára.

2. TUDOMÁNYOS CÉLKITŰZÉSEK

A fentiek alapján célul tűztem ki mesterségesen előállított, valamint dízel emittált széntartalmú aeroszol méreteloszlásának, morfológiájának, valamint mikroszerkezetének vizsgálatát. Célom volt megvizsgálni, hogy a keletkezési körülmények hogyan befolyásolják keletkező részecskék inherens tulajdonságait. Ezen kívül célul tűztem ki, hogy terepi körülmények között vizsgáljam városi széntartalmú aeroszol valós időben, aeroszol fázisban mért optikai abszorpciós sajátosságai és az offline módszerrel vizsgált kémiai tulajdonságai, valamint toxicitása között fennálló korrelációkat. Ezzel összefüggésben célom volt tanulmányozni, hogy az optikai abszorpció hullámhosszfüggését jellemző abszorpciós Angström exponens (AAE) alkalmazható-e széntartalmú aeroszol toxicitásának előzetes indikátoraként.

A kitűzött tudományos célok eléréséhez az alábbi részfeladatokat végeztem el:

1. Nagy tisztaságú grafit céltárgyból lézer ablációs módszerrel generált széntartalmú modell aeroszol méreteloszlásának, morfológiájának és mikroszerkezetének vizsgálata a generálási paraméterek függvényében.
2. Dízel részecske-kibocsátás méreteloszlásának, teljes szám- és térfogat-koncentrációjának, morfológiájának és mikroszerkezetének vizsgálata a motor működési paramétereinek függvényében kereskedelmi forgalomban kapható dízel és biodízel üzemanyagkeverékek felhasználása esetén.
3. Dízel kipufogógázban található, eltérő termális stabilitású összetevők arányának vizsgálata saját fejlesztésű alacsony átáramlású termikus gőzleválasztó egység (thermodenuder) felhasználásával.
4. Légköri széntartalmú aeroszolra és egyidejűleg kibocsátott gázfázisú összetevőkre leíró paraméterek széles skálájára jellemző napszakos ingadozás meghatározása offline és online mérési módszerek együttes alkalmazásával. A napszakos ingadozásuk alapján, az online módszerekkel mért mikrofizikai és optikai, valamint az offline mért kémiai és toxikológiai jellemzők között fennálló korrelációk vizsgálata. Tanulmányozni a lehetőségét annak, hogy a légköri széntartalmú aeroszol spektrális sajátosságai előre jelezhetik-e lehetséges toxikológiai hatásait.

3. MÉRÉSI MÓDSZEREK

3.1. Online mérési módszerek

- A vizsgált aeroszolok **optikai abszorpcióját** a kutatócsoportban korábban kifejlesztett Négy Hullámhosszú Fotoakusztikus Spektrométerrel (4 λ -PAS) határoztam meg. A mérőműszer működési hullámhosszai 1064, 532, 355 and 266 nm.
- A **méreteloszlást**, valamint **szám szerinti koncentrációt** egy Elektromos Mobilitás Szerinti Részecske-szeptátorral (SMPS - Grimm Aerosol Technik GmbH & CO.) mértem 10,1 és 1093 nm között. Terepi mérések során az SMPS egy Optikai Részecskeszámlálóval (OPC - Grimm Aerosol Technik GmbH) kiegészítve működött, mely 0,25 és 32 μ m közötti mérettartományon mér részecske méreteloszlás.
- A **tömegkoncentrációt** egy Kúpos Elemű Oszcilláló Mikromérleggel (TEOM – Thermo Fischer Scientific) határoztam meg laboratóriumi körülmények között. A terepi mérések során egy Met One Instruments BAM 1020 béta attenuációs tömeg monitor segítségével mértem a tömegkoncentrációt.
- A **CO, NO_x, valamint BTEX összetevők koncentrációja** egy Syntech Spectras GC955 gázkromatográfal került meghatározásra (Synspec b.v.).

3.2. Offline mérési módszerek

- Az aeroszol részecskék morfológiája és mikrostruktúrája Transzmissziós Elektron Mikroszkóppal (TEM - FEI Tecnai G2 20 X-Twin), illetve Raman Spektroszkópia (Thermo Scientific DXR Raman Microscope) segítségével került meghatározásra.
- A terepen gyűjtött filteres levegő minták elemi szén (EC), szerves szén (OC), illetve teljes szén (TC_{Sunset}) koncentrációját egy termo-optikai elven működő Fel-folytonos Szerves-szervetlen Szén Mérőműszerrel határoztam meg (Semi Continuous OCEC Analyzer - Sunset Laboratory Inc.) az EUSSAR_2 protokoll felhasználásával. A minták teljes szén tartalma (TC_{Zellweg}) egy az EGA módszert alkalmazó Zellweger Analytics Astro 2100 TOC Analyzer elnevezésű mérőműszerrel is meghatározásra került referenciaként.
- A filteren gyűjtött levegő mintákból készült extraktumok **levoglükozán koncentrációja** egy Agilent 6890N gázkromatográf és egy hozzá csatolt Agilent 5973N tömegspektrométer segítségével került meghatározásra.
- A filteren gyűjtött levegőminták **ökotoxicitása (EC50)** Vibrio Fischeri bioluminesszencia gátláson alapuló biológia teszttel került meghatározásra az ISO 21338:2010 szabványban definiált protokoll alapján.

4. ÖSSZEFOGLALÓ

Doktori munkám során mesterségesen előállított, valamint dízel emittált széntartalmú aeroszol méreteloszlását, morfológiáját, valamint mikroszerkezetét vizsgáltam. Tanulmányoztam, hogy a különböző égési körülmények, valamint üzemanyag típusok milyen hatást gyakorolnak a keletkező részecskék tulajdonságaira. Továbbá terepi körülmények között vizsgáltam a városi széntartalmú aeroszol valós időben, aeroszol fázisban mért optikai abszorpciós sajátosságai és az offline módszerrel vizsgált kémiai tulajdonságai, valamint toxicitása között fennálló korrelációkat. Megvizsgáltam, hogy az optikai abszorpció hullámhosszfüggését jellemző abszorpciós Angström exponens (AAE) alkalmas lehet-e a széntartalmú aeroszol toxicitásának előre-jelzésére.

Új tudományos eredmények

T1. Meghatároztam nagy tisztaságú grafit céltárgyból lézeres abláció útján generált széntartalmú aeroszol méreteloszlását, morfológiáját, valamint mikroszerkezetét. A lézeres ablációs aeroszol generátor egyedi lehetőséget teremt a legkülönbözőbb mikrofizikai paraméterekkel és morfológiával rendelkező részecskék előállítására. A generátor állítható paraméterei a gerjesztés során a mintára jutó energiasűrűség, valamint az ablációs kamrában áramló vivőgáz áramlási sebessége és összetétele. A generálási paraméterek, melyek az égési hőmérsékletet, a fizikai öregedést, valamint a fellépő légköri folyamatokat hivatottak modellezni, egymástól függetlenül állíthatók. Kísérleti úton bizonyítottam, hogy a generált széntartalmú aeroszol jól modellezi a valós légköri kormot.

T2. Dízellel és biodízellel (zsírsav-metilészter, FAME), valamint különböző arányú keverékekkel tankolt nagy teljesítményű dízel motor kibocsátását karakterizáltam. A négy vizsgált üzemanyag keverék a következő volt: kereskedelmi forgalomban kapható „tisza” dízel (B0), 25% FAME (B25), 75% FAME (B75) és 100% FAME (B100). A kibocsátott kipufogógázt három – a vonatkozó szabványoknak is megfelelő – egyensúlyi motorponton vizsgáltam (alpjárat, közepes és magas terhelés). A mérési eredmények megerősítették, hogy dízelmotor által kibocsátott részecskék minden motorállapot esetén jellemzően lognormális eloszlással rendelkeznek az akkumulációs módus tartományban, melynek szám szerinti medián átmérője hozzávetőlegesen 100 nm. A kibocsátott részecskék szám szerinti koncentrációja és térfogat minden üzemanyagkeverék esetén csökkenést mutatott a motorterhelés függvényében. A FAME bekeverési aránya nem lineárisan csökkenést hozott a kibocsátott mennyiségben. Minden motorterhelési ponton a B75 üzemanyag esetében volt a legkisebb kibocsátott

koncentráció. Az eredmények azt mutatják, hogy új összetételű (pl.: magasabb biodízel tartalmú) üzemanyagok fejlesztése elősegítheti a dízel motorok részecske-kibocsátásának csökkentését, valamint azt, hogy a motorgyártók megfeleljenek az egyre szigorodó szabályozásoknak.

T3. Egy saját fejlesztésű alacsony átáramlású termikus gőzleválasztó egység (thermodenuder) segítségével vizsgáltam dízel kipufogógázban található eltérő termális tulajdonságú komponensek koncentráció arányait három hőmérsékleten (50°C, 120°C and 250°C). Az 50°C-hoz képest 120°C-on jelentős szám- és térfogat-koncentráció csökkenést tapasztaltam, miközben a maximális koncentrációhoz tartozó részecskeméret nem változott számottevően. Igazoltam, hogy ez a jelenség a homogén kondenzáció során keletkezett folyadékcseppek, valamint a dízel korom részecskék felületén adszorbeálódott illékony komponensek elpárolgásának, továbbá a kipufogógázban található, koromtól különböző aeroszol részecskék pirolízisének tudható be. A második hőmérsékleti lépcső (120°C-250°C) további térfogat-koncentráció csökkenést eredményezett. Emellett a méreteloszlás görbékben bekövetkező szerkezeti változásokat tapasztaltam minden motorterhelési pont, valamint üzemanyagkeverék esetén. Az összdarabszám-koncentráció alapján egyik üzemanyagkeverék esetén sem mutatott jelentős további csökkenést. Érdekes módon, nagyobb motorterhelés mellett a "tisza" üzemanyagokkal ellentétben (B0 és B100), a keverék esetében (B25 és B75) 250°C-on nagyobb összrészecske-számot mértem, mint 120°C-on. Igazoltam, hogy ez a jelenség a korom fraktál aggregátumok magasabb hőmérséklet hatására bekövetkező fragmentációjával magyarázható.

T4. Egy két hónapos, két városi mérési helyszínen végzett téli mérőkampány során vizsgáltam légköri széntartalmú aeroszol kémiai, fizikai és toxikológiai paramétereinek napszakos ingadozását, valamint a mért paraméterek között fennálló korrelációkat. Az optikai és mikrofizikai tulajdonságokat, úgy, mint fényelnyelés, fényszórás, méreteloszlás és tömegkoncentráció, a jelenleg legkorszerűbb mérés technikákkal mértem valós időben. A kémiai összetétel, valamint a toxicitás vizsgálatához (PAH és BTEX koncentráció, teljes és szerves széntartalom (TC és OC), levoglükozán (LG, valamint ökototoxicitás (EC50)) szűrőpapíron gyűjtöttem mintát hatórás időfelbontásban. Biztos, de gyenge, valamint közepesen erős korrelációt találtam a városi széntartalmú aeroszol ökotoxicitása, valamint optikai, mikrofizikai és kémiai tulajdonságai között. Ez igazolja, hogy a városi széntartalmú szálló por ökotoxikus hatással rendelkezik. Közepes kapcsolatot találtam a filteres levegőmintákból Vibrio Fisheri biolumineszcencia-gátlási teszt során meghatározott ökotoxicitás (EC50), valamint a valós időben fotoakusztikusan mért, az optikai abszorpció

hullámhosszfűggését leíró fizikai mennyiség, az abszorpciós Angström exponens (AAE) között. Bemutattam, hogy a kibocsátó források szelektív azonosítására is bizonyítottan alkalmas AAE a levegő veszélyességének elsődleges monitorozására is képes indikátor lehet.

TUDOMÁNYOS TEVÉKENYSÉG

A tézispontokhoz kapcsolódó tudományos publikációk:

T1. Ajtai, T., Utry, N., **Pintér, M.**, Kiss-Albert, G., Puskás, R., Tápai, Cs., Kecskeméti, G., Smausz, T., Hopp, B., Bozóki, Z., Kónya, Z., and Szabó, G. (2015). Micro-physical properties of carbonaceous aerosol particles generated by laser ablation of graphite target. *Atmos. Meas. Tech* 8: 1207-1215.

IF:2,929

Number of independent citations: 0

T2-T3. Ajtai, T., **Pintér, M.**, Utry, N., Kiss-Albert, G., Gulyás, G., Pusztai, P., Puskás, R., Bereczky, Á., Szabados, G., Szabó, G., Kónya, Z., Bozóki, Z. (2016) Characterisation of diesel particulate emission from engines using commercial diesel and biofuels, *Atmospheric Environment*, Volume 134, June 2016, Pages 109–120.

IF: 3,281

Number of independent citations: 4

T4. **Pintér, M.**, Utry, N., Ajtai, T., Kiss-Albert, G., Jancsek-Turóczy, B., Imre, K., Palágyi, A., Manczinger, L., Vágvölgyi, Cs., Horváth, E., Kovács, N., Gelencsér, A., Szabó, G., Bozóki, Z. (2017). Optical Properties, Chemical Composition and the Toxicological Potential of Urban Particulate Matter. *Aerosol and Air Quality Research*, 17, 1415-1426.

IF: 2,606

Number of independent citations: 1

Válogatott konferencia előadások és poszterek:

Pintér, M., Kiss-Albert, G., Utry, N., Ajtai, T., Szabó, G., Bozóki, Z.. Investigating the Source Dependence of Aethalometer Correction Factors Using an In-House Developed Multi-Wavelength PhotoAcoustic Spectrometer. AAAR 2017 Raleigh NC USA

Pintér M., Kiss-Albert G., Utry N., Ajtai T., Szabó G., Bozóki Z. Légeköri aeroszol komplex mikrofizikai és spektrális tulajdonságainak vizsgálata téli városi környezetben. Tavasz Szél 2017, Miskolc

Pintér, M., Utry, N., Gulyás, G., Kiss-Albert, G., Ajtai, T., Szabó, G., Bozóki, Z. A thermodeuder assisted dual-wavelength dual cell photoacoustic aerosol analyser with enhanced source apportionment capability. European Aerosol Conference 2016, Tours, Franciaország

Ajtai, T., Utry, N., **Pintér, M.**, Kiss-Albert, G., Szabó, G., Bozóki, Z. Thermal analysis of diesel emitted particulate matter. European Aerosol Conference 2016, Tours, Franciaország.

Utry, N., **Pintér, M.**, Ajtai, T., Kiss-Albert, G., Palágyi, P., Manczinger, L., Vágvölgyi, Cs., Imre, K., Jancsek-Turóczy, B., Gelencsér, A., Szabó, G., Bozóki, Z. Correlations between the toxicity and optical properties of atmospheric aerosol measured by self-developed photoacoustic and supplementary instrumentation. European Aerosol Conference 2016, Tours, Franciaország.

Ajtai, T., **Pinter, M.**, Utry, N., Kiss-Albert, G., Palágyi, A., Manczinger, L., Vágvölgyi, CS., Szabó, G., Bozóki, Z. On the possibility of real time air quality and toxicology assessment using multiwavelength photoacoustic spectroscopy. EGU 2016, Bécs, Austria.

Ajtai, T., **Pinter, M.**, Utry, N., Kiss-Albert, G., Palágyi, A., Manczinger, L., Vágvölgyi, CS., Szabó, G., Bozóki, Z. On the possibility of real time characterisation of ambient toxicity using multi-wavelength photoacoustic instrument. ICAST 2016, Lisszabon, Portugália

Ajtai, T., **Pintér, M.**, Utry, N., Kiss-Albert, G., Gulyás, G., Bereczky, Á., Szabados, Gy., Bozóki, Z., Szabó, G. Thermal evolution and dynamic changes in diesel emission. EAC 2015. Milánó, Olaszország.

Ajtai, T., Utry, N., **Pintér, M.**, Szabados, Gy., Bereczky, Á., Kiss-Albert, G., Gulyás, G., Bozóki, Z., Szabó, G. Dízel korom aeroszolok karakterizálása: A motorterhelés és a kipufogógáz hőmérsékletének hatása a méreteloszlásra. MAK 2015, Szeged.

Ajtai, T., Utry, N., **Pintér, M.**, Kecskeméti, G., Smausz, T., Hopp, B., Bozóki, Z., Szabó, G. Generation and characterization of laser induced carbon particles. IAC 2014. Busan, Korea.

Pintér, M., Ajtai, T., Utry, N., Bozóki, Z., Szabó, G. Mesterséges és légköri korom aeroszolok optikai abszorpciós tulajdonságainak vizsgálata saját fejlesztésű négy-hullámhosszú fotoakusztikus spektrométerrel. A „Kvantumelektronika 2014: VII. Szimpózium a hazai kvantumelektronikai kutatások eredményeiről” és a Modern Fényforrások és Alkalmazásai workshop. BME 2014. november 28, Budapest.

Ajtai, T., Utry, N., **Pintér, M.**, Bozóki, Z., Szabó, G. Generation and characterization of laser induced carbon particles. Tavasz szél 2014, Debrecen.

Ajtai, T., Utry, N., **Pintér, M.**, Bozóki, Z., Szabó, G. Lézergenerált koromaeroszolok előállítás és karakterizálása. Magyar Aeroszol konferencia 2013. Debrecen.

Egyéb tudományos közlemények a témában:

Pintér, M., Ajtai, T., Kiss-Albert, G., Kiss, D., Utry, N., Janovszky, P., Palásti, D., Smausz, T., Kohut, A., Hopp, B., Galbács, G., Kukovecz, Á., Kónya, Z., Szabó, G., Bozóki, Z. (2018). Thermo-optical properties of residential coals and combustion aerosols. Atmospheric Environment, 178, 118-128.

IF.: 3,629

Smausz, T., Kondász, B., Gera, T., Ajtai, T., Utry, N., **Pintér, M.**, Kiss-Albert, G., Budai, J., Bozóki, Z., Szabó, G., Hopp, B. (2017). Determination of UV–visible–NIR absorption coefficient of graphite bulk using direct and indirect methods. Applied Physics A, 123(10), 633.

IF:1,455

Utry, N., Ajtai, T., **Pintér, M.**, Illés, E., Tombác, E., Szabó, G., Bozóki, Z. (2017). Generation and UV-VIS-NIR spectral responses of organo-mineral aerosol for modeling soil derived dust. Atmospheric Environment, Volume 152, March 2017, Pages 553–561.

IF: 3,459

Simon, K. A., Ajtai, T., Gulyás, G., Utry, N., **Pintér, M.**, Szabó, G., Bozóki, Z. (2017). Accuracy assessment of aerosol source apportionment by dual wavelength photoacoustic measurements. *Journal of Aerosol Science*, Volume 104, pp 10-15.

IF: 2,278

Ajtai, T., Utry, N., **Pintér, M.**, Major, B., Bozóki, Z., & Szabó, G. (2015). A method for segregating the optical absorption properties and the mass concentration of winter time urban aerosol. *Atmospheric Environment*, 122, 313-320.

IF:3,281

Utry, N., Ajtai, T., **Pintér, M.**, Tombácz, E., Illés, E., Bozóki, Z., & Szabó, G. (2014). Mass specific optical absorption coefficients of mineral dust components measured by a multi wavelength photoacoustic spectrometer. *Atmos. Measur. Tech. Dis.*, 7, 9025-9046.

IF: 2,929

Utry, N., Ajtai T., Smausz Kolumbán, T., Kecskeméti G., Tápai Cs., **Pintér M.**, Hopp B., Bozóki Z. (2014). Lézergenerált korom-aeroszolok fotoakusztikus vizsgálata. *Fizikai Szemle*. 233-236.

Utry, N., Ajtai, T., Filep, Á., **Pintér, M.**, Török, Z., Bozóki, Z., & Szabó, G. (2014). Correlations between absorption Angström exponent (AAE) of wintertime ambient urban aerosol and its physical and chemical properties. *Atmospheric environment*, 91, 52-59.

IF: 3,281

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. *International Journal of Thermophysics*, 35(12), 2246-2258.

IF: 0,963

Filep, Á., Ajtai, T., Utry, N., **Pintér, M. D.**, Nyilas, T., Takács, S., Máté, Zs., Gelencsér, A., Hoffer, A., Schnaiter, M., Bozóki, Z., Szabó, G. (2013). Absorption spectrum of ambient aerosol and its correlation with size distribution in specific atmospheric conditions after a red mud accident. *Aerosol and Air Quality Research*, 13(4).

IF: 2,664

Utry, N., Ajtai, T., Filep, Á., **Pintér, M. D.**, Hoffer, A., Bozoki, 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