

# ZÁRÓJELENTÉS AZ OTKA K101905 (2011-2014) PROJEKT EREDMÉNYEIRŐL

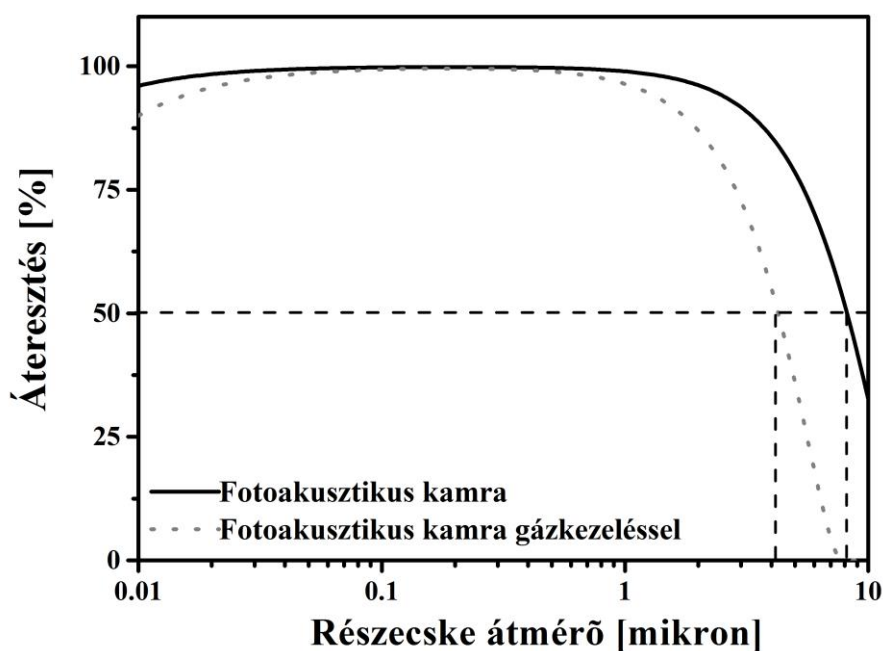
A részletes zárójelentés az eredeti munkaterv szövegébe ágyazva készült annak érdekében, hogy a kitűzött célok és azok megvalósulása jól összevethető legyen. A kutatási célok félkövér betűvel, az egyes részfeladatok megvalósulásának évei dőlt betűvel szedettek.

## **1. Az általunk kifejlesztett négy hullámhosszú fotoakusztikus aeroszolmérő rendszer alkalmazási körének szélesítése.**

A Karlsruhei Légekörkutató Intézetben megvizsgáltuk a négy-hullámhosszú fotoakusztikus aeroszolmérő (PAS) műszer kalibrációs eljárásának koncentráció és fényteltjesítmény függését. A kalibrációhoz ismert optikai abszorpciós együtthatójú NO<sub>2</sub> – szintetikus levegő keveréket használtunk 10 ppm és 50 ppb között változtatott koncentrációval. A mérések során 2 és 200 mW között változtattuk az 532 nm-es fény teljesítményét. A mérések eredményei alapján az optimális jel/zaj viszonyt produkáló, megfelelő koncentrációjú (300 ppb) gázkeveréket beszereztük és a kalibrációs eljárást átalakítottuk. (1. év)

Módszert dolgoztunk ki a lézer hullámhosszának gyorsan végrehajtható és nagy pontosságú stabilizálására, és eredményeinket vezető nemzetközi szakfolyóiratban publikáltuk [1]. A módszer előnyösen alkalmazható olyan esetekben, amikor az aeroszol mérés olyan hullámhossztartományban történik, ahol kis atomszámú molekulák elnyelési vonalai találhatóak, és a mérés során gondoskodni kell arról, hogy az aeroszol mérés hullámhossza ne essen egybe ezen elnyelési vonalakkal. (2. év)

Modellezés útján meghatároztuk a méréseink során alkalmazott fotoakusztikus kamra méretátviteli függvényét (1. ábra) és e függvény helyességét kísérletek során, indirekt módon bizonyítottuk. Független valós körülmények között végzett mérésekkel igazoltuk, hogy a fotoakusztikus mérőműszer működési hullámhosszain esetlegesen fellépő gázfázisú keresztteffektusok a rendszerbe beépített diffúziós elven működő denuderrel teljesen eliminálhatók. Igazoltuk, hogy a fotoakusztikus rendszernek működési sajátosságaiból levezethető inherens tulajdonsága, hogy nem igényel semmiféle elő-leválasztást, azaz a rendszer méretátviteli függvénye egységnyi a korom aeroszolak teljes klíma releváns mérettartományában. A fotoakusztikus mérési módszernek az aeroszol-kutatás rutin-eljárásává történő fejlesztésében nagy jelentőséggel bíró fenti eredményeket nemzetközi folyóiratban publikáltuk. [2] (1. év)



1. ábra: A fotoakusztikus kamra részecskeáteresztő-képessége gázkezelés nélkül és gázkezeléssel [2]

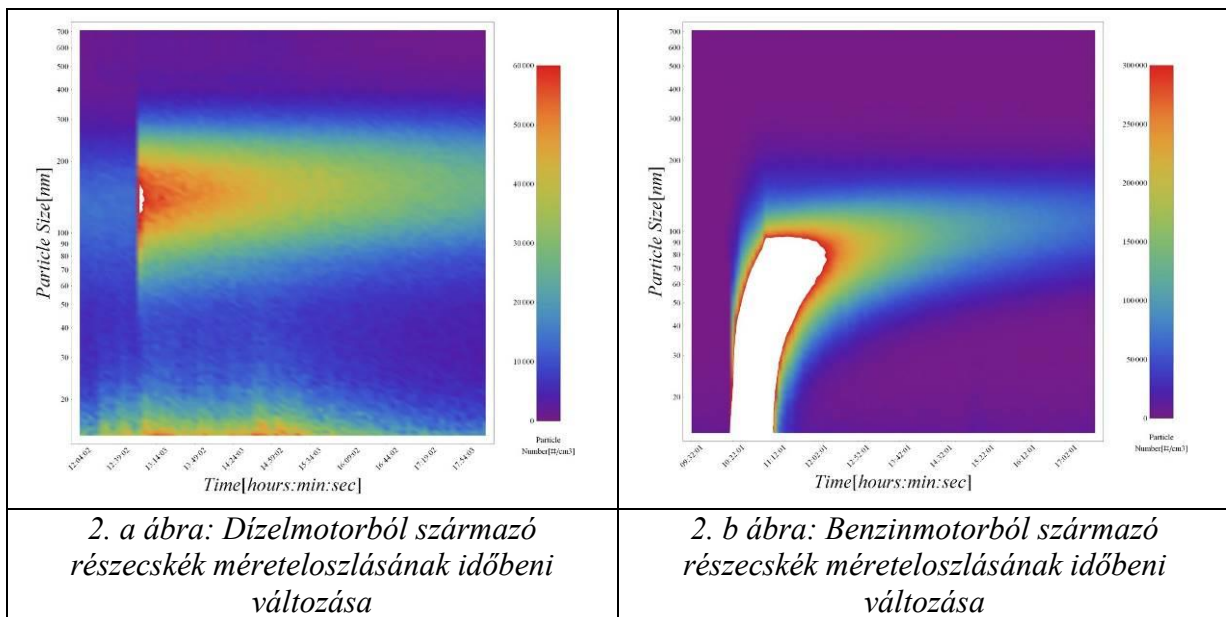
**2. Mesterségesen generált széntartalmú aeroszolok és egyedi aeroszol-komponensek hullámhosszfüggő spektroszkópiai tulajdonságainak vizsgálata a légköri aeroszolokra jellemző fizikai tulajdonságok (azaz optikai abszorpció < 30 Mm-1, tömegkoncentráció < 10 µg/m<sup>3</sup>, és karakterisztikus átmérő < 1 µm) mellett.**

Laboratóriumi körülmények között vizsgáltuk számos mesterségesen generált részecsketípus optikai és részecskeméreti tulajdonságait.

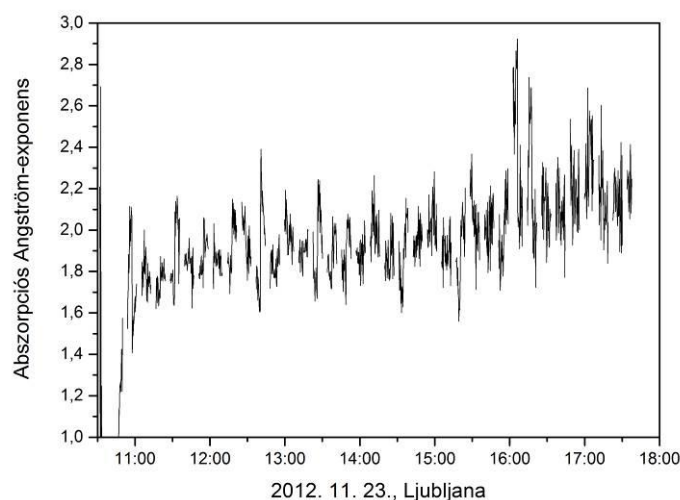
Elvégeztük a devecesteri iszapkatasztrófa helyszínén gyűjtött vörösiszap- és analitikai tisztaságú hematit minták aeroszol fázisú karakterizálását. Meghatároztuk e két aeroszolfajta elemösszetételét, részecske méreteloszlását és hullámhosszfüggő optikai abszorpcióját a PAS mérési hullámhosszain. A mért optikai abszorpciós adatok összevetéséből arra a következtetésre jutottunk, hogy a vörösiszap abszorpciós spektrumában 1064, 532 és 355 nm hullámhosszakon, az egyébként a tömegkoncentrációban is jelentős hematit dominál. Ugyanakkor 266 nm hullámhosszon a vörösiszap, a hematittól eltérően kiemelkedően magas optikai abszorpciós együtthatóval rendelkezik. Ez az erős UV abszorpció a vörösiszap egy vagy több, a hematiton kívüli összetevőjének erős UV abszorpciójának következménye (valószínűleg valamely agyagásványi összetevő). A mérésekből levont következtetéseket Mie-elméletre alapozott modellszámításokkal támasztottuk alá. A vörösiszap katasztrófa sújtotta területen végzett terepi mérés eredményeinek feldolgozása során a normál légszennyezettségi körülmények között is kimutatható korrelációk mellett egy eddig nem ismert, erős kapcsolatot találtunk az 500 nm feletti átmérővel rendelkező részecskék mennyisége és a 266 nm-en mért optikai abszorpció között, mely a vörösiszap por jelenlétére utal. Ez az összefüggés további alappal szolgálhat egy *in-situ* forrásazonosító eljárás kidolgozásának a vörösiszap szennyezettség vonatkozásában. Ezen eredményeinket a tudományterület egy vezető lapjában publikáltuk, valamint alapját képezik egy doktori disszertációnak [3, 4]. (1. év)

Laboratóriumi körülmények között vizsgáltuk K-pusztán gyűjtött aeroszol mintából izolált légtörési humusz-szerű anyag (HULIS) abszorpcióját és annak hullámhosszfüggését. Az általunk alkalmazott egyedülállóan széles mérési hullámhossztartománynak köszönhetően kimutattuk a HULIS abszorpciós Angström exponensének hullámhosszfüggését, továbbá azt, hogy az abszorpciós Angström exponens ezen hullámhosszfüggése a HULIS forrásának és/vagy képződési mechanizmusának indikátora lehet [5]. (1. év)

Laboratóriumi körülmények között vizsgáltuk többek között két különböző típusú dízelmotor által termelt korom-részecskét vizsgáltunk a szlovéniai Aerosol d.o.o. céggel együttműködve. A mérések során a motorok három-három eltérő működési szakaszában (hidegindítás, 10 perces járatás, 30 perces járatás) vizsgáltuk a kibocsátott részecskéket (2. ábra). A kísérletek során in-situ vizsgáltuk a részecskék optikai abszorpcióját (négy-hullámhosszú fotoakusztikus aeroszolmérő – PAS) és szórását (Ecotech Polar Nephelometer – Neph), mobilitás ekvivalens méreteloszlását (Grimm és TSI Particle Mobility Size Spectrometer – SMPS), optikai méreteloszlását (Grimm Optical Size Spectrometer – OPC) valamint filteres mintavétel mellett az extinkciót (Dual-spot Aethalometer – AE33) és tömegkoncentrációt (Thermo Continuous Ambient Particulate Monitor – TEOM). Az online mérések mellett polikarbonát filterre vettünk mintát a részecskékből utólagos optikai vizsgálathoz integráló félgömb használatával (Integrating Sphere – IS).



Ahogy az a 2. ábrán látható, dízelmotor esetén csak igen kis mértékben, benzinmotor használatakor azonban jelentős részecskénövekedést tapasztaltunk a kísérlet ideje alatt, ami együtt járt az optikai abszorpció hullámhosszfüggésének (Abszorpciós Angström-exponens – AAE) növekedésével is (3. ábra). (1. év)



3. ábra: Abszorpciós Angström-exponens időbeni változása benzinmotorból származó korom mérésekor

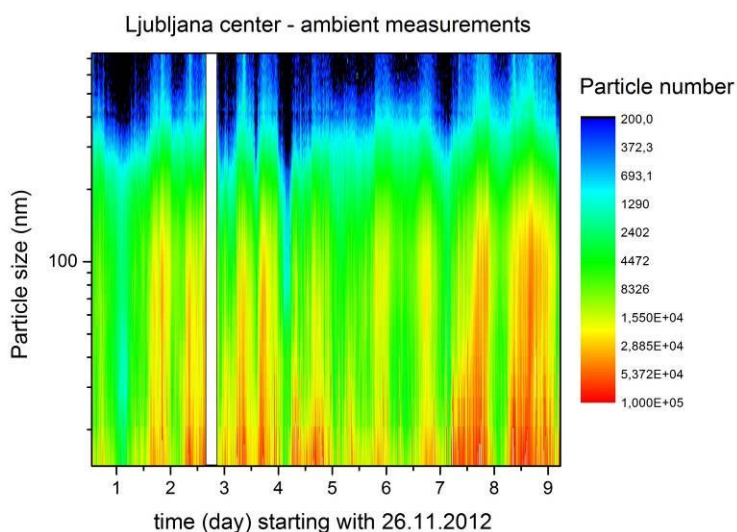
A PAS rendszer segítségével meghatároztuk a legfontosabb ásványi por-összetevők (pl. hematit, kvarc, kaolinit stb.) tömeg specifikus optikai abszorpcióját és komplex törésmutatóját laboratóriumi körülmények között, létrehozva ezzel egy jelenleg egyedülálló aeroszol-fázisú, szórás érzéketlen és abszorpció érzékeny méréseken alapuló adatbázist ezen összetevőkre. A mérések jelentőségét az adja, hogy ezen abszorpciós adatok mindez idáig csak indirekt módon, azaz tömbi mintákon elvégzett mérésekből voltak meghatározhatók. A kapott mérési eredményeket összevetettük a Mie elmélettel és több esetben kiváló egyezést tapasztaltunk. Igazoltuk, hogy a mért méreteloszlás spektrum megfelelő korrekciója esetén az általunk mért abszorpciós adatok az optikai paraméterek tömbi-aeroszol átmenetének igazolására referenciaként szolgálhatnak. A mérési eredményeket bemutattuk számos konferencián [6,7,8], többek közt az aeroszolkutatás négyévente megrendezésre kerülő legrangosabb konferenciáján, az International Aerosol Conference-en [9], továbbá nemzetközi folyóiratban publikáltuk [10]. (2. év)

Megterveztünk és megépítettünk egy lézeres abláción alapuló koromgenerálási mérési elrendezést. Bizonyítottuk, hogy az általunk definiált koromgenerátor egyedülálló módon képes a korom aeroszolak ún. fizikai öregedésének modellezésére, illetve a korom aggregátumokat alkotó monomerek és klaszterek egymástól független előállítására. További előnye a mérési elrendezésnek, hogy az általa előállított tisztán grafitos szerkezetű fekete korom klaszter nanoaggregátumok teljesen mentesek a kémiai szennyeződésektől és hogy az elrendezésben biomassza korom aeroszolak is kontrolált összehasonlítható és megismételhető módon állíthatók elő akár valós mintákból, is mint pl. a háztartási szén. Ez utóbbi két tulajdonság szintén unikális. Bebizonyítottuk, hogy háztartási szenek ablációjával előállított aeroszol részecskék jól modellezik a háztartási tüzelés során keletkező légköri aeroszol részecskéket. Független mérésekkel igazoltuk továbbá, hogy az ablációs kráter topográfiai vizsgálatára épülő, a tömbi anyag abszorpciós sajátosságainak meghatározására használt empirikus összefüggés valós. A mérési eredményeket vezető nemzetközi és magyar szakfolyóiratokban publikáltuk [11, 12, 13, 14, 15], továbbá ezen eredményekből OFKD 1. díjjal és a Mérnöki Kamara Diploma Díjával jutalmazott pályamunka és diplomadolgozat született [16]. (2. év)

### 3. A városi légkörben található, optikai elnyeléssel rendelkező széntartalmú aeroszolok optikai tulajdonságainak in-situ vizsgálata terepi körülmények között.

Több helyszínen, szezonális és napszakos bontású mérésekkel meghatározzuk a széntartalmú aeroszolok frakciójának spektrális tulajdonságait a PM10 és a PM2.5 méretfrakcióban.

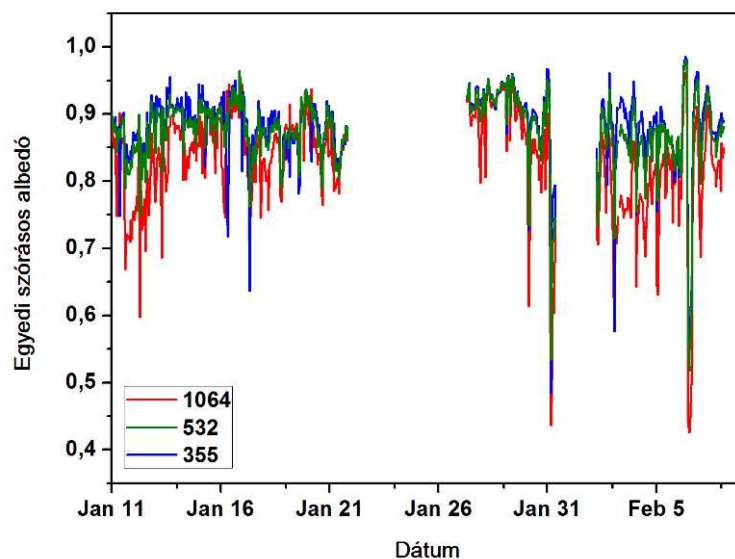
2012-2013 telén terepi mérést végeztünk Ljubljana, Szlovénia, belvárosában, erősen forgalom dominálta légszennyezési körülmények között (elsősorban friss koromrészecskék – 4. ábra).



4. ábra: Részecske méreteloszlás Ljubljana belvárosában

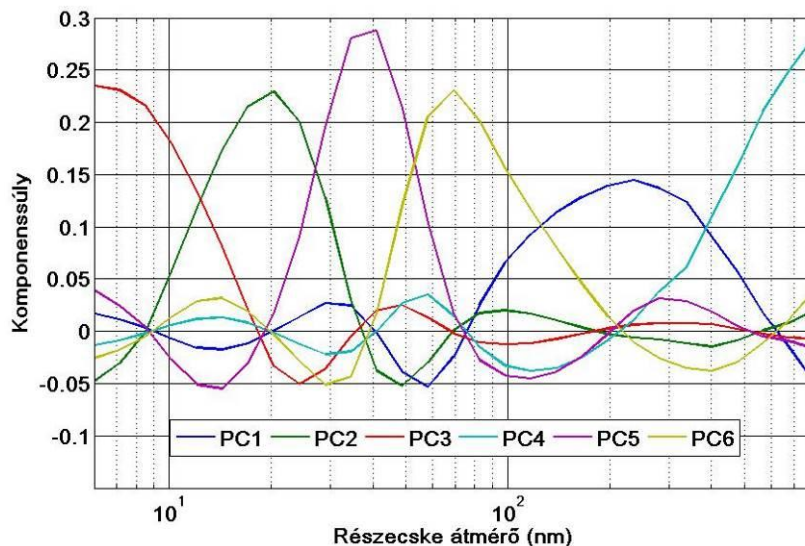
A ljubljana terepi mérés tapasztalati alapján felkészítettük a PAS-t a 2013. 01. 11. – 2013. 02. 08. között K-pusztán megrendezésre került EMEP kampányon való részvételre. Mivel a K-pusztai mérőállomás háttérszennyezettség mérő állomás, nem megengedett az állomás autójával való megközelítése, így az esetlegesen felmerülő problémákat szoftveresen kellett megoldanunk. Legnagyobb problémát az állomáson akár napi rendszerességgel tapasztalt áramszünetek okozták. Ezek miatt a műszer szoftverébe be kellett építeni egy alprogramot, ami képes áramkimaradás után a lézer valamint a mérési eljárás újraindítására. A kisebb áramigényű műszereket (AE33 és mintavevő pumpa) szünetmentes tápegységre csatlakoztattuk. A mérési adatok feldolgozása során meghatároztuk a részecskék egyedi szórási albedóját (SSA) valamint azonosítottuk a méreteloszlás spektrum domináns módusait.

SSA számítása: a Nephelometer három mérési hullámhosszán meghatározott abszorpciós együtthatókból inter/extrapolálással (Angström-törvény) meghatároztuk a PAS mérési hullámhosszaira vonatkozó abszorpciós együtthatókat, majd az  $SSA = (b_{abs} + b_{scat})/b_{scat}$  egyenlet alapján kiszámítottuk SSA-t 355, 532 és 1064 nm-re (5. ábra). Az SSA hullámhosszfüggését a két szélső hullámhossz használatával határoztuk meg ( $dSSA/d\lambda = (SSA_{1064} - SSA_{355}) / (1064 - 355)$ ).



5. ábra: A különböző hullámhosszokon mért SSA értékek változása 2013. 01. 11. – 2013. 02. 08. között K-pusztán

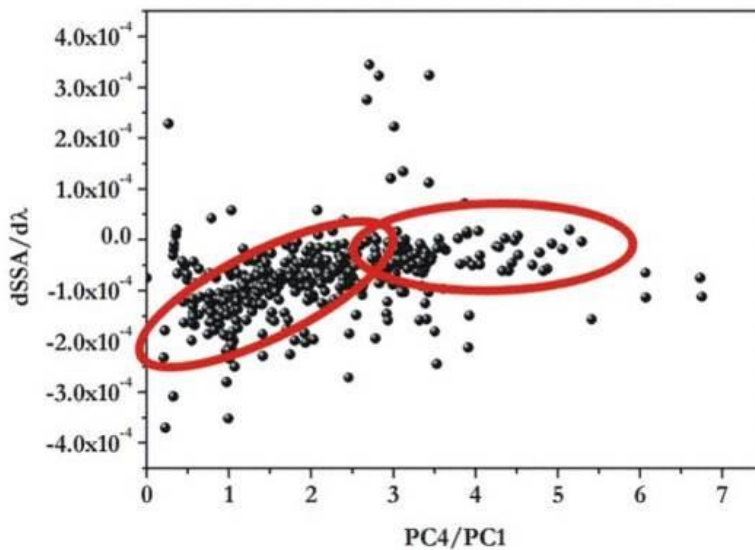
Méreteloszlás: a részecske méreteloszlás főbb módusait főkomponens analízis segítségével határoztuk meg. Először a  $dN/d\ln D_p$  formában mentett értékeket log-normáltuk, majd standardizáltuk (0 középvérték és 1 standard deviáció). A kapott értékekből Varimax rotációval határoztuk meg a főkomponenseket a Matlab program használatával (6. ábra).



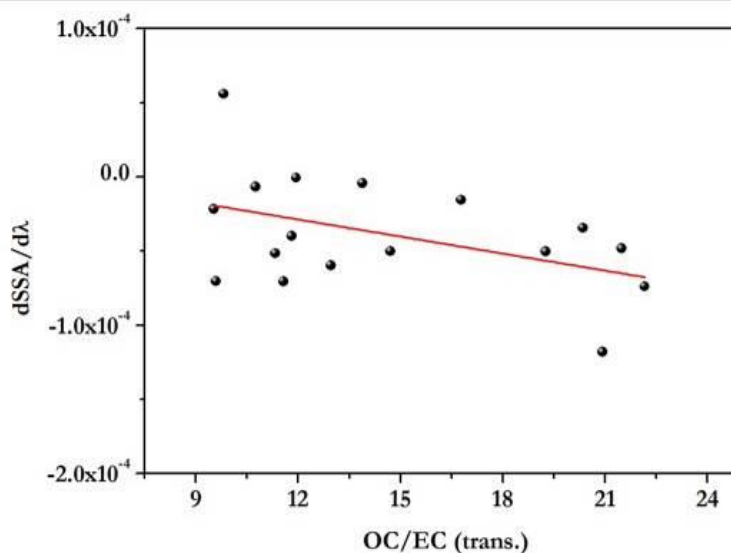
6. ábra: Domináns módusok a részecske méreteloszlásban 2013. 01. 11. – 2013. 02. 08. között K-pusztán

A korreláció analízis több esetben is erős összefüggést mutatott a különböző hullámhosszokra meghatározott SSA, a méreteloszlás módusok időbeni változása között, valamint az OC/EC arány között. Az 7. ábra az SSA hullámhosszfüggése és a méreteloszlás két forrás-specifikus módusának aránya (1 órás időfelbontás), a 8. ábra az SSA hullámhosszfüggése és a szerves-, szervesetlen szén arány (24 órás időfelbontás) közötti összefüggést mutatja.





7. ábra: SSA hullámhosszfüggése és a méreteloszlás két forrás-specifikus módusának aránya közötti összefüggés



8. ábra: SSA hullámhosszfüggése és a szerves-, szervesetlen szén arány közötti összefüggés

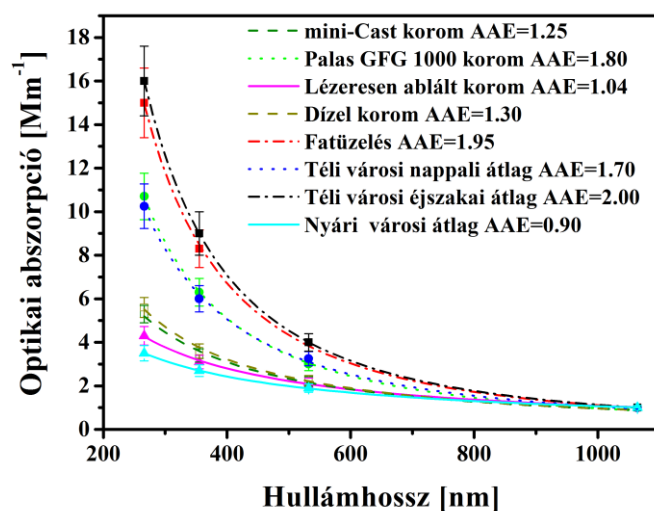
A mérési eredményeket a XI. Magyar Aeroszol Konferencián előadás formájában bemutattuk [17], és jelenleg publikálás alatt állnak.

Szegedi belvárosi téli terepi méréseinket (2011/2012 illetve 2013/2014) kiértékelve szoros kapcsolatot tudunk kimutatni az aeroszol kémiai tulajdonságai (azaz a széntartalmú frakcióban az elemi szén/szerves szén arány), a méreteloszlás és az optikai tulajdonságok (abszorpciós Angström exponens:=AAE) között. Továbbá megállapítottuk, hogy amennyiben az optikai tulajdonságokban az UV tartományban mért optikai abszorpciót is figyelembe vesszük, a korreláció mértéke tovább javul. Ez az eredmény alátámasztja azt a kiinduló feltevésünket, hogy a PAS rendszerrel végzett mérésekre alapozva információt kaphatunk a téli városi aeroszol valós idejű kémiai összetételéről (elsősorban a fényelnyelő aeroszol frakció vonatkozásában). Fontos hangsúlyozni, hogy ezek az eredmények nagyon ígéretesek a

forrásazonosítás lehetőségének szempontjából. A mérési eredményeket vezető nemzetközi szakfolyóiratokban [2, 18] és konferencia kiadványokban publikáltuk [19, 20, 21]. (1,3 év)

Megterveztünk és megépítettünk egy automatikus filteres mintavevő egységet, amely a korábbi 24 óra helyett akár 3 órás felbontású kémiai analízist is lehetővé tesz, jelentősen megnövelve a mérési adatainkból levonható statisztikailag releváns konklúziók megbízhatóságát. A mintavevő egység prototípusát 2013-2014 szeptemberi kampány keretein belül teszteltük és fejlesztettük tovább. (2-3 év)

Szezonális és napszakos bontású mérésekkel sikerült igazolnunk, hogy a fotoakusztikus módszerrel mért abszorpciós spektrum finomszerkezete jól jellemezhető a különböző hullámhossztartományokon meghatározott AAE értékekkel (10. ábra) és ezek az értékek feltételezhetően a mért korom aeroszol összetételének, illetve a kibocsátó forrás független indikátorának is tekinthetők. Ez a megfigyelés tovább növeli a fotoakusztikus rendszerünkön alapuló forrásazonosítással elérhető szelektivitást [2].



9. ábra: Laboratóriumi és terepi körülmények között vizsgált aeroszolak abszorpciós spektrumai [2]

2014 tavaszán terepi mérést végeztünk Budapesten a Budapest Aeroszol Kutató és Oktató Platformon (BpART), melynek célja az OC/EC arány és az optikai abszorpció közötti összefüggés feltárása, továbbá az illékony összetevők hatásának vizsgálata volt az aeroszol abszorpciós tulajdonságaira. A fenti mérések eredményei jelenleg publikálás alatt állnak [22]. (3. év)

#### 4. Illékony, illetve szemi-illékony aeroszol összetevők hatása az aeroszol abszorpciós tulajdonságaira.

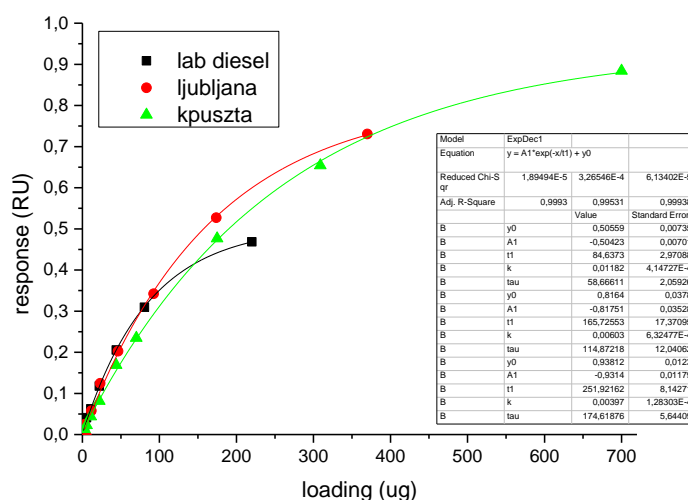
A légköri humusz-szerű anyag laboratóriumi vizsgálata során a HULIS-t acetonitrilben oldottuk és ezen oldat porlasztásával illékony komponenset tartalmazó aeroszolt állítunk elő, melyet változtatott hatékonysággal szárítottunk. Különböző módszerekkel mérve az így generált aeroszolt, vizsgáltuk a szerves komponensnek az abszorpcióra, illetve a fotoakusztikus jelre gyakorolt hatását. (1. év)



A vizsgálatot ásványi por komponensek vizes szuszpenzióinak porlasztásával is elvégeztük, ezzel vizsgálva a víztartalom abszorpcióra gyakorolt hatását. (3. év)

Mindkét esetben arra a megállapításra jutottunk, hogy a szerves komponens, illetve a víz burok jelentős mértékben megnöveli a részecske abszorpcióját. A fenti hatás megfelelő szárítás mellett (RH<30 %) azonban elhanyagolhatóvá válik. A fenti eredményeket nemzetközi folyóiratban [8] és a Nemzetközi Aeroszol Konferencián [23] mutattuk be.

A Bécsi Egyetemen prof. Dr. Regina Hitzemberger vezetésével elvégeztük a szlovéniai és k-pusztai minták IS mérését 2013 márciusában és augusztusában. A mintákat szerves oldószerben oldottuk fel, melynek optikai abszorpciójával korrigáltuk a mérést, így a részecske optikai abszorpcióját a felületén esetlegesen jelenlevő szerves burok hatása nélkül határozható meg (9. ábra). A fotoakusztikusan meghatározott abszorpció, a Nephelometerrel meghatározott szórás, valamint az IS-sel meghatározott abszorpció eredmények együttes felhasználásával meghatározhatjuk a részecskék belső korom-magjának és külső szerves burkának optikai tulajdonságait. A burok optikai tulajdonságai információt hordozhatnak a részecske koráról (azaz hogy a korom öregedési folyamat mely szakaszában van), és így arról is, hogy helyi kibocsátásból vagy hosszú távú transzport folyamatból származik-e. (2. év)



10. ábra: Integráló félgömbös mérések eredménye

A munkatervben vállalt burokképződési kísérletek egy részét a lipcei Leibniz Institute for Tropospheric Research - Tropospheric Aerosols Workgroup (TROPOS) munkájába bekapcsolódva végeztük el, egy saját fejlesztésű VH-TDMA (Volatility Hygroscopic Tandem Differential Mobility Analyser) rendszerrel, ami a részecskék higroszkopicitásának változását határozza meg különböző illékony és szemi-illékony komponensek jelenlétében. A TROPOS-VHTDMA rendszer (11. ábra) indirekt információt szolgáltat a részecskék kémiai összetételéről és keveredési állapotáról (külső/belső) úgy, hogy megkülönbözteti azokat az összetevőket, melyeknek azonos az illékonyága, de eltérő a higroszkopicitása.



11. ábra: TROPOS-VHTDMA műszer

A mérési eredmények feldolgozása jelenleg is folyik, és a XII. Magyar Aeroszol Konferencián kerül majd bemutatásra. (3. év)

A BpART platformon végzett méréseink során terepi körülmények között vizsgáltuk az illékony, illetve szemi-illékony frakció koncentrációjának az abszorpciós spektrumon alapuló in-situ meghatározásának lehetőségét egy szerves anyagok megkötésére alkalmas denuder alkalmazásán és párhuzamos kémiai vizsgálatokon keresztül. A mérési eredmények kiértékelése jelenleg is folyik. (3. év)

##### **5. Az aeroszokok méreteloszlása és spektrális tulajdonságai közötti összefüggések vizsgálata.**

Mérésekkel igazoltuk, hogy a lézeres abláció során a keletkező korom aeroszokok méreteloszlását, morfológiáját és optikai abszorpciós tulajdonságait kontrollált módon és egymástól függetlenül lehet változtatni az előállítás körülményeinek, azaz az ablációs lézer energiasűrűségének, a vivőgáz összetételének és a gázáramlási sebességnek a módosításával. Összehasonlítottuk az ablációval illetve a hagyományos méretválasztásos módon előállított monodiszperz aeroszokok tömegkoncentrációját, és megállapítottuk, hogy az első módszerrel jóval nagyobb, a fotoakusztikus rendszerrel pontosan mérhető koncentrációban állíthatók elő monodiszperz aeroszokok. Bebizonyítottuk, hogy háztartási szenek ablációjával előállított aeroszol részecskék jól modellezik a háztartási tüzelés során keletkező légköri aeroszol részecskéket, és hogy a kémiai összetételükben meglévő különbözőségek a mért abszorpciós spektrumban is megjelennek. [11,12,13,14,15,16].(2. év)

Ásványi por aeroszolt állítottunk elő két eltérő generálási eljárás alkalmazásával, tehát vizes szuszpenzió porlasztásával (RH 25 %), továbbá száraz felporzással. Megvizsgáltuk a különböző módon előállított monodiszperz méreteloszlású aeroszokok abszorpciós spektrumát, a méreteloszlás és az abszorpció közötti összefüggéseket. A nedves eljárással kisebb medián átmérővel rendelkező aeroszol generálására van lehetőség, míg száraz

eljárással durva aeroszol keletkezik. Azt tapasztaltuk, hogy a jelentős méretbeli különbségeknek az UV tartományban elhanyagolható hatása van, mely jelentősebbé válik a látható és infravörös mérési hullámhosszakon.[23] (3. év)

## **6. Az aeroszolak méreteloszlása és a fotoakusztikus válasza közötti összefüggések vizsgálata.**

A terepi méréseink során olyan összefüggéseket tártunk fel az aeroszol méreteloszlása és az általa keltett fotoakusztikus válasz között, mely alapját képezi egy új kétkomponensű forrásazonosító eljárásnak. Az általunk kidolgozott új módszert ismertettük az International Aerosol Conference-en [25], az eljárást bemutató cikk bírálata folyamatban van [24]. (3. év). Továbbá, elvégeztük a nagy frekvenciás gerjesztés hatására fellépő fázishatás modellezését, ami alapján megállapításra került, hogy a klíma releváns, termodinamikai paraméterekkel rendelkező aeroszolak esetén ugyan lehetséges a fázis korrigált korom-szelektív méreteloszlás meghatározása, de csak olyan gerjesztési paraméterek mellett, amely a detektoregység jelentős átalakítását és további fejlesztéseket igényel. Ezen átalakítások és fejlesztések tervezése jelenleg is folyamatban van. Továbbá modellszámításokkal bizonyítottuk azt is, hogy egy ilyen rendszer szelektivitását jelentősen korlátozzák a vizsgált részecske elegyek morfológiai jellemzői. A megközelítés korlátainak számszerűsített összegzését és a most és a közeljövőben elvégzett tesztmérések eredményeit a későbbiekben tervezzük megjelentetni.

## A beszámoló alapját képező legfontosabb publikációk

- [1] D. Tátrai, Z. Bozóki and G. Szabó: Method for wavelength locking of tunable diode lasers based on photoacoustic spectroscopy. *Optical Engineering* **52**(9) 096104 (2013).
- [2] N. Utry, T. Ajtai, M. Pintér, Z. Bozóki, G. Szabó: Wavelength-Dependent Optical Absorption Properties of Artificial and Atmospheric Aerosol Measured by a Multi-Wavelength Photoacoustic Spectrometer *Int. J Thermophys* **35** 2246–2258 (2014) DOI 10.1007/s10765-014-1746-6
- [3] Á. Filep, T. Ajtai, N. Utry, M. D. Pintér, T. Nyilas, Sz. Takács, Zs. Máté, A. Gelencsér, A. Hoffer, M. Schnaiter, Z. Bozóki, G. Szabó: Absorption spectrum of ambient aerosol and its correlation with size distribution in specific atmospheric condition after the red mud accident. *Aerosol and Air Quality Research*. **13** 49-59 (2013)
- [4] Filep Ágnes (2012) Aeroszol abszorpciós Angström-exponensének és méreteloszlásának mérése – a forrásazonosítás lehetőségének vizsgálata.  
PhD értekezés
- [5] N Utry, T Ajtai, Á Filep, M Pintér, A Hoffer, Z Bozóki, G Szabó: 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. (2013)
- [6] Ajtai Tibor, Utry Noémi, Pintér Máté, Bozóki Zoltán, Szabó Gábor: Rediszpergált ásványi porösszetevők spektrális válaszána in-situ mérése négy hullámhosszú fotoakusztikus spektrométerrel  
XI. Környezetvédelmi Analitikai és Technológiai Konferencia: Innovatív környezeti diagnosztikai módszerekkel és technológiákkal az egészségesebb emberi környezetért. Hajdúszoboszló, Magyarország, 2013.10.02-2013.10.04.2013. p. 13. (ISBN:978-963-9970-40-3)
- [7] Ajtai Tibor, Utry Noémi, Pintér Máté, Bozóki Zoltán, Szabó Gábor: Re-diszpergált ásványi por összetevők abszorpciós válaszána mérése fotoakusztikus módszerrel  
XI. Magyar Aeroszol Konferencia. 95 p. Debrecen, Magyarország, 2013.10.18-2013.10.20. Debrecen: ATOMKI, 2013. pp. 28-29. (ISBN:978-963-8321-50-3)
- [8] T. Ajtai, N Utry, Á Filep, Z Bozóki, G Szabó: In-situ absorption measurement of HULIS and mineral dust components as well as winter time ambient aerosol using multi-wavelength photoacoustic instrument. A laboratory and a field study  
European Aerosol Conference, Prága, Csehország, 2013.09.01-2013.09.06.p. 29.
- [9] N. Utry, T. Ajtai, M. Pintér, Z. Bozóki and G. Szabó: Spectral characterization of dust minerals using multi-wavelength photoacoustic measurement  
International Aerosol Conference Aug 28-Sept 2 Busan (South-Korea) (2014)
- [10] N. Utry, T. Ajtai, M. Pintér, E. Tombácz, E. Illés, Z. Bozóki, G. Szabó: Mass specific optical absorption coefficients and imaginary part of the complex refractive indices of mineral

dust components measured by a multi wavelength photoacoustic spectrometer. Atmospheric Measurement Techniques **8** 401-410. (2015)

[11] T. Ajtai, N. Utry, M. Pintér, Cs. Tápai, G. Kecskeméti, T. Smausz, B. Hopp, Z. Bozóki, G. Szabó: Micro-physical properties of carbonaceous aerosol particles generated by laser ablation of graphite target

Atmospheric Measurement Techniques Discussions **7**: pp. 10159-10178. (2014)

[12] Tibor Ajtai, Noémi Utry, Máté Pintér, Gabriella Kecskeméti, Tomi Smausz, Béla Hopp, Zoltán Bozóki, Gábor Szabó: Generation and characterization of laser induced carbon particles International Aerosol Conference Aug 28-Sept 2 Busan (South-Korea) (2014)

[13] Utry Noémi, Ajtai Tibor, Smausz Kolumbán Tomi, Kecskeméti Gabriella, Tápai Csaba, Pintér Máté, Hopp Béla, Bozóki Zoltán: Lézergenerált korom-aeroszolok fotoakusztikus vizsgálata

FIZIKAI SZEMLE 2014/7-8: pp. 233-236. (2014)

[14] B. Hopp, T. Smausz, G. Kecskeméti, Cs. Tápai, N. Utry, T. Ajtai, Z. Bozóki: Determination of UV absorption coefficient of graphite using indirect methods.

Optical engineering, publikálás alatt, 2015

[15] Ajtai Tibor, Utry Noémi, Pintér Máté, Bozóki Zoltán, Szabó Gábor: Lézergenerált koromaeroszolok előállítása és karakterizálása

XI. Magyar Aeroszol Konferencia. 95 p. Konferencia helye, ideje: Debrecen, Magyarország, 2013.10.18-2013.10.20. Debrecen: ATOMKI, 2013. pp. 30-31. (ISBN:978-963-8321-50-3)

[16] Pintér Máté: Légköri korom aeroszolok lézerablációs elven alapuló modellezése OFKD (Országos Felsőoktatási Környezettudományi Diákkonferencia) 2014

[17] Filep Ágnes, Bozóki Zoltán, Regina Hitzenberger, Szabó Gábor: Széntartalmú részecskék forrásának azonosítása optikai tulajdonságaik és méretük alapján

ISBN 978-963-8321-50-3

[18] N. Utry, T. Ajtai, Á. Filep, M. Pintér, Z. Török, Z. Bozóki, G. Szabó: Correlations between absorption Angstrom exponent (AAE) of wintertime ambient urban aerosol and its physical and chemical properties

Atmospheric Environment **91** 52-59 DOI: 10.1016/j.atmosenv.2014.03.047 (2014)

[19] Ajtai Tibor, Utry Noémi, Pintér Máté, Bozóki Zoltán, Szabó Gábor: Légköri széntartalmú összetevők klímareleváns tulajdonságainak in-situ vizsgálata.

XI. Környezetvédelmi Analitikai és Technológiai Konferencia: Innovatív környezetdiagnosztikai módszerekkel és technológiákkal az egészségesebb emberi környezetért. 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)

[20] Ajtai Tibor, Utry Noémi, Pintér Máté, Bozóki Zoltán, Szabó Gábor: Korom aeroszolok szelektív azonosítása négy hullámhosszú fotoakusztikus korommérő rendszerrel

XI. Magyar Aeroszol Konferencia. 95 p. Debrecen, Magyarország, 2013.10.18-2013.10.20. Debrecen: ATOMKI, 2013. p. 22. (ISBN:978-963-8321-50-3)

[21] Ajtai Tibor, Utry Noémi, Pintér Máté, Bozóki Zoltán, Szabó Gábor: Léggöri korom aeroszolok valós idejű vizsgálata fotoakusztikus módszerrel városi környezetben XI. Magyar Aeroszol Konferencia. 95 p. Debrecen, Magyarország, 2013.10.18-2013.10.20. Debrecen: ATOMKI, 2013. pp. 26-27. (ISBN:978-963-8321-50-3

[22] Salma, I., Németh, Z., Weidinger, T., Maenhaut, W., Claeys, M., Močnik, G., Iskra, I., Ajtai, T., Utry, N., Bozóki, Z., Contribution of biomass burning to urban aerosol in Budapest, publikálás alatt, 2015.

[23] Noémi Utry, Tibor Ajtai, Máté Pintér, Erzsébet Illés, Etelka Tombác, Zoltán Bozóki, Gábor Szabó: Generation and characterization of humic acid modified mineral components International Aerosol Conference Aug 28-Sept 2 Busan (South-Korea) (2014)

[24] Tibor Ajtai, Noémi Utry; Máté Pintér; Balázs Major; Zoltán Bozóki; Gábor Szabó: A method for segregating the optical absorption properties and the mass concentration of winter time urban aerosol  
Atmospheric Environment, közlésre benyújtva

[25] Tibor Ajtai, Noémi Utry, Máté Pintér, Zoltán Bozóki, Gábor Szabó: Two component source apportionment based on absorption and size distribution measurement  
International Aerosol Conference Aug 28-Sept 2 Busan (South-Korea) (2014)