

## **A BUDAPESTI VÁROSI AEROSZOL ÖSSZETEVŐI, EREDETE ÉS KÖRNYEZETI HATÁSAI**

MTA doktori értekezés tézisei

Salma Imre

Eötvös Loránd Tudományegyetem  
Kémiai Intézet

Budapest, 2006.

### **I. A kutatás háttere és célkitűzései**



Az aeroszol diszperz kolloid rendszer, amelyet a levegő és a benne szuszpendált formában lévő cseppfolyós és/vagy szilárd részecskék alkotnak. A részecskék mérete néhány nanométertől néhányszor tíz mikrométerig terjed. Az aeroszol részecskék, a szuszpendáló gáz, túltelített páratartalmú levegőben az oldatcseppek tulajdonságai, valamint a közöttük lévő dinamikus kölcsönhatások közösen alakítják a rendszer viselkedését. Az aeroszolak szerepe számos geológiai, optikai, biológiai, mechanikai, meteorológiai és kémiai folyamatban, légköri multifázisú vagy katalitikus reakcióban, valamint a biogeokémiai körfolyamatokban jól ismert. Ezen tudás lehetővé tette, hogy az aeroszolakat sikeresen használjuk más kutatási területek alapvető kísérleteiben és a tudományos megismerésben, illetve, hogy eredményesen alkalmazzuk gyakorlati jellegű feladatok megvalósítása során. Az elmúlt tíz-tizenöt évben jelentősen megnőtt a tudományos érdeklődés a troposzféri aeroszol iránt. Mindezt elsősorban az antropogén eredetű aeroszol globális éghajlatváltozásban játszott szerepének a felismerése, valamint a környezetünkre, különösképpen az emberi egészségre kifejtett hatásának az előtérbe kerülése okozta.

Az emberi tevékenység megnöveli a légköri aeroszol koncentrációját, esetleg megváltoztatja kémiai összetételét és tulajdonságait. Az aeroszol pedig befolyásolja a Föld sugárzási mérlegét: egyrészt közvetlenül, a napfény és a hősugárzás szórása vagy elnyelése által, másrészt közvetve, a felhők mikrofizikai és optikai tulajdonságainak módosításán keresztül. A közvetlen éghajlati hatást elsősorban a szulfát aeroszol, a korom aeroszol, a fosszilis tüzelőanyagok és biomassza égetésből keletkező szerves aeroszol, valamint az ásványi por fejtenek ki optikai tulajdonságaiknak és méreteloszlásuknak köszönhetően. A felhőcseppek kialakulásához szükséges termodinamikai feltételeket a troposzféri aeroszol teremti meg a természetben, mert a részecskék felhőkondenzációs vagy jégkristály magvakat szolgáltatnak. Nagyobb számú antropogén aeroszol részecske és a vízgőz kölcsönhatásának következményeként több és kisebb effektív átmérőjű felhőcsepp alakul ki azonos mennyiségű vízgőz esetén. Az ilyen felhők „fehérebbek” és több napfényt vernek vissza a világűrbe (első közvetett hatás), élettartamuk nagyobb, csapadékot adó arányuk pedig kisebb (második közvetett hatás). Az aeroszol éghajlati hatásai a Föld felszínének hűtését, míg a légoszlop melegezését eredményezik, amelyek kihatnak a hőmérséklet függőleges eloszlására (ún.

harmadik közvetett hatás) befolyásolva ezzel a víz globális körforgását, további légköri összetevők és állapotjelzők vertikális eloszlását, transzportfolyamatait és dinamikáját. Először a szulfát részecskéknél, majd később a szerves aeroszol vízzeloldható részének ismerték fel a felhőképződést lehetővé tevő tulajdonságait. A vízzeloldható szerves vegyületek legnagyobb tömegjárulékkal rendelkező csoportját a légköri humusszerű anyag, vagy röviden HULIS (HUMic-Like Substances) alkotja. A HULIS egyik legfontosabb tulajdonsága a felületi aktivitás, amellyel módosítja a levegő-oldatcsepp határfelület tulajdonságát, és ezáltal több transzportfolyamatot (pl. kondenzációt, párolgást vagy gázok oldódását) és kémiai reakciót befolyásol, végső soron pedig hatást gyakorol az aeroszolpopuláció aktiválására előidézett kritikus túltelítettségre.

Aeroszol részecskék leginkább léggel jutnak a szervezetünkbe. Jótékony vagy káros egészségügyi hatásukat a részecskék, valamint a légzőszervek fiziológiai, fizikai, kémiai és biológiai tulajdonságainak komplex rendszere, és kölcsönhatásainak mechanizmusa befolyásolja. Az aeroszol részecskék koncentrációja, kémiai összetétele és mérete, valamint különböző egészségkárosodási mutatók között közvetlen összefüggést találtak az elmúlt években. Az említett hatások forgalmas nagyvárosok, városrészek vagy iparvidékek szennyezett levegőjében és levegőcsóvjában jelentősek, mert az antropogén perturbáció általában ilyen területeken koncentráltabb vagy nagyobb. A városi agglomerációt egyben nagyszámú lakos és gyakran értékes épített környezet is jellemzi, így az esetleges káros hatások jelentős népességet és kulturális örökséget érintenek.

Kutatómunkám során célul tűztem ki a budapesti aeroszol tipikusan városi tevékenységhez kapcsolódó emissziós forrásainak azonosítását, a források járulékanak és jelentőségének megállapítását, a kibocsátott részecskék kémiai (elemi, ionos és szerves) összetételének részletes jellemzését, további releváns fizikokémiai (pl. felületi feszültség, átlagos molekulatömeg) és fizikai (méreteloszlás) tulajdonságainak meghatározását, az aeroszoltulajdonságok között lévő kapcsolatok felderítését és időváltozékonyságuk vizsgálatát, továbbá a légzőszervi kiülepedés tanulmányozását. Tekintettel a széntartalmú összetevők jelentős tömegjárulékára, továbbá a vízzeloldható szerves vegyületek fontos éghajlatmódosító szerepére, illetve az e területen nemzetközi szinten is korlátozott ismeretekre, a másodlagos, a vízzeloldható és a felületaktív szerves aeroszolkomponensek tulajdonságait külön vizsgáltam és minősítettem.

## II. Módszerek

A troposzférikus aeroszol mint multifázisú rendszer többfajta tulajdonsággal jellemezhető; a tulajdonságok gyakran lényeges térbeni és időbeni változékonysággal is rendelkeznek. A rendszer átfogó tanulmányozásához többféle kísérleti módszer együttes alkalmazása szükséges, ezért a mintavételi, mintagyűjtési, valamint analitikai és fizikokémiai mérési módszerek kiterjedt eszköztárát használtam optimalizált kombinációkban.

Az aeroszol (particulate matter, PM) rendszerből történő mintavétel egyik sajátos alapfeladata a kiválasztott méretfrakció elkülönítése. Elvi különbségek miatt a durva (PM<sub>10-2.0</sub> vagy PM<sub>10-2.5</sub>) és finom (PM<sub>2.0</sub> vagy PM<sub>2.5</sub>) aerodinamikai méretfrakcióknak van elsősorban jelentősége, míg a PM<sub>10</sub> méretfrakciót főleg az egészségügyi hatások miatt kíséri érdeklődés. (A PM utáni számok a részecskék adott számnál kisebb, vagy a két szám közötti átmérőtartományát jelölik µm egységben). A méretfrakciók elkülönítését tehetetlenségi impaktorról, ciklonnal vagy membránszűrővel végeztem, majd az aeroszol részecskéket soros szűrőegységgel (SFU), kettéosztott áramú, nagy áramlási sebességű virtuális impaktorról (HiVol) vagy többfokozatú szűrőtartó kazettával (FH) gyűjtöttem polikarbonát vagy teflon membránszűrőkre, valamint kvarcszálalás szűrőre. A mintagyűjtési hiba (sampling artefacts) korrigálására tandem-szűrő-kivonás módszert használtam a szerves szén és a vízzeloldható szerves szén esetében. A méreteloszlás mint az egyik alaptulajdonság jellemzéséhez sokkal több méretfrakció egyidejű elválasztása szükséges, amit egyfűvókás, többfokozatú impaktorról (PCI), kis depozíciós területű, kisnyomású impaktorról (SDI), mikrofüvókás, egyenes depozíciójú impaktorról (MOUDI) valósítottam meg az érdeklődéssel kísért átmérőtartományban. A terepi munka intenzív kampányok formájában történt Budapest városi háttérhelyén (KFKI Telephely), egyik hígulási zónája környékén (Lágymányosi Telephely), belvárosában (Széna tér, Rákóczi út, Múzeum körút) és a Várhegyi-alagútban 1996. év óta tavaszi időszakokban.

Az aeroszol mintagyűjtést kiegészítettem kúpos elemű oszcilláló mikromérleg (TEOM) és aethalométer on-line műszerekkel végzett nagy időfelbontású mérésekkel, illetve segédmennyiségek (légköri gázok koncentrációjának, meteorológiai paramétereknek és közúti gépjárműforgalom adatainak) helyszíni (in situ) mérésével. Az aeroszol mintákat a következő analitikai és fizikokémiai módszerekkel vizsgáltam: gravimetria, műszeres neutronaktivációs analízis (INAA), proton-indukált röntgen-emissziós analízis (PIXE), ionkromatográfia (IC), fluoreszcens spektrometria (AFS), indukzív csatolású plazma-tömegspektrometria

(ICP-MS), teljes szervesszén-analízis (TOC), termikus-optikai transzmissziós szénanalízis (TOT), reflektometria, termikus H, C, N és S elemanalízis, ionnyaláb analitikai módszerek, függőcsepp-alak módszer, mágneses magrezonancia spektroszkópia (NMR). Az aeroszol mintákból a vízdoldható szerves vegyületeket, légköri humusszerű anyagot, és arzén kémiai formákat (módosulatokat) vizes, szilárdfázisú vagy foszfát-extrakcióval választottam el, illetve izoláltam. A mérések alapján meghatároztam a részecskék tömegkoncentrációját, 44 elem, fő szervetlen ionok és a széntartalmú összetevők (szerves szén, elemi szén, korom és vízdoldható szerves szén) koncentrációját az említett méretfrakciókban, az aeroszol és 28 elem átlagos tömeg méreteloszlását, az arzén fő kémiai formáit, a légköri humusszerű anyag járulékát a szerves szénhez és a vízdoldható szerves szénhez, fő elemi összetételét, közelítő kémiai szerkezetét, valamint oldata felületi feszültségének tulajdonságait.

Az aeroszol vizsgálatokat párhuzamosan alkalmazott, többféle elven (szűrésen és impakción) alapuló, illetve eltérő megvalósítású mintagyűjtési módszerekkel, különböző anyagú hordozókkal végeztem az időfelbontás figyelembevételével. A kapott aeroszol mintákat egymást részben kiegészítő, részben pedig átfedő analitikai mérési módszerekkel vizsgáltam, valamint a mintagyűjtést helyszíni (in situ) mérésekkel is teljessé tettem.

A független és párhuzamosan végzett mintagyűjtési és analitikai módszerek sajátos adathitelesítési előnyeit kihasználva, valamint a mintagyűjtési hibák (művi effektusok) korrigálásával megbízható és kiterjedt adatbázist hoztam létre. Az adatok feldolgozása magába foglalta az alapvető aeroszoltulajdonságok (jellemző koncentrációk, dúsulási tényezők és finom/durva koncentrációarányok) és a tömegmérleg meghatározását különböző méretfrakciókban, az egyváltozós matematikai statisztikai módszerekkel, korrelációs analízissel, főkomponens-analízissel történő adatkiértékelést, a kaszkád impaktorok adatainak matematikai invertálását MICRON számítógépes programmal a valódi méreteloszlások meghatározása érdekében, illesztések elvégzését, valamint különálló modellek (elemiszénmarker-modell, Köhler-modell, IDEAL légúti kiülepedési modell) keretében végzett adatfeldolgozást. Az eredmények értelmezésének elősegítéséhez visszafelé számolt légcella-trajektóriákat határoztam meg a HYSPLIT modell segítségével. A következtetések megfogalmazásánál az elért eredmények összességének figyelembevételére és áttekintésére törekedtem.

### III. Új tudományos eredmények

1. A durva és finom méretfrakciójú budapesti városi aeroszol, valamint elemi, fő ionos és széntartalmú (szerves szén, elemi szén, korom) összetevőinek légköri koncentrációjából felállított aeroszol tömegmérlegesen keresztül megállapítottam, hogy a széntartalmú aeroszoltípusok meghatározó komponensei a finom méretfrakciójú aeroszolnak. A PM<sub>2.0</sub> méretfrakcióban aeroszoltömeg 43%-át szerves aeroszol, 21%-át elemi szén alkotja; a szulfát aeroszol járuléka 13%. A grafit jellegű szén kitűnő (összegező) mutatója a nagyvárosi/antropogén tevékenységnek, mert koncentrációja egy nagyságrenddel nagyobb a (bel)városban, mint a városi háttérhelyen. A PM<sub>10-2.0</sub> méretfrakcióban a felszínközvet- és talajeredetű aeroszol, illetve a szerves aeroszol a domináns komponensek; rendre mintegy 50%, illetve 30% tömegjárulékkal.
2. Az elemiszénmarker-modell alapján, továbbá a szerves szén / elemi szén koncentrációarány és a levegőkémiai állapotjelzők, illetve mikrometeorológiai paraméterek közötti kapcsolatok tanulmányozásával meghatároztam, hogy a másodlagos szerves aeroszol tömegjáruléka a belvárosban a nappali időszakban átlagosan  $(37 \pm 18)\%$  a PM<sub>2.5</sub> méretfrakciót tekintve. Általában az elsődleges szerves aeroszol koncentrációja dominál forgalmas utakhoz közel. Néhány rövidebb, fotokémiaiilag aktív időszakban a másodlagos szerves aeroszol koncentrációja meghaladja az elsődleges szerves vegyületek koncentrációját. A levegőkémiai állapotjelzőkkel végzett korrelációs analízis azt igazolta, hogy a másodlagos szerves aeroszol elsősorban (gyökös) oxidációval képződik.
3. Megállapítottam, hogy a vízdoldható szerves szén az összes szerves szén tömegének 20–50%-át alkotja a PM<sub>2.5</sub> méretfrakcióban, átlaga és szórása  $(32 \pm 8)\%$ . A nappali és éjszakai időszakok között nem tapasztaltam lényeges különbséget. A vízdoldható szerves szén átlagos járuléka növekvő tendenciát mutatott 20-tól 49 %-ig a fő forrástípus elsődleges környezetétől távolodva (az Alagút, Széna tér, Lágymányos Telephely és KFKI Telephely sorrendben). Mindebből arra következtettem, hogy a vízdoldható szerves szén jelentős része a levegőben keletkezik fotokémiai oxidációval, és a folyamatokhoz szükséges idő észlelhető.

4. A budapesti finom méretfrakciójú aeroszol mintából izolált légköri humuszterű anyag (HULIS) analitikai és fizikokémiai vizsgálatával megállapítottam, hogy:
  - 4.1 az aeroszol szervesszén-tartalmának átlagosan 20%-át, valamint a vízdoldható szerves szénnek átlagosan 62%-át HULIS alkotja. Fő, elemi összetételét a C: H: O: N = 22: 32: 10: 1 moláris arányokkal fejeztem ki. A HULIS jelentős mértékben tartalmaz telítetlen szén-hidrogén kötéseket, továbbá az alifás és aromás H-kötések mintegy 100:4 arányban találhatóak benne. Közvetlen mérésekkel meghatároztam, hogy az egységnyi széntartalomra jutó szerves tömeg 1.8 értékű, ami a szerves aeroszolnak a szerves szén mennyiségen alapuló minősítése szempontjából fontos.
  - 4.2 Megmutattam, hogy a HULIS friss oldatcseppjének felületi feszültsége diffúziós mechanizmussal változik. A felületi feszültség izotermájának alakját két, eltérő felületi aktivitású és molekulatömegű vegyületsoport létezésével magyaráztam.
  - 4.3 Bizonyítottam, hogy az oldat felületi feszültsége nagymértékben csökken a HULIS koncentrációjával az aeroszol részecskék hidratációjakor megvalósuló koncentrációkkal összevethető tartományban egészen mintegy 50 mN/m értékig, ami a tiszta víz felületi feszültségénél 32%-al kisebb. A felületi feszültség csökkenése híg oldatoknál is viszonylag jelentős lehet, bár ennek eléréséhez több óra szükséges.
  - 4.4 Legkisebb felületi feszültség csökkenést pH = 5 érték körüli oldatnál tapasztaltam, ami tovább csökkent mind savas, mind pedig lúgos pH-értékek felé. E kiegészítő változás mértéke a maximális csökkenés mintegy 50%-át jelentette a vizsgált koncentrációnál. A jelenséget részben az oldat ionerősségének a növekedése okozza, részben a gyenge polikarbonsavak fokozatos protonálódásával magyarázható. A megfigyelt tulajdonságnak lényeges szerepe lehet savas esők időszakában.
5. A szerves aeroszol mintagyűjtési hibájának (művi effektusának) tanulmányozásával megállapítottam, hogy (bel)városi környezetben összességében az adszorptív hatások érvényesülnek. A szerves szén mintagyűjtési hibáját (művi effektusát) átlagosan  $(10 \pm 2)\%$ , illetve  $(15 \pm 2)\%$  mértékűnek minősítettem a PM<sub>2.5</sub>, illetve a PM<sub>10</sub> méretfrakciókban az adott kísérleti összeállításban. A vízdoldható szerves szén esetében jelentősebbnek találtam e mintagyűjtési effektus hatását; átlagos értéke  $(28 \pm 7)\%$  a PM<sub>2.5</sub> méretfrakcióban. A különbség azt mutatja, hogy a közepesen illékony szerves

- vegyületek jobban oldódnak vízben (vagyis több poláris funkciós csoportot tartalmaznak, esetleg oxidáltabb állapotúak), mint az általános szerves szénhez tartozó vegyületek.
6. Az aeroszoltulajdonságok időváltozékonyságának vizsgálatával és matematikai módszerek alkalmazásával megbecsültem, hogy a PM<sub>10</sub> méretfrakciójú légköri aeroszol tömegének 60–70%-a a közúti gépjárműforgalom közvetlen és közvetett emissziójához kapcsolható a belvárosban. Az aktuális légköri koncentrációk kialakulásában viszont nagyobb szerepe van a mikro-meteorológiai körülményeknek, mint a fő emissziós forrás intenzitásváltozásának, és jelentős hatással rendelkezik a nagyhatótávolságú légköri transzportfolyamat is. A szennyezett időszakokban elsősorban a helyi és diffúz emissziós források dominálnak, ezen belül a felszíni por diszperziója és a kiülepedett aeroszol részecskék reszuszpenziója kiemelt helyet foglal el.
  7. A közúti gépjárművek aeroszol emissziós termékei kapcsolatrendszerének tanulmányozásával meghatároztam, hogy az azbesztmentes fűketétek elterjedése és kopása emittálja átlagosan a PM<sub>10</sub> méretfrakciójú antimon, illetve réz  $(69 \pm 7)\%$ -át, illetve  $(66 \pm 9)\%$ -át; míg a gumi futófelületek kopásából származó cinkmennyiség  $(67 \pm 12)\%$  járulékot jelent felső korlátként a PM<sub>10</sub> méretfrakciójú cink tömegéhez. A cinkmarkeren alapuló számításaim szerint a gumikopás járulék az aeroszoltömeghez 3–8% közötti, míg a szerves aeroszol tömegéhez 10–20% a PM<sub>10</sub> méretfrakcióban. A kopástermékek a (mikro)környezetben ülepednek ki, majd a reszuszpenzió hatására diffúz módon és nagymértékben dúsult arányban jutnak ismételtlen a levegőbe a felszíni porral együtt. Az említett fémek koncentrációjának térbeni eloszlása és növekvő időtrendje a lehetséges egészségügyi, biológiai és ökológiai hatásokra, valamint további interdiszciplináris kutatások szükségességére hívja fel a figyelmet.
  8. Az aeroszol és 28 elemi összetevő átlagos tömeg méreteloszlása alapján megmutattam, hogy a kétmódusú eloszlások esetében a durva módus relatív aránya növekvő tendenciájú az aeroszol koncentrációval (szennyezettséggel). Ilyen körülmények között a durva és az akkumulációs módusok megjelenését nem lehet egymástól függetlennek tekinteni. Kizárólag a finom méretfrakción alapuló kémiai vagy egészségügyi levegőminősítési módszer és rendszer veszélyeket rejt, és járulékos bizonytalanságokat tartalmaz ilyenkor.

9. Összehangolt kísérleti és matematikai módszerek alkalmazásával meghatároztam az aeroszol és kiválasztott elemek tömeg méreteloszlásának finomszerkezetét. Ezek alapján:
- 9.1 azonosítottam egy új, ún. átmeneti módot az 1  $\mu\text{m}$  aerodinamikai átmérő környékén a durva módus mellett a tipikusan földkéreg/geogén eredetű elemek méreteloszlásában. A módus járuléka az elemi tömeghez átlagosan csak mintegy 4%; emissziós forrása jelenlegi elképzelésem szerint a városi agglomerációban végzett széntüzeléshez kapcsolódik.
  - 9.2 Az aeroszoltömeg és több elem esetében megfigyeltem, hogy az akkumulációs módus két eloszlásból: kondenzációs és cseppalmódusokból áll (amelyet szulfát, nitrát és ammónium esetében korábban már leírtak). A kén és valószínűleg a bróm felső szubmódusának kialakulása a korábban leírt, vízgőzzel történő aktiválódást követő, multifázisú kémiai reakciók következtében jön létre, míg a fémek esetében az eddigi keletkezési mechanizmus nehezen valószínűsíthető. Az alsó szubmódust fémek esetében is kondenzáció hozza létre, de a felső szubmódus feltehetően további, esetleg több magashőmérsékletű emissziós forrás eredménye a városi környezetben.
  - 9.3 Megmutattam, hogy az Aitken-módus (aminek a heterogén nukleációs folyamatok szempontjából kitüntetett szerepe van) csak kivételesen és néhány elem esetében válik egyértelműen azonosíthatóvá a tömeg méreteloszlásokban; koncentrációja azonban ilyen alkalmakkor is elhanyagolható a többi móduséhoz képest.
10. Kísérletileg meghatározott tömeg méreteloszlások és egy légúti kiülepedési modell alkalmazásával megállapítottam, hogy:
- 10.1 legnagyobb kiülepedés a felső/mellkason kívüli légutakban történik. A méreteloszlásnak ebben a régióban van a legnagyobb hatása a kiülepedésre. A különböző méreteloszlásokhoz tartozó differenciális depozíciós görbék alakjában, valamint értékében első közelítésben nem tapasztaltam nagy különbségeket a tüdőre vonatkozóan a 0.125–16  $\mu\text{m}$  aerodinamikai átmérőjű részecskéket tekintve. A jelenséget a regionális depozíció mechanizmusa, mértéke és a részecskék átmérője közötti kapcsolattal, valamint a városi aeroszol méreteloszlásaiban jelentkező széles/összetett módusok sajátosságaival magyaráztam. A légutakban a 4  $\mu\text{m}$  aerodinamikai átmérőjű, míg a légútyagokban a 2  $\mu\text{m}$  átmérőjű aeroszol részecskék deponálódnak elsősorban.

- 10.2 Megmutattam, hogy a fizikai igénybevételnek nagyobb hatása van a tüdőbeli kiülepedésre, mint a méreteloszlásnak a vizsgált átmérők tartományában. A jelenséget a depozíciós mechanizmus hatásfokának a levegő áramlási sebességétől való függésével, és leginkább a nagyobb fizikai igénybevételhez kapcsolódó, nagyobb belélegzett térfogattal, valamint a légzési ciklusok számának növekedésével értelmeztem.
- 10.3 Meghatároztam, hogy az egységnyi felületre jutó aeroszol depozíció sebessége az első néhány elágazási egység esetén a legnagyobb, és a tüdőt érő felületi dózisintenzitás egy-két nagyságrenddel kisebb. Mindez az elsődleges tüdőbetegségek kialakulása, és az aeroszol gyógyszerekkel történő kezelése szempontjából lényeges.

#### **IV. Az eredmények hasznosításának lehetőségei**

Kutatómunkám eredményei egyrészt bővítik az aeroszol kutatás ismeretanyagát és módszertanát, másrészt a budapesti légköri aeroszorról és annak környezeti hatásairól szolgáltatnak tudományos szintű ismereteket. Az adatok, tulajdonságok, megállapítások és következtetések egy átfogó állapotfelmérésnek is tekinthetők, amely a későbbi vizsgálatok számára viszonyítási alapként szolgálhat a főváros vonatkozásában. A kutatás levegőminőségre vonatkozó mellékterméke szintén hasznosítható, főleg a fővárosi aeroszol levegőszennyezettség specialitásainak megkeresésére, valamint más, elsősorban európai nagyvárosokra vonatkozó adatokkal való összehasonlításra a légköri aeroszol és környezeti hatásai hasonlóságainak és különbözőségeinek jobb megismerése és dokumentálása céljából. Az aeroszoltulajdonságok átfogó ismerete elengedhetetlenül szükséges Budapest kémiai levegőminőségének hatásos javítását célzó, átfogó elképzelések és intézkedési terv kialakításához és megvalósításához. A kutatás részét képezi a Similarities and differences in airborne particulate matter, exposure and health effects over Europe elnevezésű ESF COST633 projektnek is, amely hasonló célokat valósít meg egy nagyobb európai térség tekintetében.

**V. Az értekezés alapjául szolgáló,  
referált, tudományos folyóiratokban megjelent közlemények**

- Salma, I., Weidinger, T., Maenhaut, W., Time-resolved mass concentration, composition and sources of aerosol particles in a metropolitan underground railway station, *Environmental Pollution* (benyújtva, 2006).
- Salma, I., Ocskay, R., Chi, X., Maenhaut, W., Sampling artefacts, concentration and chemical composition of fine water-soluble organic carbon and humic-like substances in a continental urban atmospheric environment, *Atmospheric Environment* (benyújtva, 2006).
- Wex, H., Hennig, T., Salma, I., Ocskay, R., Kiselev, A., Henning, S., Massling, A., Wiedensohler, A., Stratmann, F., A CCN-closure-study for HULIS aerosol, *Geophysical Research Letters* (benyújtva, 2006).
- Salma, I., Ocskay, R., Varga, I., Maenhaut, W., Surface tension of atmospheric humic-like substances in connection with relaxation, dilution and solution pH, *Journal of Geophysical Research* (nyomdában, 2006).
- Salma, I., Maenhaut, W., Changes in elemental composition and mass of atmospheric aerosol pollution between 1996 and 2002 in a Central European city, *Environmental Pollution* 143 (2006) 479–488.
- Ocskay, R., Salma, I., Wang, W., Maenhaut, W., Characterization and diurnal variation of size-resolved inorganic water-soluble ions at a rural background site, *Journal of Environmental Monitoring* 8 (2006) 300–306.
- Salma, I., Ocskay, R., Raes, N., Maenhaut, W., Fine structure of mass size distributions in urban environment, *Atmospheric Environment* 39 (2005) 5363–5374.
- Maenhaut, W., Raes, N., Chi, X., Cafmeyer, J., Wang, W., Salma, I., Chemical composition and mass closure for fine and coarse aerosols at a kerbside in Budapest, Hungary, in spring 2002, *X-ray Spectrometry* 34 (2005) 290–296.
- Salma, I., Chi, X., Maenhaut, W., Elemental and organic carbon in urban canyon and background environments in Budapest, Hungary, *Atmospheric Environment* 38 (2004) 27–36.
- Záray, Gy., Óvári, M., Salma, I., Steffan, I., Zeiner, M., Caroli, S., Determination of platinum in urine and airborne particulate matter from Budapest and Vienna, *Microchemical Journal* 76 (2004) 31–34.
- Salma, I., Maenhaut, W., Weidinger, T., Pinto, J., Temporal variation of secondary organic aerosol in downtown Budapest, *Journal of Aerosol Science* 35S1 (2004) 153–154.

- Salma, I., Maenhaut, W., Cafmeyer, J., Záray, Gy., Relationship of urban aerosol to road traffic and local meteorology, *Journal of Aerosol Science* 33S1 (2003) 695–696.
- Salma, I., dal Maso, M., Kulmala, M., Záray, Gy., Modal characteristics of particulate matter in urban atmospheric aerosol, *Microchemical Journal* 73 (2002) 19–26.
- Salma, I., Balásházy, I., Hofmann, W., Záray, Gy., Effect of physical exertion on the deposition of urban aerosols in the human respiratory system, *Journal of Aerosol Science* 33 (2002) 983–997.
- Salma, I., Maenhaut, W., Záray, Gy., Comparative study of elemental mass size distributions in urban atmospheric aerosol, *Journal of Aerosol Science* 33 (2002) 339–356.
- Salma, I., Balásházy, I., Winkler-Heil, R., Hofmann, W., Záray, Gy., Effect of particle mass size distribution on the deposition of aerosols in the human respiratory system, *Journal of Aerosol Science* 33 (2002) 119–132.
- Salma, I., Maenhaut, W., Zemplén-Papp, É., Záray, Gy., Comprehensive characterisation of atmospheric aerosols in Budapest, Hungary: physicochemical properties of inorganic species, *Atmospheric Environment* 35 (2001) 4367–4378.
- Salma, I., Weidinger, T., Maenhaut, W., Záray, Gy., Sources of atmospheric coarse and fine particles in Budapest, *Journal of Aerosol Science* 32S1 (2001) 769–S770.
- Salma, I., Maenhaut, W., Dubtsov, S., Zemplén-Papp, É., Záray, Gy., Impact of phase out of leaded gasoline on the air quality in Budapest, *Microchemical Journal* 67 (2000) 127–133.
- Šlejkovec, Z., Salma, I., van Elteren, J.T., Zemplén-Papp, É., Speciation of arsenic in coarse and fine urban aerosols using sequential extraction combined with liquid chromatography, *Fresenius Journal of Analytical Chemistry* 366 (2000) 830–834.
- Salma, I., Zemplén-Papp, É., Instrumental neutron activation analysis for studying size-fractionated aerosol samples, *Nuclear Instruments and Methods A*435 (1999) 462–474.
- Salma, I., Maenhaut, W., Zemplén-Papp, É., Bobvos, J., Characteristics of size-fractionated urban aerosols and trace gases in Budapest, *Microchemical Journal* 58 (1998) 291–305.
- Salma, I., Maenhaut, W., Annegarn, H.J., Andreae, M.O., Meixner, F.X., Garstang, M., Combined application of INAA and PIXE for studying the regional aerosol composition in southern Africa, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 216 (1997) 143–148.

**VI. Az értekezés témájához kapcsolódó, referált, tudományos folyóiratokban megjelent további közlemények**

- Maenhaut, W., Chi, X., Cafmeyer, J., Salma, I., Mikuška, P., Broškovcová, A., Večeřa, Z., Investigations during summer field campaigns in Central Europe on the performance of a diffusion denuder for the elimination of sampling artifacts for carbonaceous aerosols, *Journal of Aerosol Science* 35S2 (2004) 1069–1070.
- Maenhaut, W., N. Raes, Chi, X., Wang, W., Cafmeyer, J. Ocskay, R., Salma, I., Chemical composition and mass closure of the atmospheric aerosol at K-pusztá, Hungary, in summer 2003. *Journal of Aerosol Science* 35S2 (2004) 799–800.
- Dobos, E., Borbély-Kiss, I., Kertész, Zs., Salma, I., Comparing the elemental concentration of aerosols from urban and rural areas with applying the calculation of stochastic lung model, *Journal of Aerosol Science* 35S1 (2004) 139–140.
- Salma, I., Maenhaut, W., Chi, X., Ocskay, R., Záray, Gy., Mass size distribution of particulate matter in the urban atmosphere, *Journal of Aerosol Science* 33S1 (2003) 693–694.
- Maenhaut, W., Raes, N., Chi, X., Cafmeyer, J., Salma, I., Carbonaceous aerosols and chemical mass closure for fine and coarse particles at a kerbside in Budapest, Hungary, in spring 2002, *Journal of Aerosol Science* 33S2 (2003) 751–752.
- Kertész, Zs., Balásházy, I., Borbély-Kiss, I., Hofmann, W., Hunyadi, I., Salma, I., Winkler-Heil, R., Composition, size distribution and lung deposition distribution of aerosols collected in the atmosphere of a speleotherapeutic cave situated below Budapest, Hungary, *Nuclear Instruments and Methods* B189 (2002) 221–226.
- Andreae, M.O., Andreae, T.W., Annegarn, H., Beer, J., Cachier, H., Le Canut, P., Elbert, W., Maenhaut, W., Salma, I., Wienhold, F.G., Zenker, T., Airborne studies of aerosol emissions from savanna fires in southern Africa: 2. Aerosol chemical composition. *Journal of Geophysical Research* 103 (1998) 32 119–32 128.
- Maenhaut, W., Salma, I., Cafmeyer, J. Annegarn, H.J., Andreae, M.O., Regional atmospheric aerosol composition and sources in the Eastern Transvaal, South Africa, and impact of biomass burning, *Journal of Geophysical Research* 101 (1996) 23 631–23 650.
- Salma, I., Maenhaut, W., Cafmeyer, J. Annegarn, H.J., Andreae, M.O., PIXE analysis of cascade impactor samples collected at the Kruger National Park, South Africa, *Nuclear Instruments and Methods* B85 (1994) 849–855.

**VII. Az értekezés tárgyköréből megjelent könyvfejezetek**

- Salma, I., Műszeres neutronaktivációs analízis. In: Az elemanalitika korszerű módszerei, szerk. Záray, Gy., 417–505. old., Akadémiai Kiadó, Budapest, 2006.
- Salma, I., Maenhaut, W., Zemlén-Papp, É., Bobvos, J., Chemical characteristics and temporal variation of size-fractionated urban aerosols and trace gases in Budapest, In: Aerosol Chemical Processes in the Environment, ed. Spurny, K.R., p. 415–430, CRC Press Lewis, Boca Raton, 2000.
- László-Nagy, K., Salma, I., A  $\gamma$ -sugárzás kölcsönhatása az anyaggal és bevezetés a sokcsatornás  $\gamma$ -spektrometriába. Budapesti Műszaki Egyetem, Fizikai Kémiai Tanszék, CD-ROM és internetes változat, URL <http://oktatas.ch.bme.hu/oktatas/konyvek/fizkem/gamma/>, Budapest, 1999.

**VIII. Előadások és poszterek az értekezés tárgyköréből nemzetközi, tudományos rendezvényeken**

- Wex, H., Hennig, T., Salma, I., Ocskay, R., Kiselev, A., Henning, S., Massling, A., Wiedensohler, A., Stratmann, F., A CCN-closure-study for HULIS aerosol, International Aerosol Conference, St. Paul (USA), 11–15 September 2006, Abstracts, p. 1341–1342.
- Mészáros, E., Molnár, A., Gelencsér, A., Imre, K., Janitsek, Sz., Salma, I., Ocskay, R., Kern, A., Borbély-Kiss, I., Dobos, E., Kertész, Zs., Koltay, E., Szabó, Gy., Czitrovsky, A., Veres, M., Nagy, A., Gál, P., Jani, P., Bozó, L., Balásházy, I., Farkas, A., Szőke, I., Similarities and differences in mass and chemical composition of atmospheric aerosol at selected sites in Hungary, (poszter) COST633 Workshop on Similarities and differences in airborne particulate matter, exposure and health effects over Europe, Vienna, (Ausztria), 3–5 April 2006, Abstracts, p. 16.
- Salma, I., Maenhaut, W., Changes in chemical composition of atmospheric aerosol in downtown Budapest between 1996 and 2002, (előadás) European Aerosol Conference, Gent (Belgium), 28 August–2 September 2005, Abstracts, p. 78.
- Ocskay, R., Maenhaut, W., Salma, I., Humic like substances in fine urban aerosol, (poszter) European Aerosol Conference, Gent (Belgium), 28 August–2 September 2005, Abstracts, p. 612.

- Salma, I., Labuda, T., Maenhaut, W., Záray, Gy., Contribution of traffic related emissions to aerosol pollution in Budapest, (meghívott előadás)  
12<sup>th</sup> Hungarian-Italian Symposium on Spectrochemistry: Environmental Pollution and Human Health, Pécs (Hungary), 23–27 October 2005, Abstract Book, p. 43.
- Salma, I., Carbonaceous aerosol in Budapest, (szóbeli előadás)  
International Workshop for Aerosol Projects: Flanders-China-Hungary, Antwerp (Belgium), 9–10 November 2004.
- Salma, I., Maenhaut, W., Weidinger, T., Pinto, J., Secondary organic aerosol in downtown Budapest, (poszter)  
8<sup>th</sup> International Conference on Carbonaceous Particles in the Atmosphere, Vienna (Austria), 14–16 September 2004, Abstract Book, p. 125.
- Salma, I., Maenhaut, W., Raes, N., Ocskay, R., Záray, Gy., Fine structure of elemental and aerosol mass size distributions in urban environment, (előadás)  
European Aerosol Conference, Budapest (Hungary), 6–10 September 2004.
- Salma, I., Maenhaut, W., Cafmeyer, J., Záray, Gy., Relationship of urban aerosol to road traffic and local meteorology, (előadás)  
European Aerosol Conference, Madrid (Spain), 31 August–5 September 2003.
- Salma, I., Fehér, A., Balásházy, I., Hofmann, W., Záray, Gy., Effect of particle size distribution and physical activity on the deposition of aerosols in the human respiratory system, (meghívott előadás)  
10<sup>th</sup> Hungarian-Italian Symposium on Spectrochemistry: Trace substances in the biosphere, Eger (Hungary), 1–5 October 2001, Abstract Book, p. 36.
- Salma, I., Weidinger, T., Maenhaut, W., Záray, Gy., Sources of atmospheric coarse and fine particles in Budapest, (poszter)  
European Aerosol Conference, Leipzig (Germany), 1–5 September 2001.
- Salma, I., Properties and sources of atmospheric aerosol in Budapest, (előadás)  
Laboratory for Aerosol and Environmental Physics, University of Helsinki (Finland),  
21 March 2001.
- Salma, I., Maenhaut, W., Weidinger, T., Záray, Gy., Zemplén-Papp, É., Elemental size distributions in the urban atmospheric aerosol, (előadás)  
European Aerosol Conference, Dublin (Ireland), 3–8 September 2000.
- Salma, I., Šlejkovec, Z., van Elteren, J.T., Zemplén-Papp, É., Záray, Gy., Speciation analysis of arsenic in size-fractionated urban aerosols, (meghívott előadás)  
11<sup>th</sup> Italian-Hungarian Symposium on Spectrochemistry: Urban health, a challenge for the third millennium, Siena (Italy), 11–15 October 1999, Abstract Book, p. 18.

- Salma, I., Maenhaut, W., Bobvos, J., Zemplén-Papp, É., Multi-element composition and sources of size-fractionated aerosol in Budapest, (poszter)  
5<sup>th</sup> International Aerosol Conference, Edinburgh (Scotland), 12–18 September 1998.
- Salma, I., Maenhaut, W., Zemplén-Papp, É., Bobvos, J., Investigation of size-fractionated urban aerosol and trace gases in Budapest by nuclear-related and other analytical techniques, (előadás)  
13<sup>th</sup> Radiochemical Conference, Mariánské Lázně and Jáchymov (Czech Republic),  
19–24 April 1998, Booklet of Abstracts, p. 132.
- Salma, I., Maenhaut, W., Zemplén-Papp, É., Bobvos, J., Characteristics of size-fractionated urban aerosols and trace gases in Budapest, (meghívott előadás)  
8<sup>th</sup> Hungarian-Italian Symposium on Spectrochemistry, Debrecen (Hungary), 29 June – 4 July 1997, Abstract Book, p. 56.
- Salma, I., Robinson, L., Rausch, H., Isotope analysis of uranium in environmental samples, (poszter)  
4<sup>th</sup> International Conference on Nuclear and Radiochemistry, Saint Malo (France),  
8–13 September 1996, Extended Abstracts, p. B-P25.
- Salma, I., Zemplén-Papp, É., Bobvos, J., Maenhaut, W., Investigation of air pollution and size-fractionated urban aerosol in Budapest, (poszter)  
4<sup>th</sup> International Conference on Nuclear and Radiochemistry, Saint Malo (France),  
8–13 September 1996, Extended Abstracts, p. B-P24.
- Salma, I., Maenhaut, W., Annegarn, H.J., Andreae, M.O., Meixner, F.X., Garstang, M., Combined application of INAA and PIXE for studying the regional aerosol composition in southern Africa, (poszter)  
9<sup>th</sup> International Conference on Modern Trends in Activation Analysis, Seoul (Korea), 24–30 September 1995, Abstracts, p. 177.
- Salma, I., Maenhaut, W., Cafmeyer, J., Annegarn, H.J., Andreae, M.O., PIXE analysis of cascade impactor samples collected at the Kruger National Park, South Africa, (előadás)  
11<sup>th</sup> International Conference on Ion Beam Analysis, Balatonfüred (Hungary), 5–9 July 1993, Abstract Book, p. 14.7.
- Salma, I., Maenhaut, W., Cafmeyer, J., Annegarn, H.J., Andreae, M.O., Regional aerosol composition in Kruger National Park, South Africa, and impact of biomass burning, (előadás)  
18<sup>th</sup> General Assembly of the European Geophysical Society, Wiesbaden (Germany),  
3–7 May 1993.



## IX. Válogatott előadások az értekezés tárgyköréből hazai, tudományos rendezvényeken

(hazai tudományos rendezvényeken tartott összes előadás száma kb. 45)

### *Magyar Aeroszol Konferencia*

- VIII., Siófok-Szabadifürdő, 2006. május 25–26.,  
Salma, I., Ocskay, R., Wex, H., Henning, T., Massling, A., Wiedensohler, A.,  
A légköri humusszerű anyag aeroszol higroszkopicitása
- VI., Debrecen, 2002. október 9–10.,  
Salma, I., Maenhaut, W., Machon, A., Krivácsy, Z., A budapesti széntartalmú  
aeroszol: helyzetkép mintagyűjtés után
- VI., Debrecen, 2002. október 9–10.,  
Salma, I., Balásházy, I., Hofmann, W., Záray, Gy., A városi aeroszol  
méreteloszlásának és a fizikai igénybevételnek a hatása az aeroszol emberi  
légzőrendszerben történő kiülepedésére
- V., Szeged, 2000. október 5–6.,  
Salma, I., Záray, Gy., Aeroszol kutatások Budapesten
- IV., Veszprém, 1998. október 1–2.,  
Salma, I., Maenhaut, W., Zemplén-Papp, É., Minőségbiztosítás aeroszol  
minták INAA és PIXE módszerekkel történő vizsgálatakor
- III., Budapest, 1996. november 14–15.,  
Salma, I., Zemplén-Papp, É., Maenhaut, W., Bobvos, J., Szemcseméret szerint  
frakcionált budapesti városi aeroszol jellemzése

### *Őszi Radiokémiai Napok*

- Mátraháza, 2001. október 17–19.,  
Salma, I., Maenhaut, W., Záray, Gy., Az ólmozatlan benzin és a katalizátoros  
gépkocsik elterjedésének hatása Budapest levegőszennyezettségére
- Hévíz, 2000. október 18–20.,  
Salma, I., Záray, Gy., Aeroszol kémiai anyagmérleg
- Tata, 1997. október 14–16.,  
Salma, I., Zemplén-Papp, É., Maenhaut, W., Aeroszol minták INAA és PIXE  
analízisének minőségbiztosítási vonatkozásai
- Balatonkenese és Veszprém, 1996. október 16–18.,  
Salma, I., Zemplén-Papp, É., Bobvos, J., Maenhaut, W., Szemcseméret szerint  
frakcionált városi aeroszol és gáznemű légszennyezők összetételének  
eredetének és időtrendjeinek vizsgálata Budapesten, (meghívott előadás)
- Szeged, 1995. október 25–27.,  
Salma, I., Rausch, H., Urántartalmú környezeti minták aktivációs analízise

Eger, 1994. október 10–12.,  
Salma, I., Maenhaut, W., A biomassza égetésének hatása a regionális aeroszol  
összetételre Dél-Afrikában

### *MTA bizottsági és egyéb előadói ülések*

- Salma, I., Nagyvárosok levegőszennyezettségének eredete és hatásai az emberi  
egészségre,  
az MTA Kémiai Tudományok Osztályának tudományos ülése  
az MTA Közgyűléshez kapcsolódóan, Budapest, 2006. május 10.
- Salma, I., A másodlagos szerves aeroszol szerepe Budapesten,  
a Környeztkémiai Bizottság előadói ülése, Székesfehérvár, 2004. március 22.
- Salma, I., Záray, Gy., A budapesti városi aeroszol jellemzése és forrástípusai,  
Városklíma és levegőkörnyezet: új városklíma állomás az ELTÉ-n, Budapest,  
1999. november 4.
- Salma, I., Zemplén-Papp, É., Maenhaut, W., Levegőkémiai kutatások Budapesten  
nukleáris analitikai módszerekkel,  
a Radiokémiai Bizottság előadói ülése, Budapest, 1999. május 5.
- Salma, I., Rausch, H., Simonits, A., Sziklai-László, I., Neutronaktivációs analízis a  
rekonstruált Budapesti Kutatóreaktornál,  
a Radiokémiai Bizottság előadói ülése, Budapest, 1994. április 20.

## X. Egyéb szakmai közlemények az értekezés tárgyköréből

- Salma, I., A légköri aeroszol szerepe a globális éghajlatváltozásban.  
*Magyar Tudomány* 2 (2006) 205–211.
- Salma, I., Ocskay, R., Budapest: poros és fakó város?  
*Természet Világa* 137/3 (2006) 124–126.
- Cser L., Salma, I., Molnár G., Anyagvizsgálatok neutronokkal, In: Nukleáris  
tudomány és a 20. század, szerk. Vértes, A., 75–89. old., Műhelytanulmányok.  
Stratégiai Kutatások a Magyar Tudományos Akadémián, Budapest, 2001.
- Andreae, M.O., Fishman, J., Garstang, M., Goldhammer, J.G., Justice, C.O., Levin,  
J.S., Scholes, R.J., Stocks, B.J., Thompson, A.M., van Wilgen, B. and the  
STARE/TRACE-A SAFARI-92 Science Team (including Salma, I.): Biomass  
burning in the global environment: First results from the IGAC/ BIBEX field  
campaign STARE/TRACE-A/SAFARI-92. In: Global atmospheric-biospheric  
chemistry, ed. Prinn, R., p. 83–101, Plenum Press, New York, 1994.