

Egyetemi doktori (PhD) értekezés tézisei

**Városi porszennyezés becslésének lehetőségei
környezetanalitikai módszerekkel**

Fehérné Baranyai Edina

Témavezető: Dr. Posta József egyetemi tanár



DEBRECENI EGYETEM
Kémia Tudományok Doktori Iskola
Debrecen, 2015

I. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉSEK

Az elmúlt évszázadban az urbanizáció és az iparosodás jelentős szennyezőanyag kibocsátást eredményezett, amely negatív hatást gyakorol a városok és szoros agglomerációs területeik lakosságának életminőségére, az épített környezetre, valamint a szárazföldi és vízi ökoszisztémára.

Vizsgálataink középpontjában olyan természetes eredetű és antropogén kibocsátásból származó városi szálló és ülepedő porok, illetve lebegő részecskék állnak, melyeknek komoly egészségügyi kockázatok lehet. A nagyvárosokban a levegőbe jutó por legnagyobb része közlekedési eredetű, a járművek égéstermégeiből származik. Emellett a háztartásokból, főleg a háztartási egyéni fűtésből, illetve a szél és a csapadék által szállított antropogén és természetes eredetű részecskékből tevődik össze. Az emberi szervezetben kialakuló tüneteket jelentősen befolyásolják a por fizikai tulajdonságai, kémiai összetétele, illetve a belélegzett mennyiség. A szemcsék felületén káros anyagok kötődhetnek meg, a légnemű szennyezőkkel együtt pedig ismert a szálló por szinergikus hatása is.

A porszennyezéssel kapcsolatos kutatások szűk keresztmetszetét a mintagyűjtés jelenti, hiszen a hagyományos porgyűjtő és monitorozó rendszerek általában nem szolgáltatnak elegendő mintát a komplex fizikai, kémiai és morfológiai elemzésekhez. A mintagyűjtés általában egy ponton történik és pillanatnyi információt szolgáltat. Kutatásaink célja a hagyományos, kihelyezett monitorozó rendszerektől eltérő porgyűjtő technikákkal csapdázott városi porminták reprezentatív és komplex környezetanalitikai vizsgálata, valamint a szükséges minta előkészítési és mérési módszerek kidolgozása. Elemezni kívántuk egy nagyvárosi környezetet hosszú, illetve rövid időperiódus alatt ért porterhelés mennyiségi és minőségi jellemzőit.

Minél kisebb a por szemcseátmérője, annál mélyebbre hatol a tüdőben, ami megnöveli az elkülönített porfrakciók mintavételének jelentőségét. A Debreceni és Nyíregyházi kombinált ciklusú erőmű gázturbináit egy kettős

légszűrő rendszer védi a bejutó porok korrozív hatásaitól. Az erőmű szűrőrendszere frakcionált mintavételt biztosít: a durvaszűrőkön a 10 µm-nél nagyobb szemcséjű porszemcsék kötődnek meg, a finomszűrők az 1 µm és 10 µm közötti átmérőjű szemcséket fogják fel, míg az 1 µm-nél kisebb átmérőjű szemcsék átjutva a szűrőkön a gázturbina légterébe kerülnek. Célunk a durva és finomszűrőkön csapdázódott, valamint a turbinaterbe jutott porszemcsék gyűjtése és fizikai, kémiai, illetve morfológiai analízise volt. A rendelkezésre álló minta nagy mennyisége számos, ritkán vizsgált komponens elemzését is lehetővé teszi. Tanulmányozni kívántuk a begyűjtött porminta elem- és vízoldható anion koncentrációját, termikus stabilitását, szervesanyag és pollentartalmát, valamint az egyedi szemcsék elemösszetételét.

Az erőművi pormintákkal kapcsolatos kutatásokkal egyidejűleg olyan porgyűjtési technikát is vizsgálni kívántunk, amely egy város nagyobb területére integrálva szolgáltat információt a porterhelésről. A falevelek a légszennyezésre érzékeny szervezetek és a lebegő részecskék megkötésével jól reprezentálják az atmoszférában felgyűlt légszennyező anyagok minőségi és mennyiségi jellemzőit. Morfológiai, szerkezeti és biokémiai eltéréseik révén különböző mértékben vonhatják ki a légszennyező anyagokat a levegőből. Egy urbanizációs gradiens mentén, a faleveleken kiülepedett por mennyiségét, valamint a por és levélszövet elemösszetételét (Ba, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, S, Sr és Zn) tanulmányoztuk. Célunk az volt, hogy a városiasodás különböző szintjén lévő területeket összehasonlítva megállapítsuk, mely faj egyedei képesek a levegőből a szennyezőanyagokat nagyobb hatékonysággal kivonni, ezáltal a városi levegő minőségét javítani.

Vizsgálni kívántuk továbbá a falevelek, mint indikátor szervezetek hatékonyságát egy tényleges antropogén szennyezés felmérése érdekében. A pirotechnikai látványelemek alkalmazása népszerű és széles körben elterjedt módja a polgári szórakoztatásnak, amely időszakos terhelést gyakorol a városi levegőminőségre. A tűzijátékok ugyanis légszennyező források is egyben, hiszen a robbanóanyagok fellövését követően nagy mennyiségű lebegő és ülepedő részecske, elsősorban fémek és szerves vegyületek, valamint gázok

kerülnek az atmoszférába. A pirotechnikai eszközökben lévő speciális fényszínhatásért felelős elegyek lángszínező anyagai olyan fémsókat tartalmaznak, amelyek kationjai könnyen gerjeszthetők és jellemző hullámhosszúságú fényt bocsátanak ki. Munkánk során a detonációk alkalmával az atmoszférába jutó és onnan a falevelek felületére kiülepedő por mennyiségét és elemösszetételét (Al, As, Ba, B, Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, P, S, Zn, Li és Sr) határoztuk meg a debreceni augusztus 20-ai tűzijáték alkalmával.

II. ALKALMAZOTT MÓDSZEREK

A Debreceni és Nyíregyházi Kombinált Ciklusú Erőmű (DKCE és NYKCE) zavartalan működése érdekében a turbinateret 180-180 db egymás mögé felszerelt nemez anyagú durva- és üvegszálal finomszűrő védi a bejutó porok korrozív hatása ellen. A szűrőrendszer évente közel 5000 órán keresztül folyamatosan üzemel, az átáramló levegő mennyisége pedig a közel 9 hónap üzemidő alatt összesen 2,8 milliárd m³. A porgyűjtés 8-12 méter magasságban folyamatosan történik, majd a rendszert leállítják, az elhasznált szűrőtáskákat leszerelik és a turbinateret egy felületaktív detergenst tartalmazó folyadékkal mossák át.

Az erőművekből származó durvaszűrőkről leválasztott pormintákat elektromos szitarázógép (Ilmvac THYR2) segítségével frakcionáltuk, a minta előkészítés során atmoszférikus nyomáson történő nedves roncsolást, nagy nyomáson történő mikrohullámmal elősegített feltárást (MLS mega 1200, Milestone), valamint vizes közegben végzett extrakciót alkalmaztunk (ultrahangos rázatás, Transsonic 460/H). A durva és finomszűrőkről, valamint a turbinatérből származó erőművi porok elemanalízise induktív csatolású plazma optikai emissziós spektrometriával (ICP-OES, IRIS Intrepid II XDuo, Thermo Fisher Scientific), valamint a platinafémek és az antimon vizsgálata grafitkemencés atomabszorpciós spektrometriával (GFAAS, Perkin Elmer

AAnylist 600) történt. Az anionok meghatározására ionkromatográfot (Metrohm 719 VA) használtunk. A termoanalitikai vizsgálatok MOM-Derivatograph-C típusú műszeren történtek, a derivatográfhoz kapcsolt ATOMKI QGA-D típusú kvadrupól tömegspektrométer pedig lehetővé tette a gázok és égéstermékek azonosítását. A reflexiós vizsgálatokat HITACHI gyártmányú S-4300 típusú pásztázó elektronmikroszkóp (SEM) segítségével végeztük, a mennyiségi elemzésekhez BRUKER QUANTAX 400 típusú energiadiszipatív röntgen spektroszkópot használtunk. Az egyes szemcsék kémiai összetételét elektron próba mikro-analízissel (EPMA) állapítottuk meg. A transzmissziós mérések egy JEOL 2000 FX-II transzmissziós elektronmikroszkópon történtek, ami egy Oxford Link-Isis gyártmányú energiadiszipatív röntgen spektrométerrel van felszerelve. A turbinatérből származó minták átlagos szemcseméret-eloszlását dinamikus fényszórás fotometriával állapítottuk meg (Brookhaven Research System). A pollentartalom meghatározása a glicerinbe ágyazott mintákból OLYMPUS CX 41 típusú optikai mikroszkópon 600 szoros nagyítás mellett történt. A poliaromás szénhidrogének (PAH) és poliklórozott bifenilek (PCB) meghatározását az MSZ ISO 12884 magyar szabvány alapján gázkromatográfiás tömegspektrometriás analízissel (GCMS-QP 2010 Plus, Schimadzu) végeztük.

A második munkaszakaszban végzett vizsgálatokhoz Debrecenben és Debrecen környékén három kutatási területet jelöltünk ki (tölgyerdő, kertvárosi erdőterület és városi park), amelyek az urbanizáció három különböző szintjét reprezentálják és eltérő intenzitású emberi zavarás jellemzi őket. Az egyes kutatási területeken belül négy mintavételi helyen 2010 augusztusában gyűjtöttük az öt fajhoz (kései meggy - *Padus serotina*, mezei juhar - *Acer campestre*, zöld juhar - *Acer negundo*, kocsányos tölgy - *Quercus robur* és nyugati ostorfa - *Celtis occidentalis*) tartozó faleveleket. A mintavételi helyeken véletlenszerűen három egyedet választottunk ki, a mintákat lezárható műanyag tasakban gyűjtöttük és +4°C-on sötétben tároltuk az elemzés megkezdéséig. A levélfelületek meghatározásához síkfelületű

lapolvasót használtunk. A falevelek felületén kiülepedett por teljes mennyiségét mechanikai úton eltávolítottuk, a pormintákat nedves roncsolást követően oldatba vittük, míg a levélszöveteket szárítást és darálást követően mikrohullámmal elősegített nagy nyomású egységben roncsoltuk. A porminták és levélszövetek elemvizsgálására ICP-OES technikát alkalmaztunk, a levélfelületek morfológiai vizsgálatára és a sztómadenzitás megállapítására pásztázó elektronmikroszkópiát használtunk.

A tényleges antropogén hatás tanulmányozására irányuló vizsgálatokhoz a debreceni, 2011 augusztus 20-i tűzijáték alkalmával történt a mintagyűjtés. Indikátor fajként az ezüsthársat (*Tilia tomentosa*) választottuk, mivel a levelek morfológiája, a lombzat struktúrája és a levélfelületek pormegkötő képessége ideálissá teszi az ezüsthárs leveleit a környezeti porterhelés vizsgálatára, valamint a faj nagy számban képviseltette magát a teljes mintavételi területen. A kontroll mintaként szolgáló faleveleket a tűzijátékot megelőző két napban a város teljes területén gyűjtöttük (augusztus 18-19.), majd a tűzijátékot követő két napban (augusztus 21-22.) a begyűjtést ugyanazon 41 egyedről megismételtük. A pirotechnikai esemény stabil meteorológiai körülmények között zajlott és a mintagyűjtés során is száraz, szélcsendes idő volt. A falevelek felületét és a kiülepedett por mennyiségét meghatároztuk, a pormintákból atmoszférikus nedves roncsolást követően ICP-OES módszerrel mértük meg az elemek koncentrációját.

Az eredmények kiértékelése SPSS/PC + és Canoco for Windows 4.5 szoftver csomagok segítségével történt, két-utas varianciaanalízis (ANOVA), egymintás t-próba, főkomponens analízis (PCA), valamint redundancia analízis (RDA) alkalmazásával. A statisztikai analízishez az adatokat log transzformálva használtuk, a homogenitást (Levene teszt) és a normál eloszlást (Shapiro–Wilk teszt) ellenőriztük. A szignifikáns különbségeket Tukey, illetve LSD teszttel értékeltük.

III. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Erőművi porszűrők alkalmazásának lehetőségei integrált városi légszennyezettség becslésére

A Kombinált Ciklusú Erőművekben alkalmazott többlépcsős szűrőrendszerek a városi port folyamatosan és szabályozott körülmények között gyűjtik. A dolgozatban tárgyalt széleskörű vizsgálatok elvégzésére hagyományos porgyűjtő módszerek mellett nem nyílta lehetőség, az így kapott eredmények egyedi és új megközelítései lehetnek a városi porterhelés környezeti és közegészségügyi vonatkozású becslésének.

1.1 Mintavételi és mintaelőkészítési módszereket dolgoztunk ki a frakcionált mintavételt biztosító kétlépcsős szűrőrendszeren és a turbinatérben összegyűlő por elemkoncentrációjának meghatározására. Igazoltuk, hogy fém sók kristályszerkezetüktől és keletkezési körülményeiktől függően meghatározott szemcseméret eloszlással rendelkeznek, így vegyületeik eltérő szemcseátmérőjű frakcióban dúsulnak.

Eredményeink alapján a Ca, Mg, Cr, Ni és Al esetében nem tapasztaltunk szignifikáns különbséget a durva- és finomszűrőkről származó mintákban. A Fe és Zn szignifikánsan nagyobb koncentrációban volt jelen a nagyobb szemcseátmérővel rendelkező, durvaszűrőkről származó mintákban, míg a Na, K és S koncentrációja a finomszűrőkről nyert porszemcsékben volt szignifikánsan nagyobb, tehát ezek az elemek nagyobb mennyiségben találhatóak meg a kisebb méretű porszemcsékben. A Mn a turbinatérben gyűjtött porfrakcióban kimutatási határ alatt volt jelen, tehát vegyületei kizárólag nagy szemcséket alkotnak. Az Pb szignifikánsan nagyobb koncentrációban dúsult a finomszűrők felületén csapódzott porszemcsékben.

1.2 A szűrőkről származó porszemcsék morfológiáját és összetételét vizsgálva megállapítottuk az egyes szemcsék fő komponenseinek közelítő összetételét, valamint átfogó képet kaptunk az egyedi szemcsék méretviszonyairól, alakjáról és heterogenitásáról.

A finom és durvaszűrőkről származó minták több szemcséjében jelentős Zn, Fe és Cu tartalmat mértünk és észrevehetőek voltak a szervesanyagra utaló szokatlanul magas széncsúcsok is az EDS spektrumokban. Egyes esetekben egyformán magas szén, oxigén és szilíciumtartalmat tapasztaltunk. Összetétel alapján nagy számban azonosítottunk titán-dioxid, vas-oxid, pollen, korom, kalcium-szulfát és szilícium-dioxid tartalmú szemcséket.

A turbinatér mosásából származó felületaktív detergenst tartalmazó mosófolyadékban található legfinomabb szemcsék eloszlása bimodálisnak bizonyult, egy 200 nm alatti, valószínűleg primer részecskéket tartalmazó és egy nagyobb méretű, valószínűleg részecske aggregátumokat tartalmazó csúccsal. Megállapítottuk, hogy a szűrők mögötti térbe bejutott porokat tartalmazó mosófolyadék egy homodiszperz, nanorészecskékből álló szuszpenzió, amely további vizsgálata egészségügyi szempontból is fontos információt hordozhat.

1.3 Megállapítottuk, hogy a porok vizes oldata közel semleges kémhatású (pH=6,45) és a benne lévő vegyületek főleg szervesetlen fém sók, melyek klorid, nitrát és szulfát alakban oldódnak. Módszert dolgoztunk ki a porminták platinafém tartalmának megállapítására. Meghatároztuk továbbá a debreceni és nyíregyházi városi porban olyan ritkán vizsgált komponensek koncentrációját, mint a poliaromás szénhidrogének (PAH) és poliklorozott bifenilek (PCB), valamint az antimon-trioxid és antimon-triszulfid.

A debreceni és nyíregyházi minták esetében az évek tekintetében szignifikáns ródiom és palládium koncentráció csökkenés figyelhető meg, a

palládium az utóbbi három mintavételi évben nem volt jelen kimutatható mennyiségben. Az elválasztott antimon-specieszek közül mindkét város esetében az antimon-trioxid koncentrációja bizonyult nagyobbak az antimon-triszulfidhoz képest és a két város vonatkozásában a kapott értékek nagyságrendileg megegyezőek. Az erőművi porok platinafém és antimon tartalma az egészségügyi határértékekhez képest elhanyagolhatónak tekinthető.

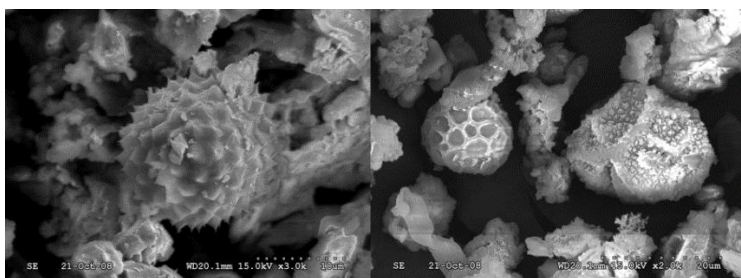
A PAH vegyületek analízise alapján a két városból származó porminta tartalmazott fenantrént, fluorantént és pirént, míg a debreceni mintákban benzo(a)antracént is detektáltunk. Ez utóbbi vegyület a nyíregyházi mintákban nem volt kimutatható. Egyik városból származó minta sem tartalmazott poliklórozott bifenileket. A nagy mintamennyiség egyedi lehetőséget biztosított platinafémek és szelektív antimon meghatározás kidolgozására is, amelyek koncentrációja az erőművi porokban az egészségügyi határértékekhez képest elhanyagolhatónak bizonyult.

1.4 A nagytömegű porfrakciók termoanalitikai vizsgálata alapján értékeltük a porszűrőkön összegyűlő porminta termikus stabilitását és megállapítottuk, hogy a por milyen arányban tartalmaz széntartalmú anyagokat (szerves anyagokat és kormot). Pollenelemzés alapján meghatároztuk a minták összes pollenkoncentrációját és összehasonlítottuk a két városban domináns fajokat.

A bomlási folyamatok követését levegő és nitrogén atmoszférában is elvégeztük. Felvettük a 63 µm alatti szemcseátmérőjű porfrakció 25 és 1000 °C közötti hőmérséklettartományban végbemenő bomlása során fellépő tömegcsökkenési (TG), differenciál tömegcsökkenési (DTG) és entalpiaváltozási (DTA) görbéit. Összességében a termoderivatográfias elemzés alapján megállapítható, hogy levegő atmoszférában a porok tömegvesztése 37,5 tömeg%, amelyet részben a nedvességtartalom és a port alkotó szervesetlen vegyületek kristályvíz-vesztése okozhat. Nitrogén

atmoszférában a tömegveszteség csak 23% volt, amelyet a nedvesség és kristályvízvesztés mellett az illékonyabb, majd a kevésbé illékony szerves anyagok távozásával értelmezhetünk.

A termoanalitikai vizsgálatok bizonyították, hogy a porminták szervesanyag-tartalma nagy, amely jelentős része az elektronmikroszkópos felvételeken is látható pollen (1. ábra). Eredményeink azt mutatják, hogy méretük következtében a pollenszemcsék jelentős része a durva szűrőn kötődik meg. A debreceni erőmű durva szűrőjéről származó porminta összes pollen koncentrációja 2 millió db/g fölött volt, amely közel háromszorosa a nyíregyházi erőműből származó mintáénak. A kapott pollenspektrumok alapján megállapítottuk, hogy mindkét város mintáiban magasabb a fapollenek százaléka, mint a lágyszárúaké, viszont a nyíregyházi minta debreceninél magasabb értéke (78%) a várost övező extenzívebb erdőfoltokkal és az ott gyakori komponens, a nyír- és nyárfák magas pollen produkciójával magyarázható. A két mintában a domináns pollen komponensek azonosak voltak, amelyek a tölgy és akác kivételével, mind allergén fajokhoz tartoznak.



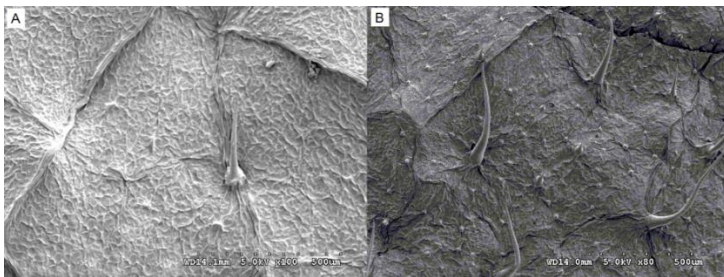
1. ábra: Pollenszemcsékről készült SEM felvételek

2. Falevelek, mint biológiai porgyűjtők alkalmazásának lehetőségei rövid időperiódusra vonatkozó légszennyezettség becslésére

A nagyobb kiterjedésű városi területre vonatkozó vizsgálatok során városi parkokban megtalálható fafajok leveleinek pormegkötő képességét és a por, valamint a levélszövet elemtartalmát vizsgáltuk. Eredményeink azt bizonyítják, hogy a levélfelületek anatómiai és morfológiai sajátosságai fontos tényezők annak meghatározásában, hogy mely fajok használhatóak legjobban a légszennyező anyagok monitorozására, valamint a városi levegőminőség javításának szempontjából mely fajok egyedeinek ültetése javasolható.

2.1 A levélfelületen kiülepedett pormennyiség mérési eredményei alapján megállapítottuk, hogy a vizsgált fajok közül az *Acer negundo* és *Celtis occidentalis* alkalmasak leginkább a városi por megkötésére.

A statisztikai elemzés alapján az öt vizsgált fafaj szignifikáns hatással volt a kiülepedett por mennyiségére ($F_{14,45}=64.662, p<0.001$). Minden vizsgált területen az *Acer negundo* és *Celtis occidentalis* fajok egyedeinek felületén ülepedett ki a legnagyobb pormennyiség, amely a levélfelületükről készített SEM ábrákon jól látható nagyobb bolyhozottságnak tulajdonítható (2. ábra).

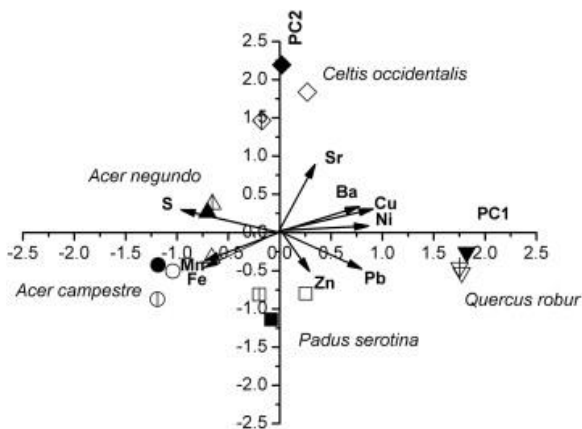


2. ábra: A levélfelületekről készült SEM felvételek (A: *Acer negundo*; B: *Celtis occidentalis*)

Legkevésbé a *Padus serotina* és *Quercus robur* levelein csapdázódtak a porszemcsék, amely a levélfelület struktúrájának különbözőségéből adódik.

2.2 A levélfelületen megkötődött porban és a levélszövetben mért elemek koncentrációja alapján megállapítást nyert, hogy a vizsgált fajok közül az *Acer negundo*, *Quercus robur* és *Celtis occidentalis* akkumulálták legnagyobb mértékben a vizsgált elemeket. Ezen fajok alkalmas bioindikátorok lehetnek a levegőminőség becslésére és a légszennyezettség monitorozására irányuló kutatásokban.

A levélfelületeken összegyűlt városi porban és a levélszövetben mért elemek koncentrációja alapján a főkomponens analízis teljesen elkülönülő csoportokra bontotta a vizsgált fajokat (3. ábra). Az *Acer negundo*, *Quercus robur* és *Celtis occidentalis* levélszövetében mért nagyobb elemkoncentráció a levélfelület fonákjáról készített SEM felvételeken látható nagy sztómamérettel és a sztómadenzitásra kapott eredményeinkkel magyarázható.



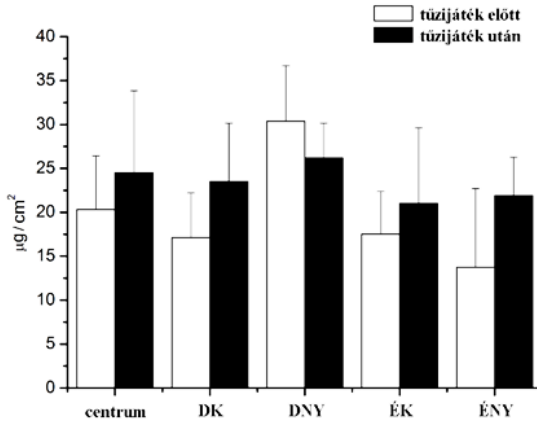
3. ábra: Az elemanalízis eredményeinek főkomponens analízise (PC1: 80,2 %, PC2: 7,7 %)

3. A falevek releváns gyakorlati alkalmazása tényleges negatív antropogén hatás vizsgálatára

A munka harmadik szakaszában a pirotechnikai detonációk ülepedő porfrakcióra gyakorolt hatását vizsgáltuk. Eredményeink alapján megállapítható, hogy a tűzijátékok jelentős hatást gyakorolnak a városi ülepedő por mennyiségére, azonban a rakéták detonációja olyan magasságban történik, amely elősegíti a részecskék diszperzióját a finomabb porfrakcióban, ezáltal nem eredményeznek megnövekedett elemkoncentrációt az ülepedő porban.

3.1 A levélfelületeken összegyűlt pormennyiség alapján megállapítottuk, hogy a pirotechnikai esemény után megnőtt a kiülepedő városi por mennyisége.

Szignifikáns különbséget ($p < 0.05$) tapasztaltunk a kiülepedett por mennyiségében a tűzijáték előtt és után (4. ábra). Minden mintavételi területen nőtt a kiülepedett por mennyisége, kivéve a város délnyugati részét. A statisztikai elemzés alapján a mintavételi idő (tűzijáték előtt és után) és a mintavételi hely (centrum, DK, DNY, ÉK, ÉNY) is szignifikáns hatást gyakorolt ($p < 0.05$) az ülepedő por mennyiségére, míg a keresztthatás nem volt szignifikáns. A legnagyobb pormennyiség növekedést az északnyugati mintavételi területen figyeltük meg.



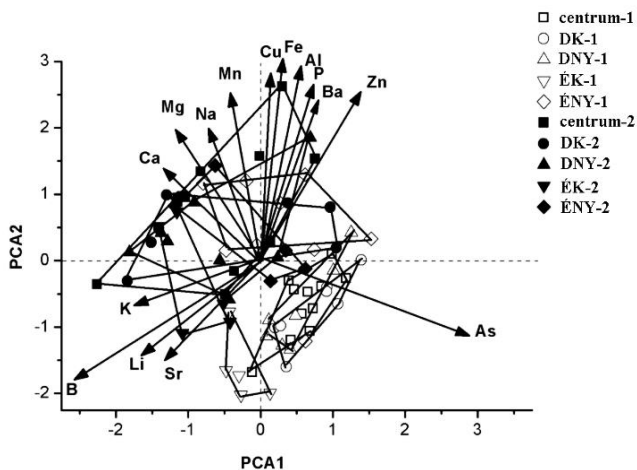
4. ábra: A falevelekre kiülepedett por mennyisége a mintavételi területeken a tűzijáték előtt és után (városközpont: centrum, délkelet: DK, délnyugat: DNY, északkelet: ÉK, északnyugat: ÉNY)

3.2 Az ülepedő porban mért elemek koncentrációja csekély mértékű növekedést mutatott a tűzijáték után a háttér koncentrációhoz képest, amely azzal magyarázható, hogy a detonációk során kibocsátott részecskék a finomabb porfrakcióban diszpergálódnak.

A Ca, Mg és Sr koncentrációja szignifikánsan nőtt a tűzijáték után a háttér koncentrációhoz képest ($p < 0.05$). Az Al, Ba, B, Cu, Mn, Li, Na és P koncentrációja is megnőtt, azonban ez statisztikailag nem volt igazolható. A főkomponens analízis a centrum terület kivételével jól elkülönülő csoportokra osztotta a pormintákban vizsgált elemeket (5. ábra).

Pozitív korrelációt figyeltünk meg a Zn, Ba és Al esetében a PC1-el, míg ugyanezzel a tengellyel negatívan korrelált a K, B és a Li. A PC2

tengellyel pozitívan korrelált a Cu, Fe, Mn, Mg és a Ca, negatívan pedig a Sr és az As.



5. ábra: Az üledéző porban mért elemek főkomponens analízise (1-tűzijáték előtt; 2- tűzijáték után; PC1: 32,9%; PC2: 26,1%)

IV. AZ EREDMÉNYEK HASZNOSÍTÁSI LEHETŐSÉGEI

A városi szálló és ülepedő por abiotikus indikátorként lehetőséget biztosít az atmoszférába jutó légszennyező anyagok minőségi és mennyiségi meghatározására, ezáltal reprezentatív gyűjtése és átfogó analitikai vizsgálata egészségügyi és környezetvédelmi szempontból is jelentős információt hordoz.

Az általunk vizsgált két erőmű zsákos porszűrői az üzemidő leteltével veszélyes hulladékként kerülnek megsemmisítésre. Munkánk során rámutattunk arra, hogy ezek a szűrők és a rajtuk csapdázódott városi por számos környezetanalitikai vizsgálat tárgyát képezhetik, amelyek fontos információt szolgáltathatnak a városi levegő minőségéről. Az erőművek elhelyezkedéséből adódóan a kapott adatok egy tipikus nagyváros lakosságát terhelő, integrált porszennyezést reprezentálják, míg a frakcionált mintavételt biztosító szűrőrendszer jól modellezi az emberi légzést és lehetővé teszi a különböző szemcseátmérővel rendelkező frakciók elemzését. Eredményeink segíthetik az urbanizáció hatását vizsgáló és környezeti állapotbecslést célzó kutatásokat, valamint epidemiológiai tanulmányok alapját is képezhetik.

Munkánk során szintén alátámasztottuk, hogy a falevelek bioindikátorként történő alkalmazása olyan változók függvénye, mint a levélfelület geometriája és bolyhossága, az epidermális és kutikuláris sajátosságok, a fák magassága és lombozata. Eredményeink alapján javaslatot tettünk arra, hogy a városi parkokban előforduló fajok közül melyek alkalmasak a légszennyező anyagok megkötésére, ezáltal a városi levegőminőség javítására, illetve mely fajok alkalmazása lehet eredményes a légszennyezettség mértékének monitorozására. A kutatásunk tényleges antropogén hatást tanulmányozó része rámutatott arra, hogy a polgári szórakoztatásra használt pirotechnikai eszközök alkalmazása jelentősen növeli a városi környezetben kiülepedő por mennyiségét. A szakirodalomban számos példát találunk a tűzijátékok okozta szállópor összetételének vizsgálatára, azonban kevés információ áll rendelkezésre az ülepedő

porfrakció tekintetében. A pirotechnikai események megítélése a környezeti terhelés szempontjából igen ellentmondásos. Eredményeink segíthetnek a rakéták detonációja során a légtérbe jutó szennyező anyagok hatásának pontosabb felderítésében.

V. PUBLIKÁCIÓK

Az értekezés alapját képező közlemények

Tudományos folyóiratban megjelent közlemények

1. Edina Baranyai, Edina Simon, Mihály Braun, Béla Tóthmérész, József Posta, István Fábián: The effect of a fireworks event on the amount and elemental concentration of deposited dust collected in the city of Debrecen, Hungary *Air Quality, Atmosphere and Health* (2015) DOI 10.1007/s11869-014-0290-7 IF (2014): 1,804

2. Edina Simon, Edina Baranyai, Mihály Braun, Csaba Cserhádi, István Fábián, Béla Tóthmérész: Elemental concentrations in deposited dust on leaves along an urbanization gradient. *Science of the Total Environment*, 490 (2014) 514-520. IF (2104): 4,099

3. Edina Baranyai, Dávid Nagy, Imre Tóth, József Posta: The environmental and morphological analysis of urban dust. *Studia Universitatis "Vasile Goldis", Seria Stiintele Vietii*, 21 (2012) 71-75.

4. Baranyai Edina: Tölgyerdő, kertvárosi erdőterület és városi park fáinak levelén kiülepedett por és a levelek elemtartalmának vizsgálata. *Természetvédelmi Közlemények*, 18 (2012) 45-57.

Tudományos folyóiratban még meg nem jelent közlemények:

5. Edina Baranyai, Dávid Nagy, Edina Simon, Mihály Braun, József Posta: The filter system of power plants – a new tool in air quality assessment *Air Quality, Atmosphere and Health* (közlésre előkészítve)

Konferenciakötetben megjelent tanulmány:

6. Baranyai Edina, Simon Edina, Braun Mihály, Posta József, Tóthmérész Béla, Fábíán István: Tűzijáték hatásának vizsgálata a falevelekre ülepedő városi por elemösszetételére. *X. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia* (2014) 11-16.

Az értekezés témájához szorosan nem kapcsolódó közlemények

Tudományos folyóiratban megjelent közlemények

7. Edina Simon, Sándor Harangi, Edina Baranyai, Mihály Braun, István Fábíán, Szabolcs Mizser, Leila Nagy, Béla Tóthmérész: Distribution of toxic elements between biotic and abiotic components of terrestrial ecosystem along an urbanization gradient: soil, leaf litter and ground beetles. *Ecological Indicators* (közlésre elfogadva) IF(2014): 3,444

8. Andrea Nagy, Edina Baranyai, Attila Gáspár: Interfacing microfluidic chip based chromatography with flame atomic absorption spectrometry for the determination of chromium (VI). *Microchemical Journal* 114 (2014) 216-222. IF (2014): 2,746

9. Ildiko Bodnar, Andrea Szabolcsik, Edina Baranyai, Andrea Uveges, Norbert Boros: Qualitative characterization of household greywater in the northern great plain region of Hungary. *Environmental Engineering and Management Journal* 13 (2014) 2717-2724. IF (2014): 1,065

10. Milán Fehér, Edina Baranyai, Edina Simon, Péter Bársony, István Szücs, József Posta, László Stündl: The interactive effect of cobalt in *Artemia* on the survival and larval growth of barramundi, *Lates calcarifer*. *Aquaculture*, 414–415 (2013) 92–99. IF (2013): 1,828

11. Edina Simon, Edina Baranyai, Mihály Braun, István Fábián, Béla Tóthmérész: Elemental concentration in mealworm beetle (*Tenebrio molitor* L.) during metamorphosis. *Biological Trace Element Research* 154 (2013) 81-87. IF (2013): 1,608

12. Türk Gábor, Balázs Boglárka, Harangi Sándor, Fehérné Baranyai Edina, Gyulai István, Szabó Szilárd: A vízminőség vizsgálata egy Felső-Tisza menti holtmedren. *Hidrológiai Közöny* 94 (2014) 41-46.

13. Málnás Kristóf, Harangi Sándor, Balogh Zsuzsanna, Baranyai Edina, Braun Mihály, Dévai György, Simon Edina: Nehézfém analitikai vizsgálatok a Felső-Tisza és Szamos folyó hazai szakaszán. *Hidrológiai Közöny* 94 (2014) 62-65.

14. Fehér Milán, Baranyai Edina, Bársony Péter, Simon Edina, Posta József, Stündl László: A kobalt-klorid hatása a barramundi lárva (*Lates calcarifer*) termelési paramétereire és egyöntetűségére. *Acta Agrariensis Debreceniensis* 51 (2013) 21-25.

15. Fehér Milán, Bársony Péter, Baranyai Edina, Posta József, Stündl László: Kedvező biológiai hatású mikroelemekkel dúsított *Artemia* alkalmazása a barramundi (*Lates calcarifer*) lárvanevelésében. *Acta Agrariensis Debreceniensis* 48 (2012) 11-16.

Tudományos folyóiratban bírálat alatt lévő közlemények

16. Edina Simon, Sándor Harangi, Edina Baranyai, István Fábián, Béla Tóthmérész: Assessment of impact of anthropogenic activities and urbanization on trace element concentration in deposited dust and tree leaves. *Environmental Geochemistry and Health* (bírálat alatt) IF (2014): 2.573

Könyvfejezet

17. Bodnár Ildikó, Szabolcsik Andrea, Baranyai Edina, Boros Norbert, Fórián Sándor: Épületek csapadékvizeinek és szűrkevízeinek vizsgálata az Észak-Alföldi régióban környezetbarát és energiahatékony hasznosítás céljából. Fenntartható energetika, megújuló energiaforrások optimalizált integrálásával, Akadémiai Kiadó, 5. fejezet, 167-201. (ISBN 9789630595407)

Az értekezés alapját képező konferencia előadások (E) és poszterek (P)

Nemzetközi konferencia

18. Edina Baranyai, Edina Simon, Mihály Braun, Béla Tóthmérész, István Fábrián: The effect of firework on the elemental concentration of dust deposited on tree leaves. *International Conference on Atmospheric Dust*, June 1-6. 2014., Bari, Italy (E)

19. Edina Simon, Edina Baranyai, Mihály Braun, Csaba Cserhádi, István Fábrián, Béla Tóthmérész: Assessment of air contaminants using foliage dust of tree species along an urbanization gradient. *International Conference on Atmospheric Dust*, June 1-6. 2014., Bari, Italy (E)

20. Edina Baranyai, Edina Simon, Mihály Braun, Béla Tóthmérész: The effect of firework on the elemental concentration of dust deposited on tree leaves. *X. Carpathian Basin Conference on Environmental Science*, March 27-29. 2014., Cluj-Napoca, Romania (E)

21. József Posta, Imre Tóth, Edina Baranyai, Dávid Nagy: Environmental and morphological analysis of urban dust. *XIV Hungarian-Italian Symposium on Spectrochemistry*, 5-7. Oct. 2011, Sümeg, Hungary (P)

22. József Posta, Imre Tóth, Edina Baranyai, Dávid Nagy: Chemical and morphological analysis of urban dust. *Colloquium Spectroscopicum Internationale XXXVII*, 28. Aug. – 2. Sept 2011., Rio de Janeiro (Búzios), Brasil (E)

23. József Posta, Imre Tóth, Edina Baranyai, Dávid Nagy: The environmental and morphological analysis of urban dust. *International Conference in Arad: Natural and Artificial Ecosystems in the Somes-Cris-Mures-Tisa River Basin*, May 7-8. 2010., Arad, Romania (E)

Hazai konferencia

24. Baranyai Edina, Simon Edina, Braun Mihály, Tóthmérész Béla: Urbanizáció hatása falevelek és falevélen kiülepedett por elemösszetételére. *VII. Magyar Természetvédelmi Biológiai Konferencia*, 2011. november 3-5., Debrecen (E)

25. Baranyai Edina, Tóth Imre, Nagy Dávid, Posta József: A városi porminták környezetanalitikai és morfológiai vizsgálata. *53. Magyar Spektrokémiai Vándorgyűlés és Vegyészkonferencia*, 2010. június 30. – július 2., Hajdúszoboszló (E)

Megjelent/elfogadott kéziratok összesített impkat faktora: 16,594
Ebből az értekezés témájában: 5,903



DEBRECENI EGYETEM
EGYETEMI ÉS NEMZETI KÖNYVTÁR



Jelölt: Baranyai Edina
Neptun kód: SCKQHK
Doktori Iskola: Kémiai Tudományok Doktori Iskola
MTMT azonosító: 10040303

Nyilvántartási szám: DEENK/136/2015.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Magyar nyelvű tudományos közlemény(ek) hazai folyóiratban (1)

1. **Baranyai E.**: Tölgyerdő, kertvárosi erdőterület és városi park fáinak levelén kiülepedestt por és a levelek elemtartalmának vizsgálata.
Termvéd. Közl. 18, 45-57, 2012. ISSN: 1216-4585.

Idegen nyelvű tudományos közlemény(ek) külföldi folyóiratban (3)

2. **Baranyai, E.**, Simon, E., Braun, M., Tóthmérész, B., Posta, J., Fábíán, I.: The effect of a fireworks event on the amount and elemental concentration of deposited dust collected in the city of Debrecen, Hungary.
Air Qual Atmos Health. Epub, 2014. ISSN: 1873-9318.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11869-014-0290-7>
IF: 1.804
3. Simon, E., **Baranyai, E.**, Braun, M., Cserhádi, C., Fábíán, I., Tóthmérész, B.: Elemental concentrations in deposited dust on leaves along an urbanization gradient.
Sci. Total Environ. 490, 514-520, 2014. ISSN: 0048-9697.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.05.028>
IF: 4.099
4. **Baranyai, E.**, Tóth, I., Nagy, D., Posta, J.: The chemical and morphological analysis of urban dust.
Stud. Univ. "Vasile Goldis" Ser. Științ. vieții. 21 (1), 71-75, 2011. ISSN: 1584-2363.



DEBRECENI EGYETEM
EGYETEMI ÉS NEMZETI KÖNYVTÁR



További Közlemények

Magyar nyelvű könyvrészlet(ek) (1)

5. Bodnár I., Boros N., **Baranyai E.**, Fórián S., Izbékiné Szabolcsik A., Jolánkai G., Üveges A., Kocsis D.: Épületek csapadékvizeinek és szürkevízeinek vizsgálata az Észak- Alföld régióban környezetbarát és energiahatékony hasznosítás céljából.
In: Fenntartható energetika megújuló energiaforrások optimalizált integrálásával. Szerk.: Kalmár Ferenc, Akadémiai Kiadó, Budapest, 167-201, 2014. ISBN: 9789630595407

Magyar nyelvű közlemény(ek) hazai folyóiratban (3)

6. Málnás K., Harangi S., Balogh Z., **Baranyai E.**, Braun M., Dévai G., Simon E.: Nehézfém analitikai vizsgálatok a Felső-Tisza és Szamos folyó hazai szakaszán.
Hidrol. Közöny. 94 (5-6), 62-65, 2014. ISSN: 0018-1323.
7. Fehér M., **Baranyai E.**, Bársony P., Simon E., Posta J., Stündl L.: A kobalt-klorid hatása a barramundi lárvá (Lates calcarifer) termelési paramétereire és egyöntetűségére.
Agrártud. Kozl. 51, 21-25, 2013. ISSN: 1587-1282.
8. Fehér M., Bársony P., **Baranyai E.**, Posta J., Stündl L.: Kedvező biológiai hatású mikroelemekkel dúsított Artemia alkalmazása a barramundi (Lates calcarifer) lárvanevelésében.
Agrártud. Kozl. 48, 11-16, 2012. ISSN: 1587-1282.

Idegen nyelvű közlemény(ek) külföldi folyóiratban (4)

9. Bodnár, I., Szabolcsik, A., **Baranyai, E.**, Üveges, A., Boros, N.: Qualitative characterization of household greywater in the northern great plain region of Hungary.
Environ. Eng. Manag. J. 13 (11), 2717-2724, 2014. ISSN: 1582-9596.
IF: 1.065
10. Nagy, A., **Baranyai, E.**, Gáspár, A.: Interfacing microfluidic chip-based chromatography with flame atomic absorption spectrometry for the determination of chromium(VI).
Microchem J. 114, 216-222, 2014. ISSN: 0026-265X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.microc.2014.01.008>
IF: 2.746



DEBRECENI EGYETEM
EGYETEMI ÉS NEMZETI KÖNYVTÁR



11. Simon, E., **Baranyai, E.**, Braun, M., Fábán, I., Tóthmérész, B.: Elemental Concentration in Mealworm Beetle (*Tenebrio molitor* L.) During Metamorphosis.
Biol. Trace Elem. Res. 154 (1), 81-87, 2013. ISSN: 0163-4984.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s12011-013-9700-1>
IF:1.608

12. Fehér, M., **Baranyai, E.**, Simon, E., Bársony, P., Szűcs, I., Posta, J., Stündl, L.: The interactive effect of cobalt enrichment in *Artemia* on the survival and larval growth of barramundi, *Lates calcarifer*.
Aquaculture. 414-415, 92-99, 2013. ISSN: 0044-8486.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.07.031>
IF:1.828

Idegen nyelvű konferencia közlemény(ek) (2)

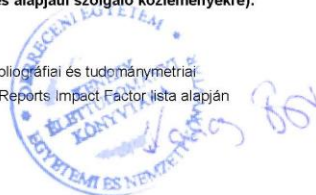
13. **Baranyai, E.**, Izbékiné Szabolcsik, A., Úveges, A.K., Bodnár, I.: Elemental analysis of grey water samples by microwave plasma atomic emission spectrometry.
In: International Congress on Water, Waste and Energy Management : Abstracts book. Ed.: Instituto Politécnico de Portalegre, [S.n.], Porto, 46, 2014. ISBN: 9789899508965

14. Szabolcsik, A., **Baranyai, E.**, Bodnár, I.: Utilization of modern analytical techniques for the analysis of household generated greywater samples.
In: Proceedings of Denzero International Conference: Sustainable energy by optimal integration of renewable energy sources. Ed.: Kalmár Ferenc, Debreceni Egyetem, Debrecen, 201-212, 2014. ISBN: 9789634737360

A közlő folyóiratok összesített impact faktora: 13,15

A közlő folyóiratok összesített impact faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre): 5,903

A DEENK a Jelölt által az iDEa Tudóstérbe feltöltött adatok bibliográfiai és tudományometriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports, Impact Factor lista alapján elvégezte.



Debrecen, 2015.06.30.