

Doktori (PhD) értekezés tézisei

**Lakott területek aeroszol
terhelésének vizsgálata
mikroanalitikai módszerekkel**

Fodorné Furu Enikő Emese

Témavezető: Dr. Kertész Zsófia



DEBRECENI EGYETEM
Kémia Doktori Iskola

Debrecen, 2020

Bevezetés

A nagyvárosok levegőszennyezettsége sokféle természetes és antropogén kibocsátás eredménye. A sokféle forrásból származó légszennyezők nagymértékben befolyásolják a földi bioszférát, az emberi egészséget valamint a természetes és épített környezetet. A szennyező anyagok közül a szálló por (Particulate matter: PM) van a legnagyobb hatással az emberi egészségre, mely elsősorban a légző- és a keringési rendszert érinti. Az egészségkárosodás bekövetkezésének kockázata a szennyezés mértékének függvényében növekszik, és jelenleg nem ismeretes olyan küszöbkoncentráció, amelynél ne kellene a PM egészségkárosító hatásaival számolni. Ennek következményeként egyre sürgetőbb kérdéssé vált az aeroszol részecskék forrásainak meghatározása, melyek ismerete elengedhetetlen hatékony kockázat csökkentő stratégiák kidolgozásához.

Célkitűzés

Bekapcsolódva az Atommagkutató Intézet Ionnyaláb-fizikai Laboratóriumában folyó légköri aeroszol-kutatásokba, PhD munkám célja lakott területek aeroszol szennyezésének valamint a szennyezés eredetének meghatározása és jellemzése volt.

Budapest és Debrecen aeroszol-terhelésének összehasonlító vizsgálatnak az volt a célja, hogy meghatározzam az aeroszol koncentrációját, elemi összetételét, forrásait, az egyes források meteorológiai paraméterektől valamint emberi tevékenységtől való függését, valamint feltárjam a két város aeroszol szennyezettsége közötti hasonlóságokat és különbségeket.

Célul tűztem ki továbbá, hogy az elemösszetétel meghatározása mellett vizsgálni lehessen az aeroszol részecskék kémiai formáit.

Kutatómunkám célja volt még nagyszabású építkezések egy város levegőminőségre gyakorolt térben és időben való rövid- és hosszútávú hatásainak meghatározása.

Vizsgálati módszerek

A városok aeroszol terhelésének vizsgálatához gyűjtött minták Debrecenben, az Atommagkutató Intézet udvarán lévő mintavételi állomásról származnak, míg Budapesten a mintavételt a XVIII. kerületben, a Gilice téren található, nemzetközileg bejelentett automata levegőminőség-mérő állomáson telepített berendezéssel oldottuk meg. A légköri minták gyűjtése mindkét városban Gent típusú kétfokozatú mintavevő segítségével valósult meg.

A villamosvonal építése mentén az aeroszol mintákat egy Buck Elit típusú hordozható membrán szivattyúhoz kapcsolható Nuclepore kétfokozatú mintavevő segítségével gyűjtöttük.

A fent említett témakörökben az aeroszol tömegkoncentrációját mérlegeléssel, míg elemi összetételét részecske indukált röntgen-emissziós (PIXE) analitikai módszerrel határoztam meg. A PIXE módszer széles körben alkalmazott analitikai technika légköri aeroszol elemösszetételének meghatározására. Előnye, hogy nem szükséges mintaelőkészítés, az analízáláshoz kis anyagmennyiségű minta is elegendő, illetve a nyomelemek is széles rendszámtartományban meghatározhatók. Mellette szól továbbá, hogy számos

ionnyaláb-analitikai technikával egészíthető ki, melyek segítségével a minta egyéb jellemzői is meghatározhatóak. A PIXE méréseket az Atomki VdG-5 gyorsítójának bal 45°-os nyalábsatornájára telepített makro-PIXE mérőkamrában végeztük el.

A PIXE technikát egy hullámhossz diszperzív (WDX) kristályspektrométerrel kiegészítve megvalósítható az energiafelbontás növelése, ami lehetőséget biztosít az elemek kémiai összetételének meghatározására. Ezt a technikát a Budapesten gyűjtött aeroszol minták esetében, az aeroszolban nagy koncentrációban detektált klór kémiai formájának meghatározására alkalmaztam. A nagy-feloldású HR-PIXE mérésekre a ljubljanai Jozef Stefan Intézet Mikroanalitikai Centrumában került sor.

A légköri aeroszol forrásainak meghatározására az Egyesült Államok Környezetvédelmi Ügynöksége (EPA) által receptor területek forrásanalízisére kifejlesztett pozitív mátrix faktorizációs modell (PMF) 5.0-ás verzióját alkalmaztam.

Új tudományos eredmények

A doktori dolgozatomban bemutatott eredményeimet az alábbi tézispontokban foglalom össze:

1. Budapest és Debrecen aeroszol terhelésének összehasonlító vizsgálata

Ezen tézispontokban a 2009. december 8. és 2010. március 18. között gyűjtött légköri aeroszol minták vizsgálatának eredményeit mutatom be.

1.1 Megállapítottam, hogy a vizsgált időszakban (2009-2010 telén) Budapesten a $PM_{2,5}$ koncentráció átlagosan $22 \mu g/m^3$, míg Debrecenben $17 \mu g/m^3$ volt. PM_{10} esetében Budapesten 32, Debrecenben $23 \mu g/m^3$ volt az átlagos szennyezettség. Megállapítottam, hogy hétvégén jelentősen csökkent a durva frakció koncentrációja a hétköznapiakhoz képest. A csökkenés mértéke Budapesten volt nagyobb. $PM_{2,5}$ esetében nem volt lényeges eltérés a hét napjai között.

1.2 Kimutattam, hogy a napi tömegkoncentráció a PM_{10} frakció esetében Budapesten 7, Debrecenben 1 esetben, míg a $PM_{2,5}$ frakcióban Budapesten 34, Debrecenben pedig 18 alkalommal lépte túl a WHO által ajánlott 24 órás határértéket (PM_{10} : $50 \mu g/m^3$, $PM_{2,5}$: $25 \mu g/m^3$). A határérték túllépések esetében a napi átlaghőmérséklet mindig fagypont alatt volt.

1.3 Megállapítottam, hogy a durva frakcióban a természetes eredetű elemek (Al, Si, Ca, Ti, Mn, Fe, Ba) és a klór, míg a finom frakcióban az antropogén forrásból származó elemek (S, K, Cu, Zn, Pb) domináltak. Megmutattam, hogy a S valamint a K koncentrációja a két városban hasonló volt, míg a közlekedést nyomjelző elemek koncentrációi Budapesten 2-3-szor nagyobb voltak. Meghatároztam, hogy az epizódszerűen megjelenő Cl csúcsok a havazásokhoz köthetők.

1.4 PMF analízissel megállapítottam, hogy a durva frakció aeroszol forrásai Budapesten a talaj, a közlekedés, az út pora, a szulfát és az utak téli sózása, míg Debrecenben a kétféle talaj (futóhomok és lösz), a közlekedés, a szulfát és az utak téli sózása. A finom frakcióban azonosított források Budapesten a talaj, a közlekedés, a biomassza égetés, a szulfát, és a Cl-ban gazdag forrás, míg Debrecenben a biomassza égetés, a közlekedés, a szulfát, a Cl-ral nyomjelzett forrás, az út pora, és a kétféle talaj.

1.5 Megmutattam, hogy a regionális transzportból származó szulfát járuléka a két városban azonos volt, míg a közlekedéshez köthető források járuléka Budapesten volt a nagyobb. Megállapítottam, hogy azokon a napokon, amikor a PM_{2,5} koncentráció meghaladta a 25 µg/m³-t, a szulfát, a háztartási tüzelés valamint a közlekedés járuléka az átlaghoz képest megnövekedett, míg hétvégeken és ünnepnapokon a talaj és a közlekedés járuléka lecsökkent.

2. Klór kémiai formájának meghatározása légköri aeroszol mintákban

A klór a légköri részecskék egyik fontos alkotóeleme. Kémiai formája elsődleges fontosságú a források meghatározásához és az egészségügyi hatások becsléséhez. Ebben a tézispontban a finom frakciós aeroszolban lévő klór kémiai formájának meghatározásában elért eredményeket összegzem.

2.1 Nagy-felbontású (HR) hullámhossz diszperzív PIXE módszert alkalmaztam klór kémiai formájának meghatározására aeroszol mintákon. Különböző referencia vegyületek valamint több aeroszol minta klór K_{α} spektrumainak vizsgálatából megállapítottam, hogy a klór oxidációs állapota a vártnak megfelelő volt, -1. Megállapítottam továbbá, hogy a nagy-felbontású (HR) hullámhossz diszperzív PIXE módszer alkalmas a klór kémiai formájának jellemzésére vékony szűrőkre gyűjtött aeroszol mintákon a klór K_{β} röntgen vonalának nagy energia-feloldású analízisén keresztül.

2.2 A budapesti kampányból származó finom frakciós aeroszol mintákban lévő klór K_{β} HR-PIXE spektrumának és klórt tartalmazó referenciavegyületek K_{β} spektrumának az összehasonlításából kimutattam, hogy klór NaCl formában volt jelen.

3. Villamos nyomvonal építésének hatása Debrecen levegőminőségére

Vizsgáltam a 2011-2013 között megvalósult 2-es villamos nyomvonal építésének a hatását Debrecen város levegőminőségére. Ebben a tézispontban összegzem ennek a tanulmánynak az eredményeit.

3.1 Megmutattam, hogy a nagyobb léptékű építkezéseknek, mint pl. új villamos nyomvonal kiépítése, csak lokális hatása van egy város aeroszol szennyezettségének szintjére. A nyomvonal építés miatt keletkezett többlet aeroszol terhelés helyi, csupán néhány utcára terjedt ki. Azonban az építkezés mellett élő vagy dolgozó személyek az építkezés ideje alatt folyamatosan jelentősen megnövekedett $PM_{2,5}$ és PM_{10} koncentrációnak voltak kitéve.

3.2 Megmutattam, hogy közvetlenül az építkezés mellett a PM_{10} koncentrációk 10-20-szor magasabbak voltak, mint a közeli városi háttérterületeken, valamint esetenként jelentősen megnövekedett nehézfém koncentrációkat is mértünk.

3.3 Kimutattam, hogy az építkezéshez közeli városi háttér monitoring állomáson az építkezés ideje alatt megváltoztak a havi és évszakos tendenciák. A $PM_{2,5}$ frakció esetében a vizsgált időszakban (2006-2019) téli maximumok és nyári minimumok figyelhetők meg. 2012-2013-ban, az építkezés ideje alatt ez megváltozott: egész évben magas $PM_{2,5}$ koncentrációkat mértünk, valamint kialakultak nyáron maximumok is. A durva frakcióban (PM_{durva}) a szokásos tavaszi és őszi maximumok alakultak

ki, csak magasabb átlagkoncentrációkkal. Az elemi összetételben szignifikáns változás nem volt, azonban a Fe, Mn, Ni és Cr elemek koncentrációja jelentősen megnövekedett az építkezés ideje alatt. A lokális szélirány szerinti eloszlásából megállapítottam, hogy az elemek koncentráció növekedése a villamosvonal építésnek tulajdonítható.

Publikációk

Az értekezés alapját képező közlemények:

- [1] **Furu, E.**, Katona-Szabó, I., Angyal, A., Szoboszlai, Z., Török, Zs., Kertész, Zs.: The effect of the tramway track construction on the aerosol pollution in Debrecen, Hungary. Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. B 363, 124-130, 2015. ISSN: 0168-583X. <https://doi.org/10.1016/j.nimb.2015.08.014>

- [2] Kertész, Zs., **Furu, E.**, Kavcic, M.: Chemical speciation of chlorine in atmospheric aerosol samples by high-resolution proton induced X-ray emission spectroscopy. Spectroc. Acta Pt. B 79-80, 58-62, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.sab.2012.11.009>

- [3] **Furu, E.**, Angyal, A., Papp, E., Török, Zs., Szoboszlai, Z., Kertész, Zs.: Characterization of aerosol pollution in two Hungarian cities in winter 2009-2010 using PIXE analytical technique. (előkészületben)

Az értekezés tárgyköréhez kapcsolódó egyéb közlemények:

- [4] **Furu, E.**, Katona-Szabó, I., Angyal, A., Szoboszlai, Z., Török, Zs., Kertész, Zs.: Aeroszol szennyezettség vizsgálata villamospálya építés mentén Debrecenben. XI. Magyar Aeroszol Konferencia: programok és előadáskivonatok. Debrecen 2013. október 28-30.
- [5] **Furu, E.**, Kertész, Zs., Kavcic, M.: Klór kémiai állapotának meghatározása aeroszol mintákban nagyfelbontású hullámhossz-diszperzív PIXE módszerrel. XI. Magyar Aeroszol Konferencia: Programok és előadás kivonatok. Debrecen 2013. október 28-30.
- [6] **Furu, E.**, Angyal, A., Szoboszlai, Z., Török, Zs., Papp, E., Kertész, Zs.: Aeroszol szennyezettség Budapesten és Debrecenben 2009-2010 telén. A XIII. Magyar Aeroszol Konferencia előadás kivonatai. Pécsi Tudományegyetem, Pécs, 61-62, 2017.
- [7] **Furu, E.**, Katona-Szabó, I., Angyal, A., Szoboszlai, Z., Török, Zs., Kertész, Zs.: The construction of the Debrecen No2 tramline: Effects on the urban aerosol pollution. 1st Innovation in Science 2014: Doctoral Student Conference. May 2-3, 2014, Szeged.



Nyilvántartási szám: DEENK/280/2020.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Furu Enikő
Doktori Iskola: Kémiai Tudományok Doktori Iskola
MTMT azonosító: 10015746

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Idégen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (2)

1. **Furu, E.**, Katona-Szabó, I., Angyal, A., Szoboszlai, Z., Török, Z., Kertész, Z.: The effect of the tramway track construction on the aerosol pollution in Debrecen, Hungary.
Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. B-Beam Interact. Mater. Atoms. 363, 124-130, 2015. ISSN: 0168-583X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.nimb.2015.08.014>
IF: 1.389
2. Kertész, Z., **Furu, E.**, Kavčič, M.: Chemical speciation of chlorine in atmospheric aerosol samples by high-resolution proton induced X-ray emission spectroscopy.
Spectrosc. Acta Pt. B-Atom. Spectr. 79-80, 58-62, 2013. ISSN: 0584-8547.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.sab.2012.11.009>
IF: 3.15

További közlemények

Magyar nyelvű könyvek (1)

3. Szerk. Kertész, Z., Szikszai, Z., Angyal, A.; **Furu, E.**, szerk. Szoboszlai, Z., Török, Z.: XI. Magyar Aeroszol Konferencia: Debrecen 2013. október 28-30.: Program és előadáskivonatok. MTA ATOMKI, Debrecen, 95 p., 2013. ISBN: 9789638321503

Magyar nyelvű könyvrészek (1)

4. Angyal, A., Bálint, M., Bacskai, I., Csedreki, L., **Furu, E.**, Kertész, Z., Papp, E., Szoboszlai, Z., Szikszai, Z.: A második hajdúböszörményi szitula elemanalitikai vizsgálata.
In: A második hajdúböszörményi szitula és kapcsolatrendszere = The second situla of hajdúböszörmény and its relations.. Szerk.: V. Szabó Gábor, Bálint Marianna, Váci Gábor, Cótivos Lóránd Tudományegyetem Régészettudományi Intézet ; Hajdúböszörmény : Hajdúsági Múzeum, Budapest, 69-77, 2017. (Studia oppidorum Haidonicallum, ISSN 1585-5155 ; 13.) ISBN: 9789638857439





Idegen nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (2)

5. Major, I., **Furu, E.**, Janovics, R., Hajdas, I., Kertész, Z., Molnár, M.: Method development for the 14 C measurement of atmospheric aerosols.
Acta Phys. Debr. 46, 83-95, 2012. ISSN: 1789-6088.

6. Szoboszlai, Z., Nagy, G., Kertész, Z., Angyal, A., **Furu, E.**, Török, Z., Ratter, K., Scinkovicz, P., Kiss, Á. Z.: Characterization of atmospheric aerosols in different indoor environments.
Acta Phys. Debr. 45, 207-217, 2011. ISSN: 1789-6088.

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (17)

7. Papp, E., Nagy, D., Szoboszlai, Z., Angyal, A., Török, Z., Csepregi, Á., **Furu, E.**, Kertész, Z.: Investigation of aerosol pollution inside trams in Debrecen, Hungary.
Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. B-Beam Interact. Mater. Atoms. 477, 138-143, 2020. ISSN: 0168-583X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.nimb.2019.09.054>
IF: 1.27 (2019)
8. Kozmáné Szirtesi, K., Angyal, A., Szoboszlai, Z., **Furu, E.**, Török, Z., Igaz, T., Kertész, Z.: Airborne Particulate Matter: an Investigation of Buildings with Passive House Technology in Hungary.
Aerosol Air Qual. Res. 18 (5), 1282-1293, 2018. ISSN: 1680-8584.
DOI: <http://dx.doi.org/10.4209/aaqr.2017.05.0158>
IF: 2.735
9. Major, I., Gyökös, B., Túri, M., Futó, I., Filep, Á., Hoffer, A., **Furu, E.**, Jull, A. J. T., Molnár, M.: Evaluation of an automated EA-IRMS method for total carbon analysis of atmospheric aerosol at HEKAL.
J. Atmos. Chem. 75 (1), 85-96, 2018. ISSN: 0167-7764.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10874-017-9363-y>
IF: 1.783
10. Doncheva, S., Penev, I., Tsekova, G., **Furu, E.**, Szikszai, Z., Uzonyi, I.: Elemental composition of artefacts found at the 10th Century Decorative Metalwork Centre near Nadarevo, Region of Targovishte, Bulgaria.
Archaeol. Bulg. 21 (1), 75-88, 2017. ISSN: 1310-9537.
11. Sánchez de, I. T. M., Angyal, A., Kertész, Z., Dubernet, S., Le Bourdonnec, F. X., **Furu, E.**, Papp, E., Szoboszlai, Z., Szikszai, Z.: Trace element mapping of two Pyrenean chert deposits (SW Europe) by PIXE.
Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. B-Beam Interact. Mater. Atoms. 400, 58-64, 2017. ISSN: 0168-583X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.nimb.2017.04.016>
IF: 1.323





12. Szikszai, Z., Angyal, A., Csedreki, L., **Furu, E.**, Huszánk, R., Kertész, Z., Szoboszlai, Z., Török, Z., Uzonyi, I.: Trans-National Access in the field of heritage science at the Laboratory of Ion Beam Applications, MTA Atomki.
Techné. 43, 59-62, 2016. ISSN: 1254-7867.
13. Kertész, Z., **Furu, E.**, Angyal, A., Freiler, Á., Török, K., Horváth, Á.: Characterization of uranium and thorium containing minerals by nuclear microscopy.
J. Radioanal. Nucl. Chem. 306 (1), 283-288, 2015. ISSN: 0236-5731.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10967-015-4175-5>
IF: 0.983
14. Balta, Z. I., Csedreki, L., **Furu, E.**, Cretu, I., Huezánk, R., Lupu, M. I., Török, Z., Kertész, Z., Szikszai, Z.: Ion beam analysis of golden threads from Romanian medieval textiles.
Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. B-Beam Interact. Mater. Atoms. 348, 285-290, 2015. ISSN: 0168-583X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.nimb.2015.01.027>
IF: 1.389
15. Major, I., **Furu, E.**, Haszpra, L., Kertész, Z., Molnár, M.: One-year-long continuous and synchronous data set of fossil carbon in atmospheric PM2.5 and carbon dioxide in Debrecen, Hungary.
Radiocarbon. 57 (5), 991-1002, 2015. ISSN: 0033-8222.
DOI: http://dx.doi.org/10.2458/azu_rc.57.18191
IF: 4.565
16. Balta, Z. I., Cretu, I., Lupu, M. I., Csedreki, L., Szikszai, Z., Huszánk, R., Uzonyi, I., Kertész, Z., **Furu, E.**: Analysis of golden threads from Romanian medieval textiles by IBA techniques.
Restitutio. 7, 162-170, 2013. ISSN: 2065-2992.
17. Vasilescu, A., Constantinescu, B., Chiojdeanu, C., Stan, D., Simon, R., Ceccato, D., Simon, A., Kertész, Z., Szikszai, Z., Uzonyi, I., Csedreki, L., **Furu, E.**: Elemental characterization of Bronze Age copper objects by micro-beam measurements.
Rom. Rep. Phys. 65 (4), 1222-1233, 2013. ISSN: 1221-1451.
IF: 1.137
18. Doncheva, S., Penev, I., Tsekova, G., **Furu, E.**, Szikszai, Z., Uzonyi, I.: Elemental composition of metal artefacts from the 10th c. metal art centre near the village of Zlatar, Preslav region, NE Bulgaria.
Archaeol. Bulg. 17 (1), 71-85, 2013. ISSN: 1310-9537.
19. Doncheva, S., Tsekova, G., Penev, I., Nikolova, E., **Furu, E.**, Szikszai, Z., Uzonyi, I.: Elemental composition of metal artifacts from the early medieval centre for artistic metal finds near the village of Novosel, Shumen Region, NE Bulgaria.
Archaeol. Bulg. 16 (1), 67-82, 2012. ISSN: 1310-9537.





20. Szoboszlai, Z., Kertész, Z., Szikszai, Z., Angyal, A., **Furu, E.**, Török, Z., Daróczy, L., Kiss, Á. Z.:
Identification and chemical characterization of particulate matter from wave soldering
processes at a printed circuit board manufacturing company.
J. Hazard. Mater. 203-204, 308-316, 2012. ISSN: 0304-3894.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.12.030>
IF: 3.925
21. Szoboszlai, Z., **Furu, E.**, Angyal, A., Szikszai, Z., Kertész, Z.: Investigation of indoor aerosols
collected at various educational institutions in Debrecen, Hungary.
X-Ray Spectrom. 40 (3), 176-180, 2011. ISSN: 0049-8246.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/xrs.1323>
IF: 1.445
22. Szikszai, Z., Kertész, Z., Bodnár, E., Borbó, I., Kiss, B. K., Angyal, A., Csedreki, L., **Furu, E.**,
Szoboszlai, Z., Kiss, Á. Z., Hunyadi, J.: Nuclear microprobe investigation of the penetration of
ultrafine zinc oxide into human skin affected by atopic dermatitis.
Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B. 269 (20), 2278-2280, 2011. ISSN: 0168-583X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.nimb.2011.02.055>
IF: 1.211
23. Angyal, A., Kertész, Z., Szikszai, Z., Szoboszlai, Z., **Furu, E.**, Csedreki, L., Daróczy, L.: Study of
emission episodes of urban aerosols by ion beam analytical techniques.
Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. B-Beam Interact. Mater. Atoms. 269 (20), 2399-
2403, 2011. ISSN: 0168-583X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.nimb.2011.02.057>
IF: 1.211

Magyar nyelvű konferencia közlemények (8)

24. Kozmáné Szirtesi, K., Angyal, A., Szoboszlai, Z., **Furu, E.**, Török, Z., Kertész, Z.: Aeroszol
vizsgálatok passzív ház technológiás épületekben.
In: Műszaki tudomány az Észak-kelet Magyarországi Régióban 2015 : konferencia előadásai
: Debrecen, 2015. június 11.. Szerk.: Bodzás Sándor, Debreceni Akadémiai Bizottság
Műszaki Szakbizottsága, Debrecen, 398-407, 2015. ISBN: 9789637064326
25. Major, I., Gyökös, B., **Furu, E.**, Futó, I., Horváth, A., Kertész, Z., Molnár, M.: Szezonális légköri
aeroszol szénizotóp összetétel változások Debrecenben.
In: X. Kárpát-medencei környezettudományi konferencia. Szerk.: Zsigmond Andrea,
Szigyártó Lidia, Ábel K., Kolozsvár, 266-270, 2014.
26. **Furu, E.**, Szoboszlai, Z., Angyal, A., Török, Z., Kertész, Z.: Beltéri aeroszol vizsgálat debreceni
oktatási intézményekben.
In: VII. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia: 2011. március 24-27., Kolozsvár.
Szerk.: Mócsy Ildikó et al, Ábel Kiadó, Kolozsvár, 99-103, 2011.





27. Török, Z., Kertész, Z., Szikszai, Z., Szoboszlai, Z., Angyal, A., **Furu, E.**: Európa "aeroszol-
ujjlenyomata" Debrecen város legkörében.
In: VII. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia: 2011. március 24-27., Kolozsvár.
Szerk.: Mócsy Ildikó et al, Ábel Kiadó, Kolozsvár, 95-98, 2011.
28. **Furu, E.**, Kertész, Z., Borbélyné Kiss, I., Dobos, E., Angyal, A., Szoboszlai, Z.: Változások és
tendenciák a debreceni aeroszol (szálló por) koncentrációjában és összetételében.
In: VI. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia Nyíregyháza, 2010. április 22-24.
Szerk.: Szabó Béla, Tóth Csilla, Bessenyei Kvk., Nyíregyháza, 283-288, 2010. ISBN:
9789639909571
29. Angyal, A., Kertész, Z., Szikszai, Z., Szoboszlai, Z., **Furu, E.**: Városi aeroszol forrásai.
In: VII. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia: 2011. március 24-27., Kolozsvár /
[szerk. Mócsy Ildikó et al.], Ábel Kiadó, Kolozsvár, 90-94, 2011.
30. Csedreki, L., Szabó, S., Uzonyi, I., Kertész, Z., Szoboszlai, Z., Angyal, A., **Furu, E.**, Kiss, Á. Z.:
Felső-tiszai árter környezeti nevezőfém-szennyeződésének vizsgálata röntgenfluoreszcens
analízissel.
In: VI. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia. Nyíregyháza, 2010. április 22-24..
Szerk.: Szabó Béla, Tóth Csilla, Bessenyei György Kiadó, Nyíregyháza, 289-294, 2010.
ISBN: 9789639909571
31. Angyal, A., Kertész, Z., Szikszai, Z., Szoboszlai, Z., **Furu, E.**: Városi aeroszol emissziós
epizódjainak vizsgálata ionnyaláb analitikai módszerekkel.
In: VI. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia Nyíregyháza, 2010. április 22-24..
Szerk.: Szabó Béla, Tóth Csilla, Bessenyei Kvk., Nyíregyháza, 277-282, 2010. ISBN:
9789639909571

Idégen nyelvű konferencia közlemények (2)

32. Török, Z., Szoboszlai, Z., **Furu, E.**, Angyal, A., Kouznetsov, R., Sofiev, M., Kertész, Z.: Aerosol
transport modelling over Debrecen, Hungary.
In: 17th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling
for Regulatory Purposes. Ed.: Bozó L., Ferenczi Z., T. Puskás M, Hungarian Meteorological
Service, Budapest, 509-512, 2016. ISBN: 9789639931107
33. Szoboszlai, Z., Filep, Á., Török, Z., Kertész, Z., **Furu, E.**, Fodor, G. H., Bozóki, Z., Szabó, G.,
Peták, F.: Nuclear microprobe investigation of red sludge dust deposition in rat lung.
In: Abstracts of the International Aerosol Conference, [s.n.], [Busan], 18-28, 2014.

Magyar nyelvű absztrakt kiadványok (15)

34. Angyal, A., **Furu, E.**, Papp, E., Török, Z., Szikszai, Z., Kertész, Z.: Helyi forrásokból, hosszú- és
rövidtávú transzportból származó aeroszol azonosítása.
In: A XIV. Magyar Aeroszol Konferencia, Wigner Fizikai Kutatóközp., Budapest, 33-34, 2019.
ISBN: 9786150064154





35. Papp, E., Nagy, D., Szoboszlai, Z., Angyal, A., Török, Z., Csepregi, Á., **Furu, E.**, Kertész, Z.:
Légköri aeroszol szennyezettség vizsgálata a debreceni villamosokon.
In: A XIV. Magyar Aeroszol Konferencia, Wigner Fizikai Kutatóközp., Budapest, 91-92, 2019.
ISBN: 9786150064154
36. Török, Z., Angyal, A., **Furu, E.**, Papp, E., Borbélyné Kiss, I., Kertész, Z.: Szulfát tartalmú aeroszol
részecskék forrásai Debrecenben.
In: A XIV. Magyar Aeroszol Konferencia, Wigner Fizikai Kutatóközp., Budapest, 74-75, 2019.
ISBN: 9786150064154
37. **Furu, E.**, Angyal, A., Szoboszlai, Z., Török, Z., Papp, E., Kertész, Z.: Aeroszol szennyezettség
Budapesten és Debrecenben 2009-2010 telén.
In: A XIII. Magyar Aeroszol Konferencia előadás-kivonatai. Szerk.: Schmeller Gabriella, Pécsi
Tudományegyetem, Pécs, 61-62, 2017. ISBN: 9789634291275
38. Major, I., **Furu, E.**, Somodi, G., Kertész, Z., Molnár, M.: Debreceni aeroszoliminták 3 évet átfogó
szerves és elemi széntartalom meghatározása thermo-optikai módszerrel.
In: A XIII. Magyar Aeroszol Konferencia előadás-kivonatai. Szerk.: Schmeller Gabriella, Pécsi
Tudományegyetem, Pécs, 59-60, 2017. ISBN: 9789634291275
39. Papp, E., **Furu, E.**, Szoboszlai, Z., Angyal, A., Török, Z., Kertész, Z.: Légköri aeroszol
koncentrációja, összetétele, méreteloszlása és forrásai tömegközlekedési eszközökön.
In: A XIII. Magyar Aeroszol Konferencia előadás-kivonatai. Szerk.: Schmeller Gabriella, Pécsi
Tudományegyetem, Pécs, 69-70, 2017. ISBN: 9789634291275
40. Angyal, A., Bétéri, G., **Furu, E.**, Papp, E., Szoboszlai, Z., Török, Z., Kertész, Z.: Városi aeroszol
forrásainak azonosítása fűtési időszakban.
In: A XIII. Magyar Aeroszol Konferencia előadás-kivonatai. Szerk.: Schmeller Gabriella, Pécsi
Tudományegyetem, Pécs, 65, 2017. ISBN: 9789634291275
41. Papp, E., **Furu, E.**, Kertész, Z.: Légköri aeroszol szennyezés vizsgálata tömegközlekedési
eszközökön Debrecenben.
In: A XII. Magyar Aeroszol Konferencia előadás-kivonatai. Szerk.: Filep Ágnes, Mucsiné
Égerházi Lilla, Szegedi Tudományegyetem, Szeged, 46-47, 2015. ISBN: 9789633063644
42. **Furu, E.**, Katona-Szabó, I., Angyal, A., Szoboszlai, Z., Török, Z., Kertész, Z.: Aeroszol
szennyezettség vizsgálata villamos pályaeépítés mentén Debrecenben.
In: XI. Magyar Aeroszol Konferencia : programok és előadaskivonatok: Debrecen 2013.
október 28-30, MTA Atommagkutató Intézet, Debrecen, 76-77, 2013. ISBN: 9789638321503
43. Kozmáné Szirtesi, K., Angyal, A., Szoboszlai, Z., **Furu, E.**, Török, Z., Kertész, Z.: Aeroszol
vizsgálatok ócsai passzívház-közelében.
In: XI. Magyar Aeroszol Konferencia : programok és előadaskivonatok: Debrecen 2013.
október 28-30, MTA Atommagkutató Intézet, Debrecen, 48-49, 2013. ISBN: 9789638321503





44. Angyal, A., Kertész, Z., Ferenczi, Z., **Furu, E.**, Szoboszlai, Z., Török, Z., Szikszai, Z.: Debreceni városi aeroszol forrásai szmog ideje alatt.
In: XI. Magyar Aeroszol Konferencia : programok és előadáskivonatok: Debrecen 2013.
október 28-30, MTA Atommagkutató Intézet, Debrecen, 74-75, 2013. ISBN: 9789638321503
45. Török, Z., Angyal, A., **Furu, E.**, Szoboszlai, Z., Kertész, Z.: Fejlesztések Debrecenben: Levegőre kihozott ionnyalábos mikro-PIXE rendszer aeroszol minták mérésére.
In: XI. Magyar Aeroszol Konferencia : programok és előadáskivonatok: Debrecen 2013.
október 28-30, MTA Atommagkutató Intézet, Debrecen, 36-37, 2013. ISBN: 9789638321503
46. **Furu, E.**, Kertész, Z., Kavčić, M.: Klór kémiai állapotának meghatározása aeroszol mintákban nagy felbontású hullámhossz diszperzív PIXE módszerrel.
In: XI. Magyar Aeroszol Konferencia : programok és előadáskivonatok: Debrecen 2013.
október 28-30, MTA Atommagkutató Intézet, Debrecen, 88-89, 2013. ISBN: 9789638321503
47. Papp, E., **Furu, E.**, Angyal, A., Szoboszlai, Z., Török, Z., Kertész, Z.: Légköri aeroszol terhelés vizsgálata tömegközlekedési eszközökön.
In: XI. Magyar Aeroszol Konferencia : programok és előadáskivonatok: Debrecen 2013.
október 28-30, MTA Atommagkutató Intézet, Debrecen, 48-49, 2013. ISBN: 9789638321503
48. Szoboszlai, Z., Kertész, Z., Szikszai, Z., Angyal, A., **Furu, E.**, Török, Z., Daróczy, L., Kiss, A. Z.: Nyomlatott áramkörök hullámforrasztása során keletkezett aeroszolrészecskék azonosítása és kémiai jellemzése.
In: XI. Magyar Aeroszol Konferencia : programok és előadáskivonatok: Debrecen 2013.
október 28-30, MTA Atommagkutató Intézet, Debrecen, 50-51, 2013. ISBN: 9789638321503

Idégen nyelvű absztrakt kiadványok (9)

49. Angyal, A., **Furu, E.**, Papp, E., Török, Z., Szikszai, Z., Kertész, Z.: Identification of Urban Aerosol Sources During Heating Seasons in Debrecen, Hungary.
European Aerosol Conference 2019, 066, 2019.
50. Török, Z., Angyal, A., **Furu, E.**, Papp, E., Kouznetsov, R., Sofiev, M., Kertész, Z.: Long-range Transport of Fine Aerosol Particles in Debrecen, Hungary.
European Aerosol Conference 2019, 069, 2019.
51. Kertész, Z., Angyal, A., Bétéri, G., **Furu, E.**, Major, I., Papp, E., Szikszai, Z., Szoboszlai, Z., Török, Z., Molnár, M.: Composition and sources of particulate matter pollution in five Hungarian cities in 2015.
In: 15th International Conference on Particle Induced X-ray Emission: PIXE2017., Ed.: Fazinic S., Zamboni I, Ruder Boskovic Institute, Split, 65, 2017. ISBN: 9789537941147
52. Török, Z., Szoboszlai, Z., **Furu, E.**, Angyal, A., Kouznetsov, R., Sofiev, M., Kertész, Z.: Fingerprint and footprint of atmospheric aerosol sources over a Hungarian city.
In: 15th International Conference on Particle Induced X-ray Emission: PIXE2017., Ed.: Fazinic S., Zamboni I, Ruder Boskovic Institute, Split, 96-97, 2017. ISBN: 9789537941147





53. Angyal, A., Bálint, M., Bacskai, I., Csedreki, L., **Furu, E.**, Papp, E., Szoboszlai, Z., Kertész, Z., Szikszai, Z.: Quantitative elemental analysis of Bronze Age situla by external micro-PIXE.
In: 15th International Conference on Particle Induced X-ray Emission: PIXE2017. Ed.: Fazinic S., Zamboni I, Ruder Boskovic Institute, Split, 93, 2017. ISBN: 9789537941147
54. Papp, E., **Furu, E.**, Szoboszlai, Z., Angyal, A., Török, Z., Kertész, Z.: Study of aerosol pollution on public transport vehicles.
In: 15th International Conference on Particle Induced X-ray Emission: PIXE2017. Ed.: Fazinic S., Zamboni I, Ruder Boskovic Institute, Split, 98, 2017. ISBN: 9789537941147
55. Török, Z., Kertész, Z., Szoboszlai, Z., Angyal, A., **Furu, E.**, Szikszai, Z., Borbélyné Kiss, I.: Long range transport and local anthropogenic sources of fine aerosol particles over Debrecen.
In: 1st Innovation in Science 2014 : Doctoral Student Conference : May 2-3, 2014, Szeged. Ed.: Szilárd Szélpál, Magyar Kémikusok Egyesülete : Doktoranduszok Országos Szövetsége, [Budapest], 189-190, 2014. ISBN: 9789639970526
56. **Furu, E.**, Katona-Szabó, I., Angyal, A., Szoboszlai, Z., Török, Z., Kertész, Z.: The construction of the Debrecen No2 tramline: Effects on the urban aerosol pollution.
In: 1st Innovation in Science 2014 : Doctoral Student Conference : May 2-3, 2014, Szeged, Magyar Kémikusok Egyesülete : Doktoranduszok Országos Szövetsége, [Budapest], 176-177, 2014. ISBN: 9789639970526
57. Major, I., Vodla, G., **Furu, E.**, Kertész, Z., Haszpra, L., Hajdas, I., Molnár, M.: Development of radiocarbon-based methods to investigate atmospheric fossil carbon pollution.
Geophysical Research Abstracts. 15 (1), 7648, 2013. ISBN: 1029-7006.

A közlő folyóiratok összesített impact faktora: 27,516

A közlő folyóiratok összesített impact faktora (az értekezés alapján szolgáló közleményekre): 4,539

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, 2020.10.06.



