

**Short thesis for the degree of doctor of
philosophy (PhD)**

**Investigation of aerosol
pollution in residential areas by
microanalytical methods**

by Enikő Emese Fodorné Furu

Supervisor: Dr. Zsófia Kertész



University of Debrecen
Doctoral School of Chemistry

Debrecen, 2020

Introduction

Air pollution in big cities is the result of numerous natural and anthropogenic emissions. These air pollutants have a significant impact on the biosphere, human health and the natural and built environment. Among the pollutants, particulate matter (PM) has the greatest impact on human health, primarily on the respiratory and circulatory systems. The risk of health damage increases with the degree of pollution and there is currently no known threshold concentration at which the adverse health effects of PM should not be expected. As a result, the identification of sources of particulate matter has become an increasingly urgent issue, since this knowledge is essential for the development of effective mitigation strategies.

Objectives

The objective of my PhD work was to identify and characterize aerosol sources in populated areas. The aim of the comparative study on the aerosol pollution in Budapest and Debrecen was to determine the aerosol concentration and its elemental composition, identify the pollution sources and study their dependence on meteorological conditions and anthropogenic activities. Another aim of the present work was to introduce an analytical technique which allows to investigate the chemical forms of the particles in thin aerosol samples. Finally, the short- and long-term and -distance effects of large-scale construction projects - such as the building of a new tram line in Debrecen - on the air quality of a city were also studied.

Applied methods

PM_{2.5} and PM_{coarse} aerosol samples were collected at the urban background sampling station located in the yard of the Institute for Nuclear Research in Debrecen, and at the automatic air quality monitoring station in Gilice square in the XIII district of Budapest. The sampling campaigns were performed by using Ghent-type two-stage samplers.

Alongside the construction of the new tram line aerosol samples were collected using a Nuclepore two-stage sampler connected to a Buck Elite portable diaphragm pump.

The mass concentration of the aerosol samples was determined by gravimetry while the elemental composition was measured by particle-induced X-ray emission (PIXE) analytical method. The PIXE method is a widely used analytical technique for determining the elemental composition of atmospheric aerosols. Main advantages of the PIXE technique are that it is nondestructive, no sample preparation is required, a small amount of material is sufficient for the analysis, and trace elements can be determined over a wide range of atomic numbers simultaneously. Another advantageous feature of PIXE that it can be applied simultaneously with complementary ion beam analytical techniques allowing a complex characterization of the samples. The PIXE measurements were carried out at the macro-PIXE chamber installed on the left 45° beamline of the 5MV VdG accelerator of Atomki.

By employing the PIXE technique with wave-length dispersive X-ray (WDX) spectroscopy it is possible to increase the energy resolution, which enables the chemical

speciation of elements. High resolution (HR) PIXE was used to determine the chemical form of the chlorine in fine aerosol samples collected on filters during the winter campaign in Budapest. The HR-PIXE measurements were performed at the Microanalytical Center of the Jozef Stefan Institute in Ljubljana, Slovenia.

Source apportionment was done by using the positive matrix factorization (PMF) receptor model developed by US EPA.

New scientific results

The results of my PhD work is summarized in the following thesis points:

1. Comparative study of aerosol pollution in Budapest and Debrecen

In this thesis point the results obtained by the analysis of atmospheric aerosol samples collected between December 8, 2009 and March 18, 2010 are presented.

1.1 In the investigated period (winter 2009-2010) the average $PM_{2.5}$ concentrations were $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ and $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in Budapest and Debrecen, respectively. In the case of PM_{10} the mean concentration was $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in Budapest and $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in Debrecen. The concentration of the coarse fraction decreased significantly over the weekends compared to working days. The rate of the decrease was larger in Budapest. For $PM_{2.5}$, there was no significant difference between the days of the week.

1.2 The daily concentration of PM_{10} exceeded the 24-h AQ limit value ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 7 times in Budapest and 1 time in Debrecen. In case of the $PM_{2.5}$ fraction the number of exceedances of the WHO recommended 24-h limit value ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) were 34 in Budapest and 18 in Debrecen. At the time of the exceedances the daily average temperature was always below freezing.

1.3 I found that the coarse fraction was dominated by elements of natural origin (Al, Si, Ca, Ti, Mn, Fe, Ba) and chlorine while the fine fraction was dominated by elements of anthropogenic origin (S, K, Cu, Zn, Pb). The concentrations of S and K were similar in the two cities, while the concentrations of elements related to were 2-3 times higher in Budapest. I showed that the episodic appearances of Cl could be related to snowfalls.

1.4 Using PMF analysis, the following sources were identified in the coarse fraction in Budapest: soil, traffic, road dust, sulphate and de-icing of roads (Cl). In Debrecen two types of soil (quicksand and loess), traffic, sulphate and the de-icing of roads (Cl) were recognized in the coarse mode. Sources identified in the fine fraction were soil, traffic, biomass burning, sulphate and a Cl-rich source in Budapest and biomass burning, traffic, sulphate, the Cl-rich source, road dust and two types of soil in Debrecen.

1.5 The contribution of sulphate originating from regional transport was the same in the two cities, while the contribution of sources related to traffic was higher in Budapest. On days when the $PM_{2.5}$ concentration exceeded $25 \mu g/m^3$ recommended AQ limit value the contribution of sulphate, domestic heating and traffic increased compared to the average, while on weekends and holidays the contribution of soil and traffic decreased.

2. Chemical speciation of chlorine in aerosol samples

Chlorine is an important component of atmospheric particles. The knowledge of its concentration and its chemical form is of primary importance in determining sources and estimating health effects. In this thesis point the results obtained in the chemical speciation of fine fraction chlorine is presented.

2.1 High-resolution (HR) wavelength dispersive PIXE method was used to determine the chemical form of chlorine in aerosol samples. The oxidation state of chlorine was found to be -1, as expected, by examining the chlorine $K\alpha$ spectra of various reference compounds as well as several aerosol samples. The high-resolution (HR) wavelength dispersive PIXE method was found to be suitable for the characterization of the chemical form of chlorine in thin aerosol samples through high-energy-resolution analysis of the chlorine $K\beta$ X-ray line.

2.2 I showed that chlorine was present in the form of NaCl in aerosol samples from the Budapest campaign by comparing the $K\beta$ HR-PIXE spectra of chlorine in the fine fraction aerosol samples and the Cl $K\beta$ spectra of reference compounds.

3. Impact of the construction of a new tramway on the air quality of Debrecen

The results of the study on the impact of the construction of tram line 2 on the air quality of the city of Debrecen is summarized under this thesis point.

3.1 I have shown that larger-scale constructions such as the construction of a new tramway has only a local effect on the level of aerosol pollution in a city. The excess aerosol pollution caused by the construction was only local, did not expand to the whole city, only to about few streets nearby. However, individuals who lived or worked next to the construction were exposed to significantly increased $PM_{2.5}$ and PM_{10} levels with high heavy metal contents continuously during the construction period.

3.2 In the immediate environment of the construction site PM_{10} concentrations were 10–20 times higher than in the nearby urban background areas, and in some cases increased heavy metal concentrations were also measured.

3.3 Monthly and seasonal trends changed during the construction at the nearby urban background monitoring station. In the case of the $PM_{2.5}$ fraction winter maxima and summer minima were observed in the studied period (2006-2019). In the time of the construction work (2012-2013) high concentration levels were measured throughout the year with summer maxima. In the coarse fraction (PM_{coarse}) the usual spring and autumn maxima were formed, only in higher concentrations. However, there was no significant change in the elemental composition. The concentration of Fe, Mn, Ni and Cr

elements increased considerably during the construction. From the distribution according to the local wind direction and wind speed I concluded that the increase in the concentration of these elements could be attributed to the construction of the tramline.

Publications

Articles related to the dissertation:

- [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. (in preparation)

Other articles related to the dissertation:

- [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.



Registry number: DEENK/280/2020.PL
Subject: PhD Publication List

Candidate: Enikő Furu
Doctoral School: Doctoral School of Chemistry
MTMT ID: 10015746

List of publications related to the dissertation

Foreign language scientific articles in international journals (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.**, Kavčić, 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

List of other publications

Hungarian books (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

Hungarian book chapters (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, Eötvös Lóránd Tudományegyetem Régészettudományi Intézet, Hajdúböszörmény : Hajdúböszörményi Múzeum, Budapest, 69-77, 2017, (Studia oppidorum Haidonicalium, ISSN 1585-5155 ; 13.) ISBN: 9789638857439





Foreign language scientific articles in Hungarian journals (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., Scinkovics, P., Kiss, Á. Z.: Characterization of atmospheric aerosols in different indoor environments.
Acta Phys. Debr. 45, 207-217, 2011. ISSN: 1789-6088.

Foreign language scientific articles in international journals (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., **Csedregi, L., 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., Huszánk, 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., Borbír, 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

Hungarian conference proceedings (8)

24. Kozmáné Szirtesi, K., Angyal, A., Szoboszlai, Z., **Furu, E.**, Török, Z., Kertész, Z.: Aaeroszol 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.: Mócsay Ildikó et al, Ábel Kiedő, 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 ártér környezeti nevézfém-szennyezódésinek 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

Foreign language conference proceedings (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.

Hungarian abstracts (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
Búdapecsten 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 aeroszolminták 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 előadáskivonatok: 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 előadáskivonatok: 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, Á. Z.: Nyomatott áramkörök hullámforrása 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

Foreign language abstracts (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), 7640, 2013. ISSN: 1029-7006.

Total IF of journals (all publications): 27,516

Total IF of journals (publications related to the dissertation): 4,539

The Candidate's publication data submitted to the IDEa Tudóster have been validated by DEENK on the basis of the Journal Citation Report (Impact Factor) database.

06 October, 2020

