

Doktori (PhD) értekezés tézisei

**Aeroszol-szennyezés jellemzése
Magyarország nagyvárosaiban**

Papp Enikő Ivett

Témavezető: Dr. Kertész Zsófia



DEBRECENI EGYETEM
Juhász-Nagy Pál Doktori Iskola

Debrecen, 2024.

Készült

A Debreceni Egyetem
Juhász-Nagy Pál Doktori Iskolájának
Alkalmazott Ökológia programja keretében
az Atommagkutató Intézetben

Bevezetés

A Föld légköre nemcsak gázmolekulákat tartalmaz, hanem benne finoman eloszlott (diszpergált) szilárd és cseppfolyós aeroszol-részecskék együttes rendszerét. Az elmúlt 20–25 évben jelentősen megnőtt a tudományos érdeklődés a légköri aeroszol iránt. Ez elsősorban annak köszönhető, hogy felismerték az antropogén eredetű aeroszol-részecskék globális éghajlatváltozásban játszott szerepének jelentőségét, valamint a környezetünkre és különösképpen az emberi egészségre gyakorolt negatív hatásait. A forgalmas és sűrűbben lakott nagyvárosokban élők még inkább ki vannak téve a káros hatásoknak, így az ilyen területek vizsgálata kiemelt jelentőséggel bír.

Célkitűzések

Doktori munkám során bekapcsolódtam az Atommagkutató Intézetben zajló légköri aeroszol kutatásokba. Értekezésem célja a tömegközlekedési eszközökön utasterében tapasztalható aeroszol-szennyezés jellemzése, illetve Magyarország öt nagyvárosában az aeroszol források földrajzi forrásterületeinek megállapítása. PhD munkám során meghatároztam a különböző típusú járműveken utazás közben észlelhető aeroszol-tömegkoncentrációt, elemi összetételt, méreteloszlást és a lehetséges utastéri szennyező forrásokat. Mivel a tömegközlekedési

eszközök légtérben tapasztalható aeroszol-koncentráció függ a városi levegő minőségétől és összetételétől, fontos ismerni a településeket jellemző aeroszol szennyezőforrásokat is. A városokban tapasztalható légszennyezők azonban nemcsak lokálisak lehetnek, hanem az országhatárokon túlról is érkehetnek nagytávolságú transzport folyamatok útján. Munkám további részében jellemeztem öt magyarországi nagyvárosban a légköri aeroszol-szennyezést és megállapítottam a szennyező források földrajzi helyét különböző légköri modellek alkalmazásával.

Vizsgálati módszerek

A tömegközlekedési eszközökön a mintavétel debreceni helyi járműveken, IC vonaton és a budapesti hármas metróon történt. Az aeroszol-minták gyűjtéséhez személyi kétfokozatú mintavevőt, valamint az aeroszol-méreteloszlás vizsgálatához személyi négyfokozatú kaszkádimpaktort alkalmaztam. A városi aeroszol-részecskék gyűjtése kétfokozatú Gent-típusú mintavevővel valósult meg Budapesten, Miskolcon, Pécsen, Nyíregyházán és Debrecenben az Atommagkutató Intézet területén is.

A gyűjtött aeroszol-minták $PM_{2,5}$, PM_{durva} és PM_{10} tömegkoncentrációját gravimetriával, míg az elemi összetételt részecske-indukált röntgenemissziós (Particle-Induced X-ray Emission-PIXE) analitikai technikával határoztam meg. A PIXE módszer kiválóan alkalmas a

légköri aeroszol-részecskék elemanalízisére, ugyanis nem igényel bonyolult minta-előkészítést, multielemes és kis anyagmennyiségű minta is elegendő a vizsgálathoz. A gyűjtött minták analízise az Atommagkutató Intézet 5 MV névleges feszültségű Van de Graaff típusú gyorsítójának bal 45°-os nyalábcsatornájára telepített makro-PIXE mérőkamrában valósult meg. A spektrumok kiértékelése és az elemkoncentrációk meghatározása a PIXEKLM és GUPIX szoftverek alkalmazásával történt. A nagytávolságú transzport útján érkező szennyezők földrajzi helyét időben visszafelé számolt HYSPLIT (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory model) trajektóriákkal, valamint PSCF (Potential Source Contribution Function) és CWT (Concentration Weighted Trajectory) analízisek kombinációjával határoztam meg.

Új tudományos eredmények

A doktori munkámban bemutatott eredményeket az alábbi tézispontokban foglalom össze:

1. Aeroszol-szennyezettség közösségi közlekedési eszközök utasterében

A következő tézispontokban a 2012-ben és 2014-ben tömegközlekedési eszközök utasterében gyűjtött aeroszol minták vizsgálatának eredményeit mutatom be.

1.1. Megállapítottam, hogy a közösségi közlekedési eszközök utasterében 2–19-szer nagyobb volt a PM koncentráció, mint városi háttér állomásokon.

1.2. Azonosítottam az aeroszol szennyező forrásait a tömegközlekedési eszközökön, melyek a következők voltak: kültéri levegő, ásványi por, az út porának felferődése, a motorok kibocsátása és a különböző beltéri források. Megállapítottam, hogy a vasúti járműveken nagy mennyiségben detektált vas, króm és mangán a sínkopásból származtak. A cinket és a rezet a felsővezeték kopásához kötöttem, míg a klórt utastérből származó elemként azonosítottam, mely feltételezhetően a nátrium-hipoklorit alapú tisztító- és fertőtlenítő szerekből került a járművek utasterébe.

1.3. Megállapítottam, hogy a méretfrakciónkénti relatív tömeg nagy része a földkéreg-eredetű elemeknél a

a 2,5–10 μm -es mérettartományban, az antropogén kültéri eredetű elemeknél a 0,25–0,50 μm és a 2,5–10 μm tartományban, míg az utastérből származó elemeknél a tömeg döntő hányada a 2,5–10 μm -es mérettartományban jelent meg.

2. A debreceni régi és új típusú villamosok utasterének aeroszol szennyezettsége 2017–2018 között

Utazás közben vizsgáltam két különböző generációs debreceni villamos utasterének, valamint ezzel párhuzamosan egy városi háttérterület aeroszol szennyezettségét fűtési és nem fűtési időszakokban. A következő tézispontokban összegzem ennek a tanulmánynak az eredményeit.

2.1. Megállapítottam, hogy a $\text{PM}_{2,5}$ koncentrációk átlagosan 2,6–4-szer, míg a PM_{durva} tömegkoncentrációk 2,5–4-szer voltak nagyobbak a villamosokon, mint a városi háttérterületen. Minden esetben a régi villamoson volt nagyobb a PM koncentráció, és a különbség a két villamos típus között nyáron volt nagyobb. A $\text{PM}_{2,5}/\text{PM}_{2,5+\text{durva}}$ arányok alapján kimutattam, hogy kültéren a finom frakció hozzájárulása a teljes tömeghez télen 60%, míg nyáron 50% körül alakult. A villamosok légterében a fűtési időszakban a durva frakció volt domináns (a $\text{PM}_{2,5}/\text{PM}_{2,5+\text{durva}}$ arány értéke 35, illetve 40% volt a régi és az új villamoson).

2.2. Megállapítottam, hogy a földkéreg-eredetű elemek (Al, Si, Ca, Ti) kültéri forrásból származtak, melyek az utasok és a közlekedés által reszuszpendált pornak, valamint a villamos pálya melletti útépitéseknek köszönhetően kerültek az utastérbe. Továbbá megállapítottam, hogy a vas forrása a sínek kopása, a réz és cink pedig a felsővezeték kopásához köthető. A jármű belső teréből származó elemként azonosítottam a klórt, mely a tisztítószeres használatához köthető.

3. Öt magyarországi nagyváros aeroszol-szennyezettségének jellemzése

Ezen tézispontokban bemutatom 2015. január és augusztus között Budapesten, Debrecenben, Miskolcon, Pécsen és Nyíregyházán gyűjtött aeroszol minták vizsgálatának eredményeit.

3.1. Megállapítottam, hogy a $PM_{2,5}$, PM_{durva} és PM_{10} tömegkoncentrációk átlagosan nagyobbak voltak Miskolcon a közlekedési mérőponton, mint a többi városban, ahol a mérési pontok városi háttérterületeken helyezkedtek el. Az átlagos $PM_{2,5}/PM_{10}$ arányok 50–73% között alakultak a fűtési időszakban. Megállapítottam, hogy télen minden városban a finom frakció járult hozzá nagyobb mértékben a teljes tömeghez. Ehhez képest nyáron a durva frakció dominált.

3.2. Megállapítottam, hogy durva frakciós tömeg fő összetevője az ásványi por volt, mely hozzájárulása a városokban mindkét időszakban átlagosan 13 és 42% között változott. Kimutattam, hogy a $PM_{2,5}$ esetében a fő összetevők közé tartozott a korom (8–25%), a szulfát (14–24%) és az ásványi por (7–13%).

3.3. A vizsgált öt városban azonos napokon azonosítottam egy szaharai- és egy ázsiai poreseményt. Ezeket az epizódokat a tömeg-, a titán-, a vas- és a stroncium koncentrációk változásai, valamint a HYSPLIT időben visszafelé számolt trajektóriák, illetve a NCEP-GEFS modell optikai mélység és felületi porkoncentráció térképei alapján azonosítottam.

3.4. Azonosítottam a durva frakciós klór és finom frakciós kén földrajzi forrásterületeit. Az eredmények alapján kimutattam, hogy a szulfát regionális forrásból származott mindkét időszakban és a jellemző forrásterületei a balkáni országok és esetenként Szlovákia voltak. A durva frakciós klór forrásterületei télen az Atlanti-Óceán, a Jeges-tenger, nyáron pedig főként az Adriai-tenger és az Atlanti-Óceán voltak.

A PhD értekezés alapjául szolgáló publikációk

1. **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. Meth. Phys. Res. Sect. B 477, 138-143, 2020.
2. **Papp, E.**, Angyal, A., Furu, E., Szoboszlai, Z., Török, Zs., Kertész, Zs. Case Studies of Aerosol Pollution in Different Public Transport Vehicles in Hungarian Cities. Atmosphere 13:5 Paper: 692, 18 p, 2022.
3. **Papp, E.**, Angyal, A., S. Bán, M. Molnár, I. Major, T. Varga, Furu, E. Kertész, Zs. Characterization of APM pollution in five major cities in Hungary in 2015. (előadásban)

A PhD értekezés tárgyköréhez kapcsolódó egyéb közlemények

4. **Papp, E.** Városi aeroszol szennyezés földrajzi eredete öt magyarországi nagyvárosban. XV. Magyar Aeroszol Konferencia előadás-kivonatai. Hévíz, 2022. szeptember 21-23.
5. **Papp, E.**, Nagy, D., Szoboszlai, Z., Angyal, A., Török, Z., Csepregi, Á., Furu, E., Kertész, Z.: Légtérbeni aeroszol szennyezettség vizsgálata a debreceni

villamosokon. XIV. Magyar Aeroszol Konferencia. Visegrád, 2019. október 2-4.

6. 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. 15th International Conference on Particle Induced X-ray Emission. Split, 2017. április 2-7.

7. **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. Split, 2017. április 2-7.

8. **Papp, E.**, Furu, E., Szoboszlai, Z., Angyal, A., Török, Z., Kertész, Z.: Légeköri aeroszol koncentrációja, összetétele, méreteloszlása és forrásai tömegközlekedési eszközökön. XIII. Magyar Aeroszol Konferencia előadás-kivonatai. Pécs, 2017. április 19-20.

9. **Papp, E.**, Furu, E., Kertész, Z.: Légeköri aeroszol szennyezés vizsgálata tömegközlekedési eszközökön Debrecenben. A XII. Magyar Aeroszol Konferencia előadás-kivonatai. Szeged, 2015. március 18-20.

10. **Papp, E.**, Furu, E., Angyal, A., Szoboszlai, Z., Török, Z., Kertész, Z.: Légeköri aeroszol terhelés vizsgálata tömegközlekedési eszközökön. XI. Magyar Aeroszol Konferencia: programok és előadáskivonatok. Debrecen, 2013. október 28-30.



Nyilvántartási szám: DEENK/136/2024.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Papp Enikő Ivett
Doktori Iskola: Juhász-Nagy Pál Doktori Iskola
MTMT azonosító: 10055294

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (2)

1. **Papp, E.**, Angyal, A., Furu, E., Szoboszlai, Z., Török, Z., Kertész, Z.: Case Studies of Aerosol Pollution in Different Public Transport Vehicles in Hungarian Cities.
Atmosphere. 13 (5), 1-18, 2022. ISSN: 2073-4433.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/atmos13050692>
IF: 2.9
2. **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: 1.377

További közlemények

Magyar nyelvű könyvrészletek (1)

3. 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, Váczi Gábor, Eötvös Lóránd Tudományegyetem Régészettudományi Intézet ; Hajdúböszörmény : Hajdúsági Múzeum, Budapest, 69-77, 2017, (Studia oppidorum Haidonicium, ISSN 1585-5155 ; 13.) ISBN: 9789638857439





Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (9)

4. Kertész, Z., Aljboor, S., Angyal, A., **Papp, E.**, Furu, E., Szarka, M., Bán, S., Szikszai, Z.:
Characterization of urban aerosol pollution before and during the COVID-19 crisis in a
central-eastern European urban environment.
Atmos. Environ. 318, 1-18, 2024. ISSN: 1352-2310.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2023.120267>
IF: 5 (2022)
5. Tóth, Á., Gyürky, G., **Papp, E.**, Szűcs, T.: Experimental ^7Be production cross section from the Li
 $7(p,n)^7\text{Be}$ reaction at $E_p=3.5\text{-}13\text{MeV}$.
Nucl. Phys. A 1041, 1-10, 2024. ISSN: 0375-9474.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.nuclphysa.2023.122778>
IF: 1.4 (2022)
6. Aljboor, S., Angyal, A., Baranyai, D., **Papp, E.**, Szarka, M., Szikszai, Z., Rajta, I., Vajda, I., Kertész,
Z.: Light-element sensitive in-air millibeam PIXE setup for fast measurement of atmospheric
aerosol samples.
J. Anal. At. Spectrom. 38 (1), 57-65, 2023. ISSN: 0267-9477.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1039/D2JA00291D>
IF: 3.4 (2022)
7. Vörösmarty, M., Uzu, G., Jaffrezo, J. L., Dominutti, P., Kertész, Z., **Papp, E.**, Salma, I.: Oxidative
potential in rural, suburban and city centre atmospheric environments in central Europe.
Atmos. Chem. Phys. 23 (22), 14255-14269, 2023. ISSN: 1680-7316.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5194/acp-23-14255-2023>
IF: 6.3 (2022)
8. Tarbay, J. G., Dani, J., Bálint, M., Kertész, Z., Szikszai, Z., **Papp, E.**, Lukács, B., Angyal, A.: PIXE
analysis of Late Bronze Age situlae from the eponymous Hajdúböszörmény-Csege-halom I
hoard and Sényő-Dajkahegy, Northeastern Hungary.
Arch. Rozhl. 75 (3), 278-292, 2023. ISSN: 0323-1267.
DOI: <http://dx.doi.org/10.35686/AR.2023.19>
IF: 0.6 (2022)
9. Furu, E., Angyal, A., Szoboszlai, Z., **Papp, E.**, Török, Z., Kertész, Z.: Characterization of Aerosol
Pollution in Two Hungarian Cities in Winter 2009-2010.
Atmosphere. 13 (4), 1-21, 2022. ISSN: 2073-4433.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/atmos13040554>
IF: 2.9
10. Angyal, A., Ferenczi, Z., Manousakas, M., Furu, E., Szoboszlai, Z., Török, Z., **Papp, E.**, Szikszai,
Z., Kertész, Z.: Source identification of fine and coarse aerosol during smog episodes in
Debrecen, Hungary.
Air Qual. Atmos. Health. 14 (7), 1017-1032, 2021. ISSN: 1873-9318.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11869-021-01008-8>
IF: 5.804





11. Sánchez de, I. T. M., Angyal, A., Kertész, Z., Dubernet, S., Le Bourdonnec, F. X., **Papp, E.**, Szoboszlai, Z., Török, Z., Csepregi, Á., Szikszai, Z.: Micro-PIXE studies on prehistoric chert tools: elemental mapping to determine Palaeolithic lithic procurement. *Archaeol. Anthropol. Sci.* 11 (6), 2375-2383, 2018. ISSN: 1866-9557.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s12520-018-0668-9>
IF: 1.978
12. Sánchez de, I. T. M., Angyal, A., Kertész, Z., Dubernet, S., Le Bourdonnec, F. X., Csedreki, 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

Magyar nyelvű absztrakt kiadványok (10)

13. **Papp, E.**: Városi aeroszol szennyezés földrajzi eredete öt magyarországi nagyvárosban.
In: XV. Magyar Aeroszol Konferencia. Szerk.: Jancsek-Turóczi Beatrix; Hoffer András, Pannon Egyetem, Veszprém, 14, 2022. ISBN: 9789633962473
14. 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
15. Kertész, Z., Szoboszlai, Z., Major, I., Varga, T., Angyal, A., Török, Z., **Papp, E.**, Molnár, M.: Légköri aeroszol szennyezés vizsgálata szmog epizód alatt méretelezlés, radiokarbon és PIXE analízis alapján.
In: A XIV. Magyar Aeroszol Konferencia előadásainak kivonata. Szerk.: Czitrovsky, Aladár; Kugler, Szilvia; Nagy, Attila Tibor; Veres, Miklós, MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont, Budapest, 88-90, 2019. ISBN: 9786150064154
16. **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
17. 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
18. 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





19. **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
20. 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
21. **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
22. **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

Idegen nyelvű absztrakt kiadványok (7)

23. Szoboszlai, Z., Major, I., Molnár, M., Varga, T., Angyal, A., Török, Z., **Papp, E.**, Kertész, Z.:
Characterization of urban aerosol pollution under a smog episode in Debrecen by radiocarbon analyses and size distribution, PIXE and radiocarbon analysis.
In: 16th International Conference on Particle Induced X-ray Emission PIXE2019 - Programme and Abstracts / P., Cristina Chaves; Miguel, A. Reis, Ad Fisicoteca, Caldas da Rainha, 128, 2019. ISBN: 9789892092775
24. 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.
25. **Papp, E.**, Nagy, D., Angyal, A., Szoboszlai, Z., Török, Z., Csepregi, Á., Kertész, Z.: Investigation of aerosol pollution on trams in Debrecen (Hungary).
In: 16th International Conference on Particle Induced X-ray Emission PIXE2019 - Programme and Abstracts / P., Cristina Chaves; Miguel, A. Reis, Ad Fisicoteca, Caldas da Rainha, 124, 2019. ISBN: 9789892092775
26. 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.





27. 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
28. 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
29. **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

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 32,982

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre): 4,277

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, 2024.04.10.



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

**Characterisation of aerosol pollution in
major cities in Hungary**

by Enikő Ivett Papp

Supervisor: Dr. Zsófia Kertész



UNIVERSITY OF DEBRECEN

Juhász-Nagy Pál Doctoral School

Debrecen, 2024.

Prepared at
the University of Debrecen
Juhász-Nagy Pál Doctoral School
and the Institute for Nuclear Research

Introduction

The Earth's atmosphere contains not only gas molecules, but also a system of finely dispersed solid and liquid aerosol particles. Scientific interest in the atmospheric aerosol has increased significantly over the last 20-25 years due to the recognition of the importance of the role of anthropogenic aerosol particles in global climate change and their negative effects on our environment, and in particular on human health. People living in densely populated cities are even more exposed to adverse effects, making the study of such areas a priority.

Objectives

The objective of my PhD work was to characterise aerosol pollution inside public transport vehicles during travelling and to determine the geographical location of the aerosol sources in five Hungarian cities. During my work I determined the aerosol mass concentrations, elemental composition, size distribution and possible "indoor" sources of pollution in the passenger compartment on different type of vehicles. Since aerosol concentrations inside the vehicles depend on urban air quality and composition, it is also important to know the sources specific to the urban environment. However, pollutants in cities may not only be local but may also come from across national borders through long-range

transport processes. In the second part of my work, I characterised atmospheric aerosol pollution in five major Hungarian cities and identified the geographical location of the sources of pollution using different atmospheric models.

Applied methods

In the frame of this work the aerosol samples were collected in the passenger compartment in local public transport vehicles in Debrecen, IC trains and in the Budapest metro line 3. A personal two-stage sampler was used to collect aerosol samples and a personal four-stage cascade impactor was used to analyse aerosol size distribution. Urban aerosol particles were collected with two-stage Gent-type samplers in Budapest, Miskolc, Pécs, Nyíregyháza and Debrecen. The mass concentrations of $PM_{2,5}$, PM_{coarse} and PM_{10} of the aerosol samples were determined by gravimetry, while the elemental composition was measured by Particle-Induced X-ray Emission (PIXE) analytical technique. PIXE is an excellent method for the elemental analysis of atmospheric aerosol particles, whereas it does not require complex sample preparation, multi-elemental and small sample amounts are sufficient for the analysis. The PIXE measurements were carried out at the macro-PIXE chamber installed on the left 45° beamline of the 5 MV Van de Graaff type accelerator of the Institute for Nuclear Research. The evaluation of the X-ray spectra and the

determination of the elemental concentration were done with the PIXEKLM and the GUPIX program code. The geographic location of the long-range transport contaminants was determined by a combination of HYSPLIT (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory model) backward trajectories, PSCF (Potential Source Contribution Function) and CWT (Concentration Weighted Trajectory) analyses.

New scientific results

I have summarized the results of my PhD dissertation in the following thesis points:

1. Aerosol pollution in the passenger compartment of public transport vehicles

In the following thesis points, I present the results of the analysis of aerosol samples collected in 2012 and 2014 in the passenger compartment in public transport vehicles.

1.1. I found that PM concentrations in the passenger compartments of public transport vehicles were 2-19 times higher than in urban background stations.

1.2. I identified the sources of aerosol pollutants inside public transport vehicles, which were the following: outdoor air, mineral dust, road dust, engine emissions and various indoor sources. I found that the high levels of iron, chromium and manganese detected on rail vehicles were due to rail wear. Zinc and copper related to overhead line wear, while chlorine was identified as a passenger compartment-derived element, presumably from sodium hypochlorite-based cleaning materials used in the vehicle passenger compartment.

1.3. I found that the majority of the relative mass per size fraction for crustal-derived elements was in the 2.5-10 μm size range, for anthropogenic outdoor-derived

elements in the 0.25-0.50 μm and 2.5-10 μm ranges, while for the passengers compartment-derived elements the majority of the mass was in the 2.5-10 μm size range.

2. Aerosol pollution in the passenger compartments of old and new type trams in Debrecen in 2017-2018

I investigated the aerosol pollution in the passenger compartments of two different generations of trams in Debrecen in parallel with an urban background area during heating and non-heating periods. In the following thesis points I summarise the results of this study.

2.1. I found that $\text{PM}_{2.5}$ concentrations were in average 2.6–4 times and $\text{PM}_{\text{coarse}}$ mass concentrations were 2.5-4 times higher inside trams than in the urban background area. Based on the $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{2.5+\text{coarse}}$ ratios, I showed that the outdoor contribution of the fine fraction to the total mass was around 60% in winter and 50% in summer. In the airspace of the trams, the coarse fraction was dominant during the heating season. In summer the contribution of the coarse fraction was more significant in the case of the old tram, while the $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{2.5+\text{coarse}}$ ratio was similar to the outdoor ratio for the new tram. ($\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{2.5+\text{coarse}}$ ratios were 35% and 40% for the old and new trams, respectively).

2.2. I found that the crustal elements (Al, Si, Ca, Ti) were derived from outdoor sources, due to the resuspended

dust by passengers and traffic, and road construction near the tramway. Furthermore, I found that the source of iron was related to rail wear, copper and zinc to overhead line wear. I have identified chlorine as an element originating from the interior of the vehicle and related to the use of cleaning products.

3. Characterisation of aerosol pollution in five major cities of Hungary

In this thesis, I present the results of aerosol samples collected between January and August 2015 in Budapest, Debrecen, Miskolc, Pécs and Nyíregyháza.

3.1. I found that the mass concentrations of $PM_{2.5}$, PM_{coarse} and PM_{10} were higher in Miskolc at the traffic monitoring site than in the other cities, where the monitoring sites were located in urban background areas. Average $PM_{2.5}/PM_{10}$ ratios ranged from 50-73% during the heating period. I found that in winter the fine fraction contributed more to the total mass in all cities. In comparison, the coarse fraction dominated in summer.

3.2. The main component of the coarse fraction mass was mineral dust, whose contribution varied between 13 and 42% on average in the cities over both periods. I found that for $PM_{2.5}$ the main components were black carbon (8-25%), sulphate (14-24%) and mineral dust (7-13%).

3.3. I identified one Saharan and one Asian dust event which occurred on the same day in the five studied cities.

I identified these episodes based on changes in mass, titanium, iron and strontium concentrations, as well as on HYSPLIT backward trajectories and NCEP-GEFS model optical depth and surface dust concentration maps.

3.4. I identified the geographic source areas of coarse fraction chlorine and fine fraction sulphur. The results show that sulphate originated from regional sources in both periods and that the typical source areas were the Balkan countries and occasionally Slovakia. The source areas for coarse fraction chlorine were the Atlantic Ocean and the Arctic Ocean in winter and mainly the Adriatic Sea and the Atlantic Ocean in summer.

List of publications related to the dissertation

1. **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. Meth. Phys. Res. Sect. B 477, 138-143, 2020.
2. **Papp, E.**, Angyal, A., Furu, E., Szoboszlai, Z., Török, Zs., Kertész, Zs. Case Studies of Aerosol Pollution in Different Public Transport Vehicles in Hungarian Cities. Atmosphere 13:5 Paper: 692, 18 p, 2022.
3. **Papp, E.**, Angyal, A., S. Bán, M. Molnár, I. Major, T. Varga, Furu, E. Kertész, Zs. Characterization of APM pollution in five major cities in Hungary in 2015. (in preparation)

List of other publications related to the dissertation

4. **Papp, E.** Városi aeroszol szennyezés földrajzi eredete öt magyarországi nagyvárosban. XV. Magyar Aeroszol Konferencia előadás-kivonatai. Hévíz, 2022. szeptember 21-23.
5. **Papp, E.**, Nagy, D., Szoboszlai, Z., Angyal, A., Török, Z., Csepregi, Á., Furu, E., Kertész, Z.: Légtörési aeroszol szennyezettség vizsgálata a debreceni villamosokon.

XIV. Magyar Aeroszol Konferencia előadás-kivonatai.
Visegrád, 2019. október 2-4.

6. 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. 15th International Conference on Particle Induced X-ray Emission. Split, 2017. április 2-7.
7. **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. Split, 2017. április 2-7.
8. **Papp, E.**, Furu, E., Szoboszlai, Z., Angyal, A., Török, Z., Kertész, Z.: Léggöri aeroszol koncentrációja, összetétele, méreteloszlása és forrásai tömegközlekedési eszközökön. XIII. Magyar Aeroszol Konferencia. Pécs, 2017. április 19-20.
9. **Papp, E.**, Furu, E., Kertész, Z.: Léggöri aeroszol szennyezés vizsgálata tömegközlekedési eszközökön Debrecenben. A XII. Magyar Aeroszol Konferencia. Szeged, 2015. március 18-20.
10. **Papp, E.**, Furu, E., Angyal, A., Szoboszlai, Z., Török, Z., Kertész, Z.: Léggöri aeroszol terhelés vizsgálata tömegközlekedési eszközökön. XI. Magyar Aeroszol Konferencia. Debrecen, 2013. október 28-30.



Registry number: DEENK/136/2024.PL
Subject: PhD Publication List

Candidate: Enikő Ivett Papp

Doctoral School: Pál Juhász-Nagy Doctoral School of Biology and Environmental Sciences

MTMT ID: 10055294

List of publications related to the dissertation

Foreign language scientific articles in international journals (2)

1. **Papp, E.**, Angyal, A., Furu, E., Szoboszlai, Z., Török, Z., Kertész, Z.: Case Studies of Aerosol Pollution in Different Public Transport Vehicles in Hungarian Cities.
Atmosphere. 13 (5), 1-18, 2022. ISSN: 2073-4433.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/atmos13050692>
IF: 2.9
2. **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: 1.377

List of other publications

Hungarian book chapters (1)

3. 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 kapcsolatrendszer = The second situla of hajdúböszörmény and its relations.. Szerk.: V. Szabó Gábor, Bálint Marianna, Váczi Gábor. Eötvös Lóránd Tudományegyetem Régészettudományi Intézet ; Hajdúböszörmény : Hajdúsági Múzeum, Budapest, 69-77, 2017, (Studia oppidorum Haidonicalium, ISSN 1585-5155 ; 13.) ISBN: 9789638857439





Foreign language scientific articles in international journals (9)

4. Kertész, Z., Aljboor, S., Angyal, A., **Papp, E.**, Furu, E., Szarka, M., Bán, S., Szikszai, Z.:
Characterization of urban aerosol pollution before and during the COVID-19 crisis in a
central-eastern European urban environment.
Atmos. Environ. 318, 1-18, 2024. ISSN: 1352-2310.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2023.120267>
IF: 5 (2022)
5. Tóth, Á., Gyürky, G., **Papp, E.**, Szűcs, T.: Experimental ⁷Be production cross section from the Li
⁷(p,n)⁷Be reaction at E_p=3.5-13MeV.
Nucl. Phys. A. 1041, 1-10, 2024. ISSN: 0375-9474.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.nuclphysa.2023.122778>
IF: 1.4 (2022)
6. Aljboor, S., Angyal, A., Baranyai, D., **Papp, E.**, Szarka, M., Szikszai, Z., Rajta, I., Vajda, I., Kertész,
Z.: Light-element sensitive in-air millibeam PIXE setup for fast measurement of atmospheric
aerosol samples.
J. Anal. At. Spectrom. 38 (1), 57-65, 2023. ISSN: 0267-9477.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1039/D2JA00291D>
IF: 3.4 (2022)
7. Vörösmarty, M., Uzu, G., Jaffrezo, J. L., Dominutti, P., Kertész, Z., **Papp, E.**, Salma, I.: Oxidative
potential in rural, suburban and city centre atmospheric environments in central Europe.
Atmos. Chem. Phys. 23 (22), 14255-14269, 2023. ISSN: 1680-7316.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5194/acp-23-14255-2023>
IF: 6.3 (2022)
8. Tarbay, J. G., Dani, J., Bálint, M., Kertész, Z., Szikszai, Z., **Papp, E.**, Lukács, B., Angyal, A.: PIXE
analysis of Late Bronze Age situlae from the eponymous Hajdúböszörmény-Csege-halom I
hoard and Sényő-Dajkahegy, Northeastern Hungary.
Arch. Rozhl. 75 (3), 278-292, 2023. ISSN: 0323-1267.
DOI: <http://dx.doi.org/10.35686/AR.2023.19>
IF: 0.6 (2022)
9. Furu, E., Angyal, A., Szoboszlai, Z., **Papp, E.**, Török, Z., Kertész, Z.: Characterization of Aerosol
Pollution in Two Hungarian Cities in Winter 2009-2010.
Atmosphere. 13 (4), 1-21, 2022. ISSN: 2073-4433.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/atmos13040554>
IF: 2.9
10. Angyal, A., Ferenczi, Z., Manousakas, M., Furu, E., Szoboszlai, Z., Török, Z., **Papp, E.**, Szikszai,
Z., Kertész, Z.: Source identification of fine and coarse aerosol during smog episodes in
Debrecen, Hungary.
Air Qual. Atmos. Health. 14 (7), 1017-1032, 2021. ISSN: 1873-9318.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11869-021-01008-8>
IF: 5.804





11. Sánchez de, I. T. M., Angyal, A., Kertész, Z., Dubernet, S., Le Bourdonnec, F. X., **Papp, E.**, Szoboszlai, Z., Török, Z., Csepregi, Á., Szikszai, Z.: Micro-PIXE studies on prehistoric chert tools: elemental mapping to determine Palaeolithic lithic procurement. *Archaeol. Anthropol. Sci.* 11 (6), 2375-2383, 2018. ISSN: 1866-9557.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s12520-018-0668-9>
IF: 1.978
12. Sánchez de, I. T. M., Angyal, A., Kertész, Z., Dubernet, S., Le Bourdonnec, F. X., Csedreki, 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

Hungarian abstracts (10)

13. **Papp, E.**: Városi aeroszol szennyezés földrajzi eredete öt magyarországi nagyvárosban.
In: XV. Magyar Aeroszol Konferencia. Szerk.: Jancsek-Turóczi Beatrix; Hoffer András, Pannon Egyetem, Veszprém, 14, 2022. ISBN: 9789633962473
14. 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
15. Kertész, Z., Szoboszlai, Z., Major, I., Varga, T., Angyal, A., Török, Z., **Papp, E.**, Molnár, M.: Légköri aeroszol szennyezés vizsgálata szmog epizód alatt méreteloszlás, radiokarbon és PIXE analízis alapján.
In: A XIV. Magyar Aeroszol Konferencia előadásainak kivonata. Szerk.: Czitrovsky, Aladár; Kugler, Szilvia; Nagy, Attila Tibor; Veres, Miklós, MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont, Budapest, 88-90, 2019. ISBN: 9786150064154
16. **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
17. 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
18. 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





19. **Papp, E.**, Furu, E., Szoboszlai, Z., Angyal, A., Török, Z., Kertész, Z.: Léggöri 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
20. 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
21. **Papp, E.**, Furu, E., Kertész, Z.: Léggöri 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
22. **Papp, E.**, Furu, E., Angyal, A., Szoboszlai, Z., Török, Z., Kertész, Z.: Léggöri 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

Foreign language abstracts (7)

23. Szoboszlai, Z., Major, I., Molnár, M., Varga, T., Angyal, A., Török, Z., **Papp, E.**, Kertész, Z.:
Characterization of urban aerosol pollution under a smog episode in Debrecen by radiocarbon analyses and size distribution, PIXE and radiocarbon analysis.
In: 16th International Conference on Particle Induced X-ray Emission PIXE2019 - Programme and Abstracts / P., Cristina Chaves; Miguel, A. Reis, Ad Fisicatega, Caldas da Rainha, 128, 2019. ISBN: 9789892092775
24. 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.
25. **Papp, E.**, Nagy, D., Angyal, A., Szoboszlai, Z., Török, Z., Csepregi, Á., Kertész, Z.: Investigation of aerosol pollution on trams in Debrecen (Hungary).
In: 16th International Conference on Particle Induced X-ray Emission PIXE2019 - Programme and Abstracts / P., Cristina Chaves; Miguel, A. Reis, Ad Fisicatega, Caldas da Rainha, 124, 2019. ISBN: 9789892092775
26. 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.





27. 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
28. 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
29. **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

Total IF of journals (all publications): 32,982

Total IF of journals (publications related to the dissertation): 4,277

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

10 April, 2024

