

Aeroszol részecskék kiülepedése és nehézfém-tartalma három fajaj fajtáinak levelein Budapesten

HROTKÓ KÁROLY¹, GYEVIKI MÁRTA¹, SÜTÖRINÉ DIÓSZEGI MAGDOLNA¹,
MAGYAR LAJOS¹, SZABÓ VERONIKA¹, HONFI PÉTER¹, MÉSZÁROS RÓBERT² és
KARDOS LEVENTE³

¹ Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Tájépítészeti, Településtervezési és Díszkertészeti Intézet

² Eötvös Loránd Tudományegyetem, Meteorológiai Tanszék

³ Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Környezettudományi Intézet

E-mail: hrotko.karoly@uni-mate.hu

Összefoglalás

A városi fák levelei jelentős szerepet játszanak a légköri por kiülepedésében, s ezáltal hozzájárulnak a levegőtisztaság javulásához. Kutatómunkánk célja volt, hogy három gyakran telepített díszfa taxon (*Acer platanoides* 'Globosum', *Tilia tomentosa*, *Fraxinus excelsior* 'Westhof's Glorie') levelein kiülepedett por és a benne lévő nehézfémek mérésével kapjunk képet a különböző fajajok, -fajták légszennyezés-csökkentő képességéről. Eltérő környezeti kitettségű helyekről származó levélmintákat vizsgáltunk, forgalmas budapesti utak menti fasorokból, illetve kontrollként a MATE Budai Arborétumából gyűjtöttük be a mintákat. Mintavételre három kísérleti periódusban került sor: 2015 tavaszán, 2015 őszén, valamint 2016 őszén. Hetente egyszer, mindegyik taxon 5 kijelölt fájáról 6-6 levelet gyűjtöttünk a fák lombkoronájának alsó részéről, 2-3 méter magasságban.

A levélmintákról a kiülepedett port desztillált vízben áztatással, majd ultrahangos rázással választottuk le és lemértük. A lemosott port kiszáritás után koncentrált salétromsav – hidrogén-peroxid elegyében tártuk fel, és az így kapott kivonatból 5 fémet (Pb, Fe, Ni, Cu, Zn) határoztunk meg az AURORA AI 1200 AAS készülék segítségével, a nehézfém kiülepedés mértékét egységnyi (m²) levélfelületre vetítve határoztuk meg. A lerakódott szennyeződés eltávolítása után a mintaleveleket súlyállandóságig szárítottuk, majd az ICP AS készülékkel (ICP Thermo Jarrell Ash ICAP 61E) meghatároztuk a levelek ólom-, vas-, nikkel-, cink- és réztartalmát.

A 2015. évi mérések során a tavaszi és az őszi hónapok között a kiülepedett por mértéke mintegy háromszorosára növekedett a taxontól függően. Eredményeink alapján a legnagyobb porkiülepedést az ezüst hárs levelein mértünk, a korai juhar és a magas kőris fajták levelein a porkiülepedés szignifikánsan kisebb volt. A vizsgált taxonok fajtáinak levelein kiülepedett porban a nehézfémek mennyisége szignifikánsan különbözött. A legalacsonyabb nehézfém-kiülepedést

a kőrisfajta lombozatán mértük, ennél magasabb értékeket kaptunk a gömbjuhar, és mintegy kétszeres mennyiséget az ezüst hárs levelein. A nehézfém lerakódás mértéke nemcsak taxononként, hanem évszakonként is eltérően alakult. A vas és az ólom a vegetációs időszak végére közel tízszeresére halmozódhat fel a leveleken lerakódott porban, míg a nikkell, a cink és a réz mennyisége csökkent a tavaszi és az őszi méréseink között. Eredményeinkből arra következtethetünk, hogy a városi parkokban lévő fák környezeti haszna közel azonos mértékű a forgalmas utak mellett lévő fákéival, mivel a nehézfém szennyeződés megkötésére vonatkozó méréseink mindkét helyszínen hasonló eredményeket mutatnak.

Kulcsszavak: ezüst hárs, évszakos különbségek, légszennyezés, porkiülepedés, levelek pormegkötő képessége, korai juhar, magas kőris, térbeli különbségek

Bevezetés

Napjainkban megkülönböztetett figyelem irányul a városi levegő minőségére, mivel a légszennyezés mértéke olyan méreteket öltött, amely már súlyos egészségügyi és környezeti problémákhoz vezetett világszerte. A légszennyező anyagok számos forrásból kerülhetnek a városi levegőbe, de a legnagyobb mértékben az ipar, a fosszilis tüzelőanyagok elégetése, a közlekedés és az energia előállítás rontják a levegő minőségét. A városi légszennyezést leginkább befolyásoló légszennyezési forrás a városi gépjármű közlekedés, amely szén-dioxid (CO_2), különböző nitrogén-oxidok (NO_x), szén-monoxid (CO), és egyéb gáznemű vegyületek, illetve por, korom részecskék kijuttatása által okoz súlyos károsodást a városi épületeken, a zöldfelületen és a lakosság egészségi állapotában (Hosker és Lindbergh 1982; Davidson et al. 2005; Yang et al. 2005; Kampa és Kastanas 2008; Apeagyei et al. 2010; Lu et al. 2010; Zupancic et al. 2015). A járművek kerekeinek súrlódása és a fékezések során keletkező szennyeződésben a következő nehézfémek találhatók meg legnagyobb mennyiségben: ólom, cink, nikkell, vas és réz (Al-Khalafat és Al-Khashman 2007; Christoforidis és Stamatidis 2009; Apeagyei et al. 2010; Lu et al. 2010). Minél nagyobb a városi forgalom, annál nagyobb az aeroszol részecskék légköri mennyisége, ami majdnem minden esetben megnövekedett nehézfém szennyezéssel is jár (Hosker és Lindbergh 1982; Apeagyei et al. 2010; Lu et al. 2010; Simon et al. 2011). A növények levelein kiülepedett porban számos alkotóelemet lehet kimutatni, mint például különböző méretű részecskéket (PM, particulate matter), nem gáznemű alkotóelemeket, szénvegyületeket, különböző fémeket, pollent és talajrészecskéket. A por és a benne lévő részecskék a levegővel belélegezve és az emberi szervezetbe bejutva súlyos légúti és érrendszeri megbetegedést okoznak (Davidson et al. 2005). A közlekedésből származó szennyezőanyagokkal együtt a természetes és az antropogén forrásokból származó légszennyeződésekben Hoodaji et al. (2012) az alábbi legfontosabb nehézfémeket találták: Fe, Al, Pb, Zn, Ti, Mn, Cu, V, Ni, Cr.

Napjainkban széles körben alkalmazzák a növényeket a környezeti állapot figyelésére (bio-monitoring). A növényminták kémiai analízise hasznos és egyszerű módja a városi levegőminőség felmérésének (Jensen et al. 1992; Jim és Chen 2008; Petkovšek et al. 2008; Balasooriya et al. 2009; Sæbø et al. 2012; Simon et al. 2011, 2014; Badamasi 2017). Ezekben a vizsgálatokban a fák kiemelt szereppel bírnak, hiszen hosszú élettartamuk miatt a mintavétel ismétlésére is lehetőséget biztosítanak. A lágyszárú növényzethez viszonyított nagy levélfelületüknek köszönhetően képesek

jelentősen hozzájárulni a légszennyezés csökkentéséhez (Jo és McPherson 1995; Yang et al. 2005; Jim és Chen 2008). A fák rendkívül hatékonyak az apró méretű részecskék megkötésében, ezáltal javítva a városi levegő minőségét (Beckett et al. 2000a,b). Számos kutatás irányult arra, hogy összehasonlítsa különböző fajok levegőminőség javító képességét. Beckett et al. (2000b) arra a következtetésre jutottak, hogy a fenyőfélék leveleinek finom, komplex szerkezete a magyarázat arra, hogy a *Pinus nigra* és a \times *Cupressocyparis leylandii* számottevően több szennyezőanyagot kötött meg a levelein, mint a lombhullató fák. A lombhullató fák közül Simon et al. (2011) eredményei alapján az *Acer platanoides* és a *Populus alba*, Aksoy és Demirezen (2006) ajánlása alapján pedig a *Fraxinus excelsior* lehetnek alkalmasak bio-indikátor növénynek. A levélen kiülepedett nehézfémek mennyiségét az adott időjárási viszonyokon (szél és csapadék mennyisége) és az aeroszol részecskék méretén kívül nagymértékben befolyásolja a növényzet morfológiai sajátossága is (Beckett et al. 2000b; Yuan et al. 2009; Sæbø et al. 2012; Mori et al. 2015, Chaudhary és Rathore 2018). Meghatározó lehet a levél felépítése, formája, felszíne, a levél szőrözöttségének mértéke, a sztómák mérete és sűrűsége (Tomašević és Aničić 2010; Simon et al. 2014; Mori et al. 2015). Beckett (2000a), Mori et al. (2015) és Simon et al. (2014) arra az eredményre jutottak, hogy a szőrözöttebb levelű növények, így például a *Elaeagnus* \times *ebbingei*, a *Celtis occidentalis* jelentősen több port és szennyeződést kötnek meg a levelek felszínén, mint a sima levélfelülettel rendelkező *Padus serotina* (syn. *Prunus serotina*) és *Quercus robur*. A levelek vizsgálata során az is kiderült, hogy a nagyon finom, antropogén eredetű szennyeződésekkel származó részecskék a sztómák körül sűrűbben rakódnak le (Sæbø et al. 2012; Simon et al. 2014). Tomašević és Aničić (2010) kimutatták, hogy a növények levelein kiülepedett nagyon apró (<2 μ m), és nagyobb méretű (50 μ m <) szennyező részecskék egyaránt felelősek a levelek megnövekedett hőmérsékletéért, a gyenge fényelnyelésért és ezáltal a fotoszintetikus kapacitásuk romlásáért.

Városainkban a legnagyobb lombfelülettel a sorfák és parkfák rendelkeznek (Jo és McPherson 1995; Yang et al. 2005). Ahhoz, hogy ennek a lombfelületnek a légtisztító kapacitását felbecsülhessük, minél több városi faj és -fajta *in situ* és laboratóriumi vizsgálatára van szükség, hogy a fajonként és fajtánként eltérő egyedi levélméretek, levélfelszíni sajátosságok, sztóma-szerkezet megismerésével pontosabb képet alkothassunk ezen taxonok városi levegőt tisztító hatásáról (Beckett et al. 1998, 2000b; Yang et al. 2005; Nowak et al. 2006; Jim és Chen 2008). Kutatómunkánk során azt a célt tűztük ki, hogy megvizsgáljuk három gyakori faját, a magas kőris (*Fraxinus excelsior* L.), a korai juhar (*Acer platanoides* L.) és az ezüst hárs (*Tilia tomentosa* Moench) fajtáinak por- és nehézfém megkötő képességét Budapest különböző területein.

Anyag és módszer

Vizsgálatainkat Budapesten végeztük, ahol az átlagos évi középhőmérséklet 11,8 °C, a napsütéses órák száma 2010, az évi átlagos csapadék mennyisége 516 mm, melynek nagy része május-június hónapokban és ősszel esik (www.met.hu). A vizsgált fákat négy helyszínről választottuk ki a pesti és budai oldalról egyaránt, törekedve arra, hogy a mintavétel reprezentatív legyen.

Az első mintavételi helyszínt a MATE Budai Arborétumában jelöltük ki. Az arborétum jellemzően alacsony városi forgalommal terhelt környezet, ahol egyes fák kora eléri a 120 évet is. Az arborétumból mindhárom taxon kijelölt egyedeiről gyűjtöttünk levelet, és ezeket a mintákat kontrollként kezeltük (1. táblázat).

1. táblázat. A vizsgált minták elnevezése helyszínenként és taxonok szerint, valamint a legközelebbi levegőminőség ellenőrző állomás megnevezése

Fafaj	Mintavételi helyszín			
	Budai Arboretum	Krisztina körút	Andrássy út	Karolina út
<i>Acer platanoides</i> L.	<i>Acer</i>	<i>Acer</i>		
'Globosum'	Arbor	Krisztina		
<i>Fraxinus excelsior</i> L.	<i>Fraxinus</i>		<i>Fraxinus</i>	
'Westhof's Glorie'	Arbor		Andrássy	
<i>Tilia tomentosa</i>	<i>Tilia</i>			<i>Tilia</i>
Moench.	Arbor			Karolina
Legközelebbi levegőminőség vizsgáló állomás (OLM)	PM (Buda1) Kosztolányi	PM (Buda 2) Széna tér	PM (Pest) Erzsébet	PM (Buda1) Kosztolányi

Table 1. Studied tree species by sampling locations, and the nearest reference stations of Hungarian Air Quality Network (HAQN)

A második helyszín Budán, a Krisztina körút közelében volt, ahol korai juharról (*Acer platanoides* L. 'Globosum') szedtünk mintát. A közeli körút forgalma miatt ez a helyszín erősen szennyezettnek minősül. A harmadik helyszín a város pesti oldalán, a nagy forgalomnak kitett Andrássy út mentén helyezkedik el, ahonnan magas kőrös (*Fraxinus excelsior* L. 'Westhof's Glorie') fákról gyűjtöttük a mintáinkat. A negyedik mintavételi helyszín Budán, a szintén nagy forgalmú Karolina út mellett volt, ahol ezüst hárs (*Tilia tomentosa* Moench) leveleket szedtünk.

A helyszínek közül három nagy forgalmú út mellett található, míg a negyedik vizsgálati helyszíneknek a viszonylag védett Budai Arboretumot választottuk. Mivel a vizsgálatok során a levegőminőségre vonatkozó adatokat az Országos Légszennyezettségi Mérőhálózat (OLM) adatbázisa szolgáltatta (www.levegominoseg.hu), így a levélgyűjtésre kijelölt helyszíneket úgy terveztük meg, hogy 2 kilométeres távolságon belül legyenek a legközelebbi mérőállomástól (1. táblázat). A vizsgálatokhoz olyan taxonokat választottunk, amelyek nemcsak Budapesten, de Közép-Kelet-Európa egyéb nagyvárosaiban is gyakran telepített városi fafajok, illetve fajták (Szaller et al. 2014).

A mintavételt csapadékmentes napon végeztük, mindegyik helyszínről azonos időpontban, három periódusban gyűjtöttük a mintákat. Az első mintavételi periódusban, a 2015. május 6. és június 17. közötti időszakban hetente egyszer gyűjtöttünk levélmintákat (19. - 25. hét). A második mintavételi időszak 2015. október 30-tól november 12-ig tartott (44. - 46. hétig). A vizsgálataink harmadik szakaszában 2016. október 5. és október 19. között gyűjtöttük hetente a leveleket (40. héttől a 42. hétig). A levélmintákat egységesen a fák koronájának alsó részéről, körülbelül 3 méteres magasságból szedtük. Minden vizsgált taxon esetében helyszínenként öt, nagyjából azonos korú fáról gyűjtöttünk, fánként hat darab levélmintát a korona minden oldaláról. A leszedett leveleket papírtasakokba helyeztük, és azonnal az egyetem vizsgálati laboratóriumába szállítottuk. Mindhárom taxon esetében meghatároztuk a levélfelületek nagyságát ADC BioScientific Ltd Area Meter AM350

készülékkel, valamint mértük a levelek felületére kiülepedett por mennyiségét. A levélmintákat 250 cm³ mennyiségű desztillált vízzel lemostuk, majd 20 órán át áztattuk és 10 perc ultrahangos rázásnak tettük ki. A mintákat leszűrtük és elvégeztük a szűrletek kémiai analízisét (Braun et al. 2007, Margitai és Braun 2005a, b; Margitai et al. 2005). Ezt követően a szűrleteket bepároltuk és a visszamaradt anyagot koncentrált salétromsav- és hidrogén-peroxid elegyében tártuk fel, az így kapott kivonatból 5 fémet (Pb, Fe, Ni, Cu, Zn) határoztunk meg AURORA AI 1200 AAS készülékkel (Braun et al. 2007; Margitai és Braun 2005a, b; Margitai et al. 2005). A lemosást követően a leveleket szárítószekrényben súlyállandóságig szárítottuk, majd a levelek örleményét 105 °C-on 10 ml salétromsavban (HNO₃) és 4 ml 30% -os hidrogén-peroxid-oldatban feltártuk és az oldatból határoztuk meg az egyes fémek mennyiségét ICP atom-abszorpciós készülékkel (ICP Thermo Jarrell Ash ICAP 61E).

Mivel a kiülepedett por Hofman (2014) szerint 90%-ban, Baidourela és Zhayimu (2015) szerint 93-97%-ban a PM10 frakcióba tartozik, ezért a különböző vizsgálati időszakokban a por mennyiségének összehasonlításához és az adatok elemzéséhez az Országos Légszennyezetségi Mérőhálózat (OLM) állomásain az adott időszakban mért PM10 aeroszol mennyiségeket használtuk (3. ábra). A légszennyezetségi adatokat a tervezett mintavételi napokat megelőzően négy hétre visszamenőleg elemeztük és tüntettük fel. A levélzetre kiülepedett por mennyiségét a csapadék adatokkal is összevetettük, ahol az Országos Meteorológiai Szolgálat adatai alapján, a mintavételi napokat megelőző hét nap csapadékösszegét adtuk meg (4. és 5. ábra).

A levelekről lemosott port és a benne lévő nehézfém szennyeződés mennyiségét egy négyzetméter levélfelületre vonatkoztatva határoztuk meg (mg m⁻²), a számításokhoz az átlagos egyedi levélfelületeket vettük alapul. A levélminták lemosás utáni nehézfém tartalmát a minták szárazanyagtartalmához viszonyítva adtuk meg (mg kg⁻¹).

A különböző taxonok és mintavételi helyszínek összehasonlíthatóságának érdekében a mintavételi napjait ismétlésnek tekintettük. Az adatokat az SPSS program ANOVA tesztjének segítségével elemeztük ki. A táblázatokban feltüntetett, egymástól szignifikánsan eltérő (p=0,05) értékeket eltérő betűvel jelöltük. A 2015 tavaszi időszak (19-25. hét) porkiülepedési eredményeit heti bontásban grafikusan is ábrázoltuk (2. ábra).

Eredmények és értékelésük

A fák lombozatán kiülepedett por mennyisége a vizsgálati időszakokban

A statisztikai analízis a három mintavételi időszak szignifikáns hatását igazolta a levelekre ülepedett por mennyiségére. A három díszfa taxon átlagában a 2015. tavasz és 2016. őszi időszakban 86,30 – 86,47 mg m⁻² porlerakódást mértünk, míg a 2015. őszi időszakban több, mint háromszoros (270,21 mg m⁻²) volt a leveleken lerakódott por (1. ábra). Az eredményeket összehasonlítva a különböző helyszíneken a levegőben az adott időszakban mért PM10 (10 µm-nél kisebb aeroszol részecskék) koncentrációval (2. ábra), szembetűnő, hogy a 2015. őszi nagy porlerakódási adatok jól tükrözik a légkörben mért extrém magas PM10 koncentrációt.

1. ábra. A levelekről lemosott por mennyisége a három vizsgálati időszakban (mg m^{-2})
(az átlagokat Tukey-teszt segítségével hasonlítottuk össze)

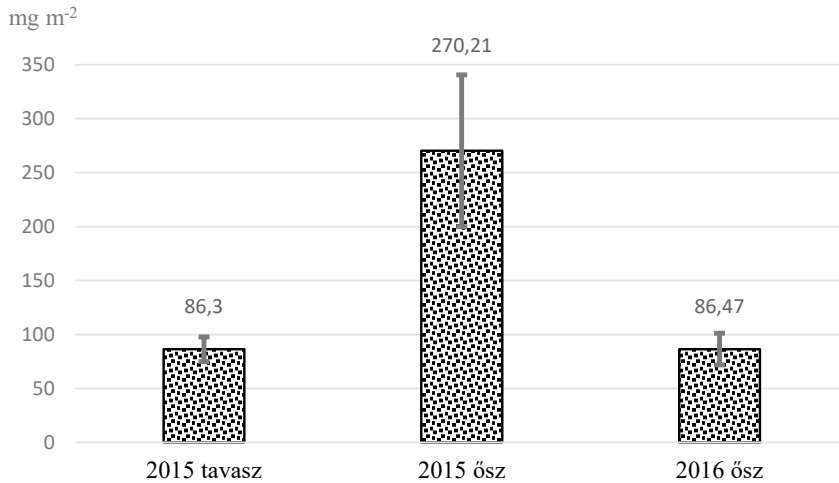


Figure 1. Dust deposition washed off from leaves in Budapest (mg m^{-2}): average of all samples
(means are separated by Tukey's test)

2. ábra. A PM10 aeroszol heti átlagos koncentrációja a vizsgálati időszakokban
az OLM budapesti mérőállomásainak adatai alapján

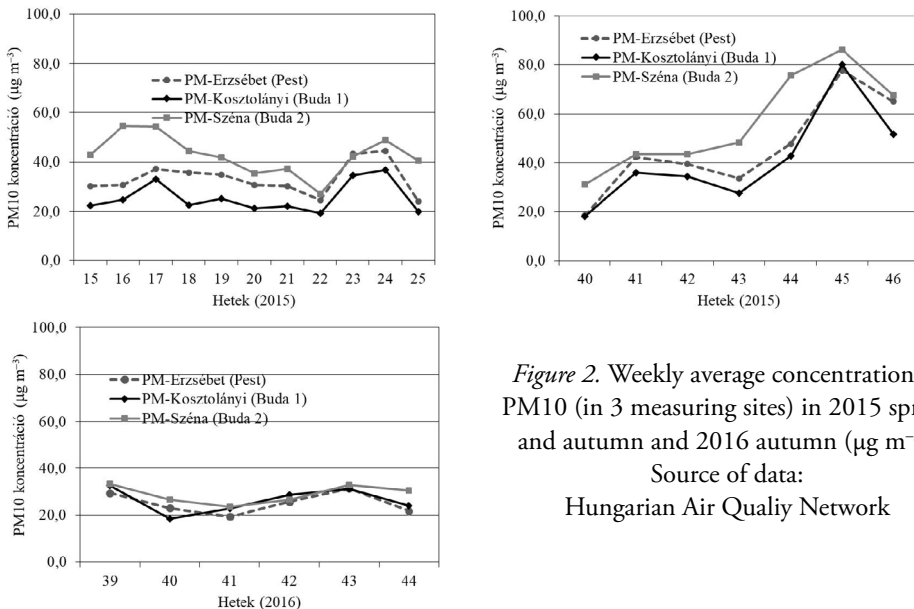


Figure 2. Weekly average concentration of PM10 (in 3 measuring sites) in 2015 spring and autumn and 2016 autumn ($\mu\text{g m}^{-3}$).

Source of data:
Hungarian Air Quality Network

A 2015. tavaszi időszakban a PM10 koncentráció a légkörben $19 - 54 \mu\text{g m}^{-3}$ volt, 2016 őszén az értékek $18 - 33 \mu\text{g m}^{-3}$ között alakultak, míg 2015 őszén a 44 – 45. héten a riasztási értékhez közeli (volt a PM10 koncentráció (2. ábra). Ebben valószínűleg a hosszabb hideg időszak miatt megindított fűtési szezon is közrejátszott. Habár a porkiülepedés a PM10-nél kisebb és nagyobb méretű részecskéket is tartalmazhat, úgy véljük, hogy összehasonlítva a légköri PM10 koncentrációjával, eredményeink megerősítik Beckett et al. (2000b), Mori et al. (2015), Sæbø et al. (2012) és Simon et al. (2014) véleményét, miszerint a porkiülepedés jól jelzi a légköri PM10 aeroszol koncentrációját.

A csapadék mennyisége is befolyásolhatja a leveleken kiülepedő por mennyiségét, ahogy ezt Nowak et al. (2006) és Mori et al. (2015) vizsgálatai kimutatták. A mintavételi időszakok havi csapadékmennyiségének összehasonításában nem találtunk jelentős különbséget, viszont a mintavételi heteket megelőző heti csapadékösszegekben már figyelemre méltó tendenciát találtunk. A 2015. őszén a mintavételi heteket (44-46. hét) megelőző hetek szinte csapadékmentesek voltak (1,1 mm csapadék 3 hét alatt, 3. ábra), amelyhez egy magas légköri PM10 koncentráció társult (2. ábra), befolyásolva az extrém magas pormennyiség kiülepedését. Ezzel szemben a 2016. októberi havi csapadékösszeg átlagos volt, és a PM10 koncentráció is alacsonyabb volt (2. ábra), így átlagos porkiülepedés mutatkozott.

3. ábra. A mintavételt megelőző hetek csapadékmennyisége 2015 őszén
(forrás: Országos Meteorológiai Szolgálat)

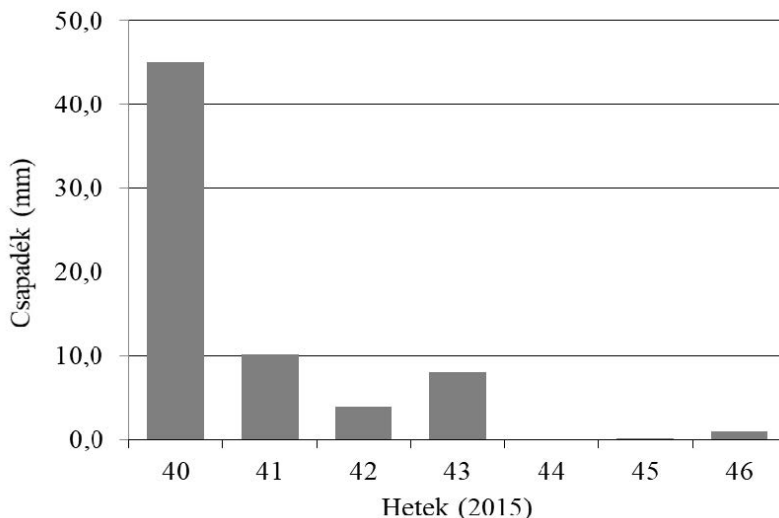


Figure 3. Weekly precipitation in autumn sampling weeks of 2015.
Source of data: Hungarian Meteorological Service

A levélzetre kiülepedett por mennyiségének alakulása a 2015 tavaszi mintavételi időszakban

A 4. ábrán bemutatjuk a 2015. május 5. és június 17. közötti héthetes mintavételi időszakban (az év 19. és 25. hete) a fajok levelén kiülepedett por heti adatait. Az értékek három párhuzamos mérésből származó eredményeket képviselnek, a heti adatokból statisztikai elemzést nem végeztünk. A kiülepedett por mértéke sajátos tendenciát mutatott (4. ábra). Az ezüst hárs levelein mért por mennyisége a 21. hétig emelkedett, majd a 24. hétig folyamatosan csökkent, mígnem elérte a 21 héten mért por mennyiségének megközelítőleg a felét. A korai juhar és a magas kőris fajták levelein mért por mennyisége a 20. hétig emelkedett, majd mindkét taxon esetében csökkenni kezdett a 24. héten mért közel 1/3 mértékig. A mintavételi időszak utolsó hetétől kezdve mindhárom vizsgált taxon esetében növekedő tendencia figyelhető meg a levélzetre kiülepedett por mennyiségében.

4. ábra. A budapesti városi fák levelein lerakódott por mennyiségének alakulása 2015. év 19. és 25. hete között (mg m^{-2})

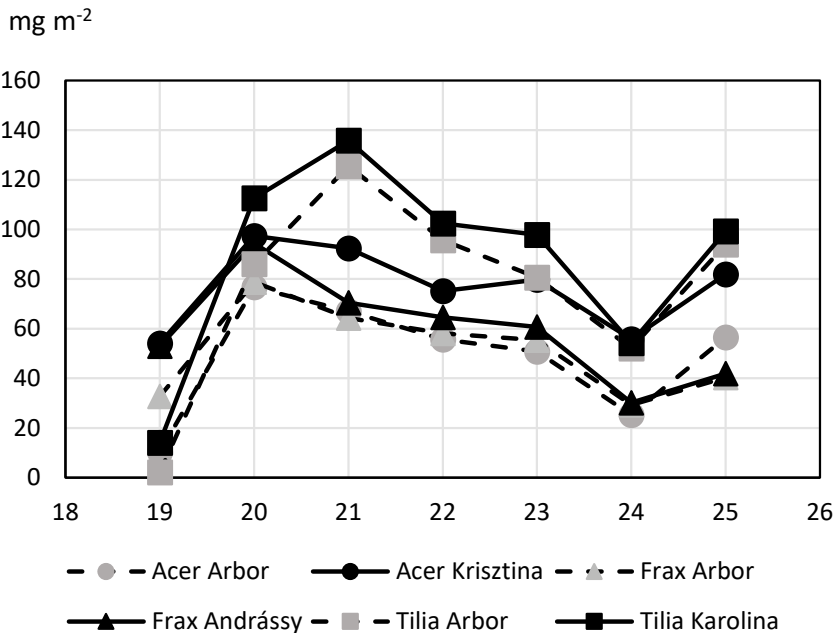


Figure 4. Course of dust deposition on leaves of urban trees in Budapest from 19th to 25th week of 2015 (mg m^{-2})

Összevetve a 4. ábrán bemutatott heti porkiülepedési eredményeket az 5. ábra heti csapadékösszegeivel, jól látható, hogy a 21. és 24. mintavételi heteket megelőző heti csapadékmennyiség kiugróan magas volt, ami okozhatta azt, hogy a 21. és 24. hét közötti porkiülepedés a felére, harmadára csökkent.

5. ábra. A mintavételt megelőző hetek csapadékmennyisége 2015. tavaszán
(forrás: Országos Meteorológiai Szolgálat)

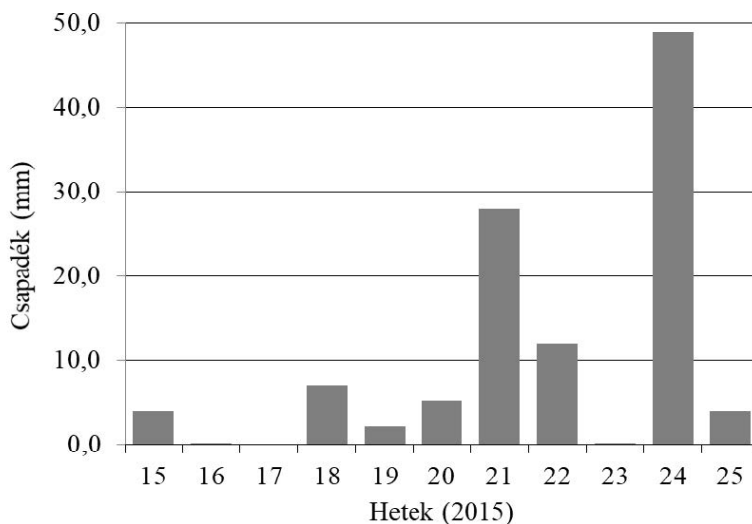


Figure 5. Weekly precipitation in spring sampling weeks of 2015.
Source of data: Hungarian Meteorological Service

Ez a jelentős ingadozás azt is mutatja, hogy a por kiülepedése folyamatos az év folyamán, de dinamikusan változó a mérhető mennyiség. A leveleken levő por egy része a csapadékkal lemosva a csatornákbá, valamint a talajra, illetve a talajba kerül. Az őszi levelek viszont a talajban lebontva vagy komposztálva a port a talajba juttatják, ahonnan a porna egy része a felszínről a széllel ismét a légkörbe kerül.

A fajok, illetve fajták szerepe a por kiülepedésében

A három vizsgálati időszak összes mintájában a taxonok között nem mutatkozott szignifikáns különbség, mivel a 2015. őszi nagy porlerakódás elfedte a fajok hatását, ezért a fajok fajtáinak különböző helyszínen mért eredményeit a két átlagos porlerakódású időszak (2015. tavasz és 2016. ősz) adataival külön elemeztük (2. táblázat).

A 2015. tavaszi és nyári, valamint a 2016. őszi mintavételi időszakból származó levélmintákról lemosott összes szennyezőanyag mennyiségében szignifikáns eltéréseket tapasztaltunk a különböző taxonoknál (2. táblázat). A legmagasabb értékeket a nagy forgalmú Karolina út melletti ezüst hársakról begyűjtött levélmintákon mértük, míg legkevesebb por a Budai Arborétumban lévő korai juhar és magas kóris fajták levelein rakódott le. E két utóbbi fajta különböző vizsgálati helyszínekről származó levélmintáin kiülepedett por mennyisége között nem volt szignifikáns eltérés. A 2015 őszi (44. héttől a 46. hétig magas PM10 koncentráció) levélmintákon viszont 224 és 381 mg m⁻² porkiülepedést mértünk, sem a helyszínek, sem a fajok között nem volt szignifikáns különbség.

2. táblázat. A levelekről lemosott por mennyisége taxonként és vizsgálati helyszínenként a 2015 tavaszi és a 2016 őszi időszakban (mg m^{-2})

Mintavétel	<i>Acer</i> Arbor		<i>Acer</i> Krisztina		<i>Fraxinus</i> Arbor		<i>Fraxinus</i> Andrássy		<i>Tilia</i> Arbor		<i>Tilia</i> Karolina		Átlag
Tavaszi 2015	66,5	ab	88,3	abc	67,1	ab	76,5	ab	102,5	bcd	116,9	bcd	86,3
Ősz 2016	81,8	ab	81,3	ab	58,6	a	72,6	ab	94,5	abc	130,0	d	86,5
Átlag	74,2	a	84,8	ab	62,8	a	74,6	a	98,5	bc	123,5	c	

Megjegyzés: az átlagokat Tukey teszttel hasonlítottuk össze, az azonos betűkkel jelölt értékek szignifikánsan nem különböznek ($p=0,5$).

Table 2. Dust deposition washed off from leaves of different species in Budapest (mg m^{-2}): average of samples from spring 2015 and autumn 2016. (column 1 – Sampling season, 2015 spring, 2016 autumn)

A levelekre kiülepedett por mennyiségében nem találtunk szignifikáns különbséget a kertvárosi környezetben lévő Budai Arborétum fái és a gépjárműforgalommal erősen terhelt utak sorfái között. Simon et al. (2014) szintén nem mért eltérő porkiülepedést városi és falusi környezetben levő fákön. Ebből arra lehet következtetni, hogy a gépjárműforgalomtól távolabbi parkok, zöldterületek fái hasonló képességgel járulnak hozzá a városi légtér tisztításához, mint a forgalomhoz közeli sorfák.

Eredményeink megerősítik azokat a szakirodalmi adatokat, melyek szerint a fafajok levelein kiülepedő por mennyiségében jelentősek a különbségek (Beckett et al. 2000a, b; Kretinin és Selyanina 2006; Yuan et al. 2009; Sæbø et al. 2012; Simon et al. 2014; Mori et al. 2015; Chen et al. 2016). A 2015. őszén mért igen magas porkiülepedés mellett a taxonok között nem találtunk szignifikáns különbségeket, amit arra vezetünk vissza, hogy a levelek porfelfogó képessége egy bizonyos szint után telítődik. Sæbø et al. (2012) a korai júhar levelén kisebb mennyiséget (100 mg m^{-2}), a magas kőris levelén pedig $80 - 130 \text{ mg m}^{-2}$ mennyiséget mértek, mindkét faját kevésbé hatékonyak minősítve a pormegkötés tekintetében. Ezzel szemben Kretinin és Selyanina (2006) a pormegkötő képesség tekintetében a korai júhart gyengének, a magas kőrist közepes pormegkötő képességűnek minősítették, noha az általuk mért értékek (7 mg m^{-2} és $41,5 \text{ mg m}^{-2}$) alacsonyabbak az általunk mértékhez viszonyítva. Simon et al. (2014) 20 és 150 mg m^{-2} pormennyiséget mértek a sima levélfelszínű kései meggy, a mezei júhar és a kocsányos tölgy fajoknál, míg az erősen szőrözött levelű nyugati ostorfa levelén 400 mg m^{-2} porkiülepedést találtak, megközelítőleg hasonlóan a mi adatainkhoz. Az ezüst hárs levelén mért nagyobb porkiülepedés feltehetően összefüggésben van a fafajra, illetve fajtáira jellemző molyhosan szőrös levélfelszínnel. Habár az ezüst hárs leveleinek pormegkötő képességét más szerzők még nem vizsgálták, Kretinin és Selyanina (2006) szintén nagy pormegkötő képességről számolt be az európai hárs és a nagylevelű hárs esetén, $464,6 \text{ mg m}^{-2}$ és $313,6 \text{ mg m}^{-2}$ mennyiséget mértek. Hasonlóan magas (224 és 381 mg m^{-2}) értékeket mértünk mi is 2015. őszén, amikor a PM10 koncentrációja kiemelkedően magas volt Budapesten. Az ezüst hárs esetében eredményeink jelentik az első mért adatot a faj kiemelkedő pormegkötő képességéről, ami feltehetően a molyhosan szőrös levélfelületnek köszönhető, de további vizsgálatokat tartunk szükségesnek a levelek gázcsereváltásainak szerepével kapcsolatban, amelyre Mori et al. (2015) hívták fel a figyelmet. Ez a fajfa szárazság- és hőtürésének (Tóth et al. 2015) köszönhetően hasznos lehet a településfásításban.

A budapesti városi fák levelein lerakódott porban lévő nehézfémek mennyisége

A vizsgált nehézfémek mennyisége a három mintavételi időszakban szignifikáns különbségekkel sajátos tendenciát mutatott (3. táblázat). Az ólom és a vas esetében az őszi időszakokból származó mintákban volt szignifikánsan nagyobb mennyiség, míg a legnagyobb nikkel, cink és réz kiülepedést a tavaszi mintákban mértünk. A statisztikai elemzés a vizsgált mintákban a taxonok és a különböző helyszínek szignifikáns hatását igazolta.

3. táblázat. A nehézfémek mennyisége a budapesti fák leveléről lemosott porban (mg m^{-2}) a három mintavételi időszakban (2015. tavasz, 2015. ősz és 2016. ősz)

Időszak	Pb	Fe	Ni	Zn	Cu
2015 tavasz	1,14 a	0,40 a	9,44 c	3,49 b	1,54 b
2015 ősz	7,23 b	6,30 c	2,14 a	2,71 b	0,58 a
2016 ősz	5,29 b	4,71 b	6,63 b	1,68 a	0,31 a

Table 3. HM deposition washed off from leaves in Budapest (mg m^{-2}) in three sampling seasons (spring 2015, autumn 2015 and 2016). (column 1 – Sampling season, 2015 spring, 2015 autumn, 2016 autumn)

Eredményeink arra utalnak, hogy a nehézfémek mennyisége a lerakódott porban időben különbözhet, amire tekintettel kell lennünk, ha a szálló por nehézfém-tartalmának követésére (Hoodaji et al. 2012) szeretnénk használni a leveleken lerakódott port. A nehézfémek változó mennyiségének másik oka lehet, hogy ezen elemek, illetve vegyületeik az esővízzel könnyebben kimosódnak, vagy a szél elviszi ezeket (Mori et al. 2015). Ezzel szemben az ólom és a vas mennyisége az őszi levélmintákról lemosott porban volt mindig nagyobb, amiből arra következtetünk, hogy ezek az elemek könnyebben felhalmozódnak a levelekre kiülepedett porban. Összehasonlítva a 2015. tavaszi, valamint az őszi levélminták eredményeit (3. táblázat), szembeötlő, hogy a tavaszi mintákhoz viszonyítva a vas és ólom mennyisége mindkét őszen 5-15-szörös volt, míg a cink, nikkel és réz mennyisége csökkent. Ezek az adatok egyértelműen jelzik, hogy az ólom és a vas felhalmozódott a kiülepedett porban. Mivel ezt a jelenséget az ólom és a vas koncentrációjának az őszi porban jelentkező különbsége is okozhatja, illetve a levélfelszín és a nehézfémek között kialakuló, egyelőre ismeretlen kölcsönhatás is szerepet játszhat, ebben a vonatkozásban további vizsgálatokat tartunk szükségesnek.

A legnagyobb mennyiségű nehézfémet a Karolina útról származó ezüst hárs levélmintákon kiülepedett porban mértünk, ezt követték szignifikáns különbség nélkül a Budai Arborétumban gyűjtött ezüst hárs levélminták (4. táblázat). Legkevesebb nehézfémet mutattunk ki a korai juhar és a magas kőris Budai Arborétumban gyűjtött levélmintáin kiülepedett porban, míg ugyanezen taxonoknak a forgalommal terhelt helyszínről (Karolina út) származó levélmintáin a vas, ólom és réz mennyisége átmeneti értékeket mutatott szignifikáns különbség nélkül. Megállapíthatjuk, hogy a nehézfémek adszorbeálásában leghatékonyabb az ezüst hárs volt, amelyet a korai juhar és a magas kőris követett mindegyik mintavételi időszakban (4. táblázat).

4. táblázat. A lemosott por nehézfém-tartalmának alakulása díszfák különböző helyszínekről származó levélmintáin a mintavételi időpontok átlagában (mg m^{-2})

Fafaj/helyszín	Acer Arbor		Acer Krisztina		Fraxinus Arbor		Fraxinus Andrássy		Tilia Arbor		Tilia Karolina	
Pb	3,33	a	4,34	ab	3,21	a	3,20	a	6,45	ab	6,79	b
Fe	2,15	a	4,17	ab	2,37	a	3,54	ab	4,50	ab	6,10	b
Ni	4,11	a	5,60	a	3,59	a	3,67	a	9,4	b	10,16	b
Zn	1,68	a	2,44	a	1,56	a	1,8	a	3,75	b	4,54	b
Cu	0,55	a	0,82	ab	0,40	a	0,50	a	1,22	b	1,36	b

Megjegyzés: az átlagokat Tukey-tesztel hasonlítottuk össze, az egyes sorokban azonos betűvel jelölt értékek szignifikánsan nem különböznek ($p=0,5$)

Table 4. HM deposition washed off from leaves (mg m^{-2}) of different species sampled in different locations in Budapest

Eredményeink megerősítik Nowak et al. (2006), Simon et al. (2011, 2014) és Mori et al. (2015) véleményét, akik szintén jelentős fafajok közötti különbségekről számoltak be, másrészt megerősítik Yuan et al. (2009) álláspontját, akik úgy vélik, hogy a fák levélzetének por- és nehézfém megkötő képessége számottevően hozzájárul az egészséges települési környezethez. Az ólom mennyisége a magas kőris leveleken 2015. tavaszán hasonló volt az Aksoy és Demirezen (2006) által Törökországban mért értékekhez, viszont az őszi levélmintákon mindkét évben jóval nagyobb mennyiséget mértünk. A korai juhar és az ezüst hárs levelein való nehézfém-kiülepedésre nem találtunk adatot a szakirodalomban, így vizsgálatainkat és eredményeinket (4. táblázat) az első, módszeresen mért vizsgálati eredménynek tekinthetjük.

A budapesti fák leveleiben mért nehézfémek mennyisége

A különböző fafajtaokról és eltérő gyűjtési helyszínekről származó levélmintákban a por lemosása után a levélszövet nehézfém-tartalma elemenként sajátosan alakult (5. táblázat). Mivel az eltérő gyűjtési helyszínekről származó levélminták nehézfém-tartalma között nem volt szignifikáns különbség, a helyszínek adatait átlagolva csak az őszi és a tavaszi mintavételből származó minták eredményeit mutatjuk be. Szembetűnő, hogy a vas és az ólom mennyisége lényegesen nagyobb az őszi levélmintákban a tavasziakhoz viszonyítva. A fafajokat összehasonlítva az ezüst hárs kivételével nem találtunk eltérést az egy időben gyűjtött levelek vas és ólom tartalma között. Ezzel szemben a kőris levelek nikkeltartalma tavasszal magasabb volt a többi mintához viszonyítva, míg a cink tartalom a magas kőris tavaszi, illetve a korai juhar mindkét mintájában mutatott a többihez viszonyítva magasabb értékeket.

5. táblázat. A fajták levelének nehézfém-tartalma a kiüledett por lemosása után 2015. őszén és tavaszán (mg kg^{-1})

Fafaj	<i>Acer platanoides</i> 'Globosum'		<i>Fraxinus excelsior</i> 'Westhof's Glorie'		<i>Tilia tomentosa</i>	
	tavasz	ősz	tavasz	ősz	tavasz	ősz
Pb	0,80 a	1,69 b	0,89 a	1,54 b	0,88 a	2,11 c
Fe	147,00 ab	248,00 c	112,00 a	218,00 bc	127,00 a	285,00 c
Ni	1,17 a	0,92 a	1,97 b	1,06 a	1,30 ab	1,30 ab
Zn	32,60 b	32,30 b	30,60 b	22,70 a	19,30 a	20,85 a
Cu	13,03 a	14,70 a	11,56 a	12,90 a	26,10 a	15,40 a

Megjegyzés: az átlagokat Tukey-tesztel hasonlítottuk össze, az egyes sorokban azonos betűvel jelölt értékek szignifikánsan nem különböznek ($p=0,5$)

Table 5. Leaf tissue HM content (mg kg^{-1}) of urban trees in Budapest in spring 2015 and autumn 2015

A korai juhar leveleiben Uhrin és Supuka (2018) Nyitrán hasonló mennyiségű vasat talált tavaszszal, az őszi mintáinkban viszont több vas mutatkozott. Az ólomtartalom mindkét időszakban alacsonyabb volt Budapesten, míg a cink és a réz mennyisége csaknem kétszeres volt. Hrotkó et al. (2014) cseresznyefák levelében a májusi eredményeinkhez hasonló mennyiségű vasat mért, míg az őszi levélmintáink vastartalma jelentősen magasabb volt. Eredményeink (a nikkell kivételével) összhangban vannak Guha és Mitchell (1966), Kim és Fergusson (1994), Tomašević és Aničić (2010), valamint Popović et al. (2010) eredményeivel, akik úgy találták, hogy az év folyamán a levelek öregedésével májustól őszig a vas, nikkell és az ólom mennyisége folyamatosan növekszik, míg a cink és réz koncentrációja fokozatosan csökken. Az általunk vizsgált korai juhar levelekben a vas mennyisége őszre 60%-kal, míg az ezüst hárs levelében csaknem kétszeresére nőtt. Hasonlóképpen az ólom mennyisége mindhárom taxon levélmintáiban közel kétszeresére nőtt. A két nehézfém, a vas és az ólom megnövekedett mennyisége a levélmintákban megerősíti Hoodaji et al. (2012) álláspontját, miszerint a kiüledett vas és ólom egy részét a levelek felveszik, míg a cink- és a rézvegyületek kioldódva a csapadékvízzel a felszínre, illetve a talajba kerülnek.

Tomašević és Aničić (2010), valamint Popović et al. (2010) is úgy találták, hogy a vegetáció folyamán az ólom felhalmozódása a levelekben rendszeres és szabályos volt. Aznar et al. (2009) feltételezték, hogy az ólom, mint a növényekben jelen levő nem esszenciális elem részben méregtelenítő folyamatok eredménye. Hovmand et al. (2009) a lucfenyő, míg Tomašević és Aničić (2010) vadgesztenye levelében vizsgálták az ólom eredetét és úgy találták, hogy kevesebb, mint 2%-át veszik fel a gyökerek, s mintegy 98% légköri eredetű. Ezek az adatok is alátámasztják azt a véleményünket, hogy az őszi levelekben talált magasabb ólom- és vastartalom zömmel a leveleken kiüledett szálló porból származik, noha a kis mennyiségben gyökéren történő felvétel (Piczak et al. 2003) sem zárható ki.

Eredményeink megerősítik Popović et al. (2010) és Tomašević et al. (2011) véleményét, miszerint a levélminták vizsgálata alkalmas eszköz lehet a légkör ólomszennyezettségének monitorozására, de hangsúlyozni kell, hogy erre elsősorban az őszi levélminták alkalmasak. Másrészt viszont

a légköri nikkel-, cink- és rézszenyezetttség követésére a levélminták használatát nem javasoljuk. Eredményeink alapján a vizsgált taxonok közül a korai juhar és az ezüst hárs levélminták vizsgálata javasolható a légköri ólom- és vasszenyezetttség követésére, Aksoy és Demirezen (2006) véleményével szemben a magas kőris erre kevésbé alkalmas.

Összegzés: Összefoglalva megállapítható, hogy az aeroszol részecskék kiülepedésével és nehézfém tartalmával kapcsolatos eredményeink új megvilágításba helyezik a városi fák környezeti szolgáltatóképességével kapcsolatos eddigi ismereteinket. A kiülepedett por mennyisége a PM10 aeroszol részecskék légköri koncentrációjával, valamint a csapadékviszonyok függvényében változik az év folyamán. A vizsgált fajok levelei különböző adszorbeáló képességgel rendelkeznek a por tekintetében, habár az extrém magas PM10 koncentráció esetén a fajok közötti különbségek csökkennek. Vizsgálataink elsőként szolgáltatnak módszeresen mért adatokat az ezüst hárs por- és nehézfém adszorbeáló képességéről, a faj mindkét vonatkozásban a legeredményesebbnek bizonyult. Eredményeink más szerzőket megerősítve igazolták, hogy a vas és az ólom mennyisége a leveleken kiülepedett porban felhalmozódik, míg a többi (cink, nikkel és réz) elemnél ez nem jelentkezett. A nehézfémeknek ezt a sajátosságát figyelembe kell venni, ha a kiülepedett por vizsgálatát a légkör nehézfém-szenyezettségének követésére kívánjuk felhasználni. Az őszi levélmintákban a lemosott levélszövet megemelkedett vas- és ólomtartalma nagy valószínűséggel a kiülepedett porból származik, így ez a paraméter jól használható a légkör ólom- és vasszenyezetttségének követésére.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetet mondanak a kutatómunka támogatásáért a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal OTKA 109109 és 10936 projektjeinek, valamint az Emberi Erőforrások Minisztériuma által adott Felsőoktatási Kiválósági Program (NKFIH-1159-6/2019) ösztöndíjának a Szent István Egyetemen folyó növényi nemesítés és növényvédelmi kutatások támogatásért.

Felhasznált irodalom

1. Aksoy, A. and Demirezen, D. 2006. Fraxinus excelsior as a Biomonitor of Heavy Metal Pollution. Polish Journal of Environmental Studies, 15(1): 27-33.
2. Apegyei, E., Bank, M.S. and Spengler, J.D. 2010. Distribution of heavy metals in road dust along an urban-rural gradient in Massachusetts. Atmospheric Environment, 45(13): 2310-2323.
3. Aznar, J.C., Richer-Lafèche, M., Bégin, C. and Bégin, Y. 2009. Lead Exclusion and Copper Translocation in Black Spruce Needles, Water Air and Soil Pollution, 203(1-3): 139-145.
4. Badamasi, H. 2017. Biomonitoring of Air Pollution Using Plants. MAYFEB Journal of Environmental Science, 2: 27-39.
5. Baidourela, A. and Zhayimu, K. 2015. Patterns of Dust Retention by Urban Trees in Oasis Cities. Nature Environment and Pollution Technology, 14(1): 53-57.
6. Balasooriya, W.K., Samson, R., Mbikwa, F., Vitharana, U.W.A., Boeckx, P. and Van Meirvenne, M. 2009. Biomonitoring of urban habitat quality by anatomical and chemical leaf characteristics. Environmental and Experimental Botany, 65: 386-394.
7. Beckett, K.P., Freer-Smith, P.H. and Taylor, G. 2000b. Particulate pollution capture by urban trees: effect of species and windspeed. Global Change Biology, 6: 995-1003.

8. Beckett, K.P., Freer-Smith, P.H. and Taylor, G. 1998. Urban woodlands: their role in reducing the effects of particulate pollution. *Environmental Pollution*, 99(3): 347-360.
9. Beckett, K.P., Freer-Smith, P.H. and Taylor, G. 2000a. Effective tree species for local air quality management. *Journal of Arboriculture*, 26: 12-19.
10. Braun M., Margitai Z., Leermakers M. és Finsy R. 2007. Néhány erdélyi település környezeti állapotának jellemzése a falevelekre lerakódott por vizsgálata alapján. *Anyagvizsgálatok Lapja*, 17(1): 27-35.
11. Chaudhary, I.J. and Rathore, D. 2018. Phytomonitoring of dust load and its effect on foliar micromorphological characteristics of urban trees. *Plantica – Journal of Plant Science*, 2(3): 170 –179.
12. Chen, L., Liu, C., Zou, R., Yang, M. and Zhang, Z. 2016. Experimental examination of effectiveness of vegetation as bio-filter of particulate matters in the urban environment. *Environmental Pollution*, 208: 198-208.
13. Christoforidis, A. and Stamatis, N. 2009. Heavy metal contamination in street dust and roadside soil along the major national road in Kavala's region, Greece. *Geoderma*, 151(3-4): 257-263.
14. Davidson, C.I., Phalen, R.F. and Solomon, P.A. 2005. Airborne Particulate Matter and Human Health: A Review, *Aerosol Science and Technology*, 39(8): 737-749.
15. Guha, M.M. and Mitchell, R.L. 1966. The trace and major element composition of the leaves of some deciduous trees, *Plant and Soil*, 24(1): 90-112.
16. Hofman, J., Bartholomeus, H., Calders, K., Van Wittenberghe, S., Wuyts, K. and Samson, R. 2014. On the relation between tree crown morphology and particulate matter deposition on urban tree leaves: A ground-based LiDAR approach. *Atmospheric Environment*, 99: 130-139.
17. Hoodaji, M., Ataabadi, M. and Najafi, P. 2012. Biomonitoring of airborne heavy metal contamination. In Khare, M. (Ed.) *Air Pollution-Monitoring, Modelling, Health and Control*. InTech. 97-122.
18. Hosker, R.P.Jr. and Lindbergh, S.E. 1982. Review: Atmospheric deposition and plant assimilation of gases and particles. *Atmospheric Environment*, 16(5): 889-910.
19. Hovmand, M.F., Nielsen, S.P. and Johnsen, I. 2009. Root uptake of lead by Norway spruce grown on 210Pb spiked soils, *Environmental Pollution*, 157(2): 404-409.
20. Hrotkó, K., Magyar, L., Borsos, G. and Gyeviki, M. 2014. Rootstock Effect on Nutrient Concentration of Sweet Cherry Leaves. *Journal of Plant Nutrition*, 37(9): 1395-1409.
21. Jensen, S., Eriksson, G., Kylin, H. and Strachan, W.M.J. 1992. Atmospheric pollution by persistent organic compounds: monitoring with pine needles. *Chemosphere*, 24: 229-245.
22. Jim, C.Y. and Chen, W.Y. 2008. Assessing the ecosystem service of air pollutant removal by urban trees in Guangzhou (China). *Journal of Environmental Management*, 88(4): 665-676.
23. Jo, H.K. and McPherson, E.G. 1995. Carbon Storage and Flux in Urban Residential Greenspace. *Journal of Environmental Management*, 45: 109-133.
24. Kampa, M. and Castanas, E. 2008. Human health effects of air pollution. *Environmental Pollution*, 151(2): 362-367.
25. Kim, N.D. and Fergusson, J.E. 1994. Seasonal variations in the concentrations of cadmium, copper, lead and zinc in leaves of the horse chestnut (*Aesculus hippocastanum* L.). *Environmental Pollution*. 86(1): 89-97.
26. Kretinin, V.M. and Selyanina, Z.M. 2006. Dust Retention by Tree and Shrub Leaves and Its Accumulation in Light Chestnut Soils under Forest Shelterbelts. *Eurasian Soil Science*, 39(3): 334-338.
27. Lu, X., Wang, L., Li, L., Lei, Y.K., Huang, L. and Kang, D. 2010. Multivariate statistical analysis of heavy metals in street dust of Baoji in NW China. *Journal of Hazardous Materials*, 173: 744-749.
28. Margitai Z. és Braun M. 2005a. Falevelekre rakódott por mennyiségének meghatározása turbidimetriás módszerrel. *Műszeres Analitika*, 4: 127-128.
29. Margitai Z. és Braun M. 2005b. Nyolc európai város légszennyezettségének vizsgálata falevelekről gyűjtött por elemösszetételének diszkriminancia analízisével. *Magyar Kémiai Folyóirat*, 111(1): 38-41.
30. Margitai Z., Braun M. és Posta J. 2005. Légszennyezettség jellemzése a falevelekre ülepedett por szervesetlen komponenseinek elemzése alapján. *Műszeres Analitika*, 2: 61-64.

31. Mori, J., Sæbø, A., Hanslin, H.M., Teani, A., Ferrini, F., Fini, A. and Burchi, G. 2015. Deposition of traffic-related air pollutants on leaves of six evergreen shrub species during a Mediterranean summer season. *Urban Forestry & Urban Greening*, 14(2): 264-273.
32. Nowak, D.J., Crane, D.E. and Stevens, J.C. 2006. Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. *Urban forestry & urban greening*, 4(3): 115-123.
33. Petkovšek, S.A.S., Batič, F. and Lasnik, C.R. 2008. Norway spruce needles as bioindicator of air pollution in the area of influence of the Šoštanj Thermal Power Plant, Slovenia. *Environmental Pollution*, 151 (2): 287-291.
34. Piczak, K., Leśniewicz, A. and Żyrnicki, W. 2003. Metal concentrations in deciduous tree leaves from urban areas in Poland. *Environmental Monitoring and Assessment*, 86(3): 273-287.
35. Popović, D., Todorović, D., Aničić, M., Tomašević, M., Nikolić, J. and Ajtić, J. 2010. Trace elements and radionuclides in urban air monitored by moss and tree leaves. in *Urban Air Monitored by Moss and Tree Leaves, Air Quality*, Ashok Kumar (Ed.), InTech, DOI: 10.5772/9755. Available from: <https://www.intechopen.com/books/air-quality/biomonitoring-of-trace-elements-and-radionuclides-in-urban-air>
36. Sæbø, A., Popek, R., Nawrot, B., Hanslin, H.M., Gawronska, H. and Gawronski, S.W. 2012. Plant species differences in particulate matter accumulation on leaf surfaces. *Science of the Total Environment*, 427: 347-354.
37. Simon, E., Braun, M., Vidic, A., Bogyó, D., Fábíán, I. and Tótmérés, B. 2011. Air pollution assessment based on elemental concentration of leaves tissue and foliage dust along an urbanization gradient in Vienna. *Environmental Pollution*, 159(5): 1229-1233.
38. Simon, E., Baranyai, E., Braun, M., Cserhádi, C., Fábíán, I. and Tóthmérés, B. 2014. Elemental concentrations in deposited dust on leaves along an urbanization gradient. *Science of the Total Environment*, 490: 514-520.
39. Szaller, V., Szabó, V., Sütöriné D.M., Magyar, L. and Hrotkó, K. 2014. *Urban Alley Trees in Budapest. Plants in Urban Areas and Landscape*, Slovak Agricultural University, Nitra, Faculty of Horticulture and Landscape Architecture, 27-30.
40. Tomašević, M. and Aničić, M. 2010. Trace element content in Urban tree leaves and SEM-EDAX characterisation of deposited particles. *Facta Universitatis, Series: Physics, Chemistry and Technology*, 8(1): 1-13.
41. Tomašević, M., Aničić, M., Jovanović, L.J., Perić-Grujić, A. and Ristić, M. 2011. Deciduous tree leaves in trace elements biomonitoring: A contribution to methodology. *Ecological indicators*, 11: 1689-1695.
42. Tóth, E.GY., Juhász, Á., Sütöriné, D.M., Steiner, M. and Hrotkó, K. 2015. Leaf gas exchange characteristics of drought stressed linden trees. *Applied Ecology and Environmental Research*, 13(4): 1109-1120.
43. Uhrin, P. and Supuka, J. 2018. Adaptability assessment of Norway maple (*Acer platanoides* L.) on urban environment in Nitra town. *Plants in Urban Areas and Landscape Conference*, Nitra Agricultural University, 8-9 November 2017. (in press)
44. Yang, J., McBride, J., Zhou, J. and Sun, Z. 2005. The urban forest in Beijing and its role in air pollution reduction. *Urban Forestry & Urban Greening*, 3: 65-78.
45. Yuan, Q., Dongsheng, G., Weiwei, S. and Kangyou, H. 2009. Capture of heavy metals and sulfur by foliar dust in urban Huizhou, Guangdong Province, China. *Chemosphere*, 75: 447-452.
46. Zupancic, T., Westmacott, C. and Bulthuis, M.S. 2015. The impact of green space on heat and air pollution in urban communities: a meta-narrative systematic review. *Publication of David Suzuki Foundation*, Vancouver, BC, Canada. 67.
47. www.levogominoseg.hu
48. www.met.hu

Foliar dust and heavy metal deposit on leaves of urban trees in Budapest (Hungary)

HROTKÓ, K.^{1*}, GYEVIKI, M.¹, SÜTÖRINÉ, D.M.¹, MAGYAR, L.¹, SZABÓ, V.¹, MÉ-
SZÁROS, R.², HONFI, P.¹ and KARDOS, L.³

¹ Institute of Landscape Architecture, Urban Planning and Ornamental Horticulture,
Hungarian University of Agriculture and Life Sciences

² Department of Meteorology, Eötvös Loránd University

³ Institute of Environmental Science, Hungarian University of Agriculture and Life Sciences

E-mail: hrotko.karoly@uni-mate.hu

Summary

This work aims to study dust deposition and the heavy metal (HM) content on leaves of urban trees (*Acer platanoides* L. 'Globosum', *Fraxinus excelsior* L. 'Westhof's Glorie' and *Tilia tomentosa* Moench.) in order to estimate the capacity of the trees to remove dust and HM from the air. Leaves were collected from the Buda Arboretum and from different streets with heavy traffic in Budapest, Hungary during 2015 and 2016. On each site 6 leaves from the total of five trees were collected from the height of 2 to 3 meters. Dust deposits on the leaves were removed by soaking the fresh foliage in distilled water for 20 hours then washed with ultrasound shaking. Afterwards, the leaves were dried to constant weight, then digested in nitric acid – hydrogen peroxide treatment. The Pb, Fe, Ni, Zn and Cu content was measured by using an inductively coupled plasma (ICP AS) spectrometer. The removed dust deposit was dried and after a similar digestion treatment the Pb, Fe, Ni, Zn and Cu content was measured using an AURORA AI 1200 AAS appliance. The HM deposit was calculated in mg m⁻² leaf surface area. In 2015 the amount of foliar dust deposit from spring to autumn increased from 86.3 to 270.2 mg m⁻². The most efficient tree species in trapping dust on their leaves was the silver linden (98.5-123.5 mg m⁻²), followed by the Norway maple (74.2-84.8 mg m⁻²) and the common ash (62.8-74.6 mg m⁻²). The deposit of HM elements showed seasonal differences: the quantity of Fe and Pb deposit on autumnal leaves increased five to ten-fold, while other heavy metals did not show accumulation. The silver linden with its pubescent (hairy) leaf surface proved to be most efficient in trapping and retaining dust and heavy metals. The 60 to 100 % higher Pb and Fe content of autumnal leaves indicate that, over the season, leaves may absorb Fe and Pb from the foliar dust. Our results confirmed that foliar dust is a potential indicator for monitoring the HM content in the air. We also show that foliar dust deposits should be considered when estimating the capacity of urban trees to clean the air.

Keywords: *Acer platanoides*, air pollution, *Fraxinus excelsior*, heavy metal content of leaves, *Tilia tomentosa*, urban trees

Szerzők:

Hrotkó Károly (kapcsolattartó szerző) – DSc, ny. egyetemi tanár, Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Tájépítészeti, Településtervezési és Díszkertészeti Intézet, Dísznövénytermesztési és Dendrológiai Tanszék, 1118 Budapest, Villányi út 29-43.

Gyevíki Márta – PhD, egyetemi adjunktus, Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Tájépítészeti, Településtervezési és Díszkertészeti Intézet, Dísznövénytermesztési és Dendrológiai Tanszék, 1118 Budapest, Villányi út 29-43.

Sütöriné Diószegi Magdolna – PhD, egyetemi adjunktus, Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Tájépítészeti, Településtervezési és Díszkertészeti Intézet, Dísznövénytermesztési és Dendrológiai Tanszék, 1118 Budapest, Villányi út 29-43.

Magyar Lajos – tanszéki mérnök, Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Tájépítészeti, Településtervezési és Díszkertészeti Intézet, Dísznövénytermesztési és Dendrológiai Tanszék, 1118 Budapest, Villányi út 29-43.

Szabó Veronika – PhD, egyetemi adjunktus, Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Tájépítészeti, Településtervezési és Díszkertészeti Intézet, Dísznövénytermesztési és Dendrológiai Tanszék, 1118 Budapest, Villányi út 29-43.

Honfi Péter – PhD, egyetemi docens, Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Tájépítészeti, Településtervezési és Díszkertészeti Intézet, Dísznövénytermesztési és Dendrológiai Tanszék, 1118 Budapest, Villányi út 29-43.

Mészáros Róbert – PhD, egyetemi docens, ELTE, Meteorológiai Tanszék, 1117, Budapest, Pázmány Péter sétány, 1/A.

Kardos Levente – PhD, egyetemi docens, Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Környezettudományi Intézet, 1118 Budapest, Villányi út 29-43.