

A városi fák szerepe a szálló por kiszűrésében

Több sajtó fórumon, így e lap hasábjain is olvashattunk nemrég a brit botanikusok nagyszerű eredményéről, miszerint a madárbirsek a legeredményesebbek a városok levegőjének tisztításában. Mielőtt buzgón nekilátnánk a madárbirsek telepítésének, szeretném ezt a kérdést egy kicsit pontosabban megvilágítani a szélesebb szakmai közvélemény és a laikus olvasók számára. Teszem ezt azért, mert azt gondolom, hogy az a mintegy egy évtizedes munka, amelyet a MATE Dísznövénytermesztési és Dendrológiai Tanszékén folytattunk feljogosít arra, hogy ebben a kérdéskörben véleményt nyilvánítsak.

Mi is az a szálló por?

A köznyelvben szálló pornak nevezik azokat az aeroszol részecskéket, amelyek a méretüknek és súlyuknak köszönhetően a levegőben lebegve maradnak, nagyjából 10 mikron mérettartományba tartoznak (PM10: particulate matter angol rövidítése). Még veszélyesebbek a PM2,5 mérettartományba sorolható részecskék, mindkét mérettartomány belélegzése komoly egészségkárosodást okozhat. A városi légszennyezést leginkább befolyásoló légszennyezési forrás a városi gépjármű közlekedés, amely szén-dioxid (CO₂), különböző nitrogén-oxidok (NO_x), szén-monoxid (CO), és egyéb gáznemű vegyületek, illetve por, korom részecskék kibocsátása által okoz súlyos károsodást a lakosság egészségi állapotában. A járművek kerekeinek súrlódása és a fékezések során keletkező szennyeződésben a következő nehézfémek találhatók meg legnagyobb mennyiségben: ólom, cink, nikkel, vas és réz. A por és a benne lévő részecskék a belélegezve súlyos légúti és érrendszeri megbetegedést okoznak.

A növények szerepe a légkör tisztításában

A lágyszárú növényzethez viszonyított nagy levélfelületüknek köszönhetően, másrészt hosszú élettartamuk miatt elsősorban a fák képesek jelentősen hozzájárulni a légszennyezés csökkentéséhez. A fák levelei rendkívül hatékonyak az apró méretű részecskék megkötésében, elsősorban azért, mert az aeroszol részecskék a levél színén és fonákán egyaránt képesek kiülepedni. Ezáltal a lombkorona a rajta átáramló levegőt egy összetett biológiai szűrőrendszerként tisztítja, kiszűri a szálló por egy részét. Városainkban a legnagyobb lombfelülettel a sorfák és parkfák rendelkeznek, a cserjeszint, valamint az egynyári és évelő növények, illetve a gyepfelület levélfelülete csupán 5-10 %-a a fákénak.

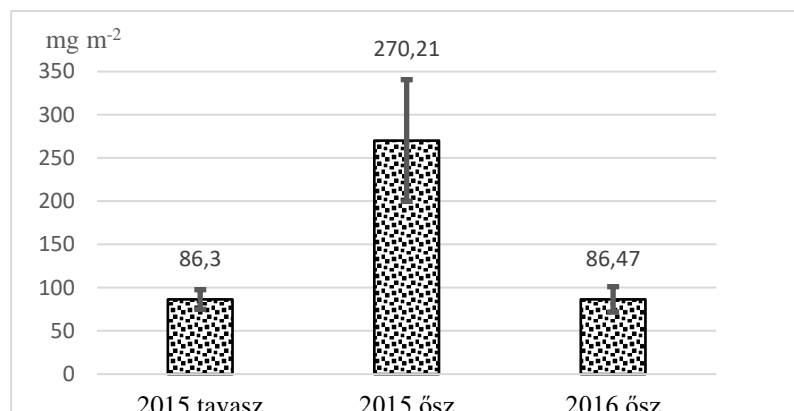
A levélen kiülepedett szálló por és a benne levő nehézfémek mennyiségét az adott időjárási viszonyokon (szél és csapadék mennyisége) és az aeroszol részecskék méretén kívül nagymértékben befolyásolja a növényzet morfológiai sajátossága. Meghatározó lehet a levél felépítése, formája, felszíne, a levél szőrözöttségének mértéke, a sztómák mérete és sűrűsége, valamint a levelek eloszlása a koronában. Számos kutatóval összhangban mi is, arra az eredményre jutottunk, hogy a szőrözöttebb levelű növények több port és szennyeződést kötnek meg a levelek felszínén, mint a sima levélfelülettel rendelkező fajok. A levelek vizsgálata során az is kiderült, hogy a nagyon finom, antropogén eredetű szennyeződésekől származó részecskék a sztómák körül sűrűbben rakódnak le, vagyis a levelek morfológiai, anatómiai jellemzőinek szerepe lehet a levelek és a szálló por közötti kölcsönhatásban.

Ahhoz, hogy ennek a lombfelületnek a légtisztító kapacitását felbecsülhessük, minél több városi fafaj és -fajta *in situ* és laboratóriumi vizsgálatára van szükség, hogy a fajonként és fajtánként eltérő egyedi levélméret, levélfelszíni sajátosságok, sztóma-szerkezet megismerésével pontosabb képet alkothassunk ezen taxonok városi levegőt tisztító hatásáról. A tanszékünkön folyó kutatómunkánk során azt a célt tűztük ki, hogy megvizsgáljuk három gyakori fafaj, a magas kőris, a korai juhar és az ezüst hárs fajtáinak szálló por- és nehézfém megkötő képességét Budapest különböző területein.

A szálló por kiülepedése az évszakok és a csapadék függvényében

A három díszfa taxon átlagában a 2015. tavasz és 2016. őszi időszakban $86,30 - 86,47 \text{ mg m}^{-2}$ porkiülepedést mértünk, míg a 2015. őszi időszakban több, mint háromszoros ($270,21 \text{ mg m}^{-2}$) volt a leveleken lerakódott por (1. ábra). Ekkor a különböző szennyezettségű helyekről szedett levélmintákon $240 - 381 \text{ mg m}^{-2}$ szálló por ülepedett ki. Az eredményeket összehasonlítva a különböző helyszíneken a levegőben az adott időszakban az Országos Légszennyezettségi Mérőhálózat (OLM) által mért PM10 (10 μm -nél kisebb aeroszol részecskék) koncentrációval szembevetve, hogy a 2015. őszi nagy porlerakódási adatok jól tükrözik a légkörben mért extrém magas PM10 koncentrációt, amelyben a hosszabb hideg időszak miatt megindított fűtési szezon is közrejátszott.

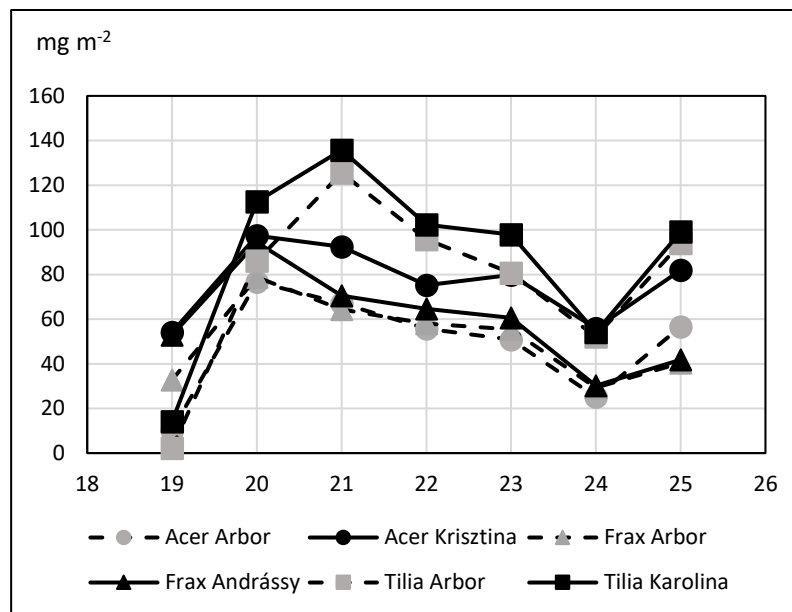
A csapadék mennyisége is befolyásolhatja a leveleken kiülepedő por mennyiségét, ahogy ezt más kutatók vizsgálatai kimutatták. A 2015. őszi mintavételi heteket (44-46. hét) megelőző hetek szinte csapadékmentesek voltak (1,1 mm csapadék 3 hét alatt), amelyhez egy magas légköri PM10 koncentráció társult, befolyásolva az extrém magas pormennyiség kiülepedését.



1. ábra. A levelekről lemosott por mennyisége a három vizsgálati időszakban (mg m⁻²)
(Hrotkó et al. 2021. *Kertgazdaság* 53: 14-31.)

A levélzetre kiülepedett por mennyiségének alakulása a 2015 tavaszi mintavételi időszakban

A 2. ábrán a 2015. május 5. és június 17. közötti héthetes mintavételi időszakban (az év 19. és 25. hete) a fafajok levelén kiülepedett por heti adatait látjuk. A kiülepedett por mértéke sajátos tendenciát mutatott. Az ezüst hárs levelein mért por mennyisége a 21. hétig emelkedett, majd három héten keresztül a 24. hétre a felére csökkent. 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 mintavételt megelőző hetekben jelentős mennyiségű csapadék hullott, a 21-22. héten 40 mm, majd a 23. héten 50 mm. Úgy véljük, ez okozhatta azt, hogy a 21. és 24. hét közötti por kiülepedés a leveleken a felére, harmadára csökkent. Ezek az adatok is mutatják, hogy a por kiülepedése folyamatos az év folyamán, de dinamikusán változó a mérhető mennyiség. A leveleken levő por egy része a csapadékkal lemosva a csatornába, valamint a talajra, illetve a talajba kerül. Az őszi levelek viszont a talajban lebontva vagy komposztálva a port a talajba juttatják, ahonnan a pornak egy része a felszínről a széllel ismét a légkörbe kerül a következő években. Az előbbi adatokból az is következik, hogy a lombkorona éves szűrőkapacitásának becslésekor az év közben lemosódott por mennyiségét is figyelembe kell venni. Ez a mennyiség mintegy akár 3-4-szerese lehet a 2015 tavaszán, nyár elején mért mintegy 60 mg m⁻² csapadék által lemosott pornak.



2. ábra: A budapesti városi fák levelein lerakódott por mennyiségének alakulása 2015. év 19. és 25. hete között (mg m^{-2}) (Hrotkó et al. 2021. *Kertgazdaság* 53: 14-31.)

A fajok szerepe

A 2015. tavaszi és nyári, valamint a 2016. őszi mintavételi időszakból származó levélmintákról lemosott összes szennyezőanyag mennyiségében szignifikáns eltéréseket tapasztaltunk a különböző fajokon. A legmagasabb értékeket a sűrűn csillagszórós levélfonákú ezüst hársakról begyűjtött levélmintákon mértük (124 mg m^{-2}), míg 30-40%-kal kevesebb por (85 és 75 mg m^{-2}), rakódott le a korai juhar és magas kőris levelein. A levelekre kiülepedett por mennyiségében nem találtunk szignifikáns különbséget a kertvárosi környezetben lévő Budai Arborétum fái és a gépjárműforgalommal erősen terhelt utak (Andrásy út, Karolina út, Krisztina körút) sorfái között. Ebből arra lehet következtetni, hogy a szálló por a légtérben viszonylag egyenletesen eloszlik, így a gépjárműforgalomtól távolabbi parkok, zöldterületek fái hasonló képességgel járulnak hozzá a városi légtér tisztításához, mint a forgalomhoz közeli sorfák.

A budapesti városi fák levelein lerakódott porban lévő nehézfémek mennyisége

A vizsgált nehézfémek mennyisége a három mintavételi időszakban szignifikáns különbségekkel sajátos tendenciát mutatott (1. táblázat). Az ólom és a vas esetében az őszi időszakokból származó mintákban volt szignifikánsan nagyobb mennyiség, míg a legnagyobb nikkellel, cinkkel és rézzel kiülepedést a tavaszi mintákban mértünk. A statisztikai elemzés a vizsgált mintákban a taxonok és a különböző helyszínek szignifikáns hatását igazolta.

1. táblázat: A nehézfémek mennyisége a budapesti fák leveléről lemosott porban (mg m^{-2}) a három mintavételi időszakban (2015. tavasz, 2015. ősz és 2016. ősz). (Hrotkó et al. 2021. *Kertgazdaság* 53: 14-31.)

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

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

Szembeötlő, hogy a tavaszi mintákhoz viszonyítva a vas és ólom mennyisége mindkét őszen 5-15-szörös volt, míg a cink, nikkell 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. Az is lehet, hogy a Zn, Ni és Cu, illetve vegyületeik az esővízzel könnyebben kimosódnak, vagy a szél elviszi ezeket.

A legnagyobb mennyiségű nehézfém a Karolina útról származó ezüst hárs levélmintákon kiülepedett porban mértünk, ezt követték szignifikáns különbség nélkül a Budai Arborétumban gyűjtött ezüst hárs levélminták (2. táblázat). Legkevesebb nehézfémot 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. Kétségtől a leghatékonyabb az ezüst hárs volt a nehézfémek adszorbeálásában, amelyet a korai juhar és a magas kőris követett mindegyik mintavételi időszakban.

Eredményeink megerősítik más kutatók véleményét, akik szintén jelentős fafajok közötti különbségekről számoltak be, másrészt megerősítik azt a véleményt, miszerint a fák levélzetének por- és nehézfém megkötő képessége számottevően hozzájárul az egészséges települési környezethez. A korai juhar és az ezüst hárs levelein való nehézfém-kiülepedésre nem találtunk adatot a szakirodalomban, így vizsgálatainkat és eredményeinket (2. táblázat) az első, módszeresen mért vizsgálati eredménynek tekinthetjük.

2. táblázat: A lemosott por nehézfém-tartalmának alakulása díszfák különböző helyszínekről származó levélmintáin a mintavételi időpontok átlagában (mg m^{-2}) (Hrotkó et al. 2021. *Kertgazdaság* 53: 14-31.)

Fafaj/ helyszín	<i>Acer</i> Arbor	<i>Acer</i> Krisztina	<i>Fraxinus</i> Arbor	<i>Fraxinus</i> Andrássy	<i>Tilia</i> Arbor	<i>Tilia</i> 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-teszttel hasonlítottuk össze, az egyes sorokban azonos betűvel jelölt értékek szignifikánsan nem különböznek ($p=0,5$)

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. A vas és az ólom mennyisége lényegesen nagyobb az őszi levélmintákban a tavasziakhoz viszonyítva. Az általunk vizsgált korai juhar levelekben a vas mennyisége őszi 60%-kal, míg az ezüst hárs levelében csaknem kétszeresére nőtt. Hasonlóképpen az ólom mennyisége mindhárom taxon levélmintáiban közel kétszeresére nőtt. Eredményeink megerősítik külföldi kutatók álláspontját, akik a lucfenyő és a vadgesztenye levelében vizsgálták az ólom eredetét és úgy találták, hogy kevesebb, mint 2%-át veszik fel a gyökerek, s mintegy 98% légköri eredetű.

A szálló por kiszűrése, mint környezeti szolgáltatás

Eredményeink felhasználásával jól lehet becsülni a városi fák levegő minőségét javító szolgáltató képességét. A por kiülepedés mértéke $224\text{-}381 \text{ mg m}^{-2}$ között alakult a szmogveszélyes 2015. év őszi, amihez még hozzászámolandó mintegy 180 mg m^{-2} évközben lemosódott por. Ez összesen $400\text{--}560 \text{ mg m}^{-2}$ por kiszűrését jelenti egy levél négyzetméterre vetítve. Mint ahogy eredményeink is mutatják, átlagos fa nincsen, a három leggyakoribb fafaj között is számottevő különbségeket mértünk. A becsléshez viszont mért adataink alapján egy átlagos modell fát kell választanunk, amely 25-30 éves és $250\text{-}300 \text{ m}^2$ levélfelületet képvisel. Ezzel számolva évente $100\text{--}168 \text{ g}$ szálló por kiszűrésével számolhatunk fánként. A budapesti levegőtisztításban szerepet játszó fák számára vonatkozóan ismét csak becslésre hagyatkozhatunk. A Főkert és a kerületi önkormányzatok kezelésében levő zöldfelületeken, illetve a temetőterekben a sor- és parkfák száma mintegy 2 millióra tehető, és további mintegy

1 millió magánkertben levő fával számolunk. A kertvárosi magánkertek fáinak lombozata ugyanúgy porszűrő kapacitással rendelkezik, ilyen szempontból ezek a fák „közjóságként” funkcionálnak, nemcsak a díszfák, de a gyümölcsfák is. Szerény becslések szerint is ez a lombtömeg 300 – 640 tonna szálló port szűrhet ki egy év alatt Budapest területén. A 2. táblázat nehézfém adataival számolva a 3 millió budapesti fa 2,4 – 6 tonna ólomtól, 1,5 – 5,4 tonna vastól, 2,7 – 9 tonna nikkeltől, 1,4 – 4,2 tonna cinktől és 0,3 – 1,2 tonna réztől szabadítja meg a levegőt. A szélső értékekkel a fafajok tisztító kapacitásának különbségeit érzékeltetjük. Pontosabb számításokhoz a fakataszterekben a lombfelület mérésére vagy becslésére is szükség volna, de ezen adatok egyelőre nem állnak rendelkezésre.

Az okos városfásítás a környezeti szolgáltatást helyezi előtérbe

Az itt modellezett szolgáltató képessége a városi fáknak napjainkban egyre inkább előtérbe kerül, és semmivel nem pótolható. Az okos városfásítás a fák környezeti szolgáltató képességét helyezi előtérbe a fafajok kiválasztásánál. Telepítéskor tehát arra kell törekedni, hogy ott, ahol ezt a körülmények megengedik, nagykoronájú fákat telepítsünk és ezeket a fákat úgy gondozzuk, hogy minél hosszabb életűek legyenek, mert ezzel a városi zöldfelületek porszűrő kapacitását növelhetjük. Ahol lehet, lombkorona alagutak (2. kép) kialakítására érdemes törekedni, mert az út fölé boruló lombkorona tömeg hatékonyan szűri a forgalom által keltett szálló port, szűrve engedi át a felette levő légtérbe. Ami pedig a brit botanikusok szupernövényét, a molyhos szőrös levelű madárbirset illeti, a cserjeszintben természetesen fontos szerepet tölt be, de összehasonlíthatatlanul nagyobb szűrőkapacitást képviselnek a nagykoronájú, lombos fák.

Dr. Hrotkó Károly



1. kép: A kislevelű hárs a Budai Arborétumban, levélfelülete 600 m²



2. kép: Lombkorona alagút Újbudán a Kökőrcsin utcában: árnyékol és szűri a felszálló port