

Falevelekre rakódott por mennyiségének meghatározása turbidimetriás módszerrel

Margitai Zita* – Braun Mihály*

Bevezetés

A városok levegője jelentős mennyiségű port tartalmaz (pl. Budapesten minden km²-re évente átlagosan 130 t por ülepedik le) [1]. A porral szennyezett területeken a fák igen fontos környezetvédelmi szerepet töltenek be, mert a faleveleken mind az ülepedő, mind a szálló por képes csapdázódni. Egy kifejlett utcai fa 60-80 %-kal csökkentheti a levegő portartalmát, ezért fás területeken érezhetően tisztább a levegő. A fák porszűrésének higiéniai szempontból is nagy a jelentősége. A szállópor ugyanis toxikus és allergén komponenseket is tartalmaz (nehézfémeket, benzpirént, kórokozó baktériumokat, pollent stb.). A fák és cserjék porszűrésének mértéke függ a fajuktól, fejlettségi állapotuktól, a levelek morfológiájától és felületétől. A szél a fák koronájában lelassul, és a por lerakódik. A por egy részét egy erősebb eső lemossa, és ez a lefolyó csapadékkal a talajba, illetve a csatornába kerül. A tisztára mosott levél ismét képes a por megkötésére. A levelekben felhalmozódott elemek az őszi avarral a nagyvárosi környezetből rendszeresen eltávolíthatók, így meggátolható, illetve csökkenthető a toxikus elemek feldúsulása a parkok, zöldterületek talajában [2].

A falevelekre rakódott por mennyiségének meghatározásához ismert felületű mintáról kell eltávolítani és összegyűjteni a lerakódott anyagot. Bizonyos esetekben a levél felületéről nagy nyomású gázzal (sűrített levegő, argon) fújják le a megtapadt anyagokat, és a gázáram útjában elhelyezett szűrőn gyűjtik össze az elemzésre kerülő mintát. Szerves oldószerek (acetone, etanol stb.) is használhatók a por lemosásához. Bár ezek a módszerek felszabadítják a levél felületét borító viaszban erősen megtapadt szemcséket is, hátrányuk, hogy a növényi színanyagokat kioldják, és a sejteket erőteljesen roncsolják. A szűrésnél fontos a megfelelő (oldószereknek ellenálló) membrán használata. A desztillált vizes lemosás az előbbieknél olcsóbb és környezetkímélőbb megoldás, ultrahangos rázatással kombinálva a felületre tapadt szemcsék jelentős részét eltávolítja. A lemosásos technikáknál szűréssel, ülepítéssel, centrifugálással, vagy bepárlással nyerik vissza az elemzésre kerülő port.

A falevelekre tapadt por mennyiségének mérésére alapozva ki lehet dolgozni egy olcsó és gyors biomonitoring rendszert, mellyel a vegetációs időszakban vizsgálható a városok portterhelése. Biomonitoring vizsgálatoknál a meghatározások bizonytalansága nagy, ezért csak akkor számíthatunk reprezentatív eredményre, ha megfelelően nagyszámú mintát dolgozunk fel. A por begyűjtésére használt technikák mindegyike időigényes és költséges.

Tanulmányunkban egy egyszerű, olcsó és gyors turbidimetriás módszerre teszünk javaslatot, mellyel kidolgozható és optimálható a falevelek vizsgálatán alapuló, környezeti állapotot mérő rendszer.

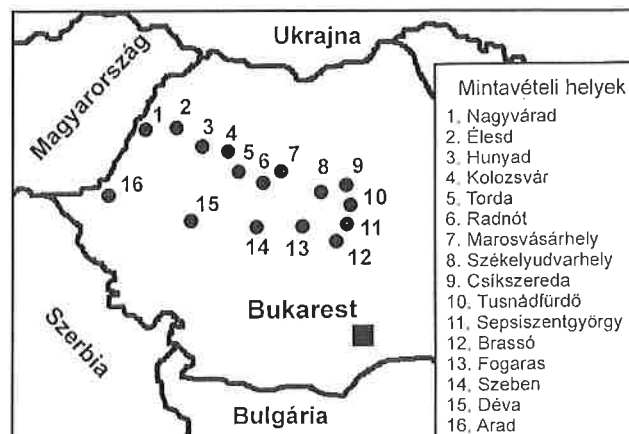
Anyag és módszer

Mintavétel

A vizsgálathoz 16 romániai települést választottunk mintavételi helynek (1. ábra). Három hársfajról (*Tilia tomentosa*, *T. platyphyllos* és *T. cordata*) gyűjtöttünk mintákat 2004. augusztus 20.–23. között. Minden városban 10 fáról vettünk mintát. A fákról 150-200 cm magasságban szedtünk 25-30 db levelet. Az egy fáról gyűjtött minta teljes felülete 10-12 dm² közé esett. A levelek felületét szkennelrel határoztuk meg. A port desztillált vízzel mostuk le (mechanikus rázatással). Az így kapott szuszpenziót 150 µm-es műanyag szitán szűrjük, majd bepároltuk és meghatároztuk a maradék tömegét [3].

Turbidimetriás mérések

A német nyelvű irodalomban a szórt fény és a zavarosság mérését egyformán nefelometriának nevezik, az angolszász irodalomban különbséget tesznek a nefelometria (vagy tindallometria) és a turbidimetria kö-



1. ábra. Mintavételi helyek

zött. Nefelometriánál a folyadékba bizonyos szögben beeső primer fény-sugár nyomán fellépő szórt fény intenzitását méri, turbidimetriánál pedig az oldaton áthaladt fény intenzitásának csökkenését. Míg a nefelometriás mérésekhez speciális készülékek szükségesek, addig a turbidimetriás mérések a közönséges spektrofotométerekkel is elvégezhetők [4].

Méréseinkhez *Avantes gyártmányú, száloptikás spektrofotométert használtunk*. A készülék felépítése jelentősen eltér a hagyományos spektrofotométerekétől. A rendelkezésre álló fényforrásokból, optikai kábelekből, spektrométerekből és szondákból a célnak megfelelő mérőrendszer állítható össze.

Az AvaSpec-2048 spektrofotométer 75 mm-es fókusztávolságú szimmetrikus Czerny–Turner-típusú polikromátorral készült. A fény optikai kábelben keresztül jut a spektrométerbe. A belépőrés 10 és 500 µm között választható, és 14 féle optikai rács rendelhető. Az általunk használt készülék felbontása 0,2-0,3 nm (belépőrés 25 µm, rács 1200 vonal/mm). A rács által felbontott fény egy 2048 pixelből álló CCD detektorra kerül (a pixelek mérete 14x56 µm). A spektrumokat 300-700 nm között vettük fel, 400 ms integrálási idővel.

Deuterium-halogen kombinált fényforrást alkalmaztunk (AvaLight-DHS). A fényforrásból a fény optikai szálon keresztül jut a merülőszondába. A fény áthalad az oldaton, majd egy fehér lapról reflektálódik, újra keresztülhalad a mintán és a száloptikán át a spektrofotométerbe kerül. Eltérés a hagyományos technikától az, hogy nem használunk küvettát, a szonda belemerül a mintaoldatba. A mérés folyamatos keverés mellett, főzőpohárban, lombikban is elvégezhető. A mintán polikromatikus és nem monokromatikus fény halad keresztül. A fényút a szonda alján lévő reflektáló felület és a száloptika vége közötti távolság kétszerese.

Statisztikai elemzés

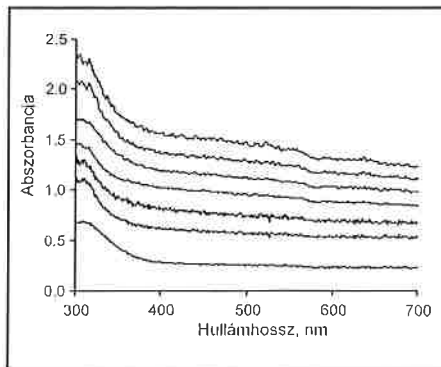
A statisztikai számításokhoz SPSS/PC+ programcsomagot használtunk. A főkomponens analízishez (*Principal Component Analysis*) a számításokat korrelációs mátrixból végeztük. Az egynél nagyobb sajátértékű főkomponenseket vettük figyelembe. Varimax rotációt alkalmaztunk.

Eredmények és értékelésük

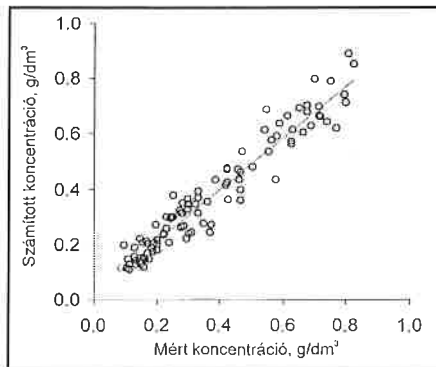
Miközben a fény a különböző méretű szemcséket tartalmazó szuszpenzió halad át, intenzitása a szemcsék fényszórása miatt csökken. Ez látszólagos abszorbanciaként jelentkezik. Összetételüktől függően a szuszpenziót alkotó szemcséknek is lehet saját fényelnyelésük.

A spektrumok több tényező hatását foglalják magukba. Főkomponens analízissel a nagyszámú, egymással korreláló változót kevesebb, egymástól független változóvá transzformáljuk. Összesen 160 minta spektrumát vettük fel. A spektrofotométer a 200–740 nm közötti tarto-

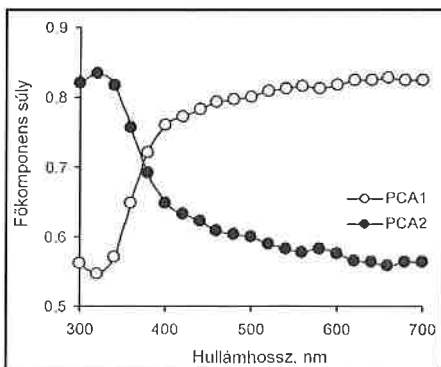
* Debreceni Egyetem, Szervellen és Analitikai Kémiai Tanszék 4010 Debrecen, Pf. 21.



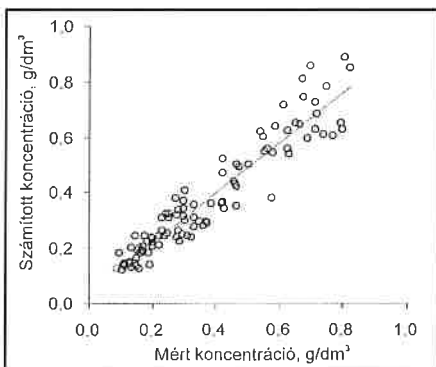
2. ábra. A falevelekről lemosott port tartalmazó szuszpenziók spektrumai



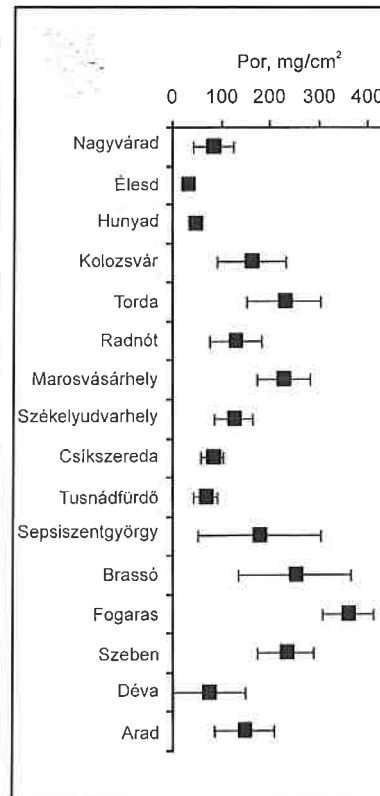
4. ábra. A 380-700 nm közötti abszorbanciák alapján illesztett modell



3. ábra. Főkomponens súlyok a hullámhossz függvényében



5. ábra. A 300-360 nm közötti abszorbanciák alapján illesztett modell



6. ábra. A falevelekre tapadt por mennyisége erdélyi városokban

mányban 2048 adatot rögzített. Ez kezelhetetlenül nagy adatállomány, ezért csak a 300–700 nm között, 20 nm-ként kiolvasott turbiditás (abszorbancia) adatokat kezeltük változóként. A 200–300 nm között a nagyobb koncentrációjú minták abszorbanciája 2 fölé volt, ezért ezt a tartományt nem használtuk. A spektrumok jelentős hasonlóságot mutattak (2. ábra). Ezt jelzi, hogy az első főkomponens a variancia 98,1%-át foglalta magába. A második főkomponensben szereplő változók (hullámhosszak) kisebb jelentőségűek, a variancia 1,6%-át magyarázzák.

A főkomponens-súlyokat a hullámhossz függvényében ábrázolva láthatjuk (3. ábra), hogy az első főkomponensbe a 380–700 nm közötti hullámhosszak kerültek, a másodikba pedig a 300–380 nm közöttiek. Feltételezzük, hogy az első főkomponensben a szuszpenziót alkotó szemcsék fényszórása, a második főkomponensben pedig a szemcsék fényelnyelése jelenik meg háttérváltozóként.

A falevelekről lemosott port tartalmazó szuszpenziók koncentrációját bepárlással határoztuk meg. A por koncentrációja 0,1-1 g/dm³ között változott (a levelek szennyezettségétől függően). Az első főkomponens szorosabban korrelált ($r = 0,730$) a szuszpenzióban lévő por mennyiségével, mint a második főkomponens ($r = 0,616$). Eszerint a spektrum 380–700 nm közötti tartománya alapján jobb mennyiségi összefüggés várható a koncentráció és a turbiditás között, mint a 300–360 nm közötti spektrum részlet alapján.

A egyes hullámhosszakon mért látszólagos abszorbancia és a szuszpenzió koncentrációja között többváltozós lineáris regressziós kapcsolatot kerestünk. A következő modellt használtuk:

$$C = a_1\lambda_1 + a_2\lambda_2 + \dots + a_i\lambda_i + B$$

ahol C a szuszpenzió koncentrációja (g/dm³), λ , az oldat adott hullámhosszon mért turbiditása (látszólagos abszorbanciája). Az a_i koefficienseket és B konstansokat meghatároztuk a 300–360 nm valamint a 380–700 nm közötti spektrumrészlet alapján (1. és 2. táblázat). A 380–700 nm közötti abszorbanciák alapján illesztett egyenes regressziós koefficiense 0,965, a 300–360 nm közötti adatok esetében pedig 0,950 volt. A főkomponens analízis eredményeivel összhangban a 380–700 nm között jobb összefüggést találtunk a koncentráció és az abszorbancia között (4. és 5. ábra). Ennek a jelentősége az, hogy a spektrum látható tartományát hasznosító készülékek és fényforrások egyszerűbbek (kisebb költséggel beszerezhetők) és terepi körülmények között is használhatók.

A meghatározásokhoz nem szükséges standardot használni. Elegendő, ha a vizsgált minták közül kiválasztunk néhány, a koncentráció tartományt reprezentáló szuszpenziót, és bepárlással meghatározzuk a por pontos mennyiségét. Ezek alapján a regressziós egyenes illeszthető.

A falevelek felületére tapadt por mennyiségét felületegységre vonatkoztatva határozzuk meg. A vizsgált városok közül Kolozsvár, Torda, Marosvásárhely, Brassó, Fogaras és Szében esetében tapasztaltunk jelentős (200-400 mg/cm²) szennyezettséget (6. ábra).

Összefoglalás

A falevelekre rakódott por mennyiségének meghatározására dolgoztunk ki turbidimetriás módszert. A levelek felületére tapadt port mechanikus rázatással, vízzel mostuk le. Az így kapott szuszpenziók spektruma alapján szoros korrelációt mutatunk ki a látszólagos abszorbancia (turbiditás) és a szuszpenzió koncentrációja között. A spektrumból az szuszpenzió koncentrációja sokváltozós regresszióval meghatározható. A gyors, egyszerű és terepi munkára is alkalmas technika lehetővé teszi a széles körű biomonitoring vizsgálatokat.

Irodalom

- Bernatzky, A.: Le rôle des arbres dans la ville (in L'Écosystème urbain, Colloque Internat. Organisé par l'agglomération de Bruxelles, 14 et 15 septembre 1974), Bruxelles.79-84.
- Kovács M.: A nagyvárosok környezete Gondolat Kiadó, Budapest, 1985, 1-86
- Margitai Z., Braun M.: Magyar Kémiai Folyóirat, 2005, 111: 38-41.
- Crawley, G., Counil, M., Di Benedetto, D.: Powder Technology, 1997, 91: 197-208.

1. táblázat. Az illesztett egyenes koefficiensei. ($r = 0,965$)

λ (nm)	a_i
380	0.045
400	1.254
440	-1.205
460	-0.172
500	-0.332
520	-0.761
540	1.457
560	-1.869
580	-0.139
600	1.787
620	-0.714
640	-0.267
660	0.574
680	0.801
700	0.042
B	0.005

2. táblázat. Az illesztett egyenes koefficiensei. ($r = 0,950$)

λ (nm)	a_i
300	0.296
320	-0.225
340	-0.348
360	0.606
B	0.000