

Opponensi bírálat

Bencs László

a Magyar Tudományos Akadémia doktora
cím elnyerésére benyújtott

Beltéri és kültéri légköri aeroszolkészítmények összetételének és forrásának vizsgálata

című értekezéséről

A légköri aeroszol részecskék szórási és elnyelési tulajdonságaik révén közvetlenül, míg a felhőképződésben betöltött szerepük révén közvetve befolyásolják a légkör sugárzási mérlegét. Ezen túlmenően, a felhőképződésben játszott szerepen keresztül jelentős hatással vannak a csapadékképződésre, a víz és számos elem biogeokémiai körforgására. A felsorolt folyamatok révén a légköri aeroszol részecskék meghatározó szerepet töltenek be a földi éghajlat és élet alakításában. Az éghajlat módosítása mellett másik nagyon fontos tulajdonságuk az emberi egészségre gyakorolt hatás, ami leggyakrabban légzőszervi és keringési betegségek kialakulásának megnövekedett kockázatát jelenti. Ezen kívül, a részecskék koncentrációja közvetlenül befolyásolja a látótávolságot, amely turisztikai és tájvédelmi jelentősége mellett a közúti és a légi közlekedés fontos tényezője. Végül, de nem utolsósorban, az aeroszol részecskék kémiai összetételüktől függően esztétikailag vagy akár anyagában is károsíthatják az épületeket, műemlékeket, kül- és beltéri képzőművészeti alkotásokat. Mindezek alapján megállapítható, hogy a beltéri és kültéri légköri aeroszol részecskék összetételének és forrásainak vizsgálatát bemutató értekezés témaválasztása időszerű, a vizsgált kérdések és az elért eredmények érdeklődésre tarthatnak/tartanak számot.

Az A4 formátumú, arányos felépítésű, igényesen kivitelezett értekezés 127 oldalas, amelyet 17 oldalas függelék és a saját publikációk felsorolása követ. Az értekezés első, 10 oldalas fejezetében a szerző a kutatás előzményeit és célkitűzéseit mutatja be. Ez a fejezet formai tekintetben jelentősen különbözik az értekezés többi részétől. Míg a többi fejezet mélységben rendkívül aprólékosan tagolt (helyenként talán túlságosan is), akár 15-20 soros bekezdések is önálló számozást kaptak alfejezetként (pl. 4.2.6.4 alfejezet), addig az első 10 oldal egyetlen fejezetet alkot, ami nincs témakörönként alfejezetekre bontva. Így (nekem) hiányzik az egyes kutatási előzmények és célkitűzések csoportosítása. Jó megoldásnak tartom, hogy a szerző az egyes témakörök bemutatásának végén (a 8., 13. és 15. oldalon) pontokba szedve megfogalmazza azokat a kérdéseket, amelyekre a választ keresi/kereste, de a tagolás említett

hiánya miatt ezeket a pontokat nem könnyű megtalálni. Különösen, ha még a pontokba szedés is elmarad és az elvégzett munkát a Jelölt csak „abstract-szerűen” sorolja fel, mint a tanzániai tanulmánnyal kapcsolatban a 10. oldalon. Ezek a formai kifogások az első fejezet tartalmi megítélését nem befolyásolják, ettől még jól betölti a bevezető, kérdést felvető funkciót.

A 13 oldalas 2. és a 6 oldalas 3. fejezetben a Jelölt részletesen ismerteti az elvégzett kutatások során alkalmazott mintavételi eszközöket és módszereket, a mintavételek helyszíneit, az ott tapasztalt meteorológiai viszonyokat, a mintaelőkészítési folyamatokat, a fizikai és kémiai vizsgálatokhoz használt eszközöket és módszereket, kitérve a minőségbiztosításra is. Ismerteti továbbá az így nyert adatok feldolgozásához, értékeléséhez, valamint a modellezéshez alkalmazott módszereket. Tekintettel arra, hogy igen sokrétű munkáról van szó, a Szerző rendkívül sok technikát és módszert alkalmazott, sőt, adott esetben kollégáival együtt egy mintavevő tervezésétől és megépítésétől sem riadt vissza (16. oldal „Az alkil-nitrátok északi-tengeri (parti) mintavételéhez egy nagy térfogatúramú (HiVol) levegőmintavevőt terveztünk és építettünk (Dirtu *et al.*, 2014).”) Mindkét fejezet igényesen kidolgozott, ábrák és fényképek segítik a könnyebb értelmezést, a szövegben viszonylag kevés elírást találtam. Ezzel a résszel kapcsolatban az alábbi észrevételeim, kérdéseim vannak:

- A mintákban az alkil-nitrátok koncentrációja tág határok között változott ugyanakkor az IT-MS-ek (amit a Szerző is használt) linearitási tartománya általában kicsi. Nem jelentett ez problémát az elemzések során?
- Az alkil-nitrátok esetében a standardok ionkromatogramja mellett hasznos lett volna egy minta ionkromatogramjának is a bemutatása.
- A 24. oldalon az oldott szerves nitrogén meghatározásával kapcsolatban olvasható: „A mikrohullámú feltárási program a következő volt: 500 W 5 percig, 600 W 15 percig, 0 W 15 percig, és 0 W 30 percig.” Mi a különbség az utolsó két programlépés között? (0 W 15 percig és 0 W 30 percig)
- 25. oldal: „A szűrők mintavétel előtti és utáni gravimetriás mérését a fent említett protokoll szerint végeztem.” Melyik protokoll? (Ha az EN 12341-re gondol, akkor a „fent említett” jelző nem igazán helytálló, mert arról 8 oldallal korábban tesz említést.)

Az értekezés 72 oldalas 4. fejezetében a Jelölt 5 téma köré csoportosítva, tekintélyes mennyiségű adat feldolgozásával mutatja be az elmúlt mintegy 15 év kutatási eredményeit. Az értekezés szerkezete logikus, jól követhető, nyelvezete megfelel a szakmai elvárásoknak és a magyar helyesírás követelményeinek is. A dolgozatban előforduló néhány gépelési hiba megbocsátható. Az ábrák és táblázatok kivitelezése igényes, az értekezés esztétikai szempontból is élvezetes.

A „*Beltéri légcseré és légszennyezés vizsgálata templomokban*” című első témakörben az értekezés címében szereplő beltéri és kültéri aeroszol vizsgálatán kívül a Szerző kitér számos gáznemű komponens (CO_2 , CO , vízgőz, formaldehid, NO_2 , SO_2 , O_3 , és a nyomjelzőként használt SF_6) tanulmányozására is. Bár az eredmények egy része kézenfekvőnek tűnik (pl. a dízelolaj égetésén alapuló forró levegő befűjásos fűtés alkalmazása esetén nagyobb az égéstermékek koncentrációja a templom légterében, mint elektromos fűtés alkalmazása esetén), a különböző komponensek koncentrációjának számszerűsítésével, illetve a térbeli eloszlás megadásával mégis új ismeretekhez jutott a Jelölt. Ezen kívül, a kültéri és beltéri levegő egyidejű vizsgálatával számos helyes következtetést vont le mind a gáznemű komponensek, mind az aeroszol részecskék tekintetében. Ehhez a fejezethez kapcsolódóan egy formai és egy tartalmi észrevételem van:

- Amikor 12 görbét mutatunk be egyetlen ábrán, akkor nyilván nem egyszerű a színválasztás. Ráadásul, nyomtatásban bizonyos színek rosszabbul látszanak, mint elektronikus formában. Ilyenek pl. a sárgával rajzolt görbék, amelyek a nyomtatott értekezésben számos ábrán alig látszanak.
- A 4.1.2.1 alfejezetben a Jelölt megállapítja, hogy „*A fentieknek megfelelően erős korreláció figyelhető meg a CO_2 koncentráció növekedése és a hagyományos fűtési rendszer működése között,...*” és ezt szemlélteti is a 20-as ábrán. Ugyanitt (39. oldal) olvasható, hogy „*A fentiekkel ellentétben, ha az új fejlesztésű pad fűtési rendszert alkalmaztam az épület fűtéséhez, a CO_2 szint csak kis mértékben növekedett (21. ábra).*” Ugyanakkor a 21. ábrán bemutatott 500-600 ppm-es CO_2 koncentráció növekedés nagyobb, mint a 20-as ábrán bemutatott kb. 200 ppm-es CO_2 koncentráció növekedés. Mi az oka ennek az (látszólagos) ellentmondásnak?

A közel 23 oldalas, „*Légköri finom aeroszol tanulmány Flandriában*” című második alfejezet az értekezés legjobban kidolgozott témaköre. A vizsgálatok kiterjedtek a $\text{PM}_{2.5}$ és PM_{10} tömegkoncentráció mérési módszereinek összehasonlításától kezdve, a tömegkoncentráció változásának okain keresztül a légköri aeroszol kémiai összetételének és a gáznemű

komponensek koncentrációjának meghatározásáig, és a Jelölt részletesen foglalkozott a források azonosításával is. Az átfogó vizsgálatokból rengeteg eredmény született, amit a Jelölt igyekezett részleteiben is bemutatni. Időnként az volt az érzésem, hogy egy-egy ábrán már-már túl sok is az információ, és ezért nehéz követni. Ilyen pl. a 27. ábra, amelyen (még az elektronikus változatban is) nehéz nyomon követni a 12 műszer által mért tömegkoncentráció időbeli változását. Én nem találtam/nem láttam pl. a jelmagyarázatban feltüntetett VMM-TEOM PM_{2.5} és a Denuder PM_{2.5} görbéket. Erre az ábrára vonatkozik a következő megállapítás is: „Az ESM berendezésekkel nyert PM₁₀ koncentrációk igen jó egyezést mutatnak a Dekati-impaktorról és gravimetriásan kapott PM₁₀ értékekkel, és a megfelelő Partisol-gravimetriás mérésekkel is (27. ábra).” A VMM-ESM PM₁₀ görbe *tendenciájában* valóban jól követi a Partisol PM_{2.5} koncentrációt, de utóbbi szinte végig nagyobb a 27. ábrán bemutatott helyen és időben, ami nyilván az eltérő mérési elv/körülmények következménye, hiszen a PM_{2.5} ≤ PM₁₀. Ehhez kapcsolódóan kérdezem, hogy a PM_{2.5}/PM₁₀ arányt mely műszerek adataiból határozta meg?

A különböző eszközökkel nyert PM koncentrációk összehasonlításából és a különböző mérési helyeken tapasztalt időbeli változásából érdekes eredmények születtek, amelyekből a Jelölt hasznos és helytálló következtetéseket vont le.

A PM_{2.5} kémiai összetételét illetően az alábbi észrevételem van:

- Az értekezés 55. oldalán az alábbi mondat olvasható: „*A vízdoldható (ionos) szervesetlen aeroszol alkotók általában jelentős hozzájárulást mutattak a PM_{2.5} tömeghez, amely átlagosan 34-50% között fluktuált a mintavételi helyeken (9. táblázat).*” Ugyanakkor, az összefoglalásban (a 108. oldalon) az alábbi emeli ki: „*A flandriai légköri aeroszol tanulmányban bizonyítottam, hogy a vízdoldható (ionos) alkotók jelentős részét képezi a PM_{2.5}-nek, amely összetétele nagymértékben változik az eltérő antropogén behatású mintavételi helyeken, mind időben, mind szezonálisan. A vízdoldható aeroszol járuléka elérheti a PM_{2.5} tömeg 80-98%-át.*” Bár ez utóbbi is igaz, hiszen a 9. táblázat adatai alapján volt olyan nap a téli kampány során, amikor a (P-2) jelű ipari jellegű mintavételi helyen a szervesetlen ionos alkotók aránya elérte a 98%-ot, azt gondolom, hogy nem egy ilyen szélsőséges értéket kellett volna kiemelni az összefoglalóban, hanem inkább a sokkal jellemzőbb átlagokat, amikről viszont nem esik szó az összefoglalóban. Mi volt/lehetett az oka annak, hogy a PM_{2.5} 98%-a vízdoldható szervesetlen sóból állt? Mi volt a domináns szervesetlen komponens ebben a mintában?

A 4.2.8.3 fejezetben a Jelölt bemutatja az összes szén (EC+OC) hozzájárulását a PM_{2.5} tömegkoncentrációhoz. Ezzel kapcsolatban két észrevételem van:

- Ha a $PM_{2.5}$ tömegkoncentrációhoz hasonlítjuk a szerves komponensek koncentrációját, akkor szerintem helytállóbb a szerves tömeggel és nem csak a szénttartalommal számolni, ugyanis az OC a szerves anyagnak csak a szénttartalmát adja meg. Ezt kellene akkor is tenni, ha tömegmérleget szeretnénk készíteni az aeroszorra, amiben a szerves és szerves komponensek is szerepelnek (amit talán érdemes lett volna az értekezésben is megtenni). A 15. táblázatban már láttuk ezt a konverziót (még ha az OM mértékegysége le is maradt), de igazából a Szerző nem használta fel az így kapott értékeket. Véleményem szerint a 17. táblázatban inkább ezekkel kellett volna számolni.
- A 17. táblázatban látható, hogy az összes szén (EC+OC) hozzájárulása a $PM_{2.5}$ tömeghez az egyik mintavételi helyszínen elérte a 77%-ot. Mennyi volt ebből az EC és mennyi az OC? Az OM a $PM_{2.5}$ hány százalékát adta ebben a mintában és milyen OM/OC konverziós faktoral?

A 11 oldalas harmadik alfejezetben tanzániai aeroszol minták és gáznemű légszennyezők vizsgálatát mutatja be a Jelölt, ami az aeroszol minták esetében kiterjed az elemi összetétel és a vízzel oldható szerves ionok tanulmányozására, majd az eredmények felhasználásával a lehetséges források azonosítására.

A 16 oldalas negyedik és a 8 oldalas ötödik alfejezetben az Északi-tengert, illetve partvidékét érintő légszennyezéssel foglalkozik a Szerző. Az előbbi fejezetben a nitrogén száraz és nedves ülepedését tárgyalja. A *nedves* ülepedés kapcsán vizsgálta a nitrogéntartalmú szerves vegyületek hozzájárulását is és megállapította, hogy az időjárási körülményektől és a légtömegek eredetétől függően a szerves komponensek hozzájárulása számottevő lehet. Nem láttam azonban adatot az aeroszolban található nitrogéntartalmú szerves vegyületek száraz ülepedéshez történő hozzájárulására vonatkozóan. Tudná esetleg becsülni ennek mértékét? Ezt azért is kérdezem, mert a koncentrációkat, az egyes komponensek hozzájárulását és az ülepedést bemutató táblázatokban és ábrákon nem számol az aeroszolban található szerves komponensekkel. Megjegyzem, hogy a gázfázisú alkil-nitrátokat viszont alaposan tanulmányozta.

Az ötödik alfejezetben az északi-tengeri hajóemisszióból származó légköri szennyezőket tanulmányozza a Szerző. Ehhez vizsgálja az aeroszol méret szerinti eloszlását és kémiai összetételét, a korom koncentrációját és a gázfázisú szennyezőket is. Ezzel a fejezettel kapcsolatban a következő a kérdésem: Az elkészített szennyezőeloszlási térképek időben mennyire tekinthetők állandónak?

Összefoglalva: Az értekezés sokrétű, a légköri kutatások számos területét érintő értékes munka eredménye, amely munka kiterjed a mintavételi kampány kivitelezésétől a kémiai elemzésen át a statisztikai értékelésig és légköri modellezésig. Sokrétűségét jelzi, hogy a Jelölt az 5 kidolgozott témában összesen 33 tézispontot fogalmazott meg, amelyek többségéhez megjelent publikációt is rendelt. Az 1., 2., 3. és 5. témakörhöz tartozó tézispontokat elfogadom. A 4. témához tartozó 4.1., 4.3., 4.4., 4.5., 4.6. és 4.7. tézispontok a nitrogén száraz ülepedésére vonatkozóan is tartalmaznak adatot (közvetlenül vagy közvetve), de amint azt feljebb írtam, az aeroszolban található nitrogéntartalmú szerves vegyületekre nem találtam utalást az értekezésben. Amennyiben bizonyítani tudja, hogy az említett tézispontokban megfogalmazott állítások igazak, mert

- figyelembe vette az aeroszolban található nitrogéntartalmú szerves vegyületek koncentrációját, fluxusát, ülepedését a számításoknál, vagy
- az aeroszolban található nitrogéntartalmú szerves vegyületek koncentrációja, fluxusa, ülepedése elhanyagolható a szervesetlen komponensekéhez képest,

akkor elfogadom a felsorolt tézispontokat is.

Ezen tézispontok sorsától függetlenül az értekezést nyilvános vitára alkalmasnak tartom.

Veszprém, 2018. május 22.



Dr. Kiss Gyula

tudományos tanácsadó

MTA-PE Levegőkémiai Kutatócsoport