

OPPONENSI VÉLEMÉNY

Dr. BENCS László

Beltéri és kültéri légköri aeroszolk összetételének és forrásának vizsgálata című MTA doktori értekezéséről

A légköri aeroszol rendszer kutatása többféle szempontból is a tudományos érdeklődés előterébe került az elmúlt, néhány évtizedben. Ide tartozik elsősorban az éghajlati jelentősége, az emberi egészségre kifejtett hatása, és környezeti szerepe, különösen az épített kulturális örökség megőrzése érdekében. Ezeken a területeken dinamikus fejlődés tapasztalható. A különböző hatások nagymértékben függenek az aeroszol részecskék kémiai összetételétől, méreteloszlásától és más fizikokémiai tulajdonságaitól, illetve légköri tartózkodási idejétől. Ezen tulajdonságok meghatározása alapvető fontosságú az említett hatások azonosítása és jobb megértése céljából. A hatások megváltoztatása, esetleg csökkentése érdekében pedig szükséges a részecskék emissziós forrásainak és keletkezési folyamatainak felderítése, mechanizmusának tisztázása, térbeli és időbeli intenzitásának meghatározása, illetve a légköri átalakulási folyamatok megismerése. Bencs László értekezése szinte mindegyik, felsorolt területet érinti, ezért témaválasztása időszerű; a dolgozatban vizsgált kérdések és bemutatott eredmények jelentős érdeklődésre tarthatnak számot.

Formai értékelés

Az értekezés 149 oldalt tartalmaz egyes sorközzel írva. Ebből 10 oldal az előzményeket ismerteti, 13 oldal a kísérleti módszerekről szól, 6 oldal az adatfeldolgozást tárgyalja, 71 oldalon az eredmények bemutatása és megvitatása történik, amelyeket az összefoglalás és irodalomjegyzék követ rendre 5 és 16 oldalon keresztül. Az értekezés 17 oldalas függelékként tartalmazza a kiértékelési módszerek fontosabb részeredményeit. Az adatfeldolgozás terjedelme kevésnek tűnik. Az írásmű felépítése és tagolása logikus, ami jól átgondolt munkára utal. Általában célratoró tárgyalás jellemzi. Ezzel együtt a dolgozat meglehetősen összetett, szerteágazó és nehezen átlátható. Az értekezésben több, nem pontos vagy szabatos szakmai megfogalmazás szerepel. Néhány példát a részletes megjegyzésekben felsoroltam. Az írásműben sok ábra és táblázat található, ami előnyös, mert nagyban segíti a megértést és a tájékozódást. Az ábrák azonban néha túlszűfoltak, szokatlan tengelybeosztással rendelkeznek, és ezért nehezen követhetők. Példa: a templomok levegőjét érintő fő fejezetben sokszor 6 változó szerepel 1 ábrán, üzemelő fűtéssel és fűtés nélkül, amely 12, gyakran 2 csoportba

rendeződő, színes görbét jelent folytonos és szaggatott vonallal jelölve, és amelyek időnként együtt futnak azonos csoportban, de időnként eltérő viselkedést mutatnak csoporton belül. A 22. ábráról ráadásul lemaradtak a fűtés nélküli görbék, továbbá az időskála pl. a 23. ábrán a következő: 10:15, 13:14, 16:15, 19:16, 22:17, 1:18, 4:18 és 7:19, ami zavaró.

Tartalmi értékelés

Az értekezés tartalmát tekintve értékes, rendkívül sokoldalú és komplex munka. A jelölt a kísérleti és kiértékelési módszerek igen széles és szerteágazó eszköztárát alkalmazta, amelyek kiválasztása megfelelt a céloknak. Az írásmű eredményei 5, fő témakör köré rendeződnek, amelyek a következők: templomok levegője, finom méretű aeroszol részecskék Flandriában, aeroszol Tanzániában, nitrogén vegyületek ülepedése az Északi-tengeren, és a hajók emissziójából származó aeroszol az Északi-tengeren. A bemutatott eredményeket és az azokból levont következtetéseket érdekesnek és fontosnak tartom. A kutatómunka külföldi helyszíneket érint, a vizsgálatokat lényegében külföldön végezték, illetve az eredményeket is külföldön kifejlesztett módszerekkel érték el. Ezekbe kapcsolódott be sikeresen a pályázó. Az értekezésben nem találtam utalást a hazai vagy kárpát-medencét érintő kiterjesztésre, ami a szakmai önállóság egyértelmű jele lenne. A munka összetettsége ugyanakkor hátrányként is megjelenik. A dolgozat gyakran leíró jellegű maradt, illetve nem különül el jól a pályázó saját munkája. Az értekezés nagyon nehéz olvasmány, ami időnként a részletek túlzott bemutatásával kapcsolatos (ami persze inkább formai kérdés), máskor viszont a releváns rész hiányával (tehát, a tartalommal) függ össze. Az oldott szerves nitrogén (DON) rövidítést például háromszor definiálja a pályázó (szerencsére mindig azonos módon), vagy leírja, hogy az adatgyűjtés laptoppal történt (27. old.), vagy a Berner-impaktor vágási értékeit néhány soron belül kétszer megismétli, majd táblázatosan is összefoglalja (28. old.), míg az ODAS rendszer működéséről nem szerepel semmilyen információ. Hasonlóan, a módszerek tárgyalásánál szükségesnek véltem a működési elvek, előnyök és korlátok tömör, de követhető ismertetését. Példa lehet erre az Aerasense UF részecske monitor(!), amit 2 sorban ismertetett a pályázó, ezért követhetetlen, hogyan lehetséges, hogy később, 2, fő témakörben is a monitor, ami valójában egy részecskeszámláló „automatikusan kiszámította az átlagos részecskeátmérőt”, és vajon az átmérő optikai, mozgékonyági vagy aerodinamikai típusú ekvivalens átmérő-e, illetve számtani vagy mértani középértéket jelenti-e? Egy másik példa az Aethalometerrel kapott BC adatok pontossága és megbízhatósága, amelyeket több, igen komoly mintavételi hatás (pl. szűrő telítődés vagy RH) jelentősen korlátozz, és amelyekről szintén nem esik szó az értekezésben,

pedig egyrészt a műfaj ezt különösen igényli, másrészt a tengeri környezetben végzett mérések ennek megvitatását/kezelését feltétlenül indokolják. Az analitikai módszerek LOD szintjei megadása légköri koncentrációkkal történt (pl. 25. és 26. old.). Ez azt jelenti, hogy a szinteket befolyásolja a mintagyűjtés is, illetve a mintagyűjtést és analitikai módszer együttesen kell optimalni. Erre vonatkozó információ azonban nem nagyon van az értekezésben. A továbbiakban az értekezés 5, fő részeinek sorrendjében haladok a részletesebb, tartalmi megjegyzéseimmel.

A templomok levegőcseréjének meghatározásakor érintőleges módon és csak későn esik szó a külső meteorológiai viszonyokról, amelyik pedig fontosak a levegőcsere szempontjából. Ezzel kapcsolatban szeretném megjegyezni, hogy a gázok (pl. a jelző gáz) keveredése tárgyalásakor a pályázó többször molekula diffúzióról írt. Valószínűleg ez alatt a molekuláris diffúziót értette, de ennél sokkal fontosabb, hogy az anyagtranszport nagyságrendekkel jelentősebb és gyorsabb folyamata a turbulens diffúzió, ami viszont egyáltalán nem szerepel az írásműben. A belső terekben kialakuló áramlási körfolyamatok egyik vezérlő tulajdonsága a levegő és a falak hőmérsékletének különbsége. Ennek évszakos menete várható, illetve a vastag kő- vagy téglafalak, illetve fából készült falak esetében komoly különbségek lehetnek ebben a tekintetben. Hasonló módon, a szertartások résztvevői jelentős járulékkal bírhatnak az energiamérlegben (ami ülő tevékenység esetén 100 W körüli hőteljesítményt jelenthet személyenként). A 11 sz. egyenletben a térfogatot és ventillációs sebességet jelölő V betűk nem különülnek el. Ettől fontosabb azonban, hogy elvárható az egyenlet elvi előkészítése különösen azért, mert a feltüntetett forma egy speciális esetre vonatkozó, erős egyszerűsítés, aminek az érvényességi feltételeihez el sem jut az olvasó.

A kültéri (ambiens) légköri koncentrációk általában logaritmikusan normális eloszlással írhatók le. Emiatt az átlagos koncentrációkat célszerű medián értékkel jellemezni, amit a teljesség miatt a számtani középérték és szórás adatpárokkal együtt érdemes megadni. Ez sokszor/legtöbbször nem így történt az értekezésben (pl. 4.2. fejezet, 8. táblázat). Érdemes tudatosítani, hogy a középérték szórása leginkább a légkör dinamikus jellegével és a meghatározandó értékek „természetes” változásával kapcsolatos, ami jól kivitelezett esetben kisebb az analitikai eljárás bizonytalanságánál, így a szórás nem az analízist jellemzi. Néhány szempontból erősen kifogásolható a szertartalmú összetevőkről szóló, 4.2.8. fejezet. Ezen összetevők méréstechnikája sokkal bonyolultabbá annál, mint ami a kapcsolódó, mérésekről szóló, 2.5.4. fejezetben szerepel, ezért érdemi információk hiányában nem teljesen ítéltethők meg az

eredmények. (Lásd még a 6. kérdést.) A teljes szén ($TC=EC+OC$) járulékanak megadása valójában/szigorúan véve nem rendelkezik tartalmi információval vagy üzenettel, csupán formális jelentőséggel bír. Helyette az EC, illetve a szerves anyag, OM ($=k \times OC$, ahol k a tömeg konverziós tényező) külön-külön képzett járuléka mutatja meg az érintett források jelentőségét. Mivel ezen, utóbbi adatokat is meghatározta a pályázó, szinte érthetetlen, hogy miért nem ezt a részletesebb eljárást követte.

A Tanzániában végzett kutatás eredményeinek ismertetésekor a pályázó tárgyalja az elemi komponensek relatív járulékát a légköri TSP tömegéhez, pl. a 41 ábrán és különösen az azt követő mondat(ok)ban. Tekintettel arra, hogy a meghatározás 8 elemre korlátozódott, nem képzelhető el, hogy ezek a TSP tömeg 100%-át jelentik. Valószínűleg itt az aeroszol komponensek relatív járulékáról van szó a meghatározott elemek összegezett tömegéhez viszonyítva. Sokkal hasznosabb és informatívabb lett volna azonban mindezt valóban (a gravimetrikusan meghatározott) TSP tömegre vonatkoztatni, amit a Nuclepore szűrőn gyűjtött minták egyébként kiválóan lehetővé tesznek. Ezt tovább gondolva, még értékesebb lett volna a mért, felszíni közet (Si, Ca, Al, Fe) és tengervíz eredetű specieszekből (Cl , Na^+ , $ss-SO_4^{2-}$) ezen forrástípusokat megbecsülni az átlagos felszíni közet és átlagos tengervíz összetétele alapján az egyes elemek járuléka helyett.

A N-vegyületek ülepedése meglehetősen sok, egyedi komponensből és folyamatból tevődik össze, ezek bizonytalansága ráadásul nehezen becsülhető. A kapott következtetések, pl. a teljes N-ülepedés együttes száraz és nedves folyamatokkal nagy hatótávolságú légköri modellekből is származtatható, bár ezek bizonytalansága is jelentős. A két, eltérő megközelítésű és térbeli skálájú módszer összekapcsolásában nagy lehetőségeket látok.

Az 5, esetenként meglehetősen eltérő, fő témakör részletes megismerése után az az általános vélemény alakult ki az értékelést végző hivatalos bírálóban, hogy túlzottan nagy volumenű és egyszerre sokféle célnak igyekezett a pályázó eleget tenni. Sokkal szakszerűbb, értékesebb anyagot mutathatott volna be egy vagy több, fő terület elhagyásával, és a megtartott kutatás részletesebb, teljesebb és mélyebbre hatoló, a lényegét és a következményeket sokkal jobban kiemelő feldolgozásával és bemutatásával.

Kérdések

Az értekezés igen komplex jellege miatt számos kérdés fogalmazódott meg az értékelőben, amelyek közül néhány, fontosabbat szeretnék külön is feltenni.

1. Végeztek-e áramlástani megfontolásokat a belső terekben, illetve milyen módszerekkel lehetne a levegő keringését modellezni és a hőforrásokat figyelembe venni? (Lásd A templomok levegőcsere rész tartalmi értékelését fent.) A beltéri műemlék védelem egyik kulcsfontosságú levegőszennyező anyaga az ammónia. Történtek-e NH_3 mérések?
2. A három, soros elrendezésű szűrési fokozat által gyűjtött PM tömeg megfelelő frakcionálása hitelesíthető lenne kaszkád impaktorral kapott, párhuzamos mérési eredményekkel történő összehasonlítással. Végeztek-e ilyen irányú vizsgálatokat vagy a rendelkezésre álló, kiterjedt adatbázis lehetővé teszi-e ezt az összehasonlítást?
3. Kérem, indokolja vagy pontosítsa a következő megállapítást: „Mivel a kis aerodinamikai átmérőjű ($<1 \mu\text{m}$) finom, illetve nanoaeroszok általában hasonló transzport-jellemzőkkel bírnak, mint a gázok, ezért az utóbbi adatok elfogadhatóan közelítik az aeroszokra vonatkozó tartózkodási időket is.” Figyelembe vette-e a nanométer méretű részecskék esetében fokozottan fellépő jelenségeket, pl. dinamikus tulajdonságokat vagy nyomnyi koncentráció tartományban jelentős fal-hatást?
4. Az aeroszol egészségügyi, környezeti és éghajlati hatásainak egyik közös, kulcsfontosságú paramétere a részecskék mérete, pontosabban a méreteloszlása. Mivel indokolható a vizsgált méretfrakciók meglehetősen eltérő és változatos megválasztását (a templomokban és a tanzániai helyszíneken pl. TSP, míg a hajó emisszióknál PM_{10} , $\text{PM}_{1-2.5}$, $\text{PM}_{2.5-10}$, esetleg PM_{10}), ami elég nehezen követhető a dolgozatban. Milyen előnyökkel jár a durva és finom méretfrakciók külön-külön történő, következetes tanulmányozása?
5. Kérem, ismertesse és vitassa meg az aerodinamikai ekvivalens átmérő meghatározásának módszerét és feltételeit a 10–300 nm átmérőtartományban (pl. 4.5.5. fejezet). Mi indokolja az aerodinamikai átmérő (szokatlan) használatát ebben a tartományban a (mechanikai vagy elektromos) mobilitási, esetleg az optikai átmérő helyett?
6. Milyen fontos bizonytalansági tényezők játszanak szerepet a széntartalmú aeroszol részecskék mérésében, és ezek milyen következményekkel járhatnak a megfogalmazott értelmezésekre a 4.2.8. fejezetben. Ezen terület egyik fontos, növekvő jelentőségű kérdése a forrásmegoszlás, ami csak érintőlegesen szerepel az írásműben. Milyen módon lehetséges

a fosszilis tüzelőanyagok égetésének, illetve a biomassza égetésnek a jelentőségét meghatározni?

Néhány megjegyzés

1. Az aeroszol kifejezés szűkített használata a részecskék értelmében korrekt módon rögzítve van az értekezésben és használata következetes is. Ez az értelmezés az amerikai angol szakirodalomban többször előfordul, de a magyar szaknyelvben szokatlan, ahol az aeroszol rendszer és aeroszol részecskék között célszerű különbséget tenni, mert ez segíti a pontosabb fogalmazást.
2. A természetes és antropogén eredet megkülönböztetésének (6. old.) csak az emisszióval keletkezett aeroszol esetén van értelme, és másodlagos aeroszolra ez nem vonatkozik.
3. A „szénszerű légköri aeroszol” szokatlan kifejezés, és talán a széntartalmú részecskékre utal.
4. A gravimetriás mérés kondicionálásának egyik feltétele 19 és 21 °C közötti, és nem 50 °C hőmérséklet (17. old.) az EN12341 szabvány szerint, mert az utóbbi hőmérsékleten jelentős veszteség keletkezik a közepesen illékony összetevők esetén.
5. A háromfokozatú soros szűrőegység ismertetésekor „impaktor-lépcsők”-ről ír a pályázó (18. old.) szűrő fokozatok helyett.
6. A június-szeptember hónapok kimaradtak az éghajlati besorolásból (23. old.).
7. A mikrohullámú feltáró programban (24. old.) kétszer szerepel 0 W teljesítmény, nevezetesen 15 percig és 30 percig.
8. Időnként átgondolatlan a kerekítési stratégia (pl. $99,7 \mu\text{g m}^{-3}$ tömegkoncentráció, 52. old., 19. táblázat legtöbb adata) vagy a megfogalmazás (pl. „május 16–27 közé estek”, 24. old.; „tengervíz porlás” valószínűleg a tengeri permet helyett, 30 old.) vagy elütés (pl. „bulk elemental aeroszol content”, 25. old.) és régies, nem SI mértékegység (mikron, 31. old.) szerepel a dolgozatban.
9. Nem derül ki, hogy a templomban megadott O_3 koncentráció (pl. 43. old.) milyen időszakra vonatkozik, vagyis napi átlagérték vagy a teljes mérési időszak átlaga.

10. A durva részecskék forrástípusa kapcsán többször szerepel (pl. 47. old.) az értekezésben a talaj eredetű forrás, ami inkább a felszíni kőzettel vagy a földkéreggel kapcsolatos, ezért pontosítás vagy további indoklás szükséges.
11. Ultrafinom részecskéknek a 100 nm-nél kisebb ekvivalens átmérővel rendelkezőket szokás nevezni, míg a nanorészecskék átmérője 10 nm-nél kisebb. A 4.5.5 fejezet (105–106. old. címe (Nanorészecske koncentráció...) és tartalma (100–300 nm) között szigorúan véve nincs átfedés. Ebben a fejezetben alkalmazott osztályozás ellentmond a 3. kérdésben idézett szövegkörnyezetnek. Szokatlan továbbá a cts/cm^3 (beütésszám? köbcentiméterenként) mértékegység megadása is a cm^{-3} helyett.

A pályázó 5, nagyobb tézispontban foglalta össze az eredményeit az értekezés szerkezetének megfelelően, amelyek rendre 5, 9, 5, 8 és 6 alpontokat, tehát összesen 33 egységet tartalmaznak. A tézispontokkal kapcsolatban ugyanazok a leíró és terjedelmi kritikai meglátások ismételhetők meg, mint a dolgozatra vonatkozóan. A tézispontok új tudományos eredményeket tartalmaznak.

Összegező nyilatkozat

A fentiekre hivatkozva és elismerve az értekezésben bemutatott kutatómunka mennyiségét, tudományos értékét és újdonságait megállapítom, hogy Bencs László MTA doktori disszertációja teljesíti a vele szembe támasztott követelményeket, hiteles adatokat tartalmaz, és a doktori művet alkalmasnak tartom a nyilvános vitára.

Budaörs, 2018. 05. 29.



Dr. Salma Imre
az MTA doktora
egyetemi tanár