

OPPONESI VÉLEMÉNY

Kovács Nóra

LÉGKÖRI SZÁLLÓ POR KÖRNYEZETI KOCKÁZATÁNAK JELLEMZÉSE

című doktori értekezéséről.

A légkör szennyezettsége világszerte nagy gondot jelent. “Az Európai Környezetvédelmi Ügynökség (EEA) 2023-ban kibocsátott jelentése azt tartalmazza, hogy a légszennyezés továbbra is a legjelentősebb környezeti eredetű egészségügyi kockázat Európában.” írja Kovács Nóra a dolgozat preambulumban. A megállapítás hazánkra is igaz és ez indokolja a témaválasztást. A légköri szennyezők közül különösen veszélyesek a légköri szálló porok (PM, particulate material). Ezek egészségkárosító hatását valójában a felületükön megkötött vegyületek okozhatják, mint például a policiklikus aromás szénhidrogének (polycyclic aromatic hydrocarbons: PAH) valamint nehézfémek. Fontos ezért meghatározni a légköri szálló porok ökotoxikológiai hatását, ami a dolgozat központi témája.

Az MTA doktora fokozat elnyerése céljából benyújtott anyag 137 oldal terjedelmű és mintegy másfél évtizedes kutatómunka eredményeit tartalmazza. A jelölt a szokásos Bevezetés helyett 1 oldalas „Preambulum”-mal kezdi a dolgozatot, ezután 3 oldalon a Célkitűzéseket írja le. Ebben először részletezi, hogy korábban egy teszteljárást, mérési protokollt dolgozott ki, amely lehetővé teszi a légköri szálló por ökotoxikológiai vizsgálatát. Az eljárás a *Vibrio fischeri* biolumineszcens baktérium alkalmazásán alapuló kinetikus teszt (Flash teszt) speciálisan adaptált változata. A vizsgálat során a baktériumok a vizsgált PM mintával, magukkal a szemcsékkel, ill. a rajtuk levő potenciálisan toxikus szennyezőkkel direkt kontaktusba kerülnek, anélkül, hogy a mintát előzetesen extrahálni kellene. A munka egyik alapvető célkitűzése magának a teszteljárásnak a validálása, további célja pedig olyan alkalmazási területek ismertetése, amelyeknél a kidolgozott teszteljárás új lehetőséget biztosított az ott lévő gondok feltárására, továbbá hogy értékelje a tesztprotokoll használhatóságát, összehasonlítva egyéb (analitikai, egyéb ökotoxikológiai) vizsgálatok eredményével. Az ökotoxikológiai mérések mellett néhány esetben kémiai analízist is végeztek, céljuk volt a mérgező hatásért felelős vegyületek minőségi és mennyiségi meghatározása. A cél tehát nem egy módszer kidolgozása, hanem egy már kidolgozott módszer validálása, illetve alkalmazási területeinek meghatározása.

Az Irodalmi áttekintés (összesen 20 oldal) első fejezete a levegőszennyeződés részletes leírása, a következő két fejezetekben kitér a szennyezett levegő egészségügyi, illetve ökológiai hatásaival foglalkozó közlemények legfontosabb eredményeinek ismertetésére. Az irodalmi áttekintés legnagyobb részében, 16 oldalon az ökotoxikológiai vizsgálatokkal kapcsolatos közlemények eredményeit foglalja össze. Először áttekintést ad a különböző ökotoxikológiai vizsgálatokról, majd 11 oldalon – a jelölt által is alkalmazott – *Vibrio fischeri* biolumineszcencia gátláson alapuló teszt alkalmazásával kapott közlemények legfontosabb eredményeit írja le. Kritikai értékelés azonban nagyon kevés helyen található. Felsorolja a szerzőket, a méréseket és az eredményeiket. Kitér az általa is alkalmazott kinetikus teszt leírására is, amelyet a 2000-es évek elején kezdtek alkalmazni, majd 2010-ben készült hozzá szabvány is. Hiányolok egy összefoglalást az Irodalmi áttekintés végéről, amiben Kovács Nóra kifejtette volna, hogy milyen rést pótol be az általa kifejlesztett módszer.

Kísérletek főcím alá kerültek a disszertáció további fejezetei, összesen 78 oldalon. A cím alapján azt vártam, hogy az eredmények bemutatása következik ebben a fejezetben, azonban nem azzal kezd. Az első néhány oldal, az első alfejezet inkább az Irodalmi összefoglalásba illett volna és ez így van a többi esetben is, amikor új témát kezd. Ezekben a bevezető részekben írja le, ami az Irodalmi összefoglalóból hiányzik. Az első ilyen bevezetésben azokat az alkalmazásokat tekinti át, ahol a *Vibrio Fischeri* biolumineszcens baktériumokat fémek, illetve szerves szennyezők toxicitásának jellemzésére használták. Ezen a néhány oldalon kritikai összefoglalásban mutatja be a különböző alkalmazásokat, megemlítve azok hiányosságait és megindokolva az általa kidolgozott, direkt kontakt teszt létjogosultságát.

Az alkalmazási területek, így a vizsgált mintatípusok száma igen nagy. Lakásban, kültéren, városban, városon kívül is vett mintát. A devecseri vörösiszap szennyezés után, a megszáradt iszap kiporzásából vett légköri mintákat is vizsgált. Különféle hulladékok égetésekor gyűjtött levegőmintákat tanulmányozott nemcsak Magyarországon, hanem emellett Portugáliában, Braziliában és Mongóliában is.

A direkt kontakt teszt „összevetésével” két helyen is foglalkozik a Kísérletek fejezetben. Először a 33. oldalon, ahol az alfejezet címe: A Flash tesztprotokoll továbbfejlesztése PM minták ökotoxikus hatásának becslésére. Másodszor a 37. oldalon, ahol az alcím: A direkt kontakt teszt összevetése. Az első megfogalmazás kissé zavaros, ebből számomra nem derült ki, hogy valójában mit csinált. A második megfogalmazásból már megértettem, hogy összehasonlított két szabványt. Az egyik, amely alapján kifejlesztette a direkt kontakt tesztet, ez a Flash rendszer, a másik pedig ToxAlert 100 rendszer, amelynél az ökototoxicitást extraktumokon vizsgálják. Nem világos számomra, hogy mi a különbség a Flash rendszer és az ez alapján kifejlesztett direkt teszt között. Erre szeretnék választ kapni!

A direkt kontakt teszt összehasonlítását ToxAlert 100 rendszerrel elvégezte a devecseri vörösiszapömlésből származó por mintákon és budapesti, illetve Kecskemét környékéről származó mintákon. Az utóbbi két minta esetében téli és nyári időszakban is vettek mintát. A devecseri pormintáknál direkt kontakt tesztel nem mutattak ki toxicitást, míg a ToxAlert100 rendszer erős toxicitást jelzett. A budapesti és a Kecskemét környékéről származó téli minták esetén a két módszerrel hasonló eredményeket kaptak, míg a nyáron vett mintáknál csak a ToxAlert100 mutatott toxicitást.

Azonos módszerrel vett mintákon összehasonlította a direkt tesztel kapott ökotoxicitás értékeket a különböző oldószerekkel (víz és 4 szerves oldószer) extrahált mintákkal mért értékekkel. A legkisebb toxicitást a vizes extraktumok mutattak, a direkt tesztel kapott értékek a metanolos extraktumokéhoz hasonló, elég nagy toxicitást mutattak, a másik három szerves oldószerekkel extrahált minta toxicitása még nagyobb volt.

Az összehasonlító mérésekből a jelölt azt a következtetést vonja le, hogy a kontakt teszt relevancia szempontjából lényegesen korrektebb, mint az extrakciót alkalmazó tesztek, hiszen a természetben a hatásviselő szervezetek nem metanolos vagy diklórmétános extraktum formájában találkoznak a szálló por jellegű szennyezéssel. Ezzel a következtetéssel egyetértek. Nem értem azonban, hogy miért a metanolos extraktummal kapott értékekhez állnak legközelebb a direkt kontakt tesztel kapott eredmények.

Budapesten vett, városi aeroszol mintákon téli és nyári ökotoxicitás értékeket hasonlították össze, télen jóval toxikusabbnak találták a mintákat, mint nyáron. Szegeden és Budapesten

gyűjtött mintákon városi aeroszol toxicitásának napszakos mintázatát elemezte. Szegeden 69, Budapesten 34 mintát gyűjtöttek. Ebből az adathalmazból annyi következtetést vont le, hogy Budapesten napközben 11 és 17 óra között a legalacsonyabb az aeroszol ökototoxicitása, a többi napszakokban magasabb. Ez különösen azért érdekes, mert Budapesten olyan helyen vettek mintát, ahol a közlekedésből a lakások fűtéséből és ipari kibocsátásból is származott a levegő szennyeződés. Az adatokra magyarázatot az irodalomban keresett, de nem talált, egyéb összefüggéseket nem keresett, az eredményeket nem nagyon értelmezte.

A levegő optikai tulajdonságain alapuló mérőműszer kalibrálása címmel néhány sorosra sikerült fejezet került a disszertációba, amelyben leírja, hogy a direkt kontakt teszt szolgáltatotta az alapot egy új, a levegő optikai tulajdonságain alapuló mérőműszer kalibrálásához. Ennek alapján, first screening jelleggel indikálhatják a levegő ökototoxicitását. Az idézett közleményből (Pintér et al., 2017) legalább az 1. ábrát be lehetett volna illeszteni a szövegbe, de jobb lett volna ezt a fejezetet elhagyni.

Az Ökototoxicitás vizsgálata városi környezetben című fejezetben további két alfejezet foglalkozik városi aeroszollokkal. Ez különbözik az előző, hasonló témájú fejezetektől egyrészt a helyszínben, mert az utóbbi fejezetekhez külföldön készültek a mérések, másrészt abban is, hogy a mintákat több módszerrel jellemezték, mint a Magyarországon vett mintákat.

A Városi PM morfológiai, kémiai és ökotoxikológiai jellemzése című fejezetben, ahol a Coimbra városában végzett méréseket mutatja be, az értékelés sokkal részletesebb, mint a magyarországi mérések esetében, próbál összefüggéseket keresni. Ez az előző fejezetből majdnem teljesen hiányzik. A toxicitás mellett ebben a részben analízis, illetve elemanalízis eredmények is vannak, ezek hiányát is érezni az előző fejezetben. Ebből a fejezetből viszont hiányolom az adatokat, sem ábra, sem táblázat nem került ide.

Hasonló gond van a következő alfejezettel is. A Téli minták napszakos mintázatának elemzése című fejezetben, amely ugyancsak Portugáliában készült mérésekről szól, ismét csak értékelés található, az adatokat sem ábrán, sem táblázatban nem mutatja be. Az értékelés azonban itt is alaposabb, mint a Magyarországon végzett mérések esetében. Részletezi, hogy mi állhatott az adatok hátterében.

A PM_{2,5} toxicitásának vizsgálata ipari területen című fejezethez a mérések Braziliában készültek. Eredményeket, adatokat, ábrákat, vagy táblázatokat itt sem találunk, csak az eredményekből levont következtetéseket.

Közlekedésből származó aeroszol/biodízel címet viseli a következő főfejezet. A személygépkocsik kipufogógázának vizsgálatából azt a nem meglepő következtetést vonta le, hogy minél nagyobb a kocsik által megtett kilométerek száma, annál nagyobb a PAH kibocsátás. Nem találtak viszont összefüggést a környezetvédelmi besorolás és az ökototoxicitás között. Ez utóbbi sem meglepő, hiszen az azonos környezetvédelmi besorolású gépkocsik egyéb paraméterei (típus, évjárat, futott kilométer, teljesítmény, motortérfogó) különböztek egymástól. A Dízel üzemű autóbuszok kibocsátásának elemzése fejezetben, bár a személygépkocsikhoz hasonlóan a buszok között is számos paraméter eltérő volt, itt mégis korrelációt találtak a környezetvédelmi besorolás és az ökototoxicitás között. A két méréssorozat eredményeiben jelentkező ellentmondást azonban nem kísérelte meg tisztázni a jelölt. A Biodízel fejezet a dízel és a biodízel ökototoxicitásának összehasonlítása során kapott eredményeket mutatja be. Nem találtak nagy eltérést a két üzemanyag között.

A Nem gépjármű emisszióhoz köthető közlekedési terhelés című fejezethez a mérések Portugáliában készültek. A járművek által felvert porból vettek mintát, ami nemcsak a járművek különböző alkatrészeinek kopásából származó anyagokat tartalmazza, hanem az út kopásából, illetve a környező talajból is tartalmaz komponenseket (növényvédő szerek, műtrágya, stb.). Itt számszerű eredmények a különböző helyeken mért jellemző elemek átlagkoncentrációit mutatják. Az ökototoxicitást mindenhol nagynak mérték.

A Hulladékégetéssel foglalkozó fejezet az ebből származó aeroszokok toxicitásával foglalkozik. Különböző polimer hulladékot, rongyot, autógumit és bútortárgyat égettek ellenőrzött körülmények között. A PVC égetésekor erősen toxikus gáz képződött. Az akrilnitril az ABS (akrilnitril-butadién-sztirol) és egyik bútortárgy égetésekor is toxikus gázok fejlődtek. Ezeknek az anyagoknak a toxicitás és PAH értékei is nagyok voltak, a PP és PS minták esetében a nagy PAH értékek ellenére kicsik voltak a toxicitás értékek. Erre nem ad magyarázatot a pályázó. Érdekes lett volna például a polimerek kémiai szerkezetét megnézni, a PVC és az akrilnitril esetében esetleg találhatott volna a toxicitásukra magyarázatot. Erősen toxikus gázokat azonosítottak PET palackok égetésekor. Érdekes, hogy amikor kétkomponensű mintákat égettek, a PET, PP keverék toxicitása nem volt nagy. Magyarázat itt sem talált.

Beltéri levegőminőség jellemzése a címe a következő fejezetnek, amelyhez a Fűtés és a Főzés alfejezetek tartoznak. A fűtés alfejezethez tartozó kísérletek egy részét (tüzelés biomasszával) Portugáliában végezték. Vaskályhából (zárt tüzelés) és kandallóból (nyílt tüzelés) vettek mintát és citotoxicitást, valamint *Vibrio Fischeri* tesztet alkalmaztak a minősítésre. Adatokat nem, csak a két mérés eredményeire kapott korrelációs együtthatókat közölnek. Később toxicitás értékek is vannak, amikor pelletet égetésekor keletkező füstöt minősítették. Az akáciából készült pellet rendkívül nagy toxicitását sajnos nem értelmezi Kovács Nóra. A szénrel történő fűtés levegőszennyező hatását Mongóliában tanulmányozta, Ulaanbaator környéki jurtákban, ahol a lakosság 98%-a szénrel fűt. A sütés, főzés során is kerülnek a levegőbe toxikus anyagok, különösen grillezés során mértek igen nagy toxicitásokat a levegőben. A légkörben található vízzeloldható humuszszerű anyagok (HULIS) is erősen toxikusak lehetnek.

Megjegyzések (hiányosságok, elírások)

A rövidítések jegyzéke nem teljes, hiányzik pl. az SOS magyarázata.

Az y tengely tengelyfelirata sok ábrán hiányzik.

Molekulatömeg helyett a molekulatömeg elnevezés a szabályos.

A 2. táblázat fejléce hiányzik.

A Referencia listában az et al., rövidítés nem szokásos a dolgozatoknál (ma már a közleményekben sem elfogadott többnyire). Ez különösen zavaró az olyan esetekben, ahol a szerző is a cikk szerzői közt szerepel, de a neve az et al., miatt nem jelenik meg. Több helyen is előfordul, hogy azonos elsőszerzőnek egy évben több publikációja is szerepel a listában és nincsenek megkülönböztetve (pl. 2020a). Így nem azonosítható, hogy adott helyen melyik publikációt idézi.

A lepublikált kifejezés számomra furcsa. A közölt, közzétett, de még a publikált is jobban hangzik.

PAHok vs PAH-ok – A rövidítésből képzett szavak esetében én helyesebbnek tartom a kötőjeles formát. A dolgozatban nem egységes a rövidítések használata.

Az idegen szavak magyarázatát jó lett volna első említésükkor megmagyarázni, pl. szesszilis, sztóma (növények esetén). Mivel elég nagy számban használt idegen szavakat és azokat többször is említette, megkönnyítette volna az olvasó dolgát, ha készít egy összeállítást az idegen szavak értelmezéséből.

42. oldal, a 8. ábra alatt írja: A vizes extraktumban nemcsak az ökototoxicitás értéke, hanem az analitikailag kimutatott PAHok koncentrációja is a legalacsonyabb volt.

Az ökototoxicitás valóban a vizes extraktumban a legkisebb, a 4. táblázat eredményei alapján. A naftalinok nélkül mért PAH koncentráció is a legkisebb, azonban az összes PAH koncentráció a DMSO extraktumban mért érték után a második legnagyobb.

A 8. ábra nehezen értelmezhető számomra, mivel nem derül ki, mi a különbség a C1, C2....C12, D1, D2 stb. minták között.

42. oldal: A metanolos kivonatban lényegesen magasabb hatást sikerült kimutatniuk. A mondat befejezetlenné tűnik. A mondat második fele, „mint vizes extraktumban”, hiányzik. Igaz, egyértelmű, hogy erről van szó, de mégis ki kellett volna írni.

A 9. és 10. ábra esetén az ábrákon két adatsor van és 2 y tengely. Az ábra érthetőségét megkönnyítette volna, ha nyilakkal jelzi, melyik adatsor melyik tengelyhez tartozik. A 10. ábra esetén az ábra és a szöveg között ellentmondás van. Az ábra szerint mintavételt augusztus 31-ig végeztek, míg a szöveg azt állítja, hogy augusztus 14-ig.

54. oldal, 7. táblázat: A Spearman korrelációs koefficiens értékek jelentése számomra ismeretlen, magyarázatra szorult volna.

14. táblázat: Az adatok egy részét 3 tizedes pontossággal adta meg, egy másik részét viszont egész számra kerekítve, célszerű lett volna egységesíteni.

A 15. táblázatban hiányzik a címsor, ezért nem világos, hogy a 3 oszlop értékei mit jelentenek. Sajnos a szövegben sincsen rá magyarázat.

18. ábra: Egyik tengelyen sincsen tengelyfelirat, sem mértékegység. A sok kis ábra valami tendenciát mutat, de jobb helye lett volna mellékletben, mert nem igazán informatív.

A 96. oldalon szereplő táblázatnak sem száma, sem címe nincsen.

A 30. ábra zavaróan rendhagyó módon készült. Különböző időpontokban vett HULIS minták EC₅₀ értékeit jellemzi az adatok többsége, itt tehát az dátumok szerepelnek az x tengelyen. 3 oszlop adatai azonban tözezből származó mintákhoz tartoznak, az x tengelyen a minta neve szerepel. Célszerűbb lett volna ezt a három adatot más módon, pl. beszúrt ábrán szerepeltetni.

Zavaró, hogy néhány esetben angolos kifejezést használ olyan anyagokra, melyeknek magyar elnevezése is van. Pl. 76. oldal: a PS az polisztirol, nem polisztirén. Az ABS kopolimer pedig akrilnitril-butadién-sztirol (nem akrilonitril). Az Sb antimon és nem antimónium. A 22. táblázatban koleszterolnak nevezi a koleszterint.

A 96. oldalon lévő táblázatnak száma és címe sincsen.

Molekulasúly vs. molekulatömeg, az utóbbi az ajánlott és elfogadott elnevezés.

Összefoglalva a disszertációról alkotott véleményemet

A disszertáció egy új teszteljárás – a „whole aerosol” direkt kontakt teszt – protokolljának kifejlesztésére és validálására épül. Ez a módszertani fejlesztés egyértelmű újdonság. Egy **direkt kontaktuson alapuló**, extrakció nélküli tesztet fejlesztett ki, a *Vibrio fischeri* Flash teszt adaptációjaként. Az ökotoxikológiai eredményeket több esetben analitikai módszerek támasztják alá.

A mű szerkezete számomra több szempontból szokatlan. Hiányzik az anyagok és módszerek fejezet, ezeket fejezetenként, az eredmények bemutatása előtt tárgyalja. Ennél a megoldásnál gondot okoz megtalálni egy módszer leírását. Nem is találtam meg például, hogy milyen módszerekkel végezték az elemanalízist, illetve a vegyületek azonosítását.

Hiányzik a fejezetek számozása. Az egyfajta logikát jelez. Sok helyszín, nagyszámú, különböző típusú minta, nagyon sok eredmény, de nem sikerült homogén egységet előállítani belőlük. Az Irodalmi áttekintés című fejezetben a vonatkozó irodalom egy részét foglalja össze. Az dolgozathoz leginkább kapcsolódó irodalmat A Kísérletek rész főfejezeteinek bevezető részei tartalmazzák, majd részletezi az abban a részben alkalmazott módszereket, többnyire a mintavételezés körülményeit, illetve eszközeit. Ezután jönnek az eredmények. Túl sok az alfejezet, néhány közülük nagyon rövid. Az alfejezetek nagy száma, valamint az előzőekben leírt tagoltsága miatt a szöveg nem homogén, nem jól áttekinthető. Olyan hatást kelt, mintha a közleményeit egymás után beszerkesztette volna a disszertációba. Ezt a gondot a teljes dolgozat újra szerkesztésével lehetne megoldani, a sok helyre szétszórt irodalmi áttekintések, valamint az eredmények logikus átcsoportosításával.

A doktori disszertációktól azonban abban tér el leginkább, és ez nagy hiányossága a dolgozatnak, hogy sem a dolgozat, sem a tézisfüzet nem tartalmaz téziseket. Az MTA Kémiai Tudományok Osztályának doktori követelményrendszere előírja: „A doktori mű és a tömör pontokba szedett tézisek bemutatják a pályázónak a tudomány továbbfejlődéséhez hozzájáruló eredményeit, egyértelműen megadva, hogy a disszertációban és a munkákhoz kapcsolódó közleményekben mi volt a pályázó részvétele.”

A saját tudományos eredményekre épülő tézispontokhoz meg kell adni a kapcsolódó közlemény(ek)e)t. A disszertációban nem csak tézisek nincsenek, nincs a közleményeinek listája sem.

A pályázó a részvételét a disszertációban és a hozzá tartozó közleményekben az összefoglalásban adja meg: az értekezés alapjául szolgáló közlemények az általa kidolgozott mérési protokollon alapulnak. A tudomány továbbfejlődéséhez hozzájáruló eredményeiből annyit tudtam megállapítani, hogy kifejlesztett egy mérési protokollt, bár a dolgozat témája nem a protokoll kifejlesztése, hanem annak validálása. Mivel a közlemények zömének sok szerzője van és többségükben nem első (és nem utolsó) szerző Kováts Nóra, ezért szükség lenne annak bővebb kifejtésére, hogy mi volt az ő részvétele, szerepe a cikkekben.

A munka alapvető célkitűzése is kissé szokatlan, a teszteljárás validálása. Gondom van továbbá az eredmények elemző tárgyalásával. Nem mindenhol keresi a jelenségek okát, magyarázatát. Az adatok értékelése, értelmezése sok helyen nagyon rövid, vagy teljesen hiányzik. Szükséges lett volna egyéb adatokkal, pl. naptári (munkanap – munkaszüneti nap), meteorológiai adatokkal összevetni az eredményeket, így keresve magyarázatot a változásokra, tendenciákra. További kutatási ajánlásokat sem tett a pályázó.

Összegezve megállapítom, hogy a doktori eljárás alapjául szolgáló értekezés szerteágazó, nagy volumenű kísérleti munkán alapul, azonban átgondolásra szorul. Javasolt a mű alapos átszerkesztése, új szerkezet kialakítása. Javasolt továbbá a kutatási eredmények részletes értelmezése. Lényeges, hogy a doktori mű és a téziszfüzet tömör pontokba szedett tézisek tartalmazzon, bemutatva a pályázónak a tudomány továbbfejlődéséhez hozzájáruló eredményeit, egyértelműen megadva, hogy a tézisek mely közleményeken alapulnak, illetve hogy a disszertációban és a munkákhoz kapcsolódó közleményekben mi volt a pályázó részvétele.

A doktori értekezés nyilvános vitára bocsátását és a mű elfogadását a jelenlegi formában nem javaslom.

Budapest, 2026. január 8.



Takács Erzsébet

az MTA doktora