

Válasz Dr. Jani Péter bírálói véleményére

Köszönöm a Professzor úrnak, hogy annyi időt, munkát fordított dolgozatom elolvasására, elbírálására. Külön köszönöm dicsérő szavait, melyekkel a disszertációt és kutatói munkásságomat illette, és remélem, hogy a dolgozat hiányosságaira rámutató megjegyzéseire, kérdéseire az alábbiakban adott válaszaimat kielégítőnek tartja.

Bíráló megjegyzések:

A dolgozattal kapcsolatos legsúlyosabb problémám azonban az, hogy gyakorlatilag semmit nem mond a tématerülethez kapcsolódó, a világban tapasztalható kutatási eredményekről, megoldatlan problémákról, a várható fejlődési irányokról, motivációról.

Válasz: Valóban dolgozatomban hangsúlyosan a fotoakusztikus módszer gyakorlati alkalmazásaira, ezen belül elsősorban az általam sikeresnek tekintett alkalmazási eredményeinkre koncentráltam, részben terjedelmi, részben az MTA doktori dolgozat szelleméből adódó okokból. Ugyanakkor szeretném megjegyezni, hogy a dolgozatom irodalomjegyzékében kb. 80 olyan publikációra hivatkozok, melyek külföldi szerzők munkája. Továbbá 2011-ben egy rangos nemzetközi folyóiratban egy összefoglaló cikket publikáltunk (Z. Bozóki, A. Pogány and G. Szabó: Photoacoustic instruments for practical applications: present, potentials and future challenges. Applied Spectroscopy Reviews. **46** 1-37 (2011).), ahol kiemelt hangsúlyt fektettem a külföldi kollégák eredményeinek bemutatására is; dolgozatom irodalomjegyzékben hivatkoztam erre a cikkre is.

Itt jegyzem meg, hogy W. Demtröder: Laser Spectroscopy (Springer, 2002) című monográfiája kb. 18 hivatkozást tartalmaz a fotoakusztika tárgykörében, a másra fordított több ezer hivatkozás mellett, és ezek közül a legfrissebb is 1997-ből származik. Az idézett mű másfél oldalas terjedelemben t.k.p. lezártnak tekinti az adott mérés technikai irányt.

Válasz: A fotoakusztikával kapcsolatos irodalmat nyomon követve valóban megállapítható, hogy magának a módszernek a fejlesztése, – pl. újabb és újabb érzékenységi rekordok felállításával – a reneszánszát valamikor a 80-as években élte, a 90-es években bizonyos értelemben valóban leszálló ágba került. Ezzel a szegedi csoport is kezdettől fogva tisztában volt, ugyanakkor úgy véltük, hogy a dióda lézerek területén lezajlott hatalmas fejlődés új utakat nyit meg megbízható, hosszú élettartamú, ha kell ipari vagy terepi környezetben is használható eszközök kifejlesztésére. Ezért munkám során végig valamilyen konkrét

alkalmazásból indultam ki, és a megoldandó problémákat, illetve a fejlesztések célkitűzéseit ezekből vezettem le. Munkám során folyamatosan igyekeztem, és igyekezni fogok újabb és újabb területeket felkutatni, melyekben igény mutatkozik a fotoakusztikus módszer segítségével a konkurens mérési módszerekhez képest magasabb szakmai színvonalú mérések végzésére. Továbbá az ilyen területek speciális méréstechnikai igényeihez, valamint a fotoakusztikus rendszerünkhöz egyaránt illeszkedő új mérési módszereket, eljárásokat dolgozok ki. Végül részvételemmel és irányításommal olyan fotoakusztikus mérőműszerek, mérőrendszerek létrehozásán dolgozom, melyek segítségével nemcsak elméletileg, hanem valós körülmények között, a gyakorlatban is igazolható, hogy a fotoakusztikus módszer alkalmas a konkurens mérési módszerekhez képest magasabb szakmai színvonalú mérések hosszú távú, megbízható elvégzésére a kiválasztott alkalmazási feladatokban. Úgy gondolom, hogy a szegedi fotoakusztikus iskola tevékenységének talán éppen az a legfontosabb visszajelzése, hogy a fotoakusztika kifejezés a spektroszkópiai tankönyvek mellett kezd ismertté válni a földgáziparban, vagy a légkörkutatásban is.

Egyáltalán nem lezárt ugyanakkor a katonai alkalmazások területe.

Válasz: Voltak próbálkozásaink a katonai alkalmazások területén. Az alapvető problémát ott látom, hogy az általunk alkalmazott fotoakusztikus rendszerek jellemzően egy, vagy legfeljebb néhány komponens mérésére alkalmasak, ugyanakkor a katonai alkalmazásokra vonatkozó tárgyalásaink során általában az derült ki, hogy nem egy konkrét gázt, hanem pl. a harci-gázokat általánosságban kimutatni képes műszereket keresnek. Mindazonáltal a bírálóval egyetértve én sem tekintem lezártnak a területet, sőt remélem, hogy találunk olyan katonai alkalmazást, ahol a fotoakusztika előnyei megmutatkozhatnak.

Azt állítom, hogy a téma aktualitása, jelentősége, perspektívája az adott dolgozattól nem vonható le. A korábban az Akadémiai doktori fokozattal kapcsolatban megfogalmazott „iskola teremtő” tevékenységről, hatásról itt nem beszélhetünk.

Válasz: véleményem szerint az általunk művelt fotoakusztikus témák aktualitását nem csak azon érdemes lemérni, hogy mely fotoakusztikus csoportok hivatkoznak a munkáinkra, hanem azon is, hogy a szorosan vett fotoakusztikus tématerületünkön kívüli kutatócsoportok hogyan vélekednek módszerünk alkalmazhatóságáról a saját kutatási területükön. Csak egy példa: a négy-hullámhosszú fotoakusztikus aeroszolmérővel végzett méréseinket aeroszol-kutatással foglalkozó folyóiratokban publikált 3 cikkünkre közel 50 hivatkozást kaptunk jellemzően nem fotoakusztikával, hanem aeroszolkutatással foglalkozó szakemberektől,

annak ellenére, hogy legtöbbjük talán a hivatkozott cikkünk elolvasásakor találkozott először a fotoakusztikus módszerrel. Ezen kívül az általunk létrehozott új műszereket és módszereket sikeresen alkalmazzák pl. a CARIBIC projektben és számos más területen. A bírálóiban hiányolt „iskola teremtmény” hatás ilyen értelemben talán mégis megvalósulónak tekinthető.

1. Szép, lényegre törő levezetést találunk a foto-akusztikus jel kialakulására, a jeldetektálás, jelfeldolgozás, jel/zaj viszony definícióira 9 - 26. oldal.

Válasz: Köszönöm a dicsérő szavakat!

2. Ugyanakkor a 13-tól 16-ig, valamint a 21-től 36-ik oldalig terjedő, mérés-technikai alapfogalmakat ragozó részeket akadémiai doktor szinten legfeljebb a mű mellékleteként, segédleteként tartanám helyesnek.

Válasz: Mivel a fotoakusztika a véleményem szerint egy eléggé szerteágazó tudományterület, és művelőjének sokféle tudományágban jártasnak kell lennie, a dolgozat írásakor az a cél is lebegett a szemem előtt, hogy a dolgozatot majdan olvasó fiatal kutatók számára adjak egy általános összefoglalást, segítve a különböző tudományterületekről származó alapfogalmak megértését.

3. 28. oldal, (1.35.) képlet $\tan^{-1}t$ -t ír, valójában $\arctan$ függvényre gondol. Megjegyzés: a tipográfiai jelölés nem azonos a releváns programsorral

Válasz. Valóban, elnézést kérek a hibáért.

4. 37. oldal, 1.2 ábra, az egész dolgozat vonatkozásában kulcsfontosságú, a berendezés alapjait meghatározó, metrikát kijelölő táblázat. Még sincs megjelölve a forrás. Netalán ezeket az értékeket a jelölt mérte ki? Ha nem, miért nem adja meg a forrást. Az ábrával kapcsolatos kérdés: Van-e az S vonalerősség és az MDC legkisebb kimutatható koncentráció között valami összefüggés (ököl szabály), netalán fordított arányosság?

Válasz: valóban dolgozatomból sajnálatos módon hiányzik a megfelelő hivatkozás, de ezt a táblázatot részben a saját eredményeim alapján állítottam össze, részben az *M. Fehér and P.A. Martin, Spectrochimica Acta Part A 51 1579-1599 (1995)* cikkben ismertetett optikai abszorpciós rendszerrel elvégzett mérések eredményei alapján adtam becslést arra, hogy a fotoakusztikus rendszerünkkel az adott gáz mérése során milyen érzékenység érhető el. A becslés során egyrészt figyelembe vettem a *Z. Bozóki et. al.: Near infrared diode laser based spectroscopic detection of ammonia: a comparative study of photoacoustic and direct optical*

absorption methods. Applied Spectroscopy **56** 715-719 (2002) cikkünkben kimutatott különbséget az optikai abszorpciós és a fotoakusztikus rendszerrel elérhető legkisebb kimutatható koncentrációk között, másrészt figyelembe vettem, hogy az adott hullámhosszakra milyen fényteljesítményű dióda lézerek kaphatók kereskedelmi forgalomban. Valóban a vonalerősség és a legkisebb kimutatható koncentráció között fordított arányosság áll fenn.

5. *Célkitűzések (51.- 52. o.) Ha jól számolom 17 célkitűzés van megemlítve. Vajon nem lett volna célszerű ezeket, kisebb számban, esetleg súlyozottan feltüntetni? A bíráló nem képes annak megállapítására, hogy mind a 17 célkitűzés megvalósult, illetve milyen mértékben valósult meg. Csak olyan általánosan megfogalmazható véleményt képes kialakítani, hogy a célkitűzések nagy része valószínűleg megvalósult, de, hogy ezek közül melyek hordoznak tudományos újdonságot, melyek szakmai rutin feladatok – a dolgozat kevés támpontot nyújt.*

Válasz: A dolgozat írása előtt több kolléga nagydoktori dolgozatát elolvastam. A dolgozatokban található célkitűzések száma jellemzően meghaladja a tizet, de valóban lehetséges, hogy a 17 túlzás volt.

6. *A 3.3 képletnél (58. o.) kis figyelemmel elkerülhető lett volna a képlet és a hozzáfűzött behelyettesítő értékek közti - nullával való osztásból eredő - értelmetlenség, miközben a szöveg maga is tartalmazza, hogy a hőmérsékletet valójában Kelvin fokban kell megadni. Ez a figyelmeztetés a szerzőre úgy látszik, nem vonatkozik. Fokozza a skizofréniát, hogy az elkövetkező (3.4), (3.5), (3.6) képletekben a hőmérséklet, további figyelmeztetés nélkül, újra °C –ban van megadva, illetve értelmezve.*

Válasz: Valóban a dolgozat hivatkozott részében összekeveredett a K és a °C használata, de °K-re való utalás a szövegben szerepel.

7. *59. oldal „A kamra hőmérsékletét célszerű minél alacsonyabb értéken tartani, mivel a 3.6 képlet szerint a mikrofonérzékenység fordítva arányos a hőmérséklettel.” Eltekintve attól, hogy a képletben a dimenziók nincsenek egyeztetve – elektromos áram értékhez egy gáz koncentráció jellegű mennyiséget adunk hozzá – mivel ez a képlet egy egyenes egyenlete, vajmi kevés információt hordoz a tekintetben, hogy hova kell szabályozni a hőmérsékletet. Furcsa az is, hogy a (3.6) képlet egy 25 °C körüli sorfejtést, mint tapasztalati képletet ismertet, miközben a megvalósított kamrahőmérséklet 63 °C (60. oldal). Az ember azt várná,*

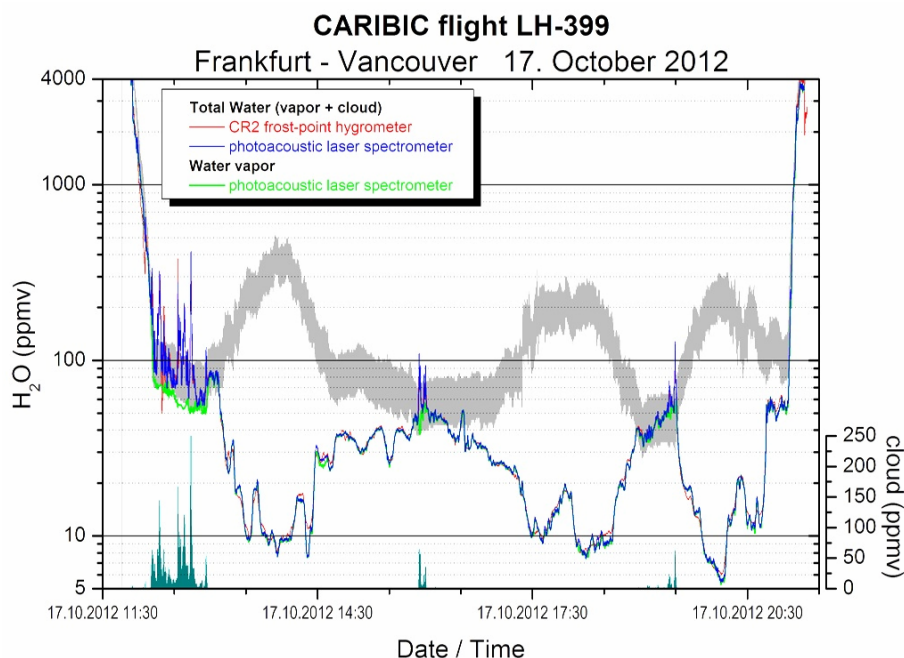
hogy egy 63 °C körüli sorfejtésnek van gyakorlati értelme. Kérdés, kimérték-e a később megvalósított 63 °C környezetében is a tapasztalati értékekből adódó koefficienseket? Jelen formájában a képlet - díszlet.

Válasz: Valójában a 63 °C nem az a hőmérséklet, amelyen a kamránkat működtetni célszerű, hanem az a hőmérséklet határ ami felett a mikrofon károsodik. A 3.6 képletben a PA(T) mennyiség helyesen egy adott hőmérsékleten a fotoakusztikus rendszerrel mért látszólagos vízgőz-koncentráció. Mivel a rendszer előzetesen 25 C hőmérsékleten lett kalibrálva, PA(T=25 °C) értelemszerűen megegyezik a tényleges vízgőz-koncentrációval.

8. A 3.5 ábra (59. oldal) víz-gőz koncentrációméréseket mutat, melyeket a jelölt által fejlesztett berendezéssel és a harmatpontmérő berendezéssel végeztek. A dolgozat nem tesz említést róla, hogy ezt megelőzően a berendezések egymáshoz voltak-e kalibrálva. Feltételezem, hogy igen. Így nem csoda a nagyfokú egyezés. Ha azonban a berendezések egymástól függetlenül, különböző elvek alapján voltak kalibrálva és ennek ellenére ilyen csodálatos egyezést mutatnak, az a mérés technika csodája. Kár, hogy erről, a hitelességet bizonyító eljárásról egy szó sem esik a dolgozatban. A mérések időtartama durván három óra. Az a tény, hogy ilyen hosszú idő alatt két ennyire különböző mérési elven működő berendezés ennyire azonos eredményeket hoz, megdöbbentő. Sehol egy additív tag, egy arányossági tényező, egy bemelegedési drift, és a legsúlyosabb, hogy a jelölt úgy látszik nincs tisztában azzal, hogy amit implicite állít, az egy bravúr. Különböz szóvá tenné.

Válasz: Valóban a két berendezés előzetesen össze lett kalibrálva. Teljes mértékben egyet értek Professzor Úr azon állításával, hogy „Az a tény, hogy ilyen hosszú idő alatt két ennyire különböző mérési elven működő berendezés ennyire azonos eredményeket hoz, megdöbbentő”. Valójában a két rendszer nemcsak a publikációban bemutatott néhány órás tesztidő alatt, de repülőgépre telepítve 10-12 órán keresztül is ilyen nagyfokú egyezést szokott mutatni. Azt gondolom, hogy ez az oka annak, hogy a mérőberendezésünket 2004 óta rutinszerűen alkalmazzák a CARIBIC projektben. Az alábbi ábrán példaképpen a CARIBIC projektben egyik repülési kampánya során az általunk kifejlesztett illetve a referencia módszerrel végzett mérések eredménye látható. A kék színű görbe a fotoakusztikus rendszerünk egyik mérőcsatornájával, míg a piros színű görbe a tükrös harmatpontmérővel mért atmoszférikus teljes víz (vígőz + felhőcseppek) koncentrációt ábrázolja. Megjegyzés: a zöld görbe a fotoakusztikus rendszerünk másik mérőcsatornája által mért vízgőz

koncentrációt mutatja, és a két csatorna jele közötti különbségből került meghatározásra a felhőcsepp koncentráció.



Azzal, hogy amit állítok az egy bravúr, azt gondolom, hogy tisztában vagyok, erről szól a 10. tézispont.

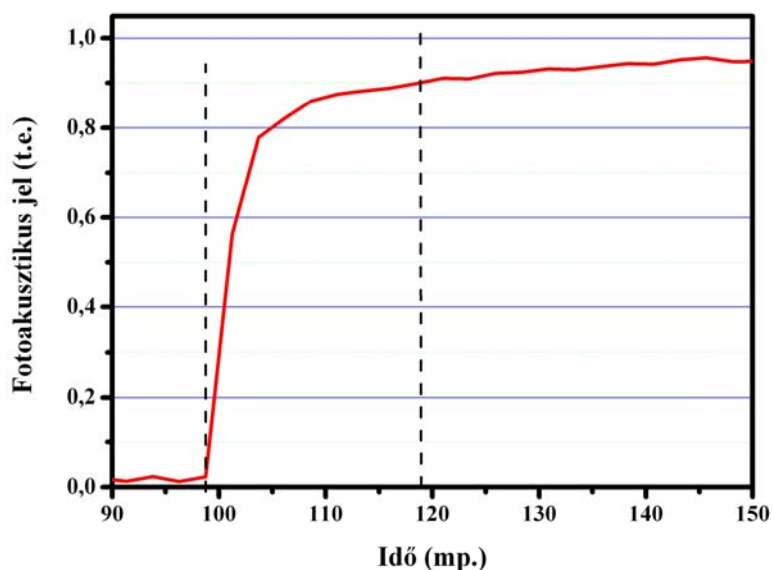
9. 49. oldal, 1.21 ábra. A modulációs mélység tudtommal dimenzió nélküli szám, legtöbbször százalék. Itt mégis mA-ban mérik. Nem értem.

Válasz: a mA-ban megadott modulációs mélységet elosztva az áram modulálatlan részével és szorozva százal megadja a százalékos modulációs mélységet. Elnézést kérek a pontatlan fogalmazásért.

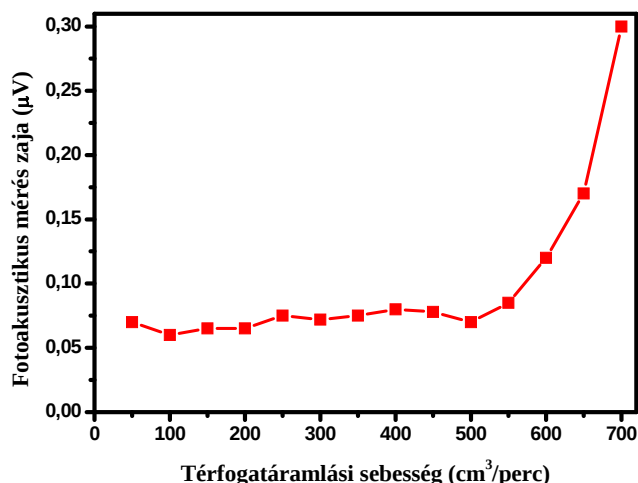
10. 57. oldal „a longitudinális differenciális kamra ...válaszideje kb. 20 másodpercnek adódott”. Az ezt igazoló 3.4 ábra alapján a kijelentést sem cáfolni, sem megerősíteni nem lehet. És ha annyi, az minek köszönhető?, ez tervszerűen ennyi?, ideális érték?, vagy netalán így sikerült? E-feltételezést igazolni látszik a szerző által használt „adódott” ige. Mit kezdjen az olvasó egy ilyen adattal? Mi a tudományosan értékelhető tartalom egy ilyen kijelentés mögött?

Valóban a 3.4. ábráról nem olvasható le a pontos válaszidő ezért az alábbi ábrán látható az ábra egy kinagyított változata, ahol jól látható, hogy a hirtelen koncentrációváltozás után 20

másodperc telik el, ami alatt a koncentrációváltozás által okozott tartozó jelváltozás 90%-a megtörténik.



A válaszidő első közelítésben attól függ, hogy mennyi idő alatt áll be a kamrában az új koncentráció, azaz egyenesen arányos a kamra térfogatával és fordítva arányos a vizsgált gázminta kamrán keresztüli térfogatáramával. A hagyományos kamrák esetében a térfogat csökkentésének határt szab az akusztikus hullámhossz, a relatíve megnövekedő akusztikus veszteségek. A térfogatáram növelését pedig az limitálja, hogy a ki- és beáramló nyílások átmérőjének növelése akusztikus veszteséget okoz, a gáz sebessége pedig azért nem növelhető bizonyos határon túl, mivel az áramlási zaj egy bizonyos sebességhatár felett a mérést lerontó akusztikus zajt okoz. Összehasonlítva a széles körben alkalmazott (pl. általam is munkám kezdetén használt) azimutális kamrával, a longitudinális differenciális kamra térfogata több mint egy nagyságrenddel kisebb, miközben a megfelelő akusztikus szűrők és a differenciális mérési eljárásnak köszönhetően az alábbi ábra szerint (dolgozat 3.3. ábrája) a kamra viszonylag nagy térfogat-áramlási sebességek mellett is alkalmazható.



Elsődlegesen e két ténynek köszönhető a kamra általam rövidnek tekintett válaszideje.

11. 70. oldal, nyelvújítási lelemény (Kazinczy figyelmébe) a nem definiált u.n. „zajkitett rendszer”. Sem stílusában, sem szakmai tartalmában nem tudom elfogadni, az aggálymentes „zajjal terhelt rendszer” -rel szemben.

Válasz: elnézést kérek a rossz szóhasználatért.

12. A dolgozatban szereplő, elvileg a jelölt mérési eredményeit bemutató 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.7, 3.8, 3.10, 3.12, 3.13, 3.16, 3.17, 4.1, 4.2, 4.3, 4.6, 4.7, 4.8, 4.9, 4.10, 4.11, 4.12, 4.13, 4.14, 4.15, 4.16, 4.17, 4.19, 5.2, 5.4, 5.6, 5.8, 5.9, 5.10, számú ábrák (összesen 33 ábra) hivatkozása nincs megadva, így nem csak az ábrák szakmai tartalma, hanem eredetük pontos azonosítása sem lehetséges.

Válasz: az alábbiakban megadom az ábrák hivatkozásait a dolgozat irodalomjegyzéke szerint: 3.3 [1], 3.4 [74], 3.5 [49], 3.6 [69], 3.7 [69], 3.8 [69], 3.10 [75], 3.12 [nem publikált eredmények], 3.13 [nem publikált eredmények], 3.16 [43], 3.17 [43], 4.1 [49], 4.2 [49], 4.3 [49], 4.6 [62], 4.7 [62], 4.8 [69], 4.9 [69], 4.10 [93], 4.11 [93], 4.12 [93], 4.13 [1], 4.14 [1], 4.15 [95], 4.16 [nem publikált eredmények], 4.17 [nem publikált eredmények], 4.19 [98], 5.2 [100], 5.4 [101], 5.6 [104], 5.8 [70], 5.9 [99], 5.10 [99].

13. 95. oldal „Munkám során kísérletet tettem egy hagyományos multikomponens analízis alkalmazására[96]”. A hivatkozásnak a jelölt nem szerzője.

Válasz: Valóban nem vagyok szerzője a hivatkozott munkának. A hivatkozott munkában alkalmazott multi-komponens eljáráshoz hasonló eljárást terveztem alkalmazni, azonban,

feltehetően a molekulák közötti kölcsönhatások miatt ez nem volt sikeres - ezért fogalmaztam úgy, hogy erre "kísérletet tettem".

14. A tézis pontok eredményeit 18 tudományos publikációban ismertette, ezek általában 4-7 társszerzővel született művek. A csatolt dokumentumokban a társszerzők lemondó nyilatkozatát nem találtam, így én sem tudok nyilatkozni, hogy mely eredmények, milyen mértékben illetik a szerzőt. Ki, mit használt fel korábban és ki, mit szándékozik felhasználni a jövőben? Ez a megjegyzés a dolgozatra is vonatkozik.

Válasz: A szükséges lemondó nyilatkozatokat a dolgozat benyújtásakor csatoltam.

15. Az 1. tézispontot elfogadom, amennyiben az érzékenységre, válaszüldre, immunitásra, túlvezérlésre vonatkozó és az összehasonlítást lehetővé tevő adatok a dolgozatban kimutathatóak és erre a szerző egyértelműen rámutat.

Válasz: A dolgozat 1.27 képlete megadja a fotoakusztikus kamrákra vonatkozó érzékenység kifejezését, amit felhasználva a különböző fotoakusztikus kamrák összehasonlíthatók. Különböző fotoakusztikus kamrák szisztematikus módon az *A. Miklós, P. Hess and Z. Bozóki: Application of acoustic resonators in photoacoustic trace gas analysis and metrology. Review of scientific instruments 72 1937-1955 (2001)* publikációban kerültek összehasonlításra. A kamra külső zajokkal szembeni immunitására valóban csak indirekt bizonyítékaim vannak. Repülőgépre telepítve vagy gázüzemben a fotoakusztikus rendszereink túlvezérlés nélkül működnek, ami egy akusztikus mérésen alapuló rendszer esetében véleményem szerint jelentős eredmény. Sajnos nem volt lehetőségem pl. egy más fotoakusztikus kamrán alapuló rendszert párhuzamosan repülőgépre telepíteni és összehasonlítani a két rendszerben tapasztalt túlvezérlések számát.

16. A 2. tézispontot, mint triviális állítást, nem fogadom el. A fotoakusztikus jel nyomásfüggése a három paraméter nyomásfüggésének konvolúciójából adódik. Hogy milyen ez a függés, az már esetleg lehetne tézispont. Kérdéses, hogy lehet-e ilyen, általános és nem az egyedi konstrukciótól függő nyomásfüggést felállítani, vagy, hogy esetleg ezt tartalmazza a [6] hivatkozás.

Válasz: valóban, a tézispont megfogalmazása nem szerencsés, mivel az eredmény fontosságát nem a megfelelő módon hangsúlyozom. Miután kidolgoztam a 6. tézispontban ismertetett módszert, amelynek lényege, hogy a lézer modulációs paramétereit a mérés során folyamatosan változtatom oly módon, hogy a paraméterek mindig optimálisak legyenek az

aktuálisan mért gáznyomáshoz, felmerült a kérdés, hogy ezzel a módszerrel milyen mértékben lehet az érzékenység nyomásfüggését kiküszöbölni. Munkám során bebizonyítottam, hogy az új modulációs eljárás nyomásfüggése kizárólag a mikrofon és a kamra rezonancia félérték-szélesség nyomásfüggéséből származik (dolgozat 3.8. ábra), azaz az új modulációs eljárással a lehető legteljesebb mértékben kiküszöbölhető az érzékenység nyomásfüggése. Ebből a tényből következik a tézispontban megfogalmazott állítás, miszerint a fotoakusztikus rendszer nyomásfüggését teljes mértékben sikerült megmagyarázni a három nyomásfüggésből (azaz a rezonancia félérték-szélesség, a mikrofonérzékenység és az elnyelési vonalak nyomásfüggéséből).

17. A 3. tézispont „nagymértékben érzéketlen a külső zajokkal szemben” tulajdonságot nem fogadom el, az egy nagyságrenddel rövidebb válaszidőt elfogadom.

Válasz: Valóban, az állítás, hogy az általam javasolt nyitott kamra nagymértékben érzéketlen a külső zajokkal szemben önmagában nem, csak más rendszerekkel összehasonlítva értelmezhető. Az állítás bizonyítására a következő összehasonlítást tudom tenni. Az alábbi cikkben: *A. Keller, M. Rüegg, M. Forster, M. Loepfe, R. Pleisch, P. Nebiker, H. Burtscher, Open photoacoustic sensor as a smoke detector, Sens. and Actuators B. 104 (2005) 1-7* a szerzők bemutatnak egy, az általam javasolthoz nagymértékben hasonló geometriájú nyitott kamrát, amelyben azonban nem alkalmaztak differenciális mérést, és egy másik akusztikus rezonancián történt a mérés, ahol az akusztikus energia jelentős része kisugárzódik a kamrából, szemben az általam javasolt rezonanciával, amelynek csomópontja van a kamra alap- és fedőlap síkjában, azaz az akusztikus energia jó hatásfokkal tárolódik a rezonátorban. Ezt a kamrát a nevezett cikk szerint laboratóriumi körülmények között csak úgy tudták mérésre használni, hogy a henger alját és tetejét lefedték (azaz a nyitott kamrát lényegében zárttá tették, tehát elveszett a kamra legfontosabb előnye), különben a rendszer gyakorlatilag állandó túlvezérlésben volt. Ezzel szemben az általunk fejlesztett teljesen nyitott kamrát az általam kidolgozott megoldások eredményeként a normál laboratóriumi zajok nem viszik túlvezérlésbe.

18. A 4. tézispontot nem fogadom el. Az, hogy valami „egy speciális kiértékelési eljárás alapul”, az nem tézispont. Tessék megmondani mi az a speciális kiértékelési eljárás? Ezt az olvasó találja ki? Honnan tudjam, hogy a szerző a hivatkozott [8] publikációban mire gondol?

Válasz: Valóban a tézispontból kimaradt az eljárás ismertetése, amely eljárás a következő. A moduláció eredményeként keletkező jelnek (dolgozat 4.1. ábra) képeztem az abszolút értékét, majd a burkolóját oly módon, hogy minden modulációs periódusból kiválasztottam a maximális fotoakusztikus jelet. Végül e burkoló görbét ábrázoltam a hozzá tartozó gerjesztési periódusszám függvényében, így kaptam meg a dolgozat 4.2 ábrája szerinti jelalakot.

19. Az 5. tézispontot nem fogadom el, mert a tézispont nem fogalmazza meg az eljárás lényegét, így az sem világos, hogy a hivatkozott közlemény milyen állítására vonatkozik. A bírálónak nem feladata, hogy kinyomozza, mire is gondolhatott a szerző, hanem éppen fordítva - a tézispontban megfogalmazott igényt, tudományos újdonságot kell bizonyítotttnak látnia a hivatkozott publikációkban.

Válasz: Az általam javasolt megoldás lényege, hogy a DA konverter segítségével egyetlen gerjesztési szekvencián belül egy lineárisan változó frekvenciájú gerjesztést adunk a lézerre. Ezt a gerjesztést alkalmazva a fotoakusztikus kamra válasza (ha történik abszorpció, és keletkezik fotoakusztikus jel) a kamra rezonanciagörbéjének és egy szinusz függvénynek a konvolúciója (dolgozat 4.5. ábra). A mért jelen gyors Fourier-transzformációt (FFT-t) alkalmazva és a kapott spektrumot a gerjesztés Fourier-transzformáltjával normálva megkapható a fotoakusztikus kamra rezonancia-görbéje.

18. A 6. tézispontot, mint mérőrendszerekben gyakran előforduló szabályzási feladatot, alacsony újdonság erejénél fogva, nem fogadom el. Az itt leírtak elvileg rutinfeladatot jelentenek a méréstechnikában. Nem vitatom azonban, hogy ezeket a feladatokat korrektül meg kellett oldani.

Válasz: a tézispont újdonságát véleményem szerint az szolgáltatja, hogy legjobb tudomásom szerint korábban még nem publikáltak vagy szabadalmaztattak olyan megoldást, ahol a lézer modulációs paramétereket a változó nyomáson történő mérések során nem állandó értéken tartják, hanem az aktuálisan mért nyomás függvényében egy előre optimalizált módon változtatják. Az eljárás segítségével a dolgozat 4.8 ábrája szerint a repülőgépes mérések során fellépő minden nyomáson sikerült megnövelni (bizonyos nyomásokon akár 50%-kal is) a fotoakusztikus rendszer érzékenységét. Szeretném megjegyezni továbbá, hogy a módszer kidolgozását jelentős mértékben segítette a kamra érzékenységének nyomásfüggéséhez kapcsolódó fizikai folyamatok tisztázása a 2. tézispont szerint.

20. A 8. pontban közölt eljárás tézis pontban való szerepeltetése elvileg elfogadható. Azonban nincs bemutatva, illetve legalább jelezve, hogy milyen eredményekre vezetett, mennyire megbízható.

Válasz: A dolgozat 95. oldalán található 4.2 táblázat utolsó sora szerint 1,15% H₂O által keltett fotoakusztikus jellel megegyező ammónia koncentráció az egy hullámhosszon történő mérés esetén 120 ppb, míg a javasolt eljárás alkalmazásával 21 ppb, azaz az eljárással a vízgőz-keresztérzékenység kb. a hatodára csökkenthető. Továbbá, mivel az általunk kifejlesztett ammóniamérő rendszerrel mérhető legkisebb ammónia koncentráció 50 ppb, a vízgőz kereszteffektus az általam javasolt eljárás alkalmazása nélkül tipikus légköri vízgőz-koncentrációk esetén mérhető hibát okoz. Ezt a kereszteffektust sikerült a kidolgozott eljárással a mérhető legkisebb koncentráció szintje alá csökkenteni.

21. A 9. pontban leírt eljárás gyakorlati jelentőségét nem tudom értékelni. Olyan érzése van az embernek, hogy a priori illik tudni a kezelőszemélyzetnek, hogy milyen komponens, milyen koncentrációban kell majd meghatározni. Elfogadhatatlan tudományos kritérium, hogy „a mérések pontossága, megbízhatósága jelentős mértékben megnövelhető.”

Válasz: Teljes mértékben egyet értek a Professzor Úrral abban, hogy az a megfogalmazás, hogy a mérések pontossága nő, erre az esetre nem megfelelő. Valójában az eredmény pontos megfogalmazása az, hogy bizonyos alkalmazások során a null-gáz előállítás nélkül, a fellépő kereszteffektusok illetve háttérjel ingadozások miatt egyáltalán nem lehet a mérendő komponens koncentrációját meghatározni, míg a null-gáz előállítás módszer alkalmazása után a mérendő komponens mérhetővé válik, a módszerre egyébként jellemző pontossággal, megbízhatósággal.

22. A 10. tézispont egyetlen állítása, hogy a repülőgépre telepített fotoakusztikus vízgőzmérőt a jelölt alkalmazta. Ennek technikai, tudományos újdonságát a tézispont nem definiálja. Így nem tudom elfogadni. A megállapításnak a lehetséges hasznosítások között van helye.

Válasz: valóban ebben a formában a tézispont hiányos. A fotoakusztikus rendszert a repülőgépes mérésekre az alkalmazott lézerstabilizálási és önellenőrző funkciók optimális kombinációja teszi alkalmassá. Bár ezeket a módszereket külön-külön már ismertettem, ezek optimalizált kombinációja nélkül a fotoakusztikus rendszer nem, vagy csak korlátozott mértékben lenne alkalmas a repülőgépes mérésekre. Továbbá hivatkozni szeretnék Professzor Úr 8. pontban tett megállapítására, illetve az erre adott válaszomra, miszerint „Az a tény, hogy ilyen hosszú idő alatt két ennyire különböző mérési elven működő berendezés (azaz az

általunk kifejlesztett fotoakusztikus rendszer és a tükrös harmatpontmérő) ennyire azonos eredményeket hoz (teljes repülőgépes mérési kampányok során), megdöbbentő”.

23. A 11 tézispontban megfogalmazott méréstechnikai eljárás újdonság erejét elfogadom. A megfogalmazás itt sincs azonban kidolgozva. Mi az, hogy „széles mérési tartomány”, meg, hogy „lényegében a teljes diffúziós folyamat végigkövethető”?

Válasz: a diffúziós folyamat kezdetén a detektáló egységben a mérhető koncentráció ppm vagy ppm alatti, a diffúziós (kiegyenlítődési) folyamat végén 50%. Az általunk javasolt fotoakusztikus módszernek alapvető előnye, hogy egyetlen mérőrendszer alkalmas az akár 6 nagyságrendben különböző koncentrációk mérésére és ezáltal a diffúzió folyamatának pontosabb nyomon-követésére.

24. Szép technikai feladat egyetlen mérőrendszerben felhasználni a Nd:YAG lézerből felharmónikusok generálásával kilépő négy hullámhosszat, ez a 12. tézispont. Attól tartok, hogy a módszer legnagyobb hátránya éppen az, hogy még ez is kevés. T.k.p. ahány anyag, annyi hullámhosszra lenne szükség és nem pont a Nd:YAG lézerből generálható felharmónikusok vonalán. Továbbá, nem tézispont az a megfogalmazás, hogy „a mérések eredményei a széles mérési hullámhossz tartománynak ... köszönhetően egyedi információkat hordoznak a mért aeroszol fizikai és kémiai tulajdonságairól”.

Válasz: Egyet értek Professzor Úrral abban, hogy a légköri aeroszol rendkívül sokféle komponensből áll. Így valóban feltételezhető, hogy a légköri aeroszokok rigorózus pontosságú analíziséhez legalább annyi, vagy akár több mérési hullámhosszra van szükség, mint ahány komponens koncentrációját akarjuk meghatározni. Valójában azonban a légköri aeroszokok optikai abszorpciójának jellegéből (azaz jellegteleniségéből, lásd alább) adódóan egy bizonyos határ felett a hullámhosszak számának növelése nem ad lényegi többlet információt, így az optikai abszorpció mérése során csak a kémiai sajátosságok szempontjából hasonló összetevők (pl. szerves, illetve szervetlen szén aeroszokok) integrális jellemzése tűzhető ki reális, ugyanakkor alapvető fontosságú célként. Továbbá, miközben alapvető igény mutatkozik a légköri aeroszol valós idejű és a gyakorlatban rutinszerűen alkalmazható karakterizálására, ilyen mérési eljárások pillanatnyilag még egyáltalán nem állnak rendelkezésre. Ebből a szempontból is alapvető szerencse, hogy a gyakorlatban kellő pontossággal érvényes néhány közelítés, melyek segítségével a Nd:YAG lézerből generálható négy hullámhosszon történő fotoakusztikus mérések eredményéből a megfelelő kiértékelési

eljárás alkalmazásával fontos kvalitatív és kvantitatív információkat kaphatunk a légköri aeroszolok kémiai tulajdonságok szempontjából összetartozó frakcióira az alábbiak szerint.

1. A légköri aeroszolok egy része elhanyagolható mértékben nyeli el a fényt, ugyanakkor ezeknek az aeroszoloknak lényegében nincs egészség károsító hatása, így az a tény, hogy a fotoakusztikus mérések nem érzékenyek e komponensekre, valójában előnyt jelentenek.
2. A legtöbb olyan légköri aeroszol komponens esetében, amely jelentős koncentrációban megtalálható a levegőben pl. egy erősen szennyezett téli városias környezetben, továbbá erősen fényelnyelő, és egyúttal erősen egészségkárosító hatással bír, az aeroszol komponens optikai abszorpciós spektrumában jellemzően nincsenek karakterisztikus elnyelési vonalak. A nevezett komponensek optikai abszorpciójának hullámhosszfüggése nagy pontossággal leírható az ún. Angström exponens segítségével, az alábbi képlet szerint:

$$\frac{OAC(\lambda_1)}{OAC(\lambda_2)} = \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2} \right)^{-A}$$

ahol OAC az aeroszol optikai abszorpciós együtthatója, λ_1 és λ_2 tetszőleges két hullámhossz a vizsgált tartományban és A az ún. Angström exponens. A fenti hullámhosszfüggés alapján valójában szinte teljesen lényegtelen, hogy a Nd:YAG lézerből generálható hullámhosszakon vagy esetlegesen más hullámhosszakon történik e jellegtelen spektrumok mérése. Ugyanakkor nyilvánvalóan célszerű, hogy a mérési hullámhossz-tartomány kellően széles legyen, mivel így az akár csak kismértékben eltérő Angström exponenssel rendelkező aeroszol komponensek nagyobb pontossággal azonosíthatók.

3. A szennyezett téli városias környezetben, ahol az egészségügyi hatások miatt leginkább szükség van az aeroszol mennyiségi és minőségi analizisére, a fényelnyelő aeroszolok – alkalmazva a szakirodalomban szokásos kissé félrevezető elnevezést – döntően két fő kategóriába sorolhatók: szervetlen és szerves szén aeroszolok. A légköri szervetlen szén aeroszol a közlekedésből (dízelt korom) származik, kémiaiilag homogénnek tekinthető, optikai abszorpciója részletesen tanulmányozott, Angström exponense jó közelítéssel egy. Ugyanakkor a légköri szerves szén aeroszol jellemzően a háztartási biotömeg égetéséből származik, kémiai és fizikai tulajdonságok szempontjából erősen inhomogén, optikai abszorpció szempontjából a légköri szerves

aeroszol különböző komponensei eltérő Angström exponensekkel jellemezhetők, melyek értéke jellemzően az 1,8-2,5 tartományban változik.

4. Alapvető fontosságú mérési feladatként kitűzhető e két frakció összes tömegkoncentrációjának továbbá a két frakció relatív arányának mérése, szennyezett télies városias környezetben. Ilyen módszerek kidolgozásán jelenleg is dolgozunk, az alábbiakban ismertetek egy jelenleg kidolgozás és tesztelés alatt álló lehetséges eljárást. Mivel az 1064 nm hullámhosszon jó közelítéssel csak a szervesetlen szén aeroszol rendelkezik mérhető optikai abszorpciós együtthatóval, így ezen a hullámhosszon történő mérésből e komponens koncentrációja meghatározható, majd járuléka a többi hullámhosszon mért optikai abszorpcióból levonható. Az így módosított 532, 355 és 266 nm hullámhosszon mért optikai abszorpciós együtthatók felhasználhatók a szerves szén aeroszol frakció Angström exponensének meghatározására, illetve ezen keresztül a szerves szén aeroszol frakció egy legalábbis közelítő beazonosításra, majd a szerves szén aeroszol frakció koncentrációjának meghatározására. Ahogy azt megjegyeztem, ez a módszer jelenleg is kidolgozás, pontosítás alatt áll, ellenőrzését, tesztelését jelenleg is végezzük nagyszámú és különböző helyen végzett terepi mérés segítségével.

25. A 13. tézispont állítását, miszerint „Szisztematikusan összehasonlítottam a fotoakusztikus és az optikai abszorpciós ... gázdetektálási módszereket”, nem fogadom el, mert legfeljebb arról van szó, hogy két konkrét mérőberendezés összehasonlításáról beszélhetünk, és nem általában a módszerek összehasonlításáról. Továbbá a tézispont nem tartalmaz konkrétumokat, csak olyan általánosságokat, hogy „nagyobb mérési pontosság”, „rövidebb válaszidő”, „rendszer egyszerűsége”, „förlülmulja”, „versenyképes”, stb. Az meglehet, hogy a korrekt összehasonlítás valamelyik publikációban megtörtént, a dolgozatban, illetve a tézispontban nem.

Válasz: A két rendszer az alábbi táblázat segítségével hasonlítható össze (ezt a táblázatot tartalmazza a Z. Bozóki, Á. Mohácsi, G. Szabó, Z. Bor, M. Erdélyi, W. Chen, F. K. Tittel, *Near infrared diode laser based spectroscopic detection of ammonia: a comparative study of photoacoustic and direct optical absorption methods. Applied Spectroscopy* **56** 715-719 (2002). publikáció):

	Optikai abszorpciós rendszer (OAS)	Fotoakusztikus rendszer (PAS)
Detektor kamra térfogat	270 cm ³	50 cm ³
Optikai úthossz	36 méter	9 cm
Kamra anyaga	Üveg	Rozsdamentes acél
Kamra fűtés, hőmérséklet stabilizálás	40 °C	Nem volt
Fényteljesítmény	15 mW	5 mW
Gázáramlás térfogatsebessége	2,5 liter/perc	0,5 liter/perc
Gáznyomás	100 Torr	Atmoszférikus
Háttérjel eredete	Etalon effektus	Fényelnyelés a kamra ablaka és falai által
Háttérjel időfüggése	Időben változik	Időben állandó
Kísérleti módszer a háttérjel csökkentésére	Különbségi detektálás alkalmazása	A modulációs mélység optimalizálása
Matematikai eljárás a háttérjel csökkentésére	Ötödfokú polinom illesztése	A null gázzal mért háttérjel kivonása
Zajscsökkentési módszer	500 darab hullámhossz szkenelés összeátlagolása	Hullámhossz moduláció, lock-in átlagolás (10 mp. átlagolási idő)
Koncentráció meghatározás	Paraméter illesztéssel	Kalibrációval
Legkisebb kimutatható koncentráció	0,7 ppm	0,6 ppm
Válaszidő	1 perc	3 perc (megjegyzés: fűtött kamrával 20 mp.)

Valóban igaz, hogy a fotoakusztikus rendszerünket egyetlen optikai abszorpciós rendszerrel hasonlítottam össze, bár ezzel kapcsolatban megjegyzem, hogy a houstoni Rice Egyetemen a Nobel díjas Curl professzor laboratóriumában megépített optikai abszorpciós rendszer, amivel a fotoakusztikus rendszerünket összehasonlítottam az adott pillanatban kétségtelenül a nemzetközi élvonalhoz tartozott. Azt természetesen nem lehet kizárni, hogy időközben készültek ennél jobb optikai abszorpciós rendszerek, amelyek mérési tulajdonságai akár még felül is múlhatják a fotoakusztikus rendszerét. Ugyanakkor, mivel a fotoakusztikus rendszer érzékenysége arányos a fényteljesítménnyel, és mivel jelenleg már jellemzően 40 mW fényteljesítményű dióda lézereket használunk a fotoakusztikus rendszerünkben a korábban használt 5 mW fényteljesítményű dióda lézerek helyett, ezért pl. a fotoakusztikus rendszerünkkel kimutatható legkisebb optikai abszorpció és ezzel összefüggésben egy adott hullámhosszon a legkisebb kimutatható koncentráció értéke is közel egy nagyságrenddel

javult a nevezett publikáció megjelenése óta. Eközben természetesen az optikai abszorpciós rendszerek is jelentős fejlődésen mentek keresztül, úgyhogy érdemes lenne az összehasonlítást megismételni.

Szeged, 2013. március 12.

.....

Dr. Bozóki Zoltán