

# Hűtőközeg-szivárgási pontok meghatározására alkalmas fotoakusztikus műszer fejlesztése

**A hűtéstechikai szakemberek számára fontos a hűtőközeg-szivárgások helyének és mértékének gyors behatárolása. Cikkünkben az erre a célra kifejlesztett, fotoakusztikus spektroszkópián alapuló mérési rendszerrel számolnak be a szerzők.**

## Működési elv

A spektroszkópiai megoldások napjainkban egyre elterjedtebbek a mérési módszerek körében. A fotoakusztikus spektroszkópia fényelnyelésen alapuló megoldás, ahol a detektálás alapja az a jelenség, hogy egy periodikus modulált fénysugár elnyelődése során hang keletkezik, amely hang amplitúdója arányos a fényelnyelő komponens koncentrációjával. Ezt a hangot detektálva a műszer egy mikrofon és megfelelő detektálási technológia segítségével különböző háttérgázok esetén is képes kimutatni a szennyezőket. A Szegedi Tudományegyetem Optikai és Kvantumelektronikai Tanszékén 1994-ben kezdődtek a fotoakusztikus spektroszkópiai kutatások Dr. Szabó Gábor és Dr. Bozóki Zoltán vezetésével. Tanszékünkön az elmúlt évtizedekben számos olyan fotoakusztikus mérőberendezés készült, amelyek a környezetkutatási és ipari projektekben bizonyították alkalmazhatóságukat. Ipari alkalmazásokhoz fejlesztettünk kénhidrogén, vízgőz, szén-dioxid, valamint metán terepi mérésére alkalmas mérőműszereket, amelyeket a világ különböző pontjain alkalmaznak a földgáz- és kőolajiparban a földgázátadási pontokon és fúrótornyokon. Környezetkutatási célból légi vízgőz, ammónia és aeroszolok mérésének terepi alkalmazását valósította meg a kutatócsoport.

## Hűtéstechikai alkalmazás

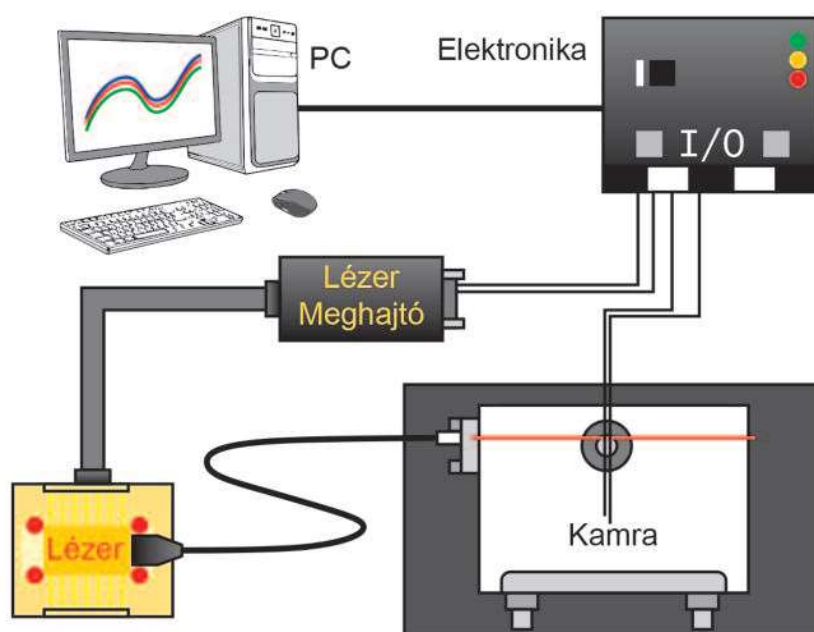
A fotoakusztikus effektus felfedezése óta a fotoakusztikus spektroszkópia napjainkig óriási fejlődésen ment keresztül, azonban további fejlesztése

még számos lehetőséget, új alkalmazási területet rejt magában. A fotoakusztikus spektroszkópia egy új lehetséges alkalmazhatóságának iránya a hűtőközeggel terhelt létesítmények esetleges szivárgásának feltérképezésére alkalmas, nagy érzékenységgel fotoakusztikus mérőműszer fejlesztése, amellyel a jelenleg kereskedelmi forgalomban lévő berendezéseknél pontosabban, gyorsabban és könnyebben megtalálhatók a hűtőberendezések szivárgási pontjai. A jelen cikkben ismertetett kutatásunk az Innovációs és Technológiai Minisztérium Nemzeti Klímavédelmi Hatóság érdeklődése alapján indult, amelyben a hűtőközgek szivárgási helyének meghatározásához új, pontos és megbízható módszereket kerestek. A hűtőközgek szivárgásának keresése nemcsak gazdasági, hanem környezetvédelmi szempontból is lényeges: a globális felmelegedés és az ozonréteg gyengülése mára minden iparágat érintő probléma, amely alól a hűtéstechnika sem kivétel. Napjainkban a hűtőközeg-szivárgás érzékelését széles körben

végzik különböző területeken, például az autóiparban és a hűtőiparban. A fluorozott üvegházhatású gázokat (hűtőközget) használó létesítmények (5 t CO<sub>2</sub>-egyenérték vagy annál nagyobb hűtőközeg-töltetű hűtőrendszer esetén) szivárgásmentességét rendszeresen ellenőrizni kell. Az újonnan gyártott hűtőközgek körülbelül 0,5-20%-át meglévő berendezések utántöltésére használják. Tehát a hűtőrendszerek szivárgásának megelőzése továbbra is kiemelt jelentőségű.

## A fotoakusztikus spektroszkópia előnye

A fotoakusztikus spektroszkópia több előnnyel is rendelkezik, amely a hűtőközeg szivárgásának lokalizációjához is nagyon fontos. Az egyik ilyen, hogy a fotoakusztikus jel nagysága egyenesen arányos a mért anyag koncentrációjával, így a műszerrel mért fotoakusztikus jel nagyságából kiszámítható a koncentráció. Ez azért előnyös, mert így a szivárgás jelenlétén túl annak



1. ábra – A fotoakusztikus mérőrendszer főbb elemei



#### Dr. Huszár Helga

A Szegedi Tudományegyetem fizikus szakán végzett 2003-ban, ebben az évben kapcsolódott be az egyetemen folyó fotoakusztikus kutatócsoport munkájába. 2009-ben PhD-fokozatot szerzett. Dolgozott több ipari cégnél is mint fejlesztőmérnök és minőségirányítási vezető. Pályája során több fotoakusztikus mérőműszer fejlesztési projektjében részt vett, ezenkívül nagy tapasztalattal rendelkezik a mérőműszerek fejlesztésében, tervezésében és gyártásában ipari alkalmazásokra. 2019-ben visszatért az egyetemre a fotoakusztikus kutatócsoportba, ahol az iparban megszerzett tapasztalatával segíti a kutatómunkát.



#### Végh Panna

A Szegedi Tudományegyetem Természettudományi és Informatikai Karán fizikus diplomáját 2018-ban szerezte, a fotoakusztikával az alapképzés során kezdett foglalkozni a Hobre Laser Technology Kft. gyakornokaként. 2020-ban lézerfizika szakirányultságú okleveles fizikusként végzett. A fotoakusztikus kutatócsoport tagjaként 2020-ban kezdte meg doktori tanulmányait, melynek témája a fotoakusztikus jelkeltési mechanizmusok elméleti és kísérleti vizsgálata. 2021 óta a Szegedi Tudományegyetem tudományos segédmunkatársa.

mértéke is meghatározható, valamint forrásazonosításra is jól alkalmazható. A fotoakusztikus mérési módszer további előnyei, hogy kivételesen széles (5-6 nagyságrend) dinamikus tartománnyal rendelkezik, azaz egy műszerrel a ppm-től (részcseke/milliomod) a százalékos tartományig mérhetünk, valamint hogy a méréshez kis mintatér fogat is elegendő (néhány cm<sup>3</sup>), ami gyors válaszidejű (1-2 másodperc) mérést tesz lehetővé, így nyomon követhető a koncentráció megváltozása. Ez a szivárgás feltérképezésekor és a forrás helyének azonosításához létfontosságú. A fotoakusztikus műszerek a megfelelő fényforrások és mérési technikák megválasztásával szelektív mérést biztosítanak, ezáltal az eszköz nem ad téves riasztást egyéb, a környezetben található komponensekre, mivel a különböző komponensek más hullámhosszt képesek abszorbeálni, így az egyes hűtőközegek külön kimutathatók.

### A fejlesztés eredménye és a műszer bevizsgálása

Az általunk fejlesztett fotoakusztikus rendszer a következő főbb elemekből áll: a rezonátort és a jelet detektáló mikrofont tartalmazó fotoakusztikus kamra, amelyen a mérendő gáz áramlik keresztül, vezérlő és jelfeldolgozó elektronika, fényforrás (1. ábra). A fejlesztés során először az R-32 hűtőközre vizsgáltuk meg a módszerünk

### Kiegészítő megjegyzések dr. Huszár Helga és Végh Panna szakcikkéhez

Lenyűgöző a cikk alaposága, tudományos háttere, és büszkeséggel tölthet el bennünket az a tény, hogy ez a méréstechnológia magyar fejlesztésű, a világ számos pontján alkalmazzák sikeresen – kiváló tulajdonságainak köszönhetően. A hűtőkörök szivárgásvizsgálatánál is forradalmi változásokat hozhat a felhasználása, azonban a „hűtős” napi gyakorlatban való alkalmazhatóságához még további fejlesztések szükségesek. Erről hallhattunk is a cikk szerzőinek előadásában, amelyet a HKVSZ 36. Hűtő- és Klimatechnikai Szervizkonferenciáján tartottak, 2021. október 13-án.

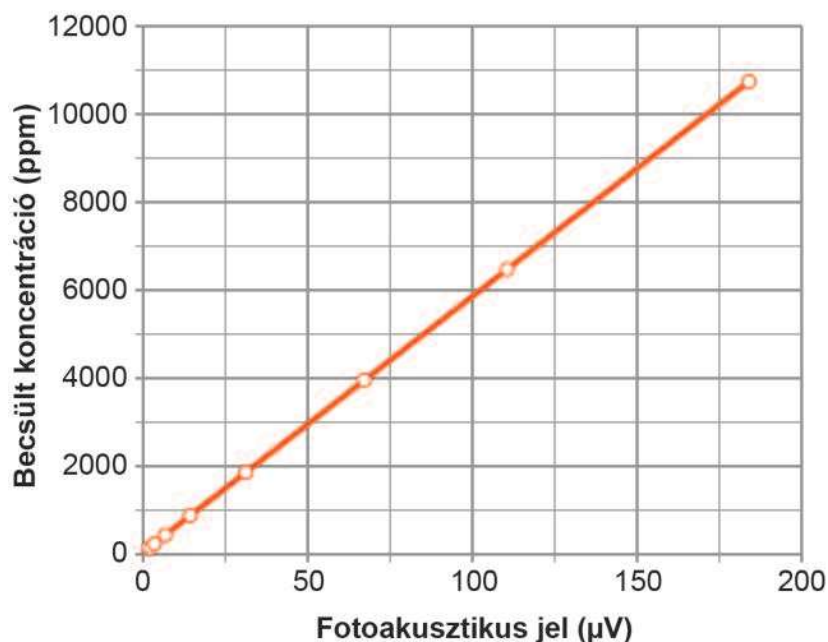
Hogyan is lehetne összefoglalni röviden azt, hogy milyen kialakítású mérőműszerre volna szüksége egy hűtős szakembernek a napi munkája elvégzéséhez?

A piacon kapható szivárgásérzékelő műszerek elférnek a szakember markában, flexibilis mintavételi csövükkel megoldható a nehezen hozzáférhető szivárgási helyek elérése is. Hátrányuk, hogy kisebb intenzitású szivárgásoknál olykor nem elég érzékenyek. Azt sem lehet egyértelműen megállapítani velük, hogy mekkora a szivárgó hűtőközeg tömegárama, csak az intenzitás mértékére lehet következtetni a jelzések erősségéből. Amint az a cikkben is olvasható, sokszor hamis riasztást produkálnak, mert a detektoruk „megszólal” idegen anyagok (vízgőz stb.) molekuláinak érzékelésekor is.

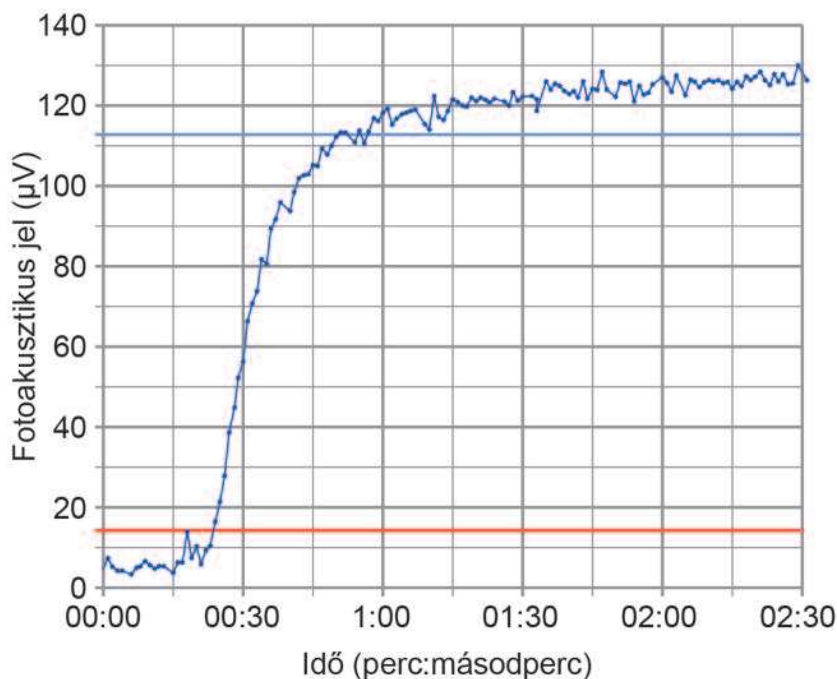
A fotoakusztikus mérőműszerrel a fent említett hiányosságok rendre kiküszöbölhetők, várakozásaink szerint. Várhatóan a méretek minimalizálása, ezzel együtt a zömmel hűtős kkv-k számára is megfizethető ár elérése okozza majd a legtöbb gondot a további fejlesztések során.

Mindent egybevetve, elmondható, hogy egy nagy lehetőség kapujában állunk. A kutatócsoport munkájához sok sikert kívánunk, és felajánljuk a Hűtő- és Klimatechnikai Vállalkozások Szövetségének konzultációs együttműködését a további fejlesztésekhez.

**Várkonyi Nándor**  
HKVSZ elnök-főtitkár



2. ábra – R-32-es hűtőközeggel történt kalibráció



3. ábra – A fotoakusztikus rendszer válaszideje

alkalmazhatóságát. Bármilyen mérőműszer esetén nagyon fontos a rendszer kalibrálásnak megfelelőse, esetünkben nitrogén gázzal történő hígítást alkalmaztunk a mérendő gáz különböző koncentrációinak előállításához. A jelenlegi elrendezéssel elért legkisebb kimutatható koncentráció a műszer érzékenységéből és a háttérzajából számolva 3 ppm, így a mérhető tartomány több nagyságrendet felölelő (3 ppm és 100%).

A mérőműszerek jellemzésénél fontos paraméter a berendezés válaszideje, azaz hogy a mérendő gáz hirtelen változását milyen gyorsan követi az adott mérőrendszer. A két legáltalánosabban elterjedt és alkalmazott mérési mód a válaszidőre:

- $t_{0-100}$ : a műszeren a válaszidő mérésének pillanata megegyezik a koncentráció-változás kezdetével, és a végpontja megegyezik a koncentráció-változás által létrejött jelváltozás lecsengésével,

- $t_{10-90}$ : ennél az eljárásnál a válaszidő mérése a jelváltozás 10%-nál kezdődik el, és a jelváltozás 90%-nál fejeződik be. Ezen definiálásoknak köszönhetően a válaszidő meghatározásának bizonytalansága mérés technikailag minimális, mert a szükséges időpontok jól definiáltak. Megjegyzendő továbbá, hogy a  $t_{0-100}$  esetén a válaszidő tartalmazza a késleltetési időt is. A 3. ábrán látható a rendszerünk válaszideje ( $t_{10-90}$ ), amelyen a piros vonal jelzi a jelváltozás 10%-át, a kék vonal a 90%-át. Jól látható, hogy a rendszerünk válaszideje néhány száz másodperc, ami igen gyorsnak mondható.

Tervezzük a műszerünk további fejlesztését, egyrészt az érzékenység növelése, másrészt a mérőműszer alkalmazhatóságának kiterjesztésére a további hűtőgázok detektálhatóságának irányában. A végső célunk egy hordozható, kisméretű szivárgáskereső egység kifejlesztése, amivel a hűtés-technikai szakemberek gyorsabban és könnyebben tudják megkeresni a szivárgás forrását.

**Dr. Huszár Helga és Végh Panna**

Szegedi Tudományegyetem  
Fizika Intézet, Optikai és Kvantum-  
elektronikai Tanszék,  
Fotoakusztikus Kutatócsoport