

Az MTA-MMSZ Kft. minőségügyi hírei

Kovács Attila

A rendszerszabvány megváltozása miatt szükségessé vált tanúsított minőségbiztosítási rendszerünk átalakítása és új rendszerdokumentáció elkészítése. Az átalakítás során a két tanúsított rendszert célszerűen teljes mértékben integráltuk.

A 2003. március 28-án megtartott vezetőségi értekezleten meghatározott feladattervnek megfelelően elkészítettük a két tanúsított rendszer új, integrált rendszerdokumentációját, mely az ügyvezető igazgató jóváhagyásával 2003. július 1-én hatályba lépett. Ugyanezzel a határnappal a régi rendszerdokumentáció valamennyi példányát visszavontuk és érvénytelenítettük.

Az alábbiakban beszámolunk az irányítási rendszerek átalakításával kapcsolatos eseményekről, célkitűzésekről és feladatokról.

MIR/KIR oktatások

Az irányítási rendszerek alapvető megváltozása miatt a rendszerek valamennyi elemére kiterjedő oktatást tartottunk, melyen részletesen ismertettük a követelményeket a rendszerdokumentáció felépítését és az újdonságokat. Valamennyi MIR/KIR oktatás után a résztvevőknek egy ún. "Felmérő lapot" osztottunk ki, melyben egy, az elhangzottakra vonatkozó teszt-kérdést tettünk fel annak érdekében, hogy mérjük az oktatás hatékonyságát. Ugyancsak ezen a felmérő lapon tettünk fel kérdéseket a munkatársaknak a munkahelyi jellemzőkkel kapcsolatos elégedettségükre vonatkozóan.

Minőségcélok

Az új rendszerszabvány követelményeinek megfelelően a minőségirányítási rendszer állandó fejlesztésének érdekében minőségcélokat tűztünk ki.

Tevékenységi felelősök

Az ügyvezető igazgató az egyes szervezeti egységekben tevékenységi felelősöket bízott meg, akik az irányítási rendszerek működtetése során segítik a munkatársak eligazodását, döntő szerepet kapnak az ügyfélkapcsolatokban, javaslatokat tesznek a fejlesztésre és rendszeres tájékoztatást adnak a szervezeti egység vezetőiknek, illetve a MIR/KIR megbízottak minőségügyi és környezeti témákban.

Tevékenységi felelősök:

- a Kereskedelmi Osztályon: Szmrécsányi Miklós (kereskedelem, műszerjavítás)
- a Kalibráló Laboratóriumban: Riesz Gábor (kalibrálás, mérésszolgáltatás)
- a Műszerkölcsonzési Osztályon: Sinkovicz Péterné (műszerkölcsonzés, tartós bérlet)

Vevői elégedettség mérés

2003. július 1-től új módszerrel mérjük fel a vevői elvárásokat, illetve elégedettséget. Egy úgynevezett "Információ kérő lap" segítségével kérdéseket teszünk fel vevőinknek, egyrészt a szolgáltatásainkra vonatkozó elvárásaikra és észrevételeikre vonatkozóan, másrészt az igénybe vett szolgáltatások egyes jellemzőivel kapcsolatos megelégedettségükre vonatkozóan. A vevői elégedettség mérésben jelentős szerepet kaptak a tevékenységi felelősök.

Belső auditok

Szeptemberben valamennyi szervezeti egységben belső auditot tartottunk. Az auditok során vizsgáltuk valamennyi rendszerelem teljesülését.

Környezeti célkitűzés

A 2003. januárjában elfogadott környezeti célkitűzés a külső kommunikáció javítását célozza. A célkitűzéshez kapcsolódó célelőirányzat, illetve program keretében tájékoztatjuk Önöket irányítási rendszereink működéséről.

Szelektív hulladékgyűjtés

Változatlanul szelektíven gyűjtjük a tevékenységeink során keletkezett veszélyes hulladékokat, azaz a használt elemeket, illetve akkumulátorokat, az üres vegyszeres flakonokat, illetve az irodagépek festékes kazettáit és szalagjait.

Akkreditálás 2003, egy és más

Sigmund Gyula*

Az új akkreditálási szabvány

Az akkreditálás alapját hosszú időn keresztül az MSZ EN 45001: 1990 honosított európai szabvány képezte. Az Európán kívüli világ akkreditálási eljárásainak alapját viszont az ISO Guide 25 irányelv alkotta. A nemzetközi szabványosítás intézménye az ISO már évek óta dolgozott a Guide 25 felülvizsgálatán, a munkába bekapcsolódott az európai szabványosítási szervezet a CEN és az irányelv időközben némi átforgalmazáson ment keresztül és szabvánnyá változott, mint ilyen a keresztségben az ISO/IEC 17025: 1999 jelzetet nyerte, azaz 1999 decemberében tették közzé. Az európai közreműködéstől nyilván nem függetlenül gyorsítottan, pár hónapon belül európai szabvánnyá vált, EN ISO/IEC 17025: 2000 jelzettel. A új szabvány követelményei általában nem ismeretlenek, a régi szabvány nagyrészt tartalmazta azokat, legfeljebb nem szentelt nekik külön szakaszt, kevesebb hangsúly volt rajtuk. A teljesen új követelmény viszonylag kevés.

Az Európai Akkreditálási együttműködés (European coordination for Accreditation, rövidítve EA) úgy határozott, hogy az új szabvány bevezetésének legvégső határideje 2002. december 31. A határozat, mint EA tagnak, a Nemzeti Akkreditáló Testületnek (NAT) a számára is kötelező volt. A hazai bevezetést azonban két dolog késleltette. Egyik maga az akkreditálásról szóló XXIX. törvény, amelyben az MSZ EN 45001 volt megjelölve mint az akkreditálás alapja, ezért az új szabvány alkalmazásának nem volt meg a törvényes lehetősége. A másik a honosítás, pontosabban a fordítás elhúzódnása. A magyar változat, az MSZ EN ISO/IEC 17025: 2001, 2001 márciusában jelent meg. Ezután hátravolt még a felkészülés az alkalmazásra, a szabványnak az európai felfogással egyező értelmezése. Az áttérésre ily módon lényegében a 2002. év maradt.

A 2002 év, főleg annak második fele nagyrészt a már akkreditált szervezetek új szabványnak való megfelelésének ellenőrzésével telt. A korábban a régi szabvány alapján készült kézikönyvet benyújtó szervezetek folyó akkreditálási eljárásai a 2002. év folyamán már csak az új szabvány szerint voltak folytathatók. Az áttérést sikeresnek lehet mondani, különböző okoknál fogva (mint pl. a szervezet megszűnése, az átdolgozott minőségirányítási dokumentáció határideje be nem nyújtása, a lejárt akkreditált állapot meg nem újítása stb.) csak néhány laboratórium nem vette ezt az akadályt. Több laboratórium, főként olyanok akinek az akkreditált státusa 2003-ban az év első felében járt le, a felülvizsgálat helyett az újraakkreditálási eljárást választották, ami azzal az előnnyel járt számukra, hogy ugyan megrövidült némileg az akkreditált státus ideje, de egy felülvizsgálat és egy akkreditálási eljárás két helyszíni szemléje helyett egy – igaz a felülvizsgálathoz képest kissé hosszabb - eljárás és egy szemle volt, ami értelemszerűen összességében kisebb költséggel is járt.

*Nemzetközi Akkreditálási Testület

A kalibrálás területén 2002. év folyamán akkreditált laboratóriumok száma 23, a felfüggesztett laboratóriumok száma 3, az elvégzett felülvizsgálatok száma 53 volt.

Miben állt a szabványkövetelmények megváltozása? A teljesség igénye nélkül néhány kiemelt szempont:

Az új szabvány 29 tevékenységre vonatkozóan kívánja meg a laboratóriumoktól, hogy dokumentált eljárásuk legyen rá. Az eljárás azt jelenti, hogy szabályozva van az adott helyzetre vonatkozóan ki, mit, hogyan tesz, ki a felelős, hogyan és milyen feljegyzés készül róla. Az eljárások a laboratórium sajátosságaitól – létszám, tevékenység, elhelyezés - függően lehetnek a kézikönyv megfelelő helyén, vagy célszerűen külön, kézikönyv megfelelő helyein meghivatkozott eljárásgyűjteményben.

Az új szabvány megköveteli, hogy a belső auditokat „képzett és képesített” személy végezze, azaz legyen belső auditori végzettsége, ha laboratórium nem rendelkezik ilyennel, pl. mert kicsi, akkor belső auditjának lebonyolításába be kell vonnia megfelelő végzettségű külső személyt, akinek megfelelő képesítését igazoló bizonyítványának másolatát az audit feljegyzései között megőrzi.

Teljesen új követelmény a megelőző tevékenység. (a szabvány 4.11 szakasza), amely nem a hiányosságok napvilágra hozását célozza, hanem továbbfejlesztés szükségességét és lehetséges nem-megfelelőségek forrásainak kiderítését, ezt a tevékenységet az előbbieken említett eljárások egyike kell szabályozza.

Látomás a jövőből – a rugalmas akkreditált terület

Mi az a rugalmas akkreditálás? Röviden olyan akkreditálás amelynek során az akkreditált laboratórium arra is fel lesz jogosítva, hogy bizonyos előre meghatározott körben meglévő vizsgálati (vagy kalibrálási) eljárásait módosíthassa, esetleg új eljárásokat dolgozzon ki, azokat érvényesítse (validálja) és azután az őt akkreditáló testületet értesítse az újonnan felvett tevékenységről. A ilyen laboratóriumok akkreditálása során fokozott figyelmet kell fordítani a laboratóriumi személyzet hozzáértésére, a műszaki berendezésekkel, mérőműszerekkel való felszereltségre, a hatékony minőségirányítási rendszerre, különös hangsúllyal az érvényesítő (validálási) eljárásokra és azok megfelelő feljegyzéseire. Az akkreditáló szervezet legkésőbb az esedékes felülvizsgálat időpontjáig szakértői útján ellenőrzi a bővítéseket az akkreditált szervezetnél megőrzött érvényesítési (validálási) és egyéb feljegyzések alapján, ha az új eljárás alkalmazása nem kielégítően megalapozott a laboratórium elmarasztalásra számíthat, pl. az akkreditáltság felfüggesztése vagy visszavonása.

A rugalmas akkreditálásra az EA tagjainak többségéhez hasonlóan a NAT-nak nincs kidolgozott eljárása és ezzel megvárjuk az egységes álláspont kialakulását, amelyről az alábbiak tudhatók

Az EA Laboratóriumi Bizottsága (EA/LC) cél-munkacsoportot hozott létre, hogy a rugalmas akkreditálás (flexible scope) területén meglévő tapasztalatokat begyűjtse és a lehetséges egységesítést elősegítse. Nyolc ország közül hétben az eddigi gyakorlat döntően környezetvédelmi és élelmiszevizsgálati területen gázkromatográfias vizsgálatok rugalmas akkreditálására vonatkozik. Egyelőre egyedülálló módon a francia akkreditáló szervezet, a COFRAC bár vizsgáló laboratóriumok esetében is lehetségesnek tartja, csak kalibráló laboratóriumok esetében végzett a rugalmas akkreditálást. Az egységes eljárásra a többoldalú egyezmény (multilateral agreement, MLA) általi – a különböző nemzeti akkreditáló szervezetek által rugalmas

akkreditálási területtel felruházott laboratóriumok által kibocsátott vizsgálati jegyzőkönyvek (vagy kalibrálási bizonyítványok) kölcsönös elismerése érdekében van szükség. Ezen érdek valószínűleg az e téren tapasztalható eltérő gyakorlatból (pl. az odaítélés rögtön új akkreditálásnál lehetséges, avagy csak az első felülvizsgálatot követően, a rugalmasság korlátainak különbözősége) következően szükségszerű változtatási kényszer ellenére, nyilván éles viták közepette és nem viharos gyorsasággal, de megegyezéshez vezet.

A hibatörvényektől a mérési bizonytalanságig (II)¹

Az eredetileg három részből álló cikksorozat tervezett II. és III. részét technikai okokból összevontan közöljük. A már megjelent I. részben a hibaszámítás történetét **Churchill Eisenhart** tanulmánya alapján Gaussig követtük végig. A Gauss-eloszlást *normális eloszlásnak* is nevezik. Erős volt ugyanis a meggyőződés, hogy ezen kívül nincs más, a hibák viselkedését helyesen leíró eloszlás, hogy csak ez az eloszlás létjogosult, mert a valóságot tükrözi, és mert a maga nemében tökéletes. Ha az adatok utólagos elemzése azt mutatta, hogy a mérési hibák nem követik a Gauss-eloszlást, akkor a hibát nem a hibaszámításban, az eloszlás nem teljesen megfelelő (nem-adekvát) voltában, hanem a mérési eljárásban, a mérőeszközökben keresték.

Laplace a központi határeloszlás tétellel erős alátámasztást adott a hibatörvénynek. E tétel szerint a Gauss-eloszlás igen jó közelítő modell a számtani közepek, vagy n független hiba lineáris függvényének az eloszlására, és hogy a közelítés hibája zérushoz tart, ha $n \rightarrow \infty$. Ma már tudjuk, hogy a Gauss-eloszlás nem általános érvényű. Az adatok elemzéséhez használt, feltételezett valószínűség-eloszlás csupán *modell*, amiről remélhető, hogy a hasznosításához szükséges megbízhatósággal eléggé megközelíti a valóságot. Az észlelési adatokat sem képzeljük el olyanoknak, amelyek valóban normális eloszlást, vagy bármilyen más eloszlást követnek.

A mai mérési bizonytalanság-fogalom kialakulása utolsó fél évszázadának történetét dióhéjban úgy foglaljuk össze, hogy megjelenésük időpontjának sorrendjében felidézzük az új felfogásmódot (konceptiót) megalapozó szakirodalom néhány jellegzetes képviselőjét. Az áttekintést az *Útmutató a mérési bizonytalanság kifejezéséhez* című ISO kiadvány, közismert nevén a GUM [1] megjelenése előtt már közzétett gondolatokkal kezdjük.

1966-ban jelent meg **H.H. Ku** „Megjegyzések a hibaterjedési törvények használatához” című közleménye. A cikkben Raymond T. **Birge**-től idézi a következő gondolatot:

¹ A cikk első részében (9. oldal baloldali hasáb közepe) a szöveg helyesen:

” **Carl Friedrich Gauss** (1777-1885) 1794-ben felismerte, hogy az $y = \alpha + \beta x$ lineáris függvény α és β együtthatóit az észlelési adatokból a maradék hibák négyzeteinek összegét minimalizáló a -val és b -vel lehet meghatározni:

„Az a kérdés, hogy mit tekintünk egy adott mért mennyiség bizonytalanságának, már évtizedek óta vita tárgya, és feltehetően még sokáig az marad. A kérdés sok szempontból kezelhető, és természeténél fogva nem is lehet rá egyértelmű választ adni. A hibaterjedés törvénye ezzel szemben tisztán matematikai probléma, jól meghatározott és könnyen bizonyítható következtetésekkel”

Témánk szempontjából nem a hibaterjedés törvényének minősítése érdekes, hanem az, hogy a mérési bizonytalanság szakkifejezés már ebben a több mint fél évszázada megfogalmazott szövegben megjelent.

Ku nem határozza meg, de tudatosan használja a bizonytalanság fogalmát. A hibaterjedés törvényét leíró képleteket úgy értékeli, hogy „az ezekkel a képletekkel kapott bizonytalanság némileg kisebb lesz a ténylegesnél, mert a függvény alakját nem ismerjük pontosan, és a figyelembe vett változók általában nem teljesen reprezentálják a végső eredményt befolyásoló hibaösszetevőket”.

Mintegy 15 évvel a CIPM ajánlásának megjelenése előtt természetesnek tekinthető, hogy Ku a két hagyományos hibakategóriában gondolkodik. Ezeknek a kategóriáknak elfogadása egyúttal azt is jelenti, hogy – szerinte – a véletlen hibákat másképpen kell kezelni és értékelni, mint a rendszeres hibákat.

Az **1960-as évek** végén az Izmeritelnaja Technika című folyóiratban jelent meg **P. V. Novickij** cikksorozata, amit az információelmélet metrológiai alkalmazása egy korai példájának tekinthetünk.

Novickij egységes és tényleges ismérvet (objektív kritériumot) keresett, ami lehetővé teszi, hogy a mérés pontosságát olyan adattal fejezzük ki, amely a mérési eredmény információtartalmával egyértelmű függvénykapcsolatban van. A rendszeres összetevő jellemzésére a várható értéket, a véletlen összetevő (a centrális véletlen változó) jellemzésére a $H(x)$ entrópiát alkalmazta. A mérési hibát az információelméletben alkalmazott zaj illetve zavar egy sajátos változatának, a mérést pedig az üzenettovábbítás egy sajátos formájának tekintette.

A valószínűség-eloszlás típusától függően ugyanakkora nagyságú szórás (Novickij kifejezésével élve: „zavarteljesítmény”) különféle mértékben befolyásolhatja a mérés eredményét.

Novickij a tetszésszerinti eloszlásfüggvényű *hiba entrópia-értékének* azt az egyenletes eloszlású hibaértéket tekintette, amely ugyanakkora információcsökkentő hatást fejt ki, *azaz ugyanakkora entrópiájú* mint az adott, tetszésszerinti eloszlásfüggvénnyel jellemezhető hiba. Ez a felfogás talán az egyenáram és a váltakozóáram effektív értékének a hőhatásban megnyilvánuló

egyenértékűségében gyökerezett.² Az információcsökkentő hatás normális eloszlás esetében a legnagyobb.

A hiba Δ entrópia értéke és a σ szórás közötti arány a különféle eloszlásfüggvények esetében tehát más és más. A hiba információcsökkentő hatását nem csak a szórás nagysága határozza meg, hanem az eloszlásfüggvény típusa is.

A. F. Dunn *A mérés megbízhatósága* című tanulmánya a hetvenes évek elején jutott el hozzánk. A szerző kristálytiszta logikával építette fel gondolatmenetét, ami végül a *mérési bizonytalanság* alapeszméjéhez (konceptiójához) vezetett.

Dunn abból indult ki, hogy a *visszavezetett* önmagában véve csak szükséges, de nem elégséges feltétel a mérés megbízhatóságának eléréséhez. A visszavezetett mérőeszköz gyakorlati alkalmazásának körülményeit is figyelembe kell venni. Nagyon pontosan fogalmazott, amikor nem a mérőeszköz vagy a mérési eredmény, hanem a *mérési folyamat* bizonytalanságát értelmezte, bár mai szemmel nézve szóhasználata nem volt mindig következetes. Megállapította, hogy a mérési bizonytalanság több összetevőből áll. Az összetevők forrásai: a mérőeszközök, a környezeti feltételekben a mérés során beálló változások és maga a mérési elv.

Abból indult ki, hogy a bizonytalanság különféle forrásokból származó összetevői „ekvivalens szórásokká” alakíthatók át, és összegezhethők a „konvencionálisabb módon definiált” szórásokkal; Az összegzés eredménye valamilyen ($\pm s$) szórásként kezelhető. A mérési bizonytalanság $\pm 2s$ értéke a pontosságot jól kifejező, számszerű (kvantitatív) érték, amely biztosítja azt, hogy csak a mérési eredmények egy kis százaléka (hányada) essen a megadott

²A hiba entrópia-értékét Δ -val jelölve:

$$H(x/x_p) = - \int_{-\infty}^{+\infty} p(x/x_p) \ln p(x/x_p) dx = - \int_{-\Delta}^{+\Delta} \frac{1}{2\Delta} \ln \frac{1}{2\Delta} dx = \ln(2\Delta).$$

A hiba entrópia-értéke tehát:

$$\Delta = \frac{1}{2} e^{H(x/x_p)}.$$

Egyenletes eloszlású hiba esetén $\Delta = \sqrt{3}\sigma = 1,73\sigma$, normális eloszlású hiba esetén pedig

$$\Delta = \frac{1}{2} e^{H(x/x_p)} = \frac{\sqrt{2\pi e}}{2} \sigma = 2,07\sigma.$$

határokon kívülre. Végül megállapította, hogy az ismételt mérések eredményeiből vett minden minta jellegzetes szóródási képet mutat, ahol a szóródási kép elemeinek nagy része egymáshoz közel helyezkedik el, és kirajzol egy értéket, amely a mért érték jó becslésének tekinthető. Bármely elem előfordulásának annál kisebb a gyakorisága, minél nagyobb az eltérése ettől a becsléstől. Különösebb indoklás nélkül feltételezte, hogy a „jó minőségű ismételt mérések” eredményei normális eloszlást követnek. Eloszlásuk jellemzésére két statisztikai mennyiség alkalmas: (1) az $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x_i$ számtani közép, azaz az elsőrendű kezdeti momentum, ami egyúttal a legvalószínűbb érték, és (2) az $s^2 = \frac{1}{n-1} \sum (x_i - \bar{x})^2$ szórásnégyzet, azaz a másodrendű centrális momentum becslése.

Dunn felvetette, hogy *kell* találni valamilyen lehetőséget a rendszeres és a véletlen bizonytalanság-összetevők összegzésére, vagyis arra, hogy az „összbizonytalanságot” a valószínűség-számítás eszközeivel kifejezhető és értelmezhető *egyetlen számadattal* tudjuk jellemezni.

Dunn a rendszeres hibák kezelésére három lehetséges módot ajánlott: 1) ha a rendszeres hiba nagysága és előjele ismeretlen, de értéke egy adott határ alatt van, akkor ezzel a határértékkel lehet becsülni; 2) ha a rendszeres hiba nagysága ismert, de a véletlen hibához képest elhanyagolható, akkor \pm előjellel véve úgy lehet kezelni, mint a véletlen hibát; végül 3) a rendszeres hibát, ha kellő pontossággal meghatározható, helyesbítés (korrekció) alkalmazásával ki lehet küszöbölni.

Ugyancsak Dunn-tól származnak az első ajánlások a külső adatok közötti bizonytalanságának „ekvivalens szórássá” való átalakítására. Ma ezt úgy fogalmazzuk, hogy felvázolta a külső adatok standard bizonytalanság formájában történő megadásának eljárását. Felismerte, hogy csak azonos módon értelmezett bizonytalanság-összetevőket lehet összekapcsolni (kombinálni). A bizonytalanságot azonban nem a mai értelmezésnek megfelelő standard bizonytalanságként, hanem adott megbízhatósági szintű tartományként fogta fel.

A BIPM mérési bizonytalanságra vonatkozó ajánlásai 1981-ben váltak ismertté INC-1 (1980) Ajánlás címen. A Nemzetközi Súly- és Mértékügyi Hivatal (BIPM) 1978-ban kérdőívet adott ki, amelyre 32 nemzeti mérésügyi intézet válaszolt. A kérdések a mérési hibák kiszámításának és megadásának módjára vonatkoztak, és a válaszok sokszínű képet mutattak. A kérdőívre adott válaszok feldolgozása után nemzetközi munkacsoportot hoztak létre az egységesítést célzó ajánlások kidolgozására, melyek 1981 októberében láttak napvilágot. Mint láttuk, ezt a mindössze egy oldal terjedelmű, de meghatározó jelentőségű

dokumentumot olyan cikkek, tanulmányok előzték meg, amelyekben a mérési bizonytalanság fogalomköre, a fogalmak értelmezése és az elméleti alapok csirájukban már benne voltak.³

Pierre Giacomo, BIPM (1983): *A bizonytalanságok kifejezéséről* című cikkében beszámolt a mérési bizonytalanság kérdéseivel foglalkozó nemzetközi munkacsoport megalakításáról. A munkacsoport életre hívására azért volt szükség, mert míg a véletlen hibákat már kimerítően tanulmányozták, sokkal kevésbé volt tisztázott a rendszeres hibák kérdése. A friss szakirodalomban a rendszeres hibák kezelésére számos többé-kevésbé ellentmondó „recept” volt található.

A BIPM fő célja a mérési bizonytalanság tudományos megalapozottságának elérése volt. Ezért mindenekelőtt ki kellett alakítani az alap gondolatokat, és világosan meg kellett fogalmazni a megoldásra váró feladatokat (problémákat).

A mérési bizonytalanság értékelésekor az összes lehetséges korrekciót el kell végezni. Mivel a korrekció pontosan sohasem ismert, mindig fennmarad valamilyen bizonytalanság. Hasonló módon az 'ismeretlen' (vagy elhanyagolt) hibák is a bizonytalanság összetevőinek tekintendők. A munkacsoport tagjai egyetértettek abban, hogy a bizonytalanság a hagyományosan 'véletlen hibának' és 'rendszeres hibának' nevezett különböző összetevőktől ered, és hogy ezeket valamilyen módon kombinálni kell ahhoz, hogy egy „összbizonytalanság” legyen meghatározható.

Giacomo öt problémával foglalkozott:

1. probléma:

Felvetette a kérdést, hogy van-e bármiféle alapvető különbség a bizonytalanság véletlen és rendszeres összetevői között, és indokolt-e azokat eltérő módon kezelni. Állást foglalt amellett, hogy a rendszeres vagy a véletlen jelleg nem alapvető tulajdonság. Ugyanaz a bizonytalanság egyik esetben lehet véletlen, a másik esetben rendszeres. A bizonytalanság összetevőinek két osztálya között tárgyalagosabb megkülönböztetés is lehetséges:

A osztály: azok, amelyek 'objektív' statisztikai becsléseken alapulnak,

B osztály: azok, amelyek 'szubjektív' vélekedéseken alapulnak.

Az „A-osztályú” jelző helyébe később az „A-típusú” lépett, már nem a bizonytalanság-összetevő, hanem a bizonytalanság értékelési eljárás jelzőjeként.

³ Az ajánlásokat és az eredményeket összegző *Útmutató* 1993-ban jelent meg, és nem túl jelentős korszerűsítések, javítások után új kiadásban, 1995-ben nyerte el mai formáját

Meglepő, hogy a kétféle értékelés típust még ma is az A és B betűkkel különböztetik meg egymástól. A VIM tervezett harmadik kiadása 2003-ban még mindig az A-típusú és a B-típusú értékelés elnevezéseket használja. Ami az új elvek megfogalmazásának és első közzétételének időpontjában elfogadható volt, az ma, csaknem negyedszázad elteltével, megmagyarázhatatlan és enyhén szólva furcsa,

2. probléma:

Az 'A-osztályú' bizonytalanság-összetevők esetén mi megbízhatóbb: azokat a varianciával (vagy a szórással) vagy konfidencia-intervallummal jellemezni?

A σ^2 variancia és a σ szórással a gyakorlatban előforduló csaknem minden eloszlás esetében létezik. Vannak ugyan ismert kivételek (például a Cauchy-eloszlás), de ezek inkább a matematikai modelleknél fordulnak elő, nem a valóságos, gyakorlati eloszlásoknál. A σ^2 és a σ becslésére kényelmes módszerek vannak, amelyek az eloszlásra vonatkozó semmiféle feltételezést nem igényelnek azon kívül, hogy létezzék. Megfordítva; a konfidencia-intervallum mindig az eloszlás ismeretére támaszkodik. Általában feltételezik, hogy az eloszlás normális, ezt azonban ritkán ellenőrzik, és ez a feltevés csak ritkán igaz.

A különféle bizonytalanság-összetevők kombinálásához a „hibaterjedés törvényét” kell alkalmazni, ami a varianciákra (és a kovarianciákra) alkalmazható, nem pedig a konfidencia-intervallumokra. A 2. probléma kérdésére adott helyes válasz tehát az, hogy σ^2 -et (vagy σ -t) kell előnyben részesíteni

3. probléma:

Mit kezdetünk a B osztállyal? Lehet-e ebben az esetben is becsülni az olyan paramétereket, mint amilyen a σ^2 vagy a σ ? Úgy kell-e érteni a dolgot, hogy a B osztályú összetevők is bizonyos értelemben véletlen jellegűek?

Az ismételt mérések sorozata véges nagyságú minta, ami nem ad teljes információt a tényleges eloszlásról, illetve az észlelési eredmények véletlen jellegéről. Ez az állítás kézenfekvő, ha a mérést csak egyszer végezzük el, ismétlés nélkül. Ha a metrológusnak módja lenne korlátlan számú észlelést végezni és közben korlátozás nélkül változtatni a mérési feltételeket, akkor az észlelési eredményeket (és azok hibáját) valóban tisztán véletlen változónak tekinthetné. A B-osztályba sorolt összetevő, például egy kalibrálási bizonyítványban megadott korrekció, ugyancsak véletlen változó, mert maga a korrekció is egy mérés eredménye. Azt, hogy a korrekció milyen eloszlásból

származik, a felhasználó természetesen nem tudhatja, mert nem ismeri a kalibrálás körülményeit.

A B osztályú összetevő becslésekor a metrológus a tapasztalatra vagyis korábbi kísérletekből származó ismeretekre támaszkodik, amelyek már bizonyos mértékig véletlen jellegűek.

4. probléma:

Hogyan lehet becsülni u_j -t vagy u_j^2 -et? A kérdésre Giacomo a következő választ adja:

Nem lehet erre vonatkozó szabályt kialakítani, bizonyos receptek azonban ajánlhatók. A fő probléma annak a megbecslése, hogy milyen konfidenciaszinten adjuk meg a bizonytalanság becslését. Ez a becslés természetesen nem lehet pontos. A jelentése azonban nem lesz kevésbé pontos, mint a 'biztonsági határok' szokásos becslése.

A metrológiában rendszerint a B-osztályú összetevők vannak túlsúlyban (dominálnak). Ezért kevés remény van arra, hogy nagyon pontos jelentéstartalmú kombinált bizonytalanság értéket kapunk. A kapott értéket inkább csak nagyságrendileg célszerű figyelembe venni.

Az eljárás általános használathoz szükség volt bizonyos egyszerű szabályokra. Előbb azonban ki kellett próbálni azt, hogy az új megközelítés hogyan működik a gyakorlatban.

Az új megközelítés nem adott tápot sem a túlzott derűlátásnak, sem a túlzott borűlátásnak. A szándék mindössze az volt, hogy tudatosabb értékeléssel helyettesítse a korábbi, meg nem határozott becslési eljárásokat és gátolja azt a laza hozzáállást, ami mind a szóhasználatban, mind a bizonytalanság értékek megadásában megmutatkozott.

Mint Giacomo írta:

„Semmi akadályja annak, hogy a kombinált bizonytalanságot végül egy alkalmas tényezővel megszorozzuk. Ha megszorozzuk k -val, akkor egyszerűen megfordítjuk a 4. problémánál javasolt számítást, és végül k -t eltüntetjük. Ez lehetővé teszi a számunkra, hogy egy ks 'összbizonytalanságot' állapítsunk meg, aminek ugyanaz a szerepe, mint a jelenleg elterjedten használt biztonsági határoknak. A felkészültebb felhasználók számára azonban meg kell adni a használandó k értéket. A tudományos alkalmazásoknál kötelező megadni egy hibalistát, amely a tekintetbe vett összes bizonytalanság-összetevőt tartalmazza, és valamilyen módon utalni kell arra is, hogy azok hogyan kapták az értéküket.

A kovarianciákat is figyelembe kell venni, ha azok jelentősek. A kombinált bizonytalanságot és az összbizonytalanságot is hasznos lehet megadni. Az utóbbit illetően meg kell adni a k értékét.

Ennek az információnak kettős célja van. Lehetővé teszi az adatok további elemzését és a különböző forrásból származó adatok összehasonlítását. Lehetővé teszi, hogy az adatokat más adatokkal kombinálva használjuk fel egy későbbi kísérletben vagy számításokban, amelyekben a varianciák és a kovarianciák alkalmas paraméterek. Remélni lehet, hogy ezt az új módszert általános használatra alkalmasnak fogják nyilvánítani. Ezt követően kényelmes és meggyőző recepteket kell adni a gyakorlati metrológusok számára. Például javasolni kell a k ajánlott értékeit. A mérés céljától és típusától függően ezek az értékek különbözőek lehetnek. Ha ez a megközelítés sikeresnek bizonyul, akkor jelentősen növelni fogja a bizonytalanság-megállapítások jelentőségét, és javítani fogja a metrológusok közötti kölcsönös megértést.”

Richard Cohen a véletlen és a rendszeres bizonytalanságok egységesítéséről tartott előadást az USA-beli Irvine-ban 1986. január 23-24 között megrendezett tudományos tanácskozáson. Arra vállalkozott, hogy kifejti és értelmezi a Nemzetközi Súly-és Mértékügyi Hivatal (BIPM) ajánlásait és az azokra vezető gondolkodásmódot (filozófiát).

Múltban a hibahatárok értékelésének általános szabálya az volt, hogy a „rendszeres hibák” félszélességeit és a „véletlen” hiba tapasztalati szórásának 2, 2,5 vagy 3-szorosát össze kellett adni. Cohen azt a következtetést vonta le, hogy a hiba „rendszeres” osztályba való besorolását gyakran összetévesztik a *korrelációval*. Egy adott mérési folyamatban a rendszeresnek nevezett hiba tartalmazhat véletlen (vagy legalább is változó) összetevőket. A hagyományos felfogás szerint a mérés hibája a mérési eredmény és a mérendő mennyiség valódi értéke közötti különbség, (mely utóbbiról feltételezhető, vagy fel kell tételezni, hogy létezik). Az ismételt mérések különböző értékeket adnak, és az ε mérési hiba „észlelt” értékei valamilyen eloszlást követnek. Kiszámíthatjuk az ε számtani közepét, $\bar{\varepsilon}$ -t, ami a rendszeres hiba, és az átlagtól való eltérést, ami a véletlen hiba. Ez a felszínesen megfogalmazott kettősfelosztás (dichotómia) a véletlen hibát úgy határozza meg, mint egy véges varianciájú, zérus várható értékű eloszlást, a rendszeres hibát pedig úgy, mint egy véges várható értékű és zérus varianciájú eloszlást.

Ebben a mesterségesen idealizált helyzetben a Nagy Számok Törvényéből következik, hogy az ismételt mérések átlagértéke az $x_{valódi} + \bar{\varepsilon}$ értékhez tart, az észlelt értékek eloszlásának varianciája pedig jelzi az észlelt átlagnak ettől az értéktől való eltérése nagyságát. Az is világos, hogy a rendszeres hibát nem lehet közvetlenül meghatározni, mert az ismételt mérések nem választják le $x_{valódi}$ -t az

$\bar{\varepsilon}$ -tól. Ha ez a leválasztás lehetséges lenne, akkor korrekciókat lehetne bevezetni a mérési folyamatba, és a rendszeres hiba (jórészt) kiküszöbölhető lenne. Mivel azonban a rendszeres hiba nem észlelhető, így annak a meghatározására a statisztikaiaktól eltérő eszközöket kell felhasználni.

Cohen azt javasolta, hogy a pontosan nem ismert eloszlások jellemzésére azok magasabb rendű *kumulánsait* alkalmazzák. A kumulánsok meglehetősen egyszerűen kapcsolatba hozhatók az eloszlás centrális momentumaival.

$\kappa_1 = \mu$ az eloszlás átlaga
 $\kappa_2 = \sigma^2$ a variancia
 $\kappa_3 = \mu_3$ a harmadik centrális momentum, és
 $\kappa_4 = \mu_4 - 3\sigma^4$ a negyedik centrális momentum, mínusz a variancia négyzetének a háromszorosa.

A centrális momentumok illetve a kumulánsok segítségével kifejezhető az eloszlás várható értéke, szórása, ferdesége és lapultsága. (Ez a lehetőség már Novickij munkáiban is felmerült.)

Cohen kifejtette, hogy a mérés csak közelítő pontossággal képes meghatározni a mérendő mennyiség valódi értékét. A mérés akkor megismételhető, ha minden lényeges paramétert illetve tényezőt változatlan értéken lehet tartani. Azon kívül, hogy a mérés során nem biztosítható az összes változó feletti ellenőrzés, még azzal az elméleti bizonytalansággal is szembesülni kell, ami magának az adott mérendő mennyiségnek a leírásában jelentkezik. Ezt az „elméleti bizonytalanságot” *definiálási bizonytalanságnak* nevezik. Az ilyenfajta bizonytalanság nyilván nem kezelhető statisztikai módszerekkel, de ugyanakkor nem is hagyható figyelmen kívül.

Abból lehet kiindulni, hogy a valódi érték méréssel kapható közelítései egymástól eltérnek, szóródnak, és a célravezető felfogás: a valódi érték közelítéseként kapott lehetséges értékek egy készletét tekinteni. Cohen szavaival élve: egy valószínűséget lehet tulajdonítani annak, hogy a lehetséges értékek közül a valódi értékhez legközelebbit sikerül kiválasztani.

A „rendszeres” hibák véletlen mennyiségként való kezelése „*kísérlet arra, hogy figyelembe vegyük annak a „véletlenszerűségnek” a mértékét, amit a tényleges realitásra vonatkozó ismerethiányunk okoz*”.

A véletlen illetve a rendszeres hatásokból származó bizonytalanság-összetevők egységes kezelése és kombinálása – azaz az eredő bizonytalanság meghatározása - azt igényli, hogy az összetevőket variancia formájában, mai szóval standard bizonytalanságként adjuk meg.

Cohen gondolatait olvasva joggal beszélhetünk a metrológia filozófiájáról. Ezeket a gondolatokat a mérési bizonytalanságra vonatkozó ISO Útmutatóban, a GUM-ban érvényesülő felfogással egybevetve megállapíthatjuk, hogy csak a szóhasználat eltérő, a lényeg azonos.

Weise: *Néhány kiegészítő megjegyzés a mérések értékelésekor fellépő bizonytalanság megadásához és kezeléséhez.* (1986. szeptember 15.) című tanulmánya a mérési bizonytalanság kifejezésének módját előíró DIN 1319 német szabvány megalapozásának tekinthető. Jelentőségét növeli, hogy kifejti azt a gondolatmenetet (filozófiát), amelyen a GUM alapul, de amelynek kifejtésével maga a GUM adós marad.

Weise a cikk bevezetésében így fogalmaz:

„A kísérleteket valamint a méréseknek és hasonló adatoknak a méréseket követő kiértékelését azzal a céllal végzik, hogy a *mérési eredményekre* jussanak. A mérési eredmények az n számú Y_i fizikai mennyiség y_i ($i = 1, 2, \dots, n$) valódi értékeinek vagy az érdeklődésre számot tartható egyéb paramétereknek a becslései, amelyeket az értékelés *kimenő mennyiségeinek* vagy *eredménymennyiségeinek* neveznek. Ahhoz, hogy biztosítani lehessen a bizalmat az eredmények iránt, az adatokból le kell származtatni azok egyedi és kölcsönös bizonytalanságát. A DIN 1319 4. része a mérési eredmények kiszámítására a Gauss eljárást javasolja, és az eredmények kovariancia-mátrixát tekinti a bizonytalanságok számszerű mértékének.”

Az eljárás alapját képező általánosított „hibaterjedési törvény” a tudományos, az ipari és a törvényes metrológiai kiértékelési feladatok többségéhez alkalmazható. Ezen kívül konzisztens, úgyhogy a kimenő adatok közvetlenül felhasználhatók, mint a következő értékelési eljárás bemenő adatai. Az eljárás számítógépes támogatású mérésekhez és kiértékelésekhez jól van megformálva, és Weise szerint eléggé egyszerű a differenciál- és a mátrixszámítás alkalmazott szintje. Ezek azok a fő indokok a mellett, hogy a bizonytalanságok kombinálásához és terjedésük kiszámításához miért ezt az eljárást kell alkalmazni.

A fizikai mennyiségek egyedi és kölcsönös bizonytalanságának mértékeként a varianciákat és a kovarianciákat kell becsülni. Ezeket úgy kell tekinteni, mint a becslőknek nevezett bizonyos véletlen változók megfelelő valószínűség-eloszlása paramétereinek a becsléseit.

Ha n számú mérendő mennyiség van, annak mindig tulajdonítható egy n -dimenziós becslő úgy, hogy annak a valószínűsége, hogy a becslő egy bizonyos

tartományból vesz fel értéket, egyenlő annak a valószínűségével, hogy a véletlen módon kiválasztott tartomány fedi a mérendő mennyiségek valódi értékeit. A mérendő mennyiségek egy n -dimenziós tér koordinátáinak tekintendők. Ez a *randomizálási elmélet* segít a konfidencia tartomány megalkotásában. A becslő *a priori* eloszlására vonatkozó objektív feltevés a lehető legáltalánosabb elvre alapozható, például *a maximális entrópia elvére*, ha nincs más olyan információ, ami közvetlenül megadná az eloszlást.

A becslő és eloszlása kifejezi az arra a mennyiségre vonatkozó ismeretállapotot, amelynek a becslőt tulajdonítottuk. A becslő *nem* azonos magával a mennyiséggel. Például egy befolyásoló mennyiség olyan rendszeres hibát okoz, ami a mérés során vagy állandó vagy változik. Ha csak a rendszeres hiba valószínű határai vannak megadva, és semmi más, akkor a becslő *a priori* eloszlása az egyenletes eloszlás lesz, a maximális entrópia elvének megfelelő határok között. A várható érték és a megfelelő kovarianciamátrix becsléséből és a maximális entrópia elvéből egy egydimenziós normális *a priori* eloszlás következik. Ez a kiértékelés végén megalkotandó konfidencia-tartomány szempontjából fontos.

A mérés értékelésekor a várható értékeket a valódi értéknek kell megfeleltetni. A tapasztalati varianciákat és kovarianciákat kombinálva ki kell alakítani a kovarianciamátrixot, és azt kell használni az egyedi és a kölcsönös bizonytalanságok mértékeként. Az eljárás kimenő adatait a konzisztencia-követelmény miatt a bemenőkhöz hasonló módon kell kifejezni.

A DIN 1319 4. részében leírt kiértékelési eljárás ugyan általános, de nem univerzális. Vannak olyan esetek, amelyekben nem alkalmazható, és a kovariancia-elemzés hibás eredményt ad. Ilyen esetek fordulhatnak elő például a hibásan tervezett Monte Carlo szimulációnál, vagy a nagyon hosszú mérési sorozatoknál. Azt, hogy ilyen eset fennáll-e, könnyen meg lehet állapítani. A számtani közép szórása nem mutatja az ismétlések számával való jellemző, fordított arányosságot, ami egyébként mindig fennáll olyan eloszlások esetében, amelyeknek létezik a varianciája. Ilyen kivételes eseteket, amelyek elsősorban a sajátos mérési módszerekre vezethetők vissza, jelenleg nem lehet kezelni.

Végül ismerkedjünk meg egy olyan tanulmánnyal, ami már a GUM meghaladását tűzi célul. **Maurice Cox** 2000 márciusában a Metrológiai Útmutatók Vegyes Bizottsága illetékes munkacsoportjának küldött beszámolójában ezt írta:

„A GUM jól kidolgozott, és széles körben használják a metrológia minden ágában a mérési bizonytalanság értékelésére. Az eredményeik mérési bizonytalanságának kiszámításában világszerte számos laboratórium

munkájának az alapját képezi. Vannak azonban bizonyos körülmények, amelyek mellett a GUM alkalmazhatósága és közvetlen felhasználhatósága korlátozott.

Minthogy a laboratóriumok és az akkreditáló szervek jelentős befektetéseket eszközöltek a GUM alkalmazása érdekében, létfontosságú, hogy ez a felhasználás konzisztens módon folytatódjon azokon a területeken, ahol a GUM alkalmazható. A hangsúly ezért azokon a további szempontokon van, amelyek még nagyobb általánosságot eredményeznek, segítenek a GUM még jobb hasznosításában, és annak a biztosításában, hogy a mérési bizonytalanság bizonyos eseteiben még inkább megalapozott és számszerűsíthető legyen. A megfontolások alapvető szempontja az, hogy új anyagot csak akkor lehet bevételre javasolni, ha az tudományosan legalább annyira megalapozott, mint a GUM jelenlegi anyaga.”

A GUM jelenlegi koncepciói nem helyettesíthetők valami mással, hanem a meglévőket kell kiterjeszteni, és alkalmas módon hangsúlyozni. Ez azt jelenti, hogy azoknál a szervezeteknél, amelyek a bizonytalanság értékelését a jelenlegi GUM alapján végzik, fenn kell tartani, és folytatni kell a jelenlegi gyakorlatot. Azoknál a szervezeteknél viszont, amelyek úgy érzik, hogy az új alternatív elgondolások és bővítések jobban illeszkednek a munkájukhoz, és remény van a használatukra, az új törekvéseket el kell fogadni, és támogatni kell.

Egy további szempont, hogy a GUM jelenlegi változatának kiadása óta mind több szervezet működtet házon belüli *minőségirányítási rendszert*, vagy az ügyfelei igényeinek következtében gondolnia kell a rendszer működtetésére. Ezeknek a szervezeteknek bizonyítaniuk kell, hogy megfelelően alkalmazzák a GUM-ot. A GUM-ot az érvényesítés (validálás) eszközeként is fel kívánják használni, de az nem mindig jár eredménnyel. Ez is a bővítést indokolja.

A GUM nem ad információt az ismert vagy feltételezett bemeneti eloszlásokról, hanem azok megadása helyett csak az átlagértéket és a szórást (a standard bizonytalanságot) adja meg. Általában csak közelítő megoldásokat ad a bizonytalanság értékelésekor, még abban az esetben is, ha minden bemenet teljesen és pontosan ismert. Ez a megoldás feltételezi, hogy a modell linearizálható, és a kimenet normális eloszlású.

Az a lehetőség, hogy „más analitikus vagy numerikus módszer” is alkalmazható legyen (lásd a GUM G.1.5 szakaszát!), rejtve marad. Jóllehet, ez a szakasz megengedi más megközelítések alkalmazását is.

A GUM nem foglalkozik eléggé a *többszörös kimenetekkel* (amelyek szinte mindig korreláltak). A GUM megközelítésében a kimenetek kovariancia mátrixa csak a bemenetekre van vonatkoztatva, de nincs megadva a köztük levő

összefüggés. Következésképpen a GUM nem tárgyalja a konfidencia tartományokat, amelyek ebben az esetben a konfidencia intervallumokkal szemben alkalmazhatók.

A GUM keveset foglalkozik a *kalibrálás* problémájával. A GUM nem alkalmas a „többfokozatú” modellek esetében, azaz akkor, amikor az egyik fokozat kimenete a következő fokozat bemenete. Ilyen modellek gyakoriak az illesztés kalibrálási problémáiban., amelyet a kalibrációs görbe paramétereinek „értékelése” vagy valamilyen más művelet követ.

A Maurice Cox vezette munkacsoport ezért a GUM következő bővítéseit javasolja:

Ki kell fejteni egy olyan *bement-kimenet* modell alapelvét (mérési modell), amelynek a bemenetei és a kimenetei is (feltehetően együttes) eloszlások. Tárgyalni kell a többfokozatú modell esetét, amikor az egyik fokozat kimenete a következő fokozat bemenete. Egy fontos, szemléltető kalibrálási példát kell bevenni: kalibrálási adatok → a kalibrációs görbe paramétere → a görbe paramétereinek eloszlása (a görbe alatti terület, az inflexiós pontok elhelyezkedése stb.) Meg kell adni a jelenlegi GUM képleteinek mátrix-vektor változatát, továbbá ezeknek a képleteknek a megfelelő kiterjesztéseit.

A GUM korszerűsítésével és bővítésével kapcsolatos munkák jelenleg is folynak.

Összefoglalva megállapíthatjuk, hogy a hibaszámítási eljárások elméleti megalapozása és gyakorlati megvalósítása fél évszázados tudományos munka eredménye, olyan tevékenységé, amely a felmerülő vitatott kérdések, sőt ellentmondások meghaladásával a jelenlegi mérési bizonytalanság felfogásmódhoz vezetett. Ez a koncepció továbbfejleszhető, és a műszaki haladás fő áramlatához kapcsolódva folyamatosan megújul.

Az itt olvasható áttekintés nem teljes. Kimaradt a Bayes-féle valószínűség-felfogás felvázolása, és a korlátozott terjedelem folytán nem sikerült bemutatni a kortárs metrológusok e területen elért eredményeit. A teljesség igénye nélkül ezt a mellékelt irodalomjegyzékkel kíséreljük meg pótolni.

Irodalomjegyzék

- 1 BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*, ISO, Genf, Svájc. Első kiadás 1993, korrigált újrányomás 1995.

- 2 BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML VIM, ISO (1993), *International vocabulary of basic and general terms in metrology*, ISO, Genf, második kiadás 1993
- 3 UKAS Publication M 3003, *The Expression of Uncertainty and Confidence in Measurement*, 1. kiadás, 1997 december.
- 4 B.N Taylor and C. E. Kuyatt: *Guidelines for evaluating and expressing the uncertainty of NIST measurement results. Technical Report TN1297, NIST, 1994*
- 5 UKAS Publication NIS 81. *The Treatment of Uncertainty in EMC Measurements*, 1994 május.
- 6 EA 4/02, *Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration*, 1999 december, European co-operation for accreditation.
- 7 Weise K: *Treatment of uncertainties in precision measurements*, IEEE Trans. Instr. Meas. **IM-36**, 642-645, 1987
- 8 W. Wöger: *Probability Assignment to Systematic Deviations by the Principle of Maximum Entropy*. IEEE Trans. on Instr. and Meas. (1987)
- 9 Keith Birch: *Estimating Uncertainties in Testing*. Technical conference, Oxford, 2003

Kiss József

A nemzetközi mérés-technikai szövetség (IMEKO) XVII. világtalálkozójáról

A metrológusok véleménye szerint a metrológia valamennyi tudomány és valamennyi műszaki tevékenység alapja, de ez az alap olyan, mint a fa gyökérzete: nélkülözhetetlen, de általában láthatatlan. Ez az oka, hogy olyan nehéz a döntéshozókat meggyőzni a metrológia fontosságáról, és rávenni őket a műveléséhez illetve fejlesztéséhez szükséges anyagi és erkölcsi források megadására.

Amint tudjuk a metrológia három fontos területet ölel fel:

- a mérések tudománya (kutatás és elmélet)
- a mérések gyakorlata (mérés-technika)
- a mérésügy (jogi és törvényi szabályozás, egyezmények).

Vagyis mindennapi életünk minden területére kiható kérdések megtárgyalására hívták össze, immáron 17. alkalommal, az IMEKO világtalálkozóját.

Amint az köztudott: az IMEKO a nemzeti mérés-technikai/metrológiai egyesületek nemzetközi szövetsége, amely 1958-ban alakult, jelenleg 35 tagszervezete van.

A szövetség céljai: a műszer- és mérés-technika területén elősegíteni a tudományos és műszaki ismeretek nemzetközi áramlását, valamint támogatni a nemzetközi együttműködést a tudósok és mérnökök között a kutatás és az ipar minden területén. A szövetség szakmai munkáját 20 szakbizottságban végzi.

A 17. világtalálkozót a Horvát Metrológiai Szövetség (HMD) szervezte és bonyolította le ez év június 22. és 27. között Cavtat/Dubrovnik-ban. Az összejövétel jelszava: „Metrológia a 3. évezredben” volt. A szervezők 592 előadás-javaslatot kaptak, amelyekből – a Terry Quinn vezette – bizottság mintegy 500 előadást fogadott el; ezek összesen 51 országból – Ausztráliától Zimbabwéig – érkeztek és 19 szakmai területre vonatkoztak. Újdonságnak számít, hogy 22 előadás nemzetközi együttműködésben készült, összesen 32 országbeli szerző által.

A szokásosan szakmai bizottságokra osztott, szűk szakmai területet érintő előadásokon kívül néhány általános érdeklődésre is számot tartó előadás is elhangzott, melyek közül néhány címszerűen:

Megnyitó előadás:

- A nemzetközi metrológia: a méteregegyezmény növekvő jelentősége (T. Quinn, BIPM).

Nemzetközi szervezetekről:

- EUROMET: célok és eredmények (P. Hetherington, H. Czichos, H. Imai)

Metrológia a kémiában:

- A kémiai metrológia fejlődése Szlovéniában (B. Vovicina, N. Majzen, P. de Bievre, és V. Dolecek).

Kerekasztal megbeszélések témái:

- A bolonyai nyilatkozat szerepe a metrológia egyetemi oktatásában (A. M. da Cruz Serra, P. Regtien).
- A képzés fontossága a metrológia területén (M. Frotta).
- Leszármaztatás a nyomatékmérésben (A. Sawla, D. Peschel).
- Új fejlesztési eredmények a keménységmérés területén (K. Hermann).
- A méréstudomány alapjai (R. Z. Morawski).
- Világméretű metrológiai rendszer kifejlődése (E. Seiler)
- Eszközök karbantartása és hálózatok kiépülése Afrikában (E. Seiler).
- Nano mérések és nano technológiák (P. H. Osana).

A fenti felsorolásból is látszik az – az IMEKO-ra egyébként is jellemző – körülmény, hogy a világtalálkozó témái között megtalálható volt a legújabb tudományos eredmények ismertetésétől, a fejlesztési eredmények bemutatásán át, a fejlődő országok műszergondjainak elemzéséig a metrológia valamennyi időszerű kérdése.

Az IMEKO 11. műszaki bizottsága (TC 11), amelyik a fejlődő országok mérésügyi infrastruktúrájának fejlesztését tűzte ki céljául, magyar javaslatra külön témaként vette fel a mérésügyi háttér szolgáltatások fejlesztésének ügyét.

Az IMEKO 2000. évi kongresszusán magyar közreműködéssel megszervezett kerekasztal megbeszélésen Menyhárd Alfréd (a bizottság magyar tagja) javasolta, hogy a következő kongresszuson külön ülés foglalkozzon a témával. A bizottság elnökének, Dr. E. Seiler (Physikalisch - Technische Bundesanstalt, PTB Braunschweig, Berlin, Németország) valamint a PTB támogatásával megszervezte a Kenya Bureau of Standards (KEBS), Nairobi; Malawi Bureau of Standards (MBS), Blantyre; a marokkói Scientific Instrumentation Laboratory (LIS of National Centre for Scientific and Technical Research, Rabat) és a Standards Organisation of Nigeria (SON); valamint a Network of Users of Scientific Equipment in Southern and Eastern Africa (NUSESA, Zimbabwe) képviselőinek részvételét a világtalálkozón. A külön ülésen a résztvevők megvitatták és értékelték, a PTB pénzügyi támogatásával kialakított, a magyar módszer alkalmazásával megvalósítás alatt álló, helyi szolgáltatási egységek eddigi tapasztalatait. A KEBS, a MBS, a SON és a NUSESA képviselői a világtalálkozón együttműködési megállapodást írtak alá, amelynek eredményeit egy év elmúltával értékelik. A LIS képviselője az ülésre betegsége miatt nem tudott eljönni, de az együttműködésben szintén résztvesznek.

A kereken 600 fő résztvevő között – a tisztségviselőket nem számítva – 12 magyart találhattunk, akik 9 előadást tartottak. A magyar szerzők előadásainak címszerű felsorolása:

- **„Hajtogatott optikai rendszer helyzet-meghatározásra és földfelszín fényképezésre - Javaslat”** (†Greguss Pál, Greguss M. Edit) /greguss.edit@freemail.hu
Az előadást Greguss professzor elhalálása miatt, felesége tartotta meg, aki az általa megadott magyar címről a következőt írta: „ez magyarul így... elég furán és sután hangzik, már csak azért is, mert nem derük ki belőle, hogy ez tulajdonképpen egy kis műhold helyzet-meghatározására és egyidejűleg a földfelszín lefényképezésére szolgáló módszerre tett javaslat”
- **„Műszerügy és -technikai szolgáltatások”** (Menyhárd A.) /A.Menyhard@axelero.hu
- **„A felület dőlésszögének hatása a tapintó érzékelők kalibrálására”** (András E.)/E.Andras@omh.hu
- **„Mérőrendszer mozgó vasúti kocsik súlymérésére”** (Molnár K., Bogár I., Görgényi A., Sujbert L.)molnar.karoly@webmail.hu
- **„Hitelesített súlyok együttes tömegének bizonytalanság becslése”** (Zelenka Z.)/Z.Zelenka@omh.hu

- „*Teljesítmény források torzításának aktív csökkentése*” (Vargha B., Sujbert L.)/vargha@mit.bme.hu
- „*Komplex analitikai eljárás modifikált zeolitok jellemzésére és a biológiai szennyvíztisztításra gyakorolt hatásuk számszerűsítésére*” (Princz P.)/pprincz@living-planet.hu
- „*Komplex gyártási struktúrák felügyelete, a digitális gyár szempontjából*” (Viharos Zs. J., Monostori L., Novák K., Tóth G., Csongrádi Z., Kenderesy T., Sólymosi T., Lőrincz Á., Koródi T.)/viharos@sztaki.hu
- „*Esztergálási forgácsalak osztályozása mesterséges ideghálózat alkalmazásával*” (Viharos Zs. J., Markos L., Szekeres Cs.)/viharos@sztaki.hu

A felsorolásból is láthatjuk honfitársaink nemzetközileg is jelentős, a legkülönbözőbb metrológiai területre vonatkozó tevékenységének keresztmetszetét, szükség esetén részleteket vagy az angol nyelvű előadásszöveget a jelzett címen kérhetünk.

Minden résztvevő megkapta a tanácskozás szinte valamennyi előadását tartalmazó CD-t, amely 2192 oldalnyi anyagot tartalmaz színes ábrákkal; több szempont szerinti keresési lehetőséggel.

A szakmai rendezvények mellet a szokásos ügyviteli tanácskozásokat is megtartották, melyek eredményei közül külön kiemelendő: a szervezet főtitkára a következő három évben is **Kemény Tamás** lesz.

Az IMEKO következő világtalálkozóját 2006. május 7. és 12. között tartják Brazíliában, melynek jelszava: „*A metrológia a fenntartható fejlődésért*” lesz.

További részleteket, felvilágosítást az IMEKO titkárságán (351 15 16) vagy honlapján (www.imeko.org) kaphatunk.

Kedves metrológusok! El lehet kezdeni a következő világtalálkozóra szánt előadások szövegezését; az azokat megalapozó munkához és a szövegezéshez sok sikert kívánok.

FELÜLETI HŐMÉRSÉKLETMÉRŐ ÉRZÉKELŐK KALIBRÁLÁSA A FELÜLET DŐLÉSSZÖGÉNEK FÜGGVÉNYÉBEN

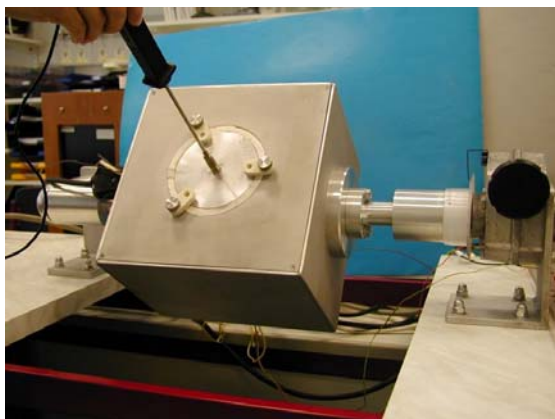
András Emese*

Kivonat – Az OMH kifejlesztett egy berendezést a kontakt, felületi hőmérséklet érzékelők kalibrálására és a mérési hibát meghatározó tényezők tanulmányozására. Egy új kutatás eredménye az a kalibrálási eljárás, amely, tekintettel az ipari igényekre, meghatározza a hőmérsékleti hiba függését a fűtött felület dőlésszögétől. A cikk szeretné felhívni a figyelmet a kalibrációs görbék azonos jellegére, függetlenül a felület hőmérsékletétől és anyagösszetételétől, valamint az érzékelő kialakításától.

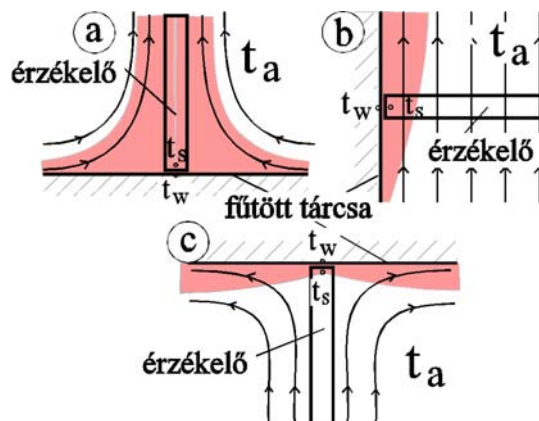
1. BEVEZETÉS

Számos ipari és tudományos alkalmazás igényli a felületi hőmérséklet mérését. Laboratóriumunk az elsők között fejlesztett ki egy elektromos fűtésű, felületi hőmérsékletmérésre használatos etalon berendezést (1.ábra), amely a környezeti hőmérséklet és 600 °C közötti széles hőmérséklettartományban működik. A fűtött tárcsa cserélhető, felölelve a különböző hővezetésű anyagok széles skáláját az ideális hővezetésű alumíniumtól egészen a hőszigetelő bakelitig vagy kerámiagyapotig. A felületi érzékelő kalibrálásának alapja a felületi etalon hőmérséklet és a fűtött felületre ráhelyezett érzékelő által mutatott hőmérséklet összehasonlítása. Az alkalmazott kalibrálási eljárás magába foglalja a felületi hőmérsékletnek extrapolációval való meghatározását az érzékelő ráhelyezése előtt [1].

Tavaly az OMH hangolta össze azt a felületi hőmérsékletméréssel kapcsolatos EUROMET (Európai Metrológiai Szövetség) nemzetközi összehasonlító mérést, amely a legelső volt a világon és tizenegy ország vett részt. A körmérés sikeres volt: igazolta a résztvevő metrológiai intézetek képességét felületi érzékelők kalibrálására és azt, hogy a mérési hibáik összhangban vannak a mérési bizonytalanságokkal. Az etalon berendezések felépítésének különbözősége ellenére a mérési eredmények meglepően közel vannak egymáshoz. Ezen együttműködés eredménye jövőre a Tempmeco 2004 konferencián lesz bemutatva.



1.ábra: Az OMH etalon felületi berendezése



2.ábra: A felület extrém helyzetei

Szilárd testek felületén végzett hőmérsékletmérés esetén, a hőáram függ egyrészt a test és a környezete közti hőmérséklet különbségtől, másrészt a hőátviteli tényezőtől (amely magába foglalja a hővezetést, a hőátadást és a sugárzást). Egy adott felület tényleges hőmérsékletének meghatározása érdekében a felületi érzékelő által mutatott értéket korrigálni kell. Ez a korrekció főleg az alábbi három tényezőtől függ:

- *a fűtött felület jellemzői*: a tárcsa geometriai és hőfizikai jellemzői, hőmérséklete, felületének minősége (érdesség, oxidáció)
- *a felület érzékelő hatása*: típusa, kialakítása, geometriai és hőfizikai jellemzői [2]
- *hőátviteli sajátosságok*: A felület és az érzékelő, valamint az érzékelő és a környezete közötti hőátadás minősége befolyásolja a fűtött felület és az érzékelő érintkezési felülete közti hőmérséklet különbséget, vagyis a mérési hibát.

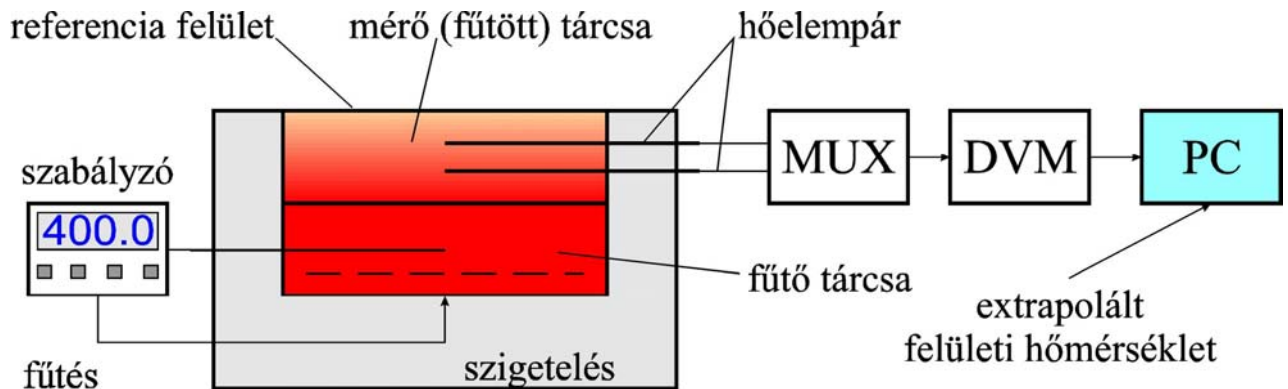
A fűtött felület közvetlen közelében egy vékony légréteg található, amelynek jellemzői befolyásolják a hőátadást.

* Országos Mérésügyi Hivatal

A 2. ábrán látható szürkített részek ezt a termikus határrejteget ábrázolják, ahol a hőmérséklet lényegesen nagyobb mint a környezeti hőmérséklet (t_a). Az (a) esetben ($\alpha=0^\circ$) az érzékelő teljesen benne található a feláramló meleg levegőben, míg a (b) esetben ($\alpha=90^\circ$) csak az érzékelőnek egy része. A (c) esetben ($\alpha=180^\circ$) az érzékelőt körbevevő levegő hőmérséklete gyakorlatilag azonos a környezeti hőmérséklettel.

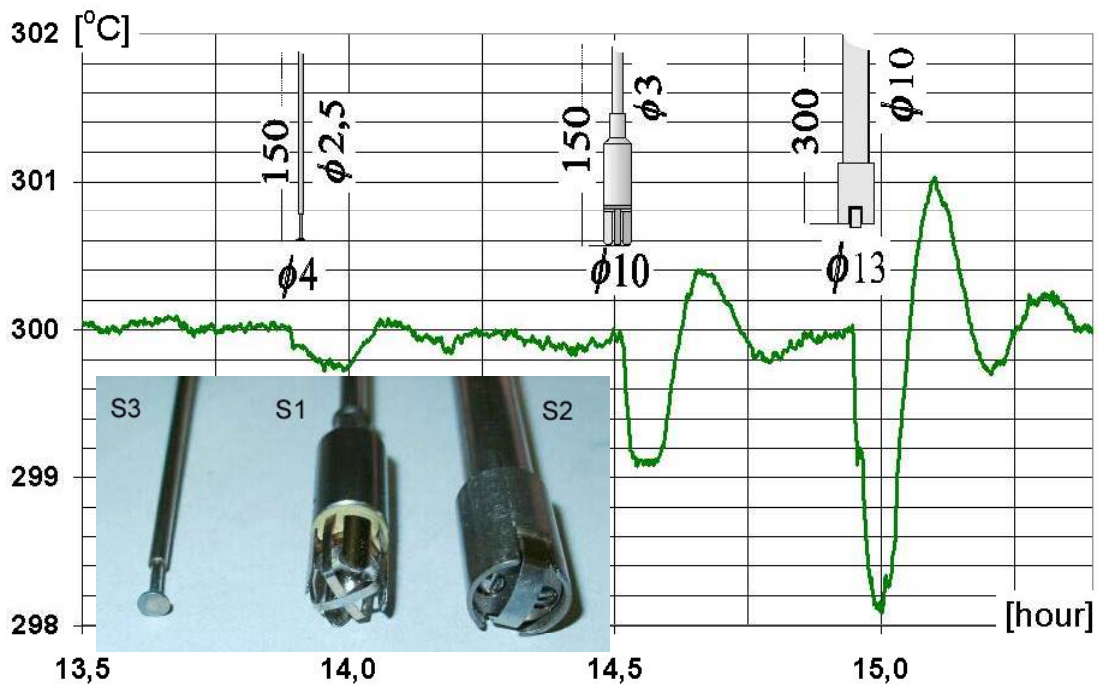
2. A FELÜLET KÜLÖNBÖZŐ DŐLÉSSZÖGÉN ALAPULÓ KALIBRÁLÁSI MÓDSZER

A mérési eredményt nagymértékben befolyásolja a mérési módszer [2] [3]. Az etalon felületi hőmérsékletmérő berendezés vázlatos rajza a 3. ábrán látható. A hőmérséklet szabályozása a fűtőtárcsába beépített hőelem segítségével történik. K típusú hőelem pár méri a mérőtárcsa belső hőmérsékletét, amelyet a távolságok ismeretében extrapolálhatunk a felületre. A mérési adatokat a számítógép ábrázolja, tárolja és feldolgozza.



3. ábra: Az etalon felületi hőmérsékletmérő berendezés sematikus rajza

A méréseket 100°C és 400°C között végeztük Testo műszerrel és három különböző típusú érzékelővel (4. ábra), amelyek különböző mértékben torzítják a hőmérsékleti mezőt a tárcsa belsejében:

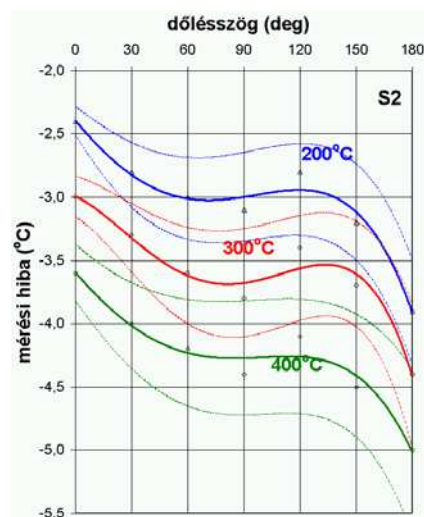
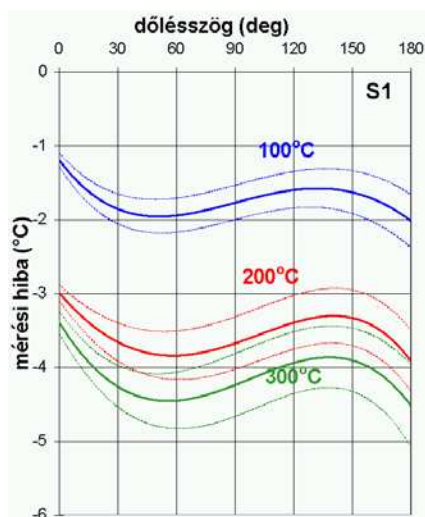


4. ábra: A felületi hőmérsékletmérő torzulása különböző érzékelők ráhelyezése esetén

- S1 érzékelő, típusa Testo 0602.0392, keresztaszál rugalmas hőelemszalaggal
- S2 érzékelő, típusa Omega 88010K, rugalmas hőelemszalaggal
- S3 érzékelő, típusa Testo 0602.0692, nem rugalmas kicsi fejjel

A környezeti hőmérséklet $\approx 23^\circ\text{C}$ volt. A fűtött sík tárcsa anyagául alumíniumot és rozsdamentes acélt használtunk, amelyek hővezetési tényezője $\lambda=230\text{ W/m}\cdot\text{K}$, illetve $30\text{ W/m}\cdot\text{K}$. A tárcsák átmérője 100 mm, vastagságuk 20 mm.

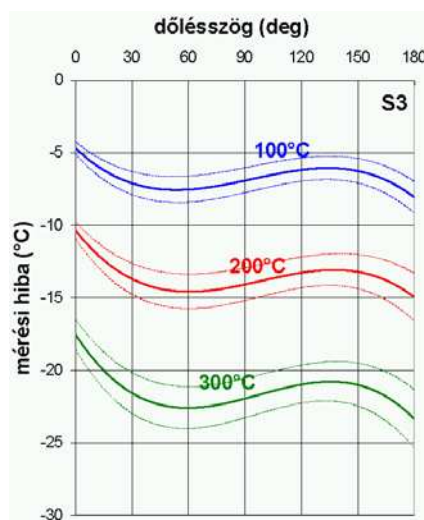
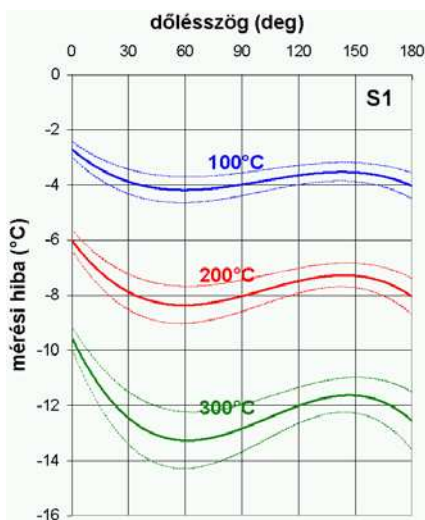
A kalibrálás kezdetén extrapolációval meghatározásra került a felületi hőmérséklet, mielőtt az érzékelőt ráhelyeztük a felületre. A méréseket hét különböző dőlésszögű felület esetén végeztük el 0° és 180° között.



5.ábra: Az S1 és S2 érzékelők kalibrálási görbéje alumínium tárcsa esetén

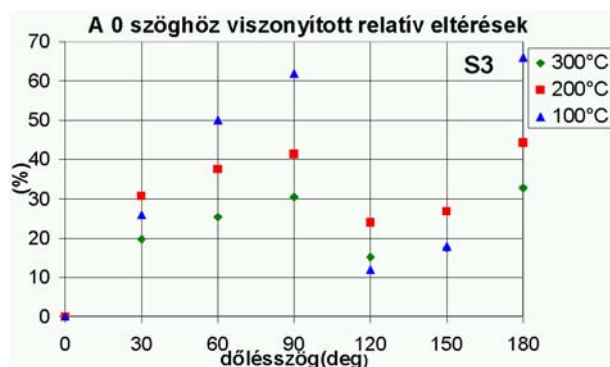
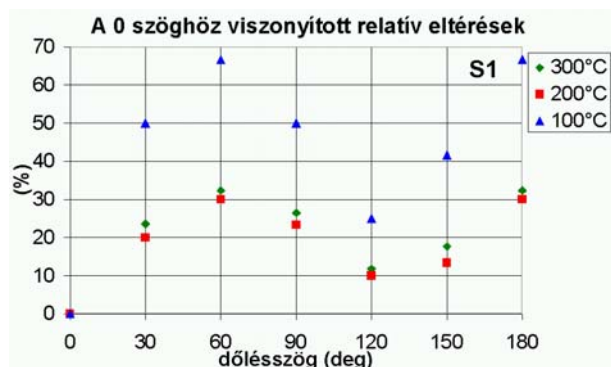
A mérési eredmények azt mutatják, hogy a hőmérsékleti hiba jelentősen változik a felület dőlésszöge függvényében (5., 6.ábra). A diagramra helyezett pontok húsz mérés átlagértékei, adott hőmérséklet, érzékelő, tárcsa-anyag és dőlésszög esetén. A folytonos görbék harmadfokú függvényből kapott trend-vonalak. A szaggatott vonalak határolják a bizonytalansági sávot.

A diagramokon látható, hogy a görbéknek ugyanaz a jellege, függetlenül a felületi hőmérséklettől, anyagtípustól és érzékelő konstrukciótól.



6.ábra: Az S1 és S3 érzékelők kalibrálási görbéje acél tárcsa esetén

A 7.ábra bemutatja a 0° dőlésszöghöz viszonyított százalékos eltéréseket: alumínium tárcsa esetén az S1 érzékelőét, acél tárcsa esetén az S3 érzékelőét. Észrevehető, hogy milyen jelentős a mérési hiba függése a dőlésszögtől (több mint 60 %).



3. A MÉRÉSI EREDMÉNYEK ELEMZÉSE

3.1. A felületi érzékelő elméleti modellje

A tapintó érzékelőt elméletileg úgy tekinthetjük mint egy véges hosszúságú, egyik végén állandó hőmérsékletű (t_w) fűtött rudat, amely a végtelen, állandó hőmérsékletű t_a térbe konvekcióval és sugárzással adja le a hőt. A tapintó érzékelő d_s külső átmérőjű, s falvastagságú, h_s hosszúságú üreges rúd modelljének felel meg. A következő geometriai paraméterek határozhatók meg az üreges rúdra vonatkozóan: a rúd hővezetési keresztmetszete $A_s = \pi \cdot d_s \cdot s$ és a rúd kerülete $K_s = \pi \cdot d_s$.

A rúd által konvekcióval leadott hőáram a következő képlettel számolható [3], [4]:

$$Q_k = \lambda_s \cdot A_s \cdot a \frac{e^{a \cdot h_s} - e^{-a \cdot h_s}}{e^{a \cdot h_s} + e^{-a \cdot h_s}} (t_w - t_a) \quad a = \sqrt{\frac{\alpha_s \cdot K_s}{\lambda_s \cdot A_s}}$$

, ahol α_s a rúd-környezet hőátadási tényező, λ_s a rúd hővezetési tényezője.

Az α_s hőátadási tényező értéke a Nusselt számban szerepel [5]:

$$Nu = \frac{\alpha_s \cdot X}{\lambda_a} \quad Nu = c \cdot (Gr \cdot Pr)^n \cdot K \quad \alpha_s = \frac{\lambda_a}{X} \cdot c \cdot (Gr \cdot Pr)^n \cdot K$$

, ahol X a felület jellemző geometriai mérete, λ_a a rúd által leadott hőteljesítményt felvevő közeg hővezetési tényezője, c , n és K a felület geometriájától és a gravitációs térhez viszonyított helyzetétől függő tényezők, Gr a Grashof szám és Pr a Prandtl szám. A szakirodalom [3] két szélsőséges esetben adja meg a c , n , és K együtthatók és az X geometriai paraméter értékeit. Függőleges rúd esetén: $X = h_s$, $c = 0,686$, $n = 0,25$ és $K = \left(\frac{Pr}{1 + 1,05 \cdot Pr} \right)^{0,25}$.

Vízszintes rúd esetén: $X = d_s$, $c = 0,47$, $n = 0,25$ és $K = 1$.

A rúd által sugárzással leadott hőteljesítmény a következő képlettel számítható [3], [4]:

$$Q_R = \sigma \cdot A_R \cdot \varepsilon_R \cdot (T_{ms}^4 - T_a^4)$$

, ahol σ a Boltzmann állandó, A_R a sugárzó felület területe, ε_R a felület sugárzási tényezője, T_{ms} a sugárzó felület abszolút átlaghőmérséklete és T_a a környezet abszolút hőmérséklete.

A rúd által leadott össz hőteljesítmény egyenlő lesz:

$$Q_t = Q_k + Q_R$$

Számításokat végeztünk az S1 érzékelő esetén a következő paraméterekkel:

$d_s = 4\text{mm}$, $s = 0,5\text{mm}$, $h_s = 150\text{mm}$, $t_a = 23^\circ\text{C}$ és $\varepsilon_R = 0,25$.

A számítások eredményeit I. TÁBLÁZAT tartalmazza, amelyben a v index a függőleges, a h index pedig a vízszintes érzékelőre vonatkozó értékek.

I. TÁBLÁZAT

t [°C]	Q _{kv} [W]	Q _{kh} [W]	Q _R [W]	Q _{tv} [W]	Q _{th} [W]
100	0,306	0,448	0,130	0,436	0,579
200	0,758	1,110	0,379	1,137	1,489
300	1,231	1,802	0,746	1,977	2,548
400	1,714	2,510	1,265	2,980	3,775

3.2. A felületi hőmérséklet érzékelők méréssel és számítással meghatározott hibáinak összehasonlítása

A mérési hiba az érzékelő által mutatott t_s hőmérséklet és a fűtött tárcsa t_w hőmérséklete közti különbség és függ a φ szögtől:

$$dt_m = t_s - t_w$$

A felület mentén kialakuló áramlás hőtani szempontból deformálja a környezet hőmérsékletterét. Három szélsőséges esetben a termikus határreteg a 2. ábrán követhető. Megfigyelhető, hogy a tapintó érzékelő feje környezetében a $\varphi = 180^\circ$ esetén legvékonyabb a határreteg, így jó megközelítéssel az elméleti hibagörbét ezen a ponton lehet csatlakoztatni a mért hőmérséklet hibagörbéhez (8. ábra):

$$dt_{th}(180^\circ) = dt_m(180^\circ)$$

A (v) függőleges helyzetben a Q_{tv} hőáram felírható:

$$Q_{tv} = f_s \cdot dt_{th}(180^\circ)$$

Tekintetbe véve a fenti összefüggést, meghatározható az f_s arányossági tényező értéke:

$$f_s = \frac{Q_{tv}}{dt_m(180^\circ)}$$

Felhasználva a táblázatból a t_w hőmérsékletnek megfelelő Q_{th} össz hőteljesítmény értéket, kiszámíthatjuk az elméleti hiba értékét $\varphi=90^\circ$ esetén:

$$dt_{th}(90^\circ) = \frac{Q_{th}}{f_s}$$

Az elméleti hibafüggvény egy szimmetrikus görbe lesz a $\varphi = 90^\circ$ függőlegeshez viszonyítva ($dt_{th}(0^\circ) = dt_{th}(180^\circ)$).

A szakirodalomban nem találhatók közbenső szögekre érvényes számítási képletek. Feltételezve egy másodfokú függvénnyel történő leírását az elméleti hibának:

$$dt_{th} = a \cdot \varphi^2 + b \cdot \varphi + c$$

, a $[\varphi = 0^\circ, dt_{th}(0^\circ)]$, $[\varphi = 90^\circ, dt_{th}(90^\circ)]$ és $[\varphi = 180^\circ, dt_{th}(180^\circ)]$ értékpárok ismerete lehetővé teszi az a , b és c együtthatók értékeinek meghatározását.

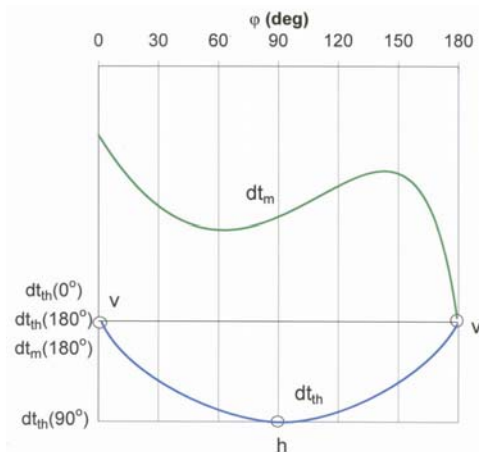
A ddt_{th} eltérés az elméleti és a mért hőmérséklet-hibák között a következő kifejezéssel határozható meg:

$$ddt_{th} = dt_m - dt_{th}$$

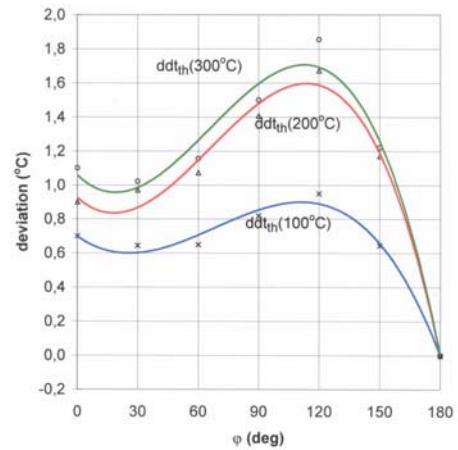
Az S1 érzékelőre kiszámoltuk a dt_{th} és ddt_{th} értékeit, amelyek a 9.ábrán láthatók. A ddt_{th} a következő formában fejezhető ki:

$$dt_h = (180^\circ - \varphi) \cdot (a_k + b_k \cdot \varphi + c_k \cdot \varphi^2)$$

, ahol a legkisebb négyzetes hiba módszerével meghatározhatók az a_k , b_k and c_k együtthatók.



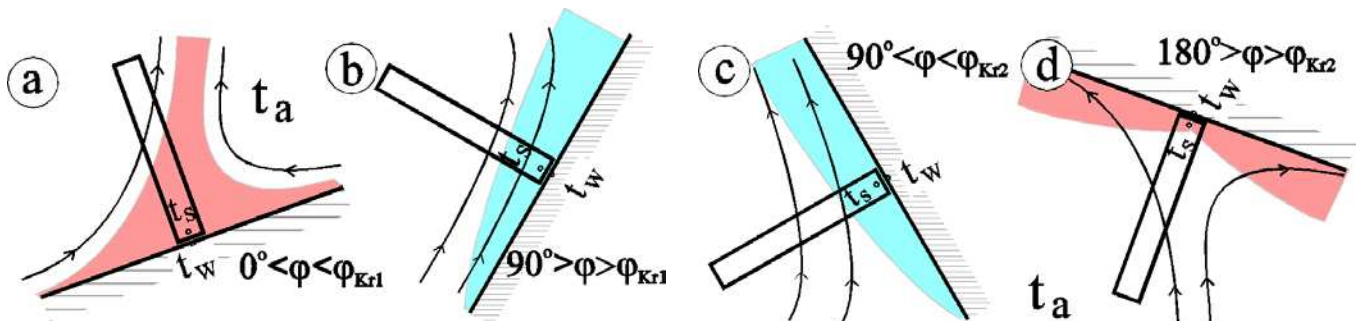
8.ábra: A mért és az elméleti hőmérséklet-hiba változása a dőlésszög függvényében



9.ábra: Az elméleti hőmérséklet-hiba eltérése a mért hőmérséklet hibától

3.3. Az elméleti és a méréssel meghatározott hibák közti különbség fizikai magyarázata

A h hosszúságú érzékelő-fej és, bizonyos szög értéktartományokban, az érzékelő rúd egy része is a felület mentén kialakult termikus határrétegben található (11.ábra.). A fűtött felület és az érzékelő környezetében kialakuló áramlás és termikus határréteg a 10.ábrán bemutatott különböző szög értéktartományokban értelmezhető.



10.ábra: Hőáram és határréteg

Egy sík lap mentén kialakult klasszikus termikus határrétegben a hőmérséklet eloszlást a következő függvénnyel lehet leírni, amely csak a $\varphi \in [\varphi_{kr1}, \varphi_{kr2}]$ szög értéktartományban igaz [6]:

$$t_{bl} - t_a = (t_w - t_a) \cdot \left(1 - \frac{y}{\delta_t}\right)^2, \quad \text{ahol } \delta_t \text{ a termikus határréteg vastagsága.}$$

Az érzékelő által leadott össz hőteljesítmény egyenlő kell legyen az érzékelőbe belépő hőteljesítménnyel. A fűtött felület által az érzékelő fejnek közvetlenül leadott hőáram a következő formában írható:

$$Q_w = f \cdot dt_m$$

Az érzékelő fej nem csak a csatlakozási felületén keresztül kap hőáramot, hanem a termikus határrejtegtől is, ezért felírható a következő egyenlet:

$$Q_{ts} = Q_w + Q_{bl}$$

, ahol Q_{ts} az érzékelő rúdja által leadott hőáram, Q_w és Q_{bl} az érzékelőbe belépő hőáramok a fej-felület, valamint a határrejteg kontakt felületen keresztül. Tekintetbe véve, hogy

$$Q_{ts} = f \cdot dt_{th}$$

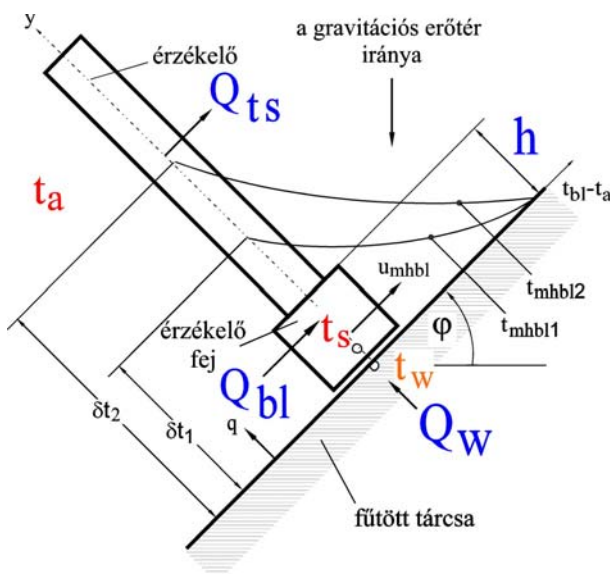
, megfigyelhető, hogy az elméleti és a mért hőmérséklet-hibák különbsége a termikus határrejtegnek tudható be:

$$\frac{Q_{bl}}{f} = dt_{th} - dt_m = -ddt_{th}$$

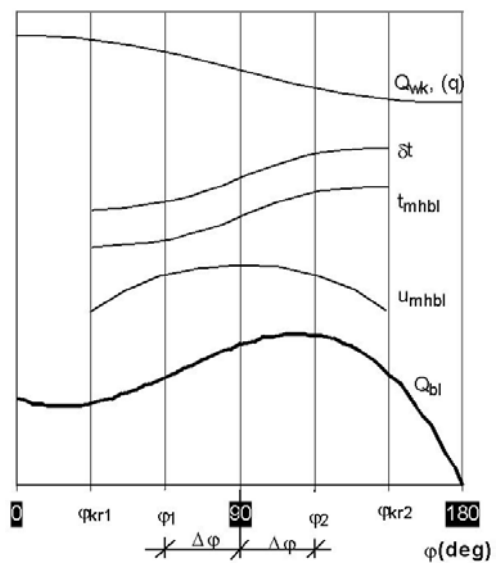
Kvalitatív leírását a ddt_{th} változásának a φ szög függvényében el lehet végezni Q_{bl} hőáram változásának elemzésével. A fűtött tárcsa által konvekcióval leadott Q_{wk} hőáram esetén kísérletileg igazolt tény [3] [5], hogy:

$$Q_{wk}(\varphi = 0^\circ) > Q_{wk}(\varphi = 90^\circ) > Q_{wk}(\varphi = 180^\circ)$$

Tehát a Q_{wk} hőáram és a q fajlagos hőáram monotonon csökkenő függvény (12.ábra).



11.ábra: A felületi hőmérsékletmérés modellje



12.ábra: A határreteg és az érzékelő közti hőátadás elemzése

A termikus határreteg hőmérséklet eloszlásából következik, hogy a q fajlagos hőáram fordítottan arányos a határreteg δt vastagságával, így a δt monotonon növekvő függvény a $\varphi \in [\varphi_{kr1}, \varphi_{kr2}]$ szög értéktartományban. A $\varphi = 90^\circ$ szöghöz viszonyítottan, szimmetrikus φ értékekre ($\varphi_1 = 90^\circ - \Delta\varphi$, $\varphi_2 = 90^\circ + \Delta\varphi$), igaz lesz hogy $\delta t_1 < \delta t_2$. A 8.ábrán látható, hogy az érzékelő fej h magasságára vonatkozó rétegben a határreteg középhőmérsékletei között a következő összefüggés létezik:

$$t_{mhbl2} > t_{mhbl1}, \quad \text{vagyis a } t_{mhbl} \text{ monotonon növekvő függvény (12.ábra).}$$

Az érzékelő fej h magasságára vonatkozó határretegben az áramlási sebesség a $\varphi = 90^\circ$ szög esetén a legnagyobb (12.ábra). A határreteg által a h magasságú fejnek átadott hőáram arányos az u_{mhbl} sebességgel és a t_{mhbl} hőmérséklettel, vagyis:

$$Q_{bl} \approx u_{mhbl} \cdot t_{mhbl}$$

Tekintetbe véve az u_{mhbl} és a t_{mhbl} változását a φ szög függvényében, egyértelmű, hogy a Q_{bl} már nem lesz szimmetrikus a $\varphi = 90^\circ$ függőlegeshez viszonyítva, ami magyarázatot ad ddt_{th} asszimetriájára.

A Q_{bl} változás leírható a $\varphi \in [0, \varphi_{kr1}]$ szög intervallumban a 10.ábra alapján. A $\varphi = 0^\circ$ szög esetén a termikus határreteg nem csak a fejet, hanem az egész érzékelő rudat is körülveszi (2.ábra). A φ szög növelésével mind több része az érzékelő rúdnak kikerül a termikus határretegből. Így a Q_{bl} ebben a szög értéktartományban monotonon csökkenő függvény lesz. A Q_{bl} változása a $\varphi \in [\varphi_{kr2}, 180^\circ]$ értékintervallumban a 10.ábra alapján elemezhető. A $\varphi = 180^\circ$ esetén (2.ábra), a feláramló hideg közeg szinte elfújja a termikus határreteget az érzékelő feje közeléből, így jó megközelítéssel felírható hogy $Q_{bl}(\varphi = 180^\circ) \cong 0$. A 10.ábra termikus és áramlási határreteg sémái alapján

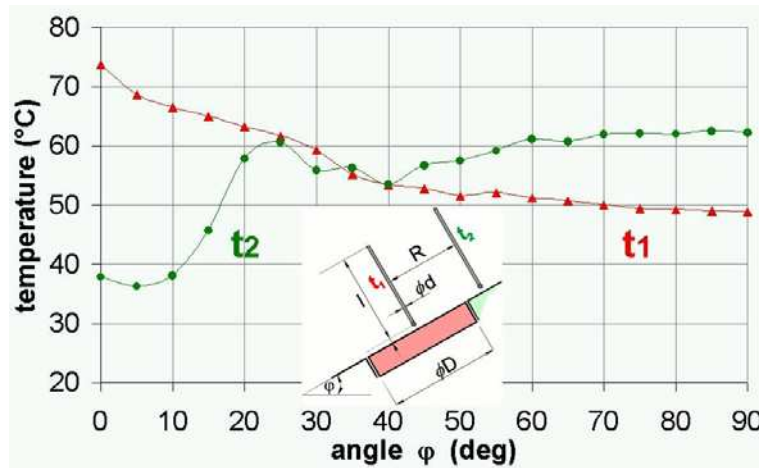
kijelenthető, hogy ebben a szög értéktartományban a q_{bl} monotonon csökkenő függvény. A 12. ábrán szemléltetett $Q_{bl} = f(\varphi)$ függvény formailag jól egyezik a 9. ábrán látható ddt_{th} függvénnyel.

4. A FÜTÖTT TÁRCSA FELETTI ÁRAMLÁSI KÉP ELEMZÉSE

4.1. Különböző dőlésszögek esetén a hőmérséklet mért értékei a fűtött tárcsa feletti légréteg két pontjában

Az áramlási és hőmérsékleti viszonyok elemzésére mérésekre került sor egy $d=1,6$ mm átmérőjű, $l=150$ mm hosszúságú, K típusú köpenyhőelemmel, amelynek érzékelő végét $h=3$ mm távolságra helyezkedett el a $D=100$ mm átmérőjű fűtött tárcsa középpontja, illetve $R=100$ mm távolságra a berendezés külső felülete felett (13. ábra).

A tárcsa középpontjában elhelyezett köpenyhőelem által mért t_1 hőmérséklet gyakorlatilag megegyezik az érzékelő rudat körülvevő levegő hőmérsékletével. Az R távolságra elhelyezett hőelem által mért t_2 hőmérséklet az áramlási kép változásáról ad értékes információkat. A t_1 és t_2 hőmérsékletek változása a φ szög függvényében a $\varphi \in [0^\circ \div 90^\circ]$ szögintervallumban a 13. ábrán követhető.



13. ábra: Hőmérsékletváltozás a dőlésszög függvényében a fűtött tárcsa feletti térben

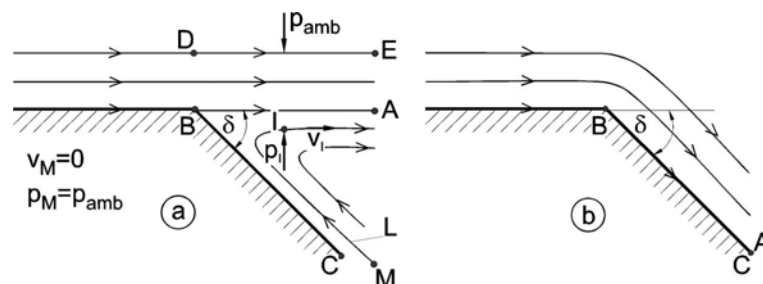
A t_1 hőmérséklet a φ szög függvényében egy monotonon csökkenő függvény. Ezért, állandó felületi hőmérséklet esetén, a felületi hőmérsékletérzékelő hibájának növekedése a környezeti hőmérsékletcsökkenésnek tulajdonítható. A t_1 hőmérséklet változása a φ szög függvényében egyértelműen megmagyarázza a felületi érzékelő hibájának növekedését a $\varphi \in [0^\circ \div 90^\circ]$ szögintervallumban.

A t_1 és t_2 hőmérsékletek változásának együttes elemzése lehetőséget nyújt a fűtött tárcsa feletti légtér áramlási képének módosulásáról a dőlésszög függvényében.

4.2. Az áramlási kép minőségi elemzése

A t_2 hőmérséklet változásának megértéséhez a „Coanda” effektus használható.

Feltételezve egy szabad légsugár áramlását egy δ törésszögű fal mentén, a súrlódási erő az A-B-C törtvonallal határolt térben egy szekunder mozgást hoz létre (14.a. ábra).



14. ábra: „Coanda” effektus

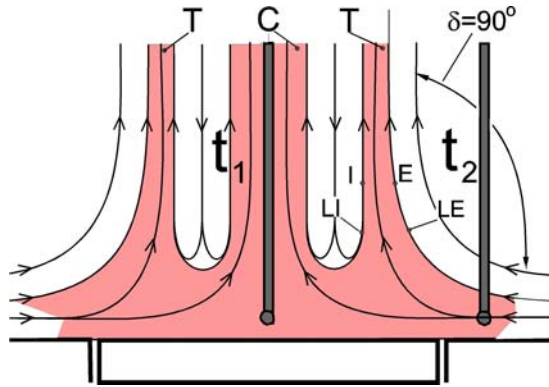
Az L áramvonal M távoli pontjában az áramlási sebesség gyakorlatilag nulla ($v_M \approx 0$) és a nyomás megegyezik a környezet nyomásával ($p_M = p_{\text{atm}}$). Ugyanazon áramvonal I pontjában, amely a B töréspont közelében van, a sebesség már nem nulla értékű ($v_I \neq 0$). Alkalmazva az M és I pontok között a Bernoulli egyenletet, következik hogy az I pontban a nyomás kisebb lesz mint a környezeti nyomás, tehát a B-A áramvonal mentén a nyomás értéke a p_{amb} alá esik.

$$p_I + \frac{\rho \cdot v_I^2}{2} = p_{\text{amb}} \qquad p_I = p_{\text{amb}} - \frac{\rho \cdot v_I^2}{2} < p_{\text{amb}}$$

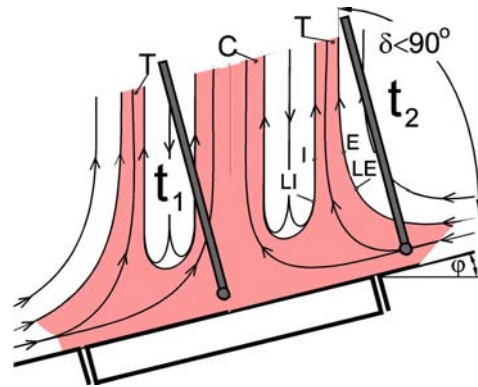
Tekintetbe véve a nyomáskülönbséget a szabad légsugár belső B-A áramvonala és külső D-E áramvonala között, a légsugár ráhajlik a B-C felületre(14.b.ábra).

A felfelé néző, kis D átmérőjű tárcsák esetén az áramlási kép a 2.ábrán követhető. A berendezés nem fűtött felülete mentén (SI) áramló levegőt a tárcsa felmelegíti és kialakul egy feláramló, meleg légsugár (C).

A fűtött felület növekedésével több kürtő is kialakulhat. A kör alakú tárcsák esetén (15.ábra) kialakul egy központi meleg légsugár(C) mint a 2.ábrán, de kialakulhat egy vagy több cső formájú légsugár is (T) [4]. Az áramlás úgy rendeződik, hogy a cső formájú légsugár (LE) külső E- és (LI) belső I pontjában a sebességek- és így a nyomások egyenlők.



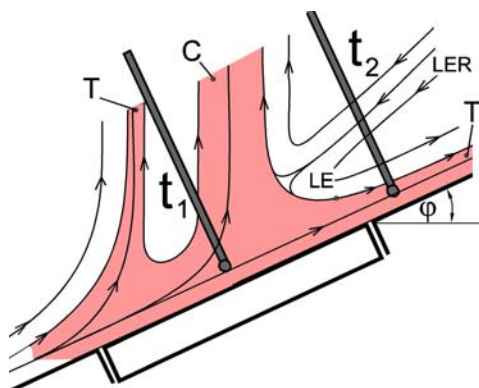
15.ábra: Áramlási kép $\delta=90^\circ$ esetén



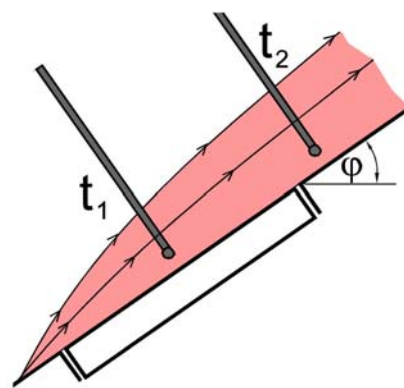
16.ábra: Áramlási kép $\varphi \in [0^\circ \div 10^\circ]$ esetén

A felület döntésével az LE áramvonal eredeti $\delta=90^\circ$ szöge csökken. Ez a folyamat a 13.ábrán a $\varphi \in [0 \div 10]$ intervallumban látható: a t_2 hőmérséklet gyakorlatilag állandó, a t_1 hőmérséklet pedig fokozatosan csökken. Összehasonlítva a 15. 16.ábrák áramlási képeit ez a viselkedés egyértelmű, mivel a t_2 hőmérsékletet mérő hőelem gyakorlatilag ugyanazon hőmérsékleti térben marad, míg a t_1 hőmérsékletet mérő hőelem egy része fokozatosan kikerül a C központi meleg légsugár hatása alól. A δ szög csökkenésével az LE áramvonal E pontjában a sebesség nő, tehát a nyomás csökken, ami a „Coanda” effektus megjelenése miatt a T légsugár jobb oldali ágának a felületre való leszívását eredményezi (17.ábra).

A $\varphi \in [10 \div 25]$ intervallumot az jellemzi, hogy a t_2 hőelem bekerül a meleg légsugárba (13.ábra). A $\varphi \in [25 \div 35]$ intervallumban jellemző az LE áramvonallal határolt (LER) területben az áramlási sebesség növekedése, ami a t_2 csökkenését eredményezi (13.ábra). A $\varphi \in [35 \div 55]$ szögintervallumban, a „Coanda” effektus miatt, először a C központi légsugár, majd a T légsugár baloldali ága is leszívódik a fűtött felületre. A 18.ábra bemutatja a klasszikus határréteget [5][6], amely $\varphi \in [55 \div 90]$ -re érvényes.



17.ábra: Áramlási kép $\varphi \in [10^\circ \div 25^\circ]$ esetén



18.ábra: Áramlási kép $\varphi \in [55^\circ \div 90^\circ]$ esetén

5. KÖVETKEZTETÉSEK

A felületi érzékelővel történő mérést számos olyan tényező befolyásolja, amely még nincs számszerűsítve és amely kalibrálás során határozható meg. A cikk egy ilyen lényeges hibatényező jelentőségét tanulmányozza.

A mérési eredmények egyértelműen bizonyítják, hogy a felület dőlésszöge lényegesen befolyásolja a hőmérséklet-hibát, ami a tárcsa feletti légtér konvekciós áramlási képének változásával magyarázható. Az új mérési módszer, a mérési eredmények és ezek elméleti elemzése egyedülálló a szakirodalomban.

SZAKIRODALOM

- [1] R. Morice, E. András, E. Devin, T. Kovács, "Contribution for the calibration and the use of surface temperature sensors", Tempmeko Proceedings, vol. 2, pp.1111-1116, 2001.
- [2] F. Bernhard, S. Augustin, H. Mammen, K.D. Sommer, E. Tegeler, M. Wagner, U. Demisch, "Calibration of contacting sensors for temperature measurements on surfaces", Tempmeko Proceedings, vol. 1, pp. 257-262, 1999.
- [3] M.A. Mihejev, "Bases of practical calculations concerning the heat-transfer", "A hőátadás gyakorlati számításának alapjai" Tankönyvkiadó, Budapest, 1990.
- [4] T. Környey, "Transmission of heat", "Hőátvitel", Műegyetemi kiadó, Budapest, 1999.
- [5] H. Y. Wong, "Heat transfer for engineers", Longman Group Limited, London, 1983.
- [6] E. R. G. Eckert, R. M. Drake Jr., "Heat and Mass Transfer", Mc Graw - Hill Book Company, Inc., New York, Toronto, London, 1959.

SZERZŐ: András Emese, Hőmérséklet- és Optikai Mérések Osztály, Országos Mérésügyi Hivatal (OMH), 1124 Budapest, Németvölgyi út 37-39, telefon: 36 1 4585963, fax: 36 1 4585927, E-mail: e.andras@omh.hu

Azonos névleges értékű, hitelesített súlyokból alkotott csoportok együttes mérési bizonytalansága

Zelenka Zoltán*

Több mérési feladatnál alkalmaznak súlyokat. Sokszor ezek nem egyenként, hanem különböző társításban kombinációkban kerülnek felhasználásra. Erre jó példa nagyobb mérlegek kalibrálása, hitelesítése. Tény, hogy a súlyok korreláltak (értékük nem teljesen független egymástól), de a korreláció mértékéről általában nincs információja az átlagos felhasználónak. Információ hiányában teljes korreláció feltételezését javasolják a súlyok között [1]. Ez természetesen növeli a becsült mérési bizonytalanságot. Ennek csökkentésére az alábbi feltevések valamelyikével szoktak élni:

- Egy helyen kalibrált nagy névleges tömegű súlyok között jelentős a korreláció, ezért az ajánlást követni kell.
- Különböző névleges értékű súlyok esetén a korreláció elhanyagolható.
- Kis névleges értékű tömegek esetén a korreláció elhanyagolható.

A fenti felvetések alkalmazása azonban bizonytalan. Minden esetben felmerül, hogy mit jelent a nagy névleges tömeg, mikortól lehet kis névleges tömegről beszélni, valamint mihez képest lehet elhanyagolni a korreláció hatását.

A három felvetés közül jelen cikkben az elsőt vizsgáljuk meg és bizonyítjuk, hogy hitelesített súlyok esetén az ajánlásnál kisebb eredő mérési bizonytalanság is jogosan, műszakilag megalapozottan alkalmazható.

Példa a kérdés szemléltetésére

Egy kalibráló laboratórium kalibrálni kíván egy 500 kg-os nem automatikus mérleget. Ehhez 25 darab, egyenként 20 kg-os M_2 pontossági osztályú súlyt használ. Ezek mérési bizonytalansága egyenként, bizonyítványuk szerint 1 gramm. Ha feltételezhetnénk, hogy a súlyok hitelesítésekor az egyes súlyok mérése között nem volt kölcsönhatás (korreláció), másként kifejezve, nem álltak elő azonos körülmények, akkor a 25 súly együttes bizonytalansága 5 gramm lenne. Mivel nem ismert a korreláció mértéke, az ajánlást követve a súlyok együttes bizonytalanságát 25 grammnak, azaz ötször nagyobbak kell becsülni.

Alapvető ismeretek, feltételezések a modell felállításához

1. A súlyokat pontossági osztályokba sorolják. Minden névleges értékhez és pontossági osztályhoz ($E_1 \dots M_3$) tartozik egy legnagyobb megengedett hiba érték (1. táblázat).
2. Gyakorlatban eltérő pontossági osztályú súlyokat együttesen nem használnak, ezért ezzel az esettel nem érdemes foglalkozni. Jellemzően a súlyokat 1 mg és 10 kg között készletekben alkalmazzák, melyek legfeljebb három azonos névleges értékű tagot tartalmaznak. (1. ábra.) A készleteket nem szokták keverni, ezért a gyakorlatban 10 kg-ig bezárólag nem jellemző háromnál több, azonos névleges értékű tag együttes alkalmazása.
3. 10 kg felett szokásos nagyobb mennyiségű, azonos névleges értékű súlyt együttesen használni. (2. ábra)

*Országos Mérésügyi Hivatal

Névleges érték	Legnagyobb megengedett hiba (δ)[mg]						
	E ₁	E ₂	F ₁	F ₂	M ₁	M ₂	M ₃
50 kg	25	75	250	750	2500	7500	25000
20 kg	10	30	100	300	1000	3000	10000
10 kg	5	15	50	150	500	1500	5000
5 kg	2.5	7.5	25	75	250	750	2500
2 kg	1.0	3.0	10	30	100	300	1000
1 kg	0.5	1.5	5	15	50	150	500
100 mg	0.005	0.015	0.05	0.15	0.5	1.5	
50 mg	0.004	0.012	0.04	0.12	0.4		
1 mg	0.002	0.006	0.020	0.06	0.20		

1.táblázat. Legnagyobb megengedett hiba (hitelesítési hibahatár) értékei



1.ábra. Súlysorozat

4. A súlyok kiterjesztett mérési bizonytalansága az Országos Mérésügyi Hivatal által kibocsátott bizonyítványok szerint, $k=2$ érték mellett, a hitelesítési hibahatár harmada¹, ami összhangban áll az OIML ajánlással². Tanulmányozva a hitelesítési eljárást,

¹ Jelen számítás szempontjából lényegtelen, hogy $k=2$, vagy $k=1$ mellett hajtjuk végre azokat, ezért nem számoljuk át az értéket standard bizonytalanságra.

² Az egyharmados érték a megkövetelt érték a mérési bizonytalansággal szemben, amit vagy a hitelesítési eljárás helyes végrehajtása szavatol, a korábban elvégzett számításoknak megfelelően, vagy konkrétan kiszámolják, és ellenőrzik, hogy nem nagyobb-e az elvárt értéknél. A kapott információ minden esetben csak annyi, hogy a bizonytalanság kisebb vagy egyenlő a hibahatár harmadánál.

egyértelmű, hogy a hitelesítésekhez jellemzően egy pontossági osztállyal pontosabb etalon súlyt alkalmaznak, tehát az alkalmazott etalon súly hibahatára legfeljebb harmada annak a súlyénak, melyet hitelesítenek vele. Ennek következménye, hogy a hitelesítéshez használt etalon bizonytalansága közelítőleg harmada az általunk használt súlyokénak.



2.ábra. 20 kg-os súlyok

5. Súlyok hitelesítésénél a mérési bizonytalanság több összetevőből áll (az etalon súly bizonytalansága és értékvandorlása (driftje), a felhajtóerő hatása, a mérleg leolvashatósága/felbontása, a mérés ismétlődőképessége, a mérleg érzékenysége). A felsoroltak közül két, vagy több azonos névértékű, azonos időben hitelesített súly között korrelációt a hitelesítésük során használt (ugyanazon) etalon súly okozza. A többi tag csak olyan kis mértékben okoz korrelációt a súlyok között, hogy azt elhanyagoljuk³.

A mérési bizonytalanságok áttekintése után ismerkedjünk meg a korreláció jellegével [2]. Ezt az alábbi két esetre számoljuk ki:

- két azonos névleges értékű és pontossági osztályú súly
- több azonos névleges értékű és pontossági osztályú súly

Mindkét példában összevetjük, mi lenne, ha korrelálatlanok lennének a súlyok, ha teljesen korreláltak lennének, valamint az OMH által, az OIML ajánlást követő eljárással hitelesített súlyokra vonatkozó modellt.

³ A mérleg érzékenységéből adódó bizonytalanság helyes mérlegválasztással nagyon kicsi, ezért elhanyagolható, így az korreláltságot sem okozhat. A felhajtóerő szélsőséges esetben okozhat csak jelentős korrelációt (például nagyon alacsony és azonos légnyomás mellett hitelesített azonos névértékű súlyoknál, ha azok sűrűsége közeli egymáshoz. Ilyen eset ritka Magyarországon. Jellemzően ez a hatás a legnagyobb megengedett hiba öt százalékánál nem nagyobb, így elhanyagolható.

Két azonos névleges értékű és pontossági osztályú súly eredő bizonytalansága

A használni kívánt két súlyt (m_1 , és m_2) azonos m_0 etalonnal hitelesítették különbségméréssel:

$$m_1 = m_0 + k_1, \text{ illetve } m_2 = m_0 + k_2,$$

ahol k_1 és k_2 a mért tömegkülönbségek.

Tegyük fel (fenti megfontolásaink alapján), hogy súlyaink mérési bizonytalansága az etalon bizonytalanságából, valamint a különbség-megállapítás bizonytalanságából adódik⁴. A bizonytalanságok négyzetére, azaz a varianciákra felírva:

$$u^2(m_1) = u^2(m_0) + u^2(k_1), \text{ illetve } u^2(m_2) = u^2(m_0) + u^2(k_2)$$

A korreláció a két súly között $u(m_1, m_2)$ az azonos etalon okozta tag:

$$u(m_1, m_2) = u^2(m_0)$$

A két súly együttesének a mérési bizonytalansága a fenti korrelációval számolva:

$$u^2(m_1 + m_2) = u^2(m_1) + u^2(m_2) + 2u(m_1, m_2)$$

A képletből a $2u(m_1, m_2)$ rész veszi figyelembe a korrelációt. Ennek elhagyása (tehát ha az értékét nullának tekintjük) azt jelentené, hogy a súlyok korrelálatlanok. Mivel ez a tag a hitelesítésnél felhasznált etalonsúly varianciájával azonos, nyilvánvaló soha nem lehet nulla.

Az azonos módon mért két súly bizonytalanságának becsült értéke azonos, tehát $u(m_1) = u(m_2)$, amit továbbiakban $u(m)$ -el jelölünk. Jelen hazai hitelesítési gyakorlat mellett $u(m_0) = u(m)/3$, azaz az etalon súly bizonytalansága harmada a hitelesített súlynak. Ebből következik, hogy

$$u(m_1, m_2) = u^2(m)/9$$

Behelyettesítve:

$$u^2(m_1 + m_2) = u^2(m_1) + u^2(m_2) + 2u(m_1, m_2) = 2u^2(m) + 2u^2(m)/9 = \frac{20}{9}u^2(m)$$

Azaz, két olyan azonos névleges értékű súlynak az eredő mérési bizonytalansága, melyeket azonos etalonról, időben nem nagy különbséggel hitelesítettek:

$$u(m_1 + m_2) = \sqrt{\frac{20}{9}}u(m) \approx 1,49u(m)$$

Amennyiben korreláltságot nem vennénk figyelembe, úgy a mérési bizonytalanság:

$$u(m_1 + m_2) = \sqrt{2}u(m) \approx 1,41u(m)$$

Látható, hogy a két érték „csak” mintegy 5% eltérést ad.

Ellentétben, ha feltételezzük, hogy teljes a korreláció, akkor a mérési bizonytalanság az egyes súlyok bizonytalanságainak összege lenne:

$$u(m_1 + m_2) = 2u(m)$$

Ebben az esetben az eltérés közel 34%.

Kiszámítva és kerekítve, 2 db 20 kg-os M_2 súly esetén a modell 1,5 gramm, a korrelálatlan eset 1,4 gramm, míg a korrelált eset 2 gramm bizonytalanságot eredményez.

A fenti három képlet összevetése azt adja, hogy a korreláció nem helyes figyelembevétele különböző hatással van a mérési bizonytalanság számítására. Ha nem vesszük figyelembe,

⁴ A modell szempontjából feltétlen helyes ez a megközelítés. Részletesebb bizonytalanság analízisek számolnak az etalonhoz kötődő egyéb bizonytalanság összetevőkkel, például az etalon helyes értékének a kalibráláskori értékétől való eltéréseivel. Ezek az összetevőket az összehasonlítás bizonytalanságánál célszerű szerepeltetni, mert nem okoznak korrelációt.

akkor 5%-nál jobban alábecsüljük, ami elvileg nem engedhető meg. Ha pedig teljes korrelációt tételezünk fel, akkor viszont jelentős túlbecsülés adódik, ami nem minden esetben előnyös⁵, de legalább nem okozhat rossz mérési eredmény⁶ megadást.

Vizsgáljunk meg egy olyan esetet, amikor tényleg jelentős a korreláció. Belátható, hogy a korreláció akkor a legnagyobb, ha $u(m_0)=u(m)$, ami azt jelenti, hogy az etalon súly bizonytalansága az ahhoz mért súly bizonytalanságával. Ez az eset természetesen elvileg nem állhat elő – különösen nem hitelesítési eljárás során –, de a gyakorlatban egyes különleges esetekben nagyon meg lehet közelíteni. Például 1 kg-os súlyok nagy pontosságú összehasonlításánál előfordul, hogy a mérési bizonytalanság néhány százalékkal növekszik⁷. Ekkor feltételezhető, hogy $u^2(m) \approx u^2(m_0) = u(m_1, m_2)$. Behelyettesítve:

$$u^2(m_1 + m_2) = u^2(m_1) + u^2(m_2) + 2u(m_1, m_2) = 4u^2(m)$$

Tehát ekkor igaz, hogy $u(m_1 + m_2) = 2u(m)$.

A súlyokra vonatkozó OIML ajánlás súlyok kombinációjánál teljes korreláció feltételezését javasolja. Mivel a legnagyobb megengedett hiba 50 g feletti súlyok esetén arányos a súly névleges értékével, teljes korreláció esetén bármely két (50 g feletti) súly együttes bizonytalansága az ajánlás szerint megegyezik a tömegükkel azonos egy darab súly bizonytalanságával ($u(1\text{kg}+1\text{kg})=u(2\text{kg})$).

Hitelesített súlyokra vonatkozó modellünk esetén két azonos névleges értékű súly alkalmazásnak bizonytalansága jelentősen kisebb lesz, mint az egy darab a két súly tömegével azonos névértékű súly esetén.

Több azonos névleges értékű és pontossági osztályú súly társításának (kombinációjának) bizonytalansága

Miután megismertük a két azonos súly együttes használatánál fennálló viszonyokat, terjesszük ki a vizsgálatot több (n darab) azonos súly használatára. Ennek jellemző esete, amikor nagyobb mérlegeket kalibrálnak 20 kg-os súlyok használatával. Szokásosan ezeket a súlyokat egyszerre, azonos napon, azonos etalonnal, azonos mérleggel hitelesítik, így várhatóan erős a korreláltság. Az eredő variancia általánosan [3] felírva⁸ n tetszőleges súlyra:

$$u^2\left(\sum_{i=1}^n m_i\right) = \sum_{i=1}^n u^2(m_i) + 2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n u(m_i, m_j),$$

ahol a jobboldalon az első összegző a korreláció nélküli tag, míg a második a korrelációkat veszi figyelembe.

Ha a súlyok azonosak, akkor az egyenlet átalakítható figyelembe véve, hogy

- $u(m_i, m_j) = \left[\frac{u(m)}{3} \right]^2$ azaz a hitelesítésnél az etalon bizonytalansága harmada hitelesített súlyénak,

⁵ Nem előnyös abban az értelemben, hogy indokolatlanul növeli a mérési bizonytalanságot, amit így csak más módon, például pontosabb súlyok beszerzésével, vagy bonyolultabb méréssel lehetne ellensúlyozni, ha szükséges.

⁶ Rossznak tekinthető az a mérési eredmény megadás, melynél a megadott mérési bizonytalanság a ténylegesnél kisebb.

⁷ Természetesen ebben az esetben nem a hitelesítésnél deklarált hibahatár harmada a bizonytalanság, hanem a ténylegesen számított érték. A mérésnél minden befolyásoló mennyiség hatását figyelembe kell venni, hogy a mérési bizonytalanság egyéb összetevői kicsinyek legyenek az etalon súly bizonytalanságához képest.

⁸ Az egyenlet a GUM 5.2.2 fejezetének 13 egyenlete, figyelembe véve, hogy az érzékenységi együtthatók értéke 1.

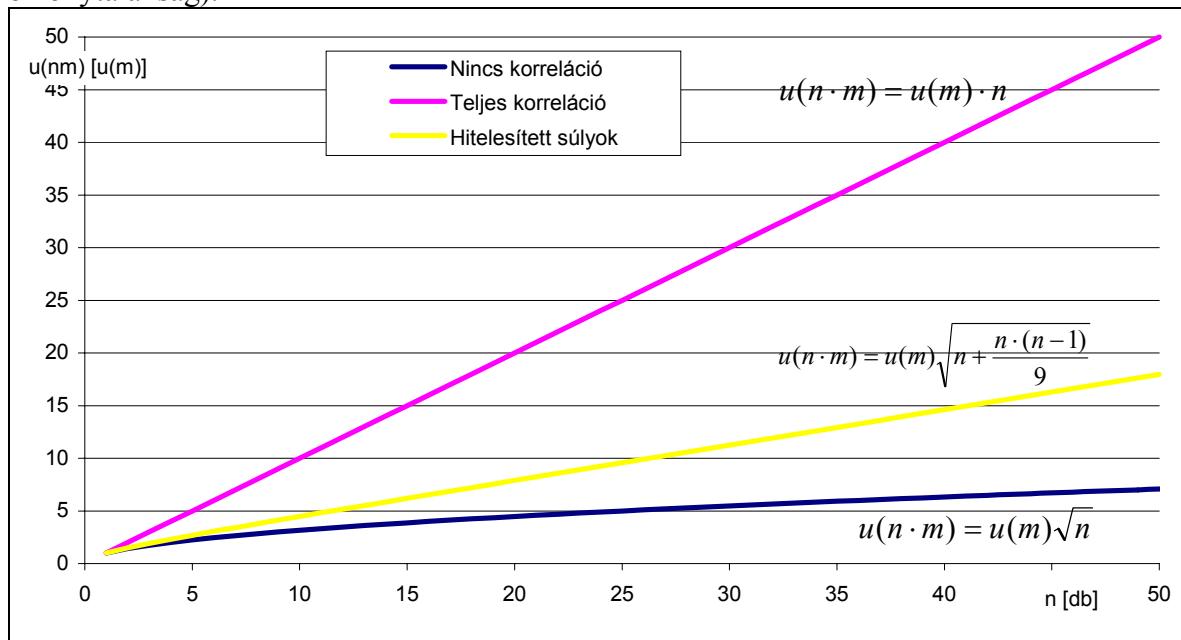
- $u(m_i) = u(m)$, tehát azonos súlyok esetén azok bizonytalansága is azonos
- valamint $\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n 1 = \frac{n \cdot (n-1)}{2}$, ezzel:

$$u^2(n \cdot m) = n \cdot u^2(m) + 2 \cdot \frac{n \cdot (n-1)}{2} \left[\frac{u(m)}{3} \right]^2 = u^2(m) \left[n + \frac{n \cdot (n-1)}{9} \right]$$

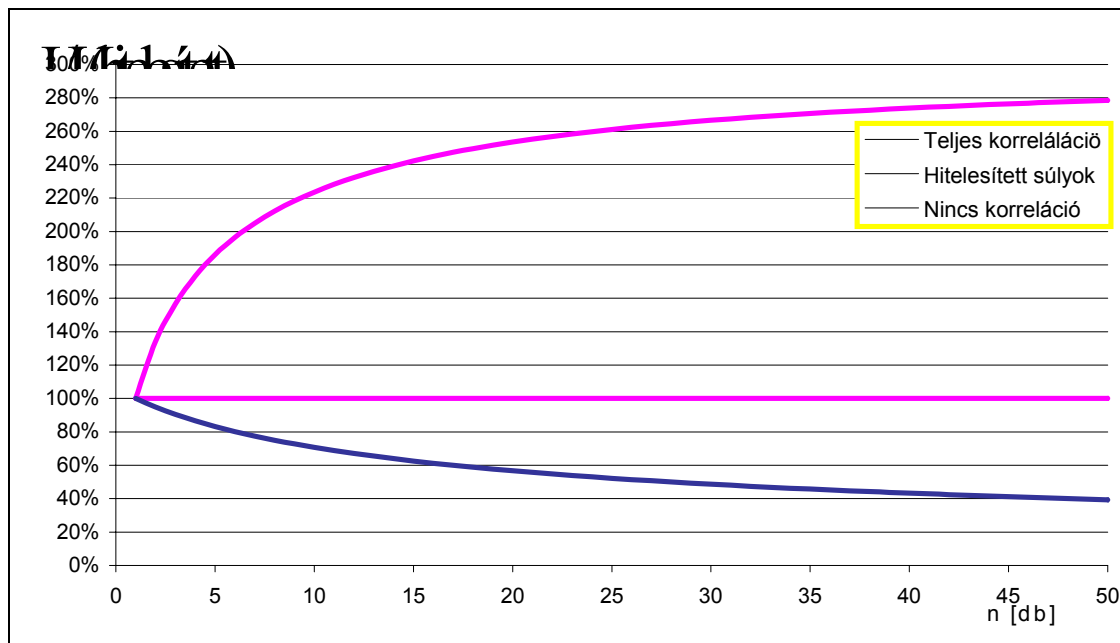
Azaz az eredő bizonytalanság (hitelesített súly):

$$u(n \cdot m) = u(m) \sqrt{n + \frac{n \cdot (n-1)}{9}}$$

Az 1 grafikon mutatja, hogy az egységnyi mérési bizonytalanságú súlyok eredő bizonytalansága hogyan alakulna a három esetben (nincs korreláció $u(n \cdot m) = u(m) \sqrt{n}$, teljes a korreláció $u(n \cdot m) = u(m) \cdot n$, és a hitelesített súlyok esetén számolt maximális eredő bizonytalanság).



1. grafikon: Mérési bizonytalanság változása a felhasznált súlyok számának függvényében



2. grafikon. A teljesen korrelált és a korrelálatlanok tekintet súlyok mérési bizonytalanságai a hitelesített súlyokra jelen modellel becsült mérési bizonytalanságának százalékában

A fenti három modell viszonya szemléletesebb, ha korreláció számításával nyert modellhez viszonyítjuk a másik kettőt (2 grafikon). Látható, hogy 1000 kg súly esetén a hiteles súlyok bizonytalansága csaknem harmada, mint a teljes korreláció feltételezése esetén. Ez gyakorlatilag azt jelenti, mintha egy pontossági osztállyal pontosabb súlyokat alkalmaznának. Ugyanakkor a korreláltságtól való eltekintés megengedhetetlen alulbecslést okoz, mert a súlyokat függetlennek tekintve a vélt eredő mérési bizonytalanság még a felét sem éri el a valódi értéknek.

[1] OIML R 111:1994 International Recommendation: Weights of classes E₁, E₂, F₁, F₂, M₁, M₂, M₃

[2] Gáti Ernő: A kovarianciák néhány metrológia alkalmazása (Műszerügyi és Méréstechnikai Közlemények; 61 szám. 1998.), valamint

Gáti Ernő: Handling correlated quantities in metrology, OIML bulletin Volume XL, 1999

[3] „Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement”; BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML; 1995

HAJTOGATOTT SUGÁRMENETŰ OPTIKA MESTERSÉGES HOLD HELYZETMEGHATÁROZÁSÁHOZ ÉS EGYIDEJŰLEG A FÖLDFELSZÍN FÉNYKÉPEZÉSÉHEZ

Greguss Pál , Greguss Edit*

1. BEVEZETÉS

Nagy az igény a miniatürizált mesterséges holdak fedélzeti eszközeinek miniatürizálására, tovább fejlesztésére, újak kifejlesztésére, különösen a nano és a mikro mesterséges hold programok számára. A mesterséges hold helyzetének meghatározására és a földfelszín fényképezésére szolgáló két külön álló egység helyett, egyetlen eszköz kidolgozására teszünk javaslatot a nemrég kifejlesztett Humanoid PAL látórendszer felhasználásával. Ez a **Panoráma Gyűrűs Lencsére alapozott kombinált mesterséges hold helyzetmeghatározó érzékelő és földfelszín fényképező (PALAMGI) eszköz** .

Az 1998. október 24-én sikeresen pályára állított SEDSAT-1 mikro mesterséges hold optikai helyzet meghatározó rendszere, a PALADS, már tartalmazott egy, a körbelátó elvű leképezésen alapuló modult. Ennek alapja egy katadioptrikus optika, a Panoráma Gyűrűs Lencse (*Panoramic Annular Lens, PAL*), egy egy tömbből álló, törő és visszaverő gömbfelületekkel határolt optikai leképező elem[1].

2. KIINDULÁSI SAROKPONTOK

2.1. Helyzetmeghatározási módszerek

Számos helyzetmeghatározási eljárás ismeretes, többek között Nap érzékelők, Föld horizont érzékelők, magnetométerek. A Nap és a horizont érzékelőket azonban más érzékelőkkel társítva kell alkalmazni ahhoz, hogy *háromtengelyű* helyzet meghatározásra használhassuk azokat. A magnetométerek képesek háromtengelyű helyzetadatot szolgáltatni, de csak 0.5-3.0 fok pontosság érhető el velük, hacsak nem alkalmazzuk együtt más érzékelőkkel. A csillagérzékelők nagy pontosságúak (0.0003-0.01 fok), de nagyon érzékenyek a véletlenszerű bukdácsolásokra, rezgésekre, és gondot jelent annak beállítása, hogy az érzékelő egy adott csillagra mutasson.

2.2. A körbelátó leképezés és a PAL optika

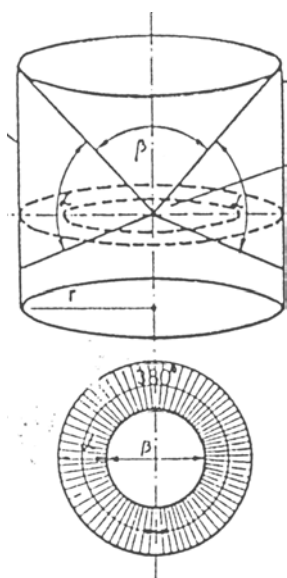
A körbelátó leképező egység egy Panoráma Gyűrűs Lencse, azaz egy katadioptrikus (tükörfelületeket is tartalmazó) optika, ami egyetlen tömbön kialakított törő és visszaverő gömbfelületekkel valósítja meg a körbelátó elvű leképezést.

Ennek az optikai elemnek az első úrkutatásbeli alkalmazása volt a *radiális profilométer*, amellyel üregek belső körvonalát, illetve eltéréseit vizsgálhatjuk 360°-os körben anélkül, hogy az optikát tengelye körül forgatni kellene. Ezt úgy érjük el, hogy az üreg belső felületét úgy világítjuk meg, hogy a megvilágító fénynyaláb egy körgyűrűt pásztáz végig az üreg belső felületén. Ezt a megvilágított gyűrűt képezi le a PAL optika. A PAL optika által szolgáltatott képen bármilyen eltérés a köralaktól egy kiugrást hoz létre, azaz, az adott üreg belső felületi szelvényének a köralaktól való eltérései képszerűen jelennek meg. Jegyezzük meg, hogy az így nyert kép nem egy *keresztmetszet*, hanem a háromdimenziós üregfelület kétdimenziós váza, azaz a képfelületre merőleges irányból tartalmaz információt. Ezt a módszert a *huntsville-i Alabama Egyetem gépészeti osztályával (Department of Mechanical Engineering of the University of Alabama in Huntsville)* dolgoztuk ki.

* Gépgyártástechnológia Tanszék, Budapesti Műszaki és Közgazdasági Egyetem, Budapest, Hungary
OPTOPAL Méréstechnikai Szolgálat

2.3. A PAL leképezés alapelve

A PAL leképezés azon alapul, hogy a bennünket körülvevő világ geometriai szerkezetét inkább hengeresen, mint gömbszerűen tükrözi vissza, azaz *körbelátó elvű (centric minded imaging, CMI)* szemléletet követ. A CMI azt jelenti, hogy a háromdimenziós tárgytérben egy képzeletbeli henger felületén belül elhelyezkedő pontok a kétdimenziós képtérben egy sík mentén képződnek le. Így aztán egy pontnak a háromdimenziós tárgytérben elfoglalt igazi helyére a képsíkbeli helyéből származtatott hengerkoordinátákkal hivatkozhatunk. Ha most feltételezzük, hogy a minket körülvevő henger sugara megegyezik az *éleslátás* távolságával, akkor egy panoráma képet kapunk ennek a képzeletbeli hengernek a falán. Ennek a gondolatmenetnek az eredménye azonban csak egy 360° panoráma *nézet*, de nem egy mindenirányú panoráma *kép*, a képnek abban az értelmében, hogy ez még nem *egy Euklideszi sík felületen* megjelenített intenzitáseloszlás.



1. ábra A CMI alapelve

Megmutatható, hogy ez a panoráma hengervetületi nézet a képzeletbeli henger tengelyére merőleges síkba alakítható (transzformálható) egy sajátos nyújtási eljárással. (Az eljárás hasonlít a Mercator vetítéshez, de nem azonos vele). Végeredményül, a háromdimenziós környezet panorámikus gyűrűs képe alakul ki, ahol a hengeres térben a látáshenger tengelyére merőlegesen állandó térszög alatt látszó pontok a képsíkon koncentrikus gyűrűkben helyezkednek el. (1. ábra). A háromdimenziós környezet geometriai arányai poláris koordinátákban jelennek meg és olyan kép adódik, amelyben a pontok ugyanúgy viszonylanak egymáshoz, mint a valóságban. Ez teszi lehetővé a leképezett terület torzításmentes körkörös megjelenítését.

A körbelátó elven végzett leképezés tehát annyit tesz, hogy a háromdimenziós tárgytérnek azon pontjai, amelyek a képzeletbeli henger felületén belül helyezkednek el, a kétdimenziós képtérben egy sík mentén képződnek le. Következésképpen egy pontnak a háromdimenziós térben elfoglalt valódi helyét a képsíkbeli hengerkoordinátáiból származtathatjuk.

A gyűrűs kép további elemzése során azt találjuk, hogy ez az optikai lenyomat oly módon jeleníti meg a körülvevő háromdimenziós környezet kétdimenziós vázát, hogy adatokat nyerhetünk a tárgyponthoz, mivel a gyűrű szélessége megfelel a látási henger tengelye irányában a *látószögnek* (α).

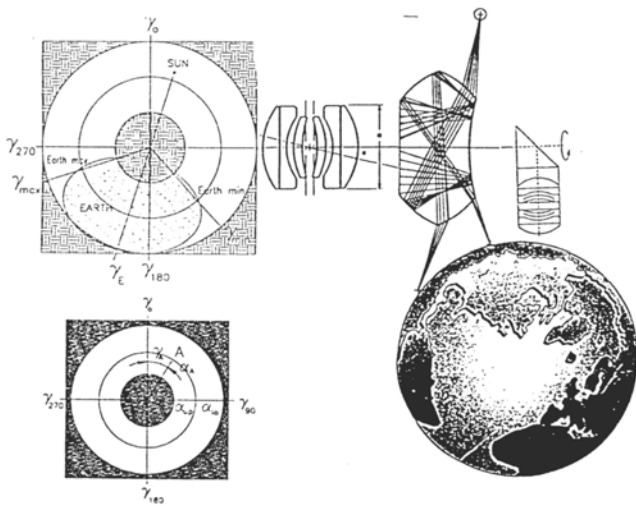
Végeredményként azt kapjuk, hogy egy ilyen leképező tömb *mélységélessége a felületétől a végtelenig terjed*, következésképpen az ezen az elven történő leképezés elvileg nem kíván fókuszlást.

2.4. A PALADS – Panoramic Annular Lens Attitude Determination System kifejlesztése



2. ábra. A SEDSAT-1 a vizsgálókamrában az oldalt kinyúló PALADS optikával

A SEDSAT-1 helyzetének meghatározására kifejlesztett körbelátó optikai leképező rendszerben, a PALADS-ban használt kb. 38 mm átmérőjű, s az optikai tengely körül 360°-os körben 45° látószögű PAL optika SEDSAT-1 (2. ábra)-ból oly módon nyúlik ki, hogy a Föld sarló és egy csillag virtuális képe jelenik meg a PAL tömbben, amit egy lencserendszer egy CCD kamerára képez le. Ez a kép adatokat szolgáltat a Nap és azon pontok helyzetéről, amelyek a Föld sarló és a PAL horizont metszéspontjában helyezkednek el. Kihhasználva a PAL leképezés egyik alaptulajdonságát, nevezetesen azt, hogy a képsík minden egyes képpontjának a gyűrű alakú referencia síkban egyértelműen tartozik egy szög. A gyűrűs kép és a háromdimenziós környezet geometriai viszonyaiból a mesterséges hold helyzete és magassága, viszonylag könnyen számítható.



3. ábra A PALADS működésének elvi vázlata

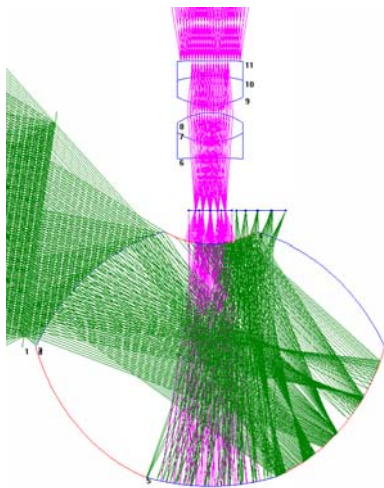
A PALADS által használt fő koordináta rendszer az égi gömbi koordináta-rendszer volt. Ez azt jelenti, hogy a mesterséges hold földfelszín feletti magassága és az égbolton elfoglalt helyzete, továbbá a referencia forrás égi koordinátái a PALADS bemenő adataiként szolgáltak. A PALADS szolgáltatja a mesterséges hold egy tengelyének (a PAL optikai tengelye) helyzetét, és az ehhez a tengelyhez mért fázisszöget, ami egy teljes háromtengelyű helyzetmeghatározást eredményez. Ezek az adatok szolgálnak arra, hogy kiszámítsák a formális helyzet mátrixot, Euler szögekben kifejezve. Az első ezek közül megfelel a helyzet vektornak a viszonyítási rendszer 3. vagy Z tengelyéhez viszonyított elfordulási szögének, a második Euler szög a helyzetvektor deklinációjának (a viszonyítási rendszer elforgatott 2. vagy Y tengelye körüli elfordulás), míg a harmadik Euler szög a helyzetvektor körüli elfordulás fázisszöge (a viszonyítási rendszer elforgatott 1. vagy X tengelye körüli elfordulás). Mivel a 3X3-as helyzet mátrix egyes elemei az adott mesterséges hold tengely és adott viszonyítási rendszer tengelye által bezárt szögek koszinuszai, a helyzet mátrix teljes mértékben leírja a mesterséges holdnak a viszonyítási rendszerhez vett helyzetét.

Spacecraft Attitude Matrix		
$X_{ref} \cdot X_{spc}$	$X_{ref} \cdot Y_{spc}$	$X_{ref} \cdot Z_{spc}$
$A(3 \times 3) = Y_{ref} \cdot X_{spc}$	$Y_{ref} \cdot Y_{spc}$	$Y_{ref} \cdot Z_{spc}$
$Z_{ref} \cdot X_{spc}$	$Z_{ref} \cdot Y_{spc}$	$Z_{ref} \cdot Z_{spc}$

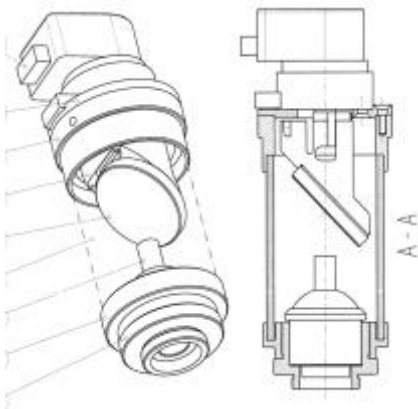
2.5. PAL képképző tömb sugármenet analízise

Sugármenetanalízisek azt mutatják, hogy a PAL lencse optikai tengelye körüli térrész egzaktalan nem vesz részt a gyűrűs panoráma kép kialakításában, a képképző sugarak csak áthaladnak rajta [3]. Ez a tény vezetett számos összetett látórendszer – a panoráma és a hagyományos leképező rendszerek társításának – a kialakításához. Ezek példái az előrenéző, a foveális, a humanoid gépi látó rendszerek (4., 5., 6. ábrák). A szerző többek között kialakította az úgynevezett HPAL (Humanoid Panoramic Annular Lens) rendszert, amelynél az optika tengelyében levő tükröző felület egy részét eltávolítottuk, aminek eredményeként keresztülnézhetünk a leképező tömbön a panoráma leképező képesség bármiféle csorbulása nélkül, ami alapvető tényező a PAL alapú helyzetmeghatározásban.

Ha most egy leképező lencsét, -*foveálisnak* nevezett lencsét - úgy helyezünk a fent említett módon létrehozott optika elé, hogy annak képe egy síkba kerüljön a PAL lencse gyűrűs képének síkjával, akkor a gyűrűs kép közepén „hiányzó” teret is képpel tölthetjük ki



4. ábra Előrenéző rendszer



5. ábra Foveális PAL rendszer



6.ábra Foveális kép, amelyik a 360° panoráma kép egy kiválasztott részét mutatja négyszeres nagyításban.

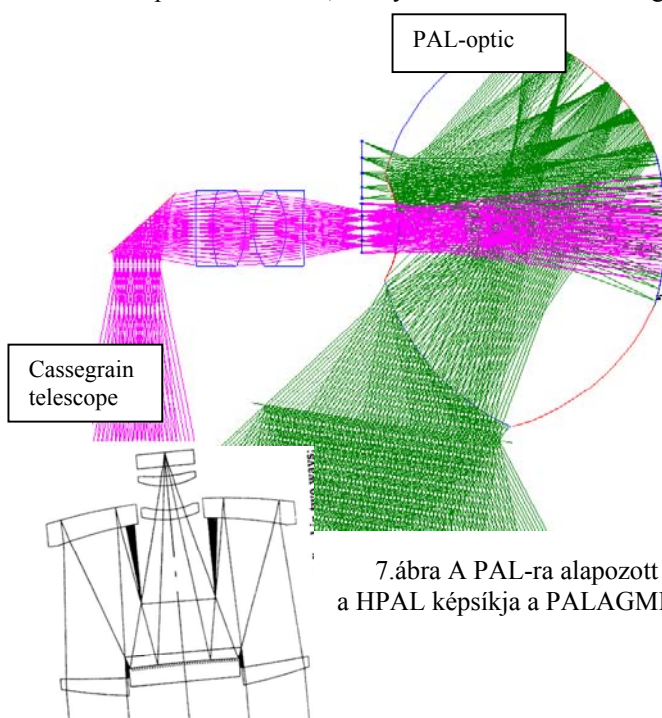
3. TERVEZÉSI ELKÉPZELÉS

Ha a HPAL elé egy ferde tükröt, vagy prizmat helyezünk el, ahogy azt a PALADS működési elvét bemutató 3. ábrán láthatjuk, akkor egy, helyzetmeghatározásra alkalmas, *hajtogatott sugármenetű optikai rendszert kapunk.*

Ez az alapvető része annak a javaslatnak, hogy **társítsuk a helyzetmeghatározási feladatot a földfelszín fényképezéssel**, s ezzel létrehozunk egy alapvetően új PAL lensére alapoyott hajtogatott sugármenetű optikai rendszert egyidejű helyzetmeghatározás és felszínfényképezés céljára.

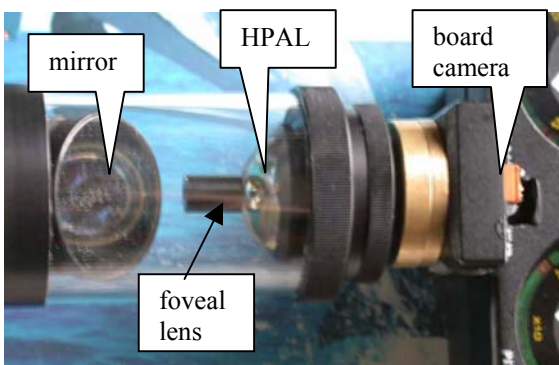
4. A HAJTOGATOTT SUGÁRMENETŰ OPTIKA

Bár a PALADS ad a csillagokról és a Föld sarlóról egy panoráma képet , azt mégsem lehet igazán földfelszín fényképezésre használni, mert az általa behozott terület túl nagy. Ez a javaslat egy olyan hajtogatott optikai rendszerelképzelést mutat be, amely mindkét feladatot elvégzi.



7.ábra A PAL-ra alapozott hajtogatott sugármenetű optikai rendszer sugármenet analízise és a HPAL képsíkja a PALAGMI-ban

Ha ugyanis úgy helyezünk el egy, megfelelő nagyítású, földfelszín fényképező rendszert - célszerűen egy Cassegrain távcsövet - hogy annak képe egy ferde tükrök segítségével a PAL lencse képsíkjában keletkezzék, akkor a távcső képe pont ott jelenik meg a gyűrű alakú PAL képen, ahol egyéb optikai információ nincs jelen.



8. ábra A PALAMGI megvalósíthatóságára vonatkozó modell kísérlet

Az ötlet megvalósíthatóságát vizsgálándó, deszkamodellt állítottunk össze. A kísérlet azt mutatta, hogy nincs szükség újra fókuszálásra, a két képsík egybeesett.

5. A TECHNIKAI MEGVALÓSÍTÁS KÖVETELMÉNYEI

A fenti ötlet megvalósítása során, a korábban a PALADS-nál alkalmazottnál, nagyobb látószögű HPAL optikát szeretnénk kialakítani. Nagyobb törésmutatójú üveget használva és új optikai tervezőprogram segítségével a korábbi 45°-os látószöget 80°-ra növeltük.

Előreláthatólag a legnagyobb feladat a PALAGMI tervezésében és gyártásában annak megoldása, hogy a földfelszíni fényképezőrendszer, mint foveális lencse képe, hogyan tölti ki a gürűs képet. Ha két kép nem esik pontosan egy síkba, akkor egyik vagy másik kép, vagy mindkettő kikerülhet a fókuszából, s ebben az esetben elveszítjük a PAL lencse végtelen mélységélességgel jellemzett kiváló tulajdonságát, azt, hogy nem kíván fókuszálást, élesreállítást.

A 4. ábra sugármenet analízise azt mutatja, hogyan oldottuk meg ezt a problémát a humanoid látórendszerénél.

Mivel a hajtogatott sugármenetű elrendezés azt célozza, hogy ne kelljen több, hanem csak *egyetlen* képérzékelőt alkalmazni mind a 360°-os panoráma képhez, mind a felszínleképezőhöz, ügyelnünk kell a két kép által lefedett képpontok (pixelek) arányára is. A gürűs kép által lefedett terület kb 3,37-szer nagyobb, mint foveális képterület. Csak példa kedvéért a 2/3"-os érzékelő formátum és 6.7 μm x 6.7 μm képpontméret esetén a panoráma kép 535735 képpontot, míg a foveális kép 226056 képpontot fed le.

A fent javasolt optikai rendszer reményeink szerint több feladat végrehajtása során is jó szolgálatot tehet egyszerűsége, kis súlya és összefogottsága folytán. Ilyenek lehetnek: különféle Föld megfigyelések, bolygóközi járművek, Mars és Hold expedíciók, ahol szigorú súly és költségkorlátok érvényesülnek.

Irodalom

- [1] Hung Pat. 192125; US Pat. 4566763; German Pat. 3402847; French Pat. 2540642, Japan Pat. 1962784
- [2] P. Greguss, "Catadioptric type design for machine vision systems", *INES'99 - 1999 IEEE International Conference on Intelligent Engineering Systems Proceedings - November 1-3, 1999, Poprad, High-Tatras, Stara Lesna, Slovakia*, (Eds. Imre J. Rudas and Ladislav Madarasz), pp.147-151, 1999. ISSN 1562-5850, ISBN 80-88964-25-3
- [3] P. Greguss, A.H Vaughan, "Development and optimization of machine vision systems using a Panoramic Annular Lens (PAL)". *Proceedings of the 9th International Conference on Advanced Robotics (ICAR'99) Tokyo, Japan*, pp. 463-468, 1999.

A szerzőről: Greguss Pál nyugalmazott egyetemi tanár, Gépgyártástechnológia Tanszék, Budapesti Műszaki és Közgazdasági Egyetem

Életének 82-ik évében tragikus baleset következtében hunyt el 2003. február 26-án. Az IMEKO-ra bejelentett előadását legközelebbi munkatársa, élete társa hat évtizeden keresztül, felesége: Greguss Edit adta elő. Az általa már összeállított előadás végső szerkesztését és a magyar nyelvre fordítását fia ifjabb Greguss Pál végezte.

Koordináta mérőgépek méréstechnikai problémái

Barati Róbert*

Napjaink elterjedt mérőeszközei a térbeni méreteket meghatározó koordináta mérőgépek. Az ipar számos területén alkalmazzák ezeket, annak ellenére, hogy bizonyos területeken talán nem is lenne szükség ezekre a berendezésekre, vagy méréstechnikai szempontból az adott feladat ellátására alkalmatlanok. A cikkel azoknak kívánunk segítséget nyújtani, akik egy méréstechnikai feladathoz koordináta mérőgép beszerzését tervezik, vagy a már meglévő koordináta mérőgéppel kívánnak feladatokat megoldani.

A koordináta mérőgépek felépítésükből és feladatukból adódóan minden tengelyirányban megsértik az Abbe-elvet (a mérendő méret és a mérőeszköz skálája nincs egy hatásvonalban). Ezen felül ha már az Abbe-elv¹ nem teljesíthető, akkor alapvető mérőeszköz építési szabályt, hogy a hatásvonalak távolsága lehető legkisebb legyen. Ez a felépítésből adódóan szintén nem teljesíthető, de ebben az esetben illendő lenne az ágyazási távolságot a hatásvonalak távolságának többszörösére választani, mivel így a vezeték egyenatlenségi hibáiból származó elsőrendű parallaxis hiba mértéke csökkenthető. A fenti elvekre és szabályok figyelembe vételére szép példa a ZEISS üzemi mérőmikroszkópja, ahol az egyik tengelynél az ABBE-elv teljesül, a másik tengelynél pedig az ágyazási távolság a hatásvonalak távolságának legalább nyolcszorosa).

A koordináta mérőgépeknél az ágyazási távolság a legnagyobb hatásvonal távolságnál általában kevesebb, ha nem a fele. Ennek következtében, ha egy gyártó megfelelő pontosságú koordináta mérőgépet szeretne gyártani, alapvetően két út marad számára. Az egyik, hogy olyan pontos ágyvezetéseket és olyan merevségű szerkezetet épít, amelynél a megsértett mérési elvek ellenére is kielégítő pontosság érhető el (lásd pl. SIP mérőgépek), a másik, hogy az ésszerűség határain belül elkészített adott pontosságú mechanikát számítástechnikai segédlettel helyesbítés (korrekció) alkalmazásával tovább pontosítja.

Ez utóbbi módszert legjobb tudomásom szerint az összes gyártó alkalmazza több-kevesebb sikerrel. A számítástechnika fejlődésének köszönhetően a korszerű helyesbítő eljárások segítségével egy kellően igényesen kialakított szerkezeti felépítés esetén akár egy nagyságrenddel is lehet javítani a gép pontosságát. Ennek a pontosításnak csupán a kalibrálás bizonytalansága – amely magában foglalja a gép ismétlőképességét is –, az alkalmazott helyesbítő (korrekciós) eljárás finomsága és a figyelembevett torzítások száma szab határt.

Alapvetően kijelenthető az, hogy egy jól felépített, megfelelő környezetben üzemeltetett koordináta mérőgép korrekciók nélküli pontossága várhatóan nem haladja meg a $\pm(10 + 10L)$ μm határértéket. Tehát, akinek ennél nagyobb pontosságra nincs szüksége, az fellélegezhet. Aki ennél pontosabb méréseket kíván végeztetni, annak gondolni lehetnek a mérések során.

* DigiMet Bt.

¹ Abbe-féle elv, (komparátor elv): A gépipari hosszmeréstechnika egyik legfontosabb alapelve, amely szerint egyrészt a mérendő darabot a mérce irányvonalába, annak folytatásába kell helyezni, hogy az elsőrendű hiba kiküszöbölődjék; másrészt lehetőség szerint nagy nagyítású optikai leolvasást kell alkalmazni. Ezt az elvet Ernst Abbe jénai professzor (a Zeiss művek egyik alapítója) 1893-ban fogalmazta meg.

A mérőgépek gyártói általában a helyesbítéssel (korrekcióval) csökkentett hibahatárokat adják meg. Ez így jó is lenne, ha azt is elmondanák, hogy ez egy korrekció után visszamaradó pontatlanság. Ekkor ugyanis felvetődik a kérdés, melyek azok a jellemző értékek (paraméterek), amelyeket a gyártó a helyesbítés során figyelembe vett, és melyek azok, amelyeket valamilyen megfontolás alapján elhanyagolt. Erre a kérdésre nehéz pontos választ adni, de a cikkben megpróbálom sorra venni ezeket az összetevőket, egy kis segítséget adva ezzel az esetleges ellenőrzésekre, illetve a gyártó felé feltett kérdések összeállításához.

A koordináta mérőgépet használók általában nem „jól viselkedő” munkadarabok méreteit szeretnék a mérőgéppel meghatározni, ezért általában az összes hibaösszetevő terheli méréseinket.

Ezek a hibaösszetevők az alábbiak:

- tengelyek egyenességi eltérései,
- tengelyek merőlegességi eltérései,
- tengelyek billegései,
- tengelyek csavarodásai,
- az útmérők skálahibái.

Tengelyek egyenességi eltérései

Mivel legalább két koordinátában mérünk, nem egy koordináta-tengely mentén, a tengelyeink egyenességi eltérései összetett módon torzítják mérési eredményeinket. A torzítás mértéke függ a tengely pontosságától, valamint a mérendő méret térbeli helyzetétől. Az egyenességi eltérés mértéke függ az alkalmazott gyártástechnológiától és az **anyagválasztástól**. Tapasztalatom szerint az ebből származó torzítás határértéke kisebb gépeknél általában nem haladja meg az 5 μm -t, nagyobb gépeknél sem több mint 15 μm .

Így 150~200 mm-ig az ebből származó hibatag nem haladja meg a 2~3 μm -t. Ha törekszünk arra, hogy lehetőleg tengelyirányú méréseket végezzünk, a hibatag jelentősen csökkenthető.

Tengelyek merőlegességi eltérései

Az előbbiekkal azonos módon szinte azt mondhatjuk, hogy ez a hibaösszetevő minden mérésünket terheli. Mértéke a keresztirányú elmozdulással arányosan növekszik. Ezt a hibaösszetevőt általában minden gyártó figyelembe veszi, így ezzel szerencsére nem kell foglalkoznunk. E hibatagról is elmondható, hogy tengelyirányú méréssel kiejthető.

Tengelyek billegései

A vezetékek egyenességi eltéréseiből, valamint a gépalap torzulásaiból származóan a mozgó elemek a mérési tartományon belül billegő mozgást végeznek, ebből a vezetési ponttól távolodva egyre nagyobb hiba származik. A gépek felépítéséből adódóan ezeket a hibákat szinte semmilyen mérési összeállításban nem tudjuk elkerülni. Az ebből adódó hibatag mértéke akár 15 μm is lehet. Ez a hibatag hasonló

módon viselkedik, mint a merőlegességi eltérésből származó hibatag, de hosszirányú összetevője is van. Mértéke a hossz- és keresztirányú elmozdulás mértékével is változik.

Tengelyek csavarodásai

Az ágyazat csavarodásából származó hibatag, az egyenességi eltérésből származó hibataghoz hasonlóan, nehezen becsülhető, hiszen a mérési tartományban szinte bármilyen értéket felvehet. A csavarodás vizsgálatára jelenleg nem ismerek kielégítő módszert, így ennek mértékére sajnos nem tudok tájékoztató adatot adni. Fontos megjegyezni, hogy a mérőgép felépítéséből adódóan ez a hibatag talán a Z tengelyen jelenthet jelentős, megoldandó feladatot ha a tapintószár a tengelyből 100~200 mm távolságra van. Vagyis, ha valamilyen furatban szeretnénk méréseket végezni, akkor ez a hibatag számottevő lehet.

Az útmérők skálahibái

Szerencsére ezek a hibák általában az eddig említett hibatagokhoz képest lényegesen kisebbek, és a helyesbítésük könnyen megvalósítható, így szinte minden gyártó figyelembe is veszi. Tehát ezzel a gyakorlatban nem kell foglalkoznunk.

Összegzés:

Röviden áttekintettük a koordináta mérőgépek használatakor fellépő összes hibafajtát, ez némi segítséget nyújthat a felhasználóknak a megoldandó feladat továbbgondolásához. Ez a rövid cikk messze nem ad teljes körű, tudományos igényességű áttekintést a témáról, de erre az alkalmazónak nincs is szüksége. Arra viszont elegendő, hogy néhány, eddig talán számba sem vett hibaforrásra rávilágítson, és a gyártóval történő kapcsolattartás során támpontokat adjon a kérdések feltevésében, valamint, ami talán még ennél is fontosabb, segíthet abban, hogy a mérések megtervezésénél ezeket a hibafajtákat figyelembe tudjuk venni. Ha azt szeretnénk megtudni, hogy mérőgépünk milyen állapotban van, akkor egy mindenre kiterjedő kalibrálás mondhatja csak meg az adatokat. A gyártók általában maguk szeretik kalibrálni gépeiket, és ami ennél is lényegesebb, a helyesbítő tényezők beállítását is maguknak sajátítják ki. Nyilván ez nem mindig előnyös a felhasználónak.

A kalibráláson túlmenően a felhasználó számára még egy lehetőség marad. Tervez és készít, vagy terveztet és készített egy olyan etalont, amely a mérési feladataihoz legjobban hasonlít. Ezt kalibráltatja egy kalibráló laboratóriumban, majd ezzel az etalonnal időről időre ellenőrzi a mérőgépe állapotát. Ha az így kapott hibák nem haladják meg az általa felállított határértékeket, akkor a mérőgép az adott mérési feladatok elvégzésére megfelelő.

Ez az ellenőrzési eljárás alkalmas a gép állapotának követésére is, így ezzel idővel értékes forintokat lehet megtakarítani. Természetesen az etalon gyártási, és kalibráltatási költségeit sem szabad figyelmen kívül hagynunk.

Olajmeghatározási módszerek 2. Rész
Mintaelőkészítés és mérési módszerek összehasonlító értékelése
Olajszennyezések okozta hosszútávú mérgező képesség (toxicitás)

Fekete Jenő*, Ritz Ferenc**

Bevezetés

A cikk első részében (Olajmeghatározási módszerek 1. Rész Mintaelőkészítés és mérési módszerek összefoglaló értékelése, MMK 71. Sz) részletesen foglalkoztunk az olajmeghatározási módszerekkel. Tárgyaltuk a különböző mintaelőkészítési módszereket, amelyek hatékonysága nagyban befolyásolja a mérési eredmények megbízhatóságát. Bemutattunk egy új, mintaelőkészítéssel egybekötött módszert. Ennek az olajmeghatározási módszernek nagy előnye, hogy a helyszínrre vihető, és ott a mérés elvégezhető. Terepi munkáknál ez rendkívül fontos, mert így a szennyezés lehatárolása gyorsan elvégezhető. A természetes helyreállítási (bioremediációs) folyamatok is a helyszínen követhetők. Minden új módszernél fontos, hogy a teljesítményelvű megközelítést helyezük előtérbe. Ez annyit jelent, hogy minden olyan módszer alkalmazható, a környezetvédelmi analitikában, amelynek analitikai teljesítményjellemzői az ajánlott módszerét elérik, és az adott célnak megfelelnek. Ezeket a módszereket a magyar szakmai nyelv egyedinek nevezi, és alkalmazásukat validáláshoz köti. A validálás, vagy szabad fordításban az elemző (analitikai) módszer érvényesítése (ellenőrzése), annyit jelent, hogy a módszerre jellemző adatokat, így a kimutatási határt, a mennyiségi meghatározás alsó határát, a linearitást, az ismétlődő képességet és a pontosságot meg kell adni. Környezeti mintáknál a pontosságot a visszanyerési információ helyettesíti. Közleményünkben az új módszer érvényesítését (validálását) úgy mutatjuk be, hogy összevetjük az általánosan elfogadott infravörös spektroszkópiával (IR) és gázkromatográfiás (GC) meghatározás eredményeivel.

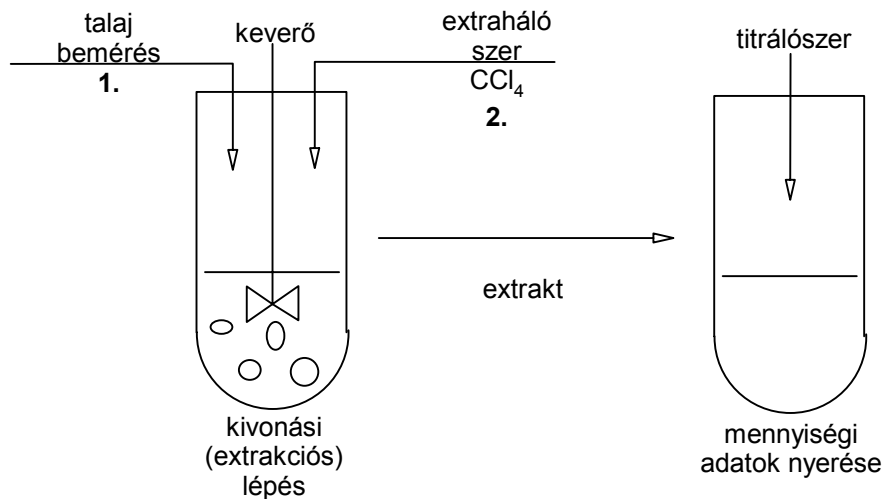
A közlemény második részében az olajszennyezések okozta toxicitás becslésének kémiai analitikai módszerekkel történő jellemzését mutatjuk be. Az ásványolaj ugyanis viszonylag nagy mennyiségben tartalmaz aromás szénhidrogéneket. Ezek közül a BTEX (**B**enzol, **T**oluol, **E**tilbenzol és **X**ilolok) és az alkilbenzolok egy része elpárolog, másik része nagyobb oldhatósága miatt a talajvízbe kerül. Ezek a kis molekulatömegű aromás szénhidrogének természetes úton könnyen lebomlanak (biodegradálódhatnak). A nagyobb gyűrűszámúak biodegradálhatósága kismértékű, és ezzel együtt mérgező hatása a táplálkozási láncban történő felhalmozódása (akkumulációja) nagyobb mértékű. Az ENSZ környezetvédelmi szervezete (UNEP) a többgyűrűs aromás szénhidrogéneket (röviden PAH-ok) az u.n. fennmaradó (perzisztens) szerves szennyezők közé sorolta.

Mintaelőkészítés és mérési módszerek összehasonlító értékelése

Az érvényesítés (validálás) célja a talaj olajtartalmának meghatározása az új oxidimetriás eljárással. Az eljárás eltér a többi módszertől, mert az olajkivonás (extrakció) összekötött a méréssel, így ebben az értelemben magán viseli az on-line technika bizonyos vonásait. Az infravörös (IR), az UV és a gázkromatográfiás (GC) meghatározásnál – kivéve az automatikus gőztér-gázkromatográfiást (HS-GC) – az extrakció és a mérés térben és/vagy időben különválasztott, általános értelemben ekkor off-line megoldásról beszélünk. A két eljárás közötti eltérést az 1. és a 2. ábrán szemléltetjük:

* BME Ált.Kém.Anal. Tsz.

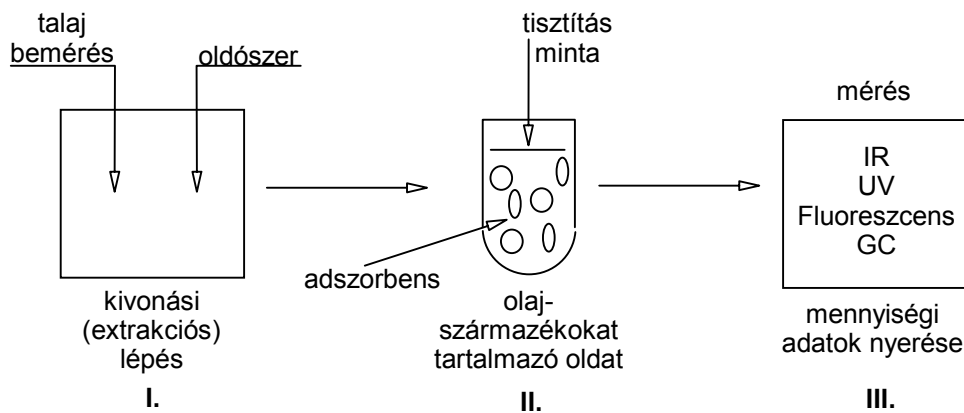
** Richter G. Rt. Környezetvédelmi O.



1. ábra

Az oxidimetriás olaj meghatározás elvi ábrája. A minta bemérése után egy lépésben történik az olajkivonás és fázis szétválasztás, majd az extrakt titrálása terepi, vagy laboratóriumi körülmények között.

Az IR, UV és GC méréseknél az olajkivonás és mérés között be kell iktatni egy mintatisztítási lépést. Ennek célja, hogy az apoláris és nem nyersolaj termékeket, például huminanyagokat, növényi olajokat, a mérés előtt a mintából eltávolítsuk. Ezzel a lépéssel a mérési láncot megszakítjuk (2. ábra).



2. ábra

Az általánosan alkalmazott olaj meghatározási módszerek elvi ábrája. Az I. és III. lépés közvetlen kapcsolata megszakított a II. mintatisztítási lépéssel.

A második nagy különbség az oxidimetriás és az általánosan alkalmazott olaj meghatározási módszerek között a kalibrációban rejlik. Az IR, UV és GC módszereknél a mennyiségi adatot úgy kapjuk, hogy adott töménységű (koncentrációjú) olaj minta jelét vetjük össze a tisztított kivonattal (extraktumnál) kapottal. **Ez a módszer mindaddig megbízható eredményt ad, amíg a mérendő és a kalibráló elegy összetétele megegyezik, és a jel nagyság egyértelműen megállapítható.** Az előzőekben megadottak jelentik a (kalibráló elegy) kiértékelés bizonytalanságát, az általánosan alkalmazott és ajánlott módszerek korlátait. Szükséges tehát, hogy bővebben kifejtjük ezeket.

A kalibráló elegy és a kivonat (extraktum) összetételében – kivéve a friss, maximálisan 1-2 nappal a szennyezés után vett mintáknál – még akkor is eltérés van, ha szennyezőt

alkalmazunk anyagminta (referencia), vagy viszonyítási anyag (standard) oldatként. Ebből adódóan a számított olajtartalom jelentősen eltérhet a valódi értéktől. Vegyük példaként az IR és UV meghatározási módszereket. Az IR meghatározásnál az eredményeket a $-CH_2-$ csoport adott rezgésszámnál (2925cm^{-1}) mért fényelnyeléséből számolják, és/vagy összekapcsolják (kombinálják) az aromás csoportokra jellemző frekvencián mért adatokkal. Az UV meghatározásnál azt használjuk ki, hogy a több tízezer szénhidrogénből álló olaj tartalmaz aromás szénhidrogéneket, amelyek 250nm körüli hullámhossz tartományban fényt nyelnek el. A fluoreszcenciás elven történő meghatározásnál az alapjelenség az, hogy a többgyűrűs aromás szénhidrogének, vagy az angol betűszó alapján általánosan ismert PAH-ok fény besugárzást (gerjesztést) követően az elnyelt fényt nagyobb hullámhosszon kisugározzák (emittálják). A leírt alapelvek alapján mindaddig pontosan lehet anyagmennyiséget meghatározni, a minta összetétele állandó, és időben nem változik.

A környezetünkbe kikerülő olaj azonban a biológiai folyamatok eredményeképp állandóan változik. Az olajlebontás, és ezzel az összetétel változását a környezetszennyezés után, részletesen tanulmányozták az Alaszkában, 1989. március 24-én bekövetkezett balesetet követően. Ekkor $258\,000$ hordó ($1\text{ hordó} = 110\text{ liter}$) olaj ömlött a tengerbe. A hőmérséklet fagypont alatt volt, ennek ellenére a mikroorganizmusok száma pár nap alatt nagyságrendekkel nőtt, jelezve, hogy új „szénforrás” jelent meg a területen. Az analitikai módszer számára ebből, és más szennyezések után végzett kutatómunkákból lényeges tanulság, hogy az eltérő szerkezetű szénhidrogének lebontási sebessége nagyságrendekkel különbözik. A nyílt szénláncú szénhidrogének természetes lebomlásának sebessége nagyságrendekkel nagyobb, mint a többgyűrűs szénhidrogéneké (PAH). Anélkül, hogy a részletekbe, majd a PAH-ok forrásainak vizsgálatába belemennénk, hadd hívjuk fel a figyelmet a Peter G Wells, James N. Buttler és Jane S Hughes szerkesztette „Exxon Valdez Oil Spill: Fate and Effects in Alaskan Waters” című összefoglaló könyvre, amelyet az ASTM adott ki (ASTM publication code number (PCM): 04-012190-16, contains papers presented on the Third Symposium on Environmental Toxicology and Risk Assessment, held in Atlanta, Georgia on 26-28 April 1993). A végeredmény minden esetben az aromás szerkezetű szénhidrogének relatív mennyiségének növekedése.

Az olajtartalom (talaj, víz) meghatározásánál ugyanolyan biológiai folyamatokon átvitt minták adnák a műszer kalibrációjához szükséges referenciaanyagokat. Ez legalább két okból nem lehetséges: egyrészt az analitikai laborok nem készültek fel ilyen fajta „referenciaanyag” előállítására, másrészt lehetetlen a természetben lejátszódó biológiai folyamatok modellezése laboratóriumi körülmények között. Az olajtartalom meghatározása oldaláról nézve ez annyit jelent, hogy IR meghatározásnál a valósnál kisebb érték mérése, míg az UV és fluoreszcens meghatározásnál nagyobb történik.

Tekintettel arra, hogy a fenti megállapítások döntőek az olajmennyiség megítélésénél, szükségesnek látjuk a levont következtetések bizonyítását. Az IR módszernél a biodegradált olajnál a $-CH_2-$ sávok intenzitása csökken az aromásokhoz képest, mert a nyílt szénláncú szénhidrogének a legkönnyebben hozzáférhetők a mikroorganizmusok számára. Így az erre a csoportra történő kalibrációnál az egységnyi anyagmennyiségre nagy jelet, azaz nagy érzékenységet kapunk. Az aromás elnyelésre történő kalibrációt viszont nem tudjuk elvégezni, mert nem tudjuk, hogy mennyire dúsultak fel az alifásokhoz képest. Minél nagyobb a biodegradáció mértéke, annál kevésbé lehet az egyes összetevőket a kromatogramon megkülönböztetni. A burkoló görbe pontos kiértékelését nehezíti, hogy a hőmérséklet változás miatt nem tudjuk az alapvonal pontos helyét. (3. ábra).

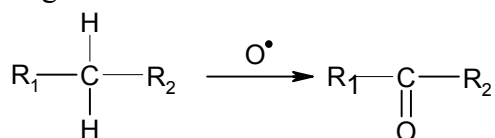


3. ábra

A „kolonna vérzés” és szénhidrogének okozta jel a lángionizációs érzékelőben (detektorban) (FID).

A hőmérséklet növelésével a „kolonna vérzés” és ezzel a FID jele exponenciálisan nő. A szénhidrogén összetétel (profil) a biodegradációval a nagyobb hőmérsékletek felé hosszabb (retenciós idő) tolódik el. Így a látszólagosan elfogadott megállapodás, hogy a kalibrációnál és, a minta mérésénél elkövetett hibák kiegyenlítik egymást, tarthatatlan.

Az ajánlott (köznapi életben szabványos) módszerekkel kapott adatok eltérő eredményeket adhatnak. Az oxidimetriás módszerrel kapott eredmények megadásánál az olajtartalom megadása az oxidálható szénatomok számától függ:

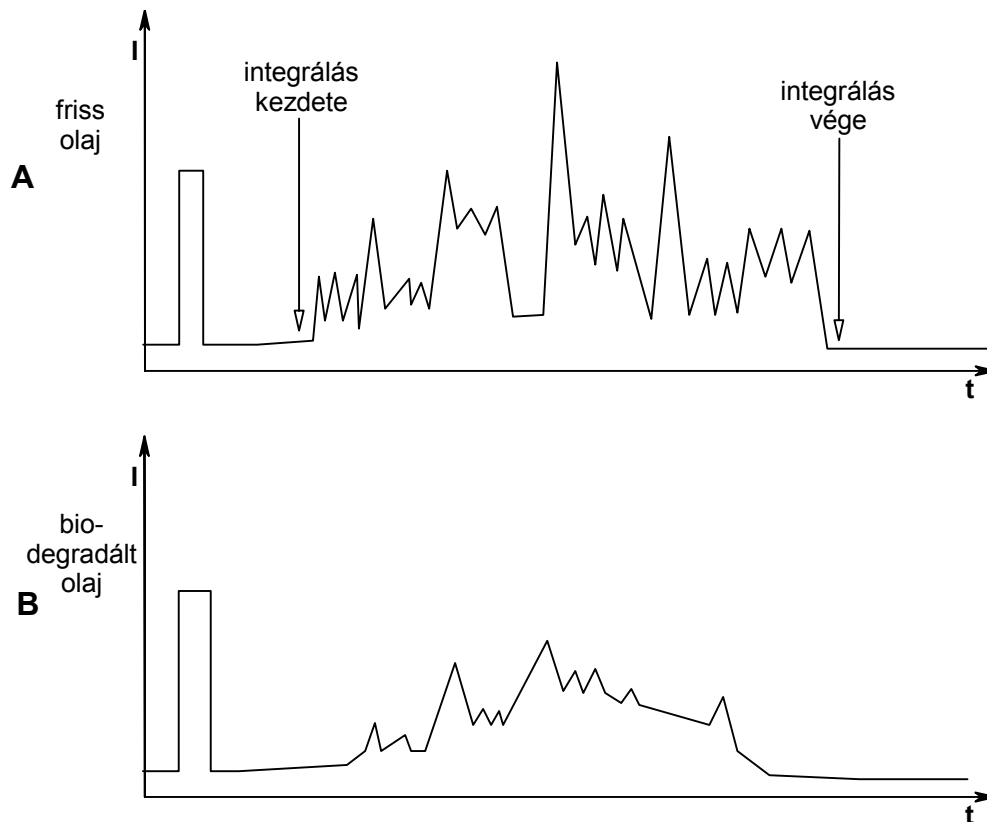


[1.]

Az [1.] folyamat alapján elméletileg számítható az összes szénhidrogén tartalom, függetlenül attól, hogy alifás, telítetlen, vagy aromás szénhidrogénekről van szó. Ahhoz, hogy az új olaj meghatározási módszerrel kapott eredmények összehasonlíthatók legyenek az ajánlottakkal, friss, nem biodegradált modellszennyezések szükségesek. A módszer érvényesítését (validálását) gázolajjal szennyezett talajvizsgálatokkal végeztük el.

Az UV és fluoreszcens módszernél ismételtelen fellép a kalibrációs probléma. Az aromás szénhidrogének relatív mennyisége a gyűrű tagszámmal arányosan nő. Általában elmondható, hogy 3 gyűrűig (antracénig) az aromás szénhidrogének biológiai hozzáférhetősége jó. Például az alkil-benzolok és naftalinok lebontása talajban, kerozinból, nagy mértékű, a kisebb mennyiségű fenantréné és benz(a)piréné kis mértékű. Egyes irodalmak szerint a benz(a)pirén felezési ideje talajban több mint 12 év. Mindezekből következik, hogy egy ipari termékre, vagy mesterségesen összeállított olajra történő kalibrációnál kisebb jelet kapunk. Az eredmények kiszámolásánál ez a valóságosnál nagyobb olajtartalmat eredményez. Ezen nem változtat az sem, ha háromdimenziós fluoreszcens módszert használunk. Ez ugyan segíti az egyes PAH összetevők azonosítását, de a kalibrációs alapproblémát nem oldja meg.

Gázkromatográfiás mérésnél a jel nagyság megállapítása okoz kiértékelési problémát. A 4. ábrán ezt kívánjuk bemutatni.



4. ábra
Friss (A) és biodegradált (B) olaj kromatogramja

A fentiek alapján remélhetőleg a nem vegyész, és különösképpen nem mérnöki környezetvédők számára is világossá vált, hogy az „olajszennyezés” mértéke az analitikai módszer függvénye. Természetesen mi azokról az olajszennyezésekről beszélünk, amikor a kiömlött olaj nem ad külön fázist. Ezek az esetek a súlyos üzemzavar (ún. havária) kategóriába tartoznak, és megítélésük eltérő. Az új módszer előnyeit (és hátrányait) a fentiek tükrében kívánjuk bemutatni. Fenntartjuk, és végig következetesen kívánjuk képviselni azt az álláspontot, hogy nem lehetséges egyetlen, „üdvözítő” módszer olyan összetett szennyezés megítélésénél, mint a köznap értelemben „egyszerűnek” vett olajszennyezések.

Oxidimetriás (terepi) módszer érvényesítése (validálása)

Ahhoz, hogy egy módszert megbízhatónak ítéljünk, az US-EPA (United States – Environmental Protection Agency) alapelvét (stratégiáját) kell elfogadnunk. Az US-EPA által megfogalmazott elv szerint, a szennyezések megítélésénél, vagy általánosabban vett környezeti analitikai méréseknél, minden olyan módszer alkalmazható, amely az ajánlott módszerek analitikai teljesítményjellemzőit eléri. Az analitikai teljesítményjellemzők a környezeti analitika szempontjából a következők:

kimutatási határ (Limit of Detection, LOD)

mennyiségi meghatározás alsó határa (Limit of Quantification, LOQ)

ismételhetőség (Precision)

pontosság* (Accuracy): környezetvédelmi analitikai szempontból a pontosságot a modell elejében végrehajtott visszanyerési információ alapján ítéljük meg

Általános értelemben vett analitikai teljesítményjellemzők közé tartozik még a **linearitás**, és a **mérési tartomány** vizsgálata is. Azon mérgező (toxikus) anyagok meghatározásánál, amelyek kis mennyiségben is egészség károsítók, „nem lényeges”, hogy milyen nagy töménység (koncentráció) tartományban adnak egyenes arányban jelet a koncentrációval. A „nem lényeges” meghatározás arra vonatkozik, hogy nagy koncentrációjú előfordulásuk esetén már katasztrófáról kell beszélnünk. Erre példa a **Sovetóban** bekövetkezett dioxin kibocsátás. Analitikai szempontból tehát lényeges lehet a lineáris mérési tartomány meghatározása, gyakorlati szempontból viszont nem lényeges. Mindezek figyelembevételével először a módszer validálását, majd más módszerekkel történő összevetését (verifikálását) adjuk meg. Az oxidimetriás eljárás validálásánál az analitikai módszerek nyomon követhetőségi követelményét figyelembe véve megadjuk a mérési körülményeket és a kapott eredményeket.

Minták készítése

Gázolaj viszonyítási anyag (standard) sorozat készítése

25 ml-es csiszolatos mérőlombikba széntetrakloridot töltünk. majd 120 µl, 60 µl, 12 µl gázolajat adunk hozzá Hamilton fecskendővel. Ezt követően széntetrakloriddal jelleg töltjük a lombikokat. A két kisebb koncentrációjú oldatot 25-szörösére hígítjuk.

50 cm³ gázolaj tömegét megmérve az 38,726 gramm, ami 0,7745 g/cm³ sűrűséget jelent. Ezt az adatot használjuk fel a gázolaj standard sorozat koncentrációjának kiszámításához, amely a következő táblázatban található.

Minták neve	Koncentráció (mg/l)
G1	3718
G2	1859
G3	372
G4	74,3
G5	14,9

1. táblázat: Gázolaj standard sorozat koncentrációja

Talajminták készítése

Erdeitalaj minta készítése:

Talajminta eredete: Hármashatár-hegy

* A pontosság (accuracy) magyar megfelelője időről időre változott, nevezték: torzítatlanságnak, helyességnek. Tartalmi szempontból a valódi értéktől való eltérést jelenti. Matematikai szempontból a valódi érték alapvető tulajdonsága, hogy megismerhetetlen.

Mintavétel időpontja: 2000. 06. 23.

A talajminta a mintavételt követően szűrőpapíron, vékony rétegben kiterítve lett légszárazra szárítva, amivel párhuzamosan történt a szárazanyag tartalom meghatározása is. A vizsgálathoz tiszta, száraz mérőedénybe bemértünk 5,6400 g nedves talajt, amit ezt követően 120°C-os szárítoszekrényben tömegállandóságig szárítottunk. A szárítás után exszikátorban hűtöttük szobahőmérsékletűre, majd analitikai mérlegen meghatároztuk a száraz talaj tömegét, ami 3,9660 g lett. Ebből a nedvesség tartalom számítható, ami 30%(m/m). Ez azért fontos, mer a talaj sorozat elkészítése után a természetes nedvesség tartalom beállítása szükséges és megadott koncentrációk is nedves mintára vonatkoznak.

Ezt követően dörzsmozsárban elaprítottunk, majd 0,5 mm lyuk átmérőjű szitán leszártunk a kiszáritott talajmintából körülbelül 3 kg-t, majd ezután készítettük el, a modell mintákat. Ez a töményebb koncentrációkból történő hígítással történt, amit a nedvesség tartalom beállítása követett. A hozzáadandó vizet a következő képlettel számítottuk:

$$\text{Hozzáadandó víz mennyisége (g)} = (\text{minta tömeg}/0,7) - \text{minta tömeg}$$

Minta neve	Névleges koncentráció mg/kg	Bemért száraz talaj g	Hozzáadott gázolaj g	Hozzáadott mennyiség és koncentráció	Hozzáadott víz g	Valós koncentráció mg/kg
T/1	10000	415,8	6		108,8	9722
T/2	5000	140		140g 10000	120	4979
T/3	1000	252		28g 1000	108	996
T/4	100	252		28g 1000	108	99,60
T/5	10	252		28g 100	120	9,96

2. táblázat: Erdőtalajminták készítése, hígítási sora

Az elkészítés közben a következőkre kell ügyelni:

a gázolaj hozzáadása után a mintát egy napig, megfelelő időközönként, erősen rázogatva homogenizálni kell;

ugyanígy homogenizálni kell a hígítással készülő mintákat is;

a víz hozzáadását követően érdemes 2-3 órát pihentetni a mintát, és csak ez után homogenizálni;

mivel a hosszabb idejű tárolás csak fagyasztott állapotban valósítható meg bomlás nélkül, a mérés elkezdésének gyorsítása céljából érdemes a mintákat fagyasztás előtt a vizsgálandó mennyiség szerint kis adagokba szétosztani, és így csomagolva tárolni.

Humuszos talajminták készítése:

A minták készítésének folyamata megegyezik az előzőekben megadottal, és ugyanazokra a hibalehetőségekre kell figyelni. A nedvességtartalom ebben az esetben 16 %.

Minta neve	Névleges koncentráció mg/kg	Bemért száraz talaj g	Hozzáadott gázolaj g	Hozzáadott mennyiség és koncentráció	Hozzáadott víz g	Valós koncentráció mg/kg
T/1	10000	415,8	6		48	12015

T/2	5000	140		140g 10000	53	5990
T/3	1000	252		28g 1000	48	1198
T/4	100	252		28g 1000	48	119,8
T/5	10	252		28g 100	53	11,98

3. táblázat: Humuszos talajminták készítése, hígítási sora

Homokminták készítése:

A minták készítésének folyamata megegyezik az előzőekben megadottal, és ugyanazokra a hibalehetőségekre kell figyelni. A homokmintáknak nem volt nedvesség tartalma, így a mintakészítés során ezt nem kellett figyelembe venni.

Minta neve	Névleges koncentráció mg/kg	Bemért száraz talaj g	Hozzáadott gázolaj g	Hozzáadott mennyiség és koncentráció	Hozzáadott víz g	Valós koncentráció mg/kg
T/1	10000	415,8	6		-	14270
T/2	5000	140		140g 10000	-	7112,5
T/3	1000	252		28g 1000	-	1422,5
T/4	100	252		28g 1000	-	142,25
T/5	10	252		28g 100	-	14,225

4. táblázat: Homokminták készítése, hígítási sora

Extraktív módszerek

Gyorsított oldószeres extrakció (Accelerated Solvent Extraction, ASE)

Azokat a talajmintákat, melyeknek volt nedvesség tartalma, izzítással aktivált alumíniumoxiddal eldörzsölve szárítjuk. Az ismert összetételű keverékből ismert mennyiséget mérünk be a készülék saválló acél extraháló cellájába, majd ez behelyezzük a készülék be. Az extraktív módszer paraméterei a következők voltak:

Extraháló elegy: aceton-hexán (1:1)
Nyomás: 7,03 bar (102 psi)
Hőmérséklet: 100 °C
Fűtési idő: 5 perc
Statikus idő: 5 perc

Extrakt végtérfogat: kb. 18 ml

Az extraktumról az oldószeranyagot, a minél kíméletesebb bepárlás érdekében, szívófülkében 1 éjszaka alatt párologtattuk el. A szennyezőket 10 ml széntetrakloridban oldottuk vissza és a mérésig lezárva tároltuk.

Ultraszónus extrakció

Feltároló edénybe 5 gramm talajt mértünk jelölt és kezeletlen talajokból egyaránt. 10 ml széntetrakloridot öntünk hozzá. Kézzel jól összerázzuk és 25 percre ultraszónus fürdőbe tesszük. Ezt követően 20 ml-es kis üvegbe töltjük át a további vizsgálatokra.

Az előkészítést szárítószerrel elkevert (későbbiekben UH1) és szárítószer-mentes (későbbiekben UH2) esetben is elvégeztük.

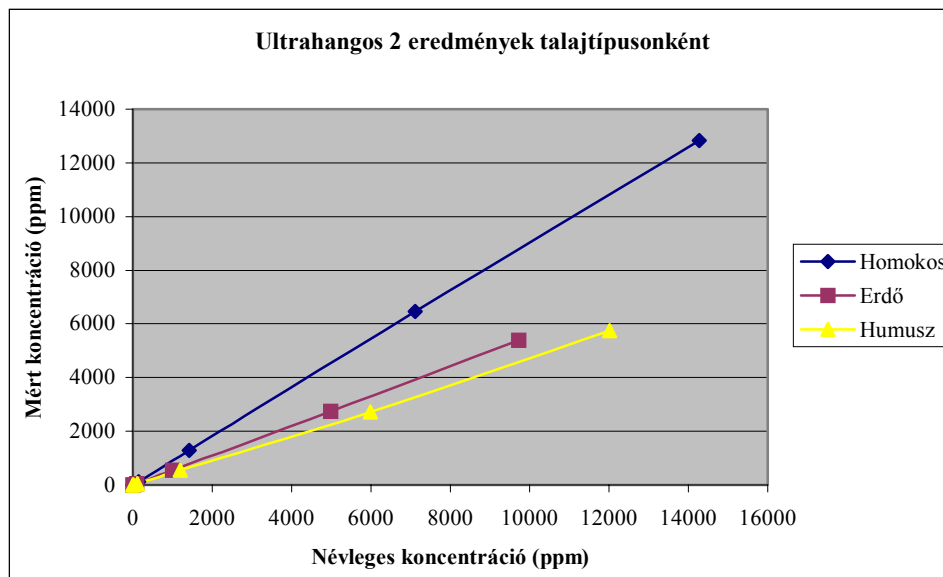
Habosítás extrakció

Feltároló edénybe bemérünk 5 gramm gázolaj hozzáadásával szennyezetlen talajt, 12 ml CCl_4 -ot adunk hozzá mérőhengerrel, és 10 percig állni hagyjuk. Ezután gyors fordulatszámú kis keverő segítségével kb. fél percig kevertetjük, majd 1,5 ml H reagenst adunk hozzá. Ismét kevertetjük kb. 1 percig, az edényt úgy mozgatva, hogy a keverő fej időnként az elegy felszíne fölé emelkedjen, majd érintse az edény alját is. A krémszerűvé váló talajról a széntetrakloridot leöntjük vizsgálat céljára. Előfordulhat, hogy az extrakt nem különíthető el rendesen, ekkor az elválás néhány csepp P-reagens hozzáadásával könnyíthető meg.

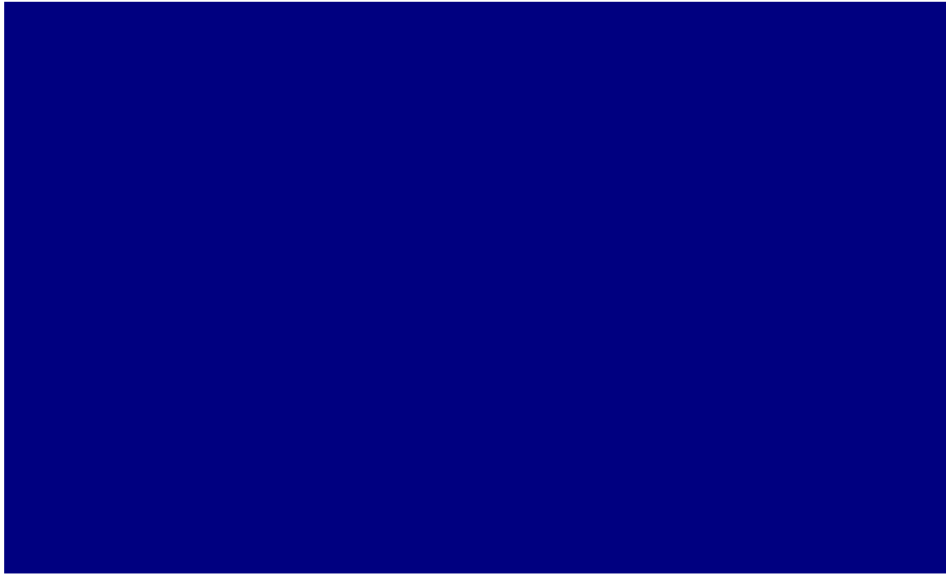
Vízminták vizsgálata

Az eljárás lehetőséget ad talajvíz minták szénhidrogén tartalmának meghatározására, akár a helyszínen, akár laboratóriumi körülmények között. A mérés teljesen azonos a talajminták mennyiségi meghatározásával. Az ott használatos eszközök a talajvíz analízis során is alkalmazhatóak, különbség mindössze a mintaelőkészítés folyamatában van.

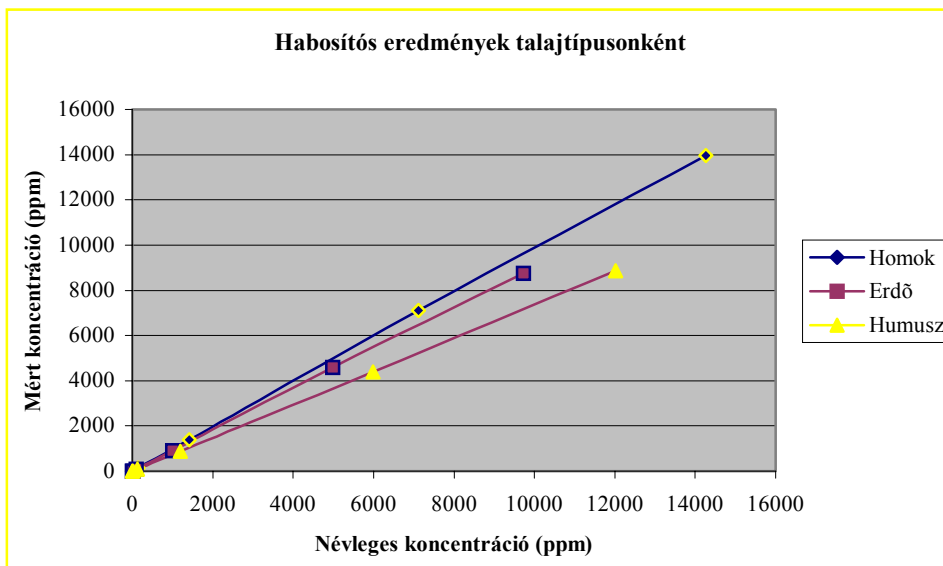
Talajtípus befolyásoló hatása az extrakció hatásfokára



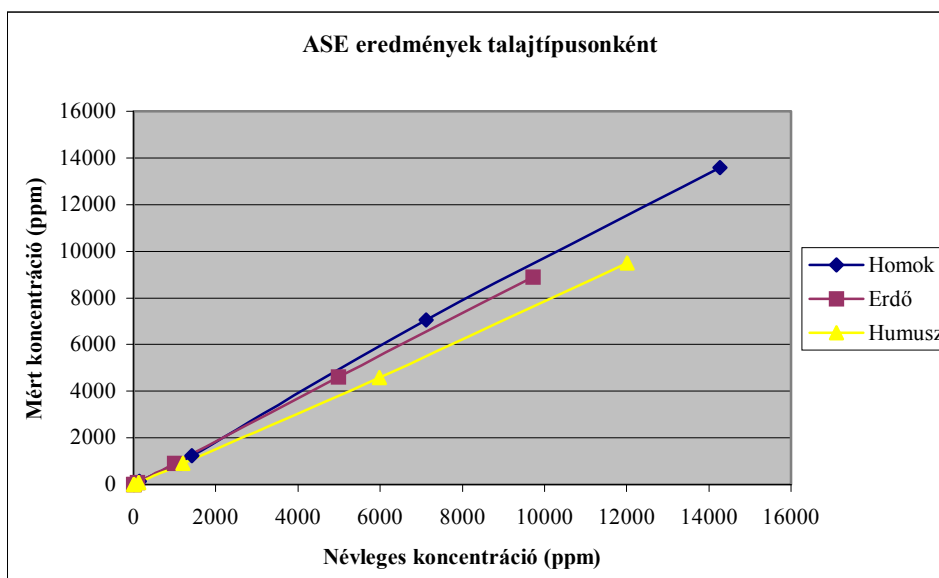
1. diagram: Szárítószer mentes ultrahangos extrakciók eredményei



2. diagram: Szárítószeres ultrahangos extrakciók eredményei



3. diagram: Habosítós extrakciók eredményei



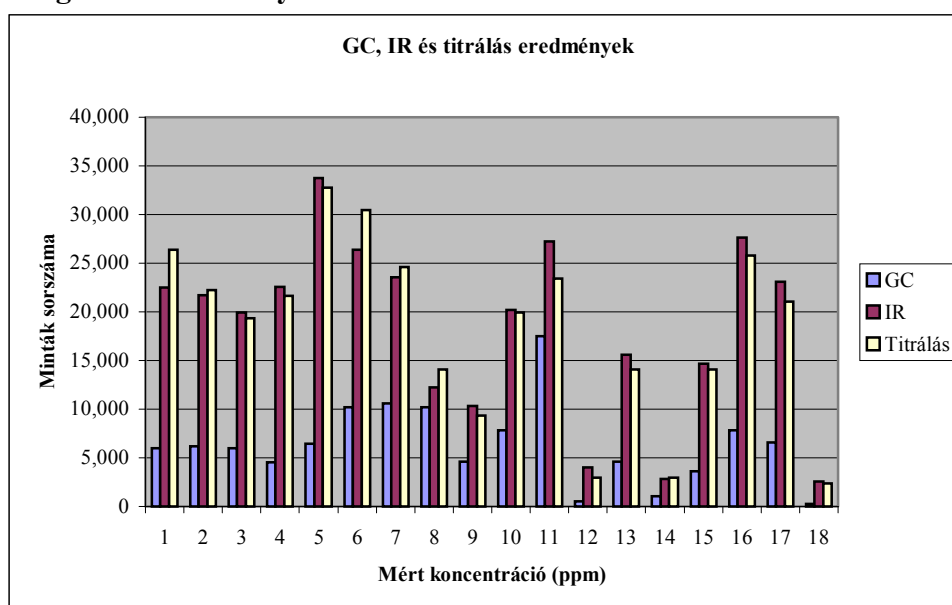
4. diagram: ASE vizsgálatok eredményei

Amint ez a fenti ábrából is kiderül a leghatékonyabb extrakciót a homokminták esetén értük el. Az egyenletes szemcse méret, az adszorpciót okozó szerves eredetű tápanyagok (humanyagok) hiánya, igen hatékony kinyerést tesz lehetővé. Mivel a szemcsék nem tapadnak olyan szorosan, mint a másik két talaj típus esetén, még az ultrahangos extrakció is igen jó hatásokkal alkalmazható.

Erdei talajminták esetén az kinyert mennyiség már alacsonyabb, aminek oka az erőteljesebb adszorpció, a bizonyos mértékben már megtalálható humanyagokhoz történő kötődés.

A legalacsonyabb visszanyerést az igen magas humanyag tartalmú kerti-humuszos talaj esetén tapasztaltunk.

Gázkromatográfias eredmények



5. diagram: Gázkromatográfias IR spektrometriás és titrálás eredményei „éles” talajminták esetén

A valós (éles) talajminták vizsgálatainak eredményeiből azt a következtetést vontuk le, hogy a GC mérések eredményei a legkevésbé megbízhatók. Ez főként abban az esetben jelentkezett, amikor nem friss, hanem akár csak 2-3 napja kikerült szennyezésről van szó. Amint az a fenti diagrammon jól látható, a GC az esetek többségében még csak meg sem közelíti a másik két módszer eredményeit. Ez az irányzat mutatkozott a többi, nagyjából 500 minta esetén is, melyek eredményeinek egy része a mellékletben megtalálható.

Humuszos talajminták eredményei

Az ultrahangos és habosítós extrakciók során három, az ASE (Accelerated Solvent Extraction) esetében, csak két párhuzamos előkészítést végeztünk, minden talajminta esetében.

Titrlás és IR spektrometriás eredmények korrelációjának ellenőrzése

Névleges koncentráció (ppm)	Mért koncentráció (ppm)		Visszanyerés (%)	
	Titrlás	IR	Titrlás	IR
0	0	0		
11,978	6,19	5,95	51,70	49,69
119,78	50,78	49,29	42,40	41,15
1197,8	547,45	526,43	45,70	43,95
5989,5	2713,28	2720,00	45,30	45,41
12015	5738,88	5511,67	47,76	45,87

5. táblázat: Ultrahang 1 vizsgálat eredményei humuszos talajnál

Névleges koncentráció (ppm)	Mért koncentráció (ppm)		Visszanyerés(%)	
	Titrlás	IR	Titrlás	IR
0	0	0		
11,978	7,48	7,66	62,44	63,91
119,78	68,86	69,08	57,49	57,67
1197,8	669,54	672,40	55,90	56,14
5989,5	3494,14	3303,67	58,34	55,16
12015	6968,75	7134,68	58,00	59,38

6. táblázat: Ultrahangos 2 vizsgálat eredményei humuszos talajnál

Névleges koncentráció (ppm)	Mért koncentráció (ppm)		Visszanyerés (%)	
	Titrlás	IR	Titrlás	IR

0	0	0		
11,978	9,51	9,14	79,41	76,33
119,78	86,21	86,29	71,97	72,04
1197,8	877,37	890,70	73,25	74,36
5989,5	4386,02	4407,55	73,23	73,59
12015	8867,20	8781,81	73,80	73,09

7. táblázat: Habosítós extrakció eredményei humuszos talaj esetén

Névleges koncentráció (ppm)	Mért koncentráció (ppm)		Visszanyerés (%)	
	Titrálás	IR	Titrálás	IR
0	0	0		
11,978	9,69	9,30	80,87	77,65
119,78	90,65	87,13	75,68	72,74
1197,8	903,59	897,21	75,44	74,90
5989,5	4575,83	4525,08	76,40	75,55
12015	9508,41	9122,23	79,14	75,92

8. táblázat: ASE eredmények humuszos talaj esetén

Amint azt a fent látható eredmények szemléltetik a két mennyiségi mérési módszer szinte teljesen azonos eredményt szolgáltat, így az extrakciók összehasonlítása mind két esetben megtörténhet. Az eredmények azt is alátámasztják, a titrálással történő olaj meghatározásnak létjogosultsága van a napjainkban alkalmazott mérési módszerek mellett.

Extrakciós eljárások összehasonlítása humuszos talajminták esetén

A vizsgált extrakciós eljárások mind a két mérési módszer esetén azonos eredményt adnak. A legjobb extrakciós hatásfok az ASE esetén tapasztalható, amint az várható is volt az igen agresszív körülmények miatt. Feltevésünk, miszerint a habosítós extrakcióval is igen jó hatásfokú kinyerés valósítható meg, igazolódott. A két előkészítési módszerrel azonos hatásfokú kinyerés érhető el. Figyelembe véve a két berendezés beruházási, üzemeltetési és egyéb költségeit, a habosítós extrakció igen hatékonyan alkalmazható. Mindazonáltal ennél a talajtípusnál a két leghatékonyabb módszer által is csak 70% körüli visszanyerés valósítható meg. Ennek oka azonban a talaj szerkezete, amire később részletesebben is kitérek. Ez a hatásfok azonban még így is 20-25%-kal magasabb az ultrahangos extrakciók eredményeihez képest.

Homokminták eredményei

A vizsgálatok során az ultrahangos és habosítós előkészítésnél három, az ASE-nél két párhuzamos mérést végeztünk.

Titrálás és IR spektrometriás eredmények korrelációjának vizsgálata

Névleges koncentráció	Mért koncentráció (ppm)	Visszanyerés (%)
-----------------------	-------------------------	------------------

(ppm)	Titrlás	IR	Titrlás	IR
0	0	0		
14,225	13,87	13,81	97,52	97,08
142,25	128,81	129,76	90,55	91,22
1422,5	1284,95	1283,10	90,33	90,20
7112,5	6461,12	6368,33	90,84	89,54
14270	12824,64	12464,05	89,87	87,34

9. táblázat: Ultrahangos extrakció eredményei homokminták esetén

Névleges koncentráció (ppm)	Mért koncentráció (ppm)		Visszanyerés (%)	
	Titrlás	IR	Titrlás	IR
0	0	0		
14,225	14,27	14,29	100,31	100,43
142,25	140,01	137,46	98,42	96,63
1422,5	1396,07	1335,43	98,14	93,88
7112,5	7097,47	6906,00	99,79	97,10
14270	13960,70	13882,00	97,83	97,28

10. táblázat: Habosítós extrakció eredményei homokminták esetén

Névleges koncentráció (ppm)	Mért koncentráció (ppm)		Visszanyerés (%)	
	Titrlás	IR	Titrlás	IR
0	0	0		
14,225	12,44	11,61	87,47	81,61
142,25	136,66	116,17	96,07	81,66
1422,5	1233,41	1131,39	86,71	79,54
7112,5	7051,60	6498,93	99,14	91,37
14270	13578,35	11849,67	95,15	83,04

11. táblázat: ASE vizsgálat eredményei homokminták esetén

Extrakciók összehasonlítása homokminták esetén

Az extrakciók hatásfoka, még az ultrahangos esetben is, lényegesen magasabb, mint erdei és humuszos minták esetén, közel 95%. Ennek több oka lehet, az egyenletesebb szemcseméret mellett például a nagyobb adszorpciót okozó huminanyagok hiánya.

Összefoglalva a munka során tapasztaltakat, általánosan elmondható, hogy minél magasabb egy talaj szerves-, huminanyag tartalma, a szénhidrogén szennyezés kinyerhetősége, annál alacsonyabb. A vizsgált extrakció típusok közül a leghatékonyabbnak az ASE mellett a habosítós módszer bizonyult. Ezzel sikerült a célkitűzésben írtakat igazolni, miszerint ez az

új, olcsó, gyors módszer igen hatékony, sőt, felveszi a versenyt napjaink modern, sokszor igen költséges technikáival.

Vízminták eredményei

Mind a három víz minta esetében két párhuzamos előkészítést és mérést végeztünk. Az eredmények értékelése során a viszonyítási koncentrációt az IR eredményei szolgáltatják. Ezt az teszi lehetővé, hogy az IR spektrometria szabvány módszer.

Mérések korrelációjának ellenőrzése

Korreláció ellenőrzése Duna víz esetén

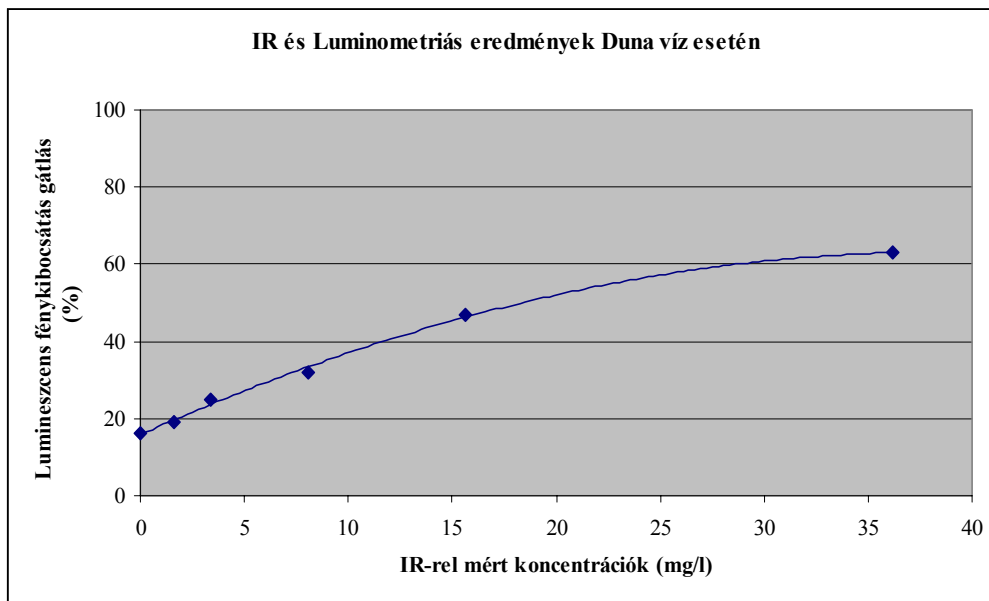
Minta szám	Titrlás	IR	Lumino- metria
1	0	0	16
2	1,79	1,65	19,00
3	4,14	3,36	25,00
4	8,66	8,10	32,00
5	16,73	15,64	47,00
6	37,65	36,20	63,00

12. táblázat: Duna víz esetén mért gázolaj koncentrációk (mg/l) és gátlás értékek (%)



6. diagram:

IR spektrometriával és titrálással mért gázolaj koncentrációk, mesterségesen szennyezett Duna vízben



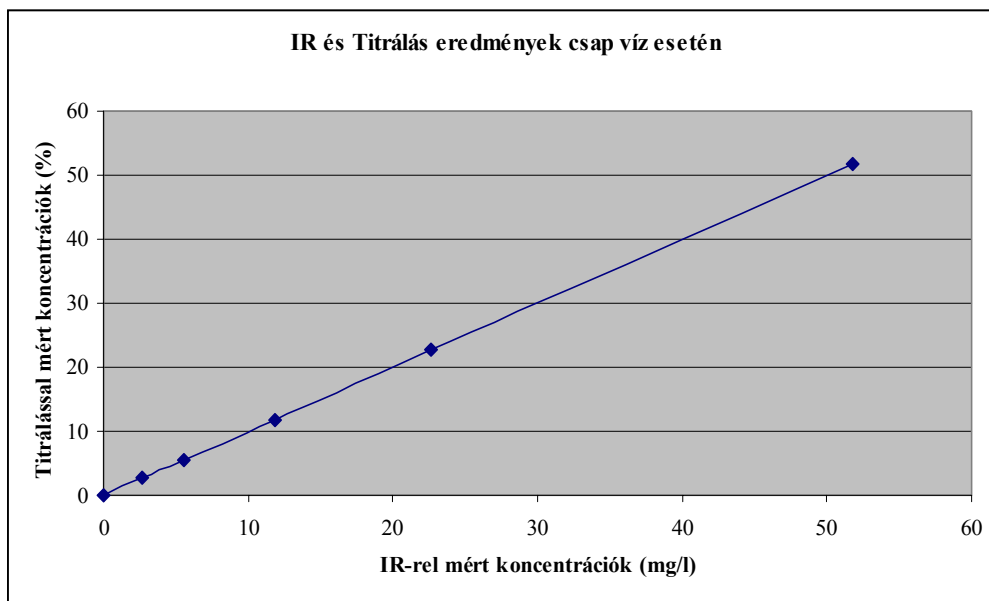
7. diagram:

Szennyezett Duna víz Lumineszcens fénykibocsátásának gátlása a koncentráció függvényében

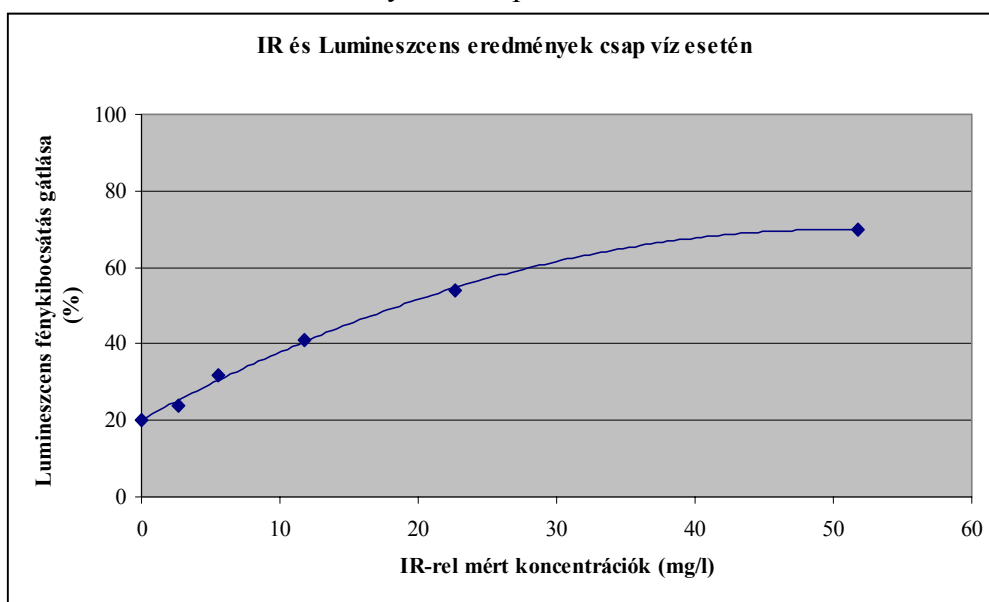
Korreláció ellenőrzése csapvíz esetén

Minta szám	Titrálás	IR	Lumino-metria
1	0,00	0,00	20,00
2	2,63	2,37	24,00
3	5,50	4,30	32,00
4	11,80	9,74	41,00
5	22,66	20,92	54,00
6	51,80	48,98	70,00

13. táblázat: Csapvíz esetén mért gázolaj koncentrációk (mg/l) és gátlás (%) értékek



7a. diagram:
IR spektrometriával és titrálással mért gázolaj koncentrációk, mesterségesen szennyezett csap vízben



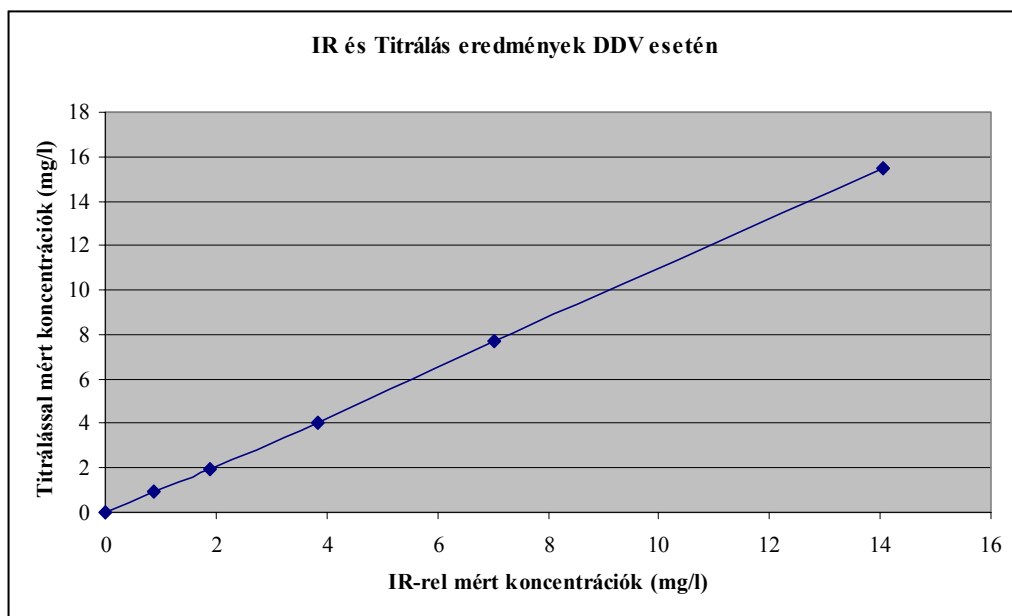
8. diagram:
Szennyezett csap víz lumineszcens fénykibocsátásának gátlása a koncentráció függvényében

Korreláció ellenőrzése ioncserélt víz (DDV) esetén

Minta szám	Titrálás	IR	Lumino-metria
1	0,00	0,00	14,00
2	0,94	0,88	15,00
3	1,93	1,88	18,00
4	4,05	3,83	27,00

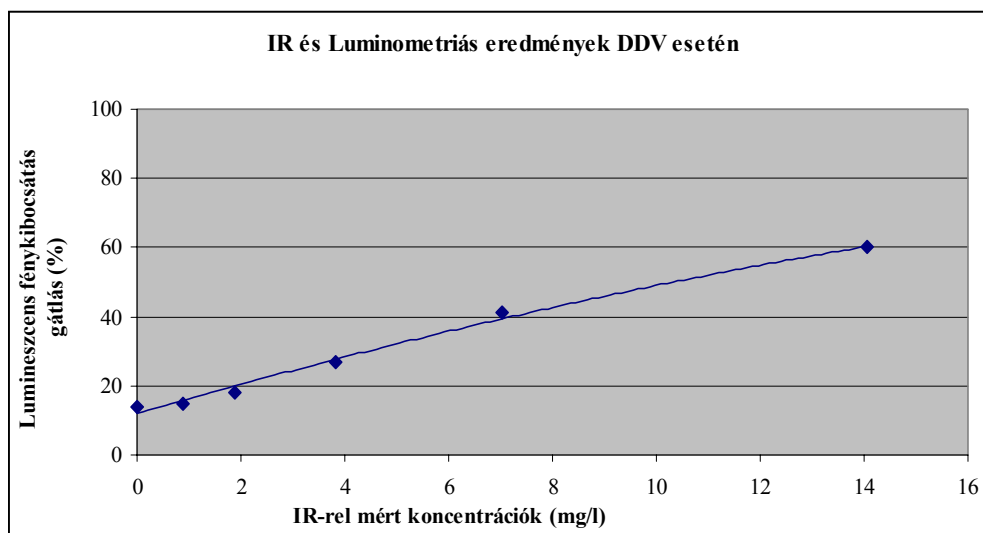
5	7,68	7,03	41,00
6	15,47	14,04	60,00

14. táblázat: Szennyezett ioncserélt víz esetén mért gázolaj koncentrációk (mg/l) és gátlások (%)



9. diagram:

IR spektrometriával és titrálással mért gázolaj koncentrációk, mesterségesen szennyezett ioncserélt vízben



10. diagram:

Szennyezett csap víz lumineszcens fénykibocsátásának gátlása a koncentráció függvényében

A vizsgálati eredmények összefoglalása

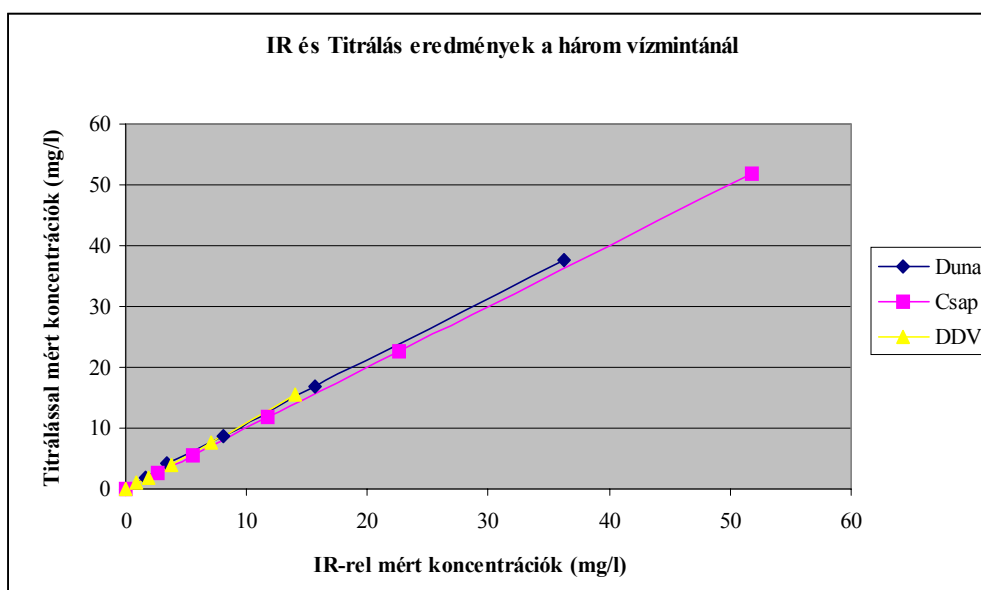
Minta szám	Duna	Csap	DDV
1	0	0,00	0,00

2	1,65	2,37	0,88
3	3,36	4,30	1,88
4	8,10	9,74	3,83
5	15,64	20,92	7,03
6	36,20	48,98	14,04

15. táblázat: IR spektrometriával mért gázolaj koncentrációk (mg/l)

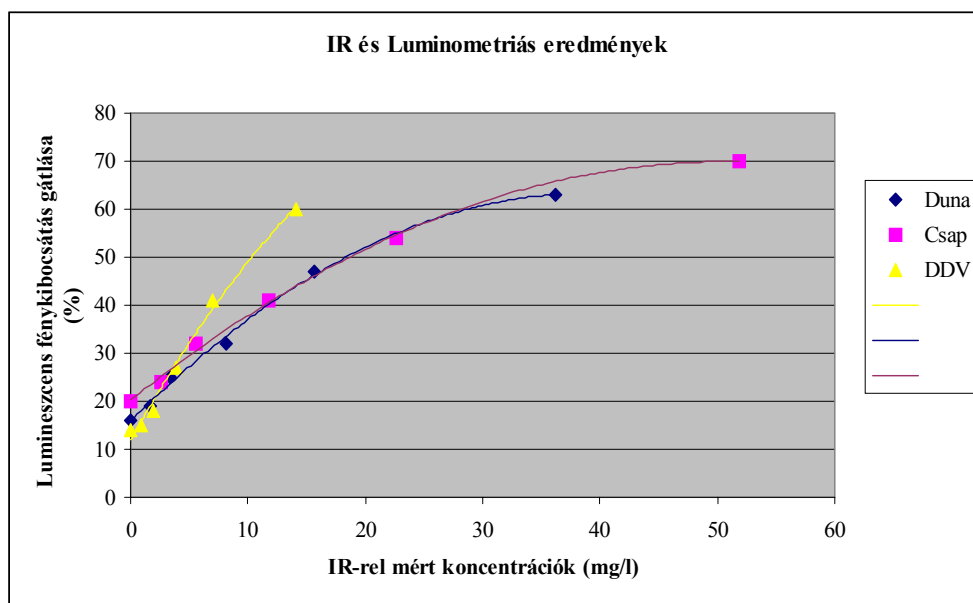
Minta szám	Duna	Csap	DDV
1	0	0,00	0,00
2	1,79	2,63	0,94
3	4,14	5,50	1,93
4	8,66	11,80	4,05
5	16,73	22,66	7,68
6	37,65	51,80	15,47

16. táblázat: Oxidimetriás titrálással mért gázolaj koncentrációk (mg/l)



11. diagram:

IR spektrometriával és titrálással mért gázolaj koncentrációk a három vizsgált minta esetén



12. diagram:
Lumineszcens fénykibocsátás eredményei a három vízminta esetén

Vízminták eredményeinek értékelése

Az értékelés alapját a fentiekben bemutatott adatok adják. Az első tény, amit a további adatok értelmezéséhez figyelembe kell venni, az a különböző típusú vizek szennyezetősége. A legmagasabb gázolaj szennyezés koncentrációját a csapvíz esetén értük el. Ennek okai feltehetőleg a benne található oldott ionok, melyek segíthetik a gázolaj bizonyos mértékű beoldódását. A Duna víz ennél kevésbé volt szennyezető, aminek feltételezett oka a már eredetileg relatív magas ion tartalom. Az ioncserélt víz (DDV) volt a legkevésbé szennyezető, mivel itt a beoldódást segíthető ionok mennyisége minimális. Ezeket a gondolatokat alátámasztják az IR spektrometria, valamint az oxidimetriás titrálás adatai is. A luminometriás kalibrációs görbék adatai vízmintánként nagyon jól követik a szennyezőanyag koncentrációt mutató görbék lefutását. Így lehetővé válik a mérés terepen történő, azonnali elvégzése, ami megbízható, tájékoztató információt szolgáltat az adott víz minőségi állapotáról.

Értékelés

A fentiekben bemutatott mérési eredmények egyértelműen bizonyítják, hogy az oxidimetriás olajmeghatározási módszer megbízható eredményeket ad, és a változó mintaösszetétel sem befolyásolja a módszer hatékonyságát. Mind az extrakció határfoka, mind a meghatározás pontossága eléri a sok országban szabványként elfogadott IR módszer eredményeit. Terepi viszonyok között az ismertetett eljárások közül egyedül alkalmas arra, hogy sorozatmérésekkel lehatároljunk egy "olajjal" szennyezett területet. A kivitelezés egyszerűsége, összekapcsolva a meghatározás hatékonyságával, képzetlen személyzet esetén is értékelhető eredményeket szolgáltat a kármentesítés megtervezéséhez.

Ugyanakkor meg kell említeni a módszer legnagyobb hiányosságát is: a széntetraklorid nemkívánatos oldószer a kémiai technológiában, ózonkárosító és egészségügyi kockázati hatása miatt. Ennek helyettesítése viszont megoldható feladat.

Összességében megállapítható, hogy az oxidimetriás titrálás minden tekintetben eredményes olajmeghatározási módszer, egyenrangú a többi eljárással.

Olajszennyezések okozta hosszútávú mérgezőhatás képesség

Többgyűrűs szénhidrogének meghatározása környezeti mintákban

Elméleti háttér

A többgyűrűs szénhidrogének vagy más nevükön poliaromás szénhidrogének (PAH-ok) az emberi tevékenység velejárói. Minden olyan tevékenység során keletkeznek, amely égéssel vagy tágabban fogalmazva hőfejlődéssel jár. Az aromás szénhidrogének fő alkotóelemei a kőolajnak, azaz különböző mennyiségben előfordulnak bármely ásványolaj tartalmú termékben. A kondenzált gyűrűs szénhidrogének száma - figyelembe véve az izoméria és a szubsztituált származékokat is - meghaladja az ötszázat. Akkor, amikor a környezet szennyezettségét vizsgáljuk lehetetlen mind az ötszáz vegyület meghatározása, ez idő és munkaigényben messze meghaladná egy-egy labor lehetőségeit, másrészt szükségtelen is. Egy-egy terület szennyezettségének megítélésakor kiválasztott vegyületek mennyiségét kell megadni. A vegyületek kiválasztásánál különböző elvek követhetők. A legfontosabb ezek közül a vegyület mérgező hatása más szóval a toxicitása. Biológia kísérletek során megállapítást nyert, hogy a nagyobb, más néven nehéz PAH-ok felhalmozódása (akkumulációja) nagyobb mértékű, ennek következtében toxikusabbak is. Állatkísérletek alapján minden esetben erőteljes hatást mutatott a benz(a)pirén (B(a)P). A mai ismereteink szerint egyike a „leginkább“ rákkeltő hatású vegyületeknek. A naftalin és származékainak toxicitása nagyságrendekkel kisebb, mint a nehéz PAH-oké, friss olajszennyezéskor viszont nyomjelző vegyületek lehetnek. A PAH-ok toxicitása természetben nem létező (xenobiotikum voltak) összefügg az elő szerkezet (biotaban) történő akkumulációjukkal és ennek következtében az eredeti szennyezéshez képest idővel változik a relatív gyakoriságuk. A PAH-oknál nem tapasztaltak - eddig még - heveny mérgezést, ezért az ún. toxicitás egyenértékben történő veszélyesség megadásuk, ahogy ez a dioxin szennyezésnél ma már elengedhetetlen, nem létezik.

Másik döntő fontosságú kérdéskör, hogy a biológiai és kémiai átalakulásuk során keletkező vegyületek toxicitása sok esetben nagyobb, mint az anyavegyületeké. Az utóbbi időben előtérbe kerültek a 3, 4, 5 vagy akár több kondenzált gyűrűs, heteroatomot tartalmazó PAH-ok, amelyek toxikusabbak az anyavegyületnél. A másik kiválasztási szempont, hogy a különböző benzolgyűrűt tartalmazó vegyületek közül mindegyik képviselve legyen. Különböző, a környezetvédelemmel foglalkozó nemzeti szervezetek más és más vegyületeket adnak meg, mint nyomjelzőket, egy-egy szerkezetnél ez változhat aszerint is, hogy milyen közegben vizsgáljuk ezeket a vegyületeket (levegő, víz, talaj, üledék, szennyvíziszap, kátrány stb.). A legszélesebb skálát az US-EPA adja. Az elsődleges szennyezők (priority pollutants) megadott 16 vegyület a következő: naftalin, acenaftilén, fluorén, fenantrén, antracén, fluorantén, pirén, benz(a)antracén (B(a)A), krizén, benz(b)fluarantén B(b)F, benz(k)fluarantén B(k)F, benz(a)pirén B(a)P, dibenz(a,h)antracén D(a,h)A, benz(g,h,i)perilén B(ghi)P és indeno(1,2,3-cd)pirén I(1,2,3-cd)P .

A megadott vegyületek elválasztására nem mindegyik fordított fázisú folyadékkromatográfiás töltet megfelelő.

A vegyületek víztaszító (hidrofób) jellege nagyon hasonló, ennek következtében csak az apoláris jelleg alapján a vegyületek közül a kritikus vegyületek nem választhatók el. Ezek a kritikus párok a következők: flouren-acenaftén, B(a)A-krizén. Részlegesen választhatók el a

következő vegyületek: B(b)F-B (k)F és az I(1,2,3-cd)P-B(ghi)P. Ahhoz, hogy ezek a vegyületek jól elválaszthatók legyenek az átlagnál nagyobb pórusátmérőjű kiindulási szilikagél kell használni a módosításhoz, valamint polimer módosítású álló fázist kell előállítani. Az eljárás lényeges eleme, hogy a módosítószernek trifunkciós szilánknak kell lennie. A módosítást vízgőz jelenlétében végzik és így a szilikagél felületén egy polimerfilmre emlékeztető apoláris réteg alakul ki. Ez modellben egy sűrű, ágas-bogas bokorra hasonlít, az ágak közé csak adott alakú molekulák hatolhatnak be. Ezzel az állófázis már nemcsak a vegyületek apolaritása (hidrofób jellege), hanem alak szerint is elválasztja az egyes komponenseket. Ez az alak szelektivitás teszi lehetővé a kritikus párok elválasztását. Az alak szelektivitás jellemzésére modellvegyületeket választottak ki. Ezek a modellvegyületek a következők: B(a)P, 1.2:3,4:5,6:7,8 tetrabenzo-naftalin (TBN) és a fenatro(3,4-c)fenatrén (Ph-Ph). A három vegyület visszatartási (retenciós) sorrendje megmutatja, hogy milyen típusú módosításról van szó. Monomer módosítású szilikagél alapú álló fázisnál a retenciós sorrend $B(a)P < Ph-Ph < TBN$, polimer borítottágúnál a retenciós sorrend megváltozik, $Ph-Ph < TBN < B(a)P$. A polimer jelleg megadására a TBN és a B(a)P relatív retenciója elegendő. Ez az érték azoknál a fázisoknál, amelyek polimer módosításúak 1-nél kisebb, közbeeső helyet foglalnak el az átmeneti fázisok $1 < k(TBN) \backslash k(B(a)P) < 1.7$ és a monomer módosításúaknál ez az érték 1.7-nél nagyobb. Azokat a polimer borítottágú kolonnákat, amelyekkel a 16 PAH-vegyület alapvonalon elválasztható, a cégek az alapszilikagél megadása után PAH utótaggal látják el. Például Chromospher PAH vagy Spherisorb PAH stb. Amennyiben mind a 16 elsődleges szennyezőt el kell választanunk akkor a fordított fázisú töltetek közül a PAH fázisokat vagy bizonyítottan polimer módosítású tölteteket kell választani.

A PAH-ok meghatározásának másik döntő fontosságú kérdése, milyen elválasztási eljárást alkalmazzunk, amely szelektív meghatározást tesz lehetővé. A szóba jöhető elválasztási módszerek a következők: gázkromatográfia,(GC) folyadékkromatográfia (HPLC), szuperkritikus fluid kromatográfia (SFC), kapilláris elektroforézis (CE) és bizonyos esetekben a nagyhatékonyságú vékonyréteg kromatográfia (HPTLC). A HPTLC alkalmazása a PAH-ok meghatározásánál nem jelentős, tudományos jelentősége van a CE használatának, az SFC rutin meghatározásokra nem került bevezetésre, maradt tehát két alapvető elválasztási módszer a GC és a HPLC. A GC-ben és a HPLC-ben alkalmazott álló fázisok mindkét módszernél lehetővé teszik a modellelegeből az összetevők elválasztását. Kérdés, hogy az adott vegyületekre, melyik módszer tesz lehetővé szelektív és nagy érzékenyséű detektálást. A GC-ben általánosan alkalmazott lángionizációs detektor szelektivitása a szénhidrogén típusú vegyületekre kicsi, más detektortípusok érzékenysége nem megfelelő. A szóba jöhető detektorok közül marad a tömeg detektor, a GC-MS rendszer. A megfelelő érzékenység a SIM (Selected Ion Monitoring) működtetési módban érhető el. Sajnálatos módon a PAH-ok fragmentációja nagyon hasonló molekulatöredékeket ad. Figyelembevéve, hogy több, mint 500 vegyület fordulhat elő a mintában (PAH vegyület), abban a frakcióban, amelyben az elsődleges szennyezőket vizsgáljuk az interferencia veszélye nagy. Az interferencia csak kis mértékben csökkenthető izotóp PAH-vegyületek belső viszonyítási anyagként(standardként) történő alkalmazásával.

UV és fluoreszcenciás detektorok a legtöbbször alkalmazottak a PAH-ok meghatározásakor. Összetett mintáknál, ahol sok a mátrix komponens, szelektivitása nem megfelelő. Érzékenysége is csak közepes, ezért alkalmazásakor gondos, több lépéses mintaelőkészítés kell, és viszonylag nagy PAH koncentrációk mérésére alkalmas. A fluoreszcenciás detektálási módszer szelektív és nagy érzékenyséű detektálást tesz lehetővé. Mérés során a gerjesztési és az emissziós hullámhosszak programozhatók, így minden egyes komponens a legérzékenyebb

módon határozható meg. Az általánosan elfogadott gerjesztési és emissziós hullámhosszakat a következő táblázatban adtuk meg:

hullámhossz váltás száma	gerjesztési hullámhossz (nm)	emissziós hullámhossz (nm)	vizsgált vegyület
1	280	340	H naftalin(b.st.) naftalin
2	249	362	H fenantrén(b.st.) fenantrén
3	250	400	antracén
4	285	450	H fluorantén(b.st.) fluorantén
5	333	390	pirén
6	285	385	benz(a)antracén
7	260	360	krizén
8a	295	425	benz(k)fluorantén
8b	406	440	H perilén (b.st.)
9	296	425	benz(k)fluorantén H benz(a)pirén benz(a)pirén dibenz(ah)antracén benz(ghi)perilén
10	300	500	indeno(1,2,3-cd) pirén

17. táblázat

A 16 elsődleges szennyező PAH gerjesztési és emissziós (mérési hullámhossza fluoreszcenciás detektálási módszer alkalmazásakor. A 8a és 8b hullámhossz beállítást a perilén és a benz(b)fluorantén esetleges interferenciájának kiküszöbölése végett kell elvégezni.

A b.st. rövidítés a belső standardot jelenti.

A perdeuterált PAH vegyületek az elemzés megbízhatóságának növelésére belső standardként használatosak. A belső standardként használt PAH-ok közvetlenül a nem deuterált vegyület előtt eluálódnak a polimer módosítású fordított fázisú tölteten. A módszer szelektivitása tovább növelhető a multidimenzionális folyadékkromatográfiás módszerrel. A multidimenzionális megközelítés azt jelenti, hogy a PAH-okat gyűrűszám szerint független kromatográfiás módszerrel elkülönítjük. Majd az elkülönített frakciókat elemezzük fluoreszcenciás detektorral egybekötött HPLC-vel. A PAH-okat gyűrűszám szerint normál fázisú folyadékkromatográfiával el lehet különíteni. Például aminopropil-szilánnal módosított szilikagél álló fázison az alkil szubsztituált PAH-ok és a nem szubsztituált izomer PAH-ok külön csoportban eluálódnak. Az alifás szénhidrogének a kolonna holtidejének megfelelő retenciós idővel eluálódnak. A normál fázisú folyadékkromatográfia egyszerre használható, mind mintatisztításra és csoport elválasztásra.

A normál fázisú elválasztást és preparálást követően oldószercserét kell végrehajtanunk. Ennek során a hexánt el kell párologtatnunk és a mintát a RP-HPLC módszerrel kompatibilis oldószemben kell feloldanunk. A tapasztalat azt mutatja, hogy a gradiens minőségű acetonitril erre a célra megfelelő. Az oldószer szennyezők okozta hiba különösen akkor nagy, ha

nyomnyi mennyiségben lévő PAH komponenseket kell meghatároznunk, az oldási lépés ugyanis dúsítási lépés is egyben.

A PAH elemzés kritikus lépése az elemzés megbízhatóságának ellenőrzése. Erre a célra szolgálnak a SRM minták (Standard Reference Material). Ezeket a mintákat a NIST (National Institute of Standard) hozza forgalomba és hitelesíti. Ezeket az anyagokat a következő táblázatban adjuk meg.

SRM szám	név	Kibo csátá s éve	hitelesített	nem hitelesített
Hatékony vizsgálat				
869	Kolonna szelektivitást ellenőrző minta	1990		
Kalibráló oldatok				
1491	aromás szénhidrogének hexán-toluol elegyben	1989	23 PAH	1 PAH
1644		1981	3 PAH	
1647 c	elsődleges PAH szennyezők (acetonitrilben)	1993	16 PAH	
2260	aromás szénhidrogének toluolban (60 µg/ml)	1991	23 PAH	1 PAH
Környezeti (természetes eredetű) mátrixok, ismert mennyiségű hatóanyaggal				
1580	szerves anyagok olajpalában	1980	5 PAH, 3 fenol 1 PANH	6 fenol, 1 PANH
1582	petróleum nyersolaj	1984	5 PAH, 1 PASH	5 PAH, 2 fenol, 1 PANH
1597	PAH-ok kőszénkátrányból	1987	12 PAH	18 PAH, PAC
1648	városi por	1978	9 nyomelem	25 nyomelem, 13 PAH
1649	városi, szerves anyaggal szennyezett por	1982	5 PAH	9 PAH
1650	Dízelkorom	1985	5 PAH, 1 nitro-PAH	6 PAH, 3 nitro-PAH, 1 PAQ
1939	poliklórozott bifenilek folyó üledékben	1990	3 PCB	14 PCB, 5 peszticid, 5 PAH
1941	szerves anyagok tengeri üledékben	1989	11 PAH	24 PAH, 7 peszticid, 15 PCB, 32 nyomelem
1974	Szerves anyagok izomszövetben	1990	9 PAH	19 PAH, 9 peszticid, 13 PCB, 36 nyomelem
1975	Dízelkorom extrakt	1199 3	PAH-ok és nitro-PAH-ok	

18. táblázat

A NIST által forgalomba hozott ellenőrzött referenciaanyagok. Rövidítések a következők:
 PANH = nitrogén tartalmú többgyűrűs aromás szénhidrogén, PAQ= többgyűrűs aromás kinon, PASH= kéntartalmú többgyűrűs aromás szénhidrogén.

A táblázatban megadott anyagok közül a 869-es számú arra szolgál, hogy a kolonna alkalmasságát eldöntsük. Nevezetesen lehetséges-e mind a tizenhat komponens alapvonalon történő elválasztása. A relatív retenció megadása mellett a tesztelegy alkalmas arra is, hogy a kolonna állapotát ellenőrizzük. A kolonna használatba vételekor regisztráljuk a visszatartási, a kinetikai hatékonysági és az elválasztási értékeket. Minden századik minta után újra a tesztanyagot adagolva az előzőben megadott adatokat számoljuk és regisztráljuk. Előre megadott kritériumok alapján a kolonna használhatósága azonnal megítélhető. Megadjuk a minimális visszatartási, kinetikai hatékonysági és elválasztási adatokat. A kolonnacsere minden esetben ugyanolyan elhasználtsági (tönkremenetelnél) foknál végezhető el.

A kalibráló oldatok lehetővé teszik az azonos alapon történő kiértékelést. A mennyiségi kiértékelés mellett a HPLC rendszer jellemzői is ellenőrizhetők. Így például a kromatográfias rendszer érzékenysége ellenőrizhető, addicionált minták készíthetők, amely alapján a visszanyerési hatások ellenőrizhető. Az adott mátrixra a munka standardok elkészíthetők, amelyekkel az analitikai mérések minőségbiztosítása is megoldható. A természetből származó ellenőrzött hatóanyagú mintákat a hasonló jellegű mátrixoknál használhatók fel az analitikai eljárás ellenőrzésére. Például, ha ásványolajban akarjuk a PAH-okat meghatározni, akkor alkalmazhatjuk az 1582 SRM mintát. Az 1647 SMR a leggyakrabban használt kalibráló oldat. Ezt az oldatot elsődlegesen a fordított fázisú folyadékkromatográfias módszer és a vízmintákhoz való adagolásra készítették. Az acetonitril a vízzel jól elegyedik. A normál fázisú folyadékkromatográfias célra az 1491 és a 2260-as SRM használható, mert ez toluolos oldata a 16 PAH vegyületnek. Az 1491-es és a 2260-as SRM oldatok 8 komponenssel többet tartalmaznak, mint a 16 elsődleges szennyezőnek elfogadott PAH. Ez azért van, mert egy kutatási programon belül ezt a 24 vegyületet figyelték folyamatosan (monitorálták) a tengervíz szennyezettségének ellenőrzésére. Például az Európai Unió előírása az ivóvíz megfigyelésére (monitorálására) a német előírás alapján, ahol 6 nehéz PAH ellenőrzését írják elő. Sok nemzeti szabványban csak a B(a)P-re van előírás. A meghatározandó PAH vegyületek száma az analitikai cél függvénye, amelyet a PAH-ok eredete nagyban befolyásol. Ehhez igazodnak a minőség ellenőrzésére szolgáló természetes eredetű SRM mátrixok. Az olaj eredetű szennyezők nagy mennyiségű alkil szubsztituált PAC-t (Poliaromatic carbon) tartalmaznak, mert az olaj képződése viszonylag kis hőmérsékleten történt. A nagy hőmérsékletű pirolitikus folyamatokban képződött PAH-ok általában nem szubsztituáltak. A dízel motorok kibocsátotta koromnál a szerkezeti és a felületen adszorbeálódott PAC-ok megkülönböztetése nem lehetséges.

A PAH-ok egy része a természetbe kikerülve erős kölcsönhatásba lép az ott található mátrix összetevőkkel. Ezzel a hozzáférhetősége nagymértékben csökken. Például szennyvíziszapnál a nagyobb gyűrűszámú PAH-ok a huminanyagokkal olyan erős kölcsönhatásba lépnek, hogy a hagyományos extrakciós módszerrel nem nyerhetők ki. Az analitikai cél oldaláról is fontos, hogy mit fogalmazzunk meg. Ha az összes PAH mennyiséget akarjuk tudni, akkor a mátrixot el kell roncsolnunk, vagy az adott pillanatban csak a biotikus környezet számára férhető hozzá. További problémát jelenthet a PAH-okat kísérő mátrix komponensek átalakulása és ezzel például koometabolizmussal a kisebb gyűrű számú PAH-ok mennyiségének csökkenése. Azaz a mintaelőkészítést nem csak a mátrix, hanem a szennyezés kora is nagyban befolyásolhatja.

A folyadékkromatográfias elválasztás körülményeit befolyásolja a kolonna típusa. Ha az elsődleges szennyezőknek elfogadott **KOMPONENSEKET AKARJUK MEGHATÁROZNI AKKOR** gradiens elúciós módszert kell használnunk. A legtöbb esetben acetonitril-víz elegyével dolgoznak és az elválasztás során fokozatosan növelik a mozgó fázis acetonitril

tartalmát. Egyes cégek szerint, a kromatográfiás elválasztás szelektivitása növelhető, ha terner elegyet használunk, például acetnitril-metanol-víz alkotja a mozgó fázist.

Ha azonos vagy kevésbé eltérő aromásgyűrűt tartalmazó vegyületeket kell meghatározni, akkor izokratikus elválasztás is megfelelő.

A különböző műszeres módszerek közül ma rutin meghatározásokra a GC-FID; a GC-MS és HPLC-FL technikák használatosak. A különböző meghatározási módszerekkel kapott eredmények megbízhatósága azonos. Ezt SRM minták párhuzamos mérésével bizonyították. Követzőekben az 1941 SRM és az 1974 SRM természetes eredetű mátrixmintára kapott eredményeket adjuk meg. Az első minta tengeri üledék, a második minta izomszövet (*Mytilus edulis*) volt, amelyek szerves szennyezőket tartalmaztak.

Vegyület	GC-FID	GC-MS	HPLC-FL Közvetlen	HPLC-FL Frakcionál t	valódi érték
Fenantrén	594 (4)	603 (10)	531 (12)		577 ± 59
Antracén	202 (6)	228 (12)	174 (18)		202 ± 42
Fluorantén	1116 (20)	1401 (41)	1135 (10)		1220 ± 240
Pirén	1008 (16)	1238 (18)	989 (34)		1080 ± 200
Benz(a)antracén	538 (12)	599 (14)	516 (7)	521 (11)*	550 ± 78
Krizén	577 (12)	702 (16)**	425 (42)	473 (5)*	
Trifenilén				192 (3)*	
benzo(b)fluorantén	635 (17)	864 (28)	839 (14)	843	780 ± 190
benzo(j)fluorantén	351 (14)				
Benzo(k)fluorantén	439 (19)	857 (25)***	456 (6) 441 (8)	443 (16)	444 ± 49
Benzo(e)pirén	472 (25)	672 (24)			
Benzo(a)pirén	566 (12)	754 (49)	674 (12)	690 (25)	670 ± 130
Perilén	415 (8)	437 (27)	411 (6)	426 (5)	442 ± 33
Benzo(ghi)perilén	478 (14)	566 (26)		504 (7)	516 ± 83
Indeno(1,2,3- cd)pirén	572 (28)	539 (19)	573 (20)	575 (8)	569 ± 40

19. táblázat

A GC-FID és a GC-MS mérések közvetlen adagolással, a HPLC-FL mérések közvetlen adagolással és normál fázisú frakcionálás utáni mérés alkalmazásával készültek. A valódi értéket (certified value) két egymástól független méréssel állapították meg. A meghatározás bizonytalansága összetevődik a 95%-os perdikciós intervallumból és a megengedett módszeres hibából. A megengedett módszeres hiba a legnagyobb különbség a valódi érték (certified) és az egyes módszerrel mért átlagérték között. Módszeres hiba nélküli mérésnél ahhoz, hogy az eredmények 95%-os tartományba essenek a minimális minta mennyiség 5 gramm.

ahol: * = H belső standard alkalmazásával kapott érték

** = krizén és trifenien együttes értéke

*** = B(k)F és B(j)F együttes értéke
 () = tapasztalati szórás

Vegyület	HPLC-FL	GC-MS	Valódi érték
Fenantrén	44,6 (2,7)	45,3 (7,3)	45 ± 11
Antracén	5,97 (,52)	6,14 (,72)	6,1 ± 1,7
Fluorantén	289 (10)	255 (21)	272 ± 47
Pirén	294 (10)	259 (12)	276 ± 30
Perilén	8,56 (0,35)	8,5 (1,7)	8,5 ± 62,4
B(b)F	55,9 (2,2)	48,7 (5,2)	552,3 ± 9,4
B(a)P	20,1 (2,3)	17,1 (2,2)	18,6 ± 3,8
B(ghi)P	19,6 (1,4)	20,3 (2,3)	20,0 ± 2,3
I(1,2,3-cd)p	15,6 (1,4)	13,6 (1,4)	14,6 ± 2,7

20. táblázat

HPLC-FL és GC-MS eredmények megadása a SRM 1974 minta elemzésére. Az adatok ng/g száraz anyagra értendők. A zárójelben megadott adatok a tapasztalati szórást (standard deviációt) adják meg. A HPLC-FL mérésnél a tapasztalati szórás hat a GC-MS méréseknél tizenkettő ismételt mérésből történtek. A mérésekhez minimálisan 15 gramm kell ahhoz, hogy az eredmények 95 %-a valódi értékkel megadott határok közé essenek, feltéve, hogy nincs rendszeres hiba.

A táblázatban megadott adatok alapján mindkét eljárás megfelelő eredményt adott. A 6 és a 12 mérésből számolt tapasztalati szórás értékei kisebbek, mint a minta specifikációnál meglévő bizonytalanság. Ez felhívja a figyelmet arra, hogy a mérések megbízhatósága sokkal jobb, mint az azt megelőző lépéseké. A mérést két lépés előzi meg a mintavétel és a mintaelőkészítés. Akár levegőből, akár vízből akár talajból veszünk mintát a mintának reprezentatívnak kell lenni az adott közegre. A mérési eredmény megadásánál meg kell adni a mérés bizonytalanságát, s így a mintavétel hibáját is becsülni kell tudni a mért minták adataiból. Az össz hiba ugyanis összetevődik ebből a két tagból:

$$\sum \sigma^2 \cong \sum \sigma_{mv}^2 + \sum \sigma_{me}^2$$

ahol: σ_{mv} = a mintavétel és

σ_{me} = a mintaelőkészítés bizonytalansága

Jól elkészített mintavételi terv nélkül az elemzési eredmények értéke kérdéses. A minták elemzését mindig az adott kor technikai és tudományos felkészültségének megfelelően tudjuk elvégezni. A technika és a tudomány fejlődésével az elemzések megbízhatósága nő és olyan komponensek interferenciamentes mérésére is sor kerülhet, amely a mintavétel időpontjában nem voltak lehetségesek. Ehhez a mintákat olyan körülmények között kell tárolni, hogy sem kémiai sem biológiai átalakulások ne történjenek, vagy azok olyan mérvűek legyenek, amelyek az eredeti komponens koncentrációkat és azok relatív eloszlását a mérési hibánál nagyobb mértékben ne változtassák meg. Ezt a célt szolgálják az Európai Unió országaiban létesített minta adatbankok, ahol -70°C vagy alacsonyabb hőmérsékleten, jól áttekinthető és dokumentált módon a mintákat tárolják. Megfelelő módszerrel a minták elemzése ezután elvégezhető és az azonos módon mért minták eredményei összevethetők. A különböző

időpontban és módszerrel mért minták eredményeinek összevetése, mivel nem ismerjük az adott módszerek módszeres hibáit, félrevezető következtetések levonását eredményezheti.

Kolonnvizsgálat (teszt) az elsődleges szennyezők elválasztására

Amennyiben a kolonna elsődleges vizsgálata (tesztje) megfelelő eredményt adott, akkor végezzük el a kolonna teljes vizsgálatát (tesztjét) a 16 elsődleges szennyezőnek tekintett PAH vegyületre. A meghatározáshoz UV detektort kell alkalmazni, a detektálási hullámhossz 254 nm. Az elválasztásnál gradiens HPLC használata szükséges. A gradiens profil a kolonnatesztnél a következő:

0 -5 perc között	50 térfogatrész A eluens
5-35 perc között	lineáris gradiens 100 térfogatrész B eluens
35-45 perc között	B eluens

Az A eluens 50 térfogatrész víz/acetonitril elegye, a B eluens acetonitril, a mozgó fázis térfogatáramlási sebessége 1 ml/perc. A retenciós sorrend a PAH elválasztására alkalmas kolonna esetén a következő:

1. Naftalin
2. Acenaftilén
3. Acenaftén
4. Fluorén
5. Fenantrén
6. Antracén
7. Fluorantén
8. Pirén
9. Benz(a) antracén
10. Krizén
11. Benz(b) fluorantén
12. Benz(k)fluorantén
13. Benz(a)pirén
14. Benz(ghi)perilén
15. Dibenz(a,h)antracén
16. Indeno(1,2,3-cd)pirén

Az egyes komponensek alapvonalon elválasztottak. Külön ügyelni kell a kritikus párokra, ezek a kritikus párok az acenaftén-flurén, benz(a)antracén-krizén, benz(ghi)perilén-indeno(1,2,3-cd)pirén. A jó kiértékelhetőség végett 20-100ng/ml között legyen a mintakoncentráció.

Kalibráció fluoreszcens detektorral

A kalibrációhoz a **SRM 1647c** számú, vagy azzal egyenértékű kalibráló elegyet kell használnunk. Az SMR 1674c számú hitelesített kalibráló elegyet 100., 200., 400. és 500. részére kell hígítani. A hígított mintákat kétszer kell a kolonnára adagolni. Az átlagolt kromatográfiás görbe alatti területekből és az egyes komponensek koncentrációjából a komponensekre vonatkozó kromatográfiás érzékenység számolható. Ezekből a kromatográfiás érzékenységekből a mintavételi idő is megadható. A mérési és gerjesztési hullámhosszak megegyeznek az elméleti részben megadottakkal. A mérési jegyzőkönyvben

meg kell adni a kalibrációs egyeneseket, az egyenesek egyenleteit és a korrelációs együtthatókat (koefficienseket).

Többgyűrűs aromás-szénhidrogének meghatározása ivóvízben

A kolonna kiválasztás és kalibrációs lépés megegyezik a PAH-ok meghatározása levegőből leírtaknál megadottakkal. A lényegi különbséget a mintaelőkészítés és az eredmények igazolása (verifikációja) jelenti. Az ivóvíz viszonylag egyszerű vivőanyagnak (mátrixnak) tekinthető a környezetvédelmi analitikában. A problémát a viszonylag kis megengedett, hatóságilag megadott határérték jelenti. A kis határértékek azt jelentik, hogy a vízmintákban a PAH-okat dúsítani kell. Erre alapvetően két módszer áll rendelkezésünkre. A folyadék-folyadék vagy a folyadék szilárd extrakció. Napjainkban kezd elterjedni az oldószermentes szilárd fázisú mikroextrakció. Az utóbbi módszernél kalibrációs problémák még nem teljesen megoldottak, így általános használata még nem elterjedt. Környezetvédelmi szempontból viszont rendkívül előnyös, mert nem használ oldószert. Nincs a mintaelőkészítésnek veszélyes hulladéka.

A folyadék-folyadék extrakció nagy mennyiségű nagy tisztaságú oldószert igényel, ezért ivóvíz PAH koncentrációjának meghatározására ma már gyakorlatilag nem használják. Az alkalmazott módszerek többsége a folyadék-szilárd vagy szolgai fordításában szilárd fázisú extrakción alapul. Ezt a minta előkészítést is két módon lehet elvégezni. Az egyiknél a mintaelőkészítés elkülönül a méréstől, (ez az off-line módszer), a másik módszernél a mérési rendszerhez csatlakozik a mintaelőkészítés (kényszerkapcsolat), ezt nevezzük on-line mintaelőkészítésnek. Az off-line módszernél a minta töredéke kerül mérésre az on-line-nál az előkészített minta teljes mennyiségben mérésre kerül.

Mintaelőkészítés az ivóvíz minták elemzéséhez

Az ivóvíz mintákban a nagyobb gyűrűszámú PAH-ok szilárd részecskéhez kötötten fordulnak elő döntő többségben. Amennyiben a szilárd részecskék felületén kötött és az oldott (szabad) PAH viszonyára vagyunk kíváncsiak akkor a vizet 0.22 µm-es szűrőn szűrjük és a két részt külön-külön mérjük. A mintavételhez csak jól tisztított barna színű (sötét) üveget szabad használni. Az üvegben a mintának a térfogat minimum 90%-át ki kell tölteni. Mintavétel után hűtőszekrényben kell tárolni a vízmintákat. Ha nem kell külön meghatározni a kötött és szabad PAH koncentrációját, akkor a mintatároló edénybe 150 cm³ acetonitrilt teszünk és a mintavételhez ehhez adunk 750 cm³ ivóvízmintát.

Szabad és kötött PAH-ok meghatározása

A meghatározás csak szerves oldószert nem tartalmazó ivóvíz mintából végezhető el. 1 dm³ vízmintát 0.22 µm-es membránszűrőn leszűrünk. Ez vízsugárszivattyúval időigényes feladat. Olajos vákuumszivattyúval a szűrés időtartama jelentősen csökkenthető. A szűrőpapírt gondosan tisztított ollóval kis darabokra kell vágni és 200cm³-es főzőpohárba tenni. A szűrőpapírról a PAH-ok extrakcióját nagy tisztaságú diklórometánnal kell elvégezni ultrahangos tisztítófürdőben. A szűrőpapírhoz kétszer 100 cm³ diklórometánt adunk és 15 percig végezzük a PAH-ok leoldását. Az extraktumokat egyesítjük és vákuumban kb. 5 cm³-re bepároljuk. A mintákról a diklórometánt ezután nitrogénes lefúvással teljes mértékben eltávolítjuk. Az extrakciós maradékot 0.5 cm³ acetonitrilben oldjuk. Az oldást kémcsőkeverő és ultrahangos fürdő alkalmazásával végezzük el. Mérésre az acetonitriles oldat kerül a gradiens elúciós eljárással.

A szabad, oldott PAH-ok meghatározására a szűrletet használjuk. A szűrlethez kb. 20% acetonitrilt teszünk és a dúsítást folyadék-szilárd extrakcióval (szilárdfázisú extrakció) végezzük el. Erre a célra apoláris felületű adszorbenst kell alkalmazni. A C-18-as módosított szilikagél alapú töltetek közül a nagy pórusátmérőjű erre a célra megfelelő. A mintadúsító és tisztító kolonnákat felhasználás előtt tisztítani kell. Az apoláris kolonna szennyezőket diklórmetános mosással távolítjuk el. A kolonnán 5 cm³ diklórmetánt szívunk át, vagy fecskendővel nyomunk át. Ez a mintadúsító kolonna geometriai kialakításától függ. A diklórmetános mosást követi az acetonitriles mosás és végül a kolonna kondicionálása 20 térfogatrészes acetonitril tartalmú nagy tisztaságú vízzel. A minta felviteléhez vákuumot alkalmazhatunk. A minta átáramlási sebessége nem lehet nagyobb, mint 8-10cm³/perc. A PAH-komponenseket a kolonnáról diklórmetánnal oldjuk le. Ehhez a kolonnát meg kell szárítani. A mintadúsító kolonnán nagy tisztaságú nitrogént áramoltatunk keresztül 30 percig. A megszáritott oszlopról 5cm³ diklórmetánnal oldjuk le a PAH vegyületeket. A diklórmetánt nitrogénnel lefűjjük, a száraz maradékot acetonitrilben (0.5 cm³) feloldjuk. Ezt a mintát használjuk fel mérésre. Mérésre ez az acetonitriles oldat kerül gradiens elúciós módszerrel.

Össz PAH meghatározás ivóvízben

Össz PAH meghatározásakor a mintát 2 µm pórusátmérőjű szűrőn szűrjük, és a szűrletet használjuk fel mérésre. Az eljárás megegyezik a szabad PAH meghatározásnál leírtakkal.

Ivóvizek nagy gyűrűszámú PAH vegyületeinek meghatározása

Az ivóvizek PAH tartalmára az egyes nemzeti előírások sok esetben csak a benz(a)pirén meghatározását írják elő. A benz(a)pirén ugyanis bizonyítottan rákkeltő hatású. A meghatározásnál ekkor ugyanazon vívőanyagú (izokratikus) elválasztást lehet használni. A kolonna kiválasztására ugyanazok a szabályok érvényesek, mint a gradiens elúciós módszernél.

Tájékoztatásul közlünk néhány erre a célra elfogadott kolonnát és a minősítésére felhasznált B(a)p/TBN relatív retencióját.

kolonna neve	B(a)P/TBN relatív retenciója
Bakerbond C-18 wide-pore	0,56
Hypersil Green PAH	0,58
Phenomenex Envirosep PP	0,58
Chromospher PAH	0,59
Biorad RP 318	0,59
Supelcosil LC-PAH	0,63
Vydac 201 TP	0,74
Spherisorb PAH	0,82
Erbasil c-18 H	0,91

21. táblázat

A kereskedelmi forgalomban kapható PAH analízisre alkalmas kolonnák

A fenti kolonnák használatakor nem kell az elsődleges kolonna tesztet elvégezni, mert ezt a forgalomba hozatal előtt elvégzik. El kell viszont végezni az elválasztási tesztet a nagyobb gyűrű tagszámú PAH-okra.

Ezek a következők:

	gerjesztési hullámhossz	mérési hullámhossz
benz(b)flurantén	295	425
benz(k) fluorantén	296	405
benz(a)pirén	296	405
dibenzo(a,h) antracén	296	405

22. táblázat

Az ivóvíz nagy gyűrűszámú PAH és benz(a)pirén meghatározásakor kolonna vizsgálatra (tesztre) használt vegyületek. és gerjesztési és mérési hullámhosszuk.

A tesztnél a mozgó fázis összetétel 85 térfogatrész acetonitril 15 térfogatrész nagytisztaságú víz. A mozgó fázis térfogatáramlási sebessége: 1 cm³/perc. A gerjesztési és detektálási hullámhosszakat a mérendő vegyületeknél adtuk meg. Amennyiben a vegyületek alapvonalon elválnak és a benz(a)pirén visszatartási tényezője $k < 5$. akkor a rendszer alkalmas a mérésre. Ha $k > 5$, akkor a mozgó fázis acetonitril tartalmát 5 térfogatrésszel növeljük, ha $k < 2$ akkor a víztartalmat növeljük ugyanilyen mértékben.

A minta előkészítés megegyezik az előzőekben leírtakkal.

Valós talajminták vizsgálata

Olajtartalom meghatározása

Összes szénhidrogén meghatározására a következő módszereket alkalmaztunk: a klasszikus oxidimetriás titrálásos módszert, az infravörös spektroszkópiás módszert, valamint a gőztéranalízis. Emellett minőségi azonosításra a GC-MS eljárást is felhasználtuk.

Oxidimetriás módszer: A feltáró üvegedénybe bemértünk kb. 5 g talajmintát, ráértünk 12 ml széntetrakloridot. Ezután a minta kötöttségétől függően hozzáadtunk 1-3 ml habosító (H) reagenst. Az acélrudas keverővel 1-2 percig kevertettük, majd ráértünk 0,2-0,5 ml ammónia reagenst és a keverést addig folytattuk, míg a habosító reagens el nem bomlott (kb. 0,5 perc). Ezután a széntetrakloridos fázist egyszerűen leöntöttük vizsgálat céljára. Ebből az extraktumból 4,13 ml mennyiséget titráltunk meg, és a mérőoldat fogyásából számítottuk ki az összes szénhidrogén mennyiségét. (Az oxidimetriás módszer részletes leírását és kidolgozását az I. munkaszakasz 2. Részfeladatában írtuk le.)

Vonatkoztatási (standard) oldatként a kerozin széntetrakloridos oldatát titráltuk meg, melyből a mérőoldat titrálási faktorát számítottuk ki.

Infravörös spektroszkópia: A feltárási lépés hasonló volt az oxidimetriás titrálásnál. Az extraktumból 2-3 ml mennyiséget öntöttünk a küvettába, és mértük az elnyelést.

Mennyiségi meghatározáshoz a kerozin széntetrakloridos oldatából kalibrációs sort készítettünk.

Gőztéranalízis: A talajmintákból kb. 2 g mennyiségek kerültek bemérésre, melyekhez 0,5 g Silicagel 60 szárítószert adtunk vízmegkötés céljából.

Viszonyító oldatokként különböző hígítású kerozin elegyeket használtunk, valamint a Perkin Elmer n-alkán sorozat R-6 és R-12 STD mintáját. Az összehasonlító elegyekből (K-Hordó, K-Kút) 0,5 ml-t mértünk be egy-egy 5 ml-es mérőlombikba, amit hexánnal jelre töltöttünk. Ezekből a törzsoldatokból 1, 2, 3 µl-t mértünk be a mintatartókba. Az n-alkán sorozatot csak minőségi azonosításra használtuk; a kerozin C₉-C₁₅ szénatom számú illékony komponensekből áll.

Headspace:

Készülék: Perkin Elmer Headspace Sampler HS40

Termosztálási idő: 10 perc

Termosztálás hőmérséklete: 100°C

Tű hőmérséklete: 155°C

Injektálási idő: 0,5 perc

Vivőgáz, nyomása: N₂, 160 psi

Gázkromatográf:

Készülék: Perkin Elmer Autosystem XL Gas Chromatograph

Kolonna: VOCOL, 60m x 0,53mm x 3 □m

Kolonna hőmérséklet: 70°C, 40°C/perc 120°C-ig

120°C-on 2 perc tartás

10°C/perc 210°C-ig

210°C-on 2 perc tartás

Detektor, hőmérséklete: FID, 250°C

Injektor hőmérséklete: 150°C

GC-MS eljárás: Ezzel a módszerrel csak minőségi elemzést tudunk végezni

Gázkromatográf:

Készülék: Perkin Elmer Autosystem XL Gas Chromatograph

Kolonna: HP-5MS, 50m x 0,20mm x 0,33 □m

Kolonna hőmérséklet: 40°C-on 3 perc tartás

4,5°C/perc 175°C-ig

175°C-on 2 perc tartás

Detektor: MS

Vivőgáz: He

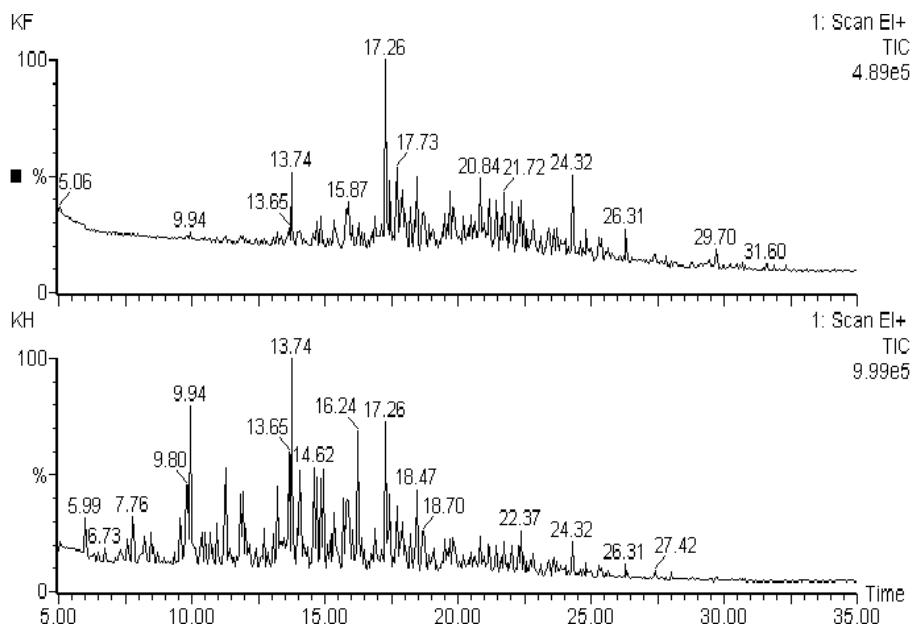
Split: -0,5 perc – ki

3,0 perc – be (40 ml/perc)

4,0 perc – ki

MS:

Tömegszám: Full Scan (50-250 m/e⁻)



5. ábra A K-Hordó és a K-Kút jelű referenciák kromatogramjai

PAH tartalom meghatározása

A poliaaromás szénhidrogének meghatározására folyadék kromatográfias eljárást alkalmaztunk.

A talajmintákból kb. 5 g mennyiségeket kb. 10 g Na₂SO₄-tal összekevertünk, majd ebből 15 g-ot bemérve 3x 5 percen keresztül ultrahangban 20 ml hexánnal extraháltuk a talajokat. Az összeöntött extraktumokat rotadeszt és lefűvátás segítségével 1 ml-re pároltuk be. Ezután hozzáadtunk acetonitrilt, és lefűvátással a maradék hexánt is eltávolítottuk.

Standardként néhány, a kerozinban előforduló PAH vegyületet mértünk.

Az olajminták esetében a mintaelőkészítés úgy történt, hogy 2,5 g mintát 10 ml acetonitrillel extraháltunk 15 percen keresztül ultrahangos fürdőben. A felülúszót egy 0,45 µm-es szűrőn leszűrtük, majd az acetonitriles fázis 2 ml-éhez 2 µl vizet adva Sep-Pak C₁₈ kolonnán átnyomtuk. A kolonnáról eljövő első 10 cseppet eldobtuk, a többit felfogtuk, és ennek 100 µl-ét 10 ml-es lombikban 50/50 ACN-víz elegyével felhígítottuk. Végül ez a mintaoldat került injektálásra.

Folyadékkromatográf:

Készülék: Merck Hitachi

Kolonna: Supelco Silica PAH 25,0cm x 4,6mm x 5µm

Eluens: 70:30 ACN-víz

Detektor: FL, UV

Minta	THC			PAH
	Oxidimetria	IR	HSGC	HPLC
	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(μ g/kg)
4 (0,0)	118,3	-	71,7	10,6
4 (0,5)	423,2	545,9	51,3	13,9
4 (1,0)	247,5	341,7	106,8	13,1
4 (1,5)	1436,4	1290,7	78,8	69,2
4 (2,0)	844,9	769,8	70,0	21,8
5 (0,0)	199,6	199,7	45,0	1,6
5 (0,5)	1440,5	1587,1	65,0	13,7
5 (1,0)	697,5	650,8	65,5	31,3
5 (1,5)	346,0	293,3	30,6	18,6
5 (2,0)	844,9	676,1	56,1	15,0
6 (0,0)	116,3	133,8	46,5	2,2
6 (0,5)	166,1	161,5	51,9	2,5
6 (1,0)	239,5	244,1	71,4	8,4
6 (1,5)	813,5	899,5	-	40,6
6 (2,0)	760,4	605,9	64,1	44,2
I/1 (0,6)	41,7	-	-	502,9
I/1 (1,6)	3332,2	-	-	267,6
I/2 (0,6)	41,7	-	-	348,5
I/2 (1,6)	2776,8	-	-	0,2
I/3 (0,6)	138,8	-	-	227,7
I/3 (1,6)	7775,0	-	-	9252,2
I/4 (0,6)	55,5	-	-	2329,9
I/4 (1,6)	3054,5	-	-	1,5
I/5 (0,6)	305,4	-	-	3613,1
I/5 (1,8)	2499,1	-	-	1193,7

23. táblázat Az oxidimetriás titrálás, IR, HS-GC és HPLC mérési adatok

Valós talajvízminták vizsgálata

Olajtartalom meghatározása:

A vízminták olajtartalmának meghatározását oxidimetriás titrálással és infravörös spektroszkópiás módszerrel végeztük.

Oxidimetriás módszer: A vízmintákat először leszűrtük, hogy a lebegő anyagokat eltávolítsuk. Ezután egy extrakciós műveletet végeztünk, melynek során a szennyezőket CCl_4 oldószerbe vittük át. A vizsgálandó talajvízből 100 ml mintát kb. 0,5 ml 1:1 hígítású kénsavval megsavanyítottuk. Ezután 10 ml speciális tisztaságú széntetrakloriddal rázótlécsérben kiráztuk, majd a műveletet még kétszer megismételtük, végül az extraktumokat egyesítettük. Standard oldatként a kerozin széntetrakloridos oldatát titráltuk meg, melyből a mérőoldat titrálási faktorát számítottuk ki.

Infravörös spektroszkópia: A szűrés után a vízmintából 50 ml mennyiséget 2x 25 ml speciális tisztaságú széntetrakloriddal extraháltuk ki rázótlécsérben.

Mennyiségi meghatározáshoz a kerozin széntetrakloridos oldatából kalibrációs sort készítettünk.

PAH tartalom meghatározása:

A poliaaromás szénhidrogének meghatározására folyadék kromatográfias eljárást alkalmaztunk.

A vízmintákat (4F5, 4F6, 4T3) először megszűrtük a lebegő anyagoktól, majd azokból 200 ml mennyiséget nyomtunk át Sep-Pak C₁₈ kolonnán dúsítás céljából. A leoldás 0,5 ml acetonitrillel történt.

Szűrés után a vízminták (bemenő, kimenő) 150 ml-éhez kevés metanolt adtunk, hogy 3%-os legyen a metanol tartalom. Ezután aktivált Sep-Pak C₁₈ kolonnán dúsítottuk a mintákat, végül a leoldást 2,5 ml acetonitrillel végeztük.

Standardként néhány, a kerozinban előforduló PAH vegyületet mértünk.

minta	THC		PAH	minta	PAH
	Oxidimetria	IR	HPLC		HPLC
	(mg/l)	(mg/l)	(µg/l)		(ppb)
kútvíz	-	274,8	-	terra4F5	0,43
bemenő	1,6	-	0,08	terra4F6	0,38
kimenő	2,5	-	1,21	terra4T3	0,13

27.táblázat

Vízminták vizsgálatának eredményei

Enzimgátláson alapuló szennyezettség meghatározása:

Bizonyos enzimek egyes anyagok átalakítása vagy bontása során fényt emittálnak; az ezen alapuló mérési eljárásokat kemilumineszcenciának nevezzük. A kibocsátott fény intenzitását a rendszerben jelen lévő szennyező anyagok csökkentik, így a fény emisszió mérésével, az enzim működés gátoltságával következtethetünk a szennyezettség mértékére. Ez az eljárás csak vizes közegben alkalmazható, de előnyeként említhető a mérés gyorsasága és a helyszínen történő mérés lehetősége, ezenkívül összehasonlítható eredményeket szolgáltat a KOI és BOI mérésekkel.

Kemilumineszcencia: 1 ml vízmintát tettünk az átlátszó műanyag mintatartóba, az oldathoz 100 µl ún. Signal reagenst adtunk automata pipettával. Az enzim reagensből 20 µl-t adunk az elegyhez, majd a mérést azonnal elindítottuk. Egy mérés 4 percig tartott. A mérések során egy gátoltsági %-ot kaptunk, mely azt mutatta, hogy az enzim működése során a kibocsátott fény hány százaléka jelent meg az adott mintánál az előzetesen lemerített referenciához képest. A gátoltsági százalék végső soron két részből tevődik össze: az egyik az, hogy a szennyező mennyiben gátolta az enzim működését, a másik pedig, hogy a szennyező anyag az emittált fényből is elnyel, mielőtt az a detektorba jut.

Referencia oldatokként kétszer desztillált vizet, illetve csapvizet mértünk.

Néhány talajmintából vizes kivonatot készítettünk, hogy összehasonlításokat tudjunk végezni más módszerekkel. Ezt úgy végeztük, hogy 10 g talajra 50 ml kétszer desztillált vizet öntöttünk, majd 1 napig állni hagytuk. Ezután leszűrtük a vizet eluens szűrőn és mértük a gátoltságot.

Referencia: csapvíz		1265682
minta	hígítás	%
bemenő víz	1	38
kimenő víz	1	30
I/1 (0.6)	1	59
I/1 (1.6)	5	49
I/2 (0.6)	1	50
I/2 (1.6)	5	26
I/3 (0.6)	1	59
I/3 (1.6)	5	73
I/4 (0.6)	1	28
I/4 (1.6)	5	60
I/5 (0.6)	1	59
I/5 (1.8)	5	23

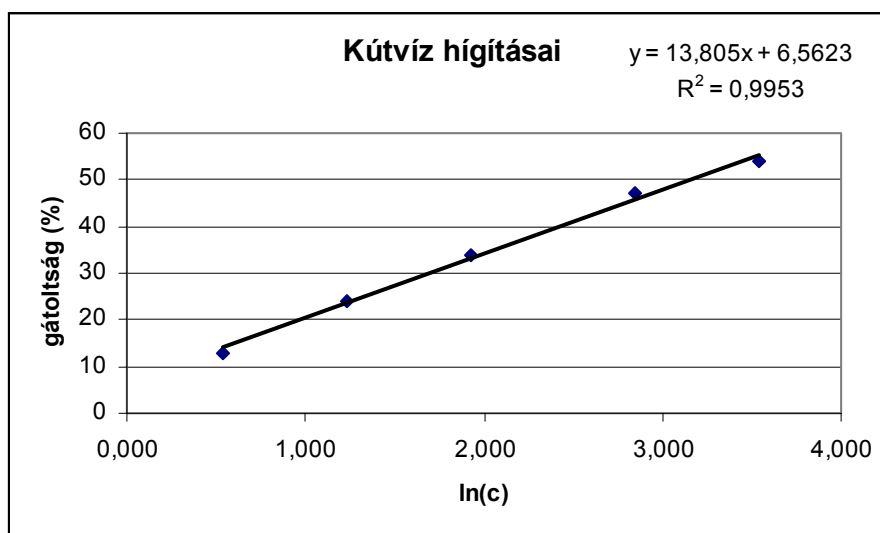
28.táblázat

Vízminták és talajminták vizes extraktumainak vizsgálata

kútvíz	hígítások	c (ppm)	ln(c)	%
343,5 ppm	2	171,75	5,146	95
	5	68,70	4,230	78
	10	34,35	3,537	54
	20	17,18	2,843	47
	50	6,87	1,927	34
	100	3,44	1,234	24
	200	1,72	0,541	13

29.táblázat

Kútvíz minta hígítási sorának eredményei



13.diagram

A valós minták eredményeinek összefoglalása

A 23.táblázat adatai alapján az alábbi következtetések vonhatók le:

Az oxidimetriás és IR módszerrel kapott eredmények a kísérleti metodika határain belül azonos eredményeket adtak.

A HS-GC (automatikus gőztéranalizátorral ellátott gázkromatográf) eredményei egy nagyságrenddel kisebb adatokat szolgáltatottak. Ennek oka az, hogy a maradék olajkomponensek egy jelentős része nagyobb forráspontú, elágazó, nehezen bontható és aromás szénhidrogén. A természetbe kikerülő ásványolaj ipari termékek (olajok) komponense közül a természetes biodegradációban könnyen bonthatók a nyílt szénláncúak, a több gyűrűsök csak kisebb sebességgel. Az oxidimetriás, az IR és a HS-GC adatok alapján valószínűsíthető, hogy nemcsak kerozin szennyezés, hanem nagyobb forráspontú szénhidrogén tartalmú szennyeződés is érte a múltban a területet. Ez valószínűleg a vontatáshoz és egyéb szállításokhoz használt járművek hajtóanyaga, azaz gáz- vagy dízelolaj. A HPLC-fluoreszcens detektálással elvégzett mérések is az előbbi feltevést támasztják alá (23. táblázat utolsó oszlopa). A K-Hordó és a K-Kút többgyűrűs aromás tartalma jelentősen eltér a talajmintákétól; talajokban a nagyobb számú többgyűrűs szénhidrogének (PAH-ok) mennyisége jelentős. A nem vizes, elkülönülő fázisban is lassú biodegradáció és/vagy kémiai oxidáció eredményeképp az aromás tartalom 50-60%-ban csökken.

Összefoglalva az előzőekben leírtakat, a területen a többgyűrűs szénhidrogén (PAH) maradványok jelentik a nehezen lebontható komponenseket. A PAH-ok egyben bioindikátorai is a lebontási folyamatnak. A modell kísérleteknél alapvető tehát annak vizsgálata, hogy az aromás és a többgyűrűs aromás szénhidrogénekből mennyi marad változatlan formában. Mivel bizonyítást nyert, hogy az egyik többgyűrűs szénhidrogén (PAH) forrás a gáz- vagy a dízelolaj, így a módszertani kidolgozásnál a jól definiált és kereskedelmi forgalomban közel azonos összetételben kapható gázolajat alkalmaztuk.

Összefoglalás

Kétrészes cikkünk a környezetvédelem legaktuálisabb kérdésével, az olajszenyezések meghatározásával foglalkozott. Megpróbáltuk úgy összefoglalni ezt a hatalmas anyagot, hogy az közérthető legyen, ugyanakkor a szakmabeliek is találjanak benne olyan információt, ami elegendő arra, hogy az analitikai feladat megoldásában segítséget adjon.

Irodalmi összefoglalót az első részben adtunk, ebben a második részben azonban már tényleges módszerleírásokat adunk. A gyakorlati példa bemutatása lehetőséget ad arra, hogy érzékeljék, mennyire nem egyszerű egy ú.n. "olajszenyezés" behatárolása, a biológiai lebomlás nyomon követése, vagy egyáltalán a "koncentráció" meghatározása.

Összehasonlítottunk több, jelenleg is szabványos, illetve elfogadott módszert, bemutatva azt, hogy egyetlen mérés nem elegendő a teljes szennyezés minden elemének meghatározására. Az is világosan látszik, hogy a "divatos" GC-MS módszer mennyire nem ad helyes képet az olajszenyeződés milyenségéről, de sokszor a mennyiségi meghatározással is baj van. Egy-egy katasztrofális olajkiömlés felszámolásához **MINDIG** többoldalú vizsgálat szükséges, mert ennek hiányában sokszor a katasztrófa mind térbeli, mind biológiai hatás kiterjedése nem határozható meg.

Hadd zárjuk cikkünket egy James Lovelock-tól származó idézettel, mely azt példázza, mennyire ki vagyunk szolgáltatva a természet erőinek:

"Nem a Föld sérülékeny, hanem mi magunk. A Természet az általunk előidézetteknél sokkal nagyobb katasztrófákat is átvészelt már. A tevékenységünkkel nem pusztíthatjuk el a természetet, de magunkat annál inkább."

Az ipari nyomásmérés tipikus véletlen hibáinak áttekintése és értékeinek becslése

Reményi Tibor*

A GUM 1995-ös megjelenése óta vitatottá vált a "véletlen hiba" és a "véletlen bizonytalanság" fogalmának használata is. Azóta is folynak az elvi és az alkalmazástechnikai viták tulajdonképpen az egész GUM-ról, ezen belül a rendszeres és véletlen hibák elkülönített kezeléséről valamint a belőlük származtatott mérési bizonytalanságok számítási módjáról.

Mindenesetre a legújabb külföldi szakirodalom valamint az ISO és CEN szakbizottságai teljes határozottsággal és egyértelműséggel használják a hibák természetének fenti osztályozását, és a megjelenő dokumentumokban világosan szerepel a rendszeres és véletlen hibák megkülönböztetése. Elég csak utalni az ISO/TR 5168: 1998(E) - nálunk is ismert - kiadványra, amely az anyagáram-mérések bizonytalansági elemzéséről és ajánlott számítási eljárásáról szól.

Kétségtelen, hogy alapos létjogosultsága van az ipari mérésekben és a folyamatműszerezésben is a véletlen hibák és bizonytalanságok figyelembe vételének.

A jelen cikkben azokat a fizikai és technológiai okokat és jelenségeket foglaljuk össze, amelyek nagy valószínűséggel a nyomásmérések véletlen jellegű hibáinak létrejöttéhez vezetnek.

A fogalmak tisztázása

A VIM (Nemzetközi metrológiai értelmező szótár 1998-as magyar szövege) szerint: "véletlen hiba = a mérési eredmény mínusz az az átlagérték, amely ugyanazon mérendő mennyiség megismételhetőségi feltételek között végzett végtelen sok mérésének eredményeül adódna".

Az MSZ EN 24006:2002 (Folyadékáram mérése zárt csővezetékben. Fogalmak és jelölések) 5.19. bekezdése szerint:

"Véletlen hiba: a mérési hibának az az összetevője, amely ugyanannak a mennyiségnek többszöri mérése során előre nem látható módon változik."

Az ISO/TR 5168:1998 dokumentum 4.2 fejezete a következőket mondja a véletlen hibákról:

"A véletlen hibákat sokféle, általában kicsiny és egymástól független hatás okozza, amelyek megakadályozzák, hogy a mérendő mennyiség ugyanazon értékeiről minden esetben ugyanazt a leolvasási (kijelzési, kimeneti) értéket kapjuk. A leolvasási értékek egy átlagérték körül szórnak a véletlen eseményekre érvényes statisztikai algebra törvényszerűségei szerint. A véletlen hibákat gyakran a pontossági (precíziós) hibákkal azonosítják. ..."

Ugyanezen dokumentum 5.2 fejezetében, többek között, az áll, hogy:

"A véletlen bizonytalanság értékét az ismételt mérések adatainak statisztikai elemzéséből származtatjuk, míg a rendszeres bizonytalanság becslése nem statisztikai módszerekkel történik."

Több forrást nem idézek, csak hangsúlyozom, hogy a tárgyra vonatkozó egyéb nemzetközi kiadványok, valamint a műszergyártó és rendszerszállító nagy cégek és kalibráló állomások hasonló módon kezelik a véletlen és rendszeres hibákat.

* Flow-Cont Kft.

A véletlen hibák eredete

Fizikai származásukat tekintve a nyomásmérés véletlen hibáinak forrásai a következők lehetnek:

1. Természetes technológiai ingadozások
2. Meteorológiai jellegű barometrikus ingadozások
3. A mérendő anyag mozgására visszavezethető nyomásváltozások
4. A mérendő anyag helyi inhomogenitásából származó bizonytalanságok
5. A nyomásmérő eszközből eredő járulékos hibák és zajok
6. A nyomástéren belüli átlagolás hibái
7. A nyomásvételi hely kialakításából jövő hidrosztatikai ingadozások

A fenti hibaforrások némelyikének hatása nyilvánvaló és könnyen belátható, vannak azonban olyan rejtett folyamatok, amelyeknek eredőjeként jöhet létre nem elhanyagolható véletlen hiba, és ezek feltárása és azonosítása nem mindig egyszerű feladat.

A számításba veendő véletlen hibák nagyságának meghatározása még nehezebb feladat. Általában csak valamilyen becslés jöhet szóba, amit hosszú idejű megfigyelésekre, esetleg közelítő elméleti számításokra lehet alapozni.

Tényleges mérésre igen ritkán van lehetőség, legtöbbször azért, mert nem áll rendelkezésre olyan érzékeny és gyorsműködésű nyomásmérő-analizátor, amellyel rögzíteni tudnánk a kis mértékű ingadozásokat. Arra kell itt gondolni, hogy pl. egy 6 bar-os vízhálózaton kellene kimutatni 200 ...500 Pa vagy egy 1,2 bar-os kisnyomású gázvezetékben 50...150 Pa nagyságú nyomásváltozásokat.

Ahol az ilyen kutatás jellegű feltáró mérésekből komoly gazdasági haszon remélhető és van is rá elég pénz, ott végeznek ilyen méréseket. Szakirodalomból ismert például a nagy észak-amerikai gázszállító hálózatokon lefolytatott olyan mérés-sorozat, amelyet a mérőperemes mérőhidakon 0,005 mbar (0,5 Pa!) felbontású érzékelőkkel és digitális gyorsregisztrálóval végeztek annak érdekében, hogy adatokat gyűjtsenek az úgynevezett "négyzetgyökvonási hiba" természetére és nagyságára vonatkozóan. [1]

A véletlen hibák fajtáinak elemzése

1. Természetes technológiai ingadozás

Ez a hibanem lényegében a mérendő nyomástér természetes változásainak olyan ingadozásait hívatott valamilyen módon kifejezni, amelyeket az iparban általában alkalmazott nyomásmérők és nyomástávadók nem tudnak pontosan követni. Minden nyomástávadónak van egy érzéketlenségi sávja, holtideje és jelkövetési sebességhatára. Ezek az eszköztulajdonságok teljesen normálisak és a gyakorlatban nem szüntethetők meg. Ennek a hibakomponensnek az értéke a korszerű p/i távadók esetében nagyon kicsiny, a gyakorlati számításokhoz irányadónak lehet elfogadni a 10...20 Pa (= 0,0001...0,0002 bar) adatot.

A természetes ingadozás lehet olyan jellegű, hogy valami miatt nem jelenik meg a nyomástérnek azon a pontján, ahol a nyomásmérő elvételi pontja van. Ilyen eset, például akkor áll elő, amikor olyan nyomáshullám keletkezik a mérendő térben, amely a mérési

célfüggvényt befolyásolja, de a p/i távadó beépítési pontjához érve már annyira lecsillapodik, hogy biztonságosan nem érzékelhető.

Az ebből a jelenségből származó hibát csak a kimutatott lengések térbeli kiterjedésének és időtartamának ismeretében lehet becsülni.

2. A légköri nyomás ingadozása

Ennek a véletlen hibának akkor van jelentősége, amikor a mérőrendszerekben nem abszolút nyomástávadót használunk.

A túlnyomást mérő eszközök mindig a külső (mindenkori légköri) vonatkoztatási nyomáshoz képest mérik a technológiai nyomástér nyomását.

A gáztechnikai és termodinamikai számításokban általában mindig az abszolút nyomás számértékét kell használni. Ebből következik, hogy - amennyiben csak a túlnyomást mérjük - akkor az ehhez állandóként hozzáadott légköri nyomás értékének természetes ingadozása véletlen hibaként jelenik meg a teljes mérőrendszerben. Most attól az esettől eltekintünk, amikor valamilyen meteorológiai megfigyelés alapján az adott földrajzi helyen időszakos korrekciót alkalmaznak, és így gyakorlatilag nem számolnak ilyen jellegű egyéb hibával.

Közép-európai meteorológiai adatok alapján a 95 ...120 m tengerszint feletti magasságokon átlagosan ± 15 hPa (mbar) lehet a mérvadó ingadozás, amiből származtathatjuk a véletlen hibáknak ezt az összetevőjét . [2]

3. Az anyagmozgásokból eredő nyomásingadozások

Áramló és/vagy örvénylő anyagokban a helyi nyomás különbözik a vizsgált térrész átlagos nyomásától, illetve a névleges állandósult (statikus) nyomástól.

A lamináris áramlások tartományában az áramlás irányában mérhető nyomásesés lineárisan függ az áramlási sebességtől, a turbulens tartományban ez az összefüggés négyzetessé válik [$\Delta p = p_1 - p_2 = (\rho/2) \cdot \zeta \cdot v^2$].

Természetesen a mérési célfüggvény és a mérőrendszer felépítése szempontjából mérvadó nyomást igyekszünk mindig azon a helyen (ponton) mérni, amely a lehető legközelebb van ahhoz a térrészhez, amelynek fizikai mennyiségeit mérni kívánjuk. Gondoljunk csak a mérőperemes mérés nyomásvételi helyeinek kialakítására vagy egy folyadéktartály oldalán elhelyezett nyomásmérőre!

A hibáknak itt azokról az eseteiről beszélünk, amelyek valószínűleg **megmaradnak** az ismert korrekciók elvégzése után is. (Pl. ha már figyelembe vettük, hogy egy kis átmérőjű csövön a vizsgálandó helytől csak nagyobb távolságra van módunk nyomásmérőt elhelyezni, és ismerjük a csőben áramló anyag átlagsebességét, amiből már megbecsülhetjük a kívánt pontban uralkodó nyomást.)

A "maradék" véletlen hiba abból adódik, hogy pontosan sem a csősúrlódási tényezőket, sem a helyi sebesség pontos értékét nem ismerjük, ráadásul a mozgó anyag aktuális sűrűsége magának a nyomásnak is függvénye, így többszörös függvénykapcsolatról van szó.

Ezek közelítő megoldása is elég bonyolult fokozatos közelítési (iterációs) eljárással lehetséges. Mindenesetre ennek a hibaösszetevőnek a becslése alapos megfontolást igényel,

és tipikusan olyan feladat, amelyhez a helyi technológiai folyamat részletes ismerete szükséges.

Tájékoztató példaként megadom, hogy mekkora nyomásváltozás áll elő egy DN 25 méretű acélcsőből épült hálózat 1,5 m hosszú egyenes szakaszán, amelyen belül 1 db teljesen nyitott túszelep van, a csőben levegő áramlik ~25 m/s sebességgel, a vezetékszakas belépő pontján pedig a nyomás 6 bar_g. Hőmérsékleti változással nem kell számolni.

Az gázkinetikai áramcső elméletből ismert összefüggés alapján számolhatjuk a nyomásesést. Eszerint

$$\Delta p = \left(\frac{\rho}{2}\right) * v^2 * \left[\zeta + \left(\frac{L}{d}\right) * \lambda\right],$$

ahol

Δp = a nyomásesés

ρ = a gáz aktuális sűrűsége az áramlásban

v = a gáz átlagsebessége

ζ = a veszteségi tényező

L = a csőszakasz hossza, amelyben az anyag áramlik

D = a cső átmérője

λ = csősúrlódási (vagy hidraulikus ellenállási) tényező

Behelyettesítve a megfelelő értékeket (a származtatást ezúttal mellőzve):

$$\Delta p = 4,5 * 25^2 * \left[6,8 + \frac{1,5}{0,025} * 0,015\right] = 21656 \text{ Pa} \approx 0,22 \text{ bar}$$

Talán meglepő, de ez bizony nem is olyan kicsiny nyomásesés! Ha ebben az esetben véletlen hibaként ennek csak 10%-át vesszük fel, akkor is 2000 Pa körüli értéket kapunk!

Az anyag mozgásából adódó másik véletlen jellegű nyomásbizonytalanság az örvénylő térrészekben keletkezhet. Ha a mérőhely közelében bármilyen technológiai ok miatt az áramlásban helyi perdületesség vagy egyéb örvényleválás keletkezik, akkor ez bizonyosan megzavarja a közelében lévő nyomásmérő értékmutatását és/vagy kimenőjelét.

Természetesen az ilyen eseteket lehetőleg el kell kerülni, ha azonban az lehetetlen, akkor akár 500...1500 Pa -os véletlen hibákkal is számolni kell.

4. Az anyag inhomogenitásából származó véletlen hibák

Az ipari gyakorlatban nem ritka eset, hogy a tisztán folyadéknak feltételezett közegben lég- vagy egyéb gáznemű zárványok, buborékos részek fordulnak elő, ezek esetleg vándorolnak a mérendő nyomástérben.

Ugyanígy az sem ritka, hogy a tisztán gáz halmazállapotúnak feltételezett technológia térbe folyadékrészek és/vagy szilárd szennyeződések kerülnek. Erős hőmérsékletváltozásnak kitett gázokból lehűléskor kicsapódik, kondenzálódik a "folyadéktartalom".

Leggyakrabban a **gőzök** - általában a vízgőz - mérésekor fordul elő, hogy a nyomásmérőhöz, távadóhoz csatlakozó mintavételi vezetékben lévő kondenzátum légzárványos és/vagy még egyéb szennyezést is tartalmaz. Az un. vízszák-csővekben vagy kondenzedényekben és az ahhoz csatlakozó nyomásközlő vezetékben bennmaradó légzások vagy légrétegek megváltoztatják a nyomásvételi hely kialakításából (geometriájából) következő és jól számítható járulékos hidrosztatikus nyomás értékét. A hidrosztatikai korrekció a vízoszlop (vagy egyéb folyadékoszlop) magasságából egyértelműen számítható, ez nem tekinthető ezek után hibának, de bezárt és esetleg vándorló légrétegek vagy gágrétegek nem elhanyagolható véletlen nyomásingadozást okozhatnak. A hiba jellege azért "véletlen", mert egyrészt nehezen mérhető meg, másrészt magának a mérendő statikus nyomás függvényében változhat, sőt bizonyos elnyelődési és vegyi reakciós folyamatok következtében bizonytalanul csökkenhet vagy növekedhet.

Ez a hiba különösen függ a szakszerű tervezéstől, felszereléstől és üzemeltetéstől illetve a karbantartás minőségétől. A tisztítások, lefűvatások alkalmával – és utánuk – ellenőrizni kell a kondenzvíz-oszlopok hőmérsékletét, tisztaságát és egyneműségét. Ha ezeket a műveleteket elmulasztják, a hiba jelentős nagyságúvá válhat.

Például, ha egy 2,5 m magas kondenzvíz csőben ~2 mm-es légzárvány réteg van, akkor ebből 20 Pa nyomáseltérés adódik, és ennek legalább a felét véletlen hibának tekinthetjük.

Érdekes eset: a vízgőzméréseknél alkalmazott kondenz- vagy nívóedényben lévő kondenzált víz felületének hullámzásából és a felületét érő gőzsugár lökésekből származó nyomásingadozások kérdése. Gömb alakú kondenzedényben a vízszint maradé bizonytalansága $\pm 1,5$ mm -nek vehető.

Mindenesetre a gyakorlatban ezt a hibaösszetevőt 10...50 Pa között vehetjük fel.

Más a helyzet, amikor a gáznemű anyagok nyomásközlő vezetékbe tisztán folyadékfázisú csapadék vagy zagyyszerű üledék kerül. Az ebből adódó hiba sokkal nagyobb lehet, mint a légzárványok okozta hiba, hiszen ilyenkor a bizonytalan magasságú és sűrűségű folyadék- vagy zagyoszlop nem kívánatos járulékos nyomás akár 200...500 Pa is lehet. Pl. mindössze 3 cm-nyi homokos víz kiválása kb. 400 Pa-al változtatja meg a fölötte lévő technológiai gáztér átlagos nyomását.

Természetesen a jó gyakorlat itt is az, hogy lehetőleg mindig a gáztér fölé helyezzük a nyomásvételi csatlakozás helyét, ám ha ez nem lehetséges vagy egyéb okból mégis bejuthatnak a folyadék és zagyszennyezések a nyomás-tavadóba, akkor az imént tárgyalt hibával számolni kell.

5. A nyomásmérő eszközből eredő zavarok és zajok

Ez a hibaforrás gyakorlatilag és legtöbbször csak **hibás mérőeszközben** jelentkezik.

Tapasztaltunk olyan eseteket, amikor a korszerű, smart mikroprocesszoros p/i távadóban ilyen hiba keletkezett. Csak gondos és megismételt laboratóriumi mérések során derült ki, hogy a mérőcellához kapcsolódó elektronika belső zaja okozta a hibát, ami úgy jelentkezett, mint durva inkrementálási hiba (~25 - 40 mbar-nak megfelelő ugrásokkal állt be, pl. a 2 bar-hoz tartozó 16 mA-es kimenőjel).

Külső vagy belső **mechanikai rezgések** is okozhatnak hasonló hibát. Előfordulhat, hogy a felszerelés helyén valamilyen idegen rezgés áterjed az érzékelőre és statisztikus ingadozásként jelentkezik a kimenőjelben (akár úgy is, hogy a nagyobb frekvenciás rezgések interferenciája és szuperpozíciója révén már a távadó által követhető lassúbb "vadjelek" rakódnak a kimenetre).

Szerelési hibából is adódhatnak furcsa jelenségek, amelyet könnyen a távadó hibájának tulajdonítunk. Például egészen kis mértékű tömítetlenség okozhat olyan anyagkiáramlásokat, amelyek mint egy "síp", hallható vagy nem hallható rezgést eredményeznek, és az így létrejövő nyomáshullámzást felveszi, továbbadja a távadó.

Rossz, azaz szűretlen, zajos, **villamos tápegység** is okozhat zajt a p/i távadó kimenetén. Ez ismét csak a javítás, karbantartás kategóriájába tartozik, és nem kell felvenni a véletlen hibák csoportjába.

A távadóhoz csatlakozó kábelszakasz is felvehet akkora zavarokat és zajokat, amelyek a kimenőjelet befolyásolják, eltolják vagy bizonytalanná teszik. Az idevonatkozó tőréseket az EMC szabványok írják elő.

Erről a hibánemről még csak közelítő becslést sem tudunk adni. Hasznosabb a hibaforrást megszüntetni, és ezt a fajta véletlen hibát 0-nak tekinteni.

6. Az átlagolás hibái

Az edényeket kitöltő folyadékok nyomásáról az iskolákban azt tanultuk, hogy az "minden irányban gyengítetlenül továbbterjed", amit úgy is szoktunk értelmezni, hogy az edény minden pontjában ugyanakkora nyomás uralkodik. Ez nagyjából így is van, ha az edényben nem áramlik, nem örvénylik és nem párolog a folyadék, illetve a gázból nem válik ki vagy nem keletkezik egyéb nem gáznemű anyag.

Az ipari valóságban azonban gyakorlatilag ilyen edény nincs! Egy tartály általában állandó vagy szakaszos összeköttetésben van a környező technológiai rendszerrel. Töltés vagy ürítés közben a benne lévő nyomás nem oszlik el teljesen egyenletesen. Amennyiben kémiai reakciók is létrejönnek az edényben még bonyolultabbá válik a nyomástér állapota.

A csővezetékekben történő anyagáramlás mindig nyomáseséssel jár, erről az előző 3. fejezetben részletesen írtam.

A lényeg az, hogy amit a nyomásmérőnkkel mérünk, az mindig valamilyen időbeli és **térbeli átlagérték**, és itt most a térbeliségen van a hangsúly. A nyomásmérőt nyilván arra helyre (pontra) kell helyezni, ahol ez az átlagérték a lehető legjobban jellemzi azt a folyamatot, amiről a méréssel információt kívánunk kapni.

Az átlag körüli szórásból végezhetjük el a véletlen hiba becslését. Minél nagyobb és minél tagoltabb a technológiai tér és minél kevesebb ponton mérjük annak nyomását, annál nagyobb lesz ez a fajta véletlen hibaösszetevő. Az időtől is függ ennek a hibának a mértéke, hiszen hol rövidebb, hol hosszabb idő kell az átlagérték beállításához, a belső mozgások és anyagátalakulások "befejeződéséhez", valamiféle nyugalmi állapot beállításához (találó az elnevezés: "statikus" nyomás).

Óvatos becslésként az átlagolási hibát 50...200 Pa között vehetjük fel. Amennyiben tudomásunk van a nyomástér inhomogenitásáról, akkor ennél jóval nagyobb értékek felvétele indokolt.

7. A nyomásvételi hely kialakításából származó hibák

Ide sorolhatóak azok a telepítésből és beszerelésből következő hibák, amelyeket a 4. fejezetben nem tárgyaltunk. Vannak-e egyáltalán ilyenek?

Feltétlenül ide tartoznak azok a durva szerelési hibák, amelyek pl. a beszerelés után "láthatatlanokká" válnak.

Ha például egy csővezetékbe úgy hegesztik be a nyomásmérő csatlakozó csőcsonkját, hogy annak vége belenyúlik a csőszelvény szabad keresztmetszetébe (azaz nincs egy síkban a belső palásttal), akkor ennek környékén zavaró örvénylések (turbulenciák) keletkeznek, amelyek hibát okoznak a nyomásmérésben.

Másik csoportba például azok a mérések tartoznak, amelyekben **elválasztó folyadék**-tölteteket kell alkalmazni a mérendő közeg agresszivitása miatt. Ilyenkor az egymás feletti folyadékrétegek hidrosztatikus magasságának pontatlan meghatározása, a párolgás, anyagkiválás és elnyelődés valamint a meniszkuszok alaktorzulásai vezetnek véletlen hibákhoz.

A külső **hősugárzás** is okozhat észrevehető hibát akkor, amikor a viszonylag hosszú (pl. 1 m-nél hosszabb) folyadékkal telt nyomásközlő vezeték felülről csatlakozik a nyomásmérőhöz, és ezt a csőszálat erő napsugárzás vagy egyéb külső hő éri. Ekkor ugyanis a vízoszlop magassága ugyan nem változik, de a csőben lévő víz (vagy más folyadék) sűrűsége - és így a járulékos hidrosztatikus nyomás is - igen. Ha ismerjük és alkalmazzuk is a hidrosztatikus korrekciót, a hőmérsékleti ingadozásokból származó véletlen nyomásmérési hiba megmarad.

A számszerű becsléseket egyenként kell elvégezni, lehetőleg minél jobban figyelembe véve a mérés helyének valós viszonyait, a környezeti állapotokat, a rendszeres ellenőrzés hatékonyságát stb.

Egy példa a közelítő számításra

Vízgőz áramló mennyiségét örvényleválásos jelképző-távadóval mérik. A mérőkör szerves része a nyomástávadó és a hőmérsékletmérő, mert ezek is kellene ahhoz, hogy a vízgőz tömegáramát meg lehessen határozni.

A 12 bar_g méréshatárú, 0,25 osztályú p/i távadó az **örvénymérő** előtt méri a vízgőz nyomását. A technológiai csatlakozás és a p/i távadó között a hővédelem céljából a szokásos vízszák-cső van beépítve. A csatlakozási pontok közel egy magasságban vannak, így a beépítésből nem származik járulékos hidrosztatikai hiba.

A mérés DN 100-as csőben történik, az átlagos üzemi nyomás: 9 bar_g, a hőmérséklet 200 °C, a jellemző tömegáram 5...8 t/h, amiből a hőmérsékleti és nyomásadatok ismeretében számítható átlagsebesség 36...58 m/s között változik.

A fenti technológiai alapadatok ismeretében most rendre határozzuk meg (becsüljük meg) a számításba veendő véletlen hibák nagyságát, amelyekből majd származtatjuk az eredő standard szórás és a véletlen bizonytalanság adatát.

1. A természetes technológiai ingadozás: $S_1 \approx 250 \text{ Pa}$

2. A légköri nyomás ingadozása: $S_2 = 1000 \text{ Pa}$

3. Az anyagáramlás okozta eltérés: $S_3 \approx 300 \text{ Pa}$

4. Inhomogenitási véletlen hiba: $S_4 = 25 \text{ Pa}$

5. A nyomásmérőből származó zajok: $S_5 = 0 \text{ Pa}$

6. Az átlagolás véletlen hibája: $S_6 \approx 150 \text{ Pa}$

7. A nyomásvételi helyből jövő hiba: $S_7 = 0 \text{ Pa}$

Hogyan "összegezzük" most már ezeket a hibakomponenseket? Egyéb mérvadó kísérleti mérések, tapasztalati adatok vagy kutatási eredmények híján, maradjunk a normális eloszlás szerinti szórásnégyzet összegezésnél. Ne becsüljük le ezt a hagyományos módszert, hiszen a legújabb szakirodalmi adatok, kiterjedt és alapos elméleti munkák és vitaanyagok tanúskodnak arról, hogy a normális eloszlás valóban erősen jellemző az anyagi folyamatokban végbemenő változások jellemzőihez rendelhető mérési adatok viselkedésére. [3,6]

Tehát:

$$S_e = [S_1^2 + S_2^2 + S_3^2 + S_4^2 + S_6^2]^{1/2}$$

Behelyettesítve a számértékeket:

$$S_e = [250^2 + 1000^2 + 300^2 + 25^2 + 150^2]^{1/2} = 1084,26 \text{ Pa} = 0,01084 \text{ bar}$$

Az eredő standard szórás relatív értékben kifejezve, a 10 bar_a névleges üzemi munkapontban:

$$S_e' = 0,01084/0,1 = 0,1084\%$$

A teljes eredő mérési bizonytalanság számítása során figyelembe veendő kiterjesztett véletlen bizonytalanság pedig:

$$U_S' = 2 \cdot 0,1084 = 0,217\%$$

Első látásra ez az érték nagynak tűnik, ám ha áttekintjük a forrásbizonytalanságokat, akkor láthatjuk, hogy egyik érték felvétele sem volt túlzó vagy irreális. Azt is azonnal láthatjuk,

hogy a légköri nyomás ingadozása okozza messze a legnagyobb hibát, amiből az következik, hogy még a 10 bar körüli üzemi nyomásokon is érdemes abszolút nyomástávadót használni, ha fontos, hogy a lehető legkisebb legyen az eredő bizonytalanság.

Nem szabad elfelejteni, hogy ez az egész dolgozat **csupán a véletlen** bizonytalanságokról szól, és nem érintette a nyomásmérésekben mindig jelenlévő - és számértéke szerint mindig nagyobb - rendszeres bizonytalanságokat. A példabeli esetben a nyomásmérés eredő rendszeres bizonytalansága 0,3...0,5% -ra adódik, ha jó minőségű korszerű p/i távadót használunk.

Irodalom

1. Clance Doelling: Pulsation effects on orifice measurement, Pipe Line Industry, February 1992.
2. Az Országos Meteorológiai Szolgálat adatközlése, Bp. 2002. szeptember
3. Dieck, Ronald H. : Measurement uncertainty, Instrument Society of America, R.T.P., NC USA, 1997.
4. D.W.Spitzer: Flow Measurement, ISA Publication, NC USA, 2001.
5. Reményi T.: Kerekasztal a metrológiáról 1-2., MTA Műszerügyi és Méréstechnikai Közlemények, 69.-70. szám, 2002.
6. Monostory I.: Valószínűségelmélet és matematikai statisztika, Műegyetemi Kiadó, 2001.
7. A szövegben említett MSZ EN és ISO szabványok, ajánlások

Környezetvédelmi mérések fotoakusztikus FTIR műszerrel

*Ritz Ferenc

A légszennyezés mérése nem könnyű mérés technikai feladat. Az eszközök széles skáláját fejlesztették ki, hagyományosan az emissziómérésre, ezen belül a füstgázok fő alkotórészeire valamint a környezeti levegő néhány legfontosabb szennyezőjére készültek célműszerek. A többi mérési feladatra a helyszínen való mintavétel és a laboratóriumban gázkromatográfjal, vagy tömegspektrométerrel való elemzés jelentette a megoldást.

A levegőt szennyező vegyi anyagok megengedett legnagyobb töménységét (koncentrációját) jogszabályok rögzítik. Három fő szabályozási terület van, amely egyúttal három fő mérési helyzetet is jelent:

1. a kibocsátás (emisszió),
2. a munkahelyi légtér és
3. a környezeti levegő általában (immisszió).

A korszerű módszerek közé tartozik: az elektrokémiai érzékelés, a kémiai reakciók, a spektroszkópia és a gázkromatográfia. Ezek közül most külön kiemeljük a spektroszkópiai mérési módszereket. Az egyéb módszerekről olvashatnak összefoglalót "A gázveszély-jelző műszerekben használt mérési módszerek ismertetése" című cikkben, ami az MMK 66. számában jelent meg.

Spektroszkópia

Az analitikai spektroszkópia az anyag és az elektromágneses sugárzás kölcsönhatását kísérő jelenségeket (emisszió, abszorpció, fluoreszcencia, reflexió) hasznosítja az anyag minőségi és mennyiségi összetételének meghatározására. Kémiaiilag nem egynemű(heterogén) anyagok esetén elementáris vagy molekuláris összetétel megállapítása lehet a célkitűzés. A kémiaiilag egynemű anyagok atomjainak és atomcsoportjainak spektroszkópiai meghatározása és ezen keresztül a vegyületek molekuláinak felismerése ugyancsak az analitikai spektroszkópia feladatköre.

Molekulaspektroszkópiai módszerek

A spektrum az anyag által elnyelt, vagy kibocsátott sugarak intenzitásának alakulása a hullámhossz, illetve a hullámszám (cm^{-1} -ben) függvényében. Molekulaspektrumot készíthetünk

* Richter G. Rt. Környezetvédelmi O.

emisszióban, vagy abszorpcióban, de a legtöbb esetben az emissziós spektrumot nem tudjuk előállítani, mert gerjesztés közben a vegyületek elbomlanak. A szerves anyagok vizsgálatánál használják főként az emissziós molekuláspektroszkópiát. (pl. AES, ICP-AES)

Az abszorpciós spektrum úgy jön létre, hogy az anyagra elektromágneses sugárzást bocsátunk, mivel az anyag a fény különböző hullámhosszúságú összetevőiből különböző mennyiségeket nyel el. Az abszorpciós spektrofotométerek az anyagok átteresztőképességét (transzmittancia) mérik a hullámhossz, hullámszám vagy a frekvencia függvényében. Az elnyelési helyek és intenzitások az anyagok jellemző sajátosságai.

Ultraibolya(UV) és látható fény(VIS) spektrofotometria

A molekulák fényelnyelését az UV és VIS spektrumintervallumban (általában 190 és 800 nanométer között) az elektroneloszlás megváltozása kíséri. A fényenergia a molekulában bizonyos elektronokat nagyobb energiájú gerjesztett pályára juttat. Ha két atom között kötés jön létre, a kötő elektronpár már nem az egyes atomokhoz, hanem a molekulához tartozik. A molekulában létrejönnek kötő (bonding), lazító (antibonding) és nem kötő (non bonding) molekulapályák, amelyek az adott molekuláról egy jellegzetes energiatérképet nyújtanak.

Az ultraibolya és látható spektrofotométerek felépítése és működése

Kétsugaras spektrofotométer esetén ugyanabból a fényforrásból származó sugárzást tükrök segítségével két sugárútba irányítják és egy mérő, illetve összehasonlító küvettán áthaladva a monokromátorba jut. A monokromátorból, illetve küvettákból kilépett sugarak a két sugárútból időben váltakozva jutnak az érzékelőre. Ezt a szaggatást forgó szektortükrök végzik. Az érzékelő jele erősítés után vagy optikai, vagy elektromos kompenzáció révén a mérő és összehasonlító sugárút intenzitásának hányadosát adja a hullámhossz, vagy a hullámszám függvényében.

Ultraibolya és látható színeképeket általában gáz-, illetve gőz- halmazállapotú vagy oldott mintákról készítünk. Gáz és gőzállapotú minta esetén az anyagot különböző gázküvettába töltjük. Könnyen illó folyadékoknál az anyagok 1-2 cseppjét a folyadékküvetta aljára helyezzük, megvárjuk, míg beáll az egyensúly a folyadék és gőze között, és ezután készítjük el a felvételt.

Az oldatokat vízzel, vagy szerves oldószerekkel készíthetjük. Általában 10^{-5} - 10^{-3} mólos, illetve 5 - $100 \mu\text{g}/\text{cm}^3$ töménységű oldatokkal dolgozunk. A felvételekhez 1 mm - 5 cm rétegvastagságú kvarc és üveg küvettákat használunk.

Az ultraibolya és látható tartomány színeképei sokkal kevésbé jellemzőek a vizsgált anyagra, mint az infravörös tartományé, mivel itt kevés számú széles sáv jelenik meg. Ezért az UV és VIS

spektrumok alkalmazása minőségi elemzésre önmagában nem elegendő, a kapott információkat mindig ki kell egészíteni.

A mennyiségi alkalmazás a Lambert-Beer törvényen alapul. A mérés során a sugárzás intenzitása a mintára jellemző hullámhossznál abszorpció miatt csökken.

$$\log(I_0/I) = \varepsilon \cdot l \cdot c$$

ahol ε az abszorpciós együttható

l a rétegvastagság

c a töménység

I_0 a küvettába belépő fény intenzitása

I a küvettából kilépő fény intenzitása

Az infravörös spektroszkópiáról

Ezen módszerek közül az infravörös spektroszkópia népszerű a következő előnyei miatt:

- érzékeny
- rövid az átviteli ideje
- nagymértékben közömbös a zavaró tényezőkkel szemben.

A gáz érzékelésének leginkább megfelelő fényforrás amelyik az elektromágneses színeknek az infravörös tartományában, különösen 650 és 4000 cm^{-1} között bocsát ki sugárzást. Ez azt jelenti, hogy a hullámhossz (λ) $2,5\sim 15 \mu\text{m}$ között van. A spektroszkópiában általában izzó fényforrást (magas hőmérsékletre hevített drótszálat) szoktak használni, amelynek fő előnye, hogy állandó, olcsó és hosszú élettartalmú. Színképelemzéshez keskeny sávzélességű besugárzás szükséges, ezért az izzólámpához olyan optikai rendszert kapcsolnak, amely szelektíven a kívánt hullámhosszúságú sávot engedi át. A rögzített hullámhosszú besugárzáshoz szűrőket használnak, folyamatos hangolást viszont diffrakciós rácsokkal, vagy interferometriával valósíthatnak meg.

A molekulák atomjai folytonos mozgásban vannak, mivel azonban mozgásukat korlátozzák az atomok közötti kötések, az atomok oda-vissza rezegnek meghatározott rezgési móduszokban. A rezgések lehetnek normálrezgések, vegyértékrezgések vagy deformációs rezgések. Az infravörös sugárzás frekvenciája ugyanolyan nagyságrendű, mint a molekularezgéseké, kb. 10^{13} Hz. Az infravörös sugárzás kölcsönhatásba léphet a molekulákkal, energiát adhat át nekik - akkor, és csakis akkor -, ha a rezgés frekvenciája pontosan ugyanakkora, mint a molekula rezgésének frekvenciája. Ha a molekula ennek a rezgésnek az energiáját elnyeli, akkor (abszorbeálja), nagyobb amplitúdóval fog rezegni.

Más szóval, ha egy széles spektrális tartalmú fény áthatol egy gázon, egyes frekvenciájú energia áramokat a gáz elnyel, a többit viszont keresztülbocsátja, anélkül, hogy elnyelné. Az elnyelt energiaáramnak frekvenciái megfelelnek a gázmolekulák rezgési móduszai természetes frekvenciáinak, vagy e rezgések felharmonikusainak. Az elnyelt fény mennyisége egyenesen arányos a gáz töménységével. Kiszámú, ismert gáz rendszeres, mennyiségi elemzéséhez általában elegendő, ha a mintát azokon a hullámhosszokon besugározzuk, amelyeken a kérdéses gázok erősen elnyelnek.

Gázokról általában 10 cm-es küvettában készíthetünk felvételt. Kis gázkoncentrációk is mérhetők, ha az abszorpciós úthosszt megnöveljük. Tükrök segítségével ez a 100 m-t is elérheti.

Ha az elnyelt, illetve átteresztett fénymennyiséget minden egyes hullámhosszon megmérjük, infravörös színeképet kapunk. A spektrumot előállító műszerek általános neve spektrofotométer. Az elnyelt fény mennyisége kétféle módon, a transzmittancia (áteresztés), illetve az abszorpció (elnyelés) százalékában fejezhető ki.

Mindegyik vegyületnek egyedi infravörös színeképe van. Csaknem minden ismert vegyület színeképet összegyűjtötték különböző kézikönyvekbe, és egy anyag azonosságát bizonyíthatják azzal, ha a színeképet egybevetik ezekkel a mérvadó spektrumokkal. A számítógépes könyvtárak segítségével ma már egy ilyen vizsgálat sokkal gyorsabban elvégezhető, mint régebben.

Az IR és az FTIR spektrofotométerek összehasonlítása:

HAGYOMÁNYOS	FOURIER transzformációs
sok mozgó alkatrész	csak egy tükör mozog
a teljes spektrum 10~15 perc	egy spektrum felvétel 1 sec
nem alkalmas kinetikai* mérésre	alkalmas kinetikai* mérésre
a felbontást növelni csak a rés szűkítésével lehet (érzékenység csökken)	nincsenek rések
A frekvenciapontosság ellenőrzése csak referencia spektrum segítségével	He-Ne lézer belső kalibrációs rendszer biztosítja a frekvenciapontosságot
szórt fény a rendszeren belül	nincs szórt fény

a minta és az IR forrás közelsége miatt hőérzékenység	a minta távol van az IR sugárforrástól
a minta IR emisszióját is méri az érzékelő	nem zavar a minta emisszió

* kinetikai: időben változó töménység

Az FTIR spektrofotométerek optikai részének központi egységét, az interferométert a múlt század végén fejlesztették ki (A. A. Michelson) és néhány évvel később ismertté vált a matematikai összefüggés (Fourier transzformáció) az interferométerrel készült interferogramm és az IR spektrum között.

A Fourier transzformációs elven működő spektrofotométerek érzékenysége elméletileg nagyobb, mint a diszperziós elven működő készülékeké, mivel a jel-zaj viszony azzal, hogy a készülék érzékelője egyidejűleg észleli a teljes spektrumot, jelentősen megnő. Ezt az egyidejű észlelést nevezzük a módszer multiplex jellegének.

Ahhoz, hogy ez a módszer jelentősen elterjedjen, szükség volt néhány fejlesztésre:

- a He-Ne lézer alkalmazása
- a gyors Fourier transzformációs (FFT) algoritmus (Cooley-Tukey, 1965)

A fotoakusztikus spektroszkópiáról

A transzmissziós infravörös gázelemzőket szinte bármilyen összetevő mérésére alkalmassá lehet tenni, de inkább csak emissziómérésre használatosak. Ehhez képest előrelépés a fotoakusztikus detektálás, ezzel nagyobb érzékenység és stabilitás érhető el. Minden spektroszkópiai módszer oly módon nyújt mennyiségi és minőségi információt, hogy megméri azt a fény mennyiséget, amelyet az anyag elnyel.

A fotoakusztikus spektroszkópia (a továbbiakban PAS) egyszerűen ugyanezt méri- érzékenyebb módszerrel.

A PAS-on alapuló gázérzékelőket mind szabad téren, mind zárt térben széleskörűen alkalmazzák. A tipikus példák: a légkör mérgező és szennyező gáztartalmának folyamatos figyelése (monitorálása), gáznemű szennyezők azonosítása és levegőminta vétele olyan helyeken, mint például laboratóriumok, termelőüzemek, vegyszerraktárak.

A fotoakusztikus hatás néven ismert jelenség lényege: egy zárt edényben levő minta hangkibocsátása szaggatott fény abszorpciójának hatására. Ha egy gázt fényel sugárzunk be, az a beeső fényenergiának a töménységétől függő, arányos részét nyeli el. Az elnyelt fényenergia hő formájában azonnal felszabadul, ez pedig nyomásnövekedést okoz. Ha a beeső fényt adott

frekvenciával modulálják, a nyomásnövekedés a moduláló frekvenciával azonos periódusú lesz. Mint ismeretes, nyomáshullámokat, vagy hanghullámokat mikrofon segítségével könnyűszerrel mérhetünk. A kibocsátott hang intenzitása több tényezőtől függ; az anyag természetétől és töménységétől, továbbá a beeső fény intenzitásától.

Egy fotoakusztikus mérési elrendezés lényeges részei:

- (1) a gázmintát befogadó mérőcella
- (2) fényforrás
- (3) a fényt moduláló valamilyen eszköz (rendszerint chopper)
- (4) a hangot mérő érzékelő (rendszerint mikrofon)
- (5) valamilyen jelfeldolgozó eljárás.

Az elnyelt fénymennyiség vagy a felszabaduló hőenergiának, vagy pedig az ezzel kapcsolatos nyomásnövekedésnek a mérése útján határozható meg. Mindkét paraméter arányos az elnyelő részecskék koncentrációjával. Mivel a kalorimetriás érzékelőknek hosszú az átviteli idejük és nem elég érzékenyek, szívesebben mérik a nyomásváltozást.

A lüktető nyomást kitűnően érzékeli egy mikrofon, amely nagy érzékenységgel, stabilitással és széles dinamika-tartománnyal rendelkezik.

A PAS mérések során kondenzátor mikrofonokat használnak, amelyek nagy pontosságúak, stabilak, megbízhatóak és rendkívül jól meghatározott tulajdonságokkal rendelkeznek. A kondenzátor mikrofon egy vékony fémmembránból áll, amelyet a merev hátlaphoz szoros közelségbe szerelnek. Ez a kettő együtt levegő dielektrikumú kapacitást alkot, amelynek értéke a lemezek közötti távolsággal együtt változik. A mikrofonon belüli nyomás csaknem állandó, mert ürege egy kis lyuk kivételével zárt.

Ahogy a mérőcellában a nyomás nő és csökken, úgy mozog kifelé és befelé a hajlékony membrán, és ennek megfelelően változik a kapacitás értéke a lemezek között. A kapacitást úgy mérhetik, ha a mikrofonra állandó töltést alkalmaznak, és mérik a fellépő feszültségváltozást. Ez a váltakozó feszültség pontos lenyomata a mérőcellában kialakuló nyomásingadozásoknak.

Ha a mérendő gáz töménysége a cellában 10^{-9} (ppb!), akkor a hőmérséklet emelkedése 10^{-8} K nagyságrendű, a nyomásváltozás ennek hatására 10^{-5} Pa, a mikrofon membránja pedig 10^{-14} m-rel mozdul el.

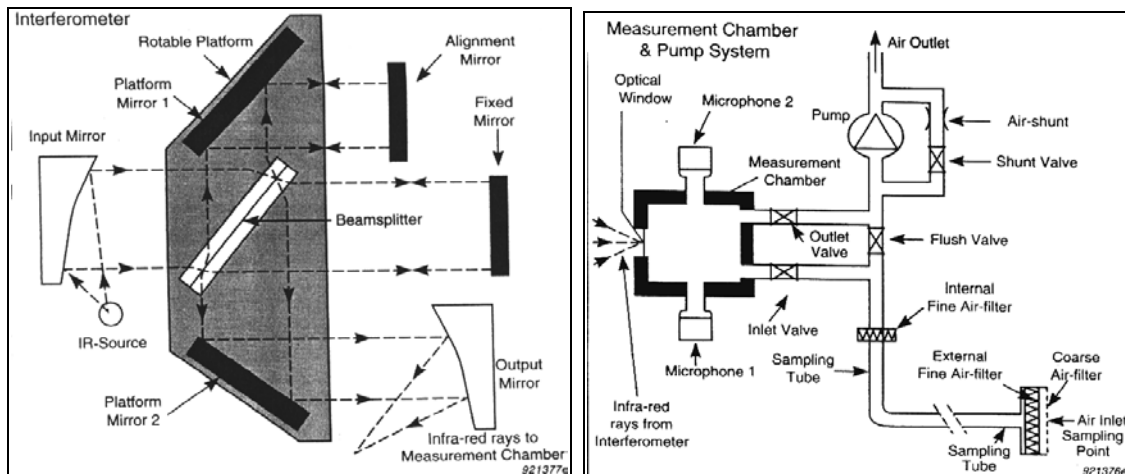
A bemutatandó készülék leírása

A műszer egy BRÜEL & KJAER 1301 típusú, fotoakusztikus érzékeléssel működő FTIR spektrométer. A 1301 típusú gázelemző nagy pontosságú, megbízható és stabil mérő-műszer mikroprocesszoros felépítéssel. A műszert egyszerre hét gáz mérésére állíthatjuk be a megfelelő infravörös sávok kiválasztásával. A 1301 érzékelési küszöbe a gáz anyagától függ, jellemzően

egyszázad ppm sávba esik. A mérési eredmények megbízhatóságát az önellenőrző rendszer biztosítja, a pontosságot az szavatolja, hogy a műszer képes a hőmérséklet, a vízgőz hatása és más ismert gázok hatásának kiküszöbölésére (kompenzálására).

A gép a mérési eredményeket automatikusan eltárolja, később kinyomtatható, vagy a spektrum összevethető a számítógép spektrum-könyvtárával. Hordozható, és nem igényel sem bemelegedési időt, sem újrakalibrálást a szállítás után, ami különösen alkalmassá teszi a szennyezés helyszínén történő vizsgálatok elvégzésére. Zárt és nyílt térben egyformán jól használható.

Mivel a fotoakusztikus gázelemző mérőkamrája csak mintegy három köbcéntiméteres, ennek átöblítése gyors, és a műszer egész mérete is kedvező lehet. A gázelemző hordozhatósága feleslegessé teszi mintagyűjtő szerkezetek alkalmazását, egyúttal a minta tárolásával bevitt hibákat is kiküszöböli. A módszer további előnye, hogy a levegőminta beszívása után egy perccel már eredményt kapunk a képernyőn. Mintegy másfél percenként egy új mintát feldolgozva folyamatokat követhetünk a műszerrel. A mérési és dokumentálási szakaszban sincs feltétlenül szükség számítógépre, a műszernek saját grafikus képernyője és floppy meghajtója van, nyomtató csatlakoztatható.



1. ábra. A PAS készülék optikai és mintavételi rendszerének sémája

Egy teljes mérési ciklus:

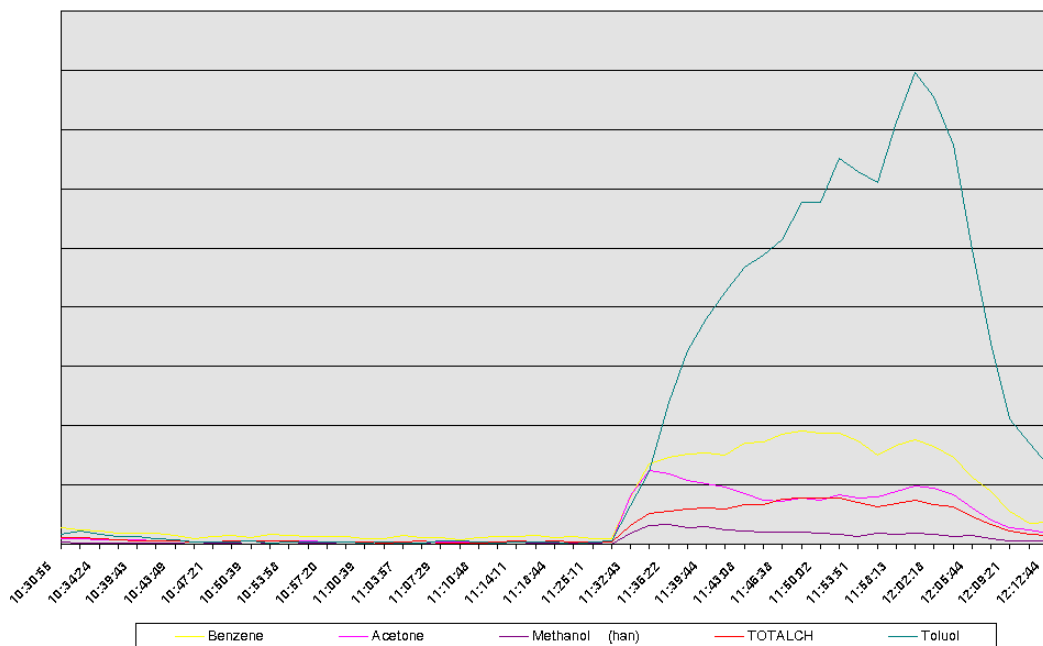
1. A szivattyú friss levegőmintát szív a két szűrőn keresztül a mérőrendszerbe, ezzel kiöblíti a régi mintát.
2. Az új mintát a be- és kimenő szelepekkel bezárjuk a mérőkamrába.
3. Az infravörös fényforrás fényét tükrökkel összegyűjtjük, a tükrrendszerben egy mozgó tükör nagyon kis szögben rezeg, így folyamatosan változtatja a fény hullámhosszát és interferogramot hoz létre. A két tükör felületéről visszaverődő sugarak a sugárostón áthaladva, illetve visszaverődve egyesülnek a mozgó tükörnek az álló tükörhöz viszonyított pillanatnyi helyzetétől függően- konstruktív ill. destruktív interferencia fellépése közben. Az infravörös fény az interferométerből a cella ablakán

keresztül a mérőkamrába jut. Az infravörös forrás, az interferométer és a mérőkamra sugármenetében még egy félvezető lézer is működik, amelynek interferenciája szinkronizálja a folyamatot.

4. A fényt a mérendő gáz molekulái elnyelik, ettől a gáz hőmérséklete nő. Mivel a fény villog, a hőmérséklet és a nyomás is periodikusan nő és csökken, tehát hang keletkezik a lezárt cellában.
5. A hangintenzitást a cellába szerelt két mikrofon méri, a jel a gáz koncentrációjával arányos lesz.
6. Az elektromos jelet Fourier transzformálva kapjuk az elnyelési spektrumot. Ebből a különböző gázok jellegzetes elnyelési sávját kijelölve koncentráció értékeket számolhatunk.

A készülékkel így (mivel a mérési ciklus egészen rövid) a mintavételi hely koncentráció-idő diagramját is fel tudjuk venni.

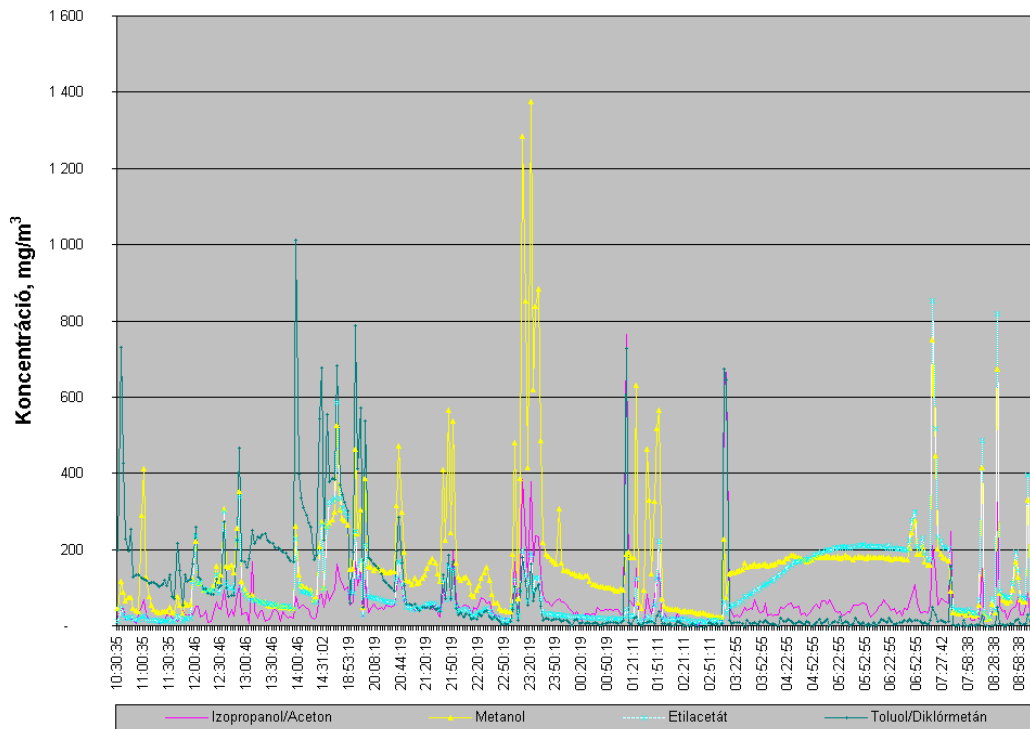
Az alábbiakban bemutatunk néhány mérési eredményt, amelyek a fentiekben ismertetett készülékkel készültek.



2. ábra

Egy szennyvízkezelő zárt kiegyenlítőtartálya légterének elemzése.

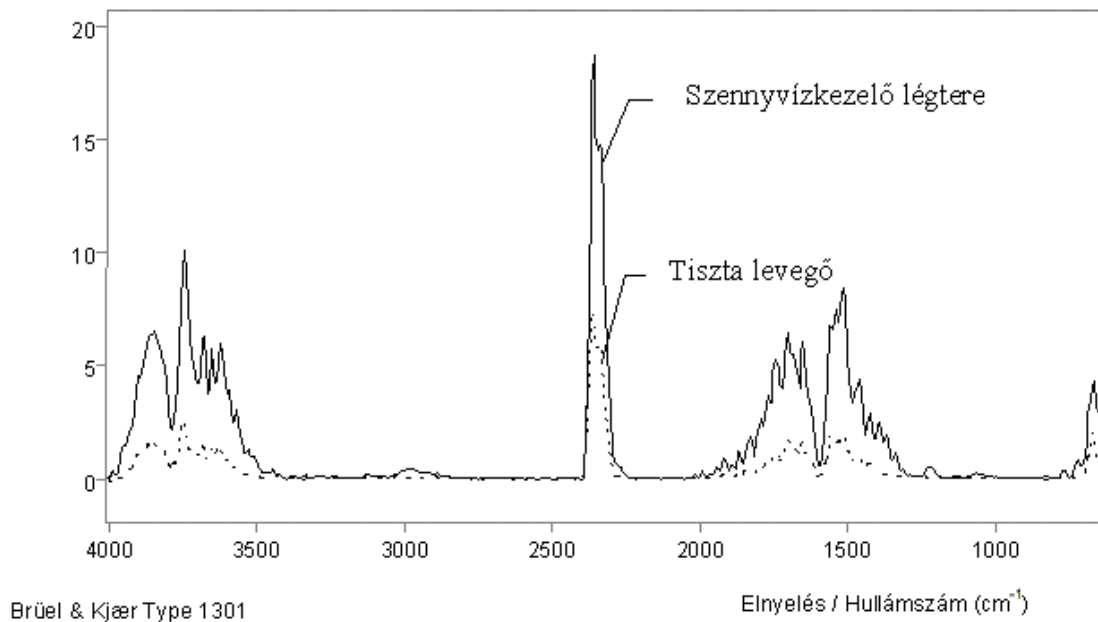
A koncentrációnövekedést a tartály töltésének "beindítása" okozta, vagyis a víz "levegőztetése".



3. ábra

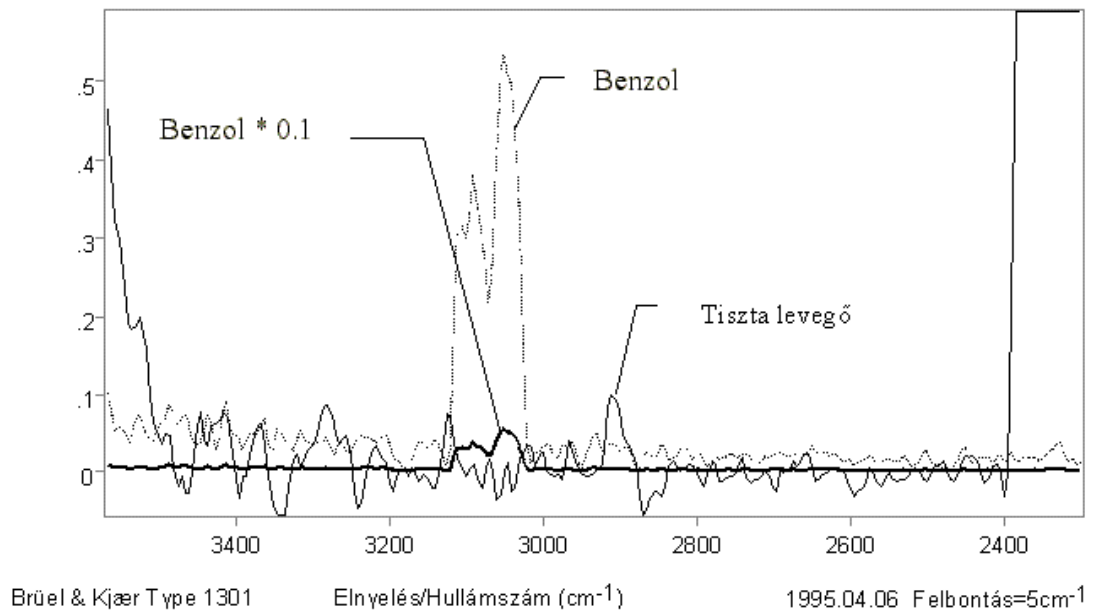
Egy vákuumszivattyú légzőjén mért emisszió alakulása az idő függvényében.

Látható az egyes anyagmozgatási, technológiai lépések "eredménye"



4. ábra

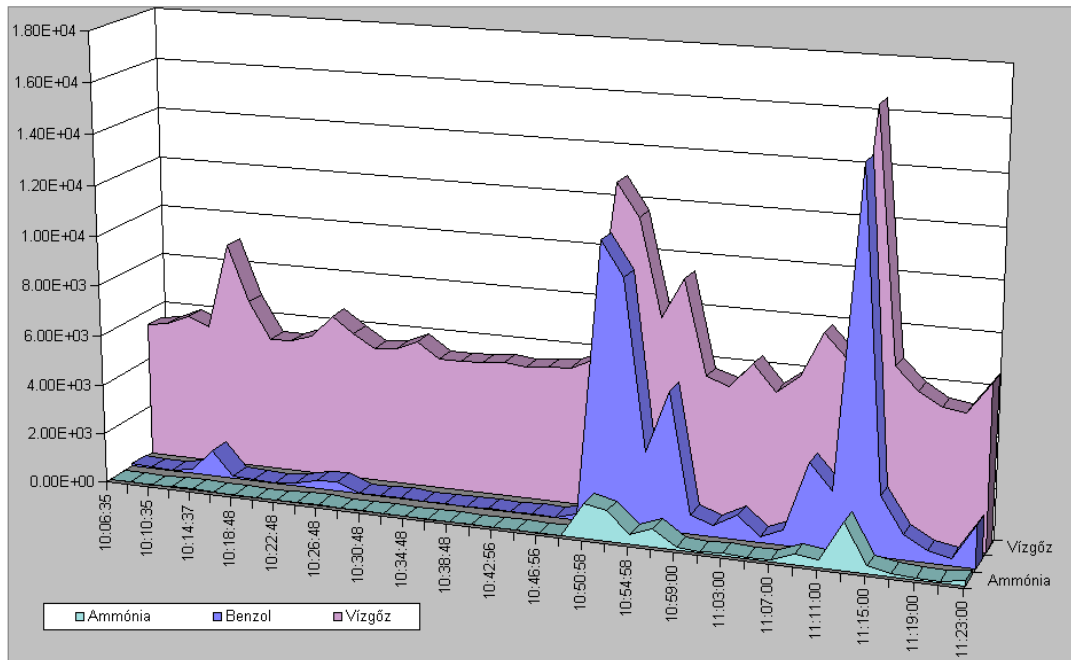
A tiszta levegő (a Mátra egyik nevesincs csúcsán felvett spektrum) és egy szennyvízkezelő légtérben felvett spektrum közötti különbség.



5. ábra

A készülék NEM alkalmas a nagyon kis koncentrációk mérésére, mert, mint az az 5. ábrából is látható, a referencia koncentráció (44 mg/m^3 benzol) tizedrésze ($4,4 \text{ mg/m}^3$, ami az egészségügyi határérték közelében van) már "eltűnik" a háttér spektrumában. A legnagyobb háttérzavarást a levegő vízgőztartalma okozza.

A mérés elvéből adódóan azonban szinte egyedül alkalmas olyan mérési feladat megoldására, amikor illékony szénhidrogének mellett ammóniát is meg kell határozni. Minden egyéb módszer csak külön mintavétel és elemzés után tudja ezt a kétféle anyagot meghatározni, és akkor is csak egy adott időtartamra vonatkozó átlagértéket ad. Ez a készülék viszont "in situ", azaz a keletkezés helyén és idejében ad koncentrációértékeket. Ezt illusztrálja a 6. ábra, ami egy készülékcsoport közös légzőjének emissziós mérési eredménye.



6. ábra

Véggáztisztító készülék bemenő levegőáramának mérési eredménye.

A csatlakozó készülékekből kilépő anyagok függvényében vagy csak benzol, vagy ammónia ÉS benzol együttesen kerül a készülékre.

A fentiekben bemutatott készülék nagyon sokféle levegőszennyezettség mérési feladatra alkalmas, de tudomásul kell venni a korlátait is. Mint említettük, NEM alkalmas alacsony koncentrációk mérésére, éppen a zavaró háttér (páratartalom) hatása miatt. Az infravörös spektrumok széles, egymással is átfedő elnyelési sávjai miatt az anyag azonosítására kiegészítő mérések szükségesek. Nagyon jó eszköz viszont az emisszió mérésére, mégpedig ezen belül is a különböző üzemállapotok jellemzésére és a levegőszennyezés forrásainak pontosítására (idő és hely meghatározása).

Az idegen szavak magyarázata az 1. ábrából

Interferometer	Interferométer, (hullámok egymásrahatásából kialakuló "fény-kép" készítő eszköz).
Rotable platform	Forgatható sík tartó
IR-source	Infravörös fényforrás
Input mirror, Output mirror	Belépő tükör, Kilépő tükör
Beamsplitter	Fényelosztó test
Infra-red rays to measurement chamber	Infravörös fénysugár a mérőcellába
Alignment mirror	Beállító tükör
Fixed mirror	Állandó helyzetű tükör
Platform mirror	Tükörtartó sík

Measurement chamber & pump system	Mérőcella és szivattyú rendszer
Optical window	Fényáteresztő ablak
Microphone	Mikrofon
Inlet valve, Outlet valve	Belépő szelep, Kilépő szelep
Measurement chamber	Mérőcella
Infra-red rays from interferometer	Infravörös fénysugár az interferométerből
Pump	Szivattyú
Air outlet, Air shunt	Levegő kilépés, Levegő megosztás
Shunt valve	Megosztó szelep
Flush valve	Öblítőszelep
Internal/External fine air-filter	Belső/Külső finom levegőszűrő
Sampling tube	Mintavevő cső
Coarse air-filter	Durva levegőszűrő
Air-inlet, sampling point	Levegő belépés, mintavételi pont

KÜLFÖLDI MŰSZERÚJDONSÁGOK

ÖSSZEÁLLÍTOTTA: DR. LUKÁCS GYULA

Video mérőmikroszkóp rendszer, Video Check IP 250/400. tip.

Werth Messtechnik GmbH, Németország

A mérőműszerrel sík és térbeli alakzatok méreteit lehet közvetlenül mérni áteső és visszavert fényben. A rendszer elemes felépítésű és így egyedi mérési feladatok is megoldhatók. A mérőasztal feszültségmentes kialakításának köszönhetően kicsi a mérési hiba. A Werth-féle, a 0,5 és 5-szörös tartományban folyamatosan változtatható (zoom, gumi) lencserendszerrel 16x...160x végső nagyítást lehet elérni. A tárgytávolságot változtatva és 1x–100x nagyítású lencserendszerekkel 34x...3400x végső nagyítás kapható. A Z-tengely irányában való méréskor az élesre állítás önműködően történik. További érzékelőkkel olyan rendszert lehet kialakítani, amelyet sokoldalúbban lehet használni és a rendszer gyorsabban működik. A mérés optikai (lézeres) vagy mechanikai letapogatással működik. Az IP250 és IP400 jelű típusok mérési tartományaikban különböznek egymástól.



Főbb műszaki adatok:

	IP 250	IP 400
Mérési tartományok	X 250 mm-ig	400 mm-ig
	Y 125	200
	Z 200	200
Tömegek	380 kg-ig	420 kg-ig

Jellemző értékek

Feloldóképesség

0,1 μm

Megengedett legnagyobb eltérések

$E_1 = (2,0 + L/150) \mu\text{m}$

L mm-ben. $20^\circ\text{C} \pm 2 \text{ K}$, $\Delta = 1 \text{ K/h}$,

$E_2 = (2,5 + L/120) \mu\text{m}$

$\beta = 5x$, $m \leq 8 \text{ kg}$.

$E_3 = (3,5 + L/100) \mu\text{m}$

Külön rendelésre, nagyobb pontosságra

Feloldóképesség	0,1 μm
Megengedett legnagyobb eltérések L mm-ben. $20^\circ\text{C} \pm 1\text{ K}$, $\Delta = 0,5\text{ K/h}$, $m \leq 4\text{ kg}$.	$E_1 = (1,5 + L/300)\ \mu\text{m}$ $E_2 = (1,9 + L/250)\ \mu\text{m}$ $E_3 = (1,9 + L/250)\ \mu\text{m}$
Levegő páratartalma	40 ... 70 rel.
Levegő szennyezettsége	max. 0,05 mg/m^3
Üzemi hőmérséklet	$10^\circ\text{C} \dots 35^\circ\text{C}$
Tápfeszültség	230 V, 48...62 Hz
Teljesítményfelvétele, legfeljebb	1000 VA

Atom-erő mikroszkóp rendszer, nm-es skálával, Nano-R™ tip.

Pacific Nanotechnology, USA

A Nano-R™ mérőmikroszkópban nm-osztású skála van, ezzel új alaplmszer lehet a nanotechnológiában, a nanotudományban és a nanoellenőrzésben. A berendezésben önműködően élesre állító gumi-optikás (zoom) mikroszkóp, a minta X-Y-értékeit beállító mintatartó és kalibráló rendszer van. A Nano-R™ részei: az ellenőrző számítógép, az ellenőrző elektronika, az elemzést végző szoftver és a mintatartó asztal. Az SMP Cockpit™ szoftver csomaggal a kezdő és a gyakorlott kezelők egyaránt könnyen használhatják a berendezést. Az EZMode™ viszont a kezdőknek és az eseti használóknak készült, ezzel a szoftverrel a berendezést lépésről lépésre, áttekinthetően és könnyen lehet üzemeltetni. A gyakorlott használóknak ajánlják az X'Pert™ szoftvert. Előkészületben van a Pacific Map™ szoftver, amely tartalmazni fogja a képkiértékelést, az ahhoz használandó szűrők kiválasztását, a térbeli (3D) ábrázolást, a kijelzöt és a képelemzést.



Főbb műszaki adatok:

	X és Y	Z
Mérési tartományok	80 μm	8 μm
Linearitás	1 %	
Feloldóképességek	1 nm	0,08 nm
Színes képernyő mikroszkóp		
nagyítása	1000x	
gumi optika átfogása	4x	
látómezője	140 μm x 190 μm	
Önműködően mozgatott X–Y asztal		
tartománya	25,4 mm x 25,4 mm	
léptetés	3 μm -ként	
elfordulás sebessége	2,5 mm/s	

Méreték és tömegek		
asztal	356 mm x 406 mm x 406 mm	55,3 kg
ellenőrző egység	432 mm x 381 mm x 381 mm	15,9 kg
számítógép	432 mm x 203 mm x 457 mm	9,9 kg
képernyő (monitor)	457 mm x 406 mm x 457 mm	13,6 kg

Nagypontosságú laboratórium és üzem refraktométer, TCR 15–30. tip.

Index Instruments Ltd. Anglia

A cég 25 éves műszergyártói tapasztalatai birtokában tudta kifejleszteni a TCR 15–30. típusú refraktométerét, amely – a gyártó véleménye szerint – a legjobb ilyen típusú műszer a világgpiacon. A TV készülék kezeléséből ismert távirányítóhoz hasonló távirányító egységgel könnyen és biztonságosan lehet betáplálni a mérés paramétereit. Néhány másodperc alatt beállítható: a használandó skála, a minta-állandósulási időtartama, a keltezés és az, hogy az eredményt a kinyomtatóba vagy a csatlakoztatott számítógépbe juttassa el a berendezés. A műszer beállítása után már semmilyen más nyomógombbal azon változtatni nem lehet. Ezek után a műszer kezelőjének csak el kell helyeznie a mintatartóba a vizsgálandó mintát és megnyomni egy gombot. A mérendő mintát elektromosan lehet melegíteni vagy hűteni a 15 °C és 40 °C közötti tartományban, a hőmérsékletet a kijelzőről 0,01 °C pontossággal lehet leolvasni. Így még trópusi körülmények között is lehet pl. 20 °C-ra vonatkozó értékeket mérni, ha a skála úgy van értelmezve mint pl. a cukor és az illóolajok esetében. A műszerben három skála van, egy negyediket a használó írhat be. A mérendő minta hőbeállítási idejét 3 és 999 s között lehet beállítani. Így a nehezen kezelhető méz-, folyékony csokoládé- vagy tejtermék minták is jól mérhetők. A berendezés részei: a műszer, a tápegység és a távirányító. A berendezést a tápegység ki-bekapcsolójával, a műszeren lévő kinyomtatás/leolvasás gombbal illetve a távirányító billentyűzettel kell üzemeltetni.



Főbb műszaki adatok:

Skálák: törésmutató; Brix (cukor %); Brix 20 °C-ra vonatkoztatva; a használó által választott skála

Működési hullámhossz: 589 nm

Fényforrás: LED

Prizma anyaga: mesterséges zafír
 Kijelző: folyadékkristályos
 feloldása: $0,00001 n_{589}^{20}$
 0,01 % Brix
 0,01 °C hőmérséklet
 Pontossága 20 °C-on: 0 Brix-en 0,02
 95 Brix-en 0,03
 ennek megfelelő értékek a többi skálán
 Mérési tartománya: 1,33...1,53 n
 0...95 Brix
 Megengedett környezeti hőmérséklet: 10 °C ... 35 °C
 Hőmérsékleti: állandósága 0,03 °C
 pontossága $\pm 0,1$ °C 20 °C-on
 Ismétlőképessége: $0,00003 n_{589}^{20}$ időben állandó mintákra
 Vízálló az IP67 szabvány szerint
 Kimenet: RS232
 Tápfeszültség: 86...230 V, 47...63 Hz
 Teljesítményfelvétele: 40 W
 Méretek és tömegek: műszer 237 mmx235 mmx 170 mm, 5 kg
 tápegység 93 mmx 213 mmx 89 mm, 175 kg

Napsugárzás elleni védettségi tényezőt mérő rendszer, M350SPF, tip.

Camspec Ltd. Anglia

A textilgyárak egyre több ruhaneműt jellemeznek a napsugárzás elleni védettségi tényezővel. Az üzemben mérik a szövetek átteresztőképességét a 290...400 nm-es ultraibolya tartományban. A minősítés pontossága és megbízhatósága a mérés pontosságától függ. Egyes mérőrendszerekben 2 T% mérésénél $\pm 0,5$ T% van megengedve. Ez annyit jelent, hogy az ausztrál AS/NZ 4399:1966 szerinti 40 értéknél +15 vagy -10 adódik. Ahhoz, hogy védettségi tényező bizonytalansága $\pm 2,5$ legyen az átteresztőképesség mérésének $\pm 0,1$ T% bizonytalanságot kell biztosítani. A Camspec Ltd.-ben üzemi védettségi tényező mérő rendszert dolgoztak ki. A M350 tip. Ultraibolya és látható spektrumtartományban működő, kétsugaras spektrofotométerhez Windows szoftvert készítettek. Kialakítottak egy különleges integráló gömböt a védettségi tényező méréséhez. A Plus Campsec SPF szoftver megfelel az európai EN 13758-1, az amerikai AATCC Test Method 183:1998, az angol BS 7914:1998 és az ausztrália-újzélandi AS/NZS 4399:1996 szabványoknak. A mérésekhez az NPL-től leszármaztatott elnyelési tényező-jű (abszorbanancia) és hullámhossz etalonokat használnak. Az M350. tip. Camspec spektrofotométer főbb jellemzői következnek.



Főbb műszaki adatok:

Monokromátor: Littrow-rendszerű, 1200 vonal/mm-rel
 Hullámhossztartománya: 190...1100 nm
 Hullámhossz: pontossága $\pm 0,5$ nm
 ismétlőképessége $\pm 0,1$ nm
 leolvasása a számítógép képernyőjén
 Zaj: $< 0,0005$ A, csúcstól csúcsig 500 nm-nél
 Nullapont csúszása: 0,001 A/h, kellő felmelegedés után
 Sávszélessége: 2 nm
 Szórt fény (ASTM): $< 0,05$ T%, 340 nm-nél és 220 nm-nél
 Érzékelője: Si fotodióda
 Fotometriai: pontossága jobb, mint 1%, 0,5 A, 1A és 2A értékeknél
 tartománya -0,3 ... 3,0 A
 Alapvonal simasága: $\pm 0,002$ A
 Letapogatási szakaszok mérete (intervallumok) 0,2, 0,5, 1, 2 és 5 nm
 sebessége legfeljebb 1500 mm/min
 Tápfeszültség: 110/120/220/230/240 V, 50/60 Hz
 Teljesítményfelvétele: 180 VA
 Méretei: 660 mm x 450 mm x 190 mm
 Tömege: 28 kg

Kigyomláltuk

<i>abszorbeál</i>	elnyel
<i>abszorbencia</i>	elnyelési tényező
<i>absztrakt</i>	kivonat
<i>ad hoc csoport</i>	cél-munkacsoport
<i>addicionálás</i>	vmihez hozzáadás
<i>adekvát</i>	teljesen megfelelő
<i>akkreditált státusz</i>	akkreditáltság
<i>automatikus</i>	(itt) közvetlen; (máshol) önműködő
<i>bioremediáció</i>	természetes helyreállítás
<i>definiál</i>	meghatároz
<i>demonstrál</i>	bemutat (itt)
<i>detektálás</i>	érzékelés
<i>dichotomia</i>	kettős felosztás
<i>dominál</i>	túlsúlyban van
<i>empátia</i>	beleélés
<i>értékek korrelációja</i>	értékek, amelyek egymástól bizonyos mértékig függenek
<i>extraktum</i>	kivonat
<i>filozófia</i>	gondolkodásmód (itt)
<i>fokuszálás</i>	élesreállítás
<i>heterogén</i>	nem egyszerű (itt)
<i>humanyag</i>	szerves eredetű anyag
<i>intervallum</i>	szakasz
<i>izokratikus</i>	azonos vivőanyagú
<i>kategória</i>	osztály; halmaz
<i>kombinál</i>	összekapcsol
<i>kompenzál</i>	kiegyenlít
<i>komponens</i>	összetevő
<i>koncentráció</i>	töménység
<i>koncepció</i>	felfogásmód: máshol: alapeszme
<i>konfidenciaszint</i>	megbízhatóságszint
<i>konstrukció</i>	kialakítás
<i>koordinátamérő</i>	kiterjedésmérő
<i>koordinál</i>	összehangol
<i>korrekció</i>	helyesbítés
<i>korrekció</i>	helyesbítés; ~értéke
<i>kritérium</i>	ismérv
<i>kvantitatív</i>	számszerű
<i>manufakturális</i>	kézműves/kézi

<i>markáns</i>	jellegetes
<i>maximum</i>	legfeljebb
<i>menedzser</i>	vezető
<i>metamorfózis</i>	átformálódás
<i>monitor</i>	képernyő
<i>objektív</i>	tényleges; tárgyilagos
<i>optika</i>	lencserendszer
<i>optimizmus</i>	derülátás
<i>paraméter</i>	jellemző érték; jellemző
<i>paraméter</i>	jellemző tényező/érték
<i>pesszimizmus</i>	borúlátás
<i>portál</i>	honlap
<i>precizitás</i>	ismétlőképesség (itt)
<i>probléma</i>	megoldandó feladat
<i>probléma</i>	megoldandó feladat
<i>realitás idealizálása</i>	elképzelte valóság
<i>realitás</i>	létező (jelenség)
<i>referencia(anyag)</i>	anyagminta
<i>rutinszerű</i>	általános (itt)
<i>sematikus</i>	vázlatos
<i>speciális</i>	különleges
<i>stabil</i>	állandó
<i>stabilizálódás</i>	állandósulás
<i>standard (anyag)</i>	viszonyítási anyag
<i>széles skála</i>	nagy választék
<i>szimpátia</i>	együttérzés
<i>szimpózium</i>	tudományos tanácskozás
<i>technika</i>	eljárás
<i>tendencia</i>	irányzat
<i>teszt</i>	vizsgálat
<i>tesztatúra</i>	billentyűzet
<i>textília</i>	szövet
<i>toxicitás</i>	mérgező képesség
<i>tragikus</i>	kétségbeejtő
<i>trend</i>	irányzat
<i>univerzális érvényű</i>	általános érvényű
<i>validálás</i>	érvényesítés(validálás)
<i>vízió</i>	látomás
<i>xenobiotikum</i>	természetben nem létező

Miért mondjuk nem magyarul?

Reményi Tibor

Nem nyelvész és nem irodalmár szakmai körökben is új lendületet vettek a magyar nyelv védelmét szolgáló hivatott mozgalmak. Új nyelvvédő csoportosulások alakultak, és a régebben működő egyesületek, klubok keresik egymással a kapcsolatot.

2003. április 5.-én volt a Magyar Tudományos Akadémián "A magyar szakírók szövetségének első nagygyűlése", ahol valóban sokféle szakember kapott szót és cserélt gondolatokat. Miközben hallgattam a délelőtti előadásokat, és kritikus füffel-aggyal számláltam a nyelvész professzorok idegen szóhasználatát, feleslegesen hosszú dagályos mondatait, elkezdtem gondolkodni az okokon. Már mint annak okain, hogy mi is készített bennünket arra, hogy olyan sokszor mondjuk nem magyarul azt, amit magyarul is mondhatnánk.

Közreadom ezt a hevenyészett "leltárt" ennek a nagyon is megrögzött szokásnak, modornak a lehetséges okairól. Találtam többet belőlük, ám nem biztos, hogy mindet sikerült számba vennem. Feltehetően elsősorban értelmiségi "nyelvkórról" van szó. Az erdélyi és bácskai vidéki földműves vagy iparos ember még többé-kevésbé magyarul beszél. Amit nem anyanyelvén mond, az vagy szorosan a munkájához kapcsolódó szakszó, vagy éppenséggel színes, hangulatfestő tájszó. De bizonyosan nem mond "preferenciát" az előny vagy elsőbbség, netán a támogatás helyett.

Lássuk hát az okok leltárát!

Talán a **tudákosság**, tudálékosság az első. Dicsekvésből, tekintélyvágyból mondjuk idegenül, amit mondani akarunk. Így lesz "dominancia" a túlsúlyból vagy uralkodó magatartásból. Egy beszélgetés során legjobb mindjárt az első mondatokba beleszólni néhány lehetőleg nem hétköznapi latinos vagy angolos kifejezést, hogy lássák a többiek, kivel van dolguk! Pedig hát, a valódi műveltség nem ilyenfajta kérkedésből látszik meg. Inkább szellemi szegényességre vall, ha valaki nem talál vagy nem ismer jó magyar szót vagy szavak füzérét arra a gondolatra, amit közölni szeretne. Nem is olyan könnyű magyarul beszélni! - ha ezt komolyan vesszük.

A **szolgai utánzás** tűnik a második leggyakoribb oknak. Úgy szeretnénk elnyerni nálunk rangosabb valakik figyelmét sőt kegyeit, és ha ők úgy mondják, hát én is! Hátha "Similis simile gaudet" . (No. úgye !?)

A kór terjedésének egyik legbiztosabb módja ez az utánzó hajlam. Tanítók, tanárok és persze a szülők felelnek azért, hogy tanítványaik és gyermekeik mennyire jól és szépen tudnak magyarul. Visszaemlékszem csodálatosan művelt gimnáziumi történelem tanáromra, aki bevezette az idegen szavak és mondások gyűjtését, azok pontos magyar jelentésével és kortörténeti magyarázatával. Munkafüzetünk végén volt ezeknek a kifejezéseknek a részére fenntartva 4-5 oldal egy -egy tanévben. Ötöle tanultuk meg azt a gyönyörű onomasztikont (névjegyzéket, itt: szövegbe rejtett emlékeztetőt), amiből mindig felidézhattuk a 13 aradi vértanú neveit. "Pannonia Vergiss Deine Toten Nicht, Als Kläger Leben Sie!" = "Magyarország, ne feledd halottaidat, mint vádlók, élnek ők! " A német szavak kezdőbetűi sorra adják a vértanú tábornokok neveit: Pöltenberg Ernő, Vécsey Károly, Damjanich János, Schweidel József) Tessék csak végigpróbálni. Hát ez nem kérkedő idegen-beszéd! És remek példa arra, hogy hol a helye az idegen szavaknak. Ezeken a történelem órákon tanultam meg,

hogy az egyházi és világi hatalmasságok a "Do ut des!" (Adok, hogy adj!) elve alapján osztottak egymással, hogy ebből következett a "Cuius regio, eius religio" (Akié a föld-az ország-, azé a vallás) és még sok-sok más egykor valóban használt, és az igazi történelemértéshez bizony hasznos görög, latin, német, francia és angol kifejezést. Eszünkbe sem jutott, hogy a szomszéd város gimnazistái előtt, vagy a családi beszélgetésekben előhozakodjunk ezekkel a szavakkal, de jólesett érezni, amikor egy előadásban hallottuk vagy könyvben olvastuk, hogy tudjuk miről van szó.

Az ilyen, eredetében idegen nyelvű és jelentésében, alakjában is évszázadokon át változatlanul fennmaradt kifejezések ismerete valóban a **műveltségünk része**, és semmiképpen nem hasonlítható az idegen szavak ma divatos előkelősködő és felesleges használatához. Áldott emlékü tanárom ezzel más nyelven létrejött és ma már egyetemes kultúrkinccsnek számító gyöngyszemeket adott nekünk, miközben választékos és ízes magyarsággal mindig nagyon pontosan fogalmazott tárgyának tanítása során.

A **félelem** és valamiféle viszolygás is rávesz bennünket arra, hogy idegen szavak mögé bújtassuk a mondandót, mert például a magyar kifejezés túlon túl is érthető, sőt keményen találó. Szalonképesek akarunk lenni, és egyszerűen félünk, **restelkedünk** nevén nevezni a dolgokat. Ezért aztán inkább "genocidium"-nak mondjuk a népirtást, és "kriminálnak" azt, ami bűnös.

Sajnálatos módon sok fiatalban felfedezhető a "szuicid" hajlam, szóval: sokat foglalkozik az öngyilkosság gondolatával. És így tovább. Elgondolkodtató, hogy az őszintébb, keményebb, találób szóhasználat nem tenné-e viselkedésünket is őszintébbé és egyértelműbbé, amire pedig szüksége lenne ennek a képmutató társadalomnak, amiben élünk.

A **homálykeltés** nagyon is tudatos szándékában is remek mellébeszélések fogannak. Ezt a mellébeszélést az idegen, lehetőleg többjelentésű szóval és szavakkal lehet megvalósítani.

Mi sem vagyunk biztosak abban, hogy az adott helyen a tiszta ohmos ellenállás lenne-e a legjobb megnevezés, ezért aztán azt mondjuk, hogy az "impedancia" ilyen és ilyen. Magyarul fizikai tudásunk hiányát az idegen gyűjtőfogalom szóalakjával palástoljuk. Vagy például azt mondjuk, hogy "objektív technológiai" akadályai vannak a fűtés megkezdésének, ami például azt jelenti, hogy eltörött a fűtési távvezeték(ami bizony elég "objektív" dolog). Mindnyájan tudunk sok példát találni a rádió és TV műsorokban, politikai beszédekben stb.

Olyan eset is gyakran előfordul, hogy **tapintatból vagy kegyeletből** rejtjük az idegen szó mögé a fájdalmas valóságot. Ez főképp az orvoslás területén van így, és ha valahol, akkor itt jogosultsága lehet a nem közérthető idegen kifejezésnek. Természetesen ennek is van határa, mert annak semmi értelme, hogy 90 éves nagymamámról azt közölje az orvos, hogy beállt az "exitus". Hadd haljon ő meg csak tisztességesen magyarul (!). Ha valamilyen betegség kísérőjeként néha elájulhat az ember, de ez ritka és maga a betegség nem súlyos, akkor lehet, hogy jobb úgy beszélni a fejem fölött, hogy esetleg "kollabálhatok", mert, amíg nem tudom, hogy az mi, addig nem is félek tőle. Hasonlóan, ha azt hallom a mögöttem beszélgető orvosoktól, hogy alhasi fájdalma feltehetően "diverticulosis"-os hajlamára vezethetőek vissza, lehet, hogy meg sem ijedek...

Az orvos-beteg kapcsolat jó "működtetése" önmagában is egyfajta művészet. S valóban, szinte művészi eszközök kívántatnak ahhoz, hogy ez a kapcsolat őszinte és egyben szeretetteljes legyen. E két követelménynek kell(ene) szabályoznia az orvos szóhasználatát is.

Az **elkülönülés és titkolózás** igényéből is származhat az idegen kifejezések sűrű használata. Ez a politikai életre jellemző kiváltképp. Az uralkodó, kormányzó felső réteg, a bankvilág befolyásos szereplői talán nem is tudnak már érthetően és magyarul beszélni. "Recesszió" van, nincs "konszenzus" az EU küldöttek között, "deregulációra" lesz szükség... és így tovább.

Majd csak belefárad a hallgató, az újságolvasó és a néző ebbe a sok érthetetlen szövegbe, és elmegy a kedve attól, hogy részt vegyen a közéletben. Bizony ilyen nyelvi eszközökkel is ki lehet szorítani a politikából az egyszerű választó polgárokat. Ha pedig olyan az ország vezető rétege, hogy inkább fontos neki az angolszász vagy arab vagy akármilyen nemzetiségű (vagy inkább államiságú) hatalmi központok tetszése, mint a hazai polgárok tisztánlátása, akkor kifejezetten kapóra jön a magyar szavakat alig tartalmazó politikai halandzsa.

Nem mentes ettől a fajta ködösítő nyelvi magatartástól a tudományos elit (kiváltságos felső réteg?) sem. Az akadémikus felsőbbrendűség érzetetésének eszközei közé tartozik az idegen, sokszor kifejezetten talányos szavak használata.

Saját magamon azt vettem észre, hogy egyszerűen **elfáradtam** magyarul beszélni. **Belefásultam** az anyanyelvemért való mindennapos harcba. Kicsit szégyellem is ezt az érzést. Minél többet tanultam, minél többször voltam külföldön, minél gyakrabban fordultam elő nyilvános szereplésen, minél több tudós barátom lett, minél több újságot, folyóiratot olvastam, sőt: minél több mai magyar irodalmat (!) olvastam, annál inkább felejtettem magyarul. Mármost Arany Jánoshoz vagy Nagy Lászlóhoz mérve! Alig merek veretes, szép dallamú régi szavakat használni.

Erfőszítést jelent ma tisztán magyarul beszélni és írni. Írni főképp, mert tudománytalannak, "mezítlábasnak" fogják találni a szerkesztő, bíráló és kiadó urak kéziratomat. Jó lenne kigyógyulni ebből a fáradtságból, beletörődésből, és merni vállalni, hogy **mégis** magyarul beszélünk és írunk.

Végül el kell ismerni, hogy nem ritkán azért használjuk az idegen szót, mert egyszerűen **nincs rá jó magyar szó**. Legalábbis ma még nincs. Vigyázni kell az erőszakos, életidegen magyarításokkal! Nem lehet mindent kigyomlálni, ami nincs magyarul egy magyar nyelvű, magyar kiadású írásban. Megpróbálok néhány példát hozni. Egyelőre nem tudok jobb szót a demokrácia, a dilemma, a diplomácia, az elit, a hipnózis, az internál, a kontraszelekció, a laboratórium, a lavíroz, a lexikon, a logika, a manipulál, a mechanika, a pánik, a reform, a technika, a tragédia, a vegetatív stb. közhasználatú szavak helyett. A demokrácia nem csupán "népuralom", ennél sokkal gazdagabb sokrétűbb a jelentése, amit egyetlen magyar szó nem tud kifejezni, a pánik is több, mint "vakrémület", bár ez egy elég jó közelítés. A többi felsorolt szóra még nehezebb vagy egyszerűen lehetetlen egyetlen szavas magyar megfelelőt találni.

Folytathatnám a sort, hiszen legalább néhány száz olyan idegen vagy idegen tövű szavunk van a köznyelvben, amelyekkel meg kell barátkoznunk.

Sajnos a "digitális", az "analóg", a "redundancia" és még számos műszaki és tudományos kifejezésünkre sincs jelenleg jobb szó. Próbáljunk ezek helyett ugyanilyen kifejező és tartalmilag azonos jelentésű magyar szót találni, nem igen fog sikerülni.

Egyetértek azzal, hogy szinte minden ilyen esetben meg kell próbálkozni a lehetséges magyarítással, de az értelmes határokat is szem előtt kell tartani.

Persze elrettentő példa is van. Ha egy iskola átlagos tanulmányi eredményére azt mondanám, hogy "optimális", akkor ez inkább érthetetlen lenne, mint kifejező, hiszen ez esetben a "legjobb"-nál nincs jobb szó.

Ugyanakkor még mindig nem tudom elviselni a "validálás"-t és "verifikálás"-t, csakúgy, mint az "auditálás"-t és "monitorozás"-t sem ! Pedig manapság nem is "menedzser" az a munkahelyi vezető, akik nem használja ezeket a szavakat, miközben "mobilján kommunikál".

Értelmes dolog lenne valamiféle egyezményes gyűjteményben, szakszótár féleiben összeszedni azokat az idegen,de már meghonosodott szakszavainkat, amelyeket kár üldözni. E helyett a gyökeres tiltás helyett, inkább a valóban szörnyű és teljes értékűen helyettesíthető idegen szavak kigyomlálására kellene a munkánkat és időnket fordítani.

Az okok - akár csak részleges- felsorolása önmagában és egyszerre még nem állítja meg az idegen szóözönt, ami naponta árad ránk és belőlünk. A fenti gondolatok legfeljebb abban segítenek bennünket, hogy ráébredünk, tudatára ébredünk szokásaink, modorosságaink belső hajtóerőire. Ettől talán kicsit meggondoltabbak és őszintébbek (is) leszünk. Legyen így !

A „végső szavak – utolsó mondatok” gyűjteményből

Dr. Lukács Gyula

„Wer nicht von dreitausend Jahren
Sich weiss Rechenschaft zu geben,
Blieb in Dunkel unerfahrbar,
Mag von Tag zu Tag leben.”*
J.W. Goethe, 1749-1832.

Már gyermekkorunkban hallunk környezetünkől eligazító mondatokat a helyes életmódra, amelyeket ismételtnek nekünk, s mi magunkban hordozzuk azokat. Az évek során ezek háttérbe szorulnak, és újak kerülnek helyükre. Fél évszázada figyeltem fel azokra a szavakra és megállapításokra („mondatokra”), amelyek állandó kísérői életünknek (1). Kiválasztottam néhányat ezek közül.

„futni” és „erőlködni” kell állandóan

„Ha nem akarunk visszafelé haladni – futnunk kell.” (Pelagius, ?-418.) „Keveset tudunk, de az a bizonyosság sohasem hagyhat el bennünket, hogy a nehezett kell vállalnunk.” (R.M. Rilke, 1875-1926.) Ez egész életünkben érvényes: a gyermekkortól az utolsó napunkig. Az öregség sem békés, csendes korszak. Az életben végig kitartónak kell lenni.

rend és rendetlenség

„A legfontosabb képesség az, amely minden mást rendez.” (Bl. Pascal, 1623-1662.) „A rend az értelmet, a logikát tükrözi. A rendetlenség a dinamikus fantáziát, a teremtő képzelőerőt jelzi. A rend is, a rendetlenség a szellem gyümölcse.” A rendetlenség szinte észrevétlenül, mintegy „magától” keletkezik, a rendet azonban újra meg, újra meg kell teremtenünk magunkban és magunk körül egyaránt.

szeretet és szeretetreméltóság

„Én pedig megtanultam, hogy az emberek iránti szeretet az, ha megérezzük, mire van szükségük, és szenvedéseikből részt vállalunk.” (2) Szeretetreméltónak akkor tartanak bennünket mások, ha megérik a belőlünk feléjük áradó szimpátia együttérzésünket és segítő cselekedeteinkkel is megnyerjük őket magunknak.

beleélés (empátia) és irgalmasság

„Ember vagyok és semmi, ami emberi nem lehet idegen számomra.” (Terrentius, Kr.e. 195-159.) Az empátiát (más lelki állapotában való beleélést), amely passzív tevékenység, követnie kell a cselekvő segítségnek. Ez utóbbit a régi szóhasználatban irgalmasság-

* Aki háromezer évről nem tud/Elszámolni magának,/Tanulságok híján sötétben marad,/Élhet egyik napról a másikra.

nak nevezték. Az irgalmasság testi cselekedetei: éhezőnek enni adni, szomjazókat meg-
 itatni, hontalanokat befogadni, ruhátlanokat öltöztetni, betegeket ápolni, foglyokat meg-
 látogatni. Az irgalmasság lelki cselekedetei: bűnösöket jóra inteni, tudatlanokat oktatni,
 kételkedőknek jó tanácsot adni, szomorúakat vigasztalni, az ellenünk vétőknek megbob-
 csátani, élőkért és holtakért imádkozni. (Katolikus Lexikon, 1996.) Ide soroljuk, hogy a
 szakmai és a tudományos munkában tudásunkat maradéktalanul átadjuk azoknak, akik-
 nek erre szükségük van. Mindezeket a viszonzás elvárása nélkül cselekedjük. Ma nem
 általánosan elterjedt szokás mások önzetlen segítse, a másokkal való törődés. Ezért lesz
 mindennapi életünk sivár és örömtelen, ami főleg az öregségben ölt kétségbeejtő mére-
 teket.

„tiktein en tó kaló” – szépségben nemzeni és szülni

A konzervatív vallásos felfogás szerint is az igazi szerelem legjobb leírását Platónnál
 (Kr.e. 427-347.) találjuk meg még ma is. Egy Diotima nevű asszony tanította meg Szók-
 ratészt (Kr.e. 469-399.) a szerelem lényegére. A szerelem: „A szépségben való nemzés
 és szülés vágya.” „És miért éppen a nemzés? Mert a nemzés örökéletű és halhatatlan a
 halandókban. S abból, amiben az előbb megállapodtunk, szükségképpen következik,
 hogy a jóval együtt a halhatatlanságra is vágyakozunk, ha egyszer annak a vágya, hogy
 a jó örökre a miénk legyen.” (Platón: A lakoma.) Az igazán szerelmes nő is és férfi is
 gyermeket akar kapcsolatukban. Nem vagyunk felkészülve arra, hogy az igazi szerelem
 életünkben több alkalommal is előfordulhat (egyesek szerint háromszor is). Nem biztos,
 hogy tudjuk hogyan kell – ha szükséges – elejét venni, vagy megfelelően irányítani azt.
 (Ortega y Gasset, H.: A szerelem.)

„anyásan szeretgetni a gyerekeket”

A gyerekek az igazi szerelem szerves részei és a gyermeki lét az emberiség egyik leg-
 nagyobb öröm-forrása. A régi perzsa mondás szerint: a legjobb íz a víz íze, a legjobb
 illat a kenyér illata, a legjobb szeretet a gyerek szeretete. Az anyák ösztönösen fogadják
 és viszonzják a gyermeki szeretetet. Az igazi férfiak is áhítozzák a gyermeki szerete-
 tet. Amikor megkérdezték Konfuciust (Kr.e. 551-479.), a nagy kínai bölcset, hogy mi-
 lyen élet lenne szíve-vágya, így válaszolt: „Az öregeknek békességet szeretnék teremte-
 ni, a barátaimhoz és a hozzám közelállókhöz hűséges szeretnék maradni és anyásan
 szeretgetném a gyerekeket.” (3)

a kisebbik rossz

Előfordulhat életünkben, hogy nem jó és rossz között, hanem két rossz közül kell az
 egyiket választanunk. „Két gonosz közül mindenkor a kisebbet kell választani.”
 (Kempis: Krisztus követéséről.) Vagyis nem azt, amelyiket könnyebb lenne elviselni,
 nem azt, amelyik kevesebb zavart okozna, hanem azt, amelyik a kisebb „gonosz”.

a fák tanítása

Szt. Bernát (1090-1153) mondásai: „Mindazt, amit a szent tanokból megtudtam, az er-
 dőkben és a réteken tanultam meg. Nem voltak más mestereim, mint a tölgyek és a bük-
 kök.” (Huxley, A.: The Perennial Philosophy.) „A fák és a sziklák olyasmire tanítanak,

amit máshol nem hallasz.” (Leclercq, J.: Clairveaux-i Szt. Bernát.) Rendszeresen kell nagy fák között, erdőben járnunk, hogy alkalmassá váljunk üzeneteik, tanításaik befogadására.

Pombó apát hallgatása

„Teofil érsek egyszer Szkétába jött. A testvérek összejöttek, s így szóltak Pombó apát-hoz: „Mondj a püspöknek egy mondást, hogy abból hasznot merítsen.” Az aggastyán így válaszolt: „Ha hallgatásomból nem nyer semmit, akkor nem használ neki beszédem sem.” (Az első szerzetesek és remetéik életéből.) Környezetünkben nem találunk Pombó atyákat, hogy hallgatásukból okuljunk, de megmaradtak minden idők sok bölcsének írásai, amelyek javarésze magyarul is hozzáférhető, ezekből kell merítenünk. A jó könyvek c. összeállításban (4) 28 ilyen mű található. Könyvtárunk polcán kell lenniök a következőknek:

Arisztotelész: Nikomakhoszi etika
 Kempis: Krisztus követéséről
 Konfucius: Beszélgetések és mondások
 Lao-Ce: Az Út és Erény könyve (Tao te king)
 Platón: A lakoma
 Platón: Az állam
 Ószövetségi és Újszövetségi Szentírás

Jegyzetek

1. Lukács Gyula: Útmutatások a jó életre. Gondolatok, mondások, történetek. *Műszerügyi és Méréstechnikai Közlemények*, 69. szám. 2002. 57-62. p.
2. „Mosche Löw, a sassowi rabbi mesélte: „Egy paraszttól tanultam meg hogyan kell szeretni az embereket. A paraszt a többi másikkal a csapszékben ült és ivott. Valamennyien hosszasan hallgattak, amikor azonban a bor meglágyította a paraszt szívét, így szólt a szomszédjához: „Mondd meg szeretsz-e te engem vagy nem szeretsz engem?” A kérdezett így válaszolt: „Én nagyon szeretlek téged.” Ő azonban így folytatta: „Azt mondod, hogy szeretsz engem és nem tudod, hogy mi hiányzik nekem. Ha igazán szeretnél, tudnád.” A másik erre egy szót sem tudott szólni, és a paraszt, aki kérdezett, megint hallgatott, mint azelőtt. Én pedig megtanultam, hogy az emberek iránti szeretet, ha megérezzük mire van szükségük, és a szenvedéseikből részt vállalunk.” (Huber, Martin: *Die Erzählungen der Chassidim*. Zürich, Manesse Verl. 1949. 533. p.
3. „Egyszer Yen Yüan és Gi Lu Konfucius mellett álltak, mikor a Mester így szólt: „Mondjátok meg nekem, mi az, amit legjobban szeretnétek?” Gi Lu kezdte: „Kocsit és lovat szeretnék, meg drága és finom prémbundát. A barátaimmal együtt használnám, és ha ők azokat tönkretennék, nem haragudnék rájuk.” Yen Yüan így folytatta: „Nem szeretnék dicsekedni a vagyonommal, sem terhére lenni másoknak.” Ekkor Gi Lu Konfuciushoz fordult: „Hallhatnánk most, hogy a Mesternek mi lenne a szíve-vágya?” A Mester így szólt: „Az öregeknek békességet szeretnék teremteni, barátaimhoz és a hozzám közelállókhöz hűséges szeretnék maradni és anyásan szeretgetném a gyermekeket.” (Kung Futsze *Gespräche*. Aus dem chinesisichen verdeutscht und erläutert von Richard Wilhelm. Jena. Diderichs Verl. 1910. 47. p.
4. Lukács Gyula: A jó könyvek. (400 könyvcím). *Műszerügyi és Méréstechnikai Közlemények*, 70. szám. 2002. 55-64. p.

A MOMCOLOR színmérők története

Dr. Lukács Gyula

A Magyar Optikai Művek az 1960-as években az ország egyik jelentős ipari nagyvállalata volt. Az ország 30 legnagyobb feldolgozóipari vállalata között létszámban a 30-ik és exportban a 25-ik helyre sorolták, jelentős nyugati kivitele akkor sokat számított. (1) Hagyományos termékei közé tartoztak a geodéziai műszerek, ezek egyik típusával egy nyugati kiállításon aranyérmeket nyertek. Ebben az időben alakult ki új termékcsoportként a laboratóriumi műszerek gyártása, amelyek közé jól beilleszthető volt a színmérő műszer.

Ezekben az években a gyárak nem foglalkozhattak kutatással vagy új termékek fejlesztésével, azt az ún. központi kutató intézetekkel kellett elvégeztetniük, amelyek közvetlenül az illetékes minisztériumokhoz voltak rendelve. A műszeriparnak elsősorban a Központi Fizikai Kutató Intézet, az Optikai és Finommechanikai Központi Kutató Laboratórium, a Műszeripari Kutató Intézet és a Méréstechnikai Központi Kutató Laboratórium voltak a lehetséges partnerei. A szerződéses kapcsolatot mindkét fél kezdeményezhette.

Korábban foglalkoztam már színmérési kérdésekkel (2) és jó szakmai kapcsolatban voltam a MOM-os kollégákkal. Ekkor a Méréstechnikai Központi Kutató Laboratórium optikai osztályát vezettem és javaslatomra Dr. Striker György igazgató kezdeményezte a MOM-nál, hogy bízzák meg az MKKL-t egy üzemi-laboratóriumi színmérő műszer kifejlesztésével. Posch Gyula, a MOM vezérigazgatója elfogadta az ajánlatot és 1965. 04. 30-án aláírták az erre vonatkozó szerződést. Az MKKL által javasolt és a MOM által elfogadott specifikációt, a szükséges kutatások eredményeit a (3)-ban foglaltam össze. A Méréstechnikai Központi Kutató Laboratórium a MOMCOLOR tristimulusos színmérő kísérleti példányát és annak pausz dokumentációját 1967. 05. 12-én átadta a Magyar Optikai Műveknek.

A MOM eleget tett szerződésben vállalt kötelezettségének és az átvételt követően honosította a dokumentációt, tervcél tárgyaláson elfogadtatta a prototípust, legyártották a kísérleti példányt, annak alapján 1968. 06. 30-ra elkészült a 10 db-os, ún. nullszéria, amely feltétele volt a sorozatgyártás megindításának. Négy év alatt sikerült az ötlettől a sorozatgyártásig eljutni, ami az akkori körülmények között figyelemreméltóan rövid időnek volt mondható.

A MOMCOLOR tristimulusos színmérő

A műszer talpazatra erősített mérőfejből és villamos egységből állt (1. ábra). A színérésben felületek, folyadékok, paszták és kenőcsök, porok színét kell mérni. Máig nem ismerünk a piacon másik olyan színmérő műszert, amellyel mindezeknek a minta fajtáknak színét könnyen és megbízhatóan mérni lehetne. Másik egyedülálló konstrukciós megoldás volt a mérőfoltnak folyamatos, gumi (zoom) optikával való állítása 5 mm és 15 mm átmérő között. Szükség esetén 2 mm-es mérőfolt átmérőt is be lehetett állítani és az

erre a célra készített mérőrekeszsel mérni. A műszerhez három mérőrekesz tartozott, a szélső határok között a mérőfolt értékét tetszőleges értékre be lehetett állítani és megfelelő határoló rekeszt készítve mérni. A gyakorlatban sokszor vannak ún. metamer minták, amelyeket különböző reflexiós görbéjű színezékekkel festettek meg, de szemmel egyforma színűeknek látszanak. A tristimulusos műszerek egyik érzékeny pontja a minták metamériája. Az ún. illesztő szűrőkombinációkban használt színes optikai üvegek megfelelő kiválasztásával és az egyes elemek vastagságainak optimalizálásával tudunk jó eredményt elérni. Érzékeli a feladatot az első szűrőkombináció adatsora (4). A 0,01 mm-es síkcsiszolási követelményt csak a MOM optikai gyártásának színvonalán álló üzemek tudták teljesíteni. A MOMCOLOR első külföld eladása éppen ezen múlt (5). A mérőfejet a talapzatról le lehetett venni és hat különböző helyzetben rögzíteni, aszerint, hogy mi a minta illetve mi a mérési feladat. Alapállásban (2. ábrán 1a) a műszer tetején lévő mérőasztalra kell helyezni a kalibráló fehér etalont illetve a mérendő mintát. Ha a mérőfejet megfordítva (fejfel lefelé) rögzítjük a mérőállványra (2. ábrán 1b), a külön tartozék kis minták és porok szabad felületének mérésére való asztalt illesztjük a mérőfejhez. Az ebbe helyezett kis fehér zománc etalonnal kalibrálunk és a kismintatartóba tesszük a mérendő tárgyat. Van amikor a mérendő minta nagy és több helyen kell rajta mérni (pl. egy vég textília), akkor a 120 mm x 200 mm-es tárgyasztalt tesszük a mérőasztal helyére (2. ábrán 1c), evvel a mérőfej biztosan felfekszik a mérendő felületre. A műszerhez külön tartozékként kapható 16 db-ból álló interferenciaszűrő készlet, amelyek (2. ábrán 1d) a fényútba hozhatók és a műszer mint egyszerű (abridged) spektrofotométer működik. A 2. ábra 2a szerinti helyzetében kenőcsmérő feltét kerül a műszerre és sötét kenőcsök, paszták színét lehet az azokról visszavert fényvel mérni. Végül a 2. ábra 2b helyzetben lévő műszerrel mérik a küvettába töltött folyadékok színét átmenő fényben. A műszer kezelője a mérőfejen lévő tárcsa forgatásával juttatja a fényútba a X_1 , X_2 , Y , Z színingerősztetevőknek megfelelő szűrőket. Mindegyik színingerősztetevőhöz tartozik egy mérő-helipot a villamos egység alsó részén. A szűrő fényútba forgatásakor kigyullad a megfelelő helipot feletti jelzőlámpa. A helipotot elforgatásával kell a fényelem rövidzárási áramát kiegyenlíteni, amit a galvanométer nullára állása jelez. Ekkor négy jegyre le kell olvasni a helipot állását. A színességi koordinátákat az ismert összefüggésekkel számítjuk: $x = \frac{X}{X+Y+Z}$ és $y = \frac{Y}{X+Y+Z}$. Az adatokat tehát az x , y , Y színingertérben adjuk meg. A MOM felkérésére az Országos Mérésügyi Hivatalban berendezkedtek a nagy pontosságú spektrofotometriai mérésekre és rendszeresen szállítottak 16-db-os zománc színetalonnal készleteket, az ebben lévő fehér etalonnal kalibrálták a műszereket. A színes etalonokkal szabatosan, a piacon egyedülállóan, számszerűen jellemezni lehetett a műszerek ismétlődőképességét és pontosságát a színingertérben. Az etalon-kérdéssel a későbbiekben részletesen foglalkozom.

Főbb műszaki adatok:

Színingermérő rendszer: CIE 1931 (2°)
 Mérési geometria: 0° alatti megvilágítás, 45° -os észlelés
 Tükrös komponens kizárva
 Sugárzáseloszlások: CIE C és CIE A, külön szűrőkészlettel
 Fényforrás: 12 V, 25 W, izzólámpa
 Érzékelő: gyűrűs Se fényelem
 X_1 , X_2 , Y , Z illesztése üvegszűrőkkel

Mérőfolt átmérője: 5, 10 vagy 15 mm

Beállítás: OMH kalibrált fehér zománc etalonjával

Folyadékküveték optikai úthossza: 5 mm, 10 mm, 15 mm

Galvanométer érzékenysége: 10^{-6} A/skálaosztás

10^{-8} A/skálaosztás érzékeny állásban

16 db-os zománc etalonkészlet Országos Mérésügyi Hivatal kalibrálásával (1 db fehér, 1 db középszürke, 4 db piros, 4 db sárga, 3 db zöld, 3 db kék etalon)

Színmérési pontossága: $\Delta x, \Delta y, < 0,005$, ha $Y > 10$, és Munsell-chroma > 10

Színkülönbségmérés pontossága: $\Delta x, \Delta y < 0,001$, ha $Y > 10$ és Munsell-chroma > 10 .

Tápfeszültség: 220 (110, 127) V, $-15 \% \dots +10 \%$, 50 Hz

Teljesítmény felvétele: 50 VA

Méreték: mérőfej az állvánnyal 185 mm x 100 mm x 320 mm

villamos egység 400 mm x 400 mm x 275 mm

Tömegek: mérőfej az állvánnyal 3,5 kg

villamos egység 20,5 kg

A MOMCOLOR továbbfejlesztett típusairól röviden

Ismerünk néhány olyan műszertípust, pl. hőmérőt, gáz- illetve villamos fogyasztásmérőt, amelyet évtizedekig lehet szinte változtatás nélkül gyártani és megfelelnek a követelményeknek. A legtöbb műszerrel másképpen vagyunk, néhány év után már jobbat szeretnének a használók: legyen a műszer könnyebben kezelhető, metrológiai tulajdonságai javuljanak stb. A gyártó is figyeli a tudományos eredményeket, a gyártástechnológia fejlődését és állandóan foglalkozik műszerei modernizálásával, tökéletesítésével, s reméli, hogy a javított típussal további vevőket tud szerezni magának. A Magyar Optikai Művek a MOMCOLOR színmérőjéből, 1969-et követően, öt új típussal jelent meg a piacon:

MOMCOLOR tristimulusos nullázó műszerrel,

MOMCOLOR-D digitális tristimulusos színmérő,

MOMCOLOR-DC: színmérő és kalkulátor,

MOMCOLOR-100 tristimulusos színmérő képernyő kijelzéssel,

MOMCOLOR-1000 automatikus tristimulusos színmérő.

Egy későbbi fejezetben fogom részletesen tárgyalni ezeket, mert ehhez ismerni – és előbb nekem ismertetni – kell a CIE (Nemzetközi Világítástechnikai Bizottság, Commission Internationale de l'Éclairage) által 1975-ben elfogadott és szabványosított CIELAB színingermérő rendszert és az abban értelmezett színingerkülönbségi mennyiségeket. Továbbá a színmérő műszereket jellemző színmérési ismétlőképességet és színmérési pontosságot a CIELAB színingermérő térben. Most előbb nézzük a gyártási és értékesítési adatokat.

A MOMCOLOR-ok gyártása és értékesítése

A gyártott termék darabszáma a világon mindenütt gyári titok, ezt a MOM-ban a műszer tervezésével foglalkozóknak nem is kellett tudniuk. Ebben az időben Magyarországon az éves terv elkészítésében és teljesítésében gondolkoztak a vezetők. Ha egy évet lezártak, senkit nem érdekeltek azután annak az adatai. A gyártás át is húzódhatott az egyik évről a másikra, így az irodában nagyon nehéz volt tisztában lenni a gyártási számokkal. Persze, ha valaki, mint a műszer gazdája a konstrukciós osztályon, vette magának a fáradságot és végigjárta azokat az osztályokat, ahol adatokkal rendelkeztek, összeszedhette magának a keresett számokat. Ennek előrebocsátásával következik az *1. táblázat*:

1. táblázat. A MOMCOLOR-típusok gyártási évei és a darabszámok

MOMCOLOR Galvano- méteres	0-műsze- res	MOMCOLOR-D Digitális műszeres	ua. + kalkulátor	MOMCOLOR-100 Képernyő kijelzéssel	MOMCOLOR-1000 Automatikus, nyomtatóval
1969–1976		1974–1985		1986–1990	1991–1994
230		528	10	115	19

A MOMCOLOR-1000-ből 30 db-os sorozatot indítottak és a mechanikai alkatrészek el is készültek. 19 db-ot összeszereltek és értékesítettek. Ekkor jött a Magyar Optikai Művek felszámolása, nem tudni, hogy hova lett 11 db félkész műszer. A táblázatban összesen 902 db műszer szerepel, ha ehhez hozzávesszük azt a 22 db-ot, amit a Méréstechnikai Központi Kutató Laboratóriumban gyártottak, biztosan mondhatjuk, hogy legalább 924 db MOMCOLOR színmérő műszer került a felhasználókhoz. Összehasonlításképpen a világszerte bevezetett, USA-beli Hunterlab színmérőket gyártó cég, fennállásának első 15 évében, 1957 és 1972 között, mintegy 1000 db színmérő műszert adott el. (6)
A MOMCOLOR-ok értékesítési adatait a *2. táblázat* tartalmazza:

2. táblázat. A MOMCOLOR-ok értékesítése országonként.

Országonként, db			
Albánia	1	Kuba	7
Ausztria	1	Lengyelország	125
Bulgária	46	NDK	160
Csehszlovákia	85	NSZK	6
Franciaország	4	Olaszország	1
Görögország	6	Románia	94
Jugoszlávia	3	Spanyolország	3
Kína	5	Szovjetunió	19
Korea	4	Vietnam	1
	Export		571
	Magyarország		353
	összesen		924

3. táblázat. A MOMCOLOR színmérők hazai használóiból

Állami Pénzverő:	1	Kutató Intézet:	
Bányászat: szén	3	Ásványolaj	1
bauxit	1	Automatizálási	1
érc, arany	1	Bőripari	1
Belügyminisztérium:	1	Élelmezési	1
Bőripar:	2	Építéstudományi	1
Egyetem: Agrártud., Debrecen	1	Építőipari	1
Agrártud., Keszthely	1	Faipari	1
Erdészeti, Sopron	1	Fémipari	1
Kertészeti, Bp.	5	Gabonatermesztési, Szeged	2
Műszaki, Bp.	5	Gyógyszer K.	1
Orvosi, Bp.	1	Gyógyszerészeti	1
Veszprémi	3	Gyógyszertechn. Szeged	1
Ellenőrző Int.: Élelmiszer	12	Közp. Élelmiszeripari	2
Gyógyszerészeti	1	Kertészeti, Bp.	1
Kereskedelmi	1	Kertészeti, Fertőd	1
Elektrotechn.	1	Kolorisztikai	1
Papír-nyomda	1	Konzerv, paprika	2
TEXIMEI	1	KÖTUKI	1
Fajtakísérleti Áll.:	3	Közlekedéstud.	1
Festék-lakkipar:	6	Malom, sütőipari	1
Fémű, Mátavidéki:	1	Papíripari	1
Finomkerámia:	2	Szerves Vegyipari	1
Főiskola: Élelmiszerip. Szeged	2	Szeszipari	1
Ker. Vendéglátóipari	1	Szilikátipari	1
Könnyűipari	4	Szőlészeti	1
Vegyipari, Kazincbarcika	1	SZOT	1
Villamosipari, Kandó	1	Textilipari	1
Gépipar:	6	Zöldségkutató, Bp.	1
Gumiipar:	1	Műanyagipar:	13
Gyógyszeripar:	6	Műszeripar:	1
Híradástechn. ip.:	3	MTA Műszerügyi Szolg.:	1
Honvédség:	3	Nyomdaipar:	2
Kerámia, cserépkályha:	1	Olajipar: növény	2
Konzervgyár:	2	kőolaj	2
Kozmetikai ipar:	2	Papíripar:	1
Középisk. Petrik L. vegyipari:	1	Paprika feldolgozás:	1
Közlekedés:	2	Porcelángyártás:	3
		Tervezőiroda:	2
		Textilipar:	10
		Üveggyártás:	2
		Vegyipar:	11
		Zománcipari:	4

A MOMCOLOR-ok exportképesek voltak: a termelés 62 %-át külföldön lehetett értékesíteni. Ebből a KGST országok részesedése 60 %. Feltűnően kevés műszer került a Szovjetunióba, aminek az az oka, hogy a MOM vezetősége nem is akart oda többet eladni, mert a kapott keretét a Nyugatra nem szállítható termékeivel töltötte ki. A tőkés világ öt országába tudtunk MOMCOLOR-t eladni, ebből Franciaországba, Görögországba, Jugoszláviába, NSZK-ba és Spanyolországba egynél több darabot. Műszereink jó hírnevére példa lehet, hogy a MOM volt spanyolországi képviselője 2003-ban ajánlatot kért a MOMCOLOR-1000 színmérő műszerre. Színmérési tájékozottság szempontjából a nyugati országban sem volt jobb a helyzet mint nálunk, csak az akkori körülményes érintke-

zés miatt nehezebb volt elhárítani az akadályokat, jellemzőnek tartom egy franciaországi tapasztalatomat (7).

A hazai vásárló megvehette a MOMCOLOR-t valamelyik belkereskedelmi szervnél, pl. a MIGÉRT-nél, akkor a MOM-ban nem tudtuk meg, hogy kihez került a műszer, csak ha szervizre volt szüksége, de ez ritkán fordult elő. A vevő fordulhatott közvetlenül a MOM kereskedelmi osztályához is, ekkor a kiszállítás előtt a Szerviz osztályon kartont állítottak ki, s ezekről a vásárlókról volt áttekintésünk. 1970 és 1989 között 177 db karton készült, vagyis a 353 hazai felhasználó 50 %-át ismertük. A 3. táblázatban a műszerek tulajdonosai így oszlanak meg:

Volt az	db műszer
Oktatásban	27
Kutató intézetekben	31
Ipar, bányászat, mezőgazdaság területén	109
Egyéb felhasználónál	10
összesen	177

Szánalmasan kevés felsőfokú intézményünk tartotta szükségesnek, hogy a színmerést tanítsa és ehhez MOMCOLOR műszert vásároljon. Legalább tizenhat területen kellene a színmérés fogalmaival és mérésével tisztában lenni (8). Ez csak akkor következhet be, ha az illető terület egyetemén vagy főiskoláján végző tanulóit megtanítják a szükséges ismeretekre. Tudomásom szerint ma legfeljebb öt felsőfokú intézményben oktatják a színmerést. Kevés vigasz a számunkra, hogy Németországban sincs a felsőfokon rendszeres színmérési oktatás (9).

Figyelemre méltó és pozitív a 3. táblázatban, hogy 29 kutató intézet szerzett be MOMCOLOR műszert (volt, amelyik több darabot), ami a színmérési módszernek az azon technológia területén való bevezetését jelentheti. Dicséretes, hogy a megyei Élelmszerellenőrző és Vegyvizsgáló Intézetek egész hálózata berendezkedett színmérésre. Ismert dolog, hogy az ún. hagyományos iparágakban nehezen lehet valami újat bevezetni: a konzerv- és papíriparban alig vettek színmérő műszert.

A Magyar Optikai Művekben kiváló mérnökök és technikusok, jól képzett szakmunkások, valamint sikeres kereskedők fogadták a MOMCOLOR színmérő műszert úgy, hogy a színmérésről addig nem is hallottak. Egy új gyártmány sikere sok műszaki tényezők múlik, de talán még többet nyom a latban, hogy a műszer terjesztése és a felhasználókkal való kapcsolat megfelelő-e vagy sem. A siker érdekében mindenütt be kellett kapcsolódnom ebbe a folyamatba, ahol színmérési tudásra volt szükség. Így a gyári kollégákkal együtt oldottuk meg a problémák egész sorát: a gyártásban az alkatrész kérdéseket, a műszer kalibrálását és ellenőrzését; a műszerkönyvek összeállítását; a típusfejlesztések előkészítését és kezdeményezését; prospektusok és szóróanyagok megírását (különös tekintettel a szakkifejezések helyességére az angol, francia, német és orosz nyelveken); a szakmai tájékoztatást – ismét több nyelven – a kiállításokon és vásárokon; a potenciális vevők és a műszereinket használóknak bevezetését a színmérés elméletébe és gyakorlatába (tanfolyamok különböző nyelveken); az alkalmazástechnikai információs szolgáltatást hazaiaknak és külföldieknek; a műszerrel kapcsolatos tudományos szereplést hazai és nemzetközi szinten stb. Jelentős volt kezdeményezésem a helyes hazai szóhasználatra a 80-as évek elején, bár eredménye csak napjainkban lett. Hamarabb célt értünk a CIELAB

bevezetésével. Az utóbbiak is fontos elemei voltak a MOMCOLOR-ok sikerének, ezeket is ismertetem.

A szavak helyes használata: a *szín* szó száműzése

Az 1960-1970-es években minden területen a koloristák (festő mesterek) szemmel állapították meg, és a szakmában elfogadott jelzőkkel nevezték meg, hogy a termék színe megfelel-e az előírásnak, valamint, hogy az egyes gyártási sarzsok közti különbségek megengedhetőek-e még. Az átadás-átvételkor a vevő sokszor, a szerinte megengedettnél nagyobb színi eltérésre hivatkozva, árengedményt kért, ilyenkor nehezen eldönthető viták voltak. Az egységes gondolkodásra, a színmérésre való áttérés nehezen ment, mert még a nálunk fejlettebb Németországban is az érdekeltek az új rendszert „bonyolultnak”, meg sem érhetőnek találták. (10)

Az emberi együttlét minden vonatkozásában elengedhetetlen, hogy egyetértés legyen a fogalmak tartalmában és megnevezésében. Mintegy 2500 évvel ezelőtt Konfuciusz (Kr.e. 551-470), a nagy kínai filozófus azt mondta, hogy a bölcs ember: „Nem tűri, hogy a szavaiban rendetlenség legyen. Minden ezen múlik.” (11) Ma már minden területen vannak a fogalmakat definiáló és azok megnevezéseit megadó értelmező szótárak. Egyesek több területre is vonatkoznak, ilyen pl. – a színmérésre is érvényes – metrológiai szótár (12), amelyet jó ha ismerünk. A színmérés fogalmait és azok megnevezéseit a CIE által kiadott Szótár (13) tartalmazza. A Szótárban azonban a *színészlelet* és a *színinger* fogalmak elnevezésében „rendetlenség” van. A következőket találjuk:

02.18 (perceived) color; Farbe, Farbempfindung. (színészlelet)

03.01 (psychophysical) color; Farbe, Farbvalenz. (színinger)

A Megjegyzésben (amely a szabvány magyarázó része) az van, hogy az angolban, ha félreértést nem okoz, mindkét esetben használható magában a color szó. A németek azt mondják, hogy a Farbvalenz helyett a Farbe szó csak akkor használható, ha a környezet teljesen egyértelművé teszi, hogy a Farbvalenz-ről van szó. Tehát mindenki maga állapíthatja meg, hogy az adott esetben félreérthető-e a *szín* (color, Farbe) szó magában való használata vagy sem. A gyakorlatban tehát minden maradt a régiben, csak a jó szakkönyvekben és a színvonalas szakmai folyóiratokban vált egyértelművé a szóhasználat. A Szótárat, mint nemzetközi szabványt Magyarországnak is honosítania kellett, ami az MSZ 9620 szabvánnyal meg is történt. (14, 15) A magyar fordítás Megjegyzésébe be lehetett volna venni, hogy a magyarban a *szín* szó magában való használatát kerülni kell és mindenütt a *színészlelet* illetve *színinger* szavakat célszerű használni, a szabványt honosító magyar bizottság azonban ezt a javaslatot nem fogadta el, bár a (16)-ban már megvalósítottam. Így a hazai szakmai konferenciák előadásain továbbra sem lehetett tudni, hogy az előadó színészleletre vagy színingerre gondolt, amikor a szín szót említette. 1991-ben javasoltam (17), hogy használjunk egy olyan táblázatot, amelyben egymás mellett szerepelnek a fizikai-pszichofizikai és színészleleti fogalmak. 1999 nyarán azután a szakma képviselőivel megegyeztünk egy ilyen összeállításban, amit az 4. táblázatban láthatunk (18, 19). Azóta a konferenciákon, nyilvános alkalmakkor a résztvevők észreve-

hetően egyértelműbben fejezik ki magukat, s öröndetes, hogy ebben a fiatalok élenjár-
nak.

4. táblázat. A színészlelet jellemzői és az azt létrehozó fizikai és
pszichofizikai mennyiségek

Fizikai mennyiségek	Pszichofizikai mennyiségek		Színészlelet
<i>Radiometria</i>	<i>Fotometria</i>	<i>Színíngermetrika</i> (<i>Színmérés</i>)	<i>Pszichológiai</i> <i>jellemzők</i>
optikai sugárzás ($1 \text{ nm} < \lambda < 1 \text{ mm}$)	látható sugárzás (380 nm – 780 nm)	színínger CIE 1931 (1964) színíngermérő rendszer	vizuális megjelenés
	spektrális fényhatásfok, láthatósági függvény ($V(\lambda), V'(\lambda)$)	színíngerösszetevők, X, Y, Z	
sugárerősség	fényerősség	CIELAB színíngermérő- rendszer, L^*, a^*, b^*	színészlelet
sugáráram	fényáram		
sugársűrűség	fényűrűség		
besugárzás	megvilágítás		
		CIE 1976 világossági tényező, L^* CIELAB színezeti szög, h_{ab} CIELAB króma, C_{ab}^*	világosság színezet színezetdűsság
		CIELAB színíngerkülönbség, ΔE_{ab}^*	színészlelési különbség
		CIE 1976 világossági tényezőbeli különbség, ΔL^*	világossági különbség
		CIELAB színezeti különbség, ΔH_{ab}^*	színezeti különbség
		CIELAB króma- különbség, ΔC_{ab}^*	színezetdűssági különbség

Megjegyzés: A helyes szóhasználatban – így a táblázatban – a *szín* szó magában nem szerepel, csak *színínger* vagy *színészlelet* található.

A CIELAB, az antropomorf színíngermérő rendszer

Antropomorf az a színíngermérő rendszer, amely az emberi észleléssel összekapcsolható és avval – jó közelítéssel – egyenlő léptékű. Az ember – megfelelő körülmények között – két egymással érintkező minta között igen kis színbeli különbséget tud megállapítani. A különbségtétel azonban mindig csak kvalitatív: egyforma, nem egyforma; kicsit különböző, egymástól nagyon eltérő stb. a két minta. Az emberi színészlelés „nincs skálázva”, az ember a különbségekhez nem tud számszerű értékeket rendelni. Visszatérve a korábbi

átadás-átvételi vitához, azt csak egy antropomorf színíngermérő rendszerben lehet megoldani. A CIE színíngermérő rendszer x , y , Y számhármásának Δx , Δy , ΔY különbségei nem hozhatók elfogadható kapcsolatba az emberi színkülönbségi észleléssel. Az ún. MacAdam-féle tolerancia ellipszisekben csak olyan minták közötti különbséget lehet jellemezni, amelyek Y -jai közötti eltérés kisebb 0,25 %-nál, tehát majdnem teljesen egyforma világosak. (20) Ilyenek pl. az ugyanolyan típusú fénycsövek, közlekedési jelzőlámpák színes üvegei stb. Másmilyen mintákra a tolerancia ellipszisek nem alkalmazhatók. A színmérést használók másik igénye az volt, hogy a két minta közötti különbséget egyetlen számmal lehessen megadni. 1936 és 1977 között 29 olyan színíngerkülönbséget jellemző számmal próbálkoztak, amelyet itt-ott használtak is (16). McLaren (21) publikálta – az irodalom alapján – az alábbi színíngerkülönbségi képleteknek a vizuális elfogadási döntésekkel (acceptibility) való megegyezését jellemző korrelációs együtthatókat:

CIELAB (1975)	0,672
Glasser Cube Root (1958)	0,671
ANLAB (1944)	0,664
Saunderson-Millner (1946)	0,650
National Bureau of Standards:	
NBS (1939)	0,640
FMC-2 (1967)	0,610
Hunter (1958)	0,605
CIE 1964, U^* , V^* , W^*	0,588
FMC-1 (1966)	0,445
X , Y , Z ; x , y , Y (1931)	0,230

A zárójelben lévő számok a képletek közreadásának, publikálásának éveit mutatják. A számítási módszereket részletesen ismerteti a (16). A fenti első négy színíngerkülönbségi számítás a Munsell-féle színminta gyűjteményt leíró összefüggésen alapul. Az ANLAB-rendszer ötödfokú, vagy egyszerűsített formájában harmadfokú polinomokból álló számítását a CIELAB színíngermérő rendszerben köbgyökös összefüggésekkel közelítették, l. (22)-ben a 5. táblázatot. A CIELAB színíngermérő rendszer alkalmazásában nagy előrelépést jelentett, amikor az angol papíriparban megállapították, hogy a szemmel való észleléskor megállapított színkülönbségi osztályok határait a ΔE_{ab}^* színíngerkülönbségi értékekkel az alábbi 6. táblázat szerint lehet meghatározni.

6. táblázat. Szemmel észlelt színkülönbség határai ΔE_{ab}^* értékében

ΔE_{ab}^x	Szemmel észlelt különbség
<0,5	nem észrevehető
0,5 ... 1,5	alig észrevehető
1,5 ... 3,0	észrevehető
3,0 ... 6,0	jól látható
6,0 ... 12,0	nagy

Huszka Tibor és szerzőtársai evvel megegyező eredményre jutottak paprika-örleményeken végzett méréseikben l. a 7. táblázatot a (24)-ben. A teljesség kedvéért említtem, hogy a mostani közlés idejére bevezették a CIELAB színíngerkülönbség javított alakjait: a ΔE_{94}^* és a CMC kifejezéseket, valamint a CIEDE2000, ΔE_{00} , összefüggést (25).

A MOMCOLOR-ok színmérési ismétlőképessége és a színmérési pontossága

A színingermetrikában a metrológia más területén ismeretlen követelményeket kell teljesíteni. Egyetlen műszerrel kell átfogni az egész színingertert: a fehér és nagyon sötét szürke, a majdnem fehér és a legszínezetdúsabb mintákat. A színinger három dimenziós mennyiség, a színészleletnek ebben a színingertérben egy pont felel meg, és ez az elméleti eset, kérdés, hogy a valóságban milyen térrészt kell odagondolni, és hogyan lehet azt meghatározni.

A színmérési ismétlőképesség. (27-30) A mérőeszköz ismétlőképességét a metrológiai szótár a (12) szerint értelmezi, ahol a Megjegyzés 2. pontjában az áll, hogy „Az ismétlőképesség mennyiségileg az értékmutatások szóródásának jellemzőivel fejezhető ki.” A mérés technikában az esetek túlnyomó részében erre a mért értékek szórását (s) illetve a $2s$ értéket használják. A színingermetrikai mérésekben három mennyiség pl. XYZ , $L^*a^*b^*$ stb. szóródik, ennek megfelelően választották kezdetben a különböző mennyiségek szórását az elméleti szakemberek éppen úgy, mint a műszergyártó cégek l. a 8. táblázatot a (31)-ben. Senki sem vitathatja, hogy ezekben az adatokban zűrzavart lehet megállapítani. A műszer használója pedig csak a „megengedhető különbségben” tud gondolkodni, vagyis, hogy a színingertérben az elméleti pont helyett mekkora térrész van, s ez észrevehető-e szemmel vagy sem ($\Delta E_{ab}^* < 0,5$). Ezért értelmeztem az általam színmérési ismétlőképességnek nevezett mennyiséget az alábbiak szerint.

A színmérési ismétlőképességet a színingertérben különböző nagyságú gömbök testesítik meg, a gömbök sugarait a következőképpen határozzuk meg. A – mérés tartama alatt stabil – mintát tízszer lemérjük közvetlenül egymás után úgy, hogy minden mérés után a mintát a műszertől el(le)vesszük és újra visszatesszük. Leírjuk az így kapott X_i , Y_i , Z_i színingerösszetevőket és kiszámítjuk az átlagaikat: $X_{\text{átl}}$, $Y_{\text{átl}}$, $Z_{\text{átl}}$. Meghatározzuk az egyes színingerösszetevő hármassok és az átlag közötti $(\Delta E_{ab}^*)_i$ színingerkülönbségeket, amelyek az általuk meghatározott egyes pontok és az átlagukat reprezentáló pont közötti távolságok. Ezeknek az átlaga, a $\Delta \bar{E}_{ab}^*$, adja meg a keresett gömb sugarát (3. ábra). Völz szerint ennek a térrésznek forgási ellipszoidnak kell lennie. A színingerpontok kis környezetében (amint ez a színmérési ismétlőképességkor is van) a gömbök jól közelítik a Völz-féle adatokat (32). A színmérési ismétlőképesség függ a mérendő minta felületének egyenletességétől, síktól való eltérésétől stb. A mérés megkezdése előtt először meg kell határozni a mérendő minta színmérési ismétlőképességét, l. a (33)-ban a 9. táblázatot. Sem az olcsóbb tristimulusos műszerek, sem a kb. tízszer drágább spektrofotométeres színmérők nem mérnek egyformán az egész színingertérben, amint ezt az alábbi 10. táblázatból megállapíthatjuk.

10. táblázat. A MOMCOLOR-D, MOMCOLOR-100, MOMCOLOR-1000 színmérők és az OMH spektrofotométereinek színmérési ismétlőképessége

OMH színetalonok	Y	MOMCOLOR	MOMCOLOR	MOMCOLOR	Orsz. Mérésügyi Hiv. spektrofotométere (1986)
		D (1974)	100 (1986)	1000 (1991)	
1. 05, világospiros	56,0	0,2	0,03	0,03	0,03
12, világoszöld	58,0	0,2	0,03	0,03	0,02
14, középkék	23,0	0,2	0,03	0,03	0,02
00, fehér	84,0	–	0,05	0,05	0,03
15, világoskék	42,0	0,2	0,05	0,05	0,03
2. 09, világossárga	58,0	0,1	0,06	0,06	0,04
03, sötétpiros	5,0	0,2	0,07	0,07	0,15
01, sötétszürke	7,0	–	0,08	0,08	0,06
04, középpiros	21,0	0,2	0,09	0,09	0,11
13, sötétkék	5,0	0,3	0,10	0,09	0,07
3. 08, középsárga	27,0	0,2	0,10	0,12	0,14
07, sötétsárga	7,0	0,2	0,20	0,15	0,10
11, sötétzöld	4,0	0,4	0,20	0,16	0,09
02, telített piros	4,0	0,3	0,20	0,20	0,21
06, telített sárga	56,0	0,2	0,20	0,20	0,10
10, telített zöld	7,0	0,2	0,30	0,28	0,10
átlag		0,2	0,11	0,11	0,08

Megjegyzés. Az Y értékek csak tájékoztatásra vannak.

A színmérés addig nem tisztázott két alapkérdését sikerült a 10. táblázat számsorai alapján megválaszolni: a) a tristimulusos és a spektrofotométeres színmérők színmérési ismétlőképessége nem állandó az egész színingermerési tartományban, hanem változik; b) a kétféle színmérő műszer színmérési ismétlőképessége egyenértékűnek tekinthető. Ezzel megdőlt az a vélelem, hogy a tízszer drágább spektrofotométeres műszerekkel „tíz-szer” jobban lehet mérni. Fenti megállapításokat a 10. táblázat alábbi tartományok szerinti bontásával világosabbá teszem:

11. táblázat. Színmérési ismétlőképesség tartományonként.

A CIELAB színingertér tartományában		MC-D (1974)	MC-100 (1986)	MC-1000 (1991)	OMH (1986)	KCS-18 (1977)
		$\Delta\bar{E}_{ab}^*$				
1. tart.:	öt pont átlaga	0,2	0,04	0,04	0,03	0,19
2. tart.:	öt pont átlaga	0,2	0,08	0,08	0,08	0,12
3. tart.:	hat pont átlaga	0,2	0,20	0,16	0,12	0,11
teljes átlag		0,2	0,11	0,11	0,08	

A Kollmorgen Color Eye KCS-18 spektrofotométeres színreceptszámító műszerének adatai mutatják, hogy egy kereskedelmi csúcskészülék teljesítménye elmaradt az OMH automatikus spektrofotométereinek adatai mögött, ha tehát az OMH-hoz hasonlítjuk a MOMCOLOR-okat akkor szigorúbb összehasonlítási alapot vállalunk. A MOMCOLOR típusok közötti eltérések egyik oka, hogy a szűrőkombinációkat időnként újra kellett számítani, mert az addig használt színes üvegek egy-egy öntésszámú tétele a raktárból kifogyott. N.B. az ugyanolyan betűjelű, de különböző öntésszámú optikai színes üvegek

között sokszor nagy eltérések vannak. A MOMCOLOR-ok közötti eltérések másik oka, hogy az újabb típusok stabilabbak lettek, mint a korábbiak. A 11. táblázat adataiból következik, hogy csak az 1. tartományban lévő pontokra lehet a $\Delta \bar{E}_{ab}^*$ értékét két tizedessel megadni, a színingertér többi tartományában csak egy tizedesjeggyel való megadásnak van értelme. Mivel ritka a gyakorlatban az olyan mérés, ahol a minták közötti ΔE_{ab}^* színingerkülönbséget tized pontossággal kell mérni, ezért általában javasolható a színmérési ismétlőképesség és összetevőinek megadására, ha a mérendő minta felülete a zománc etalonokéhoz hasonló, $\Delta \bar{E}_{ab}^* 0,2$ (a gömb sugara), $\Delta L \pm 0,03$, $\Delta C_{ab}^* \pm 0,1$, $\Delta H_{ab}^* \pm 0,1$ tizedekkel megadni.

A színmérési pontosság. A mindennapi színmérési gyakorlatban legtöbbször rendelkezésre áll a kívánt színt megvalósító minta és így közvetlen méréssel tudjuk meghatározni a minta és mérésünk tárgya közötti ΔE_{ab}^* színingerkülönbséget. Előfordulhat, hogy nincs ilyen minta, csak az X, Y, Z színingerösszetevőkkel, vagy L^*, a^*, b^* koordinátákkal van a megvalósítandó minta meghatározva. Ilyenkor ismernünk kell színmérő műszerünk pontosságát (34). A metrológiai szótár szerint (35) a műszer pontosságát a mért értéknek a valódi értéktől való eltérése adja meg. A valódi értéket az etalonok testesítik meg. A színméréstechnika gyenge pontja, hogy kevés színetalont hoznak forgalomba és a kalibrálásuk drága. A MOMCOLOR-ok egyik piaci előnye volt, hogy minden műszerhez, rendes tartozékként kapott a vevő egy 16 db-os zománc színetalon készletet, amelyet az Országos Mérésügyi Hivatal kalibrálva bocsátott ki (36, 37). Az angol National Physical Laboratory, Teddington hozott még forgalomba 11 db-os, kerámiából készült színetalon sort, kalibrálása azonban sokba került (38).

12. táblázat. A MOMCOLOR-D, MOMCOLOR-100 ÉS MOMCOLOR 1000 színmérők átlagos színmérési pontossága

		MOMCOLOR D (1979)	MOMCOLOR 100 (1986)	MOMCOLOR 1000 (1991)
OMH színetalonok				
	Y			
		$\Delta \bar{E}_{ab}^*$		
1.	05, világospiros 56,0	0,8	1,4	0,5
	01, sötétszürke 7,0	0,6	1,1	0,8
	15, világoskék 42,0	1,4	1,4	0,8
	09, világossárga 58,0	1,5	1,4	0,9
	14, középkek 23,0	1,3	2,5	0,9
	04, középpiros 21,0	2,2	2,5	1,0
2.	08, közepsárga 27,0	2,6	2,5	1,1
	12, világoszöld 58,0	0,9	1,4	1,3
	07, sötétsárga 7,0	1,4	2,5	1,5
	11, sötétzöld 4,0	1,8	2,5	1,8
	13, sötétkek 5,0	4,7	2,5	1,8
3.	06, telített sárga 56,0	6,0	5,4	2,2
	10, telített zöld 7,0	4,5	4,2	2,3
4.	03, sötétpiros 5,0	4,6	5,4	3,6
	02, telített piros 4,0	6,2	4,2	5,2
átlagok		2,7	2,7	1,7

Megjegyzés. Az Y értékek csak tájékoztatásul szerepelnek.
19-19 db-os gyártási sorozatokon végzett mérések átlagai

A 12. táblázatban (17) három MOMCOLOR-típus átlagos pontosságának adatait látjuk. Mindegyik műszertípusból 19-19 darabbal lemértük a hozzátartozó OMH etalonok mindegyikét, és minden etalonra átlagoltuk a 19 mérés eredményét, ezek szerepelnek a 12. táblázatban. A MOMCOLOR-1000 eredményei a legjobbak, ennek az illesztő szűrői voltak a legsikerültebbek. A színmérési pontosság is a színíngertér egyes tartományaiban különböző. Az 1. tartomány eredményei nagyon jók, a 2. tartományban szereplők elfogadhatók és csak az utolsó négy színetalon közelében nagyobbak a hibák. Hogy egy-egy készüléknek mi a színmérési pontossága, azt a MOMCOLOR műszer használója a műszeréhez mellékelte, kalibrált OMH etalonokkal meghatározhatta, az így kapott számok a táblázatban szereplő adatoknál kisebbek is és nagyobbak is lehettek.

A tudományos tevékenységek

A színmérési információs rendszerem. Az 1970-es évek elejétől egyre többen belátták az iparban, a mezőgazdaságban, a kereskedelemben stb., itthon és külföldön, hogy a színekkel kapcsolatban felmerült vitákat csak műszeres mérésekkel lehet eldönteni. Ezért tudtunk a piacon való megjelenésünk után rögtön, nehézség nélkül eladni MOMCOLOR műszereket. Az új felhasználók egy része azonban már kezdetben olyan elméleti, a minta előkészítésével és a kapott mérési eredményeinek értelmezésével kapcsolatos kérdésekkel találta magát szemben, amelyeket nem tudott megválaszolni (1. pl. (7)). Hazai és külföldi vásárlóink egyaránt természetesnek találták, hogy problémáik megoldásában segítséget fognak kapni a műszerük gyártójától, és a MOM-hoz fordultak. Ezt a feladatot úgy tudtam megoldani, hogy dokumentációs rendszert építettem ki magamnak (39). Teljes terjedelemben gyűjtöttem folyóiratcikket és más dokumentumokat, 32 db nagy iratgyűjtőben, 1983-ban 2154 db volt belőlük. Rendszeresen átnéztem és kicéduláztam 226 folyóiratot, a cédulák száma 1988-ban elérte a 2300-at, persze ezek szak szerint el voltak rendezve.

A MOM-nak nagyon jó könyvtára volt, ide kerültek az átalakult Optikai és Finommechanikai Központi Kutató Laboratórium optikai tárgyú könyvei is. Jártak a legfontosabb külföldi folyóiratok: Journal of the Optical Society of America (JOSA), Applied Optics, Optik stb. és megvolt a JOSA valamennyi évfolyama reprint formában, ebben jelentek meg az alapvető szintani közlemények.

A Mérés és Automatika folyóirat szerepe. A műszereink használóival folytatott megbeszélésekből gyakran megállapítottuk, hogy új, publikálható eredményei vannak a tanácskérőnek. Néha érvelnem kellett, hogy „ami eredmény nem jelenik meg nyomtatásban – az nincs”, és így mindig elértem, hogy folyóiratcikk formában kidolgoztuk a mérési eredményeket. Ekkor tagja voltam a Mérés és Automatika folyóirat szerkesztő bizottságának és a megfelelő színvonalú közlemények ott megjelenhettek. 1971 és 1992 között, ekkor a lap megszűnt, 128 optikai tárgyú, zömében a színmérethez kapcsolódó közlemény látott napvilágot. A szerzők munkahelyeik szerinti megoszlását a 13. táblázatban látjuk:

13. táblázat. A Mérés és Automatikában 1971-1992 között publikálók munkahely szerinti megoszlása

Egyesült Izzó:	2	Kozmetikai ipar:	6
Egyetem: Eötvös L.	1	Könnnyűipari Min.:	1
Kertészeti, Bp.	4	Kutató Intézet:	
Műszaki, Bp.	2	Gabonatermesztési	1
Orvosi, Bp.	6	Közp. Élelmiszeripari	5
Ellenőrző Int.: Élelmiszer	3	Malom-sütőipari	1
Elektrotechn.	1	MKKL	1
Papíripari	1	Műszaki Fizikai Kut. Int.	21
TEXIMEI	2	Zöldségtermeszt. Kecskemét	1
Festék-lakkipar:	4	Magyar Opt. Művek:	23
Fotokémiai ipar:	2	Nyomdaipar:	3
Főiskola: Élelmiszer, Szeged	3	Orsz. Mérésügyi Hiv.:	21
Könnnyűipari	3	Papíripar:	1
Gyógyszeripar:	7	Textilipar:	2

A három nagy „műhely” mellett elég sok iparágban jutottak el a tudományos publikáláshoz. Meg kell jegyezni, hogy más periodikákban is jelentek meg színmérési eredményeket bemutató közlemények, pl. Acta Pharmaceutica Hungarica, Borgazdaság, Gyógyszerészet, Kolorisztikai Értesítő, Magyar Kémikusok Lapja, Műszerügyi Közlemények stb. A Műszer és Automatikát referálta a szovjet Referativnűj Zsurnal, ami akkor derült ki, amikor szovjet kollégák a Mérés és Automatikában megjelent közleményeimet kérték tőlem. (40)

A Hungarian Scientific Instruments c. angol nyelven megjelenő, tudományos cikket közreadó periodika öt magyar vállalat: a Chinoin, a Labor MIM, a Magyar Optikai Művek, a Műszeripari Kutató Intézet és a Radelkis közös kiadványa volt, Pungor Ernő akadémikus főszerkesztővel. Az 1977/40–1987/63 számaiban 16 színméréssel foglalkozó közlemény jelent meg, amelyek a Mérés és Automatikában már közreadott cikkek fordításai voltak. Az 1981/52 színmérési különszám volt s 8 tanulmányt tartalmazott. Minden cikkből több száz különlenyomatot kaptunk. Nekem volt egy 600 névből álló névjegyzékem, az azon szereplőknek ezeket a különlenyomatokat is postáztuk. Így azután a MOM neve és tudományos eredményeink is ismertek voltak a külföldi szakmai körökben. Az egyetlen európai tudományos színtani folyóirat, a Die Farbe is felvette szakmai bibliográfiájába a mi 9 beküldött különlenyomatunkat is (41).

Az Országos Mérésügyi Hivatalban folyó nagy pontosságú mérések és azokkal előállított etalonok nélkül nem lehetne biztosítani az iparban gyártott mérőműszerek visszavezethetőségét (42). Az OMH-ban az ötvenes évek közepétől foglalkoztak spektrofotometriai mérésekkel és színméréssel. Színmérési célra automatikus spektrofotométert fejlesztettek (37), amellyel kalibrálták a tűzi zománczóással, vaslemezekre felvitt 16 db-os színetalon készleteket (43). Az ipari színminták mérésekor fellépő egyik hibaforrás azok termokromizmusa, vagyis hogy színük függ a hőmérsékletüktől. Az OMH-ban megvizsgálták a 16 db-os színetalon készletük változását +10 °C és +20 °C felmelegedés hatására. A 14. táblázat tanúsága szerint a felmelegedés után a legtöbb színetalon színingermerési adatai megváltoztak, csak a 00, fehér; 01, szürke; 05, világospiros; 11, sötétzöld és 13, sötétkék etalonok értékei maradtak az OMH spektrofotométere színmérési ismétlésképeségének közelében (44). A másik fontos tulajdonsága az etalonnak, hogy értéke mennyire állandó, illetve idővel mennyit változik, vagyis milyen időközönként kell az etalonokat

újra kalibráltatni. Az 1975-ben és 1980-ban ugyanazon spektrofotometriai mérőrendszerrel lemért OMH színetalonok színváltozása kicsi volt: fehérenél $\Delta\bar{E}_{ab}^x = 0,07$, a világos színeknél $\Delta\bar{E}_{ab}^x < 0,5$, ezt a mérőrendszer hosszúidejű változásaitól nehéz elválasztani. Egyes sötét és telített színű ipari felhasználóknál volt etalonok a felület kopása, a környezeti és egyéb hatások miatt valamivel nagyobb mértékben változtak; ezekre $1 \leq (\Delta E_{ab}^x)_{\max} \leq 2$ értékeket kaptak, amint az a 14. táblázat jobb szélső oszlopában látható (45). Megnyugtató, hogy a 00, fehér etalon, amellyel a MOMCOLOR műszereket a méréskor beállítják, nem termokróm, és az ipari felhasználóknál is átlagban csak $\Delta\bar{E}_{ab}^x = 0,07$ érték változott öt év alatt. Mindenesetre célszerű az OMH színes etalonjait ötévenként újra kalibráltatni, és közben gondosan, a dobozukba zárva tárolni.

Az addig használt fehér etalonok: magnéziumoxid, bárium-szulfát, tejüveg és zománc felületek, nem közelítik meg kielégítően az ideális diffuzor felületét és nem teljesítik a fehér etalonokkal szemben támasztott más követelményeket. A szakirodalomban ismertett politetrafluoretilénből (PTFE, HALON márkanévvel) készített fehér etalon az eddigieknél jobbnak tűnik. Reflexiós tényezője a 380 nm – 760 nm-es tartományban nagyobb, mint 0,99. Nem szelektív és nem változtatja az időben reflexiós tényezőjét. Ilyen halonból készült fehér színetalonokat készített és hozott forgalomba az OMH (46).

14. táblázat. Az Országos Mérésügyi Hivatal zománc színetalonainak termokrómiája és öt éves stabilitásuk

OMH színetalonok	Színmérési ismétlőképesség $\Delta\bar{E}_{ab}^*$	Termokrómia		Öt éves stabilitás nyolc ipari felhasználó etalonjaira	
		23 °C + +10 °C	+20 °C	$\Delta\bar{E}_{ab}^*$	$(\Delta E_{ab}^*)_{\max}$
00, fehér	0,03	0,05	0,03	0,07	0,2
01, szürke	0,07	0,05	0,03	0,3	0,6
05, világospiros	0,03	0,05	0,04	0,2	0,4
09, világossárga	0,04	0,1	0,2	0,2	0,4
12, világoszöld	0,02	0,08	0,2	0,2	0,3
15, világoskék	0,03	0,07	0,2	0,3	0,4
04, középpiros	0,11	0,8	1,0	0,4	0,6
07, sötétsárga	0,10	0,3	0,6	0,8	1,6
08, világossárga	0,14	0,6	1,1	0,5	1,1
14, világoskék	0,02	0,1	0,3	0,4	0,7
11, sötétzöld	0,09	0,1	0,4	0,6	1,8
13, sötétkék	0,07	0,1	0,6	0,5	0,8
02, telített piros	0,21	1,2	2,6	0,8	1,9
10, telített zöld	0,10	0,8	1,9	0,6	1,7
03, sötétpiros	0,15	0,5	1,2	0,9	1,9
06, telített sárga	0,10	0,8	1,6	0,9	1,9
Átlag 16 etalonra	0,08	0,4	–	0,5	–

Tudományos előadásaim és tanfolyamaim. A hazai és külföldi tudományos konferenciákat, a szimpóziumokat a szereplők legfrissebb eredményeinek bemutatására rendezik. Ezek alkalmasak arra is, hogy a különböző szakterületeken, más országokban dolgozó szakemberek megismerjék egymást és személyes kapcsolatokat teremtsenek. A tanfolyamok célja a szakmai alap- illetve továbbképzés. Minden alkalomra külön előadás szöveget írtam itthonra és külföldre is, kivétel volt, ha egy külföldi utazáskor több helyen kellett szerepelnem, pl. I. Lengyelország.

Tudományos konferenciái előadásaim és tanfolyamaim itthon. Nem sorolom fel azt, amikor csak magam tartottam egy előadást, mert feleslegesen növelné a terjedelmet. Emiatt hagytam el a kétévenként rendezett Kolorisztikai Szimpóziumokon elhangzottakat is. A Mérnöki Továbbképző Intézeti előadásokból nem sorolom fel azokat, ahol többeddigammal szerepeltem. A konferenciák és a tanfolyamok:

- IV. Országos Gyógyszertechnológiai Konferencia, 1968. 09. 26-28.
- Élelmiszeripari Mérés és Szabályozástechnikai Konferencia, 1971. 05. 26-27.
- MOMCOLOR műszert ismertető tanfolyam. MOM rendezés. 1971. 06. 21-22.
- Internationales CONFRUCTA-Symposium 1973 in Budapest. 1973. 04. 16-17.
- Műszaki Fizikai Kutató Intézet színmérési szeminárium. 1973. 03. 27-én és 1973. 04. 10-én
- Original-Hanau GmbH. Szimpózium. 1976. 04. 27-28.
- Kertészeti Egyetemen az 1985/86. tanévben Színmérés előadást tartottam, két féléven át heti 2 h-ban.
- Méhnöki Továbbképző Intézetben:
 - 1972 tavasszal: Színmérés, 9 h.
 - 1976 őszén: A színmérés elmélete és gyakorlata. I. 16 h.
 - 1980 tavasszal: A színmérés elmélete és gyakorlata. II. 13,5 h.

Tudományos előadásaim és tanfolyamaim külföldön: Az előadásokat angol, francia, német illetve szerb nyelven tartottam, a helyzetnek megfelelően, egyedül Moszkvában a tanfolyamon volt tolmácsra szükségem. Számos esetben – elsősorban a MOM rendezvényeire – előadásaim teljes szövegét az idegen nyelvre fordítva magammal vittem és kiosztottam a hallgatóságának.

- Anglia: 1975. London, a CIE 18-ik ülészakán (27).
- Ausztria: 1975. Wien, Magyar Gazdasági Napokon.
1976. Wien, Österreichischer Ingenieur- und Architekten-Verein meghívására (47).
- Berlin, Ny.: 1973. Elektrisches Institut der TU, Prof. Krochmann meghívására.
- Bulgária: 1976. Szófia, a MOM kiállításán.
1980. Plovdiv, az Élelmiszeripari konferencián.
1984. Plovdiv, a Naucspribor Szev '84 konferencián.
- Csehszlovákia: 1974. Prága, a Magyar Műszaki Napokon.
Pozsony, a Magyar Műszaki Napokon.
- Egyiptom: 1970. Kairó, a Drug Research and Control Centerben MOM rendezés.
Alexandria, a Textilipari szakembereknek Metrimex rendezés.
- Franciaország: 1977. Bordeaux, a Festékipari szakkiállításán.
- Jugoszlávia: 1977. Újvidék, a Műszaki Egyetem meghívására.

- Lengyelország: 1971. Poznan, az egyetemen MOM rendezés.
Lodz, a Textilipari Kutatóban MOM rendezés
Varsó, az egyetemen MOM rendezés.
- Németország, NDK: 1968. Drezda, az Interlack-Interfarbe '68 konferencián (5).
1972. Lipcse, a III. Műszeripari szakkiállításon.
1974. Drezda, az Interlack-Interfarbe '74 konferencián.
1976. Lipcse, az V. Műszeripari szakkiállításon.
1979. Jena, an kéton C. Zeiss rendezés.
1982. Lipcse, tanfolyamon C. Zeiss rendezés.
1983. Drezda, tanfolyam a malomipariaknak.
1990. Drezda, a Magyar Műszaki és Gazdasági Napokon.
- Románia: 1986. Bukarest, MOM rendezés.
- Svájc: 1989. St. Gallen, az IARIGAI Symposion on Colorimetry-n.
- Szovjetunió: 1970. Moszkva, a Papíripari Kutatóban.
1977. Moszkva, az Automatizáció kiállításon.
1978. Moszkva, a Naucsprigor Szev '78 konferencián.
1982. Moszkva, 3 napos MOM tanfolyam térképészeknek.

A MOMCOLOR továbbfejlesztett típusai

A MOMCOLOR tristimulusos színmérő mozgatható mérőfejből és villamos egységből állt. A mérőfej a 2. ábrán látható helyzetekbe volt állítható és ily módon minden előforduló mérendő mintát lehetett vele mérni. A mérőfej változatlan maradt mindvégig, csak a kézzel történő szűrőváltást szüntették meg az automatikus kivitelben egy léptető motor beépítésével. A fejlődést, a kényelmes kezelést a műszer által adott X_1 , X_2 , Y , Z színingerőösszetevőknek más színingerrendszerekbe való átszámítása és kinyomtatása jelentette. Erről ad áttekintést a 15. táblázat.

15. táblázat. MOMCOLOR-ok összehasonlítása

MOMCOLOR-1000 (1991)	MOMCOLOR-100 (1986)	MOMCOLOR-DC (1977)
Színhőmérséklet automatikus korrekciója	Szűrőtárcsa forgatása kézzel	Szűrőtárcsa forgatása kézzel
Automatikus mérés és kalibrálás		
Önteszt bekapcsoláskor és üzem közben		
Skálák: $X_1X_2YZ, XYZ, xy,$ CIELAB, Hunter, λ_d, p_e, Y_C	$xy, CIELAB,$ ANLAB, Hunter	$XYZ, xyY, CIELAB,$ ANLAB, Hunter
ΔE_i $\Delta E_{ab}^*, \Delta E_{Hu}, \Delta E_{AN},$ $\Delta E_{FM-2}, \Delta E_{uv}^*$	$\Delta E_{ab}^*, \Delta E_{AN}, \Delta E_{Hu}$	$\Delta E_{ab}^*, \Delta E_{AN}, \Delta E_{Hu}$
Δ_i $\Delta a^*, \Delta b^*, \Delta L^*,$ $\Delta a, \Delta b, \Delta L$ $\Delta C_{ab}^*, \Delta H_{ab}^*, \Delta L^*$	$\Delta C_{ab}^*, \Delta H_{ab}^*, \Delta L^*$ $\Delta A, \Delta B, \Delta L$ $\Delta a, \Delta b, \Delta L$	$\Delta a^*, \Delta b^*, \Delta L^*$ $\Delta A, \Delta B, \Delta L$ $\Delta a, \Delta b, \Delta L$
Indexek: WI (<i>fehérség</i>) ASTM E-313 (Taube) Hunter, Berger, Stensby, CIE YI (<i>sárgaság</i>) ASTM E-313 ASTM D-1925	WI _{Taube}	–
Kijelzés: 2x40 karakteres Számító egységen: alfanumerikus, LCD	140 mm átlóméretű képcső, 16 sor 32 karakter	Villamos egységen: 4½ digites digitális voltmérő
Nyomtató: beépített, két színű, 40 karakteres	Villamos egységen: 4½ digites digitális voltmérő	Kalkulátorba beépített nyomtató
Kimenet: RS 232C		RS 232C

A MOMCOLOR-D típusban (1974) megszűnt a beállító helipotok állítása minden egyes méréskor, mert a galvanométer helyére került digitális voltmérőről közvetlenül lehetett leolvasni a színíngerszerveket (48). Ekkor került a választékba az ún. nagyátmérőjű mérőfej, amellyel 15 mm és 50 mm közötti átmérőjű mérőfolttal voltak mérhetőek a minták. A műszer B5-ös formátumú, 16 oldal terjedelmű, 1979-ben megjelentetett, színes prospektusában hét, fél-oldalnyi Compendium Coloris (Színtani Tudnivalók) volt, messze megelőzve más cégek hasonló összefoglalásait (49). Ez is, mint a legtöbb prospektus angol, francia, német, orosz és spanyol nyelven is elkészült, a magyar mellett.

A MOMCOLOR-DC típus (1977) volt az első megoldásunk, amelyben a más színíngermérő rendszerekbe való átszámítást és a színíngerkülönbségek számítását is megkapta a felhasználó. A színmérőhöz csatlakozó kalkulátort az Elektronikus Mérőműszerek Gyárában tervezték és készítették. A célkalkulátorba a színmérőből közvetlenül jöttek az adatok, de átszámításokat lehetett végezni kézi adatbeadással is. A CIE által szabványosított CIELAB rendszer mellett, az Európában korábban már elterjedt Adams-Nickerson-féle és az USA-ban legtöbbször használt Hunter-féle Lab rendszerbe lehetett átszámolni. A kalkulátorba nyomtató volt beépítve. Az EMG célkalkulátor adatai:

mérete: 260 mm x 320 mm x 85 mm
 tömege: 2 kg

A *MOMCOLOR-100* típus (1986) fejlesztésekor, 1983-ban derült ki, hogy az illetző szűrőkhöz addig használt színesüveg öntések elfogytak és új szűrőkombinációkat kell számítani. A MOM-ban nem volt olyan spektrofotométer, amellyel a szükséges pontosságú méréseket el lehetett volna végezni, ezért a szűrők számításával az Országos Mérésügyi Hivatal Optikai Laboratóriumát bízták meg (50). A színmérőhöz külön számító egység csatlakozott, amelyben az Egyesült Izzó kaposvári gyára által szállított 140 mm átlóméretű, 16 sor 32 karakter, alfanumerikus képcső volt. A képcsőn megjelentek a használt etalon és mért minta X, Y, Z színingerösszetevők, a transzformált rendszerben, pl. a CIELAB-ban az a^*, b^*, L^* koordináták és a $\Delta E_{ab}^*, \Delta C_{ab}^*, \Delta H_{ab}^*, \Delta L_{ab}^*$ színingerkülönbségi értékek. A műszerrel meg lehetett kapni az ANLAB és a Hunter *Lab* rendszerben számított értékeket, valamint a Taube-féle fehérségi mérőszámot is. A műszerhez is készült színes, 17 A4-es oldalnyi prospektus a szokott nyelveken. A számító egység adatai:

mérete: 520 mm x 335 mm x 240 mm
 tömege: 10 kg

A *MOMCOLOR-1000 automatikus tristimulusos színmérőt* (1991) Mara József vezetésével tervezték a MOM Globios Kft. Számítástechnikai Osztályán (51) (4. ábra). A műszer mérőfejből és elektronikai egységből állt. A mérőfejbe beépített motor automatikusan váltotta a szűrőkészleteket; a mérőfejjel valamennyi korábbi mérést el lehetett végezni. A szűrőkombinációk és az érzékelő Se-fényelemek készülékeként össze voltak válogatva. A lámpa színhőmérsékletének korrekciós utánállítása automatikusan történt. Az elektronikus egység a mérőfejből érkező villamos jeleket feldolgozta és tárolta. A tároló első részébe a kiindulási adatok és az abból számított függvényértékek, a második részbe a referencia értékek és abból számított függvényértékek kerültek. A különbségi értékek meghatározásakor a – méréssel vagy kézzel – bevitt értékekből kivonták a referencia értékeket. A harmadik tároló részben voltak a műszer automatikus kalibrálásához használt etalonok színingerösszetevői. A műszer öntesztje bekapcsoláskor és üzem közben is automatikusan működött. A 15. táblázaton látható, hogy a MOMCOLOR-1000-ben megvoltak a használatos skálák, ki lehetett számítani a szükséges színingerkülönbségi mennyiségeket, továbbá a fehérségi és a sárgasági indexeket is. Az elektronikus egység adatai:

mérete: 360 mm x 280 mm x 100 mm
 tömege: 5,2 kg
 teljesítményfelvétele: 70 VA

Összefoglalás

A MOMCOLOR jól szerepelt az 1968. évi külföldi bemutatkozásán (5), az 1971-ben végzett hazai összehasonlító vizsgálatokon (52) pedig egyenértékűnek találták az akkor minta-műszernek tekintett, az angol Hilger cég által gyártott J 40 típusú tristimulusos színmérővel. A D, DC és 100 jelű továbbfejlesztésekben javultak a műszaki jellemzők (10. és 12. táblázat) és az adatok feldolgozása is bővült (15. táblázat). Ugrásszerű fejlődés volt a MOMCOLOR-1000, amely teljesen automatikusan működött, valamennyi szükséges átszámítást el lehetett végezni, ezen túlmenően a statisztikai számításokkal (átlag, szórás) és a színmérési ismétlőképesség meghatározásával olyat adott, amely egyetlen külföldi színmérőnél nem volt található. A MOM átalakulás és az utód Globios megszűnte miatt a típus már nem tudott teljesen kifutni. A közel 10 év után érkezett spanyol megrendelési szándék arra mutat, hogy sikere lehetett volna a MOMCOLOR-1000-nek is.

Az 1970-1980-as években a MOMCOLOR-ok használatba vételével széles körben elterjedt a színmérés és kialakult annak hazai tudományos ága is. Ennek egyik megnyilvánulása volt, hogy a két évente rendezett Kolorisztikai Szimpóziumokra egyre több színmérési előadással jelentkeztek. Kezdetben egy-két ilyen szerzőt találunk, de az 1999. évben (53) az előadások 66 %-a, 2001-ben (54) a 74 % foglalkozott színmérési és színészlelési kérdésekkel. A Veszprémi Egyetem Képfeldolgozási és Neuroszámítógépek Tanszéken széleskörű szintani kutató munka folyik. Az évenként rendezett Lux et Color Vespremiensis konferenciákon találkoznak a hazai szintannal és színészleléssel foglalkozó szakemberek. A veszprémi kutatás irányítója, dr. Schanda János professzor angolul megjelent kitűnő összefoglalását (55) le kellene fordítani magyarra is.

A sorok írója abban bíz, hogy lesz rövidesen újra magyar gyártású színmérő műszer, s az tovább pezdíti a hazai színmérési elméleti és gyakorlati tevékenységet.

Jegyzetek

- 1 *Népszabadság*, 1972. 05. 28.
- 2 Lukács Gyula: Színmérés. In: *Bárány Nándor: Optikai műszerek elmélete és gyakorlata*. 4. k. Bp. Nehézipari kvk. 1952. 661-685. p.
3. *A MOMCOLOR a Méréstechnikai Központi Kutató Laboratóriumban*. A színméréstechnika helyzetét és a piacon kapható színmérőket bemutató tanulmány alapján elfogadták, hogy négy szűrővel működő, ún. tristimulusos színmérő az a korszerű megoldás, amely jól illeszkedik a MOM profiljába. A tervcélban rögzített jellemzők:
 - a) X_1 , X_2 , Y , Z szűrők lesznek. A négyszűrős megoldás ismétléképességben felveheti a versenyt a sokkal drágább spektrofométeres megoldással.
 - b) Fényforrás mindenütt beszerezhető autólámpa lesz, helyzetének pontos beállítását meg kell oldani.
 - c) Az érzékelő Se-fényelem.
 - d) Az illesztő szűrőket optikai üvegből kell készíteni. A fémgőzölt vagy a zselatin szűrők nem időállóak, bár jobban illeszthetők.
 - e) A mérési geometria: merőleges megvilágítás és 45°-os észlelés. A tükrös komponenst a mérésből ki kell zárni.
 - f) Az $X = X_1 + X_2$, Y , Z színingerösszetevők a CIE 1931-es 2°-os látómezőre és a CIE C sugárzáseloszlásra vonatkoznak.
 - g) A műszer a többféle helyzetben használható mérőfejből és az elektromos egységből áll. A műszer a megfelelő tartozékokkal alkalmas legyen felületek, porok, folyadékok, kenőcsök színének mérésére.
 - h) A műszer érzékenyebb legyen, mint a szem. Már nem észrevehető kis színészlelési különbségekhez is tartozzék mérhető és megmért színíngerkülönbség.

A munka befejezésére: a kísérleti példány elkészítésére és dokumentációjának leadására vállalt határidő 1967. 04. 30-ika abban az időben szokatlanul szoros vállalás volt, de 1967. 05. 12-re sikerült teljesíteni. Két év alatt elvégezték a választott lámpatípus tartóssági vizsgálatát a tervezett aláfeszítésnél; Blazsó Tibor, Kiss Barna és Lukács Gyula gumioptikás módszert szabadalmaztatott a mérőfolt 5 mm és 15 mm közötti folyamatos beállítására; Blazsó Tibor kidolgozta a szűrőszámítás matematikai módszerét; Lukács Gyula és Rohály Gáborné mérésekkel megállapították, hogy milyen típusú Se-fényelemet kell használni; Lukács Gyula és Rohály Gáborné összehasonlító mérésekkel tisztázták az objektív színmérés fölényét a vizuális színméréssel szemben; Bábi Ferenc a műszer villamos egységét tervezte. Elkészült a kísérleti összeállítás, a működési minta (az ún. deszka-modell) végül a sorozatgyártására alkalmas kísérleti példány és annak pausz dokumentációja. Az MMKL – a MOM engedélyével – a gyártás megindulásáig kísérleti műhelyében legyártott majd értékesített 22 db MOMCOLOR-t. A termelési adatokban ezek is szerepelnek. A fontosabb tudományos publikációk:

Változtatható átmérőjű homogén fényfolt előállítására szolgáló optikai rendszer. Szabadalom. Alapszám: ME-818. Bejelentés: 1966. november 17. Szabadalom megadása: 1968. július 31.

Lukács, Gy. – T. Blazsó – M. Rohály: Untersuchungen an Selen-Photoelementen, COLOR 69, Stockholm, E 8. 489-499. p.

Lukács, Gy. – M. Rohály: Neue Untersuchungen über die spektrale Empfindlichkeit von Selen-Photoelementen. Fourth IMEKO Symposium, Prague June 23-25, 1969, 123-133. p.

Lukács, Gy. – M. Rohály: Farbmessung nach objektiven und subjektiven Methoden – ein Vergleich. *Tenside*, 7. 5/1970, 254-258. p.

Lukács, Gy.: MOMCOLOR, ein neues Farbmessgerät. *Die Farbe*, 18. Nr. 1/6, 1969. 65-76. p.

4 *A MOMCOLOR első szűrőkombinációinak adatai:*

X_1 : GG 20 7,38 mm \pm 0,05 mm, TP 58 öntésszám
 BG 14 3,70 mm \pm 0,03 mm, TP 203 "

X_2 : GG 3 0,83 mm \pm 0,01 mm, G 6100 "
 BG 3 1,55 mm \pm 0,01 mm, 74792 "

Y: GG 8 4,57 mm \pm 0,05 mm, T 7752 "
 BG 23 0,96 mm \pm 0,01 mm, 78308 "

Z: GG 15 4,36 mm \pm 0,05 mm, FG 2785 "
 BG 1 2,25 mm \pm 0,02 mm, 6915 "

- 5 Az Interfarbe '68 Drezda-i konferenciára, ahol először állítottuk ki a MOMCOLOR-t, meghívtak néhány nyugati, német színmérési szakembert, így a Bayertől Anni Bergert. Berger a MOMCOLOR bemutatás során leült a műszer mellé és hosszasan mérte a magával hozott metamer papír mintákat. Az öt feszülten figyelő NDK-beli kollégákra mély benyomást tett, amikor kiszaladt a száján az „unglaublich” (hihetetlen) szó. A konferenciáról írt hazai beszámolójában megemlíti a MOMCOLOR-t is. A műszert megvették, ami jó volt referenciának.

Berger, Anni: Bericht über die Interfarbe '68 in Dresden. Farbe und Lack, 74. Nr. 9. 1968. 905-907. p.

- 6 *Farbmessung an industriellen Produkten mit dem neuen Hunterlab D25D-2. Sprechsaal, 105, Nr. 20, 1972. Beilage Prozesstechnik, 17-18. p.*

- 7 1978-ban a francia Institut Expérimental du Tabac, Bergerac, dohányipari kutatóintézet kérte NSZK-beli képviselőnk, hogy mutassuk be a MOMCOLOR DC-t. Szeptember elején jelentkezett és azonnali látogatást kértek. Wiesbadeni állandó kiküldöttünk gépkocsival Párizsba vitt egy műszert, ott találkoztunk, s elmentünk a kb. 600 km-re lévő kisvárosba. 1978. október 31-én egész délelőtt mértem dohánylevelet zölden és szárítva, dohány csirát, vágott dohányokat, szivarokat stb., sorakoztak a szalagok a mérési eredményekkel. Amikor elfogyott a mérnivaló, F. Schütz úr, francia partnerem így szólt hozzám: És én most mit csináljak ezekkel a szalagokkal? Ezt a kérdést jól ismertem, ilyenkor irodalmazni kell és kideríteni, hogy milyen információt tartalmaznak a kapott számok. Sajnos a dohányszakmával akkor még nem volt tapasztalatom, így csak széttártam a karjaim. Nem vették meg a MOMCOLOR DC-t.

8 *A színmérés alkalmazási lehetőségei*

„Színes a világ, alig lehet az életünkben olyan területet találni, ahol a megfelelő színezés kérdésébe ne bukkannánk.

Néhány alkalmazási terület:

borászat	gumiipar	oktatás
bőripar	gyapot	papíripar
bútoripar	gyógyszeripar	paprika
cementipar	híradástechnika	paradicsompüré
detergensok	italok	pasztillák
dohány	kenőcsök	pigmentek
drázsék	kerámiaipar	petrokémia
élelmiszeripar	konzervipar	porok
emberi bőr	korrózióvédelem	rúzs
építőipar	kozmetikumok	szappan
faipar	légiközlekedés	színvisszaadás
festékipar	malomipar	szén
fóliák	mosodák	textilipar
fotóipar	műanyagipar	üvegipar
gépkocsiipar	műemlékvédelem	vegyipar
	nyomdaipar	

MOMCOLOR-D digitális tristimulusos színmérő. Prospektus. 1978. 4 p.

- 9 Witt, Kl. Bundesanstalt für Materialforschung und Prüfung, Berlin információja a Tatán, 2001. szeptember 3-5. tartott 28. Kolorisztikai Szimpóziumon.
- 10 „Azok, akiknek szükségük lenne rá, nem ismerik a színmérés elemeit és húzódoznak attól, hogy a mérés technikának erre a látszólag bonyolult területére behatoljanak.” Richter, M.: Farbmessung und ihre praktische Anwendung in den Vereinigten Staaten von Amerika. *Die Farbe*, 13. 1964/1-3. 89-131. p.
- 11 Megkérdezték a Mestert, hogy ha átveszi a kormányzást mi lesz az első, amit tenni fog. A Mester így válaszolt: „A szavak helyes használata” „Ha a szavak használata nem helyes, a fogalmak értelme zavaros; ha a fogalmak értelme zavaros, nem lehet szabatosan cselekedni; ha nem lehet szabatosan cselekedni, az erkölcs és művészet nem virágzik” „A bölcs első dolga, hogy fogalmait szavakká, a szavakat tetteké tegye. Nem tűri, hogy szavaiban rendetlenség legyen. Minden ezen múlik.”
- Kungfutse*: Lun Yü. Kung mester beszélgetései. Ford.: Hamvas Béla. Bp. Bibliotheca, 1943. 95. p.
- 12 *Nemzetközi metrológiai értelmező szótár*. Angol-magyar. Bp. Országos Mérésügyi Hivatal – MTA Műszerügyi és Méréstechnikai Szolgálat, 1998. 49 p.
- 13 *Vocabulaire Internationale de l'Éclairage*. CIE Publ. No. 17.4 Chapitre 845: Éclairage. Genève, CIE. 1987. 326 p.
- 14 MSZ 9620 Fénytechnikai terminológia. 1990.
- 15 Lukács Gyula: Helyes szóhasználat a színmérésben. *Mérés és Automatika*, 1992/4. 228-235. p.
- 16 Lukács Gyula: Színmérés. Bp. Műszaki kvk. 1982. 341 p.
- 17 Lukács Gyula: A korszerű színmérés mérés technikai és műszeres kérdései. *Mérés és Automatika*, 1991/1. 17-30. p.
- 18 Lukács Gyula: A színmérésről (alapvető problémák). *Műszerügyi és Méréstechnikai Közlemények*, 64. szám, 1999. 63-72. p.
- 19 Schanda János–Kovácsné Stahl Ágnes–Lukács Gyula: A színinermetrika fogalmai. 27. Kolorisztikai Szimpózium, 1999. szeptember 27-29. Tata. Előadások. 7-20. p.
- 20 Hadnagy András–Bozóki Gábor–Hadnagy Andrásné: Ajakrúzsok színstabilitásának vizsgálata. *Mérés és Automatika*, 1971/12. 462-471. p.
- 21 McLaren, K.: An Investigation into Alleged Bias of Textile Shade Passers. *Journal of the Society of Dyers and Colourists*. 1976/10. 346-367. p.
- in: Lukács Gyula: A CIELAB az ipari gyakorlatban. *Mérés és Automatika*, 1981/7. 265-271. p.

22 **5. táblázat. A CIELAB színinermérő rendszer**

A CIE 1931 színinermérő rendszer X , Y , Z színinermösszetevőiből a CIELAB színinermérő rendszer L^* , a^* , b^* koordinátáit és azokból a színinermkülönbségi mennyiségeket az alábbiak szerint számítjuk:

$$a^* = 500[f(X/X_n) - f(Y/Y_n)],$$

$$b^* = 200[f(Y/Y_n) - f(Z/Z_n)], \text{ ahol}$$

$$f(X/X_n) = (X/X_n)^{1/3}, \quad \text{ha } X/X_n > 0,008856;$$

$$f(X/X_n) = 7,787(X/X_n) + 16/116, \quad \text{ha } X/X_n \leq 0,008856;$$

$$\begin{aligned}
 f(Y/Y_n) &= (Y/Y_n)^{1/3}, & \text{ha } Y/Y_n > 0,008856; \\
 f(Y/Y_n) &= 7,787(Y/Y_n) + 16/116, & \text{ha } Y/Y_n \leq 0,008856; \\
 f(Z/Z_n) &= (Z/Z_n)^{1/3} & \text{ha } Z/Z_n > 0,008856; \\
 f(Z/Z_n) &= 7,787(Z/Z_n) + 16/116, & \text{ha } Z/Z_n \leq 0,008856. \\
 L^* &= 116(Y/Y_n)^{1/3} - 16, & \text{ha } Y/Y_n > 0,008856; \\
 L^* &= 903,3(Y/Y_n), & \text{ha } Y/Y_n \leq 0,008856.
 \end{aligned}$$

Az egyes színíngerek közötti ΔE_{ab}^* színíngerkülönbséget azoknak az Euklidész-i térben számított távolsága adja:

$$\Delta E_{ab}^* = \left[(\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 + (\Delta L^*)^2 \right]^{1/2}$$

Az L^* neve: CIE 1976 világossági tényező. A CIELAB színíngertérben az egyes színpontoknak az L^* -tengelytől való távolságát CIELAB krómának nevezzük és így számítjuk:

$$C_{ab}^* = \left[(a^*)^2 + (b^*)^2 \right]^{1/2}.$$

A CIELAB színezeti különbséget így kapjuk meg:

$$\Delta H_{ab}^* = \left[(\Delta E_{ab}^*)^2 - (\Delta L^*)^2 - (\Delta C_{ab}^*)^2 \right]^{1/2}.$$

Lukács Gyula: A CIELAB az ipari gyakorlatban. *Mérés és Automatika*, 1981/7. 265-271. p.

- 23 *Routine Test Method for Paper and Board. Instrumental Measurement of Colour. Paper Technology and Industry*, August 1977, 217-218. p.
- 24 Huszka Tibor–Halászné Fekete Mária–Lukács Gyula: Fűszerpaprika-őrlemények színtoleranciája. *Mérés és Automatika*, 1984/5. 193-197. p.

7. táblázat. A színészlelési különbségi osztályok és az azokhoz rendelt ΔE_{ab}^* értékek két iparágban

Papíripari ΔE_{ab}^* határok	Szemmel észlelt különbség	Paprikaipari ΔE_{ab}^* átlagok
0 ... 0,5	nem észrevehető	
0,5 ... 1,5	alig észrevehető	1,3
1,5 ... 3,0	észrevehető	2,3
3,0 ... 6,0	jól látható	4,5
6,0 ... 12,0	nagy	8,2

- 25 Witt, K.–Schanda J.: CIEDE2000 színíngerkülönbség. ΔE_{00} . 28. *Kolorisztikai szimpózium*. 2001. szeptember 3-5. Tata. Előadások. 89-95. p.
- 26 „5.27. **ismétlőképesség (mérőeszközé)**. A mérőeszköznek az a képessége, hogy azonos mérendő mennyiséget azonos feltételek között ismételtlen megmérve egymáshoz közeli értékmutatásokat ad.
Megjegyzések. 1. Ezek a feltételek: – a mérőszemély által okozott eltérések minimálisra csökkentése; – azonos mérési eljárás; – azonos mérőszemély; – változatlan környezeti feltételek mellett használt, azonos mérőeszköz; – azonos helyszín; – rövid időtartamon belüli ismétlés.
 2. Az ismétlőképesség mennyiségileg az értékmutatások szóródásának jellemzésével fejezhető ki.”

Nemzetközi metrológiai értelmező szótár. Angol-magyar. Bp. Országos Mérésügyi Hivatal–MTA Műszerügyi és Méréstechnikai Szolgálat. 1998. 43. p.

- 27 Lukács, Gyula: How to draw up specifications for colorimetric instruments. *Compte rendue 18^e Session.* Londres. CIE № 36 (1976) P–75–12. 184–191. p.
- 28 Lukács Gyula: A színmérők metrológiai minősítése. *Mérés és Automatika*, 1977/8. 281–287. p.
- 29 Lukács Gyula: A színmérés ismétlőképessége. *Mérés és Automatika*, 1978/6. 201–206. p.
- 30 Teszár Jenő–Lukács Gyula: A színmérési ismétlőképesség fogalma és alkalmazása. *Mérés és Automatika*, 1989/5. 278–283. p.
- 31 Lukács Gyula: A színmérők metrológiai minősítése. *Mérés és Automatika*, 1977/8. 281–287. p.

8. táblázat Az ismétlőképesség megadása (1965–1975)

Irodalmi közlések:

1965, Billmeyer	$1,96 s_{xy}, 1,96 s_Y$
1966, Barlee	$2s$ reflectance
1967, Morley	ΔE
1968, ASTM D 2244-68	$s_{\Delta E}, s_a, s_b$
1969, Brodd	s_x, s_y
1969, Hunter	$s_{\Delta E}$
1973, Wyszecki	$\pm 0,001$ reflectance (XYZ) $\pm 0,01$ %
1975, Lukács	$\Delta \bar{E}_{AN}, \Delta E_{max}$

Prospektusok adatai:

(é.n.) Automatics Color Eye, KCS-18	Y szűrőre $\pm 0,02$ %
1969, DMC-25	X, Y, Z-re $\pm 0,03$ %
1975, DIANO/Hardy II.	$\Delta E < 0,5$ MacAdam
1976, PRETEMA SF-4	R = 0 %-ra $s = \pm 0,01$ % R = 20 %-ra $s = \pm 0,03$ % R = 90 %-ra $s = \pm 0,04$ %
(é.n.) DATACOLOR 3500	Színkülönbségre $\Delta E_{AN} < 0,1$

Lukács Gyula: A színmérők metrológiai minősítése. *Mérés és Automatika*, 1977/8. 281–287. p.

- 32 Völz, G. Hans: Über die Signifikanz von Farbmessungen an pigmentierten Systemen. Das Prüffehler-Ellipsoid. Teil II. *farbe+lack*, 1982/6. 44–447. p.
A 444. p.: az 1. sz minta $\pm \sigma$ értékei:

ΔE_{ab}^*	ΔL^*	ΔC_{ab}^*	ΔH_{ab}^*
$\pm 0,10$	$\pm 0,08$	$\pm 0,14$	$\pm 0,14$

A hasonló OMH 04, középpiros zománc etalonra kapott értékeink:

$\Delta \bar{E}_{ab}^*$	ΔL^*	ΔC_{ab}^*	ΔH_{ab}^*
0,2	$\pm 0,05$	$\pm 0,20$	$\pm 0,10$

A forgási ellipszoidnak a gömbbel való helyettesítése nem okoz számottevő torzítást, de sokkal egyszerűbb.

9. táblázat. Különböző mérendő minták színmérési ismétlőképessége a MOMCOLOR színmérővel

	Színmérési ismétlőképesség	
	$\Delta\bar{E}_{ab}^*$	$(\Delta E_{ab}^*)_{max}$
16 db OMH színetalon		
két észlelő: átlagai	0,2	0,4
szélső értékek	0,1...0,3	0,2...0,7
Kamillaolaj	0,06	0,09
Vörösbor	0,09	0,2
Festett fémlemez	0,1	0,2
Paradicsom sűrítmény	0,1	0,3
Préselt teakeverékek, pasztillázva	0,2	0,3
Gyógyszer drazsék	0,2	0,5
POPRIL vágott színes műanyag szálak	0,2...1,1	0,5...2,5
CRUMERON műanyag konverter szalagok, több színben	0,4...1,3	0,9...2,8
Kék gyapjú skála: átlag	0,5	0,7
szélső értékek	0,1...0,8	0,3...1,1
Almafajták:		
Jonathan, piros része	0,5	1,6
Starking, piros része	2,0	3,4

In: Lukács Gyula: A tristimulusos színmérés metrológiája. Kandidátusi értekezés. I. rész. 1984. 14. p.

- 34 Lukács Gyula: A tristimulusos színmérés pontossága. *Mérés és Automatika*, 1980/7. 241-250. p.
- 35 „**5.18 pontosság.** A mérőeszköznek az a tulajdonsága, hogy a mérendő mennyiség valódi értékéhez közeli értékmutatást vagy választ szolgáltat.
Megjegyzés. A pontosság kvalitatív fogalom.”
- Nemzetközi metrológiai értelmező szótár.* Angol-magyar. Bp. Országos Mérésügyi Hivatal–MTA Műszerügyi és Méréstechnikai Szolgálat. 41. p.
- 36 Dézsi Gyula–Fillinger László–Virághalmy Géza: Színetalonok képzése. *Mérésügyi Közlemények*, 1968/1-2. 34-36. p.
- 37 Fillinger László: Nagy pontosságú spektrofotométeres színmérés az OMH-ban. *Mérés és Automatika*, 1975/5. 161-165. p.
- 38 Clarke, F.J.J.–Malkin, F.: Development of a Series of Ceramic Standards. *Journal of the Society of Dyers and Colourists*. 1981/12. 503-504. p.
- 39 Lukács Gyula: Egy méréstechnikai személyi információs rendszer. *Mérés és Automatika*, 1984/1. 17-25. p.
- 40 1984. júliusában felkeresett a MOM-ban Turszunov Akabir és Tottanov Abdrasid, a taskenti Műegyetem Politechnikai Intézetének két munkatársa. Magukkal hoztak egy bibliográfiát, amely felsorolta a Mérés és Automatikában addig megjelent 15 közleményem pontos adatait. Arra kértek adjak nekik egy-egy különnyomatot, mert a referáló lap csak a rövid összefoglalókat közli, s a teljes szöveghez otthon nem tudnak hozzájutni. Van valaki Taskentben, aki tud magyarul és lefordítja a cikkeket, ezért kéri a teljes szövegeket. Egyetemük a pesti Műegyetemmel volt rendszeres kapcsolatban, így kerültek Budapestre.
- 41 *Die Farbe*, Bd. 32/33. 1985/86. 2. Heft. 481-482. p.

- 42 „6.10 **visszavezethetőség** Egy mérési eredménynek vagy egy etalon értékének az a tulajdonságai, hogy ismert bizonytalanságú összehasonlítások megszakítatlan láncolatán keresztül kapcsolódik megadott referenciákhoz, általában országos vagy nemzetközi etalonhoz.
Megjegyzés. 1. A fogalom gyakran mint jelző is használatos: **visszavezethető**. 2. Az összehasonlítások megszakítatlan láncolatát gyakran **visszavezethetőségi láncnak** nevezik.”
- Nemzetközi metrológiai értelmező szótár.* Angol-magyar. Bp. Országos Mérésügyi Hivatal–MTA Műszerügyi és Méréstechnikai Szolgálat. 1998. 47. p.
- 43 *Fillinger László:* A színérés metrológiai háttere az Országos Mérésügyi Hivatalban. *Mérés és Automatika*, 1984/9. 323-326. p.
- 44 *Fillinger László–Lukács Gyula–Andor György:* Színetalonok termokromizmusa. I. Az Országos Mérésügyi Hivatal színetalonjai. *Mérés és Automatika*, 1976/9. 342-346.p.
- 45 *Fillinger László–Lukács Gyula:* Az OMH színetalonjainak öt éves stabilitása. *Mérés és Automatika*, 1981/11. 405-408. p.
- 46 *Fillinger László–Dézsi Gyula:* HALON – a színérés új fehér etalonja. *Mérés és Automatika*, 1987/8. 298-302. p.
- 47 A bécsi Magyar Gazdasági Napok előadásait 1975. 11. 20-án 14 h-ra hirdették meg. Aznap déli egy óra körül a városban iszonyatos felhőszakadás kezdődött és vagy két óra hosszat tartott. Emiatt az előadásomon öten jelentek meg, köztük volt Dr. Rotter az ottani Arbeitsgruppe Farbe vezetője. Az előadás után Rotter kérte, hogy ismétljem meg az előadást, mert az sok távolmaradt osztrák kollégát érdekel. Felajánlotta, hogy a következő alkalmat szakmai szervezetük az Österreichischer Ingenieur- und Architekten-Verein megszervezi. Így került sor a második előadásra 1976. 11. 8-án 14,30 h-kor, amelyen kb. 70-en jelentek meg.
- 48 Soproni Jenő volt az elektromos rész fejlesztője, a mechanikai tervező pedig Kertai Miklós.
- 49 *HUNTERLAB Color and Appearance Seminar.* 1994. 136 p.
Precise Color Communication Minolta. 1994. 49 p.
COLOR Makes the Difference. Gretag Macbeth. 1999. 24 p.
- 50 *Szőnyi László–Fillinger László–Dézsi Gyula:* A MOMCOLOR-100 színmérő metrológiai háttere az Országos Mérésügyi Hivatalban. *Mérés és Automatika*, 1989/5. 272-277. p.
- 51 Mara József munkatársai voltak: Vihar Levente, Megyeri István, Magyar László, Mezei László.
- 52 *Andréné, Stiglmayer Magda–Bontovics Lajos:* Tristimulusos színmérők összehasonlítása. *Mérés és Automatika*, 1971/12. 446-451. p.
- 53 *XXVII. Kolorisztikai Szimpózium.* 1999. szeptember 27-29. Tata.
[Kovácsné dr. Stahl Ágnes] Előadások. 233 p.
- 54 *XVIII. Kolorisztikai Szimpózium.* 2001. szeptember 3-5. Tata.
[Kovácsné dr. Stahl Ágnes] Előadások. 194 p.
- 55 *Schanda János D.:* Colorimetry. *In: Handbook of Applied Photometry.* N.Y. Am. Institut of Physics, 1997. 327-412. p.

Ábrák aláírásai:

- 1. ábra. A MOMCOLOR tristimulusos színmérő (1969)*
- 2. ábra. A MOMCOLOR mérőfeje különböző minták mérésekor*
- 3. ábra. A színmérési ismétlőképességet megadó, $\Delta\bar{E}_{ab}^*$ sugarú gömb*
- 4. ábra. A MOMCOLOR-1000 automatikus tristimulusos színmérő (1991)*

Könyvismertetés

Radnai Rudolf

Krawetz, S.A. – Womble, D. D. Eds.: Introduction to Bioinformatics. A Theoretical and Practical Approach

Totowa, Humana, 2003, 746 p.

A genom az élő szervezet genetikai információinak összessége. Az ugyanazon fajhoz tartozó egyedek genomjai egymással rendszerint homológok, vagyis azonos kapcsolódási csoportjaik ugyanazokat a génlokuszokat azonos sorrendben tartalmazzák. Kevesebb, mint egy évtized telt el azóta, hogy az első önálló életre képes élőlény teljes genomszerkezetét, nukleinsav-szekvenciáját meghatározták, de ma már állíthatjuk, hogy ez az esemény egy új korszak nyitányát jelentette, mely alapvető változásokat hozott az élettudományok minden területén.

A genomkorszak egyik jellemző irányzatának tekinthetjük, hogy a biológiai adatgyűjtés tömegmérésekben történik, iparszerűvé válik. Ipartörténeti hasonlattal azt is mondhatjuk, hogy a biológiai kutatás átlépett a kézműves korszakból a nagyüzemi korszakba. A genomkutatások sikerének másik fő forrása az volt, hogy a nagy teljesítményű számítógépek kifejlesztése és elterjedése révén jelentős fejlődésnek indulhatott a bioinformatika - a biológiai adatok számítógépes tárolásával, rendszerezésével, elemzésével és értelmezésével foglalkozó tudomány.

A genomelemzés a biológia legfontosabb területe lett az utóbbi években, óriási eredmények születtek annak köszönhetően, hogy számítástechnika és biológiai elemzés különösen szoros együttműködése alakult ki. Ezt az együttműködést hivatott elősegíteni a Humana kiadó könyvújdonsága, amely 40 szerző közös munkája. A műnek négy fő fejezete van. Az első két fejezetből a fizikai tudományok szakemberei kapnak bevezetést a biológiai ismeretekbe, ezek a fejezetek a Biokémia, sejt- és molekuláris biológia, illetve a Molekuláris genetika címet viselik. A másik két fejezet az élettani tudományok művelői számára mutatják be a számítástechnika legújabb eredményeit. Ezen fejezetek a UNIX operációs rendszer és a számítógépes alkalmazások összefoglaló címet viselik. Valamennyi fő fejezet tartalmaz általánosabb ismertetőket és egyedi kutatási beszámolókat. A szerkesztőket dicséri a kétfajta ismeret igen jó aránya. A könyvhöz tartozó CD-ROM-on a számítógépes alkalmazások fejezetben ismertett programok találhatóak ingyen használható változatban. Ezenkívül valamennyi fejezet színes ábrái is szerepelnek a lemezen, így azok átvehetőek cikkekbe, vagy oktatási bemutató anyagokba.

A különböző szakterületeket összekötő, interdiszciplináris könyvek esetében gyakran érezzük a rendszerezés hiányát, úgy érezzük mintha a szerkesztők véletlenszerűen válogattak volna össze egymással semmiféle kapcsolatban nem lévő ismertetőket. Ez a könyv kivételnek számít, jó példája annak, hogyan lehet gondos szerkesztéssel, egységes szemlélettel összeállítani egy átfogó művet. Néhány alfejezet cím a könyvből: A sejt; Klinikai humán genetika; UNIX alapismeretek és installálás; DNA szekvenciák statisztikai modellezése; Szekvencia hasonlóság és adatbázis-keresés stb.

A könyvet számtalan hasznos adatot tartalmazó Függelék is gazdagítja, az egyes cikkekhez bőséges irodalomjegyzéket mellékeltek a szerzők.

(Humana Press, 999 Riverview Drive, Suite 208, Totowa, NJ 07512, USA, Fax: 973-256-8341, E-mail: humana@humanapr.com)

Samuels, L.E.: Metallographic Polishing by Mechanical Methods, 4th Ed.
Materials Park, ASM, 2003, 402 p.

A fémtani mikroszkópi minták előkészítése során a próbadarabon nagyon sima, síkfelületet kell kialakítanunk, mivel a nagy nagyítás igen kicsi mélységélességgel párosul. A gyakorlatban, a hagyományos (kézi) módszerrel először öt-hat féle, egyre finomabb csiszolópapíron simították a felületet korund (Al_2O_3), vagy szilíciumkarbid (SiC) csiszoló anyaggal. Mielőtt a finomabb szemcsenagyságú papíron folytatták a csiszolást, a próbatestet alaposan meg tisztították, nehogy durvább csiszoló szemcse kerüljön tovább. Minden papírfokozaton addig folytatták a csiszolást, amíg az előző durvább szemcsésű papírral létesített karcok, és ezzel a durvább képlékeny deformáció rétege teljesen el nem tűnt a felületről. A legfinomabb papíron is készre csiszolt mintafelületet az eltorzult felületi réteg eltávolítása céljából fényesítették (polírozták). Ezt általában finom posztóval bevont forgó korongon végezték, amelyre vízben szuszpendált finom szemcsésű timföldet (Al_2O_3) öntöttek. A polírozás akkor megfelelő, ha utána a minta felületén, mikroszkópon keresztül se látható karcolás, vagy felületi elkenődés.

Az 1913-ban Detroit-ban alapított ASM, mai nevén The Materials Information Society kitűnő könyvek sorának kiadásával szolgálja a mérnöki társadalmat. Ezek sorába tartozik Leonard Samuels könyve, amely a mechanikai módszerekkel történő fém-polírozás kézikönyve. A mű előző, 3. kiadása 1982-ben jelent meg, azóta jelentős fejlődés történt a technika ezen területén is, ezt is részletesen ismerteti a szerző. Bemutatja a mintavágó berendezéseket, a kézi és automata beágyazó préseket, valamint a csiszoló és polírozó gépeket. Részletesen bemutatja a szerző a mintaelőkészítés során használt segédanyagokat (csiszolópapírokat, szuszpenziókat, pasztákat).

Néhány fejezetcím a könyvből: Minta kiválasztás és befogás; A csiszolás elméleti kérdései; A gépi csiszolás gyakorlata; A felületi károsodás csiszoláskor; Kézi polírozó rendszerek tervezése; Félautomata polírozó rendszerek stb.

(ASM, 9639 Kinsman Rd., Materials Park, Ohio 44073-0002, USA, Fax: 440 338 4634, www.asminternational.org)

Lomax, P.- Childs, M.- Petruscha, R.: VBScript in a Nutshell, 2nd Edition
Sebastopol, O'Reilly, 2003, 512 p.

A Microsoft először a Windows programozhatóságának javítására a Visual Basicből kiindulva alakította ki a Visual Basic Script (VBScript) programnyelvet. A VBScript, a Microsoft Visual Basic nyelv alegysége gyors, hordozható, kis méretű értelmező nyelv, amelyet World Wide Web böngészőkben és olyan alkalmazásokban való használatra fejlesztettek ki, amelyek ActiveX vezérlőket, OLE Automation kiszolgálókat és Java kisalkalmazásokat használnak. A Windows Scripting Host (WSH) használatával gyakorlatilag az operációs rendszer minden eleme elérhető egyszerű szkriptek megírásával. Egy nagy hiányossággal kell csak szembenézni a felhasználónak: nincs beépített adatbázis kezelés támogatás. A VBScript programok ma már számtalan helyen és formában működnek, és a VBScript programértelmezők szerves részét képezik a Windowsnak, és egyéb Microsoft alkalmazásnak (Internet Explorer, Outlook).

Az O'Reilly kiadó könyv újdonságának 2. kiadása a sorozat eddigi köteteinek színvonalához igazodva, tömören, igen gyakorlatias stílusban foglalja össze a VBScript-el kapcsolatos legújabb ismereteket is. Az olvasó megértheti a könyvből, hogy a JavaScripthez hasonlóan a VBScript is parancsnyelv, a VBScript nyelven megírt szkript fájlokat a böngésző futtatja.

Mivel a VBScript nyelv a Visual Basic programozási nyelv részhalmaza, a VBScript nem tartalmazza a Visual Basic valamennyi képességét. A JavaScripttől eltérően a VBScript nyelv nem eszköz és platformfüggetlen, hanem csak Windows alapú rendszereken használható. Továbbá a VBScript fájlok végrehajtásához az Internet Explorert is futtatni kell (a Netscape Navigator nem alkalmas erre). A 2. kiadás már a VBScript 5.6, WSH 5.6 és ASP 3.0 programok leírását is tartalmazza. Néhány fejezetcím a könyvből: A VBScript története és felhasználási lehetőségei; VBScript adat-típusok; Hibakeresés VBScript programokban; Gyakori problémák és azok elkerülésének módja stb. A könyv végén lévő referencia részben a VBScript nyelv elemeivel kapcsolatos adatok teljes gyűjteménye megtalálható.

(O'Reilly & Associates, Inc. 101 Morris Str., Sebastopol, CA 95472, USA, Fax: (707) 829-0104, <http://www.oreilly.com>)

Berger, H.: Automatisieren mit SIMATIC. 2nd. Ed.
Erlangen, Publicis, 2003, 222 p.

Berger, H.: Automatisieren mit STEP 7 in KOP und FUP
Erlangen, Publicis, 2003, 410 p.

Az ipari automatizálás területének vezető termékei a Siemens SIMATIC S7 PLC (programozható logikai vezérlő) család tagjai. Az egységek sikereiket 3 fő jellemzőjüknek köszönhetik:

- Adatbiztonság, ami azt jelenti, hogy adat nem veszhet el, még ún. szükségüzem esetén sem.
- Moduláris felépítés, könnyű bővíthetőség. A készülék-családnak különleges, egyedi feladatok elvégzésére is vannak megfelelő egységei.
- Egyszerűen felépíthető adatátvitel. A PROFIBUS felület alkalmassá teszi a SIMATIC S7 családot bármilyen más ipari egységgel - műszerek, PLC egységek, frekvenciaváltók stb. - való összekapcsolódásra.

A vezérlő család a STEP 7 szoftverrel programozható a bonyolult nyitott- és zárt-hurkú szabályozási feladatok ellátására.

Berger két könyve közül az Automatisieren mit SIMATIC átfogó bevezetés a vezérlő családról. Ez a mű második, átdolgozott kiadásban jelent meg, az átdolgozás a legújabb építőelemekkel kapcsolatos ismeretekre és néhány új példára vonatkozik.

A másik könyv a SIMATIC gyakorlati felhasználóinak szól. A szerző bemutatja a STEP 7 elemeit és a grafikus programozási nyelveket pl. Érintkezős logika KOP (Kontaktplan) vagy Működési terv FUP (Funktionsplan) mutatja be, amelyeket egyaránt használhatunk a SIMATIC S7-300 vagy SIMATIC S7-400 rendszerekhez. A STEP 7 egy olyan integrált automatizálási szoftver rendszer, amelynek legújabb változata valamennyi Windows^R operációs rendszerrel használható és mindenben megfelel a programozható logikai vezérlőkre vonatkozó IEC 61131-3 ajánlásnak.

Az Automatisieren mit STEP 7 in KOP und FUP könyvhöz tartozó diszken több minta-program található, amelyeket a STEP 7 különböző nyelvein írtak.

(Publicis Verlag, Nögelsbachstr. 38, 91052 Erlangen, Germany, Tel: +49 (9131) 72 24 33, <http://www.publicis-erlangen.de>)

Schiavone, P. – Conctanda, C. – Mioduchowski, A.: Integral Methods in Science and Engineering
Basel, Birkhäuser, 2002, 264 p.

2000-ben a kanadai Albertában rendezték meg a 6. Integrál módszerek a tudományban és a mérnöki gyakorlatban (Integral Methods in Science and Engineering, IMSE) elnevezésű konferenciát. A Birkhäuser kiadó könyve a konferencia előadásainak anyagából szerkesztett válogatás, amely igen széles olvasói kör érdeklődésére tarthat számot. Néhány kiemelten fontos szakterület: szilárd és folyékony közegek mechanikája, sugárzás-terjedés, határfelületi jelenségek vizsgálata, diffúziós vizsgálatok, véges-elem módszerrel végzett vizsgálatok.

A kiadványban 61 előadó 40 előadásának teljes anyaga található. Az egyes előadások segítséget adhatnak a különböző fizikai jelenségek matematikai modelljének megalkotásában és hatékony közelítő módszerek kidolgozásában. A szerkesztők és a konferencia szervezők gondosságának köszönhetően az előadások egységes szerkezetűek: rövid, célratörő bevezetés után részletes, ábrákkal képletekkel gazdagított tárgyalás következik, majd a következtetések megfogalmazása és témával kapcsolatos irodalomjegyzék. Az olvasók további tájékozódását segíti, hogy a könyv elején található felsorolásban valamennyi szerző adatai, többek között az e-leveél címek is szerepelnek.

Néhány előadástéma a könyvből: Az elasztodinamikus reciprocitás elméletének alkalmazása térerő-számításoknál; Sugárzás nemlineáris dinamikus analízise a végeselem módszer alkalmazásával; Hagyományos differenciál egyenletek megoldása a Picard-eljárással; Anizotrop anyagok diffrakciós tényezőjének meghatározása numerikus módszerekkel; Homogén interfészek vizsgálata stb.

(Birkhäuser Verlag AG, Viaduktstrasse 42, CH-4051 Basel, Switzerland, Fax: +41 61 202 07 99, www.birkhauser.ch)

Block, C.H.: Das Intranet
Renningen, expert, 2003, 202 p.

Az Internet technológia cégen belüli alkalmazását nevezzük intranetnek. Ez az egységes technológia a HTTP protokoll segítségével a PHP, CGI, Javascript, JAVA és egyéb programnyelvekkel támogatva komplex megoldásokat kínál a cégek számára a belső információs hálózatuk megteremtéséhez. Sok mindent lehet intranet alkalmazásnak tekinteni az SMTP levelezéstől kezdve, az Interneten keresztüli titkosított csatornákkal összekötött LAN-okon át, a hagyományos alkalmazásokig. Az intranet egy zárt körnek jelent kapcsolattartási és céginformációs lehetőséget. Különbözik az általános "internetes oldalaktól", amely a cégről, termékeiről egy egyirányú információt biztosító oldal a külvilág számára.

A cégportál megoldások többféle igényt szolgálhatnak ki:

1. Cégen belüli kommunikáció: ha a cég több osztályból áll, vagy a cég létszáma a 20-30 főt meghaladja.
2. Ennek különleges esete lehet, ha a dolgozók több műszakban dolgoznak, azaz előfordul, hogy két munkatárs napokig, sőt akár hetekig sem találkozik.
3. Több telephely közti kommunikáció: ha a cég egymástól nagyobb távolságra lévő telephelyekkel, kirendeltségekkel, üzletekkel rendelkezik. Területi képviselő hálózata esetén a honlapba integrálható egy jelentési rendszer, erről bővebben a vonatkozó fejezetben.
4. Cég és partnerei közti kommunikáció: elősegíti az ügyfelekkel történő kapcsolattartást, dokumentumok, hírek elosztását stb.

Ez utóbbi igényre kiterjedő rendszereket az extranet névvel jelölik. A meghatározás szerint az extranet internetes protokollokkal és szoftverekkel üzemelő magánhálózat, melyre a működtető intézményen kívül korlátozott mértékben és körben mások (kívülről) is rákapcsolódhatnak; jellemzően egy cég belső intranetjére, amihez a szállítók és vevők is hozzáférést kaphatnak.

Block könyve egy átfogó, igen gyakorlatias szemléletű bevezetés a vállalati számítógép hálózatok világába. A bevezető részben a szerző részletesen tárgyalja az intranet rendszerekkel kapcsolatos szoftver és hardver fogalmakat. Szól arról, hogy a vállalati hálózat kialakítása előtt milyen szempontokat kell figyelembe venni, illetve milyen szervezési feladatokat kell elvégezni. Egy jól működő intranet lényegesen csökkentheti a papírmunkát és gyorsíthatja a vállalatban belüli folyamatokat. Ez azonban a legtöbb esetben átszervezéseket igényel. A szerző egy gyakorlati példával mutatja be a vállalati intranet kialakításának egyes lépéseit. A könyv befejező része egy fontos kérdéssel, az adatbiztonsággal foglalkozik. A számítógép hálózatok veszélyesek, többféle módon következhet be adatvesztés. Az intraneteken inkább attól kell félni, hogy az arra feljogosítottakon kívül más is hozzáférhet az adatokhoz, extraneteken pedig attól, hogy nem csak az arra feljogosított és ellenőrzött stratégiai partnerek férnek majd hozzá a hálózathoz. A szerző a könyv befejező részében számtalan jó tanáccsal segíti az adatbiztonsággal foglalkozó szakemberek munkáját.

Block könyve vállalati informatikusoknak és az intranet bevezetésében érdekelt vezetőknek egyaránt hasznos olvasmánya lehet.

(expert Verlag GmbH, Postfach 2020, D-71268 Renningen, Germany, Fax: (07159) 9265-20;
E-mail: expert@expertverlag.de)