

A mérési pontosság határai az ipari folyamatműszerezésben

REMÉNYI TIBOR okl. villamosmérnök, a Flow Cont Kft. műszaki igazgatója, a MATE Metrológiai és Szabványosítási Szakosztály társelnöke

Bevezetés

A természettudomány és a mérnöki tudományok egyre erősebb specializálódása nemcsak fantasztikusan érzékeny és nagy mérőképességű műszereket és mérőrendszereket hozott létre, hanem azt is megmutatta, hogy egy-egy különválasztott fizikai mennyiséget már "pontosabban" tudunk mérni (vagy meghatározni), mint ahogyan maga a mennyiség "jelen van" a makrofolyamatokban. Ez a furcsa kijelentés mindjárt érthető lesz a következő sorokból [1].

A mérés értelmét, célját és módját mindenképpen a mérés alá vont "dolog" használati értéke és/vagy a dologra vonatkozó ismeretek bővítésének igénye szabja meg. Célszerű tehát tisztázni, hogy mit értünk a folyamatok mérése alatt, amelynek eszköze a folyamatműszerezés.

A folyamatok lehetnek természetes és mesterséges folyamatok. A mesterséges folyamatok zömét az emberi **termelési** folyamatok teszik ki, amelyek különféle **technológiákból** épülnek fel, és ezekben a technológiákban rengeteg fizikai-kémiai-kibernetikai folyamat van beágyazva.

A mérés - az alapvető ismeretelméleti definíció szerint - mindig "csak" valamilyen mennyiségre vonatkozhat. Így, amikor a folyamatok "méréséről" beszélünk, akkor mindig a folyamatot többé-kevésbé jellemző kiragadott fizikai (kémiai, biológiai stb.) mennyiségek megméréséről van szó!

Az ipari folyamatok jellemzői és metrológiai igényei

Szorosabban az ipari folyamatok tárgyalásánál maradva, először is tekintsük át maguknak a folyamatoknak azokat a tulajdonságait, amelyek meghatározzák a mérési pontosság elméleti és gyakorlati határait.

Az új metrológiai megközelítések és a különféle tudományos irányzatok által szorgalmazott kalibrálási eljárások használhatóságát csak a következőkben felsorolt tulajdonságok ismerete és komolyan vétele alapján lehet eldönteni.

A folyamatokat jellemző mennyiségek mérése - és mérési igénye - legalább az alábbiakban *különbözik* az egyéb mérőeszközök (laboratóriumi) kalibrálásától:

- alapvető jelleg az időfüggés, nem lehet olyan értelemben állandósult állapotról beszélni, mint egy értékmutatás beállításáról
- nem értelmezhetőek a referenciakörülmények, legalábbis a megszokott metrológiai jelentésben
- az ismételtetésnek csak erősen korlátozott lehetőségei vannak
- térben kiterjedt, nagy méretű berendezésekben végbemenő nagy energiájú, rendkívül összetett folyamatokról van szó, amelyek leírására nem alkalmasak pl. a mikrométer vagy a patikamérleg viselkedésére használt módszerek
- a folyamat fontos jellemzője az inhomogenitás vagy állapot-egyenértékűség, amely a folyamattal "kitöltött" térben való mérést nehezíti, a mérési eredményt viszonylagossá teszi és speciális topográfiai szempontoknak veti alá
- a mérési adatok csak részben jellemzik a folyamatot; erre jó példa a fuzzy típusú leírás és szabályozás vagy az analogikai kutatások legújabb eredményei

A folyamatok és a tárgyak (eszközök) mérése közötti különbségtételkor már arra fel kell figyelniünk, hogy az egyes folyamatjellemző mennyiségek pusztán elkülönítése - a mérés céljára! - már önmagában sem mindig egyszerű feladat.

A folyamatjellemzők mérése szigorúan véve mindig csak pillanatnyi mintavételezéses mérés lehet, még akkor is, ha a mérési művelet gyakorisága nagy, és az eredményt is (kvázi) folyamatosnak észleljük.

A folyamatok normális lefolyásakor nincs is szükség túl sűrű mérésre, hiszen mindig is valamilyen rövidebb-hosszabb időre vonatkozó átlagok képzéséről van szó, amely elegendő a folyamat jellegének megismeréséhez és közben tartásához [2].

A folyamatműszerezésben használt mérőeszközök **pontosságának** és precizitásának **értelmes határait** a következő állapotjellemzők jelölik ki:

- a technológiai teret kitöltő anyag inhomogenitása (a hőmérséklet, a nyomás, a belső mozgások stb. folytonos változása)
- a technológiai mikrokörnyezettel való kölcsönhatások (anyagfelrakódás, anyagleválás, reakció a technológiai készülék anyagaival, immanens termodinamikai folyamatok stb.)
- az üzemi külső környezettel való kölcsönhatások (hő- és energetikai transzferek, légtérszennyezés és sugárzási hatások stb.)
- a technológiai szerkezetek alakja (geometriai) szabálytalanságai és anyagszerkezeti anomáliái
- a fizikai folyamatok belső összefüggéseire vonatkozó ismereteink korlátai és hiányosságai (pl. bizonyos gázok-gőzök expanziós folyamatának leírása, reális gázok viselkedése...)

Ezek mind olyan korlátok, amelyek pusztán azzal nem léphetők túl, hogy egyre nagyobb pontosságú nyomásmérőt, hőmérsékletmérőt stb. alkalmazunk az adott technológiai kiválasztott mintavételi pontjain.

Az ipari mérőeszközök és rendszerek minősítési szempontjai

Mielőtt elemeznénk a folyamatműszerezésben elérhető mérési pontosságot, fontos annak áttekintése, hogy a milyenek azok a vizsgálati és **metrológiai ellenőrzési** módszerek, amelyekkel az ipari mérőrendszerekben szereplő egyes mérőeszközöket és az összetett mérőrendszerek eredő pontosságát egyáltalán meg tudjuk állapítani. Azt is látnunk kell, hogy az ilyen mérőrendszerekkel szemben támasztott követelmények közül nem biztos, hogy a pontosság az első! Számos olyan üzemellenőrzési és irányítási feladat van, amelyben egy adott -nem túl kicsi- hibahatáron belül csaknem érdektelen az abszolút hiba nagyságának értéke, ám nagyon lényeges a mérőeszköz megbízhatósága és állékonysága.

Ezzel a körületekintő és több oldalú megközelítéssel kell vizsgálni az ipari mérőrendszerek metrológiai teljesítőképességét, végső során a minőségi alkalmasságát.

A szorosan vett metrológiai teljesítőképesség (~ mérőképesség) az üzemi megbízhatóságon és a megszakításmentes redundancia-biztosítás kategóriáján belül helyezhető el.

A korszerű üzemi gyakorlattal jól egyezik az új EN 61069-4:1997 (MSZ EN 61069-4:2000) szabvány fogalom-meghatározása, amely a (metrological) "performance"-t = metrológiai teljesítőképességet

- a pontosság
 - a reagálási sebesség és
 - az információfeldolgozási kapacitás
- együtteseként definiálja.

A **pontosság** és az ezzel összefüggő mérési bizonytalanság tehát többszörösen **beágyazva** jelenik meg a követelményrendszerben, ami természetesen nem jelenti azt, hogy ez a tulajdonság nem fontos!

Ugyanakkor kell, hogy a pontosság megfogalmazásának, jelentésének, ellenőrzésének és tanúsításának egyértelműnek, széles körben azonosnak kell lennie!

Ennek megfelelően a pontosság-ellenőrzési eljárásnak is áttekinthetőnek, egyszerűen kiszámíthatónak kell lennie. A leggyakoribb eljárás az, amikor a gyártómű által megadott pontossági osztályt vagy **összesített hibahatárt** tudjuk ellenőrizni olyan etalonokkal, amelyeknek saját hibájuk legalább négyszer kisebb, mint a vizsgált mérőeszközé. Ha erre nincs mód, akkor rendelkezésre álló legpontosabb egy vagy több ellenőrző műszerrel (etalonnal) végezzük el az összehasonlító méréseket.

Az ipari mérési eljárások követelményeinek leírását tartalmazó jelenleg érvényes **néhány** legfontosabb **szabvány** a következő: MSZ IEC 51-9, MSZ EN 837, MSZ EN 24006, MSZ ISO 11631, MSZ EN ISO 5167-1, ISO/TR 5168, EN 60770, MSZ EN 61069, MSZ EN 61298.

További mérvadó dokumentumok: az OIML (Organisation Internationale de Métrologie Légale) **ajánlások**, a WELMEC (Western European Legal Metrology Cooperation) **útmutató**, a MID (Measuring Instruments Directive) **általános direktíva**, az EA (European co-operation for Accreditation) kiadványai stb.

Az időszakos kalibrálás lényege a kalibrált (vizsgált) mérőeszköz értékmutatói, kijelzési vagy jelleggörbe-hibáinak megállapítása az alkalmazott etalonokhoz hasonlítva.

Az eljárás mérési bizonytalanságát a hitelesített etalonok saját hibái és a mérési körülmények határozzák meg.

Ez a fajta kalibrálás is alkalmas lehet **joghatással járó** mérési folyamatokban résztvevő műszerek elvárható pontosságának tanúsítására.

Az ipari folyamatműszerezésben használt műszerek (mérőeszközök) vizsgálatok és minősítések elsőbbséget kell adni a **hagyományos hitelesítés** műszaki-metrológiai tartalmának, természetesen követve a technika fejlődését az **egyre kisebb hibájú etalonok** használatát. A pontosság ellenőrzésének és tanúsításának ez az eljárása széles körben elfogadott. Az eredmények megadása és értelmezése világszerte egyértelmű [1, 6].

A legújabb MSZ EN ISO/IEC 17025:2001 szabvány 5.4.6 fejezete nemcsak hogy megengedi, hanem kifejezetten támogatja a gyakorlati tapasztalatra épülő ésszerű becsléseket a **kalibrálás** mérési bizonytalanságára vonatkozóan.

Ugyancsak ez a szabvány állapítja meg, hogy amennyiben a vizsgálat alá vont mérőeszközre vagy eljárásra létezik elfogadott (nemzetközi) szabvány, akkor a kalibrálást aszerint lehet (kell?) végezni, - ami más szóval azt jelenti, hogy a villamos mérőkészülékek, villamos kimenőjelű távadók, továbbá a villamos be-és kimenőjelű jelváltók, kijelzők, regisztrálók, továbbá számítógépek stb. kalibrálása műszaki-metrológiai tartalmát tekintve **azonos lehet a hitelesítési eljárások** részleteivel vagy akár egészével!

Az ipari mérőrendszerek valós pontossága

A reális értékelés nagyon lényeges követelménye, hogy mindig a **teljes mérőrendszert** kell vizsgálni és minősíteni, nem csupán az egyes mérőeszközöket. Amennyiben egy mérőkörben a fő jellemző mérését több fizikai-kémiai paraméter mérésére lehet visszavezetni, akkor minden egyes rész mérés saját hibáján kívül

a mérőrendszer mérési célfüggvényének összes alap- és járulékos hibáját is figyelembe kell venni.

Jó példát szolgáltat erre a komplex kezelésmódra az **ISO/TR 5168:1998** műszaki ajánlás, amely a csövezetékben áramló anyagok térfogatáramának (tömegáramának) mérésekre alkalmazandó hibaszámítást tárgyalja. Ez a kiadvány már tartalmazza a bizonytalanságszámítás továbbfejlesztett módszereit a **térfogat- és tömegárammérő rendszerekre** vonatkozóan. A közreadott számítási példák elég világosan rámutatnak arra, hogy hogyan lehet kezelni a rendszeres és véletlen hibák hatását az eredő bizonytalanságra. Nagy előnye a kiadványnak, hogy teljes összhangban van pl. az MSZ EN ISO 5167-1:2000 szabvánnyal, ami a mérőperemek, mérőtorkok és *Venturi-csöves* mérők számítási, gyártási és telepítési szabályait írja le.

Az eredő mérési bizonytalanságot a következő matematikai formula adja:

$$U_q = [B_q^2 + (t_{95} * S_q)^2]^{1/2},$$

ahol

U_q = az anyagárammérés eredő bizonytalansága

B_q = a mérőrendszerben résztvevő eszközök és az átfolyási egyenlet tényezőinek eredő rendszeres bizonytalansága

$$B_q = \pm S(B_i^2)^{1/2} \text{ és}$$

B_i = az egyes rendszeres bizonytalanságok értékei, amiket rendre figyelembe kívánunk venni

$t_{95} = 2$ (Student féle kiterjesztési tényező)

S_q = a mérés véletlen bizonytalanságainak eredője

$$S_q = \pm S(S_i^2)^{1/2}$$

S_i = a mérési és eredményszámítási folyamat egyes véletlen bizonytalanságai

Az így számított eredő bizonytalanság (és hiba) messzemenően megfelel az ipari gyakorlat tapasztalatainak, az eddigi ellenőrző mérések igazolják a számítás helyességét.

Figyelemre méltó, hogy a **véletlen hibákat** a mérési és az adatbecslési **folyamat** tulajdonságaiból származtatja – nagyon helyesen! – ez az eljárás. A matematikai statisztikában használatos *Student-féle* eloszlást csak a véletlen hibákra alkalmazza, a rendszeresekre nem!

Amennyiben az előzőekben – tudatosan – részletezett szempontokat és gondolatmenetet követtük, akkor rájövünk arra, hogy az ipari folyamatokra jellemző mennyiségek minél megbízhatóbb, minél pontosabb megmérése (legalábbis technikailag!) ma már nem az egyes mérőeszközök specifikált pontosságán (hibahatárán), hanem a **teljes folyamat** minél kiterjedtebb **ismeretén**, és azokon a közelítő matematikai eljárásokon, algoritmusokon, valamint számítási módszereken múlik, amelyekkel a mai mérnöki tudomány és alkalmazott metrológia megpróbálja leírni a technológiai valóságot!

Mai kutatási irányok és eredmények

A folyamatműszerezés legújabb kutatásai tehát a megfogalmazott feladat minél eredményesebb megoldására irányulnak, szem előtt tartva, hogy az ipari gyakorlatban gazdaságosan megvalósítható eljárások tarthatnak számot az elterjedésre és általános használatra.

A fő kísérleti-kutatási irányok a következők:

- Az intelligens érzékelők és távadók területe, amelyen belül a legfőbb cél az, hogy a mérendő fizikai mennyiség mérési folyamatát zavaró, befolyásoló hatásokat már az érzékelőbe és/vagy a távadóba beépített mikroprocesszoros áramkörökkel a minimálisra csökkentésük, és ezzel egyidőben az egyetlen esz-

közvetlenül megvalósítható mérési tartományt a lehető legnagyobbra növeljék.

A processzor alkalmazása és a gondosan kidolgozott beépített szoftver egyben arról is gondoskodik, hogy az ilyen eszköz hibahatára igen kicsiny maradjon (Pl. nyomástávadók esetében: 0,075...0,1%, kompakt áramlásmérők esetében: 0,25...0,75%, tartálysztípmérőknél: $\pm (0,75...2 \text{ mm stb.})$ [7].

– Fizikai-kémiai, áramlástan és termodinamikai kísérleti mérések, ipari szintű modellezések és szimulációk végzése a mérhető és mérendő anyagtulajdonságok minél pontosabb megismerése érdekében. (Pl. a gázkeverékek eredő mechanikai és termodinamikai jellemzőinek meghatározása, változó sebességprofilú anyagáramlások analitikus kimérése és leírása az egyre pontosabb tömegárammérő készülékek megalkotása érdekében, mérések megvalósítása nagy hőmérsékletű ipari terekben stb.)

Ebbe a kutatási kategóriába tartozik az áramlások, nyomás- és hőmérsékletváltozások tranziens állapotainak digitális analízise, és az ebből származó hardver-szoftver eredmények beépítése az új eszközökbe.

– Az ún. “self-validating” (automatikus önérvényesítő tulajdonságokkal rendelkező) folyamatközeli készülékek kifejlesztése, ami -tömören kifejezve- abban áll, hogy az intelligens távadó készülék nagy kapacitású memóriája összegyűjti a folyamat hosszú idejű viselkedésének tipikus jellemzőit, elvégzi a kiválasztott mérendő mennyiség időbeli változásának statisztikai elemzését, és ennek alapján – bizonyos korlátok között – akkor is “érvényesnek” tekinthető kimenőjelet produkál, ha a közvetlen mérési lánc sérül vagy megszakad, ha kimaradnak mintavételi ciklusok stb.

Ezzel a módszerrel automatikus belső hibakorrekciók, közelítő bizonytalansági elemzések, határértéktúllépés-figyelések stb. is végezhetőek [5].

– Új (eddig nem használt) fizikai-kémiai elveken működő érzékelő és jelképző szerkezetek kutatása és kifejlesztése: ilyenek pl. a tribometriás áramlásmérők, a kristály hőmérők, optikai és fotoelektronikus nyomásmérők, kvarc-rezonátoros nyomástávadók, magnetostriktív szintmérők/távadók stb. [7].

Mikroszámítógépet tartalmazó, igen bonyolult számítási feladatok elvégzése alkalmas autonóm ipari jelfeldolgozó és adattároló készülékek kifejlesztése, mint pl. a 16/32 bites flow-computer, folyadék tartályok nagy pontosságú szint- és töltetmérő eszközei, nagy terek átlaghőmérsékletét mérő rendszerek stb.

Ezek a kutatások egyre jobban kitolják az ipari mérések gyakorlatilag is elérhető reális pontosságának határait. Egyetlen, általános érvényű számértéket nem lehet mondani az ipari mérések jelenlegi pontossági határait. Mindenesetre tájékoztató adatnak elfogadható, hogy ma már majdnem minden lényeges mennyiségi jellemzőt, amely előfordul egy összetett ipari folyamatban, legalább 0,25...1,5% **relatív** hibával meg tudunk mérni. Ha tekintetbe vesszük, hogy ez egy teljes mérőrendszer eredő mérési bizonytalanságát is jelentheti, akkor el kell ismerni, hogy ez óriási eredmény és fejlődés a 20-25 év előtti ipari gyakorlathoz képest!

Összefoglalás

A cikkben az ipari folyamatműszerezés (industrial process measurement and control) metrológiai sajátosságait elemeztem, majd azoknak a mérőeszközöknek az ismérveit, és metrológiai ellenőrzésüknek a módjait részleteztem, amelyekből az ipari mérőrendszerek felépülnek.

A jelenleg érvényes CEN és ISO/IEC dokumentumok néhány részletének bemutatásával támasztottam alá a hitelesítés szerepének mindmáig kiemelt és pótolhatatlan jelentőségét.

Bemutattam egy összetett tömegárammérő rendszer hibaszámításának lényeges lépéseit.

Felsoroltam azokat a legjelentősebb kísérleti-kutatási irányokat, amelyek eredményeként a teljes mérőrendszerekre értelmzett relatív eredő mérési bizonytalanságok szintje az 1%-nál is kisebb lehet.

Irodalmi hivatkozások

- [1] *Dr. Pataki Péter*: Metrológia ma -Előadás a MATE jubileumi konferencián, Bp., 2002. május 29.
- [2] *Reményi T.*: Ipari és folyamatirányítási mérőeszközök kalibrálásáról, Műszerügyi és mérés technikai Közlemények 60. sz. 1997. 23-29. o.
- [3] *András E.*: Az ipari metrológia szerepe az Európai Unióban, Műszerügyi Közlemények XL. évf. 4. sz. 1999. dec.
- [4] *Kuperij T.*: A change of guard at WIB (New methods of instrumentation performance verification...), Control Engineering Europe, May/June 2000.
- [5] *Dr. M. Henry*: Self-validating sensors, Control Engineering Europe, June 2001.
- [6] *Lazur Lajos*: A mérési bizonytalanság jelentősége a kijelölt vizsgáló, tanúsító és ellenőrző tevékenységben, Metrológia és Minőség 2002/1., Bp., 2002. ápr.
- [7] *Donald R. Gillum*: Industrial Pressure, Level and Density Measurement, ISA Publication, NC USA, 1995.
- [8] A szövegben idézett CEN, CENELEC, ISO, IEC és EU kiadványok

A SZERZŐ



Reményi Tibor, 1965-ben szerzett villamosmérnöki oklevelet a Budapesti Műszaki Egyetemen. A vegyi- és olajipari folyamatműszerezés területén dolgozik több mint 30 éve. A MATE Metrológiai és Minőségbiztosítási szakosztályának vezetőségi tagja. A mérőrendszerek fejlesztéséről, a metrológia és a minőség kapcsolatának kutatásáról számos publikációja jelent meg. Jelenleg a Flow-Cont Intelligens Mérő- és Szabályozóberendezéseket Fejlesztő Kft. műszaki igazgatója. e-mail: flowcont@vnet.hu

Szakmai lektor: A MATE Lektor Bizottságának két tagja

Hírek

Megalakult az ECCE

Az Európai Rézpiaci Központ (ECI) kezdeményezésére 2002. október 18-án Brüsszelben megalakult az Európai Elektrotechnikai Újságok Főszerkesztői Klubja (European Club of Chief Editors in Electrical Engineering – ECCE).

Az alakuló gyűlésen mintegy 10 főszerkesztő és 10 regionális rézpiaci központ vezetője vett részt. Magyarországról a Rézpiaci Központ és az Elektrotechnika lap képviseltette magát.

A klub célja elsősorban a lapok közötti tapasztalatok, rövid híryananyagok és cikkek cseréje, de emellett fórumot kíván teremteni aktuális energetikai kérdések megvitatására is.

Több előadás hangzott el a villamos szakmák jelenéről-jövőjéről, az energia minőségről, a deregulációról, illetve a folyamatos (“életfogytiglani”) tanulásról.

A rövid hozzászólásokból kiderült, hogy a tagok egy “nyitott” klubban éreznék jól magukat, és szívesen kapcsolódnak be európai kérdőíves felmérések lebonyolításába.

Dr. Kádár Péter

főszerkesztő

peter.kadar@axelero.hu