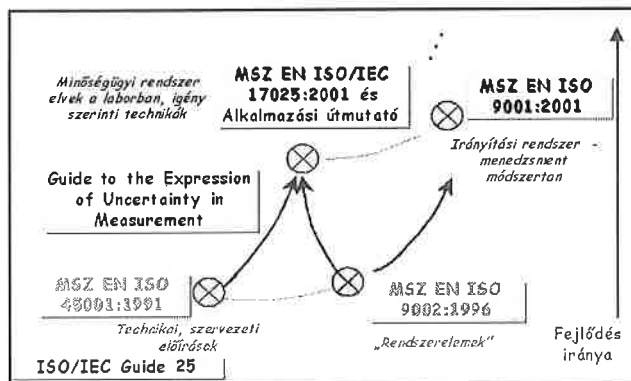


A mérési tevékenység minőségirányítása

Dr. Koczor Zoltán – Göndör Vera – Gregász Tibor

A mérési bizonytalanság új megvilágításban és új szabványkörnyezetben

A jól működő mérésügyi rendszert legalább két szempontból kell fejleszteni: egyrészt a mérésekkel kapcsolatos műszaki, statisztikai, mérés-technikai kihívásoknak megfelelő; másrészt a szervezeti szabályozások vonatkozásában a felvetődő mérési feladathoz illeszkedő minőségű és költségű megoldásokat találni (1. ábra).



1. ábra. A szabványok fejlődési lépései

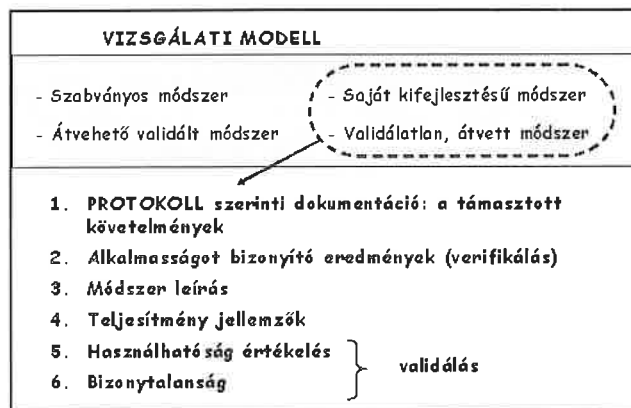
Az MSZ EN ISO/IEC 17025:2001-es szabvány követelményei több korábbi szabályozási elvárást ötvöznek magukban, így:

- az MSZ EN ISO 45001:1991
- az ISO/IEC Guide 25 (1990)
- a „Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (1995)”, valamint

- az MSZ EN ISO 9002:1996-es szabvány azon részleteit, melyek a laboratóriumi környezetben és a kalibrálási szolgáltatásban értelmezhetők (ezt jelenleg az MSZ EN ISO 9001:2001-es szabvány megfelelő értelmezése váltja ki).

A szabályozások valamennyi, az üzleti értelemben korrekt vizsgálati területre kiterjednek, így a szabványos, a nem szabványos, azon belül is validáltan átvett és a saját laborban validált mérési és kalibrálási eljárásokra.

A szabvány a szervezet irányításával kapcsolatosan szabályozást ad a szervezet, a minőségirányítási rendszer, a dokumentumok kezelése, az ajánlatkezelés és -átvizsgálás, a szolgáltatás és szállítás elrendelése, a szolgáltatási folyamat, a panaszok a nem megfelelő tevékenység ellenőrzése, a helyesbítő és megelőző tevékenységek a feljegyzések kezelése, a belső auditok és a vezetői átvizsgálások kérdésében. Műszaki követelményeket tartalmaz a szabvány a személyzetre, a kör-



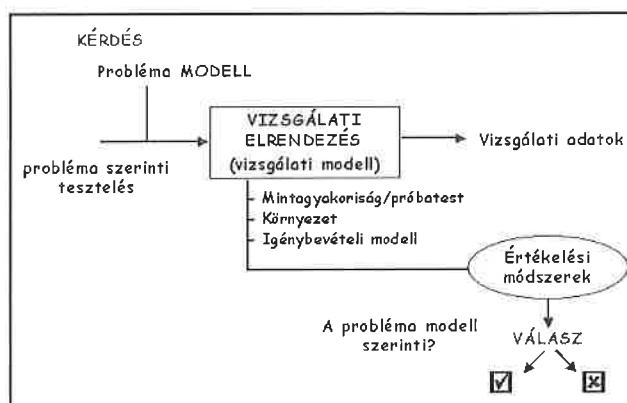
2. ábra. A mérési eljárások alkalmazhatóságának kritériumrendszere

nyezeti feltételekre, a módszerek kiválasztására és érvényesítésére, a berendezés adottságaira, a mérés visszavezethetőségére, a mintavételezésre, a vizsgálati objektumok kezelésére, az eredmények minőségének biztosítására és közlésére.

Cikkünk a szabvánnyal kapcsolatosan megjelent új szemléletmóddal foglalkozik. Ez elsősorban a vizsgálatok teljes körű áttekintését teszi lehetővé származás és elfogadhatóság szempontjából, másodlagosan a mérési bizonytalanság kezelését teszi más megközelítésűvé, mint korábban.

A vizsgálati folyamatok egyik csoportja a mások tapasztalatai szerint már „elfogadhatóvá” alakított szabványosított, vagy a már más mérőlaborok által kifejlesztett és validált eljárások (2. ábra).

A másik csoportba tartoznak az egyedileg vagy először felvetődő kérdésekre választ kereső vizsgálatok. Ilyen esetre a laboratórium a vizsgálati modellt alakítja ki, majd meghatározott menetrend szerint alakítja ki a vizsgálatot (a 3. ábra szerinti lépések). A mérési eljárás akkor válik elfogadhatóvá, ha meghatározott értékelésen keresztül vizsgáltva ismertté válik annak megfelelősége, teljesítményjellemzői (szelektivitás, mérés-tartomány, linearitás, érzékenység, kimutatási és meghatározási határ, zavartűrés, pontosság, precizitás) és mérési bizonytalansága.



3. ábra. A vizsgálati eljárás validálása

A mérési bizonytalanság fogalma

A véletlen hibák (mérési bizonytalanság) a méréseink pillanatnyi értékeit befolyásolják, így a mérési eredményben véletlenszerűen okoznak eltérést. Csupán statisztikai jellemzőivel adhatók meg (a mérések, illetve mérések összetevőinek ingadozása). Megismerésükre és csökkentésükre, valamint figyelembe vételükre jelentős erőforrások mozgósítása és mérés-technikai kreativitás szükséges.

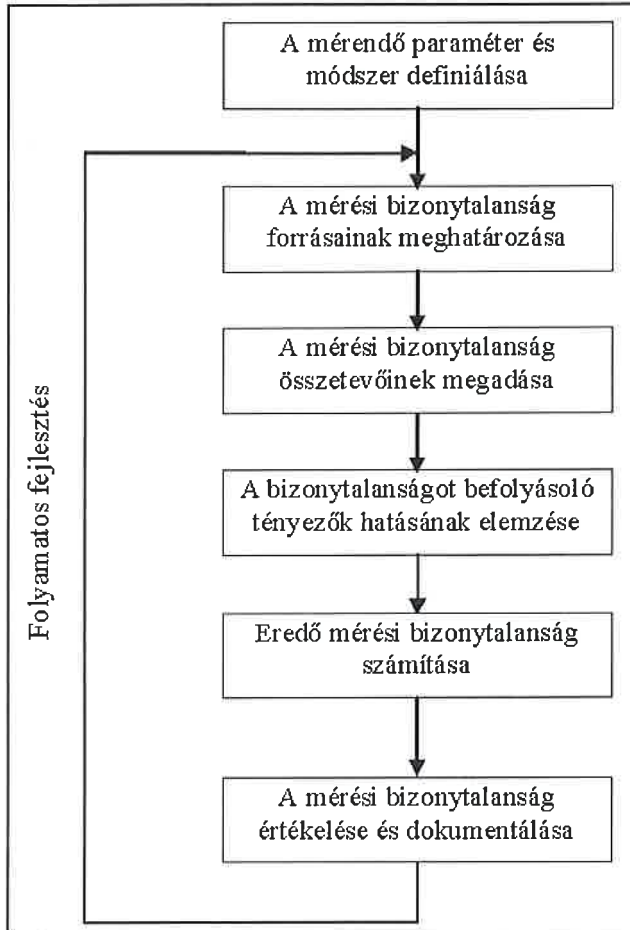
SZABÓCENTIVEL VETT MÉRÉST NEM FOGADUNK EL!!! AZ ÜVEGES

Mérési bizonytalanság alatt a mérési eredményhez társított paraméter érték (pl. szórás többszöröse), amely a mérendő mennyiségnek ésszerűen tulajdonítható értékek szóródását jellemzi.

Gyakran szükséges azonban, hogy az eredmények ingadozásán túl az erre a célra képzett mennyiségekkel jellemezzük a mérési bizonytalanságot. Ilyen lehet az egyes becsült varianciák, szabadságfokok, esetleg kovarianciák értéke, más esetben a mérési esemény modellezéséből származó, a statisztikai elemzésen túlmenő szempontok figyelembe vétele, mint a megismételhetőségi és reprodukálhatósági környezet meghatározásából származó paraméterek (R&R vizsgálatok).

A mérési bizonytalanság meghatározásának folyamata

A vizsgálólaboratórium a meghatározott módszertan szerint végzi a véletlen hibák felmérését és nagyságának minél pontosabb becslését, meghatározását. A mérési bizonytalanság meghatározása során a 4. ábrán bemutatott folyamat szerint járunk el.



4. ábra. A mérési bizonytalanság kezelésének általános sémája

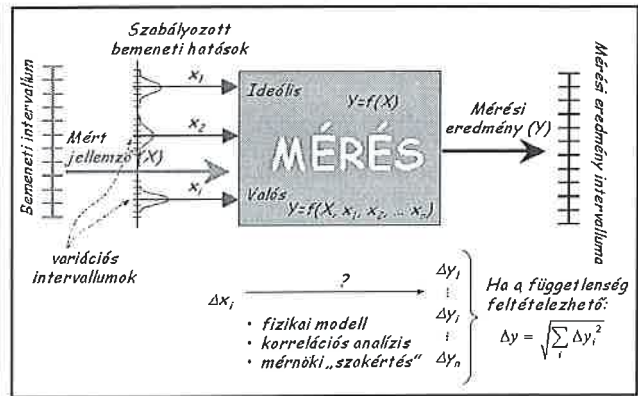
Zajhatások más megközelítésű felmérése

Egy kellően felkészült laboratóriumban a mérési bizonytalansággal kapcsolatos tevékenységeknek megvan az a sorozata, melyet a szakmai adottságok, az irodalmi utalások és az ingadozáselemzések klasszikus eszközei biztosítanak. Tapasztalataink szerint ezek a tevékenységek önmagukban nem elégségesek egy nagyobb vizsgálati választékot gyakorló laboratórium általános fejlesztésére. Szükséges egy olyan módszer, mely az egyes vizsgálatok bizonytalanságát folyamatosan képes csökkenteni, és egyre pontosabb leírást adni annak mértékéről.

Az alábbiakban javasolt eljárás nem az egyetlen, de működésében bevált módszertan, melynek továbbfejlesztése jelenleg is zajlik.

A mérési bizonytalanság csökkentéséhez tartozó folyamat modellje

A mérés elvi modellje szerint meghatározott bemeneti jellemzőket a mérés során a jelátalakítón keresztül egy 1–1 értékű függvény szerint mérési eredménnyé alakítunk. A bemeneti jellemző a meghatározott intervallumon beleüli változását a mérési eredmény függvény szerinti változása követi. A mérési eljárás bizonyos bemeneti hatásokat szabályoz, értékét meghatározott tűréssel előírja, annak érdekében, hogy a



5. ábra. A mérési bizonytalanság megjelenése, az egyes elemek hatások meghatározása

függvény csak a mért jellemző változását jelenítse meg a mérési eredményben. Feltételezzük, hogy e szabályozott jellemzők kizárják az egyéb tényezők mérési eredményekre való hatását. A valóságos modellben részben a szabályozott jellemzők, részben a szabályozásból kimaradt tényezők terhelik a mérési eredményt. A hatás csökkentése, illetve pontos megadása érdekében kell a mérési folyamatot fejleszteni.

A gyakorlati eljárás (konkrét eszköz, minta, környezet stb.) elemzésénél összegyűjtjük azokat a hatásokat, melyek megjelenhetnek a mérés során. Az egyes lehetséges hatások változékonyságát variációs intervallumokkal adjuk meg. Ezek szabályozott bemeneti jellemzők esetében az előírt tűréshatárok (pl. $\pm 2^\circ\text{C}$). Ezt szemlélteti az 5. ábra.

A bizonytalanság tényezőinek meghatározása¹

A bizonytalanság tényezőinek meghatározása csoportmunkában történik. Ez kezdetben egy ötletrohamban létrehozott lista készítését jelenti a zajhatásokról. Ezt követi a zajhatások elkülönítése aszerint, hogy a befolyásoló hatás mennyire változóképpen terheli a mérést, tehát a belőlük kialakuló véletlen hiba állandóan megjelenik a mérésben vagy csak esetenként, fellépése előre jósolható vagy nem. Ezek alapján választhatók külön

- a stationer és
- az instacioner zajhatások.

A mérési „zajmodell” végső formájánál ezen tényezőket a változékonyságuk alapján kell kezelniük, és a konkrét mérések bizonytalanságának megadásánál eszerint kell számításba venniük.

A bizonytalansági tényezők lehetnek általánosok:

- a mintavétel bizonytalanságai,
- a minták előkezelése, elhelyezése, helyzete, a próbadarab-rögzítő szerkezetek változékonysága,
- a vizsgálati környezet hatásai,
- a laboratórium környezeti hatásai (a helység légtérének klímája, állapotjelzőinek befolyása, alapzaja),
- a mérő- és referenciaeszköz kiválasztásának problémái,
- a vizsgálati eljárások bizonytalanságai vagy
- a vizsgálatok és a kiértékelés során az emberi tényezők.

A bizonytalansági tényezők meghatározását a munkacsoport metrológiai értekezletek keretében végzi. Az eredményeket mérési módszerként vezetett metrológiai füzetben kell dokumentálni. Erre számítástechnikai felület éppúgy megfelelő, mint papíralapon vezetett feljegyzés.

A mérési bizonytalanság összetevőinek megadása

Második lépésként a felsorolt tényezők nagyságrendi – egyszerűbb mérésekkel és számításokkal alátámasztott – becslése és figyelembe vétele szükséges a véletlen hibák terjedésére és a bizonytalanságok összegződésére ismert törvényszerűségek szerint.

¹ Az alábbiakban eltérő betűtípussal egy lehetséges, de nem egyedüli, szabályozási módot mutatunk be.

• **Bizonytalansági összetevők megadása egyszerűbb kísérletekkel**
A mérési bizonytalanság adott összetevőjét bemutató egyszerűbb mérésekből végzett mérési sorozat ingadozásának (szórásának) meghatározása.

• **Bizonytalansági összetevők megadása fizikai modellel**
Az elemzések során adódnak olyan tényezők, amely a legjobb esetben is csak számításra becsülhetők. Ezekre csak a mérhető tényezők és a meghatározandó jellemző közti fizikai törvényszerűségek és az azokból konkretizált hibaterjedési modell elvi ismerete áll rendelkezésünkre.

• **Torzító hatás megadása „mérnöki becsléssel”**
Végül azokat a tényezőket vegyük számításba, amelyek megadására csak a szubjektív szakértői becslés jelenthet megoldást. Ezek a későbbiekben, mérés technikánk fejlődésével, valamint újabb csoportmunkák keretében felderíthetők annyira, hogy átkerülhetnek a bizonytalanságot okozó tényezők azon csoportjába, amelyekre már fizikai törvényszerűségek és modellek ismertek.

Az eredmények megadása mérési módszerhez megnyitott metrológiai füzetben kerülnek dokumentálásra összetevőnként.

A bizonytalanságot befolyásoló tényezők hatásának elemzése

Ok-okozati elemzésből meghatározott zajforrásokat nem csak mértékük, hanem hatásuk szerint is elemezni kell. Ehhez a zajparaméter módosulása és a mérési eredmény kapcsolatát kell becsülni. A meghatározás módja, valamely természettudományi összefüggéssel vagy a korrelációelemzés eredményei alapján történhet meg. A mérési eredmények és a zajfaktorok függvény szerinti összefüggését ismerve a „hibaterjedés logikáját” felhasználva kell a zaj mértékét meghatározni.

A hiba terjedésének meghatározása

A közvetett mérés során a méréssel meghatározandó és az átalakítás során változó jellemzők közötti összefüggés

$$y = f(x_1, x_2, x_3, \dots)$$

A mérés eredményét meghatározó x_i fizikai jellemzők is hibákkal terhelték. A hibák a mért y értéket is módosítják, torzítják. A hibákról feltételezzük, hogy a mért értékeknél jelentősen kisebbek, így az eltérések hatványa és szorzatai nagyságrendekkel kisebbek az eltéréseknél, ezért legtöbbször elégséges pontosságot ad, ha az előjelesen is megismerhető hibáknál (pl. rendszeres hibáknál) a

$$\Delta y = \sum_i \frac{\partial y}{\partial x_i} \Delta x_i$$

összefüggéssel számoljuk a mért jellemzőre továbbjutó hiba mértékét.

A véletlen hibák esetében a korrekcióra nincs mód, csak a bizonytalanság öröklődésének mértékét becsülhetjük a leképezés során. Jellemezze a u véletlen hibát a kalibrálással meghatározható ismételtetésű szórás kétszeresével, $x_i \pm u_{x_i}$ illetve $y \pm u_y$.

Amennyiben a különböző hibák az x -értékeken függetlenül jelennek meg (a valószínűségi változók korrelálatlanok), úgy az egymást erősítő és gyengítő hatások vélhetően azonos gyakorisággal jelentkeznek. Ezért az u_y véletlen hiba nagyságát meghatározó statisztikai jellemzők az alábbiak szerint okoznak hibát a mért jellemzőn:

$$u_y = \sqrt{\sum_i \left(\frac{\partial y}{\partial x_i} \Big|_{x_j=x_0} \cdot u_{x_i} \right)^2}$$

Ezt az összefüggést nevezhetjük a véletlen hibák Pitagorasztételének. A fenti módszerekkel meghatározhatók a lehetséges ingadoztató hatások, melyek ismert vagy ismeretlen kapcsolatban vannak a minket érdeklő mért jellemzővel. A kapcsolatok becslésénél két lehetőség kínálkozik:

– ismert fizikai kapcsolatot feltételezve parametrizáljuk a bemeneti hatás mértékét a mért jellemzőre (pl. a lapszerű próbatest kivágásánál a szélességi méret hibája lineárisan jelenik meg a szilárdsági jellemzőkben),

– ismeretlen kapcsolat esetén megfelelő kísérletekkel és korrelációelemzéssel kell meghatározni a bemeneti ingadozás hatását az eredményre (pl. a mintadarab nedvességtartalma és a nyúlásérték közti összefüggés).

A kapcsolatok elemzésére a fizikai jellemzők kapcsolatainak kellő ismerete, a kísérletezésénél a tartományok reális megválasztása és a módszertan egyszerűségének megtalálása (pl. 2^p módszer) a kulcskérdés.

A mérési bizonytalanság meghatározásakor, becslésekor a bizonytalanságnak adott helyzetben fontos valamennyi tényezőjét figyelembe kell venni, azonban elhagyhatók azok a tényezők, melyek az eredő bizonytalansághoz képest nagyságrendekkel alumaradnak. Az összetevők megadását követően ezen elhagyható tényezőkről a munkacsoport dönt. A munkacsoport döntését a mérési módszer metrológiai füzetében dokumentálni kell.

A mérési bizonytalanság ismételt meghatározásánál vizsgálni kell, hogy a figyelembe vett és az elhagyott tényezők vizsgált jellemzőre gyakorolt hatásában nem történt-e szignifikáns változás (pl. új mintaelőkészítési eljárás). Az eredő mérési bizonytalanság megadásánál figyelembe vett tényezőket az okozott változásoknak megfelelően kell módosítani.

Az eredő mérési bizonytalanság számítása, dokumentálása

Az egyes zajparaméterek legtöbbször nem függetlenek egymástól (független a mérőeszköz áttételeiből származó ingadozások és a laboráns tevékenységekor értelmezhető leolvasási bizonytalanság, nem független a közös okra, pl. klímajellemzőre visszavezethető bemeneti hibák előfordulása). Ennek következtében a kölcsönhatások számítása elvileg nyomon követendő. Ugyanakkor legtöbbször a függetlenség feltételezésével kapott eredmények nagyságrenddel nagyobb hibákra adnak értéket, mint a kölcsönhatások értékei, ezért első közelítésben az ettől való eltekintés indokolt lehet. Ugyanakkor a hibákat egy irányba szuperponáló hatásokra vizsgálati tesztek érdemes kialakítani, hogy a hiba kézben tartható maradjon.

A mérésre, amennyiben arra feltételezhető az egyes zajparaméterek függetlensége, az alábbi matematikai „zajmodell” adható meg:

$\sigma_{össz} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \dots + \sigma_n^2}$, ahol n értéke a mérési bizonytalanság meghatározó tényezőinek a száma.

A munkacsoport mérési bizonytalanságokkal kapcsolatos döntését a mérési módszer metrológiai füzetében dokumentálni kell. A mérési bizonytalanság értékének megítélése a jövőbeli vizsgálati módszer előírásához, illetve a vevő követelményeihez képest történik. A mérési bizonytalanság értékét a vizsgálati jelentéseken fel kell tüntetni.

A mérési bizonytalanság mértékének rendszeres felügyelete

A mérési bizonytalanság meghatározása rendszeresen, előre rögzített időszakonként történik. A gyakoriság mértékét a munkacsoport állapítja meg, és rögzíti a metrológiai füzetekben. Az ismételt értékelés során ki kell térni

- a bizonytalansági tényezők teljes körűségének
 - az egyes összetevők megadási módjának
 - a befolyásoló tényezők megadási rendjének
 - megfelelőségére is, a szükséges módosítások kidolgozása mellett.
- A mérési bizonytalanság időbeni változása a metrológiai füzetekben rögzített eredmények alapján a metrológiai értekezleteken történik.

Irodalomjegyzék

- MSZ EN ISO/IEC 17025:2001
- MSZ EN ISO 9001:2001
- Alkalmazási útmutató az MSZ EN ISO/IEC 17025 szabványhoz
- Dr. Koczor Zoltán - Marschall Marcell: Anyagvizsgálati sajátosságok a minőségügyi rendszerek gyakorlatában – IV. rész: A mérőeszköz-felügyelet gyakorlati kérdései (Anyagvizsgálók Lapja, 1998. 1. szám)
- Dr. Koczor Zoltán és munkatársai (alkotószerkesztő): Bevezetés a minőségügybe - A minőségügy gyakorlati kérdései (Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1999.)

² MAB 11, 1995. május