

Etalonok, kalibrálás, recalibrálás, visszavezethetőség, referencia eljárások

Az etalonok és a kalibrálás általános
és alapvető metrológiai fogalmai és
definíciói

etalon

Mérték, mérőeszköz, anyagminta vagy mérőrendszer, melynek az a rendeltetése, hogy egy mennyiség egységét, illetve egy vagy több ismert értékét definiálja, megvalósítsa, fenntartsa vagy reprodukálja és referenciaként szolgáljon.

Például: 1 kg-os tömegetalon, 100 Ω -os normállenállás, etalon ampermérő, cézium frekvencia etalon, standard hidrogén elektród, 1% ónt tartalmazó oldott anyagminta.

etalon (folytatás)

*A **csoportos etalon** olyan hasonló mértékek vagy mérőeszközök csoportja, amelyek együttesen használhatóak etalonként.*

*Az **etalonsorozat** olyan speciálisan kiválasztott értékű etalonok készlete, amelyek egyedileg vagy megfelelő kombinációban valamely mennyiség adott tartományba eső értékeinek sorozatát adják.*

nemzetközi etalon

Nemzetközi megállapodással elfogadott etalon az adott mennyiség többi etalonjának tulajdonított érték meghatározására.

országos etalon

Nemzeti határozattal elismert etalon az adott mennyiség többi etalonjának tulajdonított érték meghatározására az országon belül.

elsődleges etalon

A legjobb metrológiai minőségűnek kijelölt vagy széles körben elismert etalon, amelynek az értéke elfogadható az ugyanannak a mennyiségnek más etalonjaira való hivatkozás nélkül.

Az elsődleges etalon fogalma mind az alap-, mind a származtatott mennyiségekre alkalmazható.

másodlagos etalon

Etalon, amelynek az értékét elsődleges etalonnal való összehasonlítás révén határozzák meg.

referenciaetalon

Adott helyen vagy szervezetnél rendelkezésre álló etalonok közül a legjobb metrológiai minőségű, amelyre azon a helyen a méréseket visszavezetik.

használati etalon

Rendszeresen mértékek, mérőeszközök vagy anyagminták kalibrálására illetve ellenőrzésére használt etalon.

*A használati etalont általában **referenciaetalonnal** kalibrálják.*

*A mérések helyes elvégzésének biztosítására rendszeresen alkalmazott használati etalont **ellenőrző etalonnak** nevezik.*

összehasonlító (transzfer) etalon

Etalonok összehasonlításához közbülső eszközként használt etalon.

*Ha a közbülső eszköz nem etalon, akkor az **összehasonlító eszköz** kifejezést kell használni.*

utazó etalon

Különböző helyszínekre szállítható, esetenként különleges felépítésű etalon.

Például: telepről működtetett, hordozható cézium frekvencia etalon.

visszavezethetőség

Egy mérési eredménynek, vagy egy etalon értékének az a tulajdonsága, hogy ismert bizonytalanságú összehasonlítások megszakítatlan láncolatán keresztül kapcsolódik megadott referenciákhoz, általában országos vagy nemzetközi etalonhoz.

Az összehasonlítások megszakítatlan láncolatát visszavezethetőségi láncnak nevezik.

kalibrálás

Azoknak a műveleteknek az összessége, amelyekkel meghatározott feltételek mellett megállapítható az összefüggés egy mérőeszköz vagy egy mérőrendszer értékmutatása illetve egy mértéknek vagy anyagmintának tulajdonított érték és a mérendő mennyiség etalonnal reprodukált megfelelő értéke között.

kalibrálás (folytatás)

A kalibrálás eredménye lehetővé teszi mind a mérendő mennyiség megfelelő értékeinek hozzárendelését a mérőeszköz értékmutatásához, mind az értékmutatásokhoz tartozó korrekciók meghatározását.

kalibrálás (folytatás)

Kalibrálással egyéb metrológiai jellemzők is meghatározhatóak, például a befolyásoló mennyiségek hatása.

A kalibrálás eredménye egy dokumentumban rögzíthető, amelyet gyakran kalibrálási bizonyítványnak vagy kalibrálási jegyzőkönyvnek neveznek.

etalon fenntartása

Azoknak a műveleteknek az összessége, amelyek egy etalon metrológiai jellemzőinek megfelelő határok között tartásához szükségesek.

Ezek a műveletek magukban foglalják a rendszeres összehasonlítást, a megfelelő körülmények közötti tárolást és a gondos használatot.

anyagminta

Olyan anyag, amelynek egy vagy több tulajdonsága eléggé homogén és jól meghatározott ahhoz, hogy egy készülék kalibrálásához, egy mérési módszer minősítéséhez, vagy anyagjellemzők meghatározásához használják.

anyagminta (folytatás)

Az anyagminta lehet tiszta gáz vagy gázkeverék, folyadék vagy szilárd anyag.

Például: viszkoziméterek kalibrálására használt víz, kémiai elemzésben kalibrálásra használt oldatok, ismert keménységű fémlap keménységmérő készülékek kalibrálásához.

hiteles anyagminta

Bizonyítvánnyal ellátott anyagminta, amelynek egy vagy több jellemzőjét olyan eljárás tanúsítja, amely biztosítja a visszavezethetőséget annak a mértékegységnek a pontos megvalósításához, amelyben a jellemző értékeit kifejezték és amely anyagminta minden egyes tanúsított értékéhez adott megbízhatósági szintű mérési bizonytalanság tartozik.

hiteles anyagminta (folytatás)

A hiteles anyagminták általában meghatározott tételekben készülnek, és az egész tételt jellemző tulajdonság meghatározása a tételből vett mintákon végzett mérésekkel, meghatározott mérési bizonytalanság határokon belül történik.

*Minden hiteles anyagminta **etalonnak** minősül.*

Kalibrálás, recalibrálás

Kalibrálás

Mérőeszközeink, berendezéseink rendeltetés-szerű használatához nélkülözhetetlen ismernünk a **készülék által kijelzett érték**, és a **mérendő mennyiség** közötti **kapcsolatot**.

*A kalibrálás mást jelent **közvetlen** és **közvetett** mérés esetén.*

Kalibrálás

- **Közvetlen mérés esetén:**

A kalibrálást a mérés **rendszeres hibájának csökkentése** érdekében végezzük. A **kalibrációs függvény** a mérőeszköz **rendszeres hibáját korrigálja**.

Pl.: Mikrométer kalibrálása

Kalibrálás

- **Közvetett mérés esetén:**

A kalibrálást a mérés **rendszeres hibájának csökkentése**, valamint a **mérőjel és a mérendő mennyiség közötti függvénykapcsolat meghatározása** érdekében végezzük. A **kalibrációs függvény** egyszerre végzi a **mérőjel és a mérendő mennyiség közötti átalakítást** és a mérőeszköz **rendszeres hibájának korrekcióját**.

Pl.: Hőelem kalibrálása

A kalibrálási folyamat szakaszai

1. Meg kell győződni arról, hogy a kalibrálandó mérőeszköz **kalibrálásra alkalmas állapotban** van.

*Ritkábban (1-2 évente) kalibrált berendezéseknél ez **részletes, teljes átvizsgálást, gyakran (pl. naponta) kalibrált berendezéseknél egy egyszerű rutinellenőrzést** jelent.*

A kalibrálási folyamat szakaszai

2. Ki kell választani és **elő kell készíteni** a kalibráció során használt **etalonokat**.

*Az etalonokat az alkalmazott **módszernek megfelelően**, a normál mintákkal megegyező módon kell előkészíteni.*

A kalibrálási folyamat szakaszai

3. Az előkészített etalonokat a mérőeszközzel le kell **mérni**.

*Lehetőleg minden egyes etalonon **azonos számú mérést** kell végezni.*

*Ekkor kell lemérni azokat az etalonokat is, amelyeket később a **kalibráció érvényességének ellenőrzéséhez** használunk.*

A kalibrálási folyamat szakaszai

4. A mérések végrehajtása után meg kell határozni az etalonok **mért értékei**, és **konvencionális valódi értékei** közötti **függvénykapcsolatot**, azaz a **kalibrációs függvényt**.

A kalibrálási folyamat szakaszai

5. A **becsült kalibrációs függvény**, valamint az erre a célra kiválasztott **etalonok visszamérésével** meg kell becsülni a **kalibráció bizonytalanságát**.

A kalibrálási folyamat szakaszai

6. Az **ellenőrzésre kiválasztott etalonok mért értékei**, valamint a **kalibráció becsült mérési bizonytalansága** segítségével meg kell határozni az ellenőrző etalonokhoz tartozó **határértékeket**.

Első határértékig: minden rendben

*Első és második határérték között: **rekalibrálás***

*Második határérték felett: **kalibrálás***

A kalibráció végrehajtásával kapcsolatos követelmények

- A **felhasználandó etalonok** kiválasztásánál az alábbi szempontokat kell figyelembe venni:
 - **számuk** legalább **kettővel nagyobb** legyen, mint a kalibrációs függvény **szabad paramétereinek várható száma**;
 - az általuk felölelt **értéktartomány** egyezzen meg a **normális működési feltételek mellett várható értéktartománnyal**;

A kalibráció végrehajtásával kapcsolatos követelmények

- értékeik **egyenletesen fedjék le** a normál működési feltételek melletti értéktartományt;
- **előkészítésük** egyezzen meg a mérendő mintákéval.

A kalibráció végrehajtásával kapcsolatos követelmények

- A kalibrálás előkészítése és kivitelezése során a **feltételek** egyezzenek meg a **minták mérésének feltételeivel**.
- A mérés során több azonos számú (3-4) **párhuzamos mérést** kell végezni.

A kalibrációs függvény meghatározása

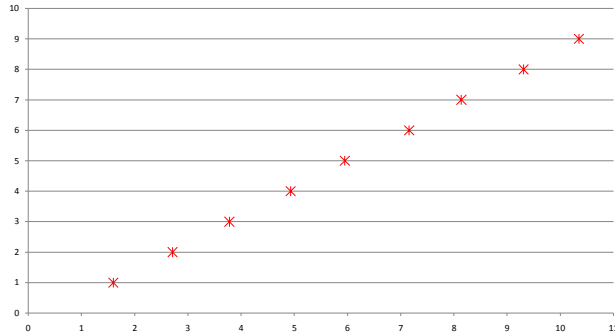
- A kalibrációs mérések végrehajtása után meg kell határozni a **felhasznált etalonok értékei** és a **mérőberendezés értékmutatása** közötti **függvénykapcsolatot**.

*Ez a kapcsolat nagyon bonyolult is lehet, de a gyakorlatban legtöbbször **első, másod, vagy harmadfokú függvény**, és így viszonylag egyszerű **regressziós** számítással meghatározható.*

Lineáris kalibrációs függvény meghatározása

- Lineáris függvénykapcsolat leírása:
 - **y: függő változó** (a felhasznált etalon értéke)
 - **x: független változó** (a műszer értékmutatása)
 - **m, a:** a függvény keresett **konstansai**

Lineáris kalibrációs függvény meghatározása



Lineáris kalibrációs függvény meghatározása

Első fokú (lineáris) kalibrációs függvény – kalibrációs egyenes – meghatározása során az alábbi **feltételezésekkel** kell élni:

- A felhasznált etalonok értékeinek **bizonytalansága** elhanyagolható a **kalibráció bizonytalanságához** képest (az etalonok értékei **konvencionális valódi értéknek** tekinthetők).

Lineáris kalibrációs függvény meghatározása

- A kalibrációs függvény tényleg **elsőfokú**.
- Az etalonon végzett ismételt mérések **függetlenek** és **normális eloszlásúak**, amely eloszlás paramétere a **korrigált tapasztalati szórás**.
- Az egyes etalonokon végzett ismételt mérések korrigált tapasztalati szórása **állandó**, vagy **arányos az etalon értékével**.

A lineáris kalibrációs függvény meghatározásának lépései

1. Az etalonok értékének és a mérőműszer értékmutatásának **grafikus ábrázolásával** vizuálisan **ellenőrizzük** a **linearitást**, illetve, hogy az **eredmények szóródása állandó ill. arányos-e**.
2. Ha a vizuális ellenőrzés megfelelő eredményt adott, akkor elvégezzük **lineáris regressziót** a legkisebb négyzetek módszerét alkalmazva. *(meghatározzuk **m** és **a** becsült értékét)*

A lineáris kalibrációs függvény meghatározásának lépései

3. Meg kell határozni az elvégzett kalibráció mérési bizonytalanságát.

4. A mérési eredmények folyamatos kiszámítása a kalibrációs függvény segítségével.

Az ismeretlen minták mérése során kapott eredményt behelyettesítjük a kalibrációs függvénybe. Ez történhet kézzel, vagy be lehet építve az alkalmazott mérőeszközbe.

Nemlineáris kalibrációs függvények meghatározása

1. Meghatározás lineáris függvénnyé való transzformációval:

Ha a feltételezett kalibrációs függvény alkalmas transzformációval **paramétereiben lineárisá tehető**, akkor ezekre a paraméterekre nézve továbbra is használhatjuk a **lineáris regresszió** módszerét.

Nemlineáris függvények lineárisá transzformálása

A transzformálandó összefüggés	A transzformált függvény	Az etalon értékének transzformáltja	A mért érték transzformáltja	A konstansok transzformáltja
$y=A \exp(Bx)$	$\ln y=\ln A + Bx$	$y'=\ln y$	$x'=x$	$A'=\ln A ; B'=B$
$y=A + B \ln x$	$y=A + B \ln x$	$y'=y$	$x'=\ln x$	$A'=A ; B'=B$
$y=A x^B$	$\ln y=\ln A + B \ln x$	$y'=\ln y$	$x'=\ln x$	$A'=\ln A ; B'=B$
$\ln y=A + B/x$	$\ln y=A + B/x$	$y'=\ln y$	$x'=1/x$	$A'=A ; B'=B$

$$y' = A' + B' \cdot x'$$

A' és B' paraméterek lineáris regresszióval történő meghatározása után az eredeti függvényt vissza kell transzformálni!

Nemlineáris kalibrációs függvények meghatározása

2. Meghatározás **polinomillesztés** segítségével:

Ha a transzformációs módszer nem vezet sikerre, a kalibrációs függvény meghatározható az etalon értékeire és a műszer értékmutatására illeszkedő **n-ed fokú polinom** alakjában, pl. Gauss elimináció segítségével:

$$y = P \cdot \sum_{i=0}^n a_i \cdot x^i$$

A kalibrációs függvény érvényességi tartománya

Az eredményül kapott függvény szigorúan véve csak a meghatározása során **felhasznált etalonok által átfogott értéktartományban** alkalmazható.

*A függvény esetleges extrapolációjával rendkívül óvatosan kell eljárni, mert a becsléssel meghatározott polinom menete a tartományon kívül **teljesen eltérő lehet a valóságtól.***

A kalibráció mérési bizonytalanságának becslése

A **kalibráció mérési bizonytalanságát** két (az értéktartomány két szélén elhelyezkedő) etalon **megismételhetőségi feltételek** között végrehajtott **mérési sorozatából** számolt **mérési bizonytalanságok összegzésével** kapjuk.

Ennek az a magyarázata, hogy a mérési tartomány szélein nagyobb variancia várható mint a tartomány közepén, így a meghatározott bizonytalanság a teljes tartományban korrekt lesz.

A kalibráció dokumentálása

A kalibráció dokumentálása a **kalibrációs jegyzőkönyvben** (bizonyítványban) történik, melynek tartalmaznia kell:

- a kalibrált eszköz, berendezés egyértelmű azonosítását,
- az alkalmazott mérési eljárásokat,
- a kalibrációnál használt etalonok egyértelmű azonosítását,

A kalibráció dokumentálása

- a használt etalonok magasabb szintű etalonra történő visszavezetés módját, az ezt igazoló jegyzőkönyv egyértelmű azonosítását,
- a kalibráció során kapott mérési eredményeket,
- a környezeti feltételeket, ha azok a mérést befolyásoló tényezőnek számítanak,
- a meghatározott kalibrációs függvényt és paramétereit,

A kalibráció dokumentálása

- a kalibráció bizonytalanságának becsült értékét,
- a kalibráció javasolt érvényességi idejét,
- a kalibráció helyét és időpontját,
- a jegyzőkönyvet kiadó szervezet nevét és címét,
- a kalibrációt végrehajtó személy nevét és aláírását,
- a jegyzőkönyv jóváhagyására jogosult személy nevét és aláírását.

A kalibráció érvényessége

Szigorúan véve a kalibrációs függvény csak a mérést befolyásoló **összes tényező változatlansága** esetén tekinthető érvényesnek.

*Mivel a befolyásoló tényezők ill. a műszer állapota folyamatosan változik, ezért – a berendezéstől függően – rövidebb-hosszabb időközönként a **kalibrálást meg kell ismételni.***

A kalibráció érvényessége

A kalibráció érvényességének időtartamát 3 paraméterrel adjuk meg:

- A kalibráció maximális érvényességének **időtartamával.**
- Az ellenőrző méréseknél tapasztalt eltérés **határértékének** megadásával.
- A kalibrálást szükségessé tevő **rendkívüli események** (meghibásodás, stb.) felsorolásával.

Rekalibráció

A befolyásoló tényezők kismértékű változása esetén **nem szükséges újból végrehajtani a teljes kalibrációt** – ami általában időigényes és bonyolult feladat -, hanem elegendő jóval **kevesebb etalon** felhasználásával **rekalibrációt** végrehajtani.

Rekalibráció

A rekalibráció során **nem határozunk meg új kalibrációs függvényt** a régi helyett, hanem egy – a jelenlegi kalibrációs függvénnyel meghatározott – állapotot **korrigálunk** egy **egyszerű** (általában lineáris) **rekalibrációs függvénnyel**.

A rekalibráció végrehajtása

Mivel **rekalibrációs függvényként** – a kalibrációs függvény típusától függetlenül - **lineáris függvényt** tételezünk fel, a függvényparaméterek kiszámításához elegendő **két etalont megmérni**, és a **két pont által meghatározott egyenest használni** rekalibrációs függvényként.

*Lineáris kalibrációs függvény esetén elegendő lehet **egyetlen etalon** használata, ilyenkor második pontnak a 0,0 pontot használjuk fel.*

A rekalibráció dokumentálása

Mivel a rekalibráció jóval gyakoribb a kalibrációnál, és ezt mindig a berendezés üzemeltetője végzi, így a dokumentálás általában nem jegyzőkönyv formájában, hanem **üzemeltetési naplóban** történik, az alábbi adatok feltüntetésével:

- A rekalibráció időpontja.
- A rekalibrációt végrehajtó személy neve és aláírása.

A rekalibráció dokumentálása

- A rekalibráció során kapott mérési eredmények.
- A rekalibrációs függvény paraméterei.
- Az esetlegesen észlelt rendellenességek.

A recalibráció gyakorisága

- A recalibrációt a kalibrációnál **sokkal gyakrabban** ajánlatos elvégezni.
- **Megadása** a kalibráció érvényességénél megadott paraméterekkel (**időtartam, határérték, rendkívüli esemény**) történik, csak a megadott értékek **kisebbségben a kalibrációnál alkalmazottaknál**.

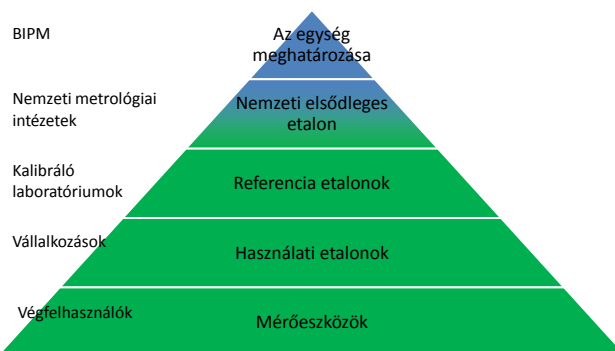
Pl.: Egy keménységmérő gép kalibrálására évente egyszer, míg recalibrálására naponta naponta kerül sor.

Visszavezethetőség

Egy mérési eredménynek, vagy egy etalon értékének az a tulajdonsága, hogy ismert bizonytalanságú összehasonlítások megszakítatlan láncolatán keresztül kapcsolódik megadott referenciákhoz, általában országos vagy nemzetközi etalonhoz.

Az összehasonlítások megszakítatlan láncolatát visszavezethetőségi láncnak nevezik.

Visszavezethetőségi lánc



Kalibrálás és visszavezethetőség

A visszavezethetőségi lánc **felépítésének alapvető eszköze** az alkalmazott mérőeszköz vagy anyagminta **kalibrálása**.

A kalibrálás **módja** mindig az **etalonnal** való **közvetlen** összehasonlítás.

A kalibrálás során végrehajtott **mérés** csak abban különbözik egy átlagos méréstől, hogy nem egy ismeretlen minta hanem egy **etalon mennyiségét** mérjük meg.

Miért szükséges a kalibrálás

- Biztosítani kell, hogy a mutatott érték **összhangban** legyen más mérésekkel.
- Meghatározható legyen a mutatott érték **pontossága**.
- Meg kell teremteni az eszköz **megbízhatóságát**, vagyis el kell érni, hogy a használója bízni tudjon benne.

Referencia eljárások

A referencia eljárások olyan vizsgálati, mérési vagy analitikai eljárások, amelyek pontosan ismertek és bizonyítottan kézben tarthatók.

*Ezek az eljárások más hasonló célú **eljárások minőségének vizsgálatára, vagy referencia anyagok és értékek meghatározására** szolgálnak.*

A referencia eljárások bizonytalanságát meg kell becsülni, és annak összhangban kell lennie a tervezett felhasználással.