

Miten tulkita oikein mittalaitteiden suorituskykyä ja teknisiä tietoja

Mittalaitteen laatua arvioidaan usein yksinkertaisella kysymyksellä: *Kuinka tarkka mittaustulos on?* Vaikka tämä kysymys vaikuttaa yksinkertaiselta, ei vastaus aina ole sitä. Jotta sopivin mittalaite voidaan valita, on ymmärrettävä mittaustuloksen epävarmuuteen vaikuttavat osatekijät. Niiden ymmärtäminen puolestaan auttaa ymmärtämään, mitä teknisissä tiedoissa kerrotaan – ja mitä niissä ei kerrota.

Mittalaitteen suorituskykyyn vaikuttaa sen dynamiikka (mittausalue, vasteaika), tarkkuus (toistettavuus, herkkyys ja kalibrointiepävarmuus) sekä stabiilisuus (ikäntymisen ja olosuhteiden kestävyys). Näistä tarkkuutta pidetään usein kaikista tärkeimpänä ominaisuutena, ja se on myös kaikkein vaikein määritellä.

Herkkyys ja tarkkuus

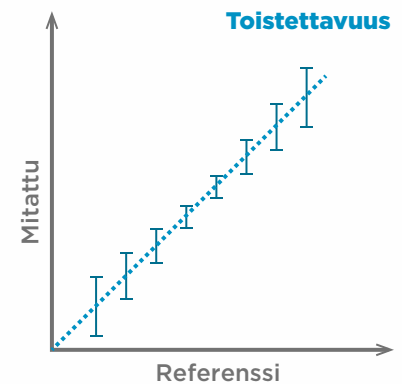
Herkkyudeksi kutsutaan mittaustuloksen muutoksen ja referenssiarvon muutoksen välistä suhdetta. Ihannetapauksessa tämä suhde on täysin lineaarinen, mutta kaikissa mittauksissa esiintyy jonkin verran epäideaalisuutta ja epävarmuutta.

Mittausarvon yhtäpitävyyttä referenssiarvon kanssa kutsutaan usein yksinkertaisesti tarkkuudeksi,

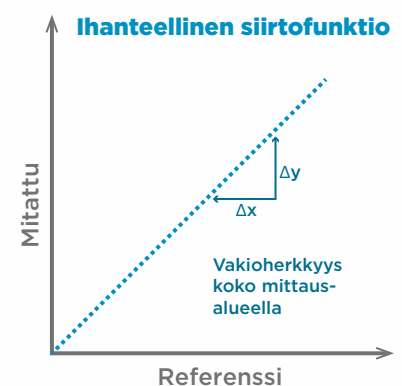


mutta tämä on terminä jossain määrin epämääräinen. Määritetty tarkkuus sisältää yleensä toistettavuuden, millä tarkoitetaan mittalaitteen kykyä antaa samanlainen tulos, kun mittaus toistetaan muuttumattomissa olosuhteissa. (Kuva 1) Se saattaa kuitenkin sisältää tai olla sisältämättä hystereesin, lämpötilariippuvuuden, epälinearisuuden ja pitkän aikavälin stabiilisuuden. Toistettavuus yksinään ei usein ole merkittävän mittausepävarmuuden lähde, ja jos tarkkuuden määritelmä ei sisällä muita epävarmuustekijöitä, se voi antaa harhaanjohtavan kuvan mittauksen todellisesta suorituskyvystä.

Mittausarvojen ja tunnetun referenssin välistä suhdetta nimitetään usein siirtofunktioksi (Kuva 2). Ihannetapauksessa siirtofunktio on täysin lineaarinen koko mittausalueella, mutta käytännössä useimmissa mittauksissa tapahtuu joitakin mittaussuureen tasosta riippuvaisia muutoksia herkkyudessa.



Kuva 1: Toistettavuus



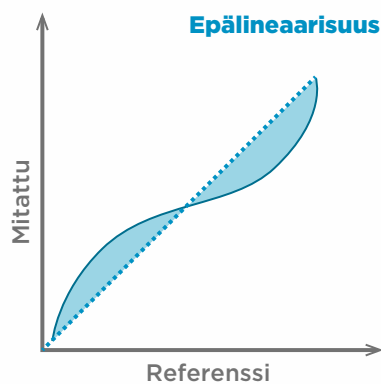
Kuva 2: Siirtofunktio

Tämän tyyppistä puutteellisuutta nimitetään epälineaarisuudeksi. (Kuva 3) Tämä vaikutus korostuu usein mittausalueen ääripäissä. Siksi on hyödyllistä tarkistaa, sisältääkö tarkkuusspesifikaatio epälineaarisuuden ja onko tarkkuus määritetty koko mittausalueelle. Mikäli näin ei ole, on syytä epäillä mittauksen lineaarisuutta eli tarkkuutta mittausalueen ääripäiden läheisyydessä.

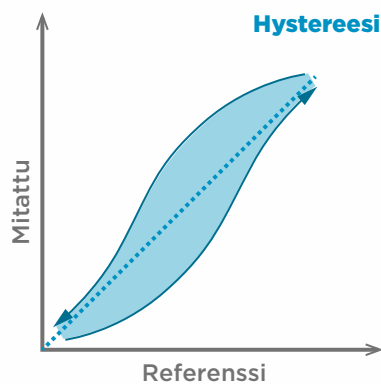
Hystereesi tarkoittaa mittauksen herkkyyden muutosta, joka vaihtelee mitattavan muuttujan muutoksen suunnan mukaan.

(Kuva 4) Tämä saattaa aiheuttaa merkittävää mittausepävarmuutta joissakin kosteusantureissa, jotka on valmistettu materiaaleista, jotka muodostavat voimakkaan sidoksen vesimolekyylien kanssa. Jos määritetty tarkkuus ei kerro, onko siihen sisällytetty hystereesi, tämä mittausepävarmuuden lähde jää määrittelemättömäksi. Lisäksi, mikäli kalibrointisekvenssi tehdään vain yhteen suuntaan, hystereesin vaikutus ei ole havaittavissa kalibroinnin aikana. Mikäli hystereesiä ei ole sisällytetty tarkkuusspesifikaatioon, on mahdotonta tietää hystereesin suuruus. Vaisalan ohutkalvopolymeeriantureiden hystereesi on pieni, ja se on aina sisällytetty määritettyyn tarkkuuteen.

Mittauksen tarkkuuteen vaikuttavat myös ympäristöolosuhteet, kuten lämpötila ja ilmanpaine. Jos lämpötilariippuvuutta ei ole määritetty ja käyttölämpötila muuttuu merkittävästi, toistettavuus voi kärsiä lämpötilan muuttuessa. Tarkkuusspesifikaatio saattaa olla annettu koko käyttölämpötila-alueelle tai tietyille rajoitetulle tai ”tyypilliselle” käyttölämpötila-alueelle. Näin ilmaistut spesifikaatiot jättävät muut lämpötila-alueet määrittelemättä.



Kuva 3: Epälineaarisuus



Kuva 4: Hystereesi

Stabiilisuus ja selektiivisyys

Mittalaitteen herkkyys voi muuttua ajan myötä ikääntymisen seurauksena. Joissakin tapauksissa tämä vaikutus voi kiihtyä kemikaalien tai muiden ympäristötekijöiden vaikutuksesta. Mikäli pitkän aikavälin stabiilisuutta ei ole määritetty, tai jos valmistaja ei pysty antamaan suositusta siitä, kuinka usein kalibrointi on suoritettava, tarkkuusspesifikaatio osoittaa itse asiassa vain tarkkuuden kalibroinnin hetkellä. Hidas muutos herkkyydessä (ns. ryömintä) on haitallista, koska sen havaitseminen voi olla vaikeaa ja se saattaa aiheuttaa piileviä ongelmia säätöjärjestelmissä.

Selektiivisyys määritellään mittalaitteen epäherkkyydeksi muiden tekijöiden kuin varsinaisen mittaussuureen muutoksille. Esimerkiksi kosteusmittauksissa, jotka suoritetaan tiettyjä kemikaaleja sisältävässä ilmakehässä, on mahdollista, että kemikaalit vaikuttavat mittaustulokseen. Tämä vaikutus voi olla palautuva tai lopullinen. Vaste joihinkin kemikaaleihin voi olla äärimmäisen hidas, ja tämä ristikkäisherkkyyttä kemikaalille on helposti väärin tulkittavissa mittauksen ryömimiseksi. Mittalaitteeseen, jonka selektiivisyys on hyvä, eivät muutokset vaikuta muissa tekijöissä kuin varsinaisessa mittaussuureessa.

Kalibrointi ja ulkoinen tarkkuus

Jos mittaustulokset poikkeavat referenssistä, mittalaitteen herkkyyttä eli siirtofunktiota voidaan säätää oikeaksi. Tätä kutsutaan mittauksen virittämiseksi. Korjausta, joka suoritetaan yhdessä pisteessä, kutsutaan offset-viritykseksi. Kahden pisteen viritys on lineaarinen korjaus, jossa yhdistyvät sekä offset- että gain-tyyppinen korjaus (herkkyyskorjaus). Jos mittaustulosta täytyy korjata useassa eri pisteessä, tämä saattaa merkitä mittaustuloksen huonoa lineaarisuutta, joka on kompensoitava epälineaarisilla monipistekorjauksilla. Lisäksi, mikäli virityspisteet ovat samat kuin kalibrointipisteet, mittaustulosten epävarmuus kalibrointipisteiden välillä jää todentamatta, koska mittavirhe virityspisteissä on korjattu nollaan.

Kun mittalaite on viritetty, sen tarkkuus varmennetaan kalibroimalla. Kalibrointi, joka usein sekoitetaan puhekielessä viritykseen, tarkoittaa mittaustuloksen vertaamista tunnettuun referenssiin, jota kutsutaan mittanormaaliksi.

Tämä referenssi on seurattavuusketjun ensimmäinen elementti. Seurattavuus tarkoittaa kalibrointien ja referenssien sarjaa aina ylimmän tason mittanormaaliin saakka. Vaikka eri mittalaitteet, jotka on kalibroitu käyttäen tiettyä referenssiä, voivat olla tarkkoja suhteessa toisiinsa (hyvä sisäinen tarkkuus), absoluuttista tarkkuutta ylimmän tason mittanormaaliin nähden ei voida varmentaa, ellei kalibroinnin epävarmuutta ole määritetty.

Kalibroinnin jäljitettävyyden tarkoittaa sitä, että kalibrointien, referenssien ja muiden epävarmuustekijöiden ketju on tiedossa ja ammattimaisesti dokumentoitu aina ylimmän tason mittanormaaliin saakka. Tämä mahdollistaa kalibrointireferenssin epävarmuuden laskemisen ja mittalaitteen ulkoisen tarkkuuden määrittämisen.

Kuinka tarkka on ”tarpeeksi tarkka”?

Mittalaitetta valittaessa on tarpeen miettiä, minkälaista tarkkuutta siltä edellytetään. Esimerkiksi tavanomaisissa rakennusautomaatiosovelluksissa, joissa suhteellinen kosteus säädetään

ihmisille mukavaksi, ± 5 %RH saattaa olla hyväksyttävä taso. Vaativissa sovelluksissa, kuten esimerkiksi jäähdytystornien ohjauksessa, tarvitaan kuitenkin tarkempaa ohjausta ja pienempiä marginaaleja, jotta säätöjärjestelmien optimointi on tehokasta.

Kun mittaustulosta käytetään ohjaussignaalina, toistettavuus ja pitkän aikavälin stabiilisuus ovat tärkeitä, mutta absoluuttinen tarkkuus suhteessa jäljitettävään referenssiin voi olla vähemmän merkittävä. Tämä pätee erityisesti dynaamisiin prosesseihin, joissa lämpötilan ja kosteuden vaihtelut ovat suuria ja mittaustuloksen stabiilisuus, pikemminkin kuin sen absoluuttinen eli ulkoinen tarkkuus, on ratkaisevassa asemassa.

Toisaalta, jos mittaustulosta käytetään esimerkiksi varmistamaan, että testausolosuhteet laboratorion sisällä ovat vertailukelpoiset muiden laboratorioden kanssa, ulkoinen tarkkuus ja kalibroinnin jäljitettävyyden ovat äärimmäisen tärkeitä. Esimerkki tällaisesta tarkkuusvaatimuksesta on standardissa TAPPI/ANSI T402 – *Standard conditioning and testing atmospheres for paper, board, pulp*

handsheets, and related products, joka määrittää testausolosuhteet paperintestauslaboratoriossa välille $23 \pm 1,0$ °C ja 50 ± 2 %RH. Jos mittaustuloksen määritetty tarkkuus on esim. $\pm 1,5$ %RH, mutta kalibroinnin epävarmuus on $\pm 1,6$ %RH, yhteenlaskettu epävarmuus verrattuna kalibroinnin ylimmän tason mittanormaaliin ylittää spesifikaation. Tällöin suoritettavat analyysit, jotka vaihtelevat voimakkaasti laboratorion ilmankosteuden mukaan, eivät ole keskenään vertailukelpoisia. Näin ollen ei ole mahdollista varmistaa, että analyysit on suoritettu standardiolosuhteissa.

Pelkkä tarkkuusmäärittäminen ilman tietoa kalibrointireferenssin epävarmuudesta jättää mittalaitteen ulkoisen tarkkuuden määrittämättömäksi.

Vaisala tarjoaa kattavat ja ammattimaiset tekniset spesifikaatiot, jotka perustuvat kansainvälisiin standardeihin, tieteellisiin testausmenetelmiin ja empiiriseen tutkimustietoon. Asiakkaille tämä tarkoittaa kattavaa ja luotettavaa tietoa oikeiden mittalaitteiden tuoksi.

Tuote	Vaisala HMT330	Merkki A	Merkki B
Tarkkuus huoneenlämmössä	$\pm 1,0$ %RH (0 ... 90 %RH) $\pm 1,7$ %RH (90 ... 100 %RH) +15 ... +25 °C:n lämpötilassa	$\pm 0,8$ %RH, 23 °C:n lämpötilassa	$\pm 1,3$ %RH, 23 °C:n lämpötilassa
Koko lämpötila-alueen tarkkuus	$\pm (1,5 + 0,015 \times \text{lukema})$ %RH	Tuntematon	Tuntematon
Toistettavuus	Sisältyy yllä olevaan lukuun	Tuntematon	Tuntematon
Hystereesi	Sisältyy yllä olevaan lukuun	Tuntematon	Tuntematon
Epälineaarisuus	Sisältyy yllä olevaan lukuun	Tuntematon	Tuntematon
Tehdaskalibroinnin epävarmuus	$\pm 0,6$ %RH @ 0 ... 40 %RH $\pm 1,0$ %RH @ 40 ... 97 %RH lämpötila $\pm 0,10$ °C	Tuntematon	Tuntematon

Kuva 5: Kolmen eri valmistajan korkeatarkkuuksisten kosteusantureiden tarkkuuden vertailu ilmoitettujen teknisten tietojen perusteella.

Kysymyksiä mittalaitetta valittaessa

- Sisältääkö tarkkuusspesifikaatio kaikki mahdolliset epävarmuustekijät: toistettavuuden, epälineaarisuuden, hystereesin ja pitkän aikavälin stabiilisuuden?
- Kattaako tarkkuusspesifikaatio koko mittausalueen, vai onko alue rajoitettu? Onko lämpötilariippuvuus annettu erikseen, vai sisältykö lämpötila-riippuvuus tarkkuusspesifikaatioon?
- Toimittaako valmistaja asianmukaisen kalibrointitodistuksen? Sisältääkö todistus tiedot kalibroitajakohdasta, kalibroitimenetelmästä, käytetyistä referensseistä ja ammattimaisesti lasketun kalibrintireferenssin epävarmuuden? Sisältääkö todistus useampia kuin yhden tai kaksi kalibrintipistettä, ja kattaako se koko mittausalueen? Onko mittalaitteen viritys tehty lineaarisesti vai useissa kalibrintipisteissä?
- Onko kalibroiointiaikavälille annettu suositus, vai onko pitkän aikavälin stabiilisuus sisällytetty tarkkuusspesifikaatioon? Mikä on suunnitellun käyttöympäristön vaatima selektiivisyystaso? Voiko valmistaja toimittaa tietoja tai referenssejä mittalaitteen soveltuvuudesta suunniteltuun käyttöympäristöön ja sovellukseen?

Sanasto	
Ulkoisen tarkkuus:	Yhtäpitävyys mittaussuureen mitatun suuruusarvon ja todellisen suuruusarvon välillä.
Sisäinen tarkkuus:	Toistettujen mittausten osoittamien tai mitaamien suuruusarvojen yhtäpitävyys. Käytetään joskus virheellisesti tarkoittaessa mittaustarkkuutta .
Hystereesi:	Mittauspoikkeama, joka riippuu mitattavan suureen muutoksen suunnasta.
Epälineaarisuus:	Mittauksen herkkyyden vaihtelu mittaussuureen tason mukaan.
Kalibrointi:	Mittausarvon vertaaminen referenssiin tai kalibrintinormaaliin.
Kalibroinnin epävarmuus:	Kalibrintireferenssin mittausepävarmuuden kumulatiivinen summa jäljitettävyyshetimituksessa, lähtien käytetystä kalibrintireferenssistä aina ylimmän tason referenssiin.
Viritys:	Mittauksen siirtofunktion korjaus kalibrintinormaalien suhteen. Korjaus useammassa kuin kahdessa dynaamisen alueen pisteessä voi viitata huonoon lineaarisuuteen.
Metrologinen jäljitettävyys:	Mittauks tuloksen ominaisuus, jonka avulla tulos voidaan suhteuttaa ylimmän tason mittanormaaleihin dokumentoidun, katkeamattoman kalibrointiketjun kautta, jonka kaikki kalibroinnit vaikuttavat mittauksen epävarmuuteen.
Herkkyy:	Mittalaitteen näyttämän ja sitä vastaavan mittaussuureen muutoksen välinen suhde.
Selektiivisyys:	Mittausjärjestelmän riippumattomuus muutoksista muiden kuin varsinaisen mitattavan suureen suhteen (ympäristömuuttujat, kemikaalit jne.).
Resoluutio:	Mitatun suureen pienin muutos, joka aiheuttaa havaittavan muutoksen näyttämässä. Elektronisissa mittalaitteissa resoluutioon voivat vaikuttaa analogisen lähtösignaalien resoluutio ja skaalaus.
Stabiilisuus:	Mittalaitteen ominaisuus, joka kertoo sen, kuinka hyvin sen mittaustekniset ominaisuudet säilyvät ajan kuluessa.

VAISALA

www.vaisala.com

Ota yhteyttä tästä
www.vaisala.com/requestinfo



Saat lisätietoja skannaamalla QR-koodin

Ref. B211482FI-A ©Vaisala 2016

Tämä materiaali on tekijänoikeussuojan alainen ja Vaisala sekä sen yksittäiset yhteistyökumppanit pidättävät kaikki tekijänoikeudet siihen. Kaikki oikeudet pidätetään. Kaikki liikemerkit ja/tai tuotenimet ovat Vaisalan tai sen yksittäisten yhteistyökumppaneiden tavaramerkkejä. Tässä esitteessä olevien tietojen kaiken muutoinen kopiointi, siirto, jakelu tai tallentaminen ilman Vaisalalta aiemmin saatua lupaa on ehdottomasti kielletty. Kaikkia tietoja - myös teknisiä - voidaan muuttaa ilman erillistä ilmoitusta.