

Ilkka-Ville Inkinen

KALIBROINNIN MÄÄRITTELY LAITOSAUTOMAATIOSSA

Automaatiotekniikan koulutusohjelma

2013

KALIBROINNIN MÄÄRITTELY LAITOSAUTOMAATIOSSA

Inkinen, Ilkka-Ville
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Automaatiotekniikan koulutusohjelma
Helmikuu 2013
Ohjaaja: Peltonen, Kauko
Sivumäärä: 37
Liitteitä: 4

Asiasanat: kalibrointi, mittausepävarmuus, mittanormaali, mittaustarkkuus

Opinnäytetyön tarkoitus oli kartoittaa Teollisuuden Voimalle eri mittanormaalien kalibrointiohjeet eri suureilla. Lisäksi työhön liitettiin suurekohtaiset esimerkit mittaustarkkuuden toteutumisesta laitosmittauksissa. Opinnäytetyössäni käsitellään myös suureiden epävarmuuksia. Olen esitellyt myös Teollisuuden Voimalla käytettävät mittanormaaleina toimivat laitteet, sekä maininnut niiden spesifikaatioita.

Teollisuuden Voiman mittanormaalit kalibroidaan kerran vuodessa riippumattomalla mittaajalla, STUK:n (säteilyturvakeskuksen) vaatimuksesta. Kalibrointilaitteilla on erilaisia kalibrointirajoja. Tässä työssä käsiteltiin eri suureilta vaadittavia mittaustarkkuuksia. Tärkeimpiä kalibrointisuureita opinnäytetyössäni ovat paine, lämpötila sekä sähköiset suuret. Kalibroinnissa TVO:lla tulee noudattaa kansallisten standardien lisäksi kiinnittää erityistä huomiota säteilyturvakeskuksen määrittämiin ohjeisiin.

Olen esimerkkilaskujen avulla havainnollistanut epävarmuuden muodostumista mittanormaaleille. Esimerkkilaskuissa lasketaan epävarmuus resistanssille sekä paineelle. Liitteeksi olen lisännyt ohjeistuksen koskien kalibrointia. Liitteistä selviää millaisia mittareita voidaan kalibroida milläkin mittanormaalityyppillä.

CALIBRATION SPECIFICATIONS IN FACILITY MEASUREMENT

Inkinen, Ilkka-Ville

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences
Degree Programme in automation engineering

February 2013

Supervisor: Peltonen, Kauko

Number of pages: 37

Appendices: 4

Keywords: calibration, measurement uncertainty, measurement standard

The purpose of this thesis was to sort out and brief calibration standard in Teollisuuden Voima Oyj. I also added magnitude and some uncertainty calculation for all the different magnitudes in facility measurements. I have also demonstrated all the equipments that have been used in Teollisuuden Voima as a measurement standard. My thesis demonstrates some of those equipments and also sort out the special specifications and uncertainty for them.

Measurement standards are calibrated once a year by an independent measurement company. This is required by STUK - Radiation and Nuclear Safety Authority. There are different measurement limits with different magnitude. This thesis takes stand for different magnitudes and their measurement accuracy. The most important measurement magnitudes are pressure, electrical magnitudes and temperature. Conduct calibration in TVO should always abide by instructions made by STUK and national calibration guidelines.

I have presented uncertainty calculations which shows how uncertainty forms for measurement standards. I calculated uncertainty for resistance and pressure. There are instructions illustrated for calibration in the appendix. It is also possible to find out what kind of instruments is possible to calibrate certain calibration standard.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

TERMIT JA LYHENTEET

1	JOHDANTO.....	7
2	YHTIÖN ESITTELY	8
2.1	Teollisuuden Voima Oyj.....	8
3	KALIBROINTI	9
3.1	Kalibroinnin teoriaa	9
3.2	Kalibrointilaitteiden ominaisuudet.....	10
3.3	Kalibrointitilat.....	11
4	KALIBROINTILAITTEISTO TVO:LLA	12
4.1	Digitaalinen lämpöanturi Pt100 vastusanturi Testo GmbH & Co	12
4.2	Fluke 5500A kalibraattori	12
4.3	Fluke 8508A Reference Multimeter	13
4.4	Painevaaka Desgranges & Huot 5202S	14
4.5	Painevaaka Mansfield & Green Ametek 200bar	15
4.6	Beamex MC5	15
4.7	Beamex EXT1000.....	16
4.8	Kosteusmittari Testo 625	17
5	MITTAUSEPÄVARMUUS.....	18
5.1	Epävarmuustyypit	19
5.1.1	Normaalijaukauma	19
5.1.2	Tasajaukauma	20
5.2	Mittausepävarmuuden arviointi	21
6	EPÄVARMUUDET MITTANORMAALEILLE	22
6.1	Epävarmuuden määrittely sähköisille suureille	22
6.2	Epävarmuuden määrittely paineelle.....	24
7	KALIBROINTIOHJEET.....	28
7.1	Vastuu	28
7.2	Mittalaitteiden kalibrointi	29
7.3	Sähköisten suureiden kalibrointi.....	29
7.4	Jännite, Virta, Resistanssikalibrointi.....	30
7.5	Painevaaka	31
7.5.1	Painevaa’an laskentakaava	33
7.6	Lämpötila	35
7.6.1	Mittausmenettely	35

7.6.2 Epävarmuuden arviointi laitosmittauksessa	35
7.6.3 Toimintaohje vastuslämpömittareiden kalibrointiin.....	37
LÄHTEET	38
LIITTEET	

TERMIT JA LYHENTEET

STUK	Säteilyturva keskus
TVO	Teollisuuden Voima
ISO	International Organization for Standardization
GUM	Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement
MW	Megawatti, tehon yksikkö
OL1	Kiehutusvesiperiaatteella toimiva ydinvoimalaitos
OL2	Kiehutusvesiperiaatteella toimiva ydinvoimalaitos
OL3	Painevesiperiaatteella toimiva ydinvoimalaitos
OL4	Hallituksen periaatepäätöksellä hyväksytty neljäs ydinvoimala

1 JOHDANTO

Opinnäytetyöni tarkoituksena oli laatia Teollisuuden Voimalle suurekohtaisten kalibrointiohjeiden laatiminen, kalibrointilaitteiden epävarmuuden määrittely sekä esimerkit tarkkuuden toteutumisesta laitosmittauksissa.

Työni käsittelee teoriaa kalibroinnin taustalla. Esittelen työssäni mittanormaaleina toimivat laitteet. Tärkeimpien suureiden eli paineen ja sähköisten suureiden epävarmuudet on määritelty esimerkkilaskujen avulla. Epävarmuudet on laskettu painevaa'alle sekä resistanssille.

Ohjeistuksen osalta esittelen tarvittavat standardit ja vaatimukset koskien kalibrointitiloja, kalibroijaa sekä yritystä joka vastaa laitteista. Teollisuuden Voimalla on STUK:n määrittämiä vaatimuksia jotka hieman poikkeavat tavallisesta laitoskalibroinnista. Otan työssäni kantaa näihin standardeihin ja esittää miten Teollisuuden Voimalla huolehditaan standardien täyttymisestä.

2 YHTIÖN ESITTELY

2.1 Teollisuuden Voima Oyj

Teollisuuden Voima on suomalainen ydinvoimaa tuottava osakeyhtiö. Yhtiö on perustettu vuonna 1969 useiden eri teollisuus ja voimayhtiöiden toimesta. Vuonna 2007 Teollisuuden Voima rekisteröitiin julkiseksi osakeyhtiöksi. Teollisuuden Voima tuottaa sähköä omistajilleen omakustanne periaatteella. TVO työllistää 847 vakituista työntekijää ja kesäisin 200 harjoittelijaa useilta eri tekniikan aloilta.

Olkiluodon kaksi käyvää laitosta (OL1 ja OL2) ovat tyypiltään samanlaisia kiehutusvesireaktoreita. Näiden kahden laitoksen nettoteho on vuosihuoltojen aikana tehtyjen modernisointien ansiosta nykyään 880MW. Olkiluoto 1 kytkettiin valtakunnalliseen verkkoon vuonna 1978 ja Olkiluoto 2 vuonna 1980. Molempia laitoksia kunnostetaan vuosittain tapahtuvien huoltojen aikana. Näillä huolloilla varmistetaan moderni tekniikka, sekä laitoksen turvallisuuden ylläpitäminen.

Olkiluotoon on rakenteilla kolmas ydinvoimala OL3. Olkiluoto 3 on tyypiltään erilainen kuin kaksi aiempaa laitosta. OL3 tulee toimimaan painevesiperiaatteella. Laitoksen nettoteho tulee olemaan 1600MW, tehden siitä yhden maailman tehokkaimmista reaktoreista. Eduskunta vahvisti vuonna 2010 valtioneuvoston positiivisen periaatepäätöksen Olkiluoto 4 (OL4) rakentamisesta.

Teollisuuden Voimalla on osuus Meri-Porin hiilivoimalaitoksesta, joka sijaitsee Tahkoluodossa. Hiilivoimalaitoksen omistaja on Fortum Power and Heat Oy, joka myös vastaa laitoksen käytöstä. Hiilivoimalaitoksen teho on 564MW (TVO 2012).

3 KALIBROINTI

3.1 Kalibroinnin teoriaa

Kalibrointijärjestelmä toimii yrityksissä laadunvalvojana. Kalibroinnilla pyritään valvomaan järjestelmien ja mittalaitteiden laatua tietyin väliajoin. Ajan kuluessa kalibrointilaitteiden epävarmuudet kasvavat. Tähän vaikuttavat kuluminen, pöly, höyryt sekä ympäristöolosuhteet. Tästä syystä kalibrointilaitteet on kalibroitava tietyin väliajoin (Vitikainen E 1993 s8).

Kalibrointijärjestelmän rakentaminen aloitetaan aina määrittelemällä tarvittavat mittaukset ja laitteet. Kalibroinnissa vertaillaan mittalaitteen antamaa arvoa mittanormaaliin. Kalibroinnin jälkeen on selvitettävä tuloksen luotettavuus. Tässä on kyse epävarmuudesta. Ilman epävarmuutta tulosta ei voida verrata edellisiin tuloksiin ja referenssiarvoihin. Kalibroinnin jälkeen mittalaitteen antaman arvon yhteys suureen todelliseen arvoon tunnetaan. Mittaustulos sisältää kuitenkin epävarmuuden joka ilmoitetaan yleensä muodossa: *tulos±epävarmuus*. Kalibroinnista saadut tulokset on kirjattava aina ylös. Yleisesti ne kirjataan joko kalibrointipöytäkirjaan tai kalibrointitodistukseksi. Kalibroinnin epävarmuustarkastelua ei vaadita kalibrointitodistukseen mutta sen on oltava mittajaan tiedossa. Huomioitavaa on kalibroitavan laitteen ja referenssinä toimivan laitteen suhde, jonka suositellaan olevan vähintään 4:1. Epävarmuuden laskemisessa on huomioitava luottamusväli, jonka saa tietoon valmistajalta. (TKK 2006).

Kalibrointiin on laadittu kansainväliset standardit. Näillä ohjeilla on tarkoitus opastaa henkilökuntaa sekä varmistaa, että kalibrointitilat ja varusteet ovat asianmukaisia. Standardit ottavat kantaa myös itse laitteisiin ja käyttötilanteisiin. Standardeja ovat mm. ISO 9000-sarja mukaan lukien ISO 10012/ 3, 5, 6, 7, 8/. Kalibroinnin tulee aina perustua teknisiin ja taloudellisiin ehtoihin ottaen huomioon myös koko mittaustapahtuma.

SFS-ISO 9000 standardeissa on asetettu kalibroinnille seuraavia ehtoja:

- Tarvittavat mittaukset ja niiltä vaaditut tarkkuudet on yksilöitävä, ja niille on valittava tarkastuksiin, mittauksiin sekä testaukseen soveltuvat välineet.
- Laatuun vaikuttavat laitteet on kalibroitava määrätyin väliajoin siten että aiemmat kalibroinnit voidaan jäljittää. Kalibroinnit on myös kyettävä jäljittämään. Tämä tarkoittaa asian kuuluvien dokumenttien kirjaamista (kalibrointipöytäkirja tai kalibrointitodistus).
- Kalibrointiolosuhteiden on oltava soveltuvat kalibrointiin (Vitikainen E 1993).

3.2 Kalibrointilaitteiden ominaisuudet

Kalibrointilaitteiden tarkkuus on aina oltava suurempi kuin kalibroitavan kohteen. Järkevin lähtökohta kalibrointiin on sallitun epävarmuuden määrittäminen. Kun tästä vähennetään muut epävarmuuskomponentit jäljelle jää ainoastaan kalibrointi laitteelle sallittu epävarmuus. Tyydyttäväksi alarajaksi voidaan katsoa, että kalibroitavanlaitteen epätarkkuus on pienempi kuin kolmasosa kalibroitavanlaitteen epätarkkuudesta. Joissain tapauksissa epätarkkuuden on oltava jopa pienempi kuin kymmenesosa. (Vitikainen E 1993 s12).

3.3 Kalibrointivälit

Kalibrointiväliin vaikuttavat useat tekijät. Jopa samanlaiset laitteet voivat vaatia eri kalibrointivälin. Kalibrointiväliä valittaessa on huomioitava seuraavat seikat:

- laitetyyppi
- laitevalmistajan suositukset
- testimenetelmä

- standardit
- stabiiliushistoria
- ympäristöolosuhteet
- mittausepävarmuusvaatimukset

Kalibrointiväli määritellään tapauskohtaisesti, ellei perusteita tai vaatimuksia löydy tapauskohtaisesta ohjeistosta, esimerkiksi valmistajan spesifikaatioista tai muista lähteistä. Kalibrointiväli voidaan myös määrittää kokemukseräisesti itse. Tällöin kalibrointiväli valitaan tietoisesti hieman lyhyemmäksi. Näistä tuloksista tehdään historiatiedosto, jonka varassa tehdään päätelmät siitä, voidaanko ensin valittua kalibrointiväliä pitää sopivana, vai onko sen muuttamiseen perusteluja. Jos kalibrointitulokset usean mittauksen johdosta ovat samankaltaisia, voidaan kalibrointiväliä varovaisesti pidentää. Vastaavanlaisesti väliä voidaan tarpeen vaatiessa myös lyhentää. (Vitikainen E 1993 s12).

3.3 Kalibrointitilat

Yrityksen kalibrointitilojen ilmanvaihdon, lämmityksen, virtalähteiden ja valaistuksen tulee olla siten järjestetty, että ne takaavat riittävät edellytykset tarkalle mittaukselle.

Testaus- ja kalibrointitilat eivät saa vääristää tuloksia eivätkä vaikuttaa haitallisesti vaadittuun mittausepävarmuuteen. Tarkkuutta edellytetään erityisesti, jos mittaus tapahtuu muualla kuin pysyvissä laboratoriotiloissa. Tärkeimmät asiat kaikissa tilanteissa ovat olosuhteiden tuntemus ja stabiilius kalibroinnin aikana (Vitikainen E 1993 s13).

4 KALIBROINTILAITTEISTO TVO:LLA

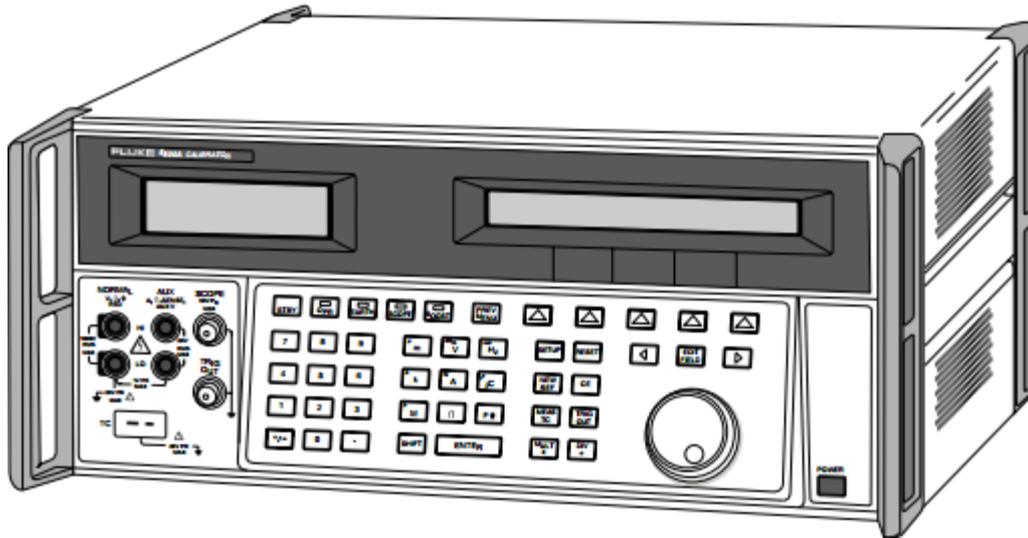
4.1 Digitaalinen lämpöanturi Pt100 vastusanturi Testo GmbH & Co

Vastuslämpöantureita käytetään TVO:lla lämpötilan mittauksiin. Vastusmateriaalina yleensä toimiva platina mahdollistaa laajan lämpötila-alueiden mittaamisen ja se on hyvin stabiili materiaali. PT-100 anturin vastus on nollassa asteessa 100 ohmia ja lämpötilan kasvaessa vastusarvo kasvaa. Termoelementti on vastusanturin ohella suosittu komponentti lämpötilan mittaamiseen. Vastusanturin edut ydinvoimalaitoksessa ovat sen stabiilisuus ja tarkkuus. Lisäämällä keraaminen suojakupu voidaan anturia käyttää suurissa lämpötiloissa.

4.2 Fluke 5500A kalibraattori

Fluke 5500A kalibraattorilla on mahdollista suorittaa useita eri simuloitteja. Laitteella voi kalibroida yleismittareita, jotka mittaavat AC/DC jännitettä, virtaa, resistanssia, lämpötilaa sekä kapasitanssia. Kalibraattorilla ei ole mahdollista suorittaa mittauksia. Tästä syystä TVO:lla on toinen laite, joka suorittaa sähköisille suureille mittaukset ja samalla lisää 5500A:n tarkkuutta, jolloin tarkemmat mittalaitemittaukset on mahdollista suorittaa hyväksyttävien rajojen sisällä. Kalibraattoria voi säätää seuraavien rajojen sisällä (Fluke 5500A manual):

- DC jännite 0V ±1020V
- AC jännite 1mV-1020V, ulostulo 10Hz-500kHz
- AC virta 0.01 µA- 11A, ulostulo 10Hz-10kHz
- DC virta 0±11A
- Resistanssiarvoja 330 MΩ asti
- Kapasitanssiarvoja 330 pF – 1100 µF
- Ohjelmoitavat raja-arvot
- Samanaikainen ulostulo kahdelle jännitteelle



Kuva 1 Fluke 5500A kalibraattori

4.3 Fluke 8508A Reference Multimeter

Fluke 8508A on suunniteltu erityisesti helpottamaan epävarmuuksien määrittämistä. Tällä kalibraattorilla on mahdollista suorittaa tarkempia mittauksia. Fluke 8508A:lla voidaan mitata virtaa, jännitettä ja resistanssia.



Kuva 2 Fluke 8508A Reference Multimer

4.4 Painevaaka Desgranges & Huot 5202S

Painevaaka Desgranges & Huot 5202S on mäntä-sylinteriyhdistelmällä toimiva painevaaka. Painevaa'alla voidaan kalibroida painetta aina 200 baariin asti. Painevaa'an kalibroinnissa määritellään laitteen tehollinen pinta-ala. Samalla punnitaan levypunnukset.



Kuva 3 Painevaaka Desgranges & Huot 5202S

4.5 Painevaaka Mansfield & Green Ametek 200bar

Painevaaka Mansfield & Green on kuula-sylinteriyhdistelmällä toimiva painevaaka, jolla on mahdollista suorittaa kalibrointi aina 20 baariin asti. Painevaa'an kalibroinnissa määritellään laitteen tehollinen pinta-ala. Samalla punnitaan levypunnukset.



Kuva 4 painevaaka M&G 200bar

4.6 Beamex MC5

Beamex MC5 kalibraattori on suunniteltu vaativiin teollisuusolosuhteisiin kuten ydinvoimalaitokset ja paperiteollisuus. Beamex MC5 on tarkoitettu lämpötila-, elektroniikka, ja paineinstrumenttien kalibrointiin. Suurin osa TVO:n kentällä tapahtuvista mittauksista suoritetaan tällä kalibraattorilla. Laitteessa on kolme sisäistä painemoduulia. Lisäksi laitteeseen on mahdollista kytkeä ulkoisia

painemoduuleita. Sähkömoduuli mahdollistaa monia mittauksia joista keskeisimpinä mainittakoon jännitteen ja virran mittaus sekä pulssien laskenta.



Kuva 5 Beamex MC5

4.7 Beamex EXT1000

Beamex EXT1000 on ulkoinen painemoduuli, joka lisää joustavuutta ja laajentaa konfigurointialuetta. Laite siis lisää useampia painealueita -kalibraattoriin. Beamex EXT1000 on yhteensopiva TVO:lla käytössä olevan Beamex MC5-IS kalibraattorin kanssa. EXT1000 toimii referenssinä painevaa'alle kun painealue ylittää 200 baaria.



Kuva 6 Beamex EXT1000

4.8 Kosteusmittari Testo 625

TVO:lla laitoksella sijaitsevat kosteusanturit mitataan Teston 625-mittarilla. Tällä mittarilla suoritetaan laitoksen vertailumittaukset. Mittarin tarkkuus riittää kaikkiin laitosmittauksiin, vaihtamalla suolapatruunaa kaikkien antureiden kalibrointi on mahdollista annettujen rajojen sisällä. Kalibraattorin päähän laitetaan suolapatruuna, joka sisältää joko natriumkloridia (NaCl) tai litiumkloridi (LiCl). Nämä suolapatruunat omaavat vakiokosteutensa ja niiden tarkkuus on noin $\pm 2\%$. Ominaisuuskosteus litiumkloridille on 11,3 % ja natriumkloridille 75,3 %. Lämpötilaa ei mittauksessa tarvitse huomioida. Sen merkitys on mittauksessa minimaalinen. Patruunat on ravistettava huolellisesti ennen käyttöä. Sensori voidaan puhdistaa tislattulla vedellä, mikäli tarvetta puhdistukseen on. (Testo 625 manual)



Kuva 7 Testo625-kosteusmittari ja suolapatruuna

5 MITTAUSEPÄVARMUUS

Mittausepävarmuus on mittaustulokseen liittyvä parametri, jonka on tarkoitus kuvata mittauksessa ilmenevien arvojen vaihtelua. Mittausepävarmuus on siis arvio suurimmasta mahdollisesta mittausrvirheestä. Mittausvirhe on mittaustuloksen ja mitattavan suureen välinen ero. Mittausvirhe on yksittäinen arvo, jolla voidaan korjata tietty tulos. Mittausepävarmuus on vaihteluväli, jota voidaan soveltaa kaikkiin tietyn mittausmenetelmän tuloksiin. Ennen mittausepävarmuuden arviointia tulee kaikki systemaattiset virheet korjata. (Ehder T 2005).

Kalibrointitodistuksesta saatu epävarmuus on yleensä ilmoitettu laajennettuna epävarmuutena. Tämä saattaa aiheuttaa sekaannusta. Standardiepävarmuus saadaan kuitenkin jakamalla saatu epävarmuus kahdella. (TKK2006).

5.1 Epävarmuustyypit

5.1.1 Normaalijaukauma

Yleisesti epävarmuuskomponentit ovat normaalijakautuneita. Yksittäinen mittaus osuu tyyppin A epävarmuusmittauksessa 68 % todennäköisyydellä välille $\pm\sigma$. Mikäli suure saadaan käyttämällä toistuvia mittauksia, lasketaan keskiarvon keskihajontaa $\pm\sigma/\sqrt{n}$. Kuvassa 1 on havainnollistettu keskihajonta ($k=1$) sekä kaksinkertainen keskihajonta ($k=2$). Kun käytetään kaksinkertaista keskihajontaa luottamusväliksi saadaan 95 %. Tämä on yleisimmin käytetty luottamusväli. Luottamusvälillä ilmaistaan satunnaisesta otoksesta laskettua virhemarginaalia. Asian voi ilmaista esimerkiksi näin: ”olemme 95 % varmoja että oikea tulos on näiden rajojen välissä” (tilastokeskus). Kun $k=3$ saadaan laajennetuksi epävarmuudeksi 99,7. Yleisesti käytetään kuitenkin kaksinkertaista keskihajontaa.

k = luottamusväli

σ = keskihajonta

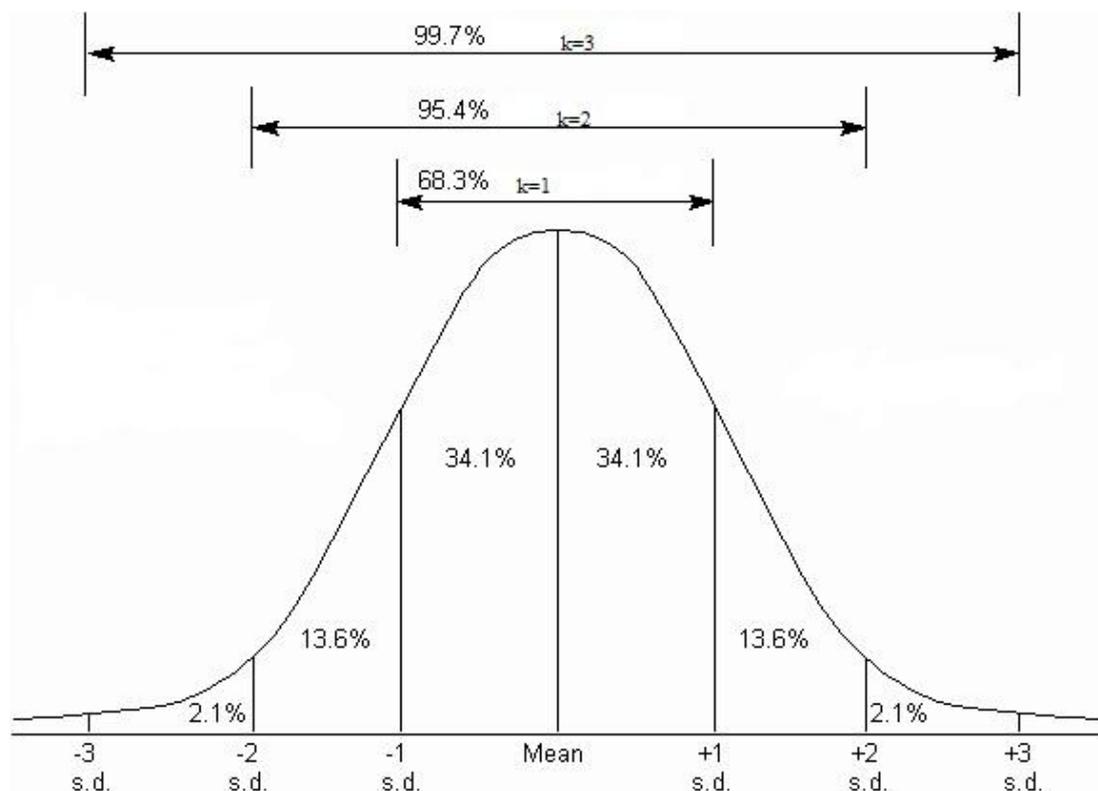
Standardiepävarmuuden laskemiseksi on käytettävä kaavaa (1), jossa käytetään hyväksi keskiarvon keskihajontaa. Tämä kaava toimii vain tilanteessa jossa mittaus arvo on saatu toistettujen mittausten keskiarvona.

$$u_A^{(xi)} = \sqrt{\frac{s^2(x_i)}{n}} = \frac{s(x_i)}{\sqrt{n}} \quad (1)$$

Missä

n on mittausten lukumäärä

s_{xi} on tehtyjen mittausten keskihajonta



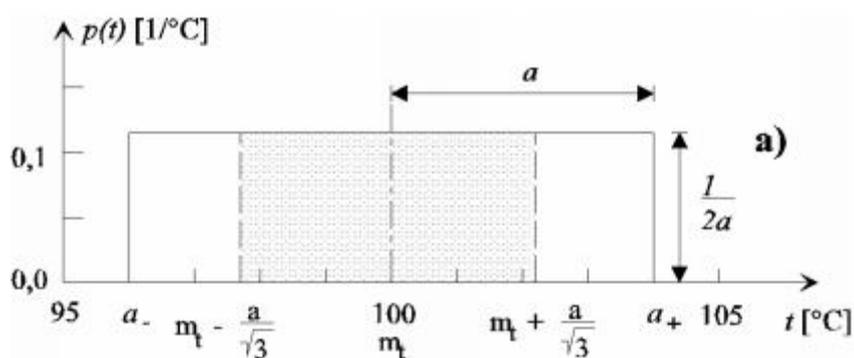
Kuva 8 Normaalijakauma (TKK 2006)

5.1.2 Tasajakauma

Tyypin B mittausepävarmuuden arviointi perustuu saatavilla olevan tiedon käyttöön. Toisin sanoen käytetään päättelyä. Tärkeitä tietoja ovat esimerkiksi aiemmat mittaukset, laitevalmistajan spesifikaatiot ja referensseissä mainitut epävarmuudet. Niiden epävarmuuskomponenttien, joiden jakaumia ei ole kerrottu, tai niitä ei tiedetä, voidaan olettaa olevan tasajakautuneita (metrology.fi s108-109). Mikäli epävarmuuskomponenttien jakautumaa ei tunneta, se voidaan olettaa tasaiseksi

jollakin tietyllä välillä. Varianssi määritellään seuraavalla kaavalla (Ihalainen, H S8).

$$u^2(x_i) = \frac{(a_+ - a_-)a^2}{12} \quad (2)$$



Kuva 9 tasajakauma (TKK 2006)

5.2 Mittausepävarmuuden arviointi

Mittaustuloksen epävarmuuden arvioinnissa on otettava huomioon seuraavia asioita. Mittaustulos on määriteltävä yksityiskohtaisesti tarkan mittauskaavion avulla. Kaikki tunnetut epävarmuudet on tunnistettava ja määriteltävä. Lopuksi lasketaan yhdistetty mittausepävarmuus. Yhdistetty standardiepävarmuus on myös laskettava. Jos komponentit korreloivat täydellisesti, voidaan näiden komponenttien keskihajonnat summata neliöllisesti yhteen. Mikäli komponentit eivät korreloi yhteen, komponenttien varianssit summataan.

$$u(y) = \sqrt{u_A^2 + u_B^2 + u_C^2} \quad (3)$$

Toisessa tilanteessa komponentit eivät korreloi toistensa kanssa

$$u(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left(\frac{af}{ax_i}\right)^2 u^2(x_i)} \quad (4)$$

(Ihalainen, H, Mittausepävarmuuden arviointi ja kalibrointi luento 11).

6 EPÄVARMUUDET MITTANORMAALEILLE

6.1 Epävarmuuden määrittely sähköisille suureille

Kokonaisepävarmuus teholle määritellään neliöjuurella, johon on lisätty tehokerroin, jännitteen määrä sekä virta. Epävarmuuskomponenttien keskihajonnat voidaan siis laskea neliöllisesti yhteen, mikäli ne eivät korreloi keskenään (toisistaan riippumattomia). Näin saadaan tulokseksi mittausepävarmuus, joka vastaa keskihajontaa. Kun lasketaan keskihajontaa, niin keskihajonnan neliö (varianssi) on valmiiksi käyttökelpoinen, koska se on neliöllinen arvo.

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \quad (5)$$

Tehon epävarmuus :

$$U_{teho} = \sqrt{U_{jännite}^2 + U_{virta}^2 + U_{tehokerroin}^2} \quad (6)$$

$$U_{VARs} = \sqrt{U_{jännite}^2 + U_{virta}^2 + U_{VARs}^2} \quad (7)$$

V on voltit
 A on ampeerit
 R loisterho

Esimerkkilaskuna esittelen resistanssin epävarmuuden määrittelyn. Mittauksessa tunnetaan epävarmuudet ja nämä epävarmuudet on saatu mittarista, jonka tarkkuus on $I \pm \Delta$ ja $U \pm \Delta U$. Näillä tiedoilla saadaan laskettua epävarmuudeksi (Taylor, J.R, s75):

$$\Delta R = \left(\left(\frac{\Delta U}{U} \right)^2 + \left(\frac{U}{I^2} \Delta I \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} = R \sqrt{\left(\frac{\Delta U}{U} \right)^2 + \left(\frac{\Delta I}{I} \right)^2} \quad (8)$$

$$U = 5,1 \pm 0,1V$$

$$I = 2,45 \pm 0,02A$$

$$R = \frac{U}{I} \quad R = \frac{5,1}{2,45} = 2,0816\Omega \quad (9)$$

Virhe resistanssille saadaan kaavalla:

$$\Delta R = 2,08\Omega \sqrt{\left(\frac{0,1V}{5,1V} \right)^2 + \left(\frac{0,02A}{2,45A} \right)^2} = 0,044\Omega \quad (10)$$

$$\underline{\Delta R = 2,08 \pm 0,05\Omega}$$

I on virta
 U on jännite
 ΔR on laskettu epävarmuus

6.2 Epävarmuuden määrittely paineelle

Painevaa'an epävarmuuden määrittämisessä on otettava enemmän muuttujia huomioon kuin sähköisten suureiden määrittelyssä. Määriteltäviä suureita ovat: männän-kaltevuus, painevaa'an näyttämä, kiihtyvyys, massojen tiheys, ilman tiheys, lämpölaajenemiskerroin ja männän vaikutusala. Kaltevuuden epävarmuus on suhteessa männän vaikutuksesta syntyneeseen vaikutusalaan (Euramet 2011, 27). Paineen yksikkö (N) ilmoitetaan joko baareina (bar) tai megapascalina (Mpa). Kiihtyvyys on kenties tärkein vaikuttavista suureista. Kiihtyvyydelle on määritelty TVO:lla paikallinen kiihtyvyys, joka on 9,8198617 m/s. Korjauskerroin paikallisen kiihtyvyyden ja kansallisen kiihtyvyyden välillä on laskettu jakamalla arvot keskenään kaavalla (11).

$$\text{korjauskerroin} = \frac{\text{paikallinen } G}{Kv G} = \frac{9,8198617 \text{ m/s}}{9,80665 \text{ m/s}} = 1,0013461 \quad (11)$$

Massan tiheyden määrittelyssä käytetään punnussarjaa, joka koostuu yleisesti viidestä punnuksesta, joiden massat ovat 1kg. Kalibrointipöytäkirjassa on mainittu punnusten tiheys joka on $7920 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \pm 30 \text{Kg/m}^3$. Konventionaalisen massan m^* ja todellisen massan m suhteella on seuraavanlainen yhteys:

$$m^* = m \frac{1 - \left(\frac{1,2 \text{Kg}}{\text{m}^3}\right)/p}{0,99985} \quad (12)$$

p on punnuksen tiheys lämpötilassa 20 C°

Mittanormalin lämpötila on laskettu mittaushetkellä sisäisellä anturilla (pt100). Mittaus aiheuttaa epävarmuutta, joka on ilmoitettu kalibrointitodistuksessa sisäisen lämpötila-anturin epävarmuutena. Mäntä-sylinteri-yhdistelmän lämpötilaa ei ilmoitettu, vaan sen oletettiin olevan sama kuin huoneessa vallitsevan lämpötilan.

Esimerkkilasku painekalibroinnista: Esimerkissä kalibroinnin kohteena on painemittari. Mittanormaalina toimii painevaaka. Mittaus tapahtuu viidessä pisteessä

25hPa:n välein. Absoluuttinen painealue on tässä esimerkissä ilmakehän paine, joka vaihtelee alueella 950hPa-1050hPa. Laskettavana pisteenä toimii 1baari (1000hPa).

Mittaustulokseen vaikuttavat tekijät: mittarin näyttämä, kalibrointikorjaus, resoluution rajallisuus sekä laitteen ja mittanormalin välinen korkeusero. Painemittarit kalibroidaan aina nousevalla sekä laskevalla paineella. Tämä johtuu hysteeristä. Hystereesi on ominaisuus joka hidastaa laitetta palaamasta alkuperäiseen arvoon (saxholm&rantanen 2011).

$$\text{Malliyhtälö: } E_x = P_x + \sigma P_{r1} - (P_{ref} + \sigma_p k) + \sigma P_{r2} + \sigma P_h \quad (13)$$

E_x on kalibroitavan mittarin näyttämä virhe

P_x on kalibroitavan mittarin näyttämä arvo

σP_{r1} on resoluution rajallisuuden takia tapahtuva epävarmuustekijä

P_{ref} on mittanormalin näyttämä arvo

$\sigma_p k$ on mittanormalin kalibrointikorjaus

σP_{r2} on mittanormalin resoluution rajallisuudesta johtuva epävarmuus tekijä.

σP_h on korkeuskorjain

Tekijöistä arvioidaan kunkin tekijän standardiepävarmuus. Alapuolella olevassa taulukossa on mittaukset esitettyinä. Mittauksia oli neljä kappaletta.

Taulukko: Mittaustulokset

Mittauksen numero	Mittanormalin näyttämä (hPa)	Kalibroitavan näyttämä (hPa)
1	1000,35	1001,5
2	1000,35	1001,4
3	1000,33	1001,5
4	1000,36	1001,3

Kalibroinnin kohteena olevan mittarin $K_a = 1001,4$ hPa tätä arvoa kuvaa yhtälössä termi P_x . Mittarnormaalilla kuvaa P_{ref} $K_a = 1000,35$ hPa.

Standardiepävarmuus lasketaan keskihajonnan avulla kaavalla (14).

$$u(q) = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} [q_1 + \dots + (q_n - q)]^2} \quad (14)$$

n on lukemien määrä
 $q_1..q_n$ on yksittäinen arvo
 q on kaikkien arvojen keskiarvo

Standardiepävarmuudeksi saadaan näin $u(P_x)=0,10$ hPa ja $u(P_{ref})=0,01$ pHa.

$u(\delta Pr1)$ ja $u(\delta P2)$ lasketaan seuraavasti:

Kalibroitavan laitteen resoluutio on 0,1 hPa, tämä tarkoittaa että resoluutio voi vaihdella välillä $+0,05 \pm -0,05$ hPa ilman vaikutusta mittarin näyttämään arvoon. Näin ollen voidaan olla varmoja, että lukema on välillä $(q + a) \dots (q - a) \pm a$ missä q on näyttämän keskiarvoa vastaava luku ja a puolestaan on 0,05hPa. Mittanormaalilla pätee sama resoluution vaihteluväli kuin kalibroitavalla laitteella.

Resoluution epävarmuus lasketaan kaavalla (15)

$$u(q) = \frac{a}{\sqrt{3}} \quad (15)$$

$$u(\delta Pr1) = 0,03hPa$$

$$u(\delta Pr2) = 0,003hPa$$

δp_k saadaan seuraavasti:

Mittanormaalien kalibrointikorjaus saadaan kalibrointipöytäkirjasta, esimerkissä korjaus on 0,7hPa ja epävarmuus 0,04hPa. Epävarmuus on ilmoitettu kattavuuskertoimella 2.

$$\delta p_k = 0,02 \text{ hPa.}$$

δp_h saadaan seuraavasti:

Mitattavalaite ja mittanormaali ovat samalla korkeudella $\pm 10 \text{ cm}$ sisällä. Kaavalla $-([h(P_{\text{öljy}} - P_{\text{ilma}})g])$ standardiepävarmuudeksi saadaan $0,0001 \text{ hPa}$ (kattavuuskerroin 2).

Laskussa on määritettävä kunkin tekijän vaikutus kokonaisepävarmuuteen. Tämä saadaan laskemalla herkkyyskerroin kaavalla:

$$C_i = \frac{\partial R}{\partial q} = \frac{\Delta R}{\Delta q}$$

R on mittaustulos
q on tulokseen vaikuttava tekijä

herkkyyskerroimen määrittäminen esimerkiksi tekijälle δp_k on

$$C_i = \frac{\partial R}{\partial q} = \frac{\Delta R}{\Delta q} = \frac{\Delta E_x}{\Delta \sigma p_k} = \frac{E'_x - E_x}{u(\sigma p_k)} \quad (16)$$

Sijoitetaan lukuarvot malliyhtälöön (kaava 12) (jokaista tekijää muutetaan yhtälössä kerrallaan oman epävarmuutensa verran) :

$$E'_x = 1001,43 \text{ hPa} + 0 \text{ hPa} - (1000,35 \text{ hPa} + 0,7 \text{ hPa}) + 0 \text{ hPa} + 0 \text{ hPa} = 0,38 \text{ hPa}$$

$$E'_x = 1001,43 \text{ hPa} + 0 \text{ hPa} - (1000,35 \text{ hPa} + 0,7 \text{ hPa}) + 0,02 \text{ hPa} + 0 \text{ hPa} = 0,36 \text{ hPa}$$

Lukuarvot sijoitetaan kaavaan (12):

$$C_{\delta p_k} = \frac{0,36 \text{ hPa} - 0,38 \text{ hPa}}{0,02 \text{ hPa}} = -1 \quad \text{Herkkyyskerroin lasketaan vastaavanlaisesti jokaiselle}$$

malliyhtälössä olevalle arvolle tällä samalla tavalla.

Epävarmuus saadaan laskemalla herkkyyskerroin ja jokaisen tekijän epävarmuus neliöllisesti yhteen seuraavalla kaavalla (13)

$$u(E_x) = \sqrt{[C_{px}U(P_x)]^2 + [C_{\sigma Pr1}]^2 + C_{pref}U(P_{ref})^2 + [C_{\sigma Pk}u(\sigma)]^2 + [C_{\sigma Pr2}u(\sigma p_{r2})]^2 + [C_{\delta ph}u(\sigma P_h)]^2}$$

$$u(E_x) = \sqrt{[1 * 0,10hPa]^2 + [1 * 0,03hPa]^2 + [(-1) * 0,02hPa]^2 + [1 * 0,003hPa]^2 + [1 * 0,0001hPa]^2}$$

$$u(E_x) = 0,1hPa \text{ kerrotaan kattavuuskertoimella 2 saadaan } 0,2hPa$$

Mittaustulos lasketaan lopuksi sijoittamalla lukuarvot yhtälöön:

$$E_x = 1001,43hPa + 0hPa - (1000,35hPa + 0,70hPa)0hPa + 0hPa = 0,38hPa$$

Tulokset pyöristetään yleensä ylöspäin joten, tuloksena voidaan ilmoittaa, että tulokseksi saatu mittausepävarmuus on $0,4hPa \pm 0,3hPa$ (saxholm&rantanen 2011).

7 KALIBROINTIOHJEET

7.1 Vastuu

Laitteiden vastuuhenkilöt ovat vastuussa kalibrointien suorittamisesta. Mittauksen suorittajan on huolehdittava, että ennen käyttöä jännite- ja resistanssimittarien kalibrointi on voimassa ja tarpeen vaatiessa lähettää laite kalibroitavaksi. TVO:lla käytettävät mittanormaalit kaikille suureille on kalibroitava 12 kuukauden välein akkreditoidussa laboratoriossa, mikä varmistaa laitteen toiminnan vaadituissa rajoissa.

7.2 Mittalaitteiden kalibrointi

Mittalaitteet kalibroidaan 12 kuukauden välein vertailemalla mittaustuloksia mittanormaalina käytettyyn laitteeseen. Kalibroitaessa uusia mittalaitteita on mittaukset hyvä suorittaa useasti. Kolmekin kertaa riittää riippuen laitteesta ja edellytyksistä. Joissakin tapauksissa, kuten resistanssimittauksissa on syytä suorittaa kalibroinnin tarkistus varsinaisessa mittauksessa käytettävillä johtimilla.

7.3 Sähköisten suureiden kalibrointi

Mitattaessa sähköisiä suureita tulee noudattaa erityistä tarkkuutta vallitseviin kalibrointiolosuhteisiin. Mittausta alustettaessa on huomioitava kosteuden ja lämpötilan lisäksi myös sähkönsyöttö, maadoitukset sekä sähköisten ja magneettisten häiriöiden suojaukset. Aktiivisessa käytössä olevat laitteet tulisi kalibroida 12 kuukauden välein. Passiiviset laitteet voidaan kalibroida 24–50 kuukauden välein (Vitikainen E s17).

Useimmiten mittauksissa käytetään laitetta, jolla voidaan mitata virtaa, jännitettä ja resistanssia. Kalibrointiin liittyy aina mittalaitteen toiminnan tarkistus. Mittaria verrataan neljä kertaa tarkempaan mittariin erinäisissä mittapisteissä. Nämä pisteet on määritetty ennalta tarkoitukseen soveltuvista normaaleista. Pisteet muodostuvat valmistajan omista suosituksista. Kriittisiä pisteitä ovat ne kohdat, joissa sijaitsevat mittausspesifikaation yhteiset pisteet, minimi- ja maksimipisteet sekä kokemuksen mukana tulleet kriittiset pisteet. (Vitikainen E s17).

Kalibrointipisteiden valinnassa on hyvä käyttää vähintään kolmea eri pistettä, mutta TVO:lla mittapisteitä on viisi. Näitä pisteitä voidaan käyttää sekä yleismittareiden kalibroinneissa että erillisten suuremittareiden kalibroinnissa. Jokaisessa pisteessä on hyvä tehdä toistuvia mittauksia. 3-5 mittausta jokaisella pisteellä on suositeltava määrä. Toistojen määrään vaikuttaa kokemukseräiset tiedot laitteesta. Toistoista voi joissain yrityksissä tinkiä mikäli stabiiliudesta on tarkkaa tietoa. (Vitikainen E s17)

Tasavirtamittarista (DC) mitataan mittausalueiden ± 100 % ja nolla pisteet sekä mahdollisesti epälineaarisuus joltain mittausalueelta. Vaihtovirtamittarista (AC) mitataan yksi piste kultakin mittausalueelta ja taajuusvasteen osa-alueelta (Vitikainen E s17). Tasajännitemittarista mitataan ± 100 % ja nollakohta. Tämän lisäksi on huomioitava epälineaarisuus joltakin muulta mittausalueelta. Vaihtojännitemittarilla mitattaessa on huomioitava useita eri pisteitä kultakin taajuusalueelta. Määrä riippuu spesifikaatioista. Laajalta taajuusalueelta mitataan useita pisteitä. Resistanssi (vastus) mitataan mittausalueiden 100 % ja nollakohdissa. (Vitikainen E s17).

Jäljitettävyyden varmistaminen edellyttää laitteen kalibrointien säännöllistä tarkistamista. Valmistajat suosittelevat ja laitteiden täydellistä kalibrointia ulkopuolisella riippumattomalla taholla, joka vertaa laitteita muihin mittanormaaleihin kerran vuodessa. (Vitikainen E s18)

7.4 Jännite, Virta, Resistanssikalibrointi

Tällä ohjeella pyritään varmistamaan jännite- ja resistanssimittareiden asianmukainen kunto ja toiminta. Tätä ohjetta sovelletaan mittaus-, testaus- ja tarkastustoiminnassa käytettäviin jännite- ja resistanssimittareihin joita TVO:lla käytetään. Toiminta ohjetta sovelletaan yleiskalibroinnissa, mikäli kalibrointi tapahtuu seuraavilla alueilla:

- tasajännite $\pm 10V$
- resistanssi $1 \Omega - 10 \Omega$

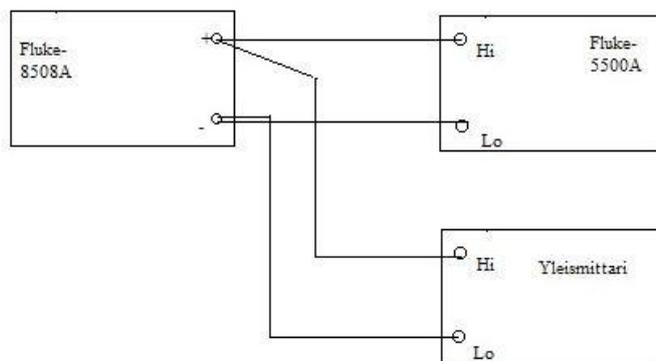
Jännitekalibroinnissa Fluke 5500A mittanormaaliin kytketään kalibroitava mittari. Fluke-5500A kalibraattori syöttää suoraan jännitteen mitattavaan laitteeseen. Kun halutaan saavuttaa tarkempia mittauksia otetaan käyttöön myös Fluke 8508A reference multimeter -laite.

Negatiivisia arvoja haluttaessa mittajohtimen paikat vaihdetaan keskenään jännitelähteen +/- navoissa. Kalibraattori suorittaa vaihdon itsenäisesti ilman, että

mittaajan tarvitsee koskea johtimiin. Kalibrointijännitteiksi valitaan yleiskalibroinnissa yleensä 0.1; 1.0; 5.0; 10.0; 14.0; ja 30.0 V.

Kun kalibrointi tehdään joillekin 0-30V:n osa-alueelle, valitaan tältä alueelta kaksi logaritmisella alueella olevaa jännitettä. Esimerkiksi ollaan kalibroimassa 2.5 V:n aluetta, voidaan valita pisteet nollakohdasta sekä alueen huippukohta (2,5 V). Suurin ja pienin arvo on järkevintä valinta mittauspisteiksi. Näin vältetään mittaustulosten suuri määrä.

Mitattavat alueet valitaan mittauksessa tarvittavan jännitteen mukaisesti. Mittaustulokset kirjataan aina kalibrointipöytäkirjaan (TVO:n sisäiset asiakirjat).



Kuva 10 Kalibrointikytkentä sähköisille suureille

7.5 Painevaaka

Painevaa'an annetaan tasaantua mittaushuoneessa vallitsevaan ympäristöön 16–24 tuntia, ennen varsinaista kalibrointia. Molemmat painevaa'at asetellaan rinnakkain kivipöydälle ja säädetään vaaka-asentoon libellien avulla. Kalibroitavan painevaa'an painealueelle valitaan viisi yhdistelmää, joita vastaavat paineet tuotetaan mittanormalin avulla neljä erillistä kertaa.

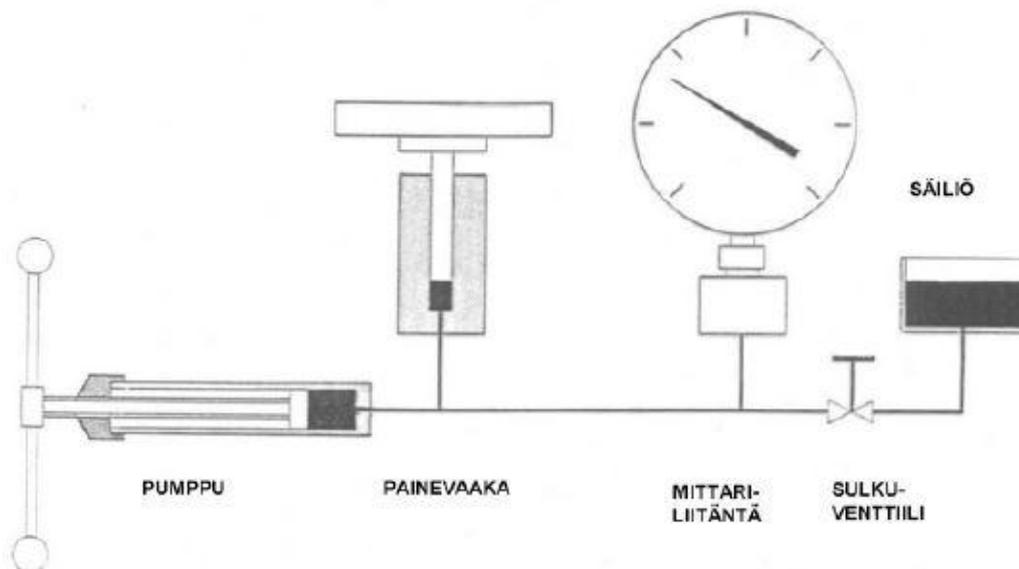
Mittauksia tehdään, kun paine nousee, ja silloin kun painetta aletaan nostaa. Paineen vaikutuksesta punnukset nousevat ilmaan. Painevaa'assa on paineensäätö -sylinteri, jolla säädetään painetta ja asetellaan punnukset oikealle korkeudelle. Punnukset ovat oikealla korkeudella, kun painevaa'an edessä olevan osoitinelementin neula on puolivälissä. Kalibroittavan painevaa'an rungossa oleva moottori pyörittää mäntää punnuksineen vastapäivään.

Mittanormaalin mäntä-sylinteriyhdistelmän lämpötilaa mitataan pt-100 anturilla joka on kiinnitetty vaa'an runkoon. Itse kalibroittavan laitteen lämpötilaa ei mitata vaan sen oletetaan olevan sama kuin ympäristön lämpötila.

Painekalibroinnin mittanormaaliksi kelpaavat myös muutkin laitteet kuin painevaa'at. Käytännössä laitteeksi kelpaa mikä laite tahansa, jonka epävarmuus tunnetaan ja se on todettu stabiiliksi. Tarvittavat kalibroitivälineet riippuvat tarvittavasta tarkkuustasosta. Muut kuin painevaa'an tyyppiset laitteet käyttävät usein mittauksessa hyväkseen elastista muodonmuutosta joka syntyy mittarinpäähän paineen vaikutuksesta (Mikes 2011) . TVO:lla käytetään ainoastaan painevaakoja painekalibrointiin.

Painevaakojen käyttöalue ulottuu 1kPA:sta aina pitkälle yli 10 000 baariin. Painevaa'an toimintaperiaate on sovellus paineen määritelmästä. Mäntä-sylinteriyhdistelmä teholliselle pinta-alalle kohdistuu paine joka vastaa punnusten ja männän painosta syntyvää voimaa. Mittaustilanteessa mäntä pyörii öljyisessä sylinterissä kitkan vähentämiseksi.

Tavallisten painevaakojen tehollinen pinta-ala voidaan määrittää vertailemalla sitä tunnettuun painevaakaan (ristiinkellutusmenetelmä) (Mikes 2011). TVO:n painevaa'at ovat jäljitettävissä suomen mittakeskukseen (Mikes).



Kuva 11 painevaa'an kytkentäkuva (Semenoja, S 2008)

7.5.1 Painevaa'an laskentakaava

Painevaa'an peruslaskentakaava on hyvin yksinkertainen. Mitä tarkempia mittauksia halutaan, sitä enemmän vaikuttavia tekijöitä on otettava kaavassa huomioon. Kiihtyvyydelle g on määritelty omapaikallinen kiihtyvyys. Paikallinen kiihtyvyys TVO:lla on 9,8198617. Kansallisen kiihtyvyyden ja paikalliskiihtyvyyden suhteesta saadaan laskettua korjauskerroin.

$$\text{korjauskerroin} = \frac{\text{paikallinen } G}{Kv G} = \frac{9,8198617m/s}{9,80665m/s} = 1,0013461 \quad (16)$$

$$p = \frac{mg}{A} \quad (17)$$

Missä

p on paine

m on painevaa'alla olevat massat

g on putoamiskiihtyvyyys
 A on painevaa'an tehollinen pinta-ala

Kalibroitavan painevaa'an tasapainotilaa vastaava paine P_{obj} sen referenssitaso voidaan laskea kaavasta:

$$P_{obj} = \frac{Mg(1-p_a/p_m)}{S_{20,p}(1+2\alpha(t-20^\circ C))} \quad (18)$$

Jossa

M on männän ja mäntään vaikuttavien punnusten massojen summa
 g on putoamiskiihtyvyyys
 P_a on ympäröivän ilman tiheys
 P_m on punnusten ja männän tiheys
 $S_{(20,p)}$ on lämpötilaa $20^\circ C$ vastaava mäntä-sylinteriyhdistelmän tehollinen pinta-ala paineella P_{obj} .
 2_α on mäntä-sylinteriyhdistelmän tehollisen pinta-alan lämpökerroin
 t on mäntä-sylinteriyhdistelmän lämpötila

Kun kalibroitava painevaaka ja mittanormaali ovat samassa paineverkossa, on

$$P_{obj} = P_{norm} - (P_f - P_a)g\Delta h \quad (19)$$

jossa P_{obj} on kalibroitavan vaa'an referenssitason paine. ja P_{norm} mittanormaalin referenssitason paine.

Tekijä $(P_f - P_a)g\Delta h$ on referenssitasojen korkeuseroista aiheuttava hydrostaattinen paine, jossa

P_f on väliaineen tiheys

P_a on ympäröivän ilman tiheys

g on paikallinen putoamiskiihtyvyys

Δh on referenssitasojen korkeusero (positiivinen, jos kalibroitava vaaka on ylempänä)

Kalibroinnin tulos on lämpötilaa (20°C) ja painetta ($\rho = 0$) vastaava tehollinen pinta-ala. Pinta-alan arvo oli: $S_{(20)} = 9,8065\text{mm}^2 \pm 0,0005\text{mm}^2$. Epävarmuus on laskettu ohjeen EA-4/02 mukaan ja kantavuuskertoimena on $k=2$. Normaalijakaumalla tämä vastaa 95 % todennäköisyyttä. Kalibrointitulos vastaa kalibrointilaitteen kuntoa kalibrointihetkellä.

7.6 Lämpötila

7.6.1 Mittausmenettely

Lämpötilamittarin annettiin tasaantua vallitseviin olosuhteisiin. Tämän jälkeen lämpömittarille suoritettiin itse kalibrointi. Kalibrointitila on vakioilmastoitu huone, jonka lämpötila on $(23\pm 2)^{\circ}\text{C}$ ja ilman suhteellinen kosteus $(40\pm 20)\%$ RH. Kalibrointi suoritettiin vertaamalla sen näyttämää lämpömittanormaalin osoittamaan arvoon. Taulukossa annettu lämpötila t_{90} on lämpötila-asteikon ITS-90 mukainen.

7.6.2 Epävarmuuden arviointi laitosmittauksessa

Taulukko: Kalibroinnin tulos pt100 vastusanturilla

Näyttölaite: Testo 735				
S/N 01435854/711				
Anturi: Pt100 Testo 0614.0235				
S/N 01429826/711				
Lämpötila	Mittarin näyt-	Korjaus	Kalibroinin	Upotussyvyys

t_{90} [C°]	tämä [C°]	t_{90} -näyttämä [C°]	epävarmuus ± [C°]	[mm]
-10.318	-10.334	0.016	0.020	250
0.001	-0.012	0.013	0.020	250
100.712	100.729	-0.016	0.020	250
198.372	198.369	0.003	0.030	250
300.25	300.17	0.08	0.15	180

Taulukko: mittanormaalit

Laite	Valmistaja ja malli	Sarjanumero	Todistus	Kalibroitu
ITS-90a	SKS WT-MI-303 D40E	04-L3718	K004-10L39	03.12.2010
Pt25	L&N 8167-B-25	1854012	M-10T139	03.12.2010
Pt25	L&N 8167-B-25	1805520	M-09T009	26.01-2009
Vastussilta	ASL F700	13140054 21	K004- 11L108	11.04.2011
Resistanssinormaali	Tinsley 5685A 100	270096	K004- 09S790	24.11.2009
Resistanssinormaali	Tinsley 5685A 25	270004	K004- 09S790	24.11.2009

Taulukko: Muut laitteet

Laite	Valmistaja ja malli	Sarjanumero
Termoastia ja sekoittaja	IVO	LAB_4092

Öljyhaude	Heto KB 11	8503
Sprii/vesihaude	Heto KB 23-11	466303-B
Öljyhaude	Heto KB 12-1	475366-B
Lämpökalkibraattori	Ametek ATC-320B	563444-00239

Kalibroinnin yhteydessä on määritetty laajennettu epävarmuus. Tämä on saatu laajennetun epävarmuuden mukaisesti kertomalla tulos kahdella ($k=2$). Tämä siis vastaa normaalijakaumalla noin 95 % kattavuustodennäköisyyttä. Standardiepävarmuus on laskettu julkaisun EA-4/02 (European Co-operation for Accreditation) mukaisesti seuraavista tekijöistä: käytetyt normaalit, mittauslaitteet ja menetelmät sekä kalibroitava laite. Kalibrointiepävarmuus perustuu mittaushetkellä saatuihin tuloksiin. Se ei sisällä arvioita kalibroitavan laitteen pitkäaikaisesta stabiiliudesta.

7.6.3 Toimintaohje vastuslämpömittareiden kalibrointiin

Lähtimestä tulee poistaa suojakansi siten, että liittimet ja kalibrointipotentiometrit tulevat esille. Lähettimen tyypistä riippuen kytketään ulostulopiiriin voltti- tai ampeeri mittari. Sisääntulopiiriin kytketään dekadivastus, ja tässä on huomioitava, onko laite kolmi- vai neli johdinkytketty. Dekadivastukselle asetetaan rajat 0 %, 25 %, 50 %, 75 %, 100 % mitta-alueesta ja lähetintyypistä riippuen. Vastusarvot saadaan DIN-43760 mukaan. Ulostulosignaali merkitään ylös jokaisessa yllämainitussa pisteessä. Jos lineaarisuus ja päätearvot eivät vastaa valmistajan antamia rajoja, on lähettimiä säädettävä valmistajan ohjeiden mukaisesti. Tietyillä lähettimillä ei ulostulosignaalin tarvitse olla linearisoitu lämpötilan kanssa, vaan se on suoraan verrannollinen anturin resistanssiin.

LÄHTEET

Ehder, T. Kemian metrologian opas . Julkaisu/J6/2005. Mittatekniikan keskus. Saatavissa : http://www.mikes.fi/documents/upload/j6_05_b5_nettiin.pdf

EURAMET, Calibration of Pressure Balances, EURAMET cg-3, Version 1.0. Saatavissa:
http://www.euramet.org/fileadmin/docs/Publications/calguides/EURAMET_cg-3__v_1.0_Pressure_Balance_01.pdf.

Fluke Corporation 2003, USA: Fluke 5500A Usewr Manual. Viitattu 3.3.2013. Saatavissa: http://www.trs-rentelco.com/Manual/FLU_5500A_Manual.pdf

Humitec Oy 2005, Control and Calibration Set for Humidity Sensors. Julkaistu: 04.03.2013. 00300 Helsinki

Ihalainen,H.2003. Mittaustekniikan uudet tuulet: mittausinformaatio. Tampereen Teknillinen Yliopisto. Tampere. Viitattu 1.3.2013. Saatavissa :
http://www.mit.tut.fi/staff/ihalainen/web/Mittausinformaatio_TTYMIT_HI.pdf

Pieksemä, A, Painekalibroinnin epävarmuus. Julkaistu 11/2012. Theseus. Saatavissa: http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/50571/Pieksema_Anssi.pdf?sequence=1

Ruke corporation 2002, Fluke 8508A user manual. Saatavissa:
<https://fluke.8508A.manual.com>

Saxholm, S. & Rantanen, M. Paineen mittaus. Julkaisu J1/2011. Mittatekniikan keskus. Viitattu 4.2.2013 Saatavissa:
http://www.mikes.fi/documents/upload/j1_2011.pdf

Semenoja, S. 2008. Painemittaukset. Mittaustekniikan lisensiaattikurssi. Mittatekniikan keskus. Saatavissa: <http://metrology.tkk.fi/courses/S-108.4010/2008/semenoja.pdf>.

Taylor, J.R: An introduction to error analysis: the study of uncertainties in physical measurements, 2. painos, s. 75. University Science Books, 1997.

Teollisuuden Voima 2012. Avainluvut viitattu 21.2.2013. Saatavissa:
<http://www.tvo.fi/Avainluvut>

Thua,W.2005.Lämpötilan mittaus. Helsinki Mikes. Viitattu 21.3.2013. Saatavissa :
http://www.mikes.fi/documents/upload/j4_05_www.pdf

TKK. 2008. Mittausepävarmuus luento. [www- dokumentti]. TKK. Viitattu 13.03.2013. Saatavissa: http://metrology.tkk.fi/courses/S-108.1010/Luento7_2006.pdf.

TUT. 2005 Mittausepävarmuuden arviointi ja kalibrointi.. luento 11. Tampere University of Technology. Saatavissa www.mit.tut.fi/7503020/7503020_Luento11.pdf

TVO:n sisäiset julkaisut. Asiakirjatunnus I536507/07 OL1-Kalibrointitoiminnan suunnittelu, toteutus ja ylläpito. Viitattu 25.2.2013 Julkaistu 20.-21-3.2007 AEL Helsinki

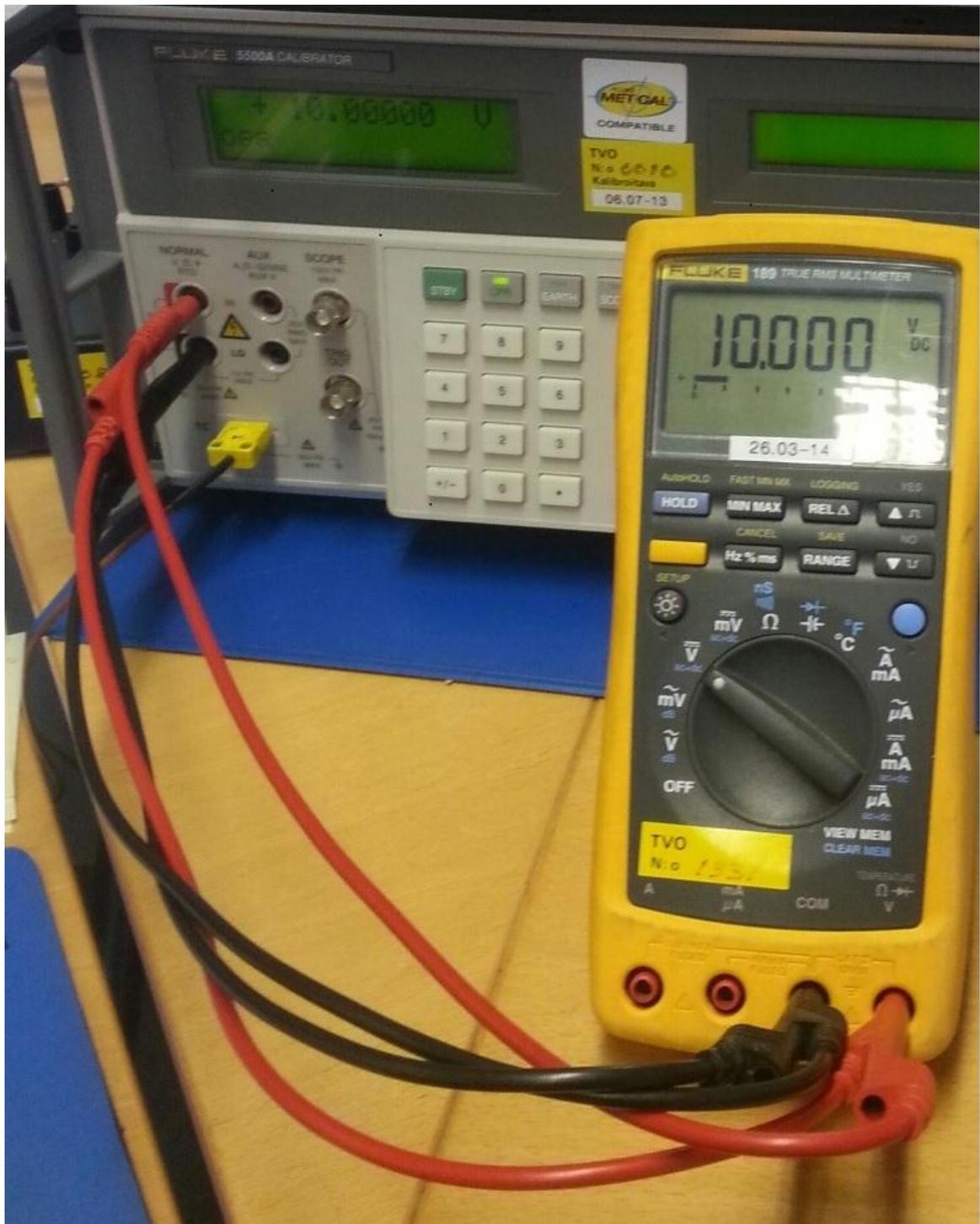
Vitikainen, E. 1993. Mittauslaitteiden kalibrointi. Tampere: Metalliteollisuuden Kustannus Oy.

LIITELUETTELO

- Liite 1 Yleismittarin kalibrointi
- Liite 2 Yleismittarin kalibrointi
- Liite 3 Painekalibrointi
- Liite 4 Kalibrointipöytäkirja

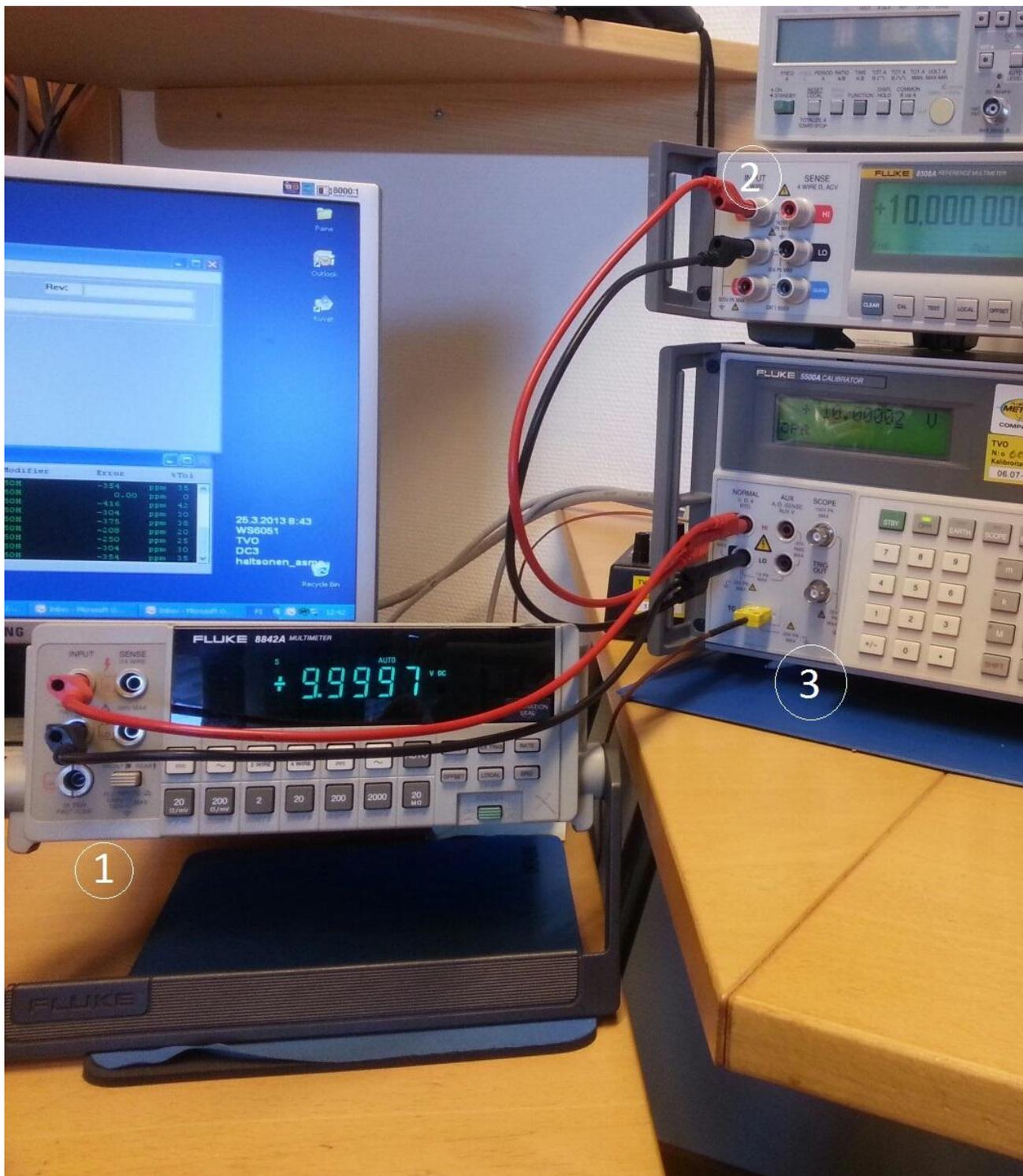
LIITE 1

Kuvassa on havainnollistettu, miten Fluken yleismittari liitetään Fluken 5500A kalibraattoriin. Fluke 5500A kalibraattorilla on mahdollista kalibroida 4,5 digitin tarkkuudella toimivia mittareita. Tästä tarkemmat mittarit vaativat Fluken 8508A lisätarkkuutta. Kuvassa näkyy tarkastettavan mittarin näyttämä 10 voltia.



LIITE 2

Kuvassa on havainnollistettu miten 5,5 digitin (1) yleismittari liitetään Fluken 5500A(3) kalibraattoriin ja 8508A kalibraattoriin (2). Tässä tapauksessa 5500A syöttää vain jännitteen. Kalibroitavaa mittaria vertaillaan Fluken 8508A kalibraattoriin. Vertailusta saadaan yleismittarin näyttämän epävarmuus.



LIITE 3

Kuvassa havainnollistetaan painekalibrointitilannetta. Ulkoinen paineanturi on kytketty painevaakaan. Painevaaka tarvitsee toimiakseen typpeä. Beamex MC-5 (1) toimii kalibrointitilanteessa anturin (2) näyttölaitteena. Levypunnusten määrä riippuu paineesta. Yksi kilon punnus (3) vastaa 10 baarin painetta. Paineensäätö-sylinteriä (5) liikuttamalla osoitinelementti (4) liikkuu. Osoitinelementti säädetään näytön puoliväliin.

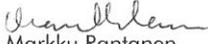


0003

KALIBROINTITODISTUS

KALIBRERINGSBEVIS

CERTIFICATE OF CALIBRATION

Nro nr • no.	M-04P012	
Tilaja Uppdragsgivare • Customer	Teollisuuden Voima Oy 27160 Olkiluoto	
Kalibroitu laite Kalibrerat instrument • Calibrated Instrument	Painevaaka	
Valmistaja Tillverkare • Manufactured by	Mansfield & Green	
Tyyppi Typ • Model	Kaasunpainevaaka Ametek 2000 kPa 2040	
Sarjanumero Serienummer • Serial number	Runko: 72258 Mäntä-sylinteriyhdistelmä: RK240	
Kalibrointipäivä Kalibreringsdatum • Date of calibration	10.2.2004	
Päiväys Datum • Date	26.2.2004	
Allekirjoitukset Underskrifter • Signatures	 Markku Rantanen Erikoistutkija	 Sari Semenoja Tutkija
Sivu Sida • Page	1/6	
Litteitä Bilagor • Appendices	9	



Mittatekniikan keskus
Lönnotinkatu 37
00180 Helsinki
(09) 616 761
www.mikes.fi



Tämän todistuksen osittainen julkaiseminen on sallittu vain kansallisen mittanormaalilaboratorion antaman kirjallisen luvan perusteella.
Utdrag ur detta bevis får endast publiceras med skriftligt tillstånd av det nationella mätnormalaboratoriet.
The Certificate may not be reproduced partially, except with prior approval of the issuing National Standards Laboratory.

Nro/nr/no. M-04P012

5/6

Epävarmuuden osatekijä	Suhteellinen epävarmuus (1 s) miljoonasosina (ppm)
Tulosten hajonta	74
Mittanormaanin epävarmuus	22
Kalibroitavan painevaa'an punnusten massojen epävarmuus	3
Kalibroitavan painevaa'an mäntä- sylinteriyhdistelmän lämpötilan epävarmuus ($\pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$)	27
Kalibroitavan painevaa'an pysty- suoruuteen liittyvä epävarmuus	3
Yhdistetty epävarmuus	82
Kokonaisepävarmuus (k=2)	164 ppm

7 HUOMAUTUKSIA

Esitetty kalibroititulos ja epävarmuuslaskelma vastaavat painevaa'an kuntoa kalibroitihetkellä. Niissä ei ole otettu huomioon mahdollisia ajan mittaan tapahtuvia muutoksia.

Kalibroitavan laitteen toimintakunnossa ei havaittu huomauttamista mittausten aikana.

Painevaa'an tuottama paine lasketaan kaavaa (1) käyttäen.

Kalibroitavan painevaa'an mäntä-sylinteriyhdistelmän lämpötilaa ei mitattu kalibroinnin aikana ja se oletettiin samaksi kuin ympäristön lämpötila.

Pyrittäessä mahdollisimman pieneen epävarmuuteen painevaa'an tuottama paine lasketaan kaavaa (1) käyttäen. Liitteessä 9 punnuksille valmiiksi laskettuja painearvoja voidaan käyttää silloin, kun mittauksiin riittää hiukan suurempi epävarmuus. Liitteen 9 lasketut arvot vastaavat painevaa'an käyttöä asiakkaan tiloissa Olkiluodossa, jossa putoamiskiihtyvyyden arvo asiakkaan antaman tiedon mukaan on $9,819852 \text{ m/s}^2$, ja lämpötilaa $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

KAASUPAINEVAA'AN TEHOLLISEN PINTA-ALAN MÄÄRITTÄMINEN
 0Mgbal1v2 12.10.02

M-04P012

File: 40210A

LIITE 4

KOHDE: Painevaaka Ametek nro 72258

Mäntä-syl.-yhdistelmä RK240, nim. painealue 2 ... 2000 kPa

Kuula+kann. massa 0,029039 kg Tiheys 8000 kg/m3 Kal. tod. M-04M025

Punnussarja 72258, kal. 13.2.2004, tod. M-04M025

Tih.: 8000 kg/m3

Teholl. pinta-alan lämpötilakerroin:

0,0000167 1/°C

Refer.taso mittanormaanin tasoon verrattuna:

-6,0 cm +/-0,5 cm

MITTANORMAALI: Painevaaka D&H 5203 nro 4401

Mäntä-syl.-yhdistelmä nro 4012, KN = 0,1 MPa/kg (kaasu)

Kalibroitu 12.11.2001 LNE:llä, tod. B101167/1

Männän massa 0,199998 kg Tiheys 7920 kg/m3 Kal. tod. M-03M073

Kannattimen massa 0,799990 kg Tiheys 7920 kg/m3 Kal. tod. M-04M006

Punnussarja 2988, kal. 30.7.2002 Tih. 7920 kg/m3 Kal. tod. M-M 1688

YMPÄRISTÖOLOT:

Aika: 10.2.2004

Paikka: MIKESin painelaboratorio

Lämpötila: 21,4 +/-1 C

Mittaaja: MR

Ilmanpaine: 1008

Ilman suht. kosteus: 45+/-10%

Putoamiskihti, g: 9,819057 m/s2

Ilman tiheydelle käytetty

Väliaine: Typpikaasu

arvo: 1,189 kg/m3

TULOKSET: MITTANORMAALI:

Nimell. paine	Punnusten massat	Lisäpunn. massat	Lämpö- tila	Punnusten massat	Lisäpunn. massat	Lämpö- tila	Laskettu paine	Laskettu p.-ala	Paino
MPa	kg	kg	C	kg	kg	C	MPa	mm2	
0,2	1,999987	0,01800	21,3	2,933621	0,00000	21,4	0,202058	142,53533	0,67
0,2	1,999987	0,01802	21,6	2,933621	0,00000	21,4	0,202060	142,53438	0,67
0,2	1,999987	0,01794	21,7	2,933621	0,00000	21,4	0,202051	142,54013	0,67
0,2	1,999987	0,01800	21,8	2,933621	0,00000	21,4	0,202057	142,53603	0,67
0,6	5,999980	0,01305	21,3	8,741951	0,00000	21,4	0,602076	142,54497	0,94
0,6	5,999980	0,01315	21,6	8,741951	0,00000	21,4	0,602085	142,54299	0,94
0,6	5,999980	0,01300	21,7	8,741951	0,00000	21,4	0,602069	142,54675	0,94
0,6	5,999980	0,01322	21,8	8,741951	0,00000	21,4	0,602091	142,54161	0,94
1	9,999980	0,00793	21,4	14,550351	0,00000	21,4	1,002077	142,55005	0,98
1	9,999980	0,00790	21,5	14,550351	0,00000	21,4	1,002073	142,55065	0,98
1	9,999980	0,00785	21,7	14,550351	0,00000	21,4	1,002066	142,55165	0,98
1	9,999980	0,00800	21,8	14,550351	0,00000	21,4	1,002081	142,54955	0,98
1,4	13,999957	0,00340	21,4	20,359391	0,00000	21,4	1,402135	142,55091	0,99
1,4	13,999957	0,00340	21,5	20,359391	0,00000	21,4	1,402134	142,55107	0,99
1,4	13,999957	0,00325	21,8	20,359391	0,00000	21,4	1,402115	142,55293	0,99
1,4	13,999957	0,00332	21,8	20,359391	0,00000	21,4	1,402122	142,55220	0,99
1,95	18,999953	0,49730	21,5	28,346859	0,00000	21,4	1,952229	142,55066	1,00
1,95	18,999953	0,49730	21,5	28,346859	0,00000	21,4	1,952229	142,55069	1,00
1,95	18,999953	0,49735	21,7	28,346859	0,00000	21,4	1,952230	142,55063	1,00
1,95	18,999953	0,49740	21,8	28,346859	0,00000	21,4	1,952234	142,55028	1,00

Painotettu keskiarvo

142,54742 mm2

Painotettu hajonta

0,00546 mm2

Suhteell. hajonta (pain.)

38,3 ppm

Laskettuihin pinta-aloihin
sovitettu suora:

Pinta-ala S(20,0)

142,53837 mm2

Paineriippuvuus

0,00354 mm2/MPa

Paineriipp. lambda

2,5E-05 1/MPa

Tulosten hajonta

24,8 ppm

YHTEENVETO TULOKSISTA
Painevaaka Ametek nro 72258

(filet 40209A ja 40210A)

Paine [kPa]	Kuula-syl.yhdistelmän tehollinen pinta-ala [mm ²]
2,000	142,561
2,000	142,564
2,001	142,500
2,000	142,529
7,000	142,569
7,000	142,555
7,001	142,553
7,001	142,543
22,002	142,543
22,002	142,544
22,003	142,540
22,003	142,540
52,013	142,536
52,012	142,538
52,013	142,536
52,013	142,535
102,026	142,537
102,025	142,538
102,025	142,538
102,025	142,538
172,036	142,542
172,036	142,541
172,037	142,541
172,037	142,540
202,058	142,535
202,060	142,534
202,051	142,540
202,057	142,536
602,076	142,545
602,085	142,543
602,069	142,547
602,091	142,542
1002,077	142,550
1002,073	142,551
1002,066	142,552
1002,081	142,550
1402,135	142,551
1402,134	142,551
1402,115	142,553
1402,122	142,552
1952,229	142,551
1952,229	142,551
1952,230	142,551
1952,234	142,550
Keskiarvo	142,544 mm ²
Hajonta	0,011 mm ²
Suht.hajonta	74 ppm

PAINEVAA'AN TEHOLLISEN PINTA-ALAN MÄÄRITTÄMINEN M-04P012
0Mgbal2bv2 6.2.03 File 40209A LIITE 1

KOHDE: Painevaaka Ametek nro 72258

Mäntä-sylinteriyhdistelmä RK240, nim. painealue 2 ... 2000 kPa

Kuula+kann. massa 0,029039 kg Tiheys: 8000 kg/m³

Punnussarja 72258, tod. M-04M025 Tiheys: 8000 kg/m³

Teholl. pinta-alan lämpötilakerroin: 1,67E-05 1/C

Referenssitaso mittanormaalien tasoon verrattuna: -6 +/- 0.5 cm

MITTANORMAALI: Painevaaka Desgranges & Huot 23111 nro 4402

Mittauspää 0 ... 0,2 MPa nro 4531 Voimakal.: KN = 100000 1/kg

Kalibroitu 11.11.2003, tod. M-03P143

MITTAUSOLOSUHTEET: Paikka: MIKES painelaboratorio

Aika: 9.2.2004

Mittajat: MR

Lämpötila: 21,4 +/-1 C

Ilman suht. kosteus: 45+/-10%

Ilmanpaine: 995+/-2 hPa

Ilman tiheydelle käytetty

Putoamiskiiltvyvyys g: 9,81906 m/s²

arvo: 1,171 kg/m³

TULOKSET:		MITTANORMAALI:		KALIBROITAVA PAINEVAAKA:				
Nimell. paine kPa	Näyttämä	Lämpö- tila C	Paine kal. pvn tasossa kPa kg	Punnusten massat kg	Lämpö- tila C	Lask. p-ala mm ²	Paino w	
2	3994,1	23,3	1,9998	0,029039	21,5	142,561	0,11	
2	3994,0	23,4	1,9997	0,029039	21,5	142,564	0,11	
2	3995,8	23,4	2,0006	0,029039	21,5	142,500	0,11	
2	3995,0	23,5	2,0002	0,029039	21,5	142,529	0,11	
7	13980,5	23,3	6,9997	0,101651	21,5	142,569	0,20	
7	13981,9	23,4	7,0004	0,101651	21,5	142,555	0,20	
7	13982,1	23,4	7,0005	0,101651	21,5	142,553	0,20	
7	13983,0	23,5	7,0010	0,101651	21,5	142,543	0,20	
22	43945,0	23,3	22,0024	0,319464	21,5	142,543	0,36	
22	43945,0	23,4	22,0024	0,319464	21,5	142,544	0,36	
22	43946,1	23,4	22,0029	0,319464	21,5	142,540	0,36	
22	43946,0	23,5	22,0028	0,319464	21,5	142,540	0,36	
52	103884,5	23,3	52,0129	0,755160	21,5	142,536	0,55	
52	103882,7	23,4	52,0119	0,755160	21,5	142,538	0,55	
52	103884,6	23,4	52,0129	0,755160	21,5	142,536	0,55	
52	103885,0	23,5	52,0130	0,755160	21,5	142,535	0,55	
102	203774,0	23,3	102,0255	1,481296	21,5	142,537	0,77	
102	203772,8	23,3	102,0249	1,481296	21,5	142,538	0,77	
102	203772,6	23,4	102,0247	1,481296	21,5	142,538	0,77	
102	203773,6	23,5	102,0252	1,481296	21,5	142,538	0,77	
172	343604,4	23,4	172,0357	2,497842	21,5	142,542	1,00	
172	343605,3	23,4	172,0361	2,497842	21,5	142,541	1,00	
172	343606,5	23,4	172,0366	2,497842	21,5	142,541	1,00	
172	343607,9	23,5	172,0373	2,497842	21,5	142,540	1,00	

+ 0,00373 b_{air}
Painotettu keskiarvo
Painotettu hajonta
Suhteellinen hajonta (pain.)

142,540 mm²
0,0071 mm²
49,7 ppm

8

PAINEEVAAN PUNNUSTEN PAINEARVOJEN EPÄVARMUUS KÄYTÖN AIKANA

M-04P012 LIITE 9 sivu 2(2)

Painevaaka: D&H 5202S nro 2453, mäntä-sylininteri yhdistelmä nro 943

Laskelmassa on otettu huomioon seuraavat osatekijät (k=2):

Tehollisen pinta-alan epävarmuus (kalibr.tod. M-04P012)	164 ppm
Putoamiskiihtyvyydelle käytetyn arvon epävarmuus	2 ppm
Punnusten massojen epävarmuus	20 ppm
Lämpötilan epävarmuus (+/- 2 °C)	55 ppm
Ilman tiheyden vaihtelusta johtuva epävarmuus	30 ppm
Mahdolliset muutokset kalibrointivälillä, arvio (massat ja tehollinen pinta-ala)	100 ppm

Osatekijät nettilisesti yhdistettynä 203 ppm = 0,020 %

Kaasunpainevaakaa käytettäessä alle 10 cm korkeuserokorjauksen epävarmuutta voidaan pitää merkityksettömänä.

