

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU  
Elektroniikan koulutusohjelma / Tietoliikennetekniikka

Juuso Kukkaro

KALIBROINTIRAPORTOINNIN KEHITTÄMINEN

Opinnäytetyö 2012

# TIIVISTELMÄ

## KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

### Elektroniikan koulutusohjelma

KUKKARO, JUUSO

Kalibroitiraportoinnin kehittäminen

Insinööri

45 sivua + 1 liitesivua

Työn ohjaaja

Lehtori Marko Saxell

Toimeksiantaja

Strömfors Electric Oy

Maaliskuu 2012

Avainsanat

kalibrointi, mittausepävarmuus, GPIB

Tämä opinnäytetyö on tehty toimeksiantona sähkötarvikkeita valmistavalle Strömfors Electric Oy:lle sähkötarviketestauslaboratorion sekä tuotannon laadunvalvonnassa käytettävien sähköisten suureiden mittalaitteiden kalibrointia varten. Pyrkimyksenä oli luoda Strömforsin käyttöön kevyt, mutta teknisesti kattava kalibrointijärjestelmä, soveltaen mittauksia koordinoivien järjestöjen ja kaupallisten toimijoiden malleja.

Työ alun pohjustus pyrkii luomaan sillan valmistavan teollisuuden mittausten ja kansainvälisten standardien sekä korkeimman tason mittanormaalien välille. Tavoitteena on osoittaa miten kalibrointitoimintaa pyritään ohjaamaan ja mitä sillä pyritään saavuttamaan. Työn käytännön tarkoituksena on kartoittaa mittausepävarmuuteen vaikuttavia tekijöitä, niiden merkitystä kalibrointiin sekä kehittää tehtaan sähköisten mittalaitteiden kalibrointien kirjausta.

Kirjausten kehityksen ja kalibroinnin standardoimisen pohjana on hyödynnetty muun muassa EURAMET:n julkaisemia ohjeita. Apuna on käytetty myös mittalaittevalmistajien suosittamia käytäntöjä, jotka ovat lähtöisin valmistajien sisäisistä toimintamalleista.

Käytännön tuloksena syntyi kalibrointilomake, johon on sisällytetty ohjaus GPIB-väylän kautta referenssimittarin arvojen talteenottoa varten. Toiminnallisuuden mahdollistava lähdekoodi itsessään on avointa ja käytetyt työkalut ovat yleisesti saatavilla normaalissa yritys ympäristössä. Myös käytetyn GPIB-adapterin dokumentaatio sekä lisäsovelluksia on vapaasti saatavilla. Lomake toimii hyvänä pohjana muidenkin mittaustulosten tallentamisen automatisoinnille niin laadunvalvonnassa kuin kalibroinnissakin tehtaalla. Lisätuna toteutukseen valitulla kalustolla saavutettiin kustannussäästö pienentämällä leasing-tietokoneiden kantaa.

## ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Electronics

KUKKARO, JUUSO

Developing the Calibration Reporting

Bachelor's Thesis

45 pages + 1 pages of appendices

Supervisor

Marko Saxell, Senior Lecturer

Commissioned by

Strömfors Electric Oy

March 2012

Keywords

calibration, measurement uncertainty, GPIB

This thesis work was commissioned by wiring device manufacturer Strömfors Electric Oy for the calibration of electrical measurement devices used in the factory's testing laboratory and production quality assurance. The aim was to develop a light but yet comprehensive calibration system by utilizing international standardizing organizations' guidelines and commercial manufacturers' best practices.

The thesis aims to provide a bridge between measurements in the manufacturing industry and the highest level of international standards and definitions of units. In practice, it tries to identify factors affecting the uncertainty of measurement, their relative effect to the calibration and develop the recording of results during calibration process.

As a result, an interactive form was created which has functions embedded to control and record the results of the reference instrument over GPIB bus. The code enabling the functionality in the form is open sourced and the office tools used are widely available in a normal business environment. Also, the used GPIB bus adapter has its documentation and several other applications freely available. The form serves as a good basis for the management of calibration results and can further be used to increase automation of recording measurements in laboratory and quality control applications. Reducing the costs by cutting the number of necessary lease-based computers was an additional benefit.

# SISÄLLYS

## TIIVISTELMÄ

## ABSTRACT

TERMILUETTELO	6
JOHDANTO	8
1 METROLOGIA	9
1.1 Metrologiaorganisaatiot	10
1.1.1 Metrisopimus	10
1.1.2 Ekvivalenssisopimus	12
1.1.3 EURAMET	12
1.1.4 OIML	12
1.2 Metrologia Suomessa	13
1.3 Kalibrointi ja jäljitettävyys	14
1.4 Kalibrointi testauksessa	15
2 TUOTETESTAUS	16
2.1 Tuotantojärjestelyt	16
2.2 Tuotantotestaus	17
2.3 Automatisoidut mittaukset	18
2.4 GPIB-väylä	18
3 KALIBROINNIT	19
3.1 Laitekannan ylläpito	20
3.2 Kalibrointivälineet	21
3.3 DMM Kalibrointi	21
3.3.1 Resistanssi	23
3.3.2 Jännite	23
3.3.3 Virta	23
3.4 Epävarmuustarkastelu ja jäljitettävyys	24

4 KALIBROINNIN JÄRJESTÄMINEN	25
4.1 Tila ja olosuhteet	26
4.1.1 Lämpötila	27
4.1.2 Kosteus	27
4.1.3 Paine	28
4.1.4 Muut vaikuttavat tekijät	28
4.2 Kalibroittavat laitteet	30
4.3 Kalibroittolaitteet	31
4.4 Epävarmuustekijöitä	32
4.4.1 Resistanssi	32
4.4.2 Vastusdekadin mittauksen epävarmuus	34
4.4.3 Jännite	36
4.4.4 Virta	37
5 KALIBROINTIRAPORTOINNIN KEHITTÄMINEN	37
5.1 Kalibrointipohjan toiminnot	39
5.2 Koodi painikkeissa	41
6 YHTEENVETO	42
LÄHTEET	43
LIITTEET	
Liite 1. Kalibrointi- ja tarkastusohje	

## TERMILUETTELO

BIPM	<i>Bureau international des poids et mesures</i> , kansainvälinen paino- ja mittatoimisto
SI	<i>Système international d'unités</i> , kansainvälinen SI-mittayksikköjärjestelmä
CGPM	<i>Conférence générale des poids et mesures</i> , kansainvälinen paino- ja mittakomitea
CIPM	<i>Comité internationale des poids et mesures</i> , kansainvälinen paino- ja mittakomitea
EURAMET	<i>European Association of National Metrology Institutes</i> , kansallisten metrologiajärjestöjen yhteiselin Euroopassa.
OIML	<i>Organisation Internationale de Métrologie Légale</i> , Lakisääteisen metrologian kansainvälinen pääelin
Mikes	Mittatekniikan keskus
Finas	Suomen kansallinen akkreditointielin
EMEA	Europe, Middle-East, Africa. Markkina- ja yhteistoiminta-alue
Tukes	Turvatekniikan keskus
WD	<i>Wiring Devices</i> , WD-tuotteet, johdotuslaitteet kuten rasia- ja pistokytkimet
True-RMS	<i>True Root Means Square</i> , todellinen tehollisarvo
ADC	<i>Analog to digital converter</i> , analogia-digitaalimuunnin
ESD	<i>Electrostatic Discharge</i> , elektrostaattinen purkaus
EPA	<i>Electrostatic Protective Area</i> , staattisilta varauksilta suojattu alue
GUM	<i>Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement</i> , ohjeistus epävarmuustarkastelun tekoon

- TUR *Test uncertainty ratio*, kalibroitavan mittalaitteen ja kalibroinnissa käytettävän referenssin epävarmuuksien suhde.
- GPIB *General Purpose Interface Bus*, nopea lyhyille etäisyyksille tarkoitettu mittalaitteväylä, joka tunnetaan myös nimellä IEEE-488.
- VBA *Visual Basic for Applications*, Visual Basic, joka on sisäänrakennettu Microsoft Office -ohjelmiin ohjaustoimintojen tekemiseksi.

## JOHDANTO

Tämä insinöörityö tehtiin sähkötarvikevalmistaja Strömfors Electricille. Alunperin työn tavoitteena oli sulauttaa yhteen Strömfors Electricin ja Elari electronicsin tuotantotestaus- ja mittalaitteiden kalibrointi sekä niiden ylläpito ja ennakkohuoltotoiminta. Tehtävä tuli aiheelliseksi vuoden 2010 alussa, kun Elari Electronics siirtyi yritysoston kautta Strömforsin hallintaan ja sen toiminta siirrettiin omasta toimipisteestään samaan tehtaaseen Strömforsin sähkötarvikevalmistuksen kanssa. Molemmilla yrityksillä oli olemassa kalibrointijärjestelmä ja ohjeistus sen ylläpitoon, joten lähtökohtaisesti työhön kuului vanhojen järjestelmien ja ohjeiden kartoittaminen ja niiden yhdistäminen yhdeksi järjestelmäksi.

Yhdistämisen lisäksi oli tärkeää päivittää järjestelmä tämän päivän vaatimuksien mukaiseksi ja täydentää ohjeistusta puutteiden osalta. Kokonaistavoitteena oli yhdistää parhaat käytännöt molempien yritysten kalibrointijärjestelmistä sekä tarpeen mukaan kehittää teknisiä apuvälineitä työn suorittamiseen.

Koska opinnäytetyö oli sivutoimi varsinaisten päivätöiden ohella, oli sen tekeminen hidas prosessi. Markkinoiden ja maailmantalouden tilanteen seurauksena myös Strömforsin tiloihin siirretyn elektroniikkatuotannon siirtymän kehittyville markkinoille valmistettavaksi ehti tapahtua opinnäytteen vielä ollessa kesken. Siitä seurauksena yli puolet alkuperäisen työn sisällöstä ja tavoitteista on ajan myötä vaihtunut uusiin. Alkuperäistavoitteista kuitenkin säilyi järjestelmän selkeyttäminen sekä teknisten apujen kehittäminen.

Strömfors Electric Oy on sähköasennustarvikkeita ja niiden osakomponentteja valmistava tuotantolaitos Ruotsinpyhtäällä. Juuret ulottuvat vuonna 1695 Petjärvelle perustettuun rautaruukkiin. Ruukki nimettiin Strömforsiksi 1744 omistuksenvaihdon yhteydessä. Muoviosien valmistus alkoi tehtaalla 1947. Tuotannossa on ollut kattavasti erilaisia muovituotteita, joista täysipainoiseen sähköasennustarvikkeiden tuotantoon keskityttiin 1980. Strömforsin palveluksessa oli vuonna 2010 keskimäärin 250 työntekijää ja sen liikevaihto oli noin 47 miljoonaa euroa. Vuodesta 1999 lähtien Strömfors on kuulunut maailmanlaajuiseen Schneider Electric –konserniin. (1.)

**Schneider Electric** on maailmanlaajuinen energianhallinnan asiantuntija, jolla on toimintaa yli 100 maassa. Konserni on johtava toimija energia- ja



infrastruktuurimarkkinoilla, teollisissa prosesseissa, rakennusautomaatiossa sekä tietoliikennekeskuksissa ja tietoverkoissa. Lisäksi se on laajalti edustettuna asuinkiinteistösovelluksissa. Energian käytön turvallisuuteen, luotettavuuteen ja tehokkuuteen keskittyvällä liiketoiminnalla yritys saavutti 19,6 miljardin euron liikevaihdon vuonna 2010. Tästä myynnistä vastasivat yrityksen noin 110 000 työntekijää, jotka auttavat yksilöitä ja organisaatioita hyödyntämään energiaa tehokkaasti. Lähes puolet myynnistä on keskittynyt Eurooppaan. Toinen merkittävä markkina-alue sijaitsee Yhdysvalloissa. Suurin kasvu tulee kehittyviltä markkinoilta.

(1.)

## 1 METROLOGIA

Metrologia on mittauksia käsittelevä tieteenala, joka tutkii muun muassa mittayksiköiden realisoitua käytännön sovelluksiin ja mittausmenetelmiä sekä -laitteita. Nykyisin mittaaminen ja mittayksiköiden käsittely on osa jokapäiväistä elämäämme. Harvalla on syvällistä tietoa siitä, mihin mittaukset ja niihin liitetyt yksiköt, kuten metri ja kilo perustuvat. Kuitenkin hyödynnämme niitä luottaen siihen, että jaamme yhteisen käsityksen yksiköiden olemuksesta. Talouselämä on riippuvainen mittausten luotettavuudesta sekä kansallisesti että maailmanlaajuisesti ja tieteellinen yhteistyö pohjautuu samaan luottamukseen. Yhteistyön edistämiseksi kansalliset metrologiaorganisaatiot ovat verkostoituneet ja jakavat keskenään tietoa mittanormaaleista, mittausmenetelmistä ja toimintatavoista.

Metrologia on jakautunut kategorioihin mittausten tarkkuuden ja monimutkaisuuden mukaan:

- 1 Tieteellinen metrologia käsittelee mittanormaalien ja niiden ylläpidon kehitystyötä ja organisointia.
- 2 Teollisuusmetrologian tehtävänä on varmentaa tuotannossa ja kehitystyössä käytettävien mittalaitteiden riittävä tarkkuus ja tarkoituksenmukaisuus.
- 3 Lakisääteinen metrologia huolehtii mittauksista jotka vaikuttavat taloudellisten toimien läpinäkyvyyteen, terveyteen, turvallisuuteen ja viranomaisten toimiin jotka koskevat kansalaisia. (3, 10.)

Perusmetrologialla ei ole kansainvälistä määritelmää, mutta se yleensä käsittää korkeimman mahdollisen tarkkuustason kulloisellakin mittaussuureiden osa-alueella. Perusmetrologiaa voi pitää tieteellisen metrologian korkeimpana mahdollisena tasona.

Luonnontieteellinen tutkimus kehittyy ja vaatii yhä tarkempia mittauksia. Metrologian on kehityttävä tieteen ja tutkimuksen mukana, jotta yhä tarkempien mittausten tekeminen olisi mahdollista ja sitä kautta olisi mahdollista luoda edellytykset jatkossakin tieteen kehittymiselle.

Metrologia tieteenä kattaa kolme päätehtävää:

- 1 Kansainvälisestä hyväksytyjen mittayksiköiden määrittely
- 2 Yksiköiden realisointi tieteen keinoin
- 3 Jäljitettävyysetjujen luonti dokumentoimalla mittaukset ja niiden epätarkkuudet. (3, 9.)

Metrologiaan kuuluu mittausten tieteellinen käsittely sekä käytännön soveltaminen mittaustarkkuudesta riippumatta.

## 1.1 Metrologiaorganisaatiot

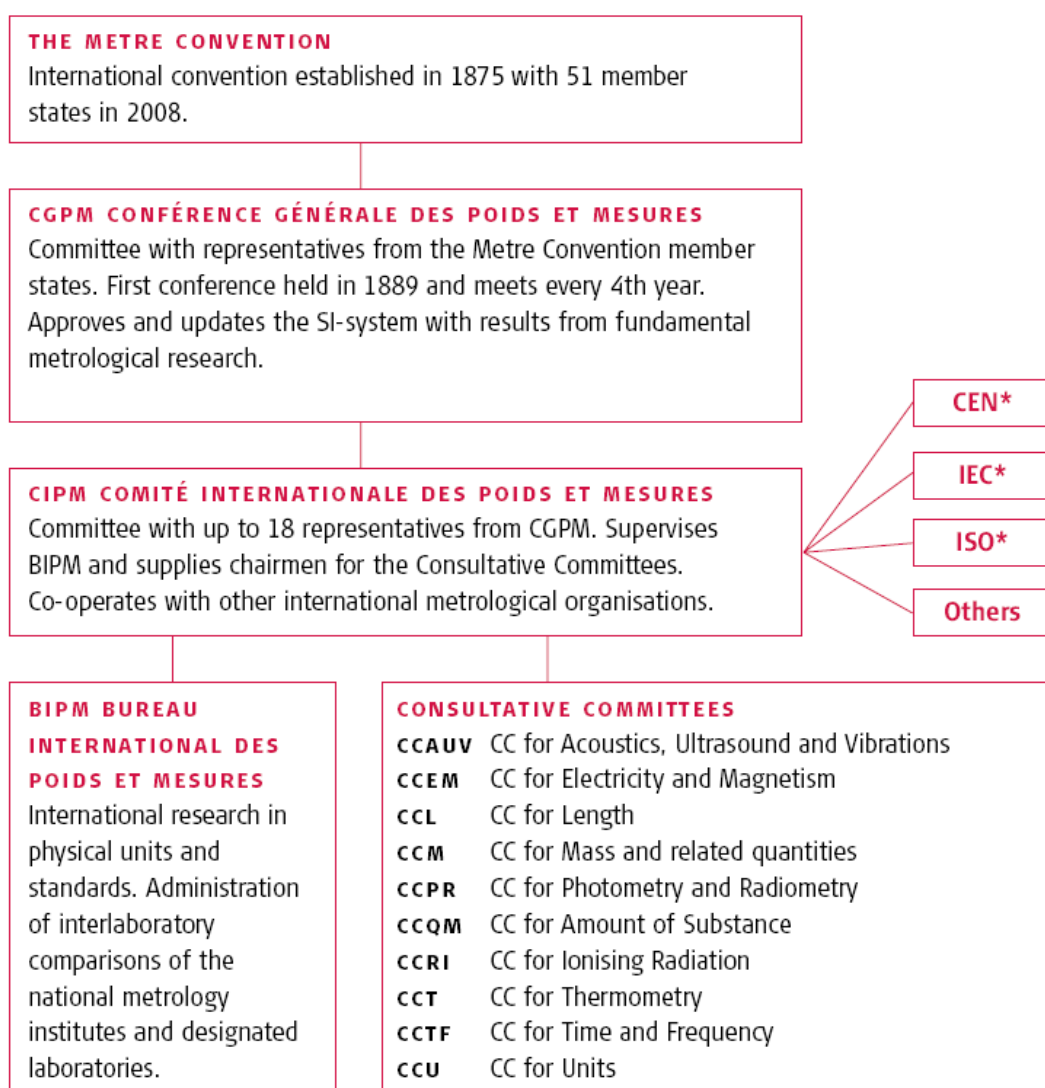
### 1.1.1 Metrisopimus

Ihmiskunta on mitannut jo faaraoiden ajoista saakka ja näiden mittausten avulla pyrkinyt viemään tiedettä ja kaupankäyntiä eteenpäin. Tieteen ja kaupan kehittyessä kasvoi tarve yhä tarkemmille mittauksille sekä yhteistyön helpottamiseksi yhteisille mittayksiköille.

Vuonna 1875 järjestettiin Pariisissa kokous, jossa allekirjoitettiin 17 valtion kesken diplomaattinen metrisopimus, joka loi pohjan nykyiselle kansainväliselle metrologia-yhteistyölle. Samassa yhteydessä päätettiin perustaa tieteellinen laitos, kansainvälinen paino- ja mittatoimisto (BIPM), jonka toiminnan allekirjoittaneet rahoittavat. Aluksi järjestelmän pohjan muodostivat metri ja kilogramma, jota myöhemmin täydennettiin muilla yksiköillä. Näistä kehitettiin kansainvälinen

mittayksikköjärjestelmä SI. Vuonna 2008 metrisopimuksen piiriin kuului 51 maata. Jäsenmaat osallistuvat neljännesvuosittain järjestettävään yleiseen paino- ja mittakonferenssiin (CGPM), jonka tarkoituksena on BIPM:n ohjaus ja SI-mittayksikköjärjestelmän kehittäminen. (3, 29.)

Vuosittaista valvonta- ja ohjaustyötä hoitaa konferenssin valitsema komitea (CIPM), joka myös valmistelee esitykset teknisiä päätöksiä varten konferenssin käytettäväksi. Komitean työtä tukee 10 alakomiteaa, joista jokaisella on oma metrologian erityisalue vastuullaan. Seuraava kuva selventää monitahoista metrologiaorganisaatioiden ja elimien linkittymistä toisiinsa tutkimusalaakohtaisine komiteoineen. (3, 30.)



Kuva 1. Metrisopimuksen organisaatiokaavio (2, 32)

### 1.1.2 Ekvivalenssisopimus

Kansainvälinen paino- ja mittakomitea (CIPM) perusti vuonna 1999 ekvivalenssisopimuksen (MRA). Sopimuksen tarkoitus on lisätä ja helpottaa metrologista yhteistyötä tunnustamalla kansallisten metrologiainstituuttien kalibrointien, referenssimittojen ja myönnettujen sertifikaattien keskinäinen yhdenvertaisuus. Kerran mitattu, kaikkialla pätevä (2, 30).

Sopimusmaiden vienti kattaa 90 % maailmankaupasta ja siksi on tärkeää, että on olemassa sopimus, joka turvaa teknisen perustan, viranomaisten ja muiden osapuolien kaupankäynnistä tekemille sopimuksille ja säädöksille. Sopimuksen osapuolet ylläpitävät luottamusta keskenäisillä vertailuilla ja auditoinneilla. Mittauksia verrataan kansainvälisesti toisiinsa ja kansallisten mittanormaallilaboratoroiden tulee omata uskottava laatujärjestelmä sekä kyetä osoittamaan pätevyys kansainvälisten kriteerien mukaisesti. Kansallisten mittanormaallilaboratoroiden mittauskykytieto on julkaistu BIPM:n ylläpitämässä kaikille avoimessa tietokannassa osoitteessa [www.bipm.org/kcdb](http://www.bipm.org/kcdb).

### 1.1.3 EURAMET

Kansalliset metrologiainstituutit (NMI) ovat liittyneet yhteen alueellisten organisaatioiden kautta. Nykyisin euroopan alueella toimintaa hallinnoi EURAMET, joka vuodesta 2007 otti haltuunsa toiminnan jo miltei 20 vuotta yhteistoimintaa ohjanneelta EUROMET:ltä. Tarkoituksena oli aikaansaada vahvempi lainvoimainen organisaatio, jolla pystytään ajamaan toiminta-alueen yhteisiä etuja ja koordinoimaan tutkimusta keskitetysti.

Hallinnoinnin lisäksi EURAMET julkaisee ohjesarjoja muun muassa eri suureiden kalibrointien toteuttamiseen ja metrologiainstituuttien toimintojen yhtenäistämiseksi. Tämänkin työn soveltavan osuuden toteuttamisessa on hyödynnetty EURAMET:n julkaisemaa ohjetta yleismittarien kalibroimiseksi.

### 1.1.4 OIML

Lakisääteisen metrologian kattojärjestö OIML (International Organisation of Legal Metrology) on valtioiden välinen sopimusjärjestö, jonka tarkoituksena on

vakaustoiminnan kansainvälinen yhdenmukaistaminen. OIML toimii yhteistyössä metrisopimuksen ja BIPM:n kanssa. Perustamisestaan lähtien järjestö on pyrkinyt tarjoamaan jäsenmailleen teknisiä ohjeita ja mallisäädöksiä sovellettavaksi kansallisen lainsäädännön luomiseen. Yhteisiä mallisäädöksiä ja ohjeita soveltamalla aikaansaadaan kansainvälisesti hyväksytyt pohja lainsäädännölle, joka koskee lakisäätteiden mittavälineiden käyttöä ja valmistusta. Yhteisellä ohjeistuksella vähennetään mittavälineiden kansainvälisen kaupan teknisiä esteitä.

OIML-sertifiointijärjestelmä, joka esiteltiin 1991, mahdollistaa valmistajille sertifikaatin ja testiraportin saamisen mittavälinetyypin määräystenmukaisuuden osoittamiseksi. Sertifikaatin julkaisee OIML:n jäsenmaa, joka on osoittanut toimielimen suorittamaan valmistajien pyytämää tyyppihyväksyntää. Sertifikaattien hyväksyntä muissa maissa on vapaaehtoista. (2, 37)

## 1.2 Metrologia Suomessa

Suomessa MIKES ylläpitää ja kehittää kansallista mittanormaalijärjestelmää ja vastaa SI-yksikköjärjestelmän toteuttamisesta. *Kansallinen mittanormaalijärjestelmä realisoi Suomessa tarvittavat SI-mittayksiköt. Sen tehtävänä on Suomen teollisuuden ja muun elinkeinoelämän kilpailukyvyyn tukeminen tarjoamalla luotettavia ja jäljitettäviä kalibrointipalveluja. Kansallinen mittanormaalijärjestelmä perustuu erityiseen lakiin, jonka mukaan Mittatekniikan keskuksen nimeämät kansalliset mittanormaallilaboratoriot vastaavat kansallisista mittanormaaleista.* (3).

MIKESin toimintoihin kuuluu akkreditointiyksikkö FINAS (Finnish Accreditation Service), joka toimii toiminnallisesti ja taloudellisesti itsenäisenä osana Mittatekniikan keskusta. FINAS-akkreditointipalvelu toimii Suomessa kansallisena akkreditointielimenä, jonka tehtävänä on tarjota kansainvälisten kriteerien mukaista akkreditointipalvelua. FINAS toteaa päteväksi kalibrointi- ja testauslaboratorioita, sertifiointielimiä, tarkastuslaitoksia, vertailumittausten järjestäjiä sekä päästökauppa- ja EMEAS-todentajia. (3)

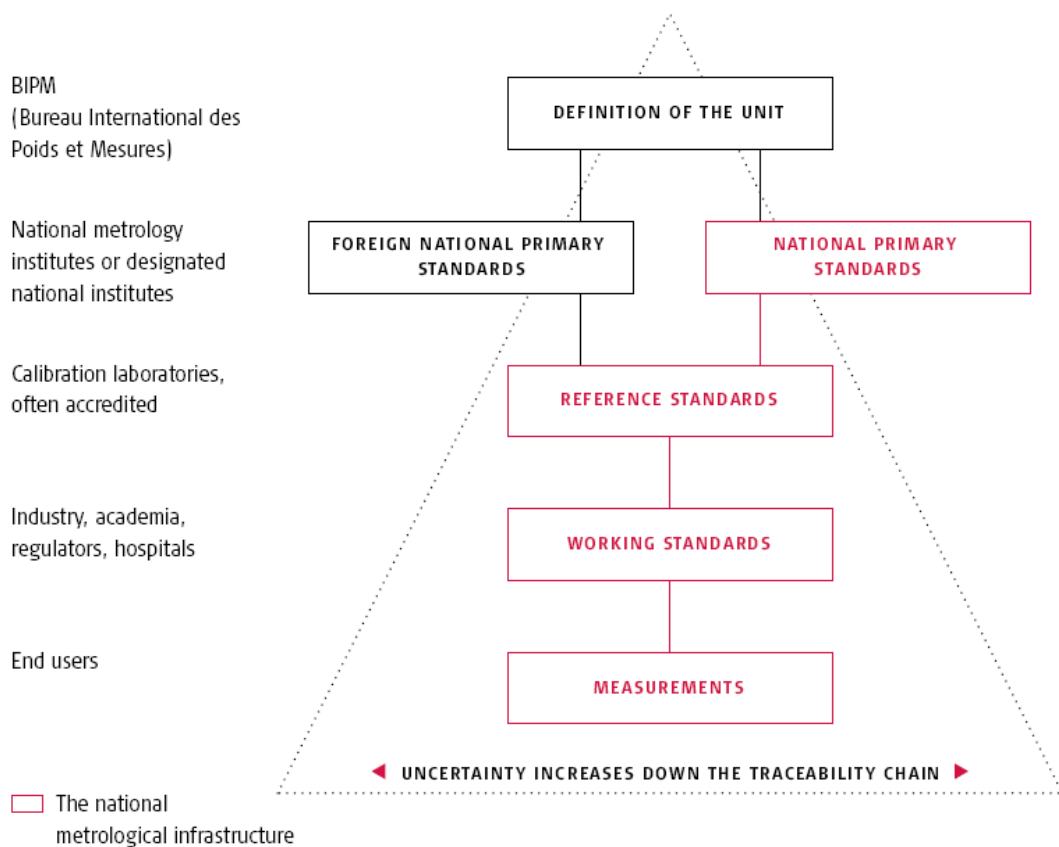
Suomessa lakisäätöisen metrologian alueelle kuuluvaa toimintaa ohjaa ja valvoo Turvatekniikan keskus TUKES, joka myös avustaa kauppa- ja teollisuusministeriötä alan lainsäädännön valmistelussa. Turvatekniikan keskus validoi tarkastuslaitokset, joilla on oikeus tehdä vakaus- ja tyyppitarkastuksia. Laitosten on oltava luotettavia,

riippumattomia, kansainvälisesti uskottavia ja ennen kaikkea ammattitaitoisia. Inspecta Oy:llä on maankattava organisaatio ja pätevyys toimia kaikissa tyyppitarkastukseen ja vakaukseen liittyvissä tehtävissä. Inspecta toimii Skandinaviassa sekä Baltiassa ja sen omistaa pääomasijoitusyhtiö 3i. (4)

### 1.3 Kalibrointi ja jäljitettävyys

Jäljitettävyysketju on katkeamaton vertailuketju, jossa kaikilla mittanormaalien vertailuilla tulee olla ilmoitetut epävarmuudet. Tällä varmistetaan, että mittaustulos tai normaalin arvo on sidoksissa ylempien tasojen mittanormaaleihin aina primäärinormaaliin asti ja siten yksikön määritelmään.

Mittanormaali on kiintomitta, mittauslaite, vertailuaine tai mittausjärjestelmä, jolla määritellään, realisoidaan, säilytetään tai toistetaan suureen mittayksikkö tai suureen yksi tai useampi referenssiarvo (2, 17.). Kuvassa 2 on mittanormaalien hierarkisuus jossa pyramidin huipulla edustaen tarkinta mahdollista tasoa on yksikön määritelmä ja perustan muodostavat tavanomaiset yleisillä välineillä toteutetut tuotantomittaukset.



Kuva 2. Mittanormaalien hierarkia (2, 20)

Kalibrointi on perustyökalu mittanormaalien jäljitettävyyden varmistamisessa. Kalibroinnilla tarkoitetaan toimenpiteitä, joilla spesifioiduissa olosuhteissa määritetään mittalaitteen, -järjestelmän tai vertailumateriaalin ja mittanormaalien välinen yhteys. Kalibroinnissa mittalaitteen näyttämää voidaan myös säätää antamaan oikea lukema, mutta sitä ei edellytetä. Monimutkaiset järjestelmät voidaan kalibroida useassa osassa, esimerkiksi ilmaisin ja elektroniikka erikseen. (5, 5)

Kaikkien kalibrointien on oltava jäljitettävissä samoihin mittanormaaleihin tai suureisiin, jotta eri paikoissa tehdyt mittaukset olisivat vertailukelpoisia. *Kalibrointi pätee vain kalibroidulle laitteelle, kalibroidulle suurelle ja sen arvolle, kalibrointihetkellä ja kalibroinnin aikana vallinneissa olosuhteissa. Kaikki muu on otettava erikseen huomioon. Kalibroinnin epävarmuus kasvaa aina käytetyn mittanormaalien epävarmuuteen verrattuna.* (5, 6)

#### 1.4 Kalibrointi testauksessa

Kalibroinnilla varmistetaan, että ne tarkastus-, mittaus- ja testausvälineet, joilla varmistetaan tuotteen laatu, täyttävät niille asetetut vaatimukset. (Liite 1)

Tehtaan sähköisten suureiden mittalaitteet kalibroidaan testauslaboratorion toimesta jossa myös enemmistö tuotannon laatua seuraavista sähköisistä mittauksista suoritetaan. Kalibroituja mittareiden avulla voidaan valtaosa muun testausvälineistön toimintakunnosta tarkistaa joko piiritasolla tai testausmalleja apuna käyttäen. Tällainen on esimerkiksi laboratorion suurjännitelähde, jolla todennetaan tuotteiden riittävät eristevälit. Ulkoisella toimijalla kalibroidaan työstandardina toimiva Fluke 8842A pöytäyleismittari.

Sarjatuotannossa käytettävien testauslaitteiden luotettava toiminta on edellytys tehokkaalle valmistukselle. Erityisesti komponentit, jotka vaikuttavat mittausten uusittavuuteen ja kalibroinnin säilyvyyteen jatkuvassa kuormituksessa ovat suuri osa tätä luotettavuutta. Testauslaitteiden toimivuus tarkastetaan tuotantoerän alussa ja sen jälkeen niiden on kestävä satojen, jopa tuhansien kappaleiden testaus tai kymmenien tuhansien syklien mittaiset testausohjelmat yhtäjaksoisesti. Mikäli toiminta keskeytyy testaus tai mittalaitteen hajoamiseen tai niiden epäluotettavaan toimintaan, aiheutuu siitä viivästys valmistukselle ja sitä kautta tappioita tehtaalle. Kun on epäilystä testauksessa käytettävien laitteiden luotettavuudesta, on välineet

tutkittava, mahdollisessa vikatilanteessa on laitteet korjattava ja koko tuotantoerä tarkastettava uudestaan. Tuotannon kannalta on tärkeää, että myös ulkopuolella kalibroittavien mittalaitteiden kalibroitodistuksista ilmenee laitteen mittauvirhe ennen mahdollista säätöä. Ilman tietoa säätöä edeltävästä toimivuudesta menetetään jäljitettävyyttä sen aikaisempaan toimivuuteen sekä laitteen stabiiliuden historiatieto. Mikäli näitä tietoja ei ole ja laitetta on säädetty kalibroinnin yhteydessä, joudutaan harkitsemaan aikaisempien erien uudelleentestausta, josta pahimmassa tapaksessa aiheutuu tuotteiden takaisinvetoja.

## 2 TUOTETESTAUS

### 2.1 Tuotantojärjestelyt

Tuotanto tehtaalla oli aikaisemmin jakautunut vahvasti sähkömekaanisten tuotteiden ja elektroniikan valmistuksen kesken. Tilanne on normaali ottaen huomioon molempien tuoteryhmien valmistuksen aiheuttamat erityisvaatimukset. Tuotantotilojen ja valmistustapojen erilaisten vaatimusten lisäksi ero näkyi myös mittaustavoissa, joilla valmistusta seurattiin. Kytkin- ja pistorasiatuotannossa (sähkömekaaniset tuotteet) käytettiin laadullisina mittareina valmistuneiden tuotteiden hylkyprosenttia, mahdollisia kirjattuja osavikoja sekä tuotantomäärää tunnissa. Elektroniikkatuotannossa oli näiden lisäksi käytössä eriteltyt vikatyypit. Testauksien määrällinen ero suhteessa tuotantomäärään oli suuri. Sähkömekaanisten tuotteiden sähköisten ominaisuuksien laatua seurataan otanta- ja määräaikaistesteillä, kun elektroniikkatuotannossa jokainen valmistettu kappale koestettiin.

Käytännössä samat yleiset suuntaviivat (standardit) ohjaavat sähkötarvikkeiden valmistusta ja siihen liittyvää testausta. Suurimmat erot ilmenevät testien ja testauslaitteiden monimutkaisuudessa sekä testausympäristön vaatimuksissa.

Kytkimien ja pistorasioiden varsinaisten suoritusarvojen mittaaminen ja määräystenmukaisuus tarkastetaan laboratoriossa standarditestein määräaikaistarkastusohjeen mukaan. Tarkastuksia tehdään muulloinkin tarvittaessa, kun vikaa tai epäily sellaisesta ilmenee, esimerkiksi kun tuotteiden päivittäisessä seurannassa havaitaan muutoksia osissa tai osakokoonpanoissa.



Määräaikaistestauksen lisäksi on otettu käyttöön päivittäinen seuranta tuotantokytkimille, jolla valvotaan niiden kytkentähäviöitä. Kyseessä on soveltava testaus, jolla on tarkoitus havaita poikkeamia ja siten ohjata laatuhenkilöstöä tutkimaan poikkeaman syitä ja sen vaikutuksia tuotteen toimivuudelle.

## 2.2 Tuotantotestaus

Viallisten tuotteiden pääsy markkinoille on haitallista yrityksen maineelle ja pahimmassa tapauksessa, varsinkin sähkötarvikkeiden ollessa kyseessä, vaaraksi asiakkaan tai asentajan hengelle. Testauksen tarkoitus on estää viallista tuotetta pääsemästä asiakkaalle. (6, 1.)

Yksinkertaisten tuotteiden testauksessa riittävä tarvikkeiden ja materiaalien laadunvalvonta sekä ajoittainen tarkistusotanta voi taata lopputuotteiden tasokkuuden. Peruskytkin omaa jo 15 toiminnallista osaa ja osien määrä nousee yli 20:n, kun otetaan mukaan kytkimen pintakalusteet (visuaaliosat) sekä pakkaus. Erikoisemmissa kytkinmalleissa monimutkaisuusaste nousee, mutta tämänkaltaista tuotantoprosessia voidaan vielä ohjata tiukalla osien laadunvalvonnalla sekä määräaikaistestauksilla, vaikka vikamekanismit eivät aina ole yksinkertaisia. Virheet näkyvät jo valmistusvaiheessa toisin kuin esimerkiksi elektroniikkatuotteissa olevat ESD-vauriot, jotka voivat ilmetä vasta vuosien kuluttua.

Pistorasioita ja kytkimiä kalliimpien ja toiminnallisuudeltaan monimutkaisempien tuotteiden, kuten elektroniikkalaitteiden valmistuksessa, massatestaus omaa etuja varsinkin, jos tuotteeseen on jo suunnitteluvaiheessa implementoitu testausrajapinta. Testaus tuotannossa pysäyttää selkeästi virheelliset tuotteet ennen pääsyä asiakkaalle. Mittatietojen ja vikamäärien seurannasta saadaan tietoa mm. prosessista ja kausivaihteluista. (6, 4.) Statistiikan ja tuotannonohjauksen lisäksi tietoa voidaan hyödyntää tuotekehityksessä esimerkiksi komponenttivalmistajan vaihtumisen vaikuttaessa tuotteen toimivuuteen.

Elektroniikkatuotteiden tuotantotestauksen kehittämisessä on tuotantotekniikan sekä tuotekehityksen läheinen yhteistyö tarpeen. Varsinkin testausongelmien ilmetessä vaaditaan sekä hyvää tuotetuntemusta että teknistä ymmärrystä testauslaitteiston toiminnasta. On tärkeää kyetä selvittämään onko ilmennyt ongelma tuote vai testauskohtainen. Esimerkiksi tuotteen versiomuutos voi aiheuttaa vaikeasti

selvitettäviä ongelmia testaukselle varsinkin, jos tuotantotekniikka ei ole tietoinen muutoksista. Kattava dokumentointi ja tiedon välittäminen nousee erityisen tärkeään asemaan, mikäli tuotantotestaus tai testauslaitteiden valmistus ulkoistetaan, jolloin tuotetuntemuksen tuoma kokemus joudutaan korvaamaan muilla tiedonlähteillä.

### 2.3 Automatisoidut mittaukset

Monet elektroniikkatuotteiden tuotantotestit, kuten muitakin puoli- tai täysiautomaattisia testauksia tuotanto- ja tutkimuskäytössä, voidaan suorittaa usean mittalaitteen tietokoneohjattuna yhteistyönä. Tietokoneelle tehty testiohjelma ohjaa testiympäristön mittalaitteita ja tehonlähteitä esiohjelmoitujen sekvenssien mukaan, kone antaa tiedon testin etenemisestä ja läpäisystä operaattorille ja mahdollisesti tallentaa testausdatan tietokantaan tai taulukkoon myöhempää analyysiä varten. Ohjelma voi olla yksinkertaisimmillaan hakukäsky portista, johon mittalaite on kytketty ja palauttaa ainoastaan mittatiedon, joka näkyy laitteen näytölläkin. Laajimmillaan ohjelma voi olla useista mittalaitteista, antureista ja muista mittausten ohjeilaitteista koostuva ilman ihmisen ohjausta toimiva adaptiivinen järjestelmä.

Monista uusista laitteista löytyy jo niiden tietokoneisiin liittämistä varten USB-väylä. Todennäköisempi mahdollisuus kuitenkin on, että laite on varustettu sarja- tai GPIB-portilla. Sarjaportti on yksinkertainen ottaa käyttöön mikäli sellainen löytyy suoraan tietokoneesta, mutta erillisen sovittimen kanssa voi syntyä yhteensopivuusongelmia. Sarjaporttiin on helppo itse valmistaa tarvittavat ohjauskaapelit. Sen rajoitteina on hidas nopeus, eikä se ole samalla tavoin ketjutettavissa kuin GPIB-väylä.

### 2.4 GPIB-väylä

GPIB on alunperin lähtenyt HP:n 60-luvun lopulla kehittämästä instrumentointiliitännästä. Sen tultua suosituksi muut valmistajat alkoivat kopioida sitä ja lopulta siitä muodostui standardiliitäntä mittalaitteille, jotka tunnetaan nykyisin GPIB- tai IEEE-488 -väylänä. GPIB:n etuina ovat kohtuullinen datanopeus ja helppo ketjutettavuus, vaikka nykytekniikan valossa kaapelit ja liittimet ovat hieman kömpelöitä käyttää. Väylän sovittaminen tietokoneeseen tapahtuu pääasiassa normaalin PCI tai PCI-E lisäkortin, USB- tai PCMCIA-sovittimen avulla. Datanopeudeltaan ja ohjelmistotueltaan lisäkortti on paras vaihtoehto. PCMCIA on lähinnä kannettavien tietokoneiden käyttöön sopiva väline. USB-sovitin on hieman

hitaampi nopeudeltaan, eivätkä kaikki testausympäristöt anna tukea käytettäville piireille, mutta se on helppokäyttöinen niin pöytä- kuin kannettavissakin koneissa.

Tähän projektiin valikoitui USB-sovitin. Se on miellyttävä käyttää, koska se voidaan kytkeä suoraan mittalaitteen GPIB-porttiin tarvitsematta hankkia ja käyttää raskaita väyläkaapeita. Adapterin ollessa kiinni mittalaitteessa, voidaan kytkentä tietokoneeseen suorittaa kevyellä ja taipuisalla USB-kaapelilla. Ulkoiselle USB-sovittimelle ei ole tarvetta vuokrata yksinomaan kalibrointia varten varattua huoltosopimuksineen varsin kallista keskusyksikköä, joka makaa valtaosan ajasta kalibrointihuoneessa vajaakäytöllä. Niiden saanti harrastajaystävälliseen hankintahintaan ja sovellettavuus omaan käyttöön jälkeenpäin näyttelivät myös merkittävää osaa hankintapäätöksessä kulujen langetessa itselleni. Automaattisissa tuotantolinjoilla suoritettavissa mittauksissa pienetkin katkot ovat varsin haitallisia varsinkin, jos mittaussovitinta ei saada haettua uudestaan uudelleenkäynnistämättä ohjelmaa. Valmiiden testauskehitysympäristöjen kuten LabViewin vajaa tuki kolmansien valmistajien sovittimille ei ole ongelma jatkuvaa käyttäjävalvontaa vaativassa sovelluksessa kuten kalibroinnissa, jossa myös valtaosa mittausvirheiden havaitsemisesta ja korjauksesta on mittauksen suorittajan vastuulla.

### 3 KALIBROINNIT

Kaikista tehtaan mittalaitteista on laadittu mittalaittekortti. Mittalaittekortit säilytetään sähköisessä järjestelmässä. Elektroniikkaosastolla on ollut käytössä LaatuWIN-ohjelma ja muualla tuotannossa ArrowMaint. Ohjelmista löytyvät tarkat tiedot mittalaitteista sekä niille tehdyistä toimenpiteistä. Järjestelmien kautta löytyvät myös edellisten kalibrointien pöytäkirjat.

Tehtaan referenssimittari Fluke 8842A lähetetään vuosittain ulkopuoliselle toimijalle kalibroitavaksi. Fyysisten mittojen tarkastuksessa käytettävä Smartscope videomittalaite kalibroidaan vuosittain tehtaalta toimittajalta tilattuna palveluna. Itse valmistetut testilaitteet tarkistetaan myös vuosittain. Tyypillisesti tarkastuksen yhteydessä mittausneulat ja vastaavat kuluvat toimintaan vaikuttavat osat vaihdetaan. Testauslaitteiden kuormituksen vaihtelevuuden vuoksi ei neuiloille ole vielä olemassa ennakoivaa tarkastus/vaihtoaikataulua. Vaihdot on suoritettu vasta ongelmien ilmaantuessa tai vuosittaisessa tarkastuksessa. Vaihdotarpeen ja kulumisen kartoittamiseksi on perustettu taulukkoseuranta, johon on merkitty testilaittekohtaisesti

käytettävät neulat ja niiden vaihdot. Seurannan avulla pyritään myös helpottamaan varaosatilauksen ja huoltojen ennakoitua sekä alihankinnassa olevien testilaitteiden varaosien hallintaa.

Uusien mittalaitteiden saattamiseksi kalibroinnin piiriin on kaikista uusista hankinnoista ilmoitettava työkaluosaston johdolle mittalaittekortin luontia ja ensitarkistusta varten. Samassa yhteydessä myös valmistajan tai jälleenmyyjän toimittama kalibroitodistus siirretään sähköiseen järjestelmään. On ensisijaisen tärkeää tuoda uudet välineet kalibroitijärjestelmän piiriin mahdollisimman pian hankinnasta ja mieluiten ennen käyttöönottoa. Parhaassa tapauksessa mittalaitteiden hankinnoissa tehdään yhteistyötä kalibroinneista vastaavien henkilöiden kanssa.

Sähköisten suureiden mittalaitteiden hankinta käsittää nykyisellään lähinnä laboratorion käytössä olevat mittarit, koska tuotantokäyttöä ei enää ole. Näiden laitteiden kalibrointi on siirretty laboratorion vastuuhenkilön eli allekirjoittaneen tehtäväksi.

### 3.1 Laitekannan ylläpito

Tehtaalla on ollut käytössä kaksi rinnakkaista tietokantaohjelmaa laitekannan ylläpidossa ja huoltojen suunnittelussa. Elektroniikkaosastolla oli Elarilta periytynyt LaatuWin ohjelma ja muualla tehtaalla 2010 käyttöönotettu ArrowMaint-ohjelma. Laatuwin sisälsi kaikki Elarilta siirtyneet mittalaitteet ja tuotantotestausvälineet, joiden kalibroitipöytäkirjat olivat erillisinä excel-taulukoina verkkolevyllä. ArrowMaint käsittää kaikki tehtaan tuotantolaitteet ja mittavälineet. Elektroniikkatuotannon siirron yhteydessä LaatuWinin laitekantatieto lisättiin ArrowMainttiin, mutta sen ylläpito säilyi vanhan ohjelman puolella. Nyt elektroniikkavalmistuksen loputtua tehtaalla jäljelle jääneiden mittalaitteiden ylläpito siirrettiin ArrowMaintin puolelle, johon saadaan myös helposti linkitys kalibroitipöytäkirjoihin laitekortin alle.

Laitekanta ylläpitää mittalaitteen hankinta ja muita rekisteritietoja. Tärkeimpiä ovat kalibroinnin voimassaolo, valmistaja, sarjanumero ja käytävä osasto. Näillä tiedoilla voidaan oikea mittalaite löytää ja tunnistaa kalibroinnin tullessa ajankohtaiseksi. Kantaan saadaan talteen myös huoltotapahtumat ja poikkeamat laitteen käytön ajalta.

Tietoja voidaan hyödyntää laitteiden kuormituksen tasaamisessa ja ennakoivan huollon kehittämisessä. Huolto-ohjelmistojen lisäksi elektroniikkaosastolla oli käytössä verkkolevyiltä löytyvät varaosa ja huoltotaulukot sekä kalibrointipöytäkirjat.

### 3.2 Kalibrointivälineet

Yleismittareiden tarkastuksessa käytettävät välineet on merkitty intrasta löytyvään mittareiden tarkastuohjeeseen. Tarkastusohjeen mukaisesti yleismittareista kalibroidaan vain tuotannossa käytettävät mitta-alueet eli tasa- ja vaihtojännite sekä virta ja resistanssi.

Tarkastuksessa käytettävät välineet:

- Yleismittarien tarkastuspöytäkirjat
- DC jännitelähde Oltronix B703 DT
- AC jännitelähde EP-400A
- Kalibroitu referenssiyleismittari Fluke 8842A
- Vastusdekadi
- Mittajohtoja

Mittauspöytäkirjapohjat ovat excel-lomakkeina, joihin kirjataan valmistajan spesifikaation mukainen mittatarkkuus kullakin mitta-alueella sekä kalibroinnissa käytettävät mittauspisteet. Mittauspisteet valitaan EURAMET dokumentin cg-15 mukaan soveltuvien osien ja olemassa olevan kaluston sallimissa rajoissa.

### 3.3 DMM Kalibrointi

Kalibroinnin oikeellisuuteen ja luotettavuuteen vaikuttaa monia tekijöitä kuten:

- inhimilliset tekijät
- tilat ja ympäristöolot
- testaus- ja kalibrointimenetelmät ja menetelmien validointi
- laitteisto
- mittausten jäljitettävyyys
- näytteenotto
- testattavien ja kalibroitavien kohteiden käsittely

Yleisohjeena elektroniikkaosaston mittareiden kalibroinnissa on käyttää pöytäkirjapohjista löytyviä mittauspisteitä. Mittapisteen kalibroittoa aloitettaessa valittu 50 % ja 99 % täydestä näytämästä kullakin mittausalueella. Uusia kalibrointeja tehtäessä mittauspisteet muutetaan EURAMET:in suosituksen mukaisiksi, joka hieman lisää mittauspisteiden määrää, mutta samalla vie toimintaa lähemmäs kansainvälisesti hyväksi todettua toimintatapaa. Mittauspisteiden lisääntyminen ei vaikuta merkittävästi työkuormaan, koska kalibroitavien mittalaitteiden määrä on pienentynyt murto-osaan aiemmasta.

Kalibroittoiminnalle osoitettu tila elektroniikkatuotannossa oli olosuhteiltaan kontrolloimaton. Mittaustilan lämpötila ja kosteusvaihtelut noudattivat muun tehdassalin tilannetta. Rakennusten ikä sekä rakennustapa eivät mahdollistaneet tarkkaa ympäristön hallintaa. Jotta mittareferenssin suurin tarkkuus voidaan hyödyntää, täytyy ympäristön lämpötilan olla valmistajan ilmoittamissa rajoissa, jolloin tarkkuutta ei tarvitse laskea ilmoitetun heikennyskertoimen mukaan. Käytännössä tämä tarkoitti, että kalibrointeja voitiin toteuttaa, kun lämpötautot eivät olleet voimassa tuotanto-osastoilla, sillä talviaikaan tehdassalin lämpötila erikoistapauksia lukuunottamatta pysyy 18 asteen yläpuolella mikä täyttää vaaditun  $23\pm 5^{\circ}$  C. Suuret olosuhdevaihtelut kuitenkin vaikuttavat laitteiden ikääntymiseen ja kalibroitavien mittarien tasaantumiseen mittaustyöympäristön olosuhteisiin. Avoin ympäristö, joka on suorassa yhteydessä mm. Ruiskupuristuskonesaliin, ei ole oikea ympäristö tarkkuutta vaativille mittauksille tai elektroniikkatuotannolle. Lisäksi varsinkin talviaikana kuiva ilma lisää elektrostaattisten varausten voimakkuutta mikä nostaa purkausten ja siten piileviä vikoja omaavien tuotteiden riskiä. Kalibroittoiminnan kannalta aiheuttaa kalustoa vanhentavan likaantumisen lisäksi voimakkaat sähkö- ja magneettikentät, joita läheisyydessä toimivien tuotantokoneiden jaksoittainen käynti aiheuttaa. Mittauskaluston sähkönsyöttö on samasta ryhmäkeskuksesta kuin viereisen salin puristuskoneiden, jolloin jaksottaisten kuormitushuippujen aiheuttamat jännitteenalenemat ja kytkeytyvät häiriöt näkyvät suoraan mittalaitteiden verkkopuolella. Näiden kalibroittoiminnan kannalta haitallisten ilmiöiden takia on myös sähkötekniisiä suureita mittaavien laitteiden kalibrointi siirretty pois tuotantotilasta samaan kalibroittilaan kuin muutkin tehtaan työnormaalit.

### 3.3.1 Resistanssi

Resistanssialueet kalibroidaan vastusdekadin avulla. Mittari sekä referenssi kytketään vuoronperään vastusdekadiin ja molemmista otetaan lukema. Referenssiä ja kalibroitavaa mittaria ei voida kytkeä samanaikaisesti piiriin vastusmittauksen toteutuksen vuoksi, jossa mittaava laite syöttää piiriin virtaa ja mittaa siinä syntyvän jännitehäviön.

Referenssimittarillakin dekadin vastusarvo mitataan kaksijohdinmittauksena, vaikka se kykenisi tarkempaan nelijohdin mittaukseen. Nelijohdinmittauksen tuoma etu pienenee suuremmilla vastusarvoilla ja mittauskytkennän ollessa referenssissä ja kalibroitavassa mittarissa sama voidaan johtimet ja niiden kytkentäilmiöt yhdistää epävarmuustarkastelussa vastusdekadiin liittyvinä osina.

### 3.3.2 Jännite

Tasa- ja vaihtojännitteelle on kummallekin oma teholähteensä referenssijännitteen muodostamiseksi kalibrointia varten. Samat lähteet ovat käytössä myös virta-alueiden kalibroinnissa. Teholähteellä aikaansaadaan referenssijännite, joka mitataan saman aikaisesti lähteeseen rinnan kytketyllä sekä referenssi- että kalibroitavalla mittarilla ja tulokset kirjataan. Sekä vaihto- että tasajännitteellä kalibrointialuetta rajoittaa jännitelähteen alhainen maksimiulostulo. Vaihtojännitelähde ylittää 300 V:iin asti, joten se kattaa tuotannon mittauksissa esiintyvät suureet, mutta ei kata mittalaitteiden koko skaalan kalibrointia. Näin suurilla jännitteillä on kiinnitettävä erityistä huomiota toimenpiteiden turvallisuuteen. Minimisuosituksena voidaan pitää turvabanaaniliittimien käyttöä mittausjohdoissa. Hyvään toimintatapaan kuuluu ulostulon katkaisu kytkentää muutettaessa, mikäli sellainen on mahdollista käytettävissä laitteissa.

### 3.3.3 Virta

Virta-alueet kalibroidaan samoilla teholähteillä vastaavalla menettelyllä kuin jännitealueetkin, mutta mittarit kytketään sarjaan. Virtamittauksissa rajoituksena on referenssimittarin 2A maksimi mittausalue ja kalibroidun virtashuntin puuttuminen. Tasavirtakalibroinnissa käytettävä teholähde on jänniteohjattu ja omaa vain hyvin karkean virtarajoituksen, joka vaikeuttaa tarkkaa asettelua. Teholähteiden ollessa vain

jänniteohjattuja esiintyy varsinkin tasajännitelähteessä ajoittaista epävakautta virta-alueita kalibroitaessa sekä mittauspiirin että verkkosyötössä tapahtuvien muutosten takia. Referenssimittari on ohjattu GPIB-väylän kautta, joten siitä saadaan ajallisesti kattava usean mittauksen keskiarvo tulokseen, mutta kalibroitavan mittarin näyttämän vaihtelu vaikeuttaa oikean lukeman valintaa lisäten kalibroinnin epävarmuutta.

### 3.4 Epävarmuustarkastelu ja jäljitettävyys

Kalibroinnin jäljitettävyyden varmistamiseksi on myös ketjun viimeisessä lenkissä huolehdittava epävarmuustarkastelun tekemisestä sekä kiinnitettävä huomioita epävarmuutta aiheuttavien tekijöiden minimointiin. Ilman epävarmuustarkastelua kalibroinnin tulosta ei voida pitää jäljitettävänä, eikä sitä silloin voi verrata muihin tuloksiin tai referenssiarvoihin. Yleisesti hyväksytty menettelytapa ja sanasto epävarmuuden käsittelyyn löytyvät GUM-dokumentista. (7, 3) Guide to the expression of uncertainty of measurement (GUM) on saatavissa painettuna kansainvälisiltä metrologiajärjestöiltä, mutta löytyy myös ilmaiseksi sähköisessä muodossa OIML:n sivuilta.

GUM menettelytavassa epävarmuudet jaetaan tyyppin A satunnaisiin ja tyyppin B systemaattisiin epävarmuusetekijöihin. Tyyppin A epävarmuudet voidaan laskea tilastollisesti. Tyyppin B epävarmuuden määrittely vaatii tarkkoja referenssiarvoja, aikaisempia tuloksia tai tietoa kirjallisuudesta tai valmistajalta. A tyyppin epävarmuutta voidaan pienentää näytteistystä suurentamalla ja keskiarvoistamalla tulokset, mutta tyyppin B epävarmuus pysyy aina samana. GUM-menettelyssä kaikki mittaukseen vaikuttavat virhelähteet pyritään yksilöimään ja niitä tarkastellaan kullekin virhelähteelle sopivalla tavalla. Lopuksi yksittäisten virhelähteiden epävarmuudet yhdistetään ja muodostetaan koko kalibroinnin yhdistetty standardiepävarmuus. (7, 3)

Mittausepävarmuustarkastelua ei ole esitetty nykyisissä kalibrintipöytäkirjoissa. Tarkastelua ei vaadita ilmoitettavaksi raportissa, mutta sen on oltava kalibroinnin suorittavan osapuolen tiedossa. Tarkastelussa tulee ottaa huomioon kalibroitavan mittalaitteen sekä referenssistandardin epävarmuuksien suhde (TUR), jonka suositetaan olevan vähintään 4:1 (8, 5), jotta voidaan varmistua riittävästä luotettavuudesta. Epävarmuuksien suhteiden laskemisessa on huomioitava niille annettu luotettavuusväli. Mikäli sitä ei ole ilmoitettu, on se syytä selvittää valmistajalta.

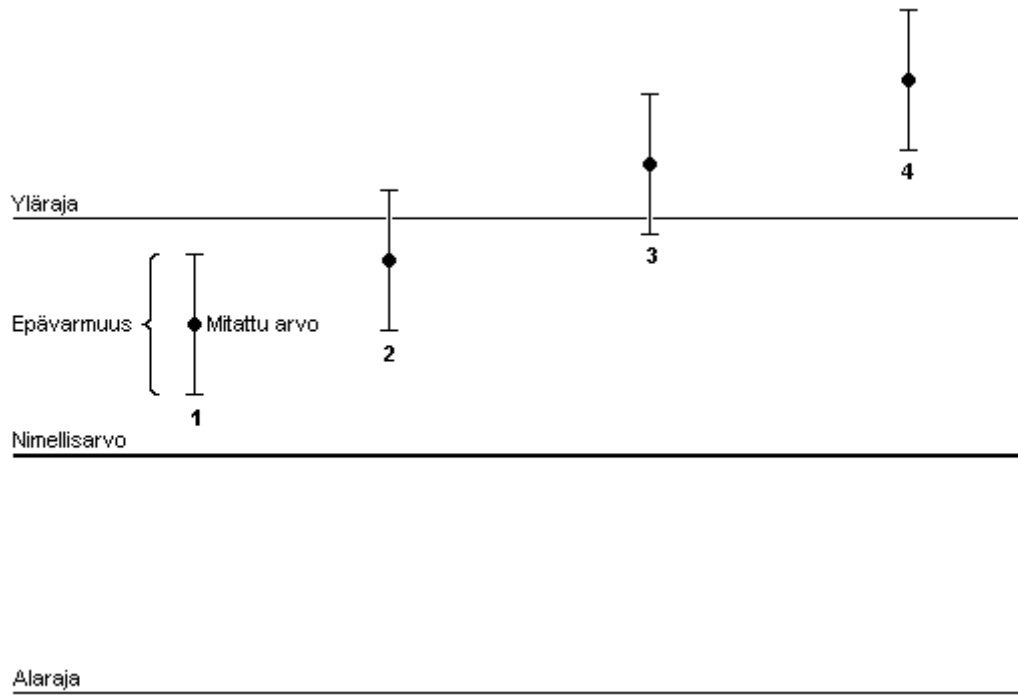


#### 4 KALIBROINNIN JÄRJESTÄMINEN

Kalibroinnin luotettavuuden takaamiseksi on koko kalibrointiprosessi niin toimenpiteiden kuin välineiden ja ympäristönkin osalta oltava tarkoin dokumentoitu. Sen lisäksi, että prosessin on oltava kalibroinnin suorittavan henkilöstön tiedossa, on myös toimenpiteiden merkitys ja prosessista poikkeamisen merkitys ymmärrettävä. Ero ISO 9001 ja ISO 17025 laatustandardien välillä on mm. henkilöstön pätevyyden vaatimuksissa. Testaus ja kalibrointilaboratorioita käsittelevä ISO 17025 nimenomaan korostaa henkilöstön riittävän pätevyyden merkitystä. Henkilöstön pätevyyden merkitys on helppo hahmottaa miettimällä, kuinka moneen kalibroinnin tarkkuuteen vaikuttavaan osa-alueeseen henkilöstö voi toiminnallaan puuttua.

Tehtaalla suoritettavan kalibrointitoiminnan tarkoitus on varmistaa, että mittalaitteet täyttävät niille asetetut vaatimukset eli ovat sekä valmistajan spesifikaation mukaisia että riittävän mittauskäytöksiä käyttötarkoitukseensa. Kalibroinnissa verrataan referenssimittarin ja kalibroitavan laitteen näyttämää, joiden on oltava valmistajan antamissa rajoissa kalibroinnin epävarmuus huomioiden. Koska suurin osa kalibroinneista tehdään laitteilla on yksinkertaisiksi käsitettäviä mittauksia, voidaan referenssimittarin spesifikaatiota pitää riittävänä kalibroinnin epätarkkuutena, muutamaa poikkeusta lukuunottamatta. Kappale 5.4 käsittelee näitä epätarkkuustekijöitä, mutta vain harva mainituista tekijöistä vaikuttaa mittaustuloksiin siinä tarkkuusluokassa, jossa tehdään laitteilla pystytään mittauksia suorittamaan.

Ideaalitulanteessa vain hyvät mittalaitteet hyväksytään ja huonot hylätään. Reaalimaailmassa epävarmuuden jakauman vuoksi osa tuloksista kuitenkin on alueella, josta ei pystytä varmasti toteamaan, onko kalibroitava laite huono vai johtuuko tulos referenssilaitteen epävarmuudesta. Näissä rajatapauksissa voi huono laite tulla hyväksytyksi ja hyvä hylätyksi. Rajatapauksissa on syytä merkitä kalibrointiraporttiin maininta, ettei täyttä varmuutta tuloksen oikeellisuudesta ole tai epävarmuuden luotettavuus on alhaisempi kuin muissa tapauksissa. Kuva 5 näyttää kaikki neljä mahdollista tapausta kuinka mittaustulos epävarmuuksineen voi asettua suhteessa laitteen spesifikaatioon. Kuva tehty selityksen pohjalta havainnollistamaan mahdollisia tulkintaongelmia, joita syntyy laitteiden ja mittausten epäideaalisuuksista.



Kuva 5. Kalibroinnin rajatapaukset.

Kuvan tapaukset 1 (hyväksytty) ja 4 (hylätty) ovat yksiselitteisiä. Tapaus 2 on hyväksytty varauksin ja 3 hylätty varauksin. Mittalaitteiden epävarmuuksien suhteen (TUR) lähestyessä 1:1 virheellisten tulkintojen mahdollisuus kasvaa suuresti. Silloin mitatun arvon epävarmuus lähestyy ylä- ja alarajaa ja valtaosasta tapauksia tulee tulkittavia.

Virheellisen hyväksynnän riskiä voidaan pienentää ottamalla käyttöön varmistusrajoja (guard banding). Tuotantokäyttöihin on olemassa monia erilaisia tapoja valita rajarvot tai varmistuskertoimet, jotka ovat erilaisia kompromisseja virheellisten hyväksyntien ja hylkäyksien suhteen. Esimerkiksi Agilentin sivuilta löytyy aihetta tarkemmin käsittelevä julkaisu *Differences in Guard Banding Strategies*.

#### 4.1 Tila ja olosuhteet

Suosituksen mukaan kalibrointitilan on oltava lämpötilan ja kosteuden suhteen säädely, tärinätön ja vapaa häiritsevista elektromagneettisista kentistä. Puhtaus ja siisteys vaikuttavat mittausten lisäksi työmuukavuuteen ja kalibrointia suorittavan osapuolen uskottavuuteen. Vaatimukset ja niiden numeeriset rajat kovenivat mittaustarkkuuden kasvaessa. Strömforsin käyttöön voidaan katsoa riittäväksi

mittalaitteiden käyttötason kalibrointi  $23\pm 5$  °C lämpötilassa  $45\pm 25$  % suhteellisessa kosteudessa. Valmistajan vaatimukset ovat samat käytössä olevalle mittanormaalille. Kun pysytään mittanormaalien ilmoitetuissa toimintarajoissa, voidaan hyödyntää valmistajan sille osoittamaa epävarmuutta ilman heikennyskertoimia.

#### 4.1.1 Lämpötila

Lämpötila vaikuttaa suoraan mittalaitteiden ja kalibroinnissa käytettävien välineiden komponenttien ja osien arvoihin. Johtavien osien, kuten vastusten resistanssin lämpötilakertoimet, vaikuttavat komponenttien ja siten merkittävästi mittausten tarkkuuteen. Puolijohteilla toiminta on usein vielä voimakkaammin riippuvaista sekä ympäristön, että komponentin lämpötilasta. Lämpötila myös vaikuttaa kiteiden ja siten useiden oskillaattorien toimintataajuuteen. Oskillaattorien toimintaa voidaan pyrkiä tarkentamaan uunittamalla ne, mikä vähentää pienten lämpötilavaihteluiden vaikutusta toimintataajuuteen ja samalla sallii laajemmat rajat käyttölämpötilalle. Laitteiden komponenttien lämpötilakertoimet voivat olla sekä positiivisia että negatiivisia, mistä seuraa piirien toimintapisteiden muuttuminen ja siten koko laitteen toiminnan kannalta suunnittelussa ennustamattomia tilanteita.

Nykyisin on käytössä tehokkaita ohjelmia elektroniikkasuunnittelussa myös lämpötilagradienttien ennakointiin piirien toimiessa eri lämpötiloissa, mutta usein toiminta kuitenkin testaamalla todetaan tyydyttäväksi tietyissä ennakoituissa olosuhderajoissa varsinkin monimutkaisilla laitteilla. Valmistaja ilmoittaa laitteelle hyväksi todetut tai ennakoitut olosuhderajat ja joissain tapauksissa myös muutokset laitteen mittatarkkuudelle, kun on tarvetta toimia normaalien rajojen ulkopuolella. Referenssimittarille lämpötilakerroin on  $\pm(0,0006$  % lukemasta + 0,3 numeroa pienimmästä näyttämästä) jokaista astetta kohti, jonka olosuhteet poikkeavat valmistajan suosituksesta  $23\pm 5$  °C. Esimerkiksi 5 asteen ero suositukseen aiheuttaa 300 ppm kasvun epätarkkuuteen mitattaessa 100 mA DC virtaa.

#### 4.1.2 Kosteus

Nykyinen kalibrointitila on lämpötilakontrolloitu, mutta kosteuden vaihtelua voidaan ainoastaan seurata. Käytännössä huoneilman kosteuden säätelyn lisääminen varsinaiseen tuloilmaan olisi tehokkain tapa sen hallitsemiseksi. Erilliset kostuttimet ja kuivurit itse tilassa aiheuttaisivat olosuhteisiin epätasaisuutta huoneen sisällä ja

lisäisivät merkittävästi huoltotarvetta. Kokemuksen perusteella voidaan todeta tilan pysyvän kohtalaisesti suosituksen mukaisessa  $45 \pm 25$  % suhteellisessa ilmakeudessa poislukien kuivin talvikausi. Kuivuuden merkittävin haitta on elektrostaattisten varausten kertyminen helpommin sekä niiden itsepurkautumisen väheneminen ilman johtavuuden pienetessä. Suuresta suhteellisesta kosteudesta seuraa kondensoitumista laitteisiin, josta seuraa mahdollisia vuotovirtoja joiden vaikutuksia on lähes mahdoton ennakoita.

#### 4.1.3 Paine

Ilmanpaineen merkitys mittalaitteiden toiminnalle tulee helpoimmin esille merkittävillä paine-eroilla. Esimerkiksi kolmen kilometrin nousu merenpinnan tasosta laskee painetta 30 %. Paineen laskusta seuraa ilman tiheyden pieneneminen mikä heikentää lämmönsiirtoa ja siten aiheuttaa ilmajäähdytteisten komponenttien käymisen kuumempina. Paine vaikuttaa myös mm. kideoskillaattorien taajuuteen sekä mahdollisesti lyhentää elektrolyyttikondensaattorien elinikää, mikäli rakenne ei kestä kuoren sisä- ja ulkopuolen paine-eroa. (9, 5.) Normaaliolosuhteiden säänvaihtelun mukaiset pienet ilmanpaineen muutokset eivät suoraan vaikuta vaihto- ja tasajännitteiden kalibrointeihin mittaasepävarmuuden ollessa usean sadan ppm:n luokassa.

#### 4.1.4 Muut vaikuttavat tekijät

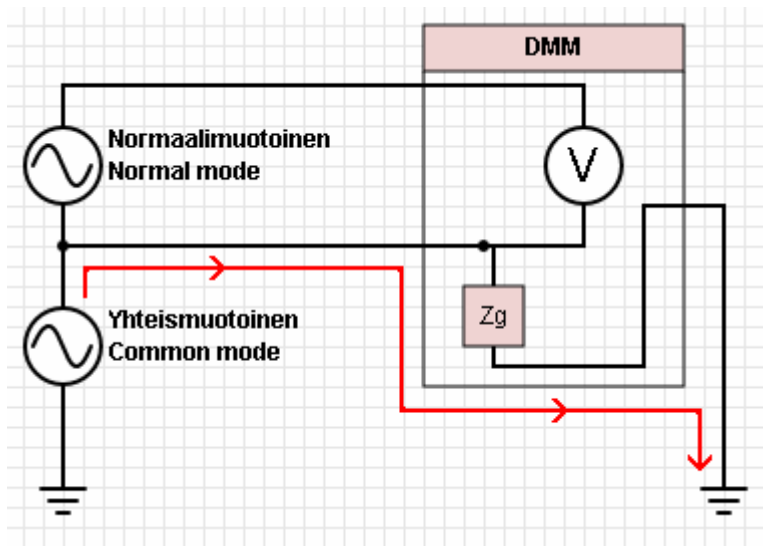
Tärinän suhteen tila on mahdollisuuksien mukaan paras tarjolla olevista. Tila on kellaritasossa eristettynä raskaalta liikenteeltä ja lähimmän tuotantosalin koneiden tärinä on kohtuullinen. Suurin merkitys tärinällä sähköisten suureiden kalibrorinnissa on analogisten mittalaitteiden viisarien luettavuuteen. Sähkömagneettisen interferenssin (EMI) kartoittaminen ei ole tehtaan nykyisellä mittalaittekalustolla mahdollista. Voidaan ainoastaan todeta, että lähellä ei mene syöttökaapeleita muuntamosta vaan ainoastaan ryhmäkeskuksen kaapelointeja on lähimmissä kaapelihyllyissä, eikä aivan lähellä ole koneita, jotka luovat ympärilleen voimakkaita kenttiä. Suurtaajuisien häiriöiden suhteen tila ja sen sähkönsyöttö ovat toistaiseksi kartoittamatta.

Tilan sähkönsyötön vaatimuksena on hyvä maa. Luotettava maa on vaatimuksena jo sähköverkon ja laitteiden turvallisuuden vuoksi, mutta erityisesti mittaustiloissa on

oltava matalaimpedanssinen tie häiriöiden johtamiseksi maahan. Laitteiden verkkopuolella olevat suodinkomponentit vähentävät häiriöiden vaikutuksia, mutta aiheuttavat myös vuotovirtaa maalinjaan. Maavirta aiheuttaa johtimen häviöiden vuoksi potentiaalieron eri pistoraasioiden maadoitusten välille ja potentiaalierot aiheuttavat helposti virheitä mittauksiin maalenkkien muodossa. Maalenkkien minimoimiseksi mittalaitteiden välillä on ne hyvä kytkeä samaan rasiaan. Mittalaitteet voi kytkeä samaan jatkojohtoon mahdollisimman lähelle toisiaan potentiaalieron minimoimiseksi, mikäli ryhmässä on useita tai suuria maavirtoja aiheuttavia laitteita.

Kun mittausliitännät ovat kelluvia, kuten täysin irti verkosta olevassa käsiyleismittarissa tai erotetussa pöytäyleismittarissa, maalenkeillä ei ole oleellista merkitystä häiriövirran syntyyn mittausjohtimissa. Korkeaimpedanssisissa liitännöissä kiinni olevat johtimet keräävät kuitenkin helposti ympäristön häiriöitä. Mikä tahansa toisesta päästä vapaana oleva johtimen pätkä, joka on kiinni mittaliitännässä, kerää ympäristöstä sähkökentän häiriöitä. Johtimen muodostaessa silmukan virran kulkureitiksi alkaa mittauskytkentä tehokkaasti vastaan ottamaan magneettikentän häiriöitä. Johdinlenkin pinta-alan pienentäminen ja johdinten kiertäminen pariksi pienentää magneettikentästä kertyvää häiriötasoa. Koaksiaali tai twinaksiaalikaapelin käyttö, jossa mittajohtimet ovat vaipan suojassa suojaa sekä magneetti- että sähkökentältä. (10, luku 32, 9.)

Referenssimittari optimoi verkkotaajuisten häiriöiden suodatuksen käynnistyksen yhteydessä. Kalibroinnissa käytettävälle hitaimmalle näytteistystilalle valmistaja lupaa normaalimuotoisten häiriöiden suodatukseksi  $> 98$  dB sekä yhteismuotoisten  $> 140$  desibeliä. Käytännössä 1 voltin normaalimuotoisesta häiriöjännitteestä tulokseen jäisi vaikuttaman  $12,6 \mu\text{V}$  ja yhteismuotoisesta  $0,1 \mu\text{V}$ . Normaalimuotoiset häiriöjännitteet (virrat) kalibroinnissa muodostuvat mm. referenssilähteen ulostuloista ja yhteismuotoisesta jännitteestä, jossa molemmat mittausjohtimet kelluvat mittarin ja lähteen liitännöiden ollessa maasta erotettuja. Kuva 6 esittää normaali- ja yhteismuotoisen häiriöjännitteen eron sekä esimerkin yhteismuotoisen häiriön kulkureitistä.



Kuva 6. Normaali- ja yhteismuotoinen häiriölähde. (10, luku 32, 10)

#### 4.2 Kalibroitavat laitteet

Kalibroitavien laitteiden, kuten kaikkien mittalaitteiden käsittelyn, on oltava asianmukaista ja harkittua. Yhdellekään tarkkuusmittalaitteelle ei tee hyvää altistaa sitä tarpeettomasti korkeille tai erittäin matalille lämpötila- ja kosteusoloille tai suurille kiihtyvyyksille, vaikka laite olisi spesifioitu erikoisolosuhteisiin. Varsinkaan kalibrointihenkilöstön ei pidä aiheuttaa turhia shokkeja mittalaitteelle, jotta voidaan taata sen ominaisuuksien säilyminen hetkestä, jolloin laite poistuu tuotannosta kalibrointiin, siihen kun se palautetaan.

Uusi kalibrointitila ei ole tuotannon yhteydessä, joten kalibroitavan laitteen vakiinnuttamiseksi olosuhteisiin on se haettava vuorokautta ennen kalibrointitilaan odottamaan toimenpiteitä. Toimenpiteiden luotettavuuden vuoksi on kalibroitavista käsittälaitteista ensin tarkistettava niiden akun tai pariston tila, sillä vähäinen varaus vaikuttaa toimintaan ja virran loppuminen luonnollisesti pakottaa aloittamaan kalibroinnin alusta.

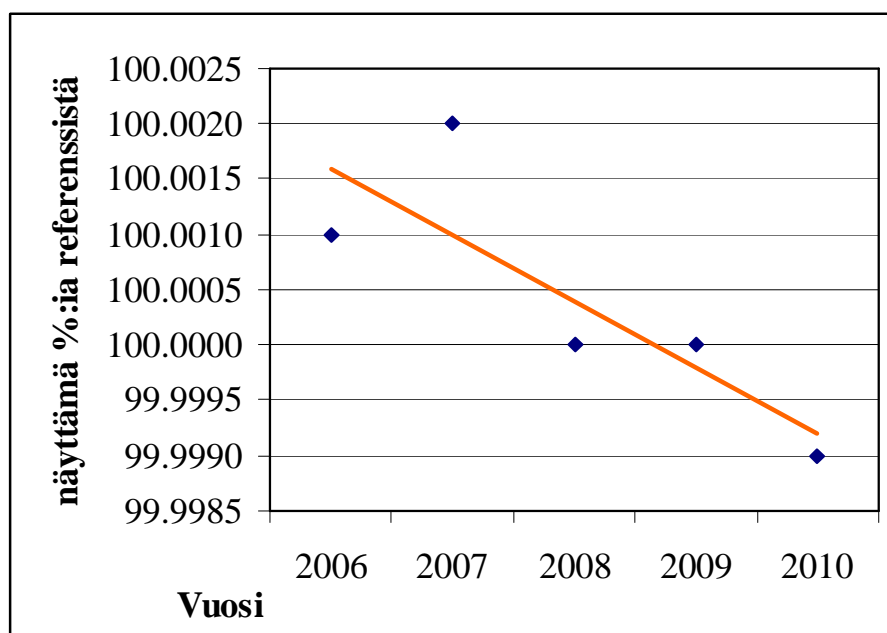
Kukin kalibroitava mittari on merkitty laitenumeraalla, josta se voidaan tunnistaa ja yhdistää oikeisiin huolto-ohjelmasta löytyviin tietoihin. Elektroniikkatuotannon poistuessa tehtaalta pieneni kalibroitavien mittalaitteiden määrä radikaalisti, eikä erillisen mittalaitetietojärjestelmän ylläpito ollut enää kannattavaa. Jäljelle jääneet mittarit siirtyivät arrowmaint-ohjelmaan ylläpidettäviksi ja LaatuWin-ohjelman

historiatieto niistä sekä vanhat kalibrointipöytäkirjat talletetaan verkkolevyille myöhempää käyttöä varten.

Kalibroinnin järjestämistä varten näkyy laiterekisterissä edellisen kalibroinnin päivämäärä sekä tieto, milloin kyseinen kalibrointi vanhenee. Saman tiedon saattamiseksi käyttäjäkunnalle on mittalaite merkitty kalibrointitarralla, jonka väristä näkyy vuosi ja numerosta kuukausi, johon mennessä kalibrointi pitää viimeistään suorittaa.

### 4.3 Kalibroilaitteet

Työnormaalit säilytetään kalibrointitilassa, jossa niitä myös käytetään. Normaalit lähetetään kerran vuodessa ulkopuoliselle toimijalle kalibroitavaksi. Niiden kalibrointi on tilattu mittaustuloksien kanssa, jolloin niistä voidaan seurata ajautumista (drift) ja mahdollisia muutoksia eri mitta-alueilla. Esimerkkinä alla olevassa kuvassa on referenssimittarin näyttämän ja kalibroinnin ilmoitetun referenssiarvon suhteiden seuranta vuodesta 2006 lähtien 1,000 00 V nimellisarvolla. Oranssi viiva on arvoihin (siniset täplät) sovitettu lineaarinen trendikuvaaja muutoksen visualisoinnin helpottamiseksi. Kuvaaja on luotu vuosien 2006 – 2010 kalibrointitodistusten mittaustuloksista, jotka kalibrointiyritys on tehtaalle toimittanut.



Kuva 7. Referenssimittarin suhteellinen ajautuminen ajan suhteen.

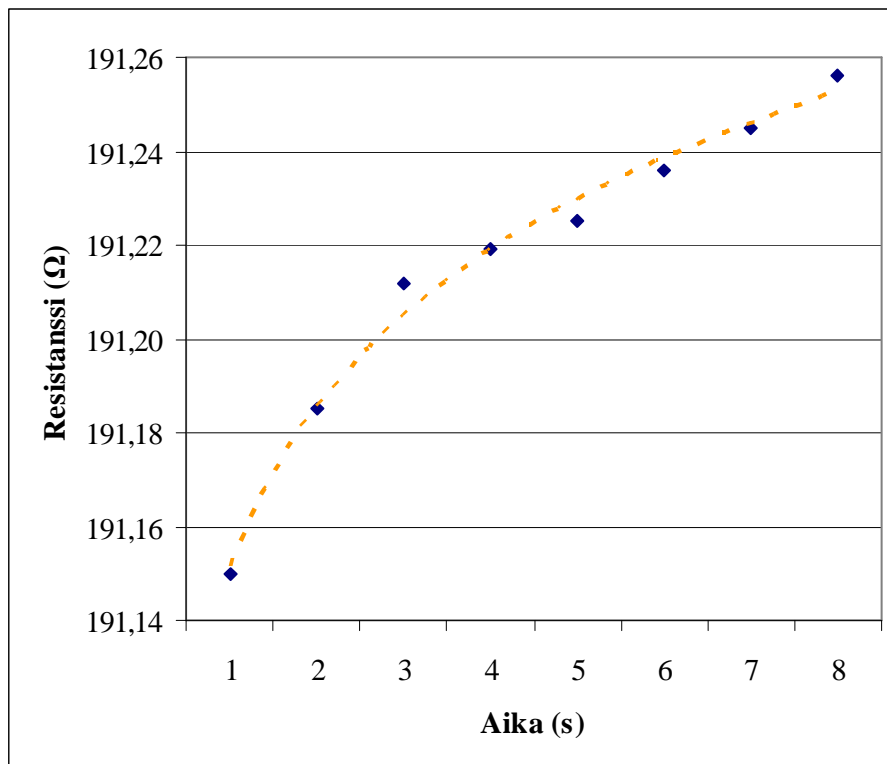
## 4.4 Epävarmuustekijöitä

### 4.4.1 Resistanssi

Resistanssialueiden kalibroinnissa mittausvirran aiheuttama lämpeneminen mittavastuksissa heikentää kalibroinnin tarkkuutta ja toistettavuutta. Lämpenemisen merkitys korostuu pienillä vastusarvoilla, jossa mittausvirran tehohäviöt ovat suhteessa suuremmat. Tehtaan kalibroinneissa vaikutus on merkittävä, koska yhtä aikaista lukemaa kalibroitavasta että referenssimittarista ei ole mahdollista saada. Resistanssin muutos vastusdekadissa on nopea, koska dekadinssa käytetyillä komponenteilla on kohtalaisen suuri lämpötilakerroin (temperature coefficient) eikä ilma tasaa lämpötilaeroja riittävän nopeasti. Korkeamman tason kalibroinneissa käytettäessä ”artefakteja” toimii mittanormaalina esimerkiksi mahdollisimman pienen lämpötilakertoimen ja erinomaisen pitkän ajan vakavuuden omaava vastus upotettuna lämpötilaohjattuun öljykylpyyn.

Seuraavassa kuvassa on esitettyä havainnollistavana testinä vastusdekadin  $190 \Omega$  vastus kytkettynä jatkuvasti resistanssimittauspiiriin (työnormaali) ja siitä mitatun arvon muuttuminen ajan funktiona. Kuvaaja mittaustuloksista osoittaa hyvin kuinka jo lyhytaikainen mittausvirran vaikutus vaikuttaa vahvasti lämpötilaepävakaan vastuksen resistanssiin ja siten kalibroinnin epävarmuuteen.





Kuva 8. Vastusdekadin resistanssin muutos ajan funktiona.

Muita merkittäviä virhelähteitä vastuksien mittauksessa on kontaktiresistanssien suhteellinen suuruus mittavastukseen nähden sekä mittajohtimien kytkentäilmiöt, kuten kontaktien sähköparien muodostamat lähdejännitteet. Kontaktien sähköparit muodostuvat yleensä parillisiksi, jolloin ne kumoavat toisensa, mutta kontaktien välinen lämpötilaero muuttaa tasapainotilan saaden aikaan pienen lähdejännitteen piiriin (thermal emf), joka vaikuttaa mittaustuloksiin kaikilla mittaalueilla.

Vastusdekadin kiertokytkimien kytkentäresistanssi muuttuu hieman jokaisella kytkentäkerralla, mutta sen sekä mittajohtimien erojen vaikutukset mittauksiin on pyritty ehkäisemään ohjeistuksella. Kiertokytkimien asentoa ei pidä muuttaa mittauksen aikana ja kaikissa mittauksissa on käytettävä samanlaisia yhdenmittaisia samanlaiset liittimet omaavia mittajohtimia.

Toistaiseksi uusi kalibroinnissa käytettävä vastusdekadi on vasta suunnitteilla, joten nollapiste tarkistetaan oikosululla. Oikosulkuresistanssia mitattaessa on huomioitava mittalaitteen käytettävissä oleva ilmaisesoluutio sekä valmistajan ilmoittama tarkkuus. Nollakohtaa ei ole välttämätöntä tai edes suositeltavaa säätää nollanäyttämään mittajohtimien kanssa, mikäli valmistajan ilmoittamien epätarkkuustekijöiden mukainen mittaustulos ei ylity. Oikosulun resistanssin

virheprosentin laskennassa on huomioitava, että virheen suuruus kasvaa helposti lähelle ääretöntä, mikäli se tehdään mittausvirheen suhteesta näyttämään, koska silloin jakajaksi voi tulla nolaa lähestyvä luku.

Vastusdekadin itselämpeneminen mittausvirran vaikutuksesta kasvattaa pienten resistanssien epävarmuutta. Myös johdinliitosten kytkentäresistanssit vaihtelevat, mutta sen vaikutus on havaittavissa vain pienillä arvoilla.

#### 4.4.2 Vastusdekadin mittauksen epävarmuus

Kuvasta 7 voidaan nähdä vastusdekadin  $190\Omega$  vastuksen selkeä resistanssimuutos itselämpenemisen johdosta. Sen vaikutusta kalibroinnissa tehtävän mittauksen epävarmuuteen voidaan testata suorittamalla vastusarvon mittaus useita kertoja peräkkäin ja tutkimalla mittauksen toistettavuus. Referenssimittarin ohjekirjasta voidaan todeta, että sen vakiovirtageneraattorin virta  $2k\Omega$ -mittausalueelle asti on 1 mA joka aiheuttaa vastuksessa 0,2 mW tehohäviön.

Taulukko 1. Dekadin mittausarvot

	Mittausjohtimet irti	kytkin, asen- nonvaihto
1.	191,280	190,877
2.	191,294	190,823
3.	191,306	190,889
4.	191,313	190,819
5.	191,327	190,826
Keskiarvo	191,304	190,847
Deviaatio	0,01796	0,03341

Taulukossa on kaksi eri tavoin toistettua mittaustapahtumaa. Ensimmäisessä mittausjohtimet on irroitettu referenssin liittimistä ja laitettu takaisin. Toisessa vastusdekadin asentokytkin on käännetty pois ja takaisin mitattavan resistanssin asentoon referenssimittarin ollessa kytkettynä.

Mittauksesta tunnistetaan mitattava suure, arvioidaan merkittävimmät epävarmuuteen vaikuttavat tekijät, arvioidaan niiden jakaumat, luodaan epävarmuusbudjetti ja lasketaan sen avulla laajennettu epävarmuus. Tarkoituksena on ilmaista varmuus, jolla

mitattu arvo on lasketun epävarmuuden ja sen laajennuskertoimen mukaisen normaalijakauman sisällä todellisesta.

Merkittävimmät epävarmuustekijät taulukon mittauksissa ovat mittarin epävarmuus, mittauskytkenän muutoksista johtuva vaihtelu kytkentäresistanssissa ja vastuksen itselämpeneminen, joka johtaa sen arvon ajautumiseen. Kaksi viimeistä on havaittavissa mitatun arvon muutoksista.

Taulukon arvoista lasketaan standardideviaatio, josta voidaan laskea standardiepävarmuus tilastolliselle vaihtelulle. Pienillä näytemäärillä on sen oikeellisuutta harkittava ja mahdollisesti näytemäärää lisättävä. Koska dekadin kiertokytkimen toistavuus ei ole hyvä, sitä ei ole kannattavaa tutkia pidemmälle tässä vaiheessa. Standardiepävarmuus mittauksille saadaan jakamalla deviaatio mittausten lukumäärän neliöjuurella.

$$s(\bar{q}) = \frac{s(q)}{\sqrt{n}} = \frac{0,01796}{\sqrt{5}} = 0,008031 \quad \text{eli } 8 \text{ m}\Omega \quad (5.1)$$

Oletettava mittarin tarkkuus saadaan valmistajan manuaalista:

NORMAL (S) READING RATE .....±(% of Reading + Number of Counts)<sup>1</sup>.

RANGE	24 HOURS 23±1°C	90 DAY 23±5°C	1 YEAR 23±5°C	2 YEARS 23±1°C
20Ω <sup>3</sup>	0.007 + 30 <sup>4</sup>	0.009 + 40 <sup>4</sup>	0.012 + 40 <sup>4</sup>	0.015 + 40 <sup>4</sup>
200Ω <sup>3</sup>	0.0040 + 3 <sup>5</sup>	0.007 + 4 <sup>5</sup>	0.010 + 4 <sup>5</sup>	0.012 + 4 <sup>5</sup>
2 kΩ	0.0025 + 2	0.005 + 3	0.008 + 3	0.010 + 3
20 kΩ	0.0025 + 2	0.005 + 3	0.008 + 3	0.010 + 3
200 kΩ	0.0025 + 2	0.006 + 3	0.010 + 3	0.012 + 3
2000 kΩ	0.023 + 3	0.025 + 3	0.027 + 3	0.030 + 3
20 MΩ	0.023 + 3	0.040 + 4	0.042 + 4	0.050 + 4

1. Within one hour of ohms zero, using offset control.
2. Relative to calibration standards.
3. Applies to 4-wire ohms only.
4. When offset control is not used the number of counts are 50, 70, 90 and 90 for 24 hours, 90 day, 1 year, and 2 year respectively.
5. When offset control is not used the number of counts are 5, 7, 9 and 9 for 24 hours, 90 day, 1 year, and 2 year respectively.

Kuva 9. Fluke 8842A:n spesifikaatio resistanssimittauksen tarkkuudelle.(11, luku 1, 5)

Kuvasta voidaan lukea, että ilmoitettu mittaustarkkuus on vuoden kalibroituvuutta käyttäen 0,010% näyttämästä ja 4 numeroa pienimmästä lukemasta. Alueen pienin näyttämä on 1 mΩ. Näistä saadaan laskettua mittarin epävarmuudeksi 23 mΩ.

Epävarmuustekijöiden yhdistetty epävarmuus saadaan ottamalla niiden neliöiden summista neliöjuuri. Ne voitaisiin laskea yhteen myös suoraan, mutta se ei yleisessä tapauksessa anna realistista kuvaa todellisesta tarkkuudesta, koska jakauma ei kasva lineaarisesti kertaluokkaa pienemmistä epätarkkuustekijöistä.

Laskemalla saadaan yhdistetyksi epävarmuudeksi mittarille sekä kytkentävirheelle 24 mΩ. Kun se laajennetaan kertoimella  $k=2$  kattamaan 95 % luotettavuusväli saadaan lopulliseksi mittauserävarmuudeksi 49 mΩ jolloin resistanssi on  $(191.304 \pm 0.049) \Omega$  noin 95 % varmuudella.

#### 4.4.3 Jännite

Tasaännitealueella 0-pisteen tarkastus voidaan suorittaa oikosulkemalla mittajohtimet tai –terminaali, eikä se aiheuta merkittävää epävarmuuden kasvua verrattuna esimerkiksi nollalostulon omaavan jännitelähteen käyttöön. Käytännön piiritoteutuksen vuoksi True-RMS yleismittareiden vaihtojännitealueiden kalibroituspisteet on mielellään valittava nollassa poikkeavaksi, koska oikosulussa piiri mittaa tasasuuntausasteen ja ADC:n kohinaa. Esimerkkinä Fluke 177 yleismittarin (True-RMS) kaikkien vaihtovirta ja –jännitealueiden ilmoitettu tarkkuus on spesifioitu vasta 5 %:n näyttämästä ylöspäin.

Kalibroitavat laitteet ovat kaikki kohtalaisen moderneja digitaalisia yleismittareita, joiden sisäänmenoimpedanssi on korkea verrattuna analogisiin mittareihin. Sisäänmenoimpedanssit ovat samassa luokassa referenssimittarin sisäänmenon kanssa, joten kalibroitavan laitteen mittajohtimissa ei synny niin suuria jännitteenalennuksia, että ne merkittävästi eroaisivat referenssimittarin omista. Vaikutus kalibroinnin epävarmuuteen on niin pieni, että se voidaan jättää huomioimatta.

Jännitekalibroinneissa voidaan epävarmuutena käyttää referenssinormaalien valmistajan ilmoittamia arvoja sillä muutoksella, että Fluke käyttää tuloksilleen 99 % luotettavuusväliä (10, luku 22, 4). Laitteet on kalibroitu kuutena viime vuotena 95 % mukaan, joten epävarmuus merkitään sen mukaiselle luotettavuusvälille.

#### 4.4.4 Virta

Tasavirta-alueiden kalibroinnissa suurimpana epävarmuustekijänä oli aikaisemmin lukeman heittely, joka vaikeutti oikean arvon valitsemista muuttuvasta näyttämästä. Epävakaas johtui mittausvirtaa syöttävän teholähteen ohjauksesta, jonka korjaamiseksi on implementoitu tarkasti aseteltava virranrajoitusmoduuli mittauspiiriin. Voidaan todeta, ettei virranrajoituskytkentä laajenna kalibroinnin epävarmuutta, kun se on muihin käytettäviin välineisiin nähden riittävän vähäkohinainen tai häiriöinen ja sen virranrajoituksessa käytettävän piirin takaisinkytkennän ja ohjauksen aikavakio on tarpeeksi nopea tasoittamaan kalibroitavan mittarin lukeman hyppelyt.

Myös virta-alueiden kalibroinneissa voidaan epävarmuutena käyttää referenssinormaalien valmistajan ilmoittamia arvoja sillä muutoksella, että Fluke käyttää tuloksilleen 99% luotettavuusväliä (10, luku 22, 4). Laitteet on kalibroitu kuutena viime vuotena 95% mukaan, joten epävarmuus merkitään sen mukaiselle luotettavuusvälille.

## 5 KALIBROINTIRAPORTOINNIN KEHITTÄMINEN

Kalibroinnin tulosten raportoinnissa on ollut apuna valmis pöytäkirjapohja. Kalibroitavan laitteen ja referenssimittarin näyttämän eroa kulloisestakin suureesta verrataan kalibroitavan laitteen ilmoitettuun tarkkuuteen käytössä olevalla alueella, jotta voidaan todeta virheen olevan valmistajan ilmoittamissa rajoissa. Mikäli virhe on suurempi, on laite joko säädettävä kohdalleen tai hylättävä kalibroinnissa.

Pöytäkirjapohja on yksinkertainen excel-taulukko, joka sisältää vaadittavat perustiedot referenssimittarista, kalibroitavasta laitteesta sekä kalibrointiolosuhteista sekä mahdollisesti epävarmuudesta, mikäli se eroaa muuten käytettävästä referenssilaitteen epätarkkuudesta..

Tarkoituksena kalibrointipohjan kehittämisessä oli saavuttaa suoraviivaisempi suoritus itse kalibroinnille ja vähentää kirjausvirheiden riskiä. Kirjausvirheiden minimoimisessa selkein tapa oli lukea mittatieto suoraan mittalaitteelta. Mittaustieto saadaan mittalaitteelta hyödyntämällä GPIB-väylää sen sovittamiseksi tietokoneeseen, jolla tiedot kirjataan kalibrointipohjaan. Jotta ei luotaisi turhan monimutkaista

järjestelmää, jonka käyttäminen vaatisi paljon erikoisosaamista, oli tavoitteena saada aikaan mahdollisimman pitkälle rajapinnaltaan standardin mukainen ja siten helpommin hyödynnettävä järjestelmä.

Ylimääräisten asentamistarpeiden vähentämiseksi oli tarkoituksenmukaista etsiä ohjelmaa tai ohjelmointiympäristöä, joka voidaan minimaalisella vaivalla ja mahdollisimman pienillä asenksilla ottaa käyttöön tai parhaassa tapauksessa on suoraan asennettuna ja tuettuna järjestelmässä.

Ensimmäinen haku kohdistui ilmaisiin visuaalisiin GPIB-mittausohjelmiin tai niiden sovelluksiin. LabViev ei vaikuttanut näin pieneen sovellukseen realistiselta vaihtoehdolta, koska muutaman mittalaitteen käskykanta ja yhteistoiminta oli täysin mahdollista saavuttaa yksinkertaisemmilla työkaluilla. LabVieviä vastaava, mutta hieman kevyempi graafinen ympäristö on HPVVEE, mutta sen jatkokehitys karsiutui lisenssin tarpeeseen. Prologixin sivuilta löytyy linkkejä vapaassa jakelussa oleviin loggeri-ohjelmiin ja mielenkiintoinen GPIB-mittausympäristö *Instrument Control*, joka on rakennettu java-alustalle. Loggausohjelmat ja javaympäristö karsiutuivat kuitenkin, koska omasivat tekijän mielestä liian monta liikkuvaa osaa, joita ei voinut hallita, eivätkä ne tarjonneet kokonaisratkaisua, vaan ainoastaan mittauksen ohjauksen ja tulosten taulukoinnin.

Erilaisia ohjalmia kokeillessa haun kriteereiksi tarkentuivat sen kyky käsitellä sarjaportti- ja virtuaalisarjaporttiliikennettä, keskustella ja käskä järjestelmän sarjaporttilaitteita sekä saattaa tulokset helposti luettavaan muotoon. Hyvä lisä toki olisi, jos kieli olisi ennestään tuttu. Koska excel-taulukko oli vanhan kalibroitipohjan perustana sekä todennäköisimpänä toteutusmuotona jatkossakin, alkoi haku kohdistua excelillä toimivaan sarjaporttirajapintaan.

Sarjaporttiaiheiset elektroniikkafoorumit johdattivat vapaan lähdekoodin ohjelmanpätkään (12) joka toi sarjaporttien käsittelutaidon excel-taulukolle visual basicin avulla. Visual basic löytyy excelin liitännäisenä, joten se ei tarvitse lisäasennuksia.

## 5.1 Kalibrointipohjan toiminnot

Kalibrointipohjassa on sekä käsin täytettäviä kenttiä sekä toimintapainikkeita, jotka täyttävät pohjaa automaattisesti. Lisäksi pohjaan on kirjoitettu käytettyjen mittalaitteiden perustiedot sekä ohjeavot, joilla mittaus on suositeltava suorittaa asianomaisen mittarin kullakin mittausalueella. Ohje noudattaa EURAMET/cg-15/v.01 suositusta kalibroinnin mittauspisteiksi soveltuvien osien. Rajoitteena toimii käytettävissä oleva kalusto.

Pöytäk. nro 20120210

# STRÖMFORS

## Yleismittareiden tarkastuspöytäkirja

Pvm: 10. helmi. 12  
 Referenssimittari: Fluke 8842A Mittari: Fluke 177  
 Sarjanumero: 4535005 Sarjanumero: 88170277  
 Kust.paikka: Laboratorio  
 Tekijä: Juuso Kukkaro  
 Lämpötila: 22°C

TASAJÄNNITE Virhe=Näyttö-Jännite Virhe%=Virhe/jännite x 100

Vertailumittari	Jännite	Alue	Mittauspiste	Näyttö	Virhe	Virhe%	Huomautukset
	0,058330	600 mV	60 mV	58,3	- 0,000030	- 0,051	±0,9% näyttämästä
	0,541880	600 mV	540 mV	541,6	- 0,000280	- 0,052	"
	- 0,541810	600 mV	- 540 mV	- 541,6	0,000210	- 0,039	"

Kuva 10. Kuvakaappaus työhön tehdyn kalibrointipohjan tulosteosiosta.

Sarjaporttifunktiot on tuotu taulukkoon suoraan valmiilla koodilla (12). Oman työn osuus ovat painikkeet lomakkeessa ja niiden sisällä olevat funktiot, jotka keskustelevat sekä GPIB-adapterin että referenssimittarin kanssa. Komennot, joilla laitteita ohjataan, löytyvät suoraan valmistajien manuaaleista. Erikoishuomio pitää kuitenkin kiinnittää laitteiden vaatimuksiin lopetusmerkkien käytöstä väylän komentojen lopussa. Seuraava kuvakaappaus esittää kalibrointipohjan ohjausnäkyvän.

20120210			
Kirja	Alusta yhteys		Katkaise yhteys
	Com-portti	4	
Laboratorio	Tarkista GPIB osoite		GPIB osoite
Juuso Kukkaro	Aseta GPIB osoite		
22°C			
jännite x100	Palauta oletukset		
Huomautukset			
±0,9% näyttämästä		6	
"		7	
"		8	
"		9	
"		10	
"		11	

Kuva 11. Kalibrointipohjan ohjauspainikkeet.

Alusta- ja Katkaise yhteys -painikkeet ovat sarjaporttiliikenteen aloittamista ja lopettamista varten. *Alusta yhteys* ottaa yhteyden com-porttikentässä olevan numeron mukaiseen sarjaporttiin ja *Katkaise yhteys* lopettaa sen, jotta laite olisi vapaa käytettäväksi muille ohjelmille.

*Tarkista GPIB-osoite* kysyy Prologixin sovittimelta, mihin osoitteeseen sen käskyt ohjautuvat väylässä ja *Aseta osoite* käskää sille uuden osoitteen. Haettu osoite ilmaistaan GPIB-osoite kentässä ja se myös syötetään samasta kentästä sovittimelle. Samat toiminnot löytyvät myös Prologix configurator -ohjelmasta tai voidaan suorittaa terminaalilyhteydellä, mutta painikkeet on lisätty, jotta käyttäjä voi suoraan lomakkeesta yhteyden ollessa auki tarkastaa ja asettaa väyläosoitteen tarvitsematta katkaista yhteyttä konfiguraatio työkalun käyttöä varten.

Palauta oletukset painike ohjaa referenssimittaria ja käskää sille alustuksen sekä asettaa sen toiminnot seuraavasti:

- autorange
- hidas päivitys (tarkin)
- ulkoinen trigger asettumisviiveellä
- loppumerkit pois tulostuksesta



Manuaalisella aluevalinnalla voisi taata mittarin pysymisen tarkemmalla alueella, kun toimitaan aluerajan tuntumassa ja mikäli mitattava arvo lipsahtaa ajoittain yli, mutta autorange on käytössä, jotta pohjaa voidaan muuttaa tarvitsematta puuttua itse koodiin, kun mittauspisteet muuttuvat. Ulkoinen triggeri on käytössä, koska muuten mittari tulostaa jokaisen tapahtuman tuloksen väylään. Loppumerkit on poistettu tulosteesta helppouden vuoksi, jotta data voidaan syöttää suoraan arvokenttiin tarvitsematta muokata sitä.

Jokaisella mittausrivillä olevat merkitön painike suorittaa mittauksen ja arvon tulostuksen kenttään. Numero painikkeen vieressä viittaa siihen, millä numerolla painike esiintyy koodissa.

## 5.2 Koodi painikkeissa

Koodi, joka on lomakkeen painikkeiden takana, ei ole millään tavoin eleganttia, vaan suoraviivaista yksinkertaisilla käskyillä toteutettua. Varsinaiset toiminnot on ohjelmoitu lähestulkoon jokaiseen painikkeeseen siten, että se ei ole riippuvainen muista toiminnoista, vaan sisältää itse tarvittavat käskyt. Mittauspainikkeita voi painella epäjärjestyksessä tarvitsematta aloittaa alusta, mikäli klikkaa viereistä painiketta, kunhan yhteys ja mittari on ensin alustettu. Toteutus on raskas muuttaa, koska se pitää tehdä jokaiseen nappiin erikseen. Se on kuitenkin suoraviivaista ja painikkeesta näkee vähemmälläkin ohjelmointiosaamisella sen funktion.

```

1 Private Sub CommandButton20_Click()
2     Dim intPortID As Integer
3     Dim lngStatus As Long
4     Dim strData As String
5
6     intPortID = Worksheets("kalibrointi").Range("com_portti").Value
7     strData = "F5 ?" & vbCrLf
8
9     lngStatus = CommWrite(intPortID, strData)
10
11     AppSleep 950
12
13     lngStatus = CommRead(intPortID, strData, 12)
14
15     Worksheets("kalibrointi").Range("A28").Value = strData
16
17 End Sub

```

Kuva 12. Esimerkki mittauspainikkeeseen kirjoitetusta koodista.

Riveillä 2 - 4 määritellään muuttujat painikkeen koodille. Rivi 6 hakee sarjaportin numeron lomakkeen kalibrointi-välilehdeltä `com_portti` -nimisestä kentästä. Rivi 7 määrittää väylään kirjoitettavan datan muuttujaan `strData`. Esimerkissä `F5 ?` ovat mittalaitteen komentoja, jotka menevät väylään sellaisenaan ja `vbCrLf` ovat loppumerkit, jotta mittalaite ei jää odottamaan jatkoa käskylle. Rivi 9 kirjoittaa tiedot väylään, jonka jälkeen `AppSleep` laittaa ohjelman odotustilaan rivillä oleva luvun mittaiseksi ajaksi millisekunneissa, jotta mittalaite ehtii vastaanottamaan käskyt ja toimimaan niiden mukaan ennenkuin väylää aletaan lukea rivillä 13. Lukukäske lukee porttinumeron mukaisesta portista merkkidataa rivillä olevan luvun pituisen pätkän. Lopulta koodirivin 15 komennot kirjoittavat portista haetun datan lomakkeen soluun, joka on määritelty `Range(" ")` määreen sisään.

## 6 YHTEENVETO

Valmistumisen pitkittyessä muuttui käyttöympäristö ja tavoitteet tehtaalla vallitsevien olosuhteiden mukaisesti, mikä toi omat haasteensa työn suorittamiselle. Vapaat kädet -metodi ei ollut tehokkain mahdollinen tapa suorittaa tehtävä, koska työn tavoitteetkin olivat suurelta osin itseni asetettavissa.

Tärkeimmät oivallukset työtä tehdessä kohdistuivat perusasioiden kuntoonsaattamisen tärkeyteen. Lennokkaat ja teoriassa hienot keksinnöt eivät toimi, mikäli käyttöympäristö ei ole valmis niiden hyödyntämiseen. Harvalla on liikaa aikaa niukasti resursoidussa tehdasympäristössä. Lyhyesti, yksinkertaiset ideat, joiden hyödyt on helpoin osoittaa käyttäjäkunnalle, on helpointa heille myydä ja varminta saattaa toimintaan kunnolla. Työn kalibrointipohja toimii perustuksena jatkokehittämiselle. Idea ja toteutus ovat itsessään yksinkertaisia mutta antavat paljon avoimia mahdollisuuksia toiminnalliseen parantamiseen. Esimerkkinä väyläohjattu jännitelähde ja koodiohjaus sille olisi yksinkertainen tapa lisätä automaation astetta kalibroinnin suorittamisessa.

Prosessin vakioiminen laadukkaalla ohjeistuksella, kalibroinnin toimenpiteiden ja merkityksen ymmärtäminen sekä työntekijöiden kokemus kalibroimisesta auttavat myös tuotantoa mahdollistamalla tarkemmat mittaukset sekä poistamalla epäuskoa itse tuloksiin. Kun tarve epäillä mittaustuloksien tarkkuutta tai oikeaa suoritustapaa vähenee, voidaan säästynyt aika hyödyntää mahdollisten mittausrvirheiden tai varsinaisten vikojen paikallistamiseen.

## LÄHTEET

1. Tolvanen J. Vanhempi toimittajalaatuinsinööri. Sähköposti 26.3.2012.
2. Howarth, P. Redgrave, F. Metrology - in short, 3rd edition. 2008. EURAMET.  
Saatavissa: <http://www.euramet.org/index.php?id=mis> PDF-versio[viitattu 1.1.2011]
3. Mikes metrologia. Mittatekniikan keskus. Saatavissa:  
<http://www.mikes.fi/frameset.aspx?url=metrologia.aspx%3fcategoryID=3> [viitattu 12.2.2011]
4. Tietoa Inspectasta. Saatavissa <http://www.inspecta.com/fi/Tietoa-Inspectasta/>  
[Viitattu 3.2.2012]
5. Kärhä, P. 2004. Mittausjärjestelmän kalibrointi ja mittausepävarmuus. Saatavissa:  
[http://metrology.hut.fi/courses/s108-180/Materiaali2004/uncert1\\_2004.pdf](http://metrology.hut.fi/courses/s108-180/Materiaali2004/uncert1_2004.pdf)  
[viitattu 8.11.2011]
6. Tuominen. Partanen. Ikonen. 2000. TKK-Sovelletun elektroniikan laboratorio.  
saatavissa:  
<http://www.tkk.fi/Yksikot/Elektroniikka/Kurssit/171/Materiaali/testaus2.pdf>  
[viitattu 12.2.2011]
7. Hämäläinen, J. Ojasalo K. Kiihtyvyyssantureiden kalibrointi. Promaint-lehti  
3/2009. Saatavissa: [www.promaint.net/downloader.asp?id=3227&type=1](http://www.promaint.net/downloader.asp?id=3227&type=1) [viitattu 20.9.2011]
8. Calibration Guide EURAMET cg-15 Version 2.0 (03/2011). EURAMET.  
Saatavissa:  
[http://www.euramet.org/fileadmin/docs/Publications/calguides/EURAMET\\_cg-15\\_v\\_2.0\\_Guidelines\\_Calibration\\_Digital\\_Multimeters\\_01.pdf](http://www.euramet.org/fileadmin/docs/Publications/calguides/EURAMET_cg-15_v_2.0_Guidelines_Calibration_Digital_Multimeters_01.pdf) [viitattu 28.12.2011]

9. Blattau, N. Hillman, C. 2004. Failure Mechanisms in Electronic Products at High Altitudes. Saatavissa:  
[http://www.dfrsolutions.com/uploads/publications/2004\\_HighAltitude\\_Hillman-Blattau.pdf](http://www.dfrsolutions.com/uploads/publications/2004_HighAltitude_Hillman-Blattau.pdf) [viitattu 20.1.2012]
10. Fluke Corporation. Calibration: Philosophy in Practice, Second Edition. 1994.
11. Fluke Corporation. 8842A Digital Multimeter Instruction Manual. 1991.  
Saatavissa [http://assets.fluke.com/manuals/8842a\\_imeng0300.pdf](http://assets.fluke.com/manuals/8842a_imeng0300.pdf) [Viitattu 12.1.2012)
12. Serial Port Communication in Excel (VBA), saatavissa:  
<http://dev.emcelettronica.com/serial-port-communication-excel-vba> [viitattu 28.11.2011]

<b>MENETTELYOHJE</b>		Osasto Tekninen tuki	
		Versio C	Sivu 1 (1)
Otsikko Kalibrointi	Laatinut/Muokannut Juuso Kukkaro	Pvm 4.4.2012	Korvaa B
Hyväksynyt		Pvm	Alkuperäinen pvm. 03.04.2008

## 1. Tarkoitus

Kalibroinnilla varmistetaan, että ne tarkastus-, mittaus-, testaus-, ja valmistusvälineet, joilla varmistetaan tuotteen laatua, täyttävät niille asetetut vaatimukset.

## 2. Laajuus

Käytäntöä sovelletaan Strömfors Electric Oy:ssä pääasiallisesti kaikille mittalaitteille, poislukien ne jotka on erikseen merkitty olevan kalibrointijärjestelmän ulkopuolella (punainen 0 -tarra).

## 3. Vastuut

Järjestelmän toiminnasta vastaa [toimittajalaatuinsinööri](#). Jokaiselle osastolle on erikseen nimetty henkilö, joka vastaa osaston mittalaitteista ja kalibrointien tilaamisesta ajallaan. Kalibroinnit ja tulosten ylläpidon suorittaa tehtävään osoitettu henkilö.

## 4. Vaatimukset

Kalibrointimerkinnässä noudatetaan numeroitua värikooditarraa, jossa väri ilmaisee voimassaolovuoden ja numero kuukauden. Käytetään neljää väriä.

Vihreä 2012, oranssi 2013, sininen 2014, keltainen 2015, vihreä 2016, ...

Kalibrointi pyritään suorittamaan mittalaitteille määräytyvänä kuukautena, kuitenkin viimeistään kyseisen vuoden aikana.

Laitteet keräillään käyttäjiltä kalibrointiajankohtana, eikä käyttäjien tarvitse aktiivisesti huolehtia voimassaolosta. Kalibroinnit suoritettava henkilö määrittelee mittalaitteiden kalibroimisvälin yhdessä toimittajalaatuinsinöörin kanssa, valmistajien suositusarvojen perusteella.

Kalibrointien on oltava jäljitettävissä.

Uusi mittalaite täytyy kalibroida ennen käyttöönottoa.

Kalibrointivaatimuksia täyttämätön mittalaite on poistettava käytöstä.

## 5. Tallenteet

Jokaisen mittalaitteen tiedot löytyvät [kalibrointitietokannasta, jota ylläpidetään ArrowMaint -ohjelmalla](#) Tietokannasta saa tiedot tulostettua myös yksitellen mittalaittekorppi -muodossa.