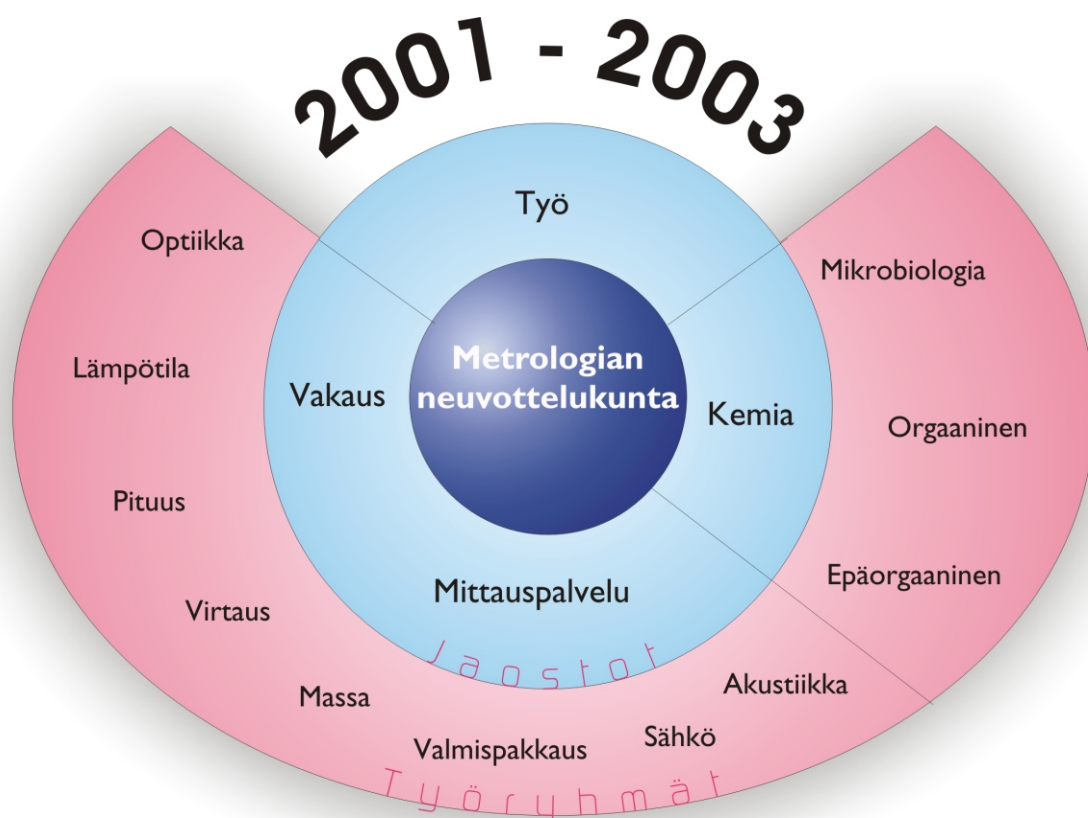


METROLOGIA

J8/2003



Kansallinen mittanormaalitoiminta ja sen kehittäminen 2003 - 2007

Metrologian neuvottelukunta

Helsinki 2003

MITTATEKNIIKAN KESKUS

Julkaisu J8/2003

**KANSALLINEN MITTANORMAALITOIMINTA
JA SEN KEHITTÄMINEN 2003–2007**

 **METROLOGIAN NEUVOTTELUKUNTA**

toimittanut

Jaana Järvinen

Helsinki 2003

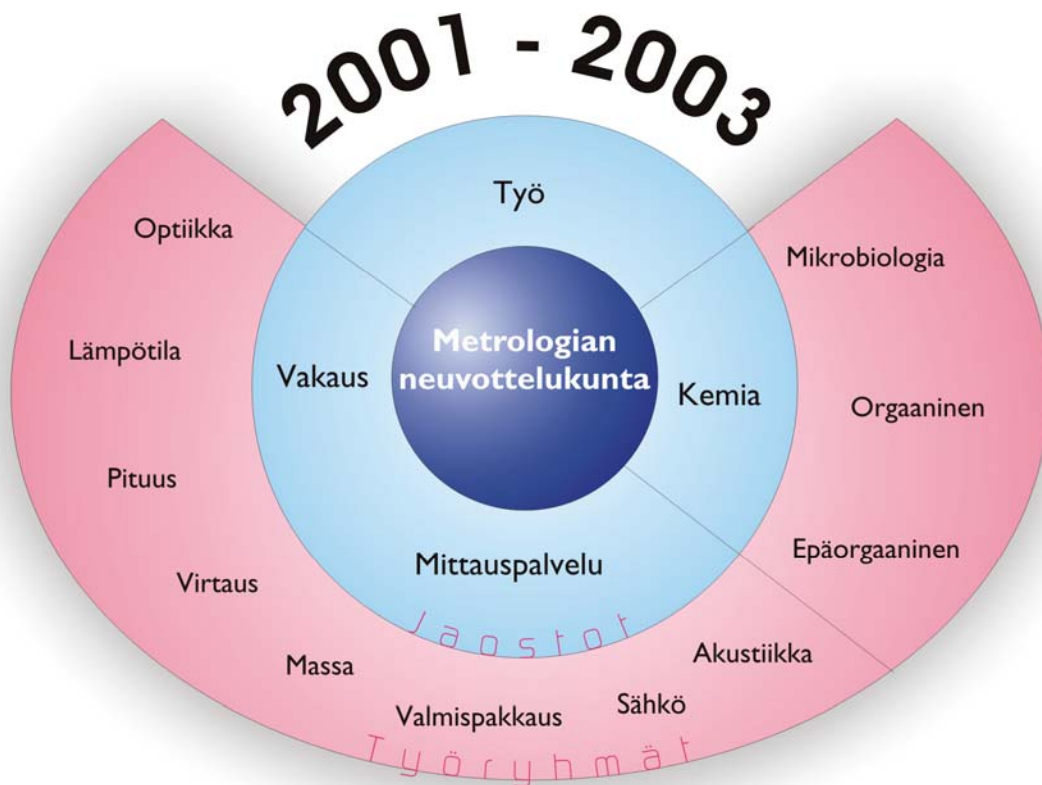
SISÄLLYSLUETTELO

YHTEENVETO	5
MASSASUUREET	9
LÄMPÖTILASUUREET	20
PITUUSSUUREET	28
OPTISET SUUREET	36
SÄHKÖSUUREET	49
AKUSTISET SUUREET	56
VIRTAUSSUUREET	59
IONISOIVAN SÄTEILYN SUUREET	64
KEMIAN JA MIKROBIOLOGIAN METROLOGIA	68
Liite 1. Jäljitettävien kalibrointien tarve kemiassa ja mikrobiologiassa	82
Liite 2. Yhteystiedot	85

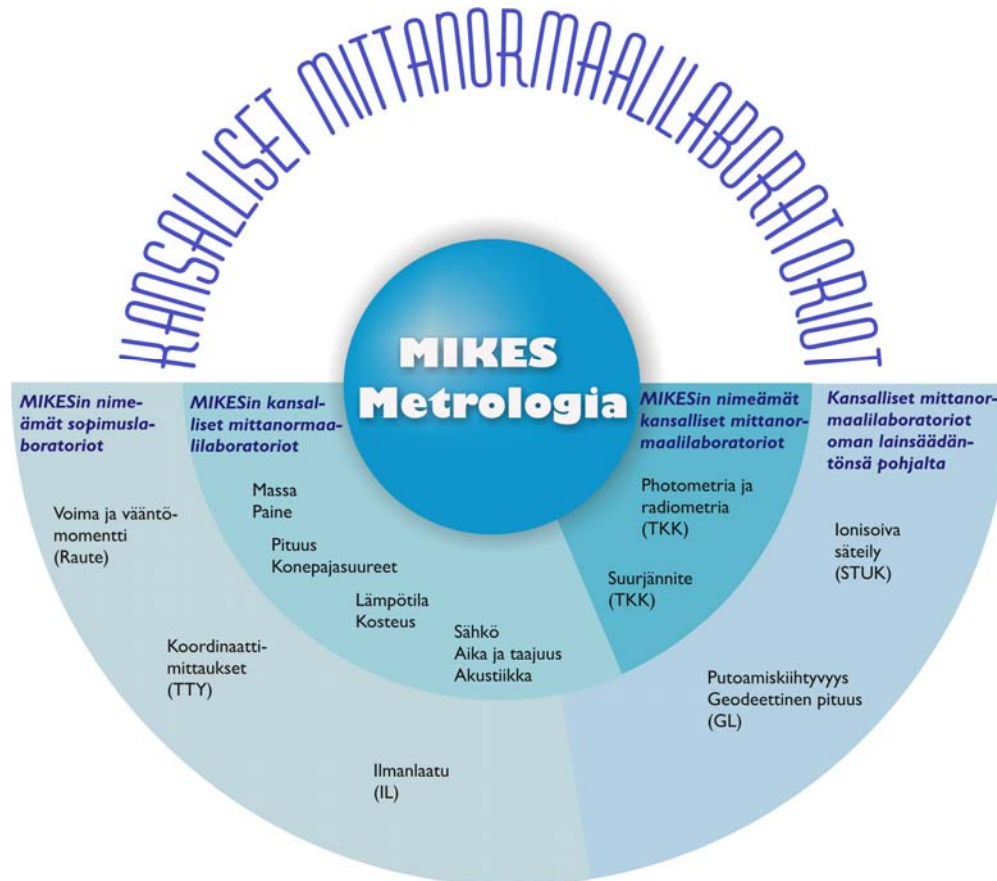
YHTEENVETO

Tässä julkaisussa esitetään eri suurealueiden mittanormaalityönnön nykytilanteiden katsaukset ja kehittämissuunnitelmat viisivuotiskaudelle 2003 - 2007. Julkaisu on päivitys vuonna 2000 tehdyille kehittämissuunnitelmille. Suunnitelmia on 9 kappaletta ja ne on valmisteltu Metrologian neuvottelukunnan (MNK) työryhmissä keväällä 2002 paitsi ionisoivan säteilyn suureiden osalta Säteilyturvakeskuksessa. Dokumentin tarkoituksena ei määritelty tyhjää raporttia metrologiasta suurealueittain vaan toivottiin selvityksiä, joiden pohjalta toimintaa voidaan suunnitella kokonaisuutena ja ulkopuolinenkin saa kuvan alueen tarpeellisuudesta, toiminnasta ja resursseista.

Valtioneuvosto asettaa MNK:n kolmivuotiskaudeksi kerrallaan käsittelemään metrologiaan ja mittauksiin liittyviä kysymyksiä. Neuvottelukuntaan on nimetty 18 jäsentä ja heille henkilökohtaiset varajäsenet. Metrologian neuvottelukuntaan kuuluu mittausten ja mittausten varmentamisen asiantuntijoita; mukana on elinkeinoelämän, kuluttajien, metrologisen tutkimustoiminnan, kansallisen mittauspalvelun ja mittauslaitteiden valmistajien edustajia. Neuvottelukunta on jakautunut tehtävien hoitamista varten neljään jaostoon: mittauspalvelujaosto, vakausjaosto, kemian ja mikrobiologian jaosto sekä työjaosto. Jaostojen alla toimivat eri alojen asiantuntijoista koostuvat työryhmät: massasuuret, lämpötilasuuret, pituussuuret, optiset suuret, sähkösuuret, akustiset suuret, virtaus-suuret, valmispakkaus, epäorgaaninen kemia, orgaaninen kemia ja mikrobiologia. Neuvottelukunnassa toimii noin 170 ammattilaista MIKESin edustajien lisäksi.



Henkilömäärältään Suomen mittanormaalijärjestelmää toteutetaan noin 50 hengen voimin. Tästä määrästä 35 on MIKESissä ja noin 15 muissa kansallisissa mittanormaali-laboratorioissa ja sopimuslaboratorioissa.



MIKES = Mittatekniikan keskus, Raute = Raute Precision Oy, TTY = Tampereen teknillinen yliopisto, IL = Ilmatieteen laitos, GL = Geodeettinen laitos, STUK = Säteilyturvakeskus, TKK = Teknillinen korkeakoulu.

Suunnitelmissa korostettiin eri painotuksin metrologiatoimintojen osa-alueita: SI-mittayksiköiden realisointi, koulutus, kansainvälinen yhteistyö, konsultointi, tutkimus ja kalibrointitoiminta. Poikkitieteellisyys ja teknologian kehittymisen mukanaan tuoma uusien mittaustarpeiden ennakointi sekä joillakin alueilla Euroopan ykkösaseman säilyttäminen on tärkeää. Metrologisen osaamisen siirto Suomen elinkeinoelämälle tukee kilpailukykyämme paranemista. Toisaalta perustellusti todettiin, että Metrologian rahoitus ei riitä jokaisen toiveisiin. Kansainvälisestä yhteistyöstä merkittävimpiä ja aikaa vievimpiä ovat EUROMETin piirissä tehtävät vertailumittaukset. Globaalisti olemme selvästi menossa suuntaan, jossa mittausten laatu ja luotattavuus ovat ensiarvoisen tärkeitä.

Tutkimus ja siihen luonnollisena osana liittyvä julkaisutoiminta luovat välttämättömän kehityksen perusedellytyksen. MIKESin uuden toimitalon nähtiin tarjoavan uusia yhteistyömahdollisuuksia ja edistävän kansainvälistä uskottavuuttamme. Elinkeinoelämää parhaiten palvelevan metrologian toiminnan lyhyellä ja pitkällä aikavälillä voi kiteyttää kahteen kohtaan:

- Metrologiaan liittyvä tutkimustoiminta
- Tutkimustoimintaan liittyvä metrologia.

Lopuksi lyhyesti yhteenvedot eri ryhmien kehityssuunnitelmista:

Massasuureet

Massan kansalliset mittanormaalilaboratoriot (KML:t) ovat MIKESin hallinnoimia (massa, paine, tiheys) lukuun ottamatta voimaa ja vääntömomenttia, jotka ovat sopimuslaboratoriona toimivan Raute Precision Oy:n massa- ja voimalaboratoriossa. Painovoiman mittaaminen on Geodeettisella laitoksella.

Kokonaisuudessaan massan alue täyttää suhteellisen hyvin teollisuuden tarpeet, mutta jotkin aluelaajennukset tulevat olemaan tarpeen. Dynaamisen mittauksen ja kalibroinnin kehittämiseen ja tutkimiseen on syytä kiinnittää huomiota. Merkittävänä tutkimusprojektina on kilogramman levitointiin perustuva realisointimenetelmä. Kansainvälinen yhteistyö on hyvällä tasolla. Kovuudelta puuttuu kansallinen mittanormaalilaboratorio, mutta sen tarve tulee arvioida uudestaan.

Lämpötilasuureet

Lämpötilan ja kosteuden KML:t ovat MIKESissä.

Palveluja voidaan pitää hyvinä ja tarpeet kattavina. Kehitystarpeet sijoittuvat lämpötila-alueiden ääripäihin, joissa tarve on pieni, mutta tutkimuksen kannalta ne ovat mielenkiintoisia. Käytännön painopisteinä ovat pintalämpötilojen mittaaminen sekä materiaalien ja rakenteiden kosteuden määrittäminen.

Pituussuureet

Pituussuureiden KML:t ovat MIKESissä ja Geodeettisella laitoksella. Koordinaattimittausten sopimuslaboratoriona on Tampereen teknillinen yliopisto.

Pituussuureiden tilaa voidaan pitää hyvänä. Dimensionaaliset suureet ovat ryhmänä käyttäjien kannalta yksi merkittävimmistä ja kauimmin toteutetuista ryhmistä. Dimensionaalisissa suureissa on kuitenkin huomattava määrä erilaisia mittaustapoja ja niiden kattavuus käyttäjille ei ole vielä riittävä. Uudet teknologiat kuten mikromekaniikka ja nanoteknologia vaativat myös uudenlaisia mittaustaitteita ja aikaisempaa parempaa tarkkuustasoa. Näiden alueiden metrologian kehittäminen ja tutkiminen on yksi tulevaisuuden painopistealueista.

Optiset suuret

KML sijaitsee TKK:n Mittaustekniikan laboratoriossa, jossa on myös merkittävää laitoksen omaa tutkimustoimintaa.

Mittaustekniikan laboratorio on saavuttanut kansainvälisesti erittäin korkean tason intensiivisen tutkimustoiminnan kautta ja pystyy vastaamaan kalibrointitarpeeseen kohtuullisen hyvin. Optiikan monipuolisesta käytämisestä johtuu, että on todettu myös puutteita, joihin on kuitenkin määritetty kehitysohjelma. Optiikka on selkeästi yksi painopistealue.

Sähkösuureet

KML:t sijaitsevat MIKESissä lukuun ottamatta suurjännite- ja pulssisuureita, jotka sijaitsevat TKK:n Suurjännitetekniikan laboratoriossa.

Sähkösuureet ovat myös merkittävä ryhmä käytännön mittauksissa. Perusmittaukset ovat hyvällä tasolla, sen sijaan suurtaajuiset mittaukset ovat jääneet heikommalle osuudelle muutosten yhteydessä, kehittämissuunnitelmat

ovat kuitenkin olemassa. Suurjännitepuolella kehittyvät sähkömarkkinat asettavat lisäpainetta. Sähkösuureet ovat tutkimustoiminnassa avainalue painopistealueinaan mikro- ja nanotekniikan metrologian sovellukset.

Akustiset suureet

KML-tasoinen toiminta äänenpaineen alueella alkoi MIKESissä loppuvuodesta 2002.

Mekaanisten värähtelyjen suhteen on tehty kartoitus vuonna 1998, joka suositti KML:n perustamista mekaaniselle värähtelykiihtyvyydelle. Kartoitus on kuitenkin syytä päivittää.

Virtaussuureet

Virtaussuureille ei ole KML-tasoista laboratoriota. MIKES on aloittanut pienten kaasuvirtausten osalta kehitystyön KML:ksi.

Virtauksen osalta on työn alla ehdotus jäljitettävyyden toteuttamisesta Suomessa. Erityisen ongelmallinen on erittäin hyvätasoisien suurten vesivirtausten laboratorion joutuminen purettavaksi. Sekä laitteiston että hankitun osaamisen suhteen pitäisi löytyä ratkaisu noin vuoden sisällä.

Kemia ja mikrobiologia

Kemian ja mikrobiologian alalla ainemäärän mittayksikölle, moolille, ei ole nimetty kansallista mittanormaallaboratoriota. MIKES ja Ilmatieteen laitos ovat sopineet Ilmatieteen laitoksen toimimisesta tiettyjen kaasuseosten kansainvälisesti jäljitettävien vertailuaineiden ja niihin perustuvien kalibrointien sopimuslaboratoriona.

MIKES on tehnyt esityksen kauppaja- ja teollisuusministeriölle moolin lisäämiseksi niiden perusyksiköiden luetteloon, joille ylläpidetään kansallista mittanormaalia. Tämä mittayksikköluettelo on kauppaja- ja teollisuusministeriön päätöksessä numero 478 vuodelta 1995.

Kemia ja mikrobiologia ovat verraten uusia tieteenaloja, joissa metrologista mittausjärjestelmää sovelletaan alan mittauksiin. Kemian alalla on jo alueita, joilla metrologinen rakenne noudattaa fysikaalisen metrologian rakennetta. Mikrobiologian osalta metrologinen järjestelmä hakee toistaiseksi muotoaan.

Keskeisinä painopisteinä ovat kaasujen metrologian kehittäminen, kliinisen kemian ja mikrobiologian metrologisen järjestelmän määrittäminen sekä kokonaisepävarmuuden laskentamenetelmien soveltaminen kemian ja mikrobiologian aloille.

Ionisoivan säteilyn suureet

Säteilyturvakeskuksesta (STUK) annetun asetuksen (618/97) mukaisesti STUK pitää yllä toimialansa kansallisia mittanormaaleja. STUKissa mittanormaalityö jakeantuu ionisoivan ja ionisoimattoman säteilyn alueille ja edelleen ionisoivan säteilyn osalta aktiivisuus- ja annossuureisiin.

Ionisoivan säteilyn annossuureiden tarkkoja mittauksia tarvitaan varsinkin lääketieteellisissä sovelluksissa, kuten röntgendiagnostiikassa ja erityisesti sädehoidossa. Kaikista STUKin suorittamista kalibroinneista noin puolet tehdään STUKin omaa mittaustoimintaa varten. STUKin ulkopuolisia kalibrointipalvelun käyttäjiä ovat kotimaiset säteilymittareiden ja röntgenkuvauslaitteiden valmistajat, henkilöannosmittauksia palveluna tarjoava kotimainen yritys, sairaalat ja ydinvoimalaitokset.

STUK osallistuu EUROMETin, IAEA:n ja EA:n organisoimiin mittausvertailuihin. Vuosittain järjestettävään IAEA:n mittausvertailuun (mittausaudit) STUK osallistuu säännöllisesti.

MASSASUUREET

TIIVISTELMÄ

Tässä asiakirjassa käsitellään massasuureiden kansallista mittanormaalityötä ja sen kehittämistä vuosina 2003–2007. Asiakirja perustuu massasuureisiin kuuluvien eri laboratorioiden vastuuhenkilöiden tekemiin kehittämissuunnitelmiin. 5-vuotissuunnitelmat on edellisen kerran laadittu keväällä 2000 ja ne on nyt MNK:n pyynnöstä päivitetty.

Asiakirjassa on selvitetty massasuureiden toimintaa ja kehittämistä siten, että mukana ovat suureet: massa, tiheys, paine, voima, vääntömomentti ja putoamiskiihtyvyys. Massan, tiheyden ja paineen kansalliset mittanormaalityöt ovat Mittatekniikan keskuksessa. Voiman ja vääntömomentin kansallista mittanormaalityötä hoitaa sopimuslaboratorio Raute Precision. Putoamiskiihtyvyyden kansallisena mittanormaalityöt toimii Geodeettinen laitos. Kovuudelle ei ole kansallista mittanormaalityötä tai sopimuslaboratoryötä. Kovuudelle on yksi akkreditoitu kalibrointilaboratorio. Kovuuden kehittämistä ei ole suunniteltu toteutettavaksi asiakirjassa kyseessä olevalla suunnittelujaksolla. Asiakirjassa ei käsitellä viskositeettia, joka kuuluu massasuureisiin mutta jonka kalibroinneille ei toistaiseksi ole ollut kysyntää.

Asiakirjassa kerrotaan suurealueen metrologiasta Suomessa kuvaamalla käyttäjäkenttää ja olemassa olevia KML-resursseja. Tarpeita kuvaamaan käytetään lukuja kuten akkreditoitujen kalibrointilaboratorioiden ja kalibrointitodistusten määrää. Tarkasteltavista suureista massan, paineen sekä voiman ja vääntömomentin alueilla toimii akkreditoituja kalibrointilaboratoryöitä. Suurealueen suorituskyvystä kerrotaan esittelemällä käytettävät normaalit sekä laboratorioiden toiminta-alueet.

Suurealueen kansainvälisestä yhteistyöstä kertoo aktiivinen osallistuminen eri työ- ja asiantuntijaryhmiin. Kaikissa tarkastelun kohteena olevissa suureissa on osallistuttu aktiivisesti työryhmiin ja asiantuntijaryhmien työskentelyyn.

Asiakirjassa annetaan selvitys eri suureiden osallistumisesta vertailumittauksiin. Massa-, paine- sekä voima- ja vääntömomenttisuureet ovat osallistuneet mm. EUROMETin ja EA:n vertailumittauksiin ja lisäksi Pohjoismaisiin vertailumittauksiin sekä lukuisiin pienempimuotoisiin ja kahdenkeskisiin vertailumittauksiin. Putoamiskiihtyvyyden osalta on osallistuttu absoluuttigravimetrien vertailuun BIPM:ssä ja EU:n UNIGRACE -hankkeeseen.

Asiakirjassa esitetyt keskeisimmät kehitysnäkymät liittyvät mittausepävarmuuksien pienentämiseen ja kalibrointimenetelmien kehittämiseen sekä joiltain osin mittausalueiden laajentamiseen. Tärkeänä seikkana esiin tuodaan asiakkaiden neuvonta mittausten suorittamisen ja tulosten hyödyntämisen suhteen. Kalibrointien kysynnän uskotaan monella osa-alueella kasvavan.

Vuosille 2003–2007 on asiakirjassa esitetty tavoitteita, jotka liittyvät olemassa olevien laitteiden modernisointiin tai uusien laitteiden hankintaan sekä käytössä olevien menetelmien kehittämiseen.

Koulutus- ja asiantuntijapalveluihin tullaan asiakirjan mukaan panostamaan tiedotuksen, kurssien ja muun asiakkaille kohdistuvan neuvonnan myötä.

1 JOHDANTO

Punnituksen avulla tapahtuva massan määrittäminen soveltuu erityisen hyvin kiinteiden materiaalien määrän mittaamiseen. Sitä sovelletaan myös tarkkoihin neste- ja kaasumäärien mittaamiseen. Ainemäärän mittaamisen lisäksi massaa tarvitaan aineiden laadullisten ominaisuuksien määrittämiseen sekä muiden suureiden realisointiin.

Tiheysmittauksia tarvitaan aineiden ominaisuuksien karakterisoinneissa. Tärkeimpinä tiheysmittausten käyttäjinä ovat kemian teollisuus ja prosessiteollisuus.

Paine on lämpötilan jälkeen eniten mitattu prosessisuure. Turvallisuuden kannalta luotettavat paineen mittaukset ovat ratkaisevan tärkeitä teollisuudessa ja ilmailussa.

Voima ja vääntömomentti ovat yleisimpiä mittaussuureita teollisuudessa. Tämän alueen mittausten jäljitettävyyden sekä mittaukseen liittyvän osaamisen saaminen läheltä ja nopeasti on osoittautunut tarpeelliseksi elinkeinoelämälle. Sillä on erityinen merkitys elinkeinoelämän kilpailukykyyn kannalta, koska nämä palvelut ovat hyvinkin kattavasti saatavissa lähes kaikissa kilpailijamaissa.

Putoamiskiihtyvyyden metrologia perustuu painovoima-arvoihin. Putoamiskiihtyvyyden aikakeskiarvo saadaan painovoimasta tekemällä määritelmistä johtuvat korjaukset. Putoamiskiihtyvyyden tai painovoimanmittauksen metrologiaa voidaan tarkastella kahdesta näkökulmasta: putoamiskiihtyvyys apusuurena muissa mittauksissa tai itsenäisenä suurena.

Kovuusmittaukset ovat tärkeä osa metalliteollisuuden tuotteiden ja kunnossapidon laadunvalvontaa. Kovuudelle ei ole SI-yksikköä eikä perusmittanormaalia, johon mittauslaitetta voitaisiin verrata. Ei ole olemassa myöskään mitään yhtä ainoaa yhtenäistä kovuusasteikkoa. Käytössä on useita kokemusperäisiä kovuusmittausmenetelmiä ja –asteikkoja.

Metrologian neuvottelukunnan kokoama ns. kovuustyöryhmä on selvittänyt syksyllä 1997 kovuusmittauksiin liittyvän metrologian kehittämistarpeita Suomessa. Tehty selvitys ei tuonut esiin suuria ongelmia kovuusmittaustulosten jäljitettävyydessä ja varmentamisessa juuri sillä hetkellä. Kovuustyöryhmän tekemään kyselyyn vastanneiden lähes yksimielisen käsityksen todettiin olevan, että kovuusmittaustoiminnan volyymissä on odotettavissa vain lievää kasvua. Työryhmä kuitenkin suositteli, että Mittatekniikan keskus nimeäisi kovuuden referenssilaboratorion ja takaisi sille resurssit kalibrointikovuusmittareiden ylläpitämiseen käytetyimmille asteikoille. –Referenssilaboratoriota ei ole nimetty.

2 MASSASUUREIDEN METROLOGIA SUOMESSA

2.1 Akkreditoitujen kalibrointipalvelut

Tarkasteltavista suureista massan, paineen sekä voiman ja vääntömomentin alueilla toimii akkreditoituja kalibrointilaboratorioita. Punnusten kalibrointiin on kaksi akkreditoitua laboratorioita ja vaakojen kalibrointiin viisi. Paineen akkreditoituja kalibrointilaboratorioita on yhteensä kuusi ja voiman ja vääntömomentin laboratorioita kaksi.

Punnusten kalibrointilaboratorioista toinen pystyy kalibroimaan OIML R111:n E₂-luokan punnuksia. Myös toinen laboratorio on laajentamassa toimintaansa tälle alueelle. Molemmat laboratoriot pystyvät kalibroimaan yli 50 kg punnuksia. Nykyinen kalibrointitarkkuus on riittävä lähes kaikkiin kalibrointeihin ja mittausalueet ja mittausepävarmuudet kattavat käytännössä käyttäjien tarpeet.

Paineen akkreditoitujen kalibrointilaboratorioiden normaalit ovat tyypillisesti painevaakoja ja kalibroitavat laitteet työnormaaleja. Voiman ja vääntömomentin alueella toimivat kaksi laboratorioita ovat kumpikin aineenkoetuskoneiden kalibrointilaboratorioita.

Massasta annetaan vuosittain noin 5000 akkreditoitua kalibrointitodistusta, joista suurin osa vaaoilte. Paineen akkreditoitujen laboratorioita antoivat vuonna 2001 yhteensä noin 1250 kalibrointitodistusta paineen mittauslaitteille. Voimasuureelle annettiin 130 todistusta ja vääntömomenttisuureelle 160 todistusta vuonna 2001.

Kovuusryhmän raportissa todetaan, että metallisten materiaalien kovuusmittaukseen oli vuoden 1997 lopussa akkreditointi kolmella suomalaisella testauslaitoksella ja kahdella oli akkreditointiprosessi käynnissä. Tällä hetkellä (syyskuu 2002) akkreditoituja testauslaboratorioita kovuudelle on neljä kappaletta.

Kovuusmittareiden varmentamiseen ja kalibrointiin on Suomessa yksi akkreditoitu kalibrointilaboratorio. Se saa jäljitettävyytensä kovuuspaloista.

2.2 Kansallisten mittanormaalilaboratorioiden ja sopimuslaboratorioiden kalibrointipalvelut

MIKES ylläpitää kansalliseen mittanormaaliin perustuvaa massa-asteikkoa alueella 1 mg – 50 kg. Se saa massan jäljitettävyyden kansainvälisestä mitta- ja painotoimistosta (BIPM). Nykyiset mittausresurssit mahdollistavat OIML:n luokan E₁ punnusten kalibroinnin OIML R111 ohjeen mukaisesti alueella 1 mg – 20 kg. MIKES ei kalibroi vaakoja asiakkaille.

MIKESissä kiinteän kappaleen tilavuus määritetään punnitsemalla kappale vedessä ja ilmassa. Kappaleen tiheys lasketaan sen massasta ja tilavuudesta. Tiheysmääritys on riittävä E₁-luokan punnusten massojen kalibrointiin.

Nesteiden tiheydet määritetään hydrostaattisilla punnituksilla. Areometrit kalibroidaan punnitsemalla ne alkoholissa ja ilmassa (nk. Cuckow menetelmä). Tiheysmittausten jäljitettävyyttä saadaan massasta sekä veden ja piin tiheyksistä.

MIKESin painealue alkaa tällä hetkellä absoluuttipainealueen 0,2 Pa:sta ja ulottuu 500 MPa:iin. Jäljitettävyys haetaan viidelle mäntä-sylinteriyhdistelmälle BNM-LNE:ltä Ranskasta.

Ylipainealueen 0 – 15 kPa ja absoluuttipainealueen 3 Pa – 15 kPa normaaliksi hankittiin vuonna 2001 uudentyypinen ja osittain vielä prototyyppivaiheessa oleva numeronäyttöinen painevaaka. Laitteen validointiprosessi on vielä kesken, mutta jo tähän mennessä saatujen tulosten perusteella voidaan luvata, että MIKESin epävarmuuksia mainitulla alueella voidaan olennaisesti pienentää. Absoluuttipainealuetta 10^{-4} Pa – 3 Pa varten MIKESillä on kaksi spinning rotor -tyyppistä tyhjiömittaria. Näiden mittarien validoinnin myötä mitta-alueen laajennus alueelle $5 \cdot 10^{-4}$ Pa – 0,2 Pa ja epävarmuuden pienentäminen alueella 0,2 Pa – 3 Pa voidaan toteuttaa vuoden 2002 aikana.

Voiman mitta-alue on akkreditoituna 10 N – 1 MN, mutta mitta-alue on 0,5 N – 1,1 MN. Vääntömomentin mitta-alue on 1 N·m – 2 kN·m akkreditoituna, mutta mitta-alue on 0,05 N·m – 20 kN·m.

Merkittävimpiä alueita voimanmittaukselle ovat materiaalien tutkimus ja laadunvalvonta (aineenkoetuskoneet), lentoturvallisuuteen liittyvät voimanmittaukset ja punnitukset sekä tuotannon laadunvalvontaan liittyvät mittaukset. Vääntömomentin kalibrointitarpeet tulevat vastaavasti valmistavasta teollisuudesta.

Putoamiskiihtyvyydessä kansallisina mittanormaaleina käytetään absoluuttigravimetrejä. Jäljitettävyys perustuu pituuden ja taajuuden jäljitettävyys, jotka ovat saatavissa kansallisesti, sekä kansainvälisiin absoluuttigravimetricien vertailuihin.

Putoamiskiihtyvyyden alueella noin 80 % asiakkaista on mekaanisten suureiden kansallisia mittanormaallilaboratorioita tai akkreditoituja kalibrointilaboratoriota. KML:n julkista infrastruktuuria, lähinnä I lk painovoimaverkkoa ja Vihdin kalibrointilinjaa, käyttävät jatkuvasti ne noin 10 organisaatiota, jotka maassamme tekevät painovoimanmittauksia. Vihdin kalibrointilinjan painovoimaeron epävarmuus riittää tällä hetkellä alueellisissa painovoimanmittauksissa käytettävien gravimetricien kalibrointiin.

MIKES antaa vuosittain noin 130 punnusten ja 10 tiheyden kalibrointitodistusta. Paineen mitta-laitteille annettiin vuonna 2001 91 kalibrointitodistusta. Putoamiskiihtyvyydestä on kalibrointitodistuksia annettu keskimäärin 1 vuodessa, ja toistaiseksi kaikki ovat koskeneet putoamiskiihtyvyyden arvoa tietyssä paikassa.

3 KANSAINVÄLINEN TOIMINTA

Massasuureessa osallistutaan aktiivisesti EUROMET MASS TC:n toimintaan sekä EA Expert Groups on Mechanical Measurements -työryhmän toimintaan. Massalaboratorio on myös osallistunut OIML:n punnusten testausohjetta valmistelevan työryhmän toimintaan.

Massan tärkeimmät vertailut viimeisen viiden vuoden aikana ovat olleet:

- EUROMET 215, kahden 1 kg punnuksen massa, avainvertailu
- EA-Ma1, punnusten 1 mg – 100 g massa ja tilavuus, MIKES ulkopuolinen osallistuja
- EUROMET 339, keraamisen pallon (Dia 55 mm) massa ja tilavuus, MIKES ulkopuolinen osallistuja
- EUROMET 627, nesteiden tiheysvertailu
- areometriversailu IMGC:n kanssa.

Vuonna 2002 MIKESin massalaboratorio osallistuu seuraaviin vertailuihin:

- EUROMET 509, Pt-Ir kilogrammojen vertailu
- EUROMET 510, ruostumattomasta teräksestä valmistettujen 1 kg punnusten avainvertailu
- EUROMET 445, punnusten 100 mg – 10 kg avainvertailu.

Vuonna 2002 Raute Precisionin massa- ja voimalaboratorio osallistuu 500 kg:n punnuksen vertailuun (EUROMET 461).

Levitointiin perustuva kilogramman realisointimenetelmä on kehitteillä. Kehitysyhteistyötä tekee MIKESin massalaboratorio yhdessä VNIIMin (Pietari) ja VTT:n kanssa. Viimeaikaisia tutkimuspainotteisia EUROMET projekteja, joissa MIKES on ollut mukana, ovat olleet tutkimus konvektion vaikutuksesta punnitustuloksiin (EUROMET 395) sekä tutkimus vaa-kojen magneettisista ominaisuuksista (EUROMET 598).

MIKESin painelaboratorio ei pysty itsenäisesti realisoimaan paineasteikkoa, vaan useiden muiden EUROMET-maiden vastaavien laboratorioden tavoin hakee jäljitettävyyden kaupallisesti saataviin laitteisiin primääritason laboratorioista: painesuureessa tärkein ulkomainen yhteistyökumppani on BNM-LNE, josta painevaakojen jäljitettävyyden hankitaan. Ruotsin kansalliseen painelaboratorioon (SP, aikaisemmin FFA) on tiiviit yhteydet; kahdenkeskisiä vertailumittauksia on järjestetty lähes vuosittain. Myös paineessa osallistutaan EA Expert Groups -työryhmän toimintaan.

Painelaboratorio on toiminut kolmessa EUROMET-paineprojektissa koordinaattorina. Ke-väällä 2002 on meneillään BNM-LNE:n kanssa EUROMET-vertailumittaus, jossa tutkitaan sekä kapasitiivisten paineantureiden että MIKESin uuden numeronäyttöisen painevaa'an ominaisuuksia. Kesällä 2002 toteutetaan vertailumittaukset PTB:n ja NMI:n kanssa.

EUROMETin paineen avainvertailuihin ja muihin tärkeisiin vertailuihin MIKESin painelaboratorio on osallistunut seuraavasti:

Painealue, väliaine	EUROMET nro	MIKESin mittausten ajankohta
0,5 MPa – 5 MPa, kaasun ylip.	305 avain	1994
3 Pa – 3000 Pa, kaasun ylip.	BCR	1995
10 MPa – 100 MPa, öljyn ylip.	389 avain	1997
0,1 Pa – 1000 Pa, kaasun abs.paine	442 avain	1999
80 kPa – 7 MPa, kaasun ylip.	439 avain	2000

Raute Precisionin massa- ja voimalaboratorio tekee tiivistä yhteistyötä voiman ja vääntömomentin alueella erityisesti Saksan PTB:n kanssa. Lisäksi yhteyttä pidetään pienempi-muotoisemmin seuraaviin laitoksiin: LNE (Ranska), IMGC (Italia) ja NPL (Iso-Britannia). Lisäksi on tehty vertailumittauksia Kiinan NIM:n kanssa sekä Ruotsin SP:n kanssa. Laboratoriolla on yhteyksiä myös seuraaviin Euroopan ulkopuolisiin laboratorioihin: NIST (USA), CECAM (Meksiko), KRISS (Korea), CIRO (Australia), PSB (Singapore) ja INMETRO (Brasilia). Massa- ja voimalaboratorio on osallistunut CCM:n voiman asiantuntijaryhmän, EUROMETin työryhmien, EA:n asiantuntijaryhmien, IMEKO TC3:n teknillisen komitean ja ISO:n standardointityöryhmän (TC 164) toimintaan.

Vertailumittauksia on tehty seuraavasti:

- Pohjoismainen voiman vertailumittaus, 1996
- Voiman vertailumittaus Kiinan kanssa alueella 1 kN – 5 kN, 1997
- Pohjoismainen voiman vertailumittaus, 1998
- Pohjoismainen aineenkoetuskoneen kalibrointien vertailu, 2000
- BIPM:n voiman avainvertailu alueella 5 kN ja 10 kN, 2000–2001
- Alueellinen EUROMET vertailu jatkona avainvertailulle, 2002–2003
- Lisäksi joka vuosi on tehty joillakin alueilla vertailumittaus PTB:n kanssa
- Vääntömomentin EA-T2 vertailumittaus, 2000.

Laboratorion mittauskyky on kansainvälisesti kohtuullisen hyvä, vain suurten voimien, 1 MN – 5 MN, puuttuminen aiheuttaa tarpeen käyttää ulkomaisia kalibrointipalveluja. Lisäksi massasarjojen kymmenportaisuus on ollut muutamissa harvoissa tapauksissa ongelma, normaalisti kalibrointilaboratorioiden massasarjoilla on tiheämpi porrastus.

Pitkäaikainen sitoutuminen koskee avainvertailua ja sen eurooppalaista, alueellista vertailua. Tämä sitoutuminen jatkuu aina vuoteen 2003 saakka.

Putoamiskiihtyvyyden metrologiassa kansainvälinen yhteistyö tapahtuu pääasiassa geodeettisten organisaatioiden kautta, painovoimanmittauksen nimissä. Organisaatiot ovat: IAG, sen sektio III (painovoimakentän määrittäminen), sektorin työryhmät, sektorin komissio XIII (kansainvälinen painovoima- ja geoidikomissio IGGC, jota edelsi komissio III eli kv. painovoimakomissio IGC), ja komission työryhmät (WG), tällä hetkellä WG2, ”World Gravity Standards”, ja WG6, ”International Comparison of Absolute Gravimeters”.

Niin kauan kuin absoluuttinen painovoimanmittaus oli harvinaista ja vaikeaa, oli maailmanlaajuinen painovoimaverkkojen standardisointi ja yhdistäminen jäljitettävyyden kannalta keskeistä. Merkittävin saavutus oli pääasiassa relatiivimittauksista koostuva IGSN71 (International Gravity Standardization Net 1971).

Euroopassa IGGC:n Euroopan alakomissio kokoaa ja laskee alueellisen verkon absoluuttimittauksista ja korkeimman tarkkuuden relatiivimittauksista; nyt on tekeillä UEGN2002. Absoluuttimittauksen yleistyttyä ja helpotuttua on WG6:sta tullut keskeinen. Se järjestää nelivuositain absoluuttigravimetrien vertailun BIPM:n tiloissa Sèvresissä. Nyt on kuitenkin CIPM:n massasuureiden neuvoo-antavaan komiteaan (CCM) perustettu gravimetrian työryhmä, joka todennäköisesti järjestää jo seuraavan kv. vertailun. Puheenjohtajan suunnitelmien mukaan tulevaisuudessa järjestettäisiin lisäksi pienempiä alueellisia vertailuja. Geodeettinen laitos on tarjonnut Metsähovia Luoteis-Euroopan vertailulaboratorioksi.

EUROMETissä ei ole putoamiskiihtyvyyden yhteistyötä. CMC-taulukot on koottu.

Geodeettinen laitos (GL) edustaa Suomea IGGC:ssä. Työryhmässä WG6 on GL ollut edustettuna vuodesta 1986. GL on osallistunut tai osallistuu niin IGSN71:n, IAGBN:n, UEGN94:n kuin UEGN2002:n luomiseen, mittauksiin ja/tai laskuihin. Yhteistyötä absoluuttigravimetriassa on useimpien Euroopassa toimivien ryhmien kanssa.

GL osallistui kv. absoluuttigravimetrien vertailuun BIPM:ssä v. 1989, 1994, 1997 ja 2001. Kansainvälisten geodeettis-geofysikaalisten painovoimanmittaushankkeiden yhteydessä järjestetään yleensä multi- tai bilateraalisia vertailuja osallistuvien absoluuttigravimetrien välillä. Viimeisin johon GL osallistui oli EU:n UNIGRACE-hanke (1998–2001; viisi absoluuttigravimetriä). Valmisteilla on mm. bilateraalin vertailu TsNIIGAiK:n (Moskova) kanssa Metsähovissa.

GL:lla on tällä hetkellä aina vuoteen 2004 ulottuvia sitoumuksia absoluuttigravimetrian mittauksista yhteensä kuuteen maahan.

4 YLEISET KEHITYSNÄKYMÄT

Tarkimpia punnuksia tarvitaan mm. vaakojen, punnusten, painevaakojen punnusten ja suorakuormituskoneissa käytettävien punnusten kalibrointiin. Suurimmat tarkkuusvaatimukset ovat alueella 1 mg – 200 g. OIML luokan E₁ mukaisten punnusten kalibrointitarve tulee erityisesti tällä alueella lähitulevaisuudessa kasvamaan.

Kaikkein tarkimpien vaakojen, kuten mikrovaakojen, kalibroinnit tulevat kasvamaan. Tämä edellyttää joiltakin akkreditoituilta laboratorioilta pienempiä mittausepävarmuuksia. Useimpien käytännön punnitusten kannalta nykyiset epävarmuudet ovat riittäviä. Ongelmia ovat vaakojen stabiilius sekä kalibrointimenetelmät. EA valmistelee vaakojen kalibrointiohjetta, joka tulee yhtenäistämään vaakojen kalibrointeja Euroopassa.

Punnusten ja vaakojen kalibrointitarve tulee pysymään vähintäänkin nykyisellä tasolla. Automaattisten vaakojen kalibrointi on vielä vähäistä.

Tiheyden kalibrointien määrä MIKESissä on pysynyt vähäisenä. Tiheyskalibrointien kysynnän uskotaan kasvavan. Tarkkuusvaatimukset tulevat kasvamaan. Tiheyden kalibrointitarve tulisi kartoittaa. Pienten tilavuuksien kuten pipettien kalibrointitarve tulee kasvamaan.

Suurimmalle osalle Suomessa nykyisin tehtävistä paineen mittauksista pystytään tarjoamaan jäljitettävyyttä riittävän pienellä epävarmuudella. Ilmeisiä kehittämistarpeita kuitenkin on:

Elektroniikkateollisuuden kehitys ja suomalaisyritysten lisääntyvä osallistuminen avaruustutkimushankkeisiin lisää tyhjiöalueen mittauksia ja kalibrointeja ja asettaa uusia vaatimuksia MIKESin mittauskyvyille. Kehittämistarvetta on erityisesti tyhjiöalueella 10^{-7} Pa – 1 Pa. Sekä alueen laajentaminen että epävarmuuden pienentäminen ovat tarpeen.

Dynaamiset paineen mittaukset ovat tulevien vuosien haasteita. Jäljitettävyyttä dynaamiselle paineelle tarvitsevat puolustusvoimien ja puolustustarviketeollisuuden ohella myös mm. dieselmoottoreiden ja pumppujen valmistajat. Painealue on laaja, samoin taajuusalue, ja laitteet ja menetelmät poikkeavat staattisen paineen vastaavista. Tällä hetkellä Euroopassa on vain yksi dynaamiseen painekalibrointiin akkreditoitu laboratorio, ENSAM Ranskassa.

Voiman osalta kotimaisten kalibrointien tarpeet voidaan toteuttaa 95 %:sti. Ainoastaan suurempien voimien osalta, 1 MN – 5 MN, joudutaan turvautumaan kansainvälisiin palveluihin. Tällä alueella lienee noin 20 anturia. Ne kalibroidaan nykyään pääsääntöisesti PTB:llä.

Vääntömomentin osalta nykyisten kehityshankkeiden valmistuttua kotimaiseen kysyntään voidaan vastata lähes täydellisesti. Vääntömomentin osalta tarve on ollut saada erityisesti elektroniikkateollisuudelle kalibrointimahdollisuuksia pienille voimille. Tätä varten on kehitetty kalibrointilaitteita: perusnormaali $M < 10$ N·m sekä vertailuanturiin perustuva pystykalibrointipenkki momenteille < 50 N·m. Lisäksi suurten momenttien osalta on tarve ollut nostaa aluetta 20 kN·m:iin, johon on rakenteilla pystyrakenteinen vertailuanturiin perustuva kalibrointipenkki. Vääntömomentin alueella on esiintynyt tarvetta kehittää ja tutkia dynaamisesti mittaavien laitteiden kalibrointia ja käyttäytymistä.

Laboratorion paras mittauskyky on vastannut yleensä hyvin esiintyneitä tarpeita. Enemmän tarvetta onkin esiintynyt voima- ja vääntömomenttilaitteilla suoritettujen mittausten oikean suorittamisen sekä kalibrointitulosten ymmärtämisen neuvonnan suhteen.

Voiman osalta tulee laboratoriolla säilymään eräänlainen ”monopoli”, koska laiteinvestoinnit ovat erittäin suuret verrattuna kalibrointityön vuosittaiseen määrään ja laboratorion kapasiteetti riittää mitä todennäköisimmin Suomen tarpeisiin. Vääntömomentin osalta on oletettavaa, että ainakin työkalujen ja ehkä niiden kalibrointilaitteidenkin kalibrointiin tulee akkreditoituja laboratorioita.

Kun tarkastellaan putoamiskiihtyvyyttä apusuurena, riittää suunnitelmajaksolla edelleen useimpiin mekaanisten suureiden mittauksiin putoamiskiihtyvyyden epävarmuus 1×10^{-6} g (95 %). MIKESin kilogramman realisointihankkeessa on kuitenkin tavoitteena epävarmuus 1×10^{-8} m (95 %), joka on puolet putoamiskiihtyvyyden kansallisen mittanormaanin epävarmuudesta, ja lisäksi edellyttää erityisen huolellista putoamiskiihtyvyyden aikavaihtelun enustamista. Tarkkuusasteikon toisessa päässä tarvitaan tietoja putoamiskiihtyvyydestä esimerkiksi vaakoja varten epävarmuudella 1×10^{-5} tai huonommalla.

Putoamiskiihtyvyyden käytössä itsenäisenä suurena ovat vaatimukset jo nyt osittain tiukemmat kuin Geodeettisen laitoksen suorituskyky. Monissa geofysikaalisissa sovellutuksissa, jotka liittyvät painovoimakentän ajallisiin vaihteluihin tarvitaan vähintään toistettavuutta $0,04 \mu\text{m s}^{-2}$ eli 4×10^{-9} (95 %). Uusimman sukupolven absoluuttigravimetreillä tähän päästään.

Paikallista vaihtelua mitattaessa tarvittava infrastruktuuri riippuu käytetystä tekniikasta. Suunnitelmakaudella tulee markkinoille kannettavia absoluuttigravimetrejä, joiden tarkkuus ja maastokelpoisuus ovat lähes samat kuin tämänhetkisten relatiivigravimetrien. Absoluuttigravimetrit ovat kuitenkin huomattavasti kalliimpia ja kömpelömpiä käyttää. Painovoimasatelliittien avulla taas saadaan vain painovoimakentän suuret piirteet noin 100 km erotuskyvyllä. Siten relatiivimittaus lähtien tunnetuista pisteistä tulee edelleen olemaan tärkein menetelmä mitata painovoiman vaihtelua paikasta toiseen ja GL:n tehtävänä on tarjota tähän riittävän tiheä, tarkka ja helposti tavoitettava I lk lähtöpisteiden verkko. Nykyinen I lk verkko on tiheydeltään ja pisteiden tavoitettavuuden kannalta hyvä. Sen painovoima-arvojen epävarmuus $0,6 \mu\text{m s}^{-2}$ (95 %) on kuitenkin vähintään puolitettava.

Painovoiman ajallinen vaihtelu on sekä tutkimuskohde että haitta. Esim. I lk pisteillä sitä ei voida kunnolla kontrolloida. Suunnitelmakaudella jatketaan ”nollannen luokan verkon” eli absoluuttiverkon mittausta. Lopullisessa verkossa on n. 10 pistettä kalliolla (pysyvillä GPS-aseilla) suojatuissa oloissa. Havaintoja niillä toistetaan säännöllisesti, mm. jääkauden jälkeisen maannousun tutkimiseksi. Ne muodostavat I lk verkon ”metrologisen selkärangan”, I lk verkko on käyttäjälähtöinen. Maannousun tutkimusta jatketaan myös relatiivimittauksin ns. maannousupainovoimalinjoilla (havaintosarjoja vuodesta 1966). Tutkitaan mahdollisuuksia siirtä absoluuttimittaukseen.

Pääasiallinen työkalu painovoiman ajallisen vaihtelun tutkimuksessa ja mallien kehittämisessä on tulevaisuudessakin Metsähoviin sijoitettu suprajohdava (kryogeeninen) gravimetri GWR T020, jonka elektroniikkaa ja tiedonkeruuta joudutaan suunnitelmakaudella nykyaikaistamaan. Jo lähitulevaisuudessa myös painovoimasatelliitilla (GRACE) voidaan tutkia laaja-alaisista massan vaihtelusta johtuvia painovoiman vaihteluita. Pistekohtaiseen ennustamiseen on näistä mittauksista kuitenkin hyvin vaikea päästä.

5 TAVOITTEET VUOSILLE 2003–2007

Massan osalta tärkeimpinä kalibrointitoiminnan kehityskohteina ovat uusien massakomparaattoreiden (100 g, 1 kg, 10 kg, 50 kg) sekä toisen Pt-Ir kilogramman hankkiminen. Jatkossa MIKESin tulee keskittyä OIML E₁ punnusten kalibrointiin. Massassa tärkeimpänä tutkimushankkeena on suprajohdavaan levitointiin perustuvan kilogramman realisointimenetelmän kehittäminen.

Tiheydessä uusitaan nesteiden tiheyksien kalibrointilaitteisto ja kehitetään mittausten menetelmiä. Tavoitteena on pienentää nesteiden tiheyden mittauserävarmuutta oleellisesti. Kiinteiden kappaleiden tiheyksien kalibrointierävarmuudessa pyritään suhteelliseen mittauserävarmuuteen 10^{-5} .

Painekalibrointitoiminnan kehityskohteita ovat tyhjiöalueen kalibrointien epävarmuuden pienentäminen ja alueen laajentaminen alaspäin. Tämä edellyttää laitteistojen ja mittausten menetelmien kehittämistä. Vuodelle 2003 on suunniteltu yhteispohjoismainen vakuuialuetta

koskeva tarvekartoitus. Myös dynaamisen paineen jäljitettävyystarpeita ja olemassa olevia resursseja koskevasta pohjoismaisesta kartoituksesta on sovittu Ruotsin kansallisen painelaboratorion kanssa.

Voiman osalta suurien voimien kalibroinnin kehittämiseen on tietty tarve ottaen huomioon kapasiteetin saatavuus nyt käytetyissä kalibrointilaboratorioissa sekä tarve oppia mittaamaan myös käytännössä suuria voimia. Aikataulua laajennukselle ei ole vielä suunniteltu, mutta jos se katsotaan aiheelliseksi toteuttaa, se sijoittunee suunnittelujakson loppupuolelle.

Voiman osalta ovat tutkimuskohteina monikomponenttianturit, joita käytetään esimerkiksi robottitekniikassa. Myös monikomponenttiventilaanturit ovat tulossa käyttöön, joten niidenkin tekniikka ja käyttökelpoisuus tulisi tutkia. Lisäksi voiman alueella tullaan kiinnittämään huomiota dynaamiseen voiman kalibrointiin. Vääntömomentin osalta on jo nyt tarvetta tutkia dynaamista momentin mittausta ruuvien kiinnityksessä ja staattisen kalibroinnin luotettavuutta kalibroitaessa näitä laitteita. Toinen tutkimuskohde on vääntömomenttianturien dynaaminen käyttäytyminen ja tehtyjen staattisten kalibrointien toimivuus dynaamisessa tilassa. Monikomponenttianturien käytön ja kalibroinnin sekä dynaamisen kalibroinnin alueille haetaan tutkimusyhteistyöprojekteja teollisuuden kanssa.

Putoamiskiihtyvyyden alueella on suunnittelujaksolla tavoitteena seuraavanlaisia kehityshankkeita: uuden absoluuttigravimetrin hankinta mittanormaaliksi ja vanhan absoluuttigravimetrin modernisointi mittanormaalin varmentamiseksi, kalibrointipalveluun ja geodesian ja geofysiikan tutkimukseen liittyen absoluuttiverkon mittaus, relatiivigravimetrin hankkiminen yleistyökaluksi, I luokan painovoimaverkon päivitys kalibrointipalvelun parantamiseksi sekä suprajohdavan gravimetrin modernisointi ja painovoiman ajallisen vaihtelun tutkiminen.

Menetelmiä, laskentarutiineja ja tiedonkeruuta pyritään kehittämään kaikilla tarkastelun kohteena olevilla suurealueilla.

Koulutukseen ja asiantuntijapalveluihin tullaan panostamaan seuraavalla tavalla: Geodeettisella laitoksella on jo työn alla hanke, jonka myötä putoamiskiihtyvyyden interpoloiminen tulee mahdolliseksi Geodeettisen laitoksen verkkosivuilla. Myös aiheeseen liittyvä tietopaketti tehdään. MIKESin, MNK:n ja AEL:n tarkastelun kohteena olevia suureita käsittelevien kurssien järjestämiseen sekä kurseilla luennoimiseen pyritään osallistumaan aktiivisesti. Asiakkaita neuvotaan mittauksiin ja kalibrointeihin liittyvissä kysymyksissä esille tulevan tarpeen mukaan.

Kovuus-suureen kehittämistä ei ole suunniteltu toteutettavaksi kyseessä olevalla suunnittelujaksolla.

6 LÄHDELUETTELO

Mäkinen, J. 6.5.2002. Versio 2. Julkaisematon asiakirja: Putoamiskiihtyvyyden mittanormaalityö ja sen kehittäminen 2003–2007. Geodeettinen laitos/Geodesian ja geodynaamiikan osasto. 5 s.

Pusa, A. 18.4.2002. Julkaisematon asiakirja: Voiman ja vääntömomentin jäljitettävyyden ja kalibrointi strategia vuosille 2003–2007. Raute Precision/Massa- ja voimalaboratorio. 4 s.

Rantanen, M. 18.4.2002. Julkaisematon asiakirja: Kehittämissuunnitelma vuosille 2003–2007. Mittatekniikan keskus/Painelaboratorio. 3 s.

Riski, K. 20.5.2002. Versio 2. Julkaisematon asiakirja: Massan ja tiheyden kansallinen mittanormaalityö ja sen kehittäminen 2003–2007. Mittatekniikan keskus /Massalaboratorio. 3 s.

Mittatekniikan keskuksen julkaisu: Metallisten materiaalien kovuusmittaukset. Kovuustyöryhmän raportti. 1998. Helsinki: Metrologian neuvottelukunta. Julkaisu J1/1998. 27 s.

Mittatekniikan keskus, FINAS, Akkreditoituiden toimielimet, Internet-sivut: www.mikes.fi.

LÄMPÖTILASUUREET

TIIVISTELMÄ

Kalibrointipalvelu lämpötilan suurealueella käsittää lämpötilan ja kosteuden mittausräätit.

Lämpötilan kansallisen mittanormaalilaboratorion kalibrointialue on -196 °C (nestetyypin kiehumislämpötila), kaikki kiintopisteet välillä $-189,3442\text{ °C}$... $+1084,62\text{ °C}$ ja hauteissa ja uuneissa välillä -80 °C ... $+1550\text{ °C}$. Infrapunalämpömittareiden kalibrointi suoritetaan välillä -40 °C ... $+1700\text{ °C}$.

Kosteuden kansallisen mittanormaalilaboratorion kalibrointipalvelu kattaa kastepistelämpötila-alueen -60 °C ... $+77\text{ °C}$ sekä suhteellisen kosteuden alueen 10 %rh ... 95 %rh lämpötila-alueella -20 °C ... $+77\text{ °C}$.

Akkreditoituja lämpötilalaboratorioita on v. 2002 alussa 5 kpl. Ne pystyvät kalibroimaan koskettavia lämpötila-antureita nestetyypin kiehumispisteessä ja välillä -120 °C ... 1500 °C hauteissa ja uuneissa, ja infrapunalämpömittareita välillä -10 °C ... $+1500\text{ °C}$. Yhden laboratorion pätevyysalueeseen kuuluu myös kosteus kattaen alueen $0,1\text{ %rh}$... 98 %rh ($+20\text{ °C}$). KML:t pystyvät siis tällä hetkellä palvelemaan akkreditoituja laboratorioita hyvin.

KML:n kansainvälinen toiminta on aktiivista ja sillä on merkittävä rooli myös tulevaisuudessa. Laboratoriot toteutettavat tutkimus- ja kehityshankkeita, joilla laajennetaan mitta-alueita, kehitetään kalibrointi- ja vertailumenetelmiä sekä vahvistetaan toimintaa nykyisellä mitta-alueella.

Panostusta asiantuntijapalveluihin lisätään.

1 JOHDANTO

Lämpötilan mittaus kuuluu melkein jokaiseen tuotantoprosessiin elintarviketeollisuudesta terästehtaisiin. Lämpötilaa mitataan myös useimmissa fysiikan ja kemian kokeellisissa tutkimuksissa sekä testauksissa. Lämpötila tulee tuntea esim. mitattaessa resistanssia, pitoutta, massaa ja kosteutta.

Rakennuksissa havaitut kosteusvauriot ovat lisänneet huomattavasti yleistä kiinnostusta kosteusmittauksiin ja niiden luotettavuuteen. Samaan aikaan kosteusmittausten merkitys on kasvanut monenlaisten prosessien ja testausten laadun varmistamiseksi.

Suurealueen merkittävyyttä kuvaa Mittatekniikan keskuksen vuonna 1992 – 1994 tekemien selvitysten tulokset, joiden mukaan lämpötilan ja kosteuden mittaustoiminta kattoi 67 % ... 79 % kaikista teollisuuden mittauksista [1-3].

2 LÄMPÖTILASUUREIDEN METROLOGIA SUOMESSA

Lämpötilan suurealueen kansallinen mittanormaaloiminta pitää sisällään lämpötilan ja kosteuden KML:t sekä viisi lämpötilakalibrointeihin akkreditoitua laboratoriota. Yhden akkreditoitun laboratorion pätevyysalue kattaa myös suhteellisen kosteuden mittarien kalibroinnin. Vuonna 2001 nämä laboratoriot antoivat kalibrointitodistuksia 1979 kpl.

Muut termiset suureet, kuten lämmönjohtavuus, perustuvat lämpötilan mittaamiseen ja ovat testaustyyppisiä. Luotettavimmat rakennusmateriaalien kosteusmittaukset perustuvat kaasun kosteuden mittaamiseen. Näillä alueilla kansallisen metrologisen infrastruktuurin merkitys ilmenee yhteistyössä, tiedonvälityksessä sekä koulutuksessa.

Kalibrointi- ja asiantuntijapalvelun käyttäjiä ovat monenlaiset teollisuusyritykset, kauppa, apteekit, laboratoriot, terveyden huolto jne.

Sekä lämpötilan että kosteuden KML:t ylläpitävät suurealueensa primäärinormaaleja kansallisina mittanormaaleina. Tämän hetkiset KML-resurssit ovat:

Lämpötila:

ITS-90 -asteikon realisointi:

Kiintopistekennot + SPRT:t alueella -189 °C ... +962 °C

Kalibr. epävarmuus 0,2 mK ... 10 mK

Pyrometri + mustan kappaleen säteilijät, 962 °C ... +1500 °C

Kalibr. epävarmuus 0,03 K ... 2 K

Muu kalibrointipalvelu:

Kiintopistekennot termoelementeille, 232 °C ... +1085 °C

Kalibr. epävarmuus 0,2 K ... 0,4 K

Mustan kappaleen säteilijät säteilylämpömittareille, -40 °C ... +500 °C

Kalibr. epävarmuus 0,1 K ... 2 K

Vertailukalibrointihauteet ja heat pipe -uuni, -196 °C ... +660 °C

Kalibr. epävarmuus 0,005 K ... 0,01 K

Vertailukalibrointiuuni termoelementeille, 0 °C ... +1550 °C

Kalibr. epävarmuus 0,6 K ... 2,6 K

Kosteus:

Kastepistegeneraattorit, -60 °C ... +77 °C

Kalibr. epävarmuus 0,05 °C ... 0,08 °C

RH-generaattori, 10 %rh ... 95 %rh (-20 °C ... +77 °C)

Kalibr. epävarmuus 0,1 %rh ... 1,0 %rh

RH-komparaattori, 10 %rh ... 95 %rh (-20 °C ... +77 °C)

Kalibr. epävarmuus 0,2 %rh ... 1,5 %rh

Sääkaappi + optinen kastepistemittari, 10 %rh ... 95 %rh

(ilman lämpötila: 10 °C ... +85 °C, kastepistelämpötila: -10 °C ... +77 °C)

Kalibr. epävarmuus 0,4 %rh ... 2,0 %rh.

Jyväskylän yliopiston fysiikan laitoksella on kehitetty primäärinen CBT-nanolämpömittari, joka on vartenotettava vaihtoehto lämpötila-asteikon ITS-90 määrittämiseksi lämpötilan 1 K alapuolella.

Rautaruukki Oy on kehittänyt nestetyypellä toimivan hauteen, jossa voi kalibroida antureita lämpötila-alueella -170 °C ... -50 °C . Tällaisia hauteita on Euroopassa vähän, Hollannin KML on kehittänyt yhden ison laitteen itselleen, ja Portugalin KML on ostanut sieltä samanlaisen.

3 KANSAINVÄLINEN TOIMINTA

Yhteistyökanavat

Merkittävin kansainvälisen yhteistyön kanava on EUROMET, jonka lämpötilan asiantuntijatyöryhmän toimintaan MIKES osallistuu aktiivisesti. EUROMET-projekteissa MIKES on toiminut sekä osallistujana että koordinaattorina.

Muita kansainvälisen yhteistyön kanavia ovat olleet NORDTEST, OIML sekä IWGHM:n (*International Working Group on Humidity Measurements*). Kosteuslaboratorio tekee tutkimusyhteistyötä Industrial Research Ltd:n (Uusi-Seelanti) kanssa ja on antanut asiantuntija-apua Pohjoismaissa. Omaa osaamista on käytetty tiedeyhteisön hyväksi referoimalla artikkeleita tieteellisille lehdille.

Vertailumittaukset

Lämpötilan KML on 10 v. aikana osallistunut useampaan vertailumittaukseen, ja nyt kaikki KML:n kiintopistekennot argonista sinkkiin paitsi gallium on verrattu Euroopan KML:n kennoihin hyvällä menestyksellä. MIKES osallistui myös EU:n rahoittamaan TRIRAT-hankkeeseen, jossa tutkittiin säteilylämpömittarien kalibrointia.

Vuosina 1995 – 1997 toteutettiin kosteuden suurealueella ensimmäinen monenkeskinen vertailu, johon myös MIKES osallistui. Vertailu oli osa EU:n rahoittamaa hanketta. MIKES koordinoi toista kastepistelämpötilavertailua vuosina 1999 – 2001. MIKES on lupautunut koordinoimaan kosteuden alueellista avainvertailua Euroopassa ja osallistuu maailman laajuiseen kosteuden avainvertailuun.

Tiedonhankinta

Merkittävimmät tiedonhankintakanavat ovat tieteellisten julkaisujen lisäksi *Tempmeko*, *Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry* ja *ISHM (International Symposium on Humidity and Moisture)* –konferenssit sekä aktiiviset henkilökohtaiset kontaktit. Lisäksi on osallistuttu joillekin muiden maiden KML:ien järjestämille kursseille.

Sijoittuminen kansainväliseen kenttään

MIKESin lämpötilalaboratorio sijoittuu kansainväliseen kenttään keskisuurien laboratorioiden alueelle. Euroopan suuret laboratoriot (6/25) ovat CCT:n jäseniä. Lämpötilalaboratorio on mukana uusien kalibrointien kansainvälisessä kehityksessä. Pintalämpömittareiden kalibroinnin kehittäminen ja pinnan lämpötilan mittaaminen on tullut yhä tärkeämmäksi elinkeinoiminnassa.

Kansainvälisesti katsottuna MIKESin kosteuslaboratorion tutkimuspanos on merkittävä. Erityisosaamisalueena on vertailumittaukset ja vertailumenetelmät, mikä on kansainvälisesti tunnustettu. Mittausalueeltaan sekä –epävarmuudeltaan MIKES kuuluu maailman kymmenen parhaimman kosteuden KML:n joukkoon.

4 YLEISET KEHITYSNÄKYMÄT

Lämpötila

Mittanormaalityönnän osalta merkittävimmät tutkimushankkeet maailmalla kohdistuvat lämpötila- ja kosteusasteikkojen ääripäihin. Lämpötila-asteikon yläosaa (yli 1000 °C) pyritään kehittämään tutkimalla mm. eutektisia kiintopisteitä. Lämpötila-asteikon alaosassa (alle 25 K) etsitään vaihtoehtoja vaikeakäyttöisille kaasulämpömittareille mm. kohinalämpömittareista. Tämän alueen tutkimuksen eturintamassa on ollut myös Jyväskylän yliopisto. Lisäksi lämpötila-asteikkoa tutkitaan erityisesti kiintopisteiden (mm. epäpuhtaudet) sekä eri tavalla määriteltyjen päällekkäisten lämpötila-alueiden yksikäsitteisyyden osalta. Erityisen kiinnostuksen kohteena on luonnollisesti veden kolmoispiste, joka on lämpötilan yksikön määrittelyn kulmakivi. Säteilylämpötilan mittaamista sekä matalissa että korkeissa lämpötiloissa tutkitaan monissa projekteissa eri puolilla maailmaa.

Käyttäjätasoa koskevassa lämpötilan mittaustoiminnassa kehitys on kohdistunut erityisesti erilaisiin automaatiojärjestelmiin sekä kannettaviin kalibrointilaitteistoihin. Myös säteilylämpötilan mittaustarvikkeet ovat kehittyneet ja yleistyneet vastaten kosketuksettomaa lämpötilan mittauksen lisääntyneeseen tarpeeseen. Kasvava tarve parempaan tarkkuuteen sekä mittaustarve kohteista, joissa monenlaiset lämmönsiirtymisilmiöt vaikeuttavat mittauksia, luovat tarpeita kehittää kalibrointimenetelmiä sekä asiantuntijapalvelua.

Kosteus

Erityisesti elektroniikkakomponentteja valmistava teollisuus on lisännyt voimakkaasti tarpeita luotettavien kosteusmittausten suorittamiseksi hyvin alhaisissa kosteuksissa. Merkittävä osa kosteusmittanormaaleja koskevasta tutkimustoiminnasta eri puolilla maailmaa kohdistuu nykyisin tälle alueelle. Samasta syystä myös mittaustarvikkeiden valmistajat panostavat voimakkaasti kehittämään nykyisiä joko kohtalaisen epäluotettavia tai vaikeakäyttöisiä mittareita käyttäjätasolle. Tässä kehityksessä on mukana myös Vaisala Oyj.

Mittanormaalityönnän kehitystä alhaisissa kosteuksissa vaikeuttaa se, että kylläisen vesihöyryn paine tunnetaan varsin huonosti lämpötilan läheisyydessä –100 C:a, eikä luotettavaa tietoa ole olemassa koskien sitä kylmempää olosuhteita. Näin ollen yleisesti käytössä olevan kastepistelämpötilamittanormaalin käyttö on vaikeaa, koska kaasussa olevan vesihöyryn määrän laskenta on tällöin epätarkkaa tai mahdotonta. Tarvetta olisikin kylläisen vesihöyryn paineen sekä eri kosteussuureiden keskinäisten suhteiden tutkimukseen äärialueilla.

Lisääntyvä tarkkuustarve laajalla mittausalueella teollisuudessa (mm. mittaustarvikkeiden valmistajat) lisää tarvetta kehittää erilaisien kalibrointilaitteistojen kalibrointimenetelmiä sekä kalibrointipalvelua koskien erilaisia kaasuja. Kalibrointipalvelua tarvitaan myös korkeissa kosteuksissa (ja korkeissa lämpötiloissa).

MIKES on panostanut erityisesti vertailumittausmenetelmiä koskevaan tutkimukseen. Nämä menetelmät ovat olleet monessa suhteessa epätyytyttäviä suhteessa mittanormaalityönnän tarkkuuteen. Kastepistelämpötilan mittauksen osalta tilanne on parantunut viime vuosina mark-

kinoille tulleiden uusien kastepistemittarien myötä, mutta vielä ongelmia riittää parhaimman tarkkuuden saavuttamiseksi. Vertailumenetelmät suhteellinen kosteuden osalta vaativat huomattavaa panostusta, jotta vertailuja voitaisiin toteuttaa nykyisten mittanormaalien edellyttämällä tarkkuustasolla.

Suomessa erityisen huomion kohteena ovat viime vuosina olleet materiaalien kosteuden mittaamenetelmät. Tällä alueella luotettavimmat mittaamenetelmät perustuvat ilman kosteuden mittaamiseen materiaalin sisältä, joten kalibrointipalvelua on saatavissa riittäväällä tarkkuustasolla. Kehitystarve kohdistuu erityisesti koulutukseen, mittaustulosten analysointiin, materiaalien ominaisuuksiin sekä edullisten ja käyttökelpoisten mittaamenetelmien kehittämiseen.

Yhteiset

Koko suurealueella on tarvetta mittaamista ja mittausten luotettavuutta koskevaan koulutukseen sekä asiantuntija-apuun. Mittanormaalilaboratorioiden asiantuntemusta on pyrittävä jakamaan erilaisin koulutustilaisuuksin, yhteistyö-, kehitys- ja tutkimusprojektein sekä muun asiantuntija-avun kautta.

Kansainvälinen verkottuminen ja sen mukanaan tuoma tunnettuus on välttämätöntä kansainvälistyvässä kentässä toimiville yrityksille ja laitoksille.

5 TAVOITTEET VUOSILLE 2003–2007

5.1 Lämpötila

5.1.1 Tutkimusprojektit

Säteilylämpötila-asteikko filtteriradiometrillä

Tämä projekti on käynnistetty yhteistyössä TKK:n kanssa vuonna 2001. Toistaiseksi on tarkoituksena suorittaa mittauksia välillä +900 °C ... +1700 °C. Jos tulokset ovat hyviä jatketaan tutkimusta lämpötilaan +2300 °C asti.

Eutektiset kiintopisteet

Eutektiset kiintopisteet (hiilen ja metallin seos) saattavat olla lämpötila-asteikon ITS-90 uusia kiintopisteitä. Ne ovat Cu-pisteen (+1084 °C) yläpuolella, joten ne soveltuvat lähinnä infrapunalämpömittareiden kalibrointiin. Joitakin niistä voisi mahdollisesti käyttää termoelementtien kalibrointiin. Lämpötilan +2000 °C alapuolella löytyy jo 4 pistettä: Ni, 3 % C 1326 °C, Pd, 2,7 % C +1504 °C, Pt, 1,2 % C +1705 °C, Ru, 2,5 % C +1940 °C.

Kaksiulotteiset säteilijät

Tämä projekti on lähtenyt liikkeelle Nordtest-projektina. Tarkoituksena on rakentaa iso harmaa säteilijä teollisuuden infrapunalämpömittareiden kalibrointiin. Tavalliset mustan kappaleen säteilijät ovat usein liian pieniä tällaisille laitteille, jotka mittaavat lämpötilaa melko laajalta pinnalta. Nordtestin puitteissa rakennetaan aluksi 10 cm:n säteilijä lämpötila-alueelle 0 °C ... +200 °C. Jatkoprojektina voisi rakentaa isomman säteilijän jonka ylin lämpötila olisi esim. +400 °C ... +500 °C. Säteilijän rakenteen tulee olla sellainen, että lämpötila on koko pinnalla sama, ja emissiivisyys myös sama. Seuraavana ongelmana on säteilijän emissiivisyyden määrittäminen.

5.1.2 Kehitysprojektit

Pyrometrikalibroinnin parantaminen H₂O, Cs, K, Na-heatpipe -säteilijöillä

TRIRAT-projektissa huomattiin, että KML:n säteilijöitä pitää kehittää. TRIRAT-projektissa toimivat ainoastaan KML:n säteilijät välillä $-40\text{ °C} \dots +450\text{ °C}$ hyvin. Välillä $-40\text{ °C} \dots +50\text{ °C}$ KML:llä on ammoniakki-heatpipesäteilijä, jonka lämpötila mitataan Pt25-anturilla, josta sitten lasketaan säteilylämpötila. Tämän säteilijän lämpötilan jatkeeksi halutaan vesi-, Cesium-, Kalium- ja Natrium-heatpipe -säteilijöitä kattamaan lämpötila-alueen ammoniakkiheatpipesta lämpötilaan 1100 °C asti. Heatpipe-säteilijän lämpötila on tasainen kaikkialla onkalon seinissä, mikä parantaa emissiivisyyden. Lisäksi voi heatpipen tilata sellaisella onkalolla (pituus > 6 x halkaisija) että emissiivisyys kasvaa. KML:llä on käytössä Monte-Carlo-pohjainen ohjelma emissiivisyyden laskemiseksi.

Suljettujen kiintopistekennojen hankinta

KML on viime vuosina hankkinut useita suljettuja kiintopistekennoja (tina, sinkki, alumiini, hopea, kupari). Ne ovat osoittautuneet helppokäyttöisiksi. Lisäksi niissä on toinen hyvä ominaisuus: koska kennon kvartsiputket ovat pienempiä (noin $\frac{1}{2}$ avonaisen kennon putkesta) on lämmönjohtumisesta aiheutuva lämpöhukka myös pienempi. KML:n lämpötilasteikon ylläpitämiseksi hankitaan kaksoiskappale näistä kennoista. Indiumista voisi myös hankkia suljetun kennon.

Pintalämpömittareiden kalibrointi lämpökameraa käyttäen

Pintalämpömittareita käytetään paljon teollisuudessa, missä usein on ongelmia putkien ja uunien kanssa. Pintalämpömittarin kalibrointiin käytetään toistaiseksi kuumaa kappaletta, jonka pinnan alle on upotettu kaksi lämpömittaria (Pt100- tai termoelementtiantureita). Olisi kuitenkin tärkeää tietää, paljonko pinnan lämpötila muuttuu, kun pintalämpömittaria asennetaan koskettamaan pintaa. Tämä on vaikeata mitata infrapunalämpömittarin kanssa, koska niiden size-of-source-efekti ei salli, että lämpötila mitattaisiin esim. $0,5\text{ cm} \times 0,5\text{ cm}$ kokoisesta pinnasta.

Lämpökameralla olisi hyvää käyttöä myös säteilijöiden lämpötilan tasaisuuden arvioinnissa. Lisäksi sillä olisi käyttöä MIKESin muissa KML:issä, esim. massalaboratorion punnusten lämpötilagradienttien mittaamisessa.

5.2 Kosteus

5.2.1 Tutkimusprojektit

Vertailumenetelmien tutkiminen

Kastepistevertailumenetelmiä tutkitaan kehittämällä useammalla vertailulaitteella saatavien tulosten analysointia sekä tutkimalla uusimpien laitteiden ominaisuuksia.

Projektin painopiste on suhteellisen kosteuden vertailumenetelmissä. Tarkoituksena on parantaa vertailujen luotettavuutta mittanormaalien epävarmuuden edellyttämälle tasolle.

Kosteusgeneraattorien kalibrointimenetelmien kehittäminen

Teollisuusyrityksissä (erit. kosteusmittareita valmistavissa) sisäisten kalibrointien tarkkuutta pyritään parantamaan käyttämällä mittanormaalina kosteusgeneraattoria kastepistemittarin sijasta. Tässä hankkeessa kehitetään menetelmä, jolla jäljitettävyyttä voidaan toteuttaa kalibrointien edellyttämällä tarkkuustasolla ilman KML:n toimintaa vastaavaa tutkimuspanosta.

Kosteusmittaukset erilaisista kaasuista

Kosteusmittareiden kalibrointi tehdään tällä hetkellä käyttäen ilmaa ja luotettavat kostean kaasun epäideaalisuusominaisuudet tunnetaan parhaiten ilmalle. Koska käytännön mittauksissa yhä useammin mittauskohteena on muu kaasu kuin ilma, tutkitaan erilaisten kaasujen vaikutusta kalibrointituloksiin sekä tutkitaan eri kaasuseosten epäideaalisuutta käyttäen eri periaatteilla toimivia kosteusgeneraattoreita.

Paineen vaikutus kosteusmittauksissa

Paineen muutoksen vaikutus kastepistelämpötilaan on laskettavissa hankalien ja merkittävästi epävarmuutta aiheuttavien yhtälöiden avulla. Projektissa tutkitaan teoreettisesti laskentamenetelmiä, millä pyritään luomaan helpompia laskentamenetelmiä rutiinikäyttäjille sekä pienentämään epävarmuutta tarkimmissa mittauksissa.

Kokeellisesti tutkitaan painetason vaikutusta erilaisten kosteusmittarien toimintaan sekä ilman epäideaalisuuskerrointa luotettavuuden lisäämiseksi erityyppisissä mittauksissa ja kalibroinneissa.

5.2.2 Kehitysprojektit

Mittausalueen laajennus

Vuonna 2002 aloitettava kastepistelämpötila-alueen laajennus kattamaan alueen -80 °C ... $+85\text{ °C}$ saatetaan päätökseen ja kalibrointitoiminta aloitetaan.

Suhteellisen kosteuden kalibrointitoiminta ulotetaan lämpötila-alueelle -40 °C ... $+85\text{ °C}$ sekä kehittämällä nykyisiä laitteistoja että rakentamalla uusi mittauskammiojärjestelmä. Samalla alueen rutiinikalibrointitoimintaa kehitetään tehokkuuden parantamiseksi.

Korkeassa paineessa tapahtuvia kalibrointeja varten kehitetään laitteisto.

5.3 Koulutus, tiedotus ja asiantuntijapalvelut

Järjestetään mittaus- ja kalibrointikursseja MIKESissä sekä räätälöityjä kursseja asiakkaiden tiloissa. Alan tiedotusta toteutetaan esittein sekä erilaisten ammattilehtien kautta. Osallistutaan muiden järjestämiin kursseihin ja koulutustilaisuuksiin kouluttajina. Osallistutaan rakenteiden kosteusmittauksiin liittyvien koulutustilaisuuksien järjestämiseen.

Etsitään aktiivisesti yhteistyökumppaneita ja kehityshankkeita MIKESin ulkopuolelta, joissa voidaan hyödyntää MIKESin laboratorioiden osaamista. Pyritään erityisesti tukemaan teollisuuden kehityshankkeita, jotka kohdistuvat kosteus- ja lämpötilamittausten laadun hallintaan, jäljitettävyyden toteuttamiseen, mittausepävarmuuden arviointiin sekä kalibrointijärjestelmien kehittämiseen.

Järjestetään vertailumittauksia akkreditoituille laboratorioille sekä teollisuuden laboratorioille Suomessa ja lähialueilla.

5.4 Kansainvälinen yhteistyö

Osallistutaan aktiivisesti kansainväliseen yhteistyöhön KML:ien kanssa. Erityisen painoarvon saa avainvertailut, joihin osallistumalla varmistetaan kansainvälinen tunnustus MIKE-Sin toiminnalle.

5.5 Resurssit

Lämpötilan suurealueen resurssit vuosittain:

- 1) Henkilöresurssit: 50 htkk
- 2) Kustannukset: 600 000 € (sisältää palkat).

6 LÄHDELUETTELO

- [1] Teollisuuden mittaus- ja kalibrointitarvekartoitus 1992, Mittatekniikan keskuksen julkaisu J2/1993.
- [2] Prosessiteollisuuden mittaus- ja kalibrointitarvekartoitus 1993, Mittatekniikan keskuksen julkaisu, J2/1994.
- [3] Teollisuuden mittaus- ja kalibrointitarvekartoitus 1992, Mittatekniikan keskuksen julkaisu J1/1995.

PITUUSSUUREET

TIIVISTELMÄ

Korkeatasoinen ja kansainvälisesti tunnustettu pituusmetrologia on välttämätön edellytys suomalaisen teollisuuden kilpailukyvyille. Asiantuntevat, helposti saavutettavat ja nopeat kalibrointipalvelut akkreditoituista ja kansallisista mittanormaallilaboratorioista lisäävät kalibrointien kysyntää ja lisäarvoa teollisuudessa. Monipuoliset koulutus- ja asiantuntijapalvelut ovat tarpeen alueen asiantuntevuksen hyödyntämisen edistämiseksi.

Uudet teknologiat ja yleinen valmistustekniikoiden kehittyminen asettavat pituusmetrologian tutkimukselle kovan haasteen. Kaupan teknisten esteiden madaltamiseen tähtäävä MRA-sopimus vaatii lähivuosina huomattavaa panostusta avainvertailulaitteistoinvestointeihin ja ko. tutkimukseen. Sekä teollisuuden tarpeista lähtevä että niitä ennakoiva sekä perusmetrologian tutkimus ovat tarpeen pitkäjänteisessä pituusmetrologian osaamistason ylläpidossa ja kansainvälisen hyväksynnän saavuttamisessa.

Tässä strategiaselvityksessä on tuotu esille pituusmetrologian lähivuosien kehitystarpeita ja painopistealueita. On selvää, että käytettävissä olevilla resursseilla ei kaikkiin edellä esitettyihin tarpeisiin voida selvityksen aikajänteen kuluessa vastata. Kehityshankkeiden yksityiskohtaisempi priorisointi on parhaiten tehtävissä pituustyöryhmän vuosittaisessa kehityshankehakemusten arvioinnissa sekä akuuttien tarpeiden että tämän selvityksen pidemmän aikavälin linjausten pohjalta.

1 JOHDANTO

Tämä strategiaselvitys on Metrologian neuvottelukunnan pituusmittausten asiantuntijatyöryhmän kanta kansallisen mittausjärjestelmän pituusmetrologian lähitulevaisuuden kehitystarpeista.

Pituus on SI-mittayksikköjärjestelmän perussuure. Alunperin se tarkoitettiin metrijärjestelmän kulmakiveksi. Nykyäänkin tarkat pituusmittaukset ovat tärkeitä paitsi omalla alueellaan, myös muiden SI-järjestelmän suureiden yksiköiden realisoinnissa ja mittauksissa. Hyviksi esimerkeiksi käyvät paineen yksikön realisoinnissa tärkeä sylinteri-mäntäyhdistelmän efektiivinen pinta-ala ja foto- ja radiometrisissä suureissa oleellinen apertuurin pinta-ala. Myös putoamiskiihtyvyyden ja tiheyden mittauksissa jäljitettävillä pituusmittauksilla on tärkeä rooli. Tulevaisuudessa kilogramman realisointi sähköisten suureiden avulla vaatii onnistuakseen myös huipputarkkaa liikematkojen mittausta, tai jos realisointi tehdään esim. piin kiderakennetta hyväksikäyttäen ovat tarkat dimensiomittaukset jälleen tarpeen. Metrin realisointi stabiloitujen lasereiden avulla tarjoaa samalla tarkan aallonpituus- / taajuusskaalan muita optisia mittauksia varten.

Pituudesta polveutuu monia muita etenkin mekaanisessa teollisuudessa tärkeitä suureita kuten kulma, tasomaisuus, suoruus, ympyrämäisyys, pinnankarheus ja avaruuskoordinaatit. Nämä suureet muodostavat yhdessä dimensiosuureiden ryhmän. Dimensiometrologian mit-

takaava Suomessa kattaa laajan alueen alkaen pinnankarheusmittauksen 10^{-9} m:stä geodeettisten pituusmittausten 10^6 m:iin.

Seuraavassa on pyritty tuomaan esille parhaaseen tämänhetkisen tietoon pohjautuen alan seuraavan viiden vuoden haasteet. Ensin esitellään lyhyesti pituusmittausten taustoja ja merkitystä sekä mittauspalvelun tämänhetkistä rakennetta. Seuraavaksi valotetaan kansainvälistä toimintaa, kehitystarpeita ja tavoitteita.

2 PITUUSSUUREIDEN METROLOGIA SUOMESSA

Suomen kansallisessa mittausjärjestelmässä pituusmetrologia on kahden eri tahon vastuulla. Mittatekniikan keskuksen (MIKES) pituusryhmän laboratoriot pituus ja konepajametrologia kantavat päävastuun metrin ym. dimensionaalisten yksiköiden realisoinnista ja tutkimuksesta. Geodeettinen laitos (GL) toimii kansallisena mittanormaalilaboratoriona vastuualueenaan geodeettiset pituusmittaukset. Näiden lisäksi Tampereen teknillisen yliopiston tuotantotekniikan laitos (TTY TTEK) toimii sopimuslaboratoriona koordinaattimittauksessa. Rutiinikalibrointitehtäviä tekevät pääosin akkreditoituneet kalibrointilaboratoriot. Pituuden KML:t ja akkreditoituneet kalibrointilaboratoriot muodostavat yhdessä pituussuureiden kansallisen kalibrointipalvelun. Näiden virallisten kalibrointilaboratorioiden lisäksi useissa korkeakouluissa ja muissa laitoksissa tutkitaan pituusmetrologiaa sivuavia asioita. Muun muassa Teknillisen korkeakoulun (TKK) Geodesian laboratorio on pitkään tarjonnut ei-akkreditoituja maanmittauslaitteiden kalibrointitehtäviä.

Vuonna 2001 MIKESin pituus- ja konepajametrologian laboratorioissa työskenteli yhteensä 7 tutkijaa ja 3 apulaistutkijaa. Tämän lisäksi tutkimusprojekteihin osallistuu jatkuvasti 1 - 2 projektitutkijaa. TTY TTEK:ssä työskentelee koordinaattimittausten parissa 3 vakituista työntekijää, joista 2 tutkijaa.

Pituusalueen tärkeimmät mittanormaalit ja tarkkuustaso ($k = 2$) ovat seuraavassa listassa:

- jodistabiloidut laserit; 633; 543,5 ja 532 nm: $U_c = 5 \times 10^{-11}$ suhteellinen
- mittapalainferometrit: $U_c = Q[20; 0,3L]$ nm; L on mitattu pituus millimetreissä
- piirtomittainferometri: $U_c = Q[50; 0,14L]$ nm; L millimetreissä
- pituuden mittauskone: $U_c = Q[0,2; 0,87L]$ μm ; L metreissä
- interferometrinen kulman mittauslaite: $U_c = 2''$
- ympyrämäisyyden mittauskone: $U_c = Q[0,02; 0,017R]$ μm ; R ympyrämäisyyden poikkeama mikrometreissä
- pinnankarheuden mittauskone: $U_c = Q[0,01; 0,07S]$ μm ; S pinnankarheus mikrometreissä
- tasomaisuusinterferometri: $U_c = Q[13; 0,19D]$ nm, D kohteen halkaisija millimetreissä
- lieriömäisyyden mittauskone: $U_c = Q[0,1; 0,5L]$ μm ; L kohteen korkeus metreissä
- interferometrinen suoruuden mittauslaite: $U_c = Q[0,3; 0,5L]$ μm ; L metreissä
- koordinaattimittauskone: $U_c = Q[0,3; 0,5L]$ μm ; L metreissä, TTY TTEK:lla.

Pituuden KML:n tärkeimpiä tehtäviä ovat akkreditoitujen laboratorioiden siirtonormaalien jäljitettävät kalibroinnit sekä erikoistarkkuutta tai osaamista vaativien kalibrointien tarjoaminen myös suoraan teollisuudelle. Dimensionaalisten suureiden akkreditoituneet kalibrointilaboratoriot – tällä hetkellä 9 kpl – jakavat kalibroinneillaan metrin eteenpäin. Taulukossa 1

on esitettyä pituussuureiden virallisten kalibrointitodistusten lukumäärät Suomessa vuonna 2001. Viime vuosina monien akkreditoitujen kalibrointilaboratorioiden toimitusajat ovat jo ylittäneet 2 kuukautta. On selvää, että pitkät toimitusajat eivät ole omiaan lisäämään teollisuuden kalibrointimääriä. Virallisten kalibrointien lisäksi ns. epäviralliset kalibrointilaboratoriot tekevät huomattavia määriä kalibrointeja. Akkreditoituissa laboratorioissa tehdään myös merkittävässä määrin kalibrointeja tai mittauksia akkreditoinnin ulkopuolella.

Taulukko 1. Pituussuureissa annettujen kalibrointitodistusten lukumäärät kansallisen kalibrointipalvelun puitteissa vuonna 2001.

KML:t	Akkreditoitut laboratoriot	Akkreditoitujen dimensioalueen laboratorioiden lukumäärä
550	3189	9

Perinteisesti tarkkojen dimensiomittausten suurin tarvitsija on ollut Suomen vahva kone- ja metallituoteollisuus. Tällä toimialalla tuotteiden mittojen ja toleranssien hallinta on erittäin tärkeää. Kone- ja metallituoteollisuuden tuotannon bruttoarvo oli vuonna 2000 106 Mrd. mk ja sen työllistävä vaikutus oli noin 128 000 htv. Alalla toimivien vähintään 5 henkilöä työllistävien yritysten lukumäärä oli 2400. Tuotevalikoima on huomattavan laaja paperikoneista ja dieselmootoreista hienomekaanisiin tuotteisiin ja osiin. Toimialan osuus Suomen tavaraviennistä oli noin 20 % [1]. Toiseksi suureksi pituuskalibrointeja tarvitseväksi ryhmäksi on noussut elektroniikka- ja sähköteollisuus. Toimialan pituuskalibrointitarve pitää sisällään mm. kokoonpanoautomaatioon, puolijohdeprosesseihin, laadunvarmistukseen ja muoviosien mittauksiin liittyviä kysymyksiä. Toimialan tunnusluvut olivat vuonna 2000 seuraavat: tuotannon bruttoarvo 141 Mrd. mk, työvoiman määrä 69 000 htv, osuus Suomen tavaraviennistä 31 % ja yritysten lukumäärä 600 [1]. Muita jäljitettävien pituusmittausten tarvitsijoita Suomessa ovat mm. muu metalliteollisuus, valtion ja kuntien maanmittaussektorit, samoin kuin rakennusteollisuus ja maanrakennusala sekä puolustusvoimat. Lisäksi on lakisääteisiä tai muuten säädeltyjä pituusmittauksia, joissa tarvitaan jäljitettävyyttä esim. vakauksessa, poliisi- ja tullilaboratorioissa sekä ilmailu- ja ydinvoima-alalla.

3 KANSAINVÄLINEN TOIMINTA

MIKESin pituus- ja konepajametrologian laboratorioissa on tehty pituusmetrologian tutkimustoimintaa menestyksellisesti vuosikymmeniä. Laboratoriot muodostavat yhdessä osaamiseltaan ja tutkimukseltaan laaja-alaisen, monilla osa-alueilla eurooppalaiseen kärkijoukkoon kuuluvan pituusmetrologian ryhmän. Tutkimustyön tuloksina on julkaistu 30-40 tieteellistä artikkelia tai esitelmää kansainvälisillä foorumeilla. Tutkimusta on harjoitettu usealla eri aihealueella mm. metrin realisointiin, interferometriin mittauksiin, teollisuusmittausten kehittämiseen ja koordinaattimittauksiin (TTY) liittyen. Tälle tutkimustyölle annettiin merkittävä tunnustus kun MIKES vuonna 2001 kutsuttiin CCL:n jäseneksi.

Pituuden KML:t ovat toimineet viime vuosina koordinoijina lähes 10 EUROMET-, EU- tai muissa kansainvälisissä hankkeissa. Pituuden KML:n osallistumisprosentti alueensa EUROMETin kehityshankkeisiin on ollut korkea noin 30 - 40 %.

Viime vuosina pituuden KML:llä on ollut läheistä tutkimusyhteistyötä seuraavien tahojen kanssa:

- BIPM, Sevres: metrin realisointi
- NIM, Kiina: laserstabilointi, kvartsimetriä kalibroinnit
- CMI, Tšekki: laserstabilointi, koordinaattimittaukset
- PTB, Saksa: koordinaattimittaukset
- SP, Ruotsi: mittapalalakalibroinnit
- VNIIM, Venäjä: laserstabilointi, interferometriset mittaukset
- JV, Norja: pinnankarheuden mittaukset
- Metroser, Viro: mittapalalakalibroinnit
- LNMC, Latvia: mittapalalakalibroinnit
- VMC, Liettua: mittapalalakalibroinnit.

Suomen pituuskalibrointien jäljitettävyyden varmistetaan osallistumalla kansainvälisiin vertailumittauksiin. Vuonna 1999 allekirjoitetussa kansainvälisessä metrisopimuksen alaisessa ”Kansallisten mittanormaalien ja kansallisten metrologian laitosten antamien kalibrointi- ja mittaustodistusten vastavuoroisessa tunnustamissopimuksessa” (Mutual recognition arrangement, MRA) velvoitetaan allekirjoittajat osallistumaan sopimuksen ”Calibration and measurement capabilities” (CMC) –liitteeseen kirjattuja kalibrointipalveluja koskeviin alueellisiin (organisoija EUROMET) tai kansainvälisiin (organisoija Consultative Committee for Length, CCL) avainvertailuihin. Pituuden kansalliset mittanormaalilaboratoriot (KML:t), mukaan lukien TTY TTEK, ovat esittäneet CMC-liitteeseen, jossa listataan maiden jäljitettävät kalibrointipalvelut, 64 erilaista kalibrointipalvelua. Näistä palveluista 15 on jo läpäissyt EUROMETin pituusryhmän tarkastuksen. MRA-sopimuksen mukaiset avainvertailut on listattu kappaleessa 4.

4 KEHITYSNÄKYMÄT

Pituusmetrologian tekniset kehitystarpeet jakautuvat kolmeen erillään olevaan painopistealueeseen, jotka ovat monin osin päällekkäisiä. Seuraavissa kappaleissa niitä käsitellään yksityiskohtaisemmin.

Kotimaisen teollisuuden, yhteiskunnan ja akkreditoitujen kalibrointilaboratorioiden tarpeet

Teollisuuden ja akkreditoitujen kalibrointilaboratorioiden tarpeiden tyydyttäminen on erityisen tärkeää. Pituuden KML:n on pystyttävä vastaamaan toisaalta uudenlaisten mittaustaitteiden ja toisaalta yhä vaativampien valmistustekniikoiden ja jatkuvasti kasvavien laatuvaatimusten asettamiin haasteisiin. Kehitystarpeiden tiedostamisessa on oleellista teollisuuden oma aktiivisuus ja KML:n sekä akkreditoitujen laboratorioiden suorat yhteydet teollisuuteen. Pituusmetrologian tutkimuksen on myös tarvittaessa paneuduttava sellaisiin aiheisiin, jotka parantavat suomalaisten mittauslaitteiden toimintaedellytyksiä.

Teollisuuden ja muun yhteiskunnan lähitulevaisuuden tarpeita ovat kyselyjen perusteella mm. seuraavat:

1. Optisten mittauslaitteiden kalibroinnit
 - Takymetriä, teodoliittien, laserseurainten, sähköisten etäisyysmittareiden, EPLA (eteenpäin leikkaus avaruudessa) yms. laitteiden kalibroinnit sekä järjestelmäkali-
broinnit
 - Video- ja lasermittausjärjestelmien kalibroinnit sekä 3D-skannereiden kalibroinnit
2. Konepajatekniset mittaukset tai kalibroinnit
 - Hammaspyörien mittaus
 - Kierteiden mittaus
 - Referenssikappalepankki laadunvarmistusta varten
 - 3-pistemikrometriä kalibroinnit
 - Mittauskoneiden kalibrointien kehittäminen
 - 3D-digitointi
 - Isojen mittauskoneiden kalibroinnit
 - Isojen sisäreikien dimensiomittaukset
3. Tuotantovälineiden ja tuotteiden mittausten sekä kalibrointien kehittäminen; mm. elekt-
roniikkateollisuudessa
 - Miniatyrisoitujen laitteiden ja komponenttien mittaukset
 - Erilaisten optisten komponenttien mittaukset esim. diffraktiivisten komponenttien
dimensioiden mittaukset
4. Yleinen kalibrointilaitteiden tarkkuuden ja tehokkuuden kehittäminen mm. automa-
tisoinnin avulla
5. Ohjelmistojen verifiointit ja sertifiointit.

Perinteisten valmistustekniikoiden rinnalle kehittyä jatkuvasti uusia teknologioita hyödyn-
tävä teollista valmistusta. Näistä mainittakoon nanoteknologia ja mikromekaniikka. Suo-
messä TEKES rahoitti vuosina 1997–1999 nanoteknologian tutkimusohjelman, jossa oli
mukana 16 eri tutkimusprojektia, joista useissa syntyi kaupallisia sovelluksia. Tällä hetkellä
TEKESillä on käynnissä mikroteknologioiden kehittämiseen keskittyvä Presto -
teknologiaohjelma. Nano- ja mikroteknologia ovat molemmat varsin uusia tekniikan aloja,
joiden dimensiomittaustarpeet poikkeavat huomattavasti perinteisten tekniikoiden tarpeista.
Uusien alojen kehitykselle on tärkeää tarvittavien mittauspalvelujen ja mittauksiin liittyvän
asiantuntemuksen helppo saatavuus. Nanometrialueen mittauksien tarpeesta tehtiin vuonna
2000 MIKESin toimesta kartoitus [2], jonka mukaan alueen mittalaitteiden ja siirtonormaa-
lien kalibroinneissa on paljon kehittämistarpeita.

Kansainvälisten sopimusten velvoitteet ja pätevyden osoitus kansainvälisellä fooru- milla

Kansainvälisessä toiminnassa näkyvimpiä näytön paikkoja Suomen pituusmetrologialle on
osallistuminen alan eurooppalaisiin ja CCL:n avainvertailuihin MRA-sopimuksen vaati-
musten mukaisesti. Näistä vertailuista poisjäätä tai niissä epäonnistuminen voi pahimmil-
laan johtaa siihen, että ko. kalibrointipalveluja ei Suomen osalta saada MRA-sopimuksen
CMC-liitteeseen ja että niiltä osin Suomessa tehtyjen mittausten jäljitettävyyteen ja laatuun

kohdistuu selkeitä epäilyksiä. Pituusmetrologian avainvertailuiksi CCL ja WGDM ovat esittäneet tässä vaiheessa seuraavia vertailuja:

BIPM.L-K10	Lasertaajuudet (mise en pratique, metrin realisointitavat)
CCL-K1	Mittapalat
CCL-K2	Pitkät mittapalat
CCL-K3	Kulmannormaalit (polygonit)
CCL-K4	Halkaisijanormaalit
CCL-K5	1D CMM normaalit (porrasmittapala ja pallojono)
CCL-K6	2D CMM normaalit (reikälevy / pallolevy)
CCL-K?	Lämpölaajenemiskerroinnormaalit (alustava)
CCL-Nano1	Viiivanleveys
CCL-Nano2	Askelkorkeus/syvyysnormaalit
CCL-Nano3	Piirtomitat
CCL-Nano4	1D hilat
CCL-Nano5	2D hilat.

Listassa esitetyt nanovertailut ovat tällä hetkellä vielä epävirallisia ja niiden hyväksyntä avainvertailuiksi odottaa ensimmäisen avainvertailukierroksen täyttymistä. Suomen pituusmetrologian tavoitteena on teollisuuden teknisten kaupanesteiden madaltamiseksi osallistua kaikkiin varsinaisiin avainvertailuihin (K1 - K6, K10) ja tarpeen sekä valmiuksien mukaan nanovertailuihin. Vertailuissa epävarmuustason tavoitteena on pidettävä EUROMETin pituusryhmän asettamia rajoja niille jäsenille, joiden katsotaan voivan edustaa EUROMETia CCL:n avainvertailuissa. Moniin edellä mainittuihin vertailuihin on joko MIKESissä tai TTY TTEK:ssa olemassa riittävä laitteisto. Joiltain osin on kuitenkin vielä paljon tekemistä joko laitehankinnan/-rakentamisen tai suorituskyvyn hiomisen kannalta.

Tutkimus päivittäisen toiminnan ja tuotekehityksen tukena sekä tulevaisuuden tarpeita varten

Tutkimustoiminnan harjoittaminen on välttämätöntä laboratorioiden osaamisen ja valmiuksien kehittämisessä. Metrologian ja teollisuuden historia osoittaa, että teollisuudessa käytettävä tarkkuustaso paranee vuosi vuodelta. Säilyttääkseen asemansa ja hyödyllisyytensä kansallisen mittausjärjestelmän tarkkuustason on pysyttävä aina pari askelta teollisuuden välitömiä tarpeiden edellä. Ainoa keino tähän on jatkuva toiminnan kehittämien tutkimuksen kautta. Tulevaisuuden tarpeita ennakoiva tutkimustoiminta on siksi tärkeää. Laboratorioiden on pystyttävä osallistumaan metrologian kehittämiseen myös kansainvälisellä tasolla. Edellä mainituista erityisesti nanometrologia on kasvava alue, jonka kehittäminen parhaimmillaan tukisi uutta teknologiaa kehittävää teollisuutta.

Uusi merkittävä kehityssuunta pituusmetrologian saralla on ns. taajuuskampatekniikka. Sitä hyödyntämällä voidaan luoda optinen taajuuskampa, jossa on miljoonia taajuuksia, joiden väli on atomikellon tarkkuudella määritetty. Kamman avulla voidaan määrittää minkä tahansa laserin aallonpituus mittaamalla tutkittavan laserin ja kamman yhden taajuuskomponentin välinen taajuusero. Tätä tekniikkaa on alettu tutkia useissa laboratorioissa ja on selvää, että se paitsi helpottaa metrin realisointia myös hyödyttää aikametrologian tutkimusta.

MIKESin uudisrakennushanke

Vuoden 2004 syksyllä Mittatekniikan keskus suunnitelmien mukaan muuttaa uusiin tiloihin Otaniemeen. Hanke vaatii sekä suunnittelu- että muuttovaiheessa huomattavia työmääriä

pituuden KML:ltä. Samalla se kuitenkin mahdollistaa uusien mittausresurssien hankkimisen, mikä on aikaisemmin esim. tilanpuutteesta johtuen ollut mahdotonta toteuttaa.

5 TAVOITTEET VUOSILLE 2003–2007

Seuraavassa on listattu tärkeimmiksi katsottuja tutkimushankeaiheita vuosille 2003-2007 sekä tavoitteita liittyen koulutukseen ja asiantuntijapalveluihin:

Aihealueita vuosien 2003-2007 kehitysprojekteille:

- nanometrialueen kalibrointi- ja mittauspalveluiden kehittäminen
- taajuuskamman kehittäminen
- porrasmittapalainterferometrin kehittäminen
- kulman mittauslaitteen kehittäminen
- koordinaattimittausten kehittäminen
- 3-d digitointi
- videomittauslaitteiden kalibrointien kehittäminen
- optisten mittauslaitteiden (takymetri, teodoliitti ym.) kalibrointien kehittäminen
- suurten kappaleiden mittausten kehittäminen
- suurten kappaleiden sisäreikien mittausten kehittäminen
- isojen mittauskoneiden kalibroinnit
- konenäköön perustuva kalibrointien automatisointi
- hammaspyörien ja kierteiden mittaukset
- erilaisten matemaattisten ja muiden menetelmien tutkimien systemaattisten virheiden eliminoinniseksi esim. ympyrämäisyys, tasomaisuus yms. mittauksissa
- uusien mittausmenetelmien/anturitekniikoiden tutkiminen esim. ilman taitekertoimen määrittämiseksi
- geodeettisten mittausten jäljitettävyyden parantaminen, esim. GPS (Global Positioning System) mittausten jäljitettävyyden parantaminen.

Kotimaan toiminnassa on pyrittävä levittämään tietoa kalibrointien ja jäljitettävien mittausten merkityksestä teollisuudelle ja julkiselle sektorille. Muun muassa MNK:n työryhmien toimintaan osallistuminen pitäisi saada houkuttelevammaksi yrityksille. Tällä hetkellä teollisuuden mielenkiinto on huolestuttavan vähäistä. Toisaalta on tuettava sellaista kehitystä, joka loisi alueellisesti sekä teknisesti kattavan akkreditoitujen pituuskalibrointilaboratorioiden verkon. Keinoja ko. kehityksen tukemiseksi ovat mm. seuraavat:

- Aktiivinen tiedotus ja koulutustoiminta
 - tiedottaminen kalibrointi- ja asiantuntijapalveluista
 - vuosittaiset seminaarit: Mittaukset konepajassa, Pituusmittausten epävarmuuslaskenta, käyttäjäklubien (esim. lasermittauskerho, koordinaattimittausklubi) koulutustilaisuudet
- Ohjeiden ja dokumenttien harmonisointi ja kääntäminen
 - Säädeltyjen sektoreiden kalibrointeja koskevan lainsäädännön ja ohjeistuksen kehittämiseen vaikuttaminen esim. maanmittausalalla

- Asiantuntijapalveluiden profilointi ja markkinointi
 - MIKESin pituusryhmä tarjosi erilaisia asiantuntijapalveluita vuonna 2001 noin 80000 €. Palvelut koostuivat erilaisista alkaen erikoismittauksista aina mittausjärjestelmien konsultointiin. Lähivuosina tavoitteena on asiantuntijapalveluiden lisääminen mm. markkinoinnin avulla.

6 LÄHDELUETTELO

- [1] MET vuosikirja 2000, Metalliteollisuuden Keskusliitto.
- [2] Nanometritason mittaukset, kartoitus, MIKES Julkaisu J05/2000.

OPTISET SUUREET

TIIVISTELMÄ

Uudella optisella tekniikalla on samantapaisia piirteitä kuin tietokonetekniikalla edellisillä vuosikymmenillä. Alue on mikroelektroniikan ohella nopeimmin ja voimakkaimmin kasvavia tekniikan sektoreita. Optiikan alueella on Suomessa jo merkittävästi korkean teknologian yritystoimintaa. Sen volyyymi on miljardiluokkaa ja vaikutukset eri alojen tuotantoon lisäävät toiminnan merkitystä. Optiset mittaukset ovat keskeisessä roolissa mm. paperiteollisuudessa, tietoliikennetekniikassa, pituusmittauksissa ja analyysimittauksissa.

TKK:n Mittaustekniikan laboratorio on toiminut vuodesta 1996 Mittatekniikan keskuksen nimellä optisten suureiden kansallisena mittanormaalilaboratoriona. Mittatekniikan keskuksen tuella on kehitetty välttämättömät palvelut teollisuudelle ja muille käyttäjille. Mittauslaitteistojen tekninen taso on kansainvälisesti arvioiden erittäin korkea, mikä on osoitettu useilla kansainvälisillä vertailumittauksilla. Muutaman keihäänkärjen osalta kalibrointipalvelut ovat maailman parhaat. Tällaisia ovat mm. valovoima ja valaistusvoimakkuus (PTB ja NPL 0,4 %, NIST 0,5 %, TKK 0,5 %) sekä spektrinen irradianssi (TKK 0,8 %, seuraavina NIST 0,9 %, PTB 1,6 % ja NPL 1,7 %).

Laboratorion intensiivinen tutkimustoiminta ja aktiivinen osallistuminen kansainväliseen yhteistyöhön ovat nostaneet laboratorion kansainvälisesti arvostettuun asemaan. Kansainvälisestä uskottavuudesta hyötyy välittömästi kotimainen teollisuus, koska TKK-jäljitettävyyden tunnustetaan maailmanlaajuisesti referenssinä. Tutkimustulokset on julkaistu alan merkittävimmässä tieteellisessä lehdessä, mikä on osoitus siitä, että tutkimus on innovatiivista ja luo uutta tietoa. Laboratorio vastaa metrologian ylimmästä opetuksesta Teknillisessä korkeakoulussa. Laboratorion henkilökunta luennoi useita metrologiaan liittyviä perus- ja jatko-opintoihin sisältyviä kursseja. Laboratoriolle tehdään vuosittain noin 2 metrologiaan liittyvää väitöskirjaa ja 10 diplomityötä.

Optisten suureitten mittanormaalitoiminnan kehittämiseksi tarvitaan 1) syvän asiantuntijuuden ylläpitämistä 2) tarpeitten mukaista kehittämistä 3) teknisen kompetenssin säilyttämistä keihäänkärkien osalta ja 4) tutkimustoiminnan kehitystarpeiden ennakoimista. Yksityiskohtainen projektisuunnitelma ja tavoitteet vuosille 2003 – 2007 on lueteltu tässä dokumentissa. Suurin osa projekteista tähtää avainasiakasryhmien välittömien mittaustarpeiden tyydyttämiseen. Osalla projekteista ylläpidetään etumatkaa kansainvälisessä metrologiassa. Pyrkimyksenä on noin kahden uuden kehitysprojektin aloittaminen vuosittain.

1 JOHDANTO

Optisesti suoritettavat mittaukset ovat tulleet yhdeksi keskeisistä mittaustekniikan alueista monille aloille ulottuvien vaikutustensa takia. Uudella optisella tekniikalla voidaan todeta olevan samanlaisia piirteitä kuin tietokonetekniikalla edellisillä vuosikymmenillä. Alue on mikroelektroniikan ohella nopeimmin ja voimakkaimmin kasvavia tekniikan sektoreita. Markkinoiden kasvu eri sovellusalueilla on erittäin nopeaa. Optisen komponenttitekniikan, erityisesti lasereiden viimeaikainen kehitys on avannut huomattavia uusia mahdollisuuksia.

Optisesti mitattavien suureitten mittanormaalitoiminta muodostaa kokonaisuuden, joka on pohjana monien alojen mittaustoiminnalle. Alan mittauspalvelu tukee mm. teollisuuden ja kaupan pituus- ja dimensiomittaustekniikkaa, optista instrumenttiteollisuutta, paperiteollisuutta, valaisinalan teollisuutta ja muita fotometrian tarpeita, puolijohdeteollisuutta, optista tietoliikennettä ja alan teollisuutta, optista analysaattoritekniikkaa sekä ympäristötekniisiä, lääketieteellisiä ja säteilyturvallisuusmittauksia.

Korkean teknologian yritystoimintaa on jo merkittävästi myös optiikan alueella. Sen volyyymi on miljardiluokkaa ja vaikutukset eri alojen tuotantoon lisäävät toiminnan merkitystä. Laajavaikutteinen merkitys optisella mittanormaalitoiminnalla on myös laserperustaisen pituusmittaustoiminnan ja optisesti suoritettavan analyysimittaustoiminnan piirissä. Näillä aloilla suoritetaan Suomessa miljoonia luotettavuutta edellyttäviä mittauksia vuosittain. Optisen tietoliikenneverkoston ja -laitteistojen laadunvarmennuksen piirissä puolestaan käytetään jo tuhatlukuisesti mittausrakenteita. Ilmakehän mittaukset ja auringon UV-säteilyn mittaukset vaativat tarkkoja UV-alueen mittanormaaleja.

Optiseen teknologiaan kytkeytyvän metrologisen kehityksen painopiste on viime vuosikymmenellä ollut eri alojen instrumenttitekniikassa ja tietoliikennesovelluksissa. Optinen instrumenttitekniikka tarjoaa uusia mahdollisuuksia myös suomalaiselle teollisuudelle. Mm. laatuvaatimukset ja teollisuuden kilpailukyky edellyttävät optisten mittausten tarkkuuden ylläpitotoiminnan kehittämistä myös Suomessa.

Metrologian neuvottelukunta on aikaisemmin laatinut selvityksen siitä, miten kansallista mittaustajärjestelmää tulisi kehittää, jotta Suomi tällä alalla saavuttaisi teollisuuden, kaupan ja muun tarpeen vaatiman tason [1]. Myös Mittatekniikan keskus on kartoittanut optisen alueen mittaustarpeita ja kalibrointitarpeita teollisuuden suunnatulla kyselytutkimuksella [2].

Käsillä oleva selvitys on päivitetty ehdotus optisen metrologian kehittämiseksi viisivuotiskaudelle 2003 - 2007. Tämä teksti on valmisteltu metrologian neuvottelukunnan optisten suureitten asiantuntijatyöryhmässä. Asiaa on tässä selvitetty pääasiassa siltä osin kuin se on katsottava kansainvälisen käytännön mukaan yhteiskunnan vastattavaksi.

2 OPTISTEN SUUREIDEN METROLOGIA SUOMESSA

Optiset suureet pitävät sisällään huomattavan määrän erilaisia mittauksia. Tässä dokumentissa jaotellaan suureet selkeyden vuoksi seuraaviin ryhmiin, jotka noudattavat julkaisun Brochure for European Optical Radiation Calibration Services [3] mukaista jaottelua:

1. Detektorien ja lasereiden karakterisointi
2. Fotometriset suureet
3. Spektroradiometriset suureet
4. Spektrofotometria ja värimittaukset
5. Kuituoptiset mittaukset.

Optisen säteilyn mittausten aallonpituusalue kattaa ultraviolettisäteilyn alueet UVC (200 – 250 nm), UVB (250 – 315 nm), UVA (315 – 380 nm), näkyvän valon alueen (380 – 830 nm) ja lähi-infrapuna-alueen (830 nm – 2,5 µm).

2.1 Akkreditoidut laboratoriot

Suomen ensimmäiset akkreditoidut laboratoriot optisille suureille ovat syntyneet paperiteollisuuden tarpeesta luotettaville kalibroinneille. Paperiteollisuuden laaduntarkkailu perustuu tuotannosta otetun näytteen vaaleuden, valkoisuuden ja värisävyn mittaustuloksen vertaamiseen kyseisten suureiden tavoitearvoihin. Menettely asettaa suuret vaatimukset kalibroinnin pysyvyydelle ja edellyttää referenssinormaaleja toimittavalta kalibrintilaboratoriolta erittäin hyvää mittaustulosten uusittavuutta.

Paperiteollisuuden nopea kansainvälistyminen ja suurten konsernien muodostuminen ovat lisänneet mittaustulosten vertailtavuuden ja siten tulosten tarkkuuden merkitystä etenkin kaupallisesti tärkeissä vaaleuden ja valkoisuuden määrytyksissä. Tämä ja yhä lisääntyvä fluoresoivien vaalenteiden käyttö paperin valmistuksessa ovat tehneet paperiteollisuuden heijastuslukumittauksista entistäkin vaativampia myös kalibrintipalvelua toimittavien laboratorioden kannalta.

ISO/TC 6 on vahvistanut paperiteollisuuden tarpeisiin hierarkkisen kalibrintijärjestelmän. KCL:n optinen kalibrintilaboratorio on yksi viidestä ISO/TC 6:n valtuuttamasta laboratoriosta. Nämä toimittavat ISO:n tason 3 eli IR3 referenssinormaaleja käyttölaboratorioiden laitteiden kalibrointiin.

Kaksi laboratoriota, KCL:n optinen kalibrintilaboratorio ja UPM-Kymmenen Kaukaan Tutkimuskeskus on akkreditoitu hajaheijastusluvun mittaukseen paperiteollisuudessa standardisoitua d/0° -geometriaa käyttäen. KCL:n akkreditointi kattaa myös d/8°-geometrian. KCL toimittaa akkreditoituna laboratoriona vuodessa n. 450 fluoresoimattomasta paperista valmistettua IR3 referenssinormaalia. Tämän lisäksi KCL toimittaa vuodessa n. 150 fluoresoivaa siirtonormaalia mittareiden UV-säätöön. Fluoresoivien siirtonormaalien toimitukset kasvavat nopeasti. Tarkoitus on saattaa näiden kalibrinti akkreditoinnin piiriin. UPM-Kymmene tekee akkreditoituna noin 10 vaaleusmittareiden kalibrointiin tarkoitettujen hei-

jastusnormaalien kalibrointia vuodessa. Lisäksi toimitetaan tason vakauden seurantaan tarkoitettuja paperinäytteitä.

KCL:n ja UPM-Kymmenen kalibrointilaboratorioiden asiakaskunta muodostuu pääosin paperitehtaista.

Nemko Product Services Oy on riippumaton ja akkreditoitu testaus- ja kalibrointilaboratorio, joka kalibroi mm. valokuitutekniikan, tietoverkkotekniikan, radio- ja mikroaaltotekniikan, EMC/ESD-tekniikan sekä yleismittaustekniikan eri tyyppisiä mittaus- ja testauslaitteita.

Kuituoptisten kalibrointien painopiste on tehomittareiden, vaimentimien ja valolähteiden, spektrianalysointien sekä valokuitututkien (OTDR) kalibroinneissa. Akkreditoituna mitattavia suureita ovat optinen teho, vaimennus, lineaarisuus ja aallonpituus. Tehomittarien ja lasereiden kalibrointeja varten laajennetaan pätevyysaluetta suuremmalle tehotasolle ja OTDR:ien kalibrointeja varten kuidun pituus- ja vaimennusmittauksiin. Akkreditoitujen kalibrointien lukumäärä vuodessa on noin 130. Asiakaskunta muodostuu suomalaisista tietoliikennealan yrityksistä.

2.2 KML resurssit

TKK:n Mittaustekniikan laboratorio on toiminut vuodesta 1996 Mittatekniikan keskuksen nimeämänä optisten suureiden kansallisena mittanormaali-laboratoriona. Mittatekniikan keskuksen tuella on kehitetty välttämättömät palvelut teollisuudelle ja muille käyttäjille.

Laboratoriossa on realisoitu mittanormaalit useille säteilysuureille, mm. optiselle teholle, valovoimalle, spektriselle irradianssille, spektriselle radianssille, valolähteiden värilämpötilalle, spektrisille heijastus- ja läpäisykertoimille sekä luminanssille. Näiden mittauslaitteistojen tekninen taso on kansainvälisesti arvioiden erittäin korkea, mikä on osoitettu useilla kansainvälisillä vertailumittauksilla. Tutkimustulokset on julkaistu alan merkittävimmässä tieteellisissä lehdissä, mikä on osoitus siitä, että tutkimus on innovatiivista ja luo uutta tietoa.

Kalibrointipalveluita käyttävät lukuisat teollisuusyritykset ja tutkimuslaitokset. Kalibrointitodistuksia annetaan vuosittain noin 45 kappaletta. Todistuksiin sisältyvien kalibroittavien laitteiden lukumäärä on paljon suurempi, jopa 150 kappaletta vuodessa.

Laboratorio vastaa metrologian ylimmästä opetuksesta Teknillisessä korkeakoulussa. Laboratorion henkilökunta luennoi useita metrologiaan liittyviä perus- ja jatko-opintoihin sisältyviä kursseja. Laboratoriolle tehdään vuosittain noin 2 metrologiaan liittyvää väitöskirjaa ja 10 diplomityötä.

2.2.1 Detektorien ja lasereiden kalibrointipalvelut

TKK:lla on kryogeeninen absoluuttiradiometri, jolla voidaan mitata näkyvän alueen lasereiden optista tehoa 0,05 % epävarmuudella. Siirtonormaalidetektoreina muille aallonpituus- ja tehoalueille käytetään pyrosähköisiä radiometrejä (2 kpl) ja pii-diodeihin perustuvia trap-detektoreita (15 kpl). Valolähteinä voidaan käyttää seuraavia lasereita:

1. Helium-Cadmium laser (325 nm, 442 nm)
2. Argon ioni –laser (useita viivoja alueella 457 – 514,7 nm)
3. Helium-Neon laser (543,5 nm)
4. Diodilaser (630 nm)
5. Helium-Neon laser (633,0 nm)
6. Titaani-safiiri laser (säädettävä alueella 700 – 1000 nm, tuplattuna 350 – 500 nm)
7. Diodilaser (967 nm).

Kalibrointipalvelut sisältävät mm. asiakkaiden detektorien spektrisen herkkyyden kalibroinnin laseraallonpituuksilla. Lisäksi voidaan määrittää detektorien lineaarisuus ja paikkavasteen tasaisuus. Useimpien lasereiden aallonpituus perustuu atomien tai ionien transiitioihin, joiden aallonpituus tunnetaan. Lasereilla kalibroidaan aallonpituusmittareita. Kalibrointeja on tehty useille eri alojen teollisuus- ja tutkimuslaitoksille.

2.2.2 Fotometrinen suureiden kalibrointipalvelut

TKK:n fotometrinen suureiden peruslähtökohta on absoluuttisesti kalibroitu referenssifotometri. Ilmaisimena käytetään trap-detektoria, jonka vaste kalibroidaan suoraan kryogeenisen radiometrin avulla. Ilmaisimen vaste muokataan vastaamaan ihmissilmän herkkyysskäyrää $V(\lambda)$ -suodattimella, jonka transmianssi on mitattu. Geometria rajataan tarkkuusapertuurilla, jonka pinta-ala mitataan. Saavutettava epävarmuus valaistusvoimakkuusmittauksissa (0,2 %) on yksi maailman parhaista.

Kalibroitavia suureita ovat mm. lampun valovoima [cd] ja fotometrin herkkyys [A/lx]. Käyttämällä valolähteenä integroivaa palloa, jonka ulostulo on rajattu tarkkuusapertuurilla, voidaan kalibroida luminanssimittareita. Käytössä on myös halkaisijaltaan 2 m integroiva pallo, jolla voidaan mitata lamppujen valovirta.

Fotometrinen suureiden kalibrointeja hyödyntävät eniten yritykset ja laboratoriot, jotka tekevät valaistukseen liittyviä mittauksia. Luminanssin mittauksia tarvitsee myös suomalainen näyttöteollisuus. Mittaustarkkuutta tarvitaan mm. työturvallisuusmittauksiin, kalibrointitoimintaan ja tuotekehitykseen.

2.2.3 Spektroradiometrinen suureiden kalibrointipalvelut

Vastaavasti kuin fotometrisissä mittauksissakin perustuu spektroradiometrinen suureiden realisointi filttirradiometriin. Radiometri muodostuu trap-detektorista, tarkkuusapertuurista ja vaihdettavista interferenssi-suodattimista. Filttirradiometrillä saa mitattua tällä hetkellä

aallonpituusalueen 290 – 900 nm. Laboratoriolla on spektroradiometri, jolla jäljitettävyys voidaan siirtää mittanormaalityypistä asiakkaiden lähteisiin.

Kalibroinnin kohteita ovat tyypillisesti spektrisen irradianssin mittanormaalityypit. Spektrisen irradianssin lisäksi lähteistä voidaan raportoida värikoordinaatit, väriämpötila ja jakaumalämpötila. Integroivaa palloa käyttämällä voidaan realisoida spektrisen irradianssin mittanormaali.

Spektroradiometristen suureiden suurin tarvitsijaryhmä on tutkimuslaitokset, jotka tekevät auringon UV-säteilyn mittauksia. Palveluja käyttävät myös useat muun alan tutkimus- ja teollisuuslaitokset. Ulkomaisia asiakkaita on ollut yksi, Hollannin kansallinen mittanormaalitypityölaboratorio, joka on ostanut jäljitettävyuden spektriselle irradianssille TKK:lta. Jatkossa ulkomaiset kalibroinnit saattavat lisääntyä, koska TKK:n skaalalla on hyvä menestys kansainvälisissä vertailuissa. Myös itse menetelmille on ollut kiinnostusta. TKK on konsultoinut Turkin kansallista mittanormaalitypityölaboratoriota UME:a, joka kehittää omaa mittanormaalitypityöalaaan TKK:ssa kehitetyillä tekniikoilla.

2.2.4 Spektrofotometrian ja värimittausten kalibrointipalvelut

Spektrofotometrian perussuureet ovat suuntalämpäisykerroin, suuntaheijastuskerroin, hajalämpäisykerroin ja hajaheijastuskerroin. TKK:lla on kalibrointipalvelut näille kaikille. Hajaheijastuskertoimen mittaukset ovat jäljitettäviä PTB:lle ja NRC:lle. Muiden suureiden realisoinnit ovat absoluuttisia.

Mittaukset tehdään tarkoitukseen rakennetulla referenssispektrometrillä. Laitteistossa on yksisäikeismonokromaattori ja valolähteenä lamppuja. Monokromaattorin hilat ja valolähde ovat vaihdettavat. Mittausten aallonpituusalue on noin 250 – 1700 nm. Mittausten kaistanleveys on aseteltavissa välillä 0,5 – 5,7 nm. Suuntalämpäisykerroimen asiakaskalibrointia varten on olemassa myös kaupallinen spektrofotometri. Mittaus käy laitteella nopeammin, mutta tarkkuus on huonompi.

Perussuureista voidaan laskea useita johdannaisuureita kuten absorbanssi, optinen tiheys, kiilto, valkoisuus tai heijastuneen/lämpäisseen valon väri.

Referenssispektrometriä käytetään myös valolähteenä spektrisen herkkyyden mittauksissa. Laitteistolla voidaan verrata asiakkaiden tehomittareita laboratorion trap-detektoreihin tai pyrosähköisiin radiometreihin.

TKK:n spektrofotometrisiä kalibrointia (suuntaheijastus ja lämpäisykerroin) ovat hyödyntäneet lukuisat teollisuusyritykset. Suurin osa mittauksista liittyy kemiallisiin analysointilaboratorioihin. Analysointilaboratorioissa on usein erilaisia optisia suotimia, joiden lämpäisykerroin on tunnettava. Kalibrointia tarvitsevat sekä laitteiden käyttäjät, myyjät että valmistajat. Hajaheijastuskertoimen kalibrointia on käytetty alueen akkreditoitujen kalibrointilaboratorioiden pätevyyskokeissa.

2.2.5 Kuituoptisten mittausten kalibrointipalvelut

TKK:lla on kalibrointivalmiudet kuituoptisten tehomittareiden kalibroimiseksi 1310 nm ja 1550 nm aallonpituuksilla. Paras saavutettavissa oleva epävarmuus on noin 1,5 %. Mittausalue on noin 1 nW – 7 mW (-60 dBm – + 8 dBm). Kuituoptisissa mittauksissa tarvittavia aallonpituuskalibrointeja voidaan tehdä laboratorion kaasulasereilla ja kaupallisella spektrianalysaattorilla. Aallonpituuskalibrointien epävarmuus on 0,01 nm.

Aallonpituuskalibrointeja on tehty suureen akkreditoidulle kalibrointilaboratoriolle. Kuituoptisen tehon kalibrointeja ei ole tehty ulkopuolisille. Mittanormaalia on käytetty akkreditointiin liittyviin pätevyysmittauksiin.

2.3 Muut mittapaikat

Optisen mittanormaalityönnön kehittämisen ytimenä on Teknillisen korkeakoulun Mittaustekniikan laboratorio, joka toimii sekä optisten suureiden kansallisena mittanormaalityönnönä, että vastaa alan korkeimmasta opetuksesta ja tutkimuksesta. TKK:n ylläpitämät mittanormaalityönnönlaitteistot tarjoavat jäljitettävyyden useille muille kalibrointilaboratorioille. Korkeatasoisia optisten suureiden peruskalibrointeja suoritetaan myös VTT Automaatiossa.

Useat optiset mittaukset ovat varsin pitkälle erikoistuneet johonkin tiettyyn tarkoitukseen. Tällöin mittauksissa tarvitaan sekä optisen mittaustekniikan että kulloinkin kyseessä olevan mitattavan ilmiön ymmärtämistä. Tällaisilla alueilla Suomessa on useita mittaus/kalibrointipaikkoja, joista mainittakoon mm. UV-säteilyn turvallisuusvaikutuksiin erikoistunut Säteilyturvakeskus, ilmakehän läpäisseen UV-säteilyn määrää monitoroiva Ilmatieteen laitos ja valolähteiden työturvallisuuteen erikoistunut Työterveyslaitos. Myös Suomen Puolustusvoimat hyödyntää optisia mittauksia.

Säteilyturvakeskuksen (STUK) ionisoimattoman säteilyn laboratorion tehtävänä on huolehtia siitä, että UV-säteilyyn liittyvät viranomaismittaukset suoritetaan riittävällä tarkkuudella. Laboratorio on jo yli 10 vuoden ajan testannut ja kalibroinut UV-mittareita mm. auringon UV-säteilyn ja valohoitolaitteiden mittauksiin sekä kehittänyt niissä tarvittavia kalibrointi- ja testausmenetelmiä. Laboratorion tutkimustoiminta on viime aikoina keskittynyt detektoristabiloidun UV-kalibraattorin kehittämiseen yhteistyössä TKK:n ja NPL:n kanssa. Kalibraattoria käyttämällä saadaan aikaan maailman lyhin jäljitettävyyshetki auringon UV-mittauksiin.

Työterveyslaitos tekee mm. laserlaitteiden turvallisuusluokitukseen liittyviä optisen säteilyn mittauksia, silmiensuojainten optisten ominaisuuksien testauksia sekä työympäristössä esiintyvien UV- ja IR-säteilylähteiden mittauksia.

3 KANSAINVÄLINEN TOIMINTA

TKK:n mittaustekniikan laboratorio on ollut mukana ja koordinoimassa kuutta EU-projektia, joista yksi jatkuu edelleen:

1. MAT1-CT94-0021 "Intercomparison of spectrophotometric measurements of regular transmittance," 1994 – 1997 (participant)
2. SMT4-CT96-7006, "Thematic Network for Ultraviolet Measurements, (exploratory phase)" 1996 (coordinator)
3. SMT4-CT96-6511 "Brochure for European Optical Radiation Calibration Services," 1996 – 1999 (participant)
4. SMT4-CT97-7510, "Thematic Network for Ultraviolet Measurements, (implementation phase)" 1997 – 2000 (coordinator)
5. SMT4-CT98-7523 "Fibre Optics Technology Network -(FOToN)," 1998 – 2001 (participant, regional co-ordinator)
6. SMT4-CT98-2242, "Improving the Accuracy of Ultraviolet Radiation Measurement," 1998 – 2002 (participant, work package manager).

Laboratorio osallistuu aktiivisesti CCPR:n ja EUROMETin toimintaan. Viime aikoina kansainvälistä yhteistyötä on ollut erityisesti vertailumittauksissa. Vuonna 2001 laboratoriolle oli meneillään seuraavat kansainväliset vertailut:

1. CCPR-K1.a International comparison of spectral irradiance
2. CCPR-K2.a International comparison of spectral responsivity in the near infrared region
3. CCPR-K2.b International comparison of spectral responsivity in the visible region
4. CCPR-K6 International comparison of regular spectral transmittance
5. CCPR-S2 International comparison of aperture area measurements
6. Bilateral comparison of spectral irradiance with NIST, USA
7. Bilateral comparison of illuminance with NIST, USA
8. Bilateral comparison of luminous flux with NIST, USA
9. Improving the accuracy of ultraviolet radiation measurement with NPL and BNM-INM
10. International comparison of fibre Bragg grating group delay (COST-project) with NPL and University of Geneva
11. Bilateral comparison of spectral diffuse reflectance with MSL, New Zealand.

Laboratorio on kansainvälisesti mukana kaikessa merkittävässä alan toiminnassa. Laboratoriolle on sekä viralliset että henkilökohtaiset suhteet tärkeimpiin yhteistyöelimiin. Mittanormaalityönnön johtaja Erkki Ikonen on jäsenenä Comite Consultative Photometrie et Radiometrie (CCPR) –komiteassa ja puheenjohtajana CCPR:n UV-työryhmässä. Ikonen on myös Suomen kontaktihenkilö EUROMETin Photometry and Radiometry (Phora) työryhmässä. Myös Suomen edustus CIE:ssä on siirtymässä Ikoselle. Hanne Ludvigsen on Suomen kontaktihenkilö COST Action 265:ssä "Measurement techniques for active and passive fib-

res to support future telecommunications standardisation”. Petri Kärhä on jäsenenä CIE:n työryhmässä TC2-47 ”Methods of characterization and calibration of broad-band UV radiometers”.

Kansainvälisesti arvioiden laboratorion ylläpitämien suureiden tarkkuus on vähintään hyvää keskitasoa. Muutaman keihäänkärjen osalta kalibrointipalvelut ovat maailman parhaat. Tällaisia ovat mm. valovoima ja valaistusvoimakkuus (PTB ja NPL 0,4 %, NIST 0,5 %, TKK 0,5 %) sekä spektrinen irradianssi (TKK 0,8 %, seuraavina NIST 0,9 %, PTB 1,6 % ja NPL 1,7 %). Laboratorion intensiivinen julkaisutoiminta, realisointien alhaiset epävarmuudet ja aktiivinen osallistuminen kansainväliseen yhteistyöhön ovat nostaneet laboratorion kansainvälisesti arvostettuun asemaan. Laboratorion kansainvälistä uskottavuutta havainnollistaa mm. se, että eräs suurimmista mittanormaallaboratorioista muutti spektrisen irradianssin skaalaansa osittain TKK:n kanssa tehtyjen vertailutulosten pohjalta. Kansainvälisestä uskottavuudesta hyötyy välittömästi kotimainen teollisuus, koska TKK-jäljitettävyys tunnustetaan maailmanlaajuisesti referenssinä.

4 KEHITYSNÄKYMÄT

Optisten suureitten tarkkuusmittaukset ovat teknologian syvyyden ja jatkuvan kehittymisen takia vaativia. Vaativuutta lisää edelleen se, että säteilysuureitten mittaustilanteen tarkka hallinta edellyttää monipuolista syventymistä. Mittanormaalityöinnässä tarvitaan siksi syvää asiantuntijuutta. Riittävän asiantuntemuksen ylläpitäminen ja tarpeitten mukainen kehittäminen on yksi toiminnan keskeinen lähtökohta.

Optisten suureitten kansallinen mittanormaallaboratorio on kehitetty yliopistoympäristössä. Mittauspalvelutoiminta on näin voitu rakentaa alansa korkeatasoisen tutkimustoiminnan yhteyteen. Tämä on osoittautunut taloudelliseksi ratkaisuksi. Näin on luotu kokonaisuus, joka tarjoaa monipuolisen palvelukokonaisuuden koulutus-, tutkimus- ja konsultointipalveluista tuotekehitys- ja kalibrointipalveluihin.

Kehittämiskohteet ovat yleisellä tasolla tiivistäen esitettyinä seuraavat:

- Tarvitaan panostamista etenkin keskeisten suureitten metrologian kehittämiseen
- ja tärkeimmistä tarvealueista huolehtimiseen
- sekä tarpeitten ennakointiin. Ala kehittyy nopeasti (laserit, detektorit, integroitu optiikka, tietoliikenteen optiikka ...).

Ennakointi hoidetaan parhaiten osallistumalla alan keskeisen teknologian kehittämiseen. Tämä tarkoittaa panostamista mm. mikroteknologioihin ja niiden keskeisiin metrologisiin sovelluksiin, esimerkiksi optisessa tietoliikenteessä ja eri alojen instrumentoinnissa. Yhteiset kehittämishankkeet asiakkaitten, tutkimuslaitosten ja muitten maitten mittanormaallaboratorioitten kanssa vahvistavat osaamista ja toimintaa tukevaa verkottumista. Kansallisella mittanormaallaboratoriolla on jatkuvasti käynnissä useita tällaisia töitä ja samaa linjaa on tarkoituksena jatkaa.

Keihäänkärkien osalta (fotometriset suureet, spektrinen irradianssi) tulee kaikin keinoin pyrkiä säilyttämään tekninen kompetenssi. Keihäänkärjet luovat uskottavuutta suomalaiselle mittanormaalityöinnälle ja avaavat ovia mm. EU:n ja EUROMETin tutkimushankkeisiin sekä erilaisiin työryhmiin.

5 TAVOITTEET VUOSILLE 2003–2007

5.1 Tutkimusprojektit

Tällä hetkellä tiedossa olevat konkreettiset kehitystarpeet seuraavalle viisivuotiskaudelle on listattu seuraavaan taulukkoon (ei tärkeysjärjestyksessä):

Toiminto	Aikataulu
1. Hajaheijastuskertoimelle absoluuttinen kalibrointilaitteisto	2001 – 2003
2. Optisen tietoliikenteen aallonpituusreferenssi	2001 – 2003
3. Uusi menetelmä suodatinradiometrien irradianssivasteen määrittämiseen	2001 – 2002
4. Menetelmä ohutkalvojen taitekertoimen mittaamiseksi	2001 – 2003
5. Optisten tietoliikennekomponenttien vastemittaukset suurilla tehotasoilla	2002 – 2003
6. Spektrisen irradianssin ja radianssin aallonpituusalueiden laajentaminen	2002 – 2005
7. Radiometrien UV irradianssivasteen kalibrointilaitteisto	2002 – 2004
8. Spektrofluorometri kemian analysaattoriteollisuuden tarpeisiin	2002 – 2005
9. Kuidun polarisaatiomuotodispersiön mittaus	2003 – 2004
10. Spektrofluorometri paperiteollisuuden tarpeisiin	2003 – 2006
11. Transmittanssin mittausalueen laajentaminen 200 nm asti	2003
12. Värinäyttöjen ja kolorimetrien kalibrointilaitteisto	2003 – 2005
13. Laserpulssin energia	2007
14. Luminanssin ja spektrisen radianssin mittausalueiden laajentaminen	2005 – 2007
15. Kalibrointilaitteisto luminesenssimittareille	2007

Hankkeiden rahoituksesta suurin osa haetaan Mittatekniikan keskukselta. Hankkeita rahoittaa myös TEKES, jonka kanssa projekteja on jo saatu käyntiin. Kehitystarpeita käydään seuraavassa läpi suureryhmittäin. Suluissa olevat numerot ovat viitteitä edellä olevan taulukon aktiviteetteihin.

5.2 Detektorien ja lasereiden karakterisointi

Optiseen tehoon liittyvissä suureissa tulisi kehitystyötä tehdä lähinnä detektorien irradianssivasteen kalibrointilaitteiston kehittämiseksi (7). Tällä suunnalla on selkeästi kalibrointitarvetta.

Tyypillinen kalibroitava laite on kompakti UV-mittari, joka mittaa säteilyä 365 nm aallonpituuden ympäristössä. Laitteiden herkkyyks on huono, koska mitattavat tehot ovat suuria. Tällaisten UV-mittareiden kalibrointeja ei tällä hetkellä pystytä tekemään kunnolla, koska TKK:lta puuttuu laitteisto, jolla saadaan aikaan monokromaattista suuri-intensiteettistä UV-säteilyä.

Mittauslatteita käytetään mm. puolijohdeteollisuudessa, ainetta rikkomattomassa testauksessa ja lääketieteellisyydessä. Yksi tärkeä mittareiden käyttöalue on lääketieteelliset mittaukset. Psoriasis-potilaita säteilytetään UV-kammioissa, joiden säteily on turvallisuussyistä mitattava tarkasti.

Aihe on tällä hetkellä kansainvälisestäkin ajankohtainen. CIE:n työryhmä TC2-47 on kirjoittamassa kansainvälistä suositusta siitä, kuinka kyseisenkaltaisia UV-radiometrejä tulisi kalibroida. Kalibrointiin ja mittauksiin liittyy suurehkoja ongelmia. TKK osallistuu aktiivisesti tähän standardointityöhön. Projektissa kehiteltävä laitteisto lisää TKK:n tietotaitoa ja parantaa valmiuksia osallistua aktiivisesti standardisointityöhön. Standardin valmistuessa on odotettavissa kalibrointitarpeiden kasvua. Laboratorioita, jotka osaavat kalibroida laitteita kunnolla ja joilla on siihen valmiudet, on maailmalla melko vähän.

Myös laserpulssein energian mittaamiselle olisi tarvetta (13). Tarve on kuitenkin vähäisempi, kuin irradianssivasteen mittaamiselle. Syntyvää tietotaitoa voisi mahdollisesti käyttää myös muiden pulssitettujen valolähteiden kuten xenon-lamppujen ja mikrohehkujen tutkimiseen.

5.3 Fotometriset suuret

Kalibrointivalmiudet fotometriin mittauksiin ovat pääsääntöisesti erittäin hyvät. Mittaus-epävarmuudet ovat useissa suureissa maailman parhaat. Näiden suureiden osalta tarvitaan lähinnä ylläpitoa, jotta suureiden epävarmuudet pysyvät jatkossakin parhaina.

Ainoa suure, joka tarvitsisi enemmän panostusta, on luminanssi (14). Luminanssin kalibrointeja tarvitaan lähinnä näyttöjen mittaamiseen. Tähän tarkoitukseen mittausalue ei ole tarpeeksi laaja. Mittausten alaraja TKK:lla on 5 cd/m^2 . Näyttöteollisuudelle tämä arvo on liian suuri, koska mitattavien pikselien luminanssi on huomattavasti pienempi. Mittausaluetta tulisi laajentaa alaspäin noin kolmella dekadilla. Luminanssimittausten epävarmuutta tulisi myös samalla parantaa kansainväliselle tasolle.

5.4 Spektrometriset suuret

Kalibrointipalvelut kattavat pääsääntöisesti hyvin teollisuuden ja tutkimuksen tarpeet. Kalibrointien aallonpituusalueita tulisi kuitenkin laajentaa UV-alueella 200 nm ja IR-alueella $2,5 \mu\text{m}$ asti (6). Lisäpanostusta tarvittaisiin myös spektrisen radianssin mittausalueen laajentamiseksi (14). Luminanssin ja spektrisen radianssin mittausalueiden laajentaminen auttaisi suomalaista matkapuhelinteollisuutta. Väri näyttö on kolmannen sukupolven matkapuhelinten kallein komponentti. Laajennetuilla alueilla mahdollistettaisiin näiden mittaaminen.

Spektrisen irradianssin mittauksia voidaan käyttää lämpötilan määrittämiseen. TKK:lla ja Mittatekniikan keskuksella on tällä alueella yhteistyöprojekti. Lämpötilan epävarmuuden parantaminen radiometrisin keinoin vaatii parannusta spektrisen irradianssin epävarmuuteen, mihin pyritään projektilla (3).

5.5 Spektrofotometria ja värimittaukset

Analysaattoriteollisuudessa on useita optisia mittauksia joille SI-jäljitettävyyden saanti on hankalaa. Näistä tärkeimmät ovat fluoresenssi (8) ja luminesenssi (15), joille ei ole kalibrointipalveluja. Transmittanssimittausten aallonpituusaluetta tulisi laajentaa, koska useat analysaattorit toimivat UVB- ja UVA-alueilla (11). Jatkossa saattaa olla tarvetta myös sirontamittauksille. Transmittanssin rinnalla mitataan toisinaan myös sirontaa isoista partikkeleista (nephelometrit). Näiden laitteiden käyttö on kuitenkin vielä aika marginaalista, joten kehitystarvetta ei ole listattu.

Paperiteollisuuden tarpeisiin on kehitteillä hajaheijastuskertoimen absoluuttinen mittaustilteisto (1). Valmistuttuaan se tulee palvelemaan paperiteollisuuden tutkimusta. Paperiteollisuuden laboratoriot eivät voi alan standardoinnin johdosta ottaa jäljitettävyyttä mistä vain. Mikäli laitteistolle halutaan antaa jäljitettävyyttä on tähän saatava ISO/TC6 komitean hyväksyntä, mihin tulisi satsata. Myös fluoresenssimittauksille olisi tarvetta (10).

Laboratoriolla on meneillään TEKESin rahoittama projekti, jossa kehitetään menetelmä ohutkalvojen taitekertoimen määrittämiseksi.

Suomesta puuttuu täysin kansalliset mittanormaalit materiaalien ja näyttöjen värimittaukseen, mikä on suuri puute (12). Värimittausten tutkiminen on luonnollinen jatko hajaheijastuskertoimen mittanormaalien kehittämisen jälkeen. Materiaalien värien kalibrointeja voisi hyödyntää suomalainen maali-, pakkaus- ja autoteollisuus.

5.6 Kuituoptiset mittaukset

Kuituoptiikan perussuureille, kuituoptiselle teholle ja aallonpituudelle on olemassa mittanormaalit. Alueella toimii akkreditoitu laboratorio, Nemko Product Services, jonka kanssa KML ei halua kilpailla. KML:n kannattaa tästä syystä fokuoittaa niihin kuituoptisiin mittauksiin, joita Nemko ei tee. Tällaisia ovat mm. dispersiomittaukset (9). Dispersiomittauksiin on TKK:lla hyvät valmiudet, jotka tulisi jalostaa mittanormaaliksi. Tarvetta on myös kuituoptisten komponenttien karakterisointiin ja testaukseen suurilla (~1 W) tehotasoilla (5).

Nemkolla on tarvetta kuituoptisille tehomittauksille +20 dBm asti, mihin tarvittaisiin jäljitettävyyttä. Nemkolla on myös kehitteillä kalibrointipalvelu kuitututkamittauksiin.

TKK on mukana EU-projektissa FOTon "Fibre-Optics Technology Network" ja COST-projektissa 265 "Measurement Techniques for Active and Passive Fibres to support Future Telecommunication". Tätä kautta on hyvät yhteydet Eurooppalaisiin yhteistyökumppaneihin ja suomalaiseen teollisuuteen.

5.7 Hankkeiden ja mittanormaalityönnän seuraamisenenettelyt

- Kehityshankkeita seuraa MNK:n optisten suureiden työryhmä
- KML:n laatujärjestelmää arvioi MIKES
- Kansainvälistä tasoa arvioidaan vertailumittausten avulla.

6 LÄHDELUETTELO

- [1] *Optisen mittanormaalityönnän kehittäminen Suomessa*, Metrologian neuvottelukunta, Optisten suureiden asiantuntijatyöryhmä, Helsinki (1993).
- [2] Kari Riski ja Seppo Nevalainen, *Optisen alueen mittaus- ja kalibrointikartoitus 1997*, Julkaisu J4/1998, Mittatekniikan keskus, Helsinki (1998).
- [3] *Brochure for European Optical Radiation Calibration Services*, 2nd Edition, Funded within project SMT4-CT96-6511, National Physical Laboratory (NPL), Teddington, UK (1999).

SÄHKÖSUUREET

TIIVISTELMÄ

Sähköiset suureet ovat merkitykseltään erityisasemassa, koska lähes kaikkien suureiden mittaustekniikka käyttää välillisesti tai välittömästi sähkötekniisiä järjestelmiä, antureita ja muuntimia. Sähkötekniisiä perusyksiköitä ja niiden mittaustekniikkaa joudutaan siten hyödyntämään useimpien muiden suureiden kalibrointien yhteydessä.

Sähköisten perusyksiköiden ja useimpien johdannaisyksiköiden ylläpito (kansalliset mittanormaalit sekä korkeimman tason kalibroinnit) on annettu MIKESin tehtäväksi. Mittatekniikan keskuksen ja Teknillisen korkeakoulun tehtäväjaon perusteella suurjännite- ja pulssisuureiden kansallinen mittanormaalityö ja suurjännitemittauslaitteiden (mukaan lukien EMC-pulssitestereiden) kalibrointityö on keskitetty Teknillisen korkeakoulun suurjännitetekniikan (TKK/Sjt) laboratorioon.

Suurin osa MIKESin sähkösuureiden kalibroinneista on jäljitettävissä suoraan luonnonvakioihin omien Josephson-ilmioon ja kvantti-Hall-ilmioon perustuvien kvanttinormaaleiden avulla. Perus suureiden kalibrointipalvelut ovat osa MIKESin ja teollisuuden laboratorioiden säännöllistä yhteistyötä.

Suurjännitemittaukset liittyvät erityisesti sähköenergiateollisuuden tuotantoon, sähköturvallisuuden, sähkön siirtoon, jakeluun ja käyttöön sekä sähkön myyntiin. Sähköenergiateollisuuden sekä sähkö-, elektroniikka- ja tietoteollisuuden lisäksi suurjännitteitä esiintyy tai käytetään lähes kaikilla teollisuuden aloilla.

Suunnittelukauden tavoitteet mittanormaalityölaboratorioissa ovat lyhyesti:

- Laboratorioiden asiakaspalvelua pyritään nopeuttamaan ja parantamaan käyttäen tietotekniikan tarjoamia uusia mahdollisuuksia.
- MIKESissä sähkösuureiden kalibrointivalmiuksia laajennetaan 1-2 uudella mittaustalvulla vuosittain. Alkamassa on suurtaajuisten sähkösuureiden metrologiatyö.
- Metrologian tutkimus painottuu mikro- ja nanotekniikan metrologiasovelluksiin. Meneillään olevia yhteistyöprojekteja jatketaan.
- Suurjännitesuureiden tutkimus painottuu vaihtojännitemetrologiaan.
- Näytteistykseen perustuvan vaihtosuureiden (jännite, virta, impedanssi ja näiden vaihekulma) mittaustalvun kehitystyö jatkuu.
- Keski- ja/tai suurjännitteisen sähkötehon ja –energian kalibrointivalmiuksia parannetaan.
- Pulssikalibrointipalvelun sekä asiakkaiden tiloissa tehtävien kalibrointien markkinointia tehostetaan.

1 JOHDANTO

Sähköisiä pääsuureita ovat jännite (mittayksikkö voltti, V), sähkövirta (ampeeri, A), resistanssi (ohmi, Ω), sähköteho (watti, W) ja sähköenergia (kilowattitunti, kWh). Sähkömetrologian alueeseen kuuluvat lisäksi sähköisten peruskomponenttien mittaussuureet, kuten kapasitanssi, sekä joukko teknisesti tärkeitä edellisistä johdettuja suureita. Tällaisia ovat esimerkiksi sähkötehoon liittyvät häviökulmat ja -kertoimet, pulssisuureet sekä mittamuuntajien ominaisuuksiin liittyvät suureet. MNK:ssa sähköisten suureiden työryhmän alueeseen kuuluvat myös aika ja taajuus.

Sähkösuureet ovat merkitykseltään erityisasemassa, koska lähes kaikkien suureiden mittaustekniikka käyttää välillisesti tai välittömästi sähkötekniisiä järjestelmiä, antureita ja muuntimia. Mitattava suure muunnetaan näillä sähköiseksi vastineeksi tai taajuudeksi, jonka mittayksikkö sitten tulkitaan tarvittavan suureen mittayksiköksi, esim. paineanturilla pascalleiksi jne. Sähkötekniisiä perusyksiköitä ja niiden mittaustekniikkaa joudutaan siten hyödyntämään useimpien muiden suureiden kalibroinnin yhteydessä.

Suomen teollisuuden kasvu on jo vuosia perustunut tietoliikenneteknisen teollisuuden ja elektroniikka- ja sähköalan tuotannon voimakkaaseen kasvuun. Sähkö-, elektroniikka- ja tietoteknisen teollisuuden vienti on jo noin kolmannes viennin kokonaisvolyymistä [1]. Tämä on vetänyt mukanaan nousuun myös joukon muita teollisuusaloja parantamalla markkinoinnin edellytyksiä ja vientimme imagoa. Menestyksen tärkeänä perustekijänä kilpailijoihin verrattuna on ollut mm. sähkö- ja tietoteknisen koulutustason nostamisen onnistunut läpivienti 1990-luvun alun laman jälkeisten vuosien aikana.

Suurealueen kansallisten mittanormaalilaboratorioiden tarve perustuu metrologisten palveluiden tarjoamiseen suomalaiselle yhteiskunnalle ja elinkeinoelämälle: on saatava asiantuntemusta omasta maasta omalla kielellä. Tähän tarpeeseen vastataan ylläpitämällä kansallisia perussuureita ja huolehtimalla suureiden jäljitettävyydestä kalibroitilaboratorioille ja muille asiakkaille. Teollisuuden haasteisiin vastataan myös kehittämällä uusia mittausspalveluita ja -menetelmiä sekä tarjoamalla metrologiaan liittyvää koulutusta. Kansalliset mittanormaalilaboratoriot luovat foorumin kansainväliselle yhteistyölle mahdollistaen tiedonvaihdon muiden maiden vastaavien elinten kanssa. Tämän tiedonvaihdon tulokset siirtyvät hyödyttämään teollisuuden lisäksi maan tiede- ja koulutusyhteisöjä.

2 SÄHKÖSUUREIDEN METROLOGIA SUOMESSA

Sähköisten perusyksiköiden ja useimpien johdannaisyksiköiden ylläpito (kansalliset mittanormaalit sekä korkeimman tason kalibroinnit) on annettu MIKESin tehtäväksi. Mittatekniikan keskuksen ja Teknillisen korkeakoulun tehtäväjaon perusteella suurjännite- ja pulssisuureiden kansallinen mittanormaalityö sekä suurjännitemittauslaitteiden (mukaan lukien EMC-pulssitestereiden) kalibroitiminta on keskitetty Teknillisen korkeakoulun suurjännitetekniikan (TKK/Sjt) laboratorioon.

Suurin osa MIKESin sähkösuureiden kalibroinneista on jäljitettävissä suoraan luonnonvakioihin omien Josephson-ilmioon ja kvantti-Hall-ilmioon perustuvien kvanttinormaaleiden avulla. Perussuureiden kalibroitimintapalvelut kuuluvat MIKESin ja teollisuuden laboratorioiden säännölliseen yhteistyöhön. Sähkömetrologian tiivis yhteistyö suomalaisen teollisuuden

kanssa on johtanut myös uusien tuotteiden kehittämiseen mm. sähköenergian ja -tehon mittaamisessa.

Tarkka **ajan ja taajuuden mitta**us on nykyisen metrologian perusta, jolle useimpien muiden fysikaalisten suureiden hallinta on rakennettavissa. MIKESissä aika- ja taajuuskalibroinnit jäljittyvät suoraan sekunnin määritelmään omien, GPS-vastaanottimien avulla maailman aikaan vertailtavien Cs-atomikellojen kautta. Taajuusmittausten luotettavuus tulee yhä tärkeämmäksi langattoman tietoliikenteen merkityksen kasvaessa. Käytävissä olevien viestinvälitystaajuuksien rajallisuus vaatii erityisen tarkkoja taajuusmittauksia, koska digitaalisen viestin tehokkaat koodausmenetelmät perustuvat viestikanavan rajoitetun taajuuskaistan taloudelliseen hyväksikäyttöön.

Suurjännitemittaukset liittyvät erityisesti sähköenergiateollisuuden tuotantoon, sähköturvallisuuteen, sähkönsiirtoon, jakeluun ja käyttöön sekä sähkönsäilytykseen. Sähköenergiateollisuuden sekä sähkö-, elektroniikka- ja tietoteollisuuden lisäksi suurjännitteitä esiintyy tai käytetään lähes kaikilla teollisuuden aloilla. Keskeisin suurjännitemittausten kalibrointien tarve liittyy erittäin kalliiden verkkokomponenttien kuten muuntajien ja kaapeleiden testauksen laatuun.

Säteilyturvakeskuksen (STUK) **ionisoimattoman säteilyn** laboratorio ylläpitää tutkimus- ja valvontatoiminnassa tarvittavia sähkösuureiden mittanormaaleja (radiotaajuisten sähkökentän voimakkuus, pien- ja radiotaajuisten magneettikentän voimakkuus sekä ominaisabsorptiokerroin, SAR (Specific Absorption Rate)). Osana STUKin mittanormaalityönsä sähkö- ja magneettikenttien kansallisen mittanormaalityönsä asema arvioidaan ja selvitetään onko tarpeellista pyrkiä kansalliseksi mittanormaaliksi kyseisten suureiden osalta. Kansainväliseen yhteistyöhön ja vertailuihin (esim. CCEM.RF-K20) osallistutaan mahdollisuuksien mukaan.

Metrologisessa jäljitettävyyshierarkiassa primäärinormaalista kuluttajalle tärkeässä asemassa ovat akkreditoituneet kalibrointilaboratoriot, joita tasa- ja pientaajuuksien sähkösuureiden alalla on yhteensä kahdeksan. Aika- ja taajuussuureilla on kaksi akkreditoitua kalibrointilaboratoriota. Osalle yritysten tai yhteisöjen kalibrointilaboratorioista kalibrointitoiminta on alan kysyntää kattavaa liiketoimintaa ja osalle omaa liiketoimintaa tukevaa ylläpitoa. MIKESin sähkö- ja aikalaboratorion akkreditoituille laboratorioille antamien kalibrointitodistusten määrä on ollut vuosittain 15 - 20. Akkreditoituista laboratorioista ulkoisia kalibrointitehtäviä eniten tekevät kaksi laboratoriota antavat yhteensä 1000 - 2000 kalibrointitodistusta vuodessa.

Akkreditoitujen kalibrointilaboratorioiden ohella MIKESin sähkö- ja aikalaboratorion suurimpia asiakkaita ovat teollisuusyritykset, muutamien suuryritysten kalibrointilaboratoriot, viranomaiset, maahantuojien mittalaitehuollot ja kalibrointiliiketoimintaa harjoittavat yritykset. Näille annettujen todistusten määrä on ollut vuosittain 30 - 50. Sähkösuureiden primäärinormaalien ja käyttönormaalien kalibrointitehtävien lisäksi on hoidettu erityistehtäviä.

Suurjännitemittausten alueella ei Suomessa toistaiseksi ole akkreditoituja kalibrointilaboratorioita. Jäljitettäviä suurjännitekalibrointitehtäviä tarjoaa Suomessa vain TKK/Sjt. Vuosittain laboratorio on antanut noin 35 kalibrointitodistusta. Tarjonta vastaa nykyistä kysyntää, mutta piilevää kalibrointitarvetta on edelleen mm. siksi, että testauksen tarkastajat eivät aina vaadi kalibrointitodistuksia nähtäväkseen. Lisäksi teollisuuden laatuvarmistusjärjestelmät ovat yhä kehittämisvaiheessa. Ulkomaisten asiakkaiden määrä on lisääntynyt.

3 KANSAINVÄLINEN TOIMINTA

MIKESin sähkö- ja aikalaboratorion henkilöstö on mukana EUROMETin sähkö- ja aika / taajuustyöryhmien toiminnassa. Erityisen aktiivinen MIKES on ollut resistanssimetrologiasa, jossa on menestyksekkäästi osallistuttu useaan kansainväliseen vertailumittaukseen ja on toimittu pilottilaboratoriona. Muita kansainvälisiä vertailuja ovat olleet tasajännitteen, tasajännitesuhteiden, vaihtojännitteiden, 50 Hz sähkötehon, virtamuunninten ja kapasitanssien vertailut. Kansainvälisiä yhteisprojekteja on ollut esimerkiksi laboratorion EU-rahoitteinen hanke, jossa tutkitaan mikromekaniikan soveltamista sähkömetrologiaan.

TKK:n suurjännitetekniikan laboratorion kansainvälinen yhteistyö on laajaa ja se tapahtuu erityisesti EUROMETissä ja suurjännitealan yhteistyöjärjestössä CIGREssä. TKK/Sjt:n kansainvälinen toiminta on keskittynyt erityisesti syöksyjännitemittaustekniikan alueelle. TKK/Sjt koordinoi esimerkiksi vuonna 1998 alkanutta suurta maailmanlaajuista syöksyjännitteiden vertailua, johon osallistuu 25 alan laboratoriota eri puolilta maailmaa. Joukossa ovat lähes kaikki suurjännitealueella toimivat kansalliset mittanormaalilaboratoriot. Projekti päättynee vuonna 2003. TKK/Sjt on koordinoinut useita laajoja kansainvälisiä suurjännitealueen vertailumittauksia vuodesta 1991 alkaen.

4 YLEISET KEHITYSNÄKYMÄT

Kvanttimekaaniset perusnormaalit: Suomi on ollut vahvasti mukana perusmetrologian mullistaneessa kehityksessä sekä kvantti-Hall-vastuksen että Josephson-jännitteen osalta. On odotettavissa, että nanorakenteissa esiintyvät yksielektroni-ilmiöt aiheuttavat samantapaisen mullistuksen sähkövirran metrologiassa. Kvanttimetrologia mahdollistaa sähkösuureiden kansalliselle laboratoriolle oman jäljitettävyyden, mikä parantaa merkittävästi tarjottavien metrologiapalvelujen luotettavuutta ja tuo laboratoriolle tärkeää kansainvälistä tunnistettavuutta.

Mikro-elektro-mekaaniset anturit: Tarkat kaupalliset vaihtojännitteen mittausräätelit perustuvat nykyisin mitattavan signaalin muuttamiseen lämmöksi tai puolijohdekomponenttien epälineaaristen ominaisuuksien hyväksikäyttöön. Näiden menetelmien ongelmia ovat mm. huomattava tehonkulutus ja vaikea integroitavuus muun elektroniikan kanssa. Näiden ongelmien ratkaisemiseksi MIKES on mukana kehittämässä ja testaamassa mikro-elektromekaniikkaan (MEMS) perustuvia uusia antureita ja referenssejä uuden sukupolven mittauslaitteisiin.

Suurtaajuussuureet: MIKESin suurtaajuuskalibrointien palvelutoiminta (vaimennukset ja tehot) on uudessa vaiheessa suunnittelukaudella. Toiminnan kehittäminen vaatii panostamista säännöllisen ja riittävän laajan kalibrointitoiminnan uudelleen käynnistämiseksi. Muutamia vuosia sitten toteutettu MIKESin organisaatiomuutos on luonut muitakin vastavia tarpeita, jotka vaativat oman osuutensa ryhmän resursseista (akustiset suureet).

Aikapalvelu: MIKES on mukana valtioneuvoston käynnistämässä sähköisen henkilötunnistuksen kehittämishankkeessa, jonka tarkoituksena on sertifioida sähköisten dokumenttien tarvitsema aikaleimaus. Jotta dokumentti olisi juridisesti pätevä, siihen liittyvien tapahtumien ajanhetket pitää pystyä dokumentoimaan jäljitettävästi. Toinen tärkeä aikapalvelusovellus on tietokoneiden tahdistus (NTP). Maan oman kansallisen mittanormaallilaboratorion tuottamana nämä palvelut ovat luotettavia ja riippumattomia.

Suurjännitemetrologia: Mittamuuntajien kenttäkalibrointeihin jouduttaneen varautumaan kauden aikana. Myös modernit, mm. digitaalisella lähdöllä varustetut mittausturvit yleistyvät ja niiden kalibrointi vaatii vastaisuudessa uusien menetelmien kehittämistä. Muita kehityssuuntia ovat mm. suurmuuntajien häviömittausten sekä kuristimien ja kondensaattorien häviömittausten kalibrointi. Mittauksilla on usein suuri taloudellinen merkitys, sillä yhä useammin näiden yksikköhinnaltaan kalliiden laitteiden hinta sidotaan mitattuihin häviöihin.

Sähkötehon ja -energian mittausten kalibroinnit suurjännitteellä voivat tulla tarpeellisiksi lähitulevaisuudessa. Vapautunut sähkökauppa ja sen monet rajapinnat voivat milloin tahansa aiheuttaa riitatilanteita ja oikeustoimia, jotka edellyttävät sähkötehon ja -energian mittausten kalibrointeja suurjännitteellä. Suurten tasavirtojen sekä tasasähkötehon ja -energian kalibrointitarve suurjännitteellä voi tulla myös ajankohtaiseksi lähivuosina.

Sähköenergian laadun merkitys sähkökaupassa kasvaa. Sähkön laadun mittausturvajärjestelmiä on käytössä runsaasti, mutta niiden kalibrointia ei ole järjestetty. Kalibrointimenetelmät sekä erityisesti mitattavien suureiden standardointi vaativat vielä kehittämistä. Kehitystyö tarvitsee sekä mittausturvakalustoa että asiantuntemusta vaihtojännitteiden ja pulssisuureiden mittaustekniikasta. Koska sekä MIKESillä että TKK/Sjt:llä on alueen perusvalmiudet käytössään, kalibrointipalvelujen tuottamista valmisteleva kehitystyö voisi olla toteutettavissa laboratorioiden yhteishankkeena sopivaa työnjakoa käyttäen.

Mittausten automatisointi: Asiakaspalvelun laadun ja nopeuden parantamiseksi voimakas panostaminen laboratorioiden mittausturva- ja ylläpitomenetelmien ja -rutiinien automatisointiin on välttämätöntä. Automatisointi vapauttaa resursseja mittanormaalien ylläpitoon, jonka työmäärä on kasvanut ylläpidettävien suureiden lukumäärän ja tunnustettavuuden asettamisen vaatimusten myötä sekä monentasoisen kotimaisen ja kansainvälisen yhteistoiminnan kautta.

MIKESin uusi toimitalo valmistuu syksyllä 2004. Toimitaloon siirretään suurin osa MIKESin laboratorioista, jolloin mm. sähkö- ja aikametrologian laboratorion toimintaa haittaava tilanpuute ratkeaa. Suurjännitemetrologian laajahkoja erikoistiloja vaativa toiminta jää TKK:n tiloihin. Suurjännitemetrologiaa tulee kehittää ja ylläpitää rinnan sähkömetrologian laboratorion uusien tilojen suunnittelun ja rakentamisen kanssa. Alan toimintaedellytyksiä on vahvistettava ottaen huomioon mm. TKK:n ylläpito- ja tilakustannusten kasvu. Metrologien yhteistyötä tulee jatkaa ja tiivistää. TKK:n Sjt-laboratoriossa on tarvittaessa tilaa myös suurtaajuisten sähkömagneettisten kenttien mittanormaalityönnölle.

Koulutus: Sähkömittaustekniikan alan koulutusta on tarjolla lyhyinä peruskursseina useimmissa teknillisen alan yliopistoissa, korkeakouluissa ja ammattikorkeakouluissa. Kuitenkaan kansallisen metrologiajärjestelmän palveluja, kalibrointeja sekä mittausturvavarmuuden merkitystä ja laskentaa ei oppikirjoissa tai monisteissa ole käsitelty riittävässä laajuudessa. Metrologian neuvottelukunta on kiinnittänyt asiaan huomiota aikaisemminkin, jolloin

esitys koski laajahkon mittaustieteen oppikirjan laadintaa. On kuitenkin ilmeistä, että lyhyt käytännönläheinen johdatus metrologian perusteisiin esimerkkeineen palvelisi tavoitetta parhaiten. Lisäksi on tarvetta myös teoreettisemmalle, yliopisto-opiskelijoille suunnatulle sähkömetrologian perusteita käsittelevälle opetukselle.

Tietoverkon käyttö: MIKESin kotisivujen perusteellinen uusinta on käynnistetty ajatellen tiedonjakoa yleisölle ja palvelujen käyttäjille. Yhtenä toivottuna koulutuksellisenä tavoitteena sähköisten suureiden työryhmä näkee erityisesti tietoverkon interaktiivisten mahdollisuuksien täyden hyödyntämisen. Koska metrologian alalla asiantuntijatiedon tarve on jatkuvasti kasvanut, myös kotisivun lukijoilla pitäisi olla mahdollisuus esittää MIKESin ja MNK:n asiantuntijoille lyhyitä kirjallisia kysymyksiä (myös nimettöminä) ja siten, että vastaukset olisivat kaikkien alalla toimivien nähtävissä (käyttäjryhmät).

5 TAVOITTEET VUOSILLE 2003–2007

Laboratorioiden asiakaspalvelua pyritään nopeuttamaan ja parantamaan tietotekniikan tarjoamia uusia mahdollisuuksia käyttäen. Tähän liittyvät laboratoriotietokannan hyödyntäminen, internetin kautta tapahtuvan kalibrointien ja aikapalvelun kehittäminen sekä perusmittausten automatisoinnin loppuunsaattaminen.

MIKESissä sähkösuureiden kalibrointivalmiuksia laajennetaan noin 1 - 2 uudella mittauspalvelulla vuosittain. Suunnittelujakson alussa suurimpana kehityskohteena ovat suurtaajuiset sähkösuureet, joiden metrologiatoiminta MIKESissä on alkamassa. Nykyisiä palveluita, erityisesti vaihtojännitteen ja -virran mittapaikkoja kehitetään jäljitettävyyden ylläpitämiseksi ja siirtämiseksi asiakaslaitteisiin yhä helpommin ja luotettavammin. Ajan ja taajuuden osalta on tavoitteena tarkastelujakson kuluessa MIKESin liittäminen BIPM:n seuraamien ja raportoimien kansallisten aika- ja taajuuslaboratorioiden joukkoon.

Metrologian tutkimus painottuu lähivuosinakin mikro- ja nanotekniikan metrologiasovelluksiin. Jo alkaneita tutkimushankkeita ovat Josephson-ilmiöön perustuvan vaihtojännitteenormaanin kehittäminen yhdessä VTT:n kanssa sekä EU-rahoitteinen *EMMA*-yhteistyöprojekti, jossa kehitetään mikromekaniikan sähkömetrologiasovelluksia. Nämä projektit saatetaan loppuun suunnitteluajanjaksolla. Suunnitelmiin kuuluu myös kilogramman realisointi sähkösuureiden avulla yhdessä MIKESin massaryhmän kanssa sekä kvantti-Hall-ilmiöön perustuvan kapasitanssinormaanin tutkiminen ja kehittäminen. Yhteistyö VTT:n mittaustekniikan tutkijoiden kanssa pyritään jatkossakin säilyttämään tiiviinä, vaikka jokapäiväinen kanssakäyminen väheneekin ryhmien siirtyessä fyysisesti eri rakennuksiin. On muistettava, että erityisesti nanoelektroniikan ja yksielektroni-ilmiöiden mahdollisia metrologiasovelluksia ajatellen Suomessa tehdään hyvin varteenotettavaa tutkimusta myös esimerkiksi TKK:ssa ja Jyväskylän yliopistossa. Myös yhteistyötä esimerkiksi Baltian maiden ja Ruotsin SP:n kanssa on kehitettävä.

TKK:n Suurjännitetekniikan laboratorion tutkimus painottuu tulevana vuosina vaihtojännitemetrologiaan. Jo vuosia jatkunut näytteistykseen perustuvan vaihtosuureiden (jännite, virta, impedanssi ja näiden vaihekulma) mittausten kehitystyö jatkuu. Tavoitteena on kauden aikana parantaa keski- ja/tai suurjännitteisen sähkötehon ja -energian kalibrointivalmiuksia alan toimijoiden tarpeiden mukaan. Kehityksen alle saattavat tulla joko erilaisten mittamuuntajien ja/tai kokonaisten teho- ja energiamittausjärjestelmien mittausten menetelmät.

TKK/Sjt on kehittänyt erityisesti jännitepulssien mittaus- ja kalibrointitekniikkaa jo v. 1978 lähtien. Laboratorion saavutuksiin kuuluu maailman tarkimman pulssikalibraattorin kehittäminen jännitepulssin huippuarvoa ja aikaparametrejä varten. Pulssikalibrointipalvelua on tarkoitus markkinoida maailmanlaajuisesti, kunhan TKK/Sjt:n koordinoimassa syöksyjännitevertailussa käytössä oleva laitteisto vapautuu omaan käyttöön vuonna 2003.

Suurjännitelaitteet ovat usein kooltaan suuria ja niiden kuljettaminen on usein vaikeaa. Vuoden 2001 aikana markkinoitiin asiakkaan tiloissa tehtäviä kalibrointeja. Tämä toiminta on tarkoitus vakiinnuttaa lähivuosien aikana. Lisäksi tavoitteena on vuosittain kehittää olemassa olevia suureita, joko pienentää epävarmuuksia tai laajentaa mittausalueita.

Metrologian koulutusta laajennetaan lähinnä yliopisto- ja korkeakouluopiskelijoille suunnatulla koko MIKESin yhteisellä opetuspaketilla. Kehitettävää materiaalia voidaan käyttää sekä MIKESin edustajien oppilaitoksissa pitämällä luentosarjoilla että opintoryhmien vierailuilla MIKESiin. Lisäksi sähkömetrologian alalta järjestetään seminaarimuotoista, käytännönläheistä koulutusta erityisesti epävarmuuden arvioinnista.

6 LÄHDELUETTELO

- [1] Tilastokeskuksen Internet-sivut: www.tilastokeskus.fi.

AKUSTISET SUUREET

TIIVISTELMÄ

Akustisten suureiden metrologian alueelle kuuluvat ilman värähtelyjen (äänen) mittaukset, muissa väliaineissa etenevien mekaanisten värähtelyjen mittaukset sekä värähtelyjen etenemiseen väliaineissa liittyvät muut mittaukset (vaimennukset, huippuarvot, tärinä- ja iskupulssien amplitudit jne.).

Akustisten suureiden alueella ei ole akkreditoituja kalibrointilaboratorioita, mutta MIKES on aloittanut KML-tasoisien mittanormaalityönnön syksyllä 2002. Palvelut on aloitettu mittamikrofonien ja äänitasokalibraattorien kalibroinneilla.

Tavoitteista tärkeimpiä akustiikan mittanormaalityönnön vakiinnuttamisen jälkeen ovat värähtelykiihtyvyyden antureiden kalibroinnin käynnistäminen, transienttisuureiden mittauspalvelun luominen sekä muutamien Suomelle tärkeiden tutkimusalueiden aktivoiminen (mm. tärinä- ja melupäästöjen sekä äänenlaadun mittaukset, otoemissioon perustuva ja muu varhaisdiagnostiikkaa palveleva audiometria). Merkittäviä uusia tavoitteita ovat korkeiden äänitason huippuarvojen ja transienttien mittauspalvelun luominen (äänenpaine, tärähdykset, toistuvat iskut, purskeet) ja entistä aktiivisempi akustisen metrologian alan kansainväliseen yhteistyöhön osallistuminen Euroopan tasolla. Asiantuntijoiden koulutusta seminaarityönnöllä ja alan tutkimuspalvelujen lisäämistä on tuettava. Tutkimusyhteistyö MIKESin ja korkeakoulujen, yliopistojen, tutkimuslaitosten sekä teollisuuden välillä on aloitettava.

1 JOHDANTO

Yhteiskunnan ja yritysten panostus akustisten ja mekaanisten värähtelysuureiden mittauksen ja mallinnuksen kehittämiseen on ollut Suomessa niiden terveydelliseen ja taloudelliseen merkitykseen nähden varsin vähäistä. Mittaustönnön kansallinen infrastruktuuri on alkekehittynyt ja osaltaan estää mittaustönnön kehittymistä sielläkin, missä tarve tiedostetaan. Suomessa kansallisen mittanormaalityönnön toiminta on ollut ajoittain jopa keskeytyksissä. Tämä on vaikeuttanut pitkäjänteisen kehitystyön organisointia ja suunnittelua. Myöskään alan kehityksen vaatimia investointeja ei ole voitu tehdä. Tilanne kuitenkin paranee selvästi jo ennen suunnittelukauden alkua, kun akustiikan kansallinen mittanormaalityönnön toiminta pääsee kunnolla käyntiin.

2 AKUSTISTEN SUUREIDEN METROLOGIA SUOMESSA

Akustiikan perusmetrologia Suomessa on siirretty vuoden 2000 alussa Mittatekniikan keskuksen (MIKES), jossa akustiikkametrologian kehittämiseen on sen jälkeen käytetty noin 6 henkilötyökuukautta vuosittain. Muita toimijoita akustiikan eri alueiden tutkimuksen ja kehityksen alalla ovat korkeakoulujen laboratoriot sekä tutkimuslaitosten vastaavat korkeatasoiset yksiköt.

MIKESin uudet toimitilat valmistuvat Otaniemeen vuoden 2004 kuluessa. Uudisrakennukseen tulevat myös erityisesti akustisiin ja värähtelykiihtyvyyksmittauksiin suunnitellut laboratoriotilat. Korkeatasoiset tilat aktiivisessa tutkimusympäristössä mahdollistavat akustisten suureiden metrologian kehittämisen kansallisella tasolla. MIKESin akustiikkalaboratorio on nimetty äänenpaineen kansalliseksi mittanormaalilaboratorioksi lokakuussa 2002. Alalle on Suomessa akkreditoitu kuusi testauslaboratoriota, mutta akkreditoituja kalibrointilaboratorioita ei ole. MIKESissä äänenpainetta mitataan resiprookkikalibroiduilla mikrofoneilla. Palveluihin kuuluvat 1/2 ja 1 tuuman mikrofonien sekä äänitasokalibraattorien kalibroinnit. Käyttäjäkentästä suuri osa on tekemisissä melumittausten kanssa, joiden tarve kasvaa melusäännösten tiukentuessa sekä ympäristön- että työsuojelun piirissä. On odotettavissa, että vertailuäänilähteiden ja äänitason kalibraattoreiden vuosittaisten kalibrointien määrä kasvaa.

Mekaanisten värähtelysuureiden alalla Suomessa ei vielä ole kansallista mittanormaalilaboratoriota, mutta sellaisen perustaminen MIKESin akustiikkalaboratorion yhteyteen on suunnitteilla. Tämän tarve aiheutuu osittain teollisuuden laadunvalvonnan ja kunnossapidon vaatimuksista mutta myös tärinään liittyvien säännösten kiristymisestä: uusi yhteisöainsäädäntö kattaa työperäisen käsi- ja kokokehotärinäaltistuksen kaikilla aloilla, myös merenkulussa ja ilmaliikenteessä, sekä myös koneiden valmistajilla on melu- ja tärinäpäästöjen ilmoittamisvelvollisuus.

3 KANSAINVÄLINEN TOIMINTA

MIKES on mukana EUROMETin akustiikkatyöryhmän toiminnassa. Vuonna 2000 MIKES ja Tanskan DTU suorittivat puolen ja yhden tuuman mikrofonien kahdenvälisen vertailumittauksen. MIKESin akustiikkamittaukset on hyväksytty MRA-sopimuksen mukaisesti, BIPM:n ylläpitämiin CMC-taulukoihin (Calibration and Measurement Capabilities). Kansainvälinen yhteistyö sisältää myös osallistumisen EUROMETin akustiikkatyöryhmään, soveltuviin kansainvälisiin vertailuihin sekä tutkimusohjelmiin.

4 YLEISET KEHITYSNÄKYMÄT

Valmistavalle teollisuudelle asetetut vaatimukset ovat lähinnä konedirektiivin (34/97/EC) myötä kasvaneet ja tulevat edelleen kasvamaan uuden ulkona käytettävien koneiden meludirektiivin (14/2000/EEC) voimaansaattamisen seurauksena. Fysikaaliset tekijät -direktiivi (tärinä ja melu, Interinstitutional File: 94/0449 (COD)) asettaa melu- ja tärinärajoja myös kaikelle muulle elinkeinotoiminnalle sekä vaatimuksen olla selvillä työntekijöiden altistuksen suuruudesta. Suomessa voidaan vastata näihin vaatimuksiin vain kehittämällä voimakkaasti akustisten ja muiden mekaanisten värähtelyjen mittausta ja mallinnusta sekä alan metrologiaa. Akustiikan ja värähtelyjen metrologiaan panostamalla voidaan myös varmistaa nykyistä parempi mahdollisuus vaikuttaa kansallisesti tärkeiden eurooppalaisten ja kansainvälisten standardointiryhmien toimintaan ja osallistua kansainvälisiin avainvertailuihin.

5 TAVOITTEET VUOSILLE 2003–2007

Tavoitteena on, että myös pidemmällä aikavälillä varmistetaan kaikille tärkeille akustisille ja mekaanisille värähtelysuureille sekä kalibrointien jäljitettävyyden ja laatu että niiden riittävän nopea ja edullinen saatavuus. Lakisääteisen metrologian muuttuvat tarpeet otetaan huomioon. Kalibrointimäärän kasvaessa tarve ainakin äänitason mittareiden akkreditoitujen kalibrointilaboratorion toiminnan käynnistämiseksi on ilmeinen.

Keskeisiä painopistealueita seuraavan 5 vuoden aikana ovat:

- Värähtelykiihtyvyyden kalibroinnin aloittaminen sekä jäljitettävyyden ylläpito MIKE-Sin toimenpitein.
- Korkeiden huippuarvojen ja transienttien mittausspalvelun luominen (äänenpaine, tärähdykset, toistuvat iskut, purskeet) ja alan kansainväliseen yhteistyöhön sekä yhteisiin projekteihin osallistuminen Euroopan tasolla (EUROMET, CCAUV).
- Suomelle tärkeiden tutkimusalueiden aktivoiminen (mm. värähtely- ja melupäästöjen mittaaminen, kommunikaatioakustiikan äänenlaadun mittaukset, otoemissioon perustuva ja muu varhaisdiagnostiikkaa palveleva audiometria).
- Kotimaisen asiantuntemuksen lisääminen koulutuksen avulla (vaihtuva-aiheiset seminaarit akustisten suureiden mittauksien alueella).
- Akustiikan asiantuntijapalveluiden kehittäminen ja markkinointi.
- Tutkimusyhteistyön aloittaminen yliopistojen, korkeakoulujen, tutkimuslaitosten ja teollisuuden kanssa.

VIRTAUSSUUREET

TIIVISTELMÄ

Suomesta puuttuu virtausmittausten kansallinen mittanormaallilaboratorio. Tarvittavat kalibroinnit on hoidettu kahden akkreditoitun laboratorion toimesta. Suurten nestevirtausten laboratoriakalibrointien jatkuminen on vaakalaudalla siksi, että laboratorion toimitilojen maankäyttösuunnitelman muutos saattaa aiheuttaa laitoksen purkamisen.

Mittatekniikan keskus on aloittanut virtauksen kansalliseen mittanormaallilaboratorioon tähtäävät toimenpiteet pienten kaasuvirtausten osalta, joille akkreditoitua laboratoriota ei Suomessa ole. Kansalliseksi mittanormaalksi on tarkoitus kehittää punnitukseen perustuva primäärikalibrointilaitteisto. Suunnittelukauden alkuvaiheen aikana on tarkoitus aloittaa pienten kaasuvirtausten (20 ml/min ...200 l/min) kansallisen tason mittanormaalityö siten, että vuonna 2002 aloitettu MIKESin pienten kaasuvirtausten kalibrointien kehittämisprojekti pyritään saattamaan loppuun v. 2004. Laboratorion uudet tilat sisältävät varaukset pienten kaasuvirtausten kalibroinneille.

Seuraavia KML-tason kalibrointipalveluja varten tulisi suunnittelukaudella varautua esitutkimuksin ja selvityksin pienten ja keskisuurten (0,005...50 m³/h) nestevirtausten kalibrointivalmiuksiin (vaakaustoiminnan tukena), LDV-mittauksiin alueella 0,05...30 m/s (ei riippuvuutta kalibrointien väliaineesta) sekä suurten vesivirtausten kalibrointiin alueella 50...5000 m³/h. MIKESin uudet tilat eivät sisällä varauksia näille kalibroinneille, jolloin ne tulisi toteuttaa muissa tiloissa.

1 JOHDANTO

Virtausmittausten suurealue on erittäin laaja ja epähomogeeninen johtuen siitä, että mittauskohde voi olla neste, kaasu, näiden seos tai esim. nesteen ja kiinteän aineen seoksen muodostama massa. Mittauksen tavoitteena voi olla väliaineen tilavuusvirran määrittäminen esim. litroina aikayksikössä, virtauksen hiukkasnopeuden mittaus esim. metreinä sekunnissa tai vaikkapa massavirran mittaus grammoina sekunnissa.

Suurealueen kirjavuus johtuu osaltaan myös siitä, että mittauskohteiden alue kullakin aineen olomuodolla on erityisen laaja. Jos ajatellaan vain normaalilämpötilassa olevia nesteitä tai kaasuja, on niiden mittauksiin kehitetty useita kymmeniä mittarityyppisiä soveltuen parhaiten tietyille neste- tai kaasulajeille tai näiden virtausten teollisesti tärkeille lämpötila-alueille. Virtausmittausten avulla voidaan välillisesti mitata lämpöenergian kulutusta (kaukolämpöveden virtausmittaukset, maakaasumittaukset), ilmanvaihdon tehokkuutta sekä erittäin laaja-alaisesti teollisuuden prosessien raaka-aineiden kulutusta, tuotantomääriä sekä esim. teollisuutemme investointituotteiden, kuten pumppujen, venttiilien, säätimien jne. toiminta-arvoja sekä muita laatuparametreja.

Virtausmittaukset muodostavat kokonaisuudessaan alueen, jonka laadunhallinta vaatii kansainvälisestäikin katsoen laajaa yhteistyötä ja tarvittaessa työnjakoa, joka perustuu olemassa oleviin investointeihin ja jo kehitettyyn tietotaitoon eri maiden kansallisissa laboratorioissa.

2 VIRTAUSSUUREIDEN METROLOGIA SUOMESSA

Suuret ja keskisuuret virtaukset

Suomessa on kaksi akkreditoitua laboratoriota, joilla on pätevyys virtausmittarien kalibrointiin. *Oy Indmeas Industrial Measurements Ab* tarjoaa nesteiden, kaasujen, höyryjen sekä paperimassan virtausmittausten kenttäkalibrointeja ja *Inspecta Oy Mittaus* tarjoaa nesteen tilavuus- ja massavirtamittareiden laboratorikalibrointeja. Molemmat ovat erikoistuneet suuriin ja keskisuuriin virtauksiin. Edellisen laboratorion mittaukset perustuvat radioaktiivisten merkkiaineiden nopeusmittauksiin ja jälkimmäinen käyttää punnitukseen perustuvaa laboratoriomenetelmää suurille nestevirtauksille ja vertailumittaria pienemmille virtauksille. Vuoden 2001 aikana laboratoriot ovat antaneet yhteensä 314 kalibrointitodistusta.

Suurten virtausmittareiden kalibrointipalveluja tarvitseva asiakaskunta muodostuu pääasiassa lämpö- ja voimalaitoksista, paperi- ja selluteollisuuden sekä muun prosessiteollisuuden laitoksista ja mittauslaitteiden valmistajista ja maahantuojuista.

Indmeasin kalibrointimenetelmä soveltuu suureen osaan teollisuuden isojen virtausmittausten kenttäkalibrointiin. Akkreditoidut merkkiainemenetelmään perustuvat kenttäkalibroinnit ovat ainutlaatuisia koko maailmassa.

Inspectan käytössä on kaksi eri kapasiteetin mittausjärjestelmää, joista isompi on maksimimittausalueeltaan suuri eurooppalaisten laboratorioden joukossa. Laboratorion toiminnan jatkuminen Helsingin Viikissä on kuitenkin vaakalaudalla. Laboratorion on luvattu jatkavan teollisuutemme tarvitsemien suurten nestevirtausten mittauslaitteiden kalibrointitoimintaa, mikäli esteeksi ei tule ennakoitu maankäyttösuunnitelmien mukainen toimitilojen menetys ja seurauksena Viikin mittausjärjestelmän purkaminen. Jos purku tulee toteutumaan, joudutaan nykyisen mittausalueen osittaiseenkin korvaamiseen hakemaan uusia ratkaisuja.

Tavoitteena on veden ja lämpöenergian virtausmittareiden kalibroinnin ja ensivakauksen hoitaminen kotimaassa ja toimikenttänä olisi siis käyttölaitosten ja kuluttajien mittarien kalibroinnit sekä myös oman teollisuuden valmistamien suurikapasiteettisten virtausmittareiden laadun varmistaminen mittauslaitedirektiivin vaatimilla tavoilla. Tarvittava mittausalue määräytyy mittauslaitedirektiivin ja kansallisten vakaussäädösten pohjalta.

Oman ongelmakenttensä muodostavat teollisuuden suurten virtausten mittarit (esim. satamat ja öljyteollisuus), joita on erittäin vaikea lähettää kalibroitaviksi laboratorioon. Ongelma voitaisiin ratkaista hankkimalla kuorma-autoon sijoitettava kalibrointilaitteisto ('piston prover'), kuten Ruotsissa on tehty. Suppealle virtausalueelle soveltuva järjestelmä vaatisi kuitenkin melkoista investointi- ja käyttöpanostusta.

Pienet kaasuvirtaukset

Pienet kaasuvirtaukset muodostavat sektorin, jolla Suomessa ei ole kansallista eikä akkreditoitua laboratoriota. Kalibrointeja on tarjolla kotimaasta ei-akkreditoituna, mutta metrologinen jäljitettävyys muodostaa ongelman, jota on hoidettu hankkimalla osa kalibroinneista ulkomailta tai luottamalla kalibraattorin valmistajan todistuksiin. Pienten kaasuvirtausten alue on n. 20 ml/min...200 l/min ja tämän alueen kalibrointien tarve on tällä hetkellä suurin. Pienten kaasuvirtausten kalibrointipalvelun asiakaspiirin muodostavat mm. lääketeollisuus ja terveydenhuolto sekä ympäristösuojelun viranomaiset.

3 KANSAINVÄLINEN TOIMINTA

Virtausmittausalueen kansainvälinen toiminta on tapahtunut pääasiassa kansainvälisiin kokouksiin ja konferensseihin sekä vertailumittauksiin osallistumalla. EUROMETin, CIPM/CCM/WGFF:n ja EA:n virtaustyöryhmissä suomalaisena edustajana on ollut viime vuodet Jouko Halttunen. Yhteydet ovat hyvät ja niitä laajentaa mm. IMEKOn virtausmittauskomitea TC9. Puutteena on pidettävä sitä, ettei kansainvälisissä CMC-tietokannoissa ole yhtään suomalaista tiedostoa. Syynä on se, ettei Suomessa ole virtauksen kansallista mittanormaalilaboratoriota tai siihen rinnastettavaa laboratoriota.

Suomalaisten virtauslaboratorioiden osallistuminen kansainvälisiin vertailumittauksiin on ollut viime aikoina melko vähäistä. Siihen on ollut suurena syynä se, ettei sopivia vertailumittauksia ole ollut. Molemmat akkreditoidut laboratoriot osallistuivat viimeksi EA:n järjestämään vesimittarien vertailumittaukseen FL3, joka Suomen osalta toteutettiin syksyllä 1999. Molemmat laboratoriot suoriutuivat vertailussa hyväksyttävästi, joskin molemmilla oli joitakin puutteita.

Gasum on osallistunut EUROMETin kaasuvirtausmittausten ja VTT/Rakennustekniikka ilman virtausnopeusmittausten vertailuihin.

4 YLEISET KEHITYSNÄKYMÄT

Kaasuvirtaukset

Kansallisen tason kalibrointeja varten MIKES kehittää pienten kaasuvirtausten mittausta. Pienten kaasuvirtausten kansalliseksi mittanormaaliksi on tarkoitus kehittää punnitukseen perustuva primäärikalibrointilaitteisto.

Suurten höyrymittausten kenttäkalibrointien kysyntä on kasvanut. Indmeas kehittää kalibrointien suoritustekniikkaa myös vaikeisiin olosuhteisiin soveltuvaksi. Indmeas varautuu myös hiilidioksidin päästökaupan käynnistymiseen kehittämällä edelleen savukaasumittausten akkreditoituja kenttäkalibrointeja.

Keskisuurten kaasuvirtausten laboriokalibrointitoiminnassaan Gasum on muuttanut strategiaansa niin, että se ryhtyy aktiivisesti markkinoimaan kalibrointipalvelujaan, mutta akkreditointi ei kuitenkaan ole lähiajan suunnitelmissa.

Turkulainen Resical tulee mahdollisesti hakemaan akkreditointia pienille ilmavirtauksille kauden aikana.

Suuret nestevirtaukset

Suurten nestevirtausten laboratoriossa tapahtuvan kalibrointitoiminnan jatkuminen on vaakalaudalla. Tämä muodostaa vaaran erityisesti nestevirtausten mittausten perustutkimukselle.

Indmeasin lähiajan tavoitteena on laajentaa toimintaansa niin, että se hakee akkreditointia laimennusmenetelmälle. Menetelmän keskeisenä sovellutusalueena ovat mm. avokanavamittaukset, mutta sen avulla voidaan lisäksi suorittaa putkivirtauksen kenttäkalibrointeja niissä tapauksissa, joissa putken sisähalkaisijaa ei pystytä määrittämään.

Kaasu- ja nestevirtaus keskialueen nopeuksilla

Parasta virtausnopeuden mittauseriaatetta (LDA, LDV), voidaan käyttää sekä kaasuille että nesteille. LDA/V (Laser Doppler Anemometry/Velocimetry) on n. kolmenkymmenen vuoden kuluessa vakiintunut virtausnopeuksien mittauseriaatetta, jolla voidaan määrittää virtausnopeudet eri kohdissa putken tai kanavan poikkipinta-alalla. Kalibroinneissa kaasujen nopeusmittausalueen tarve on n. 0,05...30 m/s ja vedelle kalibrointeja tarvitaan likimain samalla alueella. Kaasujen nopeusmittaus tapahtuu sopivassa tuulitunnelissa ja nesteille on vastaavasti oltava käytössä tarvittava kalusto pumppuineen ja virtauksen säätöjärjestelmineen.

Putkiston vaikutus virtauksessa on yleensä niin suuri, että erityyppiset kokonaisvirtauksen mittarit antavat joskus suurestikin toisistaan poikkeavia tuloksia sijoitettuna saman linjan eri pisteisiin vaikka integroitu kokonaisvirtaama aikayksikössä olisi muuttumaton. LDV:lla pystytään mittaustapahtumassa ottamaan huomioon koko virtausprofiili. Pistemittausten tulokset käsitellään nopeilla laskualgoritmeilla kokonaisvirtauksen selville saamiseksi. LDV:n mittauserpävarmuus on niin pieni, että se soveltuu lähes kaikkien muiden virtausmittareiden kalibrointiin nopeuksien keskialueilla. Näiden seikkojen johdosta LDV on käytössä virtausmittausten mittanormaaliolosuhteissa useimmissa maissa. LDV palvelee erityisesti tutkimus- ja kehitystyötä.

Akkreditoitujen kalibrointien tarve

MNK:n virtausuureiden työryhmä järjesti MIKESin tuella elokuussa 2001 kutsuseminaarin teollisuuden ja käyttölaitoksien virtausmittausten tilanteen ja tarpeen kartoittamiseksi maassamme. Tavoitteena oli virtausmittausten kalibrointipalvelujen kysynnän ja tärkeimpien mittauseruureiden selvittäminen. Seminaarin kutsun yhteydessä oli alustajille jaettu kysymyslista, joihin pyydettiin vastauksia puheenvuoroissa. Lopuksi pyydettiin mielipidettä alan kalibrointien tarpeellisuudesta Suomessa verrattuna siihen, että kalibrointi pitäisi hakea esim. muista pohjoismaista.

Vastauksista laadittiin yhteenveto, jota hyödyntäen työryhmä on laatinut toimenpideehdotukset.

5 TAVOITTEET VUOSILLE 2003 – 2007

Yleisenä tavoitteena on varmistaa, että

- teollisuuden ja elinkeinoelämän tarvitsemat akkreditoidut kalibroinnit olisivat ainakin pääosin saatavissa Suomesta
- voitaisiin täyttää EU:n taholta tulossa olevat vakaustoiminnan vaatimukset
- kansainvälisen yhteistyön edellytyksenä olevan kansallisen mittanormaallaboratorion toiminta saataisiin käynnistetyksi.

Tavoitteisiin pääsemiseksi työryhmä ehdottaa seuraavia toimenpiteitä:

Välittömät toimenpiteet

- Pienten kaasuvirtausten (20 ml/min...200 l/min) kansallisen tason mittanormaalityönnän aloittaminen.

Vuonna 2002 aloitettu MIKESin pienten kaasuvirtausten kalibrointien kehittämisprojekti pyritään saattamaan loppuun v. 2004. Laboratorion uudet tilat sisältävät varaukset pienten kaasuvirtausten kalibroinneille.

Jatkotoimenpiteet

Seuraavia KML-tason kalibrointipalveluja varten tulisi suunnittelukaudella varautua esitutkimuksin ja selvityksin:

- pienet ja keskisuuret (0,005...50 m³/h) nestevirtaukset (vakaustoiminnan tukena)
- LDV-mittaukset alueella 0,05...30 m/s (ei riippuvuutta kalibrointien väliaineesta)
- suuret vesivirtaukset alueella 50...5000 m³/h (akkreditoidun kalibrointipalvelun ylläpito).

MIKESin uudet tilat eivät sisällä varauksia näille kalibroinneille, jolloin ne tulisi toteuttaa muualla. Tavoiteltava suhteellisen epävarmuuden taso kaikilla alueilla on 0,1 %.

Koulutustarve

MNK:n järjestämät koulutustilaisuudet virtausmittauksista ovat saaneet hyvän vastaanoton ja kyselyjen mukaan niillä toivotaan olevan jatkuvuutta vuosittain. Virtaussuureiden työryhmä on päättänyt tehtyjen kyselyjen ja oman asiantuntemuksensa perusteella siihen, että virtausalueella tehdään yhteistyötä eri koulutusorganisaatioiden kanssa ja omaa koulutusta järjestetään tavoitekaudella keskimäärin yksi seminaari/koulutuspäivä vuodessa. Suunnitellut teemat ovat: Pienet kaasuvirtaukset, Virtausmittauspäivä, Mittauslaitedirektiiviin perustuva koulutuspäivä (yhteistyössä muiden työryhmien kanssa), Epävarmuuslaskenta (yhteistyössä muiden työryhmien kanssa), Päästömittaukset (yhteistyössä muiden työryhmien kanssa).

IONISOIVAN SÄTEILYN SUUREET

TIIVISTELMÄ

Säteilyturvakeskuksesta (STUK) annetun asetuksen (618/97) mukaisesti STUK pitää yllä toimialansa kansallisia mittanormaaleja. STUKissa mittanormaaloiminta jakaantuu ionisoivan ja ionisoimattoman säteilyn alueille ja edelleen ionisoivan säteilyn osalta aktiivisuus- ja annossuureisiin.

Ionisoivan säteilyn annossuureiden tarkkoja mittauksia tarvitaan varsinkin lääketieteellisissä sovelluksissa, kuten röntgendiagnostiikassa ja erityisesti sädehoidossa. Kaikista STUKin suorittamista kalibroinneista noin puolet tehdään STUKin omaa mittaustoimintaa varten. STUKin ulkopuolisia kalibrintipalvelun käyttäjiä ovat kotimaiset säteilymittareiden ja röntgenkuvauslaitteiden valmistajat, henkilöannosmittauksia palveluna tarjoava kotimainen yritys, sairaalat ja ydinvoimalaitokset.

STUK osallistuu EUROMETin, IAEA:n ja EA:n organisoimiin mittausvertailuihin. Vuosittain järjestettävään IAEA:n mittausvertailuun (mittausaudit) STUK osallistuu säännöllisesti.

1 JOHDANTO

Säteilyturvakeskuksesta (STUK) annetun asetuksen (618/97) mukaisesti STUK pitää yllä toimialansa kansallisia mittanormaaleja. STUKissa mittanormaaloiminta jakaantuu ionisoivan ja ionisoimattoman säteilyn alueille ja edelleen ionisoivan säteilyn osalta aktiivisuus- ja annossuureisiin. STUKin ionisoimattoman säteilyn metrologiaa on esitelty optisia suureita ja sähkösuureita käsittelevissä kappaleissa.

Ionisoivan säteilyn osalta kansallisia mittanormaaleja ylläpidetään suureille *ilmakerma*, *veteen absorboitunut annos*, *kudokseen absorboitunut annos*, *annosekvivalentti* ja *referenssi-ilmakermanopeus*. Annossuureiden mittanormaalien ylläpitoa ja mittalaitteiden kalibrointia varten STUKilla on käytössään ^{60}Co - ja ^{137}Cs -gamma-säteilylaitteistot (useita aktiivisuuksia ja annosnopeuksia), röntgenlaitteet (160 kV:n ja 320 kV:n röntgenputket), beetasäteilyn mittanormaaloimintalaitteisto (^{147}Pm -, ^{204}Tl - ja $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ -beetalähteet) sekä neutronisäteilyn mittanormaali ($^{241}\text{Am}/\text{Be}$ -neutronilähteet ja ”long counter” laskuri). Annossuureiden mittanormaalit ovat ionisaatiokammioita tai säteilylähteitä, joita ylläpidetään sekundaarimittanormaaleina ja joiden kalibroinnit ovat suoraan jäljitettävissä Kansainvälisen paino- ja mittatoimiston (BIPM) ja muiden primarilaboratorioiden mittanormaaleihin. Annossuureiden mittaustoimintaan liittyen kalibrointeja annetaan myös pintaemissionopeudelle, jota varten käytettävissä on säteilylähteen valmistajan kalibroimat $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ -, ^{36}Cl - ja ^{14}C -beetalähteet sekä ^{241}Am -alfalähde.

Aktiivisuuden mittauksiin liittyen STUK ylläpitää mittanormaaleja suureille *aktiivisuus* ja *aktiivisuuspitoisuus*. Radonin aktiivisuuspitoisuuden mittanormaali on ionisaatiokammio, joka on kalibroitu PTB:n primarilaboratoriossa Saksassa. Muiden aktiivisuussuureiden mittanormaalit ovat säteilylähdevalmistajien kalibroimia kiinteitä säteilylähteitä tai nesteliuoksia.

2 SÄTEILYSUUREIDEN METROLOGIA JA MITTAUSTARVE SUOMESSA

Suomessa ei ole kalibrointipalveluihin erikoistuneita akkreditoituja laboratorioita tai yrityksiä. Säteilytyössä olevien työntekijöiden annosmäärittämisä suorittavan yrityksen henkilöannosmittauspalvelut on akkreditoitu. STUKin keskeisimmät ihmisen ja ympäristön aktiivisuusmäärittämiin liittyvät laboratoriotoinnot ovat akkreditoituja. Laitevalmistajilla, puolustusvoimilla ja ydinvoimalaitoksilla on käytössään omien mittalaitteidensa kalibrointiin tarvittavia säteilylaitteistoja.

Ionisoivan säteilyn annossuureiden tarkkoja mittauksia tarvitaan varsinkin lääketieteellisissä sovelluksissa, kuten röntgendiagnostiikassa ja erityisesti sädehoidossa. Kaikista STUKin suorittamista kalibroinneista noin puolet tehdään STUKin omaa mittaustoimintaa varten. STUKin ulkopuolisia kalibrointipalvelun käyttäjiä ovat kotimaiset säteilymittareiden ja röntgenkuvauslaitteiden valmistajat, henkilöannosmittauksia palveluna tarjoava kotimainen yritys, sairaalat ja ydinvoimalaitokset.

3 KANSAINVÄLINEN TOIMINTA

STUKin kansainväliseen metrologiaan liittyvä toiminta kanavoidaan MIKESin kautta esimerkiksi EUROMETiin. STUKin edustaja toimii EUROMETin ionisoivan säteilyn suureiden työryhmän jäsenenä ja Suomen yhdyshenkilönä. STUK on myös Kansainvälisen Atomienergiajärjestön (IAEA) ja Maailman Terveysjärjestön (WHO) yhdessä ylläpitämän ionisoivan säteilyn SSDL-laboratorio-verkoston (Secondary Standard Dosimetry Laboratories) jäsen. STUKin edustajia on kutsuttu mukaan Kansainvälisen säteily-yksiköiden ja -mittausten toimikunnan raporttikomiteoihin (ICRU, International Commission on Radiation Units and Measurements). Vuonna 2003 STUK kutsuttiin mukaan myös BIPM:n ionisoivan säteilyn komitean (CCRI, Consultative Committee on Ionising Radiation) kokoukseen. Asiantuntemusta pyritään edelleen kehittämään siten, että STUKin edustus näissä organisaatioissa säilyy.

STUK osallistuu EUROMETin, IAEA:n ja EA:n organisoimiin mittausvertailuihin. Vuosittain järjestettävään IAEA:n mittausvertailuun (mittausaudit) STUK osallistuu säännöllisesti.

4 KEHITYSNÄKYMÄT

MRA-sopimuksen toimeenpano on säteilysuureiden kansalliseen metrologiaan ja STUKin mittanormaalityönsuunnittamiseen keskeisesti vaikuttava tekijä lähivuosina. STUKin annossuureisiin liittyvät kalibrointi- ja mittauspalvelut on käsitelty EUROMETin ionisoivan säteilyn työryhmässä, ja tekniseltä osaltaan ne on hyväksytty liitettäväksi Kansainvälisen paino- ja mittatoimiston (BIPM) ylläpitämään CMC-tietokantaan (Calibration and Measurement Capability). Kaikki EUROMETin työryhmässä käsitellyt ionisoivan säteilyn CMC-taulukot ovat hyväksyttävänä alueellisten metrologisten järjestöjen yhteistyöelimessä (Joint Committee of Regional Metrological Organizations, JCRB). Vuoden 2003 aikana STUKin kansallisen mittanormaalityönsuunnittamisen sisältöä arvioidaan suurekohtaisesti tarkemmin ja selvitetään tarpeet ja mahdollisuudet liittää myös aktiivisuuden ja ionisoimattoman säteilyn sähkö- ja magneettikenttien mittanormaalityönsuunnittamiseen MRA-sopimuksen piiriin. STUKin kansallisen mittanormaalityönsuunnittamisen laatujärjestelmän esittely EUROMETin laadunarvioijille aiotaan toteuttaa syksyllä 2003. MRA-sopimuksen mukaisesti avainvertailuihin osallistuminen on

välttämätöntä, ja STUKin tavoitteena on osallistua kaikkiin EUROMETin organisoimiin kalibrointi- ja mittausvertailuihin jotka liittyvät ionisoivan säteilyn mittanormaalityöntehtävyyteen Suomessa.

STUKin mittanormaalityöntehtävyyttä ja säteilyn mittaus- ja kalibrointimenetelmiä kehitetään arvioimalla saavutettavaa hyötyä kokonaisvaltaisesti. Mittaus- ja kalibrointipalveluja kehitettäessä huomioidaan STUKin suorittaman säteilytoiminnan valvonnan ja tutkimustoiminnan tarpeiden lisäksi myös kotimaisten laitevalmistajien, mittauspalveluyritysten ja säteilyn käyttäjien mittaustarpeita.

Ionisoivan säteilyn annossuureiden mittanormaalityöntehtävyyteen liittyen tarkkojen mittausten tarve kasvaa erityisesti lääketieteen sovelluksissa. Röntgendiagnostiikan kuvantamistekniikan digitalisoituessa filmiin perustuva kuvaustekniikka vähenee ja korvautuu ilmaisimat-riiseihin perustuvilla kuvaustekniikoilla. Se tekee mahdolliseksi suurempien säteilyannosten käyttämisen kuvauksissa, jolloin tarkkojen annosmittausten tarve kasvaa. Metrologiselta kannalta joudutaan tarkastelemaan uudentyyppisiä johdannaisuureita, kuten annoksen ja säteilykentän pinta-alan tuloa (ns. DAP-mittarit) sekä annoksen ja pituuden tuloa (ns. DLP-mittarit). Näiden suureiden mittausten luotettavuus Suomessa on varmistettava; hanke jäljitettävien kalibrointipalvelujen luomiseksi on aloitettu STUKissa. Primaarilaboratorioista ainakin PTB tarjoaa kalibrointeja suoraan DAP-suureelle.

Teknisesti vaativalla pienienergisessä röntgensäteilyn (< 50 kV) alueella kalibrointitekniikan luotettavuutta on kehitettävä edelleen. Tälle fotonisäteilyn energia-alueelle osuvat mammo-grafiadiagnostiikka ja Suomessa käytettävä röntgensädehoito. Fotonisäteilyn osalta myös säteilysuojelun annosekvivalenttisuureen teknisesti vaativimmat mittaukset ja mittalaitteiden kehitystyö tapahtuvat tällä alueella. Annosekvivalentin mittauserävarmuuden pienentämiseksi on aloitettu hanke, jossa selvitetään mahdollisuuksia toteuttaa STUKin mittanormaalityöntehtävyyden jäljitettävyyttä suoraan annosekvivalentille jotta suureiden konversiosta voitaisiin luopua.

Vuonna 2002 STUK on ottanut käyttöön IAEA:n suosituksiin perustuvan uuden kalibrointimenetelmän ulkoisen sädehoidon säteilykeilojen mittaauksissa käytettäville annosmittareille. Tässä uudessa menetelmässä perussuure ilmakerma on korvattu veteen absorboituneella annoksella. Yhteistyötä sairaaloiden kanssa jatketaan ja tavoitteena on, että kaikkien sairaaloiden mittalaitteilla on uuden menettelyn mukaiset kalibroinnit syksyyn 2003 mennessä. Pienienergisessä röntgensäteilyn alueella kalibrointimenetelmän kehitystyön ennakoituaan jatkuvan vielä vuonna 2004. Suomessa käytössä olevien sädehoitolaiteiden annosmittauksia varten STUK tekee teknistä ohjetta, jonka odotetaan valmistuvan vuonna 2003.

Radionuklidien lääketieteellisen annostelun luotettavuuden ja kansainvälisen vertailtavuuden parantamiseksi IAEA valmistelee dosimetriaohjeistoa. Radionuklidien metrologiassa yhdistyvät annos- ja aktiivisuussuureiden mittausmenetelmät, ja ne kattavat sekä sädehoidon että diagnostiikan alueet. Lääketieteessä käytettävien radioaktiivisten lähteiden ja mittalaitteiden (kaivokammioiden) kalibrointimenetelmiä ja mittanormaalityöntehtävyyttä joudutaan kehittämään lähivuosina.

Neutronisäteilyn annosekvivalenttisuureiden kalibrointipalvelujen säilyttämistä on arvioitava kriittisesti palvelujen vähäisen kysynnän vuoksi. Vaikka STUKissa on tämän alueen dosimetrian ja säteilyfysiikan tuntemusta, neutronisäteilyn mittanormaalityöntehtävyyden ylläpito edellyttäisi lähitulevaisuudessa merkittäviä laiteinvestointeja ja henkilöresurssien lisäämistä. STUKin

neutronimittauskaluston laadunvarmistusmittauksessa tarvittavat säteilylähteet pystytään ylläpitämään säteilylähteitä uusimalla.

Kalibroitimenetelmien laadullisesta kehityksestä huolimatta kalibroitipalvelujen kokonaisuudessa ei ole odotettavissa suuria muutoksia lähitulevaisuudessa. STUKin oma viranomais- ja tutkimustoiminta säilyy edelleen STUKin kalibrointi- ja mittauspalvelujen suurimpana käyttäjänä.

KEMIAN JA MIKROBIOLOGIAN METROLOGIA

TIIVISTELMÄ

Tämä esitys kemian ja mikrobiologian metrologian kehittämisestä vuosille 2003 – 2007 perustuu metrologian neuvottelukunnan kemian ja mikrobiologian jaoston tekemiin julkaisuihin ja jaoston asiantuntijatyöhön. Selvitys kattaa kemian ja mikrobiologian metrologisen tilanteen tällä hetkellä ja siinä esitetään kehityssuunnitelma lähitulevaisuudelle.

Kemia ja mikrobiologia ovat verraten uusia tieteenaloja, joissa metrologista mittausjärjestelmää sovelletaan alan mittauksille. Kemian alalla on jo alueita, joilla metrologinen rakenne noudattaa fyysikaalisen metrologian rakennetta. Mikrobiologian osalta metrologinen järjestelmä hakee toistaiseksi muotoaan.

Keskeisinä painopisteinä ovat kaasujen metrologian kehittäminen, kliinisen kemian ja mikrobiologian metrologisen järjestelmän määrittäminen sekä kokonaisepävarmuuden laskentamenetelmien soveltaminen kemian ja mikrobiologian aloille.

Keskeisinä kehitysnäkyminä jaosto katsoo painopistealojen kehittymisen, mittanormaalilaboratoritoiminnan laajentumisen kemian ja mikrobiologian alalle, koulutuksen lisääntymisen eri asteisiin oppilaitoksiin ja vertailumittausten järjestämisen kansainvälisellä tasolla. Kansainväliseen kehitystyöhön osallistutaan painopistealoilla sekä myös niillä alueilla, joilla osaaminen on hyvää eurooppalaista tasoa.

1 JOHDANTO

Kemialliset mittaukset ovat metrologian osa-alue, johon panostetaan maailmalla voimakkaasti. Jäljitettävyyys SI-yksiköihin, kansainvälisesti hyväksytyyn menetelmään tai vertailuaineeseen ja mittausepävarmuuden tunteminen ovat perusasioita, jotka myös kemian alalla on tunnistettu ja joihin tähdätään. Kemian metrologia on muotoutumassa erityisesti kaasujen osalta fyysikaalisen metrologian rakenteen mukaiseksi. Muita kemian aloja ovat orgaaninen ja epäorgaaninen kemia, sähkökemia (pH ja johtokyky), elintarvikekemia sekä kliininen kemia. Mikrobiologian alue on laaja ja mikrobiologiset määritykset ovat voimakkaassa kasvussa. Mikrobiologian yhteys metrologiaan onkin kartoituksen alla.

Kansainvälinen paino- ja mittakomitea, Comité International des Poids et Mesures (CIPM) perusti vuonna 1993 ainemäärää käsittelevän konsultatiivisen komitean, (Comité Consultatif pour la Quantité de Matière, CCQM), jonka päätehtävänä on SI-yksikön, *mooli*, toteuttaminen kemian metrologian alalla. CCQM:n tehtäviä ovat alan metrologisen tutkimuksen koordinointi, primaarimenetelmien ja primaarivertailuaineiden määrittely sekä korkeimman tason kansainvälisten vertailumittausten järjestäminen.

Kemiallisten mittausten perussuureen, ainemäärä, yksikkö mooli voidaan realisoida eräiden CCQM:n määrittämien primaarimenetelmien avulla. Primaarimenetelmiksi CCQM on tois-

taiseksi nimennyt seuraavat menetelmät: isotooppilaimennusmassaspektrometria (IDMS), kulometria, gravimetria, titrimetria ja jäätymispisteen alenema. Primaarivertailuaineiksi kutsutaan vertailuaineita, joiden ominaisuudet on määritetty primaarimenetelmien avulla korkeimmalle mahdolliselle metrologiselle tasolle. Moolin lisäksi on määritelty katalyyttisen aktiivisuuden yksikkö katal (mol/s).

Mikrobiologiassa tutkitaan eläviä organismeja, kuten bakteereja, viruksia, alkueläimiä ja sieniä. Mikrobiologian alalla primaarimenetelmiä tai niihin verrattavia ei ole määritelty. Mittausten epävarmuutta pyritään hallitsemaan standardisoimalla mittausmenetelmiä ja osallistumalla vertailunäytetutkimuksiin sekä käyttämällä laboratorioissa tyyppikantoja ja muita vertailukantoja vertailupohjina. Vertailua kantakokoelmiin vaikeuttavat esim. lainsäädännölliset määräykset mikrobien lähettämisessä maasta toiseen.

Kemiallisilla ja mikrobiologisilla mittauksilla ja määrittäyksillä on erittäin suuri merkitys yhteiskunnassamme. Mittausten avulla tutkitaan ja seurataan ympäristön tilaa, lähes kaikkien kaupallisten tuotteiden laatua ja puhtautta, elintarvikkeiden hygieniaa, ihmisen terveyttä ja sairauksia, urheilun puhtautta ja kemiallisten ja biologisten aineiden sopimuksien noudattamista. Esimerkiksi teollisuudessa prosessivalvonta, raaka-aineiden määrittäminen, polttoaineiden tms. laatuluokitus perustuvat kemiallisiin mittauksiin. Ihmisen terveyteen liittyvien tekijöiden kuten sairauksien toteamiseksi tarvittavat tutkimukset tai erilaisten vieraiden aineiden (esim. tautimikrobit, urheilijoiden doping-testaukset) osoittamiseksi tehdyt määrittäykset koskettavat jossakin vaiheessa useimpia ihmisiä. Näiden tulosten luotettavuus on olennaista sekä ihmisten että eläinten sairauksien hoidon ohjaamisessa ja mahdollisimman tehokkaassa suuntaamisessa.

Uudet immunokemian, infektioserologian sekä geeniteknikan menetelmät ovat osa kemian ja mikrobiologian metrologiaa. Näistä esimerkkeinä ovat IgG:n aviditeetti- ja epitooppi-tyyppispesifiset määrittäykset, kvalitatiiviset ja kvantitatiiviset geeni- ja signaalimonistusmenetelmät, nukleinihappohybridisaatiotekniikat, restriktioentsyymianalyysit sekä emäsjärjestyksen määrittäminen. Em. tekniikoita käytetään mm. prionitautien (esim. ns. hullunlehmän tauti BSE), HIV- ja hepatiitti-infektioiden, geneettisesti muunneltujen organismien (GMO) sekä ympäristön supertoksiinien tutkimuksessa.

Metrologian neuvottelukunnan kemian ja mikrobiologian jaosto ja sen työryhmät ovat tehneet kemian ja mikrobiologian metrologian tarve- ja tilannekartoituksia. Selvityksinä ovat syntyneet seuraavat julkaisut:

- Metrologian neuvottelukunnan kemian jaoston strategia (MIKESin julkaisu J11/1997),
- Ainemäärän kansallisen mittanormaalijärjestelmän toteuttamista ja organisaatiota koskeva selvitys (MIKESin julkaisu J4/1999),
- Mikrobiologian metrologian tilanneselvitys ja kehittämissuunnitelma (MIKESin julkaisu J5/1999) ja
- Mikrobiologian kvantitatiivisten viljelymäärittäysten mittaasepävarmuus (Seppo I. Niemelä, MIKESin julkaisu J1/2001), joka on ilmestynyt myös englanninkielisenä versiona Uncertainty of quantitative determinations derived by cultivation of microorganisms (Seppo I. Niemelä, MIKESin julkaisu J3/2002).

Tässä raportissa esitetyt tiedot sekä kemian ja mikrobiologian metrologian kehittämistä koskevat toimenpiteet pohjautuvat edellä mainittuihin julkaisuihin sekä kemian ja mikrobiologian jaoston asiantuntijatyöryhmän työhön.

Kemian ja mikrobiologian jaosto toimii yhteistyössä Mittatekniikan keskuksen ja kansallisten vertailulaboratorioiden kanssa Suomen kemian metrologian kehittämisen ja järjestelmän ylläpitämisen keskeisenä työryhmänä. Jaosto antaa lausuntoja ja ohjeita sekä osallistuu koulutuksen ja opetuksen kehittämiseen. Kemian ja mikrobiologian mittausten laatu, jäljitettävyyden ja mittaasepävarmuus ovat jaoston seuraamista kohteista tärkeimmät.

2 KEMIAN JA MIKROBIOLOGIAN METROLOGIA SUOMESSA

2.1 Kansalliset mittanormaallilaboratoriot ja sopimuslaboratoriot

Kansallisen mittauspalvelutoiminnan tarkoituksena on turvata luotettavien ja riittävän tarkkojen mittausten ja kalibrointipalvelujen tarjonta niitä tarvitseville. Kansallinen mittauspalvelu muodostuu kansallisesta mittanormaali-järjestelmästä sekä akkreditoituista kalibrointilaboratorioista. Kansallisten mittanormaallilaboratorioiden tehtävinä ovat mittayksikön toteuttaminen, mittanormaalien ylläpito ja jäljitettävyyden siirto, kalibrointitoiminta. Mittatekniikan keskus voi tehdä yhteistyösopimuksia metrologisesti korkeatasoisten akkreditoidujen kalibrointilaboratorioiden kanssa niiden toimimisesta tiettyjen suureiden vastuullisina kalibrointilaboratorioina eli sopimuslaboratorioina.

Kemian ja mikrobiologian alalla ainemäärän mittayksikölle, moolille, ei ole nimetty kansallista mittanormaallilaboratoriota. Mittatekniikan keskus ja Ilmatieteen laitos tekivät 20.12.2001 sopimuksen Ilmatieteen laitoksen toimimisesta tiettyjen kaasuseosten kansainvälisesti jäljitettävien vertailuaineiden ja niihin perustuvien kalibrointien sopimuslaboratoriona. Sopimuksella Ilmatieteen laitos liittyi myös globaaliin kalibrointi- ja mittaustodistusten vastavuoroiseen tunnustamissopimukseen (CIPM/MRA). MRA-sopimuksen on Suomen puolelta allekirjoittanut Mittatekniikan keskus.

Jäljitettävyydestä vastaavat kansalliset mittanormaali- ja sopimuslaboratoriot ovat velvoitettuja osallistumaan korkeatasoisiin, jäljitettäviin, kansainvälisiin vertailumittauksiin (BIPM:n avainvertailut, EUROMET, IRMM). Osallistuminen on ensiarvoisen tärkeä MRA-sopimuksen kannalta, koska poisjäänti tai huono tulos avainvertailussa voi merkitä oikeutettua epäilyä ko. kalibrointipalvelujen laadusta ja johtaa laboratorion kalibrointi- ja mittaustietojen kuvaavien tietojen poistamiseen BIPM:n MRA-tietokannasta. Tällä voi taas olla suoria kaupapoliittisia vaikutuksia. Laboratoriot voivat myös järjestää kansallisia vertailumittauksia tai bilateraalaisia vertailumittauksia esimerkiksi oman sektorinsa vertailulaboratorion kanssa.

2.2 Vertailulaboratoriot

Kemiallisen ja mikrobiologisen laboratoriotoiminnan erityispiirre on eri sektoreille nimetyt tutkimus-, vertailu-, tuki- ja muut vastuulaboratoriot (vertailulaboratoriot). Näiden tehtävät ja vastuut annetaan kansallisessa lainsäädännössä tai laitosten omissa työjärjestyksissä. Nämä laboratoriot edustavat alansa huippuosaamista Suomessa. Ainakin seuraavat laitokset toimivat vertailulaboratoriona:

MMM:n päätöksellä 340/1998:

- EELA toimii kansallisena vertailulaboratoriona eläimistä saatavien elintarvikkeiden tutkimuksissa,
- Tullilaboratorio toimii vertailulaboratoriona merellisiä biotoksiineja koskevissa tutkimuksissa,
- STUK toimii vertailulaboratoriona eläimistä saatavien elintarvikkeiden radioaktiivisten aineiden tutkimuksissa.

Ympäristönsuojelulain (86/2000) nojalla ja YM:n määräyksellä:

- SYKE toimii ympäristöalan kansallisena vertailulaboratoriona vesien ja kiinteiden ympäristönäytteiden kemiallisessa ja ekotoksikologisessa testaus- ja näytteenotto-toiminnassa 1.5.2001 lähtien,
- Ilmatieteen laitos toimii ilmanlaadun kansallisena vertailulaboratoriona 1.10.2001 lähtien.

Kansanterveyslaitos ja Työterveyslaitos toimivat sosiaali- ja terveysministeriön asiantuntijalaitoksina ihmisen terveyteen liittyvissä kysymyksissä. Kliiniseltä puolelta puuttuu virallinen vertailulaboratoriojärjestelmä.

2.3 Kemian ja mikrobiologian alan akkreditoitujen laboratoriot

Kemian alalla toimii kaksi akkreditoitua kalibrointilaboratoriota: Ilmatieteen laitos (tietysti kaasuseokset) ja VTT Tuotteet ja tuotanto (tarkkuusalkometrit). Akkreditoituja testauslaboratorioita on toimialalla elintarvikkeet ja/tai eläinperäiset näytteet ja/tai rehut 62, forensisen testauksen alalla 4, kliinisen analytiikan alalla 22, vesi- ja ympäristöanalytiikan alalla 83, lisäksi on muilla toimialoilla olevia kemian ja mikrobiologian alan testauslaboratorioita. Suomessa näillä alueilla tehtyjen kemiallisten ja mikrobiologisten mittausten määrä on useita kymmeniä miljoonia kpl/v.

Akkreditoituissa laboratorioissa ja laboratorioissa, joiden laatujärjestelmä noudattaa SFS-EN ISO/IEC 17025 standardin yleisiä vaatimuksia testaus- ja kalibrointilaboratorioiden pätevyydelle, edellytetään käytetyiltä vertailuaineilta ja muilta mittanormaaleilta jäljitettävyyttä ja mittausepävarmuuden määrittämistä koko jäljitettävyydetjun osalta.

Kemian ja mikrobiologian alalla toimii lisäksi paljon laboratorioita, jotka eivät ole akkreditoituja (ei-akkreditoitujen laboratoriot).

2.4 Muita kemian ja mikrobiologian alan laboratorioita

Kemian ja mikrobiologian alalla on olemassa erilaisia laboratoriojärjestelmiä, joissa mukana olevilla laboratorioilla on jonkinlainen esim. lakiin tai asetukseen perustuva hyväksyty, virallinen tai valtuutettu asema. Tällaisia ovat esim. tartuntatautilakiin ja asetukseen perustuvat kliinisen mikrobiologian toimiluvanvaraiset laboratoriot (lääninhallituksen toimilupa, noin 500 laboratoriota), elintarvikelain mukaiset viralliset tutkimuslaitokset (Elintarvikeviraston päätös), ympäristöministeriön alaiset laboratoriot, erilaiset kunnalliset laboratoriot ja vastaavat. Nämä laboratoriot voivat olla joko akkreditoituja tai akkreditoimattomia, mutta yleensä niiden toiminnan tulee täyttää tietyt vaatimukset esim. laadunvalvonnan osalta. Nämä laboratoriot tulisi saada metrologiseen järjestelmään mukaan.

2.5 Lainsäädäntö

Kansallinen lainsäädäntö edellyttää monia kemiallisia ja mikrobiologisia mittauksia ja analyysyjä monilla aloilla. Myös EU:n direktiiveissä määrätään valvonta- ja seurantamittauksia. Näitä direktiivejä ovat mm.

- vesipolitiikan puitedirektiivi,
- juomavesi-, talousvesi-, jätevesi- ja uimavesidirektiivit,
- ilmansuojeludirektiivi,
- päästödirektiivi,
- elintarvikedirektiivit,
- kemikaalidirektiivit,
- työsuojeludirektiivi,
- direktiivi puhdistamolietteen käytöstä maanviljelyksessä,
- eläintautidirektiivi, eläinlääkintädirektiivi, rehudirektiivi,
- teollisuuden lupaehtoihin vaikuttavat direktiivit,
- jäämävalvontaan liittyvät direktiivit ja
- In Vitro Diagnostic (IVD) -direktiivi.

Direktiivejä on valmisteilla lisää.

Kaikki EU:n uudet direktiivit (asetukset) sisältävät metrologisia vaatimuksia virallisesti tehtävien mittausten jäljitettävyyden ja mittausepävarmuuden suhteen.

2.6 Primaarimenetelmät ja valmiudet Suomessa

Suomessa on kemian alalla tehdyn selvityksen perusteella käytössä CCQM:n määrittelemiä primaarimenetelmiä, mutta niitä ei normaalisti käytetä primaaristen vertailuaineiden määrittämiseen CCQM:n määritelmän mukaisesti. Suurin syy tähän on se, että menetelmiä käytetään laboratorioden rutiinimittauksissa kalibroimalla ne laboratorioden parhaaksi katsomilla vertailuaineilla tai muilla jäljitettävyydslinkkeillä. Lisäksi mittausten kokonaisepävarmuutta ei ole useinkaan kattavasti laskettu.

Kemian jaoston tekemän selvityksen (J4/1999) perusteella primaarimenetelmistä IDMS-valmius on seuraavilla laitoksilla:

- | | |
|---|-----------------------------------|
| – Geologian tutkimuskeskus | epäorgaaninen kemia |
| – Suomen ympäristökeskus | epäorgaaninen kemia |
| – Valtion teknillinen tutkimuskeskus | epäorgaaninen ja orgaaninen kemia |
| – Kansanterveyslaitos | orgaaninen kemia |
| – Oy Keskuslaboratorio - Centrallaboratorium Ab | orgaaninen kemia |
| – Työterveyslaitos | orgaaninen kemia. |

Muiden primaarimenetelmien osaaminen on vahvaa teollisuudessa ja tutkimuslaitoksissa, mutta menetelmiä käytetään normaalisti rutiinimittauksissa eikä metrologiseen määrittämiseen CCQM:n tarkoittamassa mielessä.

2.7 Jäljitettävyys

Jäljitettävyys tarkoittaa mittaustuloksen tai mittanormalin yhteyttä ilmoitettuihin referensseihin, yleensä kansallisiin tai kansainvälisiin mittanormaaleihin, sellaisen aukottoman vertailuketjun (jäljitettävyysketjun) välityksellä, jossa on ilmoitettu kaikkien vertailujen epävarmuudet (SFS 3700, 1998).

Kemiallisten mittausten osalta jäljitettävyys ainemäärää ilmoittavaan yksikköön, mooliin, tai muihin SI-yksiköihin ei ole niin suoraviivaista kuin monissa fysikaalisen metrologian alan mittauksissa. Jäljitettävyys kemiassa johtaa yleensä sertifioituihin vertailuaineisiin ja vain harvoin kansainvälisesti hyväksytyihin primaarimenetelmiin, jotka ovat jäljitettävissä edelleen SI-yksiköihin.

Keskeinen kysymys onkin löytää kemiallisille mittauksille jäljitettävyys hyväksytyyn referenssiin tai referensseihin. Huomionarvoinen seikka on se, että jäljitettävän ja riittävän laadukkaan vertailuaineen löytymisen lisäksi jäljitettävyys täytyy hakea usein myös muille mittauksille tai suureille kuten vaa'an punnuksille, kosteus-, lämpötila- ja painemittauksille, virtaus- ja tilavuusmittauksille sekä ajan mittaukselle. Vertailuaineen suhteen lisävaatimuksina ovat lisäksi oikean matriisin ja pitoisuustason löytyminen niin, että mittausepävarmuus on annettu riittävällä dokumentaatiolla ja kattavuudella.

Kemian metrologian kehittämiseksi tarvitaan mittausten luotettavuuden ja jäljitettävyyden parantamista. Kemian osalta ongelma kohdistuu mittaustekniikkaan sekä jäljitettävien vertailuaineiden saatavuuteen ja niiden laatuun. Ongelmana on, että moniin analyysihin ei ole saatavissa sertifioitua, eikä muutakaan vertailuainetta, jolloin jäljitettävyyttä ei näiltä osin ole. Mikrobiologian alalla luotettavuutta parannetaan standardisoimalla ja validoimalla käytettäviä määritysmenetelmiä. Jäljitettävyyttä mikrobiologiassa edistetään lisäämällä tyyppikantojen, muiden vertailukantojen ja vertailunäytteiden sekä tunnistuksen varmistuksen saatavuutta.

Ainemäärän konsultatiivinen komitea CCQM tavoittelee mittaustulosten vertailtavuutta suoraan jäljitettävyyden avulla. Jäljitettävyys edellyttää primaarimenetelmien tai –vertailuaineiden käyttöä vähintäänkin jäljitettävyysketjun ensimmäisessä osassa ja mittausepävarmuuden tuntemista (laskemista/arviointia) jokaisen vertailuketjun siirron (kalibroinnin

/vertailumittauksen) osalta. Tällöin mittaustuloksille saavutetaan vertailtavuus ja mittaustuloksen kokonaisepävarmuus riippuu jäljitettävyyshetken pituudesta ja kunkin vertailussa käytetyn menetelmän hyvydestä. Kalibrointi on tärkein toimenpide mittaustulosten jäljitettävyyttä osoittaessa ja kalibrointitodistus on dokumentti, jolla mittausten suorittaja voi sen osoittaa. Kalibrointitodistus osoittaa myös mittauslaitteen kokonaisvirheen. On kuitenkin huomattava, että vertailumittaukset ovat keskeinen tapa osoittaa laboratorioden laatu-järjestelmän toimivuus avoimesti.

Vertailuaineista on olemassa kansainvälisiä tietokantoja, joista käytetyin on COMAR (www.comar.bam.de). Lisäksi vertailuaineista on saatavissa tietoja valmistajien verkkosivuilta, kuten IAEA, BCR, NIST, LGC Promochem ja BAM. Suomessa jonkin verran vertailuaineita valmistaa kaupallisesti Maatalouden tutkimuskeskus. Laboratoriot toimivat itsenäisesti vertailuaineiden hankinnassa. Vertailulaboratoriot toimivat sektorikohtaisesti asiakaslaboratorioille asiantuntemuksen ja tiedon välittäjinä.

2.8 Mittausepävarmuus

Mittauksiin liittyy aina epävarmuutta. Mittausepävarmuus on määritelmänsä mukaan (SFS 3700, 1998) mittaustulokseen liittyvä parametri, joka kuvaa mittaussuureen arvojen oletettua vaihtelua. Mittausepävarmuus koostuu kaikista yksittäiseen mittaukseen vaikuttavista systemaattisista ja satunnaisista virheistä, joilla on oleellista vaikutusta mittaustulokseen. Kalibroinnilla pyritään osa systemaattisista virheistä poistamaan tai pienentämään hyväksyttävälle tasolle. Tähän vaikuttavat esimerkiksi kalibrointilaitteiston tai vertailuaineen laatu. Lisäksi mittausepävarmuuteen vaikuttavat seuraavat tekijät kuten mittauslaitteen stabiilius, mittausten toistettavuus ja uusittavuus sekä mittauslaitteen lineaarisuus.

Mittauksiin liittyvät epävarmuudet pyritään kartoittamaan mahdollisimman tarkkaan huomioiden epävarmuusbudjettiin myös jäljitettävyyden tuoma epävarmuus. Normaalisti jäljitettävyydestä aiheutuva epävarmuus on ilmoitettu kalibrointitodistuksessa tai vertailuaineen sertifikaatissa. Määritelmänsä mukaan primaarimenetelmän epävarmuus on voitava laskea joko kokonaisuudessaan tai merkittävältä osin analyttisesti. Muilta osin mittausten epävarmuus on voitava laskea yhdistämällä toisistaan riippumattomat epävarmuustekijät (esim. eri tekijöihin liittyvät standardipoikkeamat) sellaisinaan tai arvioimalla toisistaan riippuvien tekijöiden yhteisvaikutus. Epävarmuuden laskemiseen on olemassa oppaita, esim. ISON opas (Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM), 1995) sekä EURACHEM/CITACin Guide (Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement, 2nd edition, 2000). MIKESin julkaisu J1/2001 pyrkii samaan mikrobiologian alalla. Tunnistuksen epävarmuuden tarkasteluun liittyvä opas puuttuu. Kemian ja mikrobiologian jaosto seuraa ja edesauttaa koulutuksen avulla mittausepävarmuuskäsitteen siirtymistä mittaajien käyttöön. Mittausepävarmuuskeskustelua voidaan seurata esim. Internetin avulla. Tärkeä keskusteluosoite on EMPAN sivuille perustettu osoite, johon voi lähettää kysymyksiä tai vastata esitettyihin kysymyksiin (<http://measurementuncertainty.org/mu/forum/index.html>).

2.9 Kemiallisten ja mikrobiologisten mittausten varmentaminen

Luotettavien kemiallisten mittausten suorittamiseen liittyvät riittävän laadukkaiden mittauslaitteiden ja vertailuaineiden käyttö sekä mittausepävarmuuden hallinta jäljitettävyyshetken koko osalle. Jäljitettävyyshetken on oltava katkeamaton ja katettava kaikki oleelliset jäl-

jitettävyyttä vaativat suureet. Tällainen järjestelmäkään ei välttämättä takaa mittausten oikeellisuutta, vaan edellyttää laboratorion osallistumista vertailumittauksiin. Korkeatasoisilla vertailumittauksilla voidaan havaita mittausjärjestelmässä mahdollisesti tapahtuneet liukummat tai puutteet ja saavuttaa mittaustulosten vertailtavuus muiden vastaavia mittauksia tekevien tahojen kesken.

Vertailumittauksiin osallistuminen on yleensä vapaaehtoista, mutta on laboratorion oma intressi osallistua niihin ja osoittaa mittauskäyvyn tasokkuus. Toisaalta laatujärjestelmä voi jo edellyttää tietyn tasoisiin vertailumittauksiin osallistumista. Standardin SFS-EN ISO/IEC 17025 mukainen laatujärjestelmä edellyttää vertailumittauksiin osallistumista. Myös kliinissä mikrobiologiassa (toimiluvanvaraiset laboratoriot) on vertailumittauksiin (eli ulkoisen laadunarvioinnin kierrokseen) osallistuminen pakollista. Kaikkiin määrityksiin ei vertailumittauksia ole kuitenkaan toistaiseksi ollut saatavissa.

3 KANSAINVÄLINEN TOIMINTA

Kemian ja mikrobiologian mittausten kansainvälinen järjestelmä noudattelee samoja periaatteita ja rakenteita kuin muukin metrologia. Suoraan kansainvälisen metrisopimuksen perusteella perustetun BIPM:n alaisuudessa on v. 1993 perustettu neuvoa-antava komitea CCQM, jolla on sekä primaarimenetelmiä koskevia tutkimushankkeita että kansainväliseen ekvivalenssiin perustuvia vertailumittauksia. CCQM:n toiminta jakaantuu kolmeen osaan: keskinäinen vastavuoroisuus sopimus (MRA), alueellisten metrologiaorganisaatioiden yhteistyö (JCRB) ja avainvertailujen tietopankki (KCDB). Suomi ei osallistu CCQM:n toimintaan tällä hetkellä. CCQM:n verkkosivut löytyvät suoraan BIPM:n alta osoitteesta <http://www.bipm.fr/>.

Metrologisessa hierarkiassa alueellisena järjestönä metrologialaitosten välillä Euroopassa toimii EUROMET, jonka alaisuudessa on työryhmä kemian metrologia (MetChem), joka on perustettu yhteistyössä EURACHEMin kanssa yhtäläisin oikeuksin. Mittatekniikan keskus ja EURACHEM-Suomi nimeävät Suomen edustajat työryhmään. MetChem-ryhmällä on samalla tavalla tutkimushankkeita ja vertailumittauksia kuin CCQM:lläkin ja osa niistä toimii alueellisina linkkeinä vastaaviin CCQM:n kansainvälisiin vertailuihin. MetChemillä on neljä ryhmää: kaasut, epäorgaaninen, orgaaninen ja sähkökemiat, joilla kullakin on omia aktiviteettejään. Tällä hetkellä Ilmatieteen laitoksen mittauskäyky kaasumaisten yhdisteiden osalta (CMC-tiedot) on ilmoitettu BIPM:n KCDB-tietopankkiin. MetChem-ryhmän projektituettelot, pöytäkirjat ja sopimukset löytyvät osoitteesta: http://www.npl.co.uk/npl/environment/euromet_aos.html. Tyypillisiä esimerkkejä EUROMETin projekteista ovat ns. IMEP-vertailut (tyypillisesti esim. metallit vedessä, ks. <http://www.irmm.jrc.be/imep/>), kaasuvertailut, pH-, johtokyky- ja alkometrien vertailut. Suomi ja suomalaiset laboratoriot ovat osallistuneet joihinkin näistä vertailuista.

Pitkästi ILAC:n (International Laboratory Accreditation Cooperation) aktiivijäsenien toimesta on perustettu v. 1993 järjestö CITAC (Co-Operation on International Traceability in Analytical Chemistry), jonka verkkosivut löytyvät osoitteesta <http://www.citac.cc/>. CITAC on toiminut kokoajan tiiviissä yhteistyössä EURACHEMin kanssa ja ne ovat julkaisseet yhdessä useita yhteisiä julkaisuja kuten esim. laadunvarmistus- ja mittausepävarmuusohjeet. CITAC on myös julkaissut jäljitettävyysohjeen.

EURACHEM-kattojärjestö on perustettu 1989 ja sen jäseninä ovat kaikki EU- ja EFTA-maat ja liittäjäjäseninä Kypros, Liettua, Malta, Puola, Slovakia, Slovenia, Tsekki, Turkki, Unkari, Venäjä ja liittäjäjärjestöinä AOAC International, CITAC, ISO/REMCO, EA, EUROM II, EUROLAB, EUROMET ja FECS.

EURACHEM on julkaissut toimintansa aikana ohjeita kemian laboratorioille, joista mainittakoon Accreditation for Chemical Laboratories (WELAC/EURACHEM 1993), Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement (1995, 2000), Accreditation for Microbiology Laboratories (EAL/EURACHEM 1996), Quality Assurance for Research and Development and Non-routine Analysis (EURACHEM/ CITAC 1998), The Fitness for Purpose of Analytical Methods – A Laboratory Guide to Method Validation and Related Topics (EURACHEM 1998) ja Selection, Use and Interpretation of Proficiency Testing (PT) Schemes by Laboratories (EURACHEM 1999). EURACHEM-kattojärjestö järjestää myös seminaareja, joista viimeaikaiset ovat käsitelleet kemiallisten mittausten jäljitettävyyttä ja mittausepävarmuutta. Lähes kaikki EURACHEMin ohjeet ovat EURACHEMin verkkosivuilla vapaasti kopioitavissa osoitteessa <http://www.eurachem.org/>. Suomen Kemian Seuran jaostona toimiva EURACHEM-Suomi -jaosto on perustettu v. 1992 edistämään suomalaisten kemistien ja yritysten mahdollisuuksia saada tietoa kemian alan eurooppalaisista yhteishankkeista sekä parantamaan mahdollisuuksia vaikuttaa ja osallistua niihin. EURACHEM-Suomi -jaosto pyrkii myös toimimaan kansallisesti uranuurtajana esittelemällä uusia laadunvarmistukseen ja laatuajatteluun liittyviä toimintatapoja ja käsitteitä. Jaoston verkkosivut ovat osoitteessa <http://www.vtt.fi/pro/eurachsf/> ja sieltä löytyy vastaavaa aineistoa Suomen kielellä.

Mikrobiologian alalla eri standardointijärjestöt (CEN, ISO) ja kansainväliset menetelmäkoelmajärjestöt (IDF, NMKL) tekevät myös metrologista työtä. Ne järjestävät menetelmävertailuja ja julkaisevat menetelmien validointiin ja mittausepävarmuuteen liittyviä ohjeita. Suomesta osallistutaan usean työryhmän työhön.

Suomalaisia laboratorioita osallistuu eurooppalaiseen laaduntarkkailuverkostotoimintaan. Laaduntarkkailukierroksia tuottavia organisaatioita ovat mm. QCMD (Quality Control for Molecular Diagnostics, www.qcmd.org) ja CLB (www.vqc.nl).

4 YLEISET KEHITYSNÄKYMÄT

Tärkeitä alueita kemian ja mikrobiologian metrologian kehittämisessä ja jäljitettävyyden luomisessa Suomeen ovat ihmisen terveys ja hyvinvointi sekä ympäristö. Kansainvälisestikin jäljitettävyyden osalta merkittäviä alueita ovat esim. alkometrit, autojen pakokaasut sekä kaasut ja päästöt yleensä. Kaupallisesti muita merkittäviä kemiallisperäisiä mittauksia ovat esim. metallien valmistuksen raaka-aineiden metalli- ja epäpuhtausanalyysit, juomien alkoholipitoisuus, elintarvikkeiden koostumusanalyysit ja kliiniset mittaukset. Näiden analyysien kaupallinen merkitys on erittäin huomattava.

Jäljitettäviä kalibrointeja tarvitsevat Suomessa mm. teollisuus ja valvovat viranomaiset päätöksenteossa ja lupaehdoissa sekä niiden tarkistusmittauksissa, päästö- ja ulkoilmamittauksissa. Myös kliininen puoli tarvitsee jäljitettäviä mittauksia ja analyysijä, koska ”väärät” tulokset voivat johtaa kansantaloudellisesti ja kansanterveydellisesti merkittäviin seurauksiin.

Liitteeseen 1 on koottu esimerkinluonteisesti joidenkin metrologian neuvottelukunnan kemian ja mikrobiologian jaoston ja sen työryhmien jäsenten edustamien teollisuuden alojen ja tutkimuslaitosten näkemyksiä jäljitettävien kalibrointien tarpeista.

5 TAVOITTEET VUOSILLE 2003 - 2007

Kemian ja mikrobiologian metrologian kehittämisessä ja jäljitettävyyden luomisessa tärkeitä alueita ovat ihmisen terveys ja hyvinvointi sekä turvallinen ympäristö. Tähän alueeseen luetaan kliininen kemia ja mikrobiologia, elintarvikkeet, kielletyt ja vierasaineet eri matriiseissa, ympäristön alueella mm. päästöt ja lupakysymykset, metallimääritykset eri matriiseissa ja kaasuanalyysit.

Kemian ja mikrobiologian jaosto on toimikaudella 2001–2003 nostanut painopistealueeksi kliinisen kemian ja selvittää sen alueen mittausten jäljitettävyyden tarpeen ja edellytykset sopimuslaboratorion aikaansaamiseksi. Samalla kuitenkin seurataan koko kemian alan kenttää.

Kliininen kemia tutkii ihmisten ja eläinten sairauksiin liittyviä kemiallisia ja biokemiallisia muutoksia ja niiden hyödyntämistä diagnostiikassa ja hoidon seurannassa. Kliinisen kemian piiriin kuuluu runsaasti eri erikoisalojen laboratoriotutkimuksia kuten esim. veri- ja eritetutkimukset (hormonimääritykset, peruskemian tutkimukset, proteiinikemialliset tutkimukset, toksikologiset tutkimukset, lääkeaineiden tutkimukset jne.). Näissä tutkimuksissa vain murto-osassa on jäljitettävyys primaarimenetelmään ja/tai SI-yksiköihin. Varmennettujen vertailuaineiden saatavuudessa on myös puutteita.

5.1 Moolin kansallisen mittanormaanin lisääminen kansallisesti ylläpidettäviin mittanormaaleihin

Mittatekniikan keskus on tehnyt esityksen kauppaja- ja teollisuusministeriölle moolin lisäämiseksi niiden perusyksiköiden luetteloon, joille ylläpidetään kansallista mittanormaalia. Tämä mittayksikköluettelo on kauppaja- ja teollisuusministeriön päätöksessä numero 478 vuodelta 1995.

Tavoite: Kemian ja mikrobiologian metrologian selkeyttämiseksi moolin sisällyttäminen laissa (1156/1993) edellytettyyn luetteloon tulisi tehdä ensi tilassa.

5.2 Kansalliset mittanormaallilaboratoriot ja sopimuslaboratoriot

Mittatekniikan keskus käynnisti kevään 2000 aikana kemian jaoston selvityksessä esitettyjen organisaatioiden kanssa neuvottelut, joissa selvitettiin laboratorioden todelliset resurssit ja edellytykset toimia kansallisina mittanormaallilaboratorioina. Laboratorioden on täytettävä laissa ja asetuksessa kansalliselle mittanormaallilaboratoriolle määrätty vaatimukset (laki n:o 1156/1993 mittayksiköistä ja mittanormaalijärjestelmästä ja asetus n:o 972/1994 mittanormaalijärjestelmästä). Laboratorioille asetetaan velvoite suorittaa alansa metrologista tutkimustyötä ja toimia asiantuntijana. Koska valmiuksia kansallisen mittanormaallilaboratorion perustamiseksi moolille ei ollut vielä olemassa, Mittatekniikan keskus allekirjoitti jou-

lukuussa 2001 Ilmatieteen laitoksen kanssa sopimuksen jäljitettävien kalibrointien ja eräiden asiantuntijatehtävien hoitamisesta.

Tavoite: Kemian alan laajuuden huomioonottaen sopimuslaboratoriota tulisi perustaa keskeisille alueille, joilla on mahdollisuuksia ja halukkuutta metrologisen toiminnan kehittämiseen ja ylläpitoon.

5.3 Kansalliset vertailumittaukset

Yhteensä kahdeksan eri laitosta (tai laitosten eri osastoja) järjestää vertailumittauksia kemian alalla Suomessa. Näistä kolme järjestää vertailumittauksia jatkuvasti ja osa suhteellisen suurellakin volyymilla (Labquality Oy, SYKE ja VTT/Biotekniikka). Muut järjestävät vertailumittauksia satunnaisesti, oman organisaation puitteissa, saatavilla olevan rahoituksen tai tarpeen mukaan. Labquality Oy järjestää myös kliinistä mikrobiologiaa koskevia vertailumittauksia. Muutoin mikrobiologian laboratoriot osallistuvat joko pohjoismaisiin tai kansainvälisiin vertailumittauksiin. Kaikkiin määrittämiin ei ole saatavissa vertailumittauksia. Tällöin laboratoriot voivat joutua järjestämään keskenään kahden tai useamman laboratorion välisiä vertailumittauksia.

Kolme vertailumittausten järjestäjää pitää tärkeänä toimintansa akkreditointimahdollisuutta Suomessa kansainvälisten vaatimusten mukaisesti. Tällä hetkellä MIKES/FINAS ei myönnä akkreditointipäätöstä vaikka toiminta on arvioitu päteväksi ISO/IEC Guide 43-1 mukaisesti. Vertailumittausten järjestäjät pitävät akkreditointia tärkeänä sekä kansallisen että kansainvälisen uskottavuuden kannalta.

Tavoite: Vertailumittausten saatavuutta tulee parantaa. Vertailumittausten järjestäjille tulee saada mahdollisuus FINASin akkreditointiin.

5.4 Vertailuaineen saatavuuden ja laadun turvaaminen

Vertailuaineilla turvataan hyvin usein jäljitettävyyttä kemiassa ja mikrobiologiassa. Vertailuaineen laatu tulisi vastaavasti turvata niin, että jäljitettävyyshetket eivät katkea. Vertailuaineiden tulisi olla oikein testattuja ja hyvin kuvattuja niin, että ne ovat ominaisuuksiltaan aiottuun käyttötarkoitukseen sopivia. Valmistajan toiminnalle pitäisi olla vastaavat vaatimukset kuin vertailumittausten järjestäjillekin.

Tavoite: Vertailuaineen käyttäjän tulee vaatia valmistajalta sertifikaatti, josta selkeästi ilmenee vertailuaineen koostumus, jäljitettävyyden varmennus ja tehdyn testauksen laajuus.

5.5 Koulutuksen ja tiedotuksen lisääminen

Mittausten epävarmuuden tunteminen on oleellinen tekijä mittaustulosta arvioitaessa. Kemian ja mikrobiologian koulutuksessa tulee tätä asiaa painottaa. Opetuksessa olisi muutoinkin kiinnitettävä huomiota metrologian vaatimien ehtojen täyttymiselle mittauksia tai määrittämiä suoritettaessa.

Korkeakouluja ja yliopistoja tulee informoida kemian metrologian tarpeista ja puutteista opetusohjelmissa sekä kemian metrologian tärkeydestä varsinaisessa työelämässä. Kemian metrologian käytännön kurssien tukeminen katsotaan tärkeäksi. Jaosto esittää koulutustilaisuuksien järjestämistä, joissa käsiteltäisiin kemian metrologiaa, jäljitettävyyttä, mittausepävarmuutta, vertailumittauksia ja vertailuaineita. Käytännön tilastomatematiikkaa on opetusohjelmissa liian vähän ja siitä kannattaa järjestää erillisiä kursseja. EURACHEM:n uusi mittausepävarmuusohje on ollut Internetissä jo muutaman vuoden ja siitä on juuri äsken julkaistu painettu versio (ks. <http://www.eurachem.org>).

Metrologisten näkökohtien opetus mikrobiologien koulutuksessa tulee turvata. Tulkintaa edellyttävien menetelmien (esim. pesäkkeiden erottelu ja niiden laskenta sekä mikrobien mikroskopointi ja tunnistus) käyttöönottoa ja yhdenmukaista soveltamista tulee tukea organisoimalla käytännön työkursseja. Mikrobiologista metrologiaa koskeva sanasto tulee yhdenmukaistaa ottaen huomioon muilla metrologian alueilla vahvistettu käytäntö.

Tavoite: Kemian ja mikrobiologian jaosto järjestää metrologian koulutusta ja tiedotusta yhteistyössä Mittatekniikan keskuksen, laboratorioden ja yliopistojen kanssa. Koulutuksen ja tiedotuksen painopistealueina ovat jäljitettävyyden ja mittausepävarmuus.

5.6 Sektoriyhteistyö

Eri sektoreilla toimivat vertailulaboratoriot ottavat esille erityisesti jäljitettävyyden problematiikan (ongelmat, ratkaisut, verkostot, vertailut ym.) ja antavat palautetta metrologian neuvottelukunnan kemian ja mikrobiologian jaostolle.

Kemian alalla kansalliset mittanormaali- tai sopimuslaboratoriot tekevät yhteistyötä sektorinsa vertailulaboratorion kanssa jäljitettävyyden siirrossa sekä järjestävät kansallisia vertailumittauksia.

Tavoite: Kemian ja mikrobiologian alan kansalliset mittanormaali- ja sopimuslaboratoriot, vertailulaboratoriot sekä kemian ja mikrobiologian jaosto toimivat tiiviissä yhteistyössä jäljitettävyyden asioissa.

5.7 Kemian metrologian kansainväliseen toimintaan osallistuminen

Mittatekniikan keskus edellyttää, että jäljitettävyydestä vastaavat laboratoriot osallistuvat suurealueensa avainvertailuihin, BIPM:n, EUROMETin ja muiden maiden kansallisten tai alueellisten metrologian laitosten järjestämiin vertailumittauksiin.

Kemian metrologian osalta jaosto edistää ja seuraa eri asiantuntijoidensa ja sopimuslaboratorion kautta metrologian kansainvälistä yhteistyötä EUROMETin ja EURACHEM:n Met-Chem työryhmässä sekä muissa metrologiaan läheisesti liittyvien organisaatioiden työssä.

EU:n 6. tutkimusohjelman avautuessa jaoston kautta voidaan tiedottaa tarjouskierroksista ja saada asiantuntijoita tekemään ohjelmaan projektiesityksiä.

Tavoite: Suomi on aktiivisesti mukana eurooppalaisissa metrologiaa käsittelevissä organisaatioissa ja tutkimushankkeissa, osallistuu avainvertailuihin sekä pyrkii osallistumaan CCQM:n toimintaan.

6 LÄHDELUETTELO

Accreditation for Chemical Laboratories, WELAC/EURACHEM, 1993.

Accreditation for Microbiology Laboratories, EAL/EURACHEM, 1996.

Asetus mittanormaalijärjestelmästä (972/1994).

Ainemäärän kansallisen mittanormaalijärjestelmän toteuttamista ja organisaatiota koskeva selvitys, Metrologian neuvottelukunta, Kemian jaosto, MIKESin julkaisu J4/1999.

Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM), ISO, 1995.

ISO/IEC Guide 43-1, Proficiency testing by interlaboratory comparisons, Part 1: Development and operation of proficiency testing schemes, 1997.

Laki mittayksiköistä ja mittanormaalijärjestelmästä (1156/1993).

Metrologian neuvottelukunnan kemian jaoston strategia, Metrologian neuvottelukunta, MIKESin julkaisu J11/1997.

Mikrobiologisen metrologian tilanneselvitys ja kehittämissuunnitelma, Metrologian neuvottelukunta, Kemian jaosto, Mikrobiologian työryhmä, MIKESin julkaisu J5/1999.

Niemelä Seppo I., Mikrobiologian kvantitatiivisten viljelymääritysten mittausepävarmuus, Metrologian neuvottelukunta, Kemian jaosto, Mikrobiologian työryhmä, MIKESin julkaisu J1/2001.

Niemelä Seppo I., Uncertainty of Quantitative Determinations Derived by Cultivation of Microorganisms, Metrologian neuvottelukunta, Kemian jaosto, Mikrobiologian työryhmä, MIKESin julkaisu J3/2002.

Quality Assurance for Research and Development and Non-routine Analysis, EURACHEM/CITAC, 1998.

Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement, EURACHEM/CITAC, 2nd edition, 2000.

SFS 3700, Metrologia. Perus- ja yleistermien sanasto, Suomen Standardisoimisliitto SFS, standardi, 3. painos, 1998.

Selection, Use and Interpretation of Proficiency Testing (PT) Schemes by Laboratories, EURACHEM, 1999.

The Fitness for Purpose of Analytical Methods – A Laboratory Guide to Method Validation and Related Topics, EURACHEM, 1998.

Internet-sivuja:

BIPM Bureau International des Poids et Mesures

<http://www.bipm.fr/>

CITAC Co-Operation on International Traceability in Analytical Chemistry

<http://www.citac.cc/>

COMAR Database for Certified Reference Materials

<http://www.comar.bam.de>

EURACHEM A Focus for Analytical Chemistry in Europe

<http://www.eurachem.org/>

EURACHEM/CITAC Measurement Uncertainty web-site

<http://www.measurementuncertainty.org/>

EURACHEM Suomi -jaosto

<http://www.vtt.fi/pro/eurachsf/>

EUROMET A European Collaboration in Measurement Standards

<http://www.euromet.org>

EUROMET - Metrology in Chemistry

http://www.npl.co.uk/npl/environment/euromet_aos.html

IMEP International Measurement Evaluation Programme

<http://www.irmm.jrc.be/imep/>

QCMD Quality Control for Molecular Diagnostics

<http://www.qcmd.org>

VQC Viral Quality Control

<http://www.vqc.nl>

Jäljitettävien kalibrointien tarve kemiassa ja mikrobiologiassa

Tähän liitteeseen on koottu joitakin teollisuuden ja tutkimuslaitosten näkemyksiä jäljitettävien kalibrointien tarpeesta. Näkemykset on kerätty metrologian neuvottelukunnan kemian ja mikrobiologian jaoston ja sen työryhmien jäsenten edustamista organisaatioista.

RAUTARUUKKI STEEL

Perusmetalliteollisuuden laboratoriot Avestapolarit Stainless Oy, Tornio, Outokumpu Zinc Oy, Kokkola, Outokumpu Poricopper Oy, Pori ja Rautaruukki Steel, Raahen ja Hämeenlinna eivät tarvitse tuotantonäytteiden kemiallisen koostumuksen määrittämisessä ulkopuolisia kalibrointipalveluja. Laitteita ostettaessa (OES, XRF) ne voidaan tilata valmistajalta valmiiksi kalibroituina.

Vertailuaineiden käyttö on varsin laajaa etenkin akkreditoitussa laboratoriossa (Rautaruukki). OES:n ja XRF:n kalibrointiin käytetään jopa satoja sekä omia että kaupallisia vertailunäytteitä.

Ympäristösuojelumittauksien osalta on luvissa olemassa jotain säädöksiä, jotka asettavat jäljitettävyydelle tietyt tiukemmat kriteerit. Akkreditoitussa laboratoriossa myös muiden tulosten jäljitettävyys varmistetaan kaupallisilla vertailunäytteillä.

LABQUALITY OY

Kliinisessä mikrobiologiassa bakteriologian ja sienten osalta on saatavilla kattava joukko kylmäkuivattuja testattuja kantoja (esim. ATCC). Sensijaan bakteeriserologiassa, immunologiassa ja virologiassa on mm. vasta-aineiden ja anti-geenien osalta primaarivakioiden tarve. Päivittäiseen käyttöön tarvitaan myös edullisia tasokontrolleja (esim. HIV- ja hepatiitti- vasta-aineet, hepatiitti B:n pinta-antigeeni, streptokokki A:n antigeeni jne.).

Labquality on järjestänyt Suomessa kevään 2002 aikana IRMM:n kanssa yhteistyössä IMEP-17- laajan kansainvälisen vertailumittauksen. Osallistujia oli parikymmentä, joskin osallistujiksi toivottiin 60 - 80 suurinta laboratoriota. Analyytivalikoima käsitti 20 analyyttia (Ca, Cl, Cu, Fe, K, Li, Mg, Na, Se, Zn, glukoosi, kolesteroli, kreatiniini, urea, uraatti, thyroksiini (T4), albumiini, IgG, amylaasi ja glutamyyli-transferaasi (GT), joille ilmoitetaan referenssimenetelmäärvot vuoden 2002 aikana. IMEP-17-vertailumittaukseen liitettiin pohjoismaisena hankkeena lisäksi kolme muuta humaaniseeruminäytettä. Yhdelle näistä tuotetaan referenssimenetelmäärvot 10–12 analyyttille.

Labqualityssa nähdään tarpeelliseksi eri hormonien (esim. kortisoli, testosteroni, estrioli) ja peruskemian puolelta bilirubiinin jäljitettävyyden varmistamisen parantaminen.

Lisäksi Labqualityn tekninen valiokunta näkee suurena puutteena, ettei Suomessa ole vertailulaboratoriotoimintaa kliinisen kemian alalla.

SUOMEN YMPÄRISTÖKESKUS, SYKE

Ympäristöanalytiikassa on jäljitettävyyden tarvetta epäorgaanisessa ja orgaanisessa ympäristöanalytiikassa joko ympäristöä koskevilla seurannoissa, selvityksissä, tutkimushankkeissa ja vertailukokeiden vertailuarvon määrittämisessä. Jäljitettävyyden tarvetta on varsinkin vaikeasti määritettävien matriisien analyyseissä (mm. maa, biologinen materiaali ja myös humuspitoisuudeltaan suuret vesinäytteet). Primaarimenetelmien (IDMS) käyttöönottoon on tarvetta lähivuosina. Lisäksi kemian analytiikassa on luotettavien vertailuaineiden tarvetta erityyppisille ympäristönäytteille. Varsinkin summamäärityksille (mm. mineraaliöljyt) sekä jätteiden ja lietteiden kemiallisia määrytyksiä varten on vähän saatavilla vertailuaineita.

Vertailuaineiden tarvetta on myös ekotoksikologisissa määrytyksissä, käyttöä olisi mm. saastuneilla maanäytteillä, joille olisi annettu sertifioidut toksisuusarvot menetelmäkohtaisesti. Lisäksi on tarvetta referenssikemikaaliliuoksilla, joiden toksisuusarvot on sertifioituja.

Ympäristömikrobiologiassa tarvitaan tyyppi- ja muita vertailukantoja arviointiin erilaisten bakteerien ja muiden mikrobien määrittämiseen ja erilaisiin mikrobeilla tehtäviin testeihin (ks. taulukko 12, MIKES J5/1999). Myös maaperän mikrobilajiston kuvaamisessa metrologiaa olisi kehitettävä.

ILMATIETEEN LAITOS

Ilmatieteen laitos ylläpitää eräitä jäljitettäviä kaasumaisia mittanormaaleja kalibrointi- ja mittaustarkoitusta varten. Ilmatieteen laitos toimii tiettyjen kaasuseosten sopimuslaboratoriona ja sitoutuu noudattamaan Mittatekniikan keskuksen antamia sopimuslaboratoriona toimimiseen liittyviä kulloinkin voimassa olevia ohjeita. Ilmatieteen laitos liittyi Kansainvälisen painojen ja mittojen komitean kansallisten mittanormaalien ja kansallisten metrologialaitosten antamien kalibrointi- ja mittaustodistusten vastavuoroiseen tunnustamissopimukseen (CIPM/MRA) ja vastaa toiminnassaan sopimuksen noudattamisesta. Ilmatieteen laitos palvelee kuntien ja teollisuuden lupaehtojen mukaisia ilmanlaatumittausten tarpeita sekä myös muita kalibrointipalvelun tarvisijoita. Teollisuus ja konsultit tarvitsevat laboratorion palveluja lähinnä ulko- ja sisäilman mittauksissa ja mittaustaitteiden kalibroinnissa. Ilmatieteen laitoksen kalibrointilaboratorio osallistuu EUROMETin järjestämiin vertailumittauksiin ja bilateraalisiin vertailumittauksiin muiden maiden metrologialaitosten välillä.

Vertailuaineita tarvitaan ilmakeian analytiikassa sadevesi- ja hiukkasnäytteiden analysoinnissa. Lisäksi orgaanisten yhdisteiden analysoinnissa tarvitaan jäljitettäviä vertailuaineita. Korkeatasoisten vertailuaineiden saatavuus näille mittaustiluksille on varsin hyvä eikä ole tarvetta kehittää kotimaisia vertailuaineita.

VALTION TEKNILLINEN TUTKIMUSKESKUS, VTT

Vaikeissa kemian analyyseissä turvaututaan teollisuuden toimesta hyvin usein VTT:n apuun. Tällaisia analyyseja ovat tyypillisesti esim. käytetyn ydinpolttoaineen varastointiin ja käyttäytymiseen liittyvät tutkimukset sekä toksisten yhdisteiden ja muiden haitallisten aineiden seuranta ja niiden määrittäminen teollisuuden prosesseista, päästöistä ja luonnosta yleensäkin sekä saastuneiden maiden kunnostus. Joskus analyysitulokset on suoraan verrannollinen rahalliseen arvoon kuten, esim. metallisten mineraalien määrityksissä. Jäljitettäviä kalibrointeja tarvitaan myös teollisuudelle tehtävissä päästömittauksissa, on sitten kyseessä kaasu-, neste- tai kiintoaineen päästö. Päästöjen luotettava ja puolueeton mittaaminen on tärkeää teollisuuden ympäristölupien kannalta. Suurin tarve kohdistuu tällä hetkellä kaasupäästöihin ja näin ollen kaasumaisiin vertailuaineisiin sekä niiden laimennukseen käytettäviin massavirtamittareihin. Jäljitettävyyden kannalta oleellisen tärkeää on, että kaupalliset vertailuaineet ovat korkealaatuisia ja jäljitettäviä. VTT tekee myös merkittävää tutkimusta ja tuotekehitystä biotekniikan alueella, missä tarve on todella suuri koulutuksen, vertailukantojen ja koko järjestelmän osalta. Jäljitettävyyttä tarvitaan myös tarkkuusalkometrien kalibroinnissa ja autojen pakokaasupäästöissä.

TULLILABORATORIO

Tullilaboratorio on testauslaboratorio, jonka testaustulosten perusteella eri tahot tekevät merkittäviä kuluttajansuojelullisia ja taloudellisia päätöksiä. Mittausten jäljitettävyyden tarve on suuri niin toksisten aineiden analysoinnissa kuin koostumus selvityksissäkin.

Tullilaboratorion suurin asiakas on VM:n alainen Tullilaitos, joka käyttää tutkimustuloksia mm. erilaisten tuontiin, vientiin ja valmistukseen liittyvien verojen ja maksujen määrittämiseen, kauppapoliittisesti tärkeään tariffointiin, elintarvike- ja tuoteturvallisuuslain perusteella toteutettavaan tuotevalvontaan ja laittoman tuonnin toteamiseen. Tullilaitoksella ja Tullilaboratoriolla on myös yhteistyösopimuksia eri viranomaisten kanssa tiettyjen tutkimusten suorittamisesta. Näitä ovat esimerkiksi MMM:lle tehtävät EU:n maksamaan vientitukeen ja muihin maataloustukiin liittyvät tutkimukset, ympäristönsuojelulain edellyttämät polttonesteiden laadunvalvontaan liittyvät tutkimukset, STM:n alaisuuteen kuuluvat tupakkatutkimukset ja muut Elintarvikeviraston, Kuluttajaviraston ja Tuotevalvontakeskuksen teettämät tutkimukset. Hyvää jäljitettävyyttä ja tulosten tarkkuutta vaaditaan, jotta tutkimustulosten perusteella tehtävät päätökset ovat mahdollisimman oikeita ja kansainvälisesti vertailukelpoisia.

Jäljitettävyyttä on pyritty ylläpitämään korkeatasoisilla vertailuaineilla, osallistumalla vertailumittauksiin ja käyttämällä standardimenetelmiä ja osallistumalla mm. EU:n menetelmäkehitysprojekteihin. Luotettavien matriisissa olevien ver-

tailuaineiden puutetta on kuitenkin niin elintarviketutkimuksen kuin käyttö- ja kulutustavaratutkimusten osalla ja vertailumittauksissa on monissa tapauksissa jouduttu turvautumaan kahdenvälisiin testeihin.

ELÄINLÄÄKINTÄ- JA ELINTARVIKETUTKIMUSLAITOS, EELA

EELAn kemian tutkimusyksikkö tutkii eläinperäisistä elintarvikkeista erilaisia jäämiä kuten kasvunedistäjiä, lääkeaineita, hometoksiineja ja ympäristökontaminantteja. Jäljitettävyyden toteutetaan vertailuaineilla ja osallistamalla esim. EU:n referenssilaboratorioiden järjestämiin vertailututkimuksiin. Vertailuaineita on jonkin verran olemassa lähinnä hometoksiini- ja ympäristökontaminanttianalyysille. Tarvetta olisi varsinkin lääkeaineiden ja kasvunedistäjien vertailuaineille erilaisissa biologisissa matriiseissa.

EELAn bakteriologian tutkimusyksikkö tutkii eläintauteja sekä eläinperäisten elintarvikkeiden turvallisuutta. Jäljitettävyyden toteuttamiseksi käytetään standardimenetelmiä, osallistutaan erilaisiin vertailututkimuksiin sekä käytetään vertailukantoja ja -materiaaleja. Kaikille määrittämisille ei ole olemassa ulkoisia vertailututkimuksia. Vertailukantoja on saatavissa kattavasti, mutta vertailumateriaaleja sen sijaan rajoitetusti. Eläviä mikrobeja sisältävien materiaalien postitus on eri maiden säädösten takia kallista ja erittäin hankalaa.

TYÖTERVEYSLAITOS

Työterveyslaitoksen analyttistä kemiaa harjoittavien laboratorioiden (7 kpl) toiminta on tutkimusta ja palvelutoimintaa. Pääosan analyyseistä muodostavat työilman epäpuhtauksien määritykset, vierasaineiden määritykset biologisista matriiseista ja tuoteanalyysit.

Työterveyslaitoksen laboratoriot ylläpitävät jäljitettävyyden vaatimusta korkealuokkaisten vertailuaineiden avulla, osallistamalla kansainvälisiin laaduntarkkailukierroksiin sekä käyttämällä SFS-menetelmiä. On kuitenkin huomattava, että osassa tutkimusta joudutaan turvautumaan itse valmistettuihin vertailuaineisiin.

Yhteystiedot**METROLOGIAN NEUVOTTELUKUNTA****Puheenjohtaja**

Aimo Pusa
Raute Precision Oy
puh. (03) 829 4275
aimo.pusa@rauteprecision.fi

Sihteeri

Jaana Järvinen
Mittatekniikan keskus
PL 239 (Lönnrotinkatu 37)
00181 Helsinki
puh. (09) 6167 221
jaana.jarvinen@mikes.fi

JAOSTOT**Mittauspalvelujaosto****Puheenjohtaja**

Aimo Pusa
Raute Precision Oy
puh. (03) 829 4275
aimo.pusa@rauteprecision.fi

Sihteeri

Jaana Järvinen
Mittatekniikan keskus
puh. (09) 6167 221
jaana.jarvinen@mikes.fi

Vakausjaosto

Harri Piltz
Harrico Oy
puh. (09) 5306 650
harri.piltz@harrico.com

Sari Hemminki
Turvatekniikan keskus
puh. (09) 6167 244
sari.hemminki@tukes.fi

**Kemian ja mikrobiologian
jaosto**

Jari Walden
Ilmatieteen laitos
puh. (09) 1929 5480
jari.walden@fmi.fi

Jaana Järvinen
Mittatekniikan keskus
puh. (09) 6167 221
jaana.jarvinen@mikes.fi

TYÖRYHMÄT**Pituussuureet****Puheenjohtaja**

Heikki Tikka
Tampereen teknillinen yliopisto
puh. (03) 3115 2719
heikki.tikka@tut.fi

Sihteeri

Antti Lassila
Mittatekniikan keskus
puh. (09) 6167 521
antti.lassila@mikes.fi

Massasuureet

Jouko Roine
Inspecta Oy
puh. 010 5216 319
jouko.roine@inspecta.fi

Sari Semenoja
Mittatekniikan keskus
puh. (09) 6167 448
sari.semenoja@mikes.fi

Lämpötilasuureet

Antero Pitkääkoski
Vaisala Oyj
puh. (09) 8949 2267
antero.pitkääkoski@vaisala.com

Leena Uusipaikka
Mittatekniikan keskus
puh. (09) 6167 469
leena.uusipaikka@mikes.fi

Sähkösuureet	<u>Puheenjohtaja</u> Tuomo Valkeapää Turvatekniikan keskus puh. (09) 6167 241 tuomo.valkeapaa@tukes.fi	<u>Sihteeri</u> Antti Manninen Mittatekniikan keskus puh. (09) 456 6272 antti.manninen@mikes.fi
Optiset suureet	Pekka Wallin Teknillinen korkeakoulu puh. (09) 451 2280 pekka.wallin@hut.fi	Kari Riski Mittatekniikan keskus puh. (09) 6167 452 kari.riski@mikes.fi
Virtaussuureet	Jouko Halttunen Tampereen teknillinen yliopisto puh. (03) 3115 2485 jouko.halttunen@tut.fi	Martti Heinonen Mittatekniikan keskus puh. (09) 6167 549 martti.heinonen@mikes.fi
Akustiset suureet	Heikki Isotalo Mittatekniikan keskus puh. (09) 6167 544 heikki.isotalo@mikes.fi	Kari Ojasalo Mittatekniikan keskus puh. (09) 456 6292 kari.ojasalo@mikes.fi
Valmispakkaus	Jouko Roine Inspecta Oy puh. 010 5216 319 jouko.roine@inspecta.fi	Sari Hemminki Turvatekniikan keskus puh. (09) 6167 244 sari.hemminki@tukes.fi
Orgaaninen kemia	Kimmo Peltonen Eläinlääkintä- ja elintarviketutkimuslaitos puh. (09) 393 1912 kimmo.peltonen@eela.fi	Jaana Järvinen Mittatekniikan keskus puh. (09) 6167 221 jaana.jarvinen@mikes.fi
Epäorgaaninen kemia	Veikko Komppa Valtion teknillinen tutkimuskeskus puh. (09) 456 5260 veikko.komppa@vt.fi	Jaana Järvinen Mittatekniikan keskus puh. (09) 6167 221 jaana.jarvinen@mikes.fi
Mikrobiologia	Marja Leena Kantanen Kansanterveyslaitos puh. (09) 4744 8354 marja-leena.kantanen@ktl.fi	Jaana Järvinen Mittatekniikan keskus puh. (09) 6167 221 jaana.jarvinen@mikes.fi
MUUT Ionisoivan säteilyn suureet	<u>Yhteyshenkilö</u> Antti Kosunen Säteilyturvakeskus puh. (09) 7598 8446 antti.kosunen@stuk.fi	

Viimeisimmät julkaisut

- J10/1999 M. Heinonen, *National basis for traceability in humidity measurements*
- J1/2000 T. Weckström, *Intercomparison of temperature standards of Lithuania and Finland*
- J2/2000 *Finnish National Standards Laboratories FINMET, Annual Report 1999*
- J3/2000 K. Riski, *Mass comparison M3*
- J4/2000 K. Riski, *Mass and volume comparisons at MIKES*
- J5/2000 A. Lassila ja S. Nevalainen, *Nanometritason mittaukset, kartoitus*
- J6/2000 M. Rantanen, *Nordic intercomparison in gauge pressure range 0 ... 2 MPa*
- J1/2001 S.I. Niemelä, *Mikrobiologian kvantitatiivisten viljelymääritysten mittausepävarmuus*
- J2/2001 J. Järvinen (Ed), *Finnish National Standards Laboratories Annual Report 2000*
- J3/2001 T. Weckström, *Lämpötilan vertailumittaus L I I , PT100-anturin sovitusten kehittämisen*
- J4/2001 B. Hemming, *High precision roundness. Euromet project 533. Final Report*
- J5/2001 M. Heinonen, *Kaasun kosteuden mittaaminen*
- J6/2001 M. Heinonen, S. Bell, K. Flakiewics, G. Mamontov, P.K. Birch, A. Steiner and S. Ugus, *Intercomparison of humidity standards*
- J7/2001 M. Rantanen, *Comparisons in the pressure range from 50 kPa to 350 kPa*
- J1/2002 T. Weckström, *Lämpötilan mittaus*
- J2/2002 J. Järvinen, M. Heinonen and A. Lassila (Eds), *Annual Report 2001*
- J3/2002 S.I. Niemelä, *Uncertainty of quantitative determinations derived by cultivation of microorganisms*
- J4/2002 A. Lassila, *Calibration of gauge blocks by mechanical comparison. Final Report*
- J5/2002 V. Köning, A. Pitkäkoski, M. Rantanen and S. Semenoja, *Comparison of spinning rotor vacuum gauges between MIKES, SP and Vaisala Oyj*
- J6/2002 M. Rantanen and S. Semenoja, *Calibration of a 130 Pa CDG: Comparison of the results from MIKES, PTB and MKS Deutschland*
- J1/2003 J. Järvinen, M. Heinonen and A. Lassila (Eds), *Annual Report 2002*
- J2/2003 K. Riski, *Basic formula for mass calibration*
- J3/2003 M. Rantanen, *Intercomparison in gauge pressure range 0...60 MPa*
- J4/2003 S.I. Niemelä, *Uncertainty of quantitative determinations derived by cultivation of microorganisms*
- J5/2003 K. Riski, *Mass comparison: 5 kg laboratory balance*
- J6/2003 M. Rantanen, *Comparison in absolute pressure range 0,02 hPa ... 10 hPa between MIKES and Beamex*
- J7/2003 M. Heinonen, *Comparison of dew-point temperature calibrations*
- J8/2003 J. Järvinen (Toim.), *Kansallinen mittanormaalityö ja sen kehittäminen 2003 – 2007*



- PL 239, Lönnrotinkatu 37, 00181 HELSINKI
- Puh. (09) 616761 • Fax (09) 6167467
- www.mikes.fi