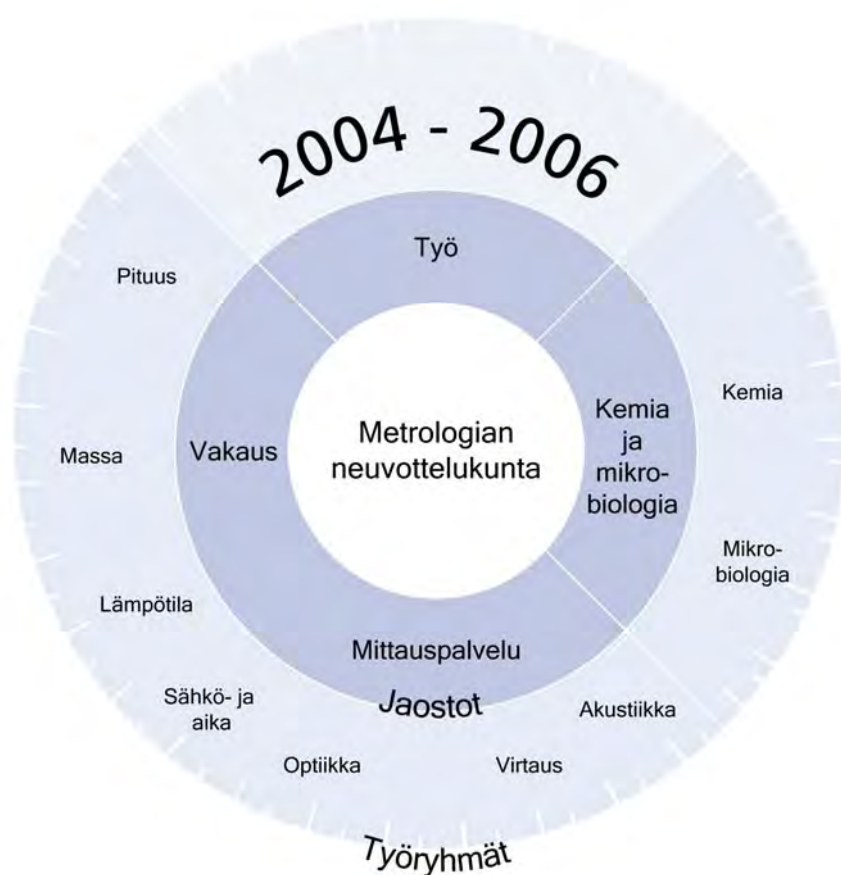


J7/2006



Kansallinen mittanormaalityö ja sen kehittäminen 2007-2011

Metrologian neuvottelukunta
Mittatekniikan keskus

Espoo 2006

Julkaisu J7/2006

Kansallinen mittanormaalitoiminta ja sen kehittäminen 2007-2011



toimittanut
Jaana Järvinen

Mittatekniikan keskus

Espoo 2006

Alkusanat

Käsissänne on nyt järjestyksessään toinen kansallisen mittajärjestelmän kattavuutta ja mittauskykyä kuvaava julkaisu, jonka tavoitteena on antaa tietoa kansallisesta mittausjärjestelmästä ja mittaamiskyvystä niin tavallista mittaamista ja laadunvarmennusta kuin myös tuotekehitystä ja tutkimusta varten. Mittausten käyttäjinä teollisuus, elinkeinoelämä ja julkinen hallinto tarvitsevat tietoa, mille suureille ja millä tarkkuudella voidaan jäljitettävyyttä hoitaa kansallisesti. Mittausjärjestelmän ylläpito on yhteiskunnan panostus kansalliseen infrastruktuuriin, jolla varmennetaan teollisen toiminnan ja kaupankäynnin edellytyksiä. Mielestäni kuitenkin vielä oleellisempaa on, - ja se koskee erityisesti teollisuutta ja elinkeinoelämää - että mittausjärjestelmämme on kansainvälisesti tunnustettu ja että meillä on myös mittaamisen asiantuntemusta. Parempi mittaaminen voi auttaa lisäämään tuottavuutta tai toteuttamaan kokonaan uusia tuotteita. Mittaaminen kuuluu niihin korkean osaamisen aloihin, joilla voidaan saavuttaa merkittäviä tuloksia ja luoda uusia mahdollisuuksia markkinoilla. Mittaamisen kehittämisen ja hyödyntämisen suhteen olemme edenneet myös merkittävästi, kun Mittatekniikan keskus on saanut oman, henkilöstön osaamista vastaavan korkealuokkaisen toimitalon. Se on myös nostanut Mittatekniikan keskuksen kansainvälistä arvostusta. Mittatekniikan keskus on metrologian tutkimuslaitos, joka myös vastaa kansallisen mittajärjestelmän olemassaolosta.

Hyvä päätöksenteko perustuu aina oikeaan tietoon ja hyvin usein tämä tieto saadaan mittamalla. Mittaamisen asiantuntemus ja sen tehokas hyödyntäminen onkin hyvin tärkeällä sijalla ajateltaessa esimerkiksi kilpailukykyä. Tämä kirja antaa myös vastauksen siihen, mistä tietoa löytyy. Meillä on useita kansallisia mittanormaallilaboratorioita, joiden osaamistaso on korkea myös kansainvälisessä vertailussa.





Käsiteltäessä mittaamista ja kansallisia mittanormaaleja niin siihen liittyy aina myös tarkkuus, joka on mittausketjun toteuttamisen kannalta oleellinen tekijä. On kuitenkin muistettava, että käytännössä tarvitaan jokaiseen mittaukseen siihen soveltuva tarkkuus ja oikean tarkkuuden toteuttamiseen tarvitaan myös asiantuntemusta. Se, että mittalaitteita kalibroidaan, ei saa joutua pelkästään laatujärjestelmän olemassaolosta. Kalibrointia ei pidä tehdä pelkästään järjestelmän auditoijaa varten. Toimenpiteestä pitää olla selvää hyötyä teettäjälle, kalibrointi on työkalu mittaamisen hallinnalle, sitähan laatustandardikin vaatii, *mittaamisen hallintaa*. Vaikka tämän julkaisun sisältö osoittaakin mittauskyvyn kansallista suoritustasoa, koko mittausjärjestelmän tavoitteena on saada käyttäjät toimimaan tarkkuustasolla, jota he tarvitsevat.


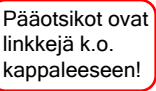

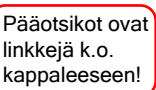

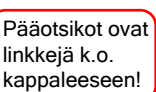

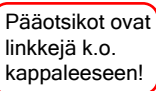

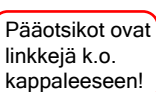
Tämän julkaisu on toteutettu Metrologian neuvottelukunnan työnä pääsääntöisesti kansallisten mittanormaallilaboratorioiden kirjoittamana. On kuitenkin muistettava, että neuvottelukunnan suurekohtaisissa työryhmissä on yli sata asiantuntijaa, jotka ovat osallistuneet materiaalin käsittelyyn. Haluan lausua parhaimmat kiitokset tehdystä työstä niin mittanormaallilaboratorioiden henkilöstölle kuin työryhmien asiantuntijajäsenille. Erityiskiitoksen ansaitsee Mittatekniikan keskuksen projektipäällikkö Jaana Järvinen, joka on toimittanut julkaisun.

Toivonkin tämän julkaisun olevan jokaisen mittauksista vastaavan tai mittauksia tarvitsevan käsikirjastossa.

Aimo Pusa
Metrologian neuvottelukunnan puheenjohtaja
29.12.2006

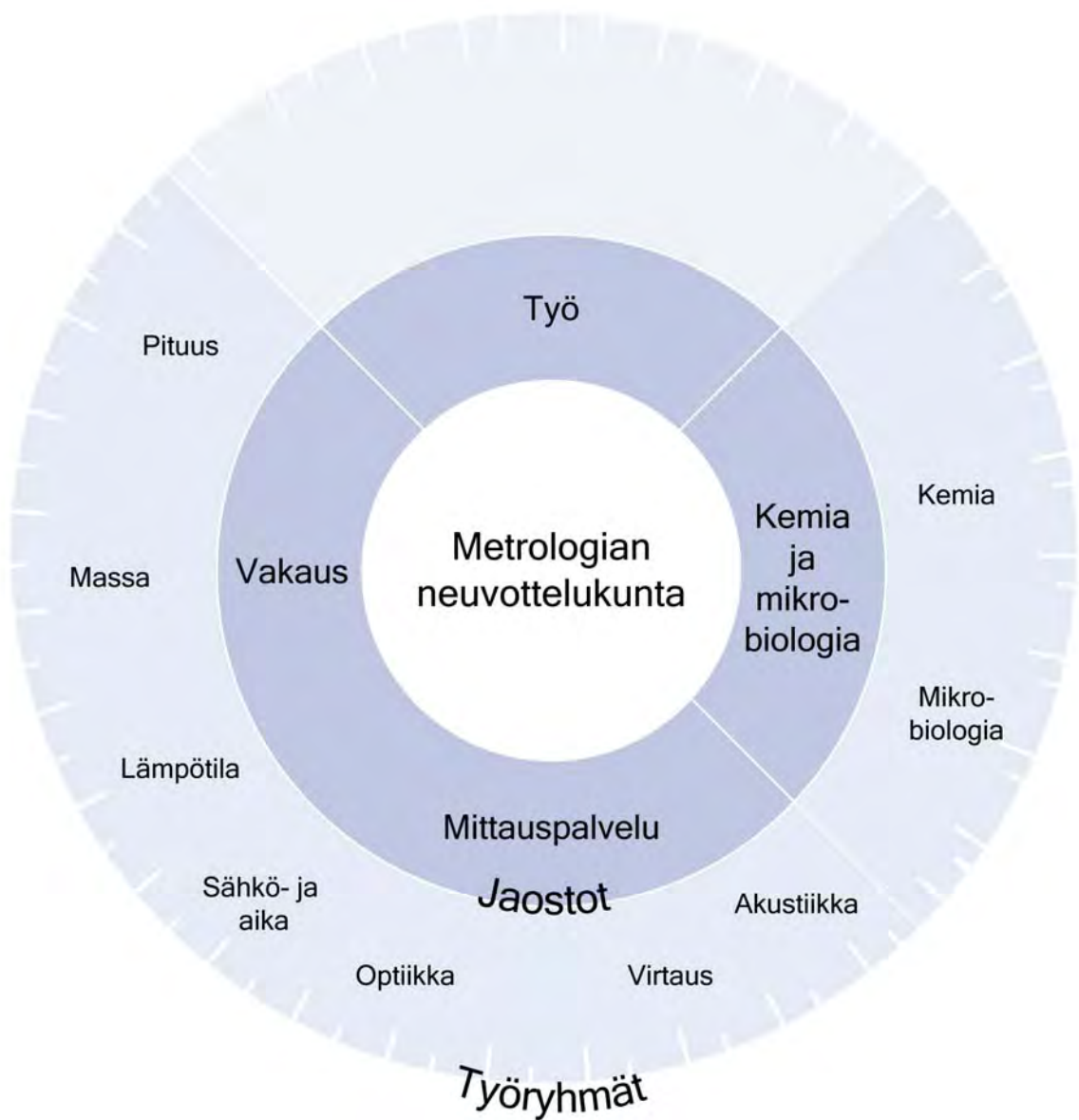
Sisällysluettelo

	Alkusanat	3
	1 Yhteenveto	7
	2 Massasuureet	12
	Tiivistelmä	12
<div style="border: 1px solid red; border-radius: 10px; padding: 2px; display: inline-block;">Pääotsikot ovat linkkejä k.o. kappaleeseen!</div>	2.1 Johdanto	12
	2.2 Massasuureiden metrologia Suomessa	13
	2.2.1 Akkreditoitujen kalibrointipalvelut	13
	2.2.2 Kansallisten mittanormaali-laboratorioiden kalibrointipalvelut	14
	2.3 Kansainvälinen toiminta	16
	2.4 Yleiset kehitysnäkymät	17
	2.5 Tavoitteet vuosille 2007-2011	20
	2.6 Lähdeluettelo	21
	3 Lämpötilasuureet	22
	Tiivistelmä	22
<div style="border: 1px solid red; border-radius: 10px; padding: 2px; display: inline-block;">Pääotsikot ovat linkkejä k.o. kappaleeseen!</div>	3.1 Johdanto	22
	3.2 Lämpötilasuureiden metrologia Suomessa	22
	3.2.1 Kalibrointipalvelu	22
	3.2.2 Tutkimus	24
	3.3 Kansainvälinen toiminta	24
	3.4 Yleiset kehitysnäkymät	25
	3.5 Tavoitteet vuosille 2007-2011	26
	3.5.1 Lämpötilan mittanormaali-toiminnan tutkimus ja kehitys	27
	3.5.2 Kosteuden mittanormaali-toiminnan tutkimus ja kehitys	27
	3.5.3 Koulutus, tiedotus ja asiantuntijapalvelut	28
	3.5.4 Kansainvälinen yhteistyö	28
	4 Pituussuureet	29
	Tiivistelmä	29
<div style="border: 1px solid red; border-radius: 10px; padding: 2px; display: inline-block;">Pääotsikot ovat linkkejä k.o. kappaleeseen!</div>	4.1 Johdanto	29
	4.2 Pituusmetrologia Suomessa	30
	4.3 Kansainvälinen toiminta	32
	4.4 Kehitysnäkymät	32
	Kotimaisen teollisuuden, yhteiskunnan ja akkreditoitujen kalibrointilaboratorioiden tarpeet	32
	Kansainvälisten sopimusten velvoitteet ja pätevyyden osoitus kansainvälisellä foorumilla	33
	Tutkimus päivittäisen toiminnan ja tuotekehityksen tukena sekä tulevaisuuden tarpeita varten	34
	4.5 Tavoitteet vuosille 2007-2011	35
	4.6 Lähdeluettelo	36
	5 Optiset suureet	37
	Tiivistelmä	37
<div style="border: 1px solid red; border-radius: 10px; padding: 2px; display: inline-block;">Pääotsikot ovat linkkejä k.o. kappaleeseen!</div>	5.1 Johdanto	37
	5.2 Optisten suureiden metrologia Suomessa	38
	5.3 Kansainvälinen toiminta	40
	5.4 Yleiset kehitysnäkymät	41
	5.5 Tavoitteet vuosille 2007-2011	43
	5.6 Lähdeluettelo	44

	6	Sähkösuureet sekä aika ja taajuus	45
		Tiivistelmä	45
		Pääotsikot ovat linkkejä k.o. kappaleeseen!	
	6.1	Johdanto	46
	6.2	Sähkö- ja aikasuureiden metrologia Suomessa	46
	6.3	Kansainvälinen toiminta	48
	6.4	Yleiset kehitysnäkymät	49
	6.5	Tavoitteet vuosille 2007-2011	51
	7	Akustiset suureet	53
		Tiivistelmä	53
		Pääotsikot ovat linkkejä k.o. kappaleeseen!	
	7.1	Johdanto	53
	7.2	Akustisten suureiden metrologia Suomessa	53
	7.3	Kansainvälinen toiminta	55
	7.4	Yleiset kehitysnäkymät	55
	7.5	Tavoitteet vuosille 2007-2011	55
	8	Virtaussuureet	57
		Tiivistelmä	57
		Pääotsikot ovat linkkejä k.o. kappaleeseen!	
	8.1	Johdanto	57
	8.2	Virtaussuureiden metrologia Suomessa	58
		Nestevirtaukset	58
		Kaasuvirtaukset	58
	8.3	Kansainvälinen toiminta	58
	8.4	Yleiset kehitysnäkymät	59
		Metrologisten vaatimusten yleinen kehittyminen	59
		Nestevirtaukset	59
		Kaasuvirtaukset	59
		Kaasun ja nesteen paikallisen virtausnopeuden mittaaminen	60
		Koulutustarve	60
	8.5	Tavoitteet vuosille 2007-2011	60
		Yleiset tavoitteet	60
	9	Ionisoivan säteilyn suureet	61
		Tiivistelmä	61
		Pääotsikot ovat linkkejä k.o. kappaleeseen!	
	9.1	Johdanto	61
	9.2	Säteilysuureiden metrologia ja mittaustarve Suomessa	62
	9.3	Kansainvälinen toiminta	62
	9.4	Yleiset kehitysnäkymät	62
	9.5	Tavoitteet vuosille 2007-2011	63
	9.6	Lähdeluettelo	63
	10	Kemian ja mikrobiologian metrologia	64
		Tiivistelmä	64
		Pääotsikot ovat linkkejä k.o. kappaleeseen!	
	10.1	Johdanto	64
	10.2	Kemian ja mikrobiologian metrologia Suomessa	66
	10.3	Kansainvälinen toiminta	68
		CCQM	68
		EUROMET	69
		IRMM	69
		EURACHEM	69
		EUROLAB	70
		CITAC	70
	10.4	Yleiset kehitysnäkymät	70
	10.5	Tavoitteet vuosille 2007-2011	71
		10.5.1 Koulutus ja tiedotus	71
		10.5.2 Kansallinen ja kansainvälinen yhteistyö	72
		10.5.3 Sopimuslaboratorioiden perustaminen keskeisille alueille	72
		Liite 1 Yhteystiedot	73

1 Yhteenveto

Tässä julkaisussa esitetään eri suurealueiden mittanormaalityönnän nykytilanteiden katsaukset ja kehittämissuunnitelmat viisivuotiskaudelle 2007-2011. Julkaisu on päivitys vuonna 2003 julkaistuille kehittämissuunnitelmille (MIKESin julkaisu J8/2003). Suunnitelmia on yhdeksän kappaletta ja ne on valmisteltu Metrologian neuvottelukunnan (MNK) työryhmissä kevään ja kesän aikana 2006. Katsausten tarkoituksena ei määritelty tyhjentyvää raporttia metrologiasta suurealueittain vaan toivottiin selvityksiä, joiden pohjalta toimintaa voidaan suunnitella kokonaisuutena ja ulkopuolinenkin saa kuvan alueen tarpeellisuudesta, toiminnasta ja resursseista.



Kuva 1.1. Metrologian neuvottelukunnan rakenne kaudella 22.1.2004 - 22.1.2007.

Valtioneuvosto asettaa MNK:n kolmivuotiskaudeksi kerrallaan käsittelemään metrologiaan ja mittauksiin liittyviä kysymyksiä. MNK:n tehtävänä on mm. tuoda esiin teollisuuden, elinkeinoelämän ja yhteiskunnan näkemys metrologian tutkimustarpeista ja toimia kanavana, jonka kautta metrologiapalvelujen käyttäjäkunta voi antaa palautetta. Nykyinen MNK on asetettu 22.1.2007 päättyväksi kolmivuotiskaudeksi. Neuvottelukuntaan on nimetty puheenjohtaja, varapuheenjohtaja ja 16 jäsentä ja heille kaikille henkilökohtaiset varajäsenet. Neuvottelukuntaan kuuluu mittausten ja mittausten varmentamisen asiantuntijoita; mukana on elinkeinoelämän, kuluttajien, metrologisen tutkimustoiminnan, kansallisen mittauspalvelun ja mittaustaitteiden 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: massasuureet, lämpötilasuureet, pituussuureet, optiset suureet, sähkö- ja aikasuureet, akustiset suureet, virtaussuureet, kemia sekä mikrobiologia (kuva 1.1). MNK:ssa toimii kaikkiaan noin 200 asiantuntijaa mittaamisen eri aloilta.

Mittatekniikan keskus, MIKES, toimii kansallisena metrologialaitoksena, jonka tehtävänä on SI-mittayksikköjärjestelmän toteuttaminen Suomessa ylläpitämällä ja kehittämällä kansallista mittanormaalijärjestelmää sekä koordinoimalla alan kansainvälistä yhteistyötä.

Kansalliseen mittanormaalijärjestelmään kuuluvia tehtäviä hoitavat kansalliset mittanormaalilaboratoriot (KML:t) ja sopimuslaboratoriot (kuva 1.2). Näiden tehtävänä on luoda perusta jäljitettävälle mittauksille kalibroimalla esim. akkreditoitujen laboratorioden, teollisuuden mittaustalaboratorioden ja muiden tarvitsijoiden referenssinormaaleja. Kansallisen mittanormaalilaboratorion tehtävänä on ylläpitää ja kehittää suurealueensa kansallisia mittanormaaleja. Lisäksi toimintaan kuuluu tutkimustyö sekä osallistuminen mittanormaalien vertailumittauksiin korkeimmalla kansainvälisellä tasolla.

MIKES on vastuussa kansainvälisestä yhteistyöstä metrologian alalla. Kansalliset mittanormaalilaboratoriot huolehtivat kansainvälisistä yhteyksistä omilla erityisalueillaan. Tärkeimpiä kansainvälisiä yhteistyöfoorumeja ovat metrisopimukseen perustuvat CGPM (Conférence Générale des Poids et Mesures), CIPM (Comité Internationale des Poids et Mesures), BIPM (Bureau International des Poids et Mesures) ja neuvoa antavat komiteat CC:t (Comités Consultatifs), joita on perustettu eri suurealueille seuraavasti:

- CCAUV akustiikalle, ultraäänelle ja värähtelylle
- CCEM sähkölle ja magnetismille
- CCL pituudelle
- CCM massalle ja siihen liittyville suureille
- CCPR fotometrialle ja radiometrialle
- CCQM ainemäärälle
- CCRI ionisoivalle säteilylle
- CCT lämpötilalle
- CCTF ajalle ja taajuudelle
- CCU yksiköille.



Kuva 1.2. Kansalliset mittanormaallilaboratoriot 1.1.2007. MIKES = Mittatekniikan keskus, IL = Ilmatieteen laitos, GL = Geodeettinen laitos, STUK = Säteilyturvakeskus, TKK = Teknillinen korkeakoulu.

Tärkeä kansainvälinen yhteistyöelin on myös EUROMET, joka on yhteistyötä Euroopan kansallisten metrologialaitosten kesken. EUROMETissa on teknisiä komiteoita (Technical Committee, TC), jotka ovat tällä hetkellä seuraavat:

- TC-AUV akustiikalle
- TC-EM sähkölle ja magnetismille
- TC-F virtaukselle
- TC-IM tieteidenväliselle metrologialle
- TC-IR ionisoivalle säteilylle
- TC-L pituudelle
- TC-M massalle ja siihen liittyville suureille
- TC-MC kemian metrologialle

- TC-PR fotometrialle ja radiometrialle
- TC-Q laadulle
- TC-T lämpötilalle
- TC-TF ajalle ja taajuudelle.

Kehittämissuunnitelmissa 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 vertailumittaukset. Globaalisti olemme selvästi menossa suuntaan, jossa mittausten laatu ja luotettavuus 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.

Lopuksi lyhyet yhteenvedot eri ryhmien kehittämissuunnitelmista:

1. Massasuureet

Massan, tiheyden ja paineen KML:t ovat MIKESissä. Voiman ja vääntömomentin kansallista mittanormaalitoimintaa hoitaa sopimuslaboratorio Lahti Precision Oy (ent. Raute Precision Oy) ja putoamiskiihtyvyyden KML:änä toimii Geodeettinen laitos.

Kokonaisuudessaan massasuureiden alue täyttää suhteellisen hyvin teollisuuden tarpeet. Keskeisimmät kehitysnäkymät liittyvät mittaasepävarmuuksien pienentämiseen, kalibrointimenetelmien kehittämiseen ja mittausalueiden laajentamiseen. Dynaamisen mittauksen ja kalibroinnin kehittämiseen ja tutkimiseen on hyvä kiinnittää huomiota. Merkittävänä kehitysnäkymänä on kilogramman määritelmän muuttaminen ja realisointimenetelmien kehittäminen. Kansainvälinen yhteistyö on hyvällä tasolla. Kovuudelta puuttuu KML.

2. Lämpötilasuureet

Lämpötilan ja kosteuden KML:t ovat MIKESissä.

Palveluja voidaan pitää hyvinä ja tarpeet kattavina. Tutkimustoiminta kohdistuu lämpötila-asteikon äärialueille. Kehitystoiminnan painopistealueina ovat säteilylämpötilan mittaaminen, kryogeeninen lämpötila-alue, lämmön siirtyminen mittaushetkillä, kosteuden vertailumenetelmät, eri kaasut kosteuskalibroinneissa sekä kylläisen vesihöyryn paine. Kansainvälinen toiminta on hyvällä tasolla.

3. Pituussuureet

Pituussuureiden KML:t ovat MIKESissä ja Geodeettisella laitoksella. Koordinaattimittausten sopimuslaboratoriona toimii Tampereen teknillinen yliopisto vuoden 2006 loppuun asti.

Pituussuureiden tilaa voidaan pitää hyvänä. Uudet mittaustekniikat ja teknologiat sekä valmistustekniikoiden yleinen kehittyminen asettavat pituusmetrologialle kovia haasteita. Kansainvälinen toiminta on korkealla tasolla.

4. Optiset suuret

KML sijaitsee MIKES TTK Mittaustekniikan laboratoriossa, jossa on myös merkittävää laitoksen omaa tutkimustoimintaa.

Mittaustekniikan laboratoriollla on hyvät perusresurssit vaadittaviin mittauksiin ja kalibrointipalveluihin. Laboratoriollla on vahvuusalueita, jotka ovat maailman mittakaavassa keihäänkärkiä. Haasteita antaa uusien innovaatioiden vaatima uusi mittaustekniikka.

5. Sähkö- ja aikasuureet

KML:t sijaitsevat MIKESissä lukuun ottamatta suurjännite- ja pulssisuureita, jotka sijaitsevat TTK:lla.

Sähkö- ja aikasuureet ovat merkittävä ryhmä käytännön mittauksissa. Perusmittaukset ovat hyvällä tasolla. Suurjännitepuolella kehittyvät sähkömarkkinat ja sähkön laatu asettavat lisävaateita. Tutkimuksessa keskitytään keihäänkärkiin eli mikro- ja nanotekniikan metrologiasovelluksiin ja pulssisuureiden kalibrointimenetelmien kehittämiseen.

6. Akustiset suureet

KML toimii MIKESissä.

Akustisten suureiden ja mekaanisten värähtelyjen mittauksilla on huomattava terveydellinen ja taloudellinen merkitys. KML-palveluihin kuuluvat mikrofonien ja äänitasokalibraattorien kalibroinnit. Kiihtyvyyssanturien kalibrointipalvelua ollaan käynnistämässä.

7. Virtausuureet

Virtausuureille on KML MIKESissä.

KML-toiminta keskittyy pieniin kaasuvirtauksiin. Tavoitteena on pätevyysalueen laajentaminen 100 l/min asti. Nestevirtauksessa toimii akkreditoituja kalibrointilaboratorioita.

8. Ionisoivan säteilyn suureet

Säteilyturvakeskus, STUK, pitää yllä toimialansa kansallisia mittanormaaleja. STUKissa mittanormaalityö toiminta 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. Aktiivisuuden ja aktiivisuuspitoisuuden luotettavia mittauksia tarvitaan sekä tutkimustoiminnassa että asiakkaille tarjottavissa mittaus- ja analyysipalveluissa. STUK kehittää palvelujaan siten, että keskeisimmät kalibrointitarpeet Suomessa voidaan tyydyttää.

9. Kemia ja mikrobiologia

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

Tavoitteena on löytää kemian alan laboratorioita, joilla olisi halukkuutta metrologisen toiminnan kehittämiseen ja ylläpitoon. Painopistealueita ovat mm. kliininen kemia, elintarvikekemia ja ympäristömittaukset. Kemian ja mikrobiologian metrologian tietämystä tulee lisätä tiedottamisen ja kouluttamisen keinoin.

2 Massasuureet

Tiivistelmä

Massasuureiden ryhmään kuuluvat perussuureen eli massan lisäksi johdannaissuureet tiheys, paine, voima, vääntömomentti, putoamiskiihtyvyys ja kovuus. Massasuureet ovat olennaisessa osassa mitä erilaisimmissa teollisuuden prosesseissa sekä yhdessä että erikseen yksittäisinä suureina.

Massan, tiheyden ja paineen kansalliset mittanormaallaboratoriot ovat Mittatekniikan keskuksessa. Voiman ja vääntömomentin kansallista mittanormaalityötä hoitaa sopimuslaboratorio Lahti Precision Oy (ent. Raute Precision Oy) ja putoamiskiihtyvyyden kansallisena mittanormaallaboratoriona toimii Geodeettinen laitos. Kovuudelle ei toistaiseksi ole kansallista mittanormaallaboratoriota.

Massasuureiden osalta keskeisimmät kehitysnäkymät liittyvät mittausepävarmuuksien pienentämiseen, kalibrointimenetelmien kehittämiseen ja mittausalueiden laajentamiseen.

2.1 Johdanto

Massa on tilavuuden ohella tärkein ainemäärää karakterisoiva suure. Punnituksen avulla tapahtuva massan määrittäminen soveltuu erityisen hyvin kiinteiden materiaalien määrän mittaamiseen. Sitä sovelletaan myös tarkkoihin neste- ja kaasumäärien mittauksiin. Ainemäärän mittaamisen lisäksi massaa tarvitaan aineiden laadullisten ominaisuuksien määrittämiseen sekä muiden suureiden realisointiin. Johdetuista suureista jäljitettävyyden massaan tarvitsevat mm. paine, voima ja tiheys.

Tiheysmittauksia tarvitaan aineiden ominaisuuksien karakterisoinneissa. Tärkeimpinä käyttäjinä ovat elintarvike-, öljy- ja muoviteollisuus. Tiheyden jäljitettävyys perustuu usein joko tiheydeltään tunnettuun nesteeseen, kaasuun tai kiinteään aineeseen, tai tilavuudeltaan tunnettuun kappaleeseen.

Paine on lämpötilan jälkeen eniten mitattu prosessisuure. Laadun kasvava merkitys kilpailutekijänä ja pyrkimykset kustannussäästöihin prosessien optimoinnin avulla lisäävät tarkkojen ja luotettavien painemittausten tarvetta; luotettavat paineen mittaukset ovat ratkaisevan tärkeitä mm. ilmailun ja teollisuusprosessien turvallisuudelle.

Voima ja vääntömomentti ovat yleisimpiä mittaussuureita teollisuudessa. Merkittävimpiä alueita voimanmittaukselle ovat materiaalien tutkimus ja laadunvalvonta (aineen koetuskoneet), lentoturvallisuuteen liittyvät voimanmittaukset ja punnitukset sekä tuotannon laadunvalvontaan liittyvät mittaukset. Vääntömomentin kalibrointitarpeet tulevat vastaavasti valmistavasta teollisuudesta.

Mittauksiin liittyvän osaamisen saaminen läheltä ja nopeasti on osoittautunut tarpeelliseksi elinkeinoelämälle ja sillä on erityinen merkitys kilpailukykyyn kannalta, koska nä-

mä palvelut ovat hyvinkin kattavasti saatavissa lähes kaikissa kilpailijamaissa. Laadun varmennukseen kiinnitetään yhä enemmän huomiota ja sitä kautta myös mittausten jäljitettävyyden ja mittauserävarmuus on pystyttävä osoittamaan.

Putoamiskiihtyvyyden metrologia perustuu painovoima-arvoihin. Niistä on putoamiskiihtyvyyden aikavaihtelu reducedoitu mahdollisimman tarkasti pois käyttäen fysikaalisia malleja, apuhavaintoja (esim. ilmanpaine) ja keskiarvostamista (esim. havaintosarja 24 h). Putoamiskiihtyvyyden ja painovoimanmittauksen metrologiaa voidaan tarkastella kahdesta näkökulmasta: putoamiskiihtyvyys apusuurena muissa mittauksissa tai itsenäisenä suurena. Esimerkiksi putoamiskiihtyvyyden paikallisen arvon tunteminen riittävällä tarkkuudella on tärkeässä asemassa tarkkoja paineen tai massan mittauksia tehtäessä.

Kovuusmittaukset ovat tärkeä osa metalliteollisuuden tuotteiden ja kunnossapidon laadunvalvontaa. Kovuudelle ei ole SI-yksikköä eikä perusmittanormaalia, johon mittalaitetta voitaisiin verrata. 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 sillä hetkellä. Kovuustyöryhmän tekemään kyselyyn vastanneiden yksimielinen käsitys oli, että kovuusmittaustoiminnan volyymissä on odotettavissa vain lievää kasvua. Työryhmä kuitenkin suositteli, että Mittatekniikan keskus nimeäisi kovuuden referenssilaboratorion ja takaisi sille resurssit kalibrintikovuusmittareiden ylläpitämiseen käytetyimmille asteikoille. - Referenssilaboratoriota ei ole nimetty.

2.2 Massasuureiden metrologia Suomessa

2.2.1 Akkreditoidut kalibrintipalvelut

Tarkasteltavista suureista massan, paineen ja voiman alueilla toimii akkreditoituja kalibrintilaboratorioita.

Punnusten kalibrointiin on kaksi akkreditoitua laboratoriota. Punnusten kalibrintilaboratorioiden mitta-alue alkaa 1 mg:sta ja ulottuu 5000 kg:aan. Laboratoriot pystyvät kalibroimaan OIML R111 luokan E₂ mukaisesti punnuksia 500 g ja 2 kg asti. Nykyinen kalibrintitarkkuus on riittävä useimpiin kalibrointeihin.

Vaakojen kalibrointiin on neljä akkreditoitua laboratoriota. Mitta-alue ulottuu 1 mg:sta 150 tonniin. Kuormaan 100 000 kg asti paras mitta-alue on $1 \cdot 10^{-5} \cdot m$. Mittauserävarmuus on parhaimmillaan 0,003 µg (1 mg - 50 mg). Mitta-alueet ja mittauserävarmuudet kattavat käytännössä käyttäjien tarpeet.

Massasta annetaan vuosittain noin 6000 akkreditoitua kalibrintitodistusta, näistä suurin osa annetaan vaa-ille.

Tiheyden kalibrointeihin ei ole akkreditoituja kalibrintilaboratorioita. **Punnitsemalla määritetyille astioiden tilavuuksille** on kaksi akkreditoitua kalibrintilaboratoriota. Jäljitettävyyden näihin mittauksiin tulee massasta ja tislattun veden tiheydestä.

Paineen kalibrointiin on viisi kalibrointilaboratoriota, joista kaksi on paineen mittalaitteiden valmistajia. Laboratorioiden normaalit ovat tyypillisesti painevaakoja. Vain yhdellä laboratoriolla on akkreditointi tyhjiöalueelle, jossa sen normaalit ovat kapasitiivisia antureita. Akkreditoituissa laboratorioissa kalibroittavat paineen mittausrakenteet ovat tyypillisesti työnormaaleja.

Paineen kalibrointilaboratoriot antavat vuosittain noin 3000 kalibrointitodistusta.

Voiman osalta Suomessa on kaksi akkreditoitua kalibrointilaboratoriota, jotka tekevät lähinnä aineenkoetuskoneiden kenttäkalibrointeja. **Vääntömomentille** ei toistaiseksi ole yhtään akkreditoitua kalibrointilaboratoriota.

Voimalle annetaan vuosittain yli 600 akkreditoitua kalibrointitodistusta.

Kovuusmittareiden varmentamiseen ja kalibrointiin on Suomessa yksi akkreditoitu kalibrointilaboratorio. Se saa jäljitettävyytensä kovuuspaloista. Kovuudelle annetaan vuosittain noin 120 akkreditoitua kalibrointitodistusta.

Akkreditoituja testauslaboratorioita kovuudelle on viisi kappaletta (kesäkuu 2006).

2.2.2 Kansallisten mittanormaallilaboratorioiden kalibrointipalvelut

Massan, tiheyden ja paineen kansalliset mittanormaallilaboratoriot ovat MIKESissä. Voiman ja vääntömomentin kansallista mittanormaalityötä hoitaa sopimuslaboratorio Lahti Precision (ent. Raute Precision). Putoamiskiihtyvyyden kansallisena mittanormaallilaboratoriona toimii Geodeettinen laitos (GL). Kovuudelle ei ole kansallista mittanormaallilaboratoriota.

Massalaboratoriossa ylläpidetään kansalliseen mittanormaaliin perustuvaa massa-asteikkoa alueella 1 mg - 50 kg. Se saa massan jäljitettävyyden kansainvälisestä mitta- ja painotoimistosta (BIPM). Nykyiset mittausrakenteet mahdollistavat OIML:n luokan E₁ punnusten kalibroinnin OIML R111 ohjeen mukaisesti alueella 1 mg - 20 kg.

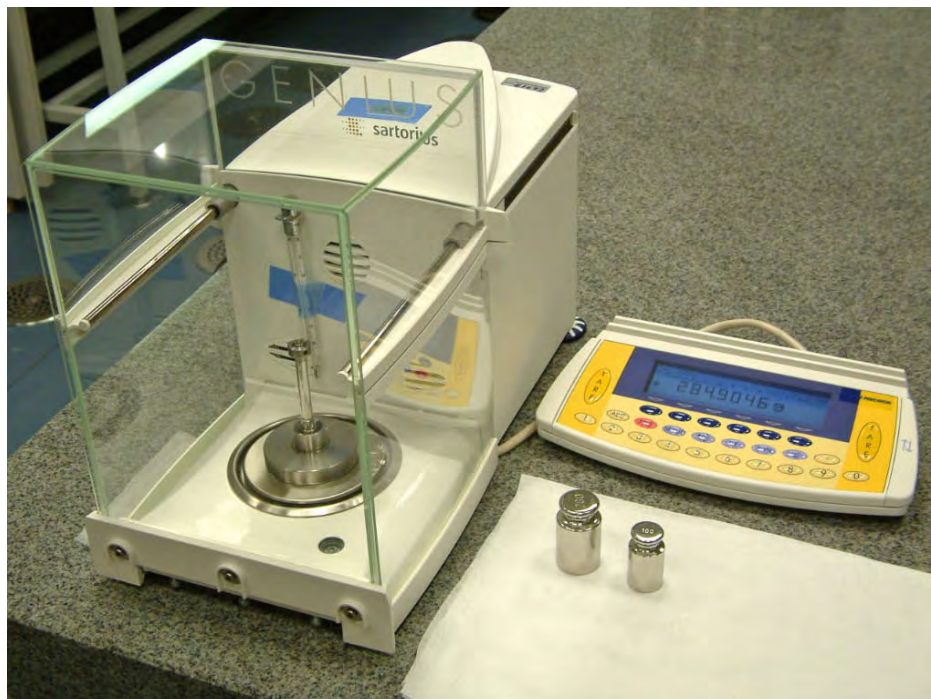
Tiheyskalibroinneissa nesteiden ja kiinteiden kappaleiden tiheys määritetään punnittamalla. Referenssinä on joko puhdas vesi tai piipallo. Piipallojen tiheyden jäljitettävyyttä saadaan veden tiheydestä, PTB:ltä tai METASista. Tiheyden mittaustarkkuus (0,0005 % - 0,1 %) on riittävä tiheysnormaalien ja värähtelyyn perustuvien tiheysmittareiden kalibrointiin.

MIKES antaa vuosittain noin 100 punnusten ja 10 tiheyden kalibrointitodistusta.

Paineen mittausalue alkaa absoluuttipainealueen 0,0005 pascalista ja ulottuu 500 megapascalisiin. Alueen 5 kPa - 500 MPa mittanormaalit ovat perinteisiä painevaakoja. Jäljitettävyyttä haetaan viidelle mäntä-sylinteriyhdistelmälle LNE:ltä Ranskasta.

Absoluuttipainealueella 0,0005 Pa - 0,5 Pa MIKESin referenssinormaali on spinning rotor -tyyppinen tyhjiömittari ja alueella 0,5 Pa - 20 Pa kapasitiivinen anturi, joille jäljitettävyyttä haetaan PTB:ltä Saksasta. Absoluuttipainealueella 20 Pa - 15 kPa ja ylipainealueella 0 - 15 kPa referenssinormaalina käytetään numeronäyttöistä FPG-painevaakaa, jonka tehollinen pinta-ala voidaan määrittää MIKESissä perinteisen painevaa'an avulla.

Paineen mittalaitteiden kalibroinneista annetaan vuosittain noin 150 todistusta. MIKE-Sin painelaboratorion normaali ylläpito- ja kehitystoiminta, välttämättömät kansainväliset yhteydet sekä palvelutoimeksiantojen hoitaminen ovat viime vuosina vaatineet 2 tutkijan työpanoksen.



Kuva 2.1. Painevaa'an männän massan mittaaminen.

Voimanormaaleilla tehtävät kalibroinnit hoidetaan kaikki sopimuslaboratoriossa Lahti Precisionilla. Laboratorion nykyinen voima-alue on 1 N - 1 MN, jolla täytetään lähes 100 % kansallisesta kalibrointitarpeesta. Vain noin 5 % laitteista joudutaan kalibroimaan muualla (voima > 1,1 MN).

Väntömomentin mittausalue sopimuslaboratoriossa Lahti Precisionilla on 0,1 N · m – 20 kN · m. Lähes kaikki kalibrointitarpeet pystytään hoitamaan olemassa olevalla mittausalueella. Vain muutamia kyselyjä on tullut alueelle 50 kN · m - 200 kN · m.

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

Putoamiskiihtyvyyden alueella noin 80 % asiakkaista on mekaanisten suureiden kansallisia mittanormaallilaboratorioita tai akkreditoituja kalibrointilaboratorioita. Laboratorion julkista infrastruktuuria, lähinnä 1 lk. painovoimaverkkoa ja relatiivigravimetriä kalibrointilinjoja, käyttävät jatkuvasti ne noin 10 organisaatiota, jotka maassamme tekevät painovoiman mittauksia.

Putoamiskiihtyvyydestä annetaan keskimäärin 1 kalibrointitodistus vuodessa.

2.3 Kansainvälinen toiminta

Kansainvälisiä yhteyksiä ylläpidetään osallistumalla esimerkiksi EUROMETin massasuureiden työryhmän toimintaan. Toimintaan osallistutaan sekä MIKESin että sopimuslaboratorio Lahti Precisionin taholta. Lisäksi yhteyksiä pidetään aktiivisesti yllä muihin kansallisiin mittanormaallilaboratorioihin, mm. vertailumittausten merkeissä. Jäljitettävyyden kannalta tärkeimmät yhteydet ovat tällä hetkellä LNE (Ranska) ja PTB (Saksa), lisäksi mainittakoon esimerkiksi NPL (Englanti), SP (Ruotsi), CMI (Tšekki) ja NMI (Hollanti).

EUROMETissä ei ole putoamiskiihtyvyyden yhteistyötä, mutta CIPM:n massasuureiden konsultoivassa komiteassa toimii gravimetrian työryhmä (CCMWGG), jossa Geodeettinen laitos edustaa Suomea. Geodeettinen laitos edustaa Suomea myös IAG:n työryhmässä 2.1 "absoluuttigravimetrien vertailu" (IAG SG2.1). Lisäksi Geodeettisella laitoksella on kahden- ja monenkeskistä yhteistyötä absoluuttigravimetriassa useimpien Euroopassa toimivien ryhmien kanssa. Painovoiman aikavaihtelun tutkimisessa Geodeettinen laitos osallistuu mm. GGP-hankkeeseen (Global Geodynamics Project).

Kansainvälistä vertailukelpoisuutta pidetään yllä vertailumittausten avulla. Laboratorioiden tärkeimmistä vertailuista esimerkkeinä mainittakoon:

- MIKESin massalaboratorion osalta esimerkiksi 50 kg punnusten vertailu (EUROMET 832, v. 2004-2006) ja punnusten 100 mg - 10 kg avainvertailu (EUROMET.M.M-K2, v. 2003),
- tiheyden osalta nesteiden tiheysvertailu (EUROMET 627, v. 2001),
- MIKESin painelaboratorion osalta useita avainvertailuja, joista viimeisimpinä kaasun ylipainealueen 80 kPa - 7 MPa vertailu (EUROMET 439, alkoi v. 2000) ja öljyn ylipainealueen 50 MPa - 500 MPa vertailu (EUROMET 881, v. 2006),
- Lahti Precisionin osalta esimerkiksi vääntömomentin EA-T2 vertailumittaus (v. 2000) ja 500 kg punnuksen vertailu (EUROMET.M.M-S1, v. 2000) ja
- Geodeettisen laitoksen osalta esimerkiksi absoluuttigravimetrien vertailut BIPM:ssä (viimeisin v. 2005, avainvertailun pilottityö) ja ECGS:n (European Center for Geodynamics and Seismology) järjestämä vertailu Walferdangessa (Luxemburg, v. 2003).

Laboratoriot sijoittuvat mittauskykynsä puolesta kansainväliseen kenttään kohtuullisen hyvin. Voiman alueella laboratorion mittauskyky on kansainvälisesti hyvä, vain suurten voimien (1 MN - 5 MN) puuttuminen aiheuttaa tarpeen käyttää ulkomaisia kalibrointipalveluja. Vääntömomentin mittauksen osaaminen ja laitteisto on eurooppalaisittainkin korkeatasoista ja ainoa Pohjoismaissa. Massan nykyiset epävarmuudet eivät merkittävästi poikkea muiden vastaavien Euroopan maiden epävarmuuksista; epävarmuudet ovat n. 2-3 kertaa suurempia kuin esim. NPL:llä ja PTB:llä. Nykyinen epävarmuustaso on kysyntään nähden riittävä. Painelaboratorion paras mittauskyky on vähintään eurooppalaista keskitasoa ylipainealueella ja absoluuttipainealueella yli 20 Pa. Tosin absoluuttipaineilla alle 0,5 Pa MIKESin epävarmuus on melko suuri, ja useiden eurooppalaisten laboratorioiden mittausalue ulottuu alemmas kuin MIKESin nykyinen alaraja 0,0005 Pa. Putoamiskiihtyvyyden osalta voidaan todeta, että Geodeettisen laitoksen nykyinen absoluuttigravimetri FG5 no. 221 edustaa alan korkeinta mittaustarkkuutta, ja Metsähövin suprajohtava gravimetri-installaatio on yksi GGP:n parhaista.

2.4 Yleiset kehitysnäkymät

Massasuureisiin (kuten muihinkin suureisiin) liittyviä tutkimus- ja kehitystarpeita on kartoitettu EUROMETin iMERA-ohjelman yhteydessä. MIKES on ollut mukana tässä työssä. Laajaa kansainvälistä panostusta vaativien kehityshankkeiden lisäksi on nähtävissä myös useita kansallisen tason kehittämistarpeita:

Tarkimpien punnusten kalibroinnit: Tarkimpia punnuksia tarvitaan mm. vaakojen, punnusten, painevaakojen punnusten ja voimanormaaleissa käytettävien punnusten kalibrointiin. Suurimmat tarkkuusvaatimukset ovat alueella 1 mg - 10 g. Erityisesti tällä alueella OIML luokan E₁ mukaisten punnusten kalibrointitarve tulee kasvamaan.

Tarkimpien vaakojen kalibroinnit: 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 on tehnyt vaakojen kalibrointiohjeen EA-10/18, jonka toivotaan yhtenäistävän erityisesti vaakojen kalibroinnin epävarmuuden laskentaa. Automaattisten vaakojen kalibrointi on vielä vähäistä.

Tiheyskalibroinnit ja pipettien kalibroinnit: Tiheyden kalibrointien määrä MIKESissä on pysynyt vähäisenä. Erityisesti nesteiden tiheyskalibrointien kysynnän uskotaan värehtelyyn perustuvien tiheysmittareiden yleistyessä kasvavan. Myös tarkkuusvaatimukset (0,001 % - 0,01 %) kasvavat. Pienten tilavuuksien kuten pipettien kalibrointitarve tulee kasvamaan.

Kilogramman määritelmä: Kilogramman määritelmä tullaan todennäköisesti muuttamaan vuonna 2011. Uusi määritelmä tulee perustumaan luonnonvakioihin. Kilogramma tullaan realisoimaan tyhjiössä. Kilogramman realisointimenetelmien kehittäminen ja tyhjiö/ilma-punnitusten toistettavuuden parantaminen tulevat olemaan merkittävimpiä tutkimuskohteita suunnittelukaudella.

Painevaa'an tehollisen pinta-alan määrittäminen dimensiomittauksin: Riippuvuutta ulkomaisista painelaboratorioista voidaan vähentää määrittämällä painevaa'an tehollinen pinta-ala dimensiomittausten avulla. MIKESillä on 50 mm ja 35 mm halkaisijaiset mäntä-sylinteriyhdistelmät, jotka sen pituuslaboratorio lähiaikoina pystyy mittaamaan niin, että tuloksista laskettu tehollisen pinta-alan arvo on vertailukelpoinen Ranskasta saatavan painevertailuun perustuvan arvon kanssa.

Tyhjiöalueen mittaukset: Vuonna 2004 Suomen teollisuudelle ja tutkimuslaitoksille järjestetty tyhjiön mittauksia koskeva kysely ei tuonut esiin kehitystarpeita. Kuitenkin elektroniikkateollisuuden kehitys ja suomalaisyritysten lisääntyvä osallistuminen avaruustutkimushankkeisiin lisää tyhjiöalueen mittauksia ja kalibrointeja ja ilmeisesti asettaa uusia vaatimuksia MIKESin mittauskyvyille.

Dynaamiset paineen mittaukset: Dynaamiset paineen mittaukset ovat tulevien vuosien haasteita. Jäljitettävyyttä dynaamiselle paineelle tarvitsevat puolustusvoimien ja ase-teollisuuden ohella myös mm. dieselmoottoreiden ja pumppujen valmistajat. Aihepiiriin kehittäminen on todettu tärkeäksi myös EUROMETin iMERA-ohjelmassa.



Kuva 2.2. Painevaa'an mäntä-sylinteri-yhdistelmä.

Dynaamiset voiman ja vääntömomentin mittaukset: Kiinnostus ja tarve dynaamisiin mittauksiin ja niihin liittyvä dynaaminen kalibrointi ovat selkeästi kasvussa. Dynaamisesta mittauksesta ovat metrologian laitokset toteuttaneet useitakin projekteja, kuitenkin enemmän teoreettisella tasolla. Käytännössä tutkimustyötä on tehnyt voiman alueella lähinnä PTB Saksassa, mutta sekään ei ole johtanut vielä rutiininomaiseen dynaamiseen kalibrointiin. Tutkimus on kuitenkin osoittanut, että eroja löytyy staattisen ja dynaamisen kalibroinnin välillä. Vastaava kehitystarve tulee olemaan vääntömomentin osalta, mutta toistaiseksi ei tiettävästi kukaan ole aloittanut konkreettisesti tätä tutkimusta.

Voiman monikomponenttimittaukset: Monikomponenttimittausta on voiman suhteen tehty jo aika kauan, mutta kovin vahvaa esilletuloa tarvittavasta kalibrointikyvystä ei ole ollut. Tälläkin alueella on selvästi nähtävissä tarpeiden kasvu ja kysynnän lisääntyessä siihen tulisi voida vastata.

Pienten ja suurten voimien kalibroinnit: Voiman alueella kiinnitetään huomiota pienten voimien kalibrointimahdollisuuteen ja ensi vaiheessa kartoitetaan mN tai μN tasolla olevan voiman normaalin toteuttamista. Kentältä on esitetty toiveita myös alueen 1 MN - 3 MN kalibrointien kotimaisesta saatavuudesta. Tästä laboratorio on tehnyt alustavan suunnitelman, jonka toteutusta lähitulevaisuudessa harkitaan.

Vääntömomentin kalibroinnit: Vääntömomentin osalta peruslaitteistojen uudistaminen on saatu valmiiksi ja alueella 100 N · m - 2 kN · m paras mittauskyky on $< 8 \cdot 10^{-5}$ ja alueella $< 100 \text{ N} \cdot \text{m}$ paras mittauskyky on $< 5 \cdot 10^{-5}$. Vääntömomentin mittauksessa on myös tarvetta saada aikaan normaali pienille momenteille. Riippuen kysynnän kehitymisestä, on mahdollista, että toteutukseen tulee joidenkin vuosien sisällä myös parhailta mittauskyvyltään luokkaa 0,5 % oleva 200 kN · m kalibrointilaite.

Putoamiskiihtyvyyden aikavaihtelun mallintaminen: Geodeettisen laitoksen nykyisellä absoluuttigravimetrillä päästään mittausepävarmuuteen, joka on parempi kuin $8 \cdot 10^{-9} \cdot g$. Putoamiskiihtyvyys annetulla paikalla on kuitenkin ajasta riippuva suure, jonka vaihteluväli on noin $4 \cdot 10^{-7} \cdot g$. Kaikkiin metrologisiin hankkeisiin ei voida liittää jatkuvia putoamiskiihtyvyyden havaintoja, joten aikavaihtelu on tarvittaessa ennustettava lähtien mitatusta painovoima-arvosta. Pääosa vaihtelusta onkin helposti mallinnettavissa, mutta pyrittäessä ennustamaan hetkellisiä arvoja paremmin kuin $1 \cdot 10^{-8} \cdot g$ vaaditaan erityistä huolellisuutta ja apuhavaintoja (esim. ilmanpaine, paikallinen hydrologia jne.).

Kun tarkastellaan putoamiskiihtyvyyttä apusuurena, riittää suunnitelmajaksolla edelleen useimpiin mekaanisten suureiden mittauksiin putoamiskiihtyvyyden epävarmuus $1 \cdot 10^{-6} \cdot g$, jolloin putoamiskiihtyvyyden aikariippuvuutta ei tarvitse ottaa huomioon. Toiteutuessaan kilogramman realisointihanke edellyttää putoamiskiihtyvyydeltä mittaus-epävarmuutta $1 \cdot 10^{-8} \cdot g$.

Painovoiman käytössä itsenäisenä suurena geodesiassa ja geofysiikassa on aikavaihtelun eri komponenttien mallintaminen vieläkin kriittisempää. Pääasiallinen työkalu tässä tutkimuksessa on Metsähovin painovoimalaboratorion suprajohdava gravimetri GWR T020. Painovoimasatelliitti GRACE mittaa laajojen alueiden keskimääräisiä massavaihteluja (esim. vuotuiset hydrologiset syklit); niiden tulkinta ja yhdistäminen painovoiman vaihtelun pistemittauksiin on haastava tehtävä, jota GL tulee suunnitelmakaudella jatkamaan ja kehittämään.

Summittaiset putoamiskiihtyvyyden arvot: Esimerkiksi vaakoja varten riittää usein putoamiskiihtyvyyden epävarmuus $1 \cdot 10^{-5} \cdot g$. Tällöin ei tarvita mittausta, mutta myöskään pelkkä normaalipainovoiman laskukaava ei kelpaa. Geodeettinen laitos tulee tarjoamaan käyttäjille mahdollisuuden noutaa internetin kautta riittävän tarkkoja arvioita putoamiskiihtyvyydelle.

I lk:n verkon epävarmuuden pienentäminen: Markkinoille on tullut kannettavia absoluuttigravimetrejä, joiden tarkkuus ja maastokelpoisuus ovat lähes samat kuin relatiivigravimetricien. Absoluuttigravimetrit ovat kuitenkin huomattavasti kalliimpia ja kömpelömpiä käyttää. Siten relatiivimittaus lähtien tunnetuista pisteistä on edelleen tärkein menetelmä mitata painovoiman vaihtelua paikasta toiseen. Geodeettisen laitoksen 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 $0,6 \mu\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ pyritään suunnitelmakaudella vähintään puolittamaan.

”Nollannen luokan verkko”: Suunnitelmakaudella jatketaan ”nollannen luokan verkon” eli absoluuttiverkon mittausta. Siinä on 12 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 käyttäjällyttymä. Maannousun tutkimusta jatketaan myös ns. maannousupainovoimalinjoilla (havaintosarjoja vuodesta 1966). Niillä ollaan siirtymässä relatiivimittauksista absoluuttimittaukseen.

Gravimetrin nykyaikaistaminen: Metsähovin suprajohdavan gravimetrin GWR T020 elektroniikkaa ja tiedonkeruuta on äskettäin nykyaikaistettu. Suunnitelmakauden lopulla on uusittava suurelta osin myös itse gravimetri. Paikallisten painovoimaefektien mal-

littämiseksi on Metsähovin hydrologista ja meteorologista havaintovarustusta jatkuvasti kehitettävä.

Putoamiskiihtyvyyden potentiaali ja kellojen taajuus: Suunnitelmakauden aikana kellojen taajuusstabiilisuus saattaa tulla paremmaksi kuin 10^{-16} . Taajuus riippuu yleisen suhteellisuusteorian mukaan putoamiskiihtyvyyden potentiaalista W , joka on ajan ja paikan funktio. W :n muutos $10 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$ (korkeudessa 1,02 m) aiheuttaa taajuuden muutoksen $1,1 \cdot 10^{-16}$. Vuoksi-ilmion ajallisesti vaihteleva potentiaali on samaa luokkaa. Geodeettisella laitoksella on tällä hetkellä valmiudet antaa W (verrattuna IAU:n impliittisesti sopimaan referenssipotentiaaliin W_0) epävarmuudella, joka vastaa $0,3 \cdot 10^{-16}$ taajuudessa. Suunnitelmakaudella on odotettavissa huomattavaa parannusta, erityisesti jos ESA:n painovoimasatelliittihanke GOCE onnistuu.

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

2.5 Tavoitteet vuosille 2007-2011

Massan osalta tärkeimpänä kalibrointitoiminnan kehityskohteenä on uuden 10 kg **massakomparaattorin hankkiminen** vanhentuneiden komparaattoreiden tilalle. Mahdollisesti myös muita komparaattoreita joudutaan uusimaan.



Kuva 2.3. MIKESin massalaboratorio.

Mahdollisia tutkimushankkeita ovat **tyhjiöpunnitukset, pinnoitettujen punnusten tutkiminen, tiheysartefaktien käyttö ilman ja muiden kaasujen tiheyden määrittämisessä sekä suprajohtavaan levitointiin perustuvan kilogramman realisointimenetelmän kehittäminen**. Näistä kilogramman realisointihanke edellyttää ulkopuolista rahoitusta.

Tiheydessä kehitetään edelleen **nesteidien tiheyksien kalibrointilaitteistoa ja kiinteiden kappaleiden kalibrointilaitteistoja**. Tavoitteena on pienentää tiheyden mittausepävarmuutta. Kiinteiden kappaleiden tiheyksien kalibrointiepävarmuudessa pyritään suhteelliseen mittausepävarmuuteen $3 \cdot 10^{-6}$.

Kehityshanke paineen jäljitettävyyden johtamiseksi **mäntä-sylinteriyhdistelmien dimensiomittauksista** on käynnissä vuonna 2006. Tulokset ovat tärkeitä Ranskasta saatavien tehollisen pinta-alan arvojen varmennuksen kannalta alueella 5 kPa - 5 MPa, jolla tehollista pinta-alaa voidaan pitää paineesta riippumattomana.

Primääritason laitteiston hankkiminen tyhjiöalueen laajentamiseksi ja mittausepävarmuuden pienentämiseksi edellyttäisi suuria laiteinvestointeja ja laitteiston ylläpito merkittävää työpanosta. Kalibrointipalvelujen saatavuudesta pyritään huolehtimaan taloudellisemmin alemman tason normaalien ja pohjoismaisen tai eurooppalaisen yhteistyön avulla. Sama pätee dynaamisen paineen kalibrointeihin, joiden alueella MIKES ei tällä hetkellä pysty tarjoamaan palveluja lainkaan, eikä Suomessa ole myöskään niille akkreditoituja laboratorioita. Dynaamisen paineen mittausten osalta resurssi- ja jäljitettävyystarvekartoitus käynnistyy vuonna 2007.

Kun volyymin kasvattaminen ei lähivuosina ilmeisesti ole mahdollista, pyritään mittaus-työn tehostamiseen automatisoinnin avulla. Hankintasuunnitelmissa on **painegeneraattori** kaasunpaineille ja **tietokoneohjattu punnustenvaihdin** painevaaioille.

Voiman osalta **suurten voimien kalibroinnin kehittämiseen** on tarvetta. Lisäksi tutkimuskohteena ovat **monikomponenttianturit**, joita käytetään esimerkiksi robottitekniikassa. Sekä voiman että vääntömomentin osalta tullaan kiinnittämään huomiota **dynaamisiin mittauksiin ja kalibrointeihin**.

Putoamiskiihtyvyyden alueella on suunnittelujaksolla tavoitteena seuraavanlaisia kehityshankkeita: kalibrointipalveluun ja geodesian ja geofysiikan tutkimukseen liittyen **absoluuttiverkon mittauksen jatkaminen**, I luokan **painovoimaverkon päivitys** kalibrointipalvelun parantamiseksi, **suprajohtavan gravimetrin uusiminen**, **painovoiman ajallisen vaihtelun tutkiminen**, sekä **painovoimasatelliittien ja pistemittausten tulosten yhdistäminen ja tulkinta**.

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

Koulutukseen ja asiantuntijapalveluihin tullaan panostamaan myös jatkossa, mm. osallistamalla aktiivisesti MIKESin, MNK:n ja AEL:n massasuureita käsittelevien kurssien järjestämiseen sekä kursseilla luennoimiseen. Asiakkaita neuvotaan mittauksiin ja kalibrointeihin liittyvissä kysymyksissä esille tulevan tarpeen mukaan.

2.6 Lähdeluettelo

Rantanen, M., Semenoja, S. Tyhjiön mittauksia koskeva kysely, Yhteenveto tuloksista. Helsinki. MIKES Metrologia. 2004. 7 s.

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

www.finas.fi. Akkreditoitdut toimielimet.

3 Lämpötilasuureet

Tiivistelmä

Kansallinen mittanormaalityömittä MIKESissä kattaa tällä hetkellä lämpötilakalibrointien osalta lämpötila-alueen $-196\text{ °C} \dots 1550\text{ °C}$. Kosteuskalibrointeja suoritetaan kastepistelämpötila-alueella $-80\text{ °C} \dots 84\text{ °C}$ ja suhteellisen kosteuden alueella $10\text{ \%rh} \dots 95\text{ \%rh}$ lämpötiloissa $-20\text{ °C} \dots 85\text{ °C}$. Suurealueen akkreditoituja kalibrointilaboratorioita oli v. 2006 alussa 4 kpl. Ne pystyvät kalibroimaan koskettavia lämpötila-antureita nestetyypen kiehumispisteessä ja välillä $-100\text{ °C} \dots 1100\text{ °C}$ hauteissa ja uuneissa. Yhden laboratorion pätevyysalueeseen kuuluu myös kosteus kattaa alueen $0,1\text{ \%rh} \dots 98\text{ \%rh}$ (23 °C).

MIKESin kansainvälinen toiminta lämpötilan suurealueella on aktiivista ja sillä on merkittävä rooli myös tulevaisuudessa. Tutkimus- ja kehitystoiminnalla parannetaan palvelua, jolla siirretään jäljitettävyyttä ja mittaamiseen liittyvää osaamista MIKESistä yrityksiin ja laitoksiin. Vuosina 2007-2011 tutkimus- ja kehitystoiminnan painopistealueina ovat säteilylämpötilan mittaus, kryogeeninen lämpötila-alue, lämmön siirtyminen mittauskohteissa, kosteuden vertailumenetelmät, eri kaasut kosteuskalibroinneissa sekä kylläisen vesihöyryn paine. Näistä useimmat sisältävät sekä perustutkimusta että välittömästi teollisuutta hyödyttävää kehitystoimintaa. Panostusta tutkimukseen ja asian- tuntijapalveluihin lisätään.

3.1 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, pituutta, 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.

3.2 Lämpötilasuureiden metrologia Suomessa

3.2.1 Kalibrointipalvelu

Lämpötilan suurealueen kansallinen mittanormaalityömittä pitää sisällään MIKESin ylläpitämät lämpötilan ja kosteuden KML:t sekä neljä lämpötilakalibrointeihin akkreditoitua laboratoriota. Akkreditoitujen laboratoriot eivät tällä hetkellä pysty kalibroimaan infrapunalämpömittareita. Yhden akkreditoitujen laboratorion (K008) pätevyysalue kattaa myös suhteellisen kosteuden mittarien kalibroinnin:

1. K004 Inspecta Oy
2. K008 Vaisala Oyj

3. K025 Satakunnan ammattikorkeakoulu TempCenter
 4. K046 VMH Heikkilä Oy.

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, terveydenhuolto jne.

MIKES ylläpitää primäärinormaaleja lämpötilan ja kosteuden kansallisina mittanormaalina. Tällä hetkellä KML:n kalibrointitoiminnassa käytettävät laitteistot ovat:

Lämpötila:

ITS-90 -asteikko toteutetaan määritelmänsä mukaisesti kiintopistekenoilla ja platinavastusantureilla sekä pyrometrillä.

Kiintopisteissä kalibroidaan platinavastusantureita (25 Ω, 10 Ω ... 0,25 Ω) alueella -189 °C ... 962 °C. Kalibroinnin epävarmuus on 0,2 mK ... 10 mK.

Lämpötilan 962 °C:n yläpuolella toteutetaan asteikko pyrometrillä ja mustan kappaleen säteilijöiden avulla. Mustan kappaleen muotoisia kiintopistekenoja on välillä 156 °C ... 1085 °C. Kalibroinnin epävarmuus on 0,03 K ... 2 K.

Muu kalibrointipalvelu:

Kiintopistekennot termoelementeille 232 °C ... 1085 °C

Kalibroinnin epävarmuus 0,2 K ... 0,4 K

Mustan kappaleen säteilijät säteilylämpömittareille, -40 °C ... 1500 °C

Kalibroinnin epävarmuus 0,1 K ... 2 K

Vertailukalibrointihauteet ja heat pipe -uunit, -196 °C ja -80 °C ... 660 °C

Kalibroinnin epävarmuus 0,005 K ... 0,01 K

Vertailukalibrointiuuni termoelementeille, 500 °C ... 1550 °C

Kalibroinnin epävarmuus 0,6 K ... 2,6 K.

Kosteus:

Kosteusmittausten jäljitettävyyden perustana on kosteusgeneraattoreilla toteutettava kastepistelämpötila-asteikko.

Optisia kastepistemittareita kalibroidaan kastepistegeneraattoreilla alueella -80 °C ... 84 °C kalibroinnin epävarmuuden ollessa 0,05 °C ... 0,2 °C.

Suhteellisen kosteuden mittareita kalibroidaan useilla eri kalibrointilaitteistoilla mitta-alueella 10 %rh ... 95 %rh (-20 °C ... 85 °C). Kalibroinnin epävarmuus on 0,1 %rh ... 2,0 %rh riippuen alueesta ja laitteistosta.

Lisäksi kehitteillä on laitteisto, jolla voidaan kalibroida samanaikaisesti laitteen paine-, lämpötila- ja kosteusnäyttämä.

3.2.2 Tutkimus

Tällä hetkellä lämpötilamittauksiin liittyvä tutkimustoiminta MIKESissä kohdistuu lämpötila-asteikon äärialueille:

- Yhteistyössä MIKES TTK Mittaustekniikan kanssa verrataan ITS-90 ja absoluuttiseen radiometriin perustuvia mittanormaaleja toisiinsa.
- MIKES kehittää yhdessä TTK Kylmälaboratorion kanssa CBT-lämpömittaria asteikon realisointiin lämpötila-alueella alle 1 K.

Kosteusmittauksiin liittyvä tutkimustoiminta sisältää tällä hetkellä erityyppisten mittalaitteiden tutkimusta, vertailumittausmenetelmien kehittämistä sekä vesihöyryn olomuodonmuutoksiin ja diffuusioon liittyvää tutkimusta.

3.3 Kansainvälinen toiminta

Yhteistyökanavat

Merkittävin kansainvälisen yhteistyön kanava on EUROMET, jonka lämpötilan asiantuntijatyöryhmän toimintaan MIKES osallistuu aktiivisesti. MIKESin edustaja on EUROMET Humidity Sub-fieldin puheenjohtaja. EUROMET-projekteissa MIKES toimii sekä osallistujana että koordinaattorina. MIKES koordinoi yhtä EUROMETin avainvertailua. MIKES on avustanut CCT:n työryhmiä (WG6/kosteus ja WG8/CMC).

MIKESin edustaja on osallistunut jäsenenä TEMPMEKO- ja ISHM-konferenssien kansainvälisten teknillisten komiteoiden toimintaan.

MIKESillä on kalibrointiasiakkaita Tanskasta, Ruotsista, Espanjasta, Italiasta, Virossa, Turkista ja Etelä-Afrikasta. Muuta asiantuntijayhteistyötä on tehty EUROMETin ulkopuolisten KML:ien kanssa Etelä-Afrikassa (CSIR), Japanissa (NMIJ) ja Uudessa-Seelannissa (Industrial Research Ltd). Viime vuosina on tehty kalibrointi- ja vertailulaitteisiin liittyvää yhteistyötä usean ulkomaisen yrityksen kanssa (Sveitsi, Saksa, USA). Koulutusta on annettu seminaarin sekä räätälöidyn koulutuksen kautta muiden maiden KML:ille.

Vertailumittaukset

MIKES on osallistunut useisiin lämpötilan vertailumittauksiin. Kaikki kiintopistekennot argonista kupariin on verrattu Euroopan KML:ien kennoihin hyvällä menestyksellä. MIKES osallistui myös EU:n rahoittamaan TRIRAT-hankkeeseen, jossa tutkittiin säteilylämpömittarien kalibrointia.

Vuosina 1995-1997 toteutettiin EU:n rahoittamana kosteuden suurealueella ensimmäinen monenkeskinen vertailu, johon myös MIKES osallistui. MIKES on koordinoit useita kahdenvälistä vertailuja sekä kahta laajempaa vertailua. Näistä viimeisin on EUROMET-alueen avainvertailu, joka on vielä käynnissä. MIKES osallistuu myös maailmanlaajuiseen CCT-K6 -avainvertailuun.

Tiedonhankinta

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

Sijoittuminen kansainväliseen kenttään

MIKESin ja TKK:n yhteistyönä tehtävät lämpötilan tutkimushankkeet ovat saaneet kansainvälistä huomiota. Ne ovat omilla kapeilla sektoreillaan kansainvälisesti merkittäviä.

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

3.4 Yleiset kehitysnäkymät

Lämpötila

Mittanormaalityönnän osalta merkittävimmät tutkimushankkeet maailmalla tähtäävät lämpötilan yksikön määritelmän kiinnittämiseen Boltzmannin vakioon sekä ITS-lämpötila-asteikon parantamiseen. Tätä varten on käynnissä useita hankkeita sekä Boltzmannin vakion arvon määrittämiseksi entistä tarkemmin että lämpötilayksikön määrittämiseksi sen avulla.

Lämpötila-asteikon yläosaa (yli 1000 °C) parannetaan ottamalla käyttöön mm. eutektisia kiintopisteitä sekä kehittämällä säteilylämpötilan mittausmenetelmiä. Absoluuttiradiometristen mittausmenetelmien käyttö lämpötilan mittanormaalien rinnalla lisääntyy. Lämpötila-asteikon alaosassa (alle 25 K) etsitään vaihtoehtoja vaikeakäyttöisille kaasulämpömittareille mm. kohinalämpömittareista. Erityisesti alueella alle 1 K eri tutkimusryhmien saamien tulosten yhtäpitävyys on osoittautunut huonommaksi kuin arvioitujen epävarmuudet. Tämän alueen tutkimuksen eturintamassa on myös TKK Kylmälaboratorion ja MIKESin yhteinen tutkimusryhmä.

Epäpuhtauksien ja erilaisten valmistusmenetelmien vaikutus kiintopisteiden arvoihin muodostaa merkittävän tutkimusalueen ITS-lämpötila-asteikon parantamiseksi. Erityisen kiinnostuksen kohteena on luonnollisesti veden kolmoispiste, joka on lämpötilan yksikön määritelmän tämänhetkinen kulmakivi. Tutkimusmenetelmien osalta mallinnuksen merkitys kasvaa huomattavasti lähivuosina. Säteilylämpötilan mittaamista myös matalissa lämpötiloissa tutkitaan monissa projekteissa eri puolilla maailmaa.

Käyttäjätasoa koskevassa lämpötilan mittaustoiminnassa kehitys on kohdistunut erityisesti erilaisiin automaatiojärjestelmiin, langattomiin mittalaitteisiin sekä kannettaviin kalibrointilaitteistoihin. Myös säteilylämpötilan mittauslaitteet ovat kehittyneet ja yleistyneet vastaten koskettamattoman 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 mittauslaittevalmistajat panostavat voimakkaasti kehittäkseen nykyisiä joko kohtalaisen epäluotetta-

via tai vaikeakäyttöisiä mittareita käyttäjäystävällisemmiksi. Tässä kehityksessä on mukana myös Vaisala Oyj.

Vesihöyryn osapaineen (puhtaana ja sekoittuneena muihin kaasuihin) parempaan tuntemiseen tähtäävään tutkimukseen ollaan nyt panostamassa. Tähän tarvetta luovat kasvavat vaatimukset mittanormaalityönnälle alhaisissa kosteuksissa, kasvavat laatuvaatimukset erityyppisissä kaasuissa sekä ilmastotutkimukseen liittyvän mallinnuksen vaatimukset.

Lisääntyvä tarkkuustarve laajalla mittausalueella teollisuudessa (mm. mittauslaitevalmistajat) lisää tarvetta kehittää erilaisten kalibrintilaitteistojen kalibrintimenetelmiä sekä kalibrintipalvelua koskien erilaisia kaasuja. Kalibrintipalvelua tarvitaan myös korkeissa kosteuksissa (ja korkeissa lämpötiloissa).

Globaalin kaupankäynnin seurauksena vaatimukset mittanormaalien yhdenvertaisuuden osoittamiseksi kasvavat. Kuitenkin vertailumittausmenetelmät ovat olleet monessa suhteessa epätydyttäviä suhteessa mittanormaalien tarkkuuteen. Myös menetelmien soveltuvuus laajoihin vertailuihin on kosteuden osalta usein huono. MIKES onkin panostanut erityisesti vertailumittausmenetelmiä koskevaan tutkimukseen.

Ilman ja muiden kaasujen kosteuden mittaustarve on useimmiten seurausta vesimolekyylien vaikutuksesta erilaisiin materiaaleihin. Toisaalta materiaaleista mitataan tai määritetään myös suoraan niiden kosteuspitoisuuksia. Nämä menetelmät ovat vahvasti materiaali- ja menetelmäriippuvia. Materiaaleihin liittyvän kosteusmittausalan tutkimuksen merkitys kasvaa tulevaisuudessa. Myös siihen liittyvän mittanormaalityönnän oletetaan kasvavan. Oma erityisalueensa tulee muodostamaan nanoteknologian tarpeet.

Rakenteiden kosteusmittausten luotettavimmat menetelmät perustuvat ilman kosteuden mittaamiseen materiaalin sisältä, joten kalibrintipalvelua on saatavissa riittäväällä tarkkuustasolla. Kehitystarve kohdistuu erityisesti koulutukseen, mittaustulosten analysointiin, materiaalien ominaisuuksiin sekä edullisten ja käyttökelpoisten mittausten menetelmien kehittämiseen.

Yhteiset

Suomalaiset yritykset ja laitokset tarvitsevat tukea tuotekehitykseen ja tuotantoon liittyvien mittausten menetelmien ja mittausten luotettavuuden kehittämiseksi. Tätä varten mittanormaalityönnörioiden asiantuntemusta hyödynnetään mahdollisimman laajasti erilaisin yhteistyö-, kehitys- ja tutkimusprojektein sekä koulutustilaisuuksin ja muun asiantuntija-avun kautta. Kansainvälinen verkottuminen ja sen mukanaan tuoma tunnettuus on välttämätöntä kansainvälistyvässä kentässä toimiville yrityksille ja laitoksille.

3.5 Tavoitteet vuosille 2007-2011

Seuraavassa on kuvattu tärkeimmiksi katsotut tutkimus- ja kehitysalat vuosille 2007-2011. Lisäksi esitetään tavoitteita asiantuntijapalvelulle ja kansainvälisen toiminnalle.

3.5.1 Lämpötilan mittanormaalityönnän tutkimus ja kehitys

Kryogeeninen lämpötila-alue

Kehitetään Coulombin saartoon perustavaa lämpömittaria siten, että se soveltuu lämpötila-asteikkoa määritteleväksi menetelmäksi lämpötila-alueella 20 mK ... 1 K. Projekti toteutetaan TKK Kylmälaboratorion kanssa.

Parannetaan kalibrintipalvelua mittausalueella -196 °C ... -80 °C kehittämällä sopiva kalibrintilaitteisto.

Säteilylämpötilan mittaus

Tutkitaan säteilylämpötilaan perustuvia mittausmenetelmiä lämpötilakalibrintien luotettavuuden parantamiseksi mittausalueella yli 660 °C. Kehitetään eutektisia kiintopisteitä (hiilen ja metallin seos) parantamaan säteilylämpömittareiden (esim. infrapunalämpömittareiden) kalibroinnin luotettavuutta kuparin jäähmettymispisteen (1085 °C) yläpuolella.

Parannetaan alueella -40 °C ... 1000 °C käytettäviä infrapunalämpömittareiden kalibrintilaitteistojen luotettavuutta. (Aiemmat vertailutulokset osoittavat tarpeen.) Kehitetään lämpökameroiden kalibrintimenetelmä.

Lämmönsiirtyminen mittauskohteissa

Tutkitaan lämmönsiirron mekanismeja mittaus- ja kalibrintikohteissa mallintamalla ja tutkimalla kohteita kokeellisesti. Näin saadaan lisätietoa kiintopisteiden toiminnasta mittausten kehittämiseksi ja parannetaan mittausten luotettavuutta mm. koskettavan pintalämpötilan sekä ilman lämpötilan mittausten osalta. Saatavaa kokemusta ja osaamista hyödynnetään asiakkaiden ja yhteistyökumppaneiden hyväksi erilaisissa yhteistyöhankkeissa ja muussa asiantuntijapalvelussa.

3.5.2 Kosteuden mittanormaalityönnän tutkimus ja kehitys

Vertailumenetelmät

Kehitetään menetelmiä, joilla parannetaan kosteuden mittanormaalityönnän vertailujen epävarmuustasoa. Kastepistevertailumenetelmiä tutkitaan kehittämällä useammalla vertailulaitteella saatavien tulosten analysointia sekä tutkimalla uusimpien laitteiden ominaisuuksia. Erityisenä painopistealueena ovat äärialueet sekä kastepistelämpötila-alue -40 °C ... 0 °C. Samalla kehitetään kosteusgeneraattorien kalibrintimenetelmiä yritysassiakkaiden (mittarivalmistajat) ja tutkimuslaitosten hyödynnettäväksi.

Kosteusmittaukset erilaisista kaasuista

Kosteusmittareiden kalibrinti tehdään tällä hetkellä käyttäen ilmaa lähellä normaali-ilmanpainetta, jolloin kostean kaasun epäideaalisuusominaisuudet tunnetaan parhaiten. Koska käytännön mittauksissa yhä useammin mittauskohteena on muu kaasu kuin ilma, tutkitaan erilaisten kaasujen vaikutusta kalibrintituloksiin sekä tutkitaan erikaa-suseosten epäideaalisuutta käyttäen eri periaatteilla toimivia kosteusgeneraattoreita. Tutkitaan myös paineen vaikutusta kalibrintituloksiin.

Kylläisen vesihöyryn paine

Kosteusasteikkojen realisointia parannetaan tutkimalla puhtaan kylläisen vesihöyryn painetta alhaisissa lämpötiloissa (alle 0 °C). Tavoitteena on yhdessä ulkomaisten kumppanien kanssa parantaa vesihöyryn osapainekaavojen luotettavuutta.

3.5.3 Koulutus, tiedotus ja asiantuntijapalvelut

Järjestetään mittaus- ja kalibrintikursseja MIKESissä sekä räätälöityjä kursseja asiakkaiden tiloissa. Alan tiedotusta toteutetaan esittein sekä erilaisten ammattilehtien kautta. Osallistutaan muiden järjestämiin kursseihin ja koulutustilaisuuksiin kouluttajina. Etsitään aktiivisesti yhteistyökumppaneita ja kehityshankkeita MIKESin ulkopuolelta, joissa voidaan hyödyntää MIKESin laboratorioiden osaamista. Tuetaan erityisesti teollisuuden kehityshankkeita, jotka kohdistuvat kosteus- ja lämpötilamittausten laadunhallintaan, jäljitettävyyden toteuttamiseen, mittausepävarmuuden arviointiin sekä kalibrintijärjestelmien kehittämiseen.

Järjestetään vertailumittauksia akkreditoituille laboratorioille sekä teollisuuden laboratorioille Suomessa ja lähialueilla.

3.5.4 Kansainvälinen yhteistyö

Osallistutaan aktiivisesti kansainväliseen yhteistyöhön. Erityisen painoarvon saavat avainvertailut, joihin osallistumalla varmistetaan kansainvälinen tunnustus MIKESin toiminnalle. Laajennetaan tutkimusyhteistyötä ulkomaisten laitosten kanssa. Kansainvälistä vaikuttavuutta lisätään hakemalla CCT:n (CIPM/Consultative Committee for Thermometry) jäsenyyttä. Siirretään kosteuden jäljitettävyyttä lähialueiden KML-laboratorioihin jäljitettävyyssprojektien puitteissa.

4 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 asiantuntemuksen hyödyntämisen edistämiseksi. Tutkimus- ja tuotekehityspalvelut yrityksille ja tutkimuslaitoksille lisäävät metrologian vaikuttavuutta yhteiskunnalle.

Uudet teknologiat ja yleinen valmistustekniikoiden kehittyminen asettavat pituusmetrologian tutkimukselle kovan haasteen. Kaupan teknisten esteiden madaltamista edistävä MRA-sopimus testaa Suomen mittanormaallijärjestelmän osaamista. 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 selvä, että käytettävissä olevilla resursseilla ei kaikkii 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.

4.1 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 mittaauksissa. Hyviksi esimerkeiksi käyvät paineen yksikön realisoinnissa tärkeä sylinterimäntäyhdistelmän efektiivinen pinta-ala ja foto- ja radiometrisissä suureissa oleellinen apertuurin pinta-ala. Myös putoamiskiihtyvyyden ja tiheyden mittaauksissa jäljittävillä 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. Metrinen realisointi stabiloitujen lasereiden ja taajuuskamman avulla tarjoa samalla tarkan aallonpituus-/taajuusskaalan muita optisia mittaauksia 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 mittakaava Suomessa kattaa laajan alueen alkaen nano- ja mikrometrialueen 10^{-9} m:stä geodeettisten pituusmittausten 10^6 m:iin. Selvitys painottuu muihin kuin geodeettisten mittausten tarpeisiin, koska Geodeettisella laitoksella on omat tutkimussuunnitelmansa ja rahoituskanavansa.

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

4.2 Pituusmetrologia Suomessa

Suomen kansallisessa mittausjärjestelmässä pituusmetrologia on kahden eri tahon vastuulla. Mittatekniikan keskuksen (MIKES) pituusryhmä kantaa 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 vuoden 2006 loppuun asti. Rutiinikalibrointeja tekevät pääosin akkreditoidut kalibrintilaboratoriot. Pituuden KML:t ja akkreditoidut kalibrintilaboratoriot muodostavat yhdessä pituussuureiden kansallisen kalibrintipalvelun. Näiden virallisten kalibrintilaboratorioiden lisäksi useissa yliopistoissa ja korkeakouluissa ja muissa laitoksissa tutkitaan pituusmetrologiaa sivuavia asioita.

Vuonna 2005 MIKESin pituusryhmässä työskenteli yhteensä 9 tutkijaa ja 3 apulaistutkijaa. Tämän lisäksi tutkimusprojekteihin osallistuu jatkuvasti 1-2 projektitutkijaa. TTY TTEK:ssä työskentelee koordinaattimittausten parissa 3 vakituista työntekijää, joista 2 tutkijoita. MIKESin pituusryhmän vuosibudjetti on ollut noin 750-800 k€, josta 25 % on katettu kalibrointi-, tutkimus- ja koulutuspalveluista saatavilla tuloilla. Noin 75 % budjetista menee henkilöstön palkkakuluihin.

Kauppa- ja teollisuusministeriön linjausten mukaisesti metrologiatoiminnan yhteiskunnallista vaikuttavuutta on pyritty kasvattamaan lisäämällä ulkopuolisrahoitteista tutkimus- ja tuotekehitystoimintaa. Vuoden 2005 aikana onkin käynnistetty useita Suomen Akatemian, TEKESin ja yritysten rahoittamia hankkeita.

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

- taajuuskampa: $U_c=10 \times 10^{-15}$ suhteellinen
- jodistabiloidut laserit; 633; 543,5 ja 532 nm: $U_c=5 \times 10^{-11}$ suhteellinen
- mittapalainferometri: $U_c=Q[20; 0,3L]$ nm; L on mitattu pituus millimetreissä
- piirtomittainferometri: $U_c=Q[50; 0,14L]$ nm; L millimetreissä
- pituuden mittauskone: $U_c=Q[0,2; 0,87L]$ μ m; L metreissä
- interferometrinen kulman mittauslaite: $U_c=2''$
- ympyrämäisyyden mittauskone: $U_c=Q[0,02; 0,017R]$ μ m; R ympyrämäisyyspoikkeama 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
- atomivoimamikroskooppi: $U_c = 3 + 1,5L$ nm, L mikrometreissä
- koordinaattimittauskone: LEGEX 910 MPE = $0,35 + L/1000$ μm , L metreissä, MIKES
- koordinaattimittauskone: $U_c = Q[0,3; 0,5L]$ μm (pallolevy); L metreissä, TTY TTEK.

Pituuden KML:n tärkeimpiä tehtäviä ovat akkreditoitujen laboratorioden siirtonormaalien jäljitettävät kalibroinnit sekä erikoistarkkuutta tai osaamista vaativien kalibroitien ja työkappaleiden mittauksien tarjoaminen myös suoraan teollisuudelle. Dimensionaalisten suureiden akkreditoidut kalibrointilaboratoriot - tällä hetkellä 9 kpl - jakavat kalibroinneillaan metrin eteenpäin. Taulukossa 4.1 on esitettynä pituussuureiden virallisten kalibrointitodistusten lukumäärät Suomessa vuonna 2005. Virallisten kalibroitien lisäksi ns. epäviralliset kalibrointilaboratoriot tekevät huomattavia määriä kalibrointeja. Akkreditoituissa laboratorioissa tehdään myös merkittävässä määrin kalibrointeja tai mittauksia akkreditoinnin ulkopuolella.

Taulukko 4.1. Pituussuureissa annettujen kalibrointitodistusten lukumäärät kansallisen kalibrointipalvelun puitteissa vuonna 2005.

KML:t	Akkreditoidut laboratoriot	Akkreditoitujen dimensiomittausalueen laboratorioden lukumäärä
523	4155	9

Perinteisesti tarkkojen dimensiomittausten suurin tarvitsija on ollut Suomen vahva kone- ja metallituoteteollisuus. Tällä toimialalla tuotteiden mittojen ja toleranssien hallinta on erittäin tärkeää. Kone- ja metallituoteteollisuuden tuotannon bruttoarvo oli vuonna 2004 18 mrd. € ja sen työllistävä vaikutus oli noin 128 500 htv. Alalla toimivien vähintään 5 henkilöä työllistävien yritysten lukumäärä oli 2490. Tuotevalikoima on huomattavan laaja paperikoneista ja dieselmootoreista hienomekaanisiin tuotteisiin ja osiin. Toimialan osuus Suomen tavaraviennistä oli noin 19 % [1]. Toiseksi suureksi pituuskalibrointeja tarvitseväksi ryhmäksi on noussut elektroniikka- ja sähköteollisuus. Toimialan pituuskalibrointitarve pitää sisällään mm. kokoonpanoautomaatioon, puolijohdeprosesseihin, laadunvarmistukseen, muoviosien sekä nano- sekä mikroalueen mittauksiin liittyviä kysymyksiä. Toimialan tunnusluvut olivat vuonna 2004 seuraavat: tuotannon bruttoarvo 18,9 mrd. €, työvoiman määrä 62 300 htv, osuus Suomen tavaraviennistä 25 % ja yritysten lukumäärä 860 [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 ydinvoimialalla.

4.3 Kansainvälinen toiminta

MIKESin pituusryhmässä on tehty pituusmetrologian tutkimustoimintaa menestyksellisesti vuosikymmeniä. Pituusryhmä on osaamiseltaan ja tutkimukseltaan laaja-alainen, monilla osa-alueilla eurooppalaiseen kärkijoukkoon kuuluva laboratorio. Tutkimustyön tuloksina on julkaistu 60-80 tieteellistä artikkelia tai esitelmää kansainvälisillä foorumeilla. Tutkimusta on harjoitettu usealla eri aihealueella mm. metrin realisointiin, interferometriin mittauksiin, teollisuusmittausten kehittämiseen ja koordinaattimittauksiin liittyen (TTY). Tälle tutkimustyölle annettiin merkittävä tunnustus kun MIKES vuonna 2001 kutsuttiin CCL:n jäseneksi.

Pituuden KML:t ovat toimineet viime vuosina koordinoijina lähes 10:ssä EUROMET-, EU- tai muussa kansainvälisessä hankkeessa. 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
- CMI, Tšekki: laserstabilointi, koordinaattimittaukset
- PTB, Saksa; Unimetrik, Espanja: koordinaattimittaukset
- Metroser, Viro: kalibroinnit
- LNMC, Latvia: kalibroinnit
- VMC, Liettua: piirtomittainterferometria
- PTB, taitekerroin kompensointi
- NMIJ, EDM-vertailu
- SMD, nanometrologia.

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) veloitetaan allekirjoittajatahot osallistumaan sopimuksen ”Calibration and measurement capabilities” (CMC) -liitteeseen kirjattuja kalibrointipalveluja koskeviin alueellisiin (organisoija EUROMET) tai kansainvälisiin (organisoija Consultative Committee for Length, CCL) avainvertailuihin. Pituuden kansallisilta mittanormaallilaboratorioilta (KML:t) on hyväksytty CMC-liitteeseen, jossa listataan maiden jäljitettävät kalibrointipalvelut, 56 erilaista kalibrointipalvelua. MRA-sopimuksen mukaiset avainvertailut on listattu kappaleessa 4.4.

4.4 Kehitysnäkymät

Pituusmetrologian tekniset kehitystarpeet jakautuvat kolmeen eri lähtökohtaiseen 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 mittalaitteiden ja toisaalta yhä vaativampien valmistustekniikoiden ja jatkuvasti kasva-

vien laatuvaatimusten asettamiin haasteisiin. Kehitystarpeiden tiedostamisessa on oleellista teollisuuden oma aktiivisuus ja KML:n sekä akkreditoitujen laboratorioiden suorat yhteydet teollisuuteen. Pituusmetrologian tutkimuksen on myös tarvittaessa painuuduttava sellaisiin aiheisiin, jotka parantavat suomalaisten mittalaittevalmistajien toimintaedellytyksiä.

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

1. Optisten mittalaitteiden kalibroinnit

Sähköisten etäisyysmittareiden, EPLA (eteenpäin leikkaus avaruudessa) yms. laitteiden kalibroinnit sekä järjestelmäkalkibroinnit, video- ja lasermittausjärjestelmien kalibroinnit sekä 3D-skannereiden kalibroinnit

2. Konepajatekniset mittaukset tai kalibroinnit

Referenssikappalepankki laadunvarmistusta varten

Mittauskoneiden kalibrointien kehittäminen ja mittausepävarmuuden arviointi

3D-digitointi ja etenkin suurten kappaleiden koordinaattimittaus

Isojen mittauskoneiden kalibroinnit

Isojen sisäreikien dimensiomittaukset

3. Tuotantovälineiden ja tuotteiden mittausten sekä kalibrointien kehittäminen; mm. elektroniikkateollisuudessa

Nanometrologia sekä miniatyrisoitujen laitteiden ja komponenttien mittaukset

Erilaisten optisten komponenttien mittaukset esim. diffraktiivisten komponenttien dimensioiden mittaukset

4. Yleinen kalibrointilaitteiden tarkkuuden ja tehokkuuden kehittäminen mm. automatisoinnin ja etäpalvelujen avulla

5. Ohjelmistojen verifiointit ja sertifiointit.

Perinteisten valmistustekniikoiden rinnalle kehittyä jatkuvasti uusia teknologioita hyödyntävää teollista valmistusta. Näistä mainittakoon nanoteknologia ja mikromekaniikka. Suomessa TEKES rahoitti vuosina 1997-1999 nanoteknologian tutkimusohjelman, jossa oli mukana 16 eri tutkimusprojektia, joista useissa syntyi kaupallisia sovelluksia. Tällä hetkellä TEKESillä on käynnissä FinNano tutkimusohjelma, jossa tutkitaan, hyödynnetään ja kaupallistetaan nanomittakaavan rakenteita ja ilmiöitä. 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.

Kansainvälisten sopimusten velvoitteet ja pätevyden osoitus kansainvälisellä foorumilla

Kansainvälisessä toiminnassa näkyvimpiä näytön paikkoja Suomen pituusmetrologialle on osallistuminen alan eurooppalaisiin ja CCL:n avainvertailuihin MRA-sopimuksen vaatimusten mukaisesti. Näistä vertailuista poisjänti tai niissä epäonnistuminen voi pahimmillaan johtaa siihen, että ko. kalibrointipalveluja ei Suomen osalta saada MRA-sopimuksen CMC-liitteeseen ja että niiltä osin Suomessa tehtyjen mittausten jäljitettä-

vyyteen ja laatuun kohdistuu selkeitä epäilyksiä. Pituusmetrologian avainvertailuiksi CCL ja EUROMET ovat päättäneet seuraavat avainvertailut:

BIPM.L-K11	Lasertaajuudet	käynnissä
EUROMET.L-K1	Mittapalat	valmis 2002, uusi 2007?
EUROMET.L-K2	Pitkät mittapalat	valmis 2005
EUROMET.L-K3	Kulmannormaalit (polygonit)	alkaa 2006
EUROMET.L-K4	Halkaisijanormaalit	käynnissä
EUROMET.L-K5	1D CMM normaalit (porrasmittapala ja pallojono)	käynnissä
EUROMET.L-K6	2D CMM normaalit (reikälevy / pallolevy)	käynnissä
EUROMET.L-K7	Piirtomitta	alkaa 2006-7
EUROMET.L-K8	Pinnankarheus	suunnitteilla 2007-8
CCL-Nano1	Viivanleveys	alkaa 2006
CCL-Nano2	Askelkorkeus/syvyysnormaalit	valmis
CCL-Nano3	Piirtomitat	valmis
CCL-Nano4	1D hilat	valmis
CCL-Nano5	2D hilat	käynnissä.

Edellä listattujen vertailujen lisäksi on vuosittain joitain täydentäviä vertailuja eri mittauksiin liittyen. Suomen pituusmetrologian tavoitteena on teollisuuden teknisten kaudenesteiden madaltamiseksi osallistua kaikkiin varsinaisiin avainvertailuihin ja tarpeen sekä valmiuksien mukaan nanovertailuihin. Moniin edellä mainittuihin vertailuihin on joko MIKESsä tai TTY TTEK:ssa olemassa riittävä laitteisto. Joiltain osin on kuitenkin vielä paljon tekemistä joko laitehankinnan/-rakentamisen tai suorituskyvyn hiomisen kannalta. MIKESin uusi LEGEX koordinaattimittauskone yhdessä TTY TTEKin vuosien aikana kertyneen osaamisen kanssa nostaa Suomen huipputasolle myös koordinaattimittauksissa.

Valmisteilla olevassa BIPM.L-K11 teknisessä päivityksessä Suomi on valittu yhdeksi kolmesta EUROMET/COOMET-alueen absoluuttitaajuuksien mittauspaikaksi.

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 välittömien 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 tukee uutta teknologiaa kehittävää teollisuutta. Nanoteknologiassa monet ensimmäiset kaupalliset sovellukset hyödyntävät nanopartikkeleita. Nanopartikkelit ja niiden ominaisuudet ovat nousseet esille julkisessa keskustelussa mm. ympäristö- ja terveysriskitekijänä. MIKESin onkin valmistauduttava siihen, että nanopartikkelin karakterisointi havaitaan tärkeäksi myös terveys- ja lainsäädännöllisistä syistä eikä ainoastaan tuotteen

laatuominaisuuksien kannalta. Myös muut nanoteknologian tuotteet tulevat tarvitsemaan tuotantovaiheeseen edetessään jäljittäviä mittausten menetelmiä ja -palveluita.

MIKESiin on viimeisen reilun 10 vuoden aikana tutkimustoiminnan ja laitehankintojen tuloksena kertynyt varsin kattava mittalaitteevalikoima. Lähitulevaisuudessa on väistämättä panostettava myös näiden laitteiden elinkaaren pidentämiseen tai korvausinvestointeihin. Monissa tapauksissa laitteiden tarkkuustasoa ja käytettävyyttä voidaan parantaa melko pienillä työ- tai komponenttipanostuksilla kuten esim. tietokoneen päivityksellä. Toisinaan voidaan joutua tekemään suurempia uusinvestointeja ja työmäärältään suurempia mittaushjelmistojen uudelleen kirjoittamisia.

4.5 Tavoitteet vuosille 2007-2011

Seuraavassa on listattu tärkeimmiksi katsottuja tutkimushankeaiheita vuosille 2007-2011 sekä tavoitteita liittyen koulutukseen ja asiantuntijapalveluihin:

Aihealueita vuosien 2007-2011 kehitysprojekteille:

- Metrin realisoinnin kehittäminen
 - tietoliikenneaallonpituuksien jäljitettävyyden taajuuskamman kautta
 - kampainterferometri
- nanometrialueen kalibrointi- ja mittaushjelmistojen kehittäminen
 - jäljitettävä AFM
 - laserdiffraktio kalibrointi hiloille
 - nanopartikkelien karakterisointi
 - millimetrialueen mittaukset, nanoCMM
 - yhden atomikerroksen paksuusnormaalit
 - viivanleveyden määrittäminen
 - mittauskärki-näyte vuorovaikutus
- mikrometrialueen kalibrointi- ja mittaushjelmistojen kehittäminen
 - interferenssimikroskopia, confocal -mikroskopia
- koordinaattimittausten kehittäminen
 - 2-D, 3-D paikoitustarkkuus/virhe-erottelu/itsekalibrointi
 - tarkkuuden parantaminen systemaattisia virheitä korjaamalla
 - online CMM mittausepävarmuuden määrittäminen
 - videomittauslaitteiden kalibrointi- ja mittaushjelmistojen kehittäminen
 - isojen mittauskoneiden kalibrointi- ja mittaushjelmistojen kehittäminen
- suurten kappaleiden/etäisyyksien mittausten kehittäminen
 - optisten mittaushjelmistojen (takymetri, teodoliitti, ym.) kalibrointi- ja mittaushjelmistojen kehittäminen
 - 3-d digitointi
 - suurten kappaleiden sisäreikien mittausten kehittäminen
- olemassa olevien vanhempien laitteiden ja menetelmien päivittäminen
 - SIP pituudenmittauskone
 - NPL-TESA mittalaitteiden interferometri
 - Taylor-Hobson muodonmittauskone
 - Mittalaitteiden kalibrointi- ja mittaushjelmistojen kehittäminen
 - 30 m mittaradan osittainen automatisointi
 - porrasmittalaitteiden interferometrin kehittäminen
 - jodistabiloitujen lasereiden elektroniikat

- menetelmien kehittäminen
 - erilaisten matemaattisten ja muiden menetelmien tutkimien systemaattisten virheiden eliminoimiseksi esim. ympyrämäisyys, tasomaisuus yms. mittauksissa
 - uusien mittausten menetelmien/anturitekniikoiden tutkiminen esim. ilman taitetekertoimen määrittämiseksi
 - konenäköön perustuva kalibrointien automatisointi
 - uusien menetelmien kehittäminen tarkkuuskoneistettujen komponenttien tarkistuksiin (mm. CERN CLIC)
 - etäpalvelut esim. koneiden kalibroinneissa sekä asiantuntijapalvelut.

Ulkopuolisen tutkimus- ja kehitysrahoituksen kasvattaminen on yksi tärkeistä lähivuosien tavoitteista. Kotimaan toiminnassa levitetään tietoa kalibrointien ja jäljitettävien mittausten merkityksestä teollisuudelle ja julkiselle sektorille. Samalla markkinoidaan MIKESiä tutkimus- ja tuotekehityskumppanina sekä yrityksille että tutkimuslaitoksille. Muun muassa seuraavia keinoja käytetään ulkopuolisen rahoituksen lisäämiseksi:

- Aktiivinen tiedotus ja koulutustoiminta
 - tiedottaminen kalibrointi- ja asiantuntijapalveluista
 - osallistuminen seminaareihin ja verkottuminen eri alojen yhteistyöorganisaatioihin (SLY, Finpro, mikro-nano osaamiskeskus, SAS yms.)
 - vuosittaiset seminaarit: Mittaukset konepajassa, Pituusmittausten epävarmuuslaskenta, käyttäjäklubien (esim. lasermittauskerho, koordinaattimittauskerho, Scanning probe microscopy (SPM) -kerho) koulutustilaisuudet
- Asiantuntijapalveluiden profilointi ja markkinointi
 - MIKESin pituusryhmä tarjosi erilaisia asiantuntijapalveluita vuonna 2005 noin 80 000 €. Palvelut koostuivat erilaisista alkaen erikoismittauksista aina mittausjärjestelmien konsultointiin. Lähivuosina tavoitteena on asiantuntijapalveluiden lisääminen mm. markkinoinnin avulla.
 - tutkimuspalvelujen markkinointi mm. pk-yrityksille TUPAS-projekteja.

MIKESin pituusmetrologian laaja-alainen osaaminen mahdollistaa tutkimus- ja tuotekehityspalvelujen tarjoamisen mitä erilaisempiin sovelluksiin. Seuraavilla aihe-alueilla odotetaan todennäköisimmin teollisuus- tai TEKES-rahoitteisen tutkimuksen lisääntymistä:

- konenäköpohjaiset automatisoidut mittaussovellukset
- spektroskopioita hyödyntävien mittausten kehittäminen
- materiaalien dimensionaalisten ominaisuuksien tutkimukset
- konepajateknisten mittausongelmien ratkaisu
- hienomekaanisten osien valmistusprosessin laadunhallinta.

4.6 Lähdeluettelo

1. Vuosikirja 2005, Teknologiateollisuus.

5 Optiset suureet

Tiivistelmä

Optinen metrologiatoiminta on tärkeää mm. suomalaiselle metsäteollisuudelle, elektroniikkateollisuudelle ja teollisuuden tuotantotekniikalle. Mittaukset liittyvät esim. tuotteen optisiin ominaisuuksiin (paperin vaaleus ja fluoresenssi) tai tuotettavien laitteiden laadunvarmistukseen (analysointilaboratorit, näyttömittaukset). Alalla toimii kolme akkreditoitua kalibroitilaboratoriota, joista kaksi toimii juuri metsäsektorilla ja yksi on tietoliikenteen mittalaitteiden kalibroitilaboratorio. Luotettavia kalibrointeja tarvitaan myös viiranomaistoimintaan. Optisia mittauksia käytetään esim. laitteiden turvallisuusmittauksissa (UV, laserlaitteet), työturvallisuuteen liittyvissä valaistusmittauksissa ja katsastuksen ohessa tehtävissä pakokaasujen analyysissä. KML:llä on hyvät perusresurssit vaadittaviin mittauksiin. Laboratoriolla on vahvuusalueita, jotka ovat maailman mitta-kaavassa keihäänkärkiä. Näitä ovat mm. spektrisen irradianssin mittanormaali, UV-mittalaitteiden kalibroitipalvelut yleensä, hajaheijastussuhteen kalibroitipalvelut ja rakenteilla oleva fluoresenssin tutkimuslaitteisto. Kehityshankkeilla tulisi pyrkiä asiakkaiden näkökulmasta elämän laadun parantamiseen, parempien optisen säteilyn mittanormaalien kehittämiseen ja tuotteiden visuaalisen laadun parantamiseen. KML:n näkökulmasta fokusalueet ovat olemassa olevien perusmittanormaalien jatkokehittely, keihäänkärkien vahvistaminen ja uusien innovaatioiden vaatima uusi mittaustekniikka.

5.1 Johdanto

Optisesti suoritettavat mittaukset ovat tulleet yhdeksi keskeisistä mittaustekniikan alueista monille aloille ulottuvien vaikutustensa takia. Samalla lailla kuin elektronien hyödyntäminen mahdollisti 1900-luvun teknologiset edistysaskeleet, tulevat 2000-luvun tekniset läpimurrot perustumaan fotoneihin [1]. Optiikan alue on mikroelektronikan ja nanotekniikan 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 mittanormaalityömuoto muodostaa kokonaisuuden, joka on pohjana monien alojen mittaustoiminnalle. Alan mittaustaloudellisuus tukee mm. teollisuuden ja kaupan pituus- ja dimensiomittaustekniikkaa, optista instrumenttiteollisuutta, paperiteollisuutta, valaisinalan teollisuutta ja muita fotometrian tarpeita, puolijohdeteollisuutta, optista tietoliikennettä ja alan teollisuutta, optista analysointitekniikkaa sekä ympäristötekniisiä, lääketieteellisiä ja säteilyturvallisuusmittauksia.

Korkean teknologian yritystoimintaa on jo merkittävästi optiikan alueella. Sen volyyymi on miljardiluokkaa ja vaikutukset eri alojen tuotantoon lisäävät toiminnan merkitystä. Laajavaikutteinen merkitys optisella mittanormaalityömuotoilla on myös näyttömittaustoiminnan, 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 mittauslaitteita. Ilmakehän mittaukset ja auringon UV-säteilyn mittaukset vaativat tarkkoja UV-alueen mittanormaaleja.

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

5.2 Optisten suureiden metrologia Suomessa

Optisissa suureissa toimii Suomessa kolme akkreditoitua kalibrointilaboratoriota:

1. K032 UPM-Kymmene Oyj, UPM Tutkimuskeskus
2. K036 Oy Keskuslaboratorio - Centrallaboratorium Ab, KCL Services - Optinen kalibrointilaboratorio
3. K042 Nemko Oy.

UPM-Kymmene ja KCL kalibroivat akkreditoituina hajaheijastussuhteen kalibrointiin tarkoitettuja siirtonormaaleja. Normaalit voivat olla Spectralon-näytteitä tai fluoresoimattomasta ja fluoresoivasta paperista tehtyjä vihkosia. Kalibrointitodistusten lukumäärä vuodessa on useita satoja. Käyttäjäkuntana on koko Suomen paperiteollisuus siten, että kaikki paperin laadunvarmistuksessa käytettävät vaaleusmittaukset ovat jäljitettäviä näihin laboratorioihin. Toiminnalla on siten erittäin suuri kansantaloudellinen merkitys.

Nemko Oy kalibroi kuituoptisia tehomittareita, vaimentimia, valolähteitä, spektrianalysointilaitteita ja valokuitututkia (OTDR). Akkreditoitujen kalibrointien lukumäärä vuodessa on yli sata. Asiakaskunta muodostuu suomalaisista tietoliikennealan yrityksistä.

Alalla toimii lisäksi yksi testauslaboratorio, T013 Työterveyslaitos, Työympäristön kehittäminen, Suojautuminen ja tuoteturvallisuus, joka tekee mm. laserlaitteiden säteilyturvallisuusluokittelua.

KML:llä on mittanormaalit ja kalibrointipalvelut seuraaville suureille ja suurealueille:

- Fotometriset suureet
- Valovoima, 10 - 10 000 cd, BMC¹ = 0,3 %
- Valaistusvoimakkuus, 10 - 2000 lx, BMC = 0,2 %
- Luminanssi, 5 - 40 000 cd m⁻², BMC = 0,8 %
- Valovirta, 10 - 10 000 lm, BMC = 1,0 %

Radiometriset suureet

- Optinen teho, 10 nW - 10 W, BMC = 0,05 %
- Spektrinen irradianssi, Aallonpituus = 290 - 900 nm, BMC = 0,6 %
- Spektrinen radianssi, Aallonpituus = 290 - 845 nm, BMC = 1,0 %
- Värikoordinaatit valolähteille (x, y), BMC = 0,1 %

¹ BMC = "Best Measurement Capability," eli paras mittauserävarmuus, jonka laboratorio voi saavuttaa suotuisissa olosuhteissa erittäin hyvälle mittalaitteelle.

- Värilämpötila valolähteille, 1 000 - 3 500 K, BMC = 0,15 %

Materiaalien ja detektorien ominaisuudet

- Spektrinen herkkyys, Aallonpituus = 250 - 1700 nm, BMC = 0,5 %
- Suuntaläpäisy, Aallonpituus = 250 - 1700 nm
- Suuntaheijastus, Aallonpituus = 250 - 1000 nm, Kulma = 5° - 85°
- Hajaheijastus, Aallonpituus = 360 - 830 nm, BMC = 0,4 %

Kuituoptiset suureet

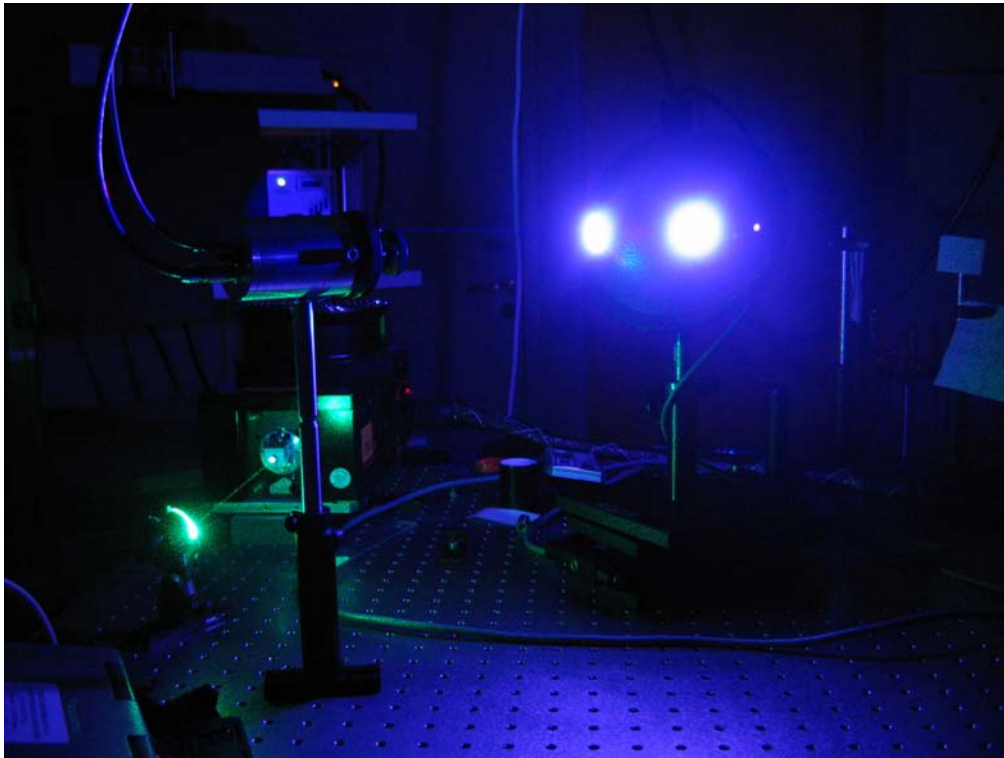
- Aallonpituus, 400 nm - 1,55 µm, BMC = 0,01 nm
- Kuituoptinen teho, 1 nW - 700 mW, Aallonpituus = 1310, 1550 nm, BMC = 1,5 %.

Akkreditoituista laboratorioista Nemko ja Työterveyslaitos ovat jäljitettäviä KML:ään. Paperilaboratorioille tämä ei toistaiseksi ole mahdollista, ennen kuin KML saa kalibrointipalveluilleen kansainvälisen hyväksynnän ISO:n TC6 komitealta. Kuituoptisista suureista on huomattava, että TKK ei tee kalibrointeja tehoalueella, jolle Nemkolla on kalibrointivalmiudet. TKK ylläpitää palvelua, jotta se voi osallistua KML:lle järjestettävään vertailukampanjoihin ja täydentää Nemkon palveluja suurilla tehotasoilla, joille Nemkolla ei ole valmiuksia.

Kalibrointivalmiuksien suorituskyky on hyvällä kansainvälisellä tasolla, mikä on osoitettu useilla vertailumittauksilla [2]. Joillain alueilla, kuten UV-säteilymittareiden kalibrointipalveluissa, laboratoriolla on palveluja, joita muualta Euroopasta ei ole saatavilla, mikä näkyy ulkomaisten kalibrointien määrän kasvuna.

Laboratorio tekee vuosittain noin 50 asiakaskalibrointia. Kalibroitavien laitteiden lukumäärä on yli sata. Asiakkaina on suomalaisia teollisuusyrityksiä, viranomaisia ja tutkimuslaitoksia. Suomalaisista huipputekniikan tuotteista, joiden suorituskyvyn mittaukset ovat jäljitettäviä laboratorioon, voisi mainita esim. pilvenkorkeusmittareiden laserosat ja kännyköiden näytöt. Viranomaislaitteista mainittakoon katsastuslaitosten pakokaasuanalysaattoreiden harmaasuotimet. Suodattimien kalibrointeja tehdään paljon myös suomalaiselle analyysointiteollisuudelle. Tutkimuslaitoksista Ilmatieteen laitoksen auringon UV-mittaukset ovat jäljitettäviä laboratorion spektrisen irradianssin mittanormaaleihin.

KML-toiminnan ylläpitoon tehdään vuodessa noin 2 henkilötyövuotta. Ylläpidon kustannukset ovat noin 150 000 euroa. Mittanormaalien kehittämiseen käytetään vuosittain noin 4 henkilötyövuotta. Laboratorion erityispiirre on se, että KML-toiminnan ohessa koulutetaan mittaustekniikan asiantuntijoita suomalaiseen teollisuuteen ja tutkimuslaitoksiin. Mittanormaalityönteon yhteydessä tehdään keskimäärin kaksi väitöskirjaa ja viisi diplomityötä vuosittain.



Kuva 5.1. Asiakkaan spektrometrien stabiiliusmittauksia laboratorion laitteistolla.

5.3 Kansainvälinen toiminta

Laboratoriolla on laajat toimivat kansainväliset yhteydet optisten suureiden parissa toimiviin kansallisiin mittanormaalilaboratorioihin ja muihin tutkimuslaitoksiin Euroopassa, USA:ssa ja Aasiassa. Aiempina vuosina tehtyjen EU-projektien kautta laboratoriolle on kontakteja myös eurooppalaiseen teollisuuteen, esim. tärkeimpiin laitevalmistajiin.

Laboratorio on osallistunut viiteen EU-projektiin ja kymmeneen EUROMET-projektiin. Laboratorio on mukana NICE:n rahoittamassa kuituoptiikan virtuaali-instituutissa (VIFOM, Virtual institute of fibre optic measurements). Laboratorion johtaja, Erkki Ikonen, on jäsenenä EUROMETin fotometrian ja radiometrian ryhmässä (Phora) ja CCPR:ssä (Consultative Committee for Photometry and Radiometry). Hän on CCPR:n UV-työryhmän puheenjohtaja ja NEWRAD-konferenssin tieteellisen toimikunnan puheenjohtaja. Lisäksi hän toimii CIE D2:n maakohtaisena edustajana (country member).

Laboratorio on osallistunut aktiivisesti CCPR:n avainvertailuihin ja muihinkin, esim. kahdenkeskisiin vertailuihin, tärkeimmillä suurealueillaan. Parhaillaan laboratoriossa on käynnissä tai päättymässä 12 vertailua:

1. CCPR-K1.a International key comparison of spectral irradiance in the wavelength region 250 - 2500 nm
2. CCPR-K2.a International key comparison of spectral responsivity in the wavelength region 900 - 1600 nm
3. CCPR-K2.c International key comparison of spectral responsivity in the wavelength region 200 - 400 nm

4. CCPR-K5 International key comparison of spectral diffuse reflectance in the wavelength region 360 - 830 nm
5. CCPR-K6 International key comparison of regular spectral transmittance in the wavelength region 380 - 1000 nm
6. CCPR-S2 International comparison of aperture area measurements
7. Bilateral comparison of filter radiometers with NIST
8. Multilateral comparison of wavelength scales with NIST
9. EUROMET 666 Intercomparison of Chromatic Dispersion Reference Fibres
10. Trilateral comparison of high fibre optic power calibrations with SP and DFM
11. Bilateral comparison of spectral diffuse reflectance with SPRING Singapore
12. Bilateral comparison of aperture area and luminous responsivity measurements with KRISS.

Vertailumenestys on pääsääntöisesti ollut hyvä. Vertailumenestyksen perusteella laboratorion voidaan katsoa kuuluvan maailmanlaajuisesti neljän parhaan mittanormaali-laboratorion joukkoon.

Laboratorion kalibrointivalmiuksien keihäänkärkiä ovat mm. spektrisen irradianssin mittanormaali, UV-mittalaitteiden kalibrointipalvelut yleensä, hajaheijastussuhteen kalibrointipalvelut ja rakenteilla oleva fluoresenssin tutkimuslaitteisto. Laboratorio on menestynyt hyvin spektrisen irradianssin avainvertailuissa, mikä alkaa pikkuhiljaa näkyä kansainvälisinä kalibrointipyyntöinä. Ulkomaalaisten laboratorioden osuus asiakaskunnasta kasvaa kaiken aikaa. UV-mittalaitteiden kalibroinnissa laboratorio on tehnyt uraa uurtavaa tutkimusta ja kehittänyt kattavat tutkimus/kalibrointilaitteistot erilaisten mittalaitteiden kalibrointiin. Myös näissä suureissa on ulkomaisten kalibrointien määrä kasvussa, koska palveluja ei ole yhtä kattavasti saatavissa mistään muualta. Hajaheijastussuhteen kalibroinnit ovat paperiteollisuudelle elintärkeitä. Vastaavia laitteistoja kuin TKK:lle rakennettu on olemassa vain NRC:llä ja PTB:llä. Fluoresenssin referenssilaitteisto on ainoastaan NRC:llä ja TKK:n laitteisto tulee olemaan tätä huomattavasti monikäyttöisempi. Laitteistolla voi paperiteollisuuden mittaongelmien lisäksi tehdä tutkimusta ja kalibrointeja kemian teollisuudelle. Suomessa on huomattavan paljon analysaattoriteollisuutta, joka hyötyy uusista palveluista.

Laboratorio on haluttu yhteistyökumppani kansainvälisissä tutkimus- ja vertailuprojek-teissa. Tutkimustoimintaan liittyvien julkaisujen ja esitelmien määrän ja laadun perusteella arvioituna laboratorio kuuluu maailmanlaajuisesti alan aktiivisimpiin toimijoihin. Laboratorion henkilökuntaa käytetään konsultteina, teknisinä arvioijina, ja kutsuttuina esitelmöijinä seminaareissa. Tältä pohjalta kansainvälisen palautteen voidaan katsoa olevan erittäin positiivista.

5.4 Yleiset kehitysnäkymät

Optisen metrologian kehitystarpeita voidaan tarkastella neljästä näkökulmasta:

1. Optisen säteilyn mittausten vaikutus elämän laadun parantamiseen
2. Parempien optisen säteilyn mittanormaalien kehittäminen
3. Tuotteiden visuaalisen laadun parantaminen optisilla mittauksilla
4. Teollisuuden optiset tuotanto- ja testausmenetelmät.

Elämän laatua optiset mittaukset voivat parantaa esim. terveydenhuollossa. Useat sairauksien diagnosointiin käytettävät mittausten menetelmät ovat optisia, ja kansallisilla mittanormaali-laboratorioilla voisi olla huomattavan paljon suurempi rooli mittausten jäljitet-

tävyyksien parantamisessa ja ongelmien ratkomisessa. Kehitystyötä voidaan tehdä yhteistyössä suomalaisen analysointiteollisuuden kanssa sekä suoraan terveydenhuollon viranomaistahojen kanssa.

Ympäristön pilaantuminen on nyt ja tulevaisuudessa ihmiskunnan keskeisiä ongelmia. Energian kulutusta voidaan vähentää radikaalisti uusilla vähän energiaa kuluttavilla esim. LED-pohjaisilla valaistusjärjestelmillä, mikä vaatii tarvittavan mittaustekniikan kehitystä. Mittaustekniikkaa voidaan hyödyntää esimerkiksi LEDin valaistusominaisuuksien mallintamisessa, jotta voidaan suunnitella hyvä valaisin. Ympäristömittausten puolella UV-säteilymittausten parantaminen auttaa osaltaan paremmin ymmärtämään ilmakehän fysiikkaa, minkä merkitys tulee korostumaan ääri-ilmiöiden ennustamisen muodossa. Tarvitaan myös parempaa tietoa UV-säteilyn spektrisistä vaikutuksista bioorganismeihin ja ulkoilmassa käytettäviin materiaaleihin, jotta suojaamisen ja suojaantumisen kustannukset voidaan optimoida.

Optisia mittauksia voidaan muutenkin käyttää ympäristön tilan seurannassa. Jätevesien monitoroinnilla voidaan havaita vesistön kuormituspiikit ja ryhtyä täsmätoimenpiteisiin. Kioton ilmastoprotokollan noudattaminen tulee aiheuttamaan paineita todentaa päästöt, missä optiset mittaukset saattavat myös nousta keskeiseen rooliin. KML:llä tulee olla kalibroitavalmiudet vaadittavalle mittaustekniikalle, kun jäljitettävyysongelmat tulevat ajankohtaisiksi.

Nopeasti kehittyvä optinen teknologia vaatii jatkuvasti uusien, parempien mittanormaalien kehittämistä. Kuituoptisten yhteyksien nopeuden kehittäminen ja käyttösovellusten lisääntyminen johtavat jatkuvasti kasvaviin tehotasoihin ja uusiin tekniikoihin, mm. fotonikidekuituihin. Tietoliikennesovellukset ovat Suomen kansantalouden tärkeimpiä tukijalkoja, joten KML:n on pysyttävä kehityksen eturintamassa tällä nopeasti muuttuvalla alueella.

Nanoteknologia aiheuttaa tarvetta tehdä luotettavia optisia mittauksia pienessä mitta-kaavassa, mikä johtaa mm. yksittäisten fotonien havainnointiin ja kvanttioptiikkaan.

Lisääntyvä kalibroitotarve vaatii toimia myös jo olemassa olevien kalibroitopalvelujen kehittämiseen. Siirtonormaaleja on kehitettävä halvemmiksi ja luotettavimmiksi. Siirtonormaaleja ja kalibroitimenetelmiä on myös kehitettävä lähemmäksi asiakkaiden kalibroitotarpeita. Usein törmätään tilanteeseen, joissa peruspalvelu ei sellaisenaan vastaa asiakkaan mittaustarpeisiin. Tällöin on kehitettävä uuden tyyppisiä ilmaisimia tai lähteitä, joilla asiakkaiden jäljitettävyyssasiat saadaan kuntoon. Mittanormaaleja on joillain alueilla myös laajennettava pienempiin tai suurempiin tehotasoihin tai vastaavasti uusille aallonpituusalueille. Lisääntyvät kalibroitavolyymit aiheuttavat myös sen, että laitteistojen helppokäyttöisyyteen tulee panostaa.

Visuaalisen laadun parantaminen on tärkeää mm. suomalaiselle paperi-, maali- ja tekstiiliteollisuudelle. Tarvittavat mittaukset ovat pääsääntöisesti hajaheijastus-, fluoresenssi- ja värimittauksia, joiden luotettavuuteen ja jäljitettävyyden ylläpitoon vaaditaan panostusta. Perustutkimusta tarvittaisiin myös mallien ja algoritmien kehityksessä, jotta mittaustulokset saadaan paremmin vastaamaan ihmisten näkemystä ulkonäöstä ja väristä. Laittekehitystä tarvitaan erityisesti perusmittanormaaleissa, mutta KML:llä voisi olla paljon annettavaa myös käyttäjälaitteiden ja siirtonormaalien kehityksessä. Teollisuuden laitteet ja kalibroitimenetelmät ovat usein liian yksinkertaisia ratkaistavaan ongelmaan nähden, mikä johtaa ongelmiin laitteiden kalibroinnissa ja tulosten kan-

sainvälisessä vertailtavuudessa. Kehitystä tarvittaisiin myös kuvantavien spektradiometrien kalibrointien parantamisessa.

Optista säteilyä käytetään hyväksi useissa kehittyneissä teollisuuden tuotantomenetelmissä. Tällaisia ovat mm. lasertyöstö ja optinen litografia. Optiikkaa käytetään hyväksi myös tuotantotestauksessa. Menetelmät voivat perustua konenäköön tai muihin optisiin järjestelmiin. Erityisenä mittausteknisenä haasteena voidaan nähdä esim. konenäön ja tarkkojen värimittausten yhdistäminen.

5.5 Tavoitteet vuosille 2007-2011

Tutkimusrahoitus KML:lle tulisi suunnata kolmentyyppisiin hankkeisiin:

1. Olemassa olevien perusmittanormaalien jatkokehittäminen. Tämä pitäisi sisällään pienimuotoisia hankkeita, jotka tähtäävät esim. perusmittanormaalien käytön helpottamiseen, mittausalueiden laajennuksiin tai mittanormaalien sovellusalueiden sovittamiseen asiakkaiden tarpeisiin.
2. Keihäänkärkien vahvistaminen. Laboratorion vahvuusalueilla, joita ovat UV-säteilyn mittaustekniikka ja materiaalien ominaisuuksien spektrofotometriset mittaukset, tarvitaan satsauksia, jotta alat pysyvät kehityksen eturintamassa.
3. Uusien innovaatioiden vaatima uusi mittaustekniikka. Osa rahoituksesta tulisi varata alueille, joiden mittaustarpeet eivät vielä ole KML:n tiedossa.

Pyrkimyksenä tulisi olla noin kahden uuden kehitysprojektin aloittaminen vuosittain. Kehitysprojekteja tehdään enenevässä määrin kansainvälisenä yhteistyönä osittaisella EU-rahoituksella (iMERA). Mittatekniikan keskuksen rahoituksen lisäksi pyritään saamaan kansallista rahoitusta TEKESiltä ja suoraan teollisuudelta sekä Suomen Akatemialta. Esimerkkejä hankkeista, joita tulevalle viisivuotiskaudella voitaisiin toteuttaa, on esitetty seuraavassa listassa:

- Yksittäisten fotonien mittaaminen (single photon metrology)
- Uusien detektoriteknologioiden soveltaminen radiometriaan
- Näyttömittaukset
- OLED-näytöt
- LED-valolähteiden metrologia
- Pulssitetut lähteet
- Kuidut ja fotonika: epälineaarit, polarisaatiomuotodispersio
- Värien ja pintojen fysiologiseen havaitsemiseen liittyvä mittaustekniikka
- Värimittausten ja konenäön yhdistäminen
- Värit, materiaalien ominaisuudet
- Lasit, läpäisy, transmissiovärien mittaaminen
- Fluoresoivat materiaalit
- Huokoiset materiaalit, painojälki
- Kiilto: kalibrointipalvelun kehittäminen
- Sironta isoista partikkeleista (esim. pigmentit)
- Sameuden mittaaminen (turbidity)
- Referenssispektrometrin uusiminen (käyttöaika noin 20 vuotta)
- UV-vanhennusmittaukset
- Infrapunasäteilyn mittaustilat.

Lisäksi tulisi varautua siihen, että KML joutuu lähitulevaisuudessa järjestämään CCPR-avainvertailun jollain vahvuusalueellaan.

5.6 Lähdeluettelo

1. Photonics21 European Technology Platform, *Towards a Bright Future for Europe*, Strategic Research Agenda in Photonics, ISBN-3-00-018615-8, April 2006, 161 p.
2. The BIPM key comparison database, <http://kcdb.bipm.org/>.

6 Sähkösuureet sekä aika ja taajuus

Tiivistelmä

Sähkösuureet sekä aika ja taajuus ovat erityisasemassa, koska lähes kaikkien suureiden mittaustekniikka käyttää sähköteknisiä järjestelmiä, antureita ja muuntimia. Sähkömetrologiaa hyödynnetään useimpien suureiden kalibroinneissa.

Sähkö- ja aikasuureiden kansalliset mittanormaalit sekä korkeimman tason kalibroinnit kuuluvat MIKESin vastuualueeseen. Poikkeuksena ovat suurjännite- ja pulssisuureiden kansallinen mittanormaalitoiminta sekä suurjännitemittauslaitteiden kalibroitointiminta, jotka on keskitetty Teknillisen korkeakoulun sähköverkkojen ja suurjännitetekniikan laboratorioon (MIKES-TKK).

Sähkö- ja aikametrologia vaikuttaa yhteiskuntaan mittaustoiminnan, koulutuksen ja tutkimuksen kautta. Teollisuusyhteistyön perinteinen muoto on kalibroitointiminta. MIKESissä suunnittelukauden yksi päätavoite on yhteistyön laajentaminen yritysten T&K-toimintaan esimerkiksi TEKESin rahoittamissa yhteishankkeissa. Koulutuksen muotoja ovat seminaarimuotoiset tilaisuudet sähkömetrologian osa-alueilta sekä yksittäisten yritysten erityistarpeisiin räätälöidyt erikoiskurssit ja konsultointi. Tutkimuksen keihäänkärkinä ovat kvanttinormaaleiden ja mikroelektromekaanisten rakenteiden (MEMS) sovellukset, joissa MIKES on aivan alan kansainvälisellä huipulla.

Suurjännitemittaukset liittyvät erityisesti sähköverkon komponentteja valmistavan teollisuuden tuotantoon, sähköturvallisuuteen, sähkön siirtoon, jakeluun ja käyttöön sekä sähkön myyntiin. Sähköenergian ja -tehon sekä sähkön laadun kalibroitien merkitys kasvaa. Myös suurjännitelaitteiden diagnostiikkaan liittyvä mittaustekniikka on mahdollinen kehittämiskohde.

Suunnittelukauden tavoitteet mittanormaallilaboratorioissa ovat lyhyesti:

- Laboratorioiden asiakaspalvelua nopeutetaan ja parannetaan tietotekniikan avulla.
- Kalibroitivalmiuksia laajennetaan ja parannetaan asiakastarpeiden mukaisesti esimerkiksi suurtaajuusmetrologian (MIKES) sekä keski- ja suurjännitteisen sähkötehon ja -energian (MIKES-TKK) osalta.
- Teollisuusyhteistyötä tiivistetään esimerkiksi TEKESin rahoittamien tutkimus- ja tuotekehityshankkeiden muodossa.
- Tutkimuksessa keskitytään nykyisiin keihäänkärkiin eli mikro- ja nanotekniikan metrologiasovelluksiin (MIKES) ja pulssisuureiden kalibroitimenetelmien kehittämiseen (MIKES-TKK).
- Kansainvälistymistä jatketaan esimerkiksi osallistumalla iMERA-hankkeisiin ja laajentamalla asiakkaan tiloissa tehtävää kalibroitointitoimintaa ulkomaille.

6.1 Johdanto

Tärkeimpiä sähkösuureita ovat jännite (mittayksikkö voltti, V), sähkövirta (ampeeri, A), resistanssi (ohmi, Ω), sähköteho (watti, W) ja sähköenergia (kilowattitunti, kWh). Sähkömetrologian alueeseen kuuluvat lisäksi sähköisten peruskomponenttien ominaisuudet, kuten kapasitanssi, sekä joukko teknisesti tärkeitä edellisistä johdettuja suureita. Tällaisia ovat esimerkiksi sähkötehoon liittyvät vaihekulmat, pulssisuureet sekä mitta-
muuntajiin liittyvät suureet. MNK:ssa sähkösuureiden työryhmän alueeseen kuuluvat myös aika (sekunti, s) ja taajuus (hertsi, Hz).

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, joka sitten tulkitaan mitattavan suureen arvoksi, esim. paineanturilla pascaleina jne. Sähkötekniisiä perusyksiköitä ja niiden mittaustekniikkaa hyödynnetään useimpien suureiden kalibroinneissa.

Sähkö- ja elektroniikkateollisuus nousi 1990-luvulla suomalaisen elinkeinoelämän veturiksi. Sähkötekniisen teollisuuden osuus Suomen kokonaisviennistä on 2000-luvun alussa ollut 25 % - 31 % [Tulli, Taskutilastot 2000-2004]. Sähkö-, elektroniikka- ja tietotekniisen teollisuuden menestys on vetänyt mukanaan myös joukon muita teollisuusaloja parantamalla markkinoinnin edellytyksiä ja vientimme imagoa. Menestyksen tärkeänä perustekijänä on ollut mm. sähkö- ja tietotekniisen koulutustason nostaminen 1990-luvun alun laman jälkeen.

Suurealueen kansallisten mittanormaalilaboratorioiden (KML) tarve perustuu metrologisten palveluiden tarjoamiseen suomalaiselle yhteiskunnalle ja elinkeinoelämälle: on saatava asiantuntemusta omasta maasta omalla kielellä. Tähän tarpeeseen vastataan ylläpitämällä kansallisia mittanormaaleita ja huolehtimalla suureiden jäljitettävyydestä kalibroitilaboratorioille ja muille asiakkaille. Teollisuuden odotuksiin vastataan yhä enemmän myös muilla tavoin, esimerkiksi tuomalla mittausteknistä asiantuntemusta teollisuuden tuotekehityshankkeisiin ja tarjoamalla metrologiaan liittyvää koulutusta. Korkeatasoinen oma tutkimus on myös tärkeää. Kansalliset mittanormaalilaboratoriot muodostavat foorumin kansainväliselle yhteistyölle ja tiedonvaihdolle muiden maiden tutkijoiden kanssa. Tämän tiedonvaihdon tulokset siirtyvät hyödyttämään teollisuuden lisäksi maan tiede- ja koulutusyhteisöjä.

6.2 Sähkö- ja aikasuureiden metrologia Suomessa

Sähkö- ja aikasuureiden kansallisten mittanormaalien kehittäminen ja ylläpito sekä korkeimman tason kalibroinnit on annettu MIKESin tehtäviksi. Poikkeuksina ovat suurjännite- ja pulssisuureiden kansallinen mittanormaalityö ja suurjännitemittauslaitteiden ja EMC-pulssitestereiden kalibroitimien ja EMC-pulssitestereiden kalibroitimien, jotka on toistaiseksi keskitetty Teknillisen korkeakoulun sähköverkkojen ja suurjännitetekniikan laboratorioon (MIKES-TKK). Vuonna 2005 sähkömetrologiaan käytetty työpanos oli noin 16 henkilötyövuotta (13, MIKES + 3, MIKES-TKK).

Suurin osa MIKESin sähkösuureiden kalibroinneista on jäljitettävissä suoraan luonnonvakioihin omien Josephson-ilmiöön ja kvantti-Hall-ilmiöön perustuvien kvanttinormaaleiden kautta, joiden avulla jännite (voltti) voidaan realisoida suhteellisella epävarmuudella 10^{-10} ja resistanssi (ohmi) vastaavasti tasolla 10^{-8} . Tasajännitteen ja resis-

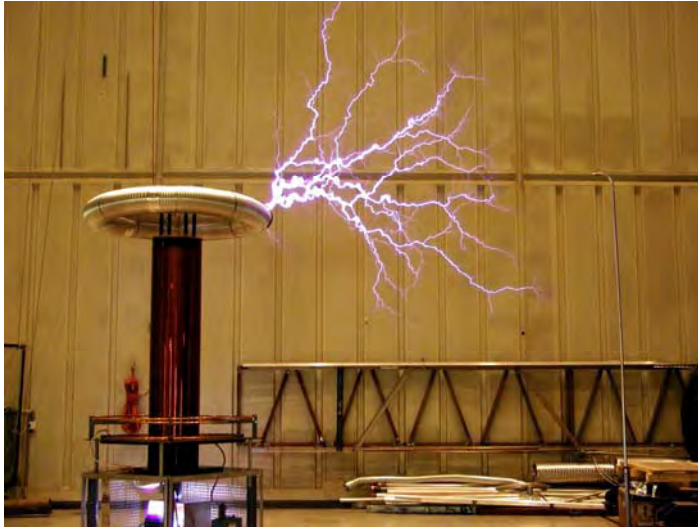
tanssin lisäksi MIKES ylläpitää vaihtojännitteen ja -virran, sähkötehon, kapasitanssin sekä suurtaajuustehon ja -vaimennuksen kansallisia mittanormaaleita.

MIKES on keskittynyt voimakkaammin kuin muiden maiden saman kokoluokan kansalliset mittanormaallilaboratoriot sähkömetrologian tutkimustoimintaan, erityisesti kvanttinormaalien kehittämiseen ja mikroelektromekaanisten rakenteiden (MEMS) metrologiasovelluksiin. Teollisuusyhteistyön tärkein muoto on ollut sähkösuureiden kalibrintipalveluiden tarjoaminen. Sähkömetrologian yhteistyö suomalaisen teollisuuden kanssa on kuitenkin johtanut myös uusien tuotteiden kehittämiseen mm. sähköenergian ja -tehon mittaamiseen. Tärkeä toimintatapa on myös tiedon siirto, jota MIKES toteuttaa sekä järjestämällä seminaareja että antamalla yksittäisten asiakkaiden erityisongelmiin puretuvaa räätälöityä koulutusta ja opastusta.

Tarkka ajan ja taajuuden mittaaminen on nykyisen metrologian perusta, jolle useimpien muiden fysikaalisten suureiden hallinta on rakennettavissa. MIKESissä aika- ja taajuuskalibroinnit jäljittyvät sekunnin määritelmään omien cesium-atomikellojen ja vety-maserien kautta, joiden suhteellinen epävarmuus on luokkaa 10^{-13} . Niitä vertaillaan GPS-vastaanottimien avulla maailman aikaan, jonka ylläpitoon MIKES osallistuu kansallisen ajan ylläpidon ohella. MIKES kalibroi asiakkaiden taajuuslaskimia, taajuusnormaaleja ja tarvittaessa esimerkiksi stroboskooppeja ja sekuntikelloja. MIKES välittää kansallista aikaa tietoverkkoon NTP-palvelun kautta ja valvoo YLE:n aikamerkin tarkkuutta ja TV-lähetysten juovataajuuden stabiilisuutta.

MIKESin sähkö- ja aikametrologian kalibrintipalveluiden suurimpia asiakkaita ovat akkreditoidut kalibrintilaboratoriot, muutamien suuryrityksien kalibrintilaboratoriot, muut kalibrintipalveluita tarjoavat yritykset, teollisuusyritykset, puolustusvoimat ja maahantuojien mittauslaitesuollot. Kalibrintitodistusten määrä on ollut vuosittain 50 - 80.

Suurjännitemittauksia (yli 1000 V) tarvitaan erityisesti sähköverkon komponentteja valmistavan teollisuuden tyyppitestauksessa ja laadunvarmistuksessa. Näiden mittausten tavoitteena on laitteen sähköturvallisuus ja käyttövarmuus. Tärkeitä käyttökohteita ovat sähkönsiirrossa ja jakelussa käytettävien mittausjärjestelmien kalibrinti. Tällöin tavoitteena on verkon suojaus tai myytävän sähköenergian tarkka mittaaminen. Muita suurjännitemittausten tarvisijoita ovat sähköverkkoon kytkettävien laitteiden valmistajat tai näiden laitteiden testauslaboratoriot. Sähköjärjestelmien asennus-, rakennus- ja kunnonvalvontayritykset kuuluvat myös suurjännitemittausten käyttäjiin. MIKES-TKK:lla sähköteho- ja -energiamittausten kalibrintivalmiudet on suurjännitemuuntimien osalta kehitetty valmiiksi ja sähkönsiirtoon liittyvä metrologinen toiminta aloitetaan vuonna 2006. Pulssikalibrointien kohdalla MIKES-TKK:n valikoima on laaja, kattaen syöksyjännite-, syöksyvirta-, osittaispurkaus- ja pulssi-EMC-kalibroinnit. Osaamista ollaan myös kaupallistamassa saksalaisen mittauslaittevalmistajan kanssa. Suurin osa kalibroinneista voidaan tehdä asiakkaan tiloissa tarkkuuden heikentymättä merkittävästi. Vaikka MIKES-TKK:n henkilöresurssit ovat pienet, sen tarjoama suurevalikoima on laajempaa maailmassa ja epävarmuudet ovat kilpailukykyisiä. Vuosittain laboratorio on antanut noin 35 kalibrintitodistusta. Tarjonta vastaa nykyistä kysyntää, mutta piilevää kalibrintitarvetta on edelleen mm. siksi, että testausten tarkastajat eivät aina vaadi kalibrintitodistuksia nähtäväkseen. Teollisuuden laatu- ja turvallisuusjärjestelmät ovat näiltä osin yhä kehittämissä vaiheissa. Viime vuosina MIKES-TKK:n ulkomaisten asiakkaiden määrä on kasvanut, erityisesti pulssikalibrointien kohdalla.



Kuva 6.1. MIKES-TKK pystyy mittaamaan myös Tesla-muuntajan suurtaajuisia suurjännitesignaalia (100 kHz, 500 kV).

Säteilyturvakeskuksen (STUK) ionisoimattoman säteilyn laboratorio ylläpitää tutkimus- ja valvontatoiminnassa tarvittavia sähkösuureiden mittanormaaleja (radiotaajuisen sähkökentän voimakkuus, pien- ja radiotaajuisen magneettikentän voimakkuus sekä ominaisabsorbtionopeus, SAR (Specific Absorption Rate)). STUK ei pyri näiden suureiden osalta kansalliseksi mittanormaalilaboratorioksi, ellei ulkopuolelta tule siihen tarvetta. Kansainväliseen yhteistyöhön ja vertailuihin osallistutaan mahdollisuuksien mukaan.

Metrologisessa jäljitettävyyshetjussa primäärinormaalista kuluttajalle tärkeässä asemassa ovat akkreditoituidet kalibrointilaboratoriot, joita sähkösuureiden alalla on yhteensä seitsemän. Aika- ja taajuussuureilla on kolme akkreditoitua kalibrointilaboratoriota. Osalle yritysten tai yhteisöjen kalibrointilaboratorioista kalibrointitoiminta on alan ky-syntää kattavaa liiketoimintaa ja osalle omaa liiketoimintaa tukevaa ylläpitoa. Vuonna 2005 akkreditoituidet laboratoriot antoivat yhteensä noin 2500 kalibrointitodistusta sähkö- ja aikasuureiden alalta.

6.3 Kansainvälinen toiminta

MIKES hyväksyttiin CCEM:n (Consultative Committee for Electricity and Magnetism) jäseneksi syksyllä 2004. Jäsenenä MIKES pääsee vaikuttamaan kansainvälisesti metrologian tutkimuksen painopisteisiin ja esimerkiksi maailmanlaajuisen avainvertailujen järjestämiseen. MIKES on aktiivisesti mukana myös EUROMETin sähkön ja magnetismin sekä ajan ja taajuuden teknisten komiteoiden ja niiden alityöryhmien toiminnassa. MIKESin tutkimus erityisesti kvanttmetrologian ja mikro- ja nanorakenteiden metrologiasovelluksen alalla on kansainvälisesti hyvin tunnettua, arvostettua ja seurattua. Tutkimuksen korkean tason oleellisenä edellytyksenä on tiivis yhteistyö Otaniemen muiden toimijoiden, VTT:n ja TKK:n, kanssa. Kansainvälisestä yhteistyöstä mainittakoon vuonna 2005 päättyneet EU-rahoitteinen EMMA-hanke, jossa kehitettiin MEMS-rakenteiden sovelluksia sähkömetrologiaan. Päätulos oli mikromekaniikkaan perustuva stabiili vaihtojännitenormaali. Kansainvälisissä vertailuissa MIKES on ollut erityisen aktiivinen resistanssimetrologiassa, jossa on menestyksekkäästi osallistuttu useaan kansainväliseen vertailumittaukseen ja toimittu myös pilottilaboratoriona. Äskettäin on

osallistuttu myös tasajännitteen (sekä Zener- että Josephson-normaalit), tasajännitesuhteiden, vaihtojännitteiden, 50 Hz sähkötehon, virtamuunninten, kapasitanssien sekä suurjännitteen ja -vaimennuksen mittausten vertailuihin. Lähes poikkeuksetta MIKES on menestynyt erinomaisesti tai hyvin.

MIKES-TKK:n kansainvälinen yhteistyö on laajaa ja sitä harjoitetaan erityisesti EU-ROMETissä, suurjännitealan yhteistyöjärjestössä CIGREssä ja IEC:ssä kansainvälisenä standardointityönä. Kehitystyö syöksyjännitemittausten parissa sekä useat koordinoidut maailmanlaajuiset vertailumittaukset ovat vieneet MIKES-TKK:n pulssimittausten osalta maailman kärkeen. Osaamista on myös kaupallistettu. Viime vuosien monet kansainväliset vertailumittaukset ovat osoittaneet laboratorion hyvän kilpailukykyä.

6.4 Yleiset kehitysnäkymät

Suunnittelukaudella korostuu erityisesti yhteistyön kasvattaminen elinkeinoelämän kanssa. Mittauslaitteiden kalibroinnit ovat olleet perinteinen toimintamuoto, mutta jatkossa hakeudutaan yhä enemmän muunkintyyppiseen yhteistyöhön esimerkiksi osallistumalla tutkimus- ja tuotekehityshankkeisiin, joissa vaaditaan sähkömittausten ja häiriökysymysten asiantuntemusta. Teollisuusyhteistyön kautta KML:ien mittaustekninen osaaminen ja tarkkuusmittauksia varten suunnitellut laboratoriot saadaan entistä paremmin hyödyttämään koko yhteiskuntaa. Myös koulutus on osa tätä toimintaa.

MIKESin ja MIKES-TKK:n osaava ja korkeasti koulutettu henkilöstö sekä maailman huippuluokkaa olevat tilat Otaniemen kampusalueella antavat yhteistyöhankkeille oivat mahdollisuudet. Tutkimuksen ja teollisuusyhteistyön kautta saavutettava osaaminen on oleellinen edellytys sille, että KML:ien mittanormaali- ja kalibrointitoiminta pysyvät kehityksen eturintamassa. Esimerkiksi TEKESin, Suomen Akatemian ja EU:n rahoittamat hankkeet tuovat myös taloudellisia resursseja, jotka ovat välttämättömiä MIKESin uudisrakennuksen myötä huimasti kohonneiden vuokrien vuoksi.

Metrologiakoulutuksen merkitys vaikuttaa edelleen kasvavan. MIKES on osallistunut yleiseen koulutukseen pitämällä metrologialuentoja vuosittain TKK:n ja Helsingin yliopiston ja satunnaisemmin muidenkin yliopistojen opiskelijoille. Tällaista toimintaa jatketaan ja laajennetaan erityisesti MIKESiin suuntautuvien opiskelijavierailujen muodossa. Sähkömetrologian erityiskysymyksiin pureutuvat seminaarit ovat toinen koulutusmuoto. Niiden tarpeen ovat osoittaneet sähköenergian ja sähkön laadun mittauksiin liittyneiden seminaarien suosio ja osallistujien palaute. Kolmas koulutusmuoto on asiakkaiden erityisiin mittausongelmiin ja häiriökysymyksiin räätälöidyt kurssit ja opastaminen konkreettisissa ongelmissa. Ne ovat tärkeitä myös siksi, että niiden kautta syntyy helposti muutakin yhteistyötä.

Kansallisten mittanormaali-laboratorioiden perustehtäviä nyt ja tulevaisuudessa ovat kansallisten mittanormaalien ylläpito ja jäljitettävyyden välittäminen asiakkaille kalibrointien kautta. Kalibrointipalveluita kehitetään ja laajennetaan todellisten asiakastarpeiden mukaisesti. MIKESissä erityisiä kehityskohteita suunnittelukaudella ovat suurtaajuisten sähkösuureiden, vaihtojännitteen ja -virran sekä isojen resistanssien mittaukset. Tärkeä kehityskohde on myös sähkön laadun mittaamiseen liittyvä kalibrointitoiminta, johon liittyvää osaamista on sekä MIKESissä että MIKES-TKK:ssa; sähkön laadun mittausten merkitys sähkökaupassa kasvaa jatkuvasti, mutta kalibrointimenetelmät ja niiden standardointi ovat vielä kehittymättömiä. Resurssien rajallisuuden vuoksi vähän käytettyjä palveluita voidaan joutua karsimaan. Asiakaspalvelun laadun

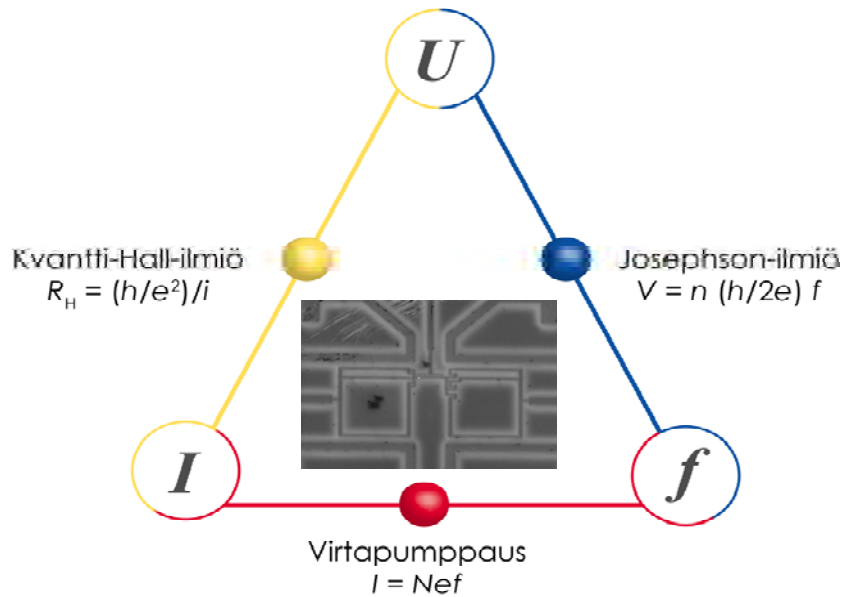
ja nopeuden parantamiseksi voimakas panostaminen laboratorioiden mittaus- ja ylläpitomenetelmien ja -rutiinien automatisointiin on välttämätöntä.

Suurjännitemetrologiassa lienee kauden aikana tarpeen varautua mittamuuntajien kenttäkalibrointiin. Muutenkin kenttäkalibrointien merkitys kasvaa niin Suomessa kuin ulkomaillakin. Myös modernit, mm. digitaalisella lähdöllä varustetut mittausanturit yleistyvät ja niiden kalibrointi vaatinee vastaisuudessa uusien menetelmien kehittämistä. Muita kehityssuuntia ovat suurmuuntajien, kuristimien ja kondensaattorien häviömittausten kalibrointi. Mittauksilla on usein suuri taloudellinen merkitys, sillä yhä useammin näiden yksikköhinnaltaan kalliiden laitteiden hinta sidotaan mitattuihin häviöihin. Vapautunut sähkökauppa ja sen monet rajapinnat voivat milloin tahansa aiheuttaa riitatilanteita ja oikeustoimia, jotka edellyttävät sähkötehon ja -energian mittausten kalibrointeja suurjännitteellä. Muutenkin suurjännitemittaukset palvelevat tulevaisuudessa taloudellisia intressejä yhä konkreettisemmin esimerkiksi sähkön laadun ja diagnostisten mittausten kautta. Suurten tasavirtojen sekä tasasähkötehon ja -energian kalibrointitarve suurjännitteellä voi tulla myös ajankohtaiseksi lähivuosina tasajännitesiertolinjojen yleistyessä.

Suurjännitemetrologian hajauttaminen MIKESin ulkopuolelle ei ole kaikilta osin ollut paras ratkaisu. Onkin syytä selvittää mahdollisuudet sulauttaa MIKES-TKK:n toiminta MIKESIin. Tällöin sähkömetrologia olisi keskitetty yhteen organisaatioon. Välittömiä hyötyjä olisivat parempi metrologiaorganisaation tuki suurjännitesuureille, päällekkäisyksien poistaminen, ryhmän kriittisen massan turvaaminen ja muut synergiaedut.

MIKESin aika- ja taajuusmetrologian käyttäjäkunnaltaan suurin palvelu on NTP, jonka avulla MIKESin ylläpitämä Suomen kansallinen aika välitetään tietoverkkoihin. Tietoverkosta saatavan ajan luotettavuus korostuu entisestään. Tärkeä sovellutus on sähköisten dokumenttien aikaleimapalvelu, jollaisen MIKES ja Väestörekisterikeskus toteuttavat suunnittelukauden alussa. Taajuusmittausten luotettavuus tulee yhä tärkeämmäksi langattoman tietoliikenteen merkityksen kasvaessa. Käytettävissä olevien viestinvälitystaajuuksien rajallisuus vaatii erityisen tarkkoja taajuusmittauksia, koska digitaalisen viestin tehokkaat koodausmenetelmät perustuvat viestikanavan rajoitetun taajuuskaistan taloudelliseen hyväksikäyttöön. Taajuuksien stabiilisuuden (Allanpoikkeama) mittaus aina 10^{-14} tasolle mahdollistaa tietoliikenteen perusoskillaattoreiden laadun mittauksen.

MIKES on ensi sijassa tutkimuslaitos. Sähkömetrologian alalla Suomi on ollut vahvasti mukana perusmetrologian mullistaneessa kvanttinormaalien kehityksessä sekä kvantti-Hall-resistanssinormaalien kehityksessä sekä Josephson-jännitteen osalta. Uusi aluevaltaus on nanorakenteissa esiintyviin yksielektroni-ilmiöihin perustuva virtapumppu, jota MIKES alkoi tutkia keväällä 2005. Päämääränä on niin sanotun kvanttimitrologiakolmion sulkeminen, joka on yksi nykymetrologian suurimmista haasteista; Suomen Akatemia rahoittaa MIKESin kvanttimitrologiakolmionhanketta vuosina 2006-2009. MIKES on ollut edelläkävijä myös mikroelektromekaanisten rakenteiden (MEMS) sähkömetrologiasovellutusten kehittäjänä. Tämän alan merkitys kasvaa jatkuvasti.



Kuva 6.2. Tieteellisen sähkömetrologian suurimpia haasteita on kvanttimitrologiakolmion sulkeminen. Kuvassa keskellä pyyhkäisyelektronimikroskooppikuva uudentyypisistä suprajohtavaan nanoelektroniikkaan perustuvasta virtapumpusta, jonka toimintaperiaatteen keksivät TKK:n Kylmälaboratorion ja VTT:n tutkijat ja jota MIKES tutkii ja jatkokehittää yhdessä TKK:n Kylmälaboratorion kanssa.

Oleellisena edellytyksenä sille, että MIKES on päässyt aivan maailman terävimpään kärkeen kvanttimitrologian ja MEMS-sovellusten alalla, on aktiivinen tutkimusyhteistyö VTT:n ja TKK:n kylmälaboratorion kanssa. Nämä Otaniemessä toimivat huippuyksiköt ovat kiinnostuneita sähkömetrologiasta omista tutkimusintresseistään lähtien ja yhteistyön jatkuminen niiden kanssa on ensiarvoisen tärkeää MIKESille. Tutkimusyhteistyöverkostoa pyritään laajentamaan myös Otaniemen ulkopuolelle. MIKES saa hankkeilleen todellisen huippututkimuksen edellyttämän kriittisen massan vain tekemällä yhteistyötä ja verkostoitumalla yliopistojen ja muiden tutkimuslaitosten kanssa. Samalla MIKES voi välittää mittaustekniikkaan liittyvää erikoisosaamistaan muille tutkijoille.

Menestyminen yhä laajentuvassa metrologian kansainvälistymisessä edellyttää maailmanluokan huippuosaamista ainakin joillakin alueilla. Pääsy mukaan EU:n rahoittamiin tutkimushankkeisiin esimerkiksi iMERA-projektin puitteissa vaatii kovia näyttöjä, ja MRA-sopimuksen myötä yhä yleistyvien kansainvälisten kalibroitotoimeksiantojen saaminen edellyttää laadullista ja/tai hinnallista kilpailukykyä tai keskittymistä erikoisosaamista tai -laitteistoa vaativiin kalibrointeihin.

6.5 Tavoitteet vuosille 2007-2011

MIKESin ja MIKES-TKK:n kansallisen sähkömetrologian yleisiä tavoitteita ovat kansallisten mittanormaalien ylläpidon korkea kansainvälinen taso, kalibroitotoiminnan vastaaminen asiakastarpeisiin, korkeatasoisen tutkimuksen tekeminen sekä suomalaisen elinkeinoelämän palveleminen tutkimus- ja kehitysyhteistyöhankkeiden ja koulutuksen muodossa. Konkreettisia tavoitteita vuosille 2007-2011 on koottu alla olevaan listaan.

- Teollisuusyhteistyön tiivistäminen hakeutumalla esimerkiksi TEKESin rahoittamiin tutkimus- ja kehityshankkeisiin, joissa voidaan hyödyntää KML:ien osamista sähkösuureiden mittauksissa ja häiriöiden eliminoinnissa. Yksi osa toimintaa on KML:ien osaamisen ja yhteistyömahdollisuuksien aktiivinen markkinointi esimerkiksi yritysvierailuilla ja messuilla.
- Laboratorioiden asiakaspalvelun nopeuttaminen ja parantaminen tietotekniikan avulla: tietokantajärjestelmien hyödyntäminen, internetin kautta tapahtuvien kalibrointien ja aikapalvelun kehittäminen, perusmittausten automatisoinnin loppuunsaattaminen.
- Kalibrointivalmiuksien laajentaminen asiakastarpeiden mukaisesti: suurtaajuusmittausten taajuusalueen laajentaminen ja suurtaajuusjännitemittausten aloittaminen, pienten vaihtojännitteiden ja -virtojen sekä suurten resistanssien mittaukset, sähkön laatuun liittyvät mittaukset, näytteistykseen perustuvien vaihtosuureiden (jännite, virta, impedanssi ja näiden vaihekulma) mittausten kehittäminen, sähköenergian mittamuuntimien kenttäkalibroinnit, keski- ja suurjännitteisen sähkötehon ja -energian kalibrointivalmiuksien kehittäminen.
- Kansainvälisesti korkeatasoinen kvanttimetrolgian tutkimus: kvanttimetrolgiakolmio, Josephson-jännitenormaanin soveltaminen vaihtojännitteen ja sähkötehon mittauksiin, kvantti-Hall-resistanssiin pohjautuvat kapasitanssi- ja induktanssimittaukset.
- MEMS-rakenteiden sähkömetrologiasovellutusten tutkimus- ja kehitystyö.
- MIKES-TKK:n pysyminen pulssimittauksissa maailman kärjessä.
- Aktiivisen yhteistyön jatkaminen TKK:n ja VTT:n kanssa ja tutkimusyhteistyön aloittaminen muidenkin suomalaisten ja ulkomaisten yliopistojen ja tutkimuslaitosten kanssa erityisesti sellaisissa hankkeissa, joihin on mahdollista saada ulkopuolista rahoitusta.
- Aktiivinen osallistuminen CCEM:n ja EUROMETin toimintaan: EUROMETin DC- ja kvanttimetrolgiatyöryhmän ja matalataajuustyöryhmän kautta aikain ensimmäisen yhteinen kokousviikko kesällä 2007 Espoossa, menestyksekkäs osallistuminen kansainvälisiin vertailuihin ym.
- Kansainvälistyminen: iMERA-hankkeisiin osallistuminen, asiakkaan tiloissa tehtävän kalibrointitoiminnan laajentaminen ulkomaille ym.
- Tutkimustulosten julkaiseminen alan arvostetuimmista lehdissä ja tärkeimmissä konferensseissa (CPEM).
- Koulutus eri muodoissaan: luennot yliopistoissa ja korkeakouluissa sekä opiskelijavierailut MIKESiin, seminaarit sähkö- ja aikametrologian alalta (suurtaajuusmittaukset, sähköenergiamittaukset, epävarmuusarviointi ym.), yksittäisiä asiakkaita varten räätälöity koulutus ja opastus.
- Laadukas asema BIPM:n seuraamien ja raportoimien kansallisten aika- ja taajuuslaboratorioiden joukossa: esim. ”paperikellon” kehittäminen UTC-ajan tarkaksi realisoimiseksi, taajuuskamman sovellusten tutkiminen.
- Aikaleimapalvelun kehittäminen Väestörekisterikeskuksen kanssa, NTP-palvelun käyttäjäkunnan laajentaminen aktiivisella markkinoinnilla.
- Selvitetään mahdollisuudet sulauttaa MIKES-TKK:n suurjännitemetrologia MIKESin organisaatioon.

7 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 toiminut akustisten suureiden kansallisena mittanormaallaboratoriona syksystä 2002 alkaen. Nykyisin palveluihin kuuluvat mittamikrofonien ja äänitasokalibraattorien kalibroinnit. Kiihtyvyyssanturien kalibrointipalvelua ollaan käynnistämässä.

Tavoitteista tärkeimpiä akustiikan mittanormaalityön vakiinnuttamisen jälkeen ovat värähtelykiihtyvyyden antureiden kalibroinnin käynnistäminen, transienttisuureiden mittausspalvelun 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 mittausspalvelun luominen (äänenpaine, tärähdykset, toistuvat iskut, purskeet) ja entistä aktiivisempi akustisen metrologian alan kansainväliseen yhteistyöhön osallistuminen Euroopan tasolla. Asiantuntijoiden koulutusta seminaaritoiminnalla ja alan tutkimuspalvelujen lisäämistä on tuettava. Tutkimusyhteistyö MIKESin ja korkeakoulujen, yliopistojen, tutkimuslaitosten sekä teollisuuden välillä on aloitettava.

7.1 Johdanto

Yhteiskunnan ja yritysten panostus akustisten ja mekaanisten värähtelysuureiden mittausten ja mallinnuksen kehittämiseen on ollut Suomessa niiden terveydelliseen ja taloudelliseen merkitykseen nähden varsin vähäistä. Tällä alueella ei ole ollut yhtään akkreditoitua kalibrointilaboratoriota. Akkreditoituja testauslaboratorioita on kuusi kappaletta äänenpaineelle mutta ei yhtään värähtelylle. Mittaustoiminnan kansallinen infrastruktuuri ei ole toivotulla tasolla, mikä on osaltaan vaikeuttanut mittaustoiminnan kehittymistä sielläkin, missä tarve tiedostetaan. Suomessa kansallisen mittanormaallaboratorion toiminta on ollut ajoittain jopa keskeytyksissä ja värähtelyn osalta kansallinen mittanormaallaboratorio on vasta kehitteillä. Tämä on vaikeuttanut pitkäjänteisen kehitystyön organisointia ja suunnittelua. Myöskään alan kehityksen vaatimia investointeja ei ole voitu tehdä. Akustiikan kansallisen mittanormaallaboratorion toiminnan uudelleen aloittaminen MIKESissä vuonna 2002 on parantanut tilannetta.

7.2 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. MIKESin akustiikan kansallisessa mit-

tanormaallilaboratoriossa tehdään vuosittain noin 20 kalibrointia ja määrä on kasvamassa. Muita toimijoita akustiikan eri alueiden tutkimuksen ja kehityksen alalla ovat korkeakoulujen laboratoriot sekä tutkimuslaitosten vastaavat korkeatasoiset yksiköt. Suurimmat asiakasryhmät ovat teollisuus ja akustiikan alan suunnittelu- ja mittauspalveluja tarjoavat yritykset sekä tutkimuslaitokset.

MIKESin uudet toimitilat valmistuivat Otaniemeen vuoden 2005 lopussa. Uudisrakennukseen tulivat myös erityisesti akustisiin ja värähtelykiihtyvyyksmittauksiin suunnitellut laboratoriotilat. Korkeatasoiset tilat aktiivisessa tutkimusympäristössä mahdollistavat akustisten suureiden metrologian kehittämisen kansallisella tasolla. MIKESin akustiikkalaboratorio on nimetty äänenpaineen kansalliseksi mittanormaallilaboratorioksi lokakuussa 2002. Alalle on Suomessa akkreditoitu kuusi testauslaboratoriota, mutta akkreditoituja kalibrointilaboratorioita ei ole.

MIKESissä äänenpaineen jälki siirretään kondensaattorimikrofoneihin primäärikalibrointisysteeminä toimivalla resiprookkikalibrointilaitteistolla. Mittausketju alkaa resiprookkikalibroinnista, jolla saadaan selville laboratoriomikrofonien jännite/paineherkkyys. Laboratoriomikrofoneja käytetään edelleen äänitasokalibraattoreiden kalibrointiin. MIKES kalibroi IEC-standardin mukaisia 1/2- ja 1-tuuman kondensaattorimikrofoneja taajuusalueella 31,5 Hz - 20 kHz epävarmuuksien vaihdellessa välillä 0,04 - 0,14 dB. Äänitasokalibraattoreita MIKES kalibroi pistetaajuuksilla, jolloin mitataan äänenpainetaso, taajuus ja harmoninen särö. Taajuusalue on 125 - 1000 Hz epävarmuuden ollessa 0,08 dB ja monitoimikalibraattoreille 31,5 - 12500 Hz epävarmuuksien vaihdellessa välillä 0,1 - 0,15 dB. Käyttäjäkentästä suuri osa on tekemisissä melumittausten kanssa, joiden tarve kasvaa melusäännösten tiukentuessa sekä ympäristönettä työsuojelun piirissä.

Mekaanisten värähtelysuureiden alalla Suomessa ei vielä ole kansallista mittanormaallilaboratoriota, mutta sellaista perustetaan parhaillaan. Tämän tarve aiheutuu osittain teollisuuden laadunvalvonnan ja kunnossapidon vaatimuksista mutta myös tärinään liittyvien säännösten kiristymisestä: uusi yhteisöläinsäädäntö kattaa työperäisen käsi- ja kehotärinäaltistuksen kaikilla aloilla, myös merenkulussa ja ilmailienteessä. Myös koneiden valmistajilla on melu- ja tärinäpäästöjen ilmoittamisvelvollisuus.



Kuva 7.1. Kalibroinnin valmistelua MIKESin akustiikkalaboratoriossa. Kuva on otettu valvontahuoneesta käsin. Itse mittaushuone on ääni- ja tärinänielessä muusta rakennuksesta eristetty.

7.3 Kansainvälinen toiminta

MIKES on mukana EUROMETin akustiikkatyöryhmän toiminnassa. Vuonna 2004 MIKES osallistui EUROMETin järjestämään LS2P-mikrofonien kalibrointien avainvertailuun (EUROMET.AUV.A-K3). Vertailuun osallistui yhdeksän maata. Alustavien tulosten mukaan MIKES menestyi vertailussa hyvin. 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. Kansainvälinen yhteistyö on tiivistymässä esimerkiksi iMERA-hankkeen puitteissa.

7.4 Yleiset kehitysnäkymät

Työntekijöitä pyritään suojelemaan entistä tehokkaammin työperäiseltä melulta ja sen aiheuttamilta haitoilta (Meluasetus 85/2006). Tästä aiheutuu lisääntyvää mittaustarvetta. Asetuksen vaatimat mittaukset ovat myös mittausteknisesti entistä vaativampia.

Valmistavalle teollisuudelle asetetut vaatimukset ovat lähinnä konedirektiivin (34/97/EY) myötä kasvaneet ja tulevat edelleen kasvamaan uuden ulkona käytettävien koneiden meludirektiivin (14/2000/EY) voimaansaattamisen seurauksena. Fysikaaliset tekijät -direktiivi (tärinä 2002/44/EY ja melu 2003/10/EY, vastaavat kansalliset asetukset 48/2005 ja 85/2006) asettavat toiminta- ja raja-arvoja kaikelle 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.

MIKESin tavoitteena on olla mukana alan kehityksessä osallistumalla entistä aktiivisemmin teollisuuden tuotekehityshankkeisiin ja tutkimusyhteistyöhön yliopistojen ja tutkimuslaitosten kanssa. MIKES pyrkimyksenä on samalla välittää omaa mittausteknistä osaamistaan eteenpäin.

MIKES ja metrologian neuvottelukunnan akustiikan työryhmä teki vuonna 2003 kyselyn värähtelysuureiden kalibrointipalvelujen tarpeesta Suomessa. Vastausten perusteella sekä sekundääri- että primääritason kalibrointipalveluille on tarvetta.

7.5 Tavoitteet vuosille 2007-2011

Tavoitteena on, että myös pidemmällä aikavälillä varmistetaan kaikille tärkeille akustisille ja mekaanisille värähtelysuureille sekä kalibrointien jäljitettävyyden ja laatu että niiden riittävän nopea saatavuus. Lakisääteisen metrologian muuttuvat tarpeet otetaan huomioon.

Keskeisiä painopistealueita seuraavan 5 vuoden aikana ovat:

- Värähtelykiihtyvyyden kalibroinnit asiakkaiden tarpeiden mukaisesti sekä jäljitettävyyden ylläpito MIKESin toimenpitein.

- Korkeiden huippuarvojen ja transienttien mittauspalvelun luominen (äänenpaine, tärähdykset, toistuvat iskut, purskeet) ja alan kansainväliseen yhteistyöhön sekä yhteisiin projekteihin osallistuminen Euroopan tasolla (EUROMET, CCAUV).
- Suomelle tärkeiden tutkimusalueiden aktivoiminen (mm. tärinä- 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.
- Tutkimus- ja kehitysyhteistyön aloittaminen teollisuuden, yliopistojen, korkeakoulujen ja tutkimuslaitosten kanssa.

8 Virtaussuureet

Tiivistelmä

Virtaussuureiden metrologinen tilanne parani Suomessa merkittävästi, kun MIKESin virtauslaboratorio nimettiin vuonna 2005 virtauksen kansalliseksi mittanormaalilaboratorioksi (KML). Laboratorion mittausalue kattaa pienet kaasuvirtaukset 5 ml/min ... 30 l/min.

Suomessa toimii kolme akkreditoitua virtaussuureiden kalibrointilaboratoriota: VMH Heikkilä Oy, Inspecta Oy Mittaus ja Indmeas Oy. Suomen hajautettu toimintamalli on varsin tehokas yleiseen länsimaiseen tasoon verrattuna. Suomeen on kehittynyt oma-leimainen, kansainvälisestikin katsoen merkittävä akkreditoitujen kenttäkalibrointien tarjonta, mikä pystyy varsin pitkälle tyydyttämään teollisuuden nykyiset palvelutarpeet ja ympäristöviranomaisten taholta suunnittelukaudella tulossa olevat lisätarpeet.

8.1 Johdanto

Suurealueena virtausmittaukset ovat erittäin laaja ja epähomogeeninen ryhmä. Virtaava aine voi olla nestettä, kaasua, näiden seosta tai nesteen ja kiinteän aineen muodostamaa massaa. Mittausalue on laaja, ulottuen suuruusluokaltaan useita m³/s olevien jätevesivirtausten mittaamisesta pienten kaasumäärien alle 0,1 ml/s oleviin virtauksiin. Massa- ja tilavuusvirran lisäksi virtausmittauksiin kuuluu osa-alueena myös paikallisen virtausnopeuden mittaaminen.

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 mittarityyppejä soveltuen parhaiten tietyille neste- tai kaasu- tai näiden virtausten teollisesti tärkeille lämpötila-alueille. Suuri osa energiamittauksista (kaukolämpöenergian, maakaasun ja höyryn mittaukset) tapahtuu virtausmittauksen kautta. Virtausmittareilla mitataan erittäin laaja-alaisesti teollisuuden prosessien raaka-ainevirtoja sekä virtaukseen liittyvien toimilaitteiden kuten pumppujen, venttiilien ja säätimien toiminta-arvoja. Virtausmittausten monimuotoisuuden vuoksi niiden laadunhallinta edellyttää laajaa kansainvälistä yhteistyötä.

Virtausmittarin kalibrointi voi tapahtua joko laboratorio- tai kenttäkalibrointina. Laboratoriossa sinne tuotu virtausmittari kalibroidaan tyypillisesti ilma- tai vesivirtauksella epävarmuustasolla 0,1 %...1,0 %. Laboratoriokalibrointien keskeinen käyttöalue on kulluttajasuojalakien edellyttämä asiakasmittausten laadun varmennus. Jonkin verran niitä tarvitaan myös toimilaitteiden tuotekehityksessä, tutkimus- ja testauslaboratorioiden pienten virtausmittarien laadun varmennuksessa sekä virtausteknisessä perustutkimuksessa. Kenttäkalibroinnissa kalibroinnin kohteena on koko virtausmittausketju mukaan lukien mittauspaikan olosuhteet. Kenttäkalibroinneissa mittauserävarmuus on suurempi kuin laboratoriokalibroinneissa. Kenttäkalibrointeja tarvitaan prosessiteollisuuden ja elinkeinoelämän keskisuurten ja suurten neste- ja kaasuvirtausmittausten

tarkkuuden varmennuksessa. Näissä mittauksissa asennuspaikkakohtaisia systemaattisia mittausvirheitä on erittäin vaikea eliminoida, mistä johtuen laboratoriokalibroinnin edustavuus jää yleensä epämääräiseksi. Vielä selvempi este laboratoriokalibrointien käytölle on se, että näitä mittareita ei yleensä voida irrottaa laboratorioon lähettämistä varten.

8.2 Virtaussuureiden metrologia Suomessa

Nestevirtaukset

Suomessa on kolme akkreditoitua laboratoriota, joilla on pätevyys virtausmittarien kalibrointiin. Inspecta Oy Mittaus, Indmeas Oy ja VMH Heikkilä Oy. Vuonna 2005 akkreditoituidut laboratoriot antoivat yhteensä 385 kalibrointitodistusta.

Inspecta Oy tarjoaa asiakkailleen laboratoriokalibrointeja sekä kenttäkalibrointeja pienillä, keskisuurilla ja suurilla virtauksilla. Vanhan laboratorion purkamisen vuoksi on suurten nestemittarien laboratoriokalibroinneissa ollut tauko vuoden 2005 alusta lähtien. Suurten virtausmittarien akkreditoituidut laboratoriokalibroinnit saataneen jälleen käyntiin viimeistään vuoden 2007 aikana Otaniemen uusissa toimitiloissa. Inspecta Oy sai vuonna 2005 akkreditoinnin clamp-on ultraäänimittarilla tekemilleen nestemittauskenttäkalibroinneille. Akkreditoitu virtausalue kattaa keskisuuret ja suuret nestevirtaukset.

Indmeas Oy tekee keskisuurten ja suurten nestevirtausmittausten kenttäkalibrointeja merkkiaineen pulssinopeusmenetelmään perustuen. Asiakaskunta koostuu pääasiassa lämpö- ja voimalaitoksista, paperi- ja selluteollisuuden sekä muun prosessiteollisuuden yrityksistä.

VMH Heikkilä Oy tekee pienten ja keskisuurten kaukolämmön ja talousveden asiakasmittalaitteiden laboratoriokalibrointeja. Lisäksi yritys tarjoaa mittarien tarkastus-, korjaus- ja huoltopalveluita.

Kaasuvirtaukset

MIKESin virtauslaboratorio toimii pienten kaasuvirtausten kansallisena mittanormaali-laboratoriona. Laboratorio tarjoaa asiakkailleen pienten kaasuvirtausmittarien kalibrointipalveluja alueella 5 ml/min ... 30 l/min sekä virtausmittauksiin liittyvää asiantuntemustaan. Vuonna 2005 laboratoriossa annettiin yhteensä 24 kalibrointitodistusta.

Indmeas Oy tekee keskisuurten ja suurten kaasuvirtausmittausten kenttäkalibrointeja merkkiaineen pulssinopeusmenetelmään perustuen. Asiakaskunta on sama kuin nestevirtausmittauksissa.

8.3 Kansainvälinen toiminta

Virtausmittausten kansainvälinen toiminta on tapahtunut osallistumalla kansainvälisiin kokouksiin, konferensseihin ja vertailumittauksiin. EUROMETin ja CIPM/CCM/WGFFn virtaustyöryhmissä suomalaisena edustajana on ollut vuodesta 2005 lähtien Sampo Sillanpää MIKESistä. Kansainväliset yhteydet ovat hyvät. Yhteistyökanaviin kuuluu myös IMEKOn virtausmittauskomitea TC9. Vuoden 2005 lopussa lähetettiin pieniä

kaasuvirtauksia ja nesteiden tiheysmittauksia koskevat tiedot liitettäväksi kansainväliseen CMC-tietokantaan.

Suomalaisten virtauslaboratorioiden osallistuminen kansainvälisiin vertailumittauksiin on ollut viime aikoina melko vähäistä. Sopivien kansainvälisten vertailujen tarjonta on ollut niukkaa. VMH Heikkilä Oy osallistui vuonna 2005 vesi- ja lämpöenergiamittarien Nordtest/NICe 04172/EUROMET -vertailuun. Vuoden 2006 aikana MIKES osallistuu pienten kaasuvirtausmittausten EUROMET-vertailuun virtausalueella 0,1 l/min ... 25 l/min.

8.4 Yleiset kehitysnäkymät

Metrologisten vaatimusten yleinen kehittyminen

Virtausmittauksien laatuvaatimuksia kasvattavat MID-direktiiviä vastaava kansallinen lainsäädäntö, joka lisää kaukolämmön ja talousveden asiakasmittausten laadun varmennuksessa tarvittavaa työmäärää. Lisäksi päästökauppa ja sen todennäköinen laajentuminen sekä EU:n taholta odotettavissa olevat energiatehokkuutta koskevat suositukset kasvattavat luotettavien energia- ja päästömittausten kysyntää teollisuudessa.

Uusia viranomaismääräyksiä on odotettavissa myös rakennusten sisäilman laadulle, ilmanvaihdon toimivuudelle sekä rakennusten energiatehokkuudelle. Ilmastoinnin virtausmittauksille asetettavat tarkkuusvaatimustasot jäänevät kuitenkin verraten vaatimattomiksi.

Nestevirtaukset

Asiakasmittauksissa joudutaan laatimaan selkeä linjaus ja ohjeistus niistä vaatimuksista, joita nykyisten tarkastus- ja kalibrintipalveluja tuottavien toimijoiden on täytettävä toiminnan laadun ja riittävän jäljitettävyyden saavuttamiseksi. Kulutuskohteissa on tarpeellista määrittellä mittauspaikkaa koskevat vaatimukset.

Energiatehokkuusmääritykset lisäävät tarvetta syöttö- ja lauhdevesi- sekä polttonestemittausten laadunvarmennukselle. Indmeas Oy ja Inspecta Oy Mittaus pystynevät nämä tarpeet täyttämään vaivattomasti lisäämällä kenttäkalibrintikapasiteettiaan.

Suurten nestemittausten alueella akkreditoidut kenttäkalibroinnit laajenevat avokanavamittauksiin. Indmeas Oy:llä on tarkoitus jättää tätä koskeva hakemus vuoden 2006 aikana. Avokanavamittauksia käytetään jäteveden määrämittauksissa sekä teollisuudessa että kunnallisella sektorilla.

Kaasuvirtaukset

MIKESin pienten kaasuvirtausten kansallisen mittanormaallilaboratorion nykyisen virtausalueen yläraja on 30 l/min. Tämän yläpuolelle jää 100 l/min virtauksiin ulottuva alue, jolta kansallisen mittanormaallilaboratorion tasoiset kalibrintipalvelut Suomessa toistaiseksi puuttuvat. Kuitenkin esimerkiksi lääke- ja prosessiteollisuudessa on olemassa tarpeita kalibrintipalveluille alueella 30 l/min ... 100 l/min. MIKESin laboratoriossa on jo tällä virtausalueella toimiva punnitukseen perustuva laitteisto, mutta sen kansainvälisen vertailukelpoisuuden osoittaminen on vielä kesken. MIKES kehittää ak-

tiivisen ja korkealuokkaisen tutkimustoimintansa kautta virtausmittauksiin liittyvää asiantuntemustaan.

Päästökauppaa ja ilmansuojelua koskevat nykyiset ja odotettavissa olevat viranomaismääräykset synnyttävät kysyntää savu- ja polttokaasujen virtausmittausten akkreditoituille kenttäkalibroinneille. Indmeas Oy:llä on näiden mittausten laadussapiidosta jo yli kymmenen vuoden kokemus ulkomailta ja se pystyy tyydyttämään odotettavissa olevan kysynnän mittauskapasiteettiaan kasvattamalla.

Gasum Oy:n virtauslaboratorio tarjoaa keskisuurten kaasuvirtausmittarien laboratorio-kalibrointeja myös ulkopuolisille asiakkaille. Laboratoriolle on tarkoitus hakea tulevaisuudessa myös akkreditointia.

Kaasun ja nesteen paikallisen virtausnopeuden mittaaminen

Paras virtausnopeuden mittauseriaate on LDA/LDV (Laser Doppler Anemometry / Velocimetry), mikä palvelee erityisesti tutkimus- ja kehitystyötä. Elinkeinoelämällä olisi käyttöä jäljitetyille virtausnopeuskalibroinneille savukaasumäärämittauksiin käytettävien Pitot-putkien kalibroinnissa. Kuitenkin toistaiseksi on tultu hyvin toimeen tehdaskalibroituilla mittalaitteilla ja lähettämällä niitä tarvittaessa ulkomailta löytyviin tuulitunneleihin.

Koulutustarve

Metrologian neuvottelukunnan järjestämät koulutustilaisuudet virtausmittauksista ovat saaneet hyvän vastaanoton ja niiden jatkuvuutta toivotaan. Työryhmän tarkoituksena on järjestää koulutuspäiviä tarpeen mukaan. Tiedonsaantia voisi parantaa esimerkiksi FINASin verkkosivujen yhteyteen rakennettavalla metrologiaportaalilla.

8.5 Tavoitteet vuosille 2007-2011

Yleiset tavoitteet

Yleisenä tavoitteena on varmistaa, että teollisuuden ja elinkeinoelämän tarvitsemat kalibroinnit olisivat ainakin pääosin saatavissa Suomesta ja EU:n taholta tulevat vakaus-toiminnan vaatimukset voitaisiin täyttää. MIKESin virtauslaboratorion valmistuttua ollaan tähän yleiseen tavoitteeseen nähden varsin tyydyttävällä tasolla. Tilanteen edelleen parantamiseksi työryhmä ehdottaa

- MIKESin pätevyysalueen laajentamista ylöspäin 100 l/min asti
- koulutusta ja tiedonkulkua tukevan metrologiaportaalin perustamista.

9 Ionisoivan säteilyn suuret

Tiivistelmä

Säteilyturvakeskuksesta (STUK) annetun asetuksen (618/97) mukaisesti STUK pitää yllä toimialansa kansallisia mittanormaaleja. STUKissa mittanormaalityö jakeutuu 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 kalibroitajia käyttäjiä ovat kotimaiset säteilymittareiden ja röntgenkuvauslaitteiden valmistajat, henkilöannosmittauksia palveluna tarjoava kotimainen yritys, sairaalat ja ydinvoimalaitokset.

Aktiivisuuden ja aktiivisuuspitoisuuden luotettavia mittauksia tarvitaan sekä tutkimustoiminnassa että asiakkaille tarjottavissa mittaus- ja analyysipalveluissa.

9.1 Johdanto

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

STUKin kansallinen mittanormaalityö on MRA-sopimuksessa mukana ja ionisoivan säteilyn osalta kansallisia mittanormaaleja ylläpidetään suureille *ilmakerma*, *veteen absorboitunut annos*, *kudokseen absorboitunut annos*, *annosekvivalentti* ja *referenssi-ilmakermanopeus*. Annossuureiden mittanormaalityön 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 mittanormaalityö (^{147}Pm -, ^{204}Tl - ja $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ -beetalähteet) sekä neutronisäteilyn mittanormaalityö ($^{241}\text{Am}/\text{Be}$ -neutronilähteet ja ”long counter” -laskuri). Annossuureiden mittanormaalityöt ovat ionisaatiokammioita tai säteilylähteitä, joita ylläpidetään sekundaarimittanormaaleina ja joiden kalibroinnit ovat suoraan jäljitettävissä Kansainvälisen paino- ja mittatoimiston (BIPM) ja muiden primaarilaboratorioiden mittanormaalityöihin. Annossuureiden mittaustoimintaan liittyen kalibrointia 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 mittanormaalityö on ionisaatiokammio, joka on kalibroitu PTB:n primaarilaboratoriossa Saksassa. Muiden aktiivisuussuu-

reiden mittanormaalit ovat säteilylähdevalmistajien kalibroimia kiinteitä säteilylähteitä tai nesteliuoksia.

9.2 Säteilysuureiden metrologia ja mittaustarve Suomessa

Suomessa ei ole kalibrintipalveluihin erikoistuneita akkreditoituja laboratorioita tai yrityksiä. Säteililytyössä olevien työntekijöiden annosmäärittämisä suorittavan yrityksen henkilöannosmittauspalvelut on akkreditoitu. Laitevalmistajilla, puolustusvoimilla ja ydinvoimalaitoksilla on käytössään omien mittalaitteidensa kalibrointiin tarvittavia säteilylaitteistoja.

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. Tarkkoja säteilymittauksia tarvitaan varsinkin lääketieteellisissä sovelluksissa, kuten röntgendiagnostiikassa ja erityisesti sädehoidossa.

Aktiivisuuden ja aktiivisuuspitoisuuden luotettavia mittauksia tarvitaan sekä tutkimustoiminnassa että asiakkaille tarjottavissa mittaus- ja analyysipalveluissa. STUKin keskeisimmät ihmisen ja ympäristön aktiivisuusmäärittämiin liittyvät laboratoriotoiminnot ovat akkreditoituja.

9.3 Kansainvälinen toiminta

STUKin edustaja toimii EUROMETin ionisoivan säteilyn suureiden työryhmän jäsenenä ja Suomen yhdyshenkilönä. STUK on myös Kansainvälisen Atomienergiäjärjestön (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). STUK on myös tarkkailijajäsenenä BIPM:n ionisoivan säteilyn komiteassa (CCRI, Consultative Committee on Ionising Radiation).

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

Lisäksi STUK on jäsenenä IAEA:n ALMERA-verkostossa (Analytical Laboratories for Measuring Environmental Radioactivity). STUK osallistuu IAEA:n, Euroopan komission ja pohjoismaisen NKS:n järjestämiin pätevyystesteihin ja monenkeskeisiin vertailumittauksiin.

9.4 Yleiset kehitysnäkymät

STUKin annossuureisiin liittyvät kalibrointi- ja mittaustarvet on liitetty MRA-sopimuksen piiriin vuonna 2004. STUKin kansallisen mittanormaalitoiminnan sisältöä arvioidaan suurekohtaisesti tarkemmin ja pyritään liittämään myös radon-kaasun aktiivisuuspitoisuuden mittanormaalitoiminta MRA-sopimuksen piiriin.

STUKin mittanormaalityöitä 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.

Röntgendiagnostiikan säteilymittauksissa ja mittalaitteiden kalibroinneissa tullaan noudattamaan pääosin IAEA:n ohjeistuksen mukaisia menetelmiä. STUK osallistuu meillä olevaan projektiin, jossa testataan ko. ohjeistuksen mukaisia kalibrointi- ja mittausmenetelmiä. Annoksen ja säteilykentän pinta-alan tuloa mittaavien ns. DAP-mittareiden kalibrointiin on STUKissa kehitetty menetelmä, joka on huomioitu myös ko. IAEA:n ohjeistuksessa. DAP-mittauksia varten tehdään myös suomenkielinen ohje.

Sädehoidon lineaarikiihdyttimien annosmittauksia varten STUK on tehnyt suomenkielisen ohjeen vuonna 2003. Ohje ja menetelmät perustuvat IAEA:n vastaaviin. Sädehoidon dosimetrien ohjeistusta pyritään laajentamaan myös röntgensäteilyn alueelle. Radioaktiivisten lähteiden ja mittalaitteiden (kaivokammioiden) kalibrointimenetelmiä ja mittanormaalien jäljitettävyyttä joudutaan kehittämään lähivuosina.

9.5 Tavoitteet vuosille 2007-2011

STUK kehittää ja ylläpitää metrologisesti luotettavia kalibrointi, säteilytys ja säteilymittareiden testauspalveluja sekä aktiivisuuden mittauksiin liittyviä palveluja siten, että keskeisimmät kalibrointitarpeet Suomessa voidaan tyydyttää. Erityisesti huolehditaan lääketieteellisen säteilynkäytön menetelmä- ja laitekehityksen tuomista tarpeista säteilymittareiden kalibrointitoiminnalle. Uuden ydinvoimalan käyttöönotto voi lisätä säteily-suojelumittareiden kalibrointitarvetta lähivuosina. Tavoitteena on liittää STUKin radonkaasun aktiivisuuspitoisuuden mittaustoiminta MRA-sopimuksen piiriin.

9.6 Lähdeluettelo

Nordic dosimetric capabilities. Resources, needs and plans. Report on Nordic Radiation Protection Co-operation. Nordisk rapportserie om strålskyddsfrågor No.8. The radiation protection and nuclear safety authorities in Denmark, Finland, Iceland, Norway and Sweden. Statens strålevern, Norwegian Radiation Protection Authority. Post box 55 N-1332 Østerås, Norway, 2006.

10 Kemia ja mikrobiologian metrologia

Tiivistelmä

Kemian metrologian merkitystä on alettu kansainvälisellä tasolla painottaa yhä enemmän. Tähän on vaikuttanut kemian alan kansainvälisten järjestöjen panos kemiallisen analytiikan jäljitettävyyden parantamiseksi. On voitu myös osoittaa, että mittaustarkkuuden parantaminen aikaansaa huomattavia taloudellisia säästöjä.

Kemiassa mittaustulos riippuu hyvin paljon monista tekijöistä, eniten näytteen ominaisuuksista ja matriisista, joten kemiassa tarvitaan epäsuoria jäljitettävyyden menetelmiä. Käytännön kemiassa jäljitettävyyden keskeisiä elementtejä ovat mm. vertailumateriaalit, vertailumittaukset, menetelmien validointi ja mittausepävarmuuden määrittäminen.

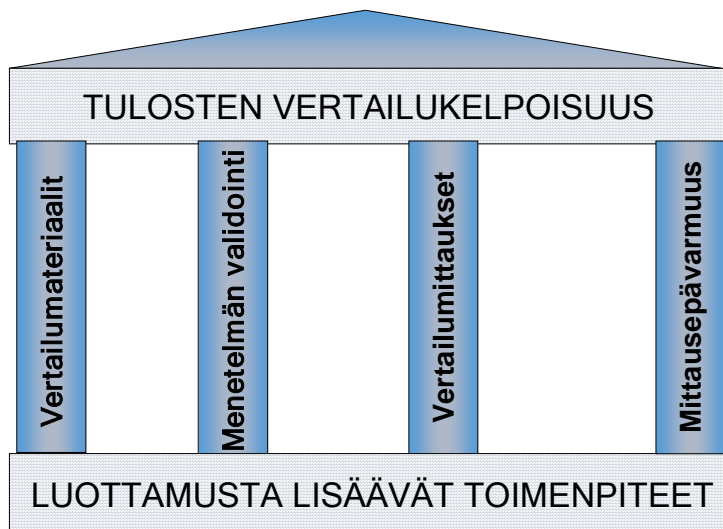
Kemian metrologiassa jäljitettävyyden mooliin saadaan aikaan ns. primaarimenetelmien avulla. Tällä hetkellä jäljitettävyydestä tarkoituksiin primaarimenetelmiä käyttävät lähinnä tietyt ulkomaiset metrologialaitokset. Suomessa primaarimenetelmiin sopivaa laitekantaa on useilla tutkimuslaitoksilla, mutta niitä käytetään lähinnä tutkimuslaitosten omiin rutiinitutkimuksiin. Jaoston tavoitteena on yhteistyössä MIKESin kanssa löytää halukkaita kemian laboratorioita ottamaan vastuuta toimia jäljitettävyyden parantamisessa primaarimenetelmätasolla, jotta suomalaisten kemian analytiikan laboratorioiden mittausten jäljitettävyyttä saataisiin parannettua. Tällä hetkellä kemian mittausten jäljitettävyyden parantaminen Suomessa päättyy useimmiten sertifioituihin vertailumateriaaleihin. Tämä piirre on kyläkin yleinen myös muissa maissa ja kemiallisten mittausten jäljitettävyyden parantamista ollaan vasta luomassa kansainväliselläkin tasolla.

Jaosto katsoo myös, että kemian ja mikrobiologian metrologian tietämystä tulisi lisätä erilaisin tiedottamisen ja kouluttamisen keinoin. Jaoston toimesta onkin valmistunut useita kemian ja mikrobiologian metrologiaa käsitteleviä oppaita ja koulutustoiminta on MIKESin kautta myös lähtenyt liikkeelle.

10.1 Johdanto

Käsitteenä kemian metrologia on melko nuorta. Kemian metrologiassa, kuten metrologiassa yleensä, pyritään kemiallisten mittausten jäljitettävyyden ulottamaan aina SI-mittayksikköihin kuuluvan ainemäärän määrittelyyn, mooliin saakka. Moolin määrittely otettiin SI-mittayksikköjärjestelmään v. 1971 yksitoista vuotta koko kansainvälisen SI-mittayksikköjärjestelmän käyttöönotosta. Vasta vuonna 1990 monet kemiallisten mittaustulosten vertailtavuudesta ja jäljitettävyydestä huolta kantaneet järjestöt esittivät kemian metrologian aseman vakiinnuttamista. Kemian metrologia pääsi todelliseen alkuunsa vuonna 1993, kun ns. metrisopimukseen perustuva kansainvälinen paino- ja mittakomitea (CIPM) perusti ainemäärää käsittelevän asiantuntijakomitean (Comité Consultatif pour la Quantité de Matière, CCQM). Sitä ennen oli jo perustettu kemiallisten mittausten jäljitettävyyttä edistämään v. 1989 eurooppalaisten analyttisten laboratorioiden järjestö EURACHEM ja v. 1993 kansainvälinen järjestö CITAC (katso kohta 10.3).

Kemiassa mittaustulos riippuu hyvin paljon monista tekijöistä, eniten näytteen ominaisuuksista ja matriisista, joten kemiassa tarvitaan epäsuoria jäljitettävyyden menetelmiä. Käytännön kemiassa jäljitettävyyden keskeisiä elementtejä ovat mm. vertailumateriaalit, vertailumittaukset, menetelmien validointi ja mittausepävarmuuden määrittäminen.



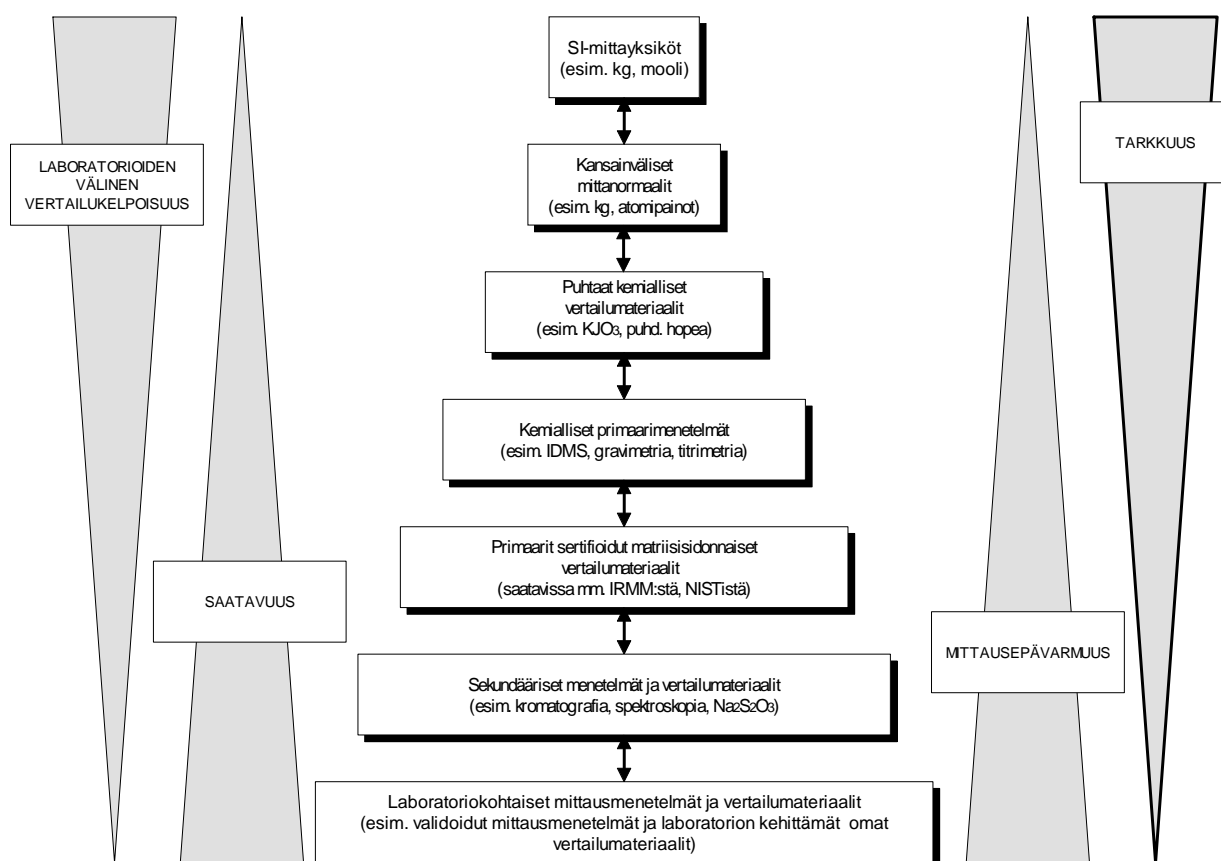
Kuva 10.1. Kemiallisten mittausten jäljitettävyyden keskeiset elementit.

Kemian metrologiassa jäljitettävyys mooliin saadaan aikaan ns. primaarimenetelmien avulla. CCQM:n määrittelemäksi primaarimenetelmäksi kutsutaan mittausmenetelmää, jolla on korkeimmat mahdolliset metrologiset ominaisuudet, sen toiminta on täysin kuvattu ja ymmärretty ja sille voidaan tehdä laskelma kokonaisepävarmuudesta SI-yksiköiden avulla. Primaarimenetelmiä ovat:

- isotooppilaimennus massaspektrometria (IDMS)
- gravimetria
- titrimetria
- kulometria
- jäätymispisteen alenema.

Näistä menetelmistä on IDMS-menetelmällä eniten käytännön merkitystä suhteellisenä primaarimenetelmänä, koska sitä voidaan käyttää myös kompleksisissa matriiseissa (esim. kliinisessä kemiassa) tuottamaan SI-jäljitettäviä mittaustuloksia. Primaarimenetelmiä käytetään ensisijaisesti kemiallisten primaarinormaalien valmistamiseen. Periaatteessa niitä voidaan käyttää kaikilla tasoilla, esim. myös rutiinilaboratorioissa. Suomessa IDMS-menetelmään sopivaa laitekantaa on useilla tutkimuslaitoksilla (esim. GTK, SYKE, VTT, KTL, TTL), mutta niitä käytetään lähinnä tutkimuslaitosten omiin rutiinitutkimuksiin. MIKESin tavoitteena on löytää halukkaita kemian laboratorioita ottamaan vastuuta toimia jäljitettävyydsketjussa primaarimenetelmätasolla, jotta suomalaisten kemian analytiikan laboratorioiden mittausten jäljitettävyyttä saataisiin parannettua. Tällä hetkellä kemian mittausten jäljitettävyydsketju (kuva 10.2) Suomessa päättyy useimmiten sertifioituihin vertailumateriaaleihin. Tämä piirre on kylläkin yleinen myös

muissa maissa ja kemiallisten mittausten jäljitettävyysetketjua ollaankin vasta luomassa kansainväliselläkin tasolla.



Kuva 10.2. Kemiallisten mittausten jäljitettävyys.

10.2 Kemia ja mikrobiologian metrologia Suomessa

Suomessa MIKESillä ei ole itsellään tavoitteena perustaa kansallista mittanormaali-laboratoriota moolille. Sen sijaan pyritään löytämään päteviä akkreditoituja kemian analytiikan laboratorioita eri kemian aloilta, joilla olisi halukkuutta toimia MIKESin nimeäminä sopimuslaboratoriona. Sopimuslaboratorio on MIKESin yhteistyökumppani, jolla on analyysimenetelmiensä vertailuyhteys jonkun ulkomaisen kemian metrologia-laitoksen laboratorion kanssa, joka puolestaan on ollut mukana CIPM/MRA-asiakirjan² mukaisissa korkean tason avainvertailuissa. Sopimuslaboratorio voi itsekin osallistua ko. avainvertailuihin, jos siihen on pätevyyttä. Lisäksi joltakin ko. alan kemian metrologian asiantuntijalta tulisi saada lausunto laboratorion metrologisesta pätevyydestä. Perusedellytyksenä on myös ko. pätevyysalueen akkreditointi. Sopimuslaboratorion tehtävänä on siten toimia Suomessa tietyn kemiallisen analytiikan alueen jäljitettävyysetketjun ylimpänä lenkinä ulkomaiseen kemian metrologian laitokseen.

² Kansallisten mittanormaali-laboratorioiden johtajat 38:sta metrisopimuksen piiriin kuuluvasta valtiosta sekä kahden kansainvälisen järjestön edustajat allekirjoittivat CIPM/MRA-asiakirjan (Mutual Recognition Arrangement) Pariisissa 14. lokakuuta 1999 pidetyssä kokouksessa. MIKES oli yksi allekirjoittajista. Suomen osalta MRA:ssa ovat MIKESin lisäksi omalla nimellään kansalliset mittanormaali-laboratoriot (Teknillinen korkeakoulu, Geodeettinen laitos ja Säteilyturvakeskus) sekä sopimuslaboratoriot (Tampereen teknillinen yliopisto, Lahti Precision Oy (ent. Raute Precision Oy) ja Ilmatieteen laitos).

Tällä hetkellä MIKESillä on yksi kemian alalla toimiva sopimuslaboratorio: Ilmatieteen laitoksen ilmanlaadun tutkimuksen mittaustekniikan laboratorio (K043). Laboratoriossa tuotetaan kalibrointipitoisuuksia epäorgaanisille kaasuille: hiilimonoksidi (CO), otsoni (O₃), rikkidioksidi (SO₂), typpimonoksidi (NO) ja typpidioksidi (NO₂) sekä orgaanisista kaasuista bentseeni (C₆H₆), tolueeni (C₇H₈), etyylibentseeni (C₈H₁₀) ja ksyleeni (o, m+p) (C₈H₁₀). Kalibrointipitoisuusalue kullekin kaasukomponentille rajoittuu ilmansuojelun kannalta tärkeimpään pitoisuusalueeseen. Laboratoriossa voidaan kalibroida analysointilaitteita ja siirtokalibraattoreita sekä varmistaa kaasunormaaleiden pitoisuus. Kalibroinneilla on jäljitettävyyttä SI-yksikköön tai kansainväliseen primaarinormaaliin. Euroopan ilmansuojelun direktiivit asettavat raja-arvot suurimmille sallituille epäpuhtauksien pitoisuuksille ilmakehässä sekä määrittävät mittausmenetelmät (referenssimenetelmät) kullekin epäpuhtaudelle. Euroopan standardointielin (European committee for standardization, CEN) on laatinut kullekin epäpuhtaudelle mittausstandardit, joissa mittauksen jäljitettävyyttä vaaditaan kansallisiin mittanormaaleihin. Tällöin kansallisten vastuutahojen tulee tarjota vaatimusten mukaista kalibrointipalvelua niin, että kalibrointialue kattaa koko mittausalueen. Suurena ongelmana on usein riittävän alhaisten kalibrointipitoisuuksien tuottaminen, jotta mittauksen laatuvaatimukset täyttyvät myös vuositasolla.

Vaikka varsinaisten kemian metrologialaboratorioiden muodostaminen on vasta alussa, on suomalaisten kemian analytiikan metrologista tasoa voitu korottaa jo yli kymmenen vuoden ajan akkreditoinnin avulla. Akkreditoinnissa käydään läpi jäljitettävyyttä, mittausepävarmuus, vertailumittaukset ja menetelmien validointi, jotka kaikki ovat osa kemian metrologiaa. Kemian metrologian eri osa-alueiden tunnetuksi tekemiseksi, on Kemian ja mikrobiologian jaoston kemian työryhmä laatinut Kemian metrologian oppaan (MIKESin julkaisu J6/2005). Siitä on otettu jo kaksi painosta ja se on myös kopioitavissa MIKESin internet-sivuilta. Tekeillä on myös ”Kvalitatiivisen kemian analytiikan metrologia”.

Tällä hetkellä FINASin akkreditoimia kemian analytiikan laboratorioita on jo yli 180, joista suurin osa on elintarvike- ja ympäristöanalytiikan sekä klinisen kemian laboratorioita, mutta myös teollisuuden valvontalaboratorioita on akkreditoitu. Kaikki paitsi kaksi, ovat testauslaboratorioita. Kaksi akkreditoitua kemian alan kalibrointilaboratoriota ovat em. Ilmatieteen laitos (K043) ja VTT Asiantuntijapalvelut (K035, tarkkuusalkometrien kalibrointi, etanolipitoisuus).

Mikrobiologian alalla toimivien laboratorioiden kohdalla voidaan myös todeta akkreditoinnin edistävän metrologisten näkökohtien huomioonottamista. Myös Kemian ja mikrobiologian jaoston mikrobiologian työryhmä on aktiivisesti tuottanut opasmateriaalia mikrobiologian menetelmille. Sekä kemian että mikrobiologian alalta on julkaistu tai valmistumassa seuraavat oppaat:

- Mikrobiologian kvantitatiivisten viljelymääritysten mittausepävarmuus (Seppo I. Niemelä, MIKESin julkaisu J1/2001)
- Uncertainty of quantitative determinations derived by cultivation of microorganisms (Seppo I. Niemelä, MIKESin julkaisu J3/2002)³
- Mikrobiologiset vertailukannat (Mikrobiologian työryhmän laatima, MIKESin julkaisu J1/2005)
- Kemian metrologian opas (MIKESin julkaisu J6/2005)

³ Seppo I. Niemelän englanninkielinen päivitetty opas on saanut laajaa kansainvälistä huomiota ja on käännetty jo useille kielille.

- Elatusaineiden ja reagenssien sisäinen laadunvarmistus (tekeillä Mikrobiologian työryhmässä, valmistuu v. 2006)
- Kvalitatiivisen kemian metrologian opas orgaanisten aineiden tunnistukseen (tekeillä Kemian työryhmässä, valmistuu v. 2006).

10.3 Kansainvälinen toiminta

CCQM

Kemian ja mikrobiologian mittausten kansainvälinen järjestelmä noudattelee samoja periaatteita ja rakenteita kuin muukin metrologia. Kansainvälinen paino- ja mittakomitea (Comité International des Poids et Mesures) perusti v. 1993 ainemäärää käsittelevän neuvoa-antavan komitean (Comité Consultatif pour la Quantité de Matière: métrologie en chimie, CCQM, engl. Consultative Committee for Amount of Substance). CCQM:n tehtäviin kuuluu kehittää, testata ja soveltaa kemiallisen analytiikan primäärimenetelmiä ja koordinoita tarkoin valittuja avainvertailuja kansallisten metrologialaitosten välillä. Avainvertailujen tarkoitus on luoda vertailukelpoisuus kansallisille kemiallisessa analytiikassa käytettäville mittanormaaleille. Avainvertailujen priorisoidut alueet ovat:

- terveys ja turvallisuus
- elintarvikkeet
- ympäristö
- uudet materiaalit
- kulutustavarat
- rikostutkimus.

Vuodesta 1994 alkaen CCQM on järjestänyt yli 40 vertailumittausta⁴, jotka ovat koskeneet mm. kaasuseoksia, raskasmetallipitoisuuksia luonnonvesissä, pH-mittauksia, kliinisen kemian analytiikkaa sekä orgaanisen kemian analytiikkaa (mm. PCB, PAH). Vertailumittausten tulokset julkaistaan CIPM/MRA-asiakirjan mukaisesti kansainvälisen mittojen ja painojen toimiston (Bureau International des Poids et Mesures, BIPM, engl. International Bureau of Weights and Measures) internetsivuilla osoitteessa: <http://www.bipm.fr/en/committees/cc/ccqm/> ja Metrologia-lehdessä.

CCQM:ssä toimii aktiivisesti 7 työryhmää:

- vertailumittaukset
- kaasuanalyysit⁵
- sähkökemian analyysit
- epäorgaaniset analyysit
- orgaaniset analyysit
- bioanalyysit
- pinta-analytiikka.

⁴ Avainvertailuihin voi osallistua vain kansallisen metrologialaitoksen nimeämät laboratoriot.

⁵ Suomen edustajana työryhmässä on edustaja Ilmatieteen laitokselta

EUROMET

Vuodesta 1987 lähtien toiminut EUROMET (A European Collaboration on Measurement Standards) on Euroopan maiden kansallisten metrologialaitosten yhteistyöorganisaatio. EUROMETin tarkoituksena on koordinoida mittanormaalityötä Euroopassa ja tuoda olemassa olevat kansalliset kalibrointiresurssit kaikkien ulottuville. Perusajatuksena on toteuttaa projekteja, jotka koskevat tutkimusta, laboratorioden välisiä vertailumittauksia ja jäljitettävyyttä. METCHEM on yksi EUROMETin yhdestätoista teknisestä komiteasta. Kemian metrologiaan liittyvät korkean tason jäljitettävyysselvitykset Euroopassa kuuluvat METCHEMin toiminnan piiriin. METCHEM järjestää mm. alueellisia ja täydentäviä avainvertailuja tarjoten linkin CCQM:n avainvertailuihin. METCHEM on järjestänyt vuodesta 1993 lähtien jo lähes 40 vertailumittausta mm. kaasuanalyysille, hivenainemäärityksille, pH-mittauksille sekä sähköjohtokyvylle. Tietoa niistä ja tuloksista löytyy osoitteesta <http://www.euromet.org/cgi-bin/projectsearch.pl>.

METCHEMillä on neljä asiantuntijaryhmää:

- kaasut⁶
- epäorgaaninen
- orgaaninen
- sähkökemian.

IRMM

Institute for Reference Materials and Measurements (IRMM) on EU:n Komission alaisen JRC:n (Joint Research Centre) tutkimuslaitos, jonka tavoitteena on edistää kemian mittausten jäljitettävyyttä Euroopassa sisämarkkinakaupan, ympäristön, terveyden ja kuluttajansuojan sektoreilla. IRMM järjestää korkeatasoisia vertailumittauksia, tuottaa jäljitettäviä sertifioituja vertailumateriaaleja, perustaa tietokantoja ja tekee alan tutkimusta. IRMM:n IMEP-ohjelma (International Measurement Evaluation Programme) on toiminut vuodesta 1998 ja sen tehtävänä on toimia välineenä jäljitettävyyteen SI-yksiköihin laboratorioille, hallinnon alueille ja kansallisille akkreditointielimille. Suomalaiset laboratoriot ovat osallistuneet joihinkin näistä vertailuista⁷. IMEP-ohjelma mahdollistaa metrologisten vertailumateriaalien jäljitettävyyden SI:hin käyttämällä primäärimenetelmiä niiden valmistuksessa. IRMM järjestää myös koulutusta kemian metrologian alalta (TrainMic). Suomessakin on kesäkuussa 2005 järjestetty TrainMIC-kurssi yhteistyössä IRMM:n, MIKES/FINASin ja SYKEN kanssa. MIKESin tarkoitus on jatkaa koulutusyhteistyötä IRMM:n kanssa.

EURACHEM

EURACHEM on eurooppalaisten analyttisten laboratorioden v. 1989 perustettu järjestö. Tavoitteena on edistää kemiallisten mittausten jäljitettävyyttä ja hyvää laadunhallintaa. EURACHEM on julkaissut useita oppaita yhdessä CITACin kanssa. Suomessa toimii Suomen Kemian Seuran jaoston EURACHEM-Suomi-jaosto. 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 toimi-

⁶ Suomen edustajana työryhmässä on edustaja Ilmatieteen laitokselta

⁷ Osallistuminen IMEP-ohjelmaan on avointa kaikille laboratorioille: http://www.irmm.jrc.be/html/interlaboratory_comparisons/

maan kansallisesti uranuurtajana esittelemällä uusia laadunvarmistukseen ja laatuajatteluun liittyviä toimintatapoja ja käsitteitä. Kansallisella tasolla yhteistyö EURACHEM-Suomen ja EUROLAB-Finlandin välillä tullaan tiivistämään. Suomalaisista laitoksista on edustajia useissa EURACHEMin työryhmissä (mm. koulutus, mittausepävarmuus, vertailumittaukset, vertailumateriaalit, kemian metrologia).

EUROLAB

EUROLAB on kansallisten testauslaboratorioiden liittoutuma. Sen tarkoitus on edistää testaus- ja kalibrointilaboratorioiden ammatillista osaamista ja yhteydenpitoa sidosryhmiinsä. Pyrkimyksenä on edistää testaustulosten vastavuoroista hyväksymistä. Tavoitteena on luotettavan ja tehokkaan testaustoiminnan edistäminen niin kansallisella kuin kansainvälisellä tasolla. Suomessa toimii EUROLAB-Finland-yhdistys. EUROLAB-Finland on eurooppalaisen yhteistoimintaelimen (EUROLAB) suomalainen jäsenyhdistys, jonka tarkoituksena on edistää testaus- ja kalibrointilaboratorioiden ammatillista osaamista ja yhteydenpitoa sidosryhmiinsä. Pyrkimyksenä on edistää testaustulosten vastavuoroista hyväksymistä. Tavoitteena on luotettavan ja tehokkaan testaustoiminnan edistäminen niin kansallisella kuin kansainvälisellä tasolla. Suomalaisista laitoksista on edustajia useissa EUROLABin työryhmissä (mm. vertailumittaukset, vertailumateriaalit, laadunvarmistus testauksessa).

CITAC

Vuonna 1993 perustetun CITACin (Co-Operation on International Traceability in Analytical Chemistry) tavoitteena on edistää olemassa olevien organisaatioiden yhteistyötä parantamaan kansainvälistä kemiallisten mittausten jäljitettävyyttä. CITAC on järjestänyt laboratorioiden välisiä mittauksia pyrkien toimimaan yhdyssiteenä primaarimittauksien ja käytännön tason välillä. Suomen edustajana CITACissa on MIKES. CITAC on julkaissut yhteistyössä muiden järjestöjen, mm. EURACHEMin kanssa useita oppaita.

10.4 Yleiset kehitysnäkymät

Kemian metrologian merkitystä on alettu kansainvälisellä tasolla painottaa yhä enemmän. Tähän on vaikuttanut edellisessä luvussa mainittujen kansainvälisten järjestöjen panos kemiallisen analytiikan jäljitettävyyden parantamiseksi. On voitu myös osoittaa, että mittaustarkkuuden parantaminen aikaansaa huomattavia taloudellisia säästöjä. Tunnettu esimerkki on tästä Yhdysvaltain metrologialaitoksen NISTin tekemä kehitystyö kolesterolimittauksiin tarkoitetun sertifioitujen vertailumateriaalin kehittämisessä (kuva 10.3). Mittaustarkkuuden parantaminen esim. kliinisen kemian alalla, rikos- ja dopinganalytiikassa lisää kansalaisten oikeusturvaa.

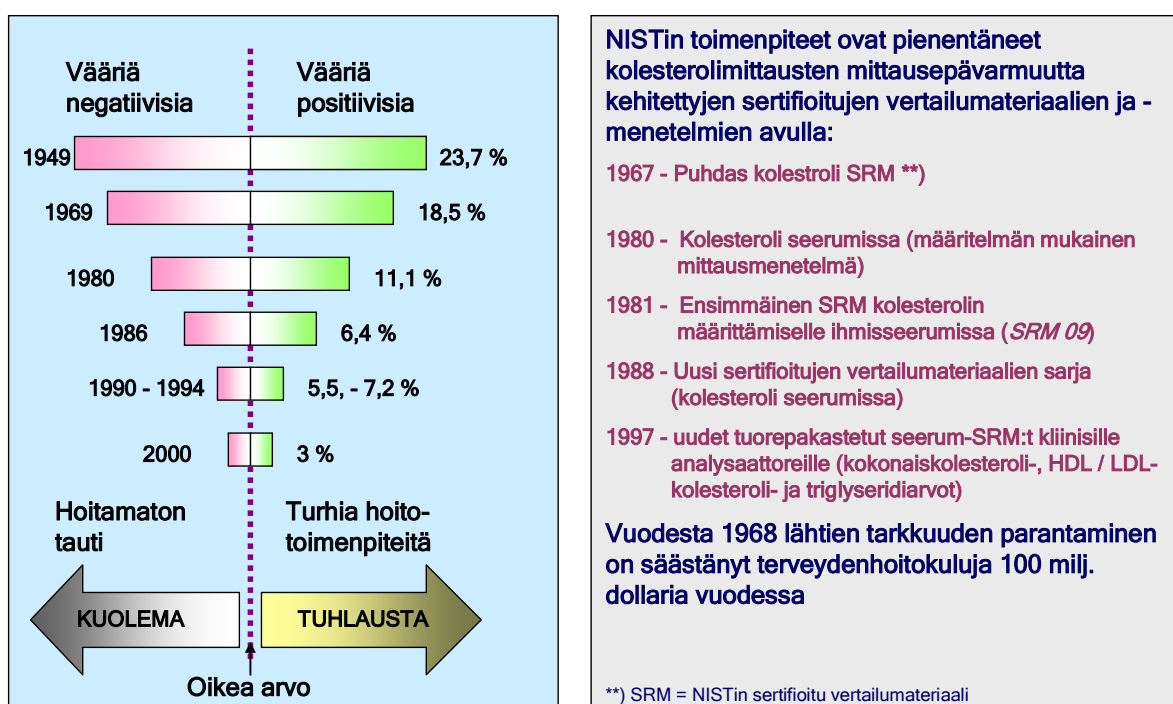
Myös Suomessa on yhä enemmän alettu painottaa mittausten luotettavuuden merkitystä kemiallisessa analytiikassa. Tarpeen tunnistamisessa on edesauttanut laboratorioiden akkreditointi sekä kansainväliset vaatimukset, mm. EU:n piirissä esitetyt vaatimukset kemiallisten analyysien luotettavuudesta, esim. elintarvikeanalytiikassa⁸. Voidaankin todeta, että Suomessa tulee olemaan yhä enemmän tarvetta eri alojen kemian analytiikassa osoittaa mittausten luotettavuus ja siten suomalaisen kemian metrologian järjestelmän kehittäminen mm. sopimuslaboratorioita aikaansaamalla, on lähitulevai-

⁸ EU:n komission päätös (12.8.2002) neuvoston direktiivin 96/23/EY täytäntöönpanosta määritysmenetelmien suorituskyvyn ja tulosten tulkinnan osalta (Euroopan yhteisöjen virallinen lehti L 221/8, 17.8.2002)

suuden haaste. Toinen haaste on saada suomalainen kemistikunta jo opiskeluvaiheesta alkaen tietoiseksi kemian metrologian merkityksestä.

Kansainvälisellä tasolla yhteistyö CCQM:n ja eri alojen yhteistyöorganisaatioiden välillä on tiivistymässä, koska kemiallisten analyysien luotettavuuden parantaminen nähdään yhä tarpeellisemmaksi. Yhteistyötä tehdään mm. maailman meteorologiaorganisaation kanssa (World Meteorological Organisation, WMO) sekä klinisen kemian kansainvälisen liiton (International Federation of Clinical chemistry, IFCC) kanssa.

Kolesterolimittausten tarkkuuden lisääntyminen vähentää terveydenhoitokuluja*)



*) Lähde: Fact sheets from NIST, 17.8.2005

Kuva 10.3. Esimerkki mittaustarkkuuden parantamisen johdosta syntyvistä rahallisista säästöistä.

10.5 Tavoitteet vuosille 2007-2011

Kemian ja mikrobiologian jaosto on asettanut toimintakautensa alussa seuraavat tavoitteet, jotka pätevät myös suunnittelukaudelle 2007-2011:

10.5.1 Koulutus ja tiedotus

Jaoston tavoitteena on tiedottaa kemian metrologiasta järjestämällä koulutustilaisuuksia yhdessä muiden alan organisaatioiden kanssa. Koulutustilaisuuksien aiheita ovat:

- Mittausepävarmuuden määrittäminen kemiallisissa ja mikrobiologisissa mittauksissa
- Jäljitettävyys kemiallisissa analyyseissä (vertailuaineet, jäljitettävyys moolista)
- Mikrobiologisten määritysten jäljitettävyyskysymykset (mm. vertailukannat, saatavuus, luotettavuus, kuljetusongelmat, mikrobiologisten pätevyyskokeiden järjestäjien pätevyys)
- Kemian metrologian opetuksen kehittäminen yliopistoissa ja korkeakouluissa.

Erityisesti ympäristöanalytiikan jäljitettävyys- ja mittausepävarmuuskysymyksissä tarvitaan koulutusta ja tietotusta.

Vuoden 2005 kesäkuussa järjestettiin ensimmäinen englanninkielinen TrainMIC-kurssi ja tavoitteena on, että MIKES tulee järjestämään jatkossa vuosittain suomenkielisiä kursseja mm. jäljitettävyydestä sekä mittausepävarmuuden laskemisesta. Myös ammattikorkeakoulujen, yliopistojen ja korkeakoulujen professoreille ja opettajakunnalle on suunnitteilla MIKESin toimesta kemian metrologiaa käsittelevä seminaari (ns. AcadeMIC). Tavoitteena on saada mittaustekniikan opetus ja siihen liittyvä metrologia kemiaan liittyvien tieteiden opetuksen kiinteäksi osaksi.

Jaosto laatii työryhmiensä avustamana tiedotusmateriaalia ja suomenkielisiä oppaita edistämään tietoutta kemiallisten ja mikrobiologisten määritysten luotettavuuteen liittyvissä asioissa. Tiedotteiden ja oppaiden aiheita ovat:

- Kemiallisten mittausten jäljitettävyys moolista
- Kemiallisten analyyseiden näytteenotot kriteerit
- Kliinisen kemian jäljitettävyyskysymykset
- Näytteenoton kriteerit
- Mikrobiologiset oppaat.

10.5.2 Kansallinen ja kansainvälinen yhteistyö

Jaoston tavoitteena on olla koordinaattorina kansallisen ja kansainvälisen kemian ja mikrobiologian metrologiassa.

10.5.3 Sopimuslaboratorioiden perustaminen keskeisille alueille

Jaoston tavoitteena on yhteistyössä MIKESin kanssa löytää kemian alan laboratorioita, joilla olisi halukkuutta metrologisen toiminnan kehittämiseen ja ylläpitoon. Edellytyksenä MIKESin nimeämäksi sopimuslaboratorioksi pääsemiseen on akkreditointi, kansainvälisiin vertailumittauksiin osallistuminen sekä alan kansallisen tai kansainvälisen asiantuntijan lausunto laboratorion metrologisesta tasosta. Painopistealueita ovat mm. kliininen kemia, elintarvikekemia ja ympäristömittaukset.

Liite 1 Yhteystiedot

METROLOGIAN NEUVOTTELUKUNTA 22.1.2004 - 22.1.2007

	<p><u>Puheenjohtaja</u> Aimo Pusa Lahti Precision Oy puh. (03) 829 4275 aimo.pusa@lahtiprecision.fi</p>	<p><u>Sihteeri</u> Jaana Järvinen Mittatekniikan keskus PL 9 (Tekniikantie 1) 02151 Espoo puh. 010 6054 408 jaana.jarvinen@mikes.fi</p>
<i>JAOSTOT</i>		
Mittauspalvelujaosto	<p><u>Puheenjohtaja</u> Aimo Pusa Lahti Precision Oy puh. (03) 829 4275 aimo.pusa@lahtiprecision.fi</p>	<p><u>Sihteeri</u> Jaana Järvinen Mittatekniikan keskus puh. 010 6054 408 jaana.jarvinen@mikes.fi</p>
Vakaustaosto	<p>Harri Piltz Harrico PTE Oy puh. (09) 5306 650 harri.piltz@harrico.com</p>	<p>Sari Hemminki Turvatekniikan keskus puh. 010 6052 244 sari.hemminki@tukes.fi</p>
Kemian ja mikrobiologian jaosto	<p>Katri Matveinen Keskusrikospoliisi puh. (09) 8388 6328 katri.matveinen@krp.poliisi.fi</p>	<p>Tapio Ehder Mittatekniikan keskus puh. 010 6054 502 tapio.ehder@mikes.fi</p>
<i>TYÖRYHMÄT</i>		
Pituussuureet	<p><u>Puheenjohtaja</u> Heikki Tikka Tampereen teknillinen yliopisto puh. (03) 3115 2719 heikki.tikka@tut.fi</p>	<p><u>Sihteeri</u> Antti Lassila Mittatekniikan keskus puh. 010 6054 413 antti.lassila@mikes.fi</p>
Massasuureet	<p>Jouko Roine Inspecta Oy puh. 010 5216 319 jouko.roine@inspecta.fi</p>	<p>Sari Semenoja Mittatekniikan keskus puh. 010 6054 432 sari.semenoja@mikes.fi</p>
Lämpötilasuureet	<p>Antero Pitkälampi Vaisala Oyj puh. (09) 8949 2267 antero.pitkalampi@vaisala.com</p>	<p>Thua Weckström Mittatekniikan keskus puh. 010 6054 439 thua.weckstrom@mikes.fi</p>

Sähkö- ja aikasuureet	<u>Puheenjohtaja</u> Tuomo Valkeapää Turvatekniikan keskus puh. 010 6052 241 tuomo.valkeapaa@tukes.fi	<u>Sihteeri</u> Antti Manninen Mittatekniikan keskus puh. 010 6054 416 antti.manninen@mikes.fi
Optiset suureet	Erkki Ikonen Teknillinen korkeakoulu puh. (09) 451 2283 erkki.ikonen@tkk.fi	Kari Riski Mittatekniikan keskus puh. 010 6054 429 kari.riski@mikes.fi
Virtaussuureet	Mirja Tiitinen Energiateollisuus ry puh. (09) 5305 2305 mirja.tiitinen@energia.fi	Martti Heinonen Mittatekniikan keskus puh. 010 6054 402 martti.heinonen@mikes.fi
Akustiset suureet	Jouni Lappalainen Työterveyslaitos puh. 030 474 2740 jouni.lappalainen@ttl.fi	Jussi Hämäläinen Mittatekniikan keskus puh. 010 6054 404 jussi.hamalainen@mikes.fi
Kemia	Katri Matveinen Keskusrikospoliisi puh. (09) 8388 6328 katri.matveinen@krp.poliisi.fi	Tapio Ehder Mittatekniikan keskus puh. 010 6054 502 tapio.ehder@mikes.fi
Mikrobiologia	Marja Leena Kantanen Kansanterveyslaitos puh. (09) 4744 8354 marja-leena.kantanen@ktl.fi	Tapio Ehder Mittatekniikan keskus puh. 010 6054 502 tapio.ehder@mikes.fi
MUUT	<u>Yhteyshenkilö</u>	
Ionisoivan säteilyn suureet	Antti Kosunen Säteilyturvakeskus puh. (09) 7598 8446 antti.kosunen@stuk.fi	

Viimeisimmät julkaisut

- J3/2004 V. Esala, *Pituuden vertailumittaus D6, loppuraportti.*
- J4/2004 J. Halttunen, *Coriolis-mittarin vertailumittaus, syksy 2002. Interlaboratory comparison of a Coriolis flowmeter, Autumn 2002.*
- J5/2004 L. Uusipaikka, *Suhteellisen kosteuden kalibrointien vertailu, loppuraportti.*
- J6/2004 K. Riski, *Mass Comparison: 2 kg, 100 g, 20 g, 2 g and 100 mg weights.*
- J7/2004 M. Rantanen, S. Semenoja, *Intercomparison in gauge pressure range from 20 Pa to 13 kPa.*
- J8/2004 R. Rajala, *Yleismittarin vertailumittaus, loppuraportti.*
- J1/2005 T. Ehder (Toim.), *Mikrobiologiset vertailukannat.*
- J2/2005 M. Rantanen, G. Peterson, *Pressure comparisons between MIKES and Metroser: Ranges 95 kPa to 105 kPa absolute and 0,5 MPa to 1,75 MPa gauge.*
- J3/2005 M. Rantanen, S. Semenoja, *Calibration of a 130 Pa CDG: comparison of the results from MIKES and PTB.*
- J4/2005 T. Weckström, *Lämpötilan mittaus.*
- J5/2005 M. Rantanen, S. Semenoja, *Results on the effective area of a DHI piston-cylinder unit with the nominal area of 196 mm².*
- J6/2005 T. Ehder (Toim.), *Kemian metrologian opas.*
- J7/2005 M. Heinonen, J. Järvinen, A. Lassila, A. Manninen (Eds.), *Finnish National Standards Laboratories Annual Report 2004.*
- J8/2005 T. Weckström, *Thermometer comparison L 12 in the range from -80 °C to 400 °C.*
- J9/2005 V. Esala, *Pituuden vertailumittaus D7, loppuraportti.*
- J1/2006 M. Rantanen, S. Semenoja, *Intercomparison in Gauge Pressure Range from -95 kPa to +100 kPa.*
- J2/2006 M. Heinonen, J. Järvinen, A. Lassila, A. Manninen (Eds.), *Finnish National Standards Laboratories Annual Report 2005.*
- J3/2006 K. Riski, L. Stenlund, *Mass Comparison: 610 g laboratory balance.*
- J4/2006 M. Heinonen, *Uncertainty in humidity measurements - Publication of the EUROMET Workshop P758.*
- J5/2006 T. Ehder (Toim.), *Kvalitatiivisen kemian metrologian opas orgaanisten yhdisteiden tunnistukseen.*
- J6/2006 T. Ehder (Toim.), *Mikrobiologian laboratorion elatusaineiden sisäinen laadunvarmistus.*



- PL 9, Tekniikantie 1, 02151 ESPOO
- Puh. 010 6054 000 • Fax 010 6054 299
- www.mikes.fi