



Jaana Järvinen

Harva maanmittari taitaa tietää, mikä MIKES on, ja vielä harvemalla lienee käsitystä siitä, mitä MIKES tekee. MIKESillä ja maanmittauksella on kuitenkin monia yhtymäkohtia, sekä historiaan että nykytoimintaan liittyviä. Alkujaan mitoista ja painoista huolehtivat maanmittarit, nyt niistä vastaa MIKES.



MIKES

– nanometristä gigahertsiin ja kaikkea siltä väliltä

Mittatekniikan keskuksella eli MIKESillä on kansallinen vastuu metrologiasta ja akkreditoinnista. Toiminta liittyy Suomessa tehtyjen mittausten luotettavuuden ja mittaajien pätevyyden varmistamiseen. MIKESin toiminta on kansainvälisesti hyväksyttyä ja päteväksi todettua. MIKES tukee mittausten laadunhallintaa niin yrityksissä kuin hallinnossa.

Mittayksiköt, jäljitettävyys ja mittausepävarmuus

Metrologian keskeinen painopistealue on kansainvälisen mittayksikköjärjestelmän SI:n mukaisten perus- ja johdannaisyksiköiden toteuttaminen ja toteuttamisme-

netelmien kehittäminen. MIKES toimii Suomen kansallisena metrologialaitoksena, joka ylläpitää ja kehittää Suomen kansallista mittanormaalijärjestelmää, huolehtii kansallisesta kalibrointipalvelusta sekä tekee alan huippututkimusta. MIKESin tehtävänä on varmistaa, että Suomessa esim. metri, kilogramma, sekunti, ampeeri, voltti ja muut mittayksiköt toteutuvat samansuuruisina kuin muissakin kehittyneissä maissa. MIKESin apuna metrologian kehittämisessä toimii valtioneuvoston asettama Metrologian neuvottelukunta.

Kansainvälisesti yhdenmukaiset mitat ja mittayksiköt ovat välttämätön

MIKESin 30 metrin mittarata, jolla voidaan kalibroida esim. mittalattoja, mittanauhoja, takymetrejä ja laserseuraimia.

edellytys kansainväliselle kaupalle ja tieteelle. Ilman niitä esim. valtioiden rajat ylittävä komponenttikauppa tai alihankintatoiminta olisi huomattavan vaikeaa. Mittayksikköjärjestelmä on kautta aikojen kehittynyt yhdessä tieteen ja tekniikan kehityksen kanssa. Toisaalta mittayksikköjärjestelmä on helpottanut tutkimustoimintaa tarjoamalla tutkijoille yhteiset ja tarkat mittayksiköt. Toisaalta taas tieteen innovaatiot ovat tarjonneet uusia tapoja toteuttaa mittayksiköt yhä tarkempia mittauksia vaativan teollisuuden tarpeisiin.

Metrologiassa tärkeitä käsitteitä ovat jäljitettävyyden ja mittaasepävarmuus. Yleinen laadunhallintaan liittyvä periaate teollisuudessa, kaupassa ja muussa mittaus-toiminnassa, johon liittyy taloudellisia tai oikeudellisia vaikutuksia tai teknisiä tarkkuusvaatimuksia, on että mittauslaitteet on jäljitettävästi kalibroitu ja että mittaasepävarmuus on tunnettu. Käytännönä laatujärjestelmäpuolella (esim. ISO:n eri laatustandardit) on, että jäljitettävyyden mittauslaitteille on haettava joko kansainvälisesti tai kansallisesti päteväksi todetulta laboratoriolta.

Akkreditointi laadun takeena

MIKESin akkreditointiyksikkö toimii kansallisena akkreditointielimenä (FINAS), joka toteaa erilaisten toimijoiden pätevyyden eli akkreditoi esim. testaus- ja kalibrointilaboratorioita, tarkastuslaitoksia ja sertifiointielimiä. Tänäpä FINASin akkreditoimia laboratorioita on yli 200, joista kalibrointilaboratorioita on 30. Akkreditoitujen laboratorioiden suorittamat kalibroinnit ovat jäljitettäviä kansallisten

mittanormaali-laboratorioiden ylläpitiin kansallisiin mittanormaaleihin. Kalibrointilaboratorioiden pätevyyden arvioinnissa kiinnitetään erityisesti huomiota mittausten ja kalibrointien jäljitettävyyteen ja mittaasepävarmuuden arviointiin.

Jatkossa kirjoituksessa keskitytään metrologiaan liittyviin asioihin.

Mitat maanmittareilta MIKESiin

Metrisopimus allekirjoitettiin 20.5.1875. Metrisopimuksen vuosipäivä on nimetty Maailman metrologiapäiväksi, ja tämän lehden ilmestyttyä on juuri juhlistettu metrijärjestelmän 130-vuotista taivalta. Suomi siirtyi metrijärjestelmään 1886 annetulla keisarillisella asetuksella mitoista ja painoista. Metrijärjestelmään siirtymisen toimeenpanon valmisteleminen ja valvominen annettiin silloisen maanmittaus-ylihallituksen alaiselle vakauskomissiolle. Suomi sai vakauskomission hankkimana oman metrin prototyypin (N:o 5) ja kilogramman prototyypin (N:o 23) jo vuonna 1890, vaikka ei ollutkaan itsenäinen valtio. Suomen itsenäistyttyä vakauskomission tehtävät siirtyivät 1921 vakaustoimistolle ja sen tehtävät 1974 perustetulle kauppa- ja teollisuusministeriön alaiselle teknilliselle tarkastuskeskukselle.

MIKES perustettiin 1.6.1991 voimaan tulleella lailla, jolla teknillisestä tarkastuskeskuksesta mittauspäalvelu- ja akkreditointitoiminnot siirrettiin MIKESiin. Alussa MIKESissä työskenteli 14 henkilöä, nyt mikesläisiä on yli 60.

Tällä hetkellä metrisopimuksen on allekirjoittanut 51 maata. Metrijärjestelmästä kehittyi muutamien välvaiheiden kautta kansainvälinen SI-mittayksikköjärjestelmä, jonka metrisopimuksen perusteella kokoontuva yleinen paino- ja mittakonferenssi (CGPM) hyväksyi vuonna 1960. SI-järjestelmään kuuluvat seitsemän perusyksikköä ja niiden avulla ilmastut johdannaisyksiköt. Suomessa SI-mittayksiköt otettiin käyttöön vuonna 1965.

Kansallinen mittanormaali-järjestelmä

Kansalliseen mittanormaali-järjestelmään sisältyy keskeisten SI-järjestelmän mittayksikköiden toteuttaminen, niiden mittanormaalin ylläpito ja kehittäminen sekä jäljitettävyyden siirto kalibroimalla alemman tarkkuustason mittanormaaleja tai mittaustaitteita.

Vuoden 1994 alusta lähtien Suomen kansallinen mittanormaali-järjestelmä on perustunut lakiin mittayksikköistä ja

mittanormaali-järjestelmästä. Sen mukaan kauppa- ja teollisuusministeriö päättää siitä, mitkä SI-järjestelmän mukaiset perus- ja johdannaisyksiköt realisoidaan kansallisilla mittanormaaleilla. Kansallisia mittanormaaleja ylläpitävät MIKES ja sen nimeämät muut kansalliset mittanormaali-laboratoriot.

MIKES vastaa itse useimpien suureiden mittayksikköiden kansallisista mittanormaaleista (massa, paine, tiheys, lämpötila, kosteus, virtaus, pituus ja geometriset suureet, sähköiset suureet, aika ja taajuus sekä akustiikka). Omien laboratorioiden lisäksi MIKES on nimennyt Teknillisen korkeakoulun kansalliseksi mittanormaali-laboratorioksi, joka vastaa foto- ja radiometrian sekä suurjännitemittausten kansallisista mittanormaaleista. Oman lainsäädäntönsä perusteella kansallisia mittanormaaleja ylläpitävät Geodeettinen laitos pituuden ja putoamiskiihtyvyyden osalta ja Säteilyturvakeskus ionisoivan säteilyn osalta. Lisäksi MIKESillä on sopimus kolmen akkreditoitun kalibrointilaboratorion kanssa sopimuslaboratoriona toimimisesta tietyille mittayksikköille, joilla ei ole kansallista mittanormaalia.

Myös lakisäätäinen mittaustaitteiden varmentaminen eli vakaustoiminta kuuluu metrologian tehtäväkenttään. Vakaustoiminta Suomessa kohdistuu ensisijassa yleiseen kaupankäyntiin liittyviin mittauksiin. Aiemmin monet maanmittarit toimivat vakaajina. Nykyään Turvatekniikan keskus eli TUKES ohjaa ja valvoo lakisäätäistä metrologiaa.

Meridiaanikaaresta taajuuskampaan

Pituus oli massan rinnalla ensimmäinen suure, jolle metrisopimuksessa luotiin kansainvälisesti yhtenäiset metrologiset perusteet: mittayksikköksi valittiin metri ja sen pituudeksi määriteltiin kymmenesmiljoonasosa maapallon pituuspiirin neljänneksestä. Vuosien varrella ja tarkkuusvaatimusten kasvaessa metrin määritelmää on useaan kertaan muutettu. Nykyisen, vuonna 1983 hyväksytyyn määritelmän mukaan metri on sellaisen matkan pituus, jonka valo kulkee tyhjiössä aikavälissä $1/299\,792\,458$ s. Metrin määritelmää pystytään harvoin suoraan soveltamaan. Tämän takia kansainvälinen paino- ja mittakomitea (CIPM) on antanut suosituksia määritelmän realisoinnista aallonpituuksiin perustuen. Suomessa metrin kansallinen realisointi on vuodesta 1995 lähtien tapahtunut MIKESin kolmen jodiin stabiloidun punaisen He-Ne-laserin avulla. Näiden aallonpituuden suhteellinen epävarmuus on $2,1 \times 10^{-11}$. Tämä

vastaa sitä, että maapallon ympärysmitta tunnettaisiin alle 1 mm:n virheellä.

Uusia parempia metrin realisointitapoja tutkitaan maailmalla koko ajan. MIKES on tutkimuksen kärkimaita. Tuloksista mainittakoon ns. optinen taajuuskampa, jonka MIKES on äskettäin kehittänyt yhtenä ensimmäisistä laboratorioista maailmassa yhteistyössä Teknillisen korkeakoulun kanssa. Optisen taajuuskamman avulla metri voidaan realisoida suoraan määritelmäänsä ja atomikelosta saatavaan taajuuteen perustuen.

Metri määritelmästä takymetriin

Pituusmetrologian kansallisen mittanormaalityönsä vastuuorganisaatioita ovat MIKES ja Geodeettinen laitos. Tampereen teknillinen yliopisto toimii koordinaattimittausten sopimuslaboratoriona ja useat MIKESin akkreditoimat laboratoriot tarjoavat virallisia pituuden mittauslaitteiden kalibrointeja.

Kansallisessa realisoinnissa käytetyistä jodistabiloiduista lasereista metri siirretään muihin pituuden mittanormaaleihin ja käytännön mittauksiin kalibroittujen lasereiden ja interferometriä avulla. MIKESillä on eri tarkoituksiin useita erilaisia interferometrejä, joiden avulla voidaan optisin menetelmin verrata esim. kohteiden etäisyyttä tai mittanormaalien pituutta laservalon tunnettuun aallonpituuteen. Laitteiden mittausalueet vaihtelevat nanometreistä kymmeneen metriin ja käyttötarkoituksen mukaan ne toimivat joko yhdessä, kahdessa tai kolmessa dimensiossa. Tutkimusalueet ulottuvat kvantitatiivisesta mikroskopiasta suurten kappaleiden koordinaattimittauksiin ja laserseurainkarakterisointeihin.

Varsinaisten pituusmittausten lisäksi MIKES kalibroi myös kulman ja muiden pituussuureiden kuten tasomaisuuden, suoruuden, ympyrämuotoisuuden ja pinnankarheuden mittanormaaleja ja mittauslaitteita, esimerkiksi teodoliitteja, vaatimuskojeita ja kulmaprismoja.

MIKESillä on 30-metrinen interferometrinen mittarata, jolla voidaan kalibroida myös maanmittauksessa käytettäviä laitteita. Rata sijaitsee maanalaisessa lämpötila- ja kosteusstabiloidussa labora-



Kuva: MIKES

Teodoliitin pysty- ja vaakakulma-asteikot kalibroidaan MIKESissä tarkan pyöröpöydän avulla.

toriossa. Mittaradalla voidaan siirtää siinä käytetyn kalibroidun laserin aallonpituudesta saatava metri hyvin monenlaisiin mittauslaitteisiin kuten mittalattoihin, mittanauhoihin ja aina takymetreihin sekä laserseuraimiin asti.

Takymetriä kalibrointi MIKESissä, erityisesti teollisuudessa tehtävien tarkkojen ja luotettavien asennus- tai dimensiomittausten mahdollistamiseksi, on selvästi lisääntynyt viime vuosina. Takymetrin kalibrointi pitää sisällään sekä pituutta että kulma-asteikkojen tarkistukset.



Kuva: Adactive Oy

“Ei pelkkä rakennus, vaan laite ja taideteos”. Näinkin on kuvattu MIKESin uutta Otaniemessä valmistuvaa toimitaloa. Lukuisten teknisten erikoisrakaisujen takia maanalaisia laboratorioita on kutsuttu myös “ihmetiloiksi”. Aikametrologian satelliittiantennit tulevat oikealla näkyvään torniin. Mallinnuskuvat Adactive Oy.

Takymetrin pituusasteikkoa verrataan interferometriseen mittaukseen useissa pisteissä 30 metrin mittaradalla. Sekä pysty- että vaakakulma-asteikot kalibroidaan tarkan pyöröpöydän avulla yli koko liikealueen. Lisäksi laitteen herkkyys fokusointietäisyydelle voidaan tarkastaa erillisen kollimaatioputken avulla. Tulokset näyttävät laitteen tarkkuustason ja niitä voidaan käyttää hyväksi myös laitteen virittämisessä tarkemmaksi. MIKESissä muutaman Suomeen tuodun laitteen on

todettu jäävän sen verran kauaksi speksistään, että maahantuojat palauttavat ne tehtaalta säädettäväksi. Vaikka takymetrin kalibrointi takaa sen jäljitettävyyden ja antaa hyvän kuvan parhaasta saavutettavissa olevasta mittausepävarmuudesta, on kentällä aina otettava käyttöolosuhteet huomioon tulosten epävarmuutta arvioitaessa.

Pituusmittaukset geodesiassa

Geodeettinen laitos ylläpitää ja kehittää geodeettisten ja fotogrammetristen mittausten mittanormaaleja sekä toimii pituuden ja putoamiskiihtyvyyden kansallisena mittanormaalityönsä laboratoriona. Vaikka Geodeettisen laitoksen mittanormaalityönsä laboratoriot toiminta perustuu sen omaan lainsäädäntöön, on alusta alkaen monia asioita tehty hedelmällisenä yhteistyönä. Myös tehtävänjako on ollut selkeä: Geodeettinen laitos vastaa pituudesta geodesiassa.

Geodeettisen laitoksen mittaukset ovat myös jäljitettäviä SI-järjestelmään joko MIKESin tai muiden laboratorioden kautta. Hyvä esimerkki tästä on Geodeettisen laitoksen Nummelan perusviiva, joka on antanut yhtenäisen mittakaavan koko Suomen kartoitussmittaus-

le. Sen pilareiden etäisyydet mitataan säännöllisesti professori Väisälän 1920-luvulla kehittämällä valkoisen valon interferometrillä. Väisälä-interferometrinen asteikko perustuu noin yhden metrin mittaisiin ns. kvartsimetreihin, joiden pituus on tunnettava hyvin tarkasti. Väisälä-interferometrinen avulla kvartsimetrin mitta voidaan suurella tarkkuudella kertoa aina noin 860 metrin pituuteen asti. Vuonna 2000 MIKES yhteistyössä Geodeettisen

laitoksen ja Kiinan metrologialaitoksen kanssa kehitti laitteen ja menetelmän, joilla MIKES voi kalibroida kvartsimetrejä noin 35 nanometrin standardiepävarmuudella.

Suomen kansallinen aika

Toinen maanmittareita ja geodeetteja erityisesti kiinnostava suure lienee aika. Tähtien avulla tapahtuva navigointi vaati tarkkaa aikaa, mikä johti purjelaivoissa toimivien tarkkojen mekaanisten kellojen kehittämiseen 1700-luvulla. Samoin nykypäivänä yksi tärkeimmistä tarkimpien kellojen sovelluksista on paikannus: GPS-järjestelmä perustuu siihen, että satelliiteissa olevat atomikellot mahdollistavat eri satelliiteista lähetettyjen signaalien kulkuajojen ja sitä kautta satelliittien etäisyyksien määrittämisen hyvin tarkasti.

MIKES vastaa Suomen kansallisen ajan, aikavälin ja taajuuden jäljitettävyydestä. Suomen virallinen aika ja taajuus määräytyvät MIKESin kahdesta cesiumatomikellosta ja kahdesta vetymaserista. Taajuuden ja aikavälin suhteellinen epävarmuus on noin 1×10^{-13} . Kansallista aikaa verrataan jatkuvasti GPS-vastaanotinten avulla kansainväliseen UTC-aikaan (koordinoitu yleisaika), joka perustuu runsaan 200:n eri puolilla maailmaa olevan atomikellon painotettuun keskiarvoon. MIKES liittyi keväällä 2005 UTC-aikaa ylläpitävien laboratorioden joukkoon. MIKESin geodeettisella Legacy-E-GPS-vastaanottimella UTC-ajan ylläpitoon liittyvät aikavertailut voidaan tehdä muutaman nanosekunnin epävarmuustasolla.

MIKES välittää taajuuden ja aikavälin jäljitettävyyttä kalibroimalla mm. GPS-vastaanottimia (taajuus), oskillaattoreita, aikavälimittareita ja sekuntikelloja. MIKES valvoo myös Yleisradion antamaa aikamerkkiä ja televisiokuvan synkronitaajuuksia.

Verkkoon kytkettyjen tietokoneiden kellot saadaan synkronoiduksi Suomen kansalliseen aikaan MIKESin tuottaman NTP-palvelun (Network Time Protocol) avulla. Tarkempi ja valvotumpi palvelu on maksullinen ja tarkoitettu virastojen, laitosten, yritysten ja muiden organisaatioiden käyttöön. Yksityishenkilöitä varten on ilmainen, kaikille avoin NTP-palvelu. Lisätietoa NTP-palvelusta löytyy MIKESin kotisivuilta www.mikes.fi.

Suomen tarkin talo Otaniemeen

Tällä hetkellä MIKES toimii useassa toimipisteessä: päätoimipiste on Lönnro-

tinkadulla Helsingissä ja sivutoimipisteitä löytyy kahdesta osoitteesta Otaniemestä. Jatkossa toiminta keskittyy Otaniemeen, Tekniikantie 1:een, jonne on parhaillaan valmistumassa MIKESin uusi toimitalo. Muutto on lokakuun 2005 alussa.

Lukuisia erikoisratkaisuja sisältävä rakennus on tällä hetkellä yksi teknisesti vaativimmista rakennuskohteista maassamme. Tämä johtuu siitä, että valtakunnan tarkimmat mittaukset vaativat äärimmäisen hallitut olosuhteet. Metrologiset mittaukset sietävät huonosti mm. ulkopuolisia värinöitä ja häiriöitä sekä lämpötilan vaihteluita. Tarkimmissa mittaauksissa esim. lämpötila saa poiketa vain 0,05 °C asetusravosta. Tästä syystä osa laboratorista onkin sijoitettu kokonaan maan alle.

Uusi toimitalo parantaa oleellisesti MIKESin tutkimus- ja yhteistyövalmiuksia. Jatkossa MIKES voi yhä paremmin tarjota esim. mittausteknisten asioiden

koulutusta sekä asiantuntija-, tutkimus- ja kalibrintipalveluita. Asiantuntijapalvelut voivat olla esim. neuvontaa asiakkaan mittausta- tai kalibrointiongelmien ratkaisemiseksi, mittausten menetelmien ja -tekniikoiden suunnittelua asiakkaan tarpeita varten, optimoidun kalibrintijärjestelmän kehittämistä tai tutkimushankkeisiin osallistumista.

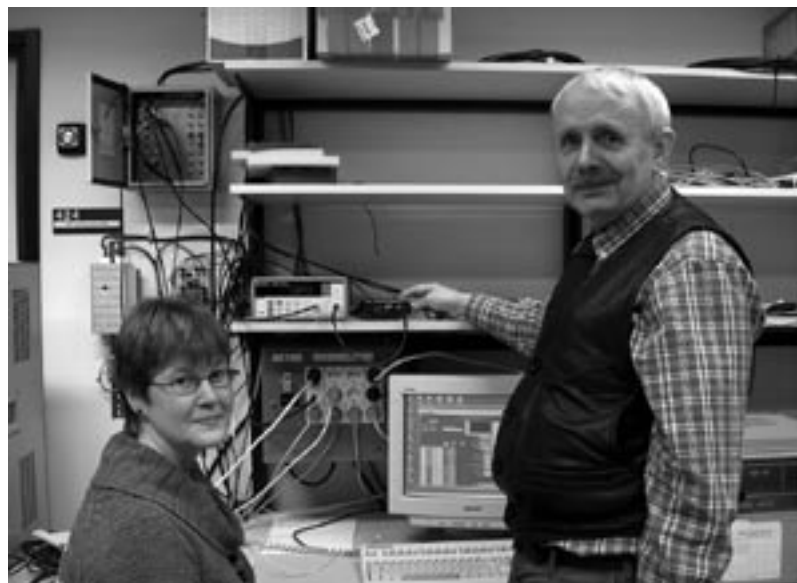
Kirjoittaja on TKK:n Maanmittausosastolta valmistunut tekniikan lisensiaatti ja projektipäällikkö MIKESissä. Hän toimii myös Metrologian neuvottelukunnan sihteerinä. Sähköposti jaana.jarvinen@mikes.fi. Lisätietoja MIKESistä osoitteessa www.mikes.fi.

METROLOGIA Mittauksia käsittelevä tieteenala, jossa tutkitaan mittayksiköitä, mittaustuloksia ja -menetelmiä sekä mittausten oikeellisuutta.

JÄLJITETTÄVYYS Mittaustuloksen tai mittanormaanin yhteys ilmoitettuihin referensseihin, yleensä kansallisiin tai kansainvälisiin mittanormaaleihin, sellaisen aukottoman vertailuketjun välityksellä, jossa on ilmoitettu kaikkien vertailujen epävarmuudet.

KALIBROINTI Toimenpiteet, joiden avulla spesifioituissa olosuhteissa saadaan mittaustuloksen tai mittaustuloksen näyttämien tai kiintomittan tai vertailuaineen edustamien suureiden arvojen ja vastaavien mittanormaaleilla toteutettujen arvojen välinen yhteys.

MITTAUSEPÄVARMUUS Mittaustulokseen liittyvä parametri, joka kuvaa mittaustuloksen arvojen oletettua vaihtelua.



Kuva: MIKES

Kirjoittajalle näytetään miten MIKESin geodeettinen GPS-vastaanotin kerää dataa aikavertailuja varten.