

Kalibrointipalvelut

Massa, paine, voima, vääntömomentti,
virtaus, kosteus ja lämpötila

VTT MIKES





Copyright © VTT MIKES 2022

Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy
PL 1000 (Vuorimiehentie 3, Espoo), 02044 VTT
Puh. 020 722 111,
www.vttresearch.com/fi

VTT MIKES

Massa, paine, voima, vääntömomentti,
virtaus, kosteus ja lämpötila

Punnusten kalibrointi	4
Paineen mittauslaitteiden kalibroinnit.....	6
Voiman ja vääntömomentin kalibrointi.....	8
Vesivirtausmittareiden kalibrointi	10
Kaasuvirtauskalibroinnit ja nesteiden tiheys	12
Kosteusmittareiden kalibrointi	14
Infrapunalämpömittareiden kalibrointi	16
Platinavastuslämpömittareiden kalibrointi.....	18

Punnusten kalibrointi

Heikki Kajastie, Tutkija
Puh. 050 410 5511 (Espoo)
heikki.kajastie@vtt.fi

Punnukset, joiden massa alle 50 kg

Kari Kyllönen, Tutkimusteknikko
Puh. 050 4434180 (Kajaani)
kari.kyllonen@vtt.fi

Punnukset, joiden massa 50 kg tai yli

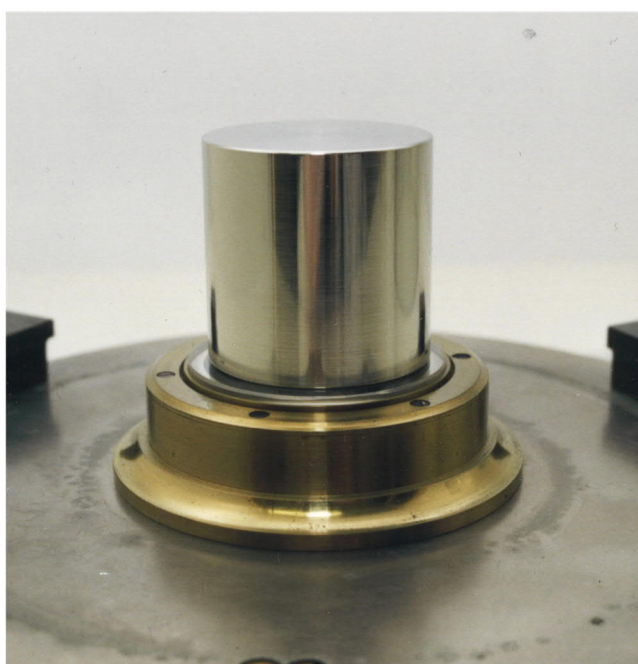
VTT MIKES, Tekniikantie 1, 02150 Espoo
MIKES-Kajaani, Tehdaskatu 15,
Puristamo 9P19, 87100 Kajaani
Puh. 020 722 111,

Jäljitettävyys

VTT MIKESin massalaboratorion punnusnormaalit ovat massan kansallisen mittanormalin – Pt-Ir-kilogramman prototyypin nro 23 – välityksellä jäljitettävissä BIPM:ssä säilytettävään kansainväliseen kilogramman prototyyppiin. Laboratorion mittanormaalien vertailukelpoisuutta pidetään yllä vertailumittauksilla (Esim. EURAMET avainvertailut). Laboratorio tekee vaakoihin ja punnuksiin liittyvää tutkimus- ja kehitystyötä sekä tarjoaa punnusten ja vaakojen käyttöön liittyviä asiantuntijapalveluja. Laboratoriolla on käytössään korkealuokkaiset tilat ja automaattisilla punnustenvaihtimilla varustettuja vaakoja. Laboratoriotilat sijaitsevat Otaniemessä ja Kajaanissa.

Mittausmenetelmät

VTT MIKESin massan mittausalueena on 1 mg ... 2000 kg. Punnusten kalibroinnit tehdään yleisesti hyväksytyillä punnitusmenetelmillä. Näitä ovat vertailumenetelmä ja jakomenetelmä. Edellisessä punnusta verrataan suoraan normaaliin ja jälkimmäisessä punnussarja kalibroidaan yhden tai useamman punnusnormaalin avulla.



Kuva 1. Vasemmalla Suomen kansallinen kilogramman prototyyppi (nr. 23), oikealla punnuksia Kajaanin toimipisteessä.

Kalibrointipalvelut

VTT MIKESillä on resurssit kalibroida OIML luokkien E1, E2 ja F1 mukaisia punnuksia, joiden nimellismassat ovat korkeintaan 20 kg (E1), 50 kg (E2) ja 2000 kg (F1).

VTT MIKES kalibroi myös muita punnuksia, kuten painevaakojen punnuksia. Kalibrointitodistuksissa punnusten massat annetaan joko konventionaalisenä massana tai todellisena massana.

Massan kalibroinneissa saavutettavat pienimmät mittausepävarmuudet on koottu oheiseen taulukkoon 1. Punnukset, joiden nimellismassa on 50 kg tai suurempi kalibroidaan Kajaanissa.

Punnusten tilavuuden kalibrointi

Punnusta kalibroitaessa joudutaan punnitustulokseen tekemään ilman nosteesta aiheutuva korjaus. Korjauksen suuruus riippuu punnuksen tilavuudesta ja ilman tiheydestä. Jotta korjaus voitaisiin tehdä riittävän tarkasti, on tarkimpien punnusten tilavuudet tunnettava. Massalaboratorio kalibroi kiinteiden kappaleiden tilavuuksia ja tiheyksiä. Tiheysnormaalina on joko tislattu vesi tai pii. Mittausmenetelmänä on hydrostaattinen punnitus. Mittauslaitteisto soveltuu 2 kg ja sitä pienempien punnusten tilavuuksien kalibrointiin. Isompien punnusten tilavuudet voidaan tarvittaessa määrittää esim. dimensiomittausten avulla. Punnusten tilavuuden kalibroinnissa saavutettavat epävarmuudet on koottu oheiseen taulukkoon 2.

Taulukko 1. Punnuskalibrointien mittausepävarmuudet.

Massa	Mittausepävarmuus ($k=2$)
2000 kg *)	3000 mg
1000 kg *)	1500 mg
500 kg *)	750 mg
200 kg *)	300 mg
100 kg *)	200 mg
50 kg *)	30 mg
20 kg	3,0 mg
10 kg	1,5 mg
5 kg	1,0 mg
2 kg	0,3 mg
1 kg	0,05 mg
500 g	0,03 mg
200 g	0,02 mg
100 g	0,015 mg
50 g	0,010 mg
20 g	0,008 mg
10 g	0,007 mg
5 g	0,005 mg
2 g	0,004 mg
1 g	0,003 mg
500 mg	0,003 mg
200 mg	0,002 mg
100 mg	0,0015 mg
50 mg	0,0015 mg
20 mg	0,0010 mg
10 mg	0,0008 mg
5 mg	0,0008 mg
2 mg	0,0008 mg
1 mg	0,0008 mg

*) Kalibroinnit tehdään VTT MIKESin Kajaanin toimipisteessä

Taulukko 2. Tilavuuskalibrointien mittausepävarmuudet.

Massa	Tilavuus	Epävarmuus ($k=2$)
1 g – 2 kg	0,1 – 255 cm ³	0,000 3 – 0,008 cm ³

Paineen mittauslaitteiden kalibroinnit

Monika Lecklin, Tutkimusteknikko
Puh. 050 410 5516
monika.lecklin@vtt.fi

VTT MIKES, Tekniikantie 1,
02150 Espoo
Puh. 020 722 111



Kuva 1. Painevaaka.

VTT MIKESillä on hyvät valmiudet erilaisten paineen mittauslaitteiden kalibrointiin. Mittausalue on ylipainealueella 0 ... 500 MPa ja absoluuttipainealueella 0,0005 Pa ... 1,75 MPa. VTT MIKESin parhaat mittanormaalit ovat painevaakoja, joilla paine realisoidaan

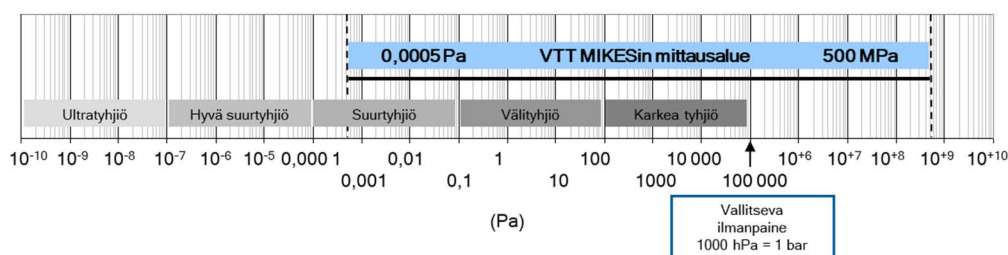
määritelmän mukaisesti, $p = F/A$, eli paine on voima jaettuna pinta-alalla. Voima muodostuu painevaa'an männän ja sen päällä olevien punnusten massoista. Paikallinen putoamiskiintyvyyden arvo tulee tuntea. Pinta-ala A on painevaa'an mäntä-sylinteriyhdistelmän tehollinen pinta-ala.

Painevaakoja käytetään yli- ja alipainealueen mittauksissa sekä absoluuttisen paineen mittauksissa.

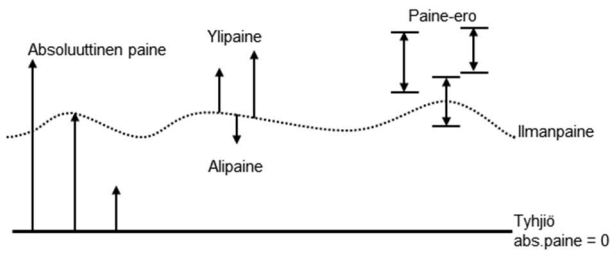
Painevaaka-alueen mittauksissa laajalla toiminta-alueella tarvitaan useita erikokoisia mäntä-sylinteriyhdistelmiä, jotta erilaisia paineita voidaan toteuttaa ja punnusten määrä pysyy silti helposti käsiteltävänä.

Painevaaka-alueen alapuolella käytetään mittanormaaleina kapasitiivisia antureita ja spinning rotor -mittaria. Spinning rotor -mittarilla kalibroidaan tyhjiöalueen kaikkein pienimmät paineet: 0,0005 Pa ... 2 Pa absoluuttista painetta. Spinning rotor -mittarilla tehtävät mittaukset ovat vaativia pitkien stabiloitumisaikojen ja mittausmenetelmän vaatiman pitkän mittausajan vuoksi.

Paineen mittausmenetelmät ja -laitteet vaihtelevat painealueesta riippuen.



Kuva 2. Painemittauksia tehdään hyvin laajalla alueella, esimerkiksi alkaen hiukkaskiihdytinkokeiden 10^{-9} pascalista jauhemetallurgian yli 10^9 pascalin eli 1 GPa:n paineisiin. Mittalaitteet ja niiden toimintaperiaatteet vaihtelevat suuresti mitattavasta painealueesta riippuen. VTT MIKESin mittausalue 0,5 mPa ... 500 MPa on merkitty kuvaan sinisellä palkilla.



Kuva 3. Käytännössä paineen mittaaminen on aina paine-eron mittaamista. Vertailuarvosta riippuen käytetään paineelle erilaisia nimityksiä, ja erilaisia mittauslaitteita.

Absoluuttinen paine

Vertailuarvona on tyhjiö (vakuumimittarit).

Vallitseva ilmanpaine

Vallitseva ilmanpaine on ilmakehän aiheuttamaa absoluuttista painetta eli vertailuarvona on tyhjiö (barometrit).

Ylipaine

Vertailuarvona on vallitseva ilmanpaine. Esimerkiksi auton rengaspaine on ylipainetta. Ylipaine voidaan muuntaa absoluuttipaineeksi lisäämällä siihen muunnoshetkellä vallitseva ilmanpaine.

Alipaine

Alipaine on negatiivista ylipainetta, ja vertailuarvona on vallitseva ilmanpaine. Absoluuttipaineeksi muunnettuna alipaine on siten vallitsevaa ilmanpainetta pienempi. Alipaine tarkoittaa siis kohteen pienempää painetta verrattuna ympäristöön.

Paine-ero

Paine-erosta puhutaan erityisesti silloin, kun vertailuarvona on jokin muu paine kuin tyhjiö tai vallitseva ilmanpaine. Vertailuarvoa sanotaan tällöin usein linjapaineeksi.

Absoluuttipaine, kaasuväliaineena Painealue (Pa)	Suhteellinen mittausepävarmuus $k = 2$ (%)	Ylipaine, kaasuväliaineena Painealue (Pa)	Suhteellinen mittausepävarmuus $k = 2$ (%)
0,0005	9	100	0,03
0,001	6	1000	0,01
0,01	3	10 000	0,004
0,1	3	100 000 (0,1 MPa)	0,003
1	2	1 000 000 (1 MPa)	0,002
10	0,5	10 000 000 (10 MPa)	0,004
100	0,1	16 000 000 (16 MPa)	0,004
1000	0,01		<p>Kuva 4. Erikokoisia painevaakojen mäntä-sylinteri-yhdistelmiä.</p>
10 000	0,005		
100 000 (0,1 MPa)	0,004		
1 000 000 (1 MPa)	0,004		
1 750 000 (1,75 MPa)	0,003		

Alipaine, kaasuväliaineena Painealue (Pa)	Suhteellinen mittausepävarmuus $k = 2$ (%)	Ylipaine, öljyväliaineena Painealue (Pa)	Suhteellinen mittausepävarmuus $k = 2$ (%)
-100	0,03	500 000 (0,5 MPa)	0,005
-1000	0,01	1 000 000 (1 MPa)	0,004
-10 000	0,005	10 000 000 (10 MPa)	0,003
-100 000 (-0,1 MPa)	0,004	100 000 000 (100 MPa)	0,003
		500 000 000 (500 MPa)	0,01

Voiman ja vääntömomentin kalibrointi

Sauli Kilponen, Tutkimusinsinööri
Puh. 050 443 4178
sauli.kilponen@vtt.fi

Jani Korhonen, Tutkimusinsinööri
Puh. 050 443 4206
jani.korhonen@vtt.fi

VTT MIKES, Tehdaskatu 15,
Puristamo 9P19, 87100 Kajaani,
Puh. 050 443 4213

Voiman jäljitettävyyden ja kalibrointi

VTT MIKES-Kajaani suorittaa voiman kalibrointeja alueella 10 N ... 1 MN, pienimmän mittausepävarmuuden ollessa 2×10^{-5} . Kalibrointilaitteita ovat muun muassa voima-anturit, voimamittauslaitteet, vaa'at (esim. koukku-, pyöräpaino- ja lentokonevaa'at) ja vetokoelaitteet.

Voimakalibroinnit perustuvat standardiin ISO 376. Voiman kalibrointi alueella 10 N ... 100 kN tehdään voimanormaaleilla, joiden toiminta perustuu kuormitukseen massoilla. Kalibrointivoiman ollessa suurempi kuin 100 kN, käytetään voimanormaalia, jonka toiminta perustuu massoilla tuotetun voiman vahvistamiseen kymmenkertaiseksi hydraulisesti. Hydrauliseen vahvistukseen perustuvalla voimanormaalilla voidaan tehdä kalibrointeja voima-alueella 20 kN ... 1 MN.

Voiman kalibrointitulokset ovat jäljitettäviä kansainväliseen SI-mittayksikköjärjestelmään ja toiminta täyttää standardissa ISO/IEC 17025 kalibrointilaboratoriolle asetetut vaatimukset.



Kuva 1. Hydrauliseen vahvistukseen perustuva 1 MN:n voimanormaali sekä 100 kN:n suorakuormitteinen voimanormaali. Laitteiston kokonaiskorkeus on noin 8 m, mihin sisältyvät lattiatason alapuolella olevat kuormitusmassat.

Taulukko 1. Voiman mittausalueet ja mittausepävarmuudet.

Kuormaustapa	Mittausalue	Mittausepävarmuus ($k=2$)
Suorakuormitus	Puristus / veto: 10 N ... 10 kN	$2 \cdot 10^{-5}$
Suorakuormitus	Puristus / veto: 10 kN ... 100 kN	$5 \cdot 10^{-5}$
Hydraulinen vahvistus	Puristus / veto: 20 kN ... 1 MN	$1 \cdot 10^{-4}$

Vääntömomentin jäljitettävyyden ja kalibrointi

VTT MIKES-Kajaani tekee vääntömomentin kalibrointeja alueella 4 Nm ... 20 kNm, parhaimman mitauskyvyn ollessa 5×10^{-4} .

Kalibroituja laitteita ovat muun muassa vääntömomenttianturit, vääntömomentin kalibrointi- ja testauslaitteet sekä momenttiavaimet. Momenttiantureita käytetään erilaisten pyörivien koneiden tutkimiseen, esimerkiksi pumput ja moottorit. Vääntömomentin kalibrointi- ja testilaitteita käytetään käsimomenttiavainten kalibrointiin tai erilaisten tuotteiden testaamiseen, esimerkiksi pullon korkin kireyden tutkimiseen. Momenttiavaimia käytetään ruuvien ja muttereiden kiristämiseen.

Vääntömomenttiantureiden sekä vääntömomentin kalibrointi- ja testauslaitteiden kalibroinnit suoritetaan ohjeen Euramet cg-14 mukaan. Momenttiavainten kalibrointi perustuu standardiin ISO 6789.

Vääntömomentin kalibroinneissa käytetään vääntömomenttinormaaleja, joiden toiminta perustuu suorakuormitukseen tai referenssianturiin. Suorakuormitukseen perustuvissa laitteissa vääntömomentti tuotetaan massojen ja vivun avulla mittausalueen ollessa 4 Nm ... 2 kNm. Referenssianturiin perustuvilla momenttinormaaleilla kalibrointimomentti voi olla suurimmillaan 20 kNm.

Vääntömomentin kalibrointitulokset ovat jäljitettäviä kansainväliseen SI-mittayksikköjärjestelmään ja toiminta täyttää standardissa ISO/IEC 17025 kalibrointilaboratorioille asetetut vaatimukset.



Kuva 2. Suorakuormitukseen perustuva vääntömomenttinormaali, 2 kNm.



Kuva 3. Referenssianturiin perustuva vääntömomenttinormaali, 20 kNm.

Taulukko 2. Vääntömomentin mittausalueet ja mittaasepävarmuudet.

Kuormitustapa	Mittausalue	Mittaasepävarmuus ($k=2$)
Suorakuormitus	4 ... 20 Nm myötä- ja vastapäivään	$8 \cdot 10^{-4}$
Suorakuormitus	20 ... 2000 Nm myötä- ja vastapäivään	$5 \cdot 10^{-4}$
Referenssianturi	0,2 ... 20 kNm myötä- ja vastapäivään	$5 \cdot 10^{-4}$

Vesivirtausmittareiden kalibrointi

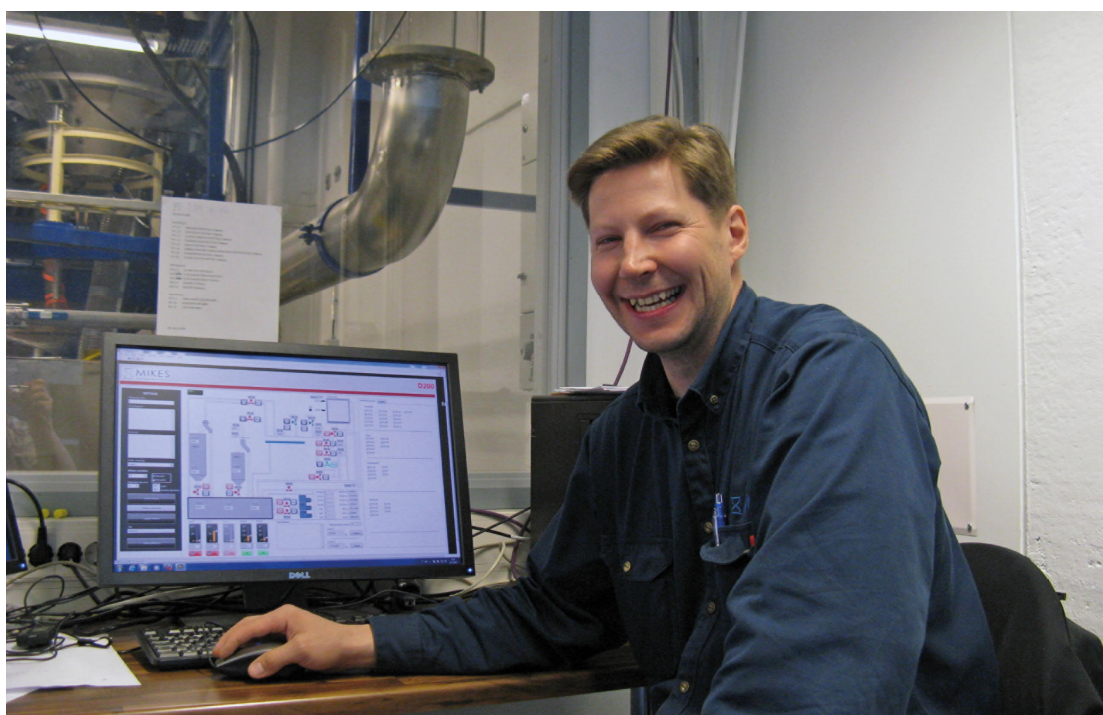
Mika Huovinen, Tutkija
Puh. 050 415 5974
mika.huovinen@vtt.fi

VTT MIKES, Tehdaskatu 15,
Puristamo 9P19, 87100 Kajaani,
Puh. 050 443 4213

Kalibroinnilla luotettavuutta

Nestevirtausten tarkkaa mittaamista tarvitaan monilla teollisuuden aloilla, kuten prosessi-, kaivannais- ja energiateollisuudessa. Kansainvälisen kilpailukyvyyn säilyttämiseksi ja tuotteiden laadun takaamiseksi tarkat nestevirtausmittaukset mahdollistavat teollisten prosessien optimaalisen toiminnan ja tätä kautta vähentävät resurssien käyttöä sekä päästöjä ympäristöön. Olipa sovellus mikä tahansa, nestevirtausmittarien säännöllinen kalibrointi ja niiden stabiiliuden seuranta ovat oleellinen osa mittausten varmentamista.

Kuva 1. D200-nestevirtauskalibrointilaitteiston käyttöölyttäminen.



Jäljitettävyys

VTT MIKES-Kajaanin nestevirtauslaboratorion tärkeimpänä tehtävänä on toteuttaa nestevirtausmittausten jäljitettävyys Suomessa ylläpitämällä ja kehittämällä nestevirtauksen mittanormaaleja sekä tarjoamalla kalibrointi- ja asiantuntijapalveluja. Laboratorion korkea taso pidetään yllä osallistumalla alan kansainvälisiin tutkimus- ja vertailumittaushankkeisiin sekä toteuttamalla tutkimushankkeita. VTT MIKES-Kajaanin nestevirtauslaboratoriossa noudatetaan ISO/IEC 17025 mukaista laatujärjestelmää.

Kalibrointipalvelut

VTT MIKES-Kajaani kalibroi nestevirtausmittareita kolmella eri nestevirtauskalibrointilaitteistolla, joista yksi on nestevirtauksen kansallinen mittanormaali. Tämä tarkin nestevirtauksen mittaus toimii gravimetrisellä periaatteella ja tällä mittanormaalilla tehtävät nestevirtausmittaukset ovat jäljitettävissä SI-yksiköihin ajan, massan ja lämpötilan kansallisten mittanormaalien kautta.

Mittanormaalissa nestevirtaus saadaan aikaan maan vetovoimaa hyväksi käyttäen siten, että 20 m:n korkeudella sijaitsevassa säiliössä veden pinnankorkeus pidetään vakiona ja tilavuusvirta säädetään haluttuun arvoon. Kalibrointihetkellä kalibroitavan mittarin läpi kulkeva vesivirta ohjataan vaa'alle ja mittarilta saatuja tuloksia verrataan vaa'an tuloksiin.

Suljettuun vesikiertoon perustuissa kalibrointilaitteistoissa referenssimittareina toimivat joko magneettiset virtausmittarit tai Coriolis-massavirtamittarit. Näissä jäljitettävyys perustuu DN 200 (putken halkaisija 20 cm) kokoon asti VTT MIKESin omaan gravimetrisen mittanormaliin. Jäljitettävyys suurempien putkikokojen kohdalla tulee ulkomaisista metrologialaitoksista, tyypillisesti PTB:ltä Saksasta.

VTT MIKESin nestevirtausmittareiden kalibrointien mittaustavat, mittaalueet ja saavutettavat epävarmuudet on koottu oheiseen taulukkoon 1.

Taulukko 1. Nestevirtauskalibrointilaitteistojen mittaalueet ja mittausepävarmuudet.

Laitteisto	Toiminta-periaate	Putkikoot	Tilavuusvirta	Paine	Mittausepävarmuus ($k=2$)
D100	suljettu kierto	DN 15 – DN 50	0,3 l/s ... 20 l/s	<0,7 MPa	0,3 %
D500	suljettu kierto	DN 150 – DN 500	7 l/s ... 750 l/s	<0,5 MPa	0,3 %
D200	gravimetrisen	DN 10 – DN 200	0,1 l/s ... 200 l/s	0,4 MPa	0,05 %

Lisäksi VTT MIKES-Kajaanissa on jäähdytyksellä varustettu massankierrätyslaitteisto, jossa voidaan kierrättää sakeudeltaan 0 % ... 7 % massaa virtausnopeudella 0,5 m/s ... 3 m/s.

Kuva 2. Osa D500-nestevirtauskalibrointilaitteistosta.



Kaasuvirtauskalibroinnit ja nesteiden tiheys

Richard Högström, Tutkimustiimin päällikkö
Puh. 050 303 9341
richard.hogstrom@vtt.fi

Heikki Kajastie, Tutkija
Puh. 050 410 5511
heikki.kajastie@vtt.fi

VTT MIKES, Tekniikantie 1,
02150 Espoo
Puh. 020 722 111

Kalibroinnilla luotettavuutta

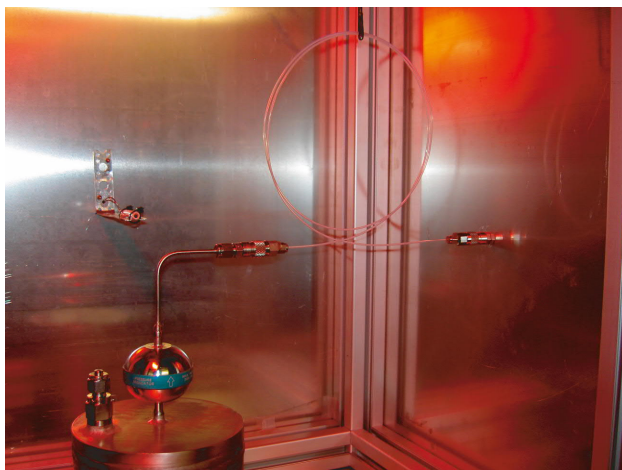
Pienten kaasumäärien tarkkaa mittaamista tarvitaan nykyisin monissa eri sovelluksissa. Asiakkaiden turvallisuuden varmistaminen esimerkiksi terveydenhuollossa, sairaanhoidossa ja lääketeollisuudessa on erittäin tärkeää. Kansainvälisen kilpailukyvyyn säilyttämiseksi ja tuotteiden laadun takaamiseksi on prosesseidollisuuden kaasuvirtausmittauksien tarkkuus pysyttävä luotettavasti todentamaan. Olipa sovellus mikä tahansa, virtausmittarien säännöllinen kalibrointi ja niiden stabiiliuden seuranta ovat oleellinen osa mittausten varmentamista. VTT MIKES kalibroi kaasuvirtausmittareita virtausalueella 5 ml/min ... 110 l/min, sekä tarjoaa kaasuvirtausmittauksiin ja niiden luotettavuuteen liittyvää tutkimus- ja asiantuntijapalvelua.

Jäljitettävyys

VTT MIKESin tehtävänä on luoda edellytykset virtausmittausten jäljitettävyydelle Suomessa kehittämällä ja ylläpitämällä virtauksen mittanormaaleja sekä tarjoamalla kalibrointi- ja asiantuntijapalveluja.

VTT MIKESissä kaasun massavirran jäljitettävyys perustuu virtauslaboratoriossa kehittämäämme punnitukseen perustuvaan kalibrointilaitteistoon (DWS, Dynamic weighing system). Laitteistolla tehdyt virtausmittaukset voidaan jäljittää massan ja ajan kansallisiin mittanormaaleihin. DWS-laitteistolla kalibroidaan laboratoriomme laminaarivirtauselementteihin perustuvan laitteiston (LFE, Laminar flow element) mittanormaalit sekä sellaiset asiakkaiden mittarit, joiden suhteellinen tarkkuustaso on parempi kuin 1 %.

Virtausmittaustoimintamme korkea taso pidetään yllä osallistumalla alan kansainvälisiin tutkimus- ja vertailumittaushankkeisiin sekä toteuttamalla omia tutkimushankkeita.



Kalibrointipalvelut

Mikäli kaasuvirtausmittarin suhteellinen tarkkuustaso on parempi kuin 1 %, käytetään sen kalibrointiin DWS-kalibrointilaitteistoa. Tyypillisiä tällä laitteistolla kalibroitavia virtausmittareita ovat esimerkiksi laadukkaat laminaarivirtauselementit ja eräät mäntä-sylinteritulavuusvirtamittarit.

Suurin osa asiakkaiden virtausmittareista kalibroidaan VTT MIKESissä LFE-kalibrointilaitteistolla. Sen käytettävyys on DWS-kalibrointilaitteistoa parempi ja vaatimukset ympäristöolosuhteille pienemmät. Mittaustoiminta on siten joustavampaa ja nopeampaa. Laitteiston on havaittu soveltuvan hyvin sellaisten virtausmittarien kalibrointeihin, joiden suhteellinen tarkkuustaso on huonompi kuin 1 %. Näitä ovat esimerkiksi termiset massavirtamittarit ja -säätäjät.



Taulukko 1. VTT MIKESin mittausalueet ja parhaimmat saavutettavissa olevat kalibrointiepävarmuudet.

Suure	Mittausalue	Mittausepävarmuus (k=2)
Massavirta (DWS)	0,1 mg/s ... 625 mg/s	0,3 % ... 0,8 %
Massavirta (LFE)	0,1 mg/s ... 625 mg/s	0,4 % ... 0,9 %
Tilavuusvirta (LFE)	5 ml/min ... 30 l/min	0,4 % ... 0,9 %

DWS = Dynamic weighing system
LFE = Laminar flow element

Kosteusmittareiden kalibrointi

Richard Högström, Tutkimustiimin päällikkö
Puh. 050 303 9341
richard.hogstrom@vtt.fi

Heikki Kajastie, Tutkija
Puh. 050 410 5511
heikki.kajastie@vtt.fi

VTT MIKES, Tekniikantie 1,
02150 Espoo
Puh. 020 722 111

Kalibroinnilla luotettavuutta

Kosteusmittausten luotettavuus on tärkeää mm. puun, paperin, elintarvikkeiden yms. varastoinnissa, ilmailussa ja ympäristövalvonnassa sekä eri teollisuuden ja tutkimuksen aloilla. Kosteusmittareiden säännöllinen kalibrointi ja niiden stabiiliuden seuranta ovat oleellinen osa mittausten varmentamista.

VTT MIKES tarjoaa korkeatasoista kaasujen kosteuden mittaustaitteiden kalibrointipalvelua sekä kosteusmittauksiin ja niiden luotettavuuden arviointiin liittyvää tutkimus- ja asiantuntijapalvelua.

Jäljitettävyyttä kosteusmittauksille

VTT MIKES luo edellytykset kosteusmittausten jäljitettävyydelle Suomessa kehittämällä ja ylläpitämällä kosteuden mittanormaaleja sekä tarjoamalla kalibrointi- ja asiantuntijapalveluja.

Laboratorion korkea taso pidetään yllä osallistumalla alan kansainvälisiin tutkimus- ja vertailumittaushankkeisiin sekä toteuttamalla omia tutkimushankkeita.



Jäljitettävyys

Kosteusmittausten jäljitettävyys perustuu kastepiste-lämpötila-asteikkoon. Asteikko toteutetaan kastepistegeneraattorilla, joka on kosteuden kansallinen mittanormaali Suomessa.

Kastepistegeneraattorin ydinosa on kyllästin, jossa ilma kyllästyy täysin veden tai jään suhteen säädelyssä lämpötilassa. Generaattorista ulos tulevan ilman kastepistelämpötila lasketaan kyllästimen lämpötilasta sekä sen ja tarkastelukohteen välisestä paine-erosta. Kun kyllästetty ilma johdetaan kosteusgeneraattorin mittauskammiojärjestelmään, laitteisto soveltuu myös suhteellisen kosteuden mittarien kalibrointiin.



Kuva 1. Optisten kastepistemittarien kalibrointi.

Kalibroitava kastepistemittari kytketään suoraan kastepistegeneraattoriin. Jos kohteena on suhteellisen kosteuden mittari, se sijoitetaan mittauskammiojärjestelmään. Mittarin näyttämää verrataan suhteelliseen kosteuteen, joka lasketaan kammiossa vallitsevan kastepistelämpötilan ja kaasun lämpötilan perusteella.

Kalibrointipalvelut

Useimmat kastepistemittarit kalibroidaan kastepistegeneraattorilla. Laboratorion mittanormaalit kattavat kastepistelämpötila-alueen $-80\text{ °C} \dots +84\text{ °C}$. Kastepistekalibrointeja tehdään myös vertailukalibrointeina kalibraattoreissa esimerkiksi kapasitiivisille kastepistemittareille.

Useimmat suhteellisen kosteuden mittarit kalibroidaan sääkaapissa. Kaapin ilman kastepistelämpötila ja lämpötila mitataan optisella kastepistemittarilla ja digitaalilämpömittarilla. Suhteellinen kosteus lasketaan kastepistelämpötilan ja lämpötilan perusteella. Jos näin saatava mittausepävarmuus ei ole riittävä tai lämpötila-alue ulottuu alle $+10\text{ °C}$, kalibrointi suoritetaan generaattorilaitteistoja käyttäen. Suhteellisen kosteuden mittareita kalibroidaan mittausalueella $10\text{ %rh} \dots 95\text{ %rh}$ lämpötiloissa $-20\text{ °C} \dots +85\text{ °C}$.

Muiden kaasun kosteutta kuvaavien suureiden osalta kalibroinnit suoritetaan edellä samoilla laitteistoilla kuin suhteellisen kosteuden mittaritkin. Näiden suureiden arvot voidaan laskea kaasun kastepistelämpötilan, lämpötilan ja paineen avulla.

Suure	Mittausalue	Mittausepävarmuus ($k=2$)
Kastepistelämpötila	$-80\text{ °C} \dots -60\text{ °C}$ $-60\text{ °C} \dots +84\text{ °C}$	$0,2\text{ °C} \dots 0,1\text{ °C}$ $0,05\text{ °C} \dots 0,06\text{ °C}$
Suhteellinen kosteus	$10\text{ %rh} \dots 95\text{ %rh}$ ($-20\text{ °C} \dots +85\text{ °C}$)	$0,1\text{ %rh} \dots 1,0\text{ %rh}$ (generaattori)
Suhteellinen kosteus	$10\text{ %rh} \dots 95\text{ %rh}$ ($+10\text{ °C} \dots +85\text{ °C}$)	$0,4\text{ %rh} \dots 2,0\text{ %rh}$ (sääkaappi)

Infrapunalämpömitta- reiden kalibrointi

Richard Högström, Tutkimustiimin päällikkö
Puh. 050 303 9341
richard.hogstrom@vtt.fi

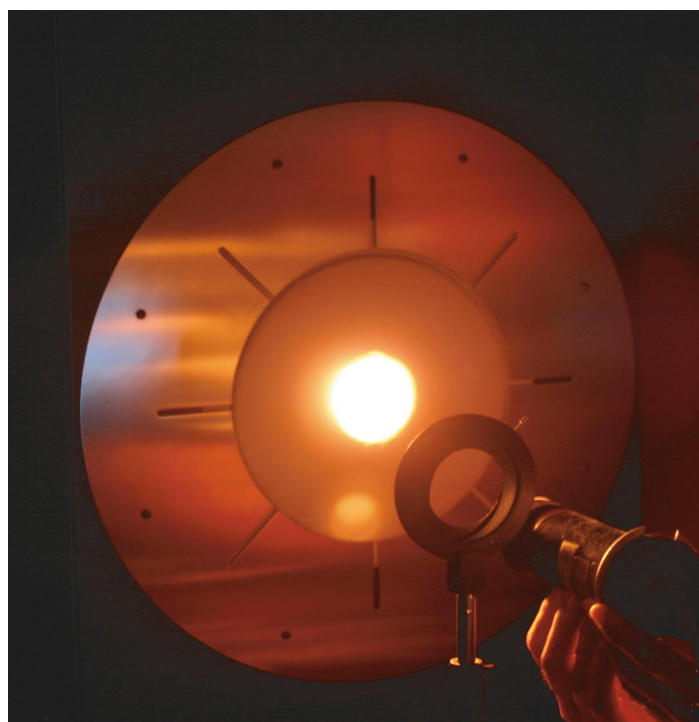
VTT MIKES, Tekniikantie 1,
02150 Espoo
Puh. 020 722 111

Mittausmenetelmät

Infrapunalämpömittarin kalibroinnissa käytetään joko mustan kappaleen säteilijöitä tai kalibrointilamppuja. VTT MIKESin säteilijät toimivat alueella -40 °C ... 1500 °C , ja kalibrointilamput välillä 700 °C ... 1700 °C .

Mustan kappaleen säteilijän lämpötila voidaan mitata esim. lämpötila-anturilla, joka on upotettu säteilijän seinässä olevaan onkaloon. Säteilylämpötila laske-
taan mitatusta lämpötilasta ottaen huomioon säteili-
jän seinien ja pohjan materiaalien emissiivisyys sekä

säteilijän geometria ja lämpötilagradientit. Infrapuna-
nalämpömittarin mittaama säteilylämpötila on usein
alhaisempi kuin mitattavan pinnan lämpötila, koska
pinnan emissiivisyys on yleensä pienempi kuin ideaa-
lisen mustan kappaleen (mustan kappaleen emissii-
visyys on 1 mutta esim. kiiltävän kuparipinnan 0,1).
VTT MIKESissä infrapunamittarit kalibroidaan joko
omilla kalibroiduilla referenssi-pyrometreillä tai refe-
renssisäteilijöillä.

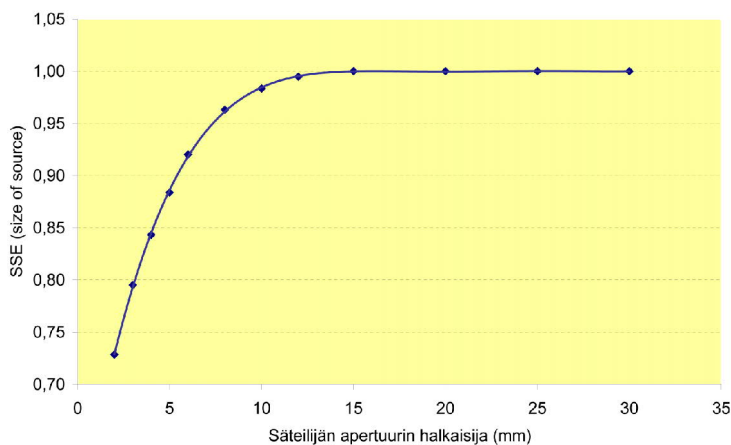
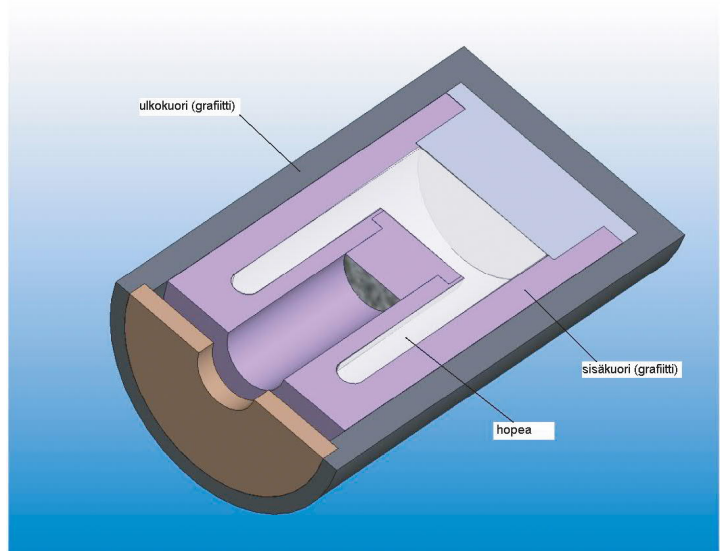


Jäljitettävyys

Kansainvälinen lämpötila-asteikko ITS-90 toteutetaan lämpötilan 962 °C yläpuolella referenssipyrometrillä ja kiintopistesäteilijöillä (962 °C, 1064 °C ja 1085 °C). VTT MIKESissä on käytössä näistä ensimmäinen ja viimeinen, jotka ovat hopean (kuva 1) ja kuparin jähmettymispisteitä.

Lämpötilan 962 °C alapuolella ITS-90 on määritelty pyrometrin sijasta vastuslämpömittarien avulla. VTT MIKESin säteilylämpötilan referenssilaitteet alueella -40 °C ... 962 °C perustuvatkin ITS-90-asteikon mukaisesti kalibroituihin vastuslämpömittareihin.

Kuva 1. Referenssipyrometrin kalibrointiin tarvittava hopeakenno.



Kuva 2. SSE: Pyrometri näkee tässä alhaisempia lämpötiloja, kun säteilijän aukko on pienempi kuin 15 mm ja kun säteilijän lämpötila on korkeampi kuin ympäristön lämpötila.

Sanastoa • referenssimittari: mittanormaali • pyrometri: infrapuna(lämpö)mittari • mustan kappaleen säteilijä ei heijasta lainkaan ulkoa päin tulevaa säteilyä. Kohteen lämpötila riippuu vain kappaleeseen tuodusta lämpöenergiasta ja siten sen säteilyn intensiteetti on verrannollinen kappaleen lämpötilaan.

Platinavastuslämpömittareiden kalibrointi

Richard Högström, Tutkimustiimin päällikkö
Puh. 050 303 9341
richard.hogstrom@vtt.fi

VTT MIKES, Tekniikantie 1,
02150 Espoo
Puh. 020 722 111

Kalibrointikohteet ja -menetelmät

Hyvänlaatuisia eli stabiileja standardiplatinavastusantureita kalibroidaan lämpötila-asteikon ITS-90 kiintopisteissä. Kiintopistekkenno (kuva 1) sisältää usein grafiittikuoreen suljetun puhtaan metallin, esim. tina, sinkki, alumiini, hopea. Metallin puhtaus on yleensä n. 99,99995 %. Grafiittikuori on kvartsiputkessa. Kennon keskellä on grafiittiseinäinen tiivis onkalo, jonka sisällä on kvartsiputki. Kiintopistekkenno sijoitetaan sopivaan kalibrointiuuniin (pystyuuni), jonka lämpötila nostetaan hitaasti, kunnes metalli sulaa kokonaan.

Tässä vaiheessa lasketaan uunin lämpötilaa hiukan, jotta metallin jähmettyminen alkaisi. Kun metalli on alijäähtyneessä tilassa, kalibroitava anturi lasketaan varovasti kennoon. Anturi kytketään nelijohdinkytkennällä mittasiltaan. Jähmettymistila saattaa kestää jopa 10 tuntia (kuva 2), ja tämän aikana kiintopistekennon lämpötila pysyy $\pm 0,5$ milliasteen sisällä. Vastussillan avulla mitataan anturin vastus jähmettymistilan aikana. Anturit kalibroidaan useimmiten kolmen tai viiden eri kiintopisteen avulla.



Kuva 1. Pt25-anturi kiintopistekennossa.

Kalibrointikertoimien laskeminen

Lämpötila lasketaan ITS-90 asteikon mukaisesti. Ensin lasketaan $W = R(T_{90}) / R(T_{0,01} \text{ °C})$ eli jaetaan anturin vastus tina- tai sinkkipisteessä anturin vastuksen arvolla veden kolmoispistekennossa. Kalibroinnissa lasketaan alla olevan yhtälön vakiot a ja b . W_r on referenssifunktio, joka on annettu ITS-90 asteikossa.

$$W(T_{90}) - W_r(T_{90}) = a[W(T_{90}) - 1] + b[W(T_{90}) - 1]^2$$

Edellä olevaa yhtälöä voidaan käyttää muissakin kalibrointipisteiden välisissä pisteissä, kun a ja b ovat tiedossa. $W(T_{90})$ on anturin vastus mitatussa tuntemattomassa lämpötilassa jaettuna veden kolmoispisteessä mitatulla vastuksella. Yhtälöstä ratkaistaan W_r ja taulukoista saadaan T_{90} .

Kiintopistekalibroinnin epävarmuudet

Mittatekniikan keskuksen kiintopisteiden epävarmuudet ovat välillä 0,0002 ... 0,010 °C. Näistä edellinen raja saavutetaan veden kolmoispisteessä ja jälkimmäinen alumiini- ja hopeapisteessä.

Vastusanturin kalibrointiepävarmuus on esitettyjä suurempi, koska siihen sisältyvät kalibrointilaitteiston epävarmuudet (silta, referenssivastus) ja kalibroittavan anturin stabiilius kalibroinnin aikana.

Muut kiintopistekalibroinnit

Jalometallisia B-, R- ja S-tyyppisiä termoelementtejä kalibroidaan myös kiintopisteissä. Ylin kiintopiste on silloin kuparin jähmettymispiste, jonka lämpötila on 1084,62 °C.

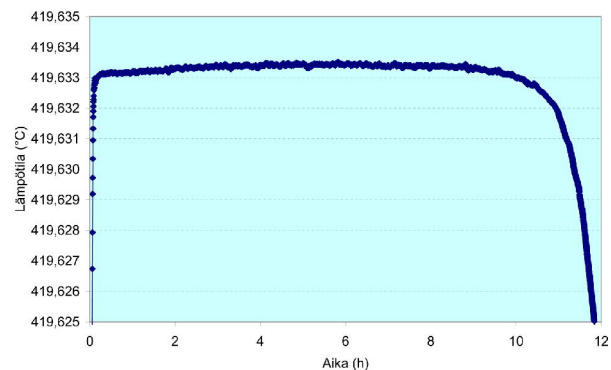
Jäljitettävyys

VTT MIKESin kiintopisteet ovat osa kansainvälisen lämpötila-asteikon ITS-90 toteutusta. Kiintopistekennojen stabiiliutta seurataan ja niiden tuottamaa lämpötilaa verrataan samanlaisten (omien ja ulkomaisten laboratorioden) kenojen tuottamiin lämpötiloihin.

VTT MIKESin kiintopistekennot vastusantureille

Aine	Lämpötila (°C)	Tila *
Argon (Ar)	-189,3442	k
Elohopea (Hg)	-38,8344	k
Vesi (H ₂ O)	0,01	k
Gallium (Ga)	29,7646	s
Tina (Sn)	231,928	j
Sinkki (Zn)	419,527	j
Alumiini (Al)	660,323	j
Hopea (Ag)	961,78	j

* Tilamerkinnot taulukossa ovat: k = kolmoispiste, s = sulamispiste ja j = jähmettymispiste



Kuva 2. Sinkin jähmettymiskäyrä.

Lyhenteitä:

Pt25 = 25-ohminen platinavastuslämpömittari

HTPRT = korkean lämpötilan platinavastuslämpömittari

bey⁰nd

the obvious