

MIKES
METROLOGIA

J2/2008



Pt-100-anturin vertailu:
anturin kalibrointi ja kalibrointikertoimen laskeminen

Loppuraportti

Thua Weckström
Mittatekniikan keskus

Espoo 2008

Julkaisu J2/2008

Pt100-anturin vertailu: kalibrointi ja kertoimen laskeminen Loppuraportti

Thua Weckström

Mittatekniikan keskus

Espoo 2008

Abstract

An intercomparison in the temperature range -80 °C ... 200 °C was arranged in Finland in the year 2008 by the Centre for Metrology and Accreditation (MIKES). The task was to calibrate a Pt100-sensor in the temperature range from -80 °C to 0 °C or from 0.01 °C to 200 °C at least at three temperatures. An alternative was to calibrate the sensor in temperature range from -80 °C to 200 °C and calculate the calibration coefficients.

Two calibration laboratories for thermometry participated in the comparison.

All the calibration results were consistent with the reference results obtained by MIKES within the reported uncertainties.

Tiivistelmä

Mittatekniikan keskus (MIKES) järjesti vuonna 2008 vertailumittauksen, missä tehtävänä oli Pt100-anturin kalibrointi vähintään kolmessa lämpötilapisteessä joko välillä -80 °C ja 0 °C tai välillä $0,01\text{ °C}$ ja 200 °C . Vaihtoehtona oli myös suorittaa mittaukset useammassa lämpötilapisteessä välillä -80 °C ja 200 °C ja laskea anturille kalibrointivakiot.

Vertailuun osallistui kaksi kalibrointilaboratoriota.

Kaikki raportoidut kalibrointitulokset olivat mittausepävarmuuksien puitteissa yhtäpitäviä MIKESissä määritettyjen referenssitulosten kanssa.

Sisällysluettelo

1	Johdanto	7
2	Osallistujat	7
3	Siirtonormaali	7
4	Mittausohjeet	10
5	Vertailun tulokset	10
6	Johtopäätökset	13
7	Viitteet	13

1 Johdanto

Mittatekniikan keskus (MIKES) ja sen edeltäjä Teknillinen tarkastuskeskus on järjestänyt lämpömittarien kalibroitua koskevia vertailuja jo 1980-luvulta alkaen. Tämänkertaisen vertailun (L14) tavoitteena oli tutkia osallistujien kykyä kalibroida vastusanturia lämpötila-alueella $-80\text{ °C} - +200\text{ °C}$ ja laskea anturin kalibroitivakiot. Vertailuun osallistui kaksi laboratoriota, joista kumpikin teki mittauksensa alueella $-80\text{ °C} - +200\text{ °C}$ ja laski kalibroitivakiot.

2 Osallistajat

Vertailuun osallistuivat seuraavat laboratoriot:

Inspecta Oy, Espoo
IRCAL Oy, Kalibroitikeskus, Lahti

Näistä ensimmäinen teki mittaukset ja raportoi ne akkreditoitun pätevyysalueensa mukaisesti.

3 Siirtonormaali

Siirtonormaalina oli metallikuorinen Pt100 vastusanturi Hart Scientific 5614, sarjanumero 617776. Anturi kalibroitiin ennen vertailua MIKESissä lämpötila-alueella $-80\text{ °C} - 300\text{ °C}$. Kalibroituloksista laskettiin seuraavat lämpötila-asteikon ITS-90 [1] kertoimet:

Taulukko 1. MIKESin laskemat ITS-90 kalibroitikertoimet

	<i>a</i>	<i>b</i>
$t > 0\text{ °C}$	$-2,730008156 \times 10^{-4}$	$-1,510481588 \times 10^{-5}$
$t < 0\text{ °C}$	$-2,325977982 \times 10^{-4}$	$2,77644137 \times 10^{-5}$

Näitä käyttäen laskettiin mittauservoista seuraavat tulokset (*W* on anturin vastus kalibroitipisteessä jaettuna sen vastuksella veden kolmoispisteessä).

Taulukko 2. Kalibrointilämpötilalla lasketun ITS-90 sovituksen hyvyys

Kalibrointilämpötila t_{90} (°C)	$W = R/R_{tp}$	$t_{90} - t_{sov}$ (°C)
-80,0617	0,676618	-0,0002
-60,0745	0,758153	0,0040
-40,1170	0,838999	0,0000
-20,1355	0,919421	0,0001
-10,1519	0,959411	0,0011
0,01	1	0
20,0690	1,079741	-0,0004
40,0683	1,158755	0,0001
60,9641	1,240798	0,0001
80,0565	1,315301	0,0005
100,0166	1,392712	0,0040
120,0135	1,469823	-0,0013
139,9926	1,546344	0,0032
159,9962	1,622536	-0,0007
180,0158	1,698297	-0,0018
200,0114	1,773476	-0,0011
220,0335	1,848316	0,0009
240,0601	1,922693	-0,0017
260,0850	1,996592	-0,0009
280,1035	2,070000	0,0005
299,3330	2,140083	0,0005

R_{tp} oli 100,02108 Ω . Sovituksen epävarmuus on laskettu kaavasta

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-k-1} \sum_{i=1}^n [f(t_i) - R_i]^2}$$
, missä R_i on anturin resistanssi lämpötilassa t_i ja $f(t_i)$ on sovituksen avulla laskettu resistanssi, n on mittauspisteiden lukumäärä ja k on sovituspoltin kertaluku.

Sovituksen standardiepävarmuus on $\sigma = 0,0035$ °C.

Mittaustulosten ja sovituksen yhdistetty epävarmuus ($k=2$) on 0,013 °C.

Mittaustuloksista laskettiin myös polynomisovitukset

$$t = a_0 + a_1R + a_2R^2 + a_3R^3 + a_4R^4 \text{ kun } t < 0 \text{ °C}$$

ja

$$t = a_0 + a_1R + a_2R^2 + a_3R^3 \text{ kun } t > 0 \text{ °C}$$

joiden kertoimet ovat taulukossa 3. Tämä on tavallaan käänteinen yhtälö IEC-751 standardin [2] yhtälölle.

Taulukko 3. Polynomisovituksen kertoimet

$t < 0$	
a_0	$-1,6235975 \times 10^2 \text{ °C}$
a_1	$-1,595096 \text{ °C}/\Omega$
a_2	$7,341572 \times 10^{-2} \text{ °C}/\Omega^2$
a_3	$-5,941198 \times 10^{-4} \text{ °C}/\Omega^3$
a_4	$1,818850 \times 10^{-6} \text{ °C}/\Omega^4$
$t > 0$	
a_0	$-2,420948 \times 10^2 \text{ °C}$
a_1	$2,3407640 \text{ °C}/\Omega$
a_2	$7,242155 \times 10^{-4} \text{ °C}/\Omega^2$
a_3	$-2,420948 \times 10^{-7} \text{ °C}/\Omega^3$

Tämän sovituksen standardiepävarmuus on 0,008 °C.

Kun siirtonormaali tuli takaisin MIKESille se kalibroitiin uudestaan muutamassa lämpötilassa (ks. taulukko 6), ja kertoimet laskettiin myös tämän kalibroinnin mukaan. Nämä kertoimet ovat taulukoissa 4 ja 5. ITS-90 -sovituksen standardiepävarmuus on 0,0035 °C. Polynomisovituksen standardiepävarmuus on 0,0060°C.

Taulukko 4. MIKESin uudet ITS-90 kertoimet

	a	b
$t > 0 \text{ °C}$	$-2,281251579 \times 10^{-5}$	$-5.045930538 \times 10^{-5}$
$t < 0 \text{ °C}$	$-2,223846992 \times 10^{-4}$	$4,044101356 \times 10^{-5}$

Taulukko 5. MIKESin uudet polynomikertoimet

$t < 0$	
a_0	$-2.403482 \times 10^2 \text{ °C}$
a_1	$2,286708 \text{ °C}/\Omega$
a_2	$1,337911 \times 10^{-3} \text{ °C}/\Omega^2$
a_3	$-2,302910 \times 10^{-6} \text{ °C}/\Omega^3$
a_4	$5,530450 \times 10^{-9} \text{ °C}/\Omega^4$
$t > 0$	
a_0	$-2,445302 \times 10^2 \text{ °C}$
a_1	$2,411528 \text{ °C}/\Omega$
a_2	$4,349804 \times 10^{-5} \text{ °C}/\Omega^2$
a_3	$-6,362493 \times 10^{-9} \text{ °C}/\Omega^3$

Taulukko 6. Taulukon 4 kalibroitikertoimilla lasketun ITS-90 sovituksen hyvyys

Kalibrointilämpötila t_{90} (°C)	$W = R/R_{tp}$	$ t_{90} - t_{sov} $ (°C)
-80,0586	0,676628	0,0003
-60,0715	0,758162	0,0007
-40,1128	0,839018	0,0004
-20,1333	0,919430	0,0004
0,01	1	0
49,9941	1,197786	0,0034
100,0334	1,392808	0,0009
150,0140	1,584605	0,0020
200,0117	1,773518	0,0048

Sovituksen standardiepävarmuus on $\sigma = 0,0033$ °C.

Anturin resistanssi veden kolmoisasteessa oli pysynyt vakiona koko vertailun aikana: MIKESin ensimmäisessä kalibroinnissa se oli 100,0210843 Ω , laboratorion A kalibroinnissa se oli 100,0213 Ω , laboratorion B kalibroinnissa 100,021150 Ω , ja MIKESin toisessa kalibroinnissa 100,0213698 Ω .

Anturin dR/dt -arvo tässä lämpötilassa on 0,39 $\Omega/^\circ\text{C}$, joten MIKESin mittaaman resistanssimuutosta vastaava lämpötilaero oli < 0,0007 °C, mikä osoittaa että anturi oli pysynyt stabiilina vertailun aikana.

4 Mittausohjeet

Vertailun osallistujille lähetettiin mittausohje (Liite 1).

5 Vertailun tulokset

Laboratorio A oli kalibroinut anturin alueella -80 °C ... 200 °C ja laskenut pienimmän neliösumman menetelmällä ITS-90 kertoimet [1]. Kertoimien laskentamenetelmä oli selostettu, samoin mittausepävarmuuden laskenta. Kalibroinnin epävarmuus oli laskettu jokaiselle lämpötilapisteelle ja se oli 0,010 °C kaikissa lämpötiloissa paitsi veden kolmoisasteessa, missä se oli 0,002 °C.

Laboratorio B oli myös kalibroinut anturin alueella -80 °C ... 200 °C ja laskenut pienimmän neliösumman menetelmällä IEC 751 kertoimet ja ITS-90 kertoimet. Kalibrointipisteiden laajennettu epävarmuus oli laskettu jokaiselle pisteelle erikseen. Pienin epävarmuus oli 0,006 °C lämpötilassa 0 °C ja suurin 0,019 °C. Kun IEC-751 sovitukseen jäännöstermit otettiin mukaan epävarmuuslaskentaan, kasvoivat epävarmuudet välille 0,008 °C ... 0,021 °C. ITS-90 kertoimilla epävarmuus oli 0,0085 °C ... 0,022 °C.

Siirtonormaanin ITS-90 kertoimilla laskettiin laboratorion A vastusarvoja vastaavat lämpötilat: Laboratorio A oli laskenut omat ITS-90 kertoimet W -arvoista ja sen jälkeen laskenut lämpötilat uudestaan. Taulukosta 7 käy ilmi että tulokset ovat hyvin lähellä MIKESin arvoja.

Taulukko 7. Laboratorion A ja MIKESin lämpötilan vertailu Taulukon 1 kertoimilla ITS-90

Laboratorion A mittaamat lämpötilat (°C)	$W = R/R_{tp}$ (Laboratorion A mitausarvot)	Laboratorion A lasketut ITS-90 lämpötilat (°C)	MIKESin kertoimilla lasketut ITS-90 lämpötilat (°C)	$t(\text{MIKES}) - t(\text{Lab A})$ (°C)	E_n
-80,021	0,6767890	-80,021	-80,020	0,001	0,07
-60,140	0,7578946	-60,140	-60,138	0,002	0,14
-39,865	0,8400278	-39,864	-39,863	0,002	0,14
-19,902	0,9203631	-19,902	-19,901	0,001	0,07
0,010	1,0000000	0,010	0,010	0	0
50,111	1,1982512	50,111	50,111	0	0
99,273	1,3898527	99,274	99,273	0	0
149,914	1,5842041	149,915	149,913	-0,001	-0,07
201,067	1,7774406	201,067	201,064	-0,002	-0,14

Kaikki E_n -arvot ovat välillä -0,14 ... +0,14, keskiarvo on 0,022.

Epävarmuudet (U_{lab} ja U_{Mikes}) vaikuttavat E_n -arvoon seuraavasti:

$$E_n = \frac{t(\text{laskettu})_{lab} - t(\text{laskettu})_{Mikes}}{\sqrt{(U_{lab}^2 + U_{Mikes}^2)}}$$

Laboratorio B oli laskenut ITS-90 kertoimet sekä IEC-751 kertoimet. Taulukossa 8 on verrattu laboratorion B ja MIKESin ITS-90 -sovituksia keskenään.

Taulukko 8. Laboratorion B ja MIKESin lämpötilan vertailu Taulukon 1 kertoimilla (ITS-90)

Laboratorion B mittaamat lämpötilat (°C)	$W = R/R_{tp}$ (laskettu Laboratorion B mitaustuloksista)	Laboratorion B lasketut ITS-90 lämpötilat (°C)	MIKESin tulokset laskettuna ITS-90 kertoimilla (°C)	$t(\text{MIKES}) - t(\text{Lab B})$ (°C)	E_n
-78,446	0,68322950	-78,446	-78,446	0	0
-30,079	0,87948999	-30,081	-30,073	0,006	0,42
-15,206	0,93919036	-15,205	-15,204	0,001	0,05
0,01*	1	0,01*	0,01	0	0
52,407	1,20725267	52,408	52,404	-0,004	0,21
99,791	1,39184562	99,792	99,789	-0,003	0,16
149,986	1,58448788	149,984	149,989	0,005	0,25
199,481	1,77150533	199,482	199,483	0,001	0,05

*Laboratorio on mitannut lämpötilassa 0 °C ja laskenut tulokseksi 0 °C. Laboratorion B todistuksessa on laskettu R_{tp} arvosta R_0 . Taulukon W -arvot on laskettu tätä R_{tp} -arvoa käyttäen.

E_n -arvojen keskiarvo on 0,16.

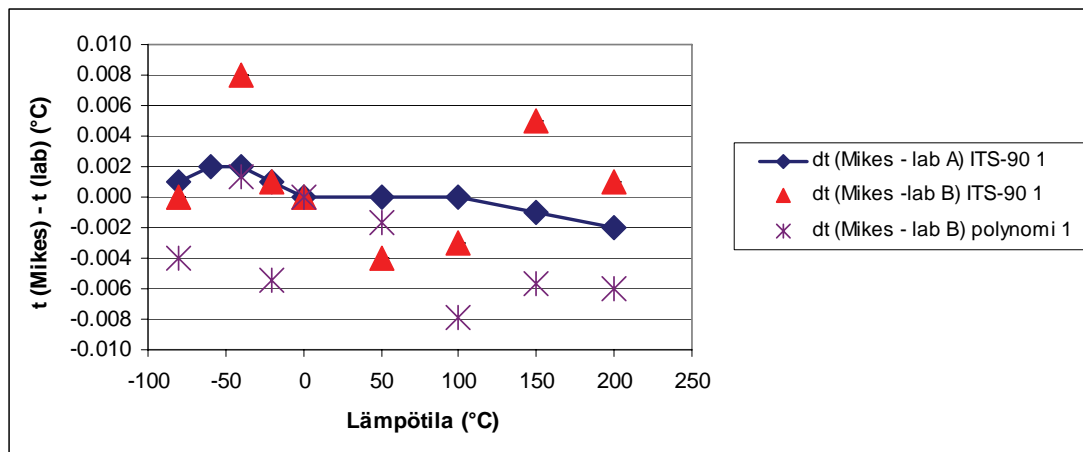
Taulukossa 9 on verrattu laboratorion B tekemää IEC-751 -sovitusta MIKESin polynomisovitukseen. Nämä tulokset ovat myös hyvin lähellä MIKESin arvoja.

Taulukko 10. Laboratorion B ja MIKESin lämpötilan vertailu Taulukon 3 kertoimilla.

Laboratorion B laskemat IEC-751 lämpötilat (°C)	MIKESin tulokset laskettuna polynomisovituksella (°C)	$\bar{x}(\text{MIKES}) - \bar{x}(\text{Lab B})$ (°C)	E_n
-78,4465	-78,4507	-0,0042	-0,19
-30,0789	-30,0776	0,0013	0,74
-15,2047	-15,2101	-0,0054	0,31
52,4058	52,4041	-0,0017	-0,10
99,7929	99,7850	-0,0079	-0,44
149,9872	149,9815	-0,0057	-0,30
199,4799	199,4739	-0,0060	-0,27

E_n -arvojen keskiarvo on -0,13.

Alla olevassa kuvassa 1 on MIKESin ja vertailuun osallistuvien laboratorioiden sovitusten erot lämpötilan funktiona.



Kuva 1. Laboratorioiden sovituskalkelmien erot lämpötilan funktiona. ”ITS-90 1” on MIKESin ensimmäisen kalibroinnin sovitus ja sovitus ”polynomi 1” on ensimmäisen kalibroinnin sovituskalkelma. Sovitusten laajennetut epävarmuudet ovat välillä 0,007 °C ... 0,022 °C.

Kuvasta 1 käy ilmi, että kaikki sovituserot ovat itseisarvoltaan pienemmät kuin 0,010 °C. Erojen laajennetut epävarmuudet ovat välillä 0,010 °C ja 0,025 °C.

6 Johtopäätökset

Kaikki $|E_n|$ -arvot ovat < 1 . Tämä koskee varsinkin Taulukoita 7 ja 9, joissa on käytetty MIKESin ensimmäisen kalibroinnin ITS-90 kertoimia.

Kuvasta 1 käy ilmi, että laboratoriot hallitsevat sovituskalkentekniikan.

Laboratorioiden toimittamat kalibroitodistukset sekä epävarmuuslaskennat sisälsivät kaikki tarpeelliset tiedot.

Tulokset ovat epävarmuuksien puitteissa yhteneväiset.

7 Viitteet

- [1] Preston-Thomas H. (1990) The International Temperature Scale of 1990 (ITS-90). Metrologia. 27. 4-10
- [2] IEC 751 Amendment 2. 2995-07. Industrial platinum resistance thermometer sensors

Liite 1



Lämpötilan vertailumittauksen L14 ohjeet

Mittatekniikan keskus järjestää Pt100-vastusanturin vertailumittauksen vuonna 2008. Vertailun tarkoitus katsoa miten Pt100 anturia kalibroidaan vertailuun osallistuvien laboratorioiden omilla referenssimittareilla. Mittaustulosten perusteella pystyy laskemaan IEC751 ja ITS-90 kalibrointivakiot anturille. Tämä on kuitenkin vapaaehtoista. Vertailulaitteena on tammikuussa 2008 kalibroitu anturi Hart 5614.

Toimenpiteet vertailunormaalialla vastaanotettaessa ja normaalin käsittelyssä

Vertailunormaali toimitetaan vertailumittauksen osallistujille laatikkoon pakattuna. Pakkaus avataan varovasti ja tarkastetaan, että mittauslaite ei ole vahingoittunut kuljetuksen aikana.

Vertailunormaalien kuvaus

Vertailunormaali on nelijohtoinen Pt100-anturi.

Mittaukset

Mittaukset suoritetaan seuraavissa lämpötiloissa: -80 °C, -40 °C, 0 °C tai 0.01 °C, 100 °C, 200 °C ja taas 0 °C tai 0.01 °C.

Vapaaehtoisesti voi suorittaa mittaukset seuraavissa lämpötiloissa: -80 °C, -60 °C, -40 °C, -20 °C, 0 °C tai 0.01 °C, 50 °C, 100 °C, 150 °C ja 200 °C, jolloin kalibrointivakiot on mahdollista laskea.

Mittaustulosten raportointi

Raportointi tehdään kalibrointitodistus. Todistuksesta pitää käydä ilmi:

- 1)mittausjärjestelmä
- 2)lämpötilan laskentatapa (oman referenssilaitteen laskentatapa)
- 3)kalibroitavan mittarin vastus eri lämpötiloissa
- 4)mittauksen laajennetun epävarmuuden laskenta (°C) epävarmuuskomponentteineen

Lisäksi vapaaehtoisesti:

- 5)lasketut IEC751-kertoimet (A, B, C, R₀) ja jäännöstermin ($t - t_{\text{laskettu}}$) laskeminen
- 6) $W = R/R_p$ -arvoista lasketut ITS-90 kertoimet ja jäännöstermin ($t - t_{\text{laskettu}}$) laskeminen
- 7)jäännöstermin vaikutus epävarmuuteen

Mittaustulosten palautus

Kalibrointitodistus tai raportti tulee lähettää Thua Weckströmille, Mittatekniikan keskus, Tekniikantie 1, PL 9, 02151 Espoo viimeistään neljän viikon kuluttua mittauksista.

Osallistujat

Inspecta Oy
Ircal Oy
Myöhemmin: Vaisala Oyj

Vertailulaitteen kuljetus

Vertailulaite kuljetetaan seuraavalle laboratoriolle, ja viimeinen laboratorio palauttaa sen Mittatekniikan keskukseseen.

Kalibrointiin liittyviin kysymyksiin vastaa Thua Weckström, puh. 010 6054 439, sähköposti thua.weckstrom@mikes.fi.

Viimeisimmät julkaisut

- J1/2006 M. Rantanen, S. Semenoja, *Intercomparison in Gauge Pressure Range from -95kPa 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*
- J7/2006 J. Järvinen (Toim.), *Kansallinen mittanormaali-toiminta ja sen kehittäminen 2007-2011*
- J8/2006 V-P. Esala, *Pituuden vertailumittaus D8 Loppuraportti 07.12.2006*
- J9/2006 R. Rajala, *Yleismittarin vertailumittaus*
- J1/2007 M. Heinonen, J. Järvinen, A. Lassila, A. Manninen (Eds.), *Finnish National Standards Laboratories Annual Report 2006*
- J2/2007 M. Rantanen, S. Semenoja, G. Peterson, J. Busk, *Low gauge pressure comparisons between MIKES, Metroserit and FORCE Technology Range -2000 Pa to +2000 Pa*
- J3/2007 M. Rantanen, S. Semenoja, J. Leskinen, *Absolute pressure comparison between MIKES and Vaisala Oyj Range 10 Pa to 5000 Pa*
- J4/2007 M. Rantanen, S. Semenoja, M. Ackerholm, A. Condereys, Z. Krajicek, W. Sabuga, J. Verbeek, C. Wüthrich, *High pressure comparisons between seven European National Laboratories - Range 50 MPa to 500 MPa. Report on EUROMET Project 881*
- J5/2007 A. Evenstad, C. Mitsas, K. Riski, V. Vabson, K. Winter, T. Zandarova, *Euromet 832: 50 kg comparison*
- J6/2007 B. Hemming, *Measurement Traceability and Uncertainty in Machine Vision Applications*
- J7/2007 T. Weckström, *Termoelementtiverailu*
- J1/2008 M. Rantanen, S. Semenoja, A. Pitkäkoski, F. Goguel, *Barometric pressure comparisons between MIKES, Vaisala and LNE - Range 5 kPa to 130 kPa*

Tilaukset: Kirsi Tuomisto, puh. 010 6054 436, e-mail tilaukset@mikes.fi.



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