



MITTATEKNIIKAN KESKUS

Julkaisu J3/2001

**LÄMPÖTILAN VERTAILUMITTAUS L11,  
PT100-ANTURIN SOVITUSMENETELMÄN  
KEHITTÄMINEN**

Thua Weckström

Helsinki 2001

MITTATEKNIIKAN KESKUS

Julkaisu J3/2001

**LÄMPÖTILAN VERTAILUMITTAUS L11,  
PT100-ANTURIN SOVITUSMENETELMÄN KEHITTÄMINEN**

Thua Weckström

Helsinki 2001

## SUMMARY

The interlaboratory comparison on calculating coefficients for a mathematical function for a 100 ohm resistance thermometer ( $R = R(t)$  or  $t = t(R)$ ) L11 was arranged by the Centre for Metrology and Accreditation in March 2001. All the Finnish accredited calibration laboratories for temperature (5) took part in the comparison. Several different calculation methods were presented, and all gave slightly different results. All the calculations are acceptable.

## TIIVISTELMÄ

Mittatekniikan keskus järjesti maaliskuussa 2001 vertailumittauksen L11, jossa tehtävänä oli kehittää sovitusmenetelmä Pt100-anturin kalibrointituloksille, joko funktiona  $R = R(t)$  tai  $t = t(R)$ . Vertailuun osallistuivat kaikki Suomen akkreditoituneet lämpötilalaboratoriot (5 kpl). Useampia malleja esitettiin. Kaikki tulokset olivat hyväksyttävissä.

**SISÄLLYSLUETTELO**  
SUMMARY  
TIIVISTELMÄ

1. Johdanto	7
2. Laskentaan käytetyt arvot	7
3. Osallistujat	7
4. Laskennassa käytetyt menetelmät	7
5. Erityiskommentit ja toimenpide-ehdotukset	11
6. Yhteenveto	12
7. Viite	12
Laskentaohjeet	13

## 1. Johdanto

Lämpötilan kansalliseen vertailumittaukseen L11 osallistui 5 akkreditoitua lämpötilan kalibrointilaboratoriota. Referenssilaboratoriona toimi MIKESin lämpötilalaboratorio. Tehtävänä oli määrittää sovitussyhtälö, jolla voidaan laskea lämpötila vastusanturin resistanssista. Laskentaa varten annettiin ohjeiden mukana anturin kalibrointitulokset. Tehtävään kuului myös sovituksen hyvyyden laskeminen jollain tavalla ja sovituksesta johtuvan epävarmuuden liittäminen kalibroinnin epävarmuuteen. Lisäksi oli laskettava lämpötila kahden kalibrointipisteen välillä.

Tämä oli siis vertailu, jossa kalibrointitulokset mittauspisteissä olivat tiedossa; oli vain määritettävä sovitusfunktio.

Saksassa on aikaisemmin suoritettu samantyyppinen vertailu. Siihen oli osallistunut 24 laboratoriota, ja jokaisesta oli tullut erilainen sovitus (viite 1).

## 2. Laskentaan käytetyt arvot

Kalibrointi-arvot ovat todellisen uudentyypin amerikkalaisen Pt100-anturin mitta-arvoja (Liite 1).

## 3. Osallistujat

Vertailuun osallistuivat seuraavat laboratoriot:

K004 Fortum Power and Heat Oy  
 K008 Vaisala Oyj  
 K011 Inspecta Oyj  
 K023 Rautaruukki Oyj  
 K025 Satakunnan ammattikorkeakoulu, Tempcenter

Alla oleva numerointi ei vastaa tätä järjestystä.

## 4. Laskennassa käytetyt menetelmät

**Laboratorio 1** oli käyttänyt Mathcad-ohjelmistolla tehtyä ITS-90-sovitusta. Laskettaessa lämpötila-asteikon ITS-90 mukaan käytetään kolmannen asteen sovitusta, jos lämpötila on suurempi kuin 420 °C. Laskentatehtävässä lämpötila-alue päättyi arvoon 300 °C, mutta laboratorio oli kuitenkin käyttänyt kolmannen asteen sovitusta. Lisäksi oli käytössä Mathcad-ohjelmiston linfit-algoritmi.

Laboratorio 1 oli vain lisännyt ITS-90 asteikossa olevat käänteisen laskennan epävarmuudet kalibrointiepävarmuuteen. Sovituksesta johtuvat poikkeamat puuttuivat. Ne ovat todella pienet, yleensä < 0,002 mK, vain lämpötiloissa 260 °C ja 280 °C oli virhe 0,003 °C ja 0,004 °C. Sovituksen tulokset ovat taulukossa 1.

Vastusarvoa  $87,3421 \Omega$  vastaava lämpötila oli  $(-31,6214 \pm 0,0100) ^\circ\text{C}$  ja vastusarvoa  $204,6571 \Omega$  vastaava lämpötila oli  $(273,7300 \pm 0,0151) ^\circ\text{C}$ . Näistä epävarmuuksista puuttuu sovitukselta johtuva komponentti.

**Laboratorio 2** oli lämpötila-alueella  $-80 ^\circ\text{C} \dots 0,01 ^\circ\text{C}$  käyttänyt neljännen asteen polynomisovitusta  $R = R(t)$  ja lämpötila-alueella  $0,01 ^\circ\text{C} \dots 300 ^\circ\text{C}$  toisen asteen polynomia.

Raportissa todetaan, että neljännen asteen polynomisovitukselta tulee hyvin pieni epävarmuus, koska kalibrointipisteitä on liian vähän (vain 5), Lämpötila-alueella  $0,01 ^\circ\text{C} \dots 300 ^\circ\text{C}$  oli sovitukselta johtuva epävarmuus keskimäärin  $0,006 ^\circ\text{C}$ , suurin poikkeama oli  $0,0081 ^\circ\text{C}$ .

Vastusarvoa  $87,3421 \Omega$  vastaava lämpötila oli  $(-31,622 \pm 0,010) ^\circ\text{C}$  ja vastusarvoa  $204,6571 \Omega$  vastaava lämpötila oli  $(273,730 \pm 0,027) ^\circ\text{C}$ . Viimeinen epävarmuus on saatu lisäämällä kalibrointiepävarmuuteen  $0,015 ^\circ\text{C}$  sovituksen virhe kerrottuna kahdella. Tässä tapauksessa pitäisi laskea komponentit neliöllisesti yhteen  $k$ -arvolla 1 ja sitten kertoa kahdella.

**Laboratorio 3** oli käyttänyt toisen asteen  $R = R(t)$  polynomisovitusta, eri kertoimilla nollan alapuolella ja yläpuolella. Piste =  $0,01 ^\circ\text{C}$  oli molemmissa sarjoissa mukana, ja se sai siten eri arvot. Poikkeamat mitatuista arvoista ovat pienet, maksimissaan  $0,004 ^\circ\text{C}$ .

Vastusarvoa  $87,3421 \Omega$  vastaava lämpötila oli  $(-31,624 \pm 0,011) ^\circ\text{C}$  ja vastusarvoa  $204,6571 \Omega$  vastaava lämpötila oli  $(273,730 \pm 0,016) ^\circ\text{C}$ .

**Laboratorio 4** oli tehnyt 3 eri sovituksia. Ensimmäisessä oli käytetty standardin CEI/IEC 751 Amendment 2 1995-07 kaavat, jolloin suurin poikkeama oli  $6,136 ^\circ\text{C}$  lämpötilassa  $300 ^\circ\text{C}$ . Sovituksen ero mitattuihin arvoihin oli laskettu. Sitten tälle erolle oli sovittu viidennen asteen polynomi. Poikkeamat ovat silloin  $\leq 0,004 ^\circ\text{C}$ .

Vastusarvoa  $87,3421 \Omega$  vastaava lämpötila oli  $(-31,623 \pm 0,011) ^\circ\text{C}$  ja vastusarvoa  $204,6571 \Omega$  vastaava lämpötila oli  $(273,728 \pm 0,016) ^\circ\text{C}$ .

Toisessa sovituksessa on tehty neljännen asteen sovitus  $t = t(R)$ , jonka poikkeamat ovat  $\leq 0,006 ^\circ\text{C}$ . Vastusarvoa  $87,3421 \Omega$  vastaava lämpötila oli  $(-31,618 \pm 0,013) ^\circ\text{C}$  ja vastusarvoa  $204,6571 \Omega$  vastaava lämpötila oli  $(273,729 \pm 0,017) ^\circ\text{C}$ .

Kolmas sovitus on tehty Callendar-Van Dusen yhtälöön, jolloin suurin poikkeama on  $0,038 ^\circ\text{C}$  lämpötilassa  $-40 ^\circ\text{C}$ . Vastusarvoa  $87,3421 \Omega$  vastaava lämpötila oli  $(-31,626 \pm 0,033) ^\circ\text{C}$  ja vastusarvoa  $204,6571 \Omega$  vastaava lämpötila oli  $(273,728 \pm 0,035) ^\circ\text{C}$ .

**Laboratorio 5** oli käyttänyt ITS-90 sovituksia, ja suurin poikkeama on lämpötilassa  $280 ^\circ\text{C}$ ,  $-0,0043 ^\circ\text{C}$ . Laboratorio oli myös laskenut sovitusfunktion avulla vastusanturin vastussuhteen galliumpisteen lämpötilassa  $29,7646 ^\circ\text{C}$ . Laboratorio totesi, että tämä arvo oli  $\geq 1,11807$ , joka ITS-90 asteikossa on vaatimus kalibroitalle Pt-25 anturille.

Vastusarvoa  $87,3421 \Omega$  vastaava lämpötila oli  $(-31,6214 \pm 0,011) ^\circ\text{C}$  ja vastusarvoa  $204,6571 \Omega$  vastaava lämpötila oli  $(273,7300 \pm 0,017) ^\circ\text{C}$ .

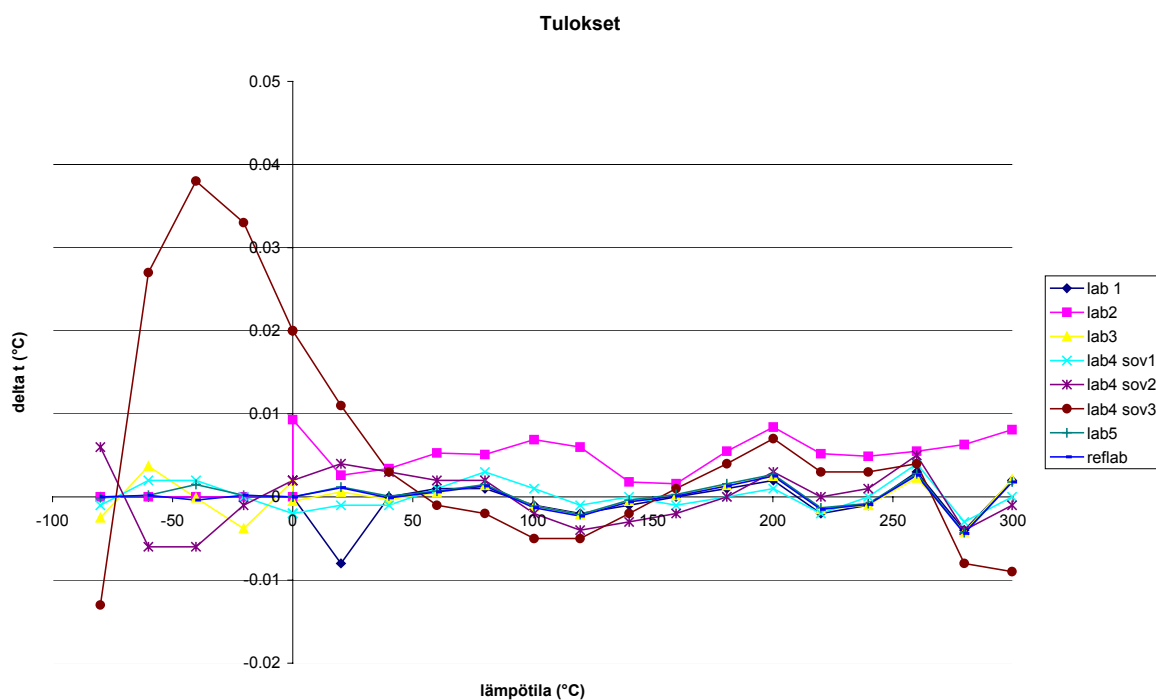
**Referenssilaboratorio** käytti myös ITS-90 sovitusta. Tulokset ovat yhtäpitävät laboratorion 5 tulosten kanssa.

Laboratorioiden laskemat poikkeamat mitatuista arvoista on esitetty kuvassa 1.

Taulukko 1. Laboratorioiden sovitustulokset

mittaustulo			lab 1	lab 2	lab 3	lab 4	lab 4	lab 4	lab5	reflab
s	s		sov	sov	sov	sov 1	sov 2	sov 3		
$t$ (°C)	$R$ (Ω)	$W = R/R_{tp}$	(°C)	(Ω)	(Ω)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)t
-80,064	67,6610	0,676627	-80,064	67,6610	67,6620	-80,063	-80,070	-80,051	-80,0639	-80,0639
-60,140	75,7883	0,757902	-60,140	75,7883	75,7868	-60,142	-60,134	-60,167	-60,1402	-60,1402
-40,246	83,8470	0,838491	-40,246	83,8470	83,8470	-40,248	-40,240	-40,284	-40,2457	-40,2456
-20,446	91,8156	0,918179	-20,446	91,8156	91,8171	-20,446	-20,445	-20,479	-20,4462	-20,4462
0,010	99,9975	1	0,010	99,9975	99,9968	0,012	0,008	-0,010	0,0100	0,0100
					99,9973					
20,079	107,9744	1,079771	20,087	107,9744	107,9747	20,080	20,075	20,068	20,0778	20,0779
40,077	115,8754	1,158783	40,077	115,8754	115,8753	40,078	40,074	40,074	40,0769	40,0771
60,074	123,7271	1,237302	60,073	123,7271	123,7273	60,073	60,072	60,075	60,0733	60,0734
80,065	131,5284	1,315317	80,064	131,5284	131,5290	80,062	80,063	80,067	80,0635	80,0637
100,49	139,4510	1,394545	100,491	139,4510	139,4506	100,489	100,492	100,495	100,4911	100,4913
119,735	146,8698	1,468735	119,737	146,8698	146,869	119,736	119,739	119,74	119,7371	119,7373
140,081	154,6641	1,54668	140,082	154,6641	154,6639	140,081	140,084	140,083	140,0814	140,0816
159,637	162,1099	1,62114	159,637	162,1099	162,1100	159,638	159,639	159,636	159,6367	159,6369
180,785	170,1109	1,701152	180,784	170,1109	170,1114	180,785	180,785	180,781	180,7834	180,7837
200,182	177,4132	1,774176	200,18	177,4032	177,4042	200,181	200,179	200,175	200,1793	200,1795
219,964	184,7968	1,848014	219,966	184,7698	184,7962	219,966	219,964	219,961	219,9653	219,9655
239,69	192,1223	1,921271	239,691	192,1223	192,1219	239,690	239,689	239,687	239,6908	239,6909
259,868	199,5677	1,995727	259,865	199,5677	199,5686	259,864	259,863	259,864	259,8652	259,8654
279,725	206,8524	2,068576	279,729	206,8524	206,8508	279,728	279,729	279,733	279,7293	279,7294
299,556	214,0772	2,140826	299,554	214,0772	214,078	299,556	299,557	299,565	299,5542	299,5542





Kuva 1. Laboratorioiden poikkeamat annetuista arvoista

## 5. Erityiskommentit ja toimenpide-ehdotukset

### 5.1 Sovitukset

Kun asiakkaalle tehdään Pt-100 anturin todistus, asiakkaan on yleensä helpompi käyttää funktiota  $t = t(R)$  kuin funktiota  $R = R(t)$ . Laboratoriot 2 ja 3 olivat käyttäneet jälkimmäistä funktiota.

Jos käyttää eri funktiota lämpötilan 0 °C alapuolella ja yläpuolella niin kuin laboratorio 3 oli tehnyt, pitää katsoa että funktiot yhtyvät pisteessä 0 °C. Asiakas ei välttämättä ymmärrä, jos tässä lämpötilassa saa kaksi erilaista vastusarvoa riippuen siitä, lähestytäänkö sitä ylhäältä vai alhaalta päin. Tällaisesta vaikeudesta päästään käyttämällä vähemmän desimaaleja mittaustuloksissa.

Sovitusten poikkeamat mitatuista arvoista olivat yleensä pienet. Laboratorion 4 kohdalla oli maininta, että mittari oli niin huono ettei sitä ole syytä käyttää, koska se ei noudata IEC standardia. Tämä mittari toteuttaa kuitenkin ITS-90 asteikon vaatimukset Pt-25 anturille, kuten laboratorio 5 oli todennut. Tulevaisuudessa nähdään varmasti enemmän tällaisia Pt-100 antureita.

Tehtävänä oli myös laskea lämpötila, kun anturin vastus oli 87,3241  $\Omega$  ja 204,6571  $\Omega$ . Tulokset ovat taulukossa 2.

Taulukko 2. Laboratorioiden laskentatulokset

laboratorio 1	$(-31,6214 \pm 0,0100) \text{ } ^\circ\text{C}$	$(273,7300 \pm 0,0151) \text{ } ^\circ\text{C}$
laboratorio 2	$(-31,622 \pm 0,010) \text{ } ^\circ\text{C}$	$(273,730 \pm 0,027) \text{ } ^\circ\text{C}$
laboratorio 3	$(-31,624 \pm 0,011) \text{ } ^\circ\text{C}$	$(273,730 \pm 0,016) \text{ } ^\circ\text{C}$
laboratorio 4 sov 1	$(-31,623 \pm 0,011) \text{ } ^\circ\text{C}$	$(273,728 \pm 0,016) \text{ } ^\circ\text{C}$
laboratorio 4 sov 2	$(-31,618 \pm 0,013) \text{ } ^\circ\text{C}$	$(273,729 \pm 0,017) \text{ } ^\circ\text{C}$
laboratorio 4 sov 3	$(-31,626 \pm 0,033) \text{ } ^\circ\text{C}$	$(273,728 \pm 0,035) \text{ } ^\circ\text{C}$
laboratorio 5	$(-31,6214 \pm 0,011) \text{ } ^\circ\text{C}$	$(273,7300 \pm 0,017) \text{ } ^\circ\text{C}$
referenssilaboratorio	$(-31,6214 \pm 0,0110) \text{ } ^\circ\text{C}$	$(273,7300 \pm 0,0170) \text{ } ^\circ\text{C}$

ITS-90 sovituksissa ei kannata vertailla ITS-90 asteikon mukaisesti laskettuja vakioita, koska ne saattavat poiketa toisistaan huomattavasti, vaikka ne tuottavat samat tulokset. Esimerkiksi laboratorioiden laskemat ITS-90 vakiot lämpötilan  $0,01 \text{ } ^\circ\text{C}$  alapuolella ovat taulukossa 3.

Taulukko 3. ITS-90 vakiot kun  $t < 0,01 \text{ } ^\circ\text{C}$ 

	a	b
laboratorio 1	$-2,8433594053 \times 10^{-4}$	$5,1314011793 \times 10^{-5}$
laboratorio 5	$-2,84559 \times 10^{-4}$	$5,02016 \times 10^{-5}$
referenssilaboratorio	$-2,846388527 \times 10^{-4}$	$5,02520048 \times 10^{-5}$

## 5.2 Epävarmuuslaskenta

Laboratorioiden epävarmuuslaskennassa oli muutamia ongelmia. Laboratorio 1 oli unohtanut sovituksesta tulleet epävarmuudet, ja laboratorio 2 oli laskenut komponentit suoraan yhteen.

## 6. Yhteenveto

Vertailumittauslaskennat menivät hyvin. Kaksi laboratoriota oli käyttänyt lämpötila-asteikon ITS-90 kaavoja, ja kolme laboratoriota oli käyttänyt erilaisia polynomeja. Epävarmuuslaskennan kohdalla oli kahdella laboratoriolta ongelmia. Vertailusta kävi myös ilmi, että uudentyypiset anturit eivät toimi vanhojen standardien mukaisesti. Tässä vertailussa ei laskettu  $E_n$ -arvoja, koska oikeat lämpötilat ja vastukset oli annettu tehtävässä. Lämpötilan laskeminen kahden vastusarvon perusteella oli onnistunut hyvin kaikilta laboratorioilta

## 7. Viite

1. DKD Tem 98 Abschlussbericht DKD-Sternvergleich Messdatenauswertung 1998, Kennlinien-Approximation von Pt-100 Fühlern

## Lämpötilan vertailumittauksen L11 ohjeet

Tähän vertailuun ei sisälly mittausta, vaan tehtävänä on jo kalibroidun Pt100-anturin sovitusfunktion laskenta. Tähän vertailumittaukseen saavat kaikki akkreditoitunut lämpötilalaboratoriot osallistua.

### 1. Tehtävä

Pt100-anturi kalibrointitulokset ovat:

Lämpötila (°C)	Anturin vastus ( $\Omega$ )	Kalibroinnin epävarmuus (°C), $k = 2$
-80,064	67,6610	0,010
-60,140	75,7883	0,010
-40,246	83,8470	0,010
-20,446	91,8156	0,010
0,01	99,9975	0,010
20,079	107,9744	0,010
40,077	115,8754	0,010
60,074	123,7271	0,010
80,065	131,5284	0,010
100,490	139,4510	0,010
119,735	146,8698	0,010
140,081	154,6641	0,010
159,637	162,1099	0,010
180,785	170,1109	0,010
200,182	177,4032	0,015
219,964	184,7968	0,015
239,690	192,1223	0,015
259,868	199,5677	0,015
279,725	206,8524	0,015
299,556	214,0772	0,015

- Kehitä sovitusfunktio(t), jolla voi laskea joko  $t = t(R)$  tai  $R = R(t)$ . Lämpötila-alue voi jakaa osiin, esim.  $-80\text{ °C} \dots +0,01\text{ °C}$  ja  $0,01\text{ °C} \dots 300\text{ °C}$ . Selitä miten sovitus on tehty.
- Laske sovituksen tulokset yllä olevan taulukon pisteissä ja arvioi sovituksesta johtuva epävarmuus.
- Laske vastusanturin lämpötila kun anturin vastus on  $87,3241\ \Omega$  ja  $204,6571\ \Omega$ . Laske myös näiden arvojen laajennettu epävarmuus (kalibrointi + sovitus).

### 2. Laskentatulosten raportointi

Laskentatulokset pyydetään antamaan epävirallisena raporttina, mistä käy ilmi yllä mainitut laskelmat ja tulokset.

**3. Laskentatulosten palautus**

Raportti tulisi lähettää kahtena kappaleena Mittatekniikan keskuksen erik.tutk. Thua Weckström viimeistään 9.4.2001 osoitteella Mittatekniikan keskus, PL 239, 00181 Helsinki.

**4. Yhteystiedot vertailumittaukseen liittyvissä kysymyksissä**

Vertailumittaukseen liittyviin kysymyksiin vastaa Thua Weckström, puh. (09)6167 464, faksi (09)6167 467, sähköposti [thua.weckstrom@mikes.fi](mailto:thua.weckstrom@mikes.fi).

## Julkaisut 1999 - 2001

- J1/1999 Nordic Intercomparison in Barometric Pressure
- J2/1999 Automaattisten punnustenvaihtimien suunnittelu, toteutus ja käyttö
- J3/1999 Intercomparison of Gauge Pressure Measurements between SP/FFA and MIKES in the Range 32 kPa ... 132 kPa
- J4/1999 Ainemäärän kansallisen mittanormaalijärjestelmän toteuttamista ja organisaatiota koskeva selvitys
- J5/1999 Mikrobiologisen metrologian tilanneselvitys ja kehittämissuunnitelma
- J6/1999 Finnish National Standards Laboratories FINMET. Annual Report 1998
- J7/1999 Lämpötilan vertailumittaus L10, S-tyyppin termoelementin kalibrointi
- J8/1999 Mekaanisten värähtelyiden mittausten kartoitus
- J9/1999 Intercomparison of the Hydrometer Calibration Systems at the IMGC and the MIKES
- J10/1999 National Basis for Traceability in Humidity Measurements
- J1/2000 Intercomparison of Temperature Standards of Lithuania and Finland
- J2/2000 Finnish National Standards Laboratories FINMET. Annual Report 1999
- J3/2000 Mass Comparison M3
- J4/2000 Mass and Volume Comparisons at MIKES
- J5/2000 Nanometritason mittaukset, kartoitus
- J6/2000 Nordic Intercomparison in Gauge Pressure Range 0 ... 2 MPa
- J1/2001 Mikrobiologian kvantitatiivisten viljelymääritysten mittausepävarmuus
- J2/2001 Finnish National Standards Laboratories. Annual Report 2000
- J3/2001 Lämpötilan vertailumittaus L11, PT100-anturin sovitussuunnitelman kehittäminen

Tilaukset toimistosihteerille Kirsi Tuomisto, puh. (09) 6167 457,  
e-mail [kirsi.tuomisto@mikes.fi](mailto:kirsi.tuomisto@mikes.fi).