

COMPARATIA INTERLABORATOARE

„ETALONAREA UNUI TERMOCUPLU Pt-10%Rh/Pt”

1. Introducere

În cadrul comparației interlaboratoare cu tema „Etalonarea unui termocuplu”, laboratorul Termometrie-Colectivul Temperaturi al INM a fost desemnat Laborator pilot (LP) și Laborator de referință (LR). Măsurările au început în luna iunie 2005 la INM și s-au încheiat în luna septembrie 2006 la INM.

Această lucrare prezintă și analizează comparativ rezultatele finale și incertitudinile asociate obținute de Laboratorul de referință și de cele 7 laboratoare participante, care figurează cu codurile ce le-au fost atribuite în cadrul Comparației.

În lucrare sunt sintetizate sub formă tabelară și grafică abaterile rezultatelor obținute de cele șapte laboratoare față de valorile de referință stabilite de LR precum și incertitudinile asociate acestor abateri. Pe baza lor, s-au calculat indicii de valoare ai laboratoarelor participante, care stabilesc compatibilitatea fiecărui laborator cu LR.

2. Programul comparației interlaboratoare

2.1 Etaloane și utilaje

Ca etalon itinerant a fost utilizat termocuplul Pt10%Rh/Pt nr.76072, un termocuplu prevăzut cu cablu de compensare, având lungimea termoelectrozilor de 500 mm și diametrul de 0,5 mm.

Tabelul 1 prezintă caracteristicile etalonului de referință folosit în cursul măsurărilor, așa cum au fost transmise de laboratoarele participante. În primele două coloane sunt înscrise denumirea/codul laboratorului și denumirea etalonului folosit. Coloana 3 conține tipul sau modelul etalonului. În coloana 4 sunt înscrise domeniul de măsurare. În ultimele două coloane sunt specificate incertitudinea extinsă, inclusiv valoarea factorului de extindere, și ruta de trasabilitate.

Tabelul 1 - Etalonul de referință și principalele sale caracteristici

Laborator	Denumire etalon	Tip/model	Domeniu de măsurare	U	Ruta de trasabilitate
INM	Termocuplu Pt-10%Rh/Pt	Tip S, fabricație INM	(300 ... 1200) °C	0,5 °C ($k = 2$)	INM
2	Termocuplu Pt-10%Rh/Pt	Tip S, fabricație INM	(300 ... 1200) °C	0,5 °C ($k = 2$)	INM
3	Termocuplu Pt-10%Rh/Pt	Tip S, fabricație INM	(300 ... 1200) °C	0,5 °C ($k = 2$)	INM
4	Termocuplu Pt-10%Rh/Pt	Tip S, fabricație INM	(300 ... 1200) °C	0,5 °C ($k = 2$)	INM
5	Termocuplu Pt-	Tip S, fabricație INM	(300 ... 1200) °C	0,5 °C ($k = 2$)	INM

Laborator	Denumire etalon	Tip/model	Domeniu de masurare	U	Ruta de trasabilitate
	10%Rh/Pt				
6	Termocuplu Pt-10%Rh/Pt	Tip S, fabricatie INM	(300 ... 1200) °C	0,5 °C (k = 2)	INM
7	Termocuplu Pt-10%Rh/Pt	Tip S, fabricatie INM	(300 ... 1200) °C	0,5 °C (k = 2)	INM
8	Termocuplu Pt-10%Rh/Pt	Tip S, fabricatie HART	(300 ... 1200) °C	0,5 °C (k = 2)	INM

2.2 Efectuarea masurarilor

Ghidul intercompararii, instructiunile de utilizare, de transport si de masurare au fost transmise de Laboratorul pilot fiecarui laborator participant înainte de începerea masurarilor.

Pentru efectuarea masurarilor, fiecare laborator participant a utilizat metoda si procedura practicate în mod curent atunci când etaloneaza termocupluri tip S.

La primirea etalonului itinerant, laboratorul participant a verificat starea fizica a acestuia. Nici unul dintre laboratoare nu a comunicat Laboratorului pilot defectiuni ale termocuplului.

Urmatoarea etapa obligatorie a constat în aplicarea unui tratament termic de recoacere: mentinerea termocuplului timp de 4 ore la limita superioara a domeniului de masurare.

Pentru a se evita impurificarea termoelectrozilor, Laboratorul pilot a solicitat Laboratoarelor participante sa nu utilizeze un bloc metalic pentru uniformizarea temperaturii în interiorul cuptorului.

Pentru a se elimina surse importante de erori si incertitudini, termocuplul itinerant a fost etalonat cu propriul cablu de compensare si la temperatura jonctiunii de referinta de 0 °C. Etalonarea s-a efectuat în cuptoare electrice orizontale, prin metoda compararii directe. Ca etaloane de referinta s-au utilizat termocupluri tip S, trasabile la SI.

Masurarile s-au efectuat la valori ale temperaturii din 100 °C în 100 °C din domeniul (300 ... 1 200) °C. La fiecare punct de etalonare s-au efectuat minimum trei serii de masurari diferite. Rezultatele masurarilor, functia de modelare si bilantul incertitudinii de masurare asociate au fost prezentate într-un raport de etalonare, de catre fiecare laborator participant.

Modelul matematic al masurarii

Temperatura jonctiunii de masurare a termocuplului de etalonat este:

$$\begin{aligned}
 t_x &= t_S (V_{IS} + \delta V_{IS1} + \delta V_{IS2} + \delta V_{IS3} + \delta V_R - \delta t_{0S}/C_{S0}) + \delta t_D + \delta t_F \\
 &\cong t_S (V_{IS}) + C_S \cdot \delta V_{IS1} + C_S \cdot \delta V_{IS2} + C_S \cdot \delta V_{IS3} + C_S \cdot \delta V_R - (C_S/C_{S0}) \cdot \delta t_{0S} + \delta t_D + \delta t_F
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Tensiunea generata de termocuplul de etalonat cu jonctiunea de referinta mentinuta la 0 °C în timpul etalonarii este :

$$V_X(t) \equiv V_X(t_X) + t/C_X - \delta t_{0X}/C_{X0} = V_{IX} + \delta V_{IX1} + \delta V_{IX2} + \delta V_{IX3} + \delta V_{RX} + \delta V_{LX} + t/C_X - \delta t_{0X}/C_{X0} \quad (2)$$

unde:

t_S (V)	temperatura corespunzatoare t.t.e.m. masurata cu termocuplul de referinta. T.t.e.m. generata de termocuplul de referinta este convertita în temperatura t_S (V) conform certificatului de etalonare;
V_{IS}, V_{IX}	indicatiile voltmetrului digital pentru termocuplul de referinta si respectiv, cel de etalonat;
$\delta V_{IS1}, \delta V_{IX1}$	corectiile voltmetrului digital date în certificatul de etalonare al voltmetrului;
$\delta V_{IS2}, \delta V_{IX2}$	corectiile voltmetrului digital datorate rezolutiei voltmetrului;
$\delta V_{IS3}, \delta V_{IX3}$	corectiile voltmetrului digital datorate driftului voltmetrului;
δV_R	corectia datorata contactelor imperfecte din circuitul de masurare;
δV_{RX}	corectia datorata neomogenitatilor termocuplului de etalonat;
$\delta t_{0S}, \delta t_{0X}$	corectiile de temperatura datorate temperaturii mediului de referinta;
C_S, C_X	coeficientii de sensibilitate ai termocuplurilor la temperatura mediului de masurare t_S ;
C_{S0}, C_{X0}	coeficientii de sensibilitate ai termocuplurilor la temperatura mediului de referinta de 0 °C;
δt_D	corectia de temperatura datorata driftului termocuplului de referinta;
δt_F	corectia de temperatura datorata neuniformitatii mediului de masurare.
t	temperatura la care termocuplul este etalonat (punctul de etalonare);
V_S	t.t.e.m. a termocuplului etalon la temperatura t (din certificatul de etalonare);
$?t = t - t_X$	abaterea temperaturii punctului de etalonare fata de temperatura mediului de masurare;
δV_{LX}	corectia datorata cablului de compensare.

Deoarece $C_S = C_X$ si $C_{S0} = C_{X0}$ rezulta:

$$V_X(t) \equiv V_{IX} + \delta V_{IX1} + \delta V_{IX2} + \delta V_{IX3} + \delta V_{RX} + \delta V_{LX} + (t - t_X)/C_X - \delta t_{0X}/C_{X0} = V_{IX} + \delta V_{IX1} + \delta V_{IX2} + \delta V_{IX3} + \delta V_{RX} + \delta V_{LX} + t/C_X - [t_S(V_{IS}) + C_S \cdot \delta V_{IS1} + C_S \cdot \delta V_{IS2} + C_S \cdot \delta V_{IS3} + C_S \cdot \delta V_R - (C_S/C_{S0}) \cdot \delta t_{0S} + \delta t_D + \delta t_F]/C_S - \delta t_{0X}/C_{S0} = V_S + V_{IX} - V_{IS} + \delta V_{IX1} - \delta V_{IS1} + \delta V_{IX2} - \delta V_{IS2} + \delta V_{IX3} - \delta V_{IS3} + \delta V_{LX} + \delta t_D/C_S + \delta t_F/C_S + \delta t_{0S}/C_{S0} - \delta t_{0X}/C_{S0} \quad (3)$$

2.3 Valorile de referinta

La INM etalonarea s-a efectuat prin comparare directa cu termocuplul de referinta nr. 0-004, având incertitudinea extinsa (pentru $k = 2$) de 0,5 °C în domeniul de temperatura (300 ... 1100) °C si de 0,8 °C în domeniul de temperatura (1 100 ... 1 200) °C.

Valorile t.t.e.m. determinate la INM în cursul etalonarilor initiala si finala, valorile medii, care reprezinta valorile de referinta (VR) ale compararii precum si incertitudinile extinse, (pentru $k = 2$), asociate valorilor de referinta sunt prezentate în Tabelul 2.

Tabelul 2 – Valorile de referinta ale comparatiei

$t_{90}/^{\circ}\text{C}$	t.t.e.m./ μV		Valoare medie / μV	$U/^{\circ}\text{C}$ ($k = 2$)
	Etalonare initiala	Etalonare finala		
300	2 290	2 289	2 290	1,5
400	3 211	3 213	3 212	1,5
500	4 169	4 169	4 169	1,5
600	5 160	5 160	5 160	1,5
700	6 184	6 182	6 183	1,5
800	7 236	7 238	7 237	1,5
900	8 330	8 329	8 330	1,5
1 000	9 449	9 453	9 451	1,5
1 100	10 602	10 607	10 604	1,5
1 200	11 787	11 783	11 785	1,5

Incertitudinea standard compusa si incertitudinea extinsa pentru un nivel de încredere de 95 % s-au calculat conform SR 13 005: 2003 „Ghid pentru exprimarea incertitudinii de masurare”.

Incertitudinea extinsa a fost stabilita ca incertitudinea standard compusa a masurarii multiplicata cu factorul de extindere $k = 2$ si defineste un interval estimat a avea un nivel de încredere de 95 %.

2.4 Programul de desfasurare

Initial, schema de organizare a comparatiei cuprindea 2 bucle succesive, cu o verificare intermediara la Laboratorul de referinta la jumatatea perioadei masurarilor. În cursul masurarilor efectuate la INM dupa încheierea primei bucle, s-au constatat abateri ale t.t.e.m. fata de valorile determinate initial. Cauzele unor astfel de variatii ale unui termocuplu sunt multiple (impurificarea termoelectrozilor, difuzia rhodiului din termoelectrodul de aliaj în termoelectrodul din platina, modificarea concentratiei de neomogenitati, aparitia unor tensiuni mecanice etc.).

Termocuplul a fost supus unui tratament termic si a fost stabilizat, reproductibilitatea termocuplului revenind în limitele normale. În continuare, pentru ultimele trei laboratoare, comparatia s-a desfasurat în stea, termocuplul revenind la INM dupa fiecare laborator participant. În luna mai 2005, toate laboratoarele încheiasera practic masurarile ce le reveneau conform Programului initial.

Deoarece variatiile t.t.e.m au fost constatate la sfârșitul primului buclei, nu este posibil sa se identifice locul si momentul în care au debutat instabilitatile t.t.e.m. Ca urmare, cu acordul participantilor, laboratoarele din prima bucla au repetat masurarile si, de aceasta data, circulatia etalonului itinerant s-a desfasurat în stea.

Transportul termocuplului s-a facut numai ca bagaj de mâna, într-un ambalaj corespunzator, pentru a se evita spargerea tubului de protectie si/sau întreruperea termoelectrozilor.

3. Rezultatele comparării interlaboratoare

3.1 Generalități

Conform protocolului stabilit, fiecare laborator participant a efectuat cel puțin 3 serii de măsurări diferite la fiecare valoare a temperaturii. Etalonarea a fost efectuată în cuptoare electrice orizontale, prin metoda comparării directe. Tabelele conținând valorile determinate, valoarea lor medie la fiecare punct de etalonare precum și bilanțul incertitudinii de măsurare au fost transmise Laboratorului pilot.

Valorile laboratorului Termometrie al INM reprezintă media aritmetică a t.t.e.m. determinate la începutul și sfârșitul comparației. Pentru calculul incertitudinilor asociate abaterilor față de valorile de referință s-a folosit funcția de modelare:

$$? E = E_{\text{Lab } i} - E_{\text{LR}} + dE_{\text{stab}} \quad (4)$$

unde dE_{stab} reprezintă corecția diferenței dintre indicațiile termometrului determinate la INM în cursul măsurărilor finale și inițiale.

Luând E_{LR} ca media aritmetică a corecțiilor determinate de INM la începutul și sfârșitul comparației, s-a estimat ca $dE_{\text{stab}} = 0$ mV în limitele a $\pm a_{\text{stab } k}/2$, unde $a_{\text{stab } k}$ este diferența determinată la temperatura t_k . Incertitudinea standard de tip B a acestei distribuții dreptunghiulare este $u(dE_{\text{stab}}) = a_{\text{stab } k}/(2\sqrt{3})$. Coeficientul de sensibilitate fiind egal cu 1, contribuția la $u_c(? E)$ a incertitudinii standard $u(dE_{\text{stab}})$ va fi egală cu $a_{\text{stab } k}/(2\sqrt{3})$.

Marimile de intrare $E_{\text{Lab } i}$ ($i = 2, 3, \dots, 7$) și E_{LR} sunt parțial corelate, toate etaloanele folosite fiind trasabile la etalonul național de temperatură. Pentru a nu complica prea mult calculele, vom presupune, totuși, că marimile $E_{\text{Lab } i}$ și E_{LR} sunt necorelate. Aplicând legea de propagare a incertitudinii, incertitudinea standard compusă asociată abaterii $? E$ s-a calculat astfel:

$$u_c(? E) = [u^2(E_{\text{Lab } i}) + u^2(E_{\text{LR}}) + u^2(dE_{\text{stab}})]^{1/2}. \quad (5)$$

În Tabelele 3, 4, 5, 6, 7, 8 și 9 sunt înscrise incertitudinea standard compusă și incertitudinea extinsă (pentru $k = 2$) asociate abaterilor $? E$.

3.2 Prezentarea rezultatelor măsurărilor

Rezultatele măsurărilor obținute de cele 7 laboratoare, împreună cu abaterile față de valorile de referință și cu incertitudinile asociate abaterilor sunt prezentate în Tabelele 3, 4, 5, 6, 7, 8 și 9.

Tabelul 3 – Abaterile rezultatelor obținute de Lab. 2 față de valorile de referință

$t_{90}/^{\circ}\text{C}$	VR		Lab. 2		Lab. 2 - VR		
	t.t.e.m./ μV	$u_c/^{\circ}\text{C}$	t.t.e.m./ μV	$u_c/^{\circ}\text{C}$	$? E/ \mu\text{V}$	$u_c/^{\circ}\text{C}$	$U/^{\circ}\text{C}$ ($k = 2$)
300	2 290	0,75	2 290,8	0,75	+ 0,8	1,1	2,2
400	3 212	0,75	3 214,0	0,75	+ 2,0	1,1	2,2

$t_{90}/^{\circ}\text{C}$	VR		Lab. 2		Lab. 2 - VR		
	t.t.e.m/ μV	$u_c/^{\circ}\text{C}$	t.t.e.m/ μV	$u_c/^{\circ}\text{C}$? E/ μV	$u_c/^{\circ}\text{C}$	U/ $^{\circ}\text{C}$ (k = 2)
500	4 169	0,75	4 166,0	0,75	- 3,0	1,1	2,2
600	5 160	0,75	5 163,0	0,75	+ 3,0	1,1	2,2
700	6 183	0,75	6 180,0	0,75	- 3,0	1,1	2,2
800	7 237	0,75	7 235,0	0,75	- 2,0	1,1	2,2
900	8 330	0,75	8 321,7	0,80	- 8,3	1,1	2,2
1 000	9 451	0,75	9 450,2	1,00	- 0,8	1,2	2,4
1 100	10 604	0,75	10 601,0	1,30	- 3,0	1,5	3,0
1 200	11 785	0,75	11 785,3	1,65	+ 0,3	1,8	3,6

Tabelul 4 – Abaterile rezultatelor obtinute de Lab. 3 fata de valorile de referinta

$t_{90}/^{\circ}\text{C}$	VR		Lab. 3		Lab. 3 - VR		
	t.t.e.m/ μV	$u_c/^{\circ}\text{C}$	t.t.e.m/ μV	$u_c/^{\circ}\text{C}$? E/ μV	$u_c/^{\circ}\text{C}$	U/ $^{\circ}\text{C}$ (k = 2)
300	2 290	0,75	2 298	0,35	+ 8	0,83	1,6
400	3 212	0,75	3 217	0,35	+ 5	0,83	1,6
500	4 169	0,75	4 175	0,35	+ 6	0,83	1,6
600	5 160	0,75	5 164	0,40	+ 4	0,85	1,7
700	6 183	0,75	6 185	0,40	+ 2	0,85	1,7
800	7 237	0,75	7 239	0,40	+ 2	0,85	1,7
900	8 330	0,75	8 328	0,40	- 2	0,85	1,7
1 000	9 451	0,75	9 449	0,40	- 2	0,86	1,7
1 100	10 604	0,75	10 604	0,40	0	0,86	1,7
1 200	11 785	0,75	11 782	0,50	- 3	0,91	1,8

Tabelul 5 – Abaterile rezultatelor obtinute de Lab. 4 fata de valorile de referinta

$t_{90}/^{\circ}\text{C}$	VR		Lab. 4		Lab. 4 - VR		
	t.t.e.m/ μV	$u_c/^{\circ}\text{C}$	t.t.e.m/ μV	$u_c/^{\circ}\text{C}$? E/ μV	$u_c/^{\circ}\text{C}$	U/ $^{\circ}\text{C}$ (k = 2)
300	2 290	0,75	2 361,9	0,55	+ 71,9	0,93	1,9
400	3 212	0,75	3 281,6	0,50	+ 69,6	0,90	1,8
500	4 169	0,75	4 236,6	0,45	+ 67,6	0,87	1,7
600	5 160	0,75	5 230,3	0,50	+ 70,3	0,90	1,8
700	6 183	0,75	6 253,6	0,55	+ 70,6	0,93	1,9
800	7 237	0,75	7 313,4	0,60	+ 76,4	0,96	1,9
900	8 330	0,75	8 392,0	0,55	+ 62,0	0,93	1,9
1 000	9 451	0,75	9 507,5	0,55	+ 56,5	0,94	1,9
1 100	10 604	0,75	10 659,0	0,50	+ 55,0	0,91	1,8
1 200	11 785	0,75	11 847,1	0,50	+ 62,1	0,91	1,8

Tabelul 6 – Abaterile rezultatelor obtinute de Lab. 5 fata de valorile de referinta

$t_{90}/^{\circ}\text{C}$	VR		Lab. 5		Lab. 5 - VR		
	t.t.e.m/ μV	$u_c/^{\circ}\text{C}$	t.t.e.m/ μV	$u_c/^{\circ}\text{C}$? E/ μV	$u_c/^{\circ}\text{C}$	$U/^{\circ}\text{C}$ ($k = 2$)
300	2 290	0,75	2 283	0,47	- 7	0,89	1,8
400	3 212	0,75	3 196	0,44	- 16	0,87	1,7
500	4 169	0,75	4 146	0,38	- 23	0,84	1,7
600	5 160	0,75	5 134	0,38	- 26	0,84	1,7
700	6 183	0,75	6 154	0,42	- 29	0,86	1,7
800	7 237	0,75	7 211	0,45	- 26	0,87	1,7
900	8 330	0,75	8 302	0,43	- 28	0,86	1,7
1 000	9 451	0,75	9 428	0,39	- 23	0,85	1,7
1 100	10 604	0,75	10 587	0,38	- 17	0,85	1,7
1 200	11 785	0,75	11 768	0,54	- 17	0,93	1,9

Tabelul 7 – Abaterile rezultatelor obtinute de Lab. 6 fata de valorile de referinta

$t_{90}/^{\circ}\text{C}$	VR		Lab. 6		Lab. 6 - VR		
	t.t.e.m/ μV	$u_c/^{\circ}\text{C}$	t.t.e.m/ μV	$u_c/^{\circ}\text{C}$? E/ μV	$u_c/^{\circ}\text{C}$	$U/^{\circ}\text{C}$ ($k = 2$)
300	2 290	0,75	2 318,5	0,57	+ 28,5	0,94	1,9
400	3 212	0,75	3 251,9	0,64	+ 39,9	0,99	2,0
500	4 169	0,75	4 218,8	0,64	+ 49,8	0,99	2,0
600	5 160	0,75	5 216,4	0,64	+ 56,4	0,99	2,0
700	6 183	0,75	6 236,8	0,64	+ 53,8	0,99	2,0
800	7 237	0,75	7 277,4	1,2	+ 40,4	1,39	2,8
900	8 330	0,75	8 374,2	0,76	+ 44,2	1,06	2,1
1 000	9 451	0,75	9 498,1	0,59	+ 47,1	0,96	1,9
1 100	10 604	0,75	10 645,2	0,59	+ 41,2	0,96	1,9
1 200	11 785	0,75	11 821,0	0,66	+ 36,0	1,00	2,0

Tabelul 8 – Abaterile rezultatelor obtinute de Lab. 7 fata de valorile de referinta

$t_{90}/^{\circ}\text{C}$	VR		Lab. 7		Lab. 7 - VR		
	t.t.e.m/ μV	$u_c/^{\circ}\text{C}$	t.t.e.m/ μV	$u_c/^{\circ}\text{C}$? E/ μV	$u_c/^{\circ}\text{C}$	$U/^{\circ}\text{C}$ ($k = 2$)
300	2 290	0,75	2 290,0	0,55	0,0	0,93	1,9
400	3 212	0,75	3 211,0	0,50	- 1,0	0,90	1,8
500	4 169	0,75	4 167,0	0,50	- 2,0	0,90	1,8
600	5 160	0,75	5 160,0	0,50	0,0	0,90	1,8
700	6 183	0,75	6 178,0	0,50	- 5,0	0,90	1,8

$t_{90}/^{\circ}\text{C}$	VR		Lab. 7		Lab. 7 - VR		
	t.t.e.m/ μV	$u_c/^{\circ}\text{C}$	t.t.e.m/ μV	$u_c/^{\circ}\text{C}$? E/ μV	$u_c/^{\circ}\text{C}$	U/ $^{\circ}\text{C}$ (k = 2)
800	7 237	0,75	7 232,0	0,50	- 5,0	0,90	1,8
900	8 330	0,75	8 321,0	0,50	- 9,0	0,90	1,8
1 000	9 451	0,75	9 448,0	0,50	- 3,0	0,91	1,8
1 100	10 604	0,75	10 602,0	0,50	- 2,0	0,91	1,8
1 200	11 785	0,75	11 780,0	0,50	- 5,0	0,91	1,8

Tabelul 9 – Abaterile rezultatelor obtinute de Lab. 8 fata de valorile de referinta

$t_{90}/^{\circ}\text{C}$	VR		Lab. 8		Lab. 8 - VR		
	t.t.e.m/ μV	$u_c/^{\circ}\text{C}$	t.t.e.m/ μV	$u_c/^{\circ}\text{C}$? E/ μV	$u_c/^{\circ}\text{C}$	U/ $^{\circ}\text{C}$ (k = 2)
300	2 290	0,75	2 294,0	0,65	+ 4,0	0,99	2,0
400	3 212	0,75	3 243,2	0,65	+ 31,2	0,99	2,0
500	4 169	0,75	4 194,5	0,65	+ 25,5	0,99	2,0
600	5 160	0,75	5 191,2	0,65	+ 31,2	0,99	2,0
700	6 183	0,75	6 195,0	0,75	+ 12,0	1,1	2,2
800	7 237	0,75	7 243,5	0,70	+ 6,4	1,0	2,0
900	8 330	0,75	8 320,6	0,70	- 9,4	1,0	2,0
1 000	9 451	0,75	9 434,5	0,65	- 16,5	1,0	2,0
1 100	10 604	0,75	10 546,1	0,65	- 57,9	1,0	2,0
1 200	11 785	0,75	11 703,2	0,65	- 81,8	1,0	2,0

Datele din Tabelele de mai sus (abaterile rezultatelor obtinute de cele 7 laboratoare participante fata de valorile de referinta) sunt reprezentate în Figura 1 într-o forma comparativa în care, pe acelasi grafic, se poate vedea situatia tuturor laboratoarelor (Lab i , $i=2, 3, \dots, 7$) la un anumit punct de etalonare. Graficele sunt astfel organizate încât sa permita o trecere rapida în revista a compatibilitatii fiecarui laborator cu VR la temperaturile de etalonare.

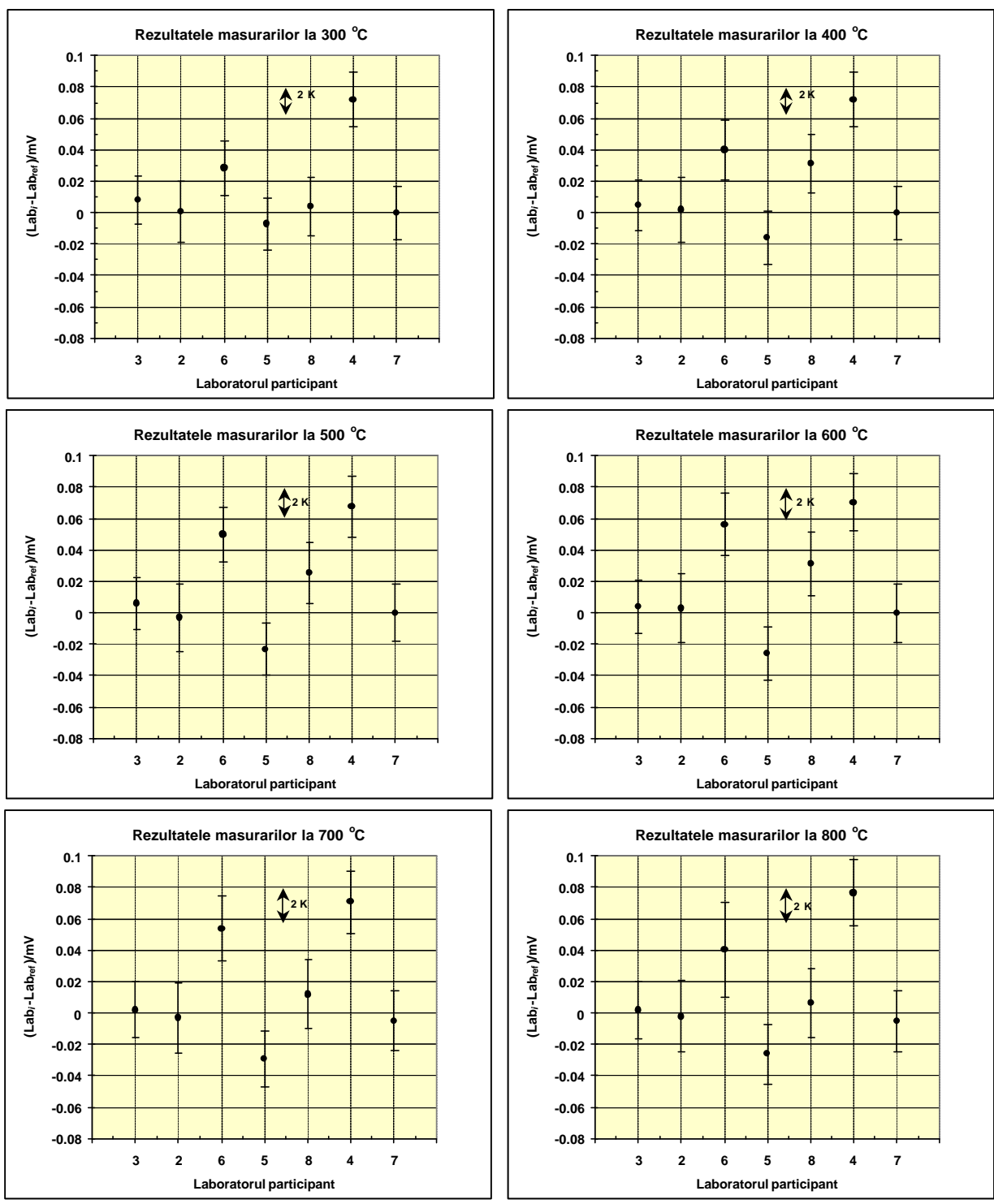


Figura 1 – Abaterile valorilor laboratoarelor participante fata de valorile de referinta. Linile verticale reprezinta incertitudinile extinse U (pentru $k = 2$) asociate acestor abateri

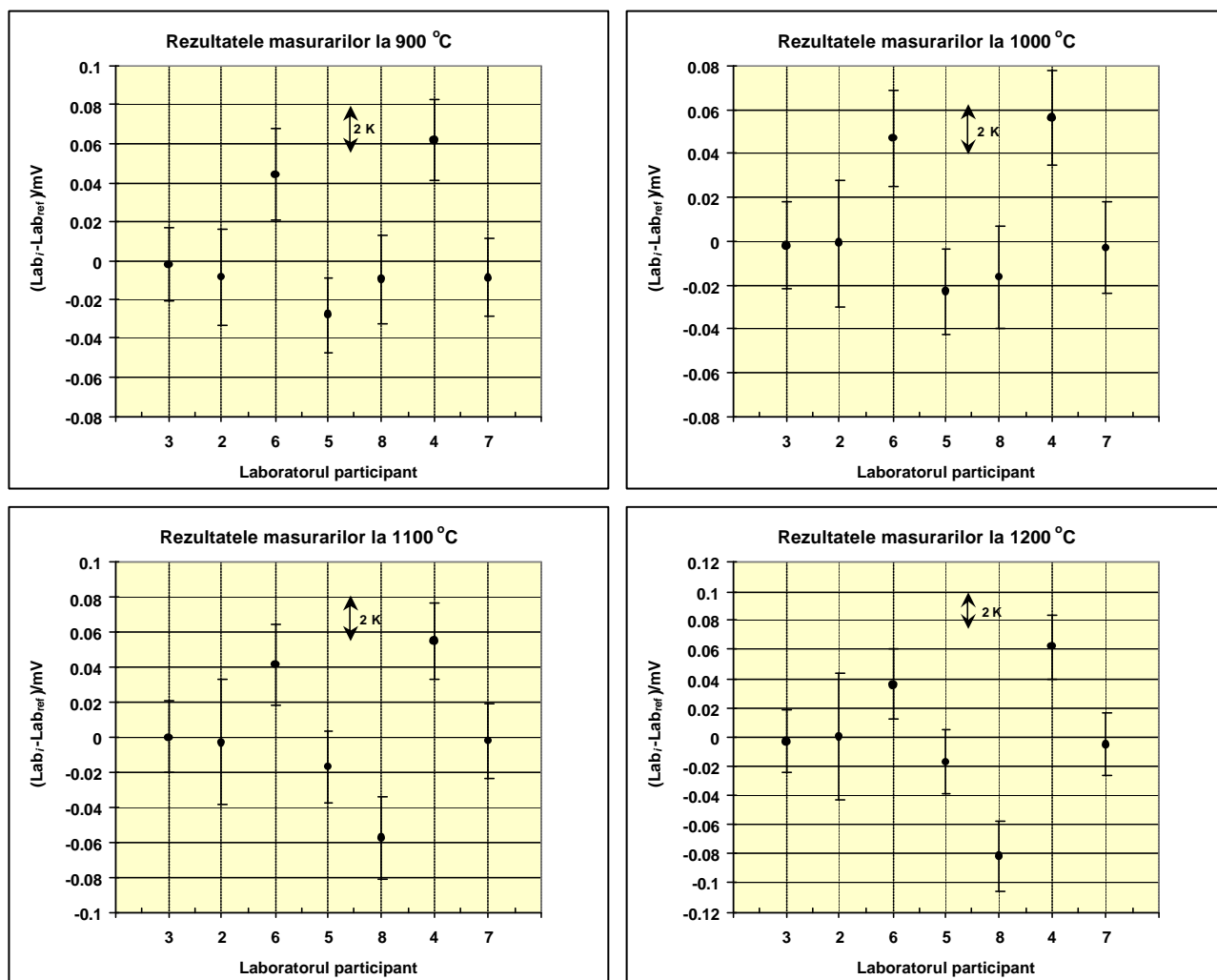


Figura 1 – Abaterile valorilor laboratoarelor participante fata de valorile de referinta. Liniile verticale reprezinta incertitudinile extinse U (pentru $k = 2$) asociate acestor abateri (continuare)

3.3 Analiza rezultatelor

Pentru o analiza cât mai obiectivă a rezultatelor măsurărilor, s-a determinat, pentru fiecare laborator participant, **indicele de valoare** E_i , $i = 2, 3, 4, 5, 6$ și 7 , exprimat prin relația

$$E_i = \frac{x_i - x_{ref}}{U(\Delta E_i)} \quad (6)$$

unde

x_i – valoarea etalonului itinerant la un punct de etalonare dat, obținută de laboratorul „i”;

x_{ref} – valoarea de referință;

$U(\Delta E_i)$ – incertitudinea extinsă asociată abaterii E_i , incertitudine calculată cu ajutorul funcției de modelare (3).

Pentru valori ale indicelui de valoare cuprinse în intervalul $(-1, +1)$, laboratorul i este compatibil cu laboratorul de referință și se considera că este capabil să efectueze măsurări în acest domeniu cu incertitudinea de măsurare declarată.

Indicii de valoare ai celor 7 laboratoare participante sunt prezentati în Tabelul 10, pentru cazul în care se pastreaza o cifra semnificativa din valorile obtinute cu relatia (5). Celulele închise la culoare marcheaza indicii de valoare care depasesc limitele - 1,0 si +1,0.

Tabelul 10 –Indicii de valoare ai laboratoarelor participante

$t_{90}/^{\circ}\text{C}$	Lab.2	Lab.3	Lab.4	Lab.5	Lab.6	Lab.7	Lab. 8
300	0,0	0,5	4,2	- 0,4	1,6	0,0	0,2
400	0,1	0,3	4,0	- 1,0	2,1	- 0,6	1,6
500	- 0,1	0,4	3,9	- 1,4	2,5	- 0,1	1,3
600	0,1	0,2	3,8	- 1,5	2,8	0,0	1,5
700	- 0,1	0,1	3,6	- 1,6	2,6	- 0,3	0,5
800	- 0,1	0,1	3,7	- 1,4	1,4	- 0,3	0,1
900	- 0,3	- 0,1	3,0	- 1,5	1,9	- 0,4	- 0,4
1 000	0,0	- 0,1	2,6	- 1,2	2,1	- 0,1	- 0,7
1 100	0,0	0,0	2,5	- 0,8	1,8	- 0,1	- 2,4
1 200	0,0	- 0,1	2,8	- 0,8	1,4	- 0,2	- 3,4

4. Concluzii

Analiza rezultatelor masurarilor si a incertitudinilor asociate furnizate de laboratoarele participante precum si a indicilor de valoare rezultati ne conduce la urmatoarele concluzii:

- o Laboratoarele 2, 3 si 7 satisfac criteriile de acceptare la toate punctele de etalonare, cu abateri mai mici sau comparabile cu incertitudinea de masurare.
- o Laboratoarele 5 si 8 au indicii de valoare mai mari decât limitele admise la unele puncte de etalonare (3 si, respectiv, 4 puncte de etalonare). Pentru a elimina aceste deficiente se impune o reanalizare a metodologiei de evaluare a incertitudinii de masurare precum si o noua caracterizare metrologica a etaloanelor si utilajelor folosite; este posibil ca aceasta caracterizare sa conduca la necesitatea achizitionarii unor echipamente mai performante.
- o Aceleasi recomandari se cuvin si Laboratorului 4, ai carui indici de valoare au depasit limitele admise la toate punctele de etalonare.

Întocmit,

Sonia GAITA
Coordonator comparatie
10 octombrie 2006