

COMPARAȚIA INTERLABORATOARE BRML.T-C1 « ETALONAREA TERMOMETRELOR DIN STICLĂ CU MERCUR ÎN DOMENIUL DE TEMPERATURĂ (35...45) °C »

Sonia GAIȚĂ*

Rezumat: *Articolul descrie prima comparație națională interlaboratoare din domeniul termometriei, BRML.T-C1. La comparație au participat INM și șase laboratoare regionale sau județene ale BRML. Măsurările s-au efectuat în domeniul de temperatură (35 ... 45) °C, folosindu-se drept etalon de transfer un termometru din sticlă cu mercur. În articol sunt prezentate rezultatele măsurărilor, gradele de echivalență și indicii de valoare ai fiecărui participant.*

Abstract: *This paper describes the first national interlaboratory comparison in the field of thermometry, with comparison identifier BRML.T-C1. The comparison was held under the co-ordination of the Romanian Bureau of Legal Metrology (BRML). The participants were six laboratories and INM as pilot and reference laboratory. One mercury-in-glass thermometer served as transfer standard. The corrections had to be determined at the eleven integer values of the temperature in the range from 35 °C to 45 °C. The measurement uncertainties associated with these corrections were reported by each laboratory as part of the calibration report. From the INM data, the comparison reference values (CRV) were calculated at each calibration point. Similarly to the key comparisons of the MRA, the degree of equivalence of each laboratory relative to CRV and the degrees of equivalence between pairs of laboratories have been evaluated and the results are given in the form of a matrix. Also, the figures of merit of each participant have been calculated for all calibration points. See the full version of the final report [1] to the BRML.T-C1 for complete details of the comparison.*

Cuvinte cheie: *comparație interlaboratoare, termometru din sticlă cu mercur, grad de echivalență, indice de valoare*

Key words: *interlaboratory comparison, mercury-in-glass thermometer, degree of equivalence, figure of merit*

1 Introducere

BRML.T-C1 definește prima comparație națională interlaboratoare din domeniul termometriei « Etalonarea termometrelor din sticlă cu mercur în domeniul de temperatură (35...45) °C ».

Comparația s-a desfășurat în cadrul Programului coordonat de Direcția Evaluare Organisme și Autorizări (DEOA) a Biroului Român de Metrologie Legală (BRML). Laboratorul Termometrie - colectivul Temperaturi al Institutului Național de Metrologie (INM) a fost desemnat de BRML-DEOA drept Laborator pilot (LP) și Laborator de referință (LR). Măsurările au început în luna iunie 2003 la INM și s-au încheiat în luna noiembrie 2003 la INM.

Pentru detalii complete asupra comparației a se vedea versiunea integrală a Raportului final [1].

2 Organizarea comparației

Laboratoarele au fost organizate într-o singură grupă (Figura 1), ordinea fiind determinată de poziția geografică. În secțiunile care se referă la rezultatele comparației, laboratoarele figurează cu codurile ce le-au fost atribuite de BRML-DEOA.

Cele șase laboratoare participante precum și numele persoanelor care au avut cele mai importante contribuții la comparație sunt prezentate în continuare (figura 1 și tabelul aferent):

3 Proceduri și mijloace de măsurare

În conformitate cu procedurile DEOA [4], LP a elaborat și a transmis laboratoarelor participante Ghidul intercomparării precum și Instrucțiunile de utilizare, de transport și de măsurare.

Ca etalon itinerant s-a utilizat termometrul din sticlă cu mercur (TSM) seria INMB-70, un termometru cu imersie parțială, având domeniul de măsurare (35...45) °C și valoarea diviziunii de 0,01 °C.

*Institutul Național de Metrologie. Șos. Vitan Bârzești nr. 11, cod 042122, sectorul 4, București, tel. 334.50.60/184, E-mail: sonia.gaita@inm.ro, soniagaita@hotmail.com

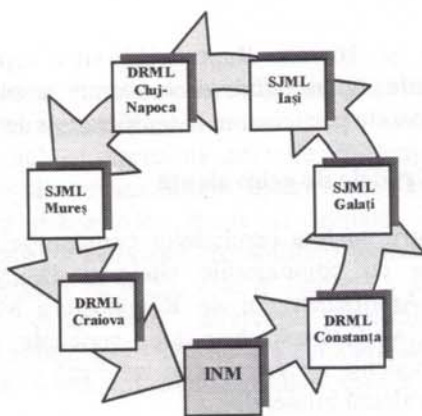


Figura 1 Schema de organizare și funcționare

T_e	temperatura citită cu termometrul de referință
T_v	temperatura citită cu termometrul de etalonat
δT_1	corecția erorii de interpolare la citirea indicației termometrului de referință
δT_2	corecția indicației termometrului de referință
δT_3	corecția derivei între 2 etalonări succesive ale termometrului de referință
δT_4	corecția influenței temperaturii mediului ambiant asupra coloanei emergente
δT_5	corecția instabilității temperaturii băii de comparare
δT_6	corecția neuniformității temperaturii băii de comparare
δT_7	corecția erorii de interpolare la citirea indicației termometrului de etalonat

Măsurările s-au efectuat la valorile întregi ale temperaturii din domeniul (35...45) °C, în băi termostat, prin metoda comparării directe sau indirecte. La fiecare punct de etalonare au fost repetate minimum trei serii diferite de măsurări.

Fiecare laborator participant a utilizat procedura și metoda practicate în mod curent atunci când etalonează TSM. Etaloanele și utilajele folosite sunt prezentate în Tabelele 1 și 2 din Raportul comparației [1].

Pentru o evaluare cât mai unitară a capabilității de etalonare a laboratoarelor participante și pentru o comparabilitate optimă, INM a furnizat participanților un model matematic al măsurării conținând principalii parametri care influențează etalonarea TSM.

BRML-DEOA	Florin Scurtu, Cheti Radu
DRML Constanța	Adina Grosu, Nicolae Predoiu
SJML Galați	Bulai Toni
SJML Iași	Vasile Lupu, Corina Marinoiu, Coman Veronica, Cezar Magdeș
DRML Cluj-Napoca	Lia Sălăgean
SJML Mureș	Virgil Fanea
DRML Craiova	Sorin Greșiță
INM – Laboratorul Termometrie	Sonia Gaiță (coordonator), Ion Asavinei (locțiitor), Marius Neagu, Miruna Cazan, Aritina Teodorescu

Redăm aici funcția de modelare; metodologia completă de evaluare a incertitudinii, stabilită în conformitate cu Ghidul ISO [2], este prezentată în în Raportul comparației [1].

Funcția de modelare

Corecția, C , care trebuie să fie adăugată indicației termometrului de etalonat, poate fi exprimată prin relația

$$C = T_e - T_v + \delta T_1 + \delta T_2 + \delta T_3 + \delta T_4 + \delta T_5 + \delta T_6 + \delta T_7$$

în care se iau în considerare următoarele contribuții la incertitudinea standard compusă:

4 Valorile de referință

TSM utilizat ca suport al comparării a fost etalonat inițial la INM și a fost transportat între laboratoarele participante conform Schemei de circulație a etalonului (Figura 1). După revenirea la INM, TSM a fost reetalonat, pentru a se evidenția eventualele instabilități ale indicațiilor sale.

La INM, etalonarea s-a efectuat prin comparare directă cu două termometre de referință din sticlă cu mercur, având valoarea diviziunii de 0,01 °C și incertitudinea extinsă de 0,014 °C (pentru $k = 2$).

În Tabelul 2 este prezentat, spre exemplificare, bilanțul incertitudinii de măsurare pentru temperatura de 35 °C.

Tabelul 1 – Valorile de referință

$t_{90}/^{\circ}\text{C}$	Corecție/ $^{\circ}\text{C}$		VR/ $^{\circ}\text{C}$	$u_c/^{\circ}\text{C}$
	Etalonare inițială	Etalonare finală		
35,00	- 0,100	- 0,102	- 0,101	0,011
36,00	- 0,099	- 0,102	- 0,100	0,011
37,00	- 0,097	- 0,108	- 0,102	0,011
38,00	- 0,112	- 0,111	- 0,112	0,011
39,00	- 0,110	- 0,122	- 0,116	0,011
40,00	- 0,098	- 0,099	- 0,099	0,011
41,00	- 0,088	- 0,087	- 0,088	0,011
42,00	- 0,106	- 0,101	- 0,104	0,011
43,00	- 0,100	- 0,102	- 0,101	0,011
44,00	- 0,113	- 0,106	- 0,110	0,011
45,00	- 0,091	- 0,091	- 0,091	0,011

5 Rapoartele de etalonare

La sfârșitul măsurărilor, fiecare laborator participant a transmis LP raportul de etalonare, conținând rezultatele măsurărilor, incertitudinile extinse asociate și bilanșurile incertitudinilor de măsurare. Rezultatele raportate, care sunt corecțiile medii ale indicațiilor TSM la fiecare dintre cele 11 puncte de etalonare, și incertitudinile asociate sunt prezentate în Tabelele 5, 7, 9, 11, 13 și 15 și în Figurile 2, 3, 4, 5, 6 și 7 din Raportul comparației [1]. În Tabelele 6, 8, 10,

12, 14 și 16 din Raport [1] sunt reproduse bilanșurile incertitudinii de măsurare stabilite de laboratoarele participante la temperatura de 35 °C.

6 Gradele de echivalență

Pentru analiza rezultatelor comparației, prin analogie cu comparațiile cheie desfășurate în cadrul Aranjamentului de Recunoștere Mutuală (MRA), au fost introduse două concepte: gradul de echivalență cu valorile de referință și gradele de echivalență bilaterală.

Gradul de echivalență al unui laborator față de valorile de referință a fost utilizat în cadrul BRML.T-C1 în sensul de „gradul de conformitate cu VR” și a fost exprimat cantitativ prin doi termeni: abaterile rezultatelor laboratorului față de VR și incertitudinile extinse asociate acestor abateri (pentru $k = 2$).

Gradul de echivalență a celor șase laboratoare participante la BRML.T-C1 cu VR este reprezentat în cele 11 grafice din Figura 8 a Raportului comparației [1].

Am arătat deja că valoarea de referință, VR, la temperatura t_k , reprezintă media aritmetică C_{LRk} a corecțiilor determinate de LR la începutul și sfârșitul comparației.

Pentru calcularea incertitudinii asociate abaterii, ΔC_{ik} , a corecției determinate de Laboratorul i , C_{Labik} , față de VR la temperatura t_k , LP a luat în considerare și incertitudinile legate de etalonul de transfer

Tabelul 2 - Bilanșul incertitudinii de măsurare la temperatura de 35 °C la INM

Mărimea	Estimația	Incertitudinea standard	Distribuția de probabilitate	Numărul gradelor de libertate	Coefficientul de sensibilitate	Contribuția la incertitudinea standard compusă
X_i	x_i	$u(x_i)$		ν_i	C_i	$u_i(y) = C_i \cdot u(x_i)$
T_e	35,0334 °C	0,7 mK	Normală	17	1	0,7 mK
T_v	35,0792 °C	0,5 mK	Normală	8	-1	-0,5 mK
δT_1	0	1,4 mK	Dreptunghiulară	∞	1	1,4 mK
δT_2	-0,0545 °C	7,0 mK	Normală	∞	1	7,0 mK
δT_3	0	4,3 mK	Dreptunghiulară	∞	1	4,3 mK
δT_4	0	0,1 mK	Normală	∞	1	2,9 mK
δT_5	0	2,9 mK	Dreptunghiulară	∞	1	2,9 mK
δT_6	0	5,8 mK	Dreptunghiulară	∞	1	5,8 mK
δT_8	0	1,4 mK	Dreptunghiulară	∞	1	1,4 mK
C	- 0,100 °C					
Incertitudinea standard compusă						0,011 °C
Numărul efectiv de grade de libertate						683 328
Incertitudinea extinsă						0,022 °C

Astfel, funcția de modelare stabilită este

$$\Delta C_{ik} = C_{LRk} + \delta C_{stabk} \quad (1)$$

unde δC_{stabk} reprezintă corecția diferenței dintre indicațiile termometrului determinate la INM în cursul măsurărilor finale și inițiale, diferență datorată, în principal, instabilității termometrului. S-a estimat că δC_{stabk} este în limitele a $\pm a_{stabk}/2$, unde a_{stabk} este diferența determinată la temperatura t_k . Incertitudinea standard de tip B a acestei distribuții dreptunghiulare este $u(\delta C_{stabk}) = a_{stabk}/(2\sqrt{3})$.

Mărimile de intrare C_{Labik} ($i = 2, 3, \dots, 7$) și C_{LRk} sunt parțial corelate, toate etaloanele folosite în cadrul comparației fiind trasabile la etalonul național al unității de temperatură. Totuși, pentru a nu complica prea mult calculele, s-a presupus că mărimile C_{Labik} și C_{LRk} sunt necorelate. Incertitudinea standard compusă asociată abaterii ΔC_{ik} s-a calculat atunci pe baza legii de propagare a incertitudinii pentru mărimi de intrare necorelate:

$$u_c(\Delta C_{ik}) = [u^2(C_{Labik}) + u^2(C_{LRk}) + u^2(\delta C_{stabk})]^{1/2}$$

Gradul de echivalență bilaterală a unei perechi de laboratoare a fost utilizat în cadrul BRML.T-C1 în sensul de „grad de coerență între etalonările efectuate de cele două laboratoare”. Gradul de echivalență bilaterală este exprimat prin diferența abaterilor lor față de VR și prin incertitudinea extinsă (pentru $k=2$) asociată acestei diferențe.

Diferențele dintre corecțiile determinate de oricare două laboratoare în cadrul comparației BRML.T-C1 precum și incertitudinile asociate acestor diferențe sunt înscrise în Tabelele 17-31 din Raportul comparației [1].

Pentru calcularea incertitudinii asociate diferenței dintre rezultatele obținute de laboratoarele i și j la temperatura t_k , ΔC_{ijk} , LP a stabilit funcția de modelare

$$\Delta C_{ijk} = C_{Labik} - C_{Labjk} \quad (2)$$

Presupunând că mărimile de intrare sunt necorelate și aplicând legea de propagare a incertitudinii, incertitudinea standard compusă asociată diferenței ΔC_{ijk} a fost calculată astfel:

$$u_c(\Delta C_{ijk}) = [u^2(C_{Labik}) + u^2(C_{Labjk})]^{1/2}$$

Diferențele ΔC_{ijk} și incertitudinile extinse asociate sunt reprezentate în cele 66 de grafice din Figurile 9-19 ale Raportului comparației [1].

Cea mai completă sinteză a rezultatelor comparației o reprezintă *matricea de echivalență cu VR și de echivalență bilaterală* prezentată în Tabelele 3.1-3.11, pentru fiecare punct de etalonare. În aceste tabele, numerele înscrise în celule reprezintă diferența dintre corecțiile determinate de fiecare pereche de laboratoare (Coloană – Rând), inclusiv LR, și incertitudinea extinsă $U(k=2)$ asociată diferenței.

7 Analiza rezultatelor

Pentru o interpretare cât mai obiectivă a rezultatelor comparației, am determinat, pentru fiecare laborator participant, **indicele de valoare** [4] la temperatura t_k , E_{ik} , unde $i = 2, 3, 4, 5, 6$ și 7 , exprimat prin relația:

$$E_{ik} = \frac{C_{Labik} - C_{LRk}}{U(\Delta C_{ik})} \quad (3)$$

unde $U(\Delta C_{ik})$ este incertitudinea extinsă (pentru $k=2$) calculată cu ajutorul funcției de modelare(1).

Un grad satisfăcător de conformitate cu VR este indicat prin valori ale E_{ik} cuprinse în intervalul $[-1, +1]$, caz în care se poate considera că Laboratorul i este capabil să efectueze măsurări cu incertitudinea de măsurare declarată.

Indicii de valoare ai celor 6 laboratoare participante sunt prezentați în Tabelul 4. Celulele închise la culoare marchează indicii de valoare care depășesc limitele -1 și $+1$.

8 Concluzii

Analiza rezultatelor măsurărilor și a indicilor de valoare rezultați ne conduce la următoarele concluzii:

- ◆ Trei dintre laboratoarele participante la BRML.T-C1 satisfac criteriul de acceptare la toate punctele de etalonare, demonstrând un acord satisfăcător cu VR, în limitele incertitudinilor declarate;
- ◆ Valorile $|E_{ik}| > 1$ din Tabelul 4 indică posibilitatea ca unii participanți să fi omis să includă în bilanțurile incertitudinii toate contribuțiile relevante sau să fi subestimat valorile acestor contribuții. Cauze notabile

pentru valori $|E_{ik}| > 1$ ar putea fi cunoașterea inexactă a caracteristicilor băii de comparare sau instabilitatea etalonului folosit. Pentru eliminarea acestor deficiențe se impune o reanalizare a metodologiei de estimare a componentelor incertitudinii sau o nouă caracterizare metrologică a etaloanelor și utilajelor folosite, care este posibil să conducă la necesitatea achiziționării unor echipamente mai performante.

9 Aprecieri finale

Tabelul 3 – Indicii de valoare

$t_{90}/^{\circ}\text{C}$	Laboratorul					
	2	3	4	5	6	7
35,00	1	0	2	0	0	-2
36,00	1	0	2	0	0	-2
37,00	1	0	2	0	0	-2
38,00	1	0	2	0	1	-1
39,00	1	0	2	0	1	-1
40,00	1	0	2	0	1	-1
41,00	1	0	2	0	0	-1
42,00	2	0	2	0	1	-1
43,00	2	0	2	0	1	-1
44,00	1	0	2	0	1	-1
45,00	1	0	2	0	0	-2

Considerăm utilă, în final, formularea unor aprecieri generale privind această comparație:

- ◆ Comparația oferă prima imagine obiectivă, solid fundamentată, a stării de compatibilitate între laboratoarele participante și a uniformității măsurărilor de temperatură în România;
- ◆ Atât la nivel metodologic, cât și din punctul de vedere al participării, proiectul a avut un caracter experimental, pilot;
- ◆ Prin efortul și competența profesionale demonstrate, cele 6 laboratoare care s-au angajat în acest proiect s-au evidențiat și distins în cadrul comunității laboratoarelor BRML. Acest gen de exerciții sunt cele care caracterizează, pe

plan internațional, metrologia modernă și competitivă. Nu numai rezultatele, dar chiar experiența ducerii la bun sfârșit a unor astfel de proiecte colective vor reprezenta - în anii următori din ce în ce mai mult și în România - nota distinctivă a performanței profesionale în metrologie.

BIBLIOGRAFIE

- [1] S. Gaiță, Raport final al comparării interlaboratoare BRML.T-C1, 60 pagini, BRML-DEOA, 2004
- [2] BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML, Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, 1993
- [3] CIPM, Mutual Recognition Arrangement of national measurement standards and of calibration and measurement certificates issued by national metrological institutes, Paris, 1999
- [4] BRML-DEOA, Procedură de Metrologie Legală PML-5-03, Comparări interlaboratoare, rev. 0, 2002

-
- Primit în data de 15 august 2004 ; acceptat în data de 5 septembrie 2004
 - Revizia științifică : CPI fiz. Gheorghe P. Ispășoiu

Sonia GAITĂ

- Absolventă a Universității din București, Facultatea de Fizică, 1980
- Inginer fizician la Institutul Național de Metrologie, 1980
- Doctorand inginerie electrică, Universitatea POLITEHNICA București, 1999
- Cercetător științific gradul II, 2002
- Șef al laboratorului Termometrie, 2002

Anexa I

Tabelul I.1 – Matricea de echivalență la temperatura de 35,00 °C ($\Delta C/^\circ C$ = Coloană – Rând)

	LR		Lab. 2		Lab. 3		Lab. 4		Lab. 5		Lab. 6		Lab. 7	
	$\Delta C/^\circ C$	$U/^\circ C$	$\Delta C/^\circ C$	$U/^\circ C$	$\Delta C/^\circ C$	$U/^\circ C$	$\Delta C/^\circ C$	$U/^\circ C$	$\Delta C/^\circ C$	$U/^\circ C$	$\Delta C/^\circ C$	$U/^\circ C$	$\Delta C/^\circ C$	$U/^\circ C$
LR			0,051	0,047	-0,001	0,046	0,116	0,072	0,001	0,049	0,001	0,026	-0,041	0,024
Lab. 2	-0,051	0,047			-0,052	0,059	0,065	0,080	-0,050	0,061	-0,050	0,044	-0,092	0,043
Lab. 3	0,001	0,046	0,052	0,058			0,117	0,079	0,002	0,042	0,002	0,042	-0,040	0,041
Lab. 4	-0,116	0,072	-0,065	0,080	-0,117	0,079			-0,115	0,081	-0,115	0,069	-0,157	0,069
Lab. 5	-0,001	0,049	0,050	0,061	-0,002	0,059	0,115	0,081			0,00	0,05	-0,042	0,045
Lab. 6	-0,001	0,026	0,050	0,044	-0,002	0,042	0,115	0,069	0,00	0,05			-0,042	0,017
Lab. 7	0,041	0,024	0,092	0,043	0,040	0,041	0,157	0,069	0,042	0,045	0,042	0,017		

Tabelul I.2 - Matricea de echivalență la temperatura de 36,00 °C ($\Delta C/^\circ C$ = Coloană – Rând)

	LR		Lab. 2		Lab. 3		Lab. 4		Lab. 5		Lab. 6		Lab. 7	
	$\Delta C/^\circ C$	$U/^\circ C$	$\Delta C/^\circ C$	$U/^\circ C$	$\Delta C/^\circ C$	$U/^\circ C$	$\Delta C/^\circ C$	$U/^\circ C$	$\Delta C/^\circ C$	$U/^\circ C$	$\Delta C/^\circ C$	$U/^\circ C$	$\Delta C/^\circ C$	$U/^\circ C$
LR			0,047	0,047	-0,004	0,042	0,116	0,072	0,000	0,049	0,010	0,026	-0,054	0,024
Lab. 2	-0,047	0,047			-0,051	0,055	0,069	0,080	-0,047	0,061	-0,037	0,044	-0,101	0,043
Lab. 3	0,004	0,042	0,051	0,055			0,120	0,077	0,004	0,057	0,014	0,039	-0,050	0,037
Lab. 4	-0,116	0,072	-0,069	0,080	-0,120	0,077			-0,116	0,081	-0,106	0,069	-0,170	0,069
Lab. 5	0,000	0,049	0,047	0,061	-0,004	0,057	0,116	0,081			-0,01	0,05	-0,054	0,045
Lab. 6	-0,010	0,026	0,037	0,044	-0,014	0,039	0,106	0,069	-0,01	0,05			-0,064	0,017
Lab. 7	0,054	0,024	0,101	0,043	0,050	0,037	0,170	0,069	0,054	0,045	0,064	0,017		

Tabelul I.3 - Matricea de echivalență la temperatura de 37,00 °C ($\Delta C/^\circ C$ = Coloană – Rând)

	LR		Lab. 2		Lab. 3		Lab. 4		Lab. 5		Lab. 6		Lab. 7	
	$\Delta C/^\circ C$	$U/^\circ C$	$\Delta C/^\circ C$	$U/^\circ C$	$\Delta C/^\circ C$	$U/^\circ C$	$\Delta C/^\circ C$	$U/^\circ C$	$\Delta C/^\circ C$	$U/^\circ C$	$\Delta C/^\circ C$	$U/^\circ C$	$\Delta C/^\circ C$	$U/^\circ C$
LR			0,054	0,048	0,000	0,044	0,120	0,072	0,002	0,050	0,012	0,027	-0,038	0,025
Lab. 2	-0,054	0,048			-0,054	0,057	0,066	0,080	-0,052	0,061	-0,042	0,044	-0,092	0,043
Lab. 3	0,000	0,044	0,054	0,057			0,120	0,078	0,002	0,058	0,012	0,040	-0,038	0,039
Lab. 4	-0,120	0,072	-0,066	0,080	-0,120	0,078			-0,118	0,081	-0,108	0,069	-0,158	0,069
Lab. 5	-0,002	0,050	0,052	0,061	-0,002	0,058	0,118	0,081			-0,01	0,05	-0,040	0,045
Lab. 6	-0,012	0,027	0,042	0,044	-0,012	0,040	0,108	0,069	-0,01	0,05			-0,050	0,017
Lab. 7	0,038	0,025	0,092	0,043	0,038	0,039	0,158	0,069	0,040	0,045	0,050	0,017		

Tabelul I.4 - Matricea de echivalență la temperatura de 38,00 °C ($\Delta C/^\circ C$ = Coloană – Rând)

	LR		Lab. 2		Lab. 3		Lab. 4		Lab. 5		Lab. 6		Lab. 7	
	$\Delta C/^\circ C$	$U/^\circ C$	$\Delta C/^\circ C$	$U/^\circ C$	$\Delta C/^\circ C$	$U/^\circ C$	$\Delta C/^\circ C$	$U/^\circ C$	$\Delta C/^\circ C$	$U/^\circ C$	$\Delta C/^\circ C$	$U/^\circ C$	$\Delta C/^\circ C$	$U/^\circ C$
LR			0,051	0,047	-0,002	0,040	0,128	0,072	0,012	0,049	0,022	0,026	-0,032	0,024
Lab. 2	-0,051	0,047			-0,053	0,054	0,077	0,080	-0,039	0,061	-0,029	0,044	-0,083	0,043
Lab. 3	0,002	0,040	0,053	0,054			0,130	0,076	0,014	0,056	0,024	0,037	-0,030	0,035
Lab. 4	-0,128	0,072	-0,077	0,080	-0,130	0,076			-0,116	0,081	-0,106	0,069	-0,160	0,069
Lab. 5	-0,012	0,049	0,039	0,061	-0,014	0,056	0,116	0,081			0,01	0,05	-0,044	0,045
Lab. 6	-0,022	0,026	0,029	0,044	-0,024	0,037	0,106	0,069	-0,01	0,05			-0,054	0,017
Lab. 7	0,032	0,024	0,083	0,043	0,030	0,035	0,160	0,069	0,044	0,045	0,054	0,017		

Tabelul I.5 - Matricea de echivalență la temperatura de 39,00 °C ($\Delta C/^{\circ}C = \text{Coloană} - \text{Rând}$)

	LR		Lab. 2		Lab. 3		Lab. 4		Lab. 5		Lab. 6		Lab. 7	
	$\Delta C/^{\circ}C$	$U/^{\circ}C$	$\Delta C/^{\circ}C$	$U/^{\circ}C$	$\Delta C/^{\circ}C$	$U/^{\circ}C$	$\Delta C/^{\circ}C$	$U/^{\circ}C$	$\Delta C/^{\circ}C$	$U/^{\circ}C$	$\Delta C/^{\circ}C$	$U/^{\circ}C$	$\Delta C/^{\circ}C$	$U/^{\circ}C$
LR			0,032	0,048	-0,004	0,046	0,130	0,072	0,006	0,050	0,016	0,027	-0,026	0,025
Lab. 2	-0,032	0,048			-0,036	0,058	0,098	0,080	-0,026	0,061	-0,016	0,044	-0,058	0,043
Lab. 3	0,004	0,046	0,036	0,058			0,134	0,079	0,010	0,059	0,020	0,042	-0,022	0,041
Lab. 4	-0,130	0,072	-0,098	0,080	-0,134	0,079			-0,124	0,081	-0,114	0,069	-0,156	0,069
Lab. 5	-0,006	0,050	0,026	0,061	-0,010	0,059	0,124	0,081			0,01	0,05	-0,032	0,045
Lab. 6	-0,016	0,027	0,016	0,044	-0,020	0,042	0,114	0,069	-0,01	0,05			-0,042	0,017
Lab. 7	0,026	0,025	0,058	0,043	0,022	0,041	0,156	0,069	0,032	0,045	0,042	0,017		

Tabelul I.6 - Matricea de echivalență la temperatura de 40,00 °C ($\Delta C/^{\circ}C = \text{Coloană} - \text{Rând}$)

	LR		Lab. 2		Lab. 3		Lab. 4		Lab. 5		Lab. 6		Lab. 7	
	$\Delta C/^{\circ}C$	$U/^{\circ}C$	$\Delta C/^{\circ}C$	$U/^{\circ}C$	$\Delta C/^{\circ}C$	$U/^{\circ}C$	$\Delta C/^{\circ}C$	$U/^{\circ}C$	$\Delta C/^{\circ}C$	$U/^{\circ}C$	$\Delta C/^{\circ}C$	$U/^{\circ}C$	$\Delta C/^{\circ}C$	$U/^{\circ}C$
LR			0,064	0,047	-0,002	0,051	0,119	0,072	0,019	0,049	0,019	0,026	-0,026	0,024
Lab. 2	-0,064	0,047			-0,066	0,062	0,055	0,080	-0,045	0,061	-0,045	0,044	-0,090	0,043
Lab. 3	0,002	0,051	0,066	0,062			0,121	0,082	0,021	0,064	0,021	0,048	-0,024	0,047
Lab. 4	-0,119	0,072	-0,055	0,080	-0,121	0,082			0,100	0,081	-0,100	0,069	-0,145	0,069
Lab. 5	-0,019	0,049	0,045	0,061	-0,021	0,064	0,100	0,081			0,00	0,05	-0,045	0,045
Lab. 6	-0,019	0,026	0,045	0,044	-0,021	0,048	0,100	0,069	0,00	0,05			-0,044	0,017
Lab. 7	0,026	0,024	0,090	0,043	0,024	0,047	0,145	0,069	0,045	0,045	0,044	0,017		

Tabelul I.7 - Matricea de echivalență la temperatura de 41,00 °C ($\Delta C/^{\circ}C = \text{Coloană} - \text{Rând}$)

	LR		Lab. 2		Lab. 3		Lab. 4		Lab. 5		Lab. 6		Lab. 7	
	$\Delta C/^{\circ}C$	$U/^{\circ}C$	$\Delta C/^{\circ}C$	$U/^{\circ}C$	$\Delta C/^{\circ}C$	$U/^{\circ}C$	$\Delta C/^{\circ}C$	$U/^{\circ}C$	$\Delta C/^{\circ}C$	$U/^{\circ}C$	$\Delta C/^{\circ}C$	$U/^{\circ}C$	$\Delta C/^{\circ}C$	$U/^{\circ}C$
LR			0,044	0,047	-0,018	0,046	0,108	0,072	-0,002	0,049	0,008	0,026	-0,033	0,024
Lab. 2	-0,044	0,047			-0,062	0,058	0,064	0,080	-0,046	0,061	-0,036	0,044	-0,077	0,043
Lab. 3	0,018	0,046	0,062	0,058			0,126	0,079	0,016	0,059	0,026	0,042	-0,015	0,041
Lab. 4	-0,108	0,072	-0,064	0,080	-0,126	0,079			-0,110	0,081	-0,100	0,069	-0,141	0,069
Lab. 5	0,002	0,049	0,046	0,061	-0,016	0,059	0,110	0,081			0,01	0,05	-0,031	0,045
Lab. 6	-0,008	0,026	0,036	0,044	-0,026	0,042	0,100	0,069	-0,01	0,05			-0,041	0,017
Lab. 7	0,033	0,024	0,077	0,043	0,015	0,041	0,141	0,069	0,031	0,045	0,041	0,017		

Tabelul I.8 - Matricea de echivalență la temperatura de 42,00 °C ($\Delta C/^{\circ}C = \text{Coloană} - \text{Rând}$)

	LR		Lab. 2		Lab. 3		Lab. 4		Lab. 5		Lab. 6		Lab. 7	
	$\Delta C/^{\circ}C$	$U/^{\circ}C$	$\Delta C/^{\circ}C$	$U/^{\circ}C$	$\Delta C/^{\circ}C$	$U/^{\circ}C$	$\Delta C/^{\circ}C$	$U/^{\circ}C$	$\Delta C/^{\circ}C$	$U/^{\circ}C$	$\Delta C/^{\circ}C$	$U/^{\circ}C$	$\Delta C/^{\circ}C$	$U/^{\circ}C$
LR			0,074	0,047	-0,003	0,040	0,124	0,072	0,014	0,049	0,024	0,026	-0,021	0,024
Lab. 2	-0,074	0,047			-0,077	0,054	0,050	0,080	-0,060	0,061	-0,050	0,044	-0,095	0,043
Lab. 3	0,003	0,040	0,077	0,054			0,127	0,076	0,017	0,056	0,027	0,037	-0,018	0,035
Lab. 4	-0,124	0,072	-0,050	0,080	-0,127	0,076			-0,110	0,081	-0,100	0,069	-0,145	0,069
Lab. 5	-0,014	0,049	0,060	0,061	-0,017	0,056	0,110	0,081			0,01	0,05	-0,035	0,045
Lab. 6	-0,024	0,026	0,050	0,044	-0,027	0,037	0,100	0,069	-0,01	0,05			-0,045	0,017
Lab. 7	0,021	0,024	0,095	0,043	0,018	0,035	0,145	0,069	0,035	0,045	0,045	0,017		

Tabelul I.9 - Matricea de echivalență la temperatura de 43,00 °C ($\Delta C/^{\circ}C$ = Coloană – Rând)

	LR		Lab. 2		Lab. 3		Lab. 4		Lab. 5		Lab. 6		Lab. 7	
	$\Delta C/^{\circ}C$	$U/^{\circ}C$	$\Delta C/^{\circ}C$	$U/^{\circ}C$	$\Delta C/^{\circ}C$	$U/^{\circ}C$	$\Delta C/^{\circ}C$	$U/^{\circ}C$	$\Delta C/^{\circ}C$	$U/^{\circ}C$	$\Delta C/^{\circ}C$	$U/^{\circ}C$	$\Delta C/^{\circ}C$	$U/^{\circ}C$
LR			0,074	0,047	-0,006	0,042	0,123	0,072	0,021	0,049	0,021	0,026	-0,020	0,024
Lab. 2	-0,074	0,047			-0,070	0,055	0,049	0,080	-0,053	0,061	-0,053	0,044	-0,094	0,043
Lab. 3	0,006	0,042	0,070	0,055			0,129	0,077	0,027	0,057	0,027	0,039	-0,014	0,037
Lab. 4	-0,123	0,072	-0,049	0,080	-0,129	0,077			-0,102	0,081	-0,102	0,069	-0,143	0,069
Lab. 5	-0,021	0,049	0,053	0,061	-0,027	0,057	0,102	0,081			0,00	0,05	-0,041	0,045
Lab. 6	-0,021	0,026	0,053	0,044	-0,027	0,039	0,102	0,069	0,00	0,05			-0,041	0,017
Lab. 7	0,020	0,024	0,094	0,043	0,014	0,037	0,143	0,069	0,041	0,045	0,041	0,017		

Tabelul I.10 - Matricea de echivalență la temperatura de 44,00 °C ($\Delta C/^{\circ}C$ = Coloană – Rând)

	LR		Lab. 2		Lab. 3		Lab. 4		Lab. 5		Lab. 6		Lab. 7	
	$\Delta C/^{\circ}C$	$U/^{\circ}C$	$\Delta C/^{\circ}C$	$U/^{\circ}C$	$\Delta C/^{\circ}C$	$U/^{\circ}C$	$\Delta C/^{\circ}C$	$U/^{\circ}C$	$\Delta C/^{\circ}C$	$U/^{\circ}C$	$\Delta C/^{\circ}C$	$U/^{\circ}C$	$\Delta C/^{\circ}C$	$U/^{\circ}C$
LR			0,066	0,047	-0,002	0,046	0,133	0,072	0,020	0,049	0,030	0,026	-0,016	0,024
Lab. 2	-0,066	0,047			-0,068	0,058	0,067	0,080	-0,046	0,061	-0,036	0,044	-0,082	0,043
Lab. 3	0,002	0,046	0,068	0,058			0,135	0,079	0,022	0,059	0,032	0,042	-0,014	0,041
Lab. 4	-0,133	0,072	-0,067	0,080	-0,135	0,079			-0,113	0,081	-0,103	0,069	-0,149	0,069
Lab. 5	-0,020	0,049	0,046	0,061	-0,022	0,059	0,113	0,081			0,01	0,05	-0,036	0,045
Lab. 6	-0,030	0,026	0,036	0,044	-0,032	0,042	0,103	0,069	-0,01	0,05			-0,046	0,017
Lab. 7	0,016	0,024	0,082	0,043	0,014	0,041	0,149	0,069	0,036	0,045	0,046	0,017		

Tabelul I.11 - Matricea de echivalență la temperatura de 45,00 °C ($\Delta C/^{\circ}C$ = Coloană – Rând)

	LR		Lab. 2		Lab. 3		Lab. 4		Lab. 5		Lab. 6		Lab. 7	
	$\Delta C/^{\circ}C$	$U/^{\circ}C$	$\Delta C/^{\circ}C$	$U/^{\circ}C$	$\Delta C/^{\circ}C$	$U/^{\circ}C$	$\Delta C/^{\circ}C$	$U/^{\circ}C$	$\Delta C/^{\circ}C$	$U/^{\circ}C$	$\Delta C/^{\circ}C$	$U/^{\circ}C$	$\Delta C/^{\circ}C$	$U/^{\circ}C$
LR			0,049	0,047	-0,010	0,040	0,122	0,072	0,011	0,049	0,011	0,026	-0,036	0,024
Lab. 2	-0,049	0,047			-0,059	0,054	0,073	0,080	-0,038	0,061	-0,038	0,044	-0,085	0,043
Lab. 3	0,010	0,040	0,059	0,054			0,132	0,076	0,021	0,056	0,021	0,037	-0,026	0,035
Lab. 4	-0,122	0,072	-0,073	0,080	-0,132	0,076			-0,111	0,081	-0,111	0,069	-0,158	0,069
Lab. 5	-0,011	0,049	0,038	0,061	-0,021	0,056	0,111	0,081			0,00	0,05	-0,042	0,045
Lab. 6	-0,011	0,026	0,038	0,044	-0,021	0,037	0,111	0,069	0,00	0,05			-0,047	0,017
Lab. 7	0,036	0,024	0,085	0,043	0,026	0,035	0,158	0,069	0,042	0,045	0,047	0,017		

„Trasabilitatea rezultatelor măsurărilor efectuate cu mijloace de măsurare supuse controlului metrologic legal se realizează prin verificări metrologice efectuate de către laboratoare de metrologie în condițiile prezentei ordonanțe. În acest scop se utilizează etaloane trasabile la etaloanele naționale ale României, ale altor țări, sau la etaloane internaționale, după caz.” (Ordonanța Guvernului nr. 20/1992 privind activitatea de metrologie)