

CAPABILITĂȚI DE MĂSURARE A REZISTENȚEI ELECTRICE ÎN CURENT CONTINUU

DC RESISTANCE MEASUREMENT CAPABILITIES

Gelu POPOVICI, Liliana CÎRNEANU, Marciana SIMIONESCU

INSTITUTUL NAȚIONAL DE METROLOGIE
NATIONAL INSTITUTE OF METROLOGY

Rezumat: Pentru a evalua capabilitatea de măsurare a rezistenței electrice în curent continuu a Institutului Național de Metrologie (INM), acesta a realizat, împreună cu Biroul Internațional de Măsuri și Greutăți (BIPM), două comparații bilaterale de rezistențe de 1 Ω și 10 k Ω . Rezultatele, înscrise în rapoartele finale ale comparațiilor, demonstrează capabilități de măsurare superioare celor publicate în Baza de Date a Comparațiilor Cheie (KCDB), anexa C. În concluzie, rezultatele pot susține o îmbunătățire a CMCurilor publicate.

Cuvinte cheie: Baza de Date a Comparațiilor Cheie, CMC, etalon itinerant, etalon de referință, EURAMET, rezistor, punte comparator.

Abstract: In order to evaluate the DC resistance measurement capability of the National Institute of Metrology (INM), the INM and the BIPM has realized two bilateral comparisons of 1 Ω and 10 k Ω resistors. The results filled in the comparisons final reports demonstrate higher measurement capabilities than those published in the Key Comparison Data Base (KCDB,) Annex C. Therefore, the results may support an improvement of the published CMCs.

Key words: Key Comparison Data Base (KCDB), CMC, travelling standard, reference standard, resistor, comparator bridge.

1. INTRODUCERE

În anul 2003, laboratorul Mărimi Electrice din Institutul Național de Metrologie (INM) a declarat la Comitetul Tehnic "Electricitate și Magnetism" din cadrul EUROMET, un set de capabilități de măsurare și etalonare (CMC). Acestea au fost evaluate în 2004 - 2005 de către experți din EUROMET și din organizația regională de metrologie Asia - Pacific (APMP). În final, CMC-urile au fost aprobate de către Comitetul Reunit al Organizațiilor Regionale de Metrologie și BIPM (JCRB) și publicate pe site BIPM, în Baza de Date a Comparațiilor Cheie (KCDB) anexa C, în martie 2006. Sunt 98 CMC-uri pentru mărimile: tensiune electrică în curent continuu, rezistență electrică în curent continuu, curent continuu, impedanță, tensiune electrică în curent alternativ, curent alternativ, putere electrică în curent alternativ.

Capabilitățile de măsurare ale rezistenței electrice în curent continuu, erau susținute, la data declarării, de rezultatele bune obținute la comparația EUROMET PRAQ III, desfășurată în perioada 1997 - 1998 și înregistrată cu nr. 594 [1]. Între timp, în perioada 2005 ÷ 2008, capabilitățile de măsurare în acest domeniu s-au îmbunătățit semnificativ datorită utilizării de echipamente noi achiziționate, precum

1. INTRODUCTION

The Electrical Quantities Laboratory of the National Institute of Metrology (INM) has submitted, in 2003, a first set of Calibration and Measurement Capabilities (CMCs) in the framework of the EUROMET „Electricity and Magnetism” Technical Committee. During 2004 - 2005 these CMCs were reviewed by the EUROMET and the Asia-Pacific (APMP) Regional Metrology Organizations experts. Finally, the CMCs were approved by the Joint Committee of Regional Metrology Organizations and the BIPM (JCRB) and published in the Key Comparison Data Base (KCDB) Annex C in March, 2006. There are 98 CMCs in the following fields: DC voltage, DC resistance, DC current, Impedance, AC voltage, AC current, AC power.

When submitted, the DC resistance measurement capabilities were supported by the results obtained in the No. 594 EUROMET PRAQ III intercomparison [1], carried out between 1997 and 1998. In the meantime, in the period 2005 ÷ 2008, the laboratory's measurement capabilities have significantly improved in the field of DC resistance due to the use of newly acquired measurement equipment as well as the application of new elabo-

și aplicării de metode noi de măsurare. Aceste acțiuni au avut ca rezultat micșorarea incertitudinii de etalonare.

În vederea demonstrării și a obținerii recunoașterii, în cadrul procesului CIPM-MRA, a acestor capacități îmbunătățite, INM și BIPM au realizat două comparații bilaterale de rezistențe de 1 Ω și 10 k Ω . Acestea au fost înregistrate la secretariatul EUROMET în februarie 2006 cu denumirile:

– „Bilateral Comparison of 1 Ω Standards (ongoing BIPM key comparison BIPM.EM-K13.a) between the INM (Romania) and the BIPM” și

– „Bilateral Comparison of 10 k Ω Standards (ongoing BIPM key comparison BIPM.EM-K13.b) between the INM (Romania) and the BIPM”.

2. MOD DE LUCRU

Cele două comparații menționate mai sus au fost realizate în perioada februarie – iulie 2006. Ca etaloane itinerante au fost utilizate două rezistoare de 1 Ω fabricație CSIRO seriile BIV193 și BIV207 și două rezistoare de 10 k Ω seriile B10k07 și B10k11. Etaloanele au fost măsurate la BIPM atât înainte, cât și după măsurările efectuate la INM. Fiecare din cele trei măsurări a durat circa o lună.

La BIPM măsurările au fost efectuate prin comparare cu etaloane de referință de 100 Ω a căror valoare este cunoscută în raport cu etalonul de rezistență cuantică Hall (QHR) al BIPM. Curentul de măsurare a fost 50 mA pentru rezistoarele de 1 Ω și 0,1 mA pentru rezistoarele de 10 k Ω . Ca mijloace de măsurare au fost utilizate un comparator criogenic de curent pentru rezistoarele de 1 Ω și o punte Warshawsky pentru rezistoarele de 10 k Ω .

La INM măsurările etaloanelor itinerante au fost efectuate prin comparare cu etaloane de referință de 1 Ω , respectiv 10 k Ω . Măsurarea rezistoarelor de 1 Ω s-a făcut cu o punte comparator. Pentru măsurarea rezistoarelor de 10 k Ω a fost utilizată metoda căderilor de tensiune, iar ca mijloc de măsurare a fost folosit un voltmetru digital. Etaloanele de referință de 1 Ω și 10 k Ω ale INM sunt menținute raportate la valoarea constantei von Klitzing, RK-90, prin etalonări periodice la BIPM și prin extrapolarea comportării lor în timp. Intensitățile de curent măsurate au fost de asemenea 50 mA pentru rezistoarele de 1 Ω și 0,1 mA pentru rezistoarele de 10 k Ω .

Măsurările au fost efectuate la temperaturi apropiate de temperatura de referință (23 $^{\circ}$ C). Rezultatele măsurărilor etaloanelor itinerante de 1 Ω la INM și la BIPM au fost corectate la 23 $^{\circ}$ C folosind coeficienții de temperatură cunoscuți ai rezistoarelor itinerante și valorile înregistrate ale temperaturii ambiante. Coeficienții de presiune ai rezistoarelor itinerante de 1 Ω sunt neglijabili.

rated measurement methods. As a result, a decrease of the measurement uncertainty, was obtained.

In order to demonstrate these improved capabilities and to obtain their recognition in the framework of the CIPM-MRA process, two comparisons of 1 Ω and 10 k Ω reference standards were carried out between INM and BIPM and were registered by the EUROMET Secretariate with the following titles:

– „Bilateral Comparison of 1 Ω Standards (ongoing BIPM key comparison BIPM.EM-K13.a) between the INM (Romania) and the BIPM” and

– „Bilateral Comparison of 10 k Ω Standards (ongoing BIPM key comparison BIPM.EM-K13.b) between the INM (Romania) and the BIPM”.

2. OPERATION PROCEDURE

The aforementioned comparisons were carried out from February to July 2006. Two 1 Ω resistors serial numbers BIV193 and BIV207 and two 10 k Ω resistors serial numbers B10k07 și B10k11 were used as traveling standards. Both, before and after the measurements at the INM, the standards were measured at the BIPM. All three measurement periods were of approximately one month duration.

The BIPM measurements were carried out by comparison with a 100 Ω reference resistor which value is known with respect to the BIPM quantized Hall resistance (QHR) standard. The current in the resistors during the measurements was 50 mA for 1 Ω resistors and 0,1 mA for 10 k Ω resistors. A current cryogenic comparator for the 1 Ω resistors measurements and a Warshawsky bridge for the 10 k Ω resistors measurements were used.

The INM measurements were carried out by comparison with 1 Ω , respectively 10 k Ω reference standards. A DC comparator bridge for the 1 Ω resistors measurements was used. For the 10 k Ω resistors measurements a potentiometric method employing a digital voltmeter was used. The INM 1 Ω and 10 k Ω reference standards are maintained with respect to R_{K-90} by means of periodic calibrations at the BIPM and by extrapolation of their secular behavior. The measuring current used was also 50 mA for the 1 Ω resistors and 0,1 mA for the 10 k Ω resistors.

Both INM and BIPM measurements were carried out at temperatures close to the reference temperature (23 $^{\circ}$ C). Results of all INM and BIPM 1 Ω traveling standards measurements were corrected to 23 $^{\circ}$ C using the known temperature coefficients of the traveling standards and the recorded values of ambient temperature. The pressure coefficients of the 1 Ω traveling standards are negligible.

Rezultatele măsurărilor rezistoarelor itinerante de 10 k Ω la INM și la BIPM au fost corectate la 23 °C și 1013,25 hPa folosind coeficienții de temperatură și de presiune cunoscuți ai rezistoarelor itinerante și valorile înregistrate ale temperaturii ambiante și presiunii.

Etaloanele de referință ale celor doi participanți sunt în mod evident strâns corelate, deoarece INM își ia trasabilitatea de la BIPM. Pentru a reduce efectul acestei corelări, participanții au convenit efectuarea comparației nu mai devreme de circa un an de la ultima etalonare a etaloanelor de rezistență ale INM la BIPM.

3. PROTOCOLUL COMPARAȚIEI

Protocolul comparației [2], întocmit de BIPM, schițează procedurile tehnice de urmat în cazul comparațiilor bilaterale de rezistoare etalon cu BIPM utilizând rezistoare etalon bobinate ca etaloane itinerante. De asemenea, protocolul conține o serie de recomandări menite să asigure bunul mers al comparațiilor, recomandări urmate întocmai de către laboratorul Mărimi Electrice din INM, astfel:

- etaloanele itinerante au fost transportate cu avionul ca bagaje de mână, cu scopul de a reduce pe cât posibil modificarea valorilor rezistențelor;

- temperatura de referință a fost 23 °C; măsurările au fost efectuate la temperaturi apropiate de temperatura de referință, în intervalul 0,05 °C pentru rezistoarele de 1 Ω și 0,3 °C pentru rezistoarele de 10 k Ω ;

- în timpul măsurărilor, presiunea atmosferică a fost măsurată în laborator, deoarece BIPM aplică adesea corecții datorate variației rezistenței funcție de presiune. Pentru rezistoarele de 1 Ω , imersate în timpul măsurărilor într-o baie de ulei, presiunea măsurată a inclus și presiunea coloanei de ulei existentă deasupra rezistorului, considerând ca suprafață de referință planul suportului care conține bornele de tensiune și de curent;

- au fost utilizați aceleași intensități de curent de măsurare ca la BIPM, adică 50 mA pentru rezistoarele de 1 Ω și 0,1 mA pentru rezistoarele de 10 k Ω ;

- înainte de începerea măsurărilor, etaloanele itinerante au fost menținute în laborator timp de două săptămâni, pentru a reveni la starea dinaintea transportului;

- rezistoarele au fost măsurate de circa trei ori pe săptămână, timp de patru săptămâni;

- rapoartele măsurărilor au fost trimise în termen (șase săptămâni) la BIPM.

Results of all INM and BIPM 10 k Ω travelling standards measurements were corrected to 23 °C and 1013,25 hPa using the known temperature and pressure coefficients of the traveling standards and the recorded values of ambient temperature and pressure.

The reference standards of the two participants are clearly closely correlated, as the INM takes its traceability from the BIPM. To reduce the effect of this correlation, the participants agreed that the comparison should be carried out no sooner than about one year after the last BIPM calibration of the INM resistance standards.

3. COMPARISON PROTOCOL

The comparison protocol [2], issued by BIPM, outlines technical procedures to follow for bilateral comparisons of resistance standards with the BIPM, using conventional wirewound standard resistors as traveling standards. Also, the protocol includes a set of recommendations intended to assure an appropriate process of the comparisons. The Electrical Quantities Laboratory of INM has applied these recommendations as follows:

- the traveling standards were hand-carried to and from the BIPM in order to minimize possible changes in the resistance;

- the reference temperature was 23 °C. The measurements were carried out at temperatures close to the reference temperature, to within 0,05 °C for 1 Ω resistors and 0,3 °C for 10 k Ω resistors;

- the pressure was measured in the laboratory during the measurements, as BIPM often applies a correction for the variation of the resistance as a function of pressure. For the 1 Ω resistors used in an oil bath, the pressure of the head of oil above the resistor, using the top of the insulating plate containing the potential and current terminals as the reference plane, was included;

- the same measurement currents, i.e. 50 mA for 1 Ω resistors and 0,1 mA for 10 k Ω resistors, were used;

- the traveling standards were kept on two weeks in the laboratory of time in order to recover a regular temporal behaviour following transportation;

- the resistors were measured about three times per week for four weeks;

- the measurement reports were sent to the BIPM in term (six weeks).

4. REZULTATE

Rezultatele sunt consemnate în rapoartele finale ale comparațiilor [3] și [4].

4.1. Rezultatele comparației BIPM.EM-K13.a “Comparație bilaterală a etaloanelor de 1 Ω”

Rezultatele comparației sunt prezentate ca diferențe între valorile medii măsurate la INM și valorile calculate pentru aceeași dată la BIPM. Data de referință a comparației este data medie a măsurărilor la INM, 2 mai 2006. Figurile 1 și 2 indică abaterea relativă față de valoarea nominală în funcție de timp pentru rezistențele de 1 Ω.

4. RESULTS

The results are included in final reports of the comparisons [3] and [4].

4.1. Results of the BIPM.EM-K13.a “Bilateral Comparison of 1 Ω Standards”

The results of the comparison are presented as the differences between the mean values measured at INM and the values calculated for the same date from the fitted BIPM data. The reference date of the comparison is thus the mean date of the INM measurements, 2 May 2006. Relative deviation from the nominal value vs time is illustrated in the Figures 1 and 2 for the 1 Ω resistances measured.

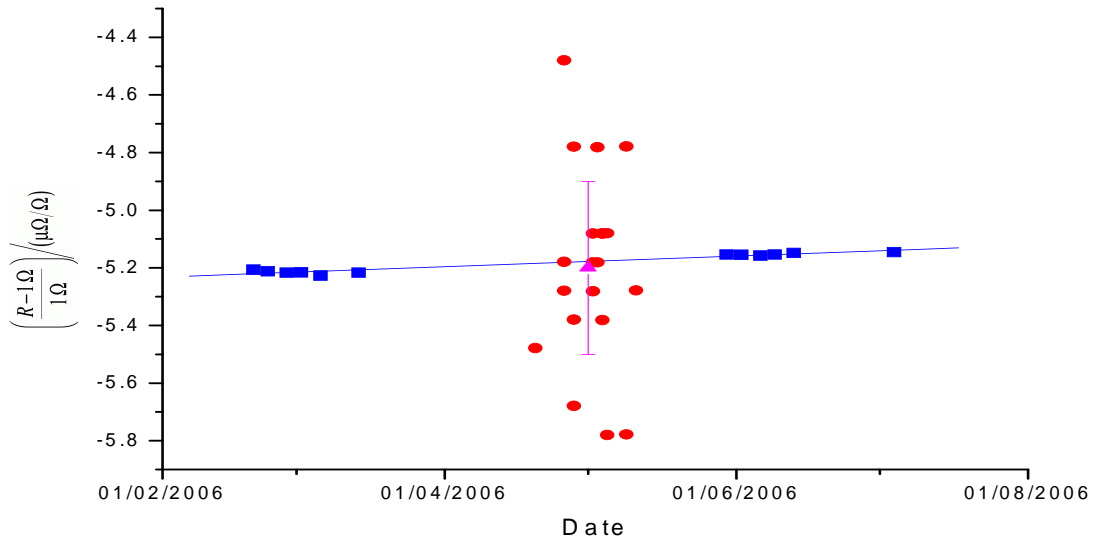


Fig. 1. Variația în timp a abaterii relative față de valoarea nominală de 1 Ω a rezistorului BIV 193.
Fig. 1. Relative deviation from nominal 1 Ω value of resistance of BIV 193 vs. time.

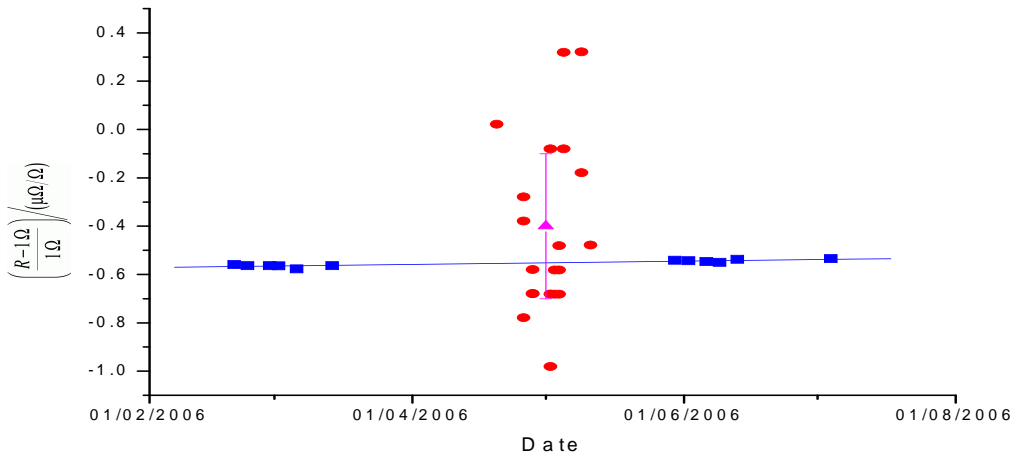


Fig. 2. Variația în timp a abaterii relative față de valoarea nominală de 1 Ω a rezistorului BIV 207.
Fig. 2. Relative deviation from nominal 1 Ω value of resistance of BIV 207 vs. time.

Tabelul 1 prezintă rezultatele comparației și contribuțiile la incertitudine. Sunt prezentate următoarele elemente:

- (1) valoarea medie R_{INM} a fiecărui rezistor măsurat de INM;
- (2) incertitudinea de tip A datorită instabilității rezistoarelor și echipamentului de măsurare, calculată ca incertitudine standard a mediei;
- (3) componenta de tip B a incertitudinii datorită echipamentului de măsurare al INM;
- (4-6) aceleași mărimi corespunzătoare pentru BIPM;
- (7) diferența ($R_{\text{INM}} - R_{\text{BIPM}}$) pentru fiecare rezistor;
- (8) partea evident necorelată a incertitudinii (tip A);
- (9) rezultatul comparării, care este media diferențelor rezultatelor etalonării celor două etaloane;
- (10) incertitudinea standard a acestei diferențe medii (incluzând componentele de tip A și tip B ale ambelor laboratoare).

Table 1 summarizes the results for the comparison and the uncertainty contributions. The following elements are listed:

- (1) the mean resistance value R_{INM} of each resistor measured by the INM;
- (2) the Type A uncertainty due to the instability of the resistors and the measuring equipment, computed as the standard uncertainty of the mean value;
- (3) the Type B uncertainty component due to the measuring equipment of the INM;
- (4-6) the corresponding quantities for the BIPM;
- (7) the difference ($R_{\text{INM}} - R_{\text{BIPM}}$) for each resistor;
- (8) the clearly uncorrelated (Type A) part of the uncertainty;
- (9) the result of the comparison, which is the mean of the differences of the calibration results for the two standards;
- (10) the standard uncertainty on this mean difference (including type A and type B components from both laboratories).

Tabelul 1. Rezultatele comparației bilaterale INM/BIPM a rezistoarelor de 1 Ω ; la data medie a măsurărilor convenită

Table 1. Results of the INM/BIPM bilateral comparison of 1 Ω standards at the mean date of measurements

		BIV193	BIV207
1	INM $(R - 1 \Omega) / \mu\Omega$	-5.2	-0.4
2	type-A uncertainty / $\mu\Omega$	0.08	0.08
3	type-B uncertainty / $\mu\Omega$		0.16
4	BIPM $(R - 1 \Omega) / \mu\Omega$	-5.178	-0.552
5	type-A uncertainty / $\mu\Omega$	0.009	0.007
6	type-B uncertainty / $\mu\Omega$		0.016
7	$(R_{\text{INM}} - R_{\text{BIPM}}) / \mu\Omega$	-0.02	+0.15
8	combined type-A uncertainty / $\mu\Omega$	0.08	0.08
9	Mean difference: $\langle R_{\text{INM}} - R_{\text{BIPM}} \rangle / \mu\Omega$		+0.07
10	Total uncertainty on mean difference / $\mu\Omega$		0.13

Rezistențele măsurate și diferențele din tabelul 1 sunt raportate cu incertitudinile standard absolute asociate (estimare 1σ , în $\mu\Omega$). Rezultatul final al comparației este prezentat ca grad de echivalență între valorile atribuite etaloanelor de 1 Ω la INM și BIPM, D_{INM} , și incertitudinea sa extinsă U_{INM} ($k=2$, nivel de încredere 95%) ambele exprimate în 10^{-8} (unde $1 \times 10^{-8} = 0,01 \mu\Omega$ la o măsurare de 1 Ω):

$$D_{\text{INM}} = (R_{\text{INM}} - R_{\text{BIPM}}) / 1 \Omega = + 7 \times 10^{-8} \quad (1)$$

$$U_{\text{INM}} = 26 \times 10^{-8} \quad (2)$$

4.2. Rezultatele comparației BIPM.EM-K13.b “Comparație bilaterală a etaloanelor de 10 k Ω ”

Rezultatele comparației sunt prezentate ca diferențe între valorile medii măsurate la INM și valorile

The measured resistances and differences in Table 1 are given with their corresponding absolute standard uncertainties (1σ estimates, in $\mu\Omega$). The final result of the comparison is presented as the degree of equivalence between the INM and the BIPM for values assigned to 1 Ω standards, D_{INM} , and its expanded uncertainty, U_{INM} ($k=2$, 95% confidence level) both expressed in 10^{-8} (ie as relative values, where $1 \times 10^{-8} = 0.01 \mu\Omega$ on a measurement of 1 Ω):

$$D_{\text{INM}} = (R_{\text{INM}} - R_{\text{BIPM}}) / 1 \Omega = + 7 \times 10^{-8} \quad (1)$$

$$U_{\text{INM}} = 26 \times 10^{-8} \quad (2)$$

4.2. Results of the BIPM.EM-K13.b “Bilateral Comparison of 10 k Ω Standards”

The results of the comparison are presented as the differences between the mean values measured

calculate pentru aceeași dată la BIPM. Data de referință a comparației este data medie a măsurărilor la INM, 30 aprilie 2006. Figurile 1 și 2 indică abaterea relativă față de valoarea nominală în funcție de timp pentru rezistențele de $10\ \Omega$.

at INM and the values calculated for the same date from the fitted BIPM data. The reference date of the comparison is thus the mean date of the INM measurements, 30 April 2006. Relative deviation from the nominal value vs time is illustrated in the Figures 1 and 2 for the $10\ \Omega$ resistances measured.

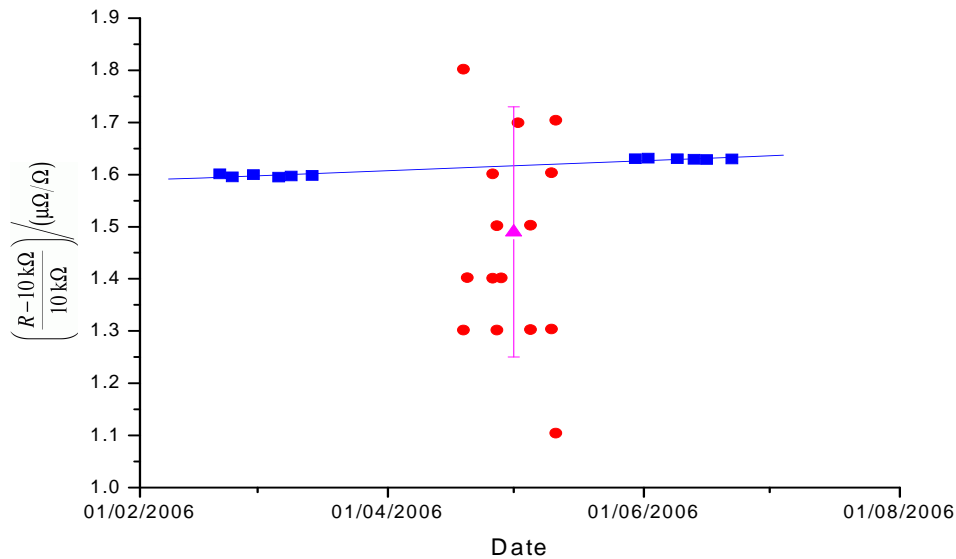


Fig. 3. Variația în timp a abaterii relative față de valoarea nominală de $1\ \Omega$ a rezistorului B10k07

Fig. 3. Relative deviation from nominal $1\ \Omega$ value of resistance of B10k07 vs. time

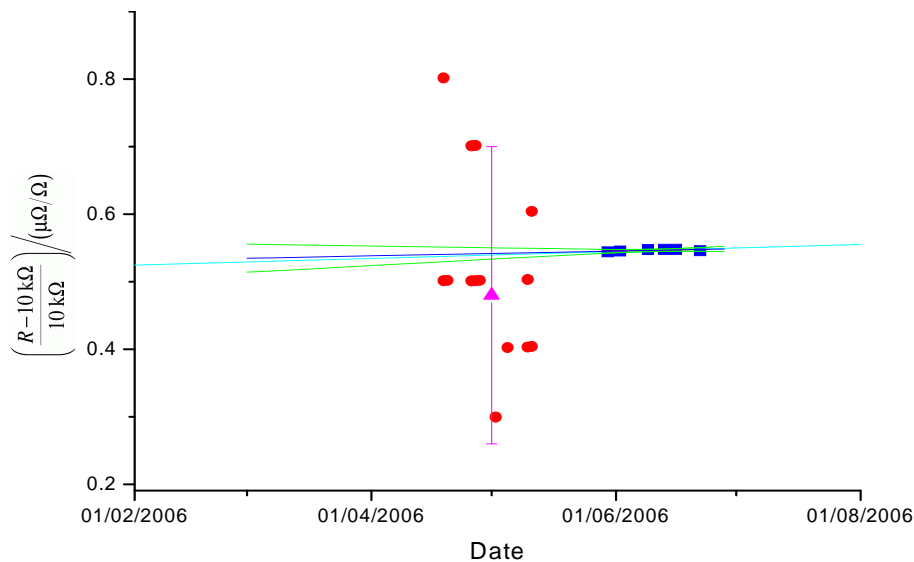


Fig. 4. Variația în timp a abaterii relative față de valoarea nominală de $1\ \Omega$ a rezistorului B10k11

Fig. 4. Relative deviation from nominal $1\ \Omega$ value of resistance of B10k11 vs. time

Tabelul 2 prezintă rezultatele comparării și contribuțiile la incertitudine. Sunt prezentate aceleași elemente ca în tabelul 1, pentru rezistoarele de $10\ \text{k}\Omega$.

Rezistențele măsurate și diferențele din tabelul 2 sunt raportate cu incertitudinile standard absolute asociate (estimare $1\ \sigma$, în $\text{m}\Omega$). Rezultatul final al comparației este prezentat ca grad de echivalență

Table 2 lists the results for the comparison and the uncertainty contributions. The same elements than in Table 1 are listed for the $10\ \text{k}\Omega$ resistors.

The measured resistances and differences in table 2 are given with their corresponding absolute standard uncertainties ($1\ \sigma$ estimates, in $\text{m}\Omega$). The final result of the comparison is presented as the degree of equivalence between the INM and the

între valorile atribuite etaloanelor de 10 kΩ la INM și BIPM, D_{INM} , și incertitudinea sa extinsă U_{INM} ($k=2$, nivel de încredere 95%) ambele exprimate în 10^{-8} (unde $1 \times 10^{-8} = 0,1 \text{ m}\Omega$ la o măsurare de 10 kΩ):

$$D_{\text{INM}} = (R_{\text{INM}} - R_{\text{BIPM}}) / 10 \text{ k}\Omega = -10 \times 10^{-8} \quad (3)$$

$$U_{\text{INM}} = 18 \times 10^{-8} \quad (4)$$

BIPM for values assigned to 10 kΩ standards, D_{INM} , and its expanded uncertainty, U_{INM} ($k=2$, 95% confidence level) both expressed in 10^{-8} (i.e. as relative values, where $1 \times 10^{-8} = 0.1 \text{ m}\Omega$ on a measurement of 10 kΩ):

$$D_{\text{INM}} = (R_{\text{INM}} - R_{\text{BIPM}}) / 10 \text{ k}\Omega = -10 \times 10^{-8} \quad (3)$$

$$U_{\text{INM}} = 18 \times 10^{-8} \quad (4)$$

Tabelul 2. Rezultatele comparației bilaterale INM/BIPM a rezistoarelor de 10 kΩ; la data medie a măsurărilor convenită

Table 2. Results of the INM/BIPM bilateral comparison of 10 kΩ standards; at the mean date of measurements

		B10k07	B10k11
1	INM $(R - 10 \text{ k}\Omega) / \text{m}\Omega$	+14.9	+4.8
2	type-A uncertainty / mΩ	0.3	0.3
3	type-B uncertainty / mΩ		1.1
4	BIPM $(R - 10 \text{ k}\Omega) / \text{m}\Omega$	+16.17	+5.40
5	type-A uncertainty / mΩ	0.04	0.10
6	type-B uncertainty / mΩ		0.15
7	$(R_{\text{INM}} - R_{\text{BIPM}}) / \text{m}\Omega$	-1.3	-0.6
8	combined type-A uncertainty / mΩ	0.3	0.3
9	Mean difference: $\langle R_{\text{INM}} - R_{\text{BIPM}} \rangle / \text{m}\Omega$		-1.0
10	Total uncertainty on mean difference / mΩ		0.9

5. CONCLUZII

Rezultatele comparațiilor sunt foarte bune. Așa cum se poate constata din relațiile (1), (2), (3) și (4), diferența între valorile atribuite etaloanelor itinerante de către cele două laboratoare (INM și BIPM) este mai mică decât incertitudinea extinsă asociată diferenței. Pe de altă parte, incertitudinile de măsurare obținute de INM în aceste comparații sunt mult mai mici decât cele corespunzătoare capabilităților de etalonare și măsurare (CMC) ale INM înscrise în baza de date a comparațiilor cheie a BIPM anexa C. Aceste rezultate ale comparațiilor susțin CMC-urile publicate și demonstrează că o îmbunătățire a acestora este posibilă. Cu alte cuvinte, la finalizarea celor două comparații care fac obiectul acestui articol, INM a demonstrat capabilități de măsurare superioare celor publicate.

6. PERSPECTIVE

Pasul următor, constă în obținerea recunoașterii capabilităților demonstrate, INM declarând la Comitetul Tehnic "Electricitate și Magnetism" din cadrul EURAMET, în octombrie 2008, un nou set de CMC-uri mult îmbunătățite față de cele deja existente în baza de date a BIPM. În acest moment, acestea sunt în curs de evaluare și există premisa publicării lor până la sfârșitul anului 2009.

5. CONCLUSIONS

The results of the comparisons are very good. As can be seen in the relations (1), (2), (3) and (4), the difference between the values assigned to the travelling standards by the two laboratories is less than the expanded uncertainty associated with the difference. On the other hand, measurement uncertainties obtained by INM in those comparisons are much smaller than the corresponding calibration and measurement capabilities (CMC) of INM included in the key comparisons database of the BIPM Annex C. These results support the published CMCs and show that their improvement is possible. In other words, the completion of the two comparisons that are subject of this article, show that INM has proved capabilities at a superior level than those initially published.

6. EXPECTATIONS

The next step consists of obtaining the recognition of our proven capabilities. For this, in October 2008, INM has submitted at the EURAMET „Electricity and Magnetism” Technical Committee, a new set of improved CMCs. Presently, they are under evaluation and their publication are expected to be by the end of 2009.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Liefrink, F., *PRAQ III project „WP1:Q111 – Inter-comparison of Electrical Measurements”*. Final Report, 24 April 2008;
- [2] BIPM, *PROTOCOL FOR BIPM KEY COMPARISONS IN ELECTRICITY: COMPARISONS OF ELECTRICAL RESISTANCE STANDARDS USING 1 Ω AND 10 k Ω RESISTORS AS TRAVELLING STANDARDS (BIPM.EM-K13.A AND B)*;
- [3] G. Popovici, L. Cirneanu, M. Simionescu, A. Jaouen, F. Delahaye, N. Fletcher, T.J. Witt, *Bilateral Comparison of 1 Ω Standards (ongoing BIPM key comparison BIPM.EM-K13.a) between the INM (Romania) and the BIPM, May 2006*, final report, Rapport BIPM-2006/11;
- [4] G. Popovici, L. Cirneanu, M. Simionescu, A. Jaouen, F. Delahaye, N. Fletcher, T.J. Witt, *Bilateral Comparison of 10 k Ω Standards (ongoing BIPM key comparison BIPM.EM-K13.b) between the INM (Romania) and the BIPM, April 2006*, final report, Rapport BIPM-2006/12.

Revizia științifică:

Dragoș BOICIUC, Cercetător Științific I, doctor inginer, Director al Institutului Național de Metrologie, e-mail dragoș.boiciuc@inm.ro

Despre autori:

Gelu POPOVICI, Cercetător Științific II, șef laborator Mărimi Electrice la Institutul Național de Metrologie, e-mail gelu.popovici@inm.ro

Liliana CÎRNEANU, Cercetător Științific III la Institutul Național de Metrologie, e-mail liliana.cirneanu@inm.ro

Marciana SIMIONESCU, Cercetător Științific III la Institutul Național de Metrologie, e-mail marciana.simionescu@inm.ro

REFERENCES

- [1] Liefrink, F., *PRAQ III project „WP1:Q111 – Inter-comparison of Electrical Measurements”*. Final Report, 24 April 2008;
- [2] BIPM, *PROTOCOL FOR BIPM KEY COMPARISONS IN ELECTRICITY: COMPARISONS OF ELECTRICAL RESISTANCE STANDARDS USING 1 Ω AND 10 k Ω RESISTORS AS TRAVELLING STANDARDS (BIPM.EM-K13.A AND B)*;
- [3] G. Popovici, L. Cirneanu, M. Simionescu, A. Jaouen, F. Delahaye, N. Fletcher, T.J. Witt, *Bilateral Comparison of 1 Ω Standards (ongoing BIPM key comparison BIPM.EM-K13.a) between the INM (Romania) and the BIPM, May 2006*, final report, Rapport BIPM-2006/11;
- [4] G. Popovici, L. Cirneanu, M. Simionescu, A. Jaouen, F. Delahaye, N. Fletcher, T.J. Witt, *Bilateral Comparison of 10 k Ω Standards (ongoing BIPM key comparison BIPM.EM-K13.b) between the INM (Romania) and the BIPM, April 2006*, final report, Rapport BIPM-2006/12.

Scientific revue:

Dragoș BOICIUC, Scientific Researcher I, doctor engineer, Director of the National Institute of Metrology, e-mail dragoș.boiciuc@inm.ro

About the authors:

Gelu POPOVICI, Scientific Researcher II, Head of the Electricity laboratory at the National Institute of Metrology, e-mail gelu.popovici@inm.ro

Liliana CÎRNEANU, Scientific Researcher III at the National Institute of Metrology, e-mail liliana.cirneanu@inm.ro

Marciana SIMIONESCU, Scientific Researcher III at the National Institute of Metrology, e-mail marciana.simionescu@inm.ro