

COMPARĂRI INTERLABORATOARE ORGANIZATE DE BRML: ETALONAREA MAȘINILOR STATICE MONOAXIALE DE ÎNCERCAT MATERIALE

INTERLABORATORY COMPARISONS ORGANIZED BY BRML: CALIBRATION OF STATIC UNIAXIAL TESTING MACHINES

Adrian GHERASIMOV

BIROUL ROMÂN DE METROLOGIE LEGALĂ –
Laboratorul forțe-durități, Timișoara
ROMANIAN BUREAU OF LEGAL METROLOGY –
Force and Hardness Laboratory, Timișoara

Rezumat. În perioada 2007/2008 a fost organizată de către BRML o comparare interlaboratoare în domeniul etalonării mașinilor statice monoaxiale de încercat materiale la tracțiune, până la 500 kN. Laboratorul forțe-durități Timișoara a fost desemnat ca laborator de referință. O mașină etalon de forță, având domeniul maxim de 1000 kN, a fost utilizată ca etalon de referință. La comparare au participat cinci laboratoare din structura BRML, care efectuează etalonări ale mașinilor de încercat materiale. Fiecare laborator participant a etalonat mașina de forță utilizând propriile proceduri și etaloane. Rezultatele laboratoarelor participante au fost comparate cu cele obținute de laboratorul de referință. În lucrare sunt prezentate principalele rezultate și concluzii ale comparării interlaboratoare.

Cuvinte cheie: comparări interlaboratoare, mașină de încercat materiale.

Abstract. In the period 2007/2008 an interlaboratory comparison in the field of calibration of uniaxial testing machines, in traction mode, maximum limit 500 kN, was organized by BRML. Force and hardness laboratory Timisoara was nominated as reference laboratory. A standard force machine, having the maximum force range of 1000 kN, was utilized as reference standard. Five calibration laboratories, working in the BRML frame, which provide calibrations for testing machines, participated in the interlaboratory comparison. Each participating laboratory calibrated the force machine by using their normal procedure and standards. The calibration results given by the participating laboratories were compared against the results obtained by the reference laboratory. The paper presents the main results and conclusions obtained during the interlaboratory comparison.

Key words: interlaboratory comparisons, testing machine.

1. INTRODUCERE

Una dintre activitățile importante ale organismelor din domeniul metrologiei, atât la nivel european (EURAMET, EUROLAB) cât și național (BRML, ROLAB) este constituită din organizarea unor serii de comparări interlaboratoare, având scopul de a verifica capabilitățile de măsurare și etalonare ale laboratoarelor de metrologie participante, în vederea demonstrării și susținerii competenței acestora.

Urmând aceste necesități, în perioada 2007/2008 BRML a organizat și a asigurat desfășurarea unei comparări interlaboratoare în domeniul etalonării mașinilor statice monoaxiale de încercat materiale, având domeniul maxim de 500 kN, utilizate la tracțiune. Laboratorul de referință desemnat de către BRML a fost Laboratorul forțe-durități Timișoara.

1. INTRODUCTION

One of the important activities carried on by the institutions working in the field of metrology at European (EURAMET, EUROLAB) and National (BRML, ROLAB) level is the organization of a series of interlaboratory comparisons, to verify the measurement and calibration capabilities of the calibration laboratories and to prove their asserted proficiencies.

Treading this needs, in the period 2007/2008 an interlaboratory comparison for calibration of static uniaxial testing machines, having maximum range of 500 kN in traction mode, was organized and carried on by Romanian Bureau of Legal Metrology (BRML). The Force and Hardness Laboratory Timisoara was designated by BRML as the reference laboratory.

Laboratorul forțe-durități Timișoara, funcționează în cadrul BRML, asigurând trasabilitatea măsurărilor de forță la SI, prin intermediul etaloanelor naționale și de referință din domeniul forță pe care le administrează.

La compararea interlaboratoare au participat cinci laboratoare de metrologie din structura BRML care efectuează etalonări ale mașinilor statice monoaxiale de încercat materiale în domeniul vizat: laboratoarele Brasov, București, Cluj-Napoca, Craiova și Oradea.

Compararea interlaboratoare a fost de tip circular.

Pentru compararea interlaboratoare a fost utilizată o mașină etalon de forță dotată cu un traductor de forță tip C1, fabricație INM, având domeniul nominal de 1000 kN, utilizat la tracțiune, etalonat la PTB Germania în luna octombrie 2007.

Etalonul asigură încadrarea în clasa de exactitate 00, în conformitate cu SR EN ISO 376 [1], având caracteristicile metrologice necesare desfășurării corespunzătoare a comparării interlaboratoare în tot domeniul de măsurare.

Toate activitățile desfășurate în cadrul comparării interlaboratoare desfășurate sunt în conformitate cu Procedura de metrologie legală "Comparări interlaboratoare" [2], editată de BRML, care este în concordanță cu ghidurile și practicile internaționale.

2. OBIECTIVE

Compararea interlaboratoare a avut următoarele obiective principale:

- validarea experimentală a diseminării unității de forță în România;
- evaluarea și demonstrarea competenței laboratoarelor participante în domeniul etalonării sistemelor de indicare a forței ale mașinilor statice uniaxiale de încercat materiale;
- susținerea activităților laboratoarelor participante în implementarea sistemelor de management al calității, în special în domeniul validării procedurilor de etalonare și asigurării calității rezultatelor de etalonare.

3. PROCEDURA DE COMPARARE

Pe parcursul desfășurării comparării, fiecărui laborator participant i s-a atribuit un cod de la L2 la L6 (codul L1 a fost atribuit laboratorului de referință).

Raportul final, conținând valorile de referință, rezultatele comunicate de laboratoarele participante, incertitudinile asociate, indicele de valoare și gradele de echivalență cu laboratorul de referință, a fost însoțit de laboratoarele participante și nu este considerat confidențial.

Force and Hardness Laboratory Timisoara, functioning within the frame of BRML, provides the traceability of the force measurements to the national and reference force standards, lied in its management.

A number of five calibration laboratories, working in the frame of BRML and providing calibrations for static uniaxial testing machines in the considered range, participated in the interlaboratory comparison: calibration laboratories from Brasov, București, Cluj-Napoca, Craiova and Oradea.

The interlaboratory comparison was a circular type.

For the interlaboratory comparison a standard force machine having a reference force transducer type C1, produced by INM, nominal range of 1000 kN in traction mode, calibrated in PTB Germany in October 2007 was utilized as reference.

The calibration errors of the mentioned standard are within the 00 accuracy class nominated in accordance with SR EN ISO 376 [1] and consequently this fulfils the necessary metrological requirements to be utilized, in the nominated range, as reference standard for the interlaboratory comparison.

All the activities carried out for interlaboratory comparison described in the paper observed the "Guidelines for Interlaboratory Comparisons" edited by BRML and are in accordance with international standards and procedures [2].

2. OBJECTIVES

The interlaboratory comparison had the following main purposes:

- to give an experimental validation of force dissemination in Romania;
- to evaluate and demonstrate the competence of the participating laboratories in the field of calibration of the force-measuring system of uniaxial testing machines;
- to support the activities of the participating laboratories in order to implement the quality management systems, especially for validation of the calibration procedures and ascertain the quality of the calibration results.

3. THE COMPARISON PROCEDURE

During the comparison, to protect the confidence of the calibration results, the participating laboratories were codified from L2 to L6 (the code L1 was ascribed to the reference laboratory).

The final report contained the reference values, the results communicated by the participating laboratories, the associated uncertainties, the factors of merit and the degrees of equivalence was accepted by the participating laboratories. The final report is not considered confidential.

3.1. Procedura de măsurare

Fiecărui laborator participant i s-a cerut să etaloneze mașina etalon de forță utilizată pentru comparare utilizând etaloanele proprii și procedurile uzuale (în general bazate pe standardul SR EN 7500-1 [3]). Fiecare laborator a trebuit să efectueze măsurări în 10 puncte, distribuite în întreg domeniul de măsurare al mașinii etalon. Au fost alese cinci puncte de măsurare în domeniul de la 50 kN la 100 kN și alte cinci puncte în domeniul de la 100 kN la 500 kN. Incertitudinea de etalonare a fost evaluată în fiecare punct de măsurare și asociată rezultatelor obținute.

Rezultatele Laboratorului forțe-durități Timișoara, nominalizat ca laborator de referință, au fost considerate „valori de referință”. Pentru creșterea exactității valorilor de referință, a fost utilizat la etalonare un traductor de forță tip Z4A, produs de HBM Germania, având clasa de exactitate 00 în conformitate cu SR EN 376, în domeniul de la 50 kN la 500 kN.

Ca valori măsurate au fost luate în considerare, atât de laboratorul pilot cât și de laboratoarele participante, mediile valorilor obținute în trei poziții unghiulare (0° , 120° și 240°) ale etalonului de forță utilizat. În acest mod a fost posibil să fie reduse efectele componentelor parazite (de exemplu, încovoiere, moment de răsucire). Astfel, diferențele între valorile medii obținute de laboratoarele participante și laboratorul de referință pot fi considerate ca datorate, în cea mai mare parte, capacităților de etalonare (tehnice și operaționale) ale fiecărui laborator, cu o contribuție limitată a reproductibilității și stabilității valorilor de referință.

3.2. Evaluarea incertitudinii

Pentru evaluarea incertitudinii, a fost necesar să se ia în considerare incertitudinea propagată din întregul sistem de trasabilitate a măsurării.

Bugetul pentru evaluarea incertitudinii la etalonarea mașinilor statice monoaxiale de încercat materiale (la tracțiune), care a constituit obiectul comparării interlaboratoare, a fost recomandat de laboratorul de referință, fiind în conformitate cu ghidurile și standardele naționale și internaționale [4], [5].

În conformitate cu uzanțele în domeniul măsurărilor de forță, incertitudinea a fost exprimată ca incertitudine relativă.

Pentru evaluarea incertitudinii de etalonare, au fost luate în calcul următoarele componente: incertitudinea asociată valorii de referință, w_{ref} și incertitudinea datorată influenței mașinii etalonate, w_{mas} .

3.1. Measurement procedure

Each laboratory was asked to calibrate the measuring force system of the testing machine nominated as comparison artefact by using their normal procedure (usually based on EN ISO 7500-1 [3]) and their own standards. Each calibration laboratory had to carry out the calibration in 10 points, distributed over the entire range of the force-measuring system of the testing machine. There were five points in the range from 50 kN to 100 kN, and five points in the range from 100 kN to 500 kN. The uncertainties of calibration results had to be evaluated and associated with the force measurements.

The calibration results obtained by the Force and Hardness Laboratory Timisoara, nominated as reference laboratory, were considered “reference values”. In order to increase the accuracy of the reference values, a high precision force transducer type Z4A, produced by HBM Germany, having the accuracy class 00 in accordance with EN ISO 376 in the range from 50 kN to 500 kN was used.

Considering the mean value over three angular positions (0° , 120° and 240°) of the standard transducer utilized for calibration, it was possible to strongly reduce the effects due to parasitic components (i.e. bending, torsion). Thus, the differences between the mean values obtained by the participating laboratories and the mean reference values could be considered mainly, if not exclusively, to be due to the calibration capabilities (technical and operational) of each calibration centre with only a limited contribution of the reproducibility and stability of the reference.

3.2. Uncertainty evaluation

To estimate the uncertainty of the results obtained in the comparison process, it was necessary to take into account the uncertainty propagated from the entire considered traceability system.

The uncertainty budget to evaluate the calibration uncertainty of the uniaxial testing machine (in traction mode) involved in the interlaboratory comparison was recommended by the reference laboratory and carried out in accordance with International Guidelines and Standards [4], [5].

In accordance with the observances in the field of force measurements, the uncertainty was stated as relative uncertainty.

Evaluating uncertainty in calibration of uniaxial testing machine, the following factors were taken into account: the uncertainty associated with the reference value, w_{ref} and the uncertainty due to the influence of the calibrated machine, w_{mas} .

Următorii factori au fost luați în considerare ca valori de intrare pentru estimarea incertitudinii datorate valorii de referință:

a) *Incetitudinea etalonului*, $w_{ref-etal}$. Incertitudinea se obține din certificatul de etalonare al etalonului utilizat, din incertitudinea extinsă menționată $W_{ref-etal}$ împărțită la factorul de extindere k . Pentru acest termen este luată în considerare o distribuție normală de probabilitate.

$$w_{ref-etal} = W_{ref-etal} / k \quad (1)$$

b) *Incetitudinea datorată variației cu temperatura a referinței*, $w_{ref-imp}$. Dacă este cazul, se efectuează corecția valorilor de etalonare obținute, în vederea compensării diferenței dintre temperatura în momentul etalonării etalonului de forță utilizat (menționată în certificatul de etalonare) și temperatura în momentul utilizării acestuia Δt_{cal} .

După aplicarea corecțiilor, influența variației temperaturii pe durata măsurărilor pentru compararea interlaboratoare, se calculează conform ecuației (2).

Distribuția de probabilitate asumată este de tip rectangular, având lărgimea intervalului egală cu Δt_{cal} .

$$w_{ref-imp} = \frac{\alpha \cdot |\Delta t_{cal}|}{2\sqrt{3}} \quad (2)$$

unde α este coeficientul (relativ) de sensibilitate cu temperatura al etalonului, exprimat în % / K.

Deoarece măsurările pentru compararea interlaboratoare au fost efectuate în condițiile de referință ale Laboratorului forțe- durtăți Timișoara, această componentă a incertitudinii a fost neglijată de toate laboratoarele participante.

c) *Incetitudinea datorată instabilității referinței*, $w_{ref-stb}$. O evaluare de tip A a incertitudinii datorată instabilității referinței a fost foarte greu de efectuat, deși au fost disponibile, pentru toate laboratoarele participante, între patru și opt rezultate anterioare ale unor etalonări succesive pentru etaloanele de forță utilizate. Dificultatea a constat din imposibilitatea decelării contribuției instabilității etalonului din suma efectelor altor influențe (de exemplu, repetabilitate, reproductibilitate, reversibilitate, incertitudinea reproducerii forței de referință).

Din acest motiv, a fost preferată o evaluare de tip B a acestei componente a incertitudinii. Valoarea atribuită a fost de 0,01 % (incertitudine relativă), evaluare bazată pe experiența îndelungată a Laboratorului forțe- durtăți Timișoara. Distribuția de probabilitate luată în considerare este de tip rectangular.

Incetitudinea standard compusă asociată valorii de referință este exprimată conform ecuației (3).

$$w_{ref} = \sqrt{w_{ref-etal}^2 + w_{ref-imp}^2 + w_{ref-stb}^2} \quad (3)$$

The contribution of following factors are considered as input values to estimate the uncertainty of the reference value:

a) *The uncertainty of the reference standard*, $w_{ref-etal}$. The uncertainty can be obtained from the calibration certificate of the used standard, and is calculated from the mentioned expanded relative uncertainty $W_{ref-cal}$ divided by the coverage factor k . For this term, a normal probability of distribution is considered.

$$w_{ref-etal} = W_{ref-etal} / k \quad (1)$$

b) *The uncertainty of the reference due to the temperature oscillation*, $w_{ref-imp}$. First, if necessary, the correction of the calibration values with temperature is carried out, in the view to compensate the difference between the temperature during the calibration of the utilized force standard (mentioned in its calibration certificate) and the temperature during the comparison measurements.

Afterwards, the uncertainty of the reference due to the temperature oscillation during the comparison, Δt_{cal} is calculated in accordance with equation (2).

It is assumed that the probability distribution is rectangular, having the width Δt_{cal} .

$$w_{ref-imp} = \frac{\alpha \cdot |\Delta t_{cal}|}{2\sqrt{3}} \quad (2)$$

where α is the temperature sensitivity coefficient (relative) of the standard force transducer, in % / K.

Since the measurements for interlaboratory comparison were performed in the reference conditions of the Force and Hardness Laboratory Timisoara, this term was neglected by all participating laboratories.

c) *The uncertainty due to the instability of the reference*, $w_{ref-stb}$. The A type evaluation of the uncertainty due to the long term instability of the reference was very difficult to perform, even four to eight previous calibration results of every utilized force standard were available. The difficulty consists in the unachievable separation of the instability of the reference from the effects of other influences (i.e. repeatability, reproducibility, reversibility, uncertainty of the reference).

For this reason, a type B evaluation of this term was preferred. The assigned value for the uncertainty due to the long term instability of the reference was 0,01 % (relative uncertainty). The estimation is based on the long experience of the Force and Hardness Laboratory Timisoara in the field of calibrations. The probability distribution is rectangular type.

The combined relative standard uncertainty of the reference value, w_{ref} is given as follows (3):

$$w_{ref} = \sqrt{w_{ref-etal}^2 + w_{ref-imp}^2 + w_{ref-stb}^2} \quad (3)$$

Următorii factori au fost luați în considerare pentru estimarea incertitudinii datorate mașinii etalonate:

d) *Incetitudinea asociată reproductibilității, $w_{mas-rep}$* . Pentru determinarea incertitudinii asociate erorilor de reproductibilitate ale mașinii etalonate a fost aplicată o evaluare de tip A, plecând de la x_i ($i = 1 \dots n$) valori obținute în n măsurări efectuate la etalonare.

Pentru $n \geq 10$ s-a presupus că incertitudinea asociată erorilor de reproductibilitate se bazează pe o distribuție normală și a fost calculată conform ecuației (4).

$$w_{mas-rep} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i - \bar{x}}{\bar{x}} \right)^2} \quad (4)$$

e) *Incetitudinea datorată rezoluției limitate a sistemului de indicare a forței, $w_{mas-rez}$* . Această componentă a fost evaluată presupunând o distribuție rectangulară, în intervalul de variație a_{rez} , determinată conform SR EN ISO 7500-1.

$$w_{mas-rez} = \frac{a_{rez}}{2\sqrt{3}} \quad (5)$$

f) *Incetitudinea datorată derivatei punctului de zero, $w_{mas-zer}$* . Această componentă a fost evaluată presupunând o distribuție rectangulară, având lărgimea intervalului de variație f_0 .

$$f_0 = \max |f_{0,i}| \quad (6)$$

unde $f_{0,i}$ ($i=1 \dots n$) sunt valorile derivelor punctului de zero determinate în n măsurări (valori relative).

$$w_{mas-zer} = \frac{f_0}{2\sqrt{3}} \quad (7)$$

g) *Incetitudinea asociată reversibilității, $w_{mas-rev}$* . Incetitudinea asociată erorilor de reversibilitate ale mașinii etalonate a fost determinată prin asumarea unei distribuții de probabilitate rectangulară în intervalul de variație v , determinat din diferențele v_i ($i=1 \dots n$) dintre valorile obținute la aplicarea forței în mod crescător și descrescător (valori relative), stabilite în n măsurări.

$$v = \max |v_i| \quad (8)$$

Incetitudinea standard asociată reversibilității a fost calculată conform ecuației (9).

$$w_{mas-rev} = \frac{v}{2\sqrt{3}} \quad (9)$$

Incetitudinea standard compusă datorată influenței mașinii etalonate se calculează conform ecuației (10).

$$w_{mas} = \sqrt{w_{mas-rep}^2 + w_{mas-rez}^2 + w_{mas-zer}^2 + w_{mas-rev}^2} \quad (10)$$

The following factors were considered as input quantities for the estimated uncertainty originated in the calibrated testing machine:

d) *The uncertainty due to the reproduceability errors, $w_{mas-rep}$* . The uncertainty due to the reproduceability of the testing machine is evaluated as type A, from the x_i ($i=1 \dots n$) values obtained in n measurements during calibration.

For $n \geq 10$ the uncertainty is evaluated by assuming a normal distribution and is calculated according to equation (4).

$$w_{mas-rep} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i - \bar{x}}{\bar{x}} \right)^2} \quad (4)$$

e) *The uncertainty due to the limited resolution of the force measuring system, $w_{mas-rez}$* . This component is evaluated by assuming a rectangular distribution having width a_{rez} . The relative resolution a_{rez} is determined in accordance with EN ISO 7500-1.

$$w_{mas-rez} = \frac{a_{rez}}{2\sqrt{3}} \quad (5)$$

f) *The uncertainty due to the zero point shift, $w_{mas-zer}$* . This term is evaluated by assuming a rectangular distribution having width f_0 ,

$$f_0 = \max |f_{0,i}| \quad (6)$$

where $f_{0,i}$ ($i=1 \dots n$) are the zero point shifts established in n calibration measurements (relative values).

$$w_{mas-zer} = \frac{f_0}{2\sqrt{3}} \quad (7)$$

g) *The uncertainty due to the hysteresis (reversibility), $w_{mas-rev}$* . The standard relative uncertainty due to the hysteresis is evaluated by assuming a rectangular distribution having the width v , obtained from the differences v_i ($i = 1 \dots n$) between the values at increasing and decreasing forces (relative values), established in n calibration measurements.

$$v = \max |v_i| \quad (8)$$

Standard relative uncertainty due to the hysteresis is calculated according to equation (9).

$$w_{mas-rev} = \frac{v}{2\sqrt{3}} \quad (9)$$

Finally, combined standard uncertainty originated in the testing machine is given as follows (10):

$$w_{mas} = \sqrt{w_{mas-rep}^2 + w_{mas-rez}^2 + w_{mas-zer}^2 + w_{mas-rev}^2} \quad (10)$$

Tabelul 1. Bugetul de incertitudine*Table 1. Uncertainty budget*

Mărimă / <i>Quantity</i>	Distribuție / <i>Distribution</i>	C_s	N	w
Indicație etalon / <i>Reference values</i>	normală / <i>normal</i>	1	∞	$w_{ref-etal}$
Temperatură / <i>Temperature</i>	rectangulară / <i>rectangular</i>	1	∞	$w_{ref-tmp}$
Stabilitate etalon / <i>Reference stability</i>	rectangulară / <i>rectangular</i>	1	∞	$w_{ref-stb}$
Referință / <i>Reference</i>	w_{ref}			
Reproductibilitate / <i>Reproduceability</i>	normală / <i>normal</i>	1	>9	$w_{mas-rep}$
Rezoluție / <i>Resolution</i>	rectangulară / <i>rectangular</i>	1	∞	$w_{mas-rez}$
Deriva de zero / <i>Zero shift</i>	rectangulară / <i>rectangular</i>	1	∞	$w_{mas-zer}$
Reversibilitate / <i>Hysteresis</i>	rectangulară / <i>rectangular</i>	1	>9	$w_{mas-rev}$
Indicațiile mașinii / <i>Machine indications</i>	w_{mas}			
Rezultate etalonare / <i>Calibration results</i>	w_{etal}			
Rezultate etalonare / <i>Calibration results</i>	$w_{etal} = kw_{etal}, k = 2$			

Notății / Notations: C_s = coeficienți de sensibilitate / *sensitivity coefficients*; N = număr de grade de libertate / *number of degrees of freedom*; w = contribuție la incertitudinea standard / *standard relative contribution*.

Incetitudinea standard asociată rezultatelor de etalonare a mașinii, w_{etal} a fost calculată conform ecuației (11).

$$w_{etal} = \sqrt{w_{ref}^2 + w_{mas}^2} \quad (11)$$

Incetitudinea relativă extinsă, luată în considerare la compararea interlaboratoare, se calculează conform ecuației (12):

$$W_{cal} = kw_{etal} \quad (12)$$

unde k este factorul de extindere, stabilit pentru un nivel de încredere de aproximativ 95 %. Deoarece distribuția de probabilitate asumată este una normală, $k = 2$.

În tabelul 1 este redat bugetul de incertitudine utilizat la exprimarea rezultatelor măsurărilor în cadrul comparației interlaboratoare.

4. REZULTATELE COMPARĂRII

4.1. Valori de referință

În tabelul 2 sunt redate valorile de referință și valorile măsurărilor repetate obținute de Laboratorul forțe-durități Timișoara, la compararea interlaboratoare.

Măsurările repetate au fost utilizate pentru validarea rezultatelor intercomparării, în conformitate cu procedura utilizată.

Pe baza rezultatelor obținute la măsurările repetate, rezultatele intercomparării au fost validate având în vedere că, pentru fiecare punct de măsurare, intersecția intervalelor definite de valorile de referință și incertitudinile asociate și valorile măsurărilor repetate și incertitudinile asociate a fost diferită de mulțimea vidă.

Standard uncertainty associated with the calibration results of the testing machine, w_{etal} is calculated according to equation (11)

$$w_{etal} = \sqrt{w_{ref}^2 + w_{mas}^2} \quad (11)$$

The expanded uncertainty of the calibration results obtained in the interlaboratory comparison process is calculated as follows:

$$W_{cal} = kw_{etal} \quad (12)$$

where k is the coverage factor, established for a confidence level of approximately 95 %. Thus for a normal distribution of the output quantity, $k = 2$.

In Table 1 the general uncertainty budget based on measurements results in calibration of the testing machine is given.

4. COMPARISON RESULTS

4.1. Reference values

In Table 2 the reference values of the interlaboratory comparison, obtained by the Force Laboratory Timisoara as well as repeated values are presented.

The repeated measuring values are obtained by the reference laboratory after the completion of the interlaboratory comparison, in order to validate the initial measurements.

On the grounds of small differences between initial and repeated measurements and their associated uncertainties, the interlaboratory comparison results were validated.

Tabelul 2. Valori de referință*Table 2. Reference values*

Puncte de măsurare <i>Measuring points</i> [kN]	Valori de referință <i>Reference values</i> [kN]	W_{cal} [%]	Măsurări repetate <i>Repeated values</i> [kN]	W_{cal} [%]
50	46,3	0,18	46,3	0,20
60	55,6	0,18	55,7	0,20
70	65,0	0,16	65,1	0,18
80	74,4	0,15	74,4	0,15
90	83,9	0,11	83,9	0,12
100	93,7	0,07	93,3	0,10
200	187,3	0,05	187,3	0,07
300	281,6	0,04	281,7	0,05
400	376,2	0,03	376,3	0,04
500	470,3	0,03	470,4	0,03

4.2. Valori obținute de laboratoarele participante

Rezultatele măsurărilor efectuate, inclusiv estimarea incertitudinilor asociate, însoțite de alte informații solicitate de laboratorul de referință, au fost raportate de laboratoarele participante în forma stabilită în instrucțiunile de comparare, în cadrul unui interval de două săptămâni de la finalizarea măsurărilor. Rezultatele obținute de laboratoarele participante la compararea interlaboratoare sunt redată în tabelul 3.

În Tabelul 4 sunt redată incertitudinile extinse calculate și raportate de laboratoarele participante, pentru fiecare punct de măsurare, conform instrucțiunilor de prezentare a rezultatelor comparării interlaboratoare

Tabelul 3. Rezultatele laboratoarelor participante*Table 3. Calibration results*

Puncte de măsurare <i>Measuring points</i> [kN]	L2 [kN]	L3 [kN]	L4 [kN]	L5 [kN]	L6 [kN]
50	45,7	46,2	46,3	46,1	46,7
60	55,3	55,4	55,6	55,3	55,9
70	64,6	64,8	65,1	64,7	65,3
80	74,0	74,1	74,7	74,0	74,7
90	83,5	83,7	84,2	83,6	84,1
100	92,8	92,9	93,7	93,0	93,6
200	186,9	186,8	187,0	186,6	187,8
300	281,8	280,8	282,2	280,6	282,2
400	376,3	375,9	376,9	375,4	376,9
500	470,1	470,0	471,1	469,6	470,5

4.3. Analiza rezultatelor comparării

Rezultatele obținute la compararea interlaboratoare evidențiază o diferență mică între rezultatele măsurărilor laboratoarelor participante și cele efectuate de către laboratorul de referință. Aceasta demonstrează, în general, o corectă și stabilă activitate de transmitere a unității de forță.

4.2. Results obtained by participating laboratories

The participating laboratories reported to the reference laboratory the comparison results, including the associated uncertainties within two weeks after the measurements were completed.

In Table 3 the results obtained by the five calibration laboratories involved in the comparison are given.

Table 4 contains the extended relative uncertainties calculated by the five calibration laboratories for each measuring point, in accordance with the interlaboratory comparison instructions.

Tabelul 4. Incertitudini extinse raportate*Table 4. Extended uncertainties reported*

Puncte de măsurare <i>Measuring points</i> kN	L2 [%]	L3 [%]	L4 [%]	L5 [%]	L6 [%]
50	0,79	0,68	0,93	0,78	0,66
60	0,78	0,64	0,92	0,76	0,65
70	0,73	0,59	0,84	0,70	0,58
80	0,65	0,53	0,75	0,60	0,54
90	0,62	0,52	0,65	0,54	0,49
100	0,54	0,51	0,58	0,45	0,45
200	0,35	0,42	0,37	0,43	0,40
300	0,24	0,32	0,35	0,40	0,29
400	0,17	0,15	0,25	0,27	0,27
500	0,17	0,09	0,31	0,21	0,17

4.3. Results of the comparison and analysis

The results of the calibration of the uniaxial testing machine shows a low deviation between the results obtained by the different participating laboratories and the reference laboratory. Such generally proves an accurate and stable dissemination of the force unit.

Rezultatele comparării interlaboratoare au fost evaluate utilizând indicii de valoare E_n , calculați pentru fiecare punct de măsurare (13).

$$E_n = \frac{x_{lab} - x_{ref}}{\sqrt{W_{lab}^2 + W_{ref}^2}} \quad (13)$$

unde:

x_{lab} reprezintă rezultatele obținute la etalonare de către laboratoarele participante;

x_{ref} – rezultatele laboratorului de referință;

W_{lab} – incertitudinea relativă extinsă raportată de către laboratoarele participante;

W_{ref} – incertitudinea relativă extinsă asociată valorilor de referință.

Indicii de valoare, calculați și atribuiți laboratoarelor participante pentru fiecare punct de măsurare sunt prezentați în tabelul 5.

Rezultatele de măsurare efectuate de către laboratoarele participante sunt considerate compatibile cu cele ale laboratorului de referință pentru domeniile de măsurare pentru care indicii de valoare se încadrează în intervalul [-1, 1].

Având în vedere cele de mai sus, au fost stabilite domeniile de compatibilitate ale laboratoarelor participante cu laboratorul de referință și capacitățile de măsurare asociate, exprimate ca incertitudini relative extinse, așa cum rezultă din tabelul 6.

The results of the interlaboratory comparison were evaluated using the E_n number, which represent the figure of merit of the participating laboratory, calculated for each measuring point (13).

$$E_n = \frac{x_{lab} - x_{ref}}{\sqrt{W_{lab}^2 + W_{ref}^2}} \quad (13)$$

where:

x_{lab} are the calibration results given by the comparison participating laboratories;

x_{ref} – calibration values certified by reference laboratory;

W_{lab} – expanded relative uncertainty reported by the comparison participating laboratories;

W_{ref} – expanded relative uncertainty of the reference values.

The figures of merit values, calculated and ascribed for each reported calibration result given by participating laboratories are presented in Table 5.

The compatibility of the calibration measurements provided by participating laboratories with the reference laboratory is testified by the setting of the figures of merit in the specified range [-1, 1].

Taking into account the above mentioned considerations, the following ranges for compatibility with the reference laboratory and the acknowledged measurement capabilities of the participating laboratories were settled, as presented in see Table 6.

Tabelul 5. Indici de valoare

Table 5. Figures of merit

Puncte de măsurare Measuring points [kN]	E ₂	E ₃	E ₄	E ₅	E ₆
50	- 1,62	- 0,41	0,08	- 0,59	1,25
60	- 0,68	- 0,55	0,00	- 0,69	0,88
70	- 0,83	- 0,58	0,24	- 0,76	0,77
80	- 0,83	- 0,66	0,47	- 0,88	0,71
90	- 0,76	- 0,45	0,54	- 0,66	0,48
100	- 0,99	- 0,90	0,80	- 0,71	0,71
200	- 0,56	- 0,63	- 0,43	- 0,87	0,67
300	0,30	- 0,88	0,63	- 0,88	0,72
400	0,16	- 0,52	0,73	- 0,77	0,69
500	- 0,25	- 0,71	0,54	- 0,70	0,25

Tabelul 6. Domenii și capacități de măsurare

Table 6. Ranges and measurement capabilities

Cod laborator Laboratory code	Limita inferioară a domeniului Minimum range limit	Limita superioară a domeniului Maximum range limit	Capabilitate de măsurare Measurement capability W
L2	60 kN	500 kN	0,78 %
L3	50 kN	500 kN	0,68 %
L4	50 kN	500 kN	0,93 %
L5	50 kN	500 kN	0,78 %
L6	60 kN	500 kN	0,65 %

Notă: Pentru domenii restrânse, capacitățile de măsurare ale laboratoarelor pot fi superioare celor înscrise în tabelul 6 (v. tabelul 4).

Note: For narrow ranges, the measurement capabilities may be superior (see Table 4).

5. CONCLUZII

În perioada 2007/2008 BRML a organizat o comparare interlaboratoare în domeniul etalonării mașinilor uniaxiale de încercat materiale.

Având în vedere experiența în domeniul considerat, Laboratorul forțe- duriță Timișoara a fost desemnat ca laborator de referință. Mijlocul de măsurare utilizat pentru comparare a fost o mașină etalon de forță, având domeniul maxim de 500 kN, utilizată la tracțiune. La comparare au participat cinci laboratoare de metrologie din structura BRML: laboratoarele din Brașov, București, Cluj-Napoca, Craiova și Oradea.

Principalele obiective atinse au fost: demonstrarea capabilităților de măsurare declarate de către laboratoarele participante, utilizarea informațiilor obținute pentru validarea metodelor de etalonare și asigurarea calității rezultatelor de etalonare, obținerea de informații privind diseminarea unității de forță în România. Rezultatele obținute în urma comparării interlaboratoare pot fi utilizate, în continuare, pentru evaluarea competenței laboratoarelor de metrologie participante în domeniul abordat.

Analiza rezultatelor comparării interlaboratoare s-a bazat, în principal, pe analiza indicilor de valoare E_n , calculați pentru fiecare punct de măsurare. Pe baza acestor indici s-au stabilit: gradul de compatibilitate a laboratoarelor participante cu laboratorul de referință, domeniile de compatibilitate și capabilitățile de măsurare ale acestora.

În general, toate laboratoarele participante la comparare au demonstrat compatibilitatea cu laboratorul de referință, având diferite capabilități de măsurare în domeniul analizat. Totuși, două laboratoare au prezentat rezultate inacceptabile în partea inferioară a domeniului de măsurare, de la 50 kN la 60 kN, probabil din cauza alegerii inadecvate a etaloanelor pentru domeniul respectiv.

Cunoștințele dobândite pe parcursul desfășurării comparării interlaboratoare vor putea fi folosite pentru acțiuni similare, dezvoltând domeniul de măsurare și lărgind aria de participare.

BIBLIOGRAFIE

- [1] SR EN ISO 376:2005, „Materiale metalice. Etalonarea instrumentelor de măsurare a forței utilizate pentru verificarea mașinilor la încercări monoaxiale”.
- [2] PML-5-03:2003, Procedură de metrologie legală „Comparări interlaboratoare”, BRML.
- [3] SR EN ISO 7500-1:2005, „Materiale metalice. Verificarea mașinilor la încercări statice monoaxiale. Partea 1: Mașini de încercat la tracțiune/ compresiune. Verificarea și etalonarea sistemului de măsurare a forței”.

5. CONCLUSIONS

In the period 2007/2008 an interlaboratory comparison for the calibration of static uniaxial testing machines was organized by Romanian Bureau of Legal Metrology. Taking account of experience in the field, Force Laboratory Timisoara was appointed as reference laboratory.

The subject of the interlaboratory comparison was the calibration of a uniaxial testing machine having the nominal range of 500 kN, in tension mode.

Five metrological laboratories, performing calibrations in the denominated field and functioning in the frame of BRML participated in the interlaboratory comparison: laboratories from Brasov, Bucuresti, Cluj-Napoca, Craiova and Oradea.

The main aims of the comparison were to confirm the stated measurement capabilities of the participant laboratories, use the achieved information to validate the calibration methods and ascertain the quality of the measurement results and to check the adequate dissemination of force unit in Romania. Further, the obtained results in the interlaboratory comparison may be utilized to assess the proficiency of the calibration laboratories in the denominated field.

The analysis of the interlaboratory comparison results is mainly based on reading the figures of merit E_n calculated for each measuring point. To base on this figures were established: the compatibility degree of the participating laboratories relative to reference laboratory, the compatibility ranges and their measurement capabilities.

Generally, all the participating laboratories demonstrated the compatibility of the force measurements with the reference laboratory in the nominated range. However, there were two laboratories having unacceptable measurement results in the lower part of the force range, from 50 kN to 60 kN, presumably due to the inadequate choice of the force standards utilized for calibration.

The achieved knowledge during the interlaboratory comparison might be utilized to similar activities, enlarging the measurement range and increasing the number of participating laboratories.

REFERENCES

- [1] SR EN ISO 376:2005, “Metallic materials-Calibration of force-proving instruments used for the verification of uniaxial testing machines”
- [2] EA Guide No 3:2002, “Guidelines on Conducting Comparisons”
- [3] EN ISO 7500-1:2005, “Metallic materials. Verification of static uniaxial testing machines. Part 1: Tension/compression testing machines- Verification and calibration of the force- measuring system”

[4] SR ENV 13005:2003, „Ghid pentru exprimarea incertitudinii de măsurare”.

[5] EA-4/02:1999, „Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration”.

[4] SR ENV 13005:2003 “Guide to the expression of uncertainty in measurement”

[5] EA-4/02:1999 “Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration”

Revizia științifică a articolului:

Ion SANDU, doctor inginer, cercetător științific principal II, Șef al Laboratorului Mase al Institutului Național de Metrologie, e-mail: ion.sandu@inm.ro

Despre autor:

Adrian GHERASIMOV, doctor inginer, Profesor asistent la Universitatea „Politehnica” din Timișoara, Șef laborator forțe-durități Timișoara- BRML, e-mail: a.gherasimov@yahoo.com.

Scientific revue

Ion SANDU, doctor engineer, main scientific researcher 2nd degree, Head of Mass and Related Quantities Laboratory at the National Institute of Metrology, e-mail: ion.sandu@inm.ro.

About the author:

Adrian GHERASIMOV, doctor engineer, Head of Force and Hardness Laboratory Timisoara – BRML, Assistant professor, “Politehnica” University Timisoara, e-mail: a.gherasimov@yahoo.com.