

ΔΙΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ ΠΥΡΗΝΙΚΗΣ ΜΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ EURAMET 1175 ΚΑΙ 1177: ΟΡΓΑΝΩΣΗ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΟΦΕΛΗ

ΧΟΥΡΔΑΚΗΣ Κ.Ι., ΜΠΟΖΙΑΡΗ Α., ΚΟΥΜΠΟΥΛΗ Ε.

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΤΟΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ,
Τ.Θ. 60092, 15310 ΑΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΑΤΤΙΚΗΣ.
e-mail συγγραφέα : khour@eeae.gr

Οι διεργαστηριακές συγκρίσεις (intercomparisons, διασυγκρίσεις) είναι η πιο αξιόπιστη μέθοδος για την αξιολόγηση της μετρολογικής ικανότητας των εργαστηρίων μετρολογίας και της ιχνηλασιμότητας των μετρήσεων στα διεθνή πρότυπα. Επιπλέον, οι επίσημα αναγνωρισμένες (από το EURAMET και το BIPM) διασυγκρίσεις υποστηρίζουν τα CMCs (Calibration and Measurements Capabilities - CIPM MRA) των εργαστηρίων. Επιπρόσθετα, οι διασυγκρίσεις αποτελούν βασικό στοιχείο των Συστημάτων Διαχείρισης Ποιότητας (ΣΔΠ) των εργαστηρίων και είναι προϋπόθεση για τη διαπίστευση των εργαστηρίων κατά το πρότυπο IEC/ISO 17025.

Οι διεργαστηριακές συγκρίσεις στην Πυρηνική Μετρολογία σε διεθνές επίπεδο είναι σπάνιες, λόγω της φύσης του αντικειμένου και χρονοβόρες.

Το Εργαστήριο Βαθμονόμησης Οργάνων Ιοντιζουσών Ακτινοβολιών (ΕΒΟΙΑ) της Ελληνικής Επιτροπής Ατομικής Ενέργειας (ΕΕΑΕ) οργάνωσε δύο προγράμματα διασύγκρισης Πυρηνικής Μετρολογίας στα πλαίσια του EURAMET. Τα προγράμματα αυτά εγκρίθηκαν από το BIPM ως key comparisons και αναρτήθηκαν στη KCDB βάση δεδομένων του BIPM. Συγκεκριμένα όργανα-δοσίμετρα διακριβώθηκαν διαδοχικά δια περιφοράς στα συμμετέχοντα εργαστήρια και οι συντελεστές διακρίβωσης συγκρίθηκαν με τις πρότυπες τιμές αναφοράς. Για κάθε εργαστήριο προέκυψε ο βαθμός ισοδυναμίας (degree of equivalence). Και στα δύο προγράμματα το ΕΒΟΙΑ/ΕΕΑΕ-ΕΙΜ ήταν το εργαστήριο διοργανωτής (pilot laboratory), το οποίο είχε την υπευθυνότητα για τον συντονισμό/διαχείριση των προγραμμάτων, τη σύνταξη των πρωτοκόλλων, την διάθεση των οργάνων-δοσιμέτρων – την αρχική διακρίβωση και την παρακολούθηση της σταθερότητάς τους, την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων και τη συγγραφή των σχετικών εκθέσεων.

1. EURAMET 1175 :

Διμερής διεργαστηριακή σύγκριση μεταξύ των εργαστηρίων ΕΒΟΙΑ/ΕΕΑΕ-ΕΙΜ, Ελλάδα και LNE-LNHB, Γαλλία, στο πεδίο της Βραχυθεραπείας με αντικείμενο τη διακρίβωση θαλάμων ιονισμού τύπου «πηγαδιού» για τη μέτρηση του Air Kerma Strength ($\text{mGy h}^{-1} \text{m}^{-2}$).

Ένα δοσίμετρο βραχυθεραπείας HDR με έναν well type ionization chamber Standard Imaging HDR1000 Plus (REF 90008 s/n A080951) και ηλεκτρόμετρο Standard Imaging CDX-2000B (REF 90001 s/n J081235) βαθμονομήθηκαν διαδοχικά από το ΕΒΟΙΑ/ΕΕΑΕ-ΕΙΜ και το LNE-LNHB σε ^{192}Ir reference air kerma rate (RAKR). Οι συντελεστές βαθμονόμησης

Το ΕΒΟΙΑ/ΕΕΑΕ-ΕΙΜ βαθμονόμησε το δοσίμετρο βραχυθεραπείας στο σύστημα βραχυθεραπείας NUCLETRON HDR microSelectron που λειτουργεί στο Νοσοκομείο

«Αλεξάνδρα». Το σύστημα χρησιμοποιεί πηγή ^{192}Ir τύπου microselectron V2, REF 105.002 (DRN 07736, s / n NLF 01 D36C6723, LOT 85077/05) της Mallinckrodt Medical BV.

Για τη βαθμονόμηση το EBOIA/EEAE-EIM εφαρμόζει τη μέθοδο της αντικατάστασης, δηλαδή καθορίστηκε πρώτα το RAKR του ^{192}Ir πηγή από τα όργανα αναφοράς του EBOIA/EEAE-EIM από τη σχέση

$$K_R = Q_{av} \cdot k_{PT} \cdot N_{KR} \cdot k_{rec} \cdot k_{pol} \cdot k_{dec}$$

όπου Q_{av} οι μετρήσεις φορτίου (nC) και τα λοιπά σύμβολα είναι διορθωτικοί παράγοντες οι οποίοι μετρήθηκαν.

Το LNE-LNHB, ως πρότυπο εργαστήριο, χρησιμοποιεί πρότυπες μεθόδους δοσιμετρίας που βασίζονται σε θαλάμους ιονισμού για η μέτρηση του RAKR. Η βαθμονόμηση του δοσιμέτρου βραχυθεραπείας έγινε στο σύστημα HDR Brachytherapy afterloader Nucletron MicroSelectron HDR V2 n°31359, που έχει πηγή ^{192}Ir type Microselectron V2 (reference 105.002, n° NLF01 D36C6313) της Mallinckrodt Medical B.V.

Το αποτέλεσμα της σύγκρισης εκφράστηκε από το λόγο των συντελεστών βαθμονόμησης που λαμβάνονται από το EBOIA / EEAE-EIM και το LNE-LNHB, ως

$$R_{IRCL} = \frac{N_{KR,IRCL}}{N_{KR,LNHB}}$$

Η τιμή R_{IRCL} μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επικύρωση της διαδικασίας βαθμονόμησης που χρησιμοποιείται από το EBOIA / EEAE-EIM για τη διακρίβωση

Ο βαθμό συσχέτισης, Degree Of Equivalence, D_{IRCL} του EBOIA / EEAE-EIM λαμβάνεται από $D_{IRCL} = (R_{IRCL} - 1) \times 100\%$

Η αβεβαιότητα, standard uncertainty, u_R του R_{IRCL} δίνεται από

$$u_R^2 = u_{IRCL}^2 + u_{LNHB}^2 + u_{stab}^2$$

όπου u_{IRCL} και u_{LNHB} οι αβεβαιότητες (combined standard uncertainties) των συντελεστών βαθμονόμησης του EBOIA/EEAE-EIM και του LNE-LNHB αντίστοιχα και u_{stab} η αβεβαιότητα (standard uncertainty) της σταθερότητας του δοσιμέτρου βραχυθεραπείας.

Η αντίστοιχη αβεβαιότητα (standard uncertainty) του D_{IRCL} είναι $u_D = u_R$.

Οι ανηγμένη αβεβαιότητα (expanded uncertainties) σε $k=2$ του R_{IRCL} και D_{IRCL} είναι $U_R = 2 u_R$ and $U_D = 2 u_D$

Τα αποτελέσματα της διασύγκρισης φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Table 1. Measuring conditions applied and measurement results of the transfer well chamber

	IRCL GAEC-EIM	LNE LNHB
Measuring conditions		
Bias voltage	302 V	302 V
Polarity to collecting electrode	positive	positive
Charge collected	negative	negative
Temperature, °C	22.0	19.3-19.4
Pressure, hPa	992.0	997.8-1000.8
¹⁹² Ir RAKR, mGy · h ⁻¹ (1m)	38.5	20.47
Measured quantities		
Point of measurement (distance from bottom), mm ^a	50	50.4 ± 0.15
Leakage current	0.0 nC/min	80 fA
Ion recombination correction factor, <i>k_{rec}</i>	1.0005	1.0005
Polarity correction factor, <i>k_{pol}</i>	1.0004	1.0003
Calibration results		
Calibration coefficient, <i>N_{KR}</i> x 10 ⁻³ mGy · h ⁻¹ (1m) · nC ⁻¹ over 1 min	7.69 ± 0.14	7.648
Uncertainty U of <i>N_{KR}</i> (at k=2)	1.8 %	1.3 %

^a : corresponding to the point of maximum response, as measured.

Ο λόγος των συντελεστών βαθμονόμησης που λαμβάνονται από το EBOIA / EEAE-EIM και το LNE-LNHB, ήταν $R_{IRCL} = 1.006$ και του degree of equivalence $D_{IRCL} = 0.61\%$.

Μετά την ανάλυση των αποτελεσμάτων διαπιστώθηκε ότι το EBOIA / EEAE-EIM είχε υποεκτιμήσει τη μετρούμενη τιμή αναφοράς του ¹⁹²Ir RAKR κατά 0,04%. Ο λόγος ήταν η εφαρμογή του συντελεστή διόρθωσης πολικότητα, *k_{pol}* στις μετρήσεις RAKR με την αναφορά-μεταφορά και θάλαμο, ο οποίος (*k_{pol}* = 0,9996) διέφερε κατά 0.04% από αυτόν που ίσχυε για τη δεδομένη εφαρμογή (*k_{pol}* = 1,000).

Λαμβάνοντας υπόψη τη διόρθωση πολικότητας διαφορά παράγοντας των τελικών τιμών του R_{IRCL} και του DoE έγινε ως $R_{IRCL} = 1,007$ και $D_{IRC} = 0,65\%$

Οι αβεβαιότητες (standard uncertainties) ήταν $u_{IRCL} = 0.92\%$, $u_{LNHB} = 0.65\%$ και $u_{stab} = 0.12\%$. Συνεπώς οι standard uncertainty των R_{IRCL} and D_{IRCL} ήταν $u_R = u_D = 1.2\%$ και η ανηγμένη αβεβαιότητα (expanded uncertainty) $U_R = U_D = 2.4\%$ (*k*=2).

Από την ανάλυση προέκυψε ότι η σύγκριση ήταν επιτυχής και τα αποτελέσματα βαθμονόμησης των δύο εργαστηρίων ήταν σε εξαιρετική συμφωνία.

2. EURAMET 1177:

Ευρωπαϊκή διεργαστηριακή σύγκριση μεταξύ 20 εργαστηρίων στο πεδίο της διαγνωστικής ακτινολογίας, με αντικείμενο τη διακρίβωση δοσιμέτρων και KAP meters για μετρήσεις Air Kerma (mGy) Air Kerma Area product ($\mu\text{Gy m}^2$)

Τα δοσίμετρα (KAP) μέτρα που χρησιμοποιούνται συνήθως για τη δοσιμετρία ασθενών στην επεμβατική ακτινολογία, ακτινσκοπηση, την απλή ακτινογραφία και όλο και περισσότερο σε πανοραμική οδοντιατρική ακτινογραφία.

Τα συμμετέχοντα εργαστήρια είναι :

EURAMET members: CMI (CZ), PTB (DE), SIS (DK), STUK (FI), LNE-LNHB (FR), IRCL/GAEC-EIM (GR), MKEH (HU), IAEA, GR (IS), VSL (NL), NRPA (NO), ITN (PT), IFIN-HH (RO), SSM (SE).

Not EURAMET members: SCK-CEN Belgian Nuclear Research Centre (BE), SURO National Radiation Protection Institute (CZ), UPC Universitat Politècnica de Catalunya (ES), IRP-DOS Istituto di Radioprotezione (IT), NIOM Nofer Institute of Occupational Medicine (PL), VINCA Institute of Nuclear Science, Radiation and Environmental Protection Laboratory (RS)

Δύο KAP δοσίμετρα θα βαθμονομηθούν διαδοχικά από τα συμμετέχοντα εργαστήρια και θα γίνει σύγκριση των συντελεστών βαθμονόμησης και των αντίστοιχων αβεβαιοτήτων.

Δεδομένου ότι η διακρίβωση των δοσιμέτρων KAP εξαρτάται από τον air Kerma και το πεδίο ακτινοβολίας, τα εργαστήρια θα βαθμονομήσουν επίσης και δύο διαγνωστικούς θαλάμους κατάλληλους για τη μέτρηση του air Kerma. Έτσι, θα είναι δυνατή η καλύτερη αξιολόγηση των αποτελεσμάτων και ο διαχωρισμός της επίδρασης διαφορετικών παραγόντων (Air Kerma και πεδίο ακτινοβολίας).

Τα δύο KAP meters (a. IBA KermaX-plus DDP TinO, Model 120-205, s/n 01E01232 with KAP Ionization chamber IBA Model 120-131 TinO, s/n 01A00120 and b. Radcal Patient Dose Calibrator PDC, Radcal Corp, s/n 07 0008, part no 165 00 01) θα βαθμονομηθούν σε P_{KA} (in Gy cm^2 / digit) για προσπίπτουσα και διαπερνώσα ακτινοβολία (incident and/or transmitted radiation) και οι συντελεστές $N_{P_{KA,inc}}$ και $N_{P_{KA,trans}}$ θα υπολογισθούν για κάθε ποιότητα δέσμη ακτίνωνX.

Οι διαγνωστικοί θάλαμοι ιονισμού 9a. Ionization chamber EXRADIN - Standard Imaging MAGNA A650, 3 cc, REF 92650 s/n D082612 and b. Radcal Patient Dose Calibrator PDC, Radcal Corp, s/n 07 0008, part no 165 00 01) θα βαθμονομηθούν σε air kerma, K (in mGy / nC και θα υπολογισθεί ο συντελεστής βαθμονόμησης N_K για κάθε ποιότητα δέσμη ακτίνωνX.

Οι επιλεγθείσες ποιότητες δέσμης είναι

- Reference beam qualities according to IEC 61267 [2]
RQR 3 (50 kV) - RQR 5 (70 kV) - RQR 6 (80 kV) - RQR 8 (100 kV) - RQR 9 (120 kV)
- Non-reference beam qualities :

# series	Tube voltage / kV	Total tube filtration
A	50, 80, 100, 120	3.0 mm Al + 0.1 mm Cu
B	50, 80, 100, 120	4.0 mm Al + 0.2 mm Cu
C	80, 100, 120	1.5 mm Al + 0.9 mm Cu

Το αποτέλεσμα της διασύγκρισης R_{PKA} για το κάθε εργαστήριο θα εκφραστεί ως

$$R_{PKA} = \frac{N_{PKA,Lab-corr}}{N_{PKA}}$$

όπου $N_{PKA,Lab-corr}$ είναι ο συντελεστής βαθμονόμησης του κάθε εργαστηρίου σε μια δεδομένη ποιότητα ακτινοβολίας διορθωμένος για την εξάρτηση από το πεδίο ακτινοβολίας και N_{PKA} ο συντελεστής βαθμονόμησης αναφοράς στην ίδια ποιότητα ακτινοβολίας, που θα προκύψει από τις βαθμονομήσεις στα πρότυπα εργαστήρια PSDLs.

Η αβεβαιότητα του R_{PKA} θα υπολογισθεί από τις αβεβαιότητες (combined standard uncertainties) του συντελεστή βαθμονόμησης από το εργαστήριο, του συντελεστή βαθμονόμησης αναφοράς και της σταθερότητας του κάθε δοσιμέτρου, από τη σχέση

$$u_{R_{PKA}} = \sqrt{u_{N_{PKA,Lab}}^2 + u_{N_{PKA}}^2 + u_{stab}^2}$$

Το πρόγραμμα ξεκίνησε το Μάρτιο 2011 και θα ολοκληρωθεί το Ιούλιο 2012. Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται το πρόγραμμα της διασύγκρισης, το οποίο μέχρι σήμερα τηρείται πιστά.

Τα αποτελέσματα συγκεντρώνονται από το EBOIA/EEAE-EIM και θα παραμείνουν εμπιστευτικά μέχρι την ολοκλήρωση της ανάλυσης των αποτελεσμάτων. Τα αποτελέσματα του EBOIA/EEAE-EIM έχουν αποσταλεί στο BIPM πριν την αποστολή των οργάνων στο 1^ο συμμετέχον εργαστήριο.

Laboratory	Period for calibration	Period for transport	Comments
Pilot laboratory, GAEC, Greece *	28/3-1/4/2011	4-10/4/2011	Initial calibration - 1st
NIOM, Poland	11-15/4/2011	18-24/4/2011	Easter coincident with transport period
UPC, Spain	25-29/4/2011	2-8/5/2011	
STUK, Finland	9-13/5/2011	16-22/5/2011	
GAEC, Greece	23-27/5/2011	30/5-5/6/2011	Re-calibration - 2nd
LNHB, France	6-10/6/2011	13-19/6/2011	
SURO, Czech	20-24/6/2011	27/6-3/7/2011	
CMI, Czech	4-8/7/2011	11-17/7/2011	
GAEC, Greece	18-22/7/2011	25-31/7/2011	Re-calibration - 3rd
SIS, Denmark	1-5/8/2011	8-14/8/2011	
NRPA, Norway	15-19/8/2011	22-28/8/2011	
			Short summer brake
PTB, Germany	12-16/9/2011	19-25/9/2011	
GAEC, Greece	26-30/9/2011	3-9/10/2011	Re-calibration – 4th
SSM, Sweden	10-14/10/2011	17-23/10/2011	
VINCA, Serbia	24-28/10/2011	31/10-6/11/2011	
IFIN, Romania	7-11/11/2011	14-20/11/2011	
GAEC, Greece	21-25/11/2011	28/11-4/12/2011	Re-calibration – 5th
MKEH, Hungary	5-9/12/2011	12-18/12/2011	
GR, Iceland	9-13/1/2012	16/-22/1/2012	
IAEA	23-27/1/2012	30/1-5/2/2012	
GAEC, Greece	6-10/2/2012	13-19/2/2012	Re-calibration – 6th
ITN, Portugal	20-24/2/2012	27/2-4/3/2012	
SCK-CEN, Belgium	5-9/3/2012	12-18/3/2012	
VSL, Netherlands	19-23/3/2012	26/3-1/4/2012	
GAEC, Greece	2-6/4/2012	9-15/4/2012	Re-calibration – 7th
IRP DOS, Italy	16-20/4/2012	23-29/4/2012	
	30/4-4/5/2012	7-13/5/2012	
	14-18/5/2012	21-27/5/2012	
GAEC, Greece	28/5-1/6/2012		Final calibration