

## **Ανάλυση αποτελεσμάτων ασκήσεων μέτρησης τυχαίων δοκιμίων στο Τμήμα Δοσιμετρίας ΕΕΑΕ για το διάστημα 2001-2007.**

**Ε. Παπαδομαρκάκη, Π. Ασκούνης, Φ. Δημητροπούλου, Χ. Κυργιάκου, Ε. Καρίνου, και Β.  
Καμενοπούλου**

**Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας Τ.Θ. 60092 Αγία Παρασκευή 15310 Αττική  
e-mail: eleni@eeae.gr**

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή παρουσιάζονται και αναλύονται τα αποτελέσματα μηνιαίων ασκήσεων μέτρησης τυχαίων δοκιμίων (quality assurance testing) για τα έτη 2001 έως 2007 που πραγματοποιήθηκαν στο Τμήμα Δοσιμετρίας (ΤΔ) της Ελληνικής Επιτροπής Ατομικής Ενέργειας (ΕΕΑΕ). Οι ασκήσεις αυτές πραγματοποιούνται στο πλαίσιο του προγράμματος ποιότητας (Quality Assurance/Quality Control) το οποίο είναι σχεδιασμένο βάσει διεθνών και Ευρωπαϊκών Συστάσεων και Προτύπων και χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση του συστήματος δοσιμέτρησης.

Για τη διεξαγωγή των μηνιαίων ασκήσεων, το υποπρότυπο Εργαστήριο Βαθμονόμησης Οργάνων Ιοντιζουσών Ακτινοβολιών (ΕΒΟΙΑ) της ΕΕΑΕ, ακτινοβολεί τα δοκίμια (δοσίμετρα θερμοφωταύγειας τύπου TLD) σε συγκεκριμένες συνθήκες ακτινοβολήσης, αλλά σε άγνωστες για το προσωπικό του ΤΔ, δόσεις. Στη συνέχεια τα δοκίμια αυτά αναμιγνύονται τυχαία με τα υπόλοιπα δοσίμετρα των εργαζομένων για την ίδια περίοδο χρήσης και ακολουθούν τη διαδικασία που περιγράφεται στο σύστημα ποιότητας του ΤΔ. Η ανάλυση των αποτελεσμάτων αυτών βασίζεται στις *καμπύλες τύπου τρομπέτας* (trumpet curves) οι οποίες περιγράφονται στις συστάσεις της Ευρωπαϊκής Επιτροπής<sup>(6,9)</sup>. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων βρίσκονται μέσα στα προβλεπόμενα όρια και ικανοποιούν τις απαιτήσεις των συστάσεων. Η μέση τιμή του λόγου της μετρούμενης τιμής της ισοδύναμης δόσης προς την πραγματική  $H_p(10)_{\text{measured}} / H_p(10)_{\text{true}}$  είναι 0,96 με τυπική απόκλιση 0,14 (σε 88 μετρήσεις).

*Λέξεις-Κλειδιά: δοσίμετρο θερμοφωταύγειας, ατομικό ισοδύναμο δόσης βάθους  $H_p(10)$ , quality assurance testing, trumpet curves.*

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το Τμήμα Δοσιμετρίας (ΤΔ) της Ελληνικής Επιτροπής Ατομικής Ενέργειας (ΕΕΑΕ) είναι διαπιστευμένο κατά ISO/IEC 17025 από το Εθνικό Συμβούλιο Διαπίστευσης (ΕΣΥΔ) να διενεργεί δοκιμές σε δοσίμετρα θερμοφωταύγειας σώματος και άκρων. Το ΤΔ πραγματοποιεί σε μηνιαία βάση την ατομική δοσιμέτρηση για περίπου 10.500 εργαζόμενους με ιοντίζουσες ακτινοβολίες στην Ελλάδα.

Στόχος της ατομικής δοσιμέτρησης είναι η εκτίμηση του ατομικού ισοδύναμου δόσης βάθους  $H_p(10)$  και  $H_p(0.07)$  και η αξιοποίηση των αποτελεσμάτων για την ακτινοπροστασία των εργαζομένων. Το ατομικό ισοδύναμο δόσης βάθους είναι μια συντηρητική προσέγγιση της ενεργού δόσης, μέγεθος στο οποίο αναφέρονται τα όρια δόσης<sup>(1)</sup>.

Το δοσίμετρο σώματος που χρησιμοποιείται είναι το δοσίμετρο θερμοφωταύγειας (TLD). Η αρχή λειτουργίας του TLD βασίζεται στο φαινόμενο της θερμοφωταύγειας. Το δοσιμετρικό υλικό που χρησιμοποιείται στην ΕΕΑΕ για τον υπολογισμό του ατομικού ισοδύναμου δόσης είναι το φθοριούχο λίθιο με προσμίξεις μαγνησίου και τιτανίου (LiF:Mg,Ti). Το δοσίμετρο σώματος για τις ακτινοβολίες  $\gamma$  ή  $X$  αποτελείται εξωτερικά

από μια διαφανή θήκη· εσωτερικά υπάρχει μια δεύτερη θήκη με τον κωδικό αριθμό του δοσιμέτρου, κατάλληλα φίλτρα και μια ανοικτή οπή· μέσα από τη δεύτερη αυτή θήκη βρίσκονται δύο ανιχνευτές (κρύσταλλοι LiF:Mg,Ti), ένας πίσω από φίλτρο αλουμινίου και ένας πίσω από την ανοικτή οπή.

Ο υπολογισμός της δόσης βασίζεται στη συσχέτιση του σήματος των δοσιμέτρων με το σήμα δοσιμέτρων αναφοράς που έχουν ακτινοβοληθεί στο υποπρότυπο εργαστήριο βαθμονόμησης οργάνων ιοντιζουσών ακτινοβολιών (EBOIA) της ΕΕΑΕ σε γνωστή δόση σε συγκεκριμένες συνθήκες<sup>(5,7)</sup>. Στο EBOIA ανάμεσα στα υποπρότυπα δοσιμετρικά μεγέθη που έχουν αναπτυχθεί είναι το  $H_p(10)$  (Sv) και το  $H_p(0.07)$  (Sv). Για την ανάπτυξη και διατήρηση των υποπρότυπων αυτών δοσιμετρικών μεγεθών χρησιμοποιούνται όργανα αναφοράς μέγιστης ακρίβειας και ποιότητας, τα οποία βαθμονομούνται σε πρότυπα εργαστήρια.

Για τη διατήρηση της ποιότητας και τη συμμόρφωση με τους κανονισμούς και τις διεθνείς συστάσεις, έχουν αναπτυχθεί και εφαρμοστεί διαδικασίες στην καθημερινή ροή της εργασίας του ΤΔ μέσω της καθιέρωσης ενός προγράμματος διασφάλισης ποιότητας και ποιοτικού ελέγχου (QA/QC)<sup>(2)</sup>. Αυτό το πρόγραμμα σχεδιάστηκε σύμφωνα με τα κριτήρια που περιγράφονται σε διεθνείς και ευρωπαϊκούς οργανισμούς όπως στον International Organization for Standardization (ISO)<sup>(3,4,5)</sup>, International Electrotechnical Commission (IEC)<sup>(7)</sup>, στις συστάσεις της European Commission (EC)<sup>(6)</sup> και του International Atomic Energy Agency (IAEA)<sup>(8)</sup> καθώς επίσης και σε εθνικό επίπεδο στον Κανονισμό Ακτινοπροστασίας<sup>(12)</sup>.

## ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΜΕ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΥΧΑΙΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

Ένα σημαντικό και απαραίτητο μέρος για τη διασφάλιση της ποιότητας του συστήματος είναι ο έλεγχος απόδοσης του. Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη συμμετοχή του ΤΔ σε διεργαστηριακές ασκήσεις, ευρωπαϊκές και διεθνείς όταν αυτές ανακοινώνονται καθώς και με μηνιαίες ασκήσεις μέτρησης τυχαίων δοκιμίων. Τα δοσίμετρα-δοκίμια που χρησιμοποιούνται στις μηνιαίες αυτές ασκήσεις (quality assurance testing) αφορούν δοσίμετρα που έχουν συμπεριληφθεί στη διαδικασία του συστήματος δοσιμέτρησης σαν ένας εικονικός εργαζόμενος (dummy customer)<sup>(6)</sup>. Στα πλαίσια της εφαρμογής αυτών των ασκήσεων ελέγχου απόδοσης, το προσωπικό του EBOIA, ακτινοβολεί αυτά τα δοσίμετρα σώματος σε άγνωστες για το προσωπικό του ΤΔ δόσεις, σε συγκεκριμένες συνθήκες ακτινοβολήσης, βάσει του προτύπου ακτινοβολήσης ατομικών δοσιμέτρων<sup>(11)</sup>.

Ο προσδιορισμός της πραγματικής τιμής του  $H_p(10)_{true}$  γίνεται με τη βοήθεια του πρότυπου μεγέθους  $K_{air}$  με βάση τον ποιοτικό έλεγχο του EBOIA χρησιμοποιώντας τον υποπρότυπο θάλαμο του εργαστηρίου και το αντίστοιχο ηλεκτρόμετρο (ιχνηλασιμότητα στο εργαστήριο βαθμονόμησης του Διεθνούς Οργανισμού Ατομικής Ενέργειας, ΔΟΑΕ, Αυστρία) και τους κατάλληλους συντελεστές μετατροπής<sup>(13)</sup>. Η διαδικασία ακτινοβολήσης των ατομικών δοσιμέτρων περιλαμβάνει ακτινοβολήση του δοσιμέτρου πάνω σε κατάλληλο ομοίωμα, προσθήκη κατάλληλου πάχους επιπρόσθεσης και υπολογισμό του χρόνου για την επιθυμητή τιμή της δόσης. Το χρησιμοποιούμενο ομοίωμα είναι ISO slab water phantom, διαστάσεων  $(30 \times 30 \times 15)$  cm<sup>3</sup> με τοιχώματα από PMMA (μπροστινό τοίχωμα: 2,5 mm πάχος, υπόλοιπα τοιχώματα 1 cm πάχος)<sup>(11)</sup>. Η πηγή που χρησιμοποιείται για την ακτινοβολήση είναι <sup>137</sup>Cs (OB6, 760 GBq, 1999).

Στη συνέχεια τα δοκίμια αυτά αναμιγνύονται τυχαία με τα υπόλοιπα δοσίμετρα των εργαζομένων για την ίδια περίοδο χρήσης και ακολουθούν την ίδια διαδικασία μέτρησης η οποία περιγράφεται στο σύστημα ποιότητας του ΤΔ<sup>(2)</sup>. Αφού γίνει η εκτίμηση της  $H_p(10)_{measured}$  το αποτέλεσμα καταχωρείται στο αρχείο των δόσεων. Στο τέλος της

διαδικασίας γνωστοποιείται η  $H_p(10)_{\text{true}}$  στον υπεύθυνο ποιότητας του ΤΔ και υπολογίζεται ο λόγος  $H_p(10)_{\text{measured}} / H_p(10)_{\text{true}}$ . Σε περίπτωση σημαντικών αποκλίσεων του λόγου από τη μονάδα γίνεται διερεύνηση και κινούνται οι απαραίτητες διορθωτικές ενέργειες.

Τα τυχαία σφάλματα (αβεβαιότητα τύπου Α) οφείλονται στην ανομοιογένεια της ευαισθησίας των ανιχνευτών, στη διακύμανση του σήματος υποβάθρου των ανιχνευτών, και στη διακύμανση της ευαισθησίας και του υποβάθρου του μετρητικού συστήματος. Συστηματικά σφάλματα (αβεβαιότητα τύπου Β) εμφανίζονται λόγω ενεργειακής εξάρτησης, γωνιακής εξάρτησης, μη-γραμμικότητας απόκρισης, εξασθένησης της πληροφορίας, επίδρασης του φωτός ή άλλων ακτινοβολιών, μηχανικών κακώσεων των ανιχνευτών, καθώς επίσης από σφάλματα στη βαθμονόμηση και από μεταβολές της ακτινοβολίας του περιβάλλοντος.

Η αποδεκτή αβεβαιότητα, στη μέτρηση των ατομικών δοσιμέτρων πρέπει να είναι μικρότερη από το επίπεδο διερεύνησης (4mSv). Συγκεκριμένα για το σύστημα ατομικής δοσιμέτρησης του ΤΔ της ΕΕΑΕ η αβεβαιότητα έχει υπολογιστεί και είναι 17%. Χρησιμοποιώντας ειδικό αλγόριθμο για τη διόρθωση της ενεργειακής εξάρτησης η αβεβαιότητα μειώνεται στο 12%.

Σύμφωνα με τις ευρωπαϊκές προδιαγραφές<sup>(6)</sup> όταν οι τιμές από τις μετρήσεις για την ισοδύναμη δόση βάθους είναι συγκρίσιμες με το ετήσιο όριο δόσεων (20mSv για την ενεργό ολόσωμη δόση) η αβεβαιότητα δεν πρέπει να υπερβαίνει 1,5 φορές την τιμή αυτή σε 95% επίπεδο εμπιστοσύνης. Για τιμές μικρότερες από 10mSv μια αβεβαιότητα 2 φορές την τιμή αυτή σε 95% επίπεδο εμπιστοσύνης είναι αποδεκτή. Πιο συγκεκριμένα, τα όρια γύρω από τη μετρούμενη  $H_{\text{measured}}$  προς την πραγματική τιμή  $H_{\text{true}}$  δίνονται εμπειρικά<sup>(6,10)</sup> από τις αποκαλούμενες *καμπύλες τύπου τρομπέτας* (trumpet curves) (Εξιιώσεις 1, 2)<sup>(6,10)</sup>:

$$\text{Για το πάνω όριο} \quad H_{\text{upper limit}} = F[1 + H_0 / (2H_0 + H_{\text{true}})] \quad (1)$$

$$\text{Για το κάτω όριο} \quad \begin{aligned} H_{\text{lower limit}} &= 0 && \text{για } H_{\text{true}} < H_0 \\ H_{\text{lower limit}} &= (1/F)[1 - 2H_0 / (H_0 + H_{\text{true}})] && \text{για } H_{\text{true}} \geq H_0 \end{aligned} \quad (2)$$

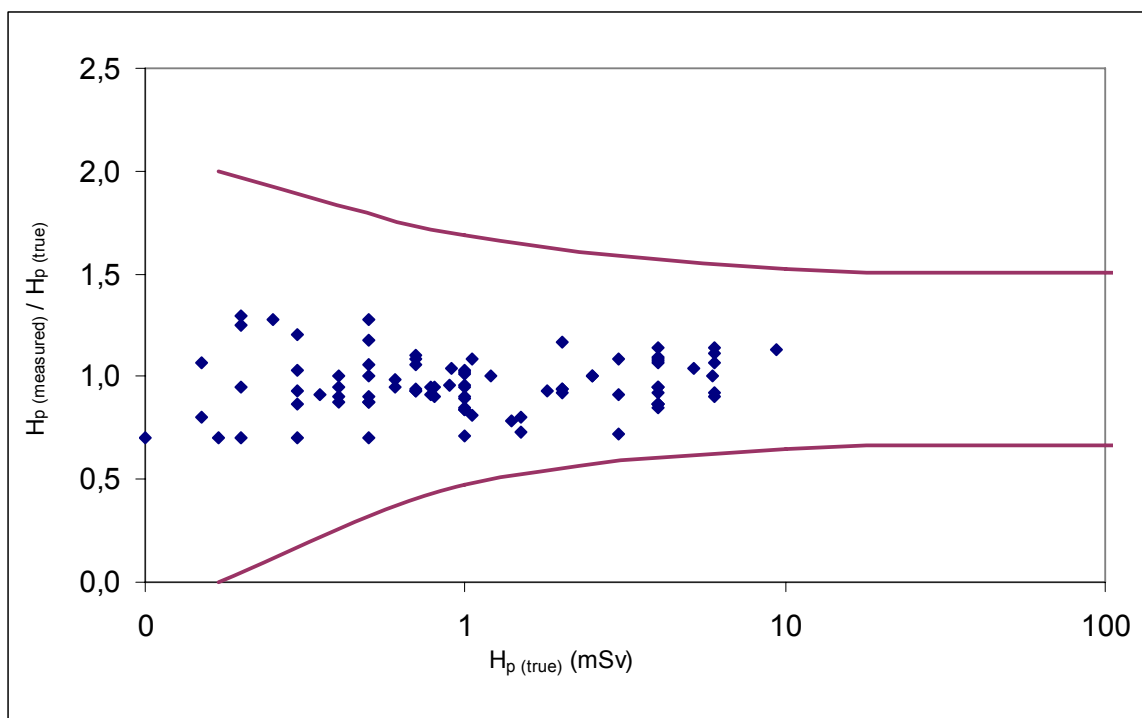
Όπου :

$F = 1,5$  και

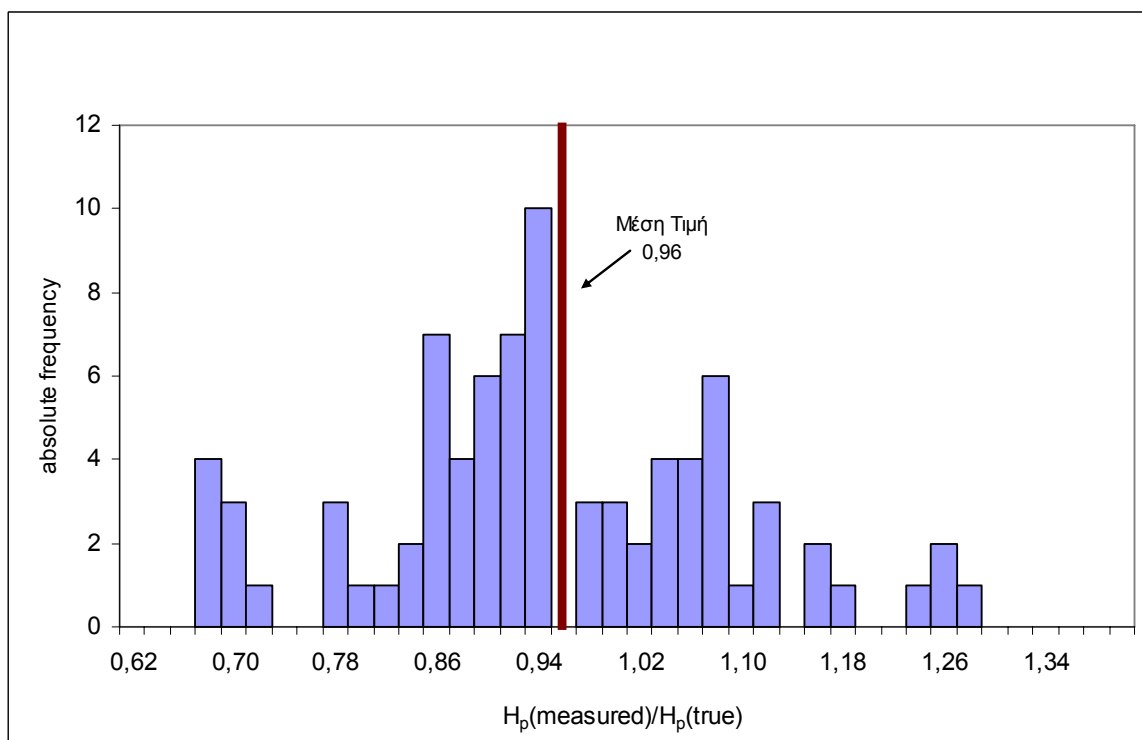
$H_0$  είναι χαμηλότερο όριο που απαιτείται για την μέτρηση, το οποίο ορίζεται 0,17mSv για μηνιαία χρήση του δοσιμέτρου.

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στο σχήμα 1 παραθέτονται τα αποτελέσματα του λόγου  $H_p(10)_{\text{measured}} / H_p(10)_{\text{true}}$  για τα έτη 2001 έως τον Ιούνιο του 2007 καθώς και οι αντίστοιχες καμπύλες τύπου τρομπέτας που καθορίζουν το πάνω και κάτω όριο. Ο οριζόντιος άξονας αφορά τις πραγματικές τιμές της δόσης  $H_p(10)_{\text{true}}$  όπως δίνονται από το ΕΒΟΙΑ. Αντίστοιχα στο σχήμα 2 δίνεται η κατανομή των συχνοτήτων των αποτελεσμάτων από 88 μετρήσεις. Η μέση τιμή του λόγου της  $H_p(10)_{\text{measured}} / H_p(10)_{\text{true}}$  υπολογίστηκε ίση με 0,96 και τυπική απόκλιση 0,14.



Σχήμα 1. Αποτελέσματα για τα έτη 2001 έως 6/2007 από τις μετρήσεις για το έλεγχο απόδοσης του συστήματος δοσιμέτρησης με χρήση δοσιμέτρων θερμοφωταύγειας σώματος για ακτινοβολία X ή γ. Στο σχήμα φαίνονται οι καμπύλες τύπου τρομπέτας με  $F=1,5$  και  $H_o=0,17\text{mSv}$



Σχήμα 2. Η κατανομή των συχνοτήτων από τα αποτελέσματα σε 88 μετρήσεις για τα έτη 2001 έως τον 6/2007.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν οι καμπύλες τύπου τρομπέτας που έχουν αναπτυχθεί για την ακρίβεια στις μετρήσεις ενός συστήματος ατομικής δοσιμέτρησης. Οι καμπύλες χρησιμοποιήθηκαν για τον έλεγχο απόδοσης του συστήματος, όπως περιγράφεται στο σύστημα ποιότητας.

Παρουσιάζοντας και αξιολογώντας τα αποτελέσματα από τις μέτρησης των τυχαίων δοκιμών για τους εικονικούς εργαζόμενους για τους οποίους εκδίδονται τα δοσίμετρα αυτά για τα επτά χρόνια χρήσης των δοσιμέτρων θερμοφωταύγειας σώματος διαπιστώνεται ότι:

- Οι τιμές των αποτελεσμάτων από τις μηνιαίες ασκήσεις για το λόγο  $H_p(10)_{\text{measured}} / H_p(10)_{\text{true}}$  βρίσκονται ανάμεσα στο διάστημα που τα όρια του θέτουν οι καμπύλες τύπου τρομπέτας για τα δοσίμετρα σε X ή γ ακτινοβολίες.
- Η μέση τιμή του λόγου της  $H_p(10)_{\text{measured}} / H_p(10)_{\text{true}}$  είναι 0,96 με τυπική απόκλιση 0,14 (σε 88 μετρήσεις).

Η εφαρμογή σε μηνιαία βάση ασκήσεων μέτρησης τυχαίων δοκιμών βοηθάει στο μηνιαίο έλεγχο του συστήματος δοσιμέτρησης. Για το λόγο αυτό έχει ήδη εισαχθεί η ίδια διαδικασία στο σύστημα ποιότητας για τα δοσίμετρα χειρός και δακτύλου από τον Ιανουάριο του 2007.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Stadtman H. Dose quantities in radiation protection and dosimeter calibration, Radiat. Prot. Dosim., 96, 21-26 (2001).
- [2] Kamenopoulou V., Drikos, G., Carinou, E. Papadomarkaki E., Askounis, P., Kyrgiakou, H. Kefalonitis, N. The Quality Assurance/Quality Control System of the Personal Dosimetry Department of the Greek Atomic Energy Commission, Radiat. Prot. Dosim., 101, 233-7 (2002).
- [3] International Organization for Standardization. Quality Systems — Model for Quality Assurance in Design, Development, Production, Installation and Servicing. ISO 9001 (Geneva: ISO) (1996).
- [4] International Organization for Standardization/International Electrotechnical Commission. General Requirements for the Competence of Testing and Calibration Laboratories. ISO/IEC 17025 (Geneva: ISO) (2005).
- [5] International Organization for Standardization. Radiation protection- Individual thermoluminescence dosimeters for extremities and eyes.” ISO 12794, (2000)
- [6] European Commission, Technical Recommendations for Monitoring Individuals Occupationally exposed to External Radiation. EUR 14852 EN, (1994).
- [7] International Electrotechnical Commission. Thermoluminescence Dosimetry Systems for Personal and Environmental Monitoring. International Standards, IEC 1066 (1991).
- [8] International Atomic Energy Agency. Assessment of Occupational Exposure due to External Sources of Radiation. IAEA Safety Guide no RS-G-1.3. (Vienna: IAEA) (1999).
- [9] International Commission on Radiological Protection. General Principles of Monitoring for Radiation Protection of Workers. ICRP Publication 35. Ann. ICRP 9(4) (1982).
- [10] Bohm, J. Some remarks on accuracy and precision in individual monitoring, IAEA intercomparison for individual monitoring, Vienna, 1989. PTB Bericht: PTB- Dos- 20, (1991).
- [11] ISO ISO 4037-3, International Organization for Standardization. /X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and doserate meters and for determining their response as a

function of photon energy - Part 3: Calibration of area and personal dosimeters and the measurement of their response as a function of energy and angle of incidence. Geneva, 1999.

[12] Κανονισμός Ακτινοπροστασίας, ΦΕΚ 216/Β, 6/3/01

[13] Grosswendt, B. Angular dependence factors and air kerma to dose equivalent conversion coefficients for cylindrical phantoms irradiated by plane-parallel extended monoenergetic photon beams. *Radiat. Prot. Dosim.*, 59, (3), 165-179 (1995).