

ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΔΟΣΙΜΕΤΡΙΑΣ ΜΕΣΩ ΤΗΣ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ ΣΕ ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΔΙΑΣΥΓΚΡΙΣΗΣ

Π.Ασκούνης, Ε.Καρίνου, Χ.Κυργιάκου, Γ.Κυράνος, Ε.Νιργιανάκη,
Ε.Παπαδομαρκάκη, Β.Καμενοπούλου

Τμήμα Δοσιμετρίας, ΕΕΑΕ, Πατριάρχου Γρηγορίου και Νεαπόλεως, Αγία
Παρασκευή, Αττική, 15341

paaskrun@eeae.gr

Περίληψη

Η ομάδα εργασίας 2 (WG2) «Harmonisation of Individual Monitoring in Europe» του EURADOS έχει αποδείξει, μεταξύ άλλων, ότι οι ασκήσεις διασύγκρισης αποτελούν θεμελιώδη προϋπόθεση για την εναρμόνιση των υπηρεσιών ατομικής δοσιμέτρησης. Επιπρόσθετα, η συμμετοχή σε ασκήσεις διασύγκρισης προτείνεται από τις νέες τεχνικές συστάσεις RP 160 της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για την ατομική δοσιμέτρηση των επαγγελματικά εκτιθέμενων σε ιοντίζουσες ακτινοβολίες. Επίσης, η συμμόρφωση με το πρότυπο ISO/IEC 17025 απαιτεί τη συχνή συμμετοχή σε ασκήσεις διασύγκρισης. Για τους λόγους αυτούς, το EURADOS διοργανώνει περιοδικές ασκήσεις διασύγκρισης σε ευρωπαϊκό επίπεδο, στις οποίες συμμετέχει συστηματικά το Τμήμα Δοσιμετρίας της Ελληνικής Επιτροπής Ατομικής Ενέργειας.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η συστηματική μελέτη των αποτελεσμάτων των ασκήσεων διασύγκρισης αναφορικά με τη βαθμονόμηση των μετρητών και των δοσιμέτρων του εργαστηρίου, την ιχνηλασιμότητα, την ενεργειακή και γωνιακή απόκριση, την απόδοση σε μικτά πεδία, καθώς και τη βελτίωση της απόδοσής του συνολικά. Τα αποτελέσματα των ασκήσεων αναλύθηκαν με βάση το λόγο της μετρούμενης τιμής (ατομικό ισοδύναμο δόσης βάθους 10 mm και 0.07 mm) προς την τιμή αναφοράς, σε σχέση με τα όρια που τίθενται στο πρότυπο ISO 14146.

Από την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε κατά τη συμμετοχή του Τμήματος Δοσιμετρίας σε τρεις ασκήσεις διασύγκρισης για δοσιμέτρα σώματος σε πεδία φωτονίων, διαφαίνεται η σωστή βαθμονόμηση του συστήματος. Παρά το γεγονός ότι οι μέσες τιμές της απόκρισης των δοσιμέτρων ήταν κοντά στη μονάδα, καθώς επίσης και το γεγονός ότι δεν υπήρχαν ακραίες τιμές έξω από τα όρια, ωστόσο υπήρχαν περιθώρια βελτίωσης τα οποία εντοπίστηκαν στην απόκριση του συστήματος στις χαμηλές ενέργειες.

Η βελτίωση στο σύστημα, αφού πραγματοποιήθηκε, οδήγησε σε μέση τιμή απόκρισης πιο κοντά στη μονάδα καθώς και σε μικρότερη διασπορά των τιμών γύρω από τη μονάδα.

Λέξεις-Κλειδιά: ατομικό ισοδύναμο δόσης $H_p(10)$ και $H_p(0.07)$, ασκήσεις διασύγκρισης

Abstract

The working group 2 (WG2) «Harmonisation of Individual Monitoring in Europe» of EURADOS has shown that intercomparison exercises are a fundamental requirement for the harmonization of dosimetry services. Moreover, the participation in intercomparison exercises is proposed by the European Technical Recommendations for individual

monitoring of workers occupationally exposed to ionizing radiation. Also, compliance with the standard ISO/IEC 17025 requires frequent participation in intercomparison exercises. For these reasons, EURADOS organizes periodic intercomparison exercises at European level. The Personal Dosimetry Department of Greek Atomic Energy Commission (GAEC) participates in these exercises systematically.

The purpose of this paper is the systematic study of the results of intercomparison exercises regarding the calibration of the thermoluminescent readers and dosimeters, the traceability, the energy and angle response, their performance in mixed fields, and the improvement of the overall performance. The results of the exercises were analyzed using the ratio of the measured value (personal dose equivalent in depth of 10 mm and 0.07 mm) to the reference value, compared with the limits set in ISO 14146.

The analysis performed for the participation of GAEC in three intercomparison exercises for whole body dosimeters in photon fields proved the proper calibration of the system. Despite the fact that the average values of the response of dosimeters were close to unity, as well as the fact that there were no outliers, there is room for improvement which was identified in the response of the system at low energies.

The improvement, when conducted, resulted in a mean response value closer to the unit and a smaller variance of the response values around the unit.

Keywords: personal dose equivalent $H_p(10)$ and $H_p(0.07)$, intercomparison exercises

1. Εισαγωγή

Η ομάδα εργασίας 2 (WG2) του EURADOS έχει αναπτύξει ένα πρόγραμμα συστηματικών ασκήσεων διασύγκρισης για δοσίμετρα σώματος και άκρων τόσο σε πεδία φωτονίων όσο και σε μικτά πεδία βήτα-γάμμα καθώς και νετρονίων-γάμμα. Οι ασκήσεις διασύγκρισης ξεκίνησαν το 2008 και διενεργούνται σε συστηματική βάση ανάλογα με το πρόγραμμα που ανακοινώνεται από την WG2. Η ομάδα που διοργανώνει την άσκηση συγκεντρώνει τα δοσίμετρα από τα εργαστήρια ατομικής δοσιμέτρησης που ενδιαφέρονται να συμμετέχουν και αναθέτει σε κάποιο εργαστήριο ακτινοβολήσης, κατάλληλα διαπιστευμένο, να πραγματοποιήσει την άσκηση. Το Τμήμα Δοσιμετρίας (ΤΔ) της Ελληνικής Επιτροπής Ατομικής Ενέργειας (ΕΕΑΕ) συμμετέχει συστηματικά.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται και αναλύονται τα αποτελέσματα των ασκήσεων διασύγκρισης των δοσιμέτρων σώματος σε πεδία φωτονίων. Τα μεγέθη που εξετάζονται είναι το ατομικό ισοδύναμο δόσης 10 mm και 0.07 mm, $H_p(10)$ και $H_p(0.07)$. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι ασκήσεις δεν διεξάγονται ακριβώς στις ίδιες συνθήκες κάθε χρόνο (δηλαδή στις ίδιες ενέργειες γωνίες, ποιότητα δέσμης ακτινοβολίας, κλπ), οπότε το συμμετέχον εργαστήριο έχει τη δυνατότητα να εξετάσει την απόδοσή του σε διάφορες συνθήκες.

2. Συμμετοχή στις ασκήσεις

Το ΤΔ συμμετείχε στις ασκήσεις διασύγκρισης με ολόσωμα δοσίμετρα που παρουσιάζονται στην εικόνα 1. Τα δοσίμετρα αυτά περιέχουν παθητικούς ανιχνευτές θερμοφωταύγειας. Υπάρχει η δυνατότητα να τοποθετηθούν μέχρι και 4 ανιχνευτές σε κάθε δοσίμετρο. Σημειώνεται ότι το ΤΔ συμμετείχε στις δύο πρώτες ασκήσεις με δύο

ανιχνευτές τύπου LiF:Mg,Ti, ενώ στην τελευταία τοποθετήθηκαν 4 ανιχνευτές δύο LiF:Mg,Ti και δύο LiF:Mg,Cu,P. Η πρόσθηση των δύο νέων ανιχνευτών έγινε για να βελτιωθεί ο αλγόριθμος διόρθωσης της ενεργειακής εξάρτησης του δοσιμέτρου.



Εικόνα 1: Δοσίμετρο σώματος για τον υπολογισμό των μεγεθών Hp(10) και Hp(0.07)

Οι δέσμες και συνθήκες ακτινοβολήσης των δοσιμέτρων παρουσιάζονται στον πίνακα 1. Τα δοσίμετρα ακτινοβολήθηκαν σε διάφορες τιμές δόσεων από 0,1 mSv έως 500 mSv. Τα εργαστήρια ακτινοβολήσης των τριών ασκήσεων ήταν διαφορετικά.

Πίνακας 1: Δέσμες ακτινοβολήσης¹ στις τρεις ασκήσεις διασύγκρισης

2008	2010	2012
πηγή Cs	πηγή Cs	πηγή Cs
πηγή Co	πηγή Cs και W-250	πηγή Cs και N-150 45°
πηγή Cs και N-60	πηγή Cs και N-40	πηγή Co
N-60	πηγή Co	N-40
N-60 45°	W-110 45° (x και y άξονα)	N-60 0°
N-150 45°	N40	N-60 60°

Το δοσίμετρα που χρησιμοποιήθηκαν στις ασκήσεις μετρήθηκαν σύμφωνα με το σύνηθες πρόγραμμα του ΓΔ. Τα αποτελέσματα στάλθηκαν στην οργανωτική ομάδα που με τη σειρά της έστειλε πιστοποιητικό συμμετοχής σημειώνοντας τις αντίστοιχες τιμές αναφοράς.

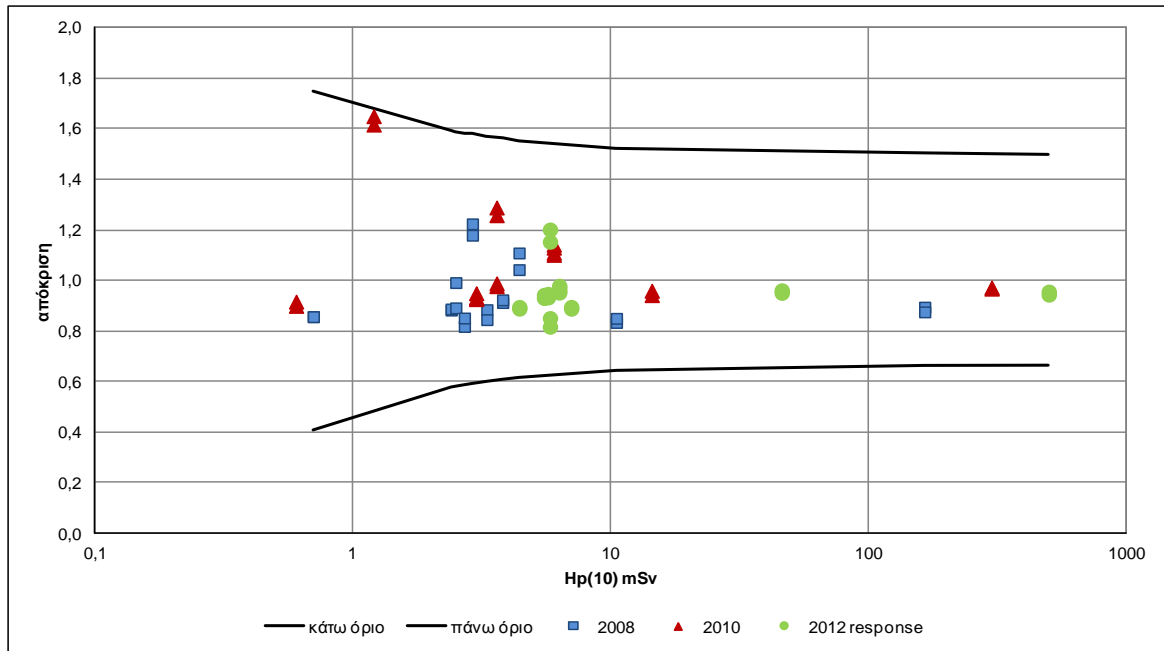
2.1 Καμπύλες τρομπέτας

Τα αποτελέσματα των ασκήσεων αναλύθηκαν με βάση τις καμπύλες τρομπέτας (trumpet curves) όπως αυτές ορίζονται στο πρότυπο ISO 14146. Οι συγκεκριμένες καμπύλες θέτουν τα άνω και κάτω όρια της απόκρισης των δοσιμέτρων για τα λειτουργικά μεγέθη

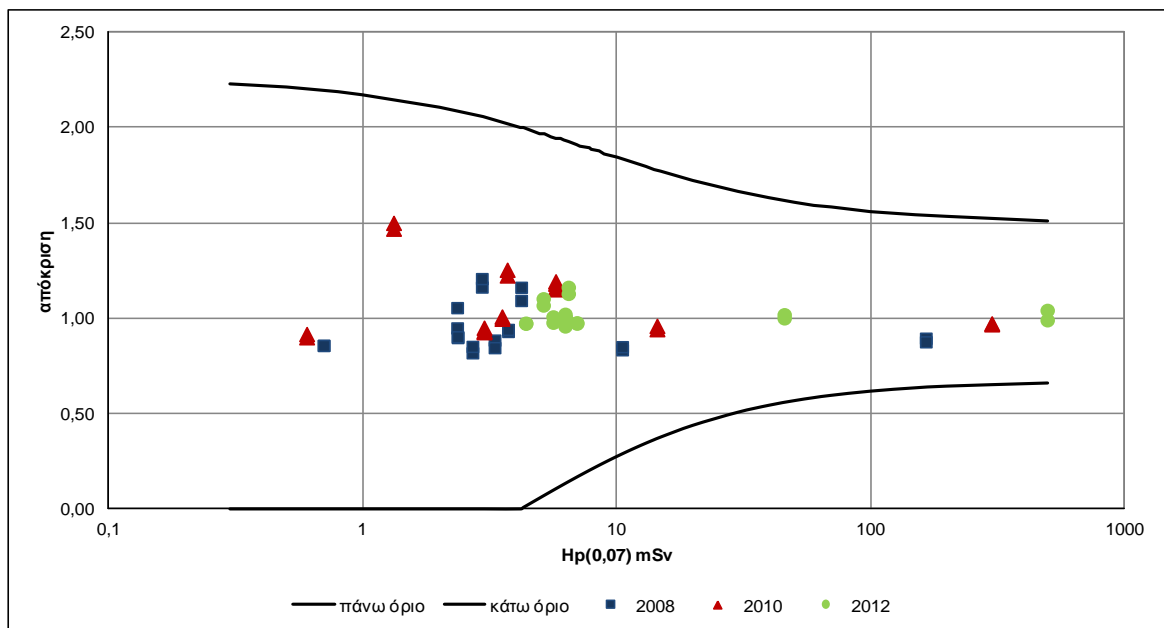
¹ Οι συνθήκες ακτινοβολήσης με τα χαρακτηριστικά N-40, N-60, W-110 και W-250 περιγράφονται στο ISO 4037.

$H_p(10)$ και $H_p(0.07)$. Λόγω του ότι στις χαμηλές τιμές της δόσης το πάνω και κάτω όριο απόκρισης των δοσιμέτρων απέχουν πολύ μεταξύ τους, οι καμπύλες παρουσιάζουν ένα ιδιαίτερο σχήμα από το οποίο πήραν και το όνομά τους.

Για τις τρεις ασκήσεις διασύγκρισης τα αποτελέσματα με τις αντίστοιχες καμπύλες τρομπέτας εμφανίζονται στα παρακάτω σχήματα (εικόνες 2 και 3). Σημειώνεται ότι οι καμπύλες είναι διαφορετικές για το $H_p(10)$ και $H_p(0.07)$, λόγω των διαφορετικών ορίων δόσης.



Εικόνα 2: Άνω και κάτω όριο (καμπύλη τρομπέτας) για το $H_p(10)$ – απόκριση των δοσιμέτρων στις τρεις ασκήσεις διασύγκρισης



Εικόνα 3: άνω και κάτω όριο (καμπύλη τρομπέτας) για το $H_p(0.07)$ – απόκριση των δοσιμέτρων στις τρεις ασκήσεις διασύγκρισης

Από τις καμπύλες φαίνεται ότι σε όλες τις ασκήσεις διασύγκρισης, για όλες της συνθήκες ακτινοβολήσης και για όλες τις τιμές της δόσης, η απόκριση των δοσιμέτρων είναι μέσα στα όρια που θέτονται από το ISO 14146.

2.2 Βελτίωση του συστήματος

Παρά το γεγονός ότι οι αποκρίσεις των δοσιμέτρων είναι μέσα στα όρια υπάρχει χώρος για περαιτέρω βελτίωση. Για το λόγο αυτό εντοπίστηκαν οι μέγιστες και οι ελάχιστες τιμές της απόκρισης του συστήματος, καθώς και οι αντίστοιχες συνθήκες ακτινοβολήσης. Στους παρακάτω πίνακες 2 και 3 παραθέτονται τα στοιχεία αυτά.

Πίνακας 2: Ελάχιστη, μέγιστη και μέση τιμή απόκρισης καθώς και οι αντίστοιχες μέσες τιμές των ασκήσεων διασύγκρισης για το $H_p(10)$

Άσκηση διασύγκρισης	Ελάχιστη τιμή απόκρισης	Ποιότητα δέσμης	Μέγιστη τιμή απόκρισης	Ποιότητα δέσμης	Μέση τιμή απόκρισης
2008	0,82	Πηγή Cs	1,22	N-60, 45°	0,93
2010	0,90	Πηγή Cs	1,65	N-40, 0°	1,08
2012	0,94	N-60, 0°	1,20	N-60, 60°	0,95

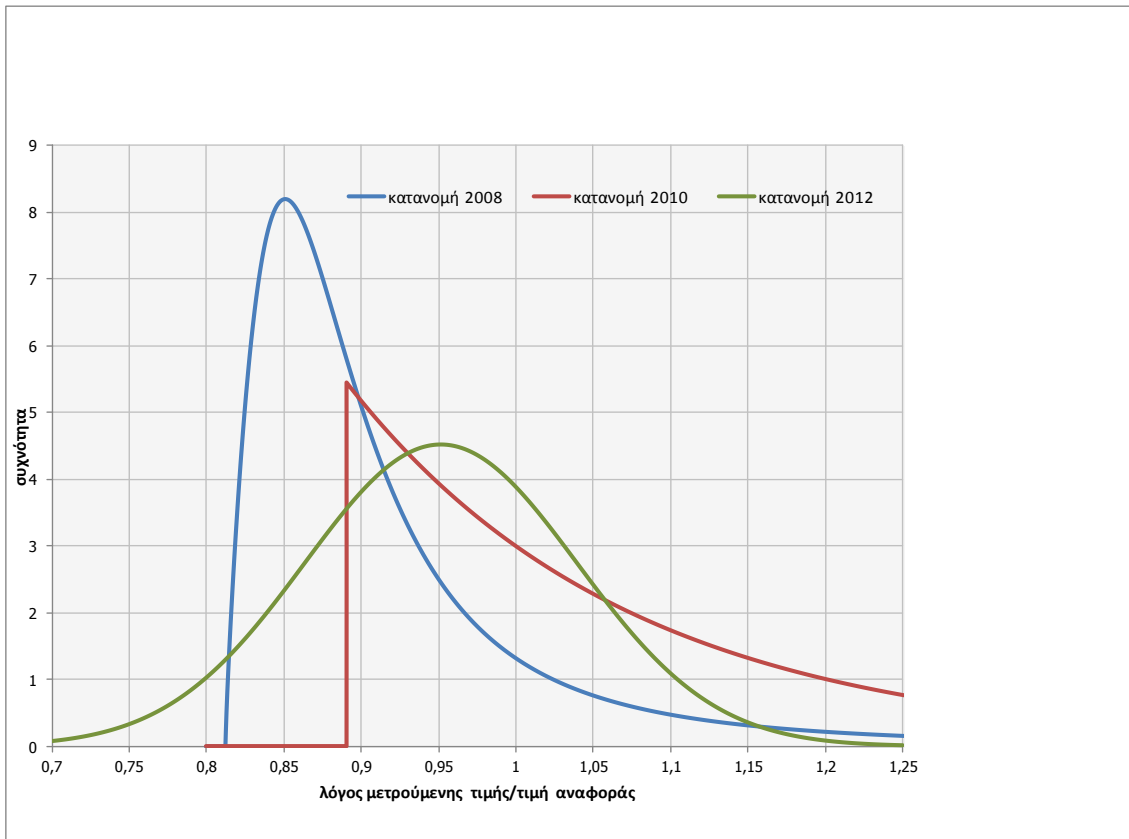
Πίνακας 3: Ελάχιστη, μέγιστη και μέση τιμή απόκρισης καθώς και οι αντίστοιχες μέσες τιμές των ασκήσεων διασύγκρισης για το $H_p(0.07)$

Άσκηση διασύγκρισης	Ελάχιστη τιμή απόκρισης	Ποιότητα δέσμης	Μέγιστη τιμή απόκρισης	Ποιότητα δέσμης	Μέση τιμή απόκρισης
2008	0,82	Πηγή Cs	1,21	N-60, 45°	0,94
2010	0,90	Πηγή Cs	1,50	N-40, 0°	1,08
2012	0,95	N-40, 0°	1,16	N-60, 60°	1,02

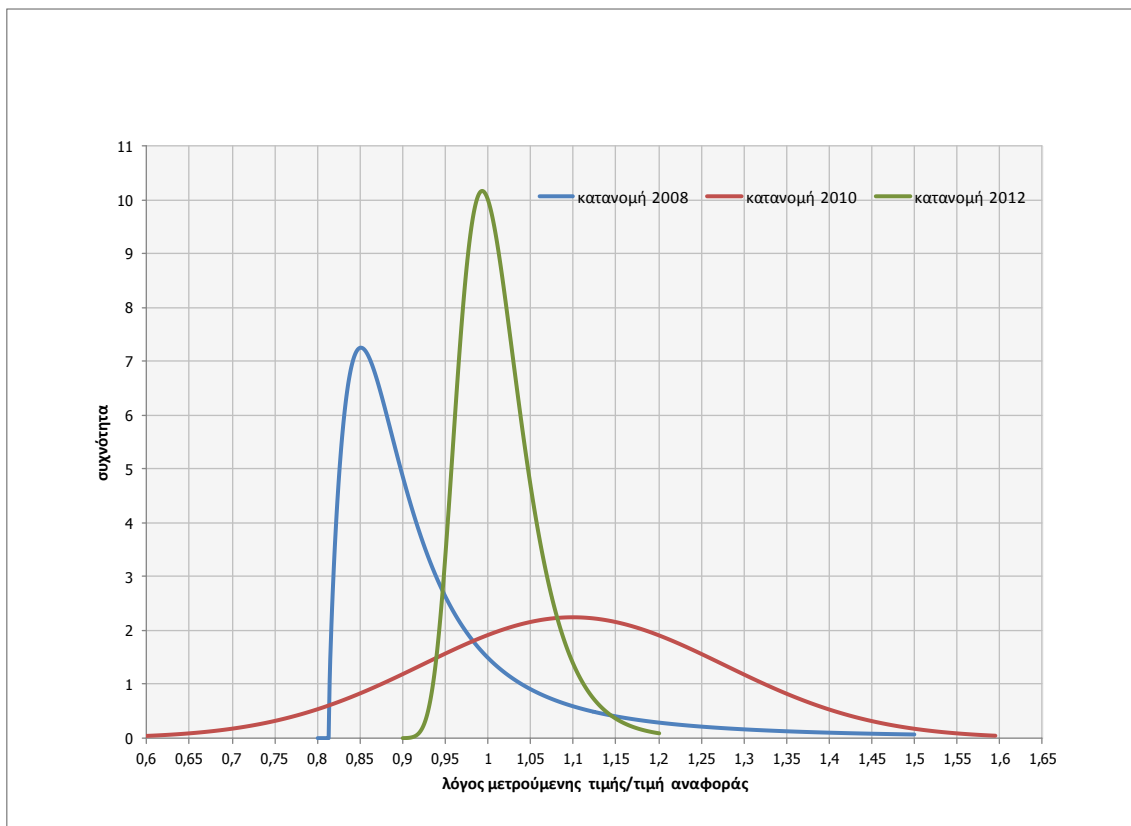
Από τους πίνακες παρατηρείται για τα έτη 2008 και 2010 ότι οι μέγιστες αποκρίσεις των δοσιμέτρων και για τα δύο μεγέθη ($H_p(10)$ και $H_p(0.07)$) παρουσιάζονται στις ενέργειες των N-60 και N-40, γεγονός το οποίο αναμένεται λόγω της υπεραπόκρισης του ανιχνευτή θερμοφωταύγειας σε αυτές τις ενέργειες. Για το λόγο αυτό εφαρμόστηκε μια αλλαγή στον αλγόριθμο διόρθωσης της ενέργειας, το οποίο οδήγησε σε βελτίωση του συστήματος όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα του 2012.

Αντίστοιχα, οι ελάχιστες τιμές απόκρισης παρατηρήθηκαν στην πηγή του καισίου. Βελτιώνοντας τη βαθμονόμηση του συστήματος η υποαπόκριση στην πηγή καισίου εξαφανίστηκε στην άσκηση του 2012, δίνοντας τη θέση της στη δέσμη του N-40.

Συνολικά, όμως το μετρητικό σύστημα βελτιώθηκε και αυτό φαίνεται από τις βελτιώσεις των μέσων τιμών των αποκρίσεων των δύο λειτουργικών μεγεθών (τελευταίες στήλες των πινάκων 2 και 3). Η βελτίωση αυτή παρουσιάζεται με καλύτερο τρόπο στις παρακάτω γραφικές παραστάσεις, στις οποίες αποτυπώνεται η καλύτερη κατανομή για τα αποτελέσματα από τις τρεις ασκήσεις διασύγκρισης για τα δύο λειτουργικά μεγέθη. Ως βέλτιστη κατανομή θεωρήθηκε εκείνη που παρουσιάζει τη χαμηλότερη τιμή στο χ^2 test.



Εικόνα 4: Κατανομές των $H_p(10)$



Εικόνα 5: Κατανομές των $H_p(0.07)$

Από τις γραφικές παραστάσεις είναι φανερό ότι οι καμπύλες που αφορούν τα αποτελέσματα του 2012 προσομοιάζουν περισσότερο κανονικές κατανομές με μέση τιμή κοντά στη μονάδα.

3. Συμπεράσματα

Από τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι οι ασκήσεις διασύγκρισης παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στην απόδοση των μετρητικών συστημάτων. Στην παρούσα μελέτη εξετάστηκε η βελτίωση της απόκρισης των δοσιμέτρων θερμοφωταύγειας μέσω των ασκήσεων διασύγκρισης στις οποίες συμμετείχε το ΤΔ.

Σε όλες τις ασκήσεις που συμμετείχε το ΤΔ τα αποτελέσματα ήταν μέσα στα όρια που θέτονται από τα αντίστοιχα πρότυπα. Όμως, στο πλαίσιο της συνεχούς βελτίωσης του συστήματος ποιότητας (βάση του ISO/IEC17025) και των ευρωπαϊκών συστάσεων για την ατομική δοσιμέτρηση των επαγγελματικά εκτιθέμενων σε ιοντίζουσες ακτινοβολίες (RP 160) το ΤΔ προχώρησε σε βελτίωση της βαθμονόμησης του συστήματος στην πηγή του καισίου και στη χρήση νέου ανιχνευτή που να μπορεί να βελτιώσει τον αλγόριθμο διόρθωσης της ενεργειακής απόκρισης. Η διαδικασία αυτή είχε σαν αποτέλεσμα η μέση τιμή των αποκρίσεων να πλησιάσει τη μονάδα και η διασπορά των τιμών γύρω από τη μέση τιμή να μειωθεί σημαντικά.

4. Βιβλιογραφία

International Organization for Standardization, 14146, “Radiation protection -- Criteria and performance limits for the periodic evaluation of processors of personal dosimeters for X and gamma radiation”, 2000, Geneva.

International Organization for Standardization, 4037-1, “X and Gamma Reference Radiation for Calibrating Dosimeters and Dose Rate Meters and for Determining their Response as a Function of Photon Energy - Part I: Characteristics of the Radiations and their Methods of Production”, 1996, Geneva.

International Organization for Standardization, 4037-3, “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”, 1999, Geneva.

European Commission, RP 160 “Technical Recommendations for Monitoring Individuals Occupationally Exposed to External Radiation”, 2009, Directorate-General for Energy and Transport., Luxembourg.

ISO/IEC 17025, “General requirements for the competence of testing and calibration laboratories”, 2005, Geneva.