

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΥΨΗΛΩΝ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ

Ε. Π. Νικολοπούλου¹, Ε. Καραμπέτσος², Ι. Φ. Γκόνος¹ και Ι. Α. Σταθόπουλος¹
¹Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων Ε.Μ.Π., Ηρώων Πολυτεχνείου 9, Ζωγράφου
²Γραφείο Μη Ιοντιζουσών Ακτινοβολιών Ε.Ε.Α.Ε., Πατριάρχου Γρηγορίου και Νεαπόλεως,
Αγία Παρασκευή
E-mail: hveleni@mail.ntua.gr

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία αναλύεται ένα σχήμα διεργαστηριακών μετρήσεων που αφορά σε μετρήσεις ηλεκτρομαγνητικού πεδίου υψηλών συχνοτήτων και σε υπολογισμό του συνολικού λόγου έκθεσης στο περιβάλλον κεραιοδιατάξεων σταθμού βάσης κινητής τηλεφωνίας και κεραιών εκπομπής ραδιοφωνίας και τηλεόρασης. Το πρώτο στάδιο επεξεργασίας περιλαμβάνει κατηγοριοποίηση των μετρήσεων στα επιμέρους επίπεδα δοκιμής. Στη συνέχεια, υπολογίζονται οι στατιστικοί δείκτες επίδοσης (βαθμοί z), με χρήση ανθεκτικού επαναληπτικού αλγορίθμου. Επιπλέον, εντοπίζονται παράγοντες μη ικανοποιητικής επίδοσης, που σχετίζονται με τον εξοπλισμό των συμμετεχόντων, τη διαδικασία επεξεργασίας και παρουσίασης των αποτελεσμάτων, αλλά και τη συμμόρφωση με τη διαδικασία που έχει θέσει ο οργανωτής. Τέλος, γίνεται αποτίμηση της απόδοσης του σχήματος και προτείνονται βελτιώσεις για μελλοντικές του επαναλήψεις.

Λέξεις-Κλειδιά: Διεργαστηριακές μετρήσεις, ηλεκτρομαγνητικό πεδίο υψηλών συχνοτήτων, z scores, συγκεντρωτικός δείκτης, παράγοντες μη ικανοποιητικής επίδοσης

Abstract

This paper presents an interlaboratory comparison scheme which involves measurements of high frequency electromagnetic field levels and calculation of the total exposure ratio. The measurements are conducted in the vicinity of mobile phone base stations and antennas transmitting in the radio and TV frequency bands. First, the procedure of the measurements and the classification of the data are analyzed. Emphasis is given to the calculation of the performance statistics z scores and the evaluation of the results. Error factors related to the equipment and the measurement procedures of the participants and possible improvements on the overall implementation of the scheme are stated in the end.

Keywords: Interlaboratory comparisons, electromagnetic field measurements, z scores, aggregated performance statistics, error factors

1. Εισαγωγή

Σύμφωνα με τις απαιτήσεις του προτύπου ISO/IEC 17025: 2005, κάθε διαπιστευμένο εργαστήριο θα πρέπει να συμμετέχει σε σχήματα δοκιμών ικανότητας (ΣΔΙ), προκειμένου να ελέγχεται η τεχνική του επάρκεια και να διασφαλίζεται η αξιοπιστία και η συγκρισιμότητα των αποτελεσμάτων του. Με τον όρο δοκιμή ικανότητας αναφερόμαστε στην από κοινού οργάνωση, εκτέλεση και αξιολόγηση ομοειδών μετρήσεων από δύο ή περισσότερα εργαστήρια (ISO/IEC 17043: 2010). Στην πολιτική του αρμόδιου εθνικού

Ε. Π. Νικολοπούλου, Ε. Καραμπέτσος, Ι. Φ. Γκόνος και Ι. Α. Σταθόπουλος
Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων Ε.Μ.Π., Γραφείο Μη Ιοντιζουσών Ακτινοβολιών Ε.Ε.Α.Ε.
Αξιολόγηση διεργαστηριακών μετρήσεων ηλεκτρομαγνητικού πεδίου υψηλών συχνοτήτων

φορέα διαπίστευσης προβλέπεται, εφόσον αυτό είναι εφικτό, συμμετοχή κάθε εργαστηρίου σε ΣΔΙ ανά τετραετία (ΕΣΥΔ ΠΔΙ/02/00/02-09-2011).

Στον τομέα των μετρήσεων ηλεκτρομαγνητικού πεδίου, που διενεργούνται στο περιβάλλον σταθμών κεραιών, προκειμένου να διασφαλισθεί η συμμόρφωση με τα όρια της ελληνικής (Κ.Υ.Α. “Κανονισμός διενέργειας μετρήσεων των επιπέδων της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στο περιβάλλον σταθμών κεραιών”, ΦΕΚ 346/Β/3-3-2008) και της διεθνούς νομοθεσίας, για την ασφαλή έκθεση του κοινού στην υψίσυχη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (ICNIRP Guidelines 1998, Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης 1999), εφαρμόζεται ένας τύπος ΣΔΙ, στον οποίο όλοι οι συμμετέχοντες μετράνε, υπό τις συνθήκες συνθήκες λειτουργίας, το εκπεμπόμενο πεδίο από την ίδια πηγή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (Bienkowski and Trzaska 2006). Σχετική εμπειρία έχει αποκτηθεί από έναν κύκλο συγκριτικών μετρήσεων ηλεκτρομαγνητικού πεδίου χαμηλών συχνοτήτων (ELF μετρήσεων), που διεξήχθησαν στο Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων του Ε.Μ.Π. (Χριστοδούλου κ.ά. 2010, Nikolopoulou et al. 2010).

2. Πειραματική διαδικασία

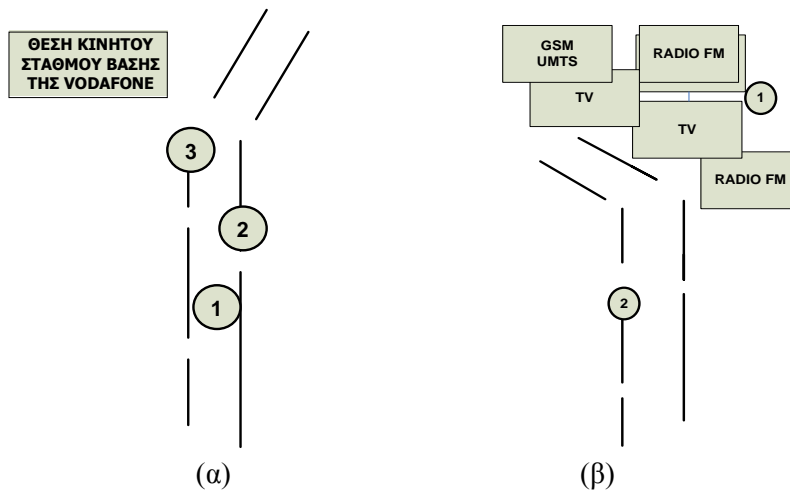
Η Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας οργάνωσε σύμφωνα με την πολιτική ILAC-P9:2005 και τις κατευθυντήριες γραμμές ILAC G13: 2000 ένα ΣΔΙ στα ακόλουθα πεδία δοκιμών: μετρήσεις της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου υψηλών συχνοτήτων και υπολογισμό του συνολικού λόγου έκθεσης. Οι μετρήσεις διεξήχθησαν σε δύο φάσεις:

- Στις εγκαταστάσεις του Ε.ΚΕ.Φ.Ε Δημόκριτος, στο περιβάλλον κεραιοδιατάξεων αναμετάδοσης κινητής τηλεφωνίας και συγκεκριμένα ειδικής κινητής μονάδας (βαν) της εταιρίας Vodafone (Σχήματα 1(α) και 2(α)). Με την εναλλαγή των ζωνών συχνοτήτων εκπομπής του σταθμού βάσης προέκυψαν δύο διαφορετικά σενάρια μέτρησης (Σενάριο Μέτρησης 1: ζώνη συχνοτήτων GSM, Σενάριο Μέτρησης 2: ζώνη συχνοτήτων DCS και UMTS), για καθένα από τα οποία έγιναν μετρήσεις σε τρεις προκαθορισμένες θέσεις.
- Στο Πάρκο Κεραιών Υμηττού, στο περιβάλλον κεραιών εκπομπής ραδιοφωνίας και τηλεόρασης (Σχήματα 1(β), 2(β) και 2(γ)), όπου έγιναν μετρήσεις σε δύο προκαθορισμένες θέσεις (Σενάριο Μέτρησης 3: πλησιέστερες κεραιοδιατάξεις στις ζώνες συχνοτήτων FM και TV UHF).

Στο σχήμα εκλήθησαν να συμμετάσχουν όχι μόνο τα διαπιστευμένα εργαστήρια, αλλά και όσα εργαστήρια πληρούν ορισμένες ελάχιστες απαιτήσεις προσωπικού, οργάνων και διαδικασιών μέτρησης (η ανακοίνωση – πρόσκληση είναι διαθέσιμη στο σύνδεσμο: http://www.eeae.gr/gr/index.php?menu=2&fvar=html/president/_ana_interlab_nir).

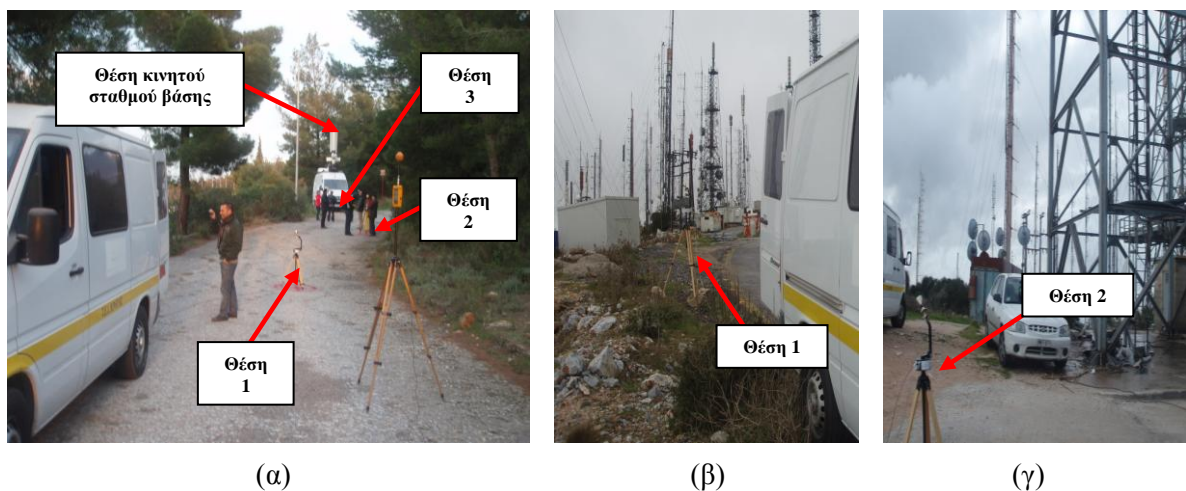
Η επανάληψη μιας μέτρησης από διαφορετικό προσωπικό ή με άλλα όργανα ή ακολουθώντας διαφορετική διαδικασία μέτρησης θεωρείται ως άλλη μέτρηση και τα εργαστήρια που έχουν εφαρμόσει την εν λόγω πρακτική λαμβάνουν πολλούς κωδικούς, έναν για κάθε ομάδα μέτρησης. Έτσι προκύπτουν τελικά κατά την επεξεργασία των μετρήσεων 31 ομάδες μέτρησης, που έχουν χαρακτηριστεί, με τυχαίο τρόπο, ως Εργαστήρια 1-31.

Ε. Π. Νικολοπούλου, Ε. Καραμπέτσος, Ι. Φ. Γκόνοσ και Ι. Α. Σταθόπουλος
Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων Ε.Μ.Π., Γραφείο Μη Ιοντιζουσών Ακτινοβολιών Ε.Ε.Α.Ε.
Αξιολόγηση διεργαστηριακών μετρήσεων ηλεκτρομαγνητικού πεδίου υψηλών συχνοτήτων



Σχήμα 1: Διάγραμμα των θέσεων μέτρησης και των πλησιέστερων κεραιοδιατάξεων στην περιοχή (α) του Ε.ΚΕ.Φ.Ε "Δημόκριτος" και (β) του Πάρκου Κεραιών στον Υμηττό.

Οι συμμετέχοντες κατέγραψαν σε κάθε θέση μέτρησης το χρονικό μέσο όρο της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου σε τρία ύψη (1.1m, 1.5m και 1.7m), ώστε να προσομοιώνεται ο χώρος που καταλαμβάνει το σώμα ενός υποτιθέμενου εκτεθειμένου ανθρώπου (CEPT Revised 2004, ΕΛΟΤ 1422-3: 2006, EN 50492: 2008). Από αυτά τα πρωτογενή δεδομένα υπολογίζεται, για κάθε σενάριο μέτρησης, ο χωρικός μέσος όρος της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου, για κάθε θέση μέτρησης και για κάθε συχνότητα, προκειμένου να εξαχθούν, εν συνεχεία, οι αντίστοιχοι επιμέρους και συνολικοί λόγοι έκθεσης (CEPT Revised 2004, ΕΛΟΤ 1422-3: 2006, EN 50492: 2008).



Σχήμα 2: Οι θέσεις μέτρησης για τα σενάρια 1 και 2 (α) στο Ε.ΚΕ.Φ.Ε "Δημόκριτος" και για το σενάριο 3 (β) στην είσοδο και (γ) εντός της περιοχής του Πάρκου Κεραιών στον Υμηττό.

3. Επεξεργασία αποτελεσμάτων

3.1 Κατηγοριοποίηση μετρήσεων

Ο υπολογισμός των στατιστικών δεικτών επίδοσης των συμμετεχόντων προϋποθέτει απόλυτα ομοειδή και συγκρίσιμα μεγέθη, ώστε να είναι, κατά το δυνατόν, αντικειμενική η αξιολόγηση των εργαστηρίων. Τα δεδομένα που συγκεντρώθηκαν παρουσιάζουν μεγάλη

Ε. Π. Νικολοπούλου, Ε. Καραμπέτσος, Ι. Φ. Γκόνοσ και Ι. Α. Σταθόπουλος

Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων Ε.Μ.Π., Γραφείο Μη Ιοντιζουσών Ακτινοβολιών Ε.Ε.Α.Ε.

Αξιολόγηση διεργαστηριακών μετρήσεων ηλεκτρομαγνητικού πεδίου υψηλών συχνοτήτων

ανομοιογένεια με αποτέλεσμα να είναι απαραίτητη η κατηγοριοποίησή τους σε επιμέρους επίπεδα δοκιμών. Κάθε επίπεδο δοκιμής προσδιορίζεται βάσει των εξής στοιχείων:

- μετρούμενο μέγεθος (ένταση ηλεκτρικού πεδίου E ή λόγος έκθεσης Λ)
- σενάριο μέτρησης
- θέση μέτρησης ή θέση και ύψος μέτρησης
- αν πρόκειται για τη μέση (AVG) ή τη μέγιστη (MAX) τιμή του μεγέθους
- αν πρόκειται για μέτρηση συνολικά σε όλο το εύρος ζώνης (TOT) ή μόνο σε κάποια επιμέρους φασματική περιοχή

Ένας επιπρόσθετος παράγοντας ανομοιομορφίας των μετρήσεων είναι τα διαφορετικά όρια των φασματικών περιοχών μέτρησης που έχει χρησιμοποιήσει κάθε εργαστήριο. Προκειμένου να αξιοποιηθούν όσο το δυνατόν περισσότερες μετρήσεις, ομαδοποιούμε τις μετρούμενες φασματικές περιοχές, σύμφωνα με την ακόλουθη λογική: Επιλέγουμε τις φασματικές περιοχές που σχετίζονται με τις κυριότερες τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες και αποδίδουμε σε κάθε μία εκείνα τα όρια, που είναι κοινά στα περισσότερα εργαστήρια και που δεν οδηγούν σε επικάλυψη με άλλες φασματικές περιοχές.

3.2 Υπολογισμός z scores

Σε κάθε επιμέρους επίπεδο δοκιμής, που προκύπτει με αυτή την κατηγοριοποίηση, το πρώτο βήμα για την επεξεργασία των αποτελεσμάτων είναι ο υπολογισμός των εκτιμητριών για τη μέση τιμή (\hat{m}) και την τυπική απόκλιση ($\hat{\sigma}$) των μετρήσεων με εφαρμογή του ανθεκτικού επαναληπτικού αλγορίθμου (robust iterative algorithm) του προτύπου ISO 13528: 2005 (Annex C, Algorithm A) (Nikolopoulou et al. 2010). Οι εκτιμήτριες αυτές αποτελούν μη παραμετρικά στατιστικά, κάτι που σημαίνει ότι δεν επηρεάζονται αισθητά από την παρουσία πλανώμενων ή απόμακρων τιμών, διότι δεν προϋποθέτουν την ισχύ κάποια θεωρητικής παραδοχής, όπως η κανονική κατανομή. Έτσι, είναι δυνατή η ποσοτικοποίηση της επίδρασης που έχουν τυχόν αποκλίνοντα αποτελέσματα χωρίς να αλλοιώνεται η αξιολόγηση των υπόλοιπων συμμετεχόντων. Η αξιολόγηση κάθε εργαστηρίου γίνεται μέσω του στατιστικού δείκτη επίδοσης z score, ο οποίος δίνεται από τη σχέση 1:

$$z = \frac{x - \hat{m}}{\hat{\sigma}} \quad (1)$$

Όπου: x η μέτρηση του εργαστηρίου στο συγκεκριμένο επίπεδο δοκιμής
 \hat{m} η robust μέση τιμή των μετρήσεων στο επίπεδο δοκιμής
 $\hat{\sigma}$ η robust τυπική απόκλιση των μετρήσεων στο επίπεδο δοκιμής

Η ερμηνεία των z scores γίνεται ως εξής:

- Όταν $|z| \leq 2$, η επίδοση του εργαστηρίου κρίνεται ικανοποιητική.
- Όταν $2 < |z| < 3$, η ορθότητα της μέτρησης κρίνεται αμφισβητήσιμη και ο δείκτης επίδοσης αποτελεί “προειδοποιητικό σήμα” (warning signal).
- Όταν $|z| \geq 3$, η επίδοση του εργαστηρίου κρίνεται μη ικανοποιητική και ο δείκτης επίδοσης αποτελεί “σήμα δράσης” (action signal).

Ενδεικτικά αποτελέσματα για τα z scores σε ορισμένα από τα σημαντικότερα επίπεδα δοκιμών (συνολικός λόγος έκθεσης Λ TOT και λόγος έκθεσης στις κύριες φασματικές

Ε. Π. Νικολοπούλου, Ε. Καραμπέτσος, Ι. Φ. Γκόνοσ και Ι. Α. Σταθόπουλος
Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων Ε.Μ.Π., Γραφείο Μη Ιοντιζουσών Ακτινοβολιών Ε.Ε.Α.Ε.
Αξιολόγηση διεργαστηριακών μετρήσεων ηλεκτρομαγνητικού πεδίου υψηλών συχνοτήτων

περιοχές Λ GSM/ Λ DCS/ Λ UMTS/ Λ FM/ Λ TV UHF) περιέχονται στον Πίνακα 2, όπου και επισημαίνονται οι μη ικανοποιητικές επιδόσεις. Ο συμβολισμός «x.y» που έχει χρησιμοποιηθεί αναλύεται ως εξής: «x» είναι το σενάριο μέτρησης (1, 2 ή 3) και «y» η θέση μέτρησης (1, 2 ή 3). Η απουσία αποτελεσμάτων για τα Εργαστήρια 1 και 5 στον Πίνακα 2 οφείλεται στο ότι οι εν λόγω συμμετέχοντες δεν έχουν παραδώσει μετρήσεις στα συγκεκριμένα επίπεδα δοκιμής.

3.3 Συγκεντρωτικός δείκτης επίδοσης - Κριτήριο αξιολόγησης

Κάθε μεμονωμένο “σήμα δράσης” χρήζει έρευνας για την εύρεση των πηγών του σφάλματος που υπεισέρχονται στη μέτρηση, ενώ ένα “προειδοποιητικό σήμα” θεωρείται ένδειξη προβληματικής συμπεριφοράς του εργαστηρίου, όταν εμφανίζεται σε διάφορα επίπεδα δοκιμών (ή και σε διαδοχικούς κύκλους εκτέλεσης). Επομένως, είναι αναγκαία η παρακολούθηση της συνολικής επίδοσης κάθε εργαστηρίου, η οποία επιτυγχάνεται με το συνδυασμό όλων των αποτελεσμάτων του σε ένα σύνθετο βαθμό για ολόκληρο τον κύκλο μετρήσεων.

Για ένα “καλώς συμπεριφερόμενο” εργαστήριο τα z scores ακολουθούν την κανονική κατανομή $N(0,1)$, με μέση τιμή $\mu=0$ και διασπορά $\sigma^2=1$. Ένα μέγεθος που ακολουθεί την κανονική κατανομή $N(\mu,\sigma^2)$ βρίσκεται με πιθανότητα 68,2% στο διάστημα $\mu\pm\sigma$, με πιθανότητα 95,4% στο διάστημα $\mu\pm 2\sigma$ και με πιθανότητα 99,7% στο διάστημα $\mu\pm 3\sigma$. Συνεπώς, τα z scores ενός καλώς συμπεριφερόμενου εργαστηρίου αναμένεται να βρίσκονται εκτός του διαστήματος τιμών ± 2 ($\mu\pm 2\sigma$, όπου $\mu=0$ και $\sigma=1$) περίπου στο 5% των περιπτώσεων και εκτός του διαστήματος τιμών ± 3 ($\mu\pm 3\sigma$, όπου $\mu=0$ και $\sigma=1$) μόνο για το 0,3% των περιπτώσεων (Λαμπή 2007). Έτσι, εάν υπολογίσουμε για κάθε εργαστήριο το πλήθος των επιπέδων δοκιμής, όπου έχει βαθμολογηθεί με $|z|>2$, ως επί τοις εκατό ποσοστό του συνολικού αριθμού των δοκιμών, στις οποίες έχει αξιολογηθεί, προκύπτει ένας συγκεντρωτικός δείκτης για τη συνολική αξιολόγηση του εργαστηρίου:

- εάν το ποσοστό αυτό υπερβαίνει το 5%, η συνολική επίδοση του εργαστηρίου είναι μη ικανοποιητική
- εάν το ποσοστό αυτό δεν υπερβαίνει το 5%, η συνολική επίδοση του εργαστηρίου είναι ικανοποιητική.

Τα αποτελέσματα της συνολικής αξιολόγησης των συμμετεχόντων στο ΣΔΙ παρατίθενται στον Πίνακα 1, όπου και επισημαίνονται οι μη ικανοποιητικές επιδόσεις.

4. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

4.1 Παράγοντες μη ικανοποιητικής επίδοσης

Από την υπολογισμό των συγκεντρωτικών δεικτών αξιολόγησης προκύπτουν ορισμένες βασικές κατηγορίες παραγόντων που επηρεάζουν τις επιδόσεις των εργαστηρίων (υπό δημοσίευση εργασία Nicolourou et al. 2012):

- Εξοπλισμός
Στην κατηγορία αυτή εντάσσονται όλοι οι παράγοντες που σχετίζονται με τα μετρητικά όργανα και τις μεθόδους για τη διεξαγωγή των μετρήσεων. Ένα από τα σημαντικότερα τεχνικά χαρακτηριστικά του εξοπλισμού είναι το συνολικό μετρούμενο εύρος ζώνης συχνοτήτων. Οι παρούσες μετρήσεις καλύπτουν τη

Ε. Π. Νικολοπούλου, Ε. Καραμπέτσος, Ι. Φ. Γκόνοσ και Ι. Α. Σταθόπουλος

Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων Ε.Μ.Π., Γραφείο Μη Ιοντιζουσών Ακτινοβολιών Ε.Ε.Α.Ε.

Αξιολόγηση διεργαστηριακών μετρήσεων ηλεκτρομαγνητικού πεδίου υψηλών συχνοτήτων

φασματική περιοχή 75MHz-3GHz, γεγονός που εξηγεί τη μη ικανοποιητική επίδοση των Εργαστηρίων 8 (100kHz-3GHz) και 19 (400MHz-2GHz).

Πίνακας 1: Συγκεντρωτικοί δείκτες επίδοσης όλων των συμμετεχόντων

Κωδικός εργαστηρίου	Πλήθος z scores όπου συμμετείχε το εργαστήριο	Πλήθος z scores όπου $ z >2$	(%) Ποσοστό z scores όπου $ z >2$
Lab 1	12	0	0.0
Lab 2	98	18	18.4
Lab 3	33	0	0.0
Lab 4	133	21	15.8
Lab 5	13	0	0.0
Lab 6	49	7	14.3
Lab 7	100	0	0.0
Lab 8	34	4	11.8
Lab 9	71	1	1.4
Lab 10	120	2	1.7
Lab 11	96	0	0.0
Lab 12	58	1	1.7
Lab 13	178	10	5.6
Lab 14	25	1	4.0
Lab 15	25	0	0.0
Lab 16	72	1	1.4
Lab 17	49	12	24.5
Lab 18	87	10	11.5
Lab 19	3	3	100.0
Lab 20	104	3	2.9
Lab 21	104	7	6.7
Lab 22	102	2	2.0
Lab 23	47	1	2.1
Lab 24	70	0	0.0
Lab 25	10	0	0.0
Lab 26	46	5	10.9
Lab 27	38	1	2.6
Lab 28	43	0	0.0
Lab 29	18	0	0.0
Lab 30	72	1	1.4
Lab 31	21	1	4.8

Κατά την επιλογή των μετρητικών οργάνων πρέπει να εξετάζεται μία σειρά από παράγοντες, όπως ο χρόνος απόκρισης του οργάνου, οι περιορισμοί μέγιστης ισχύος του αισθητήρα, το δυναμικό εύρος και η βαθμονόμηση του οργάνου, η απόκριση στα χρονικά και φασματικά χαρακτηριστικά του μετρούμενου σήματος και, φυσικά, η πόλωση του πεδίου. Η αβεβαιότητα της διακρίβωσης και η απόκλιση από την ισοτροπική απόκριση συνιστούν τεχνικές ατέλειες που μειώνουν την ακρίβεια των μετρήσεων. Οι κυριότερες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τις εξωτερικές μετρήσεις πεδίου είναι τα φορητά όργανα με αισθητήρες μέτρησης πεδίου και οι αναλυτές φάσματος (spectrum analyzers) σε συνδυασμό με κεραίες:

Ε. Π. Νικολοπούλου, Ε. Καραμπέτσος, Ι. Φ. Γκόνος και Ι. Α. Σταθόπουλος
 Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων Ε.Μ.Π., Γραφείο Μη Ιοντιζουσών Ακτινοβολιών Ε.Ε.Α.Ε.
 Αξιολόγηση διεργαστηριακών μετρήσεων ηλεκτρομαγνητικού πεδίου υψηλών συχνοτήτων

- Τα όργανα με αισθητήρες-ανιχνευτές μέτρησης πεδίου είναι ευρυζωνικά όργανα με μεταβαλλόμενη απόκριση συχνότητας. Πιθανοί περιορισμοί κατά τη χρήση τους είναι η σχετική φασματική “αναισθησία” και ο αργός χρόνος απόκρισης. Πρόκειται για όργανα που έχουν χρησιμοποιηθεί από την πλειοψηφία των εργαστηρίων και μάλιστα από εκείνα ακριβώς τα εργαστήρια που έχουν σημειώσει ικανοποιητική σε γενικές γραμμές επίδοση. Από τα εργαστήρια που πραγματοποίησαν συχνοεπιλεκτικές μετρήσεις με τα όργανα SRM (Selective Radiation Meter) της εταιρείας Narda, μόνο το Εργαστήριο 21 (οριακά ενδεχομένως και το Εργαστήριο 31) έχουν σημειώσει χαμηλή επίδοση. Αντιθέτως, όσα εργαστήρια χρησιμοποίησαν άλλο είδος εξοπλισμού (Εργαστήρια 6, 8 και 25) έχουν χαρακτηριστεί ως μη καλώς συμπεριφερόμενα. Οι αποκλίσεις του Εργαστηρίου 6 οφείλονται, μεταξύ άλλων, και στις τιμές του εύρους ζώνης ανάλυσης (RBW, resolution bandwidth) που έχει επιλέξει. Τα αποκλίνοντα αποτελέσματα του Εργαστηρίου 8 αποδίδονται, κυρίως, στη φασματική απόκριση και το μεγάλο εύρος ζώνης του ανιχνευτή που έχει χρησιμοποιηθεί.
- Οι αναλυτές φάσματος παρέχουν ακριβείς μετρήσεις στενής ζώνης, ωστόσο βασικός περιορισμός κατά τη χρήση τους είναι η απαιτούμενη ρύθμιση πολλών παραμέτρων, προκειμένου να επιτευχθεί σωστή ανάγνωση του επιθυμητού σήματος. Επίσης, το είδος και το μεγάλο μέγεθος των κεραιών που χρησιμοποιούνται ως δέκτες, σε συνδυασμό με αυτά τα όργανα, αυξάνει την απαιτούμενη ακρίβεια κατά την εκτέλεση των μετρήσεων από πλευράς του χειριστή, εντείνοντας, έτσι, την επίδραση του ανθρώπινου παράγοντα. Κατά τα ανωτέρω, δικαιολογείται η μη ικανοποιητική επίδοση των Εργαστηρίων 2, 4 και 19 που έχουν χρησιμοποιήσει αναλυτή φάσματος.
- Εφαρμογή της διαδικασίας μέτρησης που έχει τεθεί από τον οργανωτή
Η κατηγορία αυτή περιγράφει τις αποκλίσεις των συμμετεχόντων από τους κανόνες και την προκαθορισμένη διαδικασία που έχει τεθεί από τον οργανωτή. Για παράδειγμα, το Εργαστήριο 8 έχει πραγματοποιήσει μετρήσεις στα ύψη 1.05m, 1.5m και 2m σε κάθε θέση μέτρησης και όχι στα προτεινόμενα από το συντονιστή ύψη (1.1m, 1.5m και 1.7m). Επίσης, τα δεδομένα του Εργαστηρίου 19, για το σενάριο μέτρησης 3, έχουν απορριφθεί, διότι οι μετρήσεις του στο πάρκο κεραιών Υμηττού έχουν γίνει σε διαφορετικό σημείο από τα προβλεπόμενα.
- Επεξεργασία των αποτελεσμάτων
Με τον όρο αυτό αποδίδονται όλα τα πιθανά υπολογιστικά βήματα που έχουν ακολουθήσει τα εργαστήρια προκειμένου να προσδιορίσουν παράγωγα μεγέθη βάσει των μετρήσεών τους. Συγκεκριμένα, το Εργαστήριο 4 έχει εκτιμήσει τις μέγιστες τιμές του ηλεκτρικού πεδίου με τη βοήθεια ειδικού λογισμικού κάνοντας προεκβολή (extrapolation) στη μέγιστη δυνατή εκπεμπόμενη ισχύ των σταθμών βάσης για όλες τις φασματικές περιοχές, προκειμένου να εισάγει μεγάλο συντελεστή ασφαλείας στα αποτελέσματά του. Όπως είναι φυσικό, οι τιμές που προκύπτουν είναι υπερεκτιμημένες. Επίσης, το Εργαστήριο 17 έχει υπολογίσει τις ολικές μέγιστες και μέσες τιμές του ηλεκτρικού πεδίου αθροίζοντας γραμμικά τις εντάσεις των επιμέρους φασματικών συνιστωσών, ενώ ισχύει η τετραγωνική άθροιση.
- Παρουσίαση των αποτελεσμάτων

Ε. Π. Νικολοπούλου, Ε. Καραμπέτσος, Ι. Φ. Γκόνοσ και Ι. Α. Σταθόπουλος
Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων Ε.Μ.Π., Γραφείο Μη Ιοντιζουσών Ακτινοβολιών Ε.Ε.Α.Ε.
Αξιολόγηση διεργαστηριακών μετρήσεων ηλεκτρομαγνητικού πεδίου υψηλών συχνοτήτων

Η ακρίβεια σε δεκαδικά ψηφία με την οποία επιλέγει ο εκάστοτε συντάκτης της αναφοράς να παρουσιάσει τις μετρήσεις του εργαστηρίου επηρεάζει τον υπολογισμό των στατιστικών δεικτών επίδοσης, ειδικά όταν πρόκειται για το λόγο έκθεσης, ο οποίος είναι ένας αριθμός μικρής τάξης μεγέθους. Ειδικότερα, το Εργαστήριο 26 (αλλά και τα Εργαστήρια 1, 27 και 29) έχουν κρατήσει στους λόγους έκθεσης πολύ λίγα δεκαδικά ψηφία, έχουν δώσει στις περισσότερες φασματικές περιοχές μηδενικά αποτελέσματα και επομένως ο συνολικός λόγος έκθεσης δεν ταυτίζεται με το άθροισμα των επιμέρους λόγων έκθεσης.

- Σφάλματα χειριστή/συντάκτη της αναφοράς των μετρήσεων
Στην κατηγορία αυτή εμπίπτουν περιπτώσεις εσφαλμένης αντιγραφής των δεδομένων με αποτέλεσμα να λείπουν δεκαδικά ψηφία από τα αποτελέσματα. Μία τέτοια παράλειψη ψηφίων εξηγεί, πιθανώς, ορισμένες τιμές του Εργαστηρίου 13, οι οποίες είναι έως και δύο τάξεις μεγέθους μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες των υπόλοιπων εργαστηρίων και δεν μπορούν να αποδοθούν σε μεταβολή της εκπεμπόμενης ισχύος.

Η παραπάνω κατηγοριοποίηση δεν είναι δεσμευτική, πράγμα που σημαίνει ότι μπορεί σε κάποιο εργαστήριο να αποδοθούν και άλλες πηγές σφάλματος, που δεν έγιναν αντιληπτές κατά τη διάρκεια των μετρήσεων ή δεν προκύπτουν άμεσα από τις αναφορές των αποτελεσμάτων. Δεν θα πρέπει επίσης να ξεχνάμε, ότι σε όλες τις μετρήσεις υπεισέρχεται ο ανθρώπινος παράγοντας, δηλαδή η εξάρτηση του αποτελέσματος από την παρουσία του χειριστή και από τον τρόπο με τον οποίο εκτελεί τη μέτρηση. Η περαιτέρω αναζήτηση παραγόντων που εισάγουν ανακρίβεια στις μετρήσεις και η επιλογή των ανάλογων διορθωτικών δράσεων είναι θέμα εσωτερικού ελέγχου του κάθε εργαστηρίου.

4.2 Παρατηρήσεις πάνω στο θεωρητικό πλαίσιο – Αποτίμηση του ΣΔΙ

Το περιβάλλον διεξαγωγής των μετρήσεων είναι μη ελεγχόμενο, διότι ενδέχεται να υπάρχουν και πηγές που εκπέμπουν σε άλλες φασματικές περιοχές πέραν αυτών των σεναρίων μέτρησης. Επιπλέον, η ισχύς εκπομπής των σταθμών βάσης των κινητών επικοινωνιών μεταβάλλεται ανάλογα με την τηλεπικοινωνιακή κίνηση που πρέπει να εξυπηρετηθεί. Η χρονική μεταβλητότητα της έντασης του πεδίου επηρεάζει, ενδεχομένως, ορισμένα z scores σε επιμέρους επίπεδα δοκιμών, ωστόσο είναι ένας παράγοντας, στον οποίο εκτίθενται όλα τα εργαστήρια καθ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων και ο οποίος μπορούμε να θεωρήσουμε ότι εξισορροπείται στα συγκεντρωτικά αποτελέσματα. Αυτό επιβεβαιώνεται και από τις ευρυζωνικές μετρήσεις της συνολικής στάθμης του ηλεκτρικού πεδίου που κρατούσε καθ' όλη τη διάρκεια των δοκιμών ο οργανωτής και από τις οποίες δε διαπιστώθηκε αξιοσημείωτη μεταβολή της έντασης του πεδίου.

Το γεγονός ότι σε όλες τις περιπτώσεις, εντοπίστηκαν προφανείς τεχνικές αιτίες για την μη ικανοποιητική επίδοση των εργαστηρίων αποδεικνύει την αποτελεσματικότητα και τη σωστή λειτουργία του σχήματος δοκιμών. Οι δείκτες επίδοσης επαλήθευσαν την επίδραση όλων εκείνων των παραγόντων που γνωρίζουμε εκ των προτέρων ότι υποβαθμίζουν την ποιότητα των μετρήσεων. Τέλος, λαμβάνοντας υπόψη ότι το όριο του 5% είναι αυστηρότερο από αντίστοιχα όρια που χρησιμοποιούνται στην πράξη (συγκρίνοντας με αυτά που έχουν χρησιμοποιηθεί στο εξωτερικό από οργανωτές παρομοίων ΣΔΙ), αναδείχθηκε η καταλληλότητά του ως κριτηρίου αξιολόγησης και η αξιόπιστη θεωρητική του βάση, εφόσον σε όλα τα εργαστήρια που το υπερβαίνουν ανιχνεύθηκαν πηγές σφάλματος.

Ε. Π. Νικολοπούλου, Ε. Καραμπέτσος, Ι. Φ. Γκόνοσ και Ι. Α. Σταθόπουλος
Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων Ε.Μ.Π., Γραφείο Μη Ιοντιζουσών Ακτινοβολιών Ε.Ε.Α.Ε.
Αξιολόγηση διεργαστηριακών μετρήσεων ηλεκτρομαγνητικού πεδίου υψηλών συχνοτήτων

Πίνακας 2: Ενδεικτικά αποτελέσματα z scores για το λόγο έκθεσης στο συνολικό εύρος ζώνης (Λ TOT) και για το λόγο έκθεσης στις κυριότερες φασματικές ζώνες (Λ GSM, Λ DCS, Λ UMTS, Λ FM, Λ TV UHF)

	Λ TOT 1.1	Λ TOT 1.2	Λ TOT 1.3	Λ TOT 2.1	Λ TOT 2.2	Λ TOT 2.3	Λ TOT 3.1	Λ TOT 3.2	Λ GSM 1.1	Λ GSM 1.2	Λ GSM 1.3	Λ DCS 2.1	Λ DCS 2.2	Λ DCS 2.3	Λ UMTS 2.1	Λ UMTS 2.2	Λ UMTS 2.3	Λ FM 3.1	Λ FM 3.2	Λ TV UHF 3.1	Λ TV UHF 3.2	
Lab 1																						
Lab 2	-0.96	-0.87	-1.21	-0.90	-1.20	-1.08	1.96	2.17	-1.41	-0.94	-2.63							1.51	0.94	3.28	2.95	
Lab 3	-0.45	-0.56	0.51						-0.69	-0.68	0.95											
Lab 4	0.81	2.88	1.67	-0.01	0.43	1.09	1.32	-0.03														
Lab 5																						
Lab 6	-0.19	0.68	0.25	0.35	4.10	3.46			-0.05	0.93	0.54	2.54	5.34	9.85	1.30	1.67	-0.17					
Lab 7	0.82	1.04	-0.21	-0.22	0.61	-0.30	-0.34	0.05														
Lab 8	2.35	1.23	1.25	2.17	3.64	6.90	-0.33	0.27														
Lab 9	-0.37	-0.55	0.12	-0.54	-0.72	0.22	-0.91		-0.47	-0.64	0.12	-0.41	-0.41	0.83	0.13	-0.76	-0.46	-0.95		-1.24		
Lab 10	-0.37	0.10	0.11	-0.35	-0.27	-0.43			-0.50	0.14	-0.05	-0.14	-0.34	-0.81	0.63	0.09	-1.08					
Lab 11	-1.22	-0.37	-1.03	-0.79	-1.12	-1.08																
Lab 12	0.42	-1.04	0.21	-0.59	-0.28	-0.53			0.88	3.06	0.32	-0.54	-0.50	-0.77	-0.13	0.71	-1.03					
Lab 13	0.49	1.09	0.01	0.28	1.16	1.84	1.27	-0.95	0.81	1.25	-0.19	1.72	0.63	0.55	1.71	1.24	6.29	1.01	-1.02	-0.25	0.41	
Lab 14	-1.22	-0.58	-1.36	-0.79	0.84																	
Lab 15	-1.56	-0.89	-1.50	-0.91	-0.14																	
Lab 16	0.06	-0.27	0.54	-0.33	-0.19	-0.20			0.26	-0.29	1.04	0.35	0.13	-0.61	0.25	-0.27	-0.09					
Lab 17	0.10	-0.87	-1.71						0.35	-0.99	-0.42											
Lab 18	-0.86	-0.57		-1.13	-1.99	-2.65			-1.26	-0.59		-1.81	-1.62		-1.31	-1.46						
Lab 19	5.52	4.49	6.79																			
Lab 20	1.42	1.20	0.94	2.60	-0.68	0.51	-0.51	0.08	2.50	1.36	1.84							-0.66	-0.26	0.25	-0.20	
Lab 21	0.95	-0.03	0.01	1.35	0.68	-0.45	0.42	-0.09	1.69	-0.06	-0.10							0.24	-0.56	0.26	-0.07	
Lab 22	0.12	-0.07	0.53	2.04	-0.28	-1.00	-0.51	-0.42	0.25	-0.13	0.95							-0.61		-0.53	-0.55	
Lab 23	-0.44	-1.31	-0.51	0.65	-1.15				-0.47	-1.42	-1.10	-0.68	-0.67		-0.76	-0.74						
Lab 24	0.00	-0.87	0.01	1.35	-0.73	-0.05	-0.55		0.16	-0.24	-0.11	-0.25	-0.51	-0.35	-0.20	-0.60	0.18	-0.64		-0.77		
Lab 25							-1.10	-1.38														
Lab 26				-0.47	0.84	0.22						0.13	1.43	1.04	-0.01	-0.43	-0.17					
Lab 27				-0.41	0.51	-0.27						0.61	0.56	-0.73	-1.33	0.62	-0.17					
Lab 28				-0.29	0.58	0.16	-0.60	-0.50														
Lab 29		0.57	0.01							0.81	-1.49											
Lab 30	-0.61	-0.05	-0.17	-0.73	-0.39	0.20			-0.85	-0.02	-0.46	-0.56	-0.31	-0.65	-0.06	0.10	1.92					
Lab 31							0.34	1.60										0.11	0.90	0.79	-1.07	

Ε. Π. Νικολοπούλου, Ε. Καραμπέτσος, Ι. Φ. Γκόνος και Ι. Α. Σταθόπουλος
 Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων Ε.Μ.Π., Γραφείο Μη Ιοντιζουσών Ακτινοβολιών Ε.Ε.Α.Ε.
 Αξιολόγηση διεργασιολογικών μετρήσεων ηλεκτρομαγνητικού πεδίου υψηλών συχνοτήτων

4^ο Τακτικό Εθνικό Συνέδριο Μετρολογίας
 Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου
 Αθήνα, 3-4 Φεβρουαρίου 2012

Για τη βελτίωση του σχήματος σε μελλοντικές του επαναλήψεις είναι επιθυμητή η αυστηρότερη συμμόρφωση των συμμετεχόντων με τις οδηγίες του οργανωτή για τα παραδοτέα αποτελέσματα, όπως επίσης και η χρήση, κατά το δυνατόν, κοινών ορίων στις φασματικές περιοχές μέτρησης, ώστε να επιτευχθεί μεγαλύτερη ομοιογένεια των δεδομένων και να μειωθούν οι παραδοχές που γίνονται κατά την κατηγοριοποίηση και την αξιολόγησή τους.

5. Συμπεράσματα

Η παρούσα εργασία πραγματοποιείται την οργάνωση - εκτέλεση ενός σχήματος διεργαστηριακών μετρήσεων ηλεκτρομαγνητικού πεδίου υψηλών συχνοτήτων και την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητάς του, ανιχνεύοντας αφενός ενδοεργαστηριακούς παράγοντες σφάλματος και αφετέρου πιθανές ατέλειες της προκαθορισμένης διαδικασίας μετρήσεων.

Το ένα τρίτο των συμμετεχόντων (10 από τις 31 ομάδες μέτρησης) σημείωσε μη ικανοποιητική επίδοση, γεγονός που καταδεικνύει την αναγκαιότητα ενεργοποίησης του εν λόγω σχήματος δοκιμών και την ύπαρξη σημαντικών πηγών που μειώνουν την ακρίβεια των μετρήσεων. Ο εξοπλισμός εν γένει και η μη κατάλληλη ρύθμιση των παραμέτρων λειτουργίας του αποτελούν την κυριότερη πηγή σφάλματος. Άλλοι παράγοντες μη ικανοποιητικής επίδοσης είναι η απόκλιση από τις οδηγίες-προδιαγραφές του οργανωτή κατά την εκτέλεση των μετρήσεων, τα υπολογιστικά βήματα για την επεξεργασία των δεδομένων και την εξαγωγή παράγωγων μεγεθών, καθώς και η παράλειψη δεκαδικών ψηφίων κατά την παρουσίαση του λόγου έκθεσης.

Η λειτουργία του ΣΔΙ και η υιοθέτηση του κριτηρίου του 5% για τη συνολική αξιολόγηση των συμμετεχόντων κρίνεται ικανοποιητική. Οι προτεινόμενες βελτιώσεις για μελλοντικά σχήματα σχετίζονται κυρίως με τη μορφή και την ομοιογένεια των παραδοτέων μετρήσεων.

6. Βιβλιογραφία

Ε.Λαμπή, “Μετρολογία-διαπίστευση: Εργαλεία για την επίτευξη της εργαστηριακής αξιοπιστίας, Εισήγηση: Διεργαστηριακές συγκρίσεις και σχήματα δοκιμών ικανότητας”, Σχολείο για τη μετρολογία: Εκπαιδευτικό σεμινάριο HELLASLAB, 2007

ΕΛΟΤ 1422-3, “Συνεγκατάσταση κεραιών ραδιοεπικοινωνιών- Μέρος 3: Τεχνικές δοκιμών και μετρήσεων – Όρια”

ΕΣΥΔ ΠΔΙ/02/00/02-09-2011, “Πολιτική του Ε.ΣΥ.Δ. σχετική με τη συμμετοχή των εργαστηρίων σε προγράμματα δοκιμών ικανότητας και σε διεργαστηριακές συγκριτικές δοκιμές” (http://www.esyd.gr/pweb/s/20/files/EN/kanonismoi/PDI_27_1_11.pdf)

Κ.Υ.Α. ΕΦΑ υπ.αριθ.2300 (493) “Κανονισμός διενέργειας μετρήσεων των επιπέδων της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στο περιβάλλον σταθμών κεραιών”, ΦΕΚ 346/Β/3-3-2008

Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης, “Σύσταση του Συμβουλίου της 12ης Ιουλίου 1999 περί του περιορισμού της έκθεσης του κοινού σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία (0Hz – 300GHz)”, 1999/519/ΕΚ, Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, L199, σελ. 59 – 70, 30/7/1999

Χ. Α. Χριστοδούλου, Π. Σ. Κατσιβέλης, Ι. Φ. Γκόνοσ, Ι. Α. Σταθόπουλος, “Συγκριτικές μετρήσεις ηλεκτρομαγνητικού πεδίου χαμηλών συχνοτήτων”, 3^ο Τακτικό Εθνικό Συνέδριο Μετρολογίας, 5 και 6 Φεβρουαρίου 2010, Λάρνακα, Κύπρος.

Ε. Π. Νικολοπούλου, Ε. Καραμπέτσος, Ι. Φ. Γκόνοσ και Ι. Α. Σταθόπουλος
Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων Ε.Μ.Π., Γραφείο Μη Ιοντιζουσών Ακτινοβολιών Ε.Ε.Α.Ε.
Αξιολόγηση διεργαστηριακών μετρήσεων ηλεκτρομαγνητικού πεδίου υψηλών συχνοτήτων

4^ο Τακτικό Εθνικό Συνέδριο Μετρολογίας
Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου
Αθήνα, 3-4 Φεβρουαρίου 2012

Bienkowski P., Trzaska H., “*Interlaboratory comparisons in EMF survey measurements – Methods and results*”, Proceedings of International conference and COST 281 Workshop on Emerging EMF Technologies, Potential Sensitive Groups and Health, April 20-21, 2006, Graz

CEPT Revised ECC/REC/(02)04, “*Measuring non-ionising electromagnetic radiation (9 kHz – 300 GHz)*”

E. P. Nicolopoulou, E. Karabetsos, I. F. Gonos, I. A. Stathopoulos, “*Two Interlaboratory Comparison Programmes on EMF Measurements performed in Greece*”, εργασία υπό δημοσίευση στο περιοδικό IEEE EMC Society Magazine, Spring 2012 issue

E. P. Nikolopoulou, I. F. Gonos, I. A. Stathopoulos, E. Karabetsos, “*An interlaboratory comparison programme on ELF measurements performed in Greece*”, 6th International Workshop on Biological Effects of Electromagnetic Fields, October 10-14, 2010, Bodrum

EN 50492: 2008, “*Basic standard for the in-situ measurement of electromagnetic field strength related to human exposure in the vicinity of base stations*”

ICNIRP Guidelines, International Committee for Non-Ionizing Radiation Protection, “*Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300GHz)*”, Health Physics, 74 (No 4), 494-522, April 1998

ILAC G13: 2000, “*Guidelines for the requirements for the competence of providers of proficiency testing schemes*”

ILAC-P9:2005, “*ILAC Policy for Participation in National and International Proficiency Testing Activities*”

ISO 13528: 2005, “*Statistical Methods for Use in Proficiency Testing by Interlaboratory Comparisons*”

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

ISO/IEC 17043:2010, “*Conformity assessment-General requirements for proficiency testing*”

Ε. Π. Νικολοπούλου, Ε. Καραμπέτσος, Ι. Φ. Γκόνος και Ι. Α. Σταθόπουλος
Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων Ε.Μ.Π., Γραφείο Μη Ιοντιζουσών Ακτινοβολιών Ε.Ε.Α.Ε.
Αξιολόγηση διεργαστηριακών μετρήσεων ηλεκτρομαγνητικού πεδίου υψηλών συχνοτήτων

4^ο Τακτικό Εθνικό Συνέδριο Μετρολογίας
Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου
Αθήνα, 3-4 Φεβρουαρίου 2012