

# ΔΙΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ ΥΨΗΛΩΝ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ: Ο ΔΕΥΤΕΡΟΣ ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ ΣΧΗΜΑΤΟΣ

Ε. Π. Νικολοπούλου<sup>1</sup>, Ι. Ν. Ζτούπης<sup>1</sup>, Ε. Καραμπέτσος<sup>2</sup>, Ι. Φ. Γκόνος<sup>1</sup> και Ι. Α. Σταθόπουλος<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων Ε.Μ.Π., Ηρώων Πολυτεχνείου 9, Ζωγράφου

<sup>2</sup>Γραφείο Μη Ιοντιζουσών Ακτινοβολιών Ε.Ε.Α.Ε., Πατριάρχου Γρηγορίου και Νεαπόλεως,

Αγία Παρασκευή, Τ.Θ 60092, Τ.Κ. 15310

E-mail: hveleni@mail.ntua.gr

## Περίληψη

Η Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας σε συνεργασία με το Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων και το Εργαστήριο Κινητών Ραδιοεπικοινωνιών του Ε.Μ.Π. προχώρησε στη διεξαγωγή του δεύτερου κύκλου ενός σχήματος διεργαστηριακών μετρήσεων ηλεκτρομαγνητικών πεδίων υψηλών συχνοτήτων εντός του ανηχικού θαλάμου του Εργαστηρίου Υψηλών Τάσεων Ε.Μ.Π., με στόχο την αξιολόγηση των φορέων που δραστηριοποιούνται στο συγκεκριμένο πεδίο μετρήσεων. Οι συμμετέχοντες κλήθηκαν να καταγράψουν σε μία προκαθορισμένη θέση την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου, να εντοπίσουν τις δύο συχνότητες μέγιστης εκπομπής και να υπολογίσουν τους αντίστοιχους λόγους έκθεσης σε τρία σενάρια μέτρησης. Οι μετρήσεις αξιολογήθηκαν με χρήση δεικτών επίδοσης (βαθμοί z, βαθμοί En). Επιπλέον, διερευνήθηκαν πιθανοί παράγοντες σφάλματος που υποβαθμίζουν την επίδοση των συμμετεχόντων, έγινε σύγκριση με τις επιδόσεις στον προηγούμενο κύκλο μετρήσεων και προέκυψαν συμπεράσματα για τη γενικότερη λειτουργία και αποτελεσματικότητα του εν λόγω διεργαστηριακού σχήματος.

*Λέξεις-Κλειδιά: διεργαστηριακές μετρήσεις, ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, z score, En score, συγκεντρωτικός δείκτης επίδοσης, παράγοντες μη ικανοποιητικής επίδοσης.*

## Abstract

The second round of an interlaboratory comparison scheme (ILC) on high frequency electromagnetic field measurements has been conducted in order to evaluate the overall performance of laboratories that perform measurements in the vicinity of mobile phone base stations and broadcast antenna facilities. The participants recorded the electric field produced by two high frequency signal generators inside an anechoic chamber in three measurement scenarios with the antennas transmitting each time different signals at the FM, VHF, UHF and GSM frequency bands. In each measurement scenario, the participants also used their measurements in order to calculate the relative exposure ratios. The results were evaluated in each test level calculating performance statistics (z-scores and En numbers). Subsequently, possible sources of errors for each participating laboratory were discussed and the overall evaluation of their performance was determined by using an aggregated performance statistic. A comparison between the two rounds proves the necessity of the scheme.

*Keywords: interlaboratory comparisons, high frequency electromagnetic field, z scores, En numbers*

## 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). Η βασική αρχή λειτουργίας των συγκριτικών μετρήσεων είναι η αξιολόγηση των εργαστηρίων μέσω ενός αριθμητικού δείκτη της ικανότητάς τους (δείκτης επίδοσης). Στόχος κάθε εργαστηρίου δεν πρέπει να είναι απλά μία μεμονωμένη επιτυχής συμμετοχή σε ένα πρόγραμμα συγκριτικών δοκιμών που θα πιστοποιεί την επάρκεια του μόνο για ένα περιορισμένο χρονικό διάστημα, αλλά η συνεχής επιβεβαίωση της αξιοπιστίας του και η παρακολούθηση της χρονικής εξέλιξης της επίδοσης του. Στην πολιτική του αρμόδιου εθνικού φορέα προβλέπεται, εφόσον αυτό είναι εφικτό, συμμετοχή κάθε εργαστηρίου σε ΣΔΙ ανά τετραετία (ΕΣΥΔ ΠΔΙ/02/00/02-09-2011).

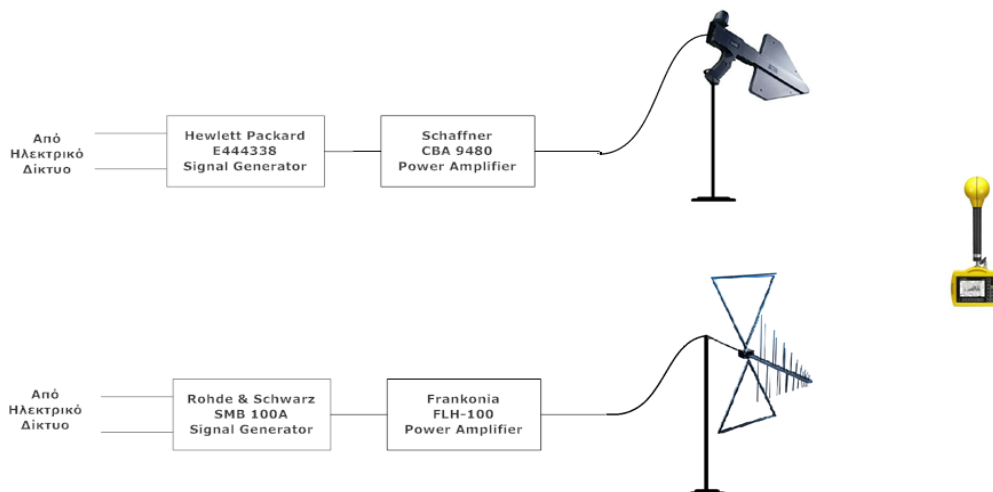
Σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία (Κ.Υ.Α. “Κανονισμός διενέργειας μετρήσεων των επιπέδων της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στο περιβάλλον σταθμών κεραιών”, ΦΕΚ 346/Β/3-3-2008), οι μετρήσεις των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων στο περιβάλλον σταθμών κεραιών που παρέχουν πάσης φύσεως τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες εκτελούνται από εργαστήρια, προκειμένου να προσδιοριστούν τα επίπεδα έκθεσης του κοινού. Ο σχετικός δείκτης για την αξιολόγηση της συμμόρφωσης με τα όρια έκθεσης που έχουν τεθεί από τη διεθνή νομοθεσία (ICNIRP Guidelines 1998, Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης 1999) είναι ο συνολικός δείκτης έκθεσης (CEPT Revised 2004, ΕΛΟΤ 1422-3: 2006, EN 50492: 2008). Στον τομέα των μετρήσεων ηλεκτρομαγνητικού πεδίου εφαρμόζεται ένα είδος ΣΔΙ όπου όλοι οι συμμετέχοντες μετρούν την ίδια πηγή εκπομπής ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, συνήθως σε κανονικές συνθήκες εργασίας (Nicolopoulou et al. 2012). Το παρόν ΣΔΙ έχει σχεδιασθεί σύμφωνα με τις διεθνείς κατευθυντήριες γραμμές ILAC G13:2000 και ISO/IEC Guide 43: 1997, την πολιτική ILAC-P9:2005 και τη σχετική πολιτική του ΕΣΥΔ για τη συμμετοχή των εργαστηρίων σε προγράμματα δοκιμών ικανότητας (ΕΣΥΔ ΠΔΙ/02/00/02-09-2011).

## 2. Πειραματική διαδικασία

Στις 27, 29 και 31 Μαΐου 2013 έλαβε χώρα στον ανηχωικό θάλαμο του Εργαστηρίου Υψηλών Τάσεων του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου ο δεύτερος κύκλος ενός σχήματος διεργαστηριακών μετρήσεων υψίσυχνων ηλεκτρομαγνητικών πεδίων με επιβλέπουσα-οργανώνουσα αρχή την Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (Nicolopoulou et al. 2013).

Για την δημιουργία του πεδίου μέσα στον ανηχωικό θάλαμο χρησιμοποιήθηκαν δύο γεννήτριες με δυνατότητα λειτουργίας στις ζώνες συχνοτήτων 250kHz-4GHz και 9kHz-6GHz αντίστοιχα, οι οποίες ήταν συνδεδεμένες μέσω δύο ενισχυτών με δύο κατάλληλες κεραίες (Teseq CBL-6111D BiLog Antenna και R&S HE200 αντίστοιχα), όπως απεικονίζεται και στο σχήμα της πειραματικής διάταξης στο Διάγραμμα 1. Αλλάζοντας τα χαρακτηριστικά της κυματομορφής (συχνότητα, πλάτος) που εξέπεμπε η κάθε γεννήτρια κατέστη δυνατός ο έλεγχος του πεδίου και η διαμόρφωση τριών διαφορετικών σεναρίων μέτρησης. Σε όλα τα σενάρια οι μετρήσεις ελήφθησαν σε μία σταθερή θέση, σε ύψος 1.5m από το έδαφος και σε οριζόντια απόσταση περίπου 4m από τον άξονα των κεραιών, έτσι ώστε οι μετρήσεις να γίνονται στο μακρινό πεδίο ακτινοβολίας τους. Η BiLog κεραία

τοποθετήθηκε υπό γωνία περίπου 45° έτσι ώστε να ελεγχτεί η ικανότητα των εργαστηρίων να ανιχνεύσουν πεδία με πόλωση που να μην είναι μόνο οριζόντια ή μόνο κατακόρυφη.



Διάγραμμα 1 : Πειραματική Διάταξη

Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά ακτινοβολίας στα Σενάρια Μέτρησης

Ισχύς Εκπομπής (dBm)	Hewlett Packard E444338 Signal Generator	Rohde & Schwarz SMB 100A Signal Generator
		-17
Σενάριο 1	<u>FM</u> 102.5 MHz	<u>GSM</u> 935 MHz
Σενάριο 2	<u>FM</u> 96.3 MHz	<u>UHF</u> 440 MHz
Σενάριο 3	<u>VHF</u> 180 MHz	<u>UHF</u> 720 MHz

### 3. Διαδικασία Υπολογισμού των Στατιστικών Επίδοσης

#### 3.1 Υπολογισμός z scores

Το πρώτο στάδιο της στατιστικής επεξεργασίας των αποτελεσμάτων είναι ο καθορισμός της εκτιμήτριας τιμής  $\hat{m}$  και της τυπικής απόκλισης  $\hat{\sigma}$ , που αποτελούν ουσιαστικά τις καλύτερες διαθέσιμες εκτιμήσεις για την πραγματική τιμή του μετρούμενου μεγέθους και τη διασπορά των μετρήσεων των εργαστηρίων, αντίστοιχα. Σε κάθε επιμέρους επίπεδο δοκιμής οι εκτιμήτριες προσδιορίζονται -συναρτήσσει των μετρήσεων των εργαστηρίων- με χρήση του επαναληπτικού αλγορίθμου που περιγράφεται στο πρότυπο ISO 13528:2005 (Annex C Algorithm A) και ο οποίος παράγει ανθεκτικές τιμές (robust values) της μέσης τιμής ( $x^*$ ) και της τυπικής απόκλισης ( $s^*$ ) των δεδομένων στα οποία εφαρμόζεται. Σε κάθε επίπεδο δοκιμής υπολογίζεται για κάθε εργαστήριο ο δείκτης επίδοσης z score (ISO 13528:2005, ISO/IEC Guide 43-1: 1997):

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

Η ερμηνεία των z scores στηρίζεται στους εξής κανόνες:

- 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).

### 3.2 Υπολογισμός αριθμών $E_n$

Η εξαγωγή των z-scores σε κάποιες από τις μετρήσεις που αφορούσαν τις εκπεμπόμενες συχνότητες, δεν ήταν δυνατή, λόγω του ότι η πλειοψηφία των εργαστηρίων κατέγραψε ακριβώς την ίδια συχνότητα. Κατά συνέπεια, ο παρονομαστής της σχέσης υπολογισμού των z-score, ήταν μηδενικός και ήταν αδύνατος ο υπολογισμός του συγκεκριμένου δείκτη επίδοσης. Στις περιπτώσεις αυτές, αντί του δείκτη z-score χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης  $E_n$  ο οποίος ορίζεται ως (ISO 13528:2005, ISO/IEC Guide 43-1: 1997):

$$E_n = \frac{x - X}{\sqrt{U_{lab}^2 + U_{ref}^2}} \quad (2)$$

Όπου:  $U_{lab}$  η διευρυμένη αβεβαιότητα της μέτρησης x του εργαστηρίου

$U_{ref}$  η διευρυμένη αβεβαιότητα της εκτιμήτριας X που προσδιορίζεται σε ένα εργαστήριο αναφοράς.

Ως εκτιμήτρια τιμή X θεωρήθηκε η ακριβής τιμή της συχνότητας που είχε επιλεγεί από τις ρυθμίσεις της γεννήτριας κυματομορφών, αναλόγως του πειράματος. Ως αβεβαιότητα της εκτιμήτριας τιμής X ( $u_{ref}$ ) ορίστηκε η αβεβαιότητα των γεννητριών συχνοτήτων του Ε.Υ.Τ. Ε.Μ.Π.:

$$u_{ref} = 0.0035\% \quad (3)$$

Έτσι, η διευρυμένη αβεβαιότητα της εκτιμήτριας τιμής X ( $U_{ref}$ ) υπολογίστηκε ως:

$$U_{ref} = X \cdot u_{ref} \quad (4)$$

Η επίδοση ενός εργαστηρίου με βάση το δείκτη  $E_n$ -number κρίνεται ως ικανοποιητική όταν ο δείκτης είναι μικρότερος της μονάδας. Επιπλέον, όσο πιο κοντά στο μηδέν είναι ο δείκτης, τόσο πιο ικανοποιητική είναι η επίδοση.

### 3.3 Συγκεντρωτικός δείκτης επίδοσης- Κριτήριο αξιολόγησης

Εάν οι μετρήσεις  $x_i$  ακολουθούν την κανονική κατανομή και οι τιμές  $x^*$  και  $s^*$  είναι καλές εκτιμήσεις της εκτιμήτριας τιμής και της τυπικής απόκλισης, τότε το z score ακολουθεί την κανονική κατανομή με μέση τιμή 0 και τυπική απόκλιση 1. Για ένα «καλώς συμπεριφερόμενο» εργαστήριο οι δείκτες z, που ακολουθούν την κατανομή  $N(0,1)$ , αναμένεται να βρίσκονται εκτός του διαστήματος  $\pm 2$  στο 5% των περιπτώσεων και εκτός του διαστήματος  $\pm 3$  μόνο για το 0,3% των περιπτώσεων. Υπολογίζοντας 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 δώσει αποτελέσματα είναι δυνατή η συνολική αξιολόγηση του εργαστηρίου (Nicolopoulou et al 2012):

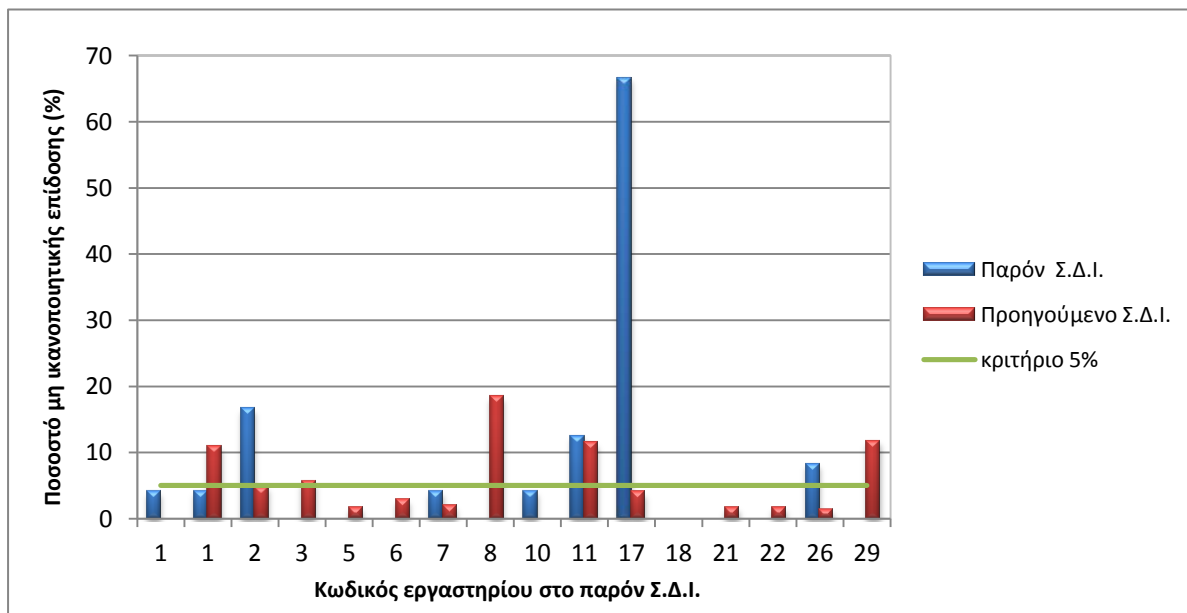
- εάν το ποσοστό αυτό υπερβαίνει το 5%, η συνολική επίδοση του εργαστηρίου είναι μη ικανοποιητική
- εάν το ποσοστό αυτό δεν υπερβαίνει το 5%, η συνολική επίδοση του εργαστηρίου είναι ικανοποιητική.

#### 4. Αποτελέσματα

Τα συμμετέχοντα εργαστήρια κλήθηκαν στα τρία σενάρια να παραδώσουν τα ακόλουθα μεγέθη μαζί με τη διευρυμένη αβεβαιότητά τους:

- $E_{TOT}$ : Συνολική μετρούμενη τιμή έντασης ηλεκτρικού πεδίου σε όλο το φασματικό εύρος λειτουργίας του χρησιμοποιούμενου εξοπλισμού (μέσος όρος 6 min)
- $E_{FM}$ ,  $E_{TV-VHF}$ ,  $E_{TV-UHF}$  και  $E_{GSM}$ : Μέγιστη μετρούμενη τιμή έντασης ηλεκτρικού πεδίου στην αντίστοιχη (αναφερόμενη) φασματική περιοχή
- $f_{MAX1}$  και  $f_{MAX2}$ : Οι δύο συχνότητες (τιμή σε MHz) στις οποίες εντοπίζεται η μέγιστη τιμή έντασης ηλεκτρικού πεδίου
- $\Lambda_{TOT}$ : Συνολικός λόγος έκθεσης σε όλο το φασματικό εύρος λειτουργίας του χρησιμοποιούμενου εξοπλισμού (με εφαρμογή συντελεστή μείωσης ορίων 60 %) (Νόμος 4070, ΦΕΚ 82/Α/10-4-2012)
- $\Lambda_{MAX1}$  και  $\Lambda_{MAX2}$ : Λόγος έκθεσης στις δύο φασματικές περιοχές με τη μέγιστη μετρούμενη τιμή έντασης ηλεκτρικού πεδίου κάθε σεναρίου μέτρησης

Στους Πίνακες 2 και 3 παρουσιάζονται οι δείκτες επίδοσης (z scores και En numbers) για τις μετρήσεις των συμμετεχόντων σε όλα τα παραπάνω παραδοτέα μεγέθη και στα τρία σενάρια μέτρησης. Επίσης, παρατίθενται οι συγκεντρωτικοί δείκτες επίδοσης τόσο για τον παρόντα κύκλο όσο και για τον πρώτο κύκλο του ΣΔΙ, όπου αυτό είναι εφικτό. Στο Διάγραμμα 2 και στους Πίνακες 2 και 3 τα εργαστήρια παρουσιάζονται με τον κωδικό που έλαβαν στον παρόντα κύκλο του σχήματος.



Διάγραμμα 2: Συγκριτική απεικόνιση του ποσοστού των μη ικανοποιητικών δεικτών επίδοσης που έλαβαν τα εργαστήρια που συμμετείχαν και στα δύο Σ.Δ.Ι.

Πίνακας 2: Δείκτες επίδοσης για την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου (E) και το λόγο έκθεσης (Λ) σε όλο το μετρούμενο εύρος συχνοτήτων (TOT) και στις επιμέρους φασματικές περιοχές (FM, GSM, UHF, VHF) για τα τρία σενάρια μέτρησης

ΕΡΓ.	ΣΕΝΑΡΙΟ ΜΕΤΡΗΣΗΣ 1						ΣΕΝΑΡΙΟ ΜΕΤΡΗΣΗΣ 2						ΣΕΝΑΡΙΟ ΜΕΤΡΗΣΗΣ 3					
	E <sub>TOT</sub>	E <sub>FM</sub>	E <sub>GSM</sub>	Λ <sub>TOT</sub>	Λ <sub>FM</sub>	Λ <sub>GSM</sub>	E <sub>TOT</sub>	E <sub>FM</sub>	E <sub>UHF</sub>	Λ <sub>TOT</sub>	Λ <sub>FM</sub>	Λ <sub>UHF</sub>	E <sub>TOT</sub>	E <sub>VHF</sub>	E <sub>UHF</sub>	Λ <sub>TOT</sub>	Λ <sub>VHF</sub>	Λ <sub>UHF</sub>
1	1,451	0,761	0,221	1,006	0,773	0,441	1,018	0,532	2,494	0,426	0,576	1,156	1,120	0,964	0,569	0,907	0,892	1,243
2	-0,725	-0,890	0,241	-0,339	-1,070	-0,936	-0,936	-0,957	0,226	-1,066	-1,231	0,619	4,628	5,298	0,529	5,161	5,689	-0,383
3	-0,350	-0,617	-0,724	-0,578	-0,661	-0,936	0,406	0,263	0,814	0,002	-0,304	1,156	0,820	0,887	0,999	0,557	0,814	1,391
4	0,580	0,259	0,225	0,254	0,231	0,441	0,474	0,230	-2,389	0,075	0,250	-2,016	-0,417	-0,395	-0,600	-0,676	-0,427	-0,041
5	0,657	0,301	-0,696	0,299	0,276	-0,936	0,322	-0,022	0,578	-0,058	-0,009	1,156	-0,072	-0,052	-0,768	-0,357	-0,093	-0,235
6	0,277	0,085	-0,685	-0,033	0,049	-0,606	0,259	-0,077	-0,363	-0,095	-0,063	-0,262	-0,404	-0,268	0,675	-0,739	-0,309	1,257
7	-0,317	-0,345	-0,690	-0,522	-0,389	-0,606	0,753	0,014	-0,327	0,231	-0,063	-0,239	-0,606	-0,787	0,986	-0,935	-0,786	1,582
8	0,586	0,261	-1,132	0,022	0,233	-0,998	0,364	-0,019	-0,178	-0,072	-0,004	-0,094	-0,178	-0,311	0,152	-0,577	-0,362	0,741
9	0,021	3,302	4,588	3,795	3,863	5,723	0,217	6,203	-0,363	6,979	8,241	-0,324	-1,368	-0,544	0,185	-0,820	-0,564	-0,634
10	0,328	0,068	-0,705	0,030	0,028	-0,771	0,016	-0,121	-0,379	-0,239	-0,114	-0,339	0,675	0,838	0,264	0,460	0,759	-0,531
11	0,634	0,610	-1,319	6,897	0,637	-0,936	0,859	0,705	0,988	5,806	0,671	1,156	-1,179	-1,048	0,661	5,193	-1,013	-0,235
12	0,703	1,050	0,344	7,051	1,117	0,441	-0,379	-0,013	0,192	4,194	-0,042	0,389	-0,744	-0,596	1,475	6,069	-0,604	0,209
13	-0,801	-0,717	-0,235	-0,672	-0,546	-0,135	-0,969	-0,838	-0,561	-0,693	-0,625	-0,412	0,384	0,784	-0,433	0,467	1,045	0,238
14	-0,656	-0,583	-0,224	-0,552	-0,410	-0,125	-1,073	-0,897	-0,447	-0,759	-0,682	-0,306	0,349	0,513	-0,708	0,429	0,765	-0,013
15	1,602	2,305	1,076	0,283	2,960	1,013	0,460	1,755	-8,810	0,063	1,860	-2,402	1,184	-7,341	-0,675	0,376	-5,407	-1,023
16	12,98	21,36	5,891	15,59	42,78	8,016	13,90	15,52	3,099	24,12	27,79	26,46	17,53	4,836	2,395	6,137	5,259	4,792
17	14,67	3,771	14,69	5,128	4,562	30,74	34,81	6,865	88,63	21,52	8,996	532,5	6,019	-0,437	26,92	0,330	-0,331	41,75
18	0,293	0,141	-0,272	-0,001	0,020	1,130	0,761	0,173	0,797	0,164	0,433	-0,377	-0,216	-0,129	0,794	-0,561	-0,297	-0,826
19	-0,086	-0,062	0,270	-0,296	-0,101	0,441	0,410	0,378	0,226	0,031	0,407	0,236	-0,188	0,059	0,013	-0,441	0,000	0,549
20	-0,066	-0,168	0,390	-0,306	-0,209	0,579	0,544	0,304	-1,841	0,117	0,329	-1,604	-0,181	0,094	-0,887	-0,434	0,034	-0,220
21	-0,874	-0,735	-0,534	-0,924	-0,773	-0,337	-0,316	-0,387	0,105	-0,461	-0,375	-0,163	-0,575	-0,376	-1,139	-0,843	-0,410	-0,557
22	-0,814	-0,835	-0,717	-0,878	-0,933	-0,792	-0,219	-0,294	-0,001	-0,401	-0,351	-0,163	-0,759	-0,732	-1,094	-0,843	-0,410	-0,557
23	0,528	-0,103	-0,713	0,207	-0,140	-0,936	0,982	0,577	-1,910	0,426	0,624	-1,911	0,372	0,349	-0,552	0,123	0,282	-0,678
24	-1,144	-1,227	-0,326	-1,245	-1,342	-0,420	-1,050	-1,076	0,595	-0,884	-1,003	0,389	-1,356	-1,665	0,145	-1,861	-1,722	-0,664
25	-0,176	0,396	-0,963	-0,388	0,380	-0,936	0,271	0,019	-0,778	-0,098	0,029	-0,377	0,239	1,396	-1,409	0,019	1,332	-0,531
26	0,396	-0,984	2,668	-0,318	-0,484	0,186	-1,830	-2,494	0,629	-1,388	-1,624	0,535	-1,070	-1,419	-0,013	-1,939	-1,865	-0,309
27	-1,741	-1,723	2,031	-1,754	-1,831	8,016	-1,666	-1,486	0,058	-1,308	-1,445	-0,377	0,113	0,214	-1,184	-0,059	0,248	-1,418
28	-1,089	-1,167	-0,326	-1,121	-1,182	-0,248	-2,673	-2,292	-0,312	-1,831	-2,064	-0,377	0,833	0,995	-0,993	0,622	0,930	-1,270
29	-1,487	-----	-----	-----	-----	-----	-1,175	-----	-----	-----	-----	-----	-1,611	-----	-----	-----	-----	-----
30	-0,869	-----	-----	-----	-----	-----	-0,504	-----	-----	-----	-----	-----	0,226	-----	-----	-----	-----	-----

Πίνακας 3: Δείκτες επίδοσης (**z scores** και **En numbers**) για τις δύο συχνότητες στις οποίες εντοπίζεται η μέγιστη τιμή έντασης ηλεκτρικού πεδίου ( $f_{MAX1}$  και  $f_{MAX2}$ ) για τα τρία σενάρια μέτρησης και συγκεντρωτικά % ποσοστά επίδοσης 1<sup>ου</sup> και 2<sup>ου</sup> κύκλου του ΣΔΙ.

ΕΡΓ.	ΣΕΝΑΡΙΟ ΜΕΤΡΗΣΗΣ 1			ΣΕΝΑΡΙΟ ΜΕΤΡΗΣΗΣ 2			ΣΕΝΑΡΙΟ ΜΕΤΡΗΣΗΣ 3		Πλήθος $ z  > 2$ ή $E_n > 1$	% Ποσοστό $ z  > 2$ ή $E_n > 1$	% Ποσοστό $ z  > 2$ 1 <sup>ου</sup> κύκλου	
	$F_{max1}$		$F_{max2}$ En-number	$F_{max1}$		$F_{max2}$ En-number	$F_{max1}$ En-number	$F_{max2}$ En-number				
	z-score	En-number		z-score	En-number							
1	-0,208	0,00	0,000	0,142	0,00	0,000	0,000	0,000	1	4,2	0,0	10,9
2	-0,208	0,00	0,000	0,142	0,00	0,000	0,000	0,000	4	16,7		4,8
3	-0,208	0,00	0,000	0,142	0,00	0,000	0,000	0,000	0	0,0		5,6
4	-3,095	-0,04	0,040	-3,883	-0,08	-0,040	-0,080	-0,600	4	16,7		-----
5	-0,208	0,00	0,000	0,142	0,00	0,000	0,000	0,000	0	0,0		1,7
6	1,727	0,72	0,131	-0,180	-0,17	0,010	0,000	0,052	0	0,0		2,9
7	-2,283	-0,97	-0,038	1,600	0,98	0,001	-0,003	0,002	1	4,2		2,0
8	-1,940	-0,26	-0,489	-0,462	-0,13	0,000	0,000	0,000	0	0,0		18,4
9	-0,208	0,00	0,000	0,142	0,00	-0,655	0,000	-0,393	8	33,3		-----
10	0,514	0,33	59,709	0,142	0,00	0,000	0,000	0,000	1	4,2		0,0
11	-0,208	0,00	0,000	0,142	0,00	0,000	0,000	0,000	3	12,5		11,5
12	-0,208	0,00	0,000	0,142	0,00	0,000	0,000	0,000	3	12,5		-----
13	-0,005	0,15	-0,079	0,262	0,13	0,000	-0,021	0,000	0	0,0		-----
14	0,081	0,21	-0,218	0,262	0,13	0,000	-0,021	0,000	0	0,0		-----
15	3,545	0,02	0,004	2,355	0,02	0,025	0,011	0,002	8	33,3		-----
16	9,955	0,02	-0,001	6,420	0,02	-0,001	0,011	0,007	20	83,3		-----
17	-0,208	0,00	0,000	-5,895	-1,04	0,000	0,000	0,000	16	66,7		4,0
18	-0,496	0,00	0,000	-0,060	0,00	-0,102	0,000	0,000	0	0,0		0,0
19	-2,026	-0,05	0,002	-1,287	-0,06	0,002	0,038	0,004	1	4,2		-----
20	1,149	0,04	0,000	-0,865	-0,04	-0,012	0,038	0,004	0	0,0		-----
21	1,756	0,30	-0,001	-1,166	-0,29	0,000	0,000	0,002	0	0,0		1,7
22	0,716	0,14	0,001	-1,307	-0,33	0,000	0,000	0,002	0	0,0		1,7
23	-0,208	0,00	0,000	-0,236	0,00	-0,001	0,000	0,000	0	0,0		-----
24	-0,208	0,00	0,000	0,142	0,00	0,000	0,000	0,000	0	0,0		-----
25	0,947	0,78	0,000	-0,865	-1,04	0,000	0,000	0,000	0	0,0		-----
26	-0,208	0,00	0,000	0,343	0,02	0,000	0,000	0,000	2	8,3		1,4
27	-0,208	0,00	0,000	0,142	0,00	0,000	0,000	0,000	2	8,3		-----
28	-0,208	0,00	0,000	1,148	0,21	0,000	0,000	0,000	3	12,5		-----
29	-0,208	0,00	152,788	4,166	8,91	0,000	0,000	0,000	2	22,2		11,8
30	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	0	0,0		-----

## 5. Συμπεράσματα

Στόχος της παρούσας εργασίας ήταν η περιγραφή της οργάνωσης και της εκτέλεσης του δεύτερου κύκλου ενός σχήματος διεργασιολογικών μετρήσεων ηλεκτρομαγνητικού πεδίου υψηλών συχνοτήτων και η συνολική αποτίμηση της λειτουργίας του. Η ανάλυση των αποτελεσμάτων παρέχει χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με τις πιθανές πηγές σφάλματος εντός των εργαστηρίων που οδηγούν σε μη ικανοποιητικές επιδόσεις:

### 5.1 Παράγοντες μη ικανοποιητικής επίδοσης

Η χρήση μη ενδεδειγμένων μετρητικών οργάνων ή η εφαρμογή ακατάλληλων ρυθμίσεων στον εξοπλισμό είναι οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν την ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Στο παρόν σχήμα, 15 από τις 25 ομάδες που πραγματοποίησαν μετρήσεις με συχνοεπιλεκτικό εξοπλισμό (π.χ. Narda Selective Radiation Meters) είχαν συνολικά ικανοποιητική απόδοση. Αντιθέτως, 3 από τις 4 ομάδες που χρησιμοποίησαν αναλυτή φάσματος με κεραία αξιολογήθηκαν αρνητικά (Εργαστήρια 15, 16 και 29).

Πιο συγκεκριμένα, κατά τη χρήση αναλυτή φάσματος τόσο η προσαρμογή των ρυθμίσεων όσο και η εφαρμογή της διαδικασίας μέτρησης και η επεξεργασία των αποτελεσμάτων πρέπει να γίνεται με ιδιαίτερη προσοχή. Ειδικά η χρήση μη ισοτροπικής κεραίας από κοινού με τον αναλυτή φάσματος πρέπει να ακολουθείται από έναν κατάλληλο συνδυασμό των 3 χωρικών συνιστωσών του πεδίου. Στις περιπτώσεις των Εργαστηρίων 15 και 16 τα οποία ανήκαν στον ίδιο εργαστηριακό φορέα και εκτέλεσαν τις μετρήσεις χρησιμοποιώντας διαφορετικούς αναλυτές φάσματος, η χρήση μη ισοτροπικής κεραίας απέφερε χειρότερα αποτελέσματα για το Εργαστήριο 16. Επίσης, τα μη ικανοποιητικά  $F_{max1}$  αποτελέσματα του Εργαστηρίου 29 στα σενάρια μέτρησης 1 και 2 μπορούν να αποδοθούν στον αναλυτή φάσματος και τη μη ισοτροπική κεραία που χρησιμοποίησε αυτή η ομάδα ειδικά για την ανίχνευση των συχνοτήτων με το μέγιστο επίπεδο εκπομπής.

Πέρα από την πόλωση του πεδίου, καθοριστικός παράγοντας είναι το εύρος συχνοτήτων λειτουργίας της κεραίας-δέκτη. Στο σενάριο μέτρησης 1, που περιελάμβανε μέγιστη εκπομπή στη ζώνη FM (102,5MHz), ορισμένα από τα σήματα δράσης που έλαβε το Εργαστήριο 16 δικαιολογούνται από την περιοχή συχνοτήτων λειτουργίας (800-2600MHz) της χρησιμοποιούμενης Log Periodic κεραίας. Ομοίως, τα σήματα δράσης του Εργαστηρίου 4 στα σενάρια μέτρησης 1 και 2 αποδίδονται στο ότι η εκπεμπόμενη  $F_{max1}$  ήταν κοντά στο κάτω όριο του εύρους συχνοτήτων λειτουργίας του οργάνου μέτρησης (87.5-960MHz).

Στην πλειοψηφία τους οι συμμετέχοντες πραγματοποίησαν μετρήσεις στο εύρος συχνοτήτων 75MHz-3GHz. Τα Εργαστήρια 2 και 17 που κάλυψαν μία ευρύτερη περιοχή (27MHz-3GHz) κατέγραψαν υψηλότερες τιμές πεδίου -ενδεχομένως επειδή ανίχνευσαν και αρμονικές που εκπέμπονταν από τις γεννήτριες- με αποτέλεσμα να λάβουν σήματα δράσης για τις μετρήσεις του ηλεκτρικού πεδίου.

Ένα επιπλέον πολύ σημαντικό τεχνικό χαρακτηριστικό που σχετίζεται με τη φασματική ευαισθησία του εξοπλισμού μέτρησης είναι το ζωνικό εύρος ανάλυσης (resolution bandwidth, RBW). Ακατάλληλη ρύθμιση αυτής της παραμέτρου εξηγεί τα σήματα δράσης του Εργαστηρίου 9. Αναλυτικότερα, η επιλογή των ρυθμίσεων RBW για το σενάριο μέτρησης 1 (2kHz για τη ζώνη των FM, 30kHz για τη ζώνη GSM, ενώ οι άλλοι συμμετέχοντες υιοθέτησαν τις ρυθμίσεις 100kHz και 200kHz, αντίστοιχα) οδήγησε σε τιμές  $E_{FM}$  σημαντικά υψηλότερες από το συνολικό  $E_{TOT}$ . Ομοίως, στο σενάριο μέτρησης 2, το RBW στην ζώνη FM διατηρήθηκε στα 2kHz και στη ζώνη UHF ορίστηκε 200kHz, πολύ μικρότερη από τη ρύθμιση του 1MHz που εφαρμόστηκε από τις άλλες ομάδες. Επιπλέον, η κλίμακα μέτρησης του οργάνου στο σενάριο μέτρησης 1 ορίστηκε



στα 2,8 V/m, τιμή πολύ μικρότερη από τις καταγραφείσες τιμές πεδίου, οι οποίες, θεωρούνται αμφίβολης ακρίβειας.

Τα Εργαστήρια 11 και 12 (που είχαν τους ίδιους χειριστές, αλλά διαφορετικό εξοπλισμό μέτρησης) έλαβαν σήματα δράσης και στα τρία σενάρια μόνο για τις τιμές του συνολικού δείκτη έκθεσης γεγονός που υποδηλώνει σφάλμα κατά την επεξεργασία των μετρήσεων και την εφαρμογή των ορίων έκθεσης για τον υπολογισμό του λόγου έκθεσης. Θα πρέπει να επισημανθεί ότι μια μέτρηση του ηλεκτρικού πεδίου αξιολογούμενη με  $|z|>2$  είναι πολύ πιθανό να προκαλέσει ένα  $|z|>2$  στον αντίστοιχο λόγο έκθεσης.

Η απόδοση των συμμετεχόντων στα επίπεδα δοκιμής  $F_{max1}$  και  $F_{max2}$  ήταν σε γενικές γραμμές ικανοποιητική. Μεταξύ αριθμών  $E_n$  και των αντίστοιχων  $z$  scores εντοπίζονται ορισμένες ασυμφωνίες, καθώς υπάρχουν περιπτώσεις όπου τιμές  $|z|>2$  δεν έχουν οδηγήσει σε  $|E_n|>1$  ( $F_{max1}$  στα σενάρια 1 και 2) και αντίστροφα (Εργαστήριο 25,  $F_{max1}$  στο σενάριο 2). Πηγή αυτών των αποκλίσεων είναι αφενός ο συνυπολογισμός των αβεβαιοτήτων στους αριθμούς  $E_n$  και αφετέρου το γεγονός ότι, σε αντίθεση με τους βαθμούς  $z$ , ο εν λόγω δείκτης επίδοσης δεν επηρεάζεται από τα αποτελέσματα των υπολοίπων ομάδων. Μη επαναλαμβανόμενα  $|z|>2$ , χωρίς εμφανείς πηγές σφάλματος, όπως συμβαίνει στις περιπτώσεις των Εργαστηρίων 1, 7, 10, 19, 26, 27 και 28 θα μπορούσαν να θεωρηθούν περιστασιακά λάθη.

Η ανίχνευση των πιθανών τεχνικών αδυναμιών, στις περισσότερες περιπτώσεις, αποδεικνύει την ικανοποιητική λειτουργία του ΣΔΙ. Το γεγονός ότι πάνω από το ένα τρίτο των συμμετεχόντων (12 από τις 30 ομάδες μέτρησης) είχαν μη ικανοποιητική επίδοση δείχνει ότι η τεχνική επάρκεια στον τομέα των μετρήσεων ηλεκτρομαγνητικού πεδίου υψηλών συχνοτήτων θα πρέπει να καταγράφεται και να αξιολογείται συνεχώς μέσω της συμμετοχής σε ΣΔΙ.

## 5.2 Σύγκριση μεταξύ κύκλων του ΣΔΙ

Σε αυτό το δεύτερο κύκλο υλοποιήθηκαν προτάσεις βελτίωσης της πειραματικής διαδικασίας που προέκυψαν από τον πρώτο γύρο του ΣΔΙ. Η εκτέλεση του δεύτερου γύρου στο ελεγχόμενο περιβάλλον ενός ανηχικού θαλάμου με προκαθορισμένες συνθήκες εκπομπής εξασφαλίζει το μέγιστο δυνατό βαθμό συγκρισιμότητας των μετρήσεων εξαλείφοντας την χρονική μεταβολή του πεδίου υποβάθρου. Συνεπώς, οι βασικές παράμετροι που αξιολογούνται είναι ο μετρητικός εξοπλισμός και η απόδοση των χειριστών. Εκτός από το περιβάλλον της μέτρησης, η ίδια η διαδικασία μέτρησης τροποποιήθηκε σε αυτόν τον γύρο (Nicolopoulou et al., 2012). Λόγω του περιορισμένου χώρου στον ανηχικό θάλαμο και προκειμένου να ληφθούν μετρήσεις στο μακρινό πεδίο των κεραιών, το πεδίο καταγράφηκε μόνο σε μία προκαθορισμένη θέση και μάλιστα σε ένα μόνο ύψος με στόχο τη μείωση του απαιτούμενου χρόνου μέτρησης και της ετερογένειας των παραδοτέων αποτελεσμάτων. Προς την κατεύθυνση αύξησης της ομοιομορφίας των παραδοτέων, η διαίρεση του συνολικού μετρούμενου φάσματος σε επιμέρους φασματικές ζώνες έγινε με όρια προκαθορισμένα από τον οργανωτή.

Από τους 30 συμμετέχοντες εργαστηριακούς φορείς του δεύτερου κύκλου οι 15 έχουν συμμετάσχει και στο πρώτο ΣΔΙ. Άμεση σύγκριση των επιμέρους επιδόσεων μεταξύ των δύο κύκλων δεν είναι δυνατή, καθώς το πλήθος των συμμετεχόντων, το περιβάλλον διεξαγωγής και τα ίδια τα επίπεδα δοκιμών μεταβλήθηκαν. Μόνο μια σύγκριση του συνολικού ποσοστού των  $|z|>2$  είναι εφικτή.

Η σύγκριση αυτή καταδεικνύει την αναγκαιότητα του ΣΔΙ, όπως προκύπτει και από το Διάγραμμα 2. Περιπτώσεις ικανοποιητικής επίδοσης στον πρώτο γύρο που ακολουθούνται από μερικώς ικανοποιητικές ή μη ικανοποιητικές επιδόσεις σε αυτό τον κύκλο (Εργαστήρια 2, 17 και

26) δείχνουν ότι θα πρέπει να είναι συνεχής η παρακολούθηση της επίδοσης ενός εργαστηρίου. Επιπλέον, βελτιωμένες επιδόσεις στον παρόντα κύκλο (Εργαστήρια 3, 8 και 29), αποδεικνύουν την αποτελεσματικότητα των ΣΔΙ για τον εντοπισμό και την εξάλειψη των παραγόντων που μειώνουν την ποιότητα των μετρήσεων.

## Βιβλιογραφία

ΕΛΟΤ 1422-3: 2007, “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](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

Νόμος 4070 “Ρυθμίσεις Ηλεκτρονικών Επικοινωνιών, Μεταφορών, Δημοσίων Έργων και άλλες διατάξεις”, ΦΕΚ 82/Α/10-4-2012

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

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

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

E.P. Nicolopoulou, I.F. Gonos, I.A. Stathopoulos, E. Karabetos, “Two Interlaboratory comparison Programs on EMF Measurements Performed in Greece”, IEEE Electromagnetic Compatibility Magazine, Volume 1, Quarter 2, pp. 50-59, 2012

E.P. Nicolopoulou, I.N. Ztoupis, E. Karabetos, I.F. Gonos, I.A. Stathopoulos, “An interlaboratory comparison programme on high frequency electromagnetic field measurements in a controllable environment performed in Greece”, 16th International Congress of Metrology, Paris France, October 7-10 2013, PB-28, DOI: 10.1051/metrology/201311010.

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”

ISO/IEC Guide 43-1: 1997, «Proficiency testing by interlaboratory comparisons - Part 1: Development and operation of proficiency testing schemes».