

## Συγκριτικές μετρήσεις ηλεκτρομαγνητικού πεδίου χαμηλών συχνοτήτων

Χ.Α. Χριστοδούλου Π.Σ. Κατσιβέλης Ι.Φ. Γκόνοσ Ι.Α. Σταθόπουλος

### Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων Ε.Μ.Π.

#### Περίληψη

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η περιγραφή συγκριτικών μετρήσεων ηλεκτρομαγνητικών πεδίων χαμηλών συχνοτήτων, που πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων του Ε.Μ.Π.. Στις συγκεκριμένες μετρήσεις συμμετείχαν τα τέσσερα διαπιστευμένα εργαστήρια της Ελλάδος, σε αυτό το πεδίο (ΕΕΑΕ, EMC ΕΛΛΑΣ, FASMETRICS και Υψηλών Τάσεων ΕΜΠ). Στην εργασία αυτή περιγράφεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων και η αξιολόγησή τους. Τέλος, παρατίθενται κάποιες σκέψεις για περαιτέρω βελτίωση αντίστοιχων συγκριτικών μετρήσεων, που θα διεξαχθούν στο άμεσο μέλλον.

#### Abstract

The scope of this paper is the description of the interlaboratory comparison for the low frequency electromagnetic fields measurements. The measurements were performed by the four accredited - to this field - laboratories of Greece at High Voltage Laboratory. This paper describes the methodology of the measurements, the results and their evaluation, and proposals for the improvement of the measurements procedure.

#### 1. Ηλεκτρομαγνητικό πεδίο χαμηλών συχνοτήτων

Τα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία που δημιουργούνται από γραμμές μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, συσκευές ή άλλες εγκαταστάσεις των 50Hz ή 60Hz ονομάζονται πεδία εξαιρετικά χαμηλής συχνότητας και προκαλούν μη ιοντίζουσες ακτινοβολίες, οι οποίες, είναι μεν ανίκανες να προκαλέσουν άμεσα ιονισμό, αλλά ικανές να προκαλέσουν ηλεκτρικές, θερμικές ή χημικές επιδράσεις στα κύτταρα, ευεργετικές ή επιβλαβείς, για τη λειτουργία τους (Hugh D. Young 1995, ΕΕΑΕ 2005, Τσανάκας και άλλοι 2003).

Η δημιουργία του ηλεκτρικού πεδίου οφείλεται στις επικρατούσες στους αγωγούς μιας ηλεκτρικής γραμμής, συσκευής ή άλλης εγκατάστασης τάσεις, ανεξάρτητα από το εάν οι αγωγοί αυτοί διαρρέονται ή όχι από ρεύμα. Τα ηλεκτρικά πεδία παραμορφώνονται από την παρουσία αγώγιμων διατάξεων ή ανθρώπινου σώματος, ενώ θωρακίζονται από οικοδομικά υλικά, δένδρα, φράκτες, κ.λπ.. Το μέγεθος που εκφράζει πόσο ισχυρό είναι το ηλεκτρικό πεδίο είναι η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου  $E$  και εξαρτάται από την τάση, τη γεωμετρία και την απόσταση.

Η δημιουργία του μαγνητικού πεδίου οφείλεται στις εντάσεις των ρευμάτων που διαρρέουν τους αγωγούς μιας ηλεκτρικής γραμμής, συσκευής ή άλλης εγκατάστασης. Τα μαγνητικά πεδία, σε αντίθεση με τα ηλεκτρικά, διαπερνούν τα οικοδομικά υλικά και το ανθρώπινο σώμα, καθιστώντας τη θωράκιση δύσκολη. Το μέγεθος που εκφράζει πόσο ισχυρό είναι το μαγνητικό πεδίο είναι η μαγνητική επαγωγή  $B$  και εξαρτάται από την ένταση του ρεύματος, τη γεωμετρία και την απόσταση.

Τα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία αποσβέννυνται όσο αυξάνεται η απόσταση από την πηγή που τα δημιουργεί και, κατά συνέπεια, οπτική επαφή με πάσης φύσεως ηλεκτρικές εγκαταστάσεις δεν συνεπάγεται απαραίτητα και έκθεση σε πεδία. Η απόσβεση αυτή είναι αντιστρόφως ανάλογη, είτε της απόστασης, είτε δύναμης της απόστασης, ανάλογα με το σημείο παρατήρησης (ταχύτερες μειώσεις πλησίον της πηγής και πιο αργές μειώσεις μακριά της).

Τα πεδία εξαρτώνται από πολλές παραμέτρους. Μικρές εντάσεις ρεύματος σε συνδυασμό με μικρές αποστάσεις, όπως είναι οι αποστάσεις μεταξύ ηλεκτρικών συσκευών και ανθρώπων στα σπίτια, προκαλούν μαγνητικά πεδία, τα οποία είναι πολλές φορές μεγαλύτερα από εκείνα που

οφείλονται στις εναέριες γραμμές, όπου υπάρχουν μεγάλες εντάσεις αλλά και μεγάλες αποστάσεις. Επομένως, οι γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας και οι υποσταθμοί υψηλής τάσεως, οι οποίες προκαλούν συχνά ανησυχίες λόγω των μεγάλων διαστάσεων τους, δεν προκαλούν πάντα τις μεγαλύτερες πεδιακές εντάσεις, σε σχέση με τις πεδιακές εντάσεις άλλων πηγών (π.χ. ηλεκτρικών οικιακών συσκευών).

Πολλοί είναι αυτοί που σχετίζουν την έκθεση σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία με βλαβερές συνέπειες στον ανθρώπινο οργανισμό (λευχαιμία, μεταλλάξεις, καρκινογένεσεις, κ.α.). Για το σκοπό αυτό έχουν πραγματοποιηθεί ή βρίσκονται σε εξέλιξη πολλές επιδημιολογικές, κλινικές και εργαστηριακές μελέτες, προκειμένου να διερευνηθούν οι επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία από την έκθεση σε ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία χαμηλών συχνοτήτων. Τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία είναι, επίσης, δυνατόν να προκαλέσουν παρεμβολές σε βιολογικούς (ή άλλα εμφυτεύματα σε ανθρώπινο οργανισμό) και να επηρεάσουν την ποιότητα της εικόνας σε οθόνες ηλεκτρονικών υπολογιστών.

Σύμφωνα με την Ελληνική Νομοθεσία, για τις εκπομπές ηλεκτρομαγνητικών πεδίων χαμηλών συχνοτήτων έχει εκδοθεί η Κοινή Υπουργική Απόφαση με αριθμό 3060 (ΦΟΡ) 238 (Φ.Ε.Κ. Αρ. 512, Τεύχος Δεύτερο, 25 Απριλίου 2002) από τα Υπουργεία Ανάπτυξης, Περιβάλλοντος Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων και Υγείας και Πρόνοιας, με θέμα: «τα μέτρα προφύλαξης του κοινού από τη λειτουργία διατάξεων εκπομπής ηλεκτρομαγνητικών πεδίων χαμηλών συχνοτήτων». Η προαναφερθείσα Κ.Υ.Α. βασίστηκε στη Σύσταση του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης "Σχετικά με τον περιορισμό της έκθεσης του κοινού σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία 0 Hz - 300 GHz" (L199, 1999/519/EC) και στις κατευθυντήριες γραμμές (guidelines) που εξεδόθησαν από την ICNIRP (International Commission on Non Ionizing Radiation Protection) το 1998. Οι βασικοί περιορισμοί προέκυψαν από τις τιμές κατωφλίου που προκαλούν δυσμενείς βιολογικές επιδράσεις και έχουν οριστεί λαμβάνοντας υπόψη μεγάλους συντελεστές ασφαλείας. Τα επίπεδα αναφοράς, που σύμφωνα με την Ελληνική Νομοθεσία αποτελούν τα όρια ασφαλούς έκθεσης του κοινού σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία στο φάσμα των χαμηλών συχνοτήτων, αφορούν τα μετρούμενα μεγέθη του ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου για συχνότητες έως 150 kHz και έχουν ίδιες τιμές με την Σύσταση της Ε.Ε. (Πίνακας 1).

**Πίνακας 1 Επίπεδα αναφοράς της Ελληνικής Νομοθεσίας για ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία χαμηλών συχνοτήτων**

Ζώνη συχνοτήτων	Ένταση Ηλεκτρικού Πεδίου (V/m)	Μαγνητική Επαγωγή (μT)
0-1 Hz	-	$4 \times 10^4$
1-8 Hz	10000	$4 \times 10^4 / f^2$
8-25 Hz	10000	$5000 / f$
0,025-0,8 kHz	$250 / f$	$5 / f$
0,8-3 kHz	$250 / f$	6.25
3-150 kHz	87	6.25

Από τον Πίνακα 1 προκύπτει ότι, για τη συχνότητα των 50 Hz, τα όρια για το γενικό πληθυσμό είναι 5 kV/m για το ηλεκτρικό πεδίο και 100 μT για το μαγνητικό. Σε κάθε περίπτωση, είναι απαραίτητη η μέτρηση του ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου, σε κρίσιμες περιοχές ή εγκαταστάσεις (κατοικημένες περιοχές, σχολεία, δημόσιες υπηρεσίες, αθλητικούς χώρους), προκειμένου να διαπιστωθεί κατά πόσον πληρούνται οι απαιτήσεις για την ασφαλή έκθεση σε χαμηλόσυχνα ηλεκτρομαγνητικά πεδία.

## 2. Διεργαστηριακές – συγκριτικές μετρήσεις

Μια από τις ευρύτερα αποδεκτές διαδικασίες αντικειμενικής αξιολόγησης επάρκειας των εργαστηρίων είναι η συμμετοχή στα σχήματα δοκιμών ικανότητας. Δοκιμή ικανότητας είναι ο προσδιορισμός της επίδοσης ενός εργαστηρίου στην εκτέλεση δοκιμών / διακριβώσεων μέσω διεργαστηριακών συγκριτικών δοκιμών. Η διαρκώς αυξανόμενη ζήτηση για συγκρίσιμα

αποτελέσματα, σε συνδυασμό με την αντικειμενική δυσκολία διασφάλισης της ποιότητας του αποτελέσματος μέσω της ιχνηλασιμότητας, έχει συμβάλει στη διάδοση των σχημάτων δοκιμών ικανότητας, ώστε σε ορισμένες περιπτώσεις, η συμμετοχή σε τέτοια σχήματα να αποτελεί προϋπόθεση για την αποδοχή εργαστηριακών αποτελεσμάτων (Μαθιουλάκης 2004, ISO/ IEC Guide 43-1:1997, ΕΣΥΔ ΠΔΙ/01/05/17-10-2007).

Η όλη διαδικασία συνίσταται στην αξιολόγηση του εργαστηρίου μέσω διεργαστηριακής σύγκρισης, ήτοι μέσω της συμμετοχής στην οργάνωση, εκτέλεση και αξιολόγηση μίας δοκιμής / διακρίβωσης επί του αυτού ή ομοειδούς υπό δοκιμή / διακρίβωση αντικειμένου, από δύο ή περισσότερα εργαστήρια, σύμφωνα με προκαθορισμένες συνθήκες. Διεργαστηριακές δοκιμές πρέπει να εκτελούνται για τις δοκιμές που εμπίπτουν στο πεδίο διαπίστευσης. Επομένως, το κάθε εργαστήριο επικοινωνεί με αντίστοιχα διαπιστευμένα εργαστήρια, εφόσον υπάρχουν, για την πραγματοποίηση των διεργαστηριακών δοκιμών για τις δοκιμές του πεδίου διαπίστευσής του. Εφόσον διενεργούνται κύκλοι δοκιμών προβαίνει στις απαραίτητες ενέργειες για τη συμμετοχή του εργαστηρίου.

Το κάθε εργαστήριο ελέγχει τις ιστοσελίδες: α) του Ε.ΣΥ.Δ μέσω του πίνακα «Διαθέσιμα προγράμματα δοκιμών ικανότητας έτους .....» για την ύπαρξη προγραμμάτων δοκιμών ικανότητας και β) αντίστοιχων φορέων του εξωτερικού (π.χ. [www.eptis.bam.de](http://www.eptis.bam.de)) για την ύπαρξη διεργαστηριακών δοκιμών αντίστοιχων προς τις δοκιμές του πεδίου διαπίστευσης του εργαστηρίου.

Το κάθε Εργαστήριο, εφ' όσον τούτο είναι εφικτό, συμμετέχει σε πρόγραμμα δοκιμών ικανότητας ανά κατηγορία δοκιμών (ηλεκτρικές δοκιμές και δοκιμές ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας, για το Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων του ΕΜΠ) του πεδίου διαπίστευσής του ανά τετραετία (ΕΣΥΔ ΠΔΙ/01/05/17-10-2007). Για το λόγο αυτό το κάθε εργαστήριο αναζητά διοργανωτές προγραμμάτων δοκιμών ικανότητας που: είτε είναι διαπιστευμένοι, είτε ικανοποιούν τις απαιτήσεις του οδηγού ΕΛΟΤ ISO/IEC 43-1.

Τα αποτελέσματα (πρωτόκολλα δοκιμών) που εκδίδονται από τα διαπιστευμένα εργαστήρια τρίτων, αξιολογούνται (π.χ. z scores) σε σχέση με τα αντίστοιχα αποτελέσματα δοκιμών του Εργαστηρίου και γίνονται οι κατάλληλες ενέργειες αν απαιτείται.

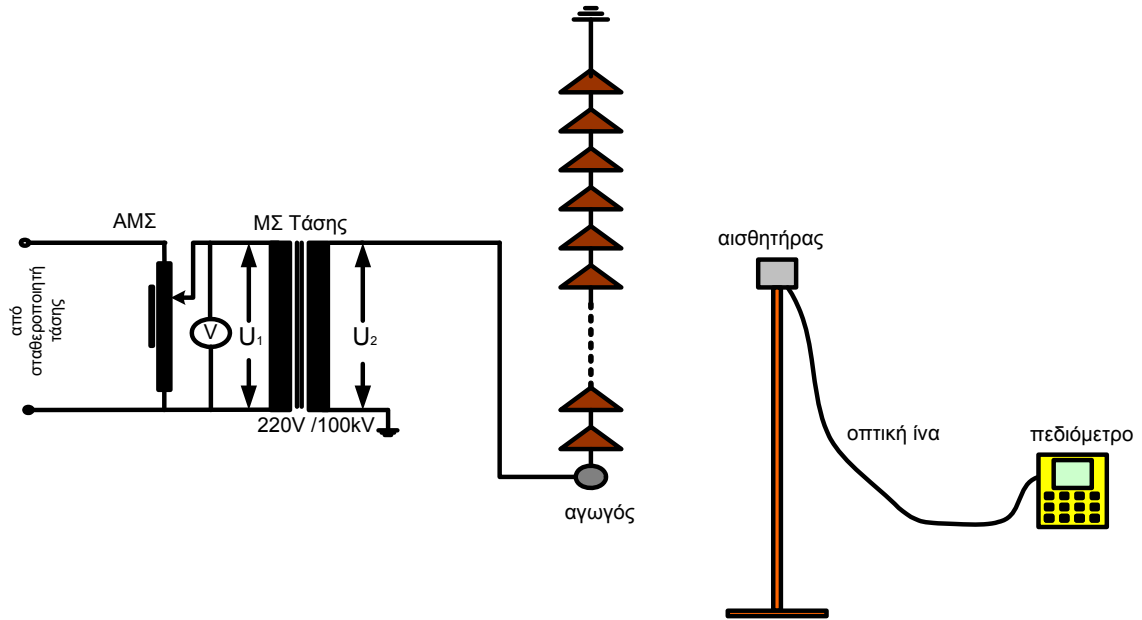
### **3. Περιγραφή πειραματικής διάταξης - μεθοδολογίας**

Οι συγκριτικές μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων του ΕΜΠ και έλαβαν μέρος τα εργαστήρια: α) της ΕΕΑΕ (με δύο ομάδες), β) της EMC ΕΛΛΑΣ, γ) της FASMETRICS και δ) των Υψηλών Τάσεων, ΕΜΠ.

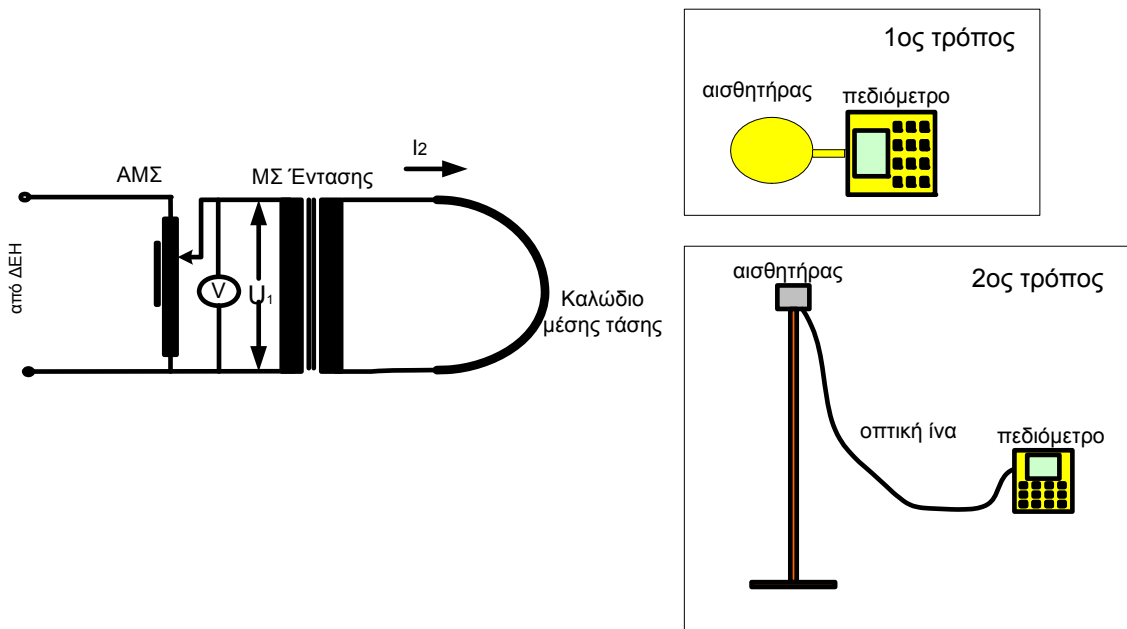
Οι συγκριτικές μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν, σύμφωνα με τις απαιτήσεις του Προτύπου ΕΛΟΤ IEC 61786: 2003 και την πολιτική του ΕΣΥΔ ΠΔΙ/01/05/17-10-2007, στο Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων του ΕΜΠ, όπου είχε διαμορφωθεί κατάλληλα χώρος με:

- υπό κλίμακα γραμμή μεταφοράς που τροφοδοτήθηκε με 5, 10, 15 και 20kV. Για την παραγωγή της υψηλής τάσης χρησιμοποιήθηκε ένας μετασχηματιστής δοκιμών με λόγο μετασχηματισμού 110V / 55kV. Ο μετασχηματιστής τροφοδοτείται μέσω κατάλληλου σταθεροποιητή, για να μην υπάρχουν αυξομειώσεις της επιβαλλόμενης τάσης εξαιτίας της τροφοδοσίας, ενώ οι μεταβολές της τάσης γίνονται μέσω του αυτομετασχηματιστή (Σχήμα 1). Η μέτρηση της τάσης πραγματοποιείται στην πλευρά της χαμηλής τάσης ( $U_1$ ) μέσω κατάλληλου διακριβωμένου βολτομέτρου. Οι πέντε ομάδες μετρήσεων μέτρησαν σε μία συγκεκριμένη θέση και σε ύψος ~1,8m το ηλεκτρικό πεδίο. Ο αισθητήρας για τη μέτρηση του ηλεκτρικού πεδίου τοποθετήθηκε σε απόσταση ~10m από το πεδιόμετρο, με το οποίο συνδέθηκε μέσω οπτικής ίνας, για να μην επηρεάζονται οι μετρήσεις από τους χειριστές.
- καλώδιο, το οποίο διαρρεόταν από ρεύμα τιμής περί τα 250, 500, 750 και 1000A. Για την παραγωγή του ρεύματος χρησιμοποιήθηκε μετασχηματιστής έντασης (0A - 6000A). Ο μετασχηματιστής τροφοδοτείται από το δίκτυο χαμηλής τάσεως της ΔΕΗ, ενώ οι μεταβολές της έντασης του ρεύματος γίνονται μέσω αυτομετασχηματιστή (Σχήμα 2). Η μέτρηση της

τιμής της έντασης του ρεύματος ( $I_2$ ) γίνεται στην αρχή του κάθε κύκλου μετρήσεων, χρησιμοποιώντας κατάλληλη διακριβωμένη αμπεροτσιμπίδα. Οι πέντε ομάδες μετρήσεων μέτρησαν σε μία συγκεκριμένη θέση και σε ύψος  $\sim 1,7\text{m}$  το μαγνητικό πεδίο. Ανάλογα με τον τύπο του πεδιομέτρου, ο αισθητήρας ήταν, είτε συνδεδεμένος κατευθείαν στο πεδιοόμετρο, είτε μέσω οπτικής ίνας. Το μαγνητικό πεδίο, σε αντίθεση με το ηλεκτρικό, δεν επηρεάζεται από την παρουσία ανθρώπων.



Σχήμα 1: Διάταξη μέτρησης ηλεκτρικού πεδίου



Σχήμα 2: Διάταξη μέτρησης μαγνητικού πεδίου

- 1<sup>ος</sup> τρόπος: ο αισθητήρας συνδέεται απ' ευθείας στο πεδιοόμετρο  
 2<sup>ος</sup> τρόπος: ο αισθητήρας συνδέεται μέσω οπτικής ίνας στο πεδιοόμετρο

#### 4. Αποτελέσματα συγκριτικών μετρήσεων

Οι ομάδες, που συμμετείχαν στις συγκριτικές μετρήσεις είχαν διαφορετικό μετρητικό εξοπλισμό. Αναλυτικά οι ομάδες, που συμμετείχαν, χρησιμοποίησαν τα παρακάτω πεδίομετρα: NARDA / EFA-300 (3 ομάδες), NARDA / EFA-3 (1 ομάδα) και PMM / 8053 (1 ομάδα). Ο εξοπλισμός είχε διακριβωθεί στα εργαστήρια: της NARDA Γερμανίας (3 ομάδες), της SEIBEDORF Αυστρίας (1 ομάδα) και της PMM (νυν NARDA Ιταλίας) (1 ομάδα).

Τα αποτελέσματα των συγκριτικών μετρήσεων παρουσιάζονται για το ηλεκτρικό πεδίο στους πίνακες 2, 3 και για το μαγνητικό στους πίνακες 4, 5. Οι ομάδες μέτρησης έχουν χαρακτηριστεί με τυχαίο τρόπο ως Εργαστήρια 1-5. Η κάθε ομάδα γνωρίζει τον αριθμό της αλλά δεν γνωρίζει τον αριθμό των υπολοίπων ομάδων.

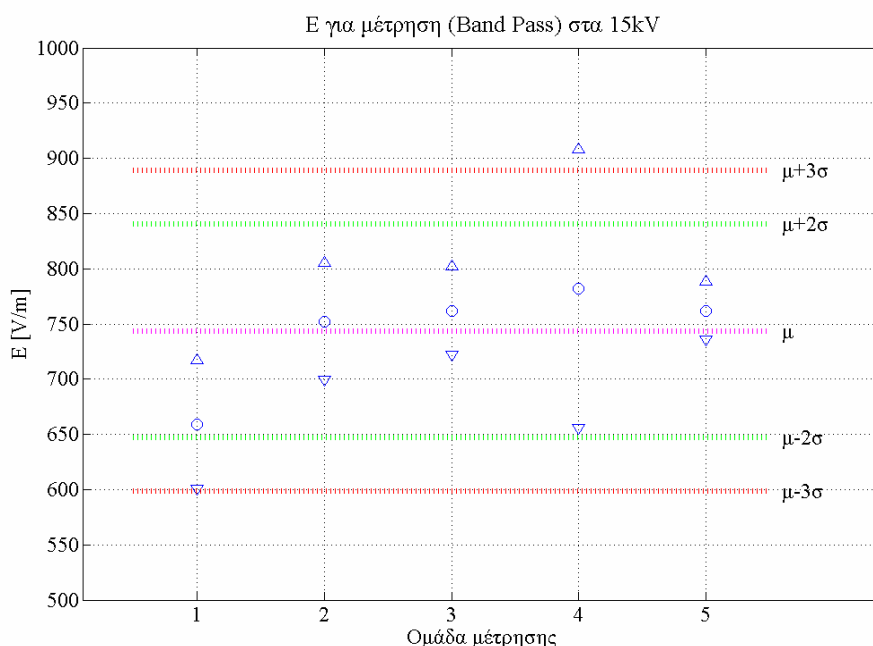
Αφού λάβαμε τις τιμές όλων των ομάδων υπολογίστηκε ο μέσος όρος ( $\mu$ ) και η τυπική απόκλιση ( $\sigma$ ) κάθε μέτρησης, λαμβάνοντας υπόψη τις αντίστοιχες μετρήσεις όλων των ομάδων (Πίνακες 2-5). Ως τιμή αναφοράς-αποδοχής (reference value) για κάθε μέτρηση θεωρήθηκε ο μέσος όρος των τιμών όλων των αντίστοιχων μετρήσεων.

**Πίνακας 2: Μετρήσεις (Band Pass) του E [V/m]**

Εργαστήριο	1	2	3	4	5	$\mu$	$\sigma$
5kV	223,3	260,223	257,936	264,29	261,343	253,4	16,99
10kV	442,8	498,425	502,484	517,84	512,759	494,9	30,12
15kV	659,0	752,285	762,110	781,72	762,036	743,4	48,39
20kV	896,3	1008,050	1018,430	1031,75	1030,584	997,0	57,13
Αβεβαιότητα	8,8	7,02	5,3	16,16	3,47	-	-

**Πίνακας 3: Μετρήσεις (Broad Band) του E [V/m]**

Εργαστήριο	1	2	3	4	5	$\mu$	$\sigma$
5kV	224,6	261,188	257,951	264,00	261,710	253,9	16,52
10kV	448,1	497,752	502,204	519,89	513,023	496,2	28,27
15kV	670,0	752,046	763,845	781,67	763,313	746,2	43,88
20kV	900,9	1004,910	1020,820	1033,53	1031,025	998,2	55,56
Αβεβαιότητα	9,9	7,02	5,3	16,16	3,47	-	-



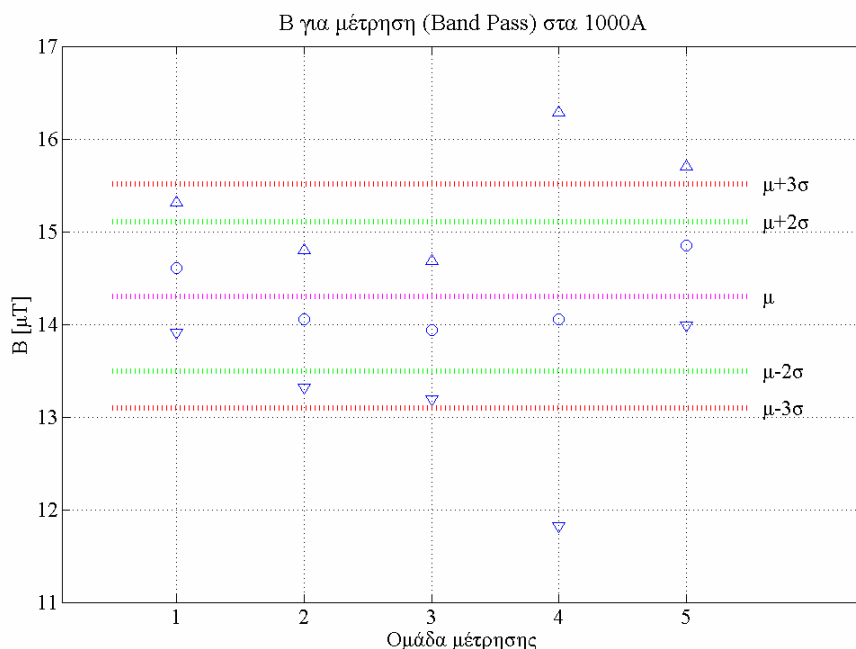
**Σχήμα 3: Μέτρηση ηλεκτρικού πεδίου (Band Pass) για τάση φόρτισης γραμμής ~15kV**

**Πίνακας 4: Μετρήσεις (Band Pass) του B [ $\mu$ T]**

Εργαστήριο	1	2	3	4	5	$\mu$	$\sigma$
<b>250A</b>	3,641	3,4290	3,3248	3,49	3,579	<b>3,49</b>	<b>0,1242</b>
<b>500A</b>	7,421	7,0239	6,9535	7,07	7,476	<b>7,19</b>	<b>0,2414</b>
<b>750A</b>	10,48	10,1204	10,0810	10,11	10,622	<b>10,29</b>	<b>0,2505</b>
<b>1000A</b>	14,61	14,0572	13,9370	14,05	14,848	<b>14,30</b>	<b>0,4030</b>
<b>Αβεβαιότητα</b>	<b>4,8</b>	<b>5,29</b>	<b>5,3</b>	<b>15,9</b>	<b>5,78</b>	-	-

**Πίνακας 5: Μετρήσεις (Broad Band) του B [ $\mu$ T]**

Εργαστήριο	1	2	3	4	5	$\mu$	$\sigma$
<b>250A</b>	3,696	3,4687	3,3454	3,45	3,619	<b>3,52</b>	<b>0,1403</b>
<b>500A</b>	7,587	7,0356	6,9587	7,06	7,462	<b>7,22</b>	<b>0,2833</b>
<b>750A</b>	10,75	10,0824	10,0750	10,13	10,625	<b>10,33</b>	<b>0,3278</b>
<b>1000A</b>	14,88	14,0800	13,9320	14,07	14,824	<b>14,36</b>	<b>0,4559</b>
<b>Αβεβαιότητα</b>	<b>6,7</b>	<b>5,29</b>	<b>5,3</b>	<b>15,9</b>	<b>5,78</b>	-	-



**Σχήμα 4: Μέτρηση μαγνητικού πεδίου (Band Pass) για ρεύμα γραμμής ~1000A**

Διαπιστώθηκε ότι οι μετρήσεις όλων των εργαστηρίων βρίσκονται εντός της τιμής αναφοράς  $\pm 2\sigma$ , ήτοι  $\pm$  δύο φορές η διασπορά των αντίστοιχων μετρήσεων (Σχήματα 3, 4), ακολουθήθηκε δηλαδή η διαδικασία υπολογισμού των τιμών των z scores για κάθε εργαστήριο, σύμφωνα με το Πρότυπο ISO/IEC Guide 43-1. Δεδομένου, λοιπόν, ότι, για κάθε εργαστήριο, διαπιστώθηκε  $|z| < 2$ , η επίδοση όλων των συμμετεχόντων εργαστηρίων χαρακτηρίζεται ως ικανοποιητική (satisfactory).

### 5. Προτάσεις για βελτίωση

Στην Ελλάδα δραστηριοποιούνται πολλά εργαστήρια, αλλά και μεμονωμένα άτομα, στη διενέργεια μετρήσεων ηλεκτρομαγνητικών πεδίων χαμηλής συχνότητας. Επομένως, πρέπει να υπάρξει μεγαλύτερη δημοσιότητα της ως άνω συγκριτικής δοκιμής (μέσω του ΕΣΥΔ, της HELLASLAB, του τεχνικού τύπου και σχετικών ιστοσελίδων) για να συμμετάσχουν όχι μόνο τα διαπιστευμένα εργαστήρια αλλά και οποιαδήποτε άλλη ομάδα επιθυμεί.

Για να διατηρηθεί υψηλό το επίπεδο της συγκριτικής δοκιμής πρέπει να υπάρξει και μία μικρή οικονομική συμμετοχή από όλους τους συμμετέχοντες για να επιμερισθεί το κόστος αναβάθμισης του εξοπλισμού και διακρίβωσης του απαραίτητου εξοπλισμού για τη διεξαγωγή της συγκριτικής δοκιμής.

Θα πρέπει να εξετασθεί η δυνατότητα να αναλάβει διαπιστευμένος φορέας τη διενέργεια των συγκριτικών μετρήσεων, για να καλύπτονται οι προδιαγραφές του ISO/IEC Guide 43-1 [8] αλλά και να δώσει την κατάλληλη δημοσιότητα στο όλο εγχείρημα, ώστε να υπάρξουν συμμετοχές και από άλλες χώρες. Αν αυτό δεν είναι εφικτό θα πρέπει να εξεταστεί από την πλευρά, είτε του ΕΜΠ, είτε της ΕΕΑΕ, η διαπίστευσή τους ως φορέων διεξαγωγής δοκιμών ικανότητας.

Κατά τη διάρκεια των δοκιμών που διεξήχθησαν η ένταση του ρεύματος δεν ήταν σταθερή γιατί υπήρχε διακύμανση της τάσης από την πλευρά της τροφοδοσίας. Ένας σταθεροποιητής θα μπορούσε να προσφέρει λύση σε αυτό το πρόβλημα. Μία, εναλλακτική, πιο φθηνή λύση θα ήταν η συνεχής καταγραφή του ρεύματος (και όχι μόνο στην αρχή και στο τέλος των μετρήσεων σε κάθε διαφορετικό επίπεδο εντάσεως ρεύματος) και η κατάλληλη αναγωγή των τιμών του μαγνητικού πεδίου, που καταγράφει η κάθε ομάδα.

Ένας άλλος περιορισμός των δοκιμών που διεξήχθησαν, ήταν ο μέγιστος συνεχόμενος χρόνος λειτουργίας του μετασχηματιστή εντάσεως (~1 ώρα). Αυτό περιόρισε το πλήθος των ομάδων. Τα αποτελέσματα δεν έδειξαν κάποια αλλαγή του μαγνητικού πεδίου υπαγορευόμενη από τον τρόπο μέτρησης (Band Pass ή Broad Band), επομένως, εάν σε επόμενο συγκριτικό επιλεγεί μόνο η μία μέθοδος, τότε μπορούμε να διπλασιάσουμε τον αριθμό των ομάδων που θα συμμετάσχουν.

Τέλος, στο στάδιο της αξιολόγησης των αποτελεσμάτων, για την εύρεση του μέσου όρου και της διασποράς των μετρήσεων, θα μπορούσαν να τεθούν συντελεστές βαρύτητας, για διάφορες παραμέτρους όπως:

- το είδος του πεδιομέτρου (θα μπορούσε να λαμβάνεται ο μέσος όρος των μέσων όρων των ομοειδών οργάνων)
- το εργαστήριο που έχει διακριβώσει το πεδιομετρο (θα μπορούσε να λαμβάνεται ο μέσος όρος των μέσων όρων ανά εργαστήριο διακριβωσης)
- το εργαστήριο στο οποίο ανήκει η ομάδα (θα μπορούσε να λαμβάνεται ο μέσος όρος των μέσων όρων ανά εργαστήριο)
- την, κατά περίπτωση, ένταξη της ομάδας σε διαπιστευμένο / πιστοποιημένο / εγνωσμένης εμπειρίας / άλλο εργαστήριο.

## **6. Συμπεράσματα**

Η παρούσα εργασία αναφέρεται στη διενέργεια συγκριτικών μετρήσεων ηλεκτρομαγνητικών πεδίων χαμηλών συχνοτήτων. Η μη ύπαρξη διαθέσιμων αντίστοιχων προγραμμάτων δοκιμών ικανότητας, ούτε από Ελληνικούς, ούτε από διεθνείς φορείς, αλλά και η απαίτηση από το ΕΣΥΔ όπως τα διαπιστευμένα εργαστήρια συμμετέχουν σε πρόγραμμα δοκιμών ικανότητας ανά τετραετία μας οδήγησε στην πραγματοποίηση του σχήματος δοκιμών ικανότητας που παρουσιάστηκε σε αυτή την εργασία. Επίσης, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν, η αξιολόγησή τους καθώς και κάποιες σκέψεις για περαιτέρω βελτίωση συναφών μετρήσεων στο άμεσο μέλλον.

## **7. Ευχαριστίες**

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τα μέλη των εργαστηρίων της ΕΕΑΕ, της EMC ΕΛΛΑΣ, της FASMETRICS και των Υψηλών Τάσεων του ΕΜΠ για τη συμμετοχή τους στις συγκριτικές μετρήσεις, αλλά και για την άδειά τους να δημοσιευθούν τα αποτελέσματα των μετρήσεων.

Επιπλέον, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον Δρ. Ευθύμιο Καραμπέτσο της ΕΕΑΕ, για τη συνολική καθοδήγηση στην ανάπτυξη και αξιολόγηση του συγκεκριμένου διεργαστηριακού σχήματος.

## **8. Βιβλιογραφία**

Hugh D. Young, «Ηλεκτρομαγνητισμός οπτική σύγχρονη φυσική», σελίδες 919-936, Εκδόσεις Παπαζήση, 1995.

Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (ΕΕΑΕ), «Χαμηλόσυχνα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία», 2005, Ιστοσελίδα: [http://www.eeae.gr/gr/docs/president/\\_xamilosixna.pdf](http://www.eeae.gr/gr/docs/president/_xamilosixna.pdf).

Τσανάκας Δ., Μίμος Ε., Ζαχαροπούλου Π., Καραμανής Κ., 2003: Το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο των Υ/Σ 150kV εξωτερικού χώρου ως περιβαλλοντικοί παράγοντες. ΕΕ CIGRE, Σύνοδος Αθήνα 2003.

Κοινή Υπουργική Απόφαση, Αριθμός 3060 (ΦΟΡ) 238, ΦΕΚ 512 / Β /25.04.02: «Μέτρα προφύλαξης του κοινού από τη λειτουργία διατάξεων εκπομπής ηλεκτρομαγνητικών πεδίων χαμηλών συχνοτήτων».

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.

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, April 1998, 74 (No 4), 494-522.

ΕΣΥΔ ΠΔΙ/01/05/17-10-2007 «Πολιτική του Ε.ΣΥ.Δ. σχετική με την συμμετοχή των εργαστηρίων σε προγράμματα δοκιμών ικανότητας και σε διεργαστηριακές συγκριτικές δοκιμές».

Μαθιουλάκης Μ.Ε., «Μέτρηση, ποιότητα μέτρησης και αβεβαιότητα», Ελληνική Ένωση Εργαστηρίων-HellasLab, Αθήνα 2004.

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

ΕΛΟΤ IEC 61786: 2003, «Μετρήσεις μαγνητικών και ηλεκτρικών πεδίων χαμηλών συχνοτήτων σε σχέση με την έκθεση των ανθρώπων - Ειδικές προδιαγραφές για τα όργανα και οδηγίες για τις μετρήσεις».

ILAC G13: 2000 «Guidelines for the requirements for the competence of providers of proficiency testing schemes».