



ΕΛΛΗΝΙΚΗ
ΕΠΙΤΡΟΠΗ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΤΟΥ ΔΙΕΘΝΟΥΣ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ
ΜΕΓΑΛΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

Πειραιώς 45, 105 53, Αθήνα, Τηλ., Fax: 210-3216851, e-mail: info@cigre.gr

COMITE NATIONAL HELLENIQUE

45, rue Pireos, 105 53, Athenes, Tel.-Fax: +30210-3216851, e-mail: info@cigre.gr

GREEK NATIONAL COMMITTEE

45, Pireos Str., 105 53, Athens, Tel.-Fax: +30210-3216851, e-mail: info@cigre.gr

ΔΙΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΕ ΧΑΜΗΛΟΣΥΧΝΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΚΑΙ ΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΠΕΔΙΑ

I.N. Ζτουπης¹ E.Π. Νικολοπουλου¹ I.Φ. Γκόνος¹ I.A. Σταθόπουλος¹ E. Καραμπέτσος²
Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων Ε.Μ.Π. ΕΕΑΕ

Σκοπός της εργασίας είναι η περιγραφή των διεργαστηριακών συγκριτικών μετρήσεων ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων χαμηλών συχνοτήτων που διεξήχθησαν στο Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Το σχήμα δοκιμών ικανότητας οργανώθηκε σε τρία στάδια και τα δώδεκα συμμετέχοντα εργαστήρια μέτρησαν α) το ηλεκτρικό πεδίο περίξ ενός προσομοιώματος γραμμής μεταφοράς υπό τάση 35 kV, β) το παραγόμενο μαγνητικό πεδίο από ένα καλώδιο μέσης τάσης, το οποίο τροφοδοτούνταν με ρεύμα 500 A και γ) το μαγνητικό πεδίο και τη συχνότητα στο κέντρο ενός πρότυπου τετραγωνικού πηνίου. Τα αποτελέσματα των σεναρίων μέτρησης αναλύθηκαν στατιστικά με τον ανθεκτικό αλγόριθμο A κατά ISO 13528 ώστε να προσδιοριστούν οι εκτιμήτριες τιμές και οι τυπικές αποκλίσεις και επακόλουθα να υπολογισθούν τα z-score για την αξιολόγηση της επίδοσης των εργαστηρίων. Το άρθρο αυτό παρουσιάζει την διαδικασία μέτρησης, τα αποτελέσματα και την αξιολόγηση τους, καθώς επίσης και τους παράγοντες που επιφέρουν την μειωμένη επίδοση των συμμετεχόντων.

INTERLABORATORY COMPARISON PROGRAMME ON ELF EMF MEASUREMENTS

I.N. Ztoupis¹ E.P. Nicolopoulou¹ I.F. Gonos¹ I. A. Stathopoulos¹ E. Karabetsos²
High Voltage Laboratory N.T.U.A. GAEC

The scope of this paper is the description of an interlaboratory comparison programme for ELF EMF measurements performed at the High Voltage Laboratory of the National Technical University of Athens. The proficiency testing scheme was organised in three stages and the twelve participating laboratories measured a) the electric field produced by a scale transmission line supplied by 35 kV, b) the magnetic field produced by a middle voltage cable carrying 500 A and c) the magnetic field and frequency at the centre of a standard square coil. The results for all measurement scenarios were analysed statistically with the robust algorithm A according to the standard ISO 13528 in order to estimate the reference average values and standard deviations, and consequently calculate the z-scores for the performance evaluation of the laboratories. The purpose of this interlaboratory comparison programme was to demonstrate the technical competence of the participating laboratories, as well as to survey their continuing performance and improve their quality of measurements. This paper presents the measurement procedure, the results and their evaluation, as well as the error factors that cause the unsatisfactory performance of the participants.

¹ Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Ηρώων Πολυτεχνείου 9, Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου, τ.κ.: 15780, Αττική, Τηλ.: 2107723582, Fax: 2107723504, e-mail: ztoup@central.ntua.gr, hveleni@mail.ntua.gr, igonos@cs.ntua.gr, stathop@power.ece.ntua.gr.

² Γραφείο Μη Ιοντιζουσών Ακτινοβολιών, Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας, Πατριάρχου Γρηγορίου και Νεαπόλεως, Τ.Θ.: 60092, τ.κ.: 15310, Αγ. Παρασκευή Αττικής, Τηλ.: 2106506721, Fax: 2106506748, e-mail: thkarabe@eeae.gr.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η συμμετοχή ενός εργαστηρίου σε ένα σχήμα δοκιμών ικανότητας (Σ.Δ.Ι.) αποσκοπεί στην αξιολόγηση της επάρκειάς του και τη βελτίωση της επίδοσής του σε ένα συγκεκριμένο πεδίο μετρήσεων. Δοκιμή ικανότητας είναι ο προσδιορισμός της επίδοσης ενός εργαστηρίου στην εκτέλεση δοκιμών / διακριβώσεων μέσω διεργασθιακών 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 [1], [2].

Συγκεκριμένα, η όλη διαδικασία συνίσταται στην αξιολόγηση του εργαστηρίου μέσω διεργασθιακής σύγκρισης, ήτοι μέσω της συμμετοχής στην οργάνωση, εκτέλεση και αξιολόγηση μίας δοκιμής / διακριβώσης επί του αυτού ή ομοειδούς υπό δοκιμή / διακριβώση αντικειμένου, από δύο ή περισσότερα εργαστήρια, σύμφωνα με προκαθορισμένες συνθήκες [3]. Σύμφωνα με τις απαιτήσεις του προτύπου ΕΛΟΤ EN ISO/EC 17025 [4], διεργασθιακές συγκρίσεις πρέπει να εκτελούνται για τις δοκιμές ή διακριβώσεις που εμπίπτουν στο πεδίο διαπίστευσης του εργαστηρίου, για να παράγει συνεχώς και με συνέπεια αξιόπιστα αποτελέσματα, να παρέχει ποιοτικές υπηρεσίες προς τους φορείς με τους οποίους συνεργάζεται, κυρίως όμως για να μπορεί να εξασφαλίζει τη διαπίστευση της τεχνικής του ικανότητας. Η βασική αρχή λειτουργίας των συγκριτικών μετρήσεων είναι η αξιολόγηση των εργαστηρίων μέσω ενός αριθμητικού δείκτη της ικανότητάς τους (δείκτης επίδοσης) [5]. Ο δείκτης αυτός δηλώνει την απόκλιση της μέτρησης του εκάστοτε εργαστηρίου από την εκτιμητήρια τιμή του μετρούμενου μεγέθους, εκφρασμένη σε πολλαπλάσιο της τυπικής απόκλισης των μετρήσεων. Έπειτα, ακολουθεί η ερμηνεία και η εκτίμηση των αποτελεσμάτων του δείκτη επίδοσης για το κάθε εργαστήριο. Κύριος στόχος τους τίθεται ο εντοπισμός πηγών συστηματικών σφαλμάτων (biases), η ταυτοποίηση προβλημάτων κατά την εφαρμογή μιας συγκεκριμένης μεθόδου ή εξοπλισμού και κατ' επέκταση η λήψη απαραίτητων διορθωτικών μέτρων για την επίλυση των προβλημάτων που αντιμετωπίζει.

Η παρούσα εργασία πραγματεύεται τη διενέργεια συγκριτικών μετρήσεων ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων χαμηλών συχνοτήτων γιατί είναι πλέον επιτακτική η ανάγκη να πραγματοποιούνται αξιόπιστες μετρήσεις των εν λόγω πεδίων, προκειμένου να διαπιστωθεί η συμμόρφωση τους με τα επίπεδα αναφοράς [6-8]. Η ανυπαρξία διαθέσιμων αντίστοιχων προγραμμάτων δοκιμών ικανότητας, τόσο από ελληνικούς, όσο και από διεθνείς φορείς, αλλά και η απαίτηση από το ΕΣΥΔ [9] όπως τα διαπιστευμένα εργαστήρια συμμετέχουν σε πρόγραμμα δοκιμών ικανότητας ανά τετραετία, μας οδήγησε στην υλοποίηση του εν λόγω σχήματος δοκιμών ικανότητας. Οι συγκριτικές μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σύμφωνα με τις οδηγίες του ILAC G13: 2000 [10] και οι μεθοδολογίες μέτρησης των ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων που ακολουθήθηκαν από τους συμμετέχοντες βασίστηκαν στο Πρότυπο ΕΛΟΤ IEC 61786: 2003 [11].

Τη διοργάνωση ενός Σ.Δ.Ι. αναλαμβάνει μια ανεξάρτητη δημόσια ή ιδιωτική αρχή, η οποία καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο θα γίνει η διεξαγωγή των πειραμάτων. Η εκτέλεση των πειραμάτων αυτών γίνεται σε συνεργασία με τη συνδιοργανώτρια αρχή, η οποία λαμβάνει όλα τα απαραίτητα μέτρα που χρειάζονται έτσι ώστε τα αποτελέσματα που θα προκύψουν να είναι αξιόπιστα. Στην παρούσα περίπτωση, η διοργανώτρια αρχή είναι η Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (Ε.Ε.Α.Ε.) και ως συνδιοργανωτής φορέας συμμετέχει το Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (Ε.Υ.Τ. Ε.Μ.Π.).

ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΕΣ

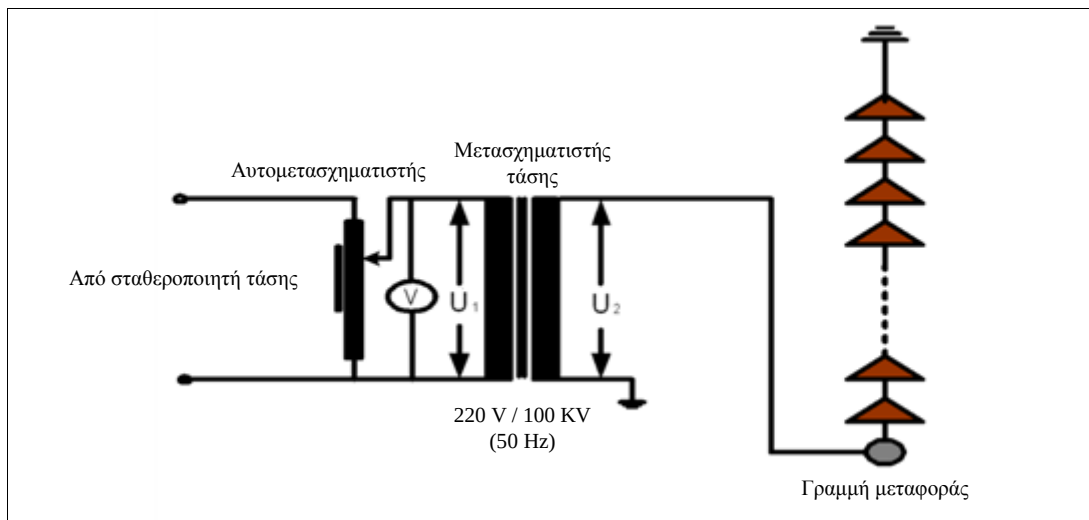
Στις διεργασθιακές μετρήσεις συμμετείχαν δώδεκα εργαστήρια από την Ελλάδα και την Κύπρο με δεκαέξι ομάδες εκ των οποίων οι εννιά είναι διαπιστευμένοι κατά ISO/IEC 17025 [4]. Οι ομάδες μέτρησης έχουν χαρακτηριστεί με τυχαίο τρόπο ως Εργαστήρια 1-16 και κάθε ομάδα γνωρίζει τον αριθμό της, αλλά δεν γνωρίζει τον αριθμό των υπολοίπων ομάδων. Τα ανεξάρτητα εργαστήρια που έλαβαν μέρος στις διεργασθιακές μετρήσεις χαμηλόσυχνων ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων ήταν:

- ΑΔΜΗΕ
- Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (Εργαστήριο Ιατρικής Φυσικής)
- ΓΕΣ / ΔΕΜΑ (401) ΤΙΔΠ
- Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων) (2 ομάδες)
- Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (Ε.Ε.Α.Ε.) (4 ομάδες)
- EMC ΕΛΛΑΣ Α.Ε.
- Πανεπιστήμιο Πάτρας
- Πολεμική Αεροπορία (Εργοστάσιο Τηλεπικοινωνιακών – Ηλεκτρονικών Μέσων / ΤΑΠΕΝΗΜΑ)
- Sigint Solutions Ltd
- ΤΕΙ Κρήτης (Εργαστήριο Μη Ιοντίζουσών Ακτινοβολιών)
- ΤΕΙ Πάτρας (Εργαστήριο Υγιο-Φυσικής και Υπολογιστικής Νοημοσύνης)
- FASMETRICS A.E.

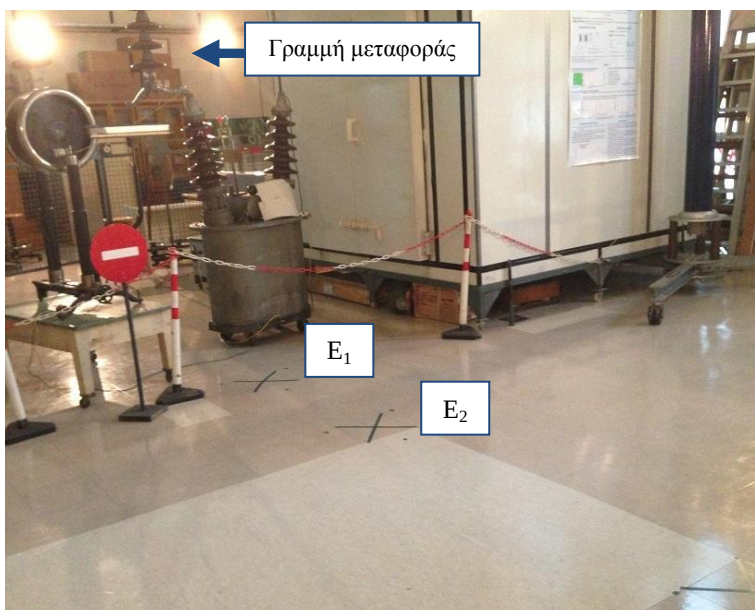
ΣΧΗΜΑ ΔΙΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΣΥΓΚΡΙΣΕΩΝ

Οι συγκριτικές μετρήσεις χαμηλόσυχνων ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων έλαβαν χώρα στο Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων (Ε.Υ.Τ.) του Ε.Μ.Π. [12]. Στα πλαίσια των διεργαστηριακών πειραμάτων που διεξήχθησαν σε τρία στάδια, τα εργαστήρια κλήθηκαν να μετρήσουν το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο που προέκυπταν από συγκεκριμένες διατάξεις.

- Στο πρώτο στάδιο, οι ομάδες μέτρησαν το ηλεκτρικό πεδίο που προέκυψε από μία γραμμή μεταφοράς υψηλής τάσης στο Ε.Υ.Τ. του Ε.Μ.Π.. Ειδικότερα, η διάταξη του πειράματος (Σχήμα 1) αποτελούνταν από μία υπό κλίμακα γραμμή μεταφοράς που τροφοδοτήθηκε με τάση 35 kV και ένα μετασχηματιστή δοκιμών με λόγο μετασχηματισμού 110V/55kV που χρησιμοποιήθηκε για την ανύψωση της τάσης (U_2). Μεταξύ της χαμηλής τάσης του δικτύου και του πρωτεύοντος του μετασχηματιστή τοποθετήθηκαν, με τη σειρά που αναφέρονται, ένας κατάλληλος σταθεροποιητής τάσης, για να αποτρέψει τις διακυμάνσεις της τάσης του δικτύου να επηρεάσουν την παραγόμενη υψηλή τάση, καθώς επίσης και ένας αυτομετασχηματιστής, για να ρυθμίζεται το επίπεδο της παραγόμενης υψηλής τάσης. Η μέτρηση της υψηλής τάσης πραγματοποιούνταν στην πλευρά χαμηλής τάσης (U_1) με ένα διακριβωμένο βολτόμετρο. Τα εργαστήρια κατέγραψαν το ηλεκτρικό πεδίο σε ύψος 1m σε τρεις προκαθορισμένες θέσεις που απείχαν συγκεκριμένες αποστάσεις από τη γραμμή μεταφοράς (Σχήματα 2 και 3). Η πλειοψηφία των ομάδων πραγματοποίησαν τις μετρήσεις τους χρησιμοποιώντας έναν αισθητήρα συνδεδεμένο μέσω οπτικής ίνας με το πεδίομετρο. Ο αισθητήρας ήταν τοποθετημένος πάνω σε μονωτικό τρίποδο σε απόσταση περίπου 5m από το πεδίομετρο ώστε οι μετρήσεις να μην επηρεάζονται από την παρουσία των χειριστών.



Σχήμα 1: Διάταξη μέτρησης ηλεκτρικού πεδίου από γραμμή μεταφοράς

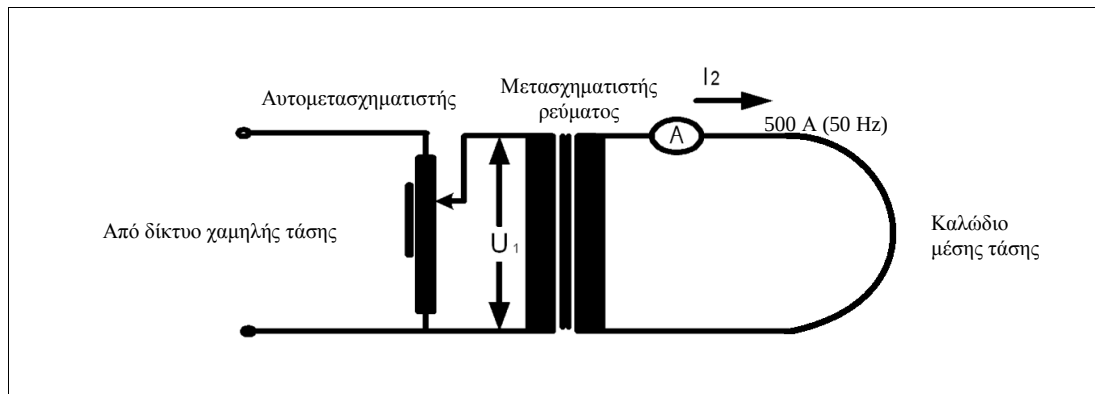


Σχήμα 2: Θέσεις μέτρησης 1 και 2 του ηλεκτρικού πεδίου

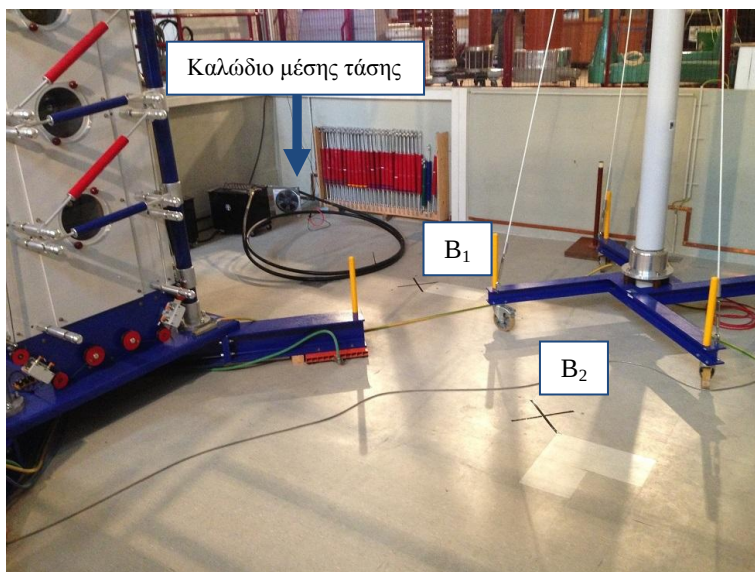


Σχήμα 3: Θέση μέτρησης 3 του ηλεκτρικού πεδίου

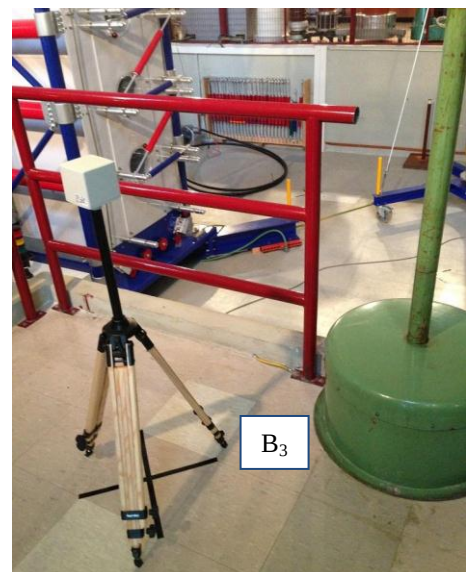
- Στο δεύτερο στάδιο, οι ομάδες έλαβαν μετρήσεις του μαγνητικού πεδίου, του παραγομένου από ένα καλώδιο μέσης τάσης σε σχηματισμό βρόχου, το οποίο τροφοδοτούνταν με ρεύμα 500 A (I_2). Το καλώδιο ήταν συνδεδεμένο με το δευτερεύον του μετασχηματιστή έντασης (0-6000A), το οποίο παρείχε την απαιτούμενη τιμή του ρεύματος. Επίσης, ο μετασχηματιστής τροφοδοτούνταν από το δίκτυο χαμηλής τάσης μέσω ενός αυτομετασχηματιστή ο οποίος επέτρεπε την μεταβολή του διαρρεόμενου ρεύματος στο καλώδιο μέσης τάσης (Σχήμα 4). Η ικανοποιητική σταθερότητα του ρεύματος κατά τη διάρκεια των μετρήσεων επιτεύχθηκε με την συνεχή παρατήρησή του από ένα ψηφιακό πολύμετρο συνδεδεμένο με μία διακριβωμένη αμπεροτσιμπίδα. Όμοια με το προηγούμενο στάδιο, οι ομάδες έλαβαν τις μετρήσεις του μαγνητικού πεδίου σε ύψος 1m σε τρεις προκαθορισμένες θέσεις που απείχαν συγκεκριμένες αποστάσεις από τις πηγές των πεδίων (Σχήματα 5 και 6). Όμως, αυτή τη φορά ο αισθητήρας ήταν συνδεδεμένος με το πεδίομετρο είτε κατευθείαν είτε με τη βοήθεια οπτικής ίνας και εξαρτιόνταν από τον τύπο του πεδιομέτρου. Σε αντίθεση με το ηλεκτρικό πεδίο, το μαγνητικό δεν επηρεάζεται από την παρουσία των χειριστών.



Σχήμα 4: Διάταξη μέτρησης μαγνητικού πεδίου από ρευματοφόρο αγωγό

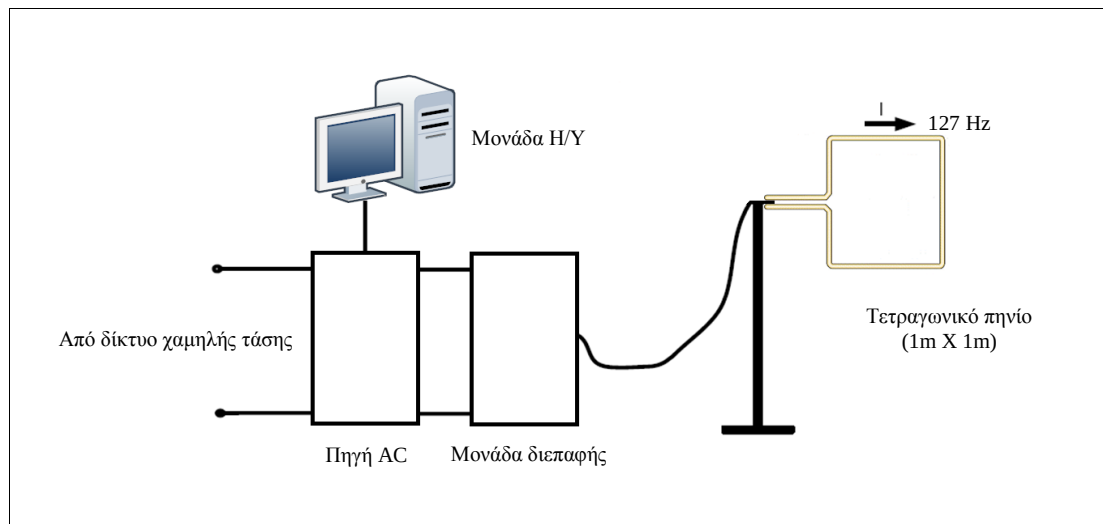


Σχήμα 5: Θέσεις μέτρησης 1 και 2 του μαγνητικού πεδίου



Σχήμα 6: Θέση μέτρησης 3 του μαγνητικού πεδίου

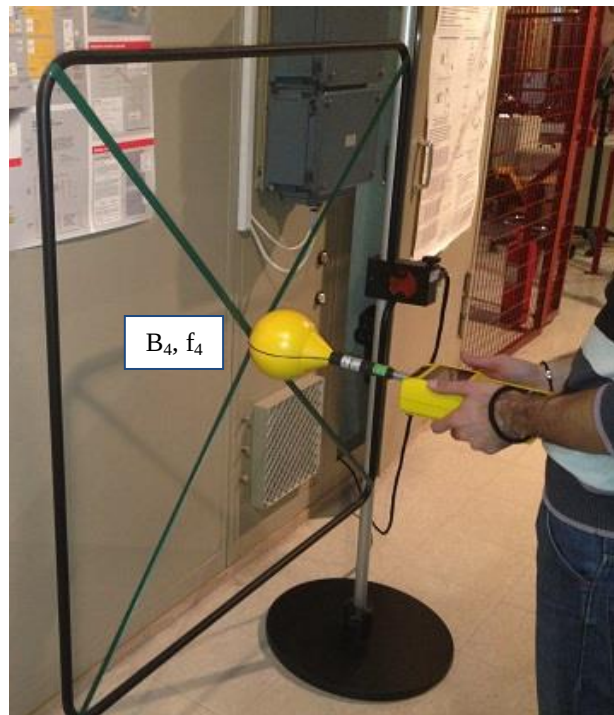
- Στο τελευταίο στάδιο, πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις του μεγέθους και της συχνότητας ενός ομογενούς μαγνητικού πεδίου παραγομένου από ένα πρότυπο τετραγωνικό πηνίο διαστάσεων 1m x 1m (Σχήμα 8). Το πηνίο ήταν συνδεδεμένο μέσω κατάλληλης μονάδας διεπαφής με μια συσκευή αποκαλούμενη «πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος» (Σχήμα 7). Η πηγή αυτή συνδεόταν στο δίκτυο χαμηλής τάσης και με τη σειρά της τροφοδοτούσε το πηνίο με το απαιτούμενο ρεύμα χωρίς αρμονικές συνιστώσες. Η διαδικασία ελεγχόταν μέσω κατάλληλου λογισμικού, το οποίο επέτρεπε τον καθορισμό της έντασης και της συχνότητας του πεδίου. Επίσης, μέσω του λογισμικού αυτού εξασφαλιζόνταν η ομοιομορφία και η σταθερότητα του πεδίου λόγω της διαρκούς αυτόματης προσαρμογής του ρεύματος που διέρρεε το πηνίο. Οι μετρήσεις του μαγνητικού πεδίου ελήφθησαν στο κέντρο του τετραγωνικού πηνίου (Σχήμα 9), διαρρεομένου από ρεύμα συχνότητας (127 Hz) άγνωστης για τα συμμετέχοντα εργαστήρια. Η μεθοδολογία μέτρησης που ακολουθήθηκε από αυτά είναι όμοια με του δεύτερου σταδίου.



Σχήμα 7: Διάταξη μέτρησης μαγνητικού πεδίου και συχνότητας από το κέντρο πηνίου



Σχήμα 8: Πρότυπο τετραγωνικό πηνίο (1m x 1m)



Σχήμα 9: Μέτρηση μαγνητικού πεδίου και συχνότητας

Σημειώνεται ότι και τα δεκαέξι (16) «Εργαστήρια» συμμετείχαν στις μετρήσεις του μαγνητικού πεδίου από ρευματοφόρο αγωγό, ενώ στις μετρήσεις ηλεκτρικού πεδίου από γραμμή υψηλής τάσης και του μαγνητικού πεδίου και της συχνότητας από το κέντρο πηνίου συμμετείχαν τα δεκατέσσερα (14) «Εργαστήρια».

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Εφόσον στο περιβάλλον διεξαγωγής των μετρήσεων δεν υπάρχουν άλλες φασματικές συνιστώσες πέραν της βασικής συχνότητας του εκάστοτε σταδίου μέτρησης (της βιομηχανικής συχνότητας των 50Hz για τα πρώτα δύο στάδια και των 127Hz στο τρίτο στάδιο) μετρήσεις οι οποίες λαμβάνονται σε όλο το εύρος ζώνης των οργάνων ταυτίζονται σχεδόν με τις αντίστοιχες μετρήσεις μόνο στην κυρίαρχη αρμονική συνιστώσα. Έτσι οι συμμετέχοντες πραγματοποίησαν τις μετρήσεις επιλέγοντας έναν μόνο από τους δύο τρόπους μέτρησης (ευρυζωνικό ή συχνοεπιλεκτικό).

Κάθε εργαστήριο κλήθηκε να παραδώσει τις μετρούμενες τιμές της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου που παράγεται από τη γραμμή μεταφοράς σε κάθε θέση (E1, E2 και E3) και τις αντίστοιχες αβεβαιότητες (UE1, UE2 και UE3). Αυτές οι τιμές για το πρώτο στάδιο μέτρησης παρουσιάζονται στον Πίνακα 1. Οι μετρούμενες τιμές από κάθε εργαστήριο για το δεύτερο και το τρίτο στάδιο μέτρησης (B1, B2, B3, B4 και f4) μαζί με τις διευρυμένες αβεβαιότητες

τους παρουσιάζονται στον Πίνακα 2. Σε κάθε σενάριο μέτρησης παρουσιάζονται επίσης η μέση τιμή των αποτελεσμάτων (μ) και η τυπική τους απόκλιση (σ) (Πίνακες 1 και 2).

Εργαστήριο	Θέση 1		Θέση 2		Θέση 3	
	E ₁ [kV/m]	UE ₁ [%]	E ₂ [kV/m]	UE ₂ [%]	E ₃ [V/m]	UE ₃ [%]
1	5,910	14,70	1,470	14,71	234,8	14,70
2	4,970	3,02	1,230	3,25	246,0	3,25
3	5,040	6,3	1,240	6,3	245,0	6,3
4	4,924	5,0	1,218	5,0	241,2	5,0
5	5,214	8,92	1,267	8,92	253,9	8,36
6	4,557	7,7579	1,179	7,7579	237,3	7,7579
7	3,629	4,1	1,658	4,1	246,0	4,1
8	4,940	6,32	1,216	6,32	241,6	6,32
9	5,611	37,00	1,375	37,01	268,2	37,02
10	4,998	18,30	1,233	8,27	242,8	6,35
11	5,026	3,9	1,237	3,9	245,5	3,9
12	3,908	4,5	0,923	4,5	180,0	4,5
13	4,946	6,5	1,223	6,5	243,5	6,5
14	5,062	6,7	1,238	6,7	244,0	6,7
Παράμετροι						
μ	4,910		1,265		240,7	
σ	0,583		0,163		19,18	

Πίνακας 1: Οι μετρήσεις του ηλεκτρικού πεδίου (E)

Εργαστήριο	Θέση 1		Θέση 2		Θέση 3		Θέση 4			
	B ₁ [μT]	UB ₁ [%]	B ₂ [μT]	UB ₂ [%]	B ₃ [nT]	UB ₃ [%]	B ₄ [μT]	UB ₄ [%]	f ₄ [Hz]	Uf ₄ [%]
1	61,05	14,70	2,226	14,70	530,0	14,78	1,200	14,71	127,0	1,18
2	59,20	3,55	2,230	3,14	590,0	5,08	1,160	2,59	127,5	1,18
3	60,52	5,17	2,295	5,17	501,0	5,17	1,170	5,17	127,5	0,4
4	58,85	5,0	2,216	5,0	475,9	5,0	1,182	5,0	127,0	0,4
5	58,29	4,11	2,104	3,76	665,0	3,76	1,190	6,36	127,0	0,4
6	58,15	6,6435	2,089	6,6435	818,8	6,6435	1,159	6,6435	125,0	6,250
7	62,33	3,92	2,240	3,92	513,0	3,92	1,160	3,92	127,0	0,8
8	57,01	5,94	2,159	5,94	803,8	5,94	1,173	5,94	127,0	3,0
9	59,77	38,99	2,216	39,05	646,6	42,84	1,190	38,96	115,5	11,69
10	58,83	7,325	2,031	5,196	827,8	6,952	1,190	5,944	127,5	0,4
11	60,40	2,5	2,277	2,5	522,5	2,5	1,164	2,9	127,67	1,0
12	58,88	3	2,320	3	450,0	3	-	-	-	-
13	60,25	5,5	2,161	5,5	538,0	5,5	1,180	5,5	127,0	0,8
14	59,79	5,5	2,180	5,5	483,0	5,5	1,167	5,5	127,0	0,8
15	63,60	5,5	2,255	5,5	548,0	5,5	1,180	5,5	127,0	0,8
16	60,06	9,5	2,400	9,5	600,0	9,5	-	-	-	-
Παράμετροι										
μ	59,81		2,212		594,6		1,176		126,19	
σ	1,620		0,092		124,83		0,013		3,141	

Πίνακας 2: Οι μετρήσεις του μαγνητικού πεδίου (B) και της συχνότητας (f)

Z SCORES

Ο στατιστικός δείκτης που επελέγη για την αξιολόγηση της επίδοσης των συμμετεχόντων στο παρόν σχήμα διεργασιολογικών μετρήσεων είναι ο βαθμός z (z score), ο οποίος ορίζεται σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$z = \frac{x - \hat{m}}{\hat{\sigma}} = \frac{x - x^*}{s^*}$$

όπου:

x – η μετρούμενη τιμή

$\hat{m}$ – η εκτιμήτρια τιμή (τιμή αναφοράς) του μετρούμενου μεγέθους

$\hat{\sigma}$ – η εκτιμήτρια για την τυπική απόκλιση που θα χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση

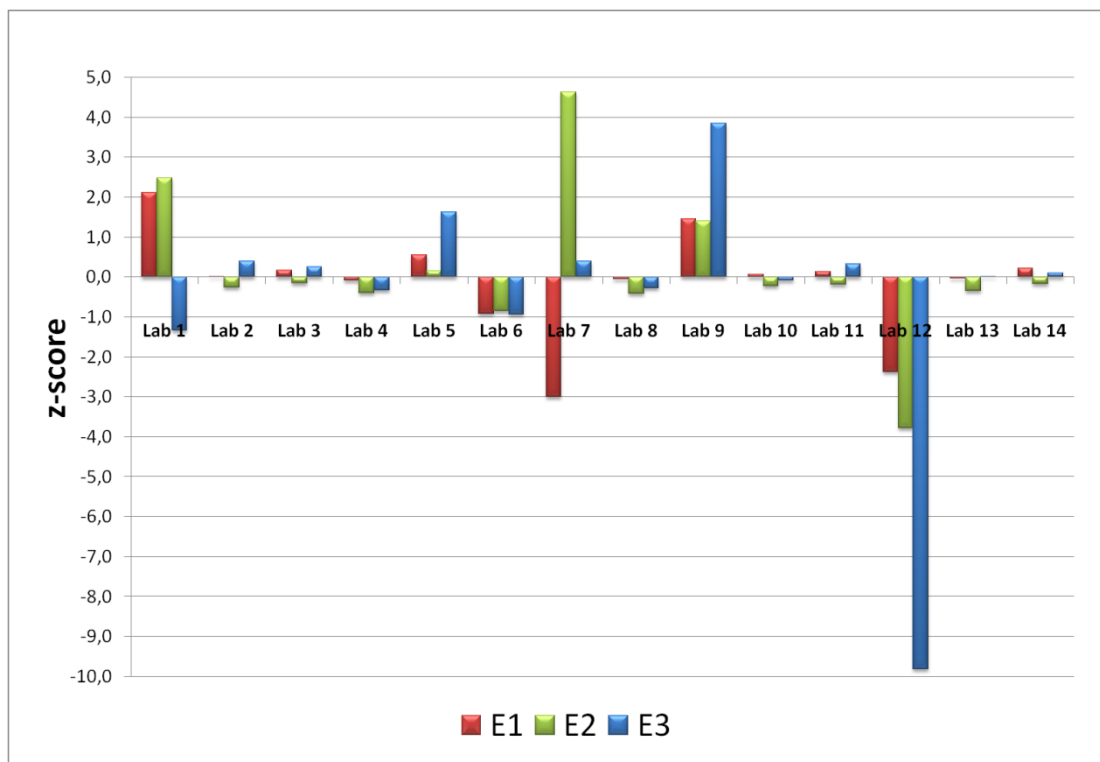
Οι εκτιμήτριες που υιοθετήθηκαν για την τιμή αναφοράς και την τυπική απόκλιση είναι η ανθεκτική μέση τιμή x^* (robust mean) και η ανθεκτική τυπική απόκλιση s^* (robust standard deviation) που υπολογίζονται με τον ανθεκτικό επαναληπτικό αλγόριθμο του προτύπου ISO 13528 (Annex C: robust algorithm A). Η ερμηνεία των z scores στηρίζεται στους εξής κανόνες:

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

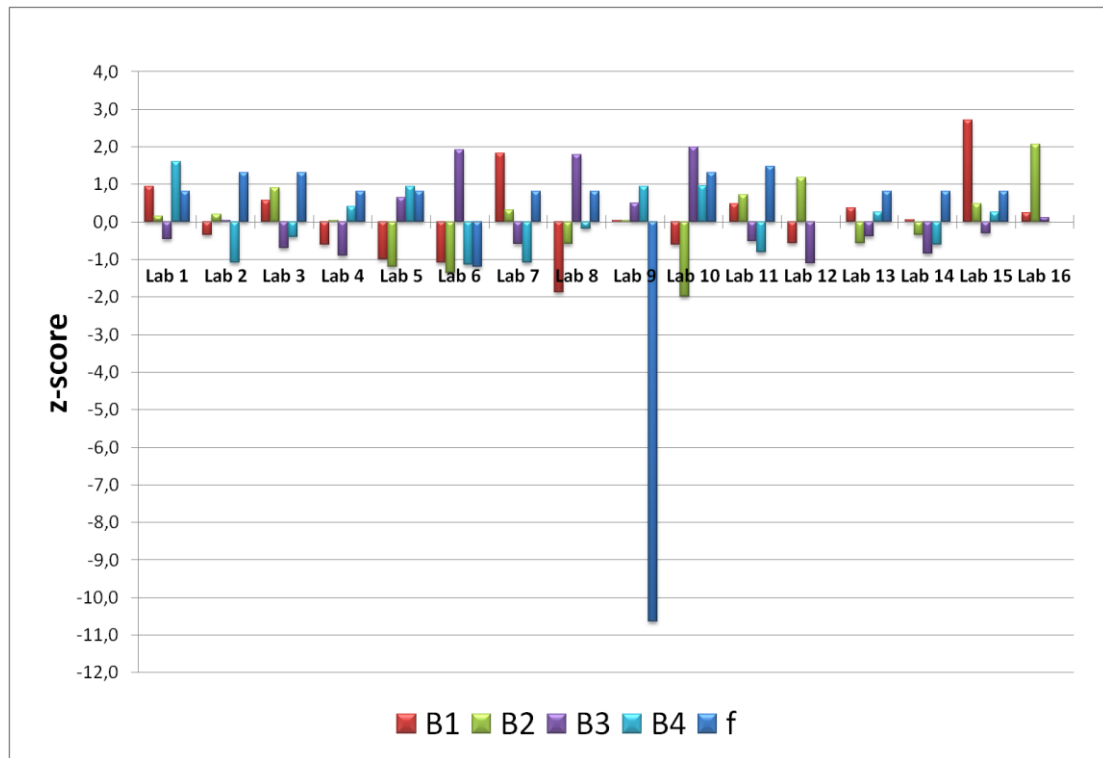
Σημειώνεται ότι για τη μέτρηση της συχνότητας, επειδή η τιμή της συχνότητας ήταν γνωστή και ίση με 127 Hz, οι αποδεκτές τιμές μέτρησης τέθηκαν από τον οργανωτή στο εύρος τιμών από 126 Hz μέχρι 128 Hz. Έτσι ως ανθεκτική τυπική απόκλιση ορίστηκε:

$$s_f^* = \frac{128-126}{\sqrt{2}} = 1.414$$

Σε κάθε στάδιο του σχήματος (μέτρηση Ε ή Β) τα z scores για κάθε εργαστήριο υπολογίζονται για κάθε θέση μέτρησης. Στα Διαγράμματα 1 και 2 που ακολουθούν παρατίθενται τα z scores όλων των συμμετεχόντων για τις μετρήσεις του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου αντίστοιχα.



Διάγραμμα 1: Z-scores για τις μετρήσεις του ηλεκτρικού πεδίου (E)



Διάγραμμα 2: Z-scores για τις μετρήσεις του μαγνητικού πεδίου (B) και της συχνότητας (f)

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι μετρήσεις που έγιναν στα πλαίσια του προηγούμενου σχήματος ήταν οι πρώτες στο είδος τους. Έτσι, κατά τη διεξαγωγή τους προέκυψαν διάφορες παρατηρήσεις – εισηγήσεις για τα μετέπειτα σχήματα, οι οποίες θα βελτίωναν την ακρίβεια και την αποδοτικότητα τους. Οι εν λόγω προτάσεις εφαρμόστηκαν στο μεγαλύτερο δυνατό βαθμό στο παρόν σχήμα και επέφεραν τα επιθυμητά αποτελέσματα.

Η βασική αλλαγή ως προς τη διαδικασία μέτρησης στο νέο σχήμα είναι πρώτον η μέτρηση του ηλεκτρικού/μαγνητικού πεδίου όχι σε διαφορετικά επίπεδα τάσης/ρεύματος, αλλά σε διαφορετικές αποστάσεις από μια σταθερή πηγή και δεύτερον η προσθήκη της τρίτης φάσης μέτρησης, όπου ενσωματώθηκε και μέτρηση της συχνότητας. Σε αντίθεση με τον πρώτο κύκλο, στο παρόν σχήμα οι συμμετέχοντες κλήθηκαν να παραδώσουν τα αποτελέσματά τους μόνο σε μία μορφή (broadband ή bandpass). Έτσι, υπήρξε μια σημαντική αύξηση των εργαστηρίων που συμμετείχαν λαμβάνοντας υπόψη το χρονικό περιορισμό στη λειτουργία του μετασχηματιστή ρεύματος και την απαιτούμενη χρονική διάρκεια για τη διεξαγωγή κάθε μέτρησης.

Στο σχήμα αυτό, δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στη διατήρηση της σταθερότητας των προς μέτρηση πεδίων. Αυτό κατέστη δυνατό για καθεμία από τις τρεις φάσεις μέτρησης, όπου χρησιμοποιήθηκαν ένας σταθεροποιητής τάσης, μια αμπεροτσιμπίδα σε συνδυασμό με ένα ψηφιακό βολτόμετρο για τη διαρκή παρακολούθηση της έντασης του ρεύματος και κατάλληλο λογισμικό το οποίο προσαρμόζε αυτόματα το ρεύμα του πηνίου αντίστοιχα.

Όλες οι ομάδες οι οποίες συμμετείχαν στον πρώτο κύκλο χαμηλόσυχνων μετρήσεων (τέσσερα διαπιστευμένα εργαστήρια που απάρτιζαν πέντε ομάδες μέτρησης) έλαβαν μέρος και σε αυτό το δεύτερο γύρο. Δεν μπορεί να γίνει μια άμεση σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο αυτών σχημάτων, καθώς τα επίπεδα δοκιμών και οι ομάδες μέτρησης δεν ταυτίζονται. Όμως, μπορεί να γίνει μια αξιολόγηση της επίδρασης του εξοπλισμού στα αποτελέσματα, εξετάζοντας τον αριθμό των επιπέδων δοκιμής όπου προέκυψαν $|z| > 2$. Το συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι η πλειοψηφία των συμμετεχόντων που έλαβαν μέρος στον πρώτο γύρο Σ.Δ.Ι., όπου κανένας από αυτούς δεν είχε αξιολογηθεί με $|z| > 2$, τώρα έλαβε «προειδοποιητικό σήμα» ή «σήμα δράσης». Αυτή η διαπίστωση μαζί με το γεγονός ότι διαπιστευμένα εργαστήρια με πρόσφατα διακριβωμένα όργανα έλαβαν $|z| \geq 3$ αποδεικνύει τη σημαντικότητα αυτού του σχήματος και γενικότερα των Σ.Δ.Ι.

Αναλύοντας τα αποτελέσματα των Διαγραμμάτων 1 και 2 προκύπτουν οι εξής βασικές παρατηρήσεις ως προς πιθανές αιτίες σφάλματος που σχετίζονται με τη μη ικανοποιητική επίδοση:

- Τα συμμετέχοντα εργαστήρια είχαν καλύτερη επίδοση στις μετρήσεις του μαγνητικού πεδίου, καθώς δεν παρουσιάστηκε κανένα $|z| \geq 3$. Ωστόσο, τα Εργαστήρια, 15 και 16 έλαβαν κάποια «προειδοποιητικά σήματα». Πιθανά αίτια μπορεί να είναι η εσφαλμένη επεξεργασία της καταγεγραμμένης τιμής του μετρούμενου πεδίου

(υψηλή συχνοεπιλεκτική B1 μέτρηση του Εργαστηρίου 15) ή η έλλειψη βαθμονόμησης των οργάνων (Εργαστήριο 16).

- Όλα τα εργαστήρια είχαν ικανοποιητική επίδοση στη μέτρηση στη θέση B4. Αυτό δείχνει χαρακτηριστικά το πόσο πολύ επηρεάζεται η αξιολόγηση ενός εργαστηρίου από τη σταθερότητα του πεδίου. Μόνο το Εργαστήριο 9 δήλωσε μη αποδεκτή τιμή στη μέτρηση της συχνότητας f. Πιθανή αιτία του σφάλματος μπορεί να είναι η λανθασμένη ρύθμιση του μετρητικού εξοπλισμού που χρησιμοποίησε το συγκεκριμένο εργαστήριο.
- Οι μετρήσεις του ηλεκτρικού πεδίου που έλαβε το Εργαστήριο 12, οι οποίες αξιολογήθηκαν με $|z| > 3$, ήταν αποτέλεσμα ενός συστηματικού λάθους (bias) που οφειλόταν στον μετρητικό εξοπλισμό. Για τη χρήση του συγκεκριμένου οργάνου ήταν απαραίτητη η κοντινή παρουσία του χειριστή, η οποία είχε ως αποτέλεσμα την αλλοίωση του ηλεκτρικού πεδίου. Τα «σήματα δράσης» που έλαβαν τα Εργαστήρια 7 και 9 για τις μετρήσεις τους στο ηλεκτρικό πεδίο πιθανώς να οφείλονται σε λανθασμένη βαθμονόμηση των οργάνων ή σε λάθη των χειριστών. Το «προειδοποιητικό σήμα» που έλαβε στη μέτρηση E1 το Εργαστήριο 1 - παρά τη συνολικά ικανοποιητική συμπεριφορά του - οφείλεται στην έλλειψη διακρίβωσης του αισθητήρα τα τελευταία 4 χρόνια.
- Αξίζει να σημειωθεί ότι τα Εργαστήρια 13 και 15 χρησιμοποίησαν το ίδιο όργανο μέτρησης, αλλά διαφορετικής διαμέτρου αισθητήρα του μαγνητικού πεδίου. Το «προειδοποιητικό σήμα» στη μέτρηση του B1 που έλαβε το Εργαστήριο 15 πιθανώς να οφείλεται στο ότι όσο μεγαλύτερος είναι ο αισθητήρας του πεδιομέτρου, τόσο πιο ακριβής είναι η μέτρησή του.
- Τέλος, μια παρατήρηση που μπορεί να γίνει ως προς τις αβεβαιότητες των μετρήσεων είναι ότι, ενώ για τα περισσότερα εργαστήρια δεν υπερβαίνουν το 15%, οι αβεβαιότητες που δόθηκαν από το Εργαστήριο 9 κυμαίνονται γύρω στο 40%.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Μαθιουλάκης Μ.Ε., “Μέτρηση, ποιότητα μέτρησης και αβεβαιότητα”, Ελληνική Ένωση Εργαστηρίων-HellasLab, Αθήνα 2004.
- [2] ISO/IEC Guide 43-1: 1997, “Proficiency testing by interlaboratory comparisons – Part 1: Development and operation of proficiency testing schemes”.
- [3] ISO/IEC 17043: 2010, “Conformity assessment-General requirements for proficiency testing”.
- [4] ISO/IEC 17025: 2005, “General requirements for the competence of testing and calibration laboratories”.
- [5] ISO 13528: 2005, “Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparisons”.
- [6] Χριστοδούλου Χ.Α., Κατσιβέλης Π.Σ., Γκόνος Ι.Φ., Σταθόπουλος Ι.Α., “Συγκριτικές μετρήσεις ηλεκτρομαγνητικού πεδίου χαμηλών συχνοτήτων”, 3ο Τακτικό Εθνικό Συνέδριο Μετρολογίας, Λάρνακα 5-6 Φεβρουαρίου 2010.
- [7] Nicolopoulou E.P., Gonos I.F., Stathopoulos I.A., Karabetsos E., “An Interlaboratory Comparison Programme on ELF Measurements Performed in Greece”, 6th International Workshop on Biological Effects of Electromagnetic Fields, Bodrum Turkey, October 10-14 2010.
- [8] Nicolopoulou E.P., Gonos I.F., Stathopoulos I.A., Karabetsos E., “Two Interlaboratory comparison Programs on EMF Measurements Performed in Greece”, IEEE Electromagnetic Compatibility Magazine, 1, (2), pp. 50-59, 2012.
- [9] 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”.
- [10] ILAC G13: 2000, “Guidelines for the Requirements for the Competence of Providers of Proficiency Testing Schemes”.
- [11] 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”.
- [12] Ztoupis I.N., Nicolopoulou E.P., Karabetsos E., Gonos I.F., Stathopoulos I.A., “Second Interlaboratory Comparison Programme on ELF EMF Measurements Performed in Greece”, BioEM2013, Thessaloniki, Greece, June 10-14 2013, PB-28.