



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝ

Διεργαστηριακές Συγκρίσεις Μετρήσεων Ηλεκτρομαγνητικών Πεδίων

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ιωάννης Κ. Στυλιανού

Καθηγητής: Ιωάννης Αθ. Σταθόπουλος

Επιβλέποντες: Ιωάννης Φ. Γκόνος

Ιωάννης Ν. Ζτούπης

Ελένη Π. Νικολοπούλου

Αθήνα, Ιούλιος 2013



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝ

183

Διεργαστηριακές Συγκρίσεις Μετρήσεων Ηλεκτρομαγνητικών Πεδίων

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ιωάννης Κ. Στυλιανού

Καθηγητής: Ιωάννης Αθ. Σταθόπουλος

Επιβλέποντες: Ιωάννης Φ. Γκόνοσ

Ιωάννης Ν. Ζτούπης

Ελένη Π. Νικολοπούλου

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 17^η Ιουλίου 2013.

Ιωάννης
Σταθόπουλος
Καθηγητής

Φίλιππος
Κωνσταντίνου
Καθηγητής

Αθανάσιος
Παναγόπουλος
Επίκουρος Καθηγητής

Αθήνα, Ιούλιος 2013

.....
Ιωάννης Κ. Στυλιανού

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Στην οικογένειά μου

Περίληψη

Η συμμετοχή ενός εργαστηρίου σε ένα σχήμα δοκιμών ικανότητας αποσκοπεί στην αξιολόγηση της επάρκειάς του και τη βελτίωση της επίδοσής του σε ένα συγκεκριμένο πεδίο μετρήσεων. Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζονται αρχικά οι αρχές που διέπουν ένα σχήμα δοκιμών ικανότητας και οι κανόνες για την ανάλυση των αποτελεσμάτων του, σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα. Στη συνέχεια παρουσιάζονται δύο σχήματα διεργαστηριακών μετρήσεων ηλεκτρομαγνητικών πεδίων που αφορούν το πρώτο σε χαμηλόσυχνα και το δεύτερο σε υψίσυχνα πεδία. Για κάθε μία από τις δύο πειραματικές διαδικασίες περιγράφεται εκτενώς ο υπολογισμός των στατιστικών δεικτών επίδοσης των συμμετεχόντων, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της επεξεργασίας και γίνεται η αξιολόγηση της επίδοσης των εργαστηρίων. Τέλος, παρατίθενται κάποιες σκέψεις για τη μελλοντική βελτίωση και αξιοποίηση των αποτελεσμάτων αυτών των σχημάτων δοκιμών.

Λέξεις Κλειδιά

Σχήματα δοκιμών ικανότητας, Διεργαστηριακές μετρήσεις, Βαθμός z , Αριθμός E_n , Ανθεκτικός αλγόριθμος A κατά ISO 13528 (Annex C), Ακραία αποτελέσματα, Μη ιοντίζουσες ακτινοβολίες, Χαμηλόσυχνα πεδία, Ραδιοσυχνότητες, Λόγος έκθεσης, Ικανοποιητική επίδοση εργαστηρίου

Abstract

The participation of a laboratory in a proficiency testing scheme aims to assess its adequacy and improve its performance in a particular field of measurements. This diploma thesis presents at first the basic principles of a proficiency testing scheme and the rules for the analysis of the results in accordance with international standards. Two interlaboratory comparison schemes involving low frequency and high frequency electromagnetic field measurements are presented. For each of the two experimental procedures we describe in detail the calculation of the performance statistics of the participants and we evaluate the performance of the laboratories based on the results of the statistical analysis. Finally, some thoughts for future improvement and efficient use of the results of those test schemes are stated.

Key Words

Proficiency testing schemes, Interlaboratory comparisons, z score, E_n number, Robust Algorithm A by ISO 13528 (Annex C), Outlier, Non-ionizing radiation, Extremely low frequency fields, Radio waves, Exposure quotient, Satisfying laboratory performance

Πρόλογος

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετώνται δύο εφαρμογές των σχημάτων δοκιμών ικανότητας στον τομέα των μετρήσεων ηλεκτρομαγνητικών πεδίων. Το θεωρητικό υπόβαθρο για τη στατιστική ανάλυση και την ερμηνεία των αποτελεσμάτων τίθεται με την περιληπτική παρουσίαση των κανόνων που ορίζουν τα σχετικά διεθνή πρότυπα και εν συνεχεία προσαρμόζεται κατάλληλα στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των μετρήσεων που εξετάζουμε. Γίνεται μια αναφορά στους μετρητές ηλεκτρομαγνητικών πεδίων και στις πιθανές πηγές αβεβαιότητας των μετρήσεων. Τόσο για την εφαρμογή στις χαμηλές συχνότητες όσο και για την εφαρμογή στις υψηλές συχνότητες υπολογίζονται οι βαθμοί z scores για κάθε επιμέρους μέτρηση των εργαστηρίων με χρήση ενός ανθεκτικού επαναληπτικού αλγορίθμου. Σε κάποιες ειδικές περιπτώσεις όπου δεν είναι δυνατός ο υπολογισμός του συγκεκριμένου στατιστικού επίδοσης, αντί αυτού υπολογίζονται οι δείκτες E_n . Ακολούθως, αξιολογείται η συνολική συμπεριφορά κάθε εργαστηρίου βάσει συγκεντρωτικών δεικτών και διαγραμμάτων και μεταγενέστερα διερευνώνται στοιχεία της πειραματικής διαδικασίας και παράμετροι της μεθόδου μέτρησης κάθε εργαστηρίου που οδηγούν τους συμμετέχοντες σε χαμηλή επίδοση. Κλείνοντας γίνεται μια σύγκριση μεταξύ των δύο σχημάτων δοκιμών με τα προηγούμενα αντίστοιχά τους, επισημαίνεται η ανάγκη επέκτασής τους και προτείνονται βελτιώσεις για μελλοντικές τους εκτελέσεις.

Ειδικότερα, η διπλωματική εργασία αποτελείται από τα εξής κεφάλαια:

Κεφάλαιο 1. Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται κάποιες εισαγωγικές έννοιες σχετικά με τις διεργαστηριακές μετρήσεις και γίνεται αναφορά στη χρησιμότητα και στη δομή τους.

Κεφάλαιο 2. Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται αναφορά στα διεθνή πρότυπα που θέτουν τις αρχές για την ανάλυση και τη στατιστική επεξεργασία των δεδομένων διεργαστηριακών μετρήσεων.

Κεφάλαιο 3. Στο κεφάλαιο αυτό αντιπαραβάλλονται οι δύο βασικοί αλγόριθμοι υπολογισμού των στατιστικών επίδοσης z-score, όπως αυτοί ορίζονται από τα διεθνή πρότυπα, επιλέγεται η κατάλληλη διαδικασία και περιγράφεται λεπτομερώς. Επίσης γίνεται αναφορά στον τρόπο υπολογισμού των E_n -numbers καθώς και στο πότε επιλέγεται αυτός ο δείκτης ως στατιστικό επίδοσης.

Κεφάλαιο 4. Στο κεφάλαιο αυτό αναφέρονται κάποια χαρακτηριστικά όργανα μέτρησης χαμηλόσυχων και υψίσυχων ηλεκτρομαγνητικών πεδίων καθώς και πιθανοί παράγοντες που επηρεάζουν την αβεβαιότητα των μετρήσεών τους.

Κεφάλαιο 5. Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται οι διεργαστηριακές μετρήσεις χαμηλών συχνοτήτων, παρατίθενται τα z-scores για την αξιολόγηση των εργαστηρίων και εξάγονται συμπεράσματα για την όλη διαδικασία και τη συμπεριφορά των εργαστηρίων.

Κεφάλαιο 6. Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται οι διεργαστηριακές μετρήσεις υψηλών συχνοτήτων, παρατίθενται τα z-scores και οι E_n -numbers για την αξιολόγηση των εργαστηρίων και εξάγονται συμπεράσματα για την όλη διαδικασία και τη συμπεριφορά των εργαστηρίων.

Κεφάλαιο 7. Στο κεφάλαιο αυτό συγκρίνονται τα δύο σχήματα δοκιμών με τα προηγούμενα αντίστοιχά τους, εξετάζεται η μελλοντική εξέλιξη τους εξέλιξη και γίνονται κάποιες παρατηρήσεις για τη βελτίωση της πειραματικής διαδικασίας και την αξιολόγηση των εργαστηρίων μεταξύ κύκλων του σχήματος.

Παράρτημα. Η ενότητα αυτή περιέχει τους αναλυτικούς πίνακες υπολογισμού των δεικτών επίδοσης τόσο της εφαρμογής των χαμηλών συχνοτήτων, όσο και αυτής των υψηλών συχνοτήτων μαζί με ορισμένες επισημάνσεις για την κατά περίπτωση επεξεργασία των μετρήσεων.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά για τη συμπαράσταση και την ανεκτίμητη βοήθειά τους όλους όσους βοήθησαν στην εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας και συγκεκριμένα:

Τον κ. Ιωάννη Αθ. Σταθόπουλο, καθηγητή της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε δίνοντάς μου τη δυνατότητα να ασχοληθώ με το ζωτικής σημασίας για τα εργαστήρια θέμα των διεργαστηριακών μετρήσεων καθώς και για την υποστήριξή του προς εμένα.

Τον κ. Ιωάννη Φ. Γκόνο, λέκτορα της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, για τη διάθεση του πολύτιμου χρόνου του και της μεγάλης πείρας του προς καθοδήγηση μου, καθώς και για την συνεχή του υποστήριξη κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής.

Τον κ. Ευθύμιο Γ. Καραμπέτσο, διδάκτορα μηχανικό του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, υπεύθυνο του Γραφείου μη Ιοντιζουσών Ακτινοβολιών της ΕΕΑΕ, ο οποίος ως συντονιστής των σχημάτων δοκιμών, βρισκόταν δίπλα μου καθ' όλη τη διάρκεια της εκτέλεσης των πειραμάτων και μου παρείχε όλα τα απαραίτητα δεδομένα για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων.

Τον κ. Ιωάννη Ν. Ζτούπη και την κ. Ελένη Π. Νικολοπούλου, Υ.Δ της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, για την ανεξάντλητη βοήθεια, καθοδήγηση, στήριξη και συμπαράσταση που μου παρείχαν καθ' όλη τη διάρκεια της διπλωματικής εργασίας.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τους φίλους μου οι οποίοι στάθηκαν στο πλευρό μου και μου συμπαροστάθηκαν σε κάθε δυσκολία κατά τη διάρκεια της διπλωματικής, αλλά και γενικότερα κατά τη διάρκεια των προπτυχιακών μου σπουδών.

Περιεχόμενα

Περίληψη	vi
Abstract	vii
Πρόλογος	viii
Περιεχόμενα.....	xi
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	1
ΣΧΗΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΩΝ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ	1
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΤΑ ΣΧΗΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΩΝ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ	1
1.2 ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΣΧΗΜΑΤΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ	2
1.3 ΔΟΜΗ ΤΩΝ Σ.Δ.Ι.....	5
1.4 ΤΥΠΟΙ ΣΧΗΜΑΤΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ	6
Βιβλιογραφία.....	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	11
ΠΡΟΤΥΠΙΑ.....	11
2.1 ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ.....	11
2.2 ΟΡΙΣΜΟΙ: ISO 43-1.....	11
2.3 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΠΟΥ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΠΛΗΡΟΥΝΤΑΙ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ ΤΩΝ Σ.Δ.Ι. 13	
2.3.1 Γενικά κριτήρια	13
2.3.2 Τεχνικά κριτήρια	14
2.4 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ: ISO 13528	17
2.5 ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ: ISO 5725-2	23
2.5.1 Παρουσίαση – Ομαδοποίηση δεδομένων.....	23
2.5.2 Προκαταρκτική επεξεργασία.....	23
2.5.3 Εξέταση δεδομένων για εύρεση απόμακρων τιμών	24
2.5.4 Τελική επεξεργασία.....	26
2.5.5 Εξάρτηση της διασποράς από τη μέση τιμή.....	27
Βιβλιογραφία.....	28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	30
ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΕΠΙΔΟΣΗΣ.....	30
3.1 ΓΕΝΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ.....	30
3.2 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΕΚΤΙΜΗΣΕΩΝ m ΚΑΙ σ ΓΙΑ ΤΑ Z –SCORES....	31
3.2.1 ISO 5725-2	31
3.2.2 ISO 13528 (Annex C Algorithm A)	32

3.2.3 Επιλογή αλγορίθμου	36
3.2.4 Υπολογισμός – Ερμηνεία Z-SCORES	37
3.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ – ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΩΝ E_n -NUMBERS	39
Βιβλιογραφία	41
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	43
ΜΕΤΡΗΣΗ Η/Μ ΠΕΔΙΩΝ ΚΑΙ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΟΥΣ	43
4.1 ΜΕΤΡΗΤΕΣ ΧΑΜΗΛΟΣΥΧΝΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ	44
4.1.1 EFA-300 Field Analyzer	44
4.1.2 PMM 8053A	46
4.2 ΜΕΤΡΗΤΕΣ ΥΨΙΣΥΧΝΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ	47
4.2.1 SRM-3000 και SRM-3006	47
4.2.2 EMR-300	49
4.2.3 FSH6 Spectrum Analyzer και κεραία HE200	50
4.3 ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ	51
4.3.1 Κατηγοριοποίηση Αβεβαιοτήτων	53
4.3.2 Πηγές αβεβαιότητας μετρήσεων χαμηλόσυχνων ηλεκτρικών πεδίων	54
4.3.3 Πηγές αβεβαιότητας μετρήσεων χαμηλόσυχνων μαγνητικών πεδίων	57
4.3.4 Πηγές αβεβαιότητας μετρήσεων υψίσυχνων ηλεκτρομαγνητικών πεδίων	61
Βιβλιογραφία	63
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	67
ΕΦΑΡΜΟΓΗ 1 ΧΑΜΗΛΕΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ	67
5.1 ΧΑΜΗΛΟΣΥΧΝΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΚΑΙ ΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΠΕΔΙΑ	67
5.2 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ	71
5.3 ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΕΣ	78
5.5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	80
5.6 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ – Z-SCORES	87
5.7 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	93
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	98
ΕΦΑΡΜΟΓΗ 2 ΥΨΗΛΕΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ	98
6.1 ΥΨΙΣΥΧΝΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΚΑΙ ΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΠΕΔΙΑ	98
6.2 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ	102
6.3 ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΕΣ	108
6.5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	110
6.6 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ – ΔΕΙΚΤΕΣ ΕΠΙΔΟΣΗΣ	129
6.7 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	149
Βιβλιογραφία	159

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7	161
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - Η ΕΠΟΜΕΝΗ ΜΕΡΑ.....	161
7.1 ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ	161
7.2 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ	162
7.2.1 Εφαρμογή 1: Χαμηλές Συχνότητες	162
7.2.2 Εφαρμογή 2: Υψηλές Συχνότητες	162
7.3 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΚΥΚΛΩΝ ΤΟΥ ΣΧΗΜΑΤΟΣ.....	163
Προτεινόμενη μέθοδος	163
7.4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΔΥΟ ΚΥΚΛΩΝ ΤΟΥ Σ.Δ.Ι.	164
7.4.1 Εφαρμογή 1: Χαμηλές Συχνότητες	164
7.4.2 Εφαρμογή 2: Υψηλές Συχνότητες	165
Βιβλιογραφία.....	170
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ.....	172
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1: ΧΑΜΗΛΟΣΥΧΝΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΚΑΙ ΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΠΕΔΙΑ	173
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2 ΥΨΙΣΥΧΝΑ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΠΕΔΙΑ	182

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΣΧΗΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΩΝ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΤΑ ΣΧΗΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΩΝ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ

Κάθε εργαστήριο που εκτελεί δοκιμές, αναλύσεις ή διακριβώσεις επιδιώκει να παράγει συνεχώς και με συνέπεια αξιόπιστα αποτελέσματα, ώστε να παρέχει ποιοτικές υπηρεσίες προς τους φορείς με τους οποίους συνεργάζεται, κυρίως όμως για να μπορέσει να εξασφαλίσει τη διαπίστευση της τεχνικής του ικανότητας, σύμφωνα με τις απαιτήσεις του προτύπου ΕΛΟΤ EN ISO/EC 17025. Για την υλοποίηση αυτού του στόχου τα εργαστήρια είναι υποχρεωμένα να διενεργούν ορισμένους “ελέγχους ποιότητας” (quality controls).

Βασικό ζητούμενο ενός ελέγχου ποιότητας είναι η διασφάλιση της ιδιότητας της συγκρισιμότητας για τα αποτελέσματα των μετρήσεων. Η έννοια της συγκρισιμότητας υλοποιείται μέσω της ιχνηλασιμότητας. Η ιχνηλασιμότητα καθιστά δυνατές τις απευθείας συγκρίσεις μεταξύ των διαφόρων μετρήσεων και επιτυγχάνει μέσω της διακρίβωσης και της βαθμονόμησης την αναγνώριση της συγκρισιμότητας μιας μέτρησης. Είναι επομένως επιθυμητό όλα τα αποτελέσματα να είναι ιχνηλάσιμα σε αξιόπιστα και κατά προτίμηση πιστοποιημένα υλικά αναφοράς.

Με δεδομένη την αντικειμενική δυσκολία διασφάλισης της ποιότητας του αποτελέσματος μέσω της ιχνηλασιμότητας και την αυξανόμενη ζήτηση για ακρίβεια στα αποτελέσματα εργαστηριακών μετρήσεων έχουν αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια νέες μέθοδοι ελέγχου της επάρκειας και της αξιοπιστίας των εργαστηρίων. Η πλέον αποδεκτή από αυτές είναι η συμμετοχή ενός εργαστηρίου σε Σχήματα Δοκιμών Ικανότητας (Σ.Δ.Ι.). Στη διάδοση της

μεθόδου έχει συμβάλει η διαρκώς εντεινόμενη ανάγκη για συγκρίσιμα αποτελέσματα, η οποία σε ορισμένες περιπτώσεις θέτει τη συμμετοχή σε σχήματα δοκιμών ικανότητας ως προϋπόθεση για την αποδοχή εργαστηριακών αποτελεσμάτων.

Με τον όρο δοκιμή ικανότητας εννοούμε την αξιολόγηση της επίδοσης ενός εργαστηρίου ως προς ένα συγκεκριμένο πεδίο μετρήσεων. Η αξιολόγηση αυτή πραγματοποιείται μέσω των διεργαστηριακών συγκρίσεων, δηλαδή τη συμμετοχή στην από κοινού οργάνωση, εκτέλεση και αξιολόγηση ομοειδών μετρήσεων από δύο ή περισσότερα εργαστήρια.

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.).

1.2 ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΣΧΗΜΑΤΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ

Τα σχήματα δοκιμών ικανότητας παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον όχι μόνο για τα ίδια τα εργαστήρια που λαμβάνουν μέρος, αλλά και για άλλους φορείς, όπως οι αρχές διαπίστευσης, οι οργανωτές-συντονιστές των Σ.Δ.Ι., οι κατασκευαστές υλικών αναφοράς, οι φορείς που ασχολούνται με τα πρότυπα, οι φορείς του επιχειρηματικού τομέα και βέβαια οι άμεσοι πελάτες των εργαστηρίων. Όσον αφορά στους διοργανωτές, μπορούν να αντλήσουν στοιχεία για την αποτελεσματικότητα του σχήματος και τις πιθανές τροποποιήσεις και βελτιώσεις του, ενώ οι επίσημες αρχές για την αναγνώριση των εργαστηρίων εξετάζουν κυρίως τις μη ικανοποιητικές επιδόσεις. Παρακάτω παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα της συμμετοχής σε σχήματα δοκιμών ικανότητας για τα εργαστήρια:

- Ταυτοποίηση προβλημάτων μέτρησης και ελέγχου
Εντοπισμός πηγών συστηματικών σφαλμάτων (biases) που εισάγουν ανακρίβεια στις μετρήσεις και λήψη των απαραίτητων διορθωτικών μέτρων.
- Σύγκριση πειραματικών διαδικασιών
Το εργαστήριο έχει τη δυνατότητα να εξετάσει την επίδοσή του σε νέες μεθόδους και να την συγκρίνει με τα αποτελέσματα που λαμβάνει εφαρμόζοντας τις συνήθεις μεθόδους του.
- Αξιολόγηση της επίδοσης του εργαστηρίου σε συγκεκριμένη μέθοδο
Το εργαστήριο μπορεί να ταυτοποιήσει προβλήματα κατά την εφαρμογή μιας συγκεκριμένης μεθόδου και να εντοπίσει τα απαραίτητα διορθωτικά βήματα.
- Αξιολόγηση της επίδοσης του εργαστηρίου σε συγκεκριμένο πρότυπο
Εκτιμάται η ακρίβεια με την οποία ένα εργαστήριο εφαρμόζει κάποιο πρότυπο. Το σημείο αυτό αναφέρεται κυρίως στον έλεγχο εθνικών ινστιτούτων μετρολογίας που τηρούν τα εθνικά πρότυπα.
- Επικύρωση μεθόδων
Προσδιορισμός της ακρίβειας και της αξιοπιστίας πειραματικών διαδικασιών μέσω του υπολογισμού χαρακτηριστικών επίδοσης τους όπως η ορθότητα, η επαναληψιμότητα, η αναπαραγωγιμότητα, η ευστάθεια, η εκτίμηση της αβεβαιότητας κλπ.
- Έλεγχος δυνατοτήτων εξοπλισμού
Το εργαστήριο μπορεί να εξάγει συμπεράσματα για την ακρίβεια και την απόδοση του εξοπλισμού του και έτσι να βελτιώσει την εκτίμηση της αβεβαιότητας που εισάγει στις μετρήσεις ή ακόμη και να αποφασίσει την αναβάθμιση/αλλαγή του προβληματικού τμήματος του εξοπλισμού.
- Χαρακτηρισμός υλικών αναφοράς
Προσδιορίζεται η πιστοποιημένη αληθής τιμή μιας συγκεκριμένης ιδιότητας ενός υλικού με την αντίστοιχη αβεβαιότητα.
- Αύξηση της αξιοπιστίας του εργαστηρίου
Μέσω της συμμετοχής σε Σ.Δ.Ι. αυξάνεται ο βαθμός εμπιστοσύνης προς το εργαστήριο από τους φορείς που ζητούν τις υπηρεσίες του και βελτιώνεται η εικόνα του προς τις επίσημες αρχές, οι οποίες καταρτίζουν τις λίστες με τα κοινοποιημένα εργαστήρια χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα των συγκριτικών μετρήσεων ως μέσο αξιολόγησης.

- Εκπαίδευση προσωπικού

Μία από τις παραμέτρους των Σ.Δ.Ι. είναι η παροχή πληροφοριών στο προσωπικό των εργαστηρίων σχετικά με την εφαρμογή των μεθοδολογιών, την ερμηνεία των δεδομένων, τον υπολογισμό των αβεβαιοτήτων κλπ.

- Διαχείριση κινδύνου

Η συμμετοχή σε Σ.Δ.Ι. μπορεί να θεωρηθεί εργαλείο διαχείρισης ρίσκου, διότι με την ανίχνευση πηγών σφαλμάτων και τις κατάλληλες διορθωτικές ενέργειες αποτρέπονται τόσο η δυσφήμιση του εργαστηρίου λόγω συστηματικής παροχής λανθασμένων αποτελεσμάτων όσο και οι πιθανές νομικές ή άλλου είδους κυρώσεις από τους εξωτερικούς χρήστες ή τις ρυθμιστικές αρχές.

- Πληροφόρηση για την επίδοση και άλλων ομότιμων εργαστηρίων

Δίνεται η δυνατότητα στο εργαστήριο να συγκρίνει τα αποτελέσματά του με άλλα ομότιμα όχι μόνο σε εθνικό, αλλά και σε διακρατικό επίπεδο εργαστήρια κι έτσι να έχει μια γενική εικόνα για το επίπεδο των φορέων, με τους οποίους συνυπάρχει στον τομέα της παροχής μετρήσεων.

Στόχος κάθε εργαστηρίου δεν είναι απλά μία μεμονωμένη επιτυχής συμμετοχή σε ένα πρόγραμμα συγκριτικών δοκιμών που θα πιστοποιεί την επάρκειά του μόνο για ένα περιορισμένο χρονικό διάστημα, αλλά η συνεχής επιβεβαίωση της αξιοπιστίας του. Εφόσον αυτό είναι εφικτό, κάθε εργαστήριο συμμετέχει σε προγράμματα δοκιμών ικανότητας κάθε τετραετία (ΕΣΥΔ ΠΔΙ/01/05/17-10-2007). Έτσι υπάρχει η δυνατότητα για παρακολούθηση της χρονικής εξέλιξης της επίδοσης του εργαστηρίου, πράγμα που σημαίνει ότι το κάθε εργαστήριο θα πρέπει να συγκρίνει την παρούσα επίδοση με τις προηγούμενες.

1.3 ΔΟΜΗ ΤΩΝ Σ.Δ.Ι.

Η βασική αρχή λειτουργίας των συγκριτικών μετρήσεων είναι η αξιολόγηση των εργαστηρίων μέσω ενός αριθμητικού δείκτη της ικανότητάς τους (δείκτης επίδοσης). Ο δείκτης αυτός δηλώνει την απόκλιση της μέτρησης του εκάστοτε εργαστηρίου από την εκτιμήτρια τιμή του μετρούμενου μεγέθους, εκφρασμένη σε πολλαπλάσιο της τυπικής απόκλισης των μετρήσεων.

Η συμμετοχή σε σχήματα διεργαστηριακών δοκιμών είναι υποχρεωτική για τα διαπιστευμένα εργαστήρια. Το κάθε ενδιαφερόμενο εργαστήριο πρέπει να εξετάσει, εάν στα προγράμματα των αρμόδιων εθνικών φορέων (π.χ. Ε.ΣΥ.Δ) ή αντίστοιχων φορέων του εξωτερικού βρίσκονται σε εξέλιξη διεργαστηριακές μετρήσεις στο πεδίο δοκιμών της διαπίστευσής του και να απευθυνθεί στο διοργανωτή του προγράμματος προκειμένου να δηλώσει τη συμμετοχή του. Ο διοργανωτής του προγράμματος - ο οποίος πρέπει να είναι διαπιστευμένος ή εν γένει να πληροί τις απαιτήσεις του οδηγού ΕΛΟΤ ISO/IEC 43-1 – είναι υπεύθυνος για το συντονισμό και τη λεπτομερή οργάνωση του σχήματος.

Ένα σχήμα δοκιμών ικανότητας απαρτίζεται σε γενικές γραμμές από τα παρακάτω στάδια:

1. Ο συντονιστής καθορίζει όλες τις παραμέτρους της πειραματικής διαδικασίας -η οποία πρέπει να διεξαχθεί σε όλα τα εργαστήρια υπό προσυμφωνημένες συνθήκες- και οργανώνει την παρασκευή, δοκιμή ομοιογένειας και επικύρωση των αντικειμένων δοκιμής.
2. Τα συμμετέχοντα εργαστήρια εκτελούν τις μετρήσεις (αναλύουν τα δείγματα που έχουν λάβει από το συντονιστή, εάν πρόκειται για χημικούς, βιολογικούς ελέγχους κλπ) και επιστρέφουν εντός προκαθορισμένου χρόνου τα αποτελέσματα στο συντονιστή, καταγεγραμμένα σε ειδικές φόρμες, σύμφωνες με τις προδιαγραφές του συντονιστή.
3. Τα αποτελέσματα υποβάλλονται σε στατιστική ανάλυση και αξιολογείται η επίδοση των εργαστηρίων.
4. Ο συντονιστής αποστέλλει στους συμμετέχοντες μία έκθεση με όλα τα αποτελέσματα, όπου τα εργαστήρια αναφέρονται με κωδικούς.

5. Ακολουθεί ερμηνεία και εκτίμηση των αποτελεσμάτων της έκθεσης από το κάθε εργαστήριο για την επίλυση των προβλημάτων που αντιμετωπίζει.

1.4 ΤΥΠΟΙ ΣΧΗΜΑΤΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ

Τα χαρακτηριστικά που πρέπει να πληροί ένα Σ.Δ.Ι. εξαρτώνται από τη φύση των υπό εξέταση υλικών ή μεγεθών, την επιθυμητή μέθοδο δοκιμής καθώς και τον αριθμό των εργαστηρίων που συμμετέχουν. Σύμφωνα με το ISO/IEC Guide 43 κατατάσσονται στις παρακάτω κατηγορίες.

- Σχήματα Συγκριτικών Μετρήσεων (Measurement Comparison Schemes)

Το προς δοκιμή ή διακρίβωση αντικείμενο κυκλοφορεί διαδοχικά από το ένα εργαστήριο στο άλλο. Κατά τη διαδικασία αυτή, μπορεί να επιστραφεί στο κεντρικό εργαστήριο, που χρησιμοποιείται ως εργαστήριο αναφοράς, για εξέταση πριν περάσει στο επόμενο, έτσι ώστε να προσδιοριστούν τυχόν αλλαγές που έχουν γίνει σ' αυτό. Σε αυτή τη μέθοδο η εκτιμήτρια τιμή του δοκιμίου ή του αντικειμένου διακρίβωσης δίνεται από το εργαστήριο αναφοράς και οι μετρήσεις κάθε εργαστηρίου συγκρίνονται με την τιμή αυτή. Οι συγκρίσεις αυτού του τύπου μπορεί να είναι αρκετά χρονοβόρες, γι αυτό και πρέπει να διασφαλίζεται η σταθερότητα του μετρούμενου αντικειμένου καθώς και η παρακολούθηση της κυκλοφορίας του από εργαστήριο σε εργαστήριο.

- Σχήματα Διεργαστηριακών Δοκιμών (Interlaboratory Testing Schemes)

Επιλέγονται τυχαία υποδείγματα από μια ποσότητα υλικού με ικανοποιητικό βαθμό ομογένειας και διανέμονται ταυτοχρόνως στα εργαστήρια. Μετά το πέρας των μετρήσεων, τα αποτελέσματα επιστρέφονται στον διοργανωτή ο οποίος τα επεξεργάζεται με κάποια συγκεκριμένη στατιστική μέθοδο και ενημερώνει την κάθε ομάδα για τον δείκτη επίδοσής της. Στην κατηγορία αυτών των σχημάτων ανήκουν και οι τύποι «διαιρεμένου επιπέδου» (Split-Levels Testing Schemes) όπου συμπεριλαμβάνονται παρόμοια (αλλά όχι εντελώς ίδια) επίπεδα μετρήσεως διαφορετικών δειγμάτων.

- Σχήματα Δοκιμών Διαιρεμένου Δείγματος (Split-Sample Testing Schemes)
Τα δείγματα του προϊόντος ή του υλικού διαιρούνται σε δύο ή περισσότερα μέρη και κάθε συμμετέχον εργαστήριο εξετάζει ένα μέρος από κάθε δείγμα. Η διαδικασία αυτή διαφέρει από αυτήν του προηγούμενου τύπου, λόγω του ότι δεν είναι δυνατός οποιοσδήποτε έλεγχος για την ομοιογένεια του δείγματος που διαιρείται. Τα σχήματα αυτά βρίσκουν εφαρμογή σε μικρό αριθμό εργαστηρίων (συνήθως δύο). Στόχος των σχημάτων αυτών είναι η ταυτοποίηση σταθερών συστηματικών σφαλμάτων (bias) και η επαλήθευση της αποτελεσματικότητας διορθωτικών ενεργειών. Τέτοια σχήματα απαιτούνται συχνά από τους πελάτες των εργαστηρίων ώστε να ελεγχθούν συγκεκριμένα θέματα.
- Ποιοτικά Σχήματα (Qualitative Schemes)
Έχουν ως στόχο της εκτίμηση της ικανότητας των εργαστηρίων να ταυτοποιούν συγκεκριμένες ομάδες, οντότητες ή ουσίες χωρίς ποσοτικό προσδιορισμό. Αυτά τα σχήματα δεν απαιτούν ούτε τη συμμετοχή πολλαπλών εργαστηρίων ούτε διεργαστηριακές συγκρίσεις.
- Σχήματα Γνωστής Τιμής (Known Value Schemes)
Παρασκευάζονται τα δείγματα προς δοκιμή με προσθήκη γνωστής ποσότητας του προς μέτρηση μεγέθους. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση ενός εργαστηρίου στην ικανότητα του να προσδιορίζει το υπό εξέταση μέγεθος, μέσω απευθείας σύγκρισης του αποτελέσματος που δίνει με την πραγματική τιμή του.
- Σχήματα Μερικής Διεργασίας (Partial-Process Schemes)
Είναι ειδικοί τύποι σχημάτων για την αξιολόγηση της ικανότητας ενός εργαστηρίου να εκτελεί μέρος μιας διαδικασίας δοκιμής ή μέτρησης, όπως για παράδειγμα η εκτίμηση της ικανότητας του εργαστηρίου να παράγει δείγματα ή δοκίμια σύμφωνα με συγκεκριμένες προδιαγραφές.

Παρά τις πιο πάνω διαφοροποιήσεις, όλοι οι τύποι έχουν ένα κοινό γνώρισμα, το ότι τα αποτελέσματα της δοκιμής που λαμβάνονται από ένα εργαστήριο συγκρίνονται με τα δείγματα από τα υπόλοιπα εργαστήρια. Επίσης, τα σχήματα αυτά είναι «ανοιχτά» για οποιοδήποτε εργαστήριο επιθυμεί να συμμετέχει. Επιπλέον πρέπει να σημειωθεί ότι όλα τα σχήματα είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε να αξιολογούν την ικανότητα των εργαστηρίων όσον αφορά σε μια συγκεκριμένη ανάλυση επί συγκεκριμένου υποστρώματος.

Ένα εργαστήριο, για την επιλογή του κατάλληλου Σ.Δ.Ι. στο οποίο επιθυμεί να συμμετάσχει, πρέπει να λάβει υπόψη του τα παρακάτω:

- Οι μετρήσεις, δοκιμές και διακριβώσεις που εκτελεί πρέπει να ταιριάζουν με τις μετρήσεις, δοκιμές και διακριβώσεις που εκτελούνται από αυτό.
- Τη συχνότητα με την οποία τρέχει το σχήμα.
- Την καταλληλότητα των διαδικασιών που εφαρμόζονται από το σχήμα σε σχέση με τις απαιτήσεις και τις δυνατότητες του εργαστηρίου.
- Τη διαθεσιμότητα των κριτηρίων αποδοχής για τα συμμετέχοντα εργαστήρια.
- Το κόστος.
- Την πολιτική του σχήματος για τη διατήρηση της αξιοπιστίας όσον αφορά τα συμμετέχοντα εργαστήρια και την επίδοσή τους.
- Το χρονοδιάγραμμα αναφοράς των αποτελεσμάτων.
- Την καταλληλότητα των υλικών προς δοκιμή που χρησιμοποιούνται από το σχήμα όσον αφορά την ομοιογένεια, τη σταθερότητα και όπου απαιτείται την ιχνηλασιμότητα σε εθνικά ή διεθνή πρότυπα.
- Σε συμφωνία με τα διαπιστευμένα ή υπό διαπίστευση εργαστήρια, ο φορέας διαπίστευσης πρέπει να έχει πρόσβαση στα αποτελέσματα του εργαστηρίου καθώς και στις λεπτομέρειες σχεδιασμού του σχήματος, στις διαδικασίες υπολογισμών των εκτιμητριών τιμών, στις οδηγίες προς τους συμμετέχοντες, τη στατιστική επεξεργασία των δεδομένων και την τελική έκθεση.

Βιβλιογραφία

- [1] ISO/IEC Guide 43-1: 1997, “Proficiency testing by Interlaboratory Comparisons - Part 1: Development and operation of proficiency testing schemes”.
- [2] ISO/IEC Guide 43-2: 1997, “Proficiency testing by Interlaboratory Comparisons - Part 2: Selection and use of proficiency testing schemes by laboratory accreditation bodies”.
- [3] Ελληνική Ένωση Εργαστηρίων, «ΜΕΤΡΟΛΟΓΙΑ – ΔΙΑΠΙΣΤΕΥΣΗ, Εργαλεία για την Επίτευξη της Εργαστηριακής Αξιοπιστίας», Σχολείο για τη Μετρολογία, Εκπαιδευτικό Σεμινάριο της HellasLab, 2007.
- [4] Ελένη Π. Νικολοπούλου, «Αξιολόγηση διεργαστηριακών μετρήσεων ηλεκτρομαγνητικού πεδίου», Διπλωματική εργασία, 2010.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΠΡΟΤΥΠΑ

2.1 ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ

Οι κατευθυντήριες γραμμές για την οργάνωση και τη λειτουργία των σχημάτων δοκιμών ικανότητας τίθενται στον οδηγό ILAC Guide G13 “Guidelines for the Requirements for the Competence of Providers of Proficiency Testing Schemes” , ενώ αναλυτικότερη περιγραφή τους γίνεται στους οδηγούς ISO 43 “Proficiency testing by Interlaboratory Comparisons - Part 1: Development and operation of proficiency testing schemes, Part 2: Selection and use of proficiency testing schemes by laboratory accreditation bodies” .

2.2 ΟΡΙΣΜΟΙ: ISO 43-1

Ακολουθούν οι ορισμοί των βασικότερων εννοιών που θα χρησιμοποιηθούν, όπως δίνονται κατά κύριο λόγο στο πρότυπο ISO 43-1 (αλλά και συμπληρωματικά στο πρότυπο ISO 13528):

Δοκιμή ικανότητας (laboratory proficiency testing)

Έλεγχος της επίδοσης των εργαστηρίων σε δοκιμές μέσω διεργαστηριακών συγκρίσεων.

Διεργαστηριακές συγκρίσεις (interlaboratory comparisons)

Η οργάνωση, εκτέλεση και αξιολόγηση μετρήσεων πάνω στο ίδιο ή παρόμοιο δοκίμιο από δύο ή περισσότερα εργαστήρια σύμφωνα με προκαθορισμένες συνθήκες.

Εκτιμήτρια τιμή (assigned value)

Είναι η τιμή που αποδίδεται σε μία συγκεκριμένη ποσότητα και γίνεται αποδεκτή, συχνά κατόπιν σύμβασης, διότι έχει αβεβαιότητα κατάλληλη για ένα συγκεκριμένο σκοπό. Ουσιαστικά είναι η τιμή που χρησιμοποιείται αντί της αληθούς τιμής του μετρούμενου μεγέθους κατά τη στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων, καθώς αποτελεί την καλύτερη διαθέσιμη εκτίμηση της πραγματικής του τιμής.

Τυπική απόκλιση για την αξιολόγηση της επίδοσης (standard deviation for proficiency assessment)

Μέτρο της διασποράς που χρησιμοποιείται στην εκτίμηση της ικανότητας των εργαστηρίων και μπορεί είτε να καθοριστεί προκαταβολικά ως τιμή στόχος (target value) είτε να προκύψει με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία.

Απόμακρη τιμή (outlier)

Το αποτέλεσμα δοκιμής του οποίου η τιμή είναι τόσο μακράν των υπολοίπων ώστε να θεωρείται με πιθανότητα 99% ότι ανήκει σε διαφορετικό πληθυσμό ή ότι είναι το αποτέλεσμα λανθασμένης μέτρησης.

Πλανώμενη τιμή (straggler)

Το αποτέλεσμα δοκιμής του οποίου η τιμή είναι τόσο μακράν των υπολοίπων ώστε να θεωρείται με πιθανότητα 95% ότι ανήκει σε διαφορετικό πληθυσμό ή ότι είναι το αποτέλεσμα λανθασμένης μέτρησης.

Ακραία αποτελέσματα (extreme results)

Αποτελέσματα που αποκλίνουν σημαντικά από τις υπόλοιπες τιμές του συνόλου των μετρήσεων και μπορούν να επηρεάσουν έντονα στατιστικά μεγέθη όπως η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση.

Ανθεκτικές στατιστικές μέθοδοι (robust statistical techniques)

Τεχνικές για την ελαχιστοποίηση της επίδρασης που έχουν ακραία αποτελέσματα στις εκτιμήσεις της μέσης τιμής και της τυπικής απόκλισης.

Αβεβαιότητα μέτρησης (uncertainty of measurement)

Παράμετρος που σχετίζεται με τα αποτελέσματα μιας μέτρησης και χαρακτηρίζει το εύρος των τιμών που θα μπορούσαν να αποδοθούν στο μετρούμενο μέγεθος.

2.3 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΠΟΥ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΠΛΗΡΟΥΝΤΑΙ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ ΤΩΝ Σ.Δ.Ι.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι κατευθυντήριες γραμμές για την οργάνωση και τη λειτουργία των σχημάτων δοκιμών ικανότητας, όπως αυτές ορίζονται από τον οδηγό ILAC Guide G13 “Guidelines for the Requirements for the Competence of Providers of Proficiency Testing Schemes”

2.3.1 Γενικά κριτήρια

Ο φορέας ο οποίος αναλαμβάνει να φέρει εις πέρας την ορθή διεξαγωγή των διεργασηριακών μετρήσεων, πρέπει να φροντίζει να πληρούνται κάποια γενικά κριτήρια έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η αξιοπιστία και η εγκυρότητα των αποτελεσμάτων που θα προκύψουν. Παρακάτω ακολουθούν τα κυριότερα από αυτά.

- Σύστημα ελέγχου ποιότητας
Ο φορέας παροχής των Σ.Δ.Ι. πρέπει να θεσπίσει και ακολούθως να εφαρμόζει ένα σύστημα διαχείρισης της ποιότητας των πειραμάτων καθώς και των διαδικασιών που ακολουθούνται. Το σύστημα αυτό, πρέπει να καλύπτει όλες τις πτυχές των δοκιμών, στα πλαίσια του οποίου μπορεί να συνταχθεί ένα έγγραφο όπου θα αναφέρονται οι αρχές που πρέπει να πληρούνται.
- Οργάνωση και διαχείριση των Σ.Δ.Ι.
Ο διοργανωτής θα πρέπει να καθορίσει επακριβώς ποιες διαδικασίες θα ακολουθηθούν, καθώς και με ποιο τρόπο θα εκτελεστούν τα διάφορα πειράματα.
- Έλεγχος εγγράφων
Πρέπει να τηρούνται κάποιες διαδικασίες ελέγχου όλων των εγγράφων, είτε αυτά προέρχονται από εσωτερικές, είτε από εξωτερικές πηγές.

- Συνδιοργανωτές
Η διοργανώτρια αρχή, αξιολογώντας κατάλληλα τις επιλογές που έχει, επιλέγει τους πιθανούς συνδιοργανωτές των Σ.Δ.Ι.
- Υπηρεσίες διοργανωτή προς τους συμμετέχοντες
Ο διοργανωτής πρέπει να διαθέτει διαδικασίες μέσα από τις οποίες θα μπορεί να ικανοποιήσει τις ανάγκες των συμμετεχόντων εργαστηρίων σε υπηρεσίες, καθώς και σε υλικά.
- Σχόλια συμμετεχόντων
Το κάθε συμμετέχων εργαστήριο πρέπει να έχει τη δυνατότητα να καταθέσει τα σχόλια, τις παρατηρήσεις ή και τα παράπονα του στη διοργανώνουσα αρχή.
- Αντιμετώπιση ανεπιθύμητων καταστάσεων
Πρέπει να υπάρχει ένας προσχεδιασμός από πλευράς διοργανωτή για την αντιμετώπιση πιθανών απρόβλεπτων γεγονότων.
- Διορθωτικές ενέργειες
Όταν υπάρχει κάποια απόκλιση από τις προβλεπόμενες διαδικασίες ή όταν παρουσιαστεί κάποιο τεχνικό πρόβλημα, πρέπει μέσα από προσχεδιασμένες μεθόδους να επανέρχονται τα πειράματα στην κανονική τους ροή. Μεταγενέστερα, μπορεί να διερευνηθεί το γεγονός για να προσδιοριστεί η αιτία του προβλήματος.
- Εσωτερικός έλεγχος διαδικασιών
Όλες οι πειραματικές διαδικασίες πρέπει να ελέγχονται συστηματικά από τον διοργανωτή, έτσι ώστε να εντοπίζονται εγκαίρως και να διορθώνονται τυχόν ατέλειες.
- Διατήρηση αρχείου
Η διοργανώτρια αρχή οφείλει να διατηρεί ένα αρχείο στο οποίο θα βρίσκονται συγκεντρωμένα όλα τα τεχνικά έγγραφα από όλα τα εργαστήρια.

2.3.2 Τεχνικά κριτήρια

Τα τεχνικά κριτήρια, καθορίζουν τις απαιτήσεις τις οποίες ο οργανωτής καθώς και οι συνδιοργανωτές πρέπει να πληρούν έτσι ώστε να εξασφαλίζεται ότι είναι τεχνικά ικανοί για να φέρουν εις πέρας τα διεργαστηριακά πειράματα.

- Επιτήρηση, Στελέχωση και Εκπαίδευση προσωπικού

Ο συντονισμός και η διεξαγωγή των Σ.Δ.Ι. πρέπει να γίνεται μόνο από προσωπικό το οποίο έχει εμπειρία στο συγκεκριμένο αντικείμενο. Ο διοργανωτής μαζί με τους συνεργάτες του οφείλουν να ορίζουν αρμοδιότητες στο προσωπικό έτσι ώστε να κυλίσει σταθερά και ομαλά όλη η διαδικασία.
- Συνδιοργανωτές

Ο διοργανωτής υποχρεούται να επιλέξει συνεργάτες οι οποίοι έχουν επαρκή εμπειρία, καθώς και τεχνικές ικανότητες έτσι ώστε να μπορούν να εφαρμόσουν τις κατευθυντήριες γραμμές, όπως αυτές ορίζονται από τα πρότυπα.
- Οργάνωση και Διοικητική Υποστήριξη
 - Προσχεδιασμός:

Η διοργανώτρια αρχή πρέπει να εντοπίζει και να σχεδιάζει εκείνες τις διαδικασίες που επηρεάζουν άμεσα την ποιότητα των αποτελεσμάτων και εξασφαλίζει ότι αυτές θα διεξάγονται σύμφωνα με τις προβλεπόμενες διαδικασίες.
 - Προετοιμασία των πειραμάτων:

Κατά την προετοιμασία, πρέπει να συλλεχθούν, να προετοιμαστούν, να ελεγχθούν και να οργανωθούν τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν ούτως ώστε να είναι έτοιμα για τις διεργαστηριακές δοκιμές.
 - Ομοιογένεια και σταθερότητα των πειραμάτων:

Ο οργανωτής ή οι συνδιοργανωτές αναλόγως πρέπει να κάνουν επιλεκτική εκτέλεση των πειραμάτων, έτσι ώστε να γίνει αξιολόγηση της ομοιογένειας και κατά συνέπεια της σταθερότητας του προς εξέταση υλικού.
 - Στατιστικός σχεδιασμός

Πρέπει να επιλεγούν τα κατάλληλα στατιστικά μοντέλα, τα οποία θα χρησιμοποιηθούν για την επεξεργασία των δεδομένων και κατά συνέπεια για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων των Σ.Δ.Ι.
- Επιλογή μεθοδολογίας

Οι συμμετέχοντες πρέπει να έχουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσουν τη διαδικασία μέτρησης ή δοκιμής που αυτοί επιθυμούν, εφόσον είναι η διαδικασία που χρησιμοποιούν στις καθημερινές τους λειτουργίες σαν

εργαστήρια. Εναλλακτικά, σε κάποιες περιπτώσεις, ο συντονιστής μπορεί να επιβάλει στους συμμετέχοντες να χρησιμοποιήσουν κάποια αυστηρά συγκεκριμένη μεθοδολογία.

- Διεξαγωγή των Σ.Δ.Ι.
 - Οδηγίες στους συμμετέχοντες

Ο διοργανωτής πρέπει να ενημερώσει εγκαίρως τα εργαστήρια για το πότε και το πως θα διεξαχθούν τα πειράματα, έτσι ώστε να γνωρίζουν εκ των προτέρων τους στόχους των δοκιμών και να φροντίσουν ότι το συμμετέχον προσωπικό τους θα είναι διαθέσιμο τις συγκεκριμένες μέρες και ώρες.
 - Διαχείριση και αποθήκευση των υλικών

Είναι αναγκαίο να γίνει κατάλληλη διαχείριση και αποθήκευση των υλικών και των πειραματικών διατάξεων έτσι ώστε να μην υπάρξει η οποιαδήποτε αλλοίωση σ' αυτά.
 - Συσκευασία, σήμανση και διανομή των υλικών

Η συσκευασία και η σήμανση όλων των αντικειμένων πρέπει να γίνει με μεγάλη προσοχή έτσι ώστε να είναι σύμμορφη με τις σχετικές περιφερειακές, εθνικές ή διεθνείς προδιαγραφές ασφαλείας.
- Ανάλυση των δεδομένων και ερμηνεία των αποτελεσμάτων
 - Ανάλυση αρχείων και δεδομένων

Ο διοργανωτής έχει την ευθύνη να ορίσει ένα άτομο που θα είναι υπεύθυνο για την επεξεργασία των δεδομένων.

Ο εξοπλισμός επεξεργασίας των δεδομένων πρέπει να είναι αξιόπιστος έτσι ώστε τα αποτελέσματα που θα προκύψουν να είναι έγκυρα και έγκαιρα.
 - Αξιολόγηση της επίδοσης

Όπου πρέπει να γίνει αξιολόγηση της επίδοσης των συμμετεχόντων, πρέπει να ληφθούν τα απαραίτητα μέτρα έτσι ώστε να γίνει με αμερόληπτο τρόπο.
 - Αναφορά αποτελεσμάτων των διεργαστηριακών πειραμάτων

Κάθε έκθεση αναφοράς των αποτελεσμάτων θα πρέπει να είναι σαφής, περιεκτική και να περιλαμβάνει στοιχεία σχετικά με την κατανομή των αποτελεσμάτων από όλους τους συμμετέχοντες.

- Επικοινωνία με τους συμμετέχοντες
Ο διοργανωτής, οφείλει να παρέχει σ' αυτούς που επιθυμούν να συμμετέχουν, λεπτομερείς πληροφορίες με τη μορφή ενός πρωτοκόλλου συστήματος, όπως για παράδειγμα για το πώς να υποβάλουν αίτηση για συμμετοχής στα Σ.Δ.Ι.
- Εμπιστευτικότητα
Η ταυτότητα των συμμετεχόντων σε ένα σχήμα δοκιμών ικανότητας πρέπει να είναι εμπιστευτική και να είναι γνωστή στον ελάχιστο δυνατό αριθμό ατόμων που εμπλέκονται στην εξαγωγή των αποτελεσμάτων.

2.4 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ: ISO 13528

Η παρουσίαση των στατιστικών μεθόδων που χρησιμοποιούνται στις διεργαστηριακές συγκρίσεις γίνεται – σε συνέχεια των οδηγιών ISO 43 – στο πρότυπο ISO 13528 “Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparisons”, όπου αναπτύσσονται λεπτομερώς τα μαθηματικά εργαλεία για την αξιολόγηση της επίδοσης των εργαστηρίων. Σύμφωνα με το εν λόγω πρότυπο η στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων αποτελείται από τα εξής στάδια:

(1) Έλεγχος της μεθόδου προετοιμασίας των δειγμάτων

Πρόκειται για ελέγχους της ομοιογένειας και της σταθερότητας των δειγμάτων προκειμένου να γίνει επικύρωση των υπό εξέταση υλικών σε περιπτώσεις, όπου η πειραματική διαδικασία περιλαμβάνει μετρήσεις επί συγκεκριμένων αντικειμένων δοκιμής.

(2) Καθορισμός της εκτιμήτριας τιμής (assigned value)

Στο σημείο αυτό πρέπει να ληφθεί η απόφαση, εάν η εκτιμήτρια τιμή μαζί με την αβεβαιότητά της θα προσδιορισθούν πριν τη διεξαγωγή των μετρήσεων με μία από τις παρακάτω μεθόδους:

- Διαμόρφωση (Formulation)
Στη μέθοδο αυτή γίνεται προσθήκη γνωστής ποσότητας ή συγκέντρωσης του υπό ανάλυση συστατικού σε ένα βασικό υλικό που δεν το περιέχει.
- Απευθείας σύγκριση με πιστοποιημένα υλικά αναφοράς (Certified reference materials-CRMs)

Το δοκίμιο αναλύεται σε αντιπαραβολή με CRMs κάτω από συνθήκες επαναληψιμότητας με αποτέλεσμα η πιστοποιημένη τιμή αναφοράς που προκύπτει να εξασφαλίζει άμεση ιχνηλασιμότητα στα υλικά αυτά.

- Σύγκριση με υλικά αναφοράς (Reference materials-RMs)
Μέρος των δειγμάτων αναλύεται παράλληλα με CRMs και το αποτέλεσμα ανάγεται στην αντίστοιχη τιμή του CRM ώστε να προκύψει η τιμή αναφοράς.

ή εάν θα προκύψουν συναρτήσεις των μετρήσεων ως:

- Συμφωνημένη τιμή (consensus value) από ειδικά εργαστήρια
Τα δείγματα αναλύονται σε ειδικά εργαστήρια με μεθόδους αναφοράς.
- Συμφωνημένη τιμή των συμμετεχόντων εργαστηρίων
Με την προσέγγιση αυτή υπάρχουν οι εξής εναλλακτικές για τον υπολογισμό της εκτιμήτριας τιμής:
 - α) Μέση τιμή (average) των αποτελεσμάτων των εργαστηρίων
 - β) Διάμεση τιμή (median) των αποτελεσμάτων των εργαστηρίων
 - γ) Ανθεκτική μέση τιμή (robust average)

(3) Καθορισμός της τυπικής απόκλισης $\hat{\sigma}$

Η τυπική απόκλιση, βάσει της οποίας γίνεται ουσιαστικά η εκτίμηση της επάρκειας των εργαστηρίων, μπορεί να προδιαγραφεί ως τιμή στόχος πριν τη διεξαγωγή των μετρήσεων με έναν από τους παρακάτω τρόπους:

- Από διαίσθηση (αντίληψη) σχετικά με τις επιδόσεις που θα πραγματοποιήσουν τα εργαστήρια.
- Κατόπιν απαιτήσεως ώστε να πληρούνται συγκεκριμένα όρια ακρίβειας.
- Με αναφορά σε γενικευμένο μοντέλο που συνδέει το επίπεδο της δοκιμής με την αναπαραγωγιμότητα.
- Με αναφορά σε επικυρωμένες μεθόδους και συγκεκριμένα από την τυπική απόκλιση προτυποποιημένων διαδικασιών με γνωστή επαναληψιμότητα και αναπαραγωγιμότητα.

ή να προκύψει συναρτήσεις των μετρήσεων ως:

- Τυπική απόκλιση των αποτελεσμάτων των εργαστηρίων (standard deviation)

- Ανθεκτική τυπική απόκλιση (robust standard deviation)
- (4) Έλεγχος για τον περιορισμό της αβεβαιότητας της εκτιμήτριας τιμής
- (5) Έλεγχος για τον αριθμό των επαναληπτικών δοκιμών που εκτελεί κάθε εργαστήριο σε κάθε επίπεδο
- (6) Υπολογισμός των στατιστικών επίδοσης

Μετά τη συλλογή των αποτελεσμάτων και τον υπολογισμό της εκτιμήτριας τιμής και της τυπικής απόκλισης με έναν από τους τρόπους που προαναφέρθηκαν γίνεται η ποσοτικοποίηση της επίδοσης του κάθε εργαστηρίου με έναν από τους παρακάτω δείκτες:

- Εκτίμηση του ολικού συστηματικού σφάλματος (bias)
Ορίζεται ως η διαφορά μεταξύ της μέτρησης x του συμμετέχοντος και της εκτιμήτριας X :

$$D = x - X \quad (2.1)$$

- Επί τοις εκατό διαφορά:

$$D_{\%} = 100 \cdot \frac{x - X}{X} \quad (2.2)$$

- Βαθμοί z (z scores)

Πρόκειται για το δείκτη επίδοσης που χρησιμοποιείται στα περισσότερα σχήματα δοκιμών ικανότητας και συγκρίνει την εκτίμηση του συστηματικού σφάλματος με την τιμή στόχο για την τυπική απόκλιση:

$$z = \frac{x - X}{\hat{\sigma}} \quad (2.3)$$

- Βαθμοί ζ (ζ scores)

Υπολογίζονται από τη σχέση

$$\zeta = \frac{x - X}{\sqrt{u_x^2 + u_x^2}} \quad (2.4)$$

- Βαθμοί z' (z' scores)

Υπολογίζονται από τη σχέση

$$z' = \frac{x - X}{\sqrt{\hat{\sigma}^2 + u_x^2}} \quad (2.5)$$

Όπου: $\hat{\sigma}$ η εκτιμήτρια για την τυπική απόκλιση και u_x η τυπική αβεβαιότητα της εκτιμήτριας X

- Βαθμοί Ez (Ez scores)

Υπολογίζονται από τις σχέσεις

$$E_{z^-} = \frac{x - (X - U_x)}{U_x} \quad (2.6)$$

$$E_{z^+} = \frac{x - (X + U_x)}{U_x} \quad (2.7)$$

Όπου: U_x η διευρυμένη αβεβαιότητα της μέτρησης x του εργαστηρίου και

U_x η διευρυμένη αβεβαιότητα της εκτιμήτριας X

- Βαθμοί En (En scores)

Υπολογίζονται από τη σχέση

$$E_n = \frac{x - X}{\sqrt{U_{lab}^2 + U_{ref}^2}} \quad (2.8)$$

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.

(7) Γραφική παρουσίαση των στατιστικών επίδοσης

Οι δείκτες επίδοσης αναπαριστώνται με έναν ή περισσότερους από τους παρακάτω τρόπους:

- Ιστόγραμμα των στατιστικών επίδοσης
- Ραβδόγραμμα των κανονικοποιημένων συστηματικών σφαλμάτων

Σε περιπτώσεις όπου τα εργαστήρια εκτελούν επαναληπτικές δοκιμές σε κάθε επίπεδο μπορούν να γίνουν τα παρακάτω γραφήματα:

- Ραβδόγραμμα των κανονικοποιημένων μετρήσεων επαναληψιμότητας
- Διάγραμμα Youden

Πρόκειται για την xy αναπαράσταση των αποτελεσμάτων του δείγματος I ως προς τα αποτελέσματα του δείγματος II σε σχήματα, όπου εξετάζονται δύο διαιρεμένα δείγματα.

- Διάγραμμα των τυπικών αποκλίσεων επαναληψιμότητας

Η γραφική αναπαράσταση μπορεί να εφαρμοστεί όχι μόνο στα αποτελέσματα των στατιστικών επίδοσης ενός μεμονωμένου επιπέδου δοκιμής, αλλά και στο

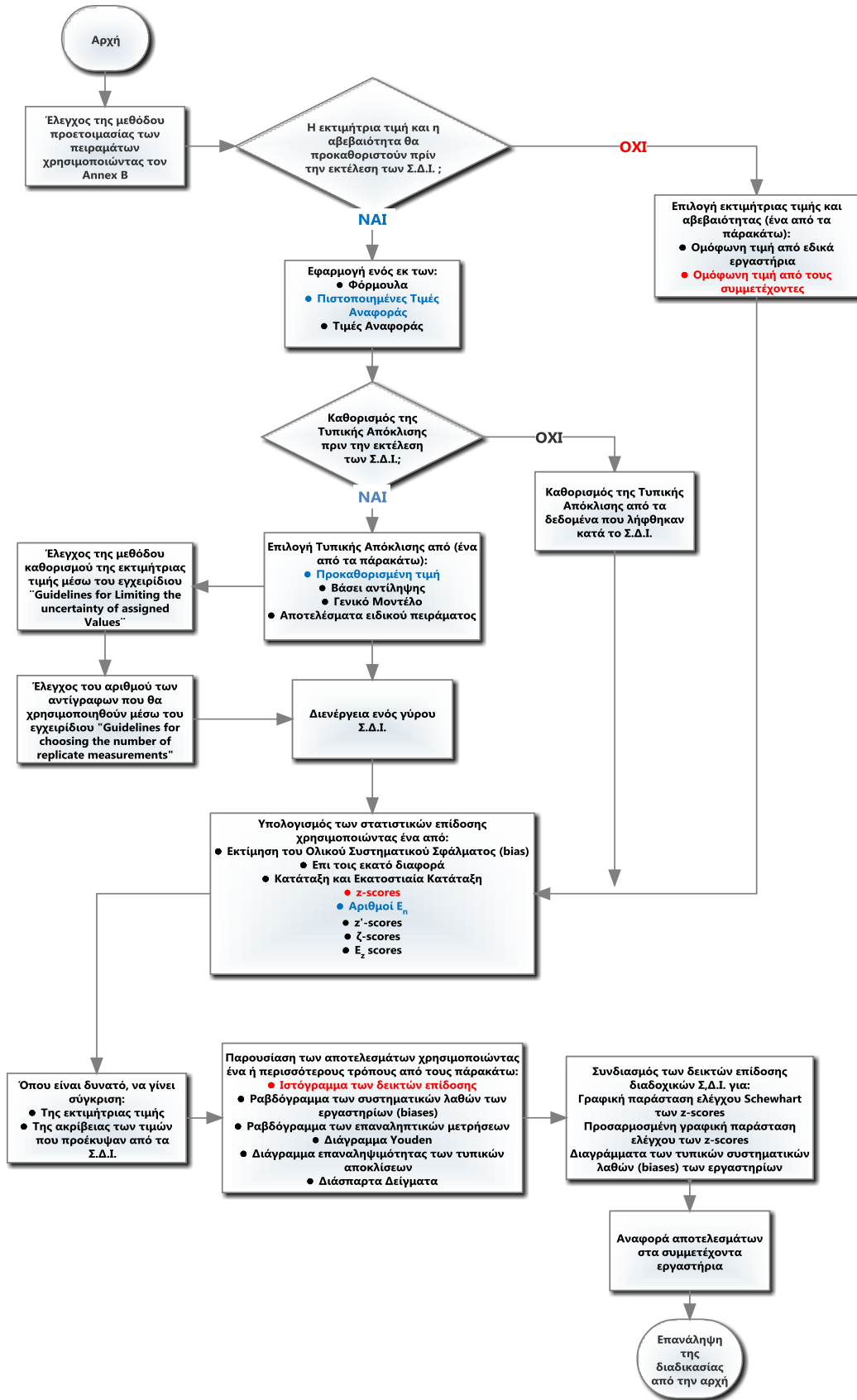
σύνολο των αποτελεσμάτων σε όλες τις διαφορετικές δοκιμές που εκτελούν τα εργαστήρια εντός ενός κύκλου ελέγχου.

(8) Συνδυασμός των αποτελεσμάτων του εργαστηρίου σε διάφορους κύκλους δοκιμών

Όταν είναι διαθέσιμα τα επιμέρους ή συνολικά αποτελέσματα του εργαστηρίου σε έναν αριθμό κύκλων της δοκιμασίας, μπορεί να γίνει γραφική αναπαράσταση των τιμών των στατιστικών επίδοσης (Shewhart control chart for z-scores) ή του αθροίσματός τους (cusum control chart for z-scores) συναρτήσει του χρόνου.

Η διαδικασία που ακολουθείται κατά την στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων, όπως έχει περιγραφεί και πιο πάνω, παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 2.1. Με κόκκινο χρώμα παρουσιάζονται τα βήματα-επιλογές που έγιναν στα παρόντα Σ.Δ.Ι. ενώ με μπλε χρώμα τα βήματα που έγιναν όταν δεν ήταν δυνατή η εκτέλεση των αρχικών επιλογών.

Κεφάλαιο 2: Πρότυπα



Διάγραμμα 2.1: Διάγραμμα ροής Σ.Δ.Ι.

2.5 ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ: ISO 5725-2

Στο πρότυπο ISO 5725 “Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results – Part 2: Basic method for the determination of repeatability and reproducibility of a standard measurement method”, καθώς και στη συμπληρωματική του τεχνική έκθεση ISO/TR 22971 δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στο αρχικό στάδιο οργάνωσης και αξιολόγησης των δεδομένων από τα οποία θα υπολογιστούν στη συνέχεια οι δείκτες επίδοσης των συμμετεχόντων εργαστηρίων.

2.5.1 Παρουσίαση – Ομαδοποίηση δεδομένων

Για την ευκολότερη επεξεργασία των δεδομένων το πρότυπο συνιστά τη συγκέντρωση όλων των αποτελεσμάτων σε έναν πίνακα, όπου κάθε συνδυασμός εργαστηρίου και επιπέδου δοκιμής καλείται «κελί». Στο σημείο αυτό να σημειωθεί ότι ως «εργαστήριο» ορίζεται από το πρότυπο ο συνδυασμός εξοπλισμού, χειριστή και φορέα που διενεργεί τη μέτρηση. Επομένως, από ένα εργαστήριο (με τη συμβατική έννοια του όρου) μπορούν να προέλθουν πολλές ανεξάρτητες ομάδες, κάθε μία από τις οποίες αποτελεί σε ένα σχήμα δοκιμών ικανότητας ένα ξεχωριστό «εργαστήριο».

Στην ιδανική περίπτωση τα αποτελέσματα ενός πειράματος με p εργαστήρια σε q επίπεδα σχηματίζουν έναν πίνακα με pq κελιά, όπου κάθε κελί περιλαμβάνει n επαναληπτικές μετρήσεις. Στην πράξη, ωστόσο, η εικόνα αυτή δεν επιτυγχάνεται πάντα, λόγω έλλειψης μετρήσεων ή μη αποδεκτών μετρήσεων που πρέπει να απορριφθούν.

2.5.2 Προκαταρκτική επεξεργασία

Κατά την πρώτη φάση της επεξεργασίας των δεδομένων από τον αρχικό πίνακα σχηματίζονται δύο νέοι πίνακες χρησιμοποιώντας τους παρακάτω συμβολισμούς:

n_{ij} : το πλήθος των μετρήσεων στο κελί για το εργαστήριο i στο επίπεδο j

y_{ijk} : μία από τις μετρήσεις στο κελί ij ($k = 1, 2, \dots, n_{ij}$)

p_j : το πλήθος των εργαστηρίων που δίνουν τουλάχιστον μία τιμή στο επίπεδο j

Ο πρώτος πίνακας περιέχει τους μέσους όρους των κελιών

$$\bar{y}_{ij} = \frac{1}{n_{ij}} \sum_{k=1}^{n_{ij}} y_{ijk} \quad (2.9)$$

$$s_{ij} = \sqrt{\frac{1}{n_{ij}-1} \sum_{k=1}^{n_{ij}} (y_{ijk} - \bar{y}_{ij})^2} \quad (2.10)$$

2.5.3 Εξέταση δεδομένων για εύρεση απόμακρων τιμών

Πριν την τελική επεξεργασία των δεδομένων είναι απαραίτητη η ανάλυσή τους, ώστε να εξακριβωθεί αν ασυνήθως μεγάλες ή μικρές τιμές που αποκλίνουν από την πλειοψηφία των μετρήσεων πρέπει να απομονωθούν. Στο πρότυπο ISO 5725 - 2 προτείνονται για την ταυτοποίηση αυτών των μετρήσεων υπό μορφή απόμακρων ή πλανώμενων τα στατιστικά τεστ των Cochran και Grubbs, σύμφωνα με τα οποία:

- Εάν η σταθερά του τεστ είναι μικρότερη ή ίση από το 5% της κρίσιμης τιμής της, η ομάδα τιμών που εξετάζεται γίνεται αποδεκτή ως σωστή.
- Εάν η σταθερά του τεστ είναι μεγαλύτερη από το 5% της κρίσιμης τιμής της και μικρότερη ή ίση από το 1% της κρίσιμης τιμής της, η ομάδα τιμών που εξετάζεται χαρακτηρίζεται ως πλανώμενη (straggler) και συμβολίζεται με έναν αστερίσκο.
- Εάν η σταθερά του τεστ είναι μεγαλύτερη από το 1% της κρίσιμης τιμής της, η ομάδα τιμών που εξετάζεται χαρακτηρίζεται ως στατιστική απόμακρη (outlier) και συμβολίζεται με δύο αστερίσκους.

Τεστ του Cochran

Το συγκεκριμένο τεστ αφορά στην εντός των εργαστηρίων διακύμανση και θα πρέπει να εφαρμόζεται πρώτο, ενώ προτού ληφθεί οποιαδήποτε δράση θα πρέπει να γίνονται επαναληπτικά τεστ. Για μια ομάδα p εργαστηρίων από τα οποία προκύπτουν p τυπικές αποκλίσεις s_i για τον ίδιο αριθμό n αποτελεσμάτων (στο ίδιο επίπεδο δοκιμής) η σταθερά του τεστ υπολογίζεται ως εξής:

$$C = \frac{s_{\max}^2}{\sum_{i=1}^p s_i^2} \quad (2.11)$$

όπου s_{\max} η μεγαλύτερη τυπική απόκλιση της ομάδας.

Οι τιμές στις οποίες εφαρμόζεται το τεστ του Cochran είναι οι διασπορές των κελιών s_{ij} , δηλαδή οι διασπορές επαναληψιμότητας των εργαστηρίων σε κάθε επίπεδο.

Τεστ του Grubbs

Αυτό το τεστ σχετίζεται πρωτίστως με διεργαστηριακές διακυμάνσεις, αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί αντί του πρώτου (εάν $n > 2$), όπου το τεστ του Cochran εγείρει υπόνοιες ότι μόνο μία από τις τιμές προκαλεί τη μεγάλη διακύμανση. Για μια ομάδα δεδομένων x_i για $i = 1, 2, \dots, p$ σε αύξουσα σειρά, όταν θέλουμε να προσδιορίσουμε εάν η μεγαλύτερη τιμή είναι αποκλίνουσα, η σταθερά του τεστ υπολογίζεται ως εξής:

$$G_p = \frac{x_p - \bar{x}}{s} \quad (2.12)$$

$$\text{Όπου: } \bar{x} = \frac{1}{p} \sum_{i=1}^p x_i \quad (2.13)$$

$$s = \sqrt{\frac{1}{p-1} \sum_{i=1}^p (x_i - \bar{x})^2} \quad (2.14)$$

Αντίστοιχα για τη μικρότερη τιμή:

$$G_p = \frac{\bar{x} - x_1}{s} \quad (2.15)$$

Για να ελέγξουμε εάν οι δύο μεγαλύτερες παρατηρήσεις είναι απόμακρες η σταθερά του τεστ υπολογίζεται ως εξής:

$$G_p = \frac{s_{p-1,p}^2}{s_0^2} \quad (2.16)$$

$$\text{Όπου: } s_0^2 = \sum_{i=1}^p (x_i - \bar{x})^2 \quad (2.17)$$

$$s_{p-1,p}^2 = \sum_{i=1}^{p-2} (x_i - \bar{x}_{p-1,p})^2 \quad (2.18)$$

$$\bar{x}_{p-1,p} = \frac{1}{p-2} \sum_{i=1}^{p-2} x_i \quad (2.19)$$

αντίστοιχα για τις δύο μικρότερες τιμές:

$$G_p = \frac{s_{1,2}^2}{s_0^2} \quad (2.20)$$

$$\text{Όπου: } s_{1,2}^2 = \sum_{i=3}^p (x_i - \bar{x}_{1,2})^2 \quad (2.21)$$

$$\bar{x}_{1,2} = \frac{1}{p-2} \sum_{i=3}^p x_i \quad (2.22)$$

Οι τιμές τις οποίες εφαρμόζεται το τεστ του Grubbs είναι οι μέσες τιμές y_{ij} των κελιών.

Εάν ένα αποτέλεσμα εργαστηρίου χαρακτηριστεί απόμακρο με απλό Grubbs τεστ, απορρίπτεται και επαναλαμβάνεται το τεστ για το επόμενο απομακρυσμένο αποτέλεσμα (εάν π.χ. έχει απορριφθεί ως outlier η υψηλότερη παρατήρηση, το τεστ εφαρμόζεται για τη μικρότερη παρατήρηση). Εάν με το απλό τεστ Grubbs δεν αναδεικνύεται κάποιο απόμακρο, τότε χρησιμοποιείται το διπλό τεστ Grubbs. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται μέχρι να μην προκύπτουν άλλες απόμακρες τιμές ή να έχει απορριφθεί το 22% των συμμετεχόντων εργαστηρίων. Οι κρίσιμες τιμές για τα δύο τεστ δίνονται σε ειδικούς πίνακες.

2.5.4 Τελική επεξεργασία

Μετά την απόρριψη των απόμακρων τιμών που έχουν προσδιοριστεί κατά την εξέταση των δεδομένων με τα στατιστικά τεστ που προαναφέρθηκαν υπολογίζονται με τα εναπομείναντα στοιχεία οι εκτιμήσεις της μέσης τιμής και της διασποράς για κάθε επίπεδο:

$$\text{Μέση τιμή: } \hat{m}_j = y_j = \frac{\sum_{i=1}^p n_{ij} \bar{y}_{ij}}{\sum_{i=1}^p n_{ij}} \quad (2.23)$$

$$\text{Διασπορά επαναληψιμότητας: } s_{ij}^2 = \frac{\sum_{i=1}^p (n_{ij} - 1) s_{ij}^2}{\sum_{i=1}^p (n_{ij} - 1)} \quad (2.24)$$

$$\text{Διεργαστηριακή διασπορά: } s_{Lj}^2 = \frac{s_{dj}^2 - s_{rj}^2}{n_j} \quad (2.25)$$

$$\text{Όπου: } s_{dj}^2 = \frac{1}{p-1} \sum_{i=1}^p n_{ij} (\bar{y}_{ij} - \bar{y}_j)^2 \quad (2.26)$$

$$= \frac{1}{p-1} \left[\sum_{i=1}^p n_{ij} - \frac{\sum_{i=1}^p n_{ij}^2}{\sum_{i=1}^p n_{ij}} \right] \quad (2.27)$$

$$\text{Διασπορά αναπαραγωγιμότητας: } s_{Rj}^2 = s_{ij}^2 + s_{Lj}^2 \quad (2.28)$$

2.5.5 Εξάρτηση της διασποράς από τη μέση τιμή

Ένα περαιτέρω βήμα στην ανάλυση των δεδομένων είναι η διερεύνηση για την ύπαρξη κάποιας σχέσης ανάμεσα στο επίπεδο της μέσης τιμής και τη διασπορά αναπαραγωγιμότητας ή/και τη διασπορά επαναληψιμότητας. Οι συνηθέστεροι τύποι μαθηματικών σχέσεων που μπορεί να εντοπισθούν είναι:

Γραμμική σχέση της μορφής:

$$s = bm \quad (2.29)$$

$$s = a + bm \quad (2.30)$$

Εκθετική σχέση:

$$s = Cm^d (d \leq 1) \Rightarrow \lg s = c + d \lg m \quad (2.31)$$

Δεν είναι πάντοτε δεδομένο ότι θα υπάρχει μια τέτοιου είδους σχέση, γι' αυτό θα πρέπει να γίνεται το διάγραμμα (m, s) ή το διάγραμμα (lgm, lgs), ώστε να διαπιστωθεί εάν το σύνολο των σημείων μπορεί να προσεγγισθεί από κάποια ευθεία. Για τον ακριβή προσδιορισμό της ευθείας μπορεί να χρησιμοποιηθεί η μέθοδος της γραμμικής παλινδρόμησης ή μια απλοποιημένη παραλλαγή της που παρουσιάζεται στην παράγραφο 7.5.6 του προτύπου ISO 5725-2.

Βιβλιογραφία

- [1] ISO/IEC Guide 43-1: 1997, “Proficiency testing by Interlaboratory Comparisons - Part 1: Development and operation of proficiency testing schemes”.
- [2] ILAC G13: 2000, “Guidelines for the Requirements for the Competence of Providers of Proficiency Testing Schemes”.
- [3] ISO/IEC Guide 43-2: 1997, “Proficiency testing by Interlaboratory Comparisons - Part 2: Selection and use of proficiency testing schemes by laboratory accreditation bodies”.
- [4] ISO 13528: 2005, “Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparisons”.
- [5] ISO 5725-6: 1994, “Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results – Part 2: Basic method for the determination of repeatability and reproducibility of a standard measurement method”.
- [6] Ελένη Π. Νικολοπούλου, «Αξιολόγηση διεργασθηριακών μετρήσεων ηλεκτρομαγνητικού πεδίου», Διπλωματική εργασία, 2010.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΕΠΙΔΟΣΗΣ

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται όλα τα στάδια της μαθηματικής επεξεργασίας που εφαρμόστηκε στα αποτελέσματα των διεργαστηριακών πειραμάτων που θα αναλυθούν στα επόμενα κεφάλαια. Οι μέθοδοι υπολογισμού που προτείνονται στα διεθνή πρότυπα έχουν προσαρμοστεί κατάλληλα στις δοκιμές ικανότητας που πραγματοποιήθηκαν, καθώς τα βήματα της ανάλυσης έχουν επιλεγεί με βάση τη μορφή των αποτελεσμάτων που προέκυψαν.

3.1 ΓΕΝΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

- Οι εκτιμήτριες τιμές $\hat{\mu}$ και $\hat{\sigma}$ θα προσδιοριστούν βάσει των μετρήσεων. Σε κάποιες περιπτώσεις υπολογισμού των στατιστικών επίδοσης που αφορούσαν συχνότητες, ως εκτιμήτριες τιμές χρησιμοποιήθηκαν συγκεκριμένες τιμές αναφοράς. Ο λόγος που έγινε αυτό αναφέρεται παρακάτω.
- Σε κάθε επίπεδο δοκιμής έγινε μόνο μία μέτρηση ($n_{ij} = 1$) από κάθε εργαστήριο. Εφόσον λοιπόν δεν έγιναν επαναληπτικές δοκιμές, δεν υφίστανται οι πίνακες με τις μέσες τιμές και τις διασπορές επαναληψιμότητας σε κάθε κελί. Τα δεδομένα που θα εισαχθούν στον αλγόριθμο για τον υπολογισμό των εκτιμητριών είναι απευθείας τα αποτελέσματα των μετρήσεων, χωρίς να υποβληθούν σε προκαταρκτική επεξεργασία.
- Ο δείκτης που έχει επιλεγεί για την αξιολόγηση της επίδοσης των εργαστηρίων είναι ο βαθμός z (z -score). Σε κάποιες περιπτώσεις που δεν ήταν

δυνατή η εξαγωγή των δεικτών επίδοσης z-score, αντί αυτού χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης E_n (E_n -numbers).

3.2 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΕΚΤΙΜΗΣΕΩΝ \hat{m} ΚΑΙ $\hat{\sigma}$ ΓΙΑ ΤΑ Z – SCORES

Τα πρότυπα προσφέρουν για τον υπολογισμό των z scores δύο εναλλακτικές διαδικασίες:

3.2.1 ISO 5725-2

Η εκτιμήτρια τιμή X είναι η μέση τιμή:

$$n_{ij} = 1 \Rightarrow \hat{m}_j = \frac{1}{p} \sum_{i=1}^p y_{ij} \quad (3.1)$$

Η εκτίμηση της τυπικής απόκλισης $\hat{\sigma}$ για την αξιολόγηση των εργαστηρίων είναι η διασπορά αναπαραγωγιμότητας, η οποία στο συγκεκριμένο σχήμα δοκιμών ταυτίζεται με τη διεργαστηριακή διασπορά:

$$s_{rj} = 0 \Rightarrow s_{Rj}^2 = s_{Lj}^2 \quad (3.2)$$

Όπου: $s_{Lj}^2 = \frac{s_{dj}^2}{n_j} = \frac{1}{p-1} \sum_{i=1}^p (y_{ij} - \hat{m}_j)^2$ (3.3)

$$s_{dj}^2 = \frac{1}{p-1} \sum_{i=1}^p (y_{ij} - \hat{m}_j)^2 \quad (3.4)$$

$$\begin{aligned} &= \\ &n_j = 1 \end{aligned} \quad (3.5)$$

Η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση αποτελούν παραμετρικά στατιστικά, καθώς είναι ευαίσθητα σε αποκλίνοντα αποτελέσματα. Αυτό σημαίνει, ότι εάν επιλεγούν ως εκτιμήτριες τιμές, θα πρέπει οπωσδήποτε να έχουν προηγηθεί στατιστικά τεστ (Grubbs', Cochran's) για τον εντοπισμό των απόμακρων και των πλανώμενων τιμών.

Ιδιότητες- Προϋποθέσεις εφαρμογής

Η εφαρμογή αυτών των τεστ στηρίζεται στην παραδοχή ότι τα αποτελέσματα των μετρήσεων ακολουθούν την κανονική κατανομή. Εάν η παραδοχή αυτή δεν ισχύει, η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση δεν είναι τα κατάλληλα αντιπροσωπευτικά κριτήρια για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. Επομένως, πριν την εφαρμογή οποιουδήποτε τεστ, ειδικά σε μεγάλο αριθμό δεδομένων, απαιτείται έλεγχος για την ισχύ της κανονικής κατανομής.

Τα συγκεκριμένα τεστ διέπονται από ορισμένους θεωρητικούς περιορισμούς, όπως η απαίτηση σε όλα τα επίπεδα δοκιμών να έχουν γίνει μετρήσεις από τον ίδιο αριθμό εργαστηρίων και η απαίτηση σε κάθε επιμέρους επίπεδο δοκιμής όλα τα εργαστήρια να έχουν πραγματοποιήσει μετρήσεις υπό απόλυτα ταυτόσημες συνθήκες. Στην πράξη οι απαιτήσεις αυτές συνήθως δεν ικανοποιούνται.

Ένα ακόμη σημείο στο οποίο πρέπει να δοθεί προσοχή είναι το πώς θα χειριστεί κανείς τις πλανώμενες και τις απόμακρες τιμές που έχουν εντοπισθεί. Μετά την εφαρμογή των τεστ θα πρέπει να διερευνηθεί αν υπάρχει κάποια πιθανή τεχνική εξήγηση για τις τιμές αυτές. Σε περίπτωση που επικυρωθεί μια τέτοια εξήγηση τόσο οι πλανώμενες όσο και οι απόμακρες τιμές διορθώνονται ή απορρίπτονται ανάλογα με το αν είναι δυνατή ή όχι η διόρθωσή της (π.χ. με επανάληψη των μετρήσεων). Θα πρέπει να ληφθεί υπόψη εάν υπάρχουν ισχυρές υπόνοιες για εργαστήρια με συνολική αποκλίνουσα συμπεριφορά, οπότε και θα πρέπει να απορριφθεί μέρος ή το σύνολο των μετρήσεών της. Εάν απομένουν πλανώμενες ή/και απόμακρες τιμές που δεν έχουν εξηγηθεί ή αποδοθεί σε μη αποδεκτό εργαστήριο, τότε οι απόμακρες τιμές απορρίπτονται, όπως είναι αναμενόμενο, αλλά οι πλανώμενες τιμές διατηρούνται.

3.2.2 ISO 13528 (Annex C Algorithm A)

Ο αλγόριθμος που προτείνεται παράγει ανθεκτικές τιμές (robust values) της μέσης τιμής και της τυπικής απόκλισης των δεδομένων στα οποία εφαρμόζεται. Η πιο συνηθισμένη εκτίμηση της μέσης τιμής είναι η διάμεση τιμή, δηλαδή η μεσαία τιμή των διατεταγμένων σε σειρά αποτελεσμάτων. Για την εκτίμηση της τυπικής απόκλισης χρησιμοποιείται η διάμεση τιμή των απόλυτων αποκλίσεων όλων των μετρήσεων από τη διάμεσό της. Η τιμή αυτή είναι γνωστή ως διάμεση απόλυτη απόκλιση (MAD) και προκειμένου να καταστεί ισοδύναμη με την τυπική απόκλιση

της κανονικής κατανομής πρέπει να πολλαπλασιαστεί με 1.483 (MADe). Βασικό στοιχείο της μεθόδου είναι ότι δεν προσδιορίζεται μία μόνο τιμή για τις εκτιμήτριες, αλλά ένα σύνολο τιμών, καθώς ο αλγόριθμος εκτελείται επαναληπτικά. Για ένα σύνολο p μετρήσεων x_1, x_2, \dots, x_p (προαιρετικά τοποθετημένων σε αύξουσα σειρά) η διαδικασία έχει ως εξής:

Βήμα 1:

Υπολογίζονται οι αρχικές τιμές της ανθεκτικής μέσης τιμής (robust average) x^* και της ανθεκτικής τυπικής απόκλισης (robust standard deviation) s^*

$$x^* = \text{διάμεσος των } x_i \text{ (} i = 1, 2, \dots, p \text{)} \quad (3.6)$$

$$s^* = 1.483 \text{ διάμεσος των } |x_i - x^*| \text{ (} i = 1, 2, \dots, p \text{)} \quad (3.7)$$

Βήμα 2:

$$\text{Υπολογίζεται η τιμή } \delta = 1.5s^* \quad (3.8)$$

Βήμα 3:

Για κάθε μέτρηση x_i υπολογίζεται η νέα τιμή x_i^*

$$x_i^* = \left\{ \begin{array}{ll} x^* - \delta, & x_i < x^* - \delta \\ x^* + \delta, & x_i > x^* + \delta \\ x_i, & x^* - \delta \leq x_i \leq x^* + \delta \end{array} \right\} \quad (3.9)$$

Βήμα 4:

Ενημερώνονται οι τιμές των x^* και s^* . Οι νέες τιμές προκύπτουν ως εξής

$$x^* = \frac{1}{p} \sum_{i=1}^p x_i^* \quad (3.10)$$

$$s^* = 1.134 \sqrt{\frac{1}{p-1} \sum_{i=1}^p (x_i^* - x^*)^2} \quad (3.11)$$

Τα βήματα 2, 3 και 4 επαναλαμβάνονται μέχρι η διαδικασία να συγκλίνει. Θεωρείται ότι έχει επιτευχθεί σύγκλιση, όταν από τη μία επανάληψη στην άλλη δεν αλλάζει το

τρίτο σημαντικό ψηφίο της ανθεκτικής μέσης τιμής και της ανθεκτικής τυπικής απόκλισης.

Υλοποίηση σε πρόγραμμα Η/Υ

Ο παραπάνω αλγόριθμος μπορεί να υλοποιηθεί πολύ εύκολα σε υπολογιστικό φύλλο, όπως περιγράφεται ακολούθως:

- Τα δεδομένα εισάγονται σε μία στήλη (iteration 0). Υπολογίζεται η μέση τιμή (average) και η τυπική τους απόκλιση (SD). Υπολογίζεται η αρχική ανθεκτική μέση τιμή (new x^*).
- Στη διπλανή στήλη υπολογίζονται οι ποσότητες $|x_i - x^*|$, η τυπική τους απόκλιση και η διάμεση τιμή τους.
- Επιστρέφουμε στη στήλη (iteration 0), όπου υπολογίζεται η αρχική ανθεκτική τυπική απόκλιση (new s^*).
- Δημιουργούμε τη στήλη για την 1η επανάληψη του αλγορίθμου (iteration 1). Χρησιμοποιούνται οι αρχικές τιμές x^* και s^* (της στήλης iteration 0) για τον υπολογισμό του $\delta = 1.5s^*$ και των τιμών αποκοπής $x^* - \delta$ και $x^* + \delta$.
- Τα αποτελέσματα των μετρήσεων (iteration 0) συγκρίνονται με τις τιμές αποκοπής για να προκύψουν οι νέες τιμές x_i^* . Τα δεδομένα εντός των τιμών αποκοπής παραμένουν ίδια, ενώ όσα βρίσκονται εκτός των τιμών αποκοπής αντικαθίστανται από αυτές.
- Υπολογίζεται η μέση τιμή (average) και η τυπική απόκλιση (SD) των στοιχείων της στήλης iteration 1. Η ανθεκτική μέση τιμή (new x^*) ταυτίζεται με τη μέση τιμή, ενώ για την ανθεκτική τυπική απόκλιση (new s^*) πολλαπλασιάζουμε την τυπική απόκλιση επί 1.134 ($1.134 \cdot SD$).
- Δημιουργούμε τη στήλη για τη 2η επανάληψη του αλγορίθμου (iteration 2). Χρησιμοποιούνται οι τιμές new x^* και new s^* της στήλης iteration 1 για τον υπολογισμό του $\delta = 1.5s^*$ και των τιμών αποκοπής $x^* - \delta$ και $x^* + \delta$.
- Τα αποτελέσματα των μετρήσεων (iteration 0) συγκρίνονται με τις νέες τιμές αποκοπής για να προκύψουν οι νέες τιμές x_i^{**} . Τα δεδομένα εντός των τιμών αποκοπής παραμένουν ίδια, ενώ όσα βρίσκονται εκτός των τιμών αποκοπής αντικαθίστανται από αυτές.

- Υπολογίζεται η μέση τιμή (average) και η τυπική απόκλιση (SD) των στοιχείων της στήλης iteration 2. Η ανθεκτική μέση τιμή (new \bar{x}^*) ταυτίζεται με τη μέση τιμή, ενώ για την ανθεκτική τυπική απόκλιση (new s^*) πολλαπλασιάζουμε την τυπική απόκλιση επί 1.134 ($1.134 \cdot SD$).
- Με τον ίδιο τρόπο δημιουργούνται στήλες για περαιτέρω επαναλήψεις του αλγορίθμου συγκρίνοντας κάθε φορά τα τρία πρώτα σημαντικά ψηφία των τιμών new \bar{x}^* και new s^* κάθε στήλης με τα αντίστοιχα των τιμών της προηγούμενης στήλης.
- Οι επαναλήψεις σταματούν την πρώτη φορά που δε θα υπάρξει αλλαγή στα τρία πρώτα σημαντικά ψηφία. Οι τελικές εκτιμήσεις είναι οι τιμές new \bar{x}^* και new s^* της τελευταίας επανάληψης.

Σε όλους αυτούς τους υπολογισμούς κρατάμε τόσα δεκαδικά ψηφία ώστε το μέγεθος να έχει τον απαραίτητο για την επίτευξη σύγκλισης αριθμό σημαντικών ψηφίων.

Ιδιότητες- προϋποθέσεις εφαρμογής

Οι εκτιμήσεις \bar{x}^* και s^* αποτελούν μη παραμετρικά στατιστικά. Αυτό σημαίνει ότι δεν επηρεάζονται αισθητά από την παρουσία πλανώμενων ή απόμακρων τιμών, διότι δεν προϋποθέτουν την ισχύ κάποια θεωρητικής παραδοχής, όπως η κανονική κατανομή. Άλλωστε, η ίδια η έννοια της ανθεκτικότητας συνίσταται στην ομαλή συμπεριφορά μιας μεθόδου υπό την παρουσία ακραίων αποτελεσμάτων που οφείλονται σε αποκλίσεις από τις παραδοχές. Εάν οι θεωρητικές προϋποθέσεις πληρούνται μόνο κατά προσέγγιση, οι ανθεκτικές εκτιμήτριες παραμένουν αποτελεσματικές και με μικρό συστηματικό σφάλμα.

Επομένως, για την εφαρμογή του παραπάνω αλγορίθμου δεν απαιτούνται τεχνικές εντοπισμού των πλανώμενων και των απόμακρων τιμών, οι οποίες μάλιστα μπορούν να οδηγήσουν μερικές φορές σε παραπλανητικά συμπεράσματα. Συγκεκριμένα, οι απόμακρες τιμές συχνά αλληλεπιδρούν κατά τέτοιο τρόπο ώστε να καλύπτουν η μία την άλλη. Για παράδειγμα, εάν συνυπάρχει μία πολύ ισχυρή απόμακρη τιμή με μία λιγότερο αποκλίνουσα τιμή, η αυξημένη τυπική απόκλιση θα οφείλεται κυρίως στο μεγάλο απόμακρο με αποτέλεσμα η άλλη τιμή να εμφανίζεται σχετικά φυσιολογική. Μόλις απορριφθεί η μεγάλη απόμακρη τιμή, η εκτίμηση της τυπικής απόκλισης αυτομάτως μειώνεται και το μέτριο απόμακρο αξιολογείται ως ακραίο αποτέλεσμα.

3.2.3 Επιλογή αλγορίθμου

Οι παρακάτω παράγοντες που σχετίζονται όχι μόνο με τις ιδιότητες των ίδιων των αλγορίθμων, αλλά και με τις συνθήκες εκτέλεσης των δοκιμών οδήγησαν στην επιλογή του ανθεκτικού αλγορίθμου A του προτύπου ISO 13528:

- Η εκτέλεση του Grubbs test που προϋποθέτει το πρότυπο ISO 5725-2 εισάγει -ειδικά όταν είναι μεγάλος ο όγκος των δεδομένων, όπως συμβαίνει στο δεύτερο πείραμα- μεγάλη πολυπλοκότητα στους υπολογισμούς, λόγω των αποφάσεων που θα πρέπει να λαμβάνονται κάθε φορά κατά περίπτωση για την ανάλυση των ακραίων τιμών. Αντιθέτως, ο ανθεκτικός αλγόριθμος αν και παράγει μεγαλύτερο πλήθος τιμών, είναι μια απόλυτα αυτοματοποιημένη διαδικασία.
- Οι συνθήκες υπό τις οποίες διεξήχθησαν οι μετρήσεις δεν είναι πανομοιότυπες και άρα δε θα ήταν δυνατή παντού η εύρεση αμιγώς τεχνικών εξηγήσεων για τα ακραία αποτελέσματα. Επίσης, δε θα ήταν δυνατή η επανάληψη των μετρήσεων για τη διόρθωση ορισμένων τιμών, με αποτέλεσμα να πρέπει να απορριφθούν τιμές που θα μπορούσαν ενδεχομένως να αναθεωρηθούν.
- Ο αριθμός των εργαστηρίων που έδωσαν μετρήσεις διαφέρει αισθητά από το ένα επίπεδο δοκιμής στο άλλο, ενώ και η υπόθεση της ισχύος της κανονικής κατανομής θα ήταν αυθαίρετη.
- Τέλος, με εφαρμογή του πρώτου αλγορίθμου τα εργαστήρια που εμφανίζουν απορριπτέες τιμές απλά ενημερώνονται για τον αποκλεισμό των συγκεκριμένων δεδομένων τους από τη διαδικασία αξιολόγησης και οι τελικοί δείκτες της επίδοσής τους στο σύνολο των δοκιμών του κύκλου διαμορφώνονται μόνο από εκείνες τις μετρήσεις τους που έγιναν αποδεκτές. Ο ανθεκτικός αλγόριθμος πλεονεκτεί σ' αυτό το σημείο, διότι επιτρέπει την ποσοτικοποίηση της απόκλισης που προκαλούν οι απόμακρες τιμές και τις εισάγει ως παράμετρο της συνολικής επίδοσης του εργαστηρίου χωρίς να αλλοιώνεται η αξιολόγηση των υπόλοιπων συμμετεχόντων.

3.2.4 Υπολογισμός – Ερμηνεία Z-SCORES

Σε κάθε επιμέρους επίπεδο δοκιμής υπολογίζεται για κάθε εργαστήριο από τις τελικές τιμές \hat{m} και $\hat{\sigma}$ που έχουν προκύψει βάσει του επαναληπτικού robust αλγορίθμου το στατιστικό επίδοσης z-score:

$$z_i = \frac{x_i - \hat{m}}{\hat{\sigma}} = \frac{x_i - x^*}{s^*} \quad (3.12)$$

Οι τιμές των z-scores σε συνδυασμό με τον κωδικό του αντίστοιχου εργαστηρίου διατάσσονται σε αύξουσα σειρά, ώστε να αναδεικνύονται άμεσα τα εργαστήρια που έχουν σημειώσει τις πιο ακραίες επιδόσεις. Τα παραπάνω ταξινομημένα αποτελέσματα απεικονίζονται σε ραβδόγραμμα.

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).

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, για την αξιολόγηση των επιμέρους αποτελεσμάτων είναι αναγκαία πολλές φορές η παρακολούθηση της συνολικής επίδοσης του εργαστηρίου.

Γι' αυτόν ακριβώς το σκοπό, αλλά και προκειμένου οι συμμετέχοντες να έχουν μια απλή γενική εικόνα της επίδοσής τους, που να αποδίδει την εμφάνισή τους σε όλες τις δοκιμές, μπορεί να προχωρήσει κανείς στο συνδυασμό όλων των αποτελεσμάτων ενός εργαστηρίου εντός ενός κύκλου δοκιμών.

Όταν είναι μικρός ο αριθμός των συμμετεχόντων εργαστηρίων (π.χ. λιγότερα από 10), είναι πιθανό να μην προκύψει κανένα action ή warning signal. Στην περίπτωση αυτή είναι προτιμότερη η από κοινού αναπαράσταση σε ένα ραβδόγραμμα όλων των

επιμέρους z-scores όλων των εργαστηρίων στον κύκλο δοκιμών. Έτσι είναι δυνατή για κάθε εργαστήριο η άμεση σύγκριση των z-scores στα διάφορα επίπεδα δοκιμών και η ανίχνευση τάσεων, όπως για παράδειγμα εάν τα z-scores ενός εργαστηρίου εμφανίζουν πάντα το ίδιο πρόσημο.

Όταν είναι μεγάλος ο αριθμός των συμμετεχόντων εργαστηρίων ή των επιμέρους επιπέδων δοκιμής, είναι απαραίτητος ο υπολογισμός συγκεντρωτικών τιμών για τα z-scores. Εάν οι μετρήσεις x_i ακολουθούν την κανονική κατανομή και οι τιμές \bar{x}^* και s^* είναι καλές εκτιμήσεις της μέσης τιμής και της τυπικής απόκλισης, τότε το z-score, όπως αυτό προκύπτει από τη σχέση (3.12) ακολουθεί την κανονική κατανομή με μέση τιμή 0 και τυπική απόκλιση 1. Εφόσον ο βαθμός z είναι τυποποιημένος, δηλαδή ακολουθεί την ίδια κατανομή ανεξαρτήτως μετρούμενου μεγέθους, μεθόδου μέτρησης και επιπέδου δοκιμής, οι τιμές του στις διάφορες επιμέρους δοκιμές είναι συγκρίσιμες και μπορούν να συνδυασθούν σε ένα σύνθετο βαθμό για ολόκληρο τον κύκλο της δοκιμής ικανότητας. Τα μεγέθη που ακολουθούν ενδείκνυνται για τον συνδυασμό των z.

- Άθροισμα των z: $S_z = \sum z$
- Άθροισμα των απόλυτων τιμών των z: $\sum AZ = \sum |z|$
- Άθροισμα των τετραγώνων των z: $SSZ = \sum z^2$

Οι μεταβλητές $\sum AZ$ και SSZ δεν παρουσιάζουν το μειονέκτημα της μεταβλητής S_z να ακυρώνει το πρόσημο αντίθετων τιμών του z, οι οποίες μπορεί κατ' απόλυτη τιμή να είναι μεγάλες. Η χρησιμότητά τους φαίνεται, όταν υπάρχουν ιδιαίτερα ακραία απόμακρα σημεία ή αρκετά εργαστήρια είναι απόμακρα, καθώς δίνουν πραγματικές πληροφορίες για το μέγεθος των z.

- Αριθμός επιμέρους δοκιμών, όπου το εργαστήριο έχει $|z| > 2$.

Ένα μέγεθος που ακολουθεί την κανονική κατανομή $N(\mu, \sigma^2)$ βρίσκεται με πιθανότητα 68% στο διάστημα $\mu \pm \sigma$, με πιθανότητα 95% στο διάστημα $\mu \pm 2\sigma$ και με πιθανότητα 99,7% στο διάστημα $\mu \pm 3\sigma$. Συνεπώς, για ένα “καλώς συμπεριφερόμενο” εργαστήριο οι δείκτες z, που ακολουθούν την κατανομή $N(0,1)$, αναμένεται να βρίσκονται εκτός του διαστήματος ± 2 στο 5% των περιπτώσεων και εκτός του διαστήματος ± 3 μόνο για το 0,3% των περιπτώσεων. Το μέγεθος που έχει επιλεγεί για το συνδυασμό των z είναι ο

αριθμός των επιμέρους δοκιμών, όπου το εργαστήριο έχει αξιολογηθεί με $|z| > 2$.

3.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ – ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΩΝ E_n -NUMBERS

Η εξαγωγή των z-scores σε κάποιες από τις μετρήσεις που αφορούσαν συχνότητες των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων, δεν ήταν δυνατή. Η αρχική εκτίμηση της ανθεκτικής τυπικής απόκλισης που ορίζεται ως η διάμεσος των $|x_i - x^*|$ προέκυπτε ίση με 0, λόγω του ότι η πλειοψηφία των εργαστηρίων μετρούσε ακριβώς την τιμή της συχνότητας. Έτσι, και οι μετέπειτα τιμές της τυπικής απόκλισης προέκυπταν μηδενικές. Κατά συνέπεια, ο παρονομαστής της (3.12), 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 σύμφωνα με το πρότυπο ISO 13528 ορίζεται ως:

$$E_n = \frac{x - X}{\sqrt{U_{lab}^2 + U_{ref}^2}} \quad (3.13)$$

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

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

Ως εκτιμήτρια τιμή X θεωρήθηκε η συχνότητα που οριζόταν από τη γεννήτρια 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, που είναι υπολογισμένη και ίση με:

$$u_{ref} = 0.0035\%$$

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

$$U_{ref} = X \cdot u_{ref} \quad (3.14)$$

Σε αντίθεση με το δείκτη z-score όπου οι κρίσιμες τιμές είναι το 2 και το 3, στο δείκτη E_n η κρίσιμη τιμή είναι το 1. Η επίδοση ενός εργαστηρίου 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.

Μια άλλη διαφορά του δείκτη E_n από το δείκτη z -score είναι ότι ο δείκτης αυτός χρησιμοποιεί στον υπολογισμό του και τις αβεβαιότητες των εργαστηρίων. Έτσι, σημαντικό ρόλο παίζει και η ορθότητα των αβεβαιοτήτων του κάθε εργαστηρίου.

Επίσης, ο δείκτης επίδοσης υπολογίζεται ξεχωριστά για το κάθε εργαστήριο και δεν εξαρτάται από τα αποτελέσματα των υπολοίπων εργαστηρίων.

Βιβλιογραφία

- [1] ISO/IEC Guide 43-1: 1997, “Proficiency testing by Interlaboratory Comparisons - Part 1: Development and operation of proficiency testing schemes”.
- [2] ISO/IEC Guide 43-2: 1997, “Proficiency testing by Interlaboratory Comparisons - Part 2: Selection and use of proficiency testing schemes by laboratory accreditation bodies”.
- [3] ISO 13528: 2005, “Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparisons”.
- [4] ISO 5725-6: 1994, “Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results – Part 2: Basic method for the determination of repeatability and reproducibility of a standard measurement method”.
- [5] Ελένη Π. Νικολοπούλου, «Αξιολόγηση διεργασιολογικών μετρήσεων ηλεκτρομαγνητικού πεδίου», Διπλωματική εργασία, 2010.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΜΕΤΡΗΣΗ Η/Μ ΠΕΔΙΩΝ ΚΑΙ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΟΥΣ

Κάθε όργανο μέτρησης αποτελεί στην πράξη λειτουργικό σύνολο από ένα ή περισσότερα διακριτά στοιχεία (Σχήμα 4.1), με σκοπό την παραγωγή μιας ένδειξης, η οποία είναι συνάρτηση του μετρούμενου φυσικού μεγέθους. Το βασικό στοιχείο είναι ο αισθητήρας που δέχεται την επίδραση του μετρούμενου φυσικού μεγέθους και μεταφράζει την επίδραση αυτή σε άμεσα ή έμμεσα αναγνώσιμη πληροφορία. Επιπλέον, συνήθη στοιχεία είναι ο μετατροπέας ή διαμορφωτής σήματος, ο οποίος μετατρέπει την πληροφορία στην έξοδο του αισθητήρα σε μια άλλη πληροφορία πιο εύκολα εκμεταλλεύσιμη (π.χ. ένας ενισχυτής), ένα στοιχείο (αναλογικής ή ψηφιακής) επεξεργασίας σήματος και ένα στοιχείο απεικόνισης της μέτρησης.



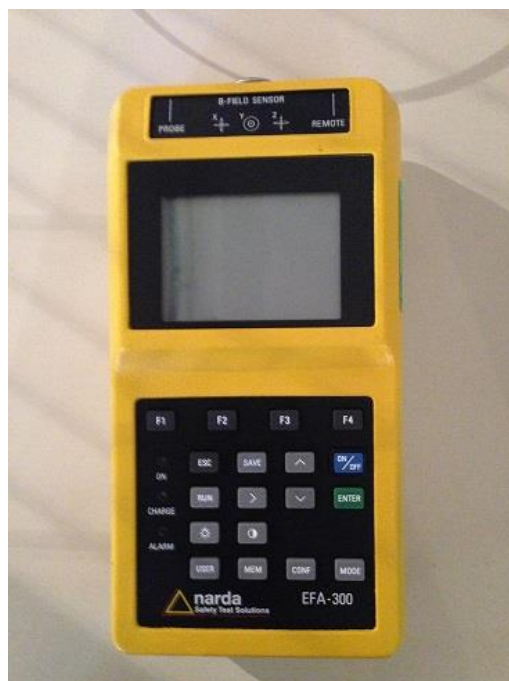
Σχήμα 4.1: Συνήθης δομή ενός μετρητή ηλεκτρομαγνητικού πεδίου

4.1 ΜΕΤΡΗΤΕΣ ΧΑΜΗΛΟΣΥΧΝΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ

Οι μετρητές πεδίων χαμηλών συχνοτήτων μπορούν να διακριθούν σε μετρητές ηλεκτρικού και μετρητές μαγνητικού πεδίου ανάλογα με το προς μέτρηση μέγεθος. Περισσότερες πληροφορίες για τον τρόπο λειτουργίας των μετρητών πεδίου υπάρχουν στα πρότυπα IEEE Std 644-1994 και IEC 61786:2003. Πιο κάτω ακολουθούν οι βασικοί μετρητικοί εξοπλισμοί που χρησιμοποιήθηκαν από τα εργαστήρια στην 1^η εφαρμογή Σ.Δ.Ι. για τα χαμηλόσυχνα πεδία .

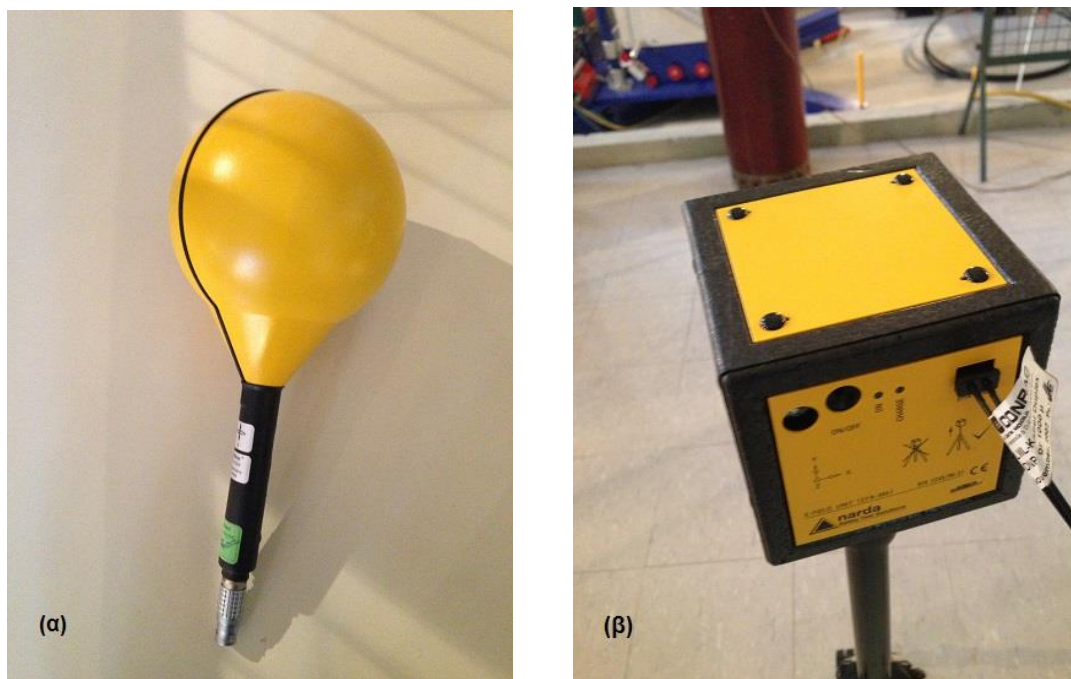
4.1.1 EFA-300 Field Analyzer

Τα EFA-300, κατασκευασμένο από την εταιρεία Narda, αποτελεί ιδανική συσκευή ανάλυσης πεδίων για τη μέτρηση των μαγνητικών και ηλεκτρικών πεδίων σε εργασιακούς και δημόσιους χώρους λόγω της υψηλής του ακρίβειας στο φάσμα χαμηλής συχνότητας. Συγκεκριμένα, το όργανο μέτρησης πεδίων χαμηλών συχνοτήτων EFA-300 (Σχήμα 4.2) σχεδιάστηκε να λειτουργεί σε χαμηλό εύρος συχνότητας από 5 Hz έως 32 kHz και να εκτελεί ιστροπικές και μη μετρήσεις RMS και μέγιστης τιμής.



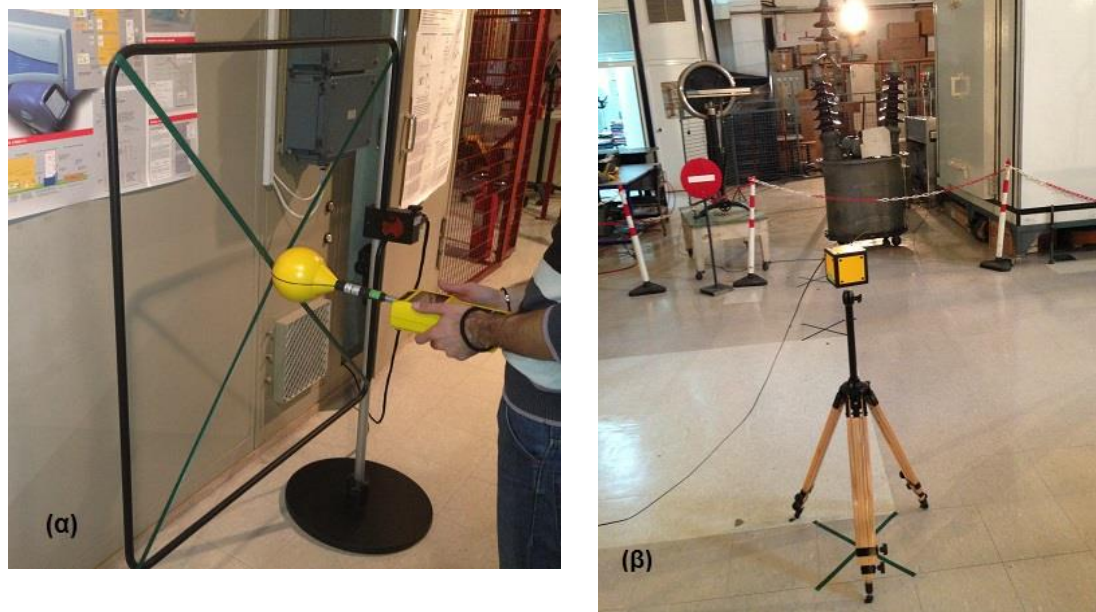
Σχήμα 4.2: Πεδιόμετρο Narda EFA-300

Το όργανο μέτρησης EFA-300 διαθέτει ενσωματωμένο ιστροπικό ανιχνευτή μαγνητικού πεδίου (με εύρος μέτρησης 100nT -32mT) και μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί με έναν προαιρετικό μεγάλο αισθητήρα (B-FIELD 100 cm² PROBE) υψηλής-ευαισθησίας (Σχήμα 4.3α) για ενισχυμένη επίδοση και μέτρηση των ανομοιογενών μαγνητικών πεδίων. Για τη μέτρηση του μαγνητικού πεδίου συνδέουμε το όργανο μέτρησης με τον αισθητήρα μέτρησης μαγνητικού πεδίου, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.4α.



Σχήμα 4.3: Αισθητήρες (α) μαγνητικού και (β) ηλεκτρικού πεδίου

Αντίστοιχα, για τη μέτρηση του ηλεκτρικού πεδίου συνδέεται εξωτερικός ανιχνευτής ηλεκτρικού πεδίου χαμηλών συχνοτήτων (E-FIELD UNIT), ο οποίος λειτουργεί στο φάσμα συχνοτήτων από 5Hz έως 32 kHz. Οι διαστάσεις του ανιχνευτή (Σχήμα 4.3β) που περιέχει τον αισθητήρα είναι 10x10x10cm. Οι μετρήσεις μπορεί να γίνουν ιστροπικές ή μη στο εύρος από 0,5V/m έως 100kV/m, με ακρίβεια $\pm 5\% \pm 1V/m$. Ο αισθητήρας μπορεί να λειτουργεί σαν αυτόνομη μονάδα μετρήσεων και αποθήκευσης δεδομένων, ενώ η σύνδεσή του με την κυρίως μονάδα χρησιμοποιείται για τον απομακρυσμένο έλεγχό του. Επίσης, η τοποθέτηση του σε μη μεταλλικό τρίποδο και η σύνδεση του μέσω οπτικής ίνας (Σχήμα 4.4β) επιτρέπει στο πεδιόμετρο να χρησιμοποιηθεί μακριά από τον αισθητήρα, έτσι ώστε η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου να μετρηθεί με ελάχιστη ή καμία επιρροή από τον χειριστή.



Σχήμα 4.4: Σύνδεση οργάνου μέτρησης με τους αισθητήρες μέτρησης (α) μαγνητικού και (β) ηλεκτρικού πεδίου

4.1.2 PMM 8053A

Το πεδιόμετρο PMM 8053A της εταιρίας Narda, (Σχήμα 4.5α) αποτελεί φορητή ψηφιακή μονάδα μέτρησης πεδίου χαμηλών συχνοτήτων για ισοτροπικές και μη μετρήσεις, με εύρος φάσματος μετρήσεων στην περιοχή συχνοτήτων 5Hz - 40GHz. Για την μέτρηση των μεγεθών της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου και της μαγνητικής επαγωγής προσαρμόζεται στο όργανο μέτρησης ένας αισθητήρας ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου χαμηλών συχνοτήτων (ELECTRIC AND MAGNETIC FIELD ANALYZER) ονόματι EHP-50B (Σχήμα 4.5β) που μπορεί να λειτουργεί στο φάσμα συχνοτήτων από 5 Hz – 100 kHz. Ο αισθητήρας αυτός συνδέεται στο πεδιόμετρο 8053A με τη βοήθεια οπτικής ίνας, γεγονός το οποίο επιτρέπει το χειρισμό του πεδιομέτρου εκτός του πεδίου δοκιμών.



Σχήμα 4.5: (α) Πεδιόμετρο PMM 8053 και (β) αισθητήρας χαμηλόσυχνων πεδίων

EHP-50B

4.2 ΜΕΤΡΗΤΕΣ ΥΨΙΣΥΧΝΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ

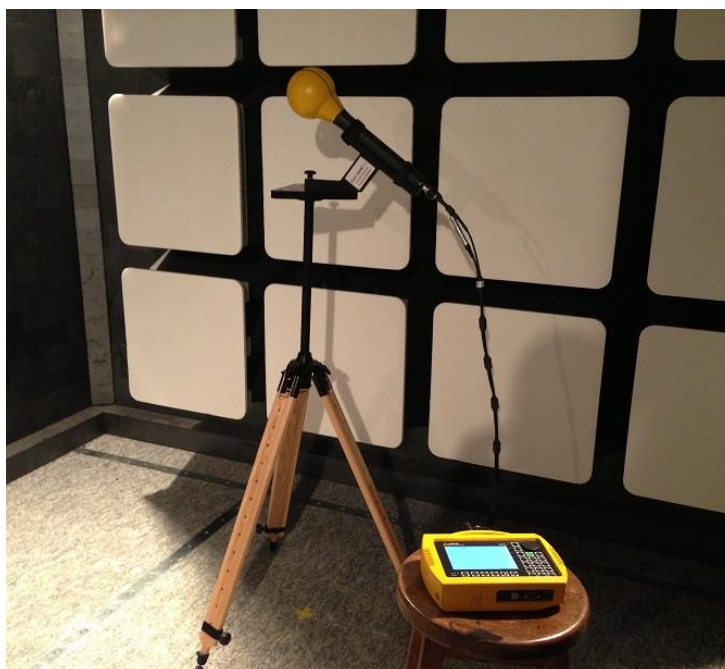
Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζονται διάφοροι τύποι οργάνων που χρησιμοποιούνται για μέτρηση μιας πλειάδας χαρακτηριστικών των υψίσυχνων, μη ιοντιζουσών ακτινοβολιών.

4.2.1 SRM-3000 και SRM-3006

Ο επιλεκτικός μετρητής ακτινοβολίας SRM-3000 (Selective Radiation Meter) καθώς και το πιο πρόσφατο μοντέλο SRM-3006 της Narda Safety Test Solutions είναι μετρητικές συσκευές υψίσυχνων ηλεκτρομαγνητικών πεδίων. Το SRM είναι ένα όργανο κατάλληλο για τη μέτρηση πεδίων συχνοτήτων που κυμαίνονται από 100 kHz έως 3GHz. Η παροχή μιας μεγάλης ποικιλίας λειτουργιών σε συνδυασμό με τη φορητότητα που το χαρακτηρίζει, το καθιστούν ένα πολύ σημαντικό εργαλείο για την υλοποίηση μετρήσεων ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας τόσο σε εργασιακούς όσο και σε εξωτερικούς χώρους.

Για την πραγματοποίηση μετρήσεων ηλεκτρομαγνητικού υποβάθρου - μη ionίζουσας ακτινοβολίας στο πεδίο ακτινοβολίας μιας κεραίας με τη χρήση SRM-3000 ο απαιτούμενος εξοπλισμός περιλαμβάνει μία πλειάδα εξαρτημάτων. Σε αυτά, μεταξύ άλλων, εντοπίζονται ένας τριαξονικός αισθητήρας ηλεκτρικού πεδίου, συχνοτήτων 75 MHz – 3 GHz, καλώδιο RF 100 kHz – 3 GHz μήκους 1.5 m, καλώδιο RF (RF cable) 100 kHz – 3 GHz μήκους 5 m, τμήμα αποδιαμόρφωσης UMTS, στήριγμα κεραίας, μετατροπέας για τη στήριξη του αισθητήρα στο τρίποδο, τρίποδο και λογισμικό ρύθμισης των παραμέτρων του SRM.

Η διάταξη η οποία χρησιμοποιείται για τη λήψη μετρήσεων στον αέρα φαίνεται στο Σχήμα 4.6. Η κεραία τριών αξόνων εγκαθίσταται στο ξύλινο τρίποδο και συνδέεται με την κύρια μονάδα του SRM μέσω καλωδίου. Η αποθήκευση των σειρών μετρήσεων και άλλων δεδομένων σε όλες τις θέσεις μέτρησης πραγματοποιείται με τη βοήθεια ενός φορητού ηλεκτρονικού υπολογιστή ο οποίος ελέγχει το όργανο μετρήσεως μέσω κατάλληλου λογισμικού από όπου ρυθμίζονται όλες οι παράμετροι λειτουργίας κατά τη διεξαγωγή των μετρήσεων. Έπειτα, στον υπολογιστή μπορεί να γίνει περαιτέρω ανάλυση των μετρήσεων και να παρουσιαστούν τα αποτελέσματα σε μορφή πινάκων και διαγραμμάτων.



Σχήμα 4.6: Μετρητική διάταξη SRM-3000

Η συσκευή SRM μπορεί να υπολογίσει αποτελέσματα που αφορούν στο επίπεδο της έντασης του πεδίου ή στο ποσοστό του επιτρεπτού επιπέδου έκθεσης από μία πηγή ή ένα κανάλι, καθώς και από μία λίστα από πολλές πηγές ή κανάλια. Επιπλέον, παρέχει τη δυνατότητα υπολογισμού της συνεισφοράς από δεδομένη τηλεπικοινωνιακή υπηρεσία, αλλά και τη συνεισφορά από όλες τις υπηρεσίες και το ποσοστό τους στη συνολική έκθεση.

Τα αποτελέσματα μέτρησης παρουσιάζονται σε μονάδες έντασης πεδίου, πυκνότητας ισχύος ή ποσοστού του επιτρεπτού ορίου.

4.2.2 EMR-300

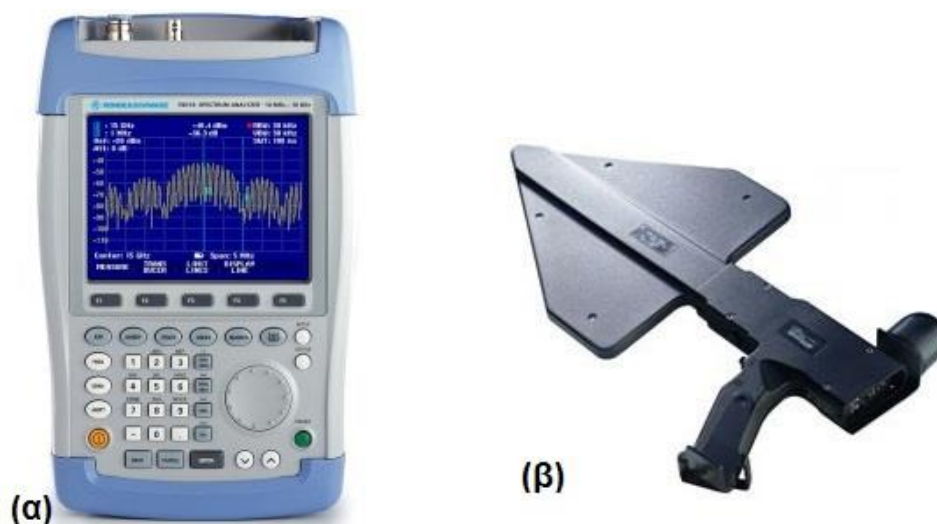
Το πεδιόμετρο EMR-300 είναι κατασκευασμένο από τη Narda Safety Test solutions και έχει τη δυνατότητα λήψης broadband μετρήσεων (ευρέως φάσματος) εύρους από 3 kHz μέχρι και 1 GHz, αναλόγως του αισθητήρα που χρησιμοποιείται. Υπάρχουν τρεις ισοτροπικοί αισθητήρες που συνδέονται απευθείας με τη μετρητική συσκευή. Το πεδιόμετρο αυτό μπορεί να λάβει μετρήσεις της έντασης του συνολικού πεδίου σε όλο το φάσμα λειτουργίας του. Ωστόσο δεν έχει τη δυνατότητα να ανιχνεύσει σε ποιες περιοχές του φάσματος υπάρχουν μέγιστα εκπομπής ή να λάβει επιλεκτικές μετρήσεις σε μια συγκεκριμένη υποπεριοχή του φάσματος. Χρειάζεται έξι λεπτά για να υπολογίσει την ένταση του πεδίου, αφού παίρνει διαδοχικές μετρήσεις και ακολούθως την υπολογίζει κατά μέσο όρο. Το πεδιόμετρο EMR-300 φαίνεται στο Σχήμα 4.7 που ακολουθεί.



Σχήμα 4.7: Πεδιόμετρο EMR-300

4.2.3 FSH6 Spectrum Analyzer και κεραία HE200

Ο FSH6 της Rohde & Schwarz είναι ένας φορητός αναλυτής του RF φάσματος και μπορεί να λάβει μετρήσεις μέχρι 3 ή 18 GHz. Παρέχει ένα μεγάλο αριθμό λειτουργιών μέτρησης και έτσι έχει ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών. Μπορεί να συνδεθεί με το σύστημα της κεραίας Rohde & Schwarz HE200 για να λάβει μετρήσεις πεδίων εξωτερικού χώρου. Η κεραία αυτή αποτελείται από τη βάση που είναι μια πιστολοειδής λαβή και τρεις διαφορετικές κεραίες λήψης οι οποίες συνδέονται σ' αυτή. Η κάθε κεραία έχει μέγιστο κέρδος σε διαφορετική φασματική περιοχή και χρησιμοποιώντας τις μπορούν να ληφθούν μετρήσεις από 20 MHz μέχρι 3 GHz. Οι τρεις αυτές κεραίες δεν είναι ισοτροπικές και έτσι για τη μέτρηση του συνολικού πεδίου απαιτούνται μετρήσεις και κατά τους τρεις άξονες. Στο Σχήμα 4.8α φαίνεται ο αναλυτής φάσματος και στο Σχήμα 4.8β η κεραία HE200.



Σχήμα 4.8: (α) Αναλυτής φάσματος FSH6 της Rohde & Schwarz (β) Κεραία HE200 της Rohde & Schwarz

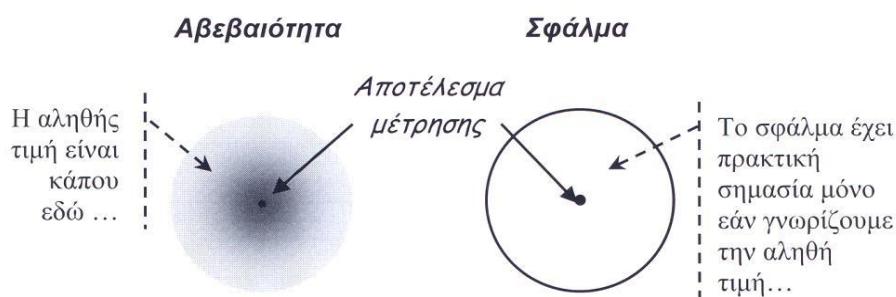
4.3 ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ

Σε διάφορες επιστήμες, ένας κοινά αποδεκτός και έγκυρος τρόπος εκτίμησης της ποιότητας μέτρησης αποτελεί η αβεβαιότητα (*uncertainty*) και όχι το σφάλμα (*error*) μέτρησης. Ως σφάλμα ορίζεται η διαφορά ανάμεσα στο αποτέλεσμα μιας μέτρησης και μιας αληθούς τιμής του μετρούμενου μεγέθους. Δηλαδή είναι εξ ορισμού μια μη προσδιορίσιμη αφηρημένη έννοια, που αντιπροσωπεύει τη διαφορά ανάμεσα στη μετρούμενη και την αληθή, αλλά άγνωστη τιμή ενός μεγέθους. Αντίθετα, με τον όρο αβεβαιότητα προσδιορίζεται το εύρος τιμών εκατέρωθεν της μετρούμενης τιμής από το όργανο (\pm), μέσα στο οποίο βρίσκεται η «αληθινή» ή «πραγματική» τιμή του μετρούμενου μεγέθους, με μια συγκεκριμένη πιθανότητα (επίπεδο εμπιστοσύνης).

Τα σφάλματα διακρίνονται σε συστηματικά και τυχαία. Τα συστηματικά σφάλματα οφείλονται στην κακή βαθμονόμηση ή χρήση των οργάνων, στην παράβλεψη ορισμένων φαινομένων, στον μη απόλυτο έλεγχο των συνθηκών του πειράματος, στον παρατηρητή ή σε άλλα εξωτερικά αίτια. Η αιτία των συστηματικών σφαλμάτων είναι γνωστή, συνήθως όχι όμως και η τιμή τους, ενώ υπακούουν σε φυσικούς νόμους. Εάν είναι γνωστές οι τιμές των συστηματικών σφαλμάτων, εφαρμόζονται γνωστοί συντελεστές διόρθωσης (προσθετικοί ή πολλαπλασιαστικοί όροι) στις ενδείξεις που λαμβάνονται από τους μετρητές. Εάν δεν είναι πρακτική η εφαρμογή

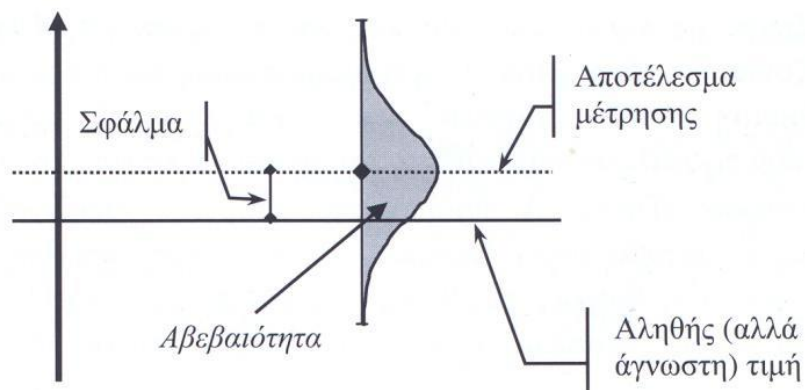
τους, η επίδραση των συντελεστών διόρθωσης πρέπει να αντιμετωπίζεται ως μια επιπλέον αβεβαιότητα μέτρησης. Τα τυχαία σφάλματα οφείλονται στην έλλειψη ευαίσθητης απόκρισης του οργάνου ή του παρατηρητή, σε φαινόμενα όπου το ίδιο το σύστημα χαρακτηρίζεται από διακυμάνσεις, σε εξωτερικό «θόρυβο» ή σε στατιστικές διαδικασίες. Τα τυχαία σφάλματα έχουν άγνωστη αιτία και τιμή και δεν υπακούουν σε φυσικούς νόμους.

Σε αντιδιαστολή με τον αφηρημένο χαρακτήρα του σφάλματος, η αβεβαιότητα ορίζεται πρακτικά ως παράμετρος συνδεδεμένη με το αποτέλεσμα μιας μέτρησης, η οποία χαρακτηρίζει τη διασπορά των τιμών που θα μπορούσε εύλογα να αποδοθεί στο μετρούμενο μέγεθος. Συμπερασματικά, μπορεί να ειπωθεί ότι ο χαρακτήρας του σφάλματος βασίζεται σε μια ντετερμινιστική προσέγγιση, ενώ η αβεβαιότητα συνδέεται με μια στοχαστική προσέγγιση (Σχήμα 4.9). Το σφάλμα αποτελεί μια αφηρημένη έννοια σχετική με ένα σημείο, ενώ η αβεβαιότητα περιγράφει ένα εύρος τιμών.



Σχήμα 4.9: Σύγκριση αβεβαιότητας και σφάλματος της τιμής του μετρούμενου μεγέθους

Άρα, είναι κοινώς αποδεκτό το αποτέλεσμα της μέτρησης να συνοδεύεται από την αβεβαιότητα του αποτελέσματος αυτού. Το να συμπεριληφθεί η αβεβαιότητα στις πληροφορίες ποσοτικού προσδιορισμού ενός μεγέθους υπακούει σε μια διπλή αναγκαιότητα, όπως αυτή διακρίνεται στο Σχήμα 4.10. Δηλαδή, αφενός επισημαίνεται στο χρήστη της μέτρησης η πιθανότητα ύπαρξης σφαλμάτων, εφιστώντας την προσοχή του στον πεπερασμένο χαρακτήρα για μια συγκεκριμένη ποσότητα, αφετέρου δίνεται μια ποσοτική εκτίμηση του διαστήματος μέσα στο οποίο περιέχεται η αληθής τιμή του μετρούμενου μεγέθους, καθώς και της πιθανότητας να βρίσκεται η αληθής αυτή τιμή σε μια συγκεκριμένη περιοχή του διαστήματος αυτού.



Σχήμα 4.10: Σφάλμα και αβεβαιότητα

Για τον καθορισμό της συνολικής αβεβαιότητας, πρέπει να εξεταστεί η συνεισφορά των επιμέρους πηγών αβεβαιότητας. Οι βασικότερες ακολουθούν παρακάτω.

- Η αβεβαιότητα του εξοπλισμού που χρησιμοποιήθηκε για τη ρύθμιση ενός οργάνου.
- Οι αβεβαιότητες που οφείλονται στην αστάθεια του οργάνου κατά τη λήψη μετρήσεων.
- Η μετρητική διαδικασία που χρησιμοποιήθηκε.
- Διαφορές που προκύπτουν από τη χρήση ενός συγκεκριμένου οργάνου από διαφορετικούς χειριστές.
- Η επίδραση των περιβαλλοντικών συνθηκών.

4.3.1 Κατηγοριοποίηση Αβεβαιοτήτων

Η αβεβαιότητα στο αποτέλεσμα μιας μέτρησης αποτελείται γενικά από πολλές συνιστώσες, οι οποίες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε δύο είδη ανάλογα με τον τρόπο υπολογισμού τους: οι αβεβαιότητες τύπου A (random uncertainty), που υπολογίζονται με στατιστικές μεθόδους, και οι αβεβαιότητες τύπου B (systematic uncertainty), που υπολογίζονται με άλλα μέσα. Η κατηγοριοποίηση αυτή δεν αντιστοιχεί στη διάκριση μεταξύ «τυχαίων» και «συστηματικών» αβεβαιοτήτων.

Οι συνιστώσες τύπου A προκύπτουν από τη μεταβλητότητα (*variance*) ή την τυπική απόκλιση (*standard deviation*) και τους βαθμούς ελευθερίας του αποτελέσματος, ενώ είναι συχνά απαραίτητη και η γνώση της συμμεταβλητότητας (*covariance*). Οι

αβεβαιότητες τύπου Α υπολογίζονται βάσει στατιστικών κανόνων.

Οι συνιστώσες τύπου Β, παρά το ότι δεν προκύπτουν απευθείας από κάποια στατιστική επεξεργασία, οφείλουν να παρουσιάζονται με όρους τυπικής αβεβαιότητας. Η τυπική αυτή αβεβαιότητα μπορεί να θεωρηθεί ως προσέγγιση της αντίστοιχης μεταβλητότητας, η ύπαρξη της οποίας υφίσταται ως υπόθεση. Στην περίπτωση αυτή η αβεβαιότητα υπολογίζεται αξιοποιώντας κάθε διαθέσιμη πληροφορία σχετικά με την πιθανή μεταβλητότητα του μετρούμενου μεγέθους, έτσι ώστε να οικοδομηθεί μια εικόνα για την πιθανή κατανομή των τιμών του μεγέθους. Τέτοιου είδους πληροφορίες είναι δυνατόν να προέρχονται από:

- Πιστοποιητικά διακρίβωσης
- Δεδομένα από προηγούμενες μετρήσεις
- Εμπειρία ή επιστημονική ανάλυση
- Χαρακτηριστικά οργάνου μέτρησης
- Υποκειμενική εκτίμηση χειριστή

4.3.2 Πηγές αβεβαιότητας μετρήσεων χαμηλόσυχνων ηλεκτρικών πεδίων

Οι πηγές αβεβαιότητας, που πρέπει να θεωρούνται και να συνδυάζονται για τον προσδιορισμό της συνολικής αβεβαιότητας της μέτρησης της ενεργού τιμής της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου, αναλύονται πιο κάτω.

- **Διακρίβωση**

Η αβεβαιότητα της διακρίβωσης καθορίζεται από παράγοντες, όπως η αβεβαιότητα στην τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σύστημα διακρίβωσης, η διακριτική ικανότητα της ένδειξης του υπό εξέταση οργάνου και η διαφορά της ένδειξης του υπό εξέταση οργάνου, αν αυτό τοποθετείται κατ' επανάληψη στο σύστημα διακρίβωσης.

- **Περιορισμοί της ζώνης διέλευσης**

Η χρήση μετρητή ηλεκτρικού πεδίου με περιορισμένη ζώνη διέλευσης μπορεί να συνεισφέρει στην αβεβαιότητα της μέτρησης. Συγκεκριμένα, οι μετρήσεις των ηλεκτρικών πεδίων που διεξάγονται με μετρητή πεδίου στενής ζώνης διέλευσης μπορούν να διαφέρουν αρκετά σε σύγκριση με τις μετρήσεις που έχει γίνει χρήση των μετρητών πεδίου με ευρύτερες ζώνες διέλευσης. Αυτό

προκύπτει, επειδή το ηλεκτρικό πεδίο μπορεί να είναι πλούσιο σε αρμονικές που δεν μπορούν να ανιχνευτούν από ένα μετρητή με στενή ζώνη διέλευσης.

- **Ασυμμετρία στον σχεδιασμό του ανιχνευτή**

Ασυμμετρίες στον σχεδιασμό του αισθητήρα ενός μετρητή ηλεκτρικού πεδίου μπορούν να αλλάξουν την διεύθυνση του ηλεκτρικού άξονα (άξονας με την μέγιστη ηλεκτρική ευαισθησία) σε σχέση με τον γεωμετρικό άξονα.

- **Σφάλματα ανάγνωσης**

Το συγκεκριμένο σφάλμα εμφανίζεται στους μετρητές που δεν έχουν την ικανότητα να λειτουργήσουν από απόσταση, δηλαδή σε μετρητές που έχουν το κύκλωμα του φωρατή και του αισθητήρα στην ίδια βασική μονάδα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την σημαντική επίδραση της εγγύτητας του παρατηρητή κατά την διάρκεια των μετρήσεων. Για την αντιμετώπιση της παραπάνω κατάστασης και την εξάλειψη των σφαλμάτων ανάγνωσης συνήθως όλοι οι τύποι μετρητών ηλεκτρικού πεδίου έχουν το κύκλωμα του φωρατή αρκετά απομακρυσμένο από τη θέση του αισθητήρα συνδεδεμένα με κατάλληλο καλώδιο (π.χ. οπτική ίνα).

- **Γραμμικότητα του οργάνου**

Πηγή αβεβαιότητας αποτελεί η μεταβολή στην ακρίβεια που παρουσιάζει το όργανο σε διαφορετικές τιμές του μετρούμενου πεδίου. Η αβεβαιότητα αυτή είναι μικρότερη στο κέντρο του δυναμικού εύρους μέτρησης από ότι στα άκρα του.

- **Μακροπρόθεσμη ολίσθηση**

Η ένδειξη ενός μετρητικού οργάνου για μια ορισμένη τιμή μεγέθους δεν παραμένει η ίδια με το χρόνο, ακόμα και όταν οι συνθήκες μέτρησης δεν έχουν αλλάξει. Για διάφορους λόγους, που οφείλονται στην αρχή λειτουργίας, στον τρόπο κατασκευής και στο υλικό που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή του οργάνου παρουσιάζονται βαθμιαίες μεταβολές στα στοιχεία του οργάνου με την πάροδο του χρόνου με αποτέλεσμα αλλαγές στην απόκριση του συστήματος μέτρησης (η τιμή του οργάνου ολισθαίνει). Η λύση για τον προσδιορισμό της ολίσθησης και των συντελεστών διόρθωσης δίνεται από την περιοδική επαλήθευση της διακρίβωσης.

- **Σταθερά χρόνου του οργάνου**

Μια επιπλέον πηγή αβεβαιότητας θεωρείται η σταθερά χρόνου του

κυκλώματος του φωρατή.

- **Διαφωνία (crosstalk)**

Αβεβαιότητα μπορεί να προκαλέσει ο θόρυβος που προέρχεται από σήματα γειτονικών κυκλωμάτων (εσωτερικά του οργάνου μέτρησης) στο φωρατή.

- **Δάπεδο θορύβου (noise level)**

Ο ηλεκτρικός θόρυβος στο κύκλωμα του φωρατή μπορεί να δημιουργήσει ένα «δάπεδο θορύβου», που εμποδίζει τις ακριβείς μετρήσεις του μαγνητικού πεδίου στα χαμηλότερα επίπεδα πεδίων. Το δάπεδο θορύβου μπορεί να εκτιμηθεί με την διεξαγωγή μετρήσεων σ' ένα ανοιχτό χώρο, μακριά από πηγές μαγνητικού πεδίου.

- **Κλίση του μετρητή του πεδίου (για μετρητές με αναλογικές προβολές)**

Η μηχανική ανισορροπία της αναλογικής ένδειξης ενός μετρητή συνιστά πηγή αβεβαιότητας. Η αντικατάσταση μιας αναλογικής προβολής με ψηφιακή θα εξουδετερώσει τις παραπάνω αβεβαιότητες.

- **Θερμοκρασία**

Οι μετρητές ηλεκτρικού πεδίου εμφανίζουν εξάρτηση από τη θερμοκρασία με αποτέλεσμα την εισαγωγή αβεβαιότητας στις μετρήσεις. Εάν παρουσιάζονται μεγάλες αλλαγές στη θερμοκρασία περιβάλλοντος σε μια θέση μετρήσεως σε σχέση με τη θερμοκρασία τη στιγμή της διακρίβωσης, οι επιδράσεις της θερμοκρασίας πρέπει να είναι γνωστές.

- **Υγρασία**

Κάτω από υψηλές συνθήκες υγρασίας, είναι δυνατή η εμφάνιση ενός επιπέδου επιφανειακής υγροποίησης σε τμήματα του μετρητή του ηλεκτρικού πεδίου. Ο συνδυασμός των παραπάνω συνθηκών με την κακή μόνωση σε ένα από τα ηλεκτρόδια αποτελεί μεγάλη πηγή αβεβαιότητας, καθώς οδηγεί σε διαρροή της λαβής (π.χ. το τρίποδο στήριξης).

- **Επίδραση της εγγύτητας του παρατηρητή**

Κατά την διάρκεια των μετρήσεων του ηλεκτρικού πεδίου, πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή, ώστε να αποφεύγονται οι επιδράσεις εγγύτητας του παρατηρητή καθώς και άλλων ατόμων που μπορεί να βρίσκονται στην κοντινή περιοχή του ανιχνευτή του πεδίου. Ακόμη και η παρουσία ανθρώπων σε

απόσταση 5 μέτρων παραμορφώνει το πεδίο εισάγοντας όμως μικρό σφάλμα στις μετρήσεις. Βασική απαίτηση για την μείωση της διαταραχής αποτελεί η απομόνωση του αισθητήρα με τη βασική συσκευή και η εξ' αποστάσεως λειτουργία του.

- **Επιδράσεις εγγύτητας των αντικειμένων**

Η μέτρηση του ηλεκτρικού πεδίου μπορεί να διαταραχθεί σημαντικά, εάν ο ανιχνευτής πλησιάσει αρκετά κοντά αγωγίμη επιφάνεια λόγω των αλληλεπιδράσεων που προκύπτουν ανάμεσα στον αισθητήρα του μετρητή του πεδίου και στις επιφανειακές κατανομές φορτίου αυτής. Για την μείωση της διαταραχής και του σφάλματος μετρήσεως, ο αισθητήρας θα πρέπει να απέχει κάποια απόσταση από τα αγωγή αντικείμενα.

- **Περιβαλλοντικά μαγνητικά πεδία (*ambient fields*)**

Οι μετρητές ηλεκτρικού πεδίου πρέπει να σχεδιάζονται έτσι, ώστε να μην επηρεάζονται σημαντικά από μαγνητικά πεδία συχνότητας ισχύος στα επίπεδα που αντιμετωπίζονται σε ένα δεδομένο περιβάλλον μετρήσεων.

- **Ηλεκτρομαγνητική ατρωσία**

Εκτός των προκαλούμενων επιδράσεων στις μετρήσεις από περιβαλλοντικά μαγνητικά επίπεδα ισχύος, παρατηρούνται επιδράσεις από πηγές ηλεκτρομαγνητικών πεδίων ραδιοσυχνοτήτων και υψηλότερων συχνοτήτων.

- **Πεδία υποβάθρου (*background fields*)**

Οι αβεβαιότητες κατά τη διάρκεια των μετρήσεων του ηλεκτρικού πεδίου, ως συνάρτηση της απόστασης από την πηγή μπορούν να γίνουν πολύ μεγάλες, καθώς το επίπεδο του πεδίου από την πηγή προσεγγίζει την τιμή του μαγνητικού πεδίου υποβάθρου.

4.3.3 Πηγές αβεβαιότητας μετρήσεων χαμηλόσυχνων μαγνητικών πεδίων

Σε σύγκριση με την περίπτωση των μετρήσεων ηλεκτρικού πεδίου, οι πηγές αβεβαιοτήτων κατά τη διάρκεια των μετρήσεων μαγνητικού πεδίου είναι λιγότερες. Για τον υπολογισμό της συνολικής αβεβαιότητας που σχετίζεται με τις μετρήσεις της ενεργού τιμής της πυκνότητας της μαγνητικής ροής σε διαφορετικά μετρητικά περιβάλλοντα, πρέπει να προσδιοριστούν οι διάφορες πηγές αβεβαιότητας. Οι πιθανές πηγές αβεβαιότητας αναφέρονται παρακάτω:

- **Διακρίβωση**

Η αβεβαιότητα της διακρίβωσης καθορίζεται από παράγοντες, όπως η αβεβαιότητα στην τιμή της πυκνότητας της μαγνητικής ροής ή η αβεβαιότητα στην εισαχθείσα τάση, η διακριτική ικανότητα στην ανάγνωση του υπό δοκιμή οργάνου και η διακύμανση της ένδειξης εάν το υπό δοκιμή όργανο τοποθετείται επανειλημμένα στο σύστημα διακρίβωσης. Άλλοι παράγοντες, όπως το περιβαλλοντικό πεδίο υποβάθρου μπορεί να συνεισφέρουν περαιτέρω στην αβεβαιότητα της διακρίβωσης.

- **Περιορισμοί της ζώνης διέλευσης**

Η χρήση μετρητή μαγνητικού πεδίου με περιορισμένη ζώνη διέλευσης μπορεί να συνεισφέρει στην αβεβαιότητα της μέτρησης.

- **Γραμμικότητα του οργάνου**

Πηγή αβεβαιότητας αποτελεί η μεταβολή στην ακρίβεια που παρουσιάζει το όργανο σε διαφορετικές τιμές του μετρούμενου πεδίου. Η αβεβαιότητα αυτή είναι μικρότερη στο κέντρο του δυναμικού εύρους μέτρησης από ότι στα άκρα του.

- **Μείωση του μεγέθους των αισθητήριων στοιχείων**

Θα πρέπει να αποφεύγεται η σχεδίαση μικροσκοπικών αισθητήριων πηνίων, είτε για την ενσωμάτωση τους στη βασική μονάδα του οργάνου, είτε για την μέτρηση πεδίων τοπικά, γιατί για να επιτευχθεί στο μικρό αισθητήριο πηνίο ίδια ευαισθησία με ένα μεγαλύτερο, θα πρέπει να αυξήσουμε τον αριθμό των ελιγμάτων του, λόγω της μικρής διατομής του. Όμως, ο μεγάλος αριθμός ελιγμάτων αυξάνει δραστικά τις χωρητικές επιδράσεις και ο αισθητήρας γίνεται πιο ευαίσθητος στα ηλεκτρικά πεδία.

- **Μακροπρόθεσμη ολίσθηση**

Η ένδειξη ενός μετρητικού οργάνου για μια ορισμένη τιμή μεγέθους δεν παραμένει η ίδια με το χρόνο, ακόμα και όταν οι συνθήκες μέτρησης δεν έχουν αλλάξει. Για διάφορους λόγους, που οφείλονται στην αρχή λειτουργίας, στον τρόπο κατασκευής και στο υλικό που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή του οργάνου παρουσιάζονται βαθμιαίες μεταβολές στα στοιχεία του οργάνου με την πάροδο του χρόνου με αποτέλεσμα αλλαγές στην απόκριση του συστήματος μέτρησης (η τιμή του οργάνου ολισθαίνει). Η λύση

για τον προσδιορισμό της ολίσθησης και των συντελεστών διόρθωσης δίνεται από την περιοδική επαλήθευση της διακρίβωσης.

- **Σταθερά χρόνου του οργάνου**

Μια επιπλέον πηγή αβεβαιότητας θεωρείται η σταθερά χρόνου του κυκλώματος του φορατή. Πιθανές εσφαλμένες ενδείξεις που προκύπτουν λόγω της σταθεράς χρόνου παρουσιάζονται με τα εξής δύο παραδείγματα: (α) όταν ένας μετρητής με ψηφιακή προβολή αναγνωσθεί πολύ σύντομα μετά την τοποθέτησή του σε υψηλό πεδίο και (β) κατά την μέτρηση ταχέως μεταβαλλόμενων πεδίων, λόγω ανεπαρκούς χρόνου επεξεργασίας του σήματος.

- **Διαφωνία (*crosstalk*)**

Αβεβαιότητα μπορεί να προκαλέσει ο θόρυβος που προέρχεται από σήματα γειτονικών κυκλωμάτων (εσωτερικά του οργάνου μέτρησης) στο φορατή.

- **Δάπεδο θορύβου (*noise level*)**

Ο ηλεκτρικός θόρυβος στο κύκλωμα του φορατή μπορεί να δημιουργήσει ένα «δάπεδο θορύβου», που εμποδίζει τις ακριβείς μετρήσεις του μαγνητικού πεδίου στα χαμηλότερα επίπεδα πεδίων. Το δάπεδο θορύβου μπορεί να εκτιμηθεί με την διεξαγωγή μετρήσεων σ' ένα ανοιχτό χώρο, μακριά από πηγές μαγνητικού πεδίου.

- **Σφάλματα στην τοποθέτηση του ανιχνευτή σε ανομοιογενή πεδία**

Όταν γίνονται μετρήσεις σε υψηλής ανομοιογένειας μαγνητικά πεδία κοντά σε πηγές (π.χ. ηλεκτρικές συσκευές) κρατώντας τον μετρητή με το χέρι, προκύπτουν μεγάλες αβεβαιότητες. Για την ακριβή τοποθέτηση του ανιχνευτή του πεδιομετρητή σε υψηλά ανομοιογενή πεδία και τη μείωση των αβεβαιοτήτων που σχετίζονται με αυτήν, χρησιμοποιούνται ρυθμιζόμενα στηρίγματα κατασκευασμένα από μονωτικά υλικά.

- **Επιδράσεις εξομάλυνσης των ανιχνευτών σε ανομοιογενή μαγνητικά πεδία**

Ενώ θεωρείται συνήθως το κέντρο του αισθητήριου πηνίου ως η θέση της μέτρησης, η ένδειξη του μαγνητικού πεδίου είναι στην πραγματικότητα η μέση τιμή της κάθετης συνιστώσας του μαγνητικού πεδίου κατά μήκος όλης της εγκάρσιας περιοχής του ανιχνευτή. Σε περιπτώσεις ανομοιογενών μαγνητικών πεδίων, το μέσο πεδίο μπορεί να διαφέρει σημαντικά από την

κεντρική τιμή του πεδίου με αποτέλεσμα την αύξηση των σφαλμάτων μέτρησης.

- **Ανεπαρκής θωράκιση ηλεκτρικού πεδίου**

Ένα άλλο κριτήριο που καθορίζει την ποιότητα των μαγνητικών οργάνων μέτρησης είναι η προστασία του ανιχνευτή και του φωρατή έναντι των περιβαλλοντικών ηλεκτρικών πεδίων. Πεδιόμετρα χωρίς θωράκιση καθίστανται άχρηστα υπό την παρουσία ισχυρού ηλεκτρικού πεδίου, λόγω της ισχυρής επίδρασης στις μετρούμενες τιμές. Για αυτό το λόγο εφαρμόζεται κατάλληλη μόνωση, ώστε να μειώσει την ευπάθεια του μετρητή σε ηλεκτρικά πεδία συχνότητας ισχύος και την ηλεκτρομαγνητική παρεμβολή (π.χ. πεδία ραδιοφωνικών συχνοτήτων) σε μηδενικά επίπεδα.

- **Εγγύτητα των μπαταριών**

Άλλη μια πηγή αβεβαιότητας προκύπτει με την χρήση μπαταριών, για το κύκλωμα του φωρατή, σε κοντινή απόσταση από τους ανιχνευτές πηνίων (π.χ. μετρητές έκθεσης μικρών διαστάσεων). Τα μεταλλικά καλύμματα των μπαταριών μπορεί να είναι σιδηρομαγνητικά και πιθανώς να διαταράσσουν το μαγνητικό πεδίο που αναγνωρίζουν οι ανιχνευτές.

- **Θερμοκρασία**

Πιθανή πηγή αβεβαιότητας αποτελεί η επίδραση της θερμοκρασίας στη λειτουργία του μαγνητικού πεδιομέτρου. Η επίδραση αυτή θα πρέπει να είναι γνωστή, ειδικά αν παρουσιάζονται εξαιρετικές διαφορές θερμοκρασίας στην περιοχή μετρήσεως σε σχέση με την θερμοκρασία στη διαδικασία της διακρίβωσης.

- **Υγρασία**

Τα μαγνητικά πεδιόμετρα εμφανίζουν εξαιρετικά μικρή εξάρτηση από την υγρασία, σύμφωνα με τα διαθέσιμα δημοσιευμένα δεδομένα.

- **Πεδία υποβάθρου (*background fields*)**

Οι αβεβαιότητες κατά τη διάρκεια των μετρήσεων του μαγνητικού πεδίου, ως συνάρτηση της απόστασης από την πηγή, μπορούν να γίνουν πολύ μεγάλες, καθώς το επίπεδο του πεδίου από την πηγή προσεγγίζει την τιμή του μαγνητικού πεδίου υποβάθρου.

- **Επιδράσεις εγγύτητας των αντικειμένων**

Ο αισθητήρας του οργάνου θα πρέπει να απέχει κάποια απόσταση από τα γειτονικά μεταλλικά αντικείμενα (κυρίως από σιδηρομαγνητικά υλικά), ώστε να διαταράσσεται λιγότερο το πεδίο της πηγής. Επίσης, ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δίνεται και στα μη μαγνητικά υλικά, τα οποία μπορούν να αναπτύξουν δινορεύματα και συνάμα μαγνητικό πεδίο, λόγω της χρονικής μεταβολής του μετρούμενου μαγνητικού πεδίου.

4.3.4 Πηγές αβεβαιότητας μετρήσεων υψίσυχων ηλεκτρομαγνητικών πεδίων

Οι πηγές αβεβαιότητας για τα υψίσυχνα ηλεκτρομαγνητικά πεδία δεν μπορούν να προσδιοριστούν ξεχωριστά για το μαγνητικό και το ηλεκτρικό πεδίο, καθώς τα δύο πεδία είναι ισχυρά συνδεδεμένα και δεν μπορούν να διαχωριστούν. Παρακάτω ακολουθούν οι πιο συνήθεις πηγές αβεβαιότητας στις μετρήσεις που αφορούν υψίσυχνα ηλεκτρομαγνητικά πεδία.

- **Διακρίβωση**

Η αβεβαιότητα της διακρίβωσης καθορίζεται από την ακρίβεια του εξοπλισμού που χρησιμοποιήθηκε κατά τη διακρίβωση, καθώς και από τη διαδικασία που ακολουθήθηκε.

- **Γραμμικότητα του οργάνου**

Πηγή αβεβαιότητας είναι η αλλαγή της ακρίβειας του οργάνου σε διαφορετικές τιμές του μετρούμενου πεδίου. Αυτή η αβεβαιότητα είναι πολύ μικρότερη κοντά στο μέσο του δυναμικού εύρους λειτουργίας του μετρητή από αυτή στα άκρα του.

- **Ισοτροπική απόκλιση**

Η αλλαγή της απόκρισης του μετρητικού εξοπλισμού καθώς αλλάζει η κατεύθυνση του μετρητή είναι μια πηγή αβεβαιότητας. Η αλλαγή αυτή οφείλεται σε ατέλειες στον αισθητήρα μέτρησης.

- **Απόκριση συχνότητας**

Πηγή αβεβαιότητας είναι η αλλαγή της απόκρισης του οργάνου σε διαφορετικές συχνότητες του προσμετρούμενου πεδίου. Εάν η συχνότητα

του πεδίου είναι γνωστή, τότε το σφάλμα απόκρισης συχνότητας μπορεί να ελαχιστοποιηθεί με την εφαρμογή κάποιων συντελεστών διόρθωσης.

- **Διαμόρφωση πεδίου**

Η επίδραση της διαμόρφωσης του μετρούμενου πεδίου στην απόκριση του οργάνου είναι μια πιθανή πηγή αβεβαιότητας. Η αβεβαιότητα αυτή παρουσιάζεται συχνά σε περιπτώσεις όπου υπάρχει ΑΜ διαμόρφωση και η ένταση του πεδίου είναι μεγαλύτερη από 20 V/m. Ως πηγή προέλευσης της μπορεί να θεωρηθούν οι απώλειες ή η τετραγωνική απόκριση των διόδων που χρησιμοποιούνται για την ανόρθωση του σήματος. Τα σήματα με FM διαμόρφωση δεν επηρεάζονται από τη συγκεκριμένη αβεβαιότητα

- **Θερμοκρασία**

Πιθανή πηγή αβεβαιότητας αποτελεί η επίδραση της θερμοκρασίας στη λειτουργία του πεδιομέτρου. Η επίδραση αυτή θα πρέπει να είναι γνωστή, καθώς η θερμοκρασία κατά τη λήψη μιας μέτρησης μπορεί να διαφέρει πολύ από αυτή που υπήρχε κατά τη διακρίβωση του οργάνου.

Βιβλιογραφία

- [1] Μαθιουλάκης Μ.Ε., «Μέτρηση, ποιότητα μέτρησης και αβεβαιότητα», Ελληνική Ένωση Εργαστηρίων-HellasLab, Αθήνα 2004.
- [2] ΕΛΟΤ IEC 61786:2003, «Μετρήσεις μαγνητικών και ηλεκτρικών πεδίων χαμηλών συχνοτήτων σε σχέση με την έκθεση των ανθρώπων», 2003.
- [3] IEEE Std 644-1994 (Revision of IEEE Std 644-1987), “IEEE Standard Procedures for Measurement of Power Frequency Electric and Magnetic Fields From AC Power Lines”, 1994.
- [4] Gary B. Johnson, “Instrumentation and measurement technology”, EMF Engineering Review Symposium, Charleston, SC (USA), April 28-29, 1998.
- [5] Narda Safety Test Solutions, Brochure: “Low Frequency (everything about EFA, ETM, and EFC)”.
- [6] Bottauscio, O., Crotti, G., D.Emilio, S., Farina, G., and Mantini, A., “Generation of Reference Electric and Magnetic Fields for Calibration of Power Frequency Field Meters”, IEEE Transactions on Instrumentation and measurement, vol. 42, pp 547-552 (1993).
- [7] M. Borsero, G. Crotti, L. Anglesio and G. d’Amore, “Calibration and evaluation of uncertainty in the measurement of environmental electromagnetic fields”, Nuclear Technology Publishing, vol. 97, No 4, pp. 363–368, 2001.
- [8] Ken K karipidis, “Measurement of residential Power Frequency Magnetic Fields”, Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency (ARPANSA), March 2002.
- [9] NIOSH, “Manual for measuring occupational electric and magnetic field exposure”, U.S. Department of Health and Human Services. Public Health Service. Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health. DHHS (NIOSH) Publication No. 98-154, October 1998.
- [10] Narda Safety Test Solutions, EFA-300 Operating Manual.
- [11] Narda Safety Test Solutions, EFA-300 Data sheet - For Isotropic Measurement of Magnetic and Electric Fields.
- [12] Narda Safety Test Solutions, PMM 8053B Operating Manual.
- [13] Narda Safety Test Solutions, SRM-3000 Selective Radiation Meter Operating Manual.

- [14] Narda Safety Test Solutions EMR-300 Broadband RF Survey Meter Data Sheet.
- [15] Rohde & Schwarz FSH Handheld Spectrum Analyzer Operating Manual.
- [16] ISO, “Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology”, Geneva, 1993, ISBN 92-67-10175-1.
- [17] ISO, “Guide to the expression of the uncertainty in measurement (GUM)”, 1st ed, 1993, corrected and reprinted 1995, Geneva, Switzerland. ISBN 92-67-10188-9.
- [18] IEC 61786. Measurement of Low Frequency Magnetic and Electric Fields with Regard to Exposure of Human Beings — Special Requirements for Instruments and Guidance for Measurements (1998).
- [19] IEEE Std 644-1994. IEEE Standard Procedures for Measurement of Power Frequency Electric and Magnetic Fields From AC Power Lines (1994).
- [20] M. Borsero, G. Crotti, L. Anglesio and G. d’Amore, “Calibration and evaluation of uncertainty in the measurement of environmental electromagnetic fields”, Radiation Protection Dosimetry, Vol. 97, No 4, pp. 363–368, 2001.
- [21] B. Vulevic’ and P. Osmokrovic’, “Evaluation of Uncertainty in the Measurement of Environmental Electromagnetic Fields”, Radiation Protection Dosimetry (2010), doi: 10.1093/rpd/ncq158, First published online: May 28, 2010. Available at <http://rpd.oxfordjournals.org/content/early/2010/05/28/rpd.ncq158.abstract>.
- [22] D. Stratakis, A. Miaoudakis, C. Katsidis, V. Zacharopoulos and T. Xenos, “On the Uncertainty of Electromagnetic Field Measurements Using Field Sensors: A General Approach”, Telecommunications Department, Electrical and Computer Engineering Faculty, Aristotle University of Thessaloniki, 2009.
- [23] E. Karabetsos, G. Filippopoulos, “Uncertainty estimation in electromagnetic field measurements for assessing compliance with safety limits”, 28th General Assembly of International Union of Radio Science, URSI, New Delhi, India, 2005.
- [24] ISO/IEC 17025: General Requirements for the competence of testing and calibration laboratories (Γενικές Απαιτήσεις για την Ικανότητα των Εργαστηρίων Δοκιμών και Διακριβώσεων). ISO, Geneva.
- [25] IEC 62110:2009, “Electric and magnetic field levels generated by AC power systems - Measurement procedures with regard to public exposure”, 2009.

- [26] Ιωάννης Ν. Ζτούπης, «Μέτρηση και προσομοίωση χαμηλόσυχνων πεδίων από γραμμές μεταφοράς υψηλών τάσεων», Μεταπτυχιακή εργασία, 2012.
- [27] Ελένη Π. Νικολοπούλου, «Αξιολόγηση διεργαστηριακών μετρήσεων ηλεκτρομαγνητικού πεδίου», Διπλωματική εργασία, 2010.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΕΦΑΡΜΟΓΗ 1 ΧΑΜΗΛΕΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ

5.1 ΧΑΜΗΛΟΣΥΧΝΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΚΑΙ ΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΠΕΔΙΑ

Με τον όρο χαμηλόσυχνα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία εννοούμε τα πεδία που δημιουργούνται από το δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, όπως οι γραμμές και οι υποσταθμοί υψηλής τάσης και το δίκτυο μέσης και χαμηλής τάσης που χρησιμοποιείται για τη διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας, από τις καλωδιώσεις των κτηρίων, τις οικιακές συσκευές και γενικά οποιοσδήποτε διατάξεις ή εγκαταστάσεις των 50 ή 60 Hz.

Τα ηλεκτρικά πεδία που παράγονται από τις διατάξεις ηλεκτρικής ενέργειας οφείλονται στην τάση των ρευματοφόρων αγωγών και εξαρτώνται από το μέγεθος της τάσης, τη γεωμετρία της διάταξης και την απόσταση. Βασικό γνώρισμα του ηλεκτρικού πεδίου είναι το γεγονός ότι παραμορφώνεται από την παρουσία αγωγίμων διατάξεων ή ανθρώπινου σώματος, ενώ παράλληλα θωρακίζεται από οικοδομικά υλικά, δέντρα, φράχτες κλπ.

Η δημιουργία του μαγνητικού πεδίου οφείλεται στις εντάσεις των ρευμάτων που διαρρέουν ρευματοφόρους αγωγούς και εξαρτάται από το μέγεθος της έντασης του ρεύματος, τη γεωμετρία της διάταξης και την απόσταση. Σε αντίθεση με το ηλεκτρικό πεδίο, το μαγνητικό πεδίο επηρεάζεται ελάχιστα από την παρουσία δέντρων, φραχτών και οικοδομικών υλικών. Ως αποτέλεσμα, το μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται από

γραμμές ηλεκτρικής ενέργειας στο εξωτερικό των κτηρίων μπορεί να διαπερνά τους τοίχους και τις οροφές.

Τα μεταβαλλόμενα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία που δημιουργούνται από τις διατάξεις ηλεκτρικής ενέργειας ονομάζονται αλλιώς και πεδία εξαιρετικά χαμηλής συχνότητας (ELF-Extremely Low Frequency) και συνθέτουν μαζί με τα ραδιοκύματα, την υπέρυθρη, την ορατή και την υπεριώδη ακτινοβολία τις μη ιοντίζουσες ακτινοβολίες. Σε αντίθεση με τις ιοντίζουσες ακτινοβολίες (ακτίνες X, γ κλπ.), οι ακτινοβολίες αυτές δεν μπορούν να διασπάσουν χημικούς δεσμούς, να αποσπάσουν ηλεκτρόνια από άτομα ή μόρια προκαλώντας έτσι ιοντισμό της ύλης.

Ωστόσο, λόγω της αγωγιμότητας του ανθρώπινου σώματος, ακόμα και υπό την παρουσία ELF πεδίων επάγονται ρεύματα στο εσωτερικό του σώματος. Αν και δεν υπάρχει μέχρι στιγμής κάποια σοβαρή ένδειξη που να συνδέει τις μη ιοντίζουσες ακτινοβολίες με καρκινογενετικούς μηχανισμούς, είναι έντονη η συζήτηση γύρω από τις πιθανές βλαβερές συνέπειές τους στον ανθρώπινο οργανισμό (λευχαιμία, μεταλλάξεις κλπ.) και στην κατεύθυνση αυτή γίνονται εργαστηριακές και επιδημιολογικές μελέτες.

Έτσι έχει προκύψει η ανάγκη για την επιβολή ορίων για την ασφαλή έκθεση σε ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία. Η Διεθνής Επιτροπή Προστασίας από Μη Ιοντίζουσες Ακτινοβολίες (ICNIRP) εξέδωσε το 1998 κατευθυντήριες γραμμές για την έκθεση των ανθρώπων, οι οποίες λαμβάνουν υπόψη μόνο τις αποδεδειγμένες επιδράσεις των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων στον άνθρωπο και περιλαμβάνουν βασικούς περιορισμούς και επίπεδα αναφοράς. Τις ίδιες οριακές τιμές υιοθέτησε το 1999 και το Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης με τη Σύσταση «Σχετικά με τον περιορισμό της έκθεσης του κοινού σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία 0 Hz - 300 GHz» (L199, 1999/519/EC).

Οι βασικοί περιορισμοί σχετίζονται με το επαγόμενο ρεύμα στο εσωτερικό του ανθρώπου και προκύπτουν από τις τιμές κατωφλίου που προκαλούν δυσμενείς βιολογικές επιδράσεις. Τα επίπεδα αναφοράς είναι ουσιαστικά τα επιτρεπόμενα όρια για τις μετρούμενες τιμές του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου και έχουν υπολογιστεί εφαρμόζοντας τους βασικούς περιορισμούς υπό τις δυσμενέστερες συνθήκες σύζευξης με το ανθρώπινο σώμα. Επομένως, τόσο οι βασικοί περιορισμοί όσο και τα επίπεδα αναφοράς εμπεριέχουν μεγάλο συντελεστή ασφαλείας.

Η εναρμόνιση της Ελληνικής Νομοθεσίας με τα προτεινόμενα από την ICNIRP και την Ευρωπαϊκή Ένωση όρια έγινε με την Κοινή Υπουργική Απόφαση με αριθμό 3060 (ΦΟΡ) 238 (Φ.Ε.Κ. Αρ. 512, Τεύχος Δεύτερο, 25 Απριλίου 2002) των Υπουργείων 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». Στην προαναφερθείσα Κ.Υ.Α τίθενται τα επίπεδα αναφοράς για το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο για συχνότητες έως 150kHz.

Ζώνη Συχνοτήτων	Ένταση Ηλεκτρικού Πεδίου (V/m)	Μαγνητική Επαγωγή (μ T)
0 – 1 Hz	-	4×10^4
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

Πίνακας 5.1 Επίπεδα αναφοράς της Ελληνικής Νομοθεσίας για ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία χαμηλών συχνοτήτων

Από τον Πίνακα 5.1 προκύπτει ότι, για τη συχνότητα των 50 Hz, τα όρια για το γενικό πληθυσμό είναι 5 kV/m για το ηλεκτρικό πεδίο και 100 μ T για το μαγνητικό. Όσον αφορά στο ελληνικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, ανάλογα με το τμήμα του δικτύου αλλάζει και η «επιβάρυνση» του περιβάλλοντος χώρου από τα παραγόμενα ηλεκτρομαγνητικά πεδία:

- Στο δίκτυο διανομής χαμηλής τάσης είναι πολύ μικρά τα ηλεκτρικά πεδία λόγω του χαμηλού επιπέδου της τάσης, ενώ και τα μαγνητικά πεδία εξασθενούν σε πολύ μικρή απόσταση από τη γραμμή.
- Στο δίκτυο διανομής μέσης τάσης τα πεδία οφείλονται στις γραμμές μέσης τάσης (20kV), οι οποίες μπορεί να είναι εναέριες ή υπόγεια καλώδια. Οι εναέριες γραμμές δημιουργούν τόσο ηλεκτρικά όσο και μαγνητικά πεδία, ενώ τα υπόγεια καλώδια δημιουργούν μόνο μαγνητικό πεδίο.

- Στους υποσταθμούς διανομής τα πεδία οφείλονται στις γραμμές μέσης και χαμηλής τάσης που συνδέονται σε αυτούς.
- Στις εναέριες γραμμές μεταφοράς υψηλής/υπερυψηλής τάσης οι μέγιστες τιμές των πεδίων εμφανίζονται ακριβώς κάτω από τους αγωγούς. Τα ιδιαίτερα τεχνικά χαρακτηριστικά της κατασκευής της γραμμής, όπως η απόσταση των αγωγών από τη γη, η απόσταση μεταξύ των ρευματοφόρων αγωγών της γραμμής και η διάταξη των φάσεων σε γραμμές διπλού κυκλώματος είναι παράγοντες που επηρεάζουν τα μεγέθη των παραγόμενων πεδίων.
- Τα υπόγεια καλώδια υψηλής τάσης δεν παράγουν ηλεκτρικά πεδία στις θέσεις που βρίσκονται άνθρωποι, αλλά παράγουν ισχυρά μαγνητικά πεδία στα σημεία που βρίσκονται ακριβώς πάνω τους.
- Στο εξωτερικό των υποσταθμών υψηλής τάσης και των κέντρων υπερυψηλής τάσης (KYT) τα πεδία δημιουργούνται μόνο από τις γραμμές που συνδέονται σε αυτούς και όχι από τον εξοπλισμό τους.

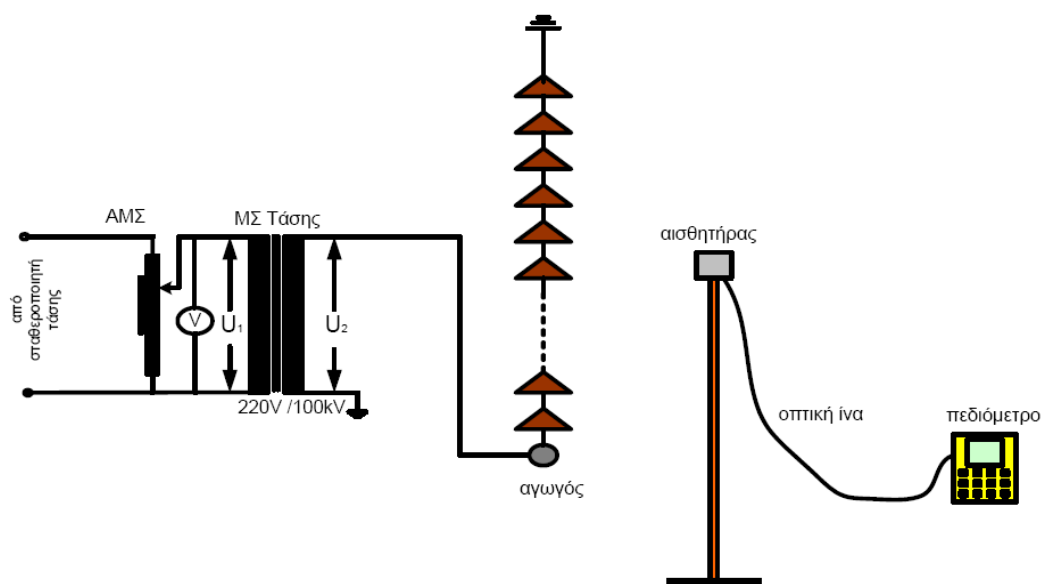
Σε κάθε περίπτωση πάντως, πρέπει να πληρούνται οι απαιτήσεις για την ασφαλή έκθεση σε χαμηλόσυχνα ηλεκτρομαγνητικά πεδία, ειδικά σε κρίσιμες περιοχές ή εγκαταστάσεις (κατοικημένες περιοχές, σχολεία, δημόσιες υπηρεσίες, αθλητικούς χώρους), δεδομένου ότι στην ακτινοβολία εκτίθεται κατά κύριο λόγο ο γενικός πληθυσμός, στον οποίο ανήκουν και ευαίσθητες ομάδες, όπως ηλικιωμένοι, μικρά παιδιά, πάσχοντες από ασθένειες κλπ.

Είναι συνεπώς επιτακτική η ανάγκη να πραγματοποιούνται αξιόπιστες μετρήσεις του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου, προκειμένου να διαπιστωθεί η συμμόρφωση με τα επίπεδα αναφοράς. Ένας από τους πλέον ενδεδειγμένους και αποτελεσματικούς τρόπους για την αξιολόγηση των πολυάριθμων φορέων που δραστηριοποιούνται στις συγκεκριμένες μετρήσεις είναι η συμμετοχή σε σχήματα συγκριτικών δοκιμών.

5.2 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Το σχήμα δοκιμών ικανότητας που διεξήχθη στις 22 Φεβρουαρίου 2013 στο Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (Ε.Υ.Τ. Ε.Μ.Π.), είχε ως σκοπό την αξιολόγηση των συμμετεχόντων εργαστηρίων στις μετρήσεις χαμηλόσυχνων ηλεκτρομαγνητικών πεδίων. Οι μετρήσεις διεξήχθησαν σύμφωνα με τις απαιτήσεις του προτύπου ΕΛΟΤ IEC 61786: 2003 και την πολιτική του ΕΣΥΔ ΠΔΙ/01/05/17-10-2007 που αφορά τη συμμετοχή των εργαστηρίων σε Σ.Δ.Ι.

Στα πλαίσια των διεργαστηριακών πειραμάτων που διεξήχθησαν, τα εργαστήρια κλήθηκαν να μετρήσουν το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο που προέκυπταν από συγκεκριμένες διατάξεις. Για το σκοπό των μετρήσεων του ηλεκτρικού πεδίου, ένα προσομοίωμα γραμμής μεταφοράς στο Ε.Υ.Τ. Ε.Μ.Π. τέθηκε σε τάση 35 kV (Σχήμα 5.1). Για την παραγωγή της υψηλής τάσης χρησιμοποιήθηκε ένας μετασχηματιστής δοκιμών με λόγο μετασχηματισμού 70V/35kV. Ανάμεσα στο δίκτυο χαμηλής τάσεως της ΔΕΗ, από το οποίο τροφοδοτείται ο μετασχηματιστής και στο πρωτεύον του μετασχηματιστή παρεμβάλλεται κατάλληλος σταθεροποιητής, ώστε οι αυξομειώσεις της τάσης του δικτύου να μην περνάνε στην επιβαλλόμενη τάση και αυτομετασχηματιστής για τη μεταβολή της επιβαλλόμενης τάσης. Η μέτρηση του επιπέδου της επιβαλλόμενης τάσης πραγματοποιείται στην πλευρά χαμηλής τάσης (U1) μέσω κατάλληλου διακριβωμένου βολτομέτρου. Οι ομάδες μετρήσεων κατέγραψαν το ηλεκτρικό πεδίο σε ύψος 1 m σε τρία προκαθορισμένα σημεία που απείχαν συγκεκριμένες αποστάσεις από τη γραμμή μεταφοράς, των οποίων οι αποστάσεις φαίνονται στον Πίνακα 5.2.



Σχήμα 5.1: Διάταξη μέτρησης ηλεκτρικού πεδίου

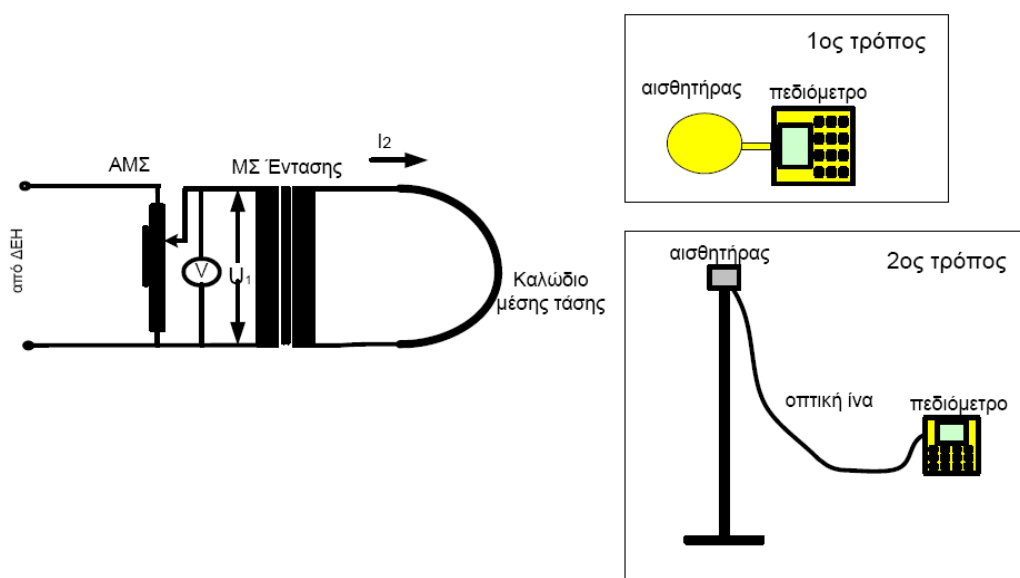
Οι πλειοψηφία των ομάδων έλαβαν μετρήσεις με ένα αισθητήρα, που ήταν συνδεδεμένος με ένα πεδίομετρο μέσω οπτικής ίνας. Ο αισθητήρας τοποθετήθηκε σε απόσταση ~10m από το πεδίομετρο για να μην επηρεάζονται οι μετρήσεις από την παρουσία των χειριστών.

Θέση	Απόσταση θέσης – γραμμής μεταφοράς (cm)
1	114
2	224
3	444

Πίνακας 5.2: Αποστάσεις θέσεων μέτρησης ηλεκτρικού πεδίου από γραμμή μεταφοράς

Για την αξιολόγηση των εργαστηρίων σε μετρήσεις μαγνητικού πεδίου, τροφοδοτήθηκε ένα ρευματοφόρο καλώδιο (Σχήμα 5.2). Το καλώδιο συνδέθηκε με το δευτερεύον ενός μετασχηματιστή έντασης (0-6000A), ο οποίος παρείχε ρεύμα 500 A. Η τροφοδοσία του μετασχηματιστή έντασης έγινε από το δίκτυο χαμηλής τάσης της ΔΕΗ μέσω αυτομετασχηματιστή. Η κάθε ομάδα έλαβε τρεις μετρήσεις σε τρία διαφορετικά σημεία, οι αποστάσεις των οποίων φαίνονται στον Πίνακα 5.3. Οι μετρήσεις έγιναν σε ύψος 1m και πάλι μέσω αισθητήρα και πεδιομέτρου. Αυτή τη

φορά ο αισθητήρας ήταν συνδεδεμένος στο πεδίομετρο είτε μέσω οπτικής ίνας είτε κατευθείαν, ανάλογα με τον τύπο του πεδιομέτρου. Όπως έχει προαναφερθεί, σε αντίθεση με το ηλεκτρικό πεδίο, η παρουσία ανθρώπων δεν επηρεάζει το μαγνητικό πεδίο, γι' αυτό και η απευθείας σύνδεση του πεδιομέτρου με τον αισθητήρα δεν αλλοιώνει το αποτέλεσμα της μέτρησης.



Σχήμα 5.2: Διάταξη μέτρησης μαγνητικού πεδίου από ρευματοφόρο αγωγό

1ος τρόπος: ο αισθητήρας συνδέεται απ' ευθείας στο πεδίομετρο

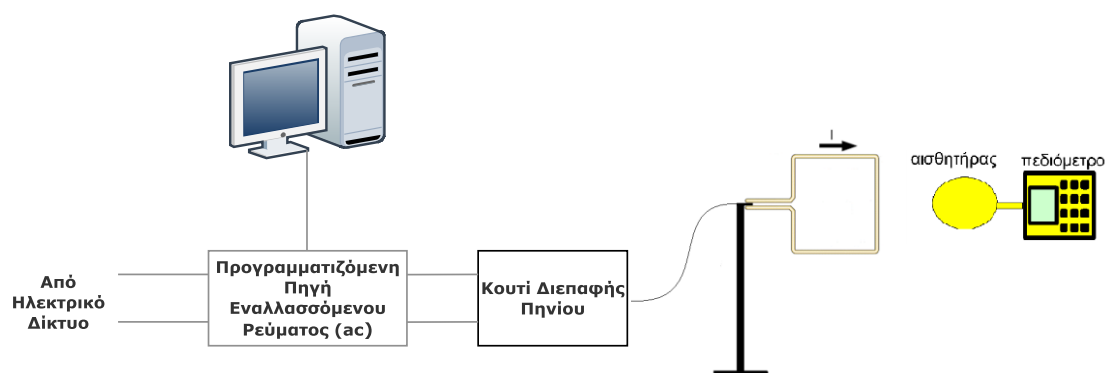
2ος τρόπος: ο αισθητήρας συνδέεται μέσω οπτικής ίνας στο πεδίομετρο

Θέση	Απόσταση θέσης – γραμμής μεταφοράς (cm)
1	64
2	333
3	652

Πίνακας 5.3: Αποστάσεις θέσεων μέτρησης μαγνητικού πεδίου από ρευματοφόρο αγωγό

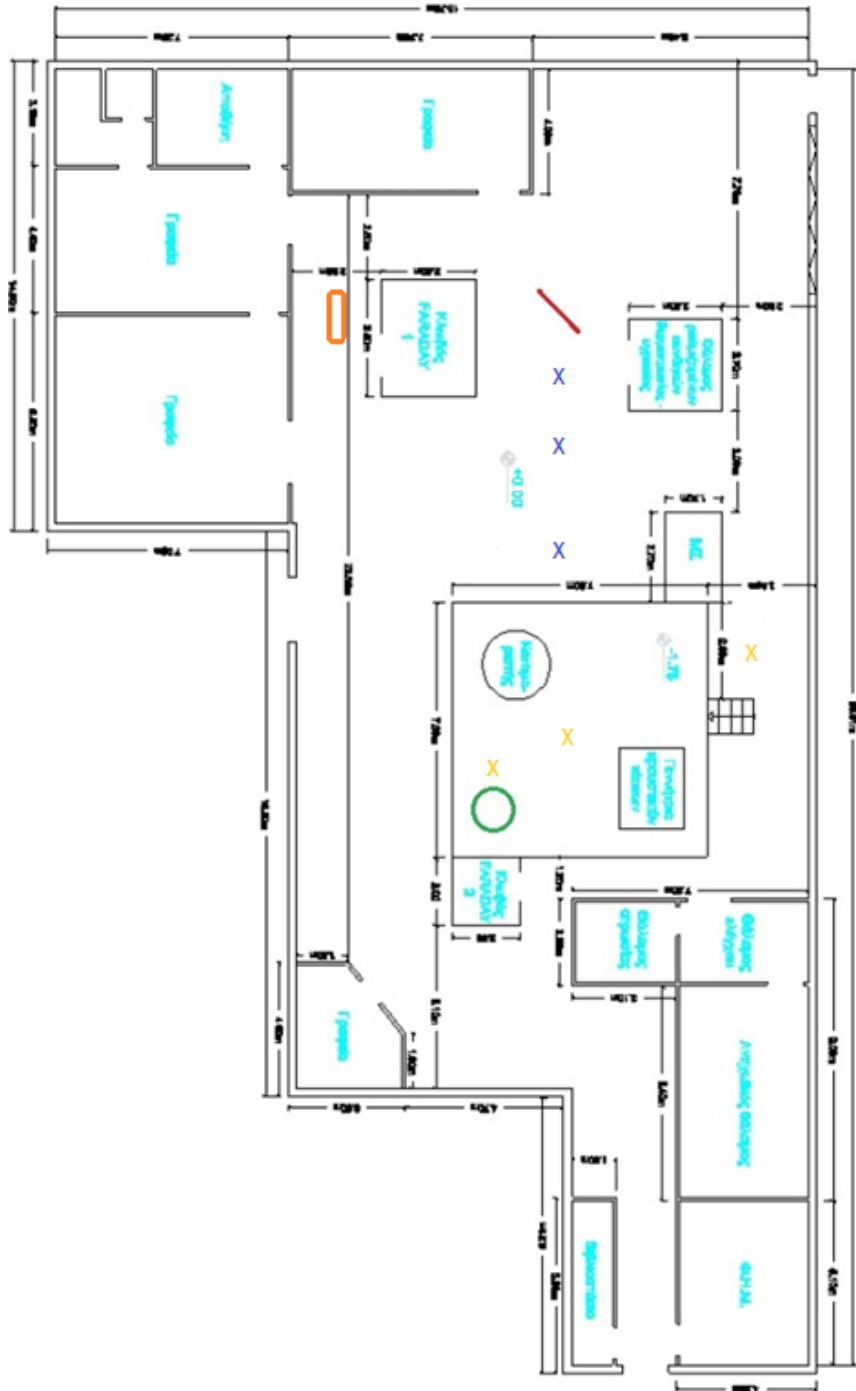
Για το μαγνητικό πεδίο τα εργαστήρια έλαβαν ακόμα μια επιπλέον μέτρηση στο κέντρο ενός τετραγωνικού πηνίου $1\text{m} \times 1\text{m}$ (Θέση 4) που διαρρέοταν από ρεύμα. Το πηνίο ήταν συνδεδεμένο με μια πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος μέσω μιας διεπαφής. Η πηγή αυτή ήταν το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας και τροφοδοτούσε το πηνίο με το χωρίς αρμονικές συνιστώσες απαιτούμενο ρεύμα. Η διαδικασία ελεγχόταν μέσω κατάλληλου λογισμικού που έδινε τη δυνατότητα ελέγχου της έντασης και της

συχνότητας του πεδίου. Επίσης, μέσω του λογισμικού αυτού εξασφαλιζόταν η ομοιομορφία και η σταθερότητα του πεδίου καθώς υπήρχε διαρκής αυτόματος έλεγχος και προσαρμογή του ρεύματος που διέρρεε το πηνίο. Στο κέντρο του πηνίου μετρήθηκε η συχνότητα του ρεύματος που το διέρρεε, η οποία ήταν ίση με 127 Hz. Τα εργαστήρια όταν λάμβαναν την μέτρηση της συχνότητας δεν γνώριζαν την τιμή αυτή. Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται η πειραματική διάταξη μέτρησης του μαγνητικού πεδίου από τετραγωνικό πηνίο.



Σχήμα 5.3: Διάταξη μέτρησης μαγνητικού και συχνότητας από το κέντρο πηνίου

Στο Σχήμα 5.4 που ακολουθεί, παρουσιάζεται η κάτοψη του Ε.Υ.Τ. Ε.Μ.Π.. Σε αυτό φαίνονται με κόκκινο η γραμμή μεταφοράς που τροφοδοτήθηκε με τάση 35 kV, με μπλε τα σημεία μέτρησης του ηλεκτρικού πεδίου, με πράσινο ο ρευματοφόρος αγωγός 500 A και με κίτρινο τα σημεία μέτρησης του μαγνητικού πεδίου. Επίσης με πορτοκαλί φαίνεται η θέση του πηνίου στο κέντρο του οποίου μετρήθηκε το μαγνητικό πεδίο και η συχνότητα.



Σχήμα 5.4: Κάτοψη Εργαστηρίου Υψηλών Τάσεων Ε.Μ.ΙΙ.

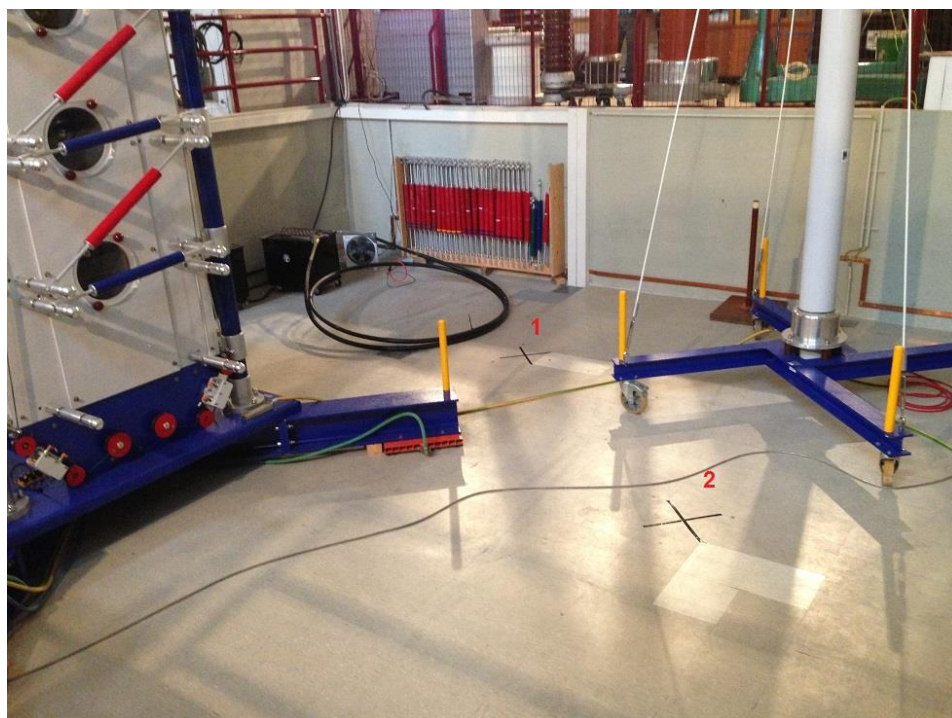
Πιο κάτω ακολουθούν φωτογραφίες των πειραματικών διατάξεων καθώς και του χώρου διεξαγωγής των πειραμάτων.



Φωτογραφία 5.1: (α) Ομοίωμα γραμμής μεταφοράς συνδεδεμένο με (β) μετασχηματιστή 100V/50kV. Αριστερά φαίνεται (γ) η τράπεζα χειρισμού της τάσης τροφοδότησης που περιλαμβάνει τον αυτομετασχηματιστή και (δ) ο σταθεροποιητής της χαμηλής τάσης του δικτύου.



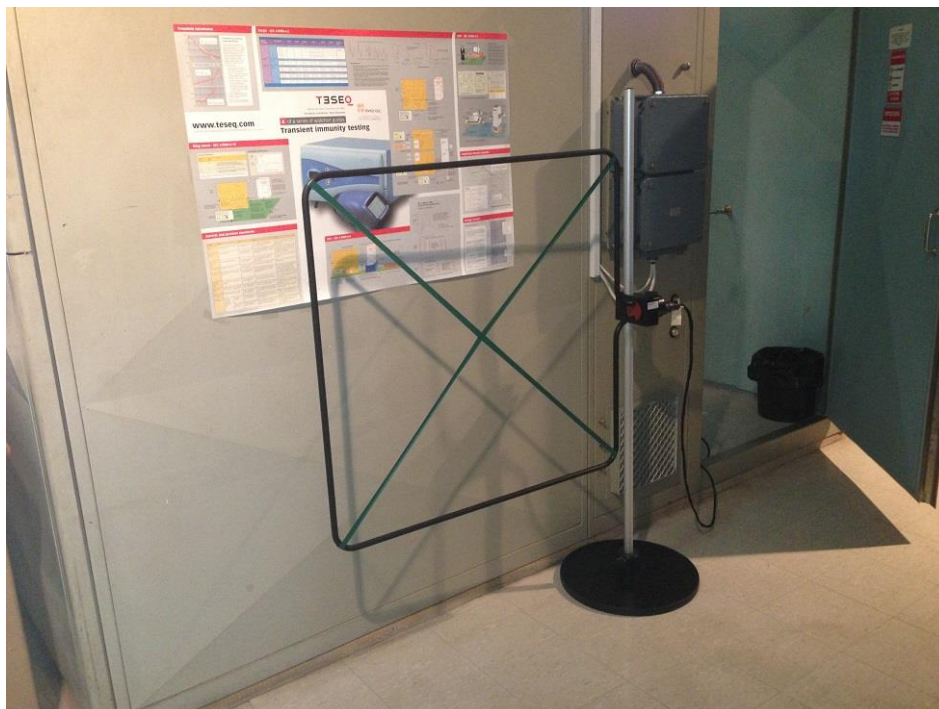
Φωτογραφία 5.2: Θέσεις μέτρησης 1, 2 και 3 του ηλεκτρικού πεδίου. Στο βάθος φαίνεται το ομοίωμα της γραμμής μεταφοράς συνδεδεμένο με τον μετασχηματιστή.



Φωτογραφία 5.3: Θέσεις μέτρησης 1 και 2 του μαγνητικού πεδίου. Πίσω αριστερά φαίνεται ο ρευματοφόρος αγωγός.



Φωτογραφία 5.4: Θέση μέτρησης 3 του μαγνητικού πεδίου. Κάτω στο βάθος φαίνεται ο ρευματοφόρος αγωγός.



Φωτογραφία 5.5: Πηνίο στο κέντρο του οποίου μετρήθηκε το μαγνητικό πεδίο και η συχνότητα του.

5.3 ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΕΣ

Στις συγκριτικές μετρήσεις συμμετείχαν δεκαέξι (16) ομάδες μέτρησης - «Εργαστήρια». Οι ομάδες μέτρησης έχουν χαρακτηριστεί με τυχαίο τρόπο ως Εργαστήρια 1-16. Η κάθε ομάδα γνωρίζει τον αριθμό της, αλλά δεν γνωρίζει τον αριθμό των υπολοίπων ομάδων.

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 συμμετείχαν μόνο τα δεκατέσσερα (14). Στην μέτρηση του μαγνητικού πεδίου και της συχνότητας από το κέντρο του πηνίου συμμετείχαν τα δεκατέσσερα (14) «Εργαστήρια».

Τα ανεξάρτητα εργαστήρια που έλαβαν μέρος στις διεργαστηριακές μετρήσεις χαμηλόσυχνων ηλεκτρομαγνητικών 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)
- Πανεπιστήμιο Πάτρας
- Πολεμική Αεροπορία (Εργοστάσιο Τηλεπικοινωνιακών – Ηλεκτρονικών Μέσων / ΤΑΠΕΝΗΜΑ)
- ΤΕΙ Κρήτης (Εργαστήριο Μη Ιοντιζουσών Ακτινοβολιών)
- ΤΕΙ Πάτρας (Εργαστήριο Υγειο-Φυσικής και Υπολογιστικής Νοημοσύνης)
- EMC ΕΛΛΑΣ Α.Ε.
- FASMETRICS Α.Ε.
- Sigint Solutions Ltd

5.4 ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

Οι ομάδες που συμμετείχαν είχαν διαφορετικό μετρητικό εξοπλισμό. Συγκεκριμένα, χρησιμοποίησαν τα παρακάτω πεδίομετρα:

- NARDA / EFA-300 (8 ομάδες)
- NARDA / EFA-3 (3 ομάδες)
- PMM / 8053 (2 ομάδες)
- ENERTECH consultants / EMDEX LITE (1 ομάδα)
- ENERTECH consultants / Standard EMDEX II (1 ομάδα)
- Mascheck Electronic / ESM-100 (1 ομάδα)

5.5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Το κάθε εργαστήριο κλήθηκε να παραδώσει τα αποτελέσματά του εντός τριών (3) ημερών από τη μέρα διεξαγωγής των πειραμάτων. Αυτό έγινε μέσω της φόρμας που ακολουθεί στο Σχήμα 5.5



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων

Πρωτόκολλο για Διεργαστηριακές Συγκριτικές Μετρήσεις ELF

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων του ΕΜΠ την Παρασκευή 22.02.2013. Κάθε εργαστήριο έχει στη διάθεσή του 45 λεπτά για την πραγματοποίηση των μετρήσεων. Εντός του ΕΥΤ υπάρχει

- υπό κλίμακα γραμμική μεταφοράς στην οποία τα εργαστήρια θα πρέπει να μετρήσουν σε τρεις συγκεκριμένες θέσεις και ύψος 1m το ηλεκτρικό πεδίο (E).
- καλώδιο, που θα διαρρέεται με ρεύμα και τα εργαστήρια θα πρέπει να μετρήσουν το μαγνητικό πεδίο (B) σε τρεις συγκεκριμένες θέσεις και ύψος 1m.
- βρόχος, που θα διαρρέεται με ρεύμα και τα εργαστήρια θα πρέπει να μετρήσουν, στο κέντρο του, το μαγνητικό πεδίο (B) και την συχνότητά του (f).

Ηλεκτρικό πεδίο				
Θέση	f [Hz]	U [V]	E [V/m]	αβεβαιότητα
1	50			
2	50			
3	50			

Μαγνητικό πεδίο				
Θέση	f [Hz]	I [A]	B [T]	αβεβαιότητα
1	50			
2	50			
3	50			
4		-		

	Ηλεκτρικό πεδίο	Μαγνητικό πεδίο
Εργαστήριο / Ομάδα / Διαπίστευση:		
Εξοπλισμός / Διακρίβωση:		
Χειριστής:		
Μετρούμενο εύρος συχνοτήτων:		

Κωδ. Αριθμός Εργαστηρίου:.....

Σχήμα 5.5: Φόρμα παράδοσης αποτελεσμάτων εργαστηρίου

Στους Πίνακες 5.4 και 5.5 παρουσιάζονται οι μετρήσεις ηλεκτρικού πεδίου, μαγνητικού πεδίου και συχνότητας σε συνδυασμό με τις αβεβαιότητες τους. Επίσης, δίνονται η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση, για την κάθε θέση μέτρησης ηλεκτρικού ή μαγνητικού πεδίου.

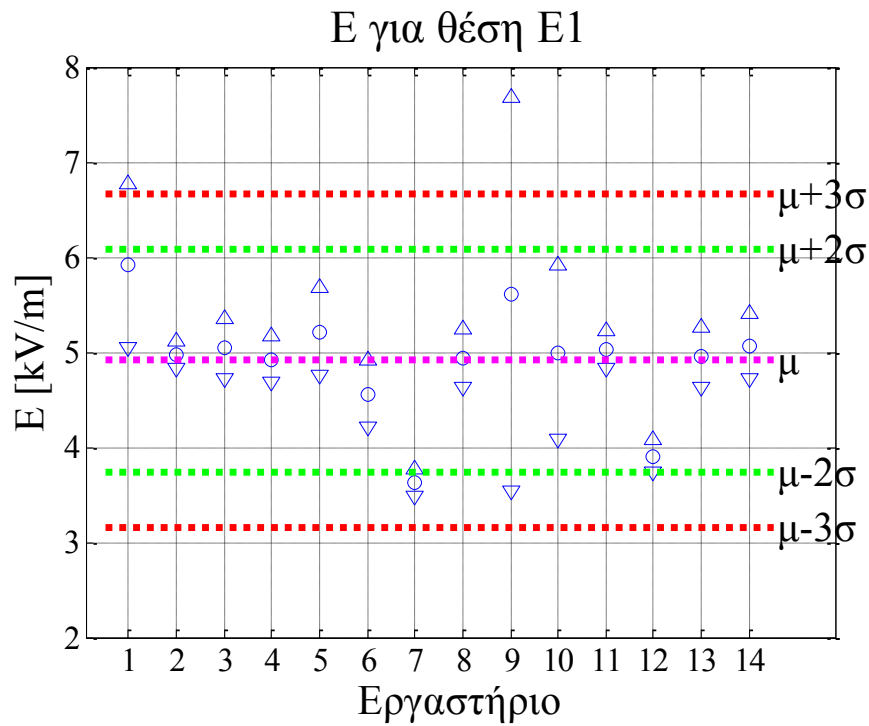
Εργαστήριο	Θέση 1		Θέση 2		Θέση 3	
	E ₁ [kV/m]	UE ₁ [%]	E ₂ [kV/m]	UE ₂ [%]	E ₃ [V/m]	UE ₃ [%]
1	5,910	14,70	1,470	14,71	234,8	14,70
2	4,970	3,02	1,230	3,25	246,0	3,25
3	5,040	6,3	1,240	6,3	245,0	6,3
4	4,924	5,0	1,218	5,0	241,2	5,0
5	5,214	8,92	1,267	8,92	253,9	8,36
6	4,557	7,7579	1,179	7,7579	237,3	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 5.4: Μετρήσεις Ηλεκτρικού Πεδίου

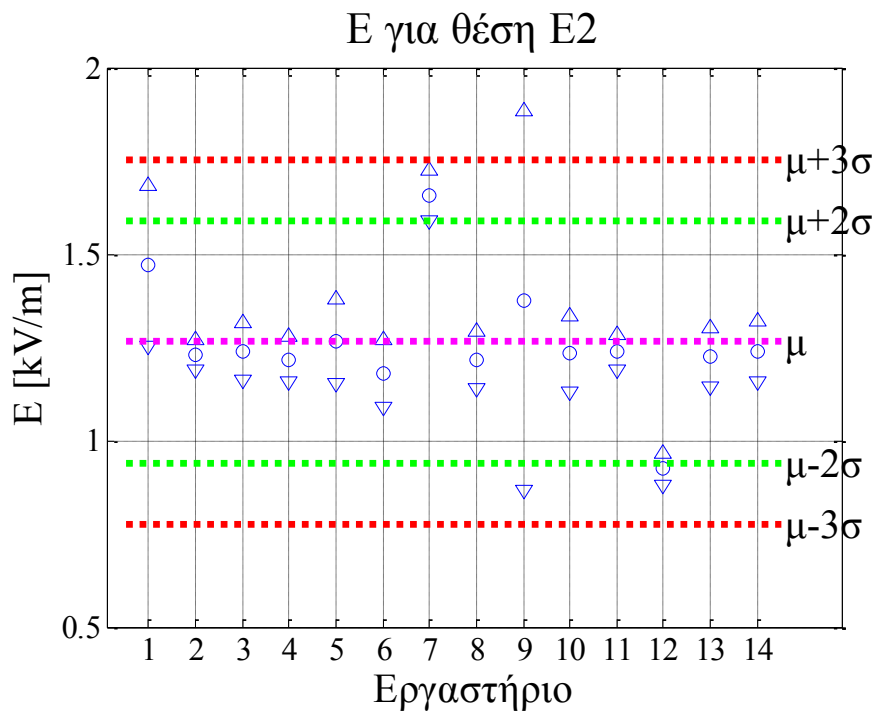
Εργαστήριο	Θέση 1		Θέση 2		Θέση 3		Θέση 4			
	B ₁ [μΤ]	UB ₁ [%]	B ₂ [μΤ]	UB ₂ [%]	B ₃ [nΤ]	UB ₃ [%]	B ₄ [μΤ]	UB ₄ [%]	f ₄ [Hz]	Uf ₄ [%]
1	61,05	14,70	2,226	14,70	530,0	14,78	1,200	14,71	127,0	1,18
2	59,20	3,55	2,230	3,14	590,0	5,08	1,160	2,59	127,5	1,18
3	60,52	5,17	2,295	5,17	501,0	5,17	1,170	5,17	127,5	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 5.5: Μετρήσεις Μαγνητικού Πεδίου

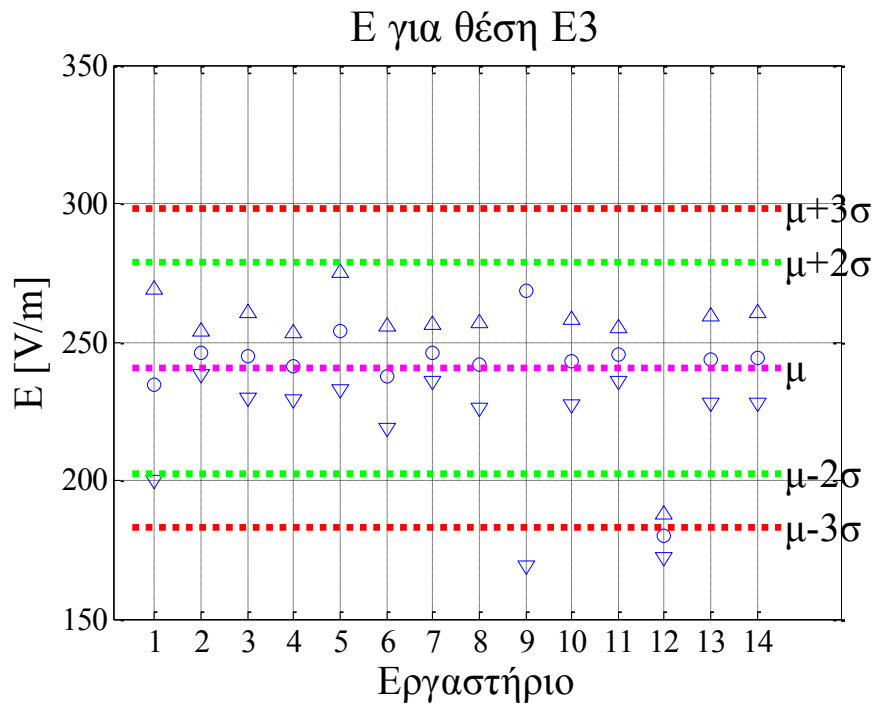
Πιο κάτω, στα Διαγράμματα 5.1 μέχρι 5.8 παρουσιάζονται οι μετρήσεις κάθε εργαστηρίου, η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση των μετρήσεων, για την κάθε θέση μέτρησης ηλεκτρικού ή μαγνητικού πεδίου. Στα διαγράμματα αυτά φαίνονται και οι δείκτες αβεβαιότητας για το κάθε εργαστήριο, όπως δόθηκαν από αυτά.



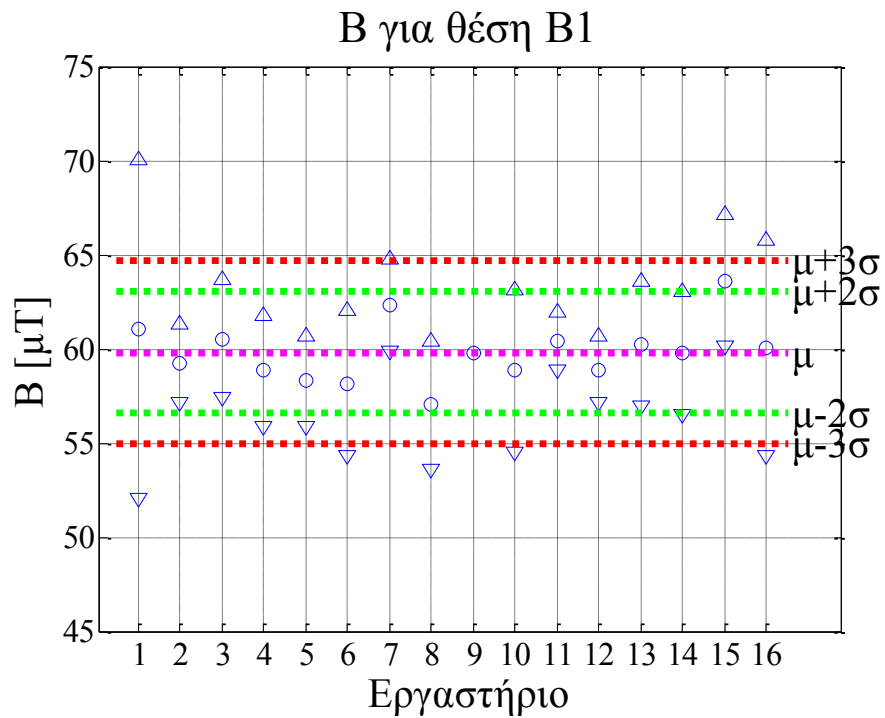
Διάγραμμα 5.1: Μετρήσεις και αβεβαιότητες των εργαστηρίων για την θέση μέτρησης 1 του ηλεκτρικού πεδίου



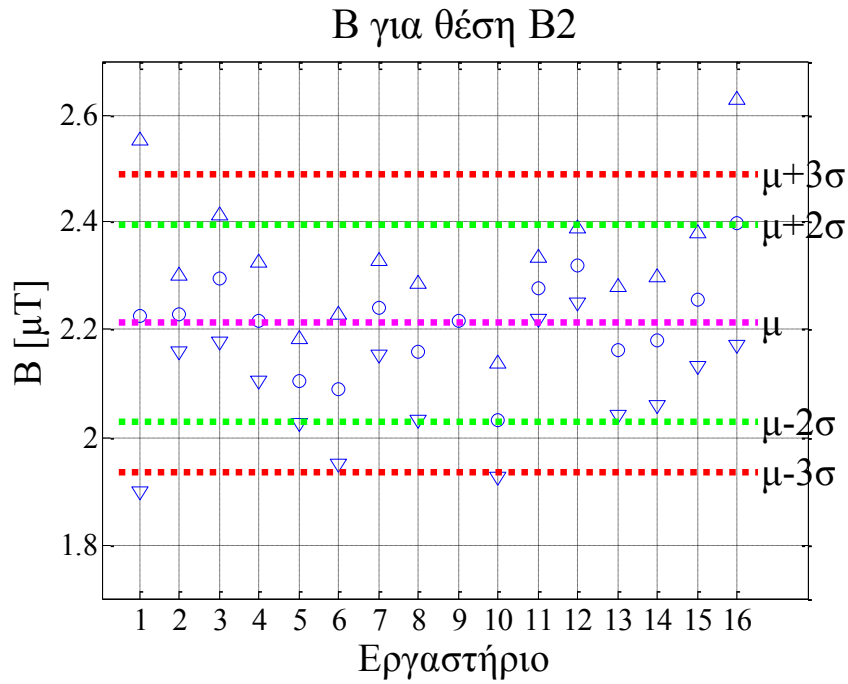
Διάγραμμα 5.2: Μετρήσεις και αβεβαιότητες των εργαστηρίων για την θέση μέτρησης 2 του ηλεκτρικού πεδίου



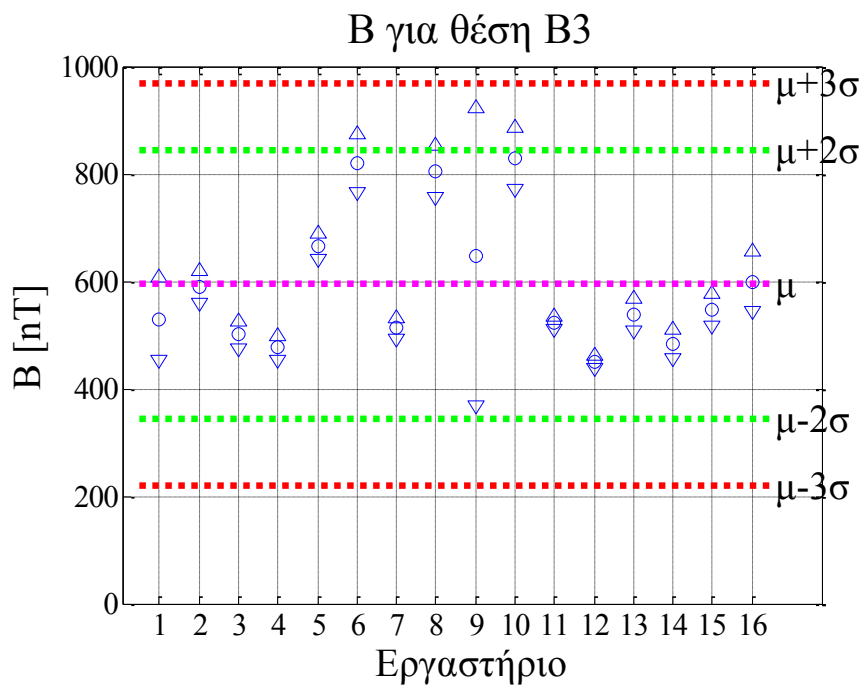
Διάγραμμα 5.3: Μετρήσεις και αβεβαιότητες των εργαστηρίων για την θέση μέτρησης 4 του ηλεκτρικού πεδίου



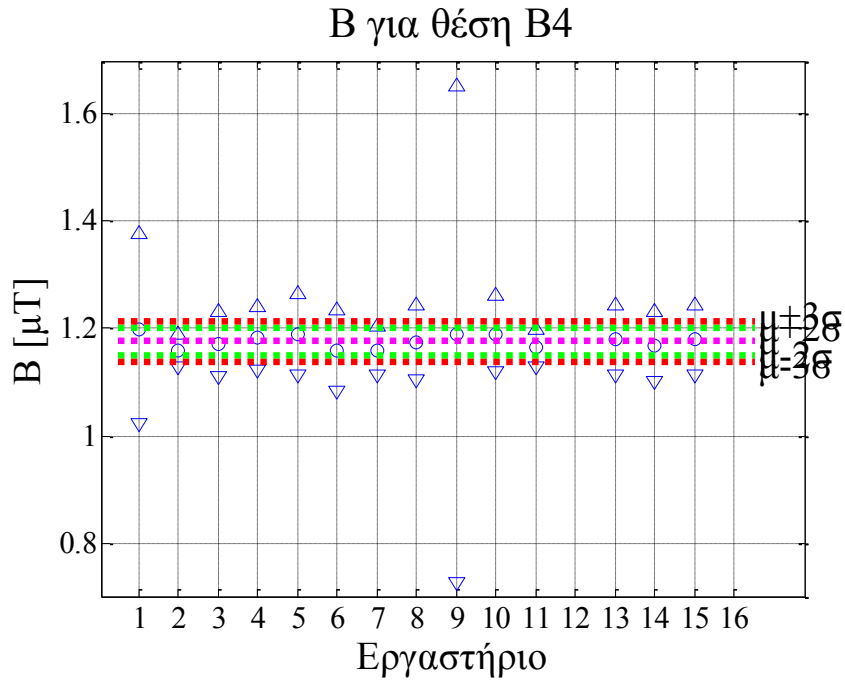
Διάγραμμα 5.4: Μετρήσεις και αβεβαιότητες των εργαστηρίων για την θέση μέτρησης 1 του μαγνητικού πεδίου



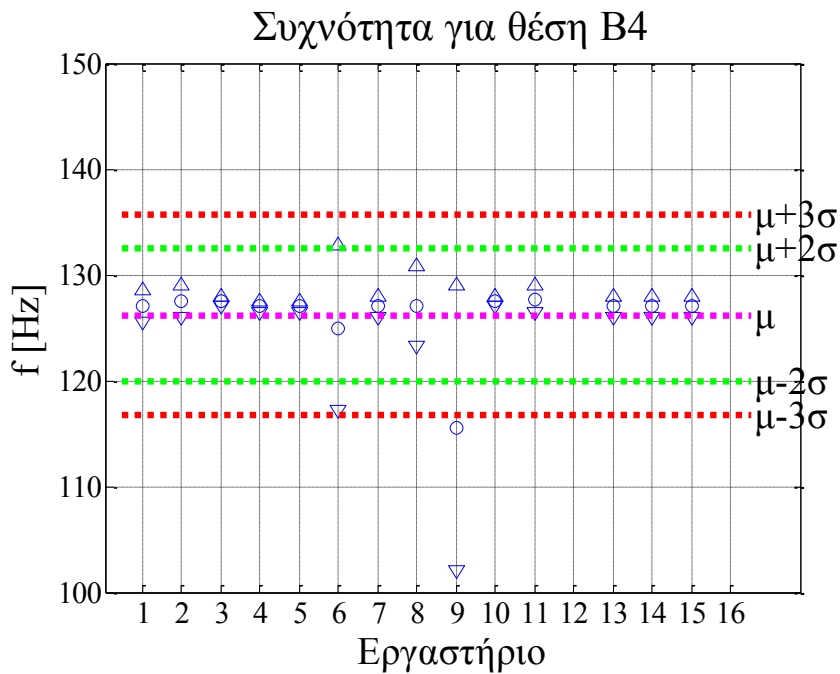
Διάγραμμα 5.5: Μετρήσεις και αβεβαιότητες των εργαστηρίων για την θέση μέτρησης 2 του μαγνητικού πεδίου



Διάγραμμα 5.6: Μετρήσεις και αβεβαιότητες των εργαστηρίων για την θέση μέτρησης 3 του μαγνητικού πεδίου



Διάγραμμα 5.7: Μετρήσεις και αβεβαιότητες των εργαστηρίων για την μέτρηση μαγνητικού πεδίο στο κέντρο πηγίου



Διάγραμμα 5.8: Μετρήσεις και αβεβαιότητες των εργαστηρίων για την μέτρηση συχνότητας στο κέντρο πηγίου

5.6 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ – Z-SCORES

Στους Πίνακες 5.6 έως 5.8 που ακολουθούν παρουσιάζονται οι επιδόσεις των εργαστηρίων στις μετρήσεις ηλεκτρικού πεδίου, μαγνητικού πεδίου και συχνότητας αντίστοιχα. Με ροζ χρώμα παρουσιάζονται τα “warning signals” και με κόκκινο χρώμα παρουσιάζονται τα “action signals”.

Ακολουθούν τα Διαγράμματα 5.9 μέχρι 5.16 όπου παρουσιάζονται τα z-scores των εργαστηρίων υπολογισμένα με χρήση του επαναληπτικού αλγορίθμου του προτύπου ISO 13528, όπως έχει αναλυθεί στο κεφάλαιο 3, για τις διάφορες μετρήσεις, ταξινομημένα κατά αύξουσα σειρά.

Οι πλήρεις πίνακες υπολογισμού με τον επαναληπτικό ανθεκτικό αλγόριθμο και τα z-scores σε αύξουσα σειρά παρατίθενται στο Παράρτημα 1 μαζί με σημειώσεις για την κατά περίπτωση επεξεργασία ή επιλογή των δεδομένων.

Εργαστήριο	z-score		
	Θέση 1 (E1)	Θέση 2 (E2)	Θέση 3 (E3)
Lab 1	2,121	2,480	-1,332
Lab 2	0,010	-0,267	0,403
Lab 3	0,167	-0,153	0,248
Lab 4	-0,093	-0,405	-0,340
Lab 5	0,558	0,156	1,627
Lab 6	-0,918	-0,851	-0,944
Lab 7	-3,001	4,632	0,403
Lab 8	-0,057	-0,428	-0,278
Lab 9	1,450	1,392	3,842
Lab 10	0,073	-0,233	-0,093
Lab 11	0,136	-0,187	0,326
Lab 12	-2,375	-3,781	-9,820
Lab 13	-0,044	-0,347	0,016
Lab 14	0,217	-0,176	0,093

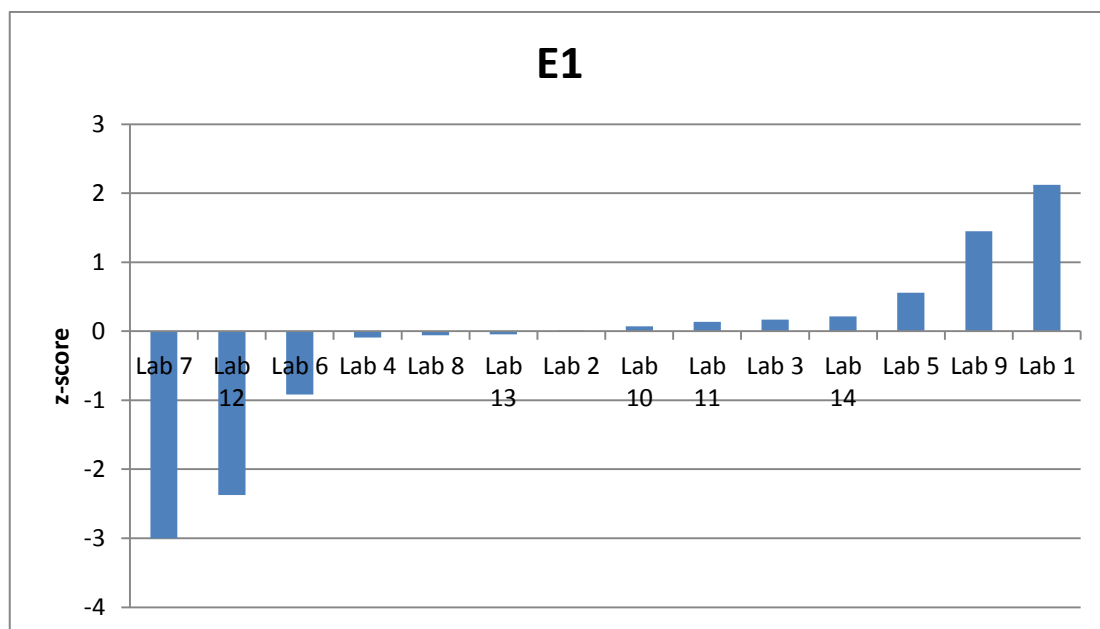
Πίνακας 5.6: Δείκτες επίδοσης ηλεκτρικού πεδίου

Εργαστήριο	z-score			
	Θέση 1 (B1)	Θέση 2 (B2)	Θέση 3 (B3)	Θέση 4 (B4)
Lab 1	0,935	0,154	-0,454	1,612
Lab 2	-0,353	0,198	0,039	-1,075
Lab 3	0,566	0,914	-0,692	-0,403
Lab 4	-0,596	0,044	-0,898	0,403
Lab 5	-0,986	-1,189	0,655	0,940
Lab 6	-1,083	-1,354	1,917	-1,142
Lab 7	1,826	0,308	-0,593	-1,075
Lab 8	-1,877	-0,583	1,794	-0,188
Lab 9	0,044	0,044	0,504	0,940
Lab 10	-0,610	-1,992	1,991	0,967
Lab 11	0,483	0,715	-0,515	-0,806
Lab 12	-0,575	1,189	-1,110	0,268
Lab 13	0,378	-0,561	-0,388	-0,605
Lab 14	0,058	-0,352	-0,839	0,268
Lab 15	2,710	0,473	-0,306	1,612
Lab 16	0,246	2,069	0,121	-1,075

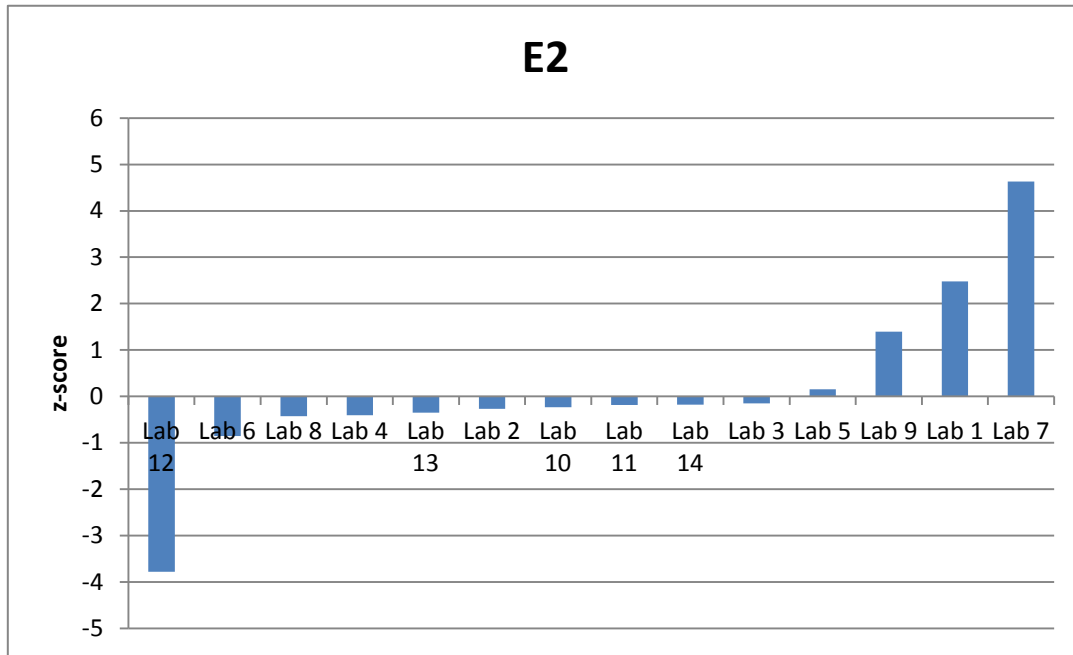
Πίνακας 5.7: Δείκτες επίδοσης μαγνητικού πεδίου

Εργαστήριο	z-score
Lab 1	0,805
Lab 2	1,302
Lab 3	1,302
Lab 4	0,805
Lab 5	0,805
Lab 6	-1,184
Lab 7	0,805
Lab 8	0,805
Lab 9	-10,631
Lab 10	1,302
Lab 11	1,471
Lab 12	0,805
Lab 13	0,805
Lab 14	0,805

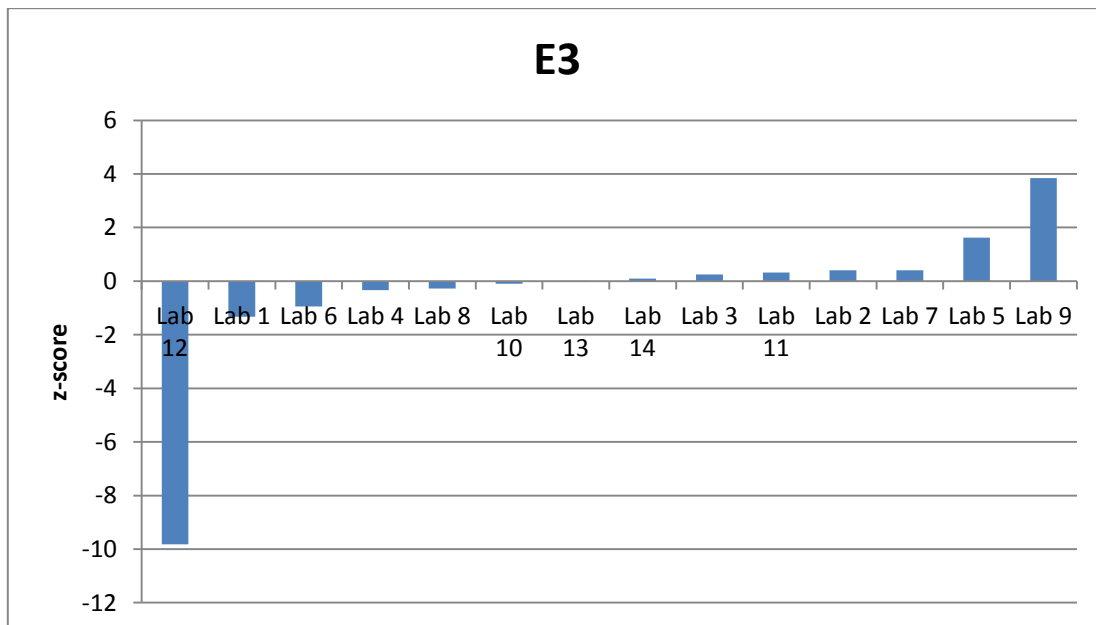
Πίνακας 5.8: Δείκτες επίδοσης συχνότητας



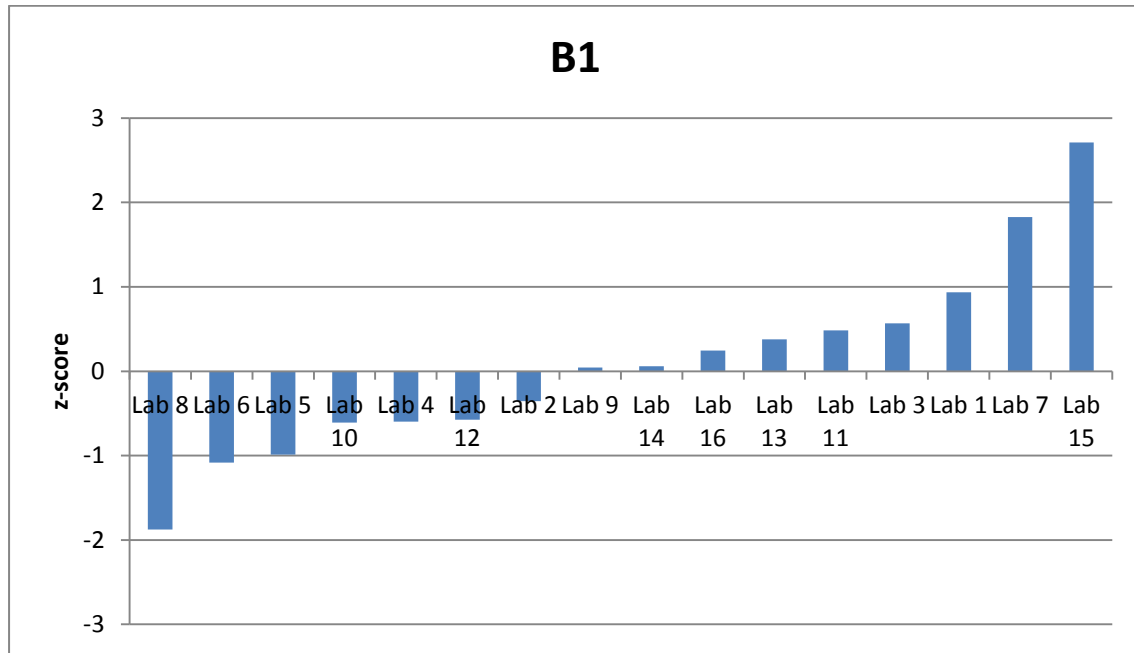
Διάγραμμα 5.9: Δείκτες επίδοσης για την θέση μέτρησης 1 του ηλεκτρικού πεδίου, ταξινομημένοι κατά αύξουσα σειρά



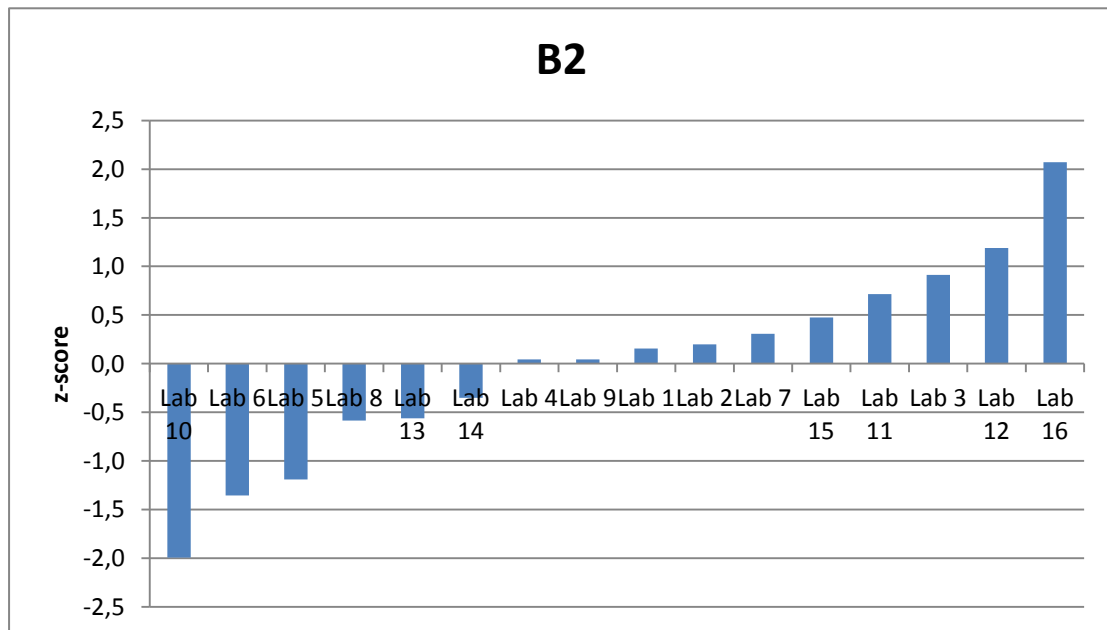
Διάγραμμα 5.10: Δείκτες επίδοσης για την θέση μέτρησης 2 του ηλεκτρικού πεδίου, ταξινομημένοι κατά αύξουσα σειρά



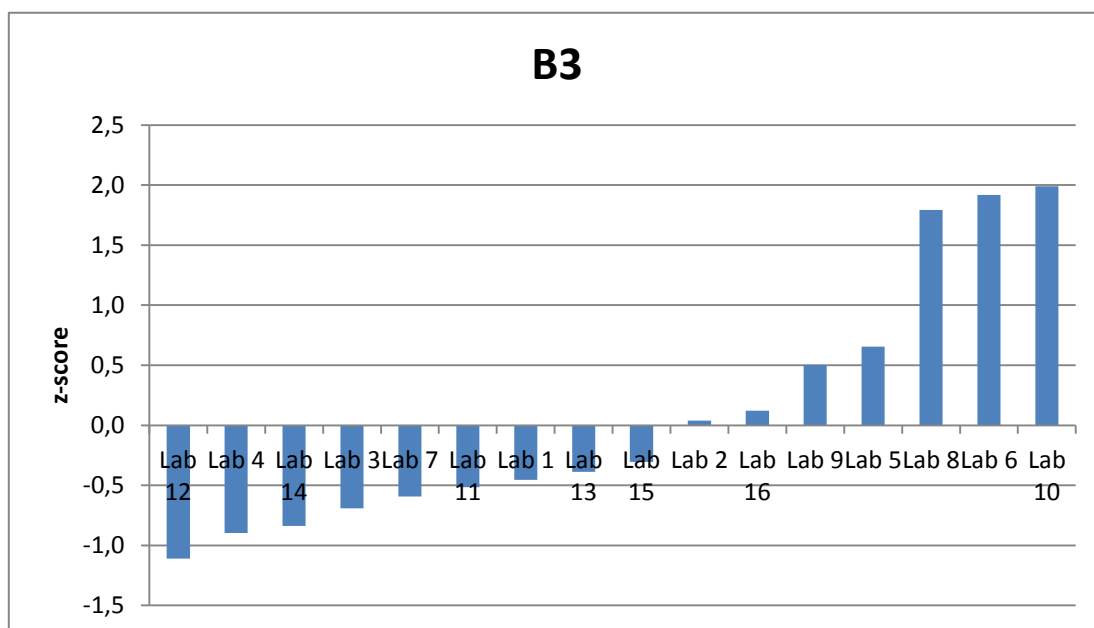
Διάγραμμα 5.11: Δείκτες επίδοσης για την θέση μέτρησης 3 του ηλεκτρικού πεδίου, ταξινομημένοι κατά αύξουσα σειρά



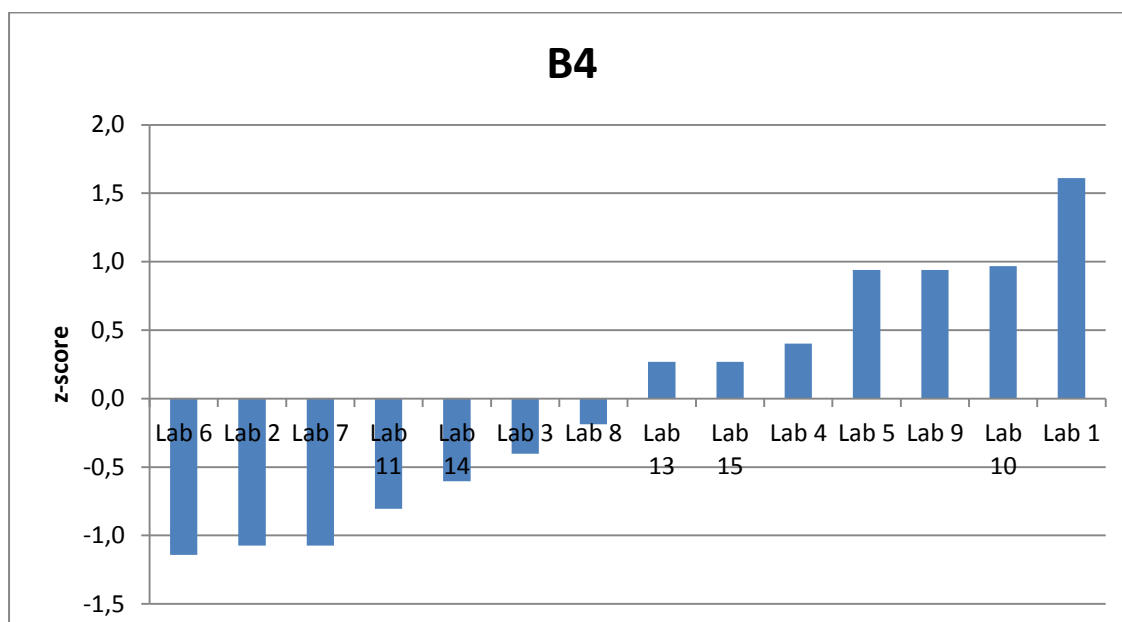
Διάγραμμα 5.12: Δείκτες επίδοσης για την θέση μέτρησης 1 του μαγνητικού πεδίου, ταξινομημένοι κατά αύξουσα σειρά



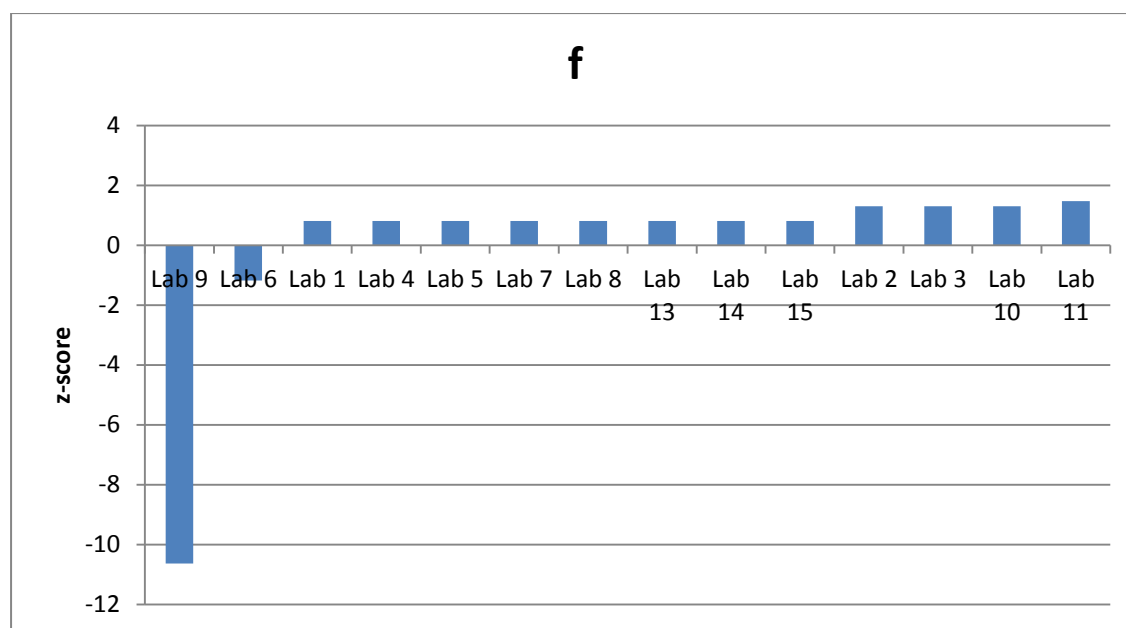
Διάγραμμα 5.13: Δείκτες επίδοσης για την θέση μέτρησης 2 του μαγνητικού πεδίου, ταξινομημένοι κατά αύξουσα σειρά



Διάγραμμα 5.14: Δείκτες επίδοσης για την θέση μέτρησης 3 του μαγνητικού πεδίου, ταξινομημένοι κατά αύξουσα σειρά



Διάγραμμα 5.15: Δείκτες επίδοσης για την μέτρηση μαγνητικού πεδίου στο κέντρο πηνίου, ταξινομημένοι κατά αύξουσα σειρά



Διάγραμμα 5.16: Δείκτες επίδοσης για τη συχνότητας στο κέντρο πηνίου, ταξινομημένοι κατά αύξουσα σειρά

5.7 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στους Πίνακες 5.9 έως 5.11 που ακολουθούν παρουσιάζονται τα εργαστήρια τα οποία είχαν τουλάχιστον ένα z-score μεγαλύτερο του 2 στο ηλεκτρικό πεδίο, το μαγνητικό πεδίο και τη συχνότητα αντίστοιχα.

Θέση μέτρησης	$2 < |z| < 3$	$|z| \geq 3$
E1	Lab 1 Lab 12	Lab 7
E2	Lab 1	Lab 7 Lab 12
E3	-	Lab 9 Lab 12

Πίνακας 5.9: z-scores μετρήσεων ηλεκτρικού πεδίου

Θέση μέτρησης	$2 < |z| < 3$	$|z| \geq 3$
B1	Lab 15	-
B2	Lab 16	-
B3	-	-
B4	-	-

Πίνακας 5.10: z-scores μετρήσεων μαγνητικού πεδίου

	$2 < |z| < 3$	$|z| \geq 3$
Συχνότητα	-	Lab 9

Πίνακας 5.11: z-scores μετρήσεων συχνότητας

Αναλύοντας τα αποτελέσματα των Πινάκων 5.6 – 5.11 προκύπτουν τα εξής βασικά συμπεράσματα:

- Τα συμμετέχοντα εργαστήρια είχαν καλύτερες επιδόσεις στις μετρήσεις που αφορούσαν το μαγνητικό πεδίο, καθώς δεν παρουσιάστηκε κανένα $|z| \geq 3$. Δεν πρέπει να παραληφτεί όμως το ότι τα Εργαστήρια, 15 και 16 είχαν $2 < |z| < 3$ που αποτελεί και «προειδοποιητικό σήμα» (warning signal). Πιθανά αίτια μπορεί να είναι τα σφάλματα των χειριστών ή η μη ορθή βαθμονόμηση των οργάνων.
- 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 είχε δηλώσει 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, για τις οποίες προέκυψε δείκτης $|z| > 3$, ήταν αποτέλεσμα ενός συστηματικού λάθους (bias) που οφειλόταν στον μετρητικό εξοπλισμό. Για τη λήψη της

μέτρησης από συγκεκριμένο όργανο που χρησιμοποιούσε το Εργαστήριο 12, απαιτείτο η κοντινή παρουσία του χειριστή, η οποία είχε ως αποτέλεσμα την αλλοίωση του ηλεκτρικού πεδίου. Τα «σήματα δράσης» (action signals) που έλαβαν τα εργαστήρια 7 και 9 για τις μετρήσεις τους στο ηλεκτρικό πεδίο πιθανώς να οφείλονται σε λάθος βαθμονόμηση των οργάνων ή σε λάθη των χειριστών. Παρά την γενικά καλή συμπεριφορά του Εργαστηρίου 1, έλαβε «προειδοποιητικό σήμα» (warning signal) στη μέτρηση του E_1 εξαιτίας της έλλειψης διακρίβωσης του αισθητήρα τα τελευταία 4 χρόνια.

- Τα Εργαστήρια 13 και 15 χρησιμοποίησαν ίδιο όργανο μέτρησης αλλά διαφορετικής διαμέτρου αισθητήρα στις μετρήσεις μαγνητικού πεδίου. Στη μέτρηση του B_1 ενώ το Εργαστήριο 13 είχε ικανοποιητικό δείκτη επίδοσης, το Εργαστήριο 15 έλαβε «προειδοποιητικό σήμα», κάτι που πιθανώς να οφείλεται στο ότι όσο μεγαλύτερος είναι ο αισθητήρας του πεδιομέτρου, τόσο πιο ακριβής είναι η μέτρησή του.
- Μια παρατήρηση που μπορεί να γίνει είναι ότι ενώ οι αβεβαιότητες των περισσότερων εργαστηρίων βρίσκονταν κάτω από το 15%, οι αβεβαιότητες που έχουν δοθεί από το Εργαστήριο 9 κυμαίνονταν γύρω στο 40%.

Βιβλιογραφία

- [1] 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».
- [2] ISO/IEC Guide 43-1: 1997, “Proficiency testing by Interlaboratory Comparisons - Part 1: Development and operation of proficiency testing schemes”.
- [3] ISO/IEC Guide 43-2: 1997, “Proficiency testing by Interlaboratory Comparisons - Part 2: Selection and use of proficiency testing schemes by laboratory accreditation bodies”.
- [4] ISO 13528: 2005, “Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparisons”.
- [5] ISO 5725-6: 1994, “Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results – Part 2: Basic method for the determination of repeatability and reproducibility of a standard measurement method”.
- [6] Ελένη Π. Νικολοπούλου, «Αξιολόγηση διεργαστηριακών μετρήσεων ηλεκτρομαγνητικού πεδίου», Διπλωματική εργασία, 2010.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΕΦΑΡΜΟΓΗ 2 ΥΨΗΛΕΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ

6.1 ΥΨΙΣΥΧΝΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΚΑΙ ΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΠΕΔΙΑ

Σημαντικό τμήμα του φάσματος των μη ιοντιζουσών ακτινοβολιών καταλαμβάνουν τα ραδιοκύματα. Με τον όρο ραδιοκύματα αναφερόμαστε συνήθως στα κύματα συχνότητας από 3kHz έως 300GHz που χρησιμοποιούνται για υπηρεσίες σταθερής και κινητής επικοινωνίας, ραδιοτηλεοπτικές εκπομπές, ραντάρ και άλλα συστήματα πλοήγησης, δορυφορικές επικοινωνίες, δίκτυα ηλεκτρονικών υπολογιστών και άλλες πολυάριθμες εφαρμογές. Τα ραδιοκύματα διαφέρουν από τα ELF πεδία τόσο ως προς τον τρόπο διάδοσης όσο και ως προς τις βιολογικές τους επιδράσεις :

- Η ενέργεια που μεταφέρουν οι μη ιοντίζουσες ακτινοβολίες, αντί να παράγει φορτισμένα ιόντα, όταν απορροφάται από την ύλη επαρκεί μόνο για τη διέγερση των ηλεκτρονίων, δηλαδή τη μετάβασή τους σε υψηλότερη ενεργειακή κατάσταση. Παρόλα αυτά, για διαφορετικούς τύπους μη ιοντιζουσών ακτινοβολιών καταγράφονται διαφορετικοί μηχανισμοί αλληλεπίδρασης με τον ανθρώπινο οργανισμό. Στην περίπτωση των ραδιοκυμάτων θεωρείται σε γενικές γραμμές πιθανή η αύξηση της θερμοκρασίας του σώματος, λόγω θέρμανσης των ιστών από τα επαγόμενα ρεύματα, ενώ στις ELF ακτινοβολίες αποδίδεται πιο σπάνια το φαινόμενο αυτό.

- Η διάδοση των ραδιοκυμάτων συνίσταται στην όδευση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων και στη μεταφορά ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας από μια κεραία πομπού σε μια κεραία δέκτη σε περιβάλλον που συμμετέχουν τόσο το έδαφος και η τροπόσφαιρα ή η ιονόσφαιρα, όσο και διάφορες φυσικές ή τεχνητές κατασκευές.

Λόγω της συνεχούς τεχνολογικής προόδου και της εξάπλωσης των τηλεπικοινωνιών, ο πληθυσμός εκτίθεται σε αυξανόμενα επίπεδα ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, γεγονός που προκαλεί έντονη ανησυχία και καχυποψία ως προς τις πιθανές βιολογικές επιπτώσεις των πεδίων. Ιδιαίτερη συζήτηση γίνεται γύρω από την ακτινοβολία που εκπέμπεται από τις σταθερές υποδομές που χρησιμοποιούνται στην κινητή τηλεφωνία, όπως οι σταθμοί βάσης και οι κεραίες τους, οι οποίες προβλέπουν τη σύνδεση προς και από τα κινητά τηλέφωνα. Αρκετές μάλιστα έρευνες συνδέουν την αύξηση συμπτωμάτων ασθενειών με την εγγύτητα σε τέτοιες πηγές ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Αυτό συμβαίνει, διότι στο χώρο γύρω από τους σταθμούς βάσης εκπέμπεται συνεχώς μεγάλη ισχύς με αποτέλεσμα να είναι μεγάλα και τα παραγόμενα πεδία.

Αν και η μεταδιδόμενη ισχύς μειώνεται με το τετράγωνο της απόστασης από τη βάση της κεραίας, η κυβελωτή δομή των συστημάτων κινητών επικοινωνιών επιβάλλει την πυκνή εγκατάσταση σταθμών βάσης προκειμένου να εξυπηρετούνται όλοι οι χρήστες του δικτύου. Σε κάθε σταθμό βάσης αποδίδεται μια ζώνη ραδιοσυχνοτήτων που χρησιμοποιείται σε μια μικρή γεωγραφική περιοχή που καλείται κυψέλη (cell).

Ένα πολύ σημαντικό μέγεθος κατά τη μελέτη των επιπτώσεων των τηλεπικοινωνιακών διατάξεων είναι ο λόγος έκθεσης. Ορίζεται ως ένας καθαρός αριθμός που χρησιμοποιείται για να σταθμιστεί η επιβάρυνση στην έκθεση του κοινού από διάταξη/διατάξεις που λειτουργούν σε μία σχετικά στενή περιοχή συχνοτήτων (π.χ. στην συχνότητα εκπομπής μιας συγκεκριμένης κεραίας ή στην φασματική περιοχή που χρησιμοποιείται από μια συγκεκριμένη υπηρεσία) σε μία συγκεκριμένη θέση. Αν εξετάζονται (α) ηλεκτροδιεγερτικές ή θερμικές επιδράσεις, (β) οι επιδράσεις του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου (για συχνότητες μικρότερες από 10MHz ή σε συνθήκες κοντινού αντιδραστικού πεδίου) και (γ) η

έκθεση σε παλμικά διαμορφωμένα πεδία, υφίστανται περισσότεροι από ένας λόγοι έκθεσης που υπολογίζονται με διαφορετικό τρόπο.

Για να εκτιμηθεί κατά πόσον υπερβαίνονται τα επίπεδα αναφοράς για την έκθεση σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία χρησιμοποιείται ο συνολικός λόγος έκθεσης. Πρόκειται για το άθροισμα των σχετικών λόγων έκθεσης που προκύπτουν για το ίδιο φυσικό μέγεθος (ηλεκτρικό ή μαγνητικό πεδίο) και την ίδια επίδραση (ηλεκτροδιεγερτική ή θερμική) σε μία θέση μέτρησης μία συγκεκριμένη χρονική στιγμή.

Για συχνότητες μεγαλύτερες των 10 MHz και μικρότερες από 10 GHz και για μετρήσεις στο μακρινό ή στο κοντινό ακτινοβολούν πεδίο της κεραίας, ο λόγος έκθεσης λ για μία συγκεκριμένη συχνότητα (ή ζώνη συχνοτήτων) και θέση μέτρησης υπολογίζεται ως εξής :

$$\lambda = \frac{E^2}{L_E^2} = \frac{H^2}{L_H^2} = \frac{S}{L_S} \quad (6.1)$$

όπου:

E η μέση τιμή του μετρούμενου ηλεκτρικού πεδίου στη συγκεκριμένη συχνότητα

H η μέση τιμή του μετρούμενου μαγνητικού πεδίου στη συγκεκριμένη συχνότητα

L_E το επίπεδο αναφοράς για το ηλεκτρικό πεδίο στη συγκεκριμένη συχνότητα

L_H το επίπεδο αναφοράς για το μαγνητικό πεδίο στη συγκεκριμένη συχνότητα

S η μέση τιμή της ισοδύναμης πυκνότητας ισχύος

L_S το επίπεδο αναφοράς για την ισοδύναμη πυκνότητα ισχύος στη συγκεκριμένη συχνότητα

Για μετρήσεις στις ανωτέρω συχνότητες στο κοντινό αντιδραστικό πεδίο της κεραίας υπάρχει διαφοροποίηση του λόγου έκθεσης σε λόγο έκθεσης λ_E και λ_H , βάσει των μετρήσεων του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου ξεχωριστά, δηλαδή

$$\lambda_E = \frac{E^2}{L_E^2} \quad (6.2)$$

$$\lambda_H = \frac{H^2}{L_H^2} \quad (6.3)$$

Στην ελληνική νομοθεσία τίθενται οι αρχές για τον τρόπο διενέργειας μετρήσεων των επιπέδων της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στο περιβάλλον κεραιών με την Κ.Υ.Α. Αρ. 2300 ΕΦΑ (493) Φ.Ε.Κ. 346/Β/3-3-2008. Παράλληλα, ως όρια ασφαλούς έκθεσης του κοινού στην Ελλάδα (παραγρ. 9 του άρθρου 31 του Νόμου 3431) θεωρούνται το 70% των τιμών που καθορίζονται στα άρθρα 2-4 της υπ' αριθ. 53571/3839 ΚΥΑ (ΦΕΚ 1105/Β/6-9-2000)

Σε περίπτωση εγκατάστασης κατασκευής κεραίας σε απόσταση μέχρι 300 μέτρων από την περίμετρο κτηριακών εγκαταστάσεων βρεφονηπιακών σταθμών, σχολείων, γηροκομείων και νοσοκομείων, προβλέπεται περαιτέρω μείωση των ορίων ασφαλούς έκθεσης του κοινού (παραγρ. 10 του άρθρου 31 του Νόμου 3431), καθώς αυτά απαγορεύεται να υπερβαίνουν το 60% των τιμών που καθορίζονται στα άρθρα 2-4 της υπ' αριθ. 53571/3839 ΚΥΑ (ΦΕΚ 1105/Β/6-9-2000)

Ο τρόπος εφαρμογής των παραπάνω συντελεστών μείωσης (70% ή 60% κατά περίπτωση) διευκρινίζεται στην «Εγκύκλιο της ΕΕΑΕ για τον καθορισμό ορίων ασφαλούς έκθεσης του κοινού σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία στο περιβάλλον σταθμών κεραιών σε εφαρμογή του Ν. 3431/2006».

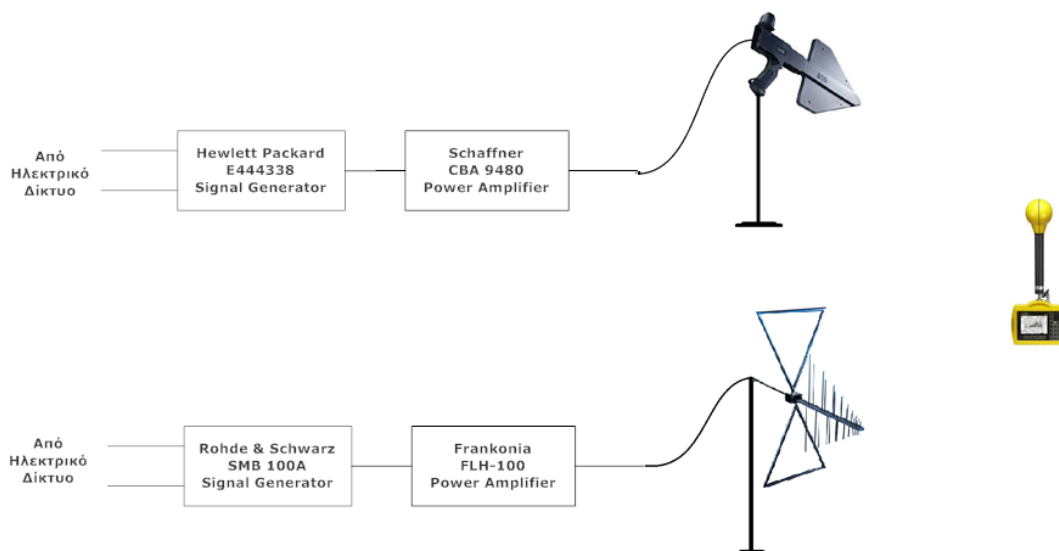
Οι φορείς που είναι εξουσιοδοτημένοι να διενεργούν μετρήσεις ηλεκτρομαγνητικών πεδίων σε περιβάλλον κεραιών οφείλουν να συμμετέχουν σε διεργαστηριακές μετρήσεις, προκειμένου να διασφαλιστεί η συμμόρφωσή τους με τους σχετικούς κανονισμούς και τις διαδικασίες που προβλέπονται από τα διεθνή και τα εθνικά πρότυπα. Σκοπός των διεργαστηριακών μετρήσεων είναι όχι μόνο η αξιολόγηση της ικανότητας των εργαστηρίων, αλλά και ο έλεγχος της καταλληλότητας διαφορετικών οργάνων και η εύρεση της βέλτιστης μεθόδου για τη μέτρηση της έκθεσης σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία.

6.2 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Η Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας έχει αναλάβει τη διοργάνωση διεργαστηριακών μετρήσεων υψίσυχνων ηλεκτρομαγνητικών πεδίων, οι οποίες έγιναν στις 27, 29 και 31 Μαΐου 2013. Το συγκεκριμένο Σ.Δ.Ι. έλαβε χώρα στον ανηχωικό θάλαμο του Εργαστηρίου Υψηλών Τάσεων του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Στα πλαίσια των διεργαστηριακών πειραμάτων που διεξήχθησαν, τα εργαστήρια κλήθηκαν να πάρουν μετρήσεις διαφόρων μεγεθών σε τρία διαφορετικά σενάρια ακτινοβολίας. Σε όλα τα σενάρια η θέση στην οποία λήφθηκαν οι μετρήσεις ήταν σταθερή σε ύψος 1.5m και σε απόσταση περίπου 4 m από τον άξονα των κεραιών, έτσι ώστε οι μετρήσεις να γίνονται στο μακρινό πεδίο ακτινοβολίας.

Για την δημιουργία του πεδίου μέσα στον ανηχωικό θάλαμο χρησιμοποιήθηκαν δύο γεννήτριες οι οποίες ήταν συνδεδεμένες μέσω δύο ενισχυτών με δύο κεραιές. Αλλάζοντας τα χαρακτηριστικά των κυματομορφών των γεννητριών κατέστη δυνατός ο έλεγχος του πεδίου. Στο κάθε σενάριο, η κάθε γεννήτρια εξέπεμπε κυματομορφή διαφορετικής συχνότητας. Η μία γεννήτρια που χρησιμοποιήθηκε ήταν η E444338 Signal Generator της Hewlett Packard με δυνατότητα εκπομπής από 250 kHz μέχρι 4 GHz, η οποία είχε συνδεθεί με τον ενισχυτή CBA 9480 Power Amplifier 60 Watt της Schaffner. Η έξοδος του ενισχυτή οδηγείτο στην κεραία HE200 της Rohde&Schwarz από την οποία και ακτινοβολείτο το πρώτο σήμα. Η δεύτερη γεννήτρια ήταν η SMB 100A Signal Generator της Rohde & Schwarz με δυνατότητα εκπομπής συχνοτήτων από 9 kHz μέχρι 6 GHz, η οποία είχε συνδεθεί με τον ενισχυτή FLH-100 RF Power Amplifier της Frankonia. Το ενισχυμένο σήμα ακτινοβολείτο από την κεραία CBL-6111D BiLog Antenna της Teseq. Η δεύτερη κεραία τοποθετήθηκε υπό γωνία περίπου 45° έτσι ώστε να ελεγχτεί η ικανότητα των εργαστηρίων στο να ανιχνεύσουν πεδία που να αποτελούνται και από τις τρεις χωρικές συνιστώσες. Το σχηματικό σχεδιάγραμμα της πειραματικής διάταξης παρουσιάζεται στο σχήμα που ακολουθεί.



Σχήμα 6.1 : Πειραματική Διάταξη

Στον Πίνακα 6.1 που ακολουθεί, φαίνονται οι συχνότητες εκπομπής της κάθε γεννήτριας σε καθένα από τα τρία σενάρια. Σημειώνεται ότι τα εργαστήρια δεν γνώριζαν σε κανένα από τα τρία σενάρια τα χαρακτηριστικά της ακτινοβολίας που καλούντο να μετρήσουν.

	Hewlett Packard E444338 Signal Generator	Rohde & Schwarz SMB 100A Signal Generator
Ισχύς Εκπομπής (dBm)	-17	-28
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

Πίνακας 6.1 : Χαρακτηριστικά ακτινοβολίας στα Σενάρια Μέτρησης

Ο χρόνος ο οποίος δόθηκε στο κάθε εργαστήριο ήταν τριάντα (30) λεπτά και για τα τρία σενάρια. Μέσα στον χρονικό διάστημα αυτό, το κάθε εργαστήριο έπρεπε να συλλέξει επαρκή στοιχεία έτσι ώστε να είναι σε θέση να παραδώσει τα ζητούμενα μεγέθη. Για το κάθε σενάριο μέτρησης, έπρεπε να υπολογιστούν και να παραδοθούν τα ακόλουθα:

- $E_{ολ}$: 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 (σύμφωνα με τον ΕΚΚΖΣ)
- f_{MAX1} και f_{MAX2} : Οι δύο συχνότητες (τιμή σε MHz) στις οποίες εντοπίζεται η μέγιστη τιμή έντασης ηλεκτρικού πεδίου
- $\Lambda_{ολ}$: Συνολικός λόγος έκθεσης σε όλο το φασματικό εύρος λειτουργίας του χρησιμοποιούμενου εξοπλισμού (με εφαρμογή συντελεστή μείωσης ορίων 60 %)
- Λ_{MAX1} και Λ_{MAX2} : Λόγος έκθεσης στις δύο φασματικές περιοχές με τη μέγιστη μετρούμενη τιμή έντασης ηλεκτρικού πεδίου κάθε σεναρίου μέτρησης

Όλα τα μετρούμενα μεγέθη, καθώς και τα παράγωγά τους έπρεπε να δοθούν μαζί με τη διευρυμένη αβεβαιότητά τους.

Παρακάτω ακολουθούν φωτογραφίες του χώρου διεξαγωγής των πειραμάτων.



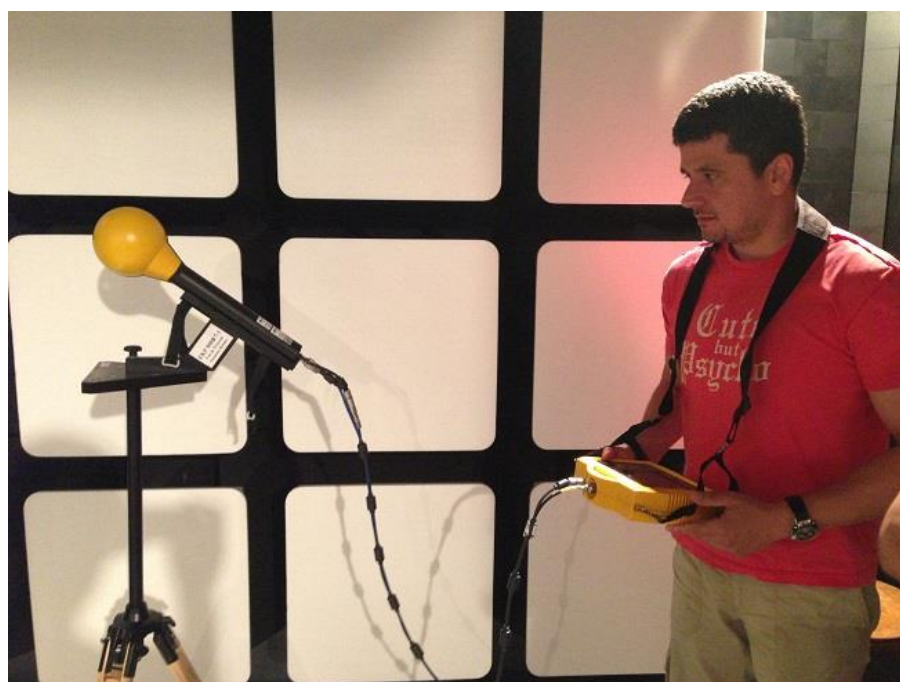
Φωτογραφία 6.1: Ανεχτικός θάλαμος Ε.Υ.Τ.Ε.Μ.Π. Στο βάθος φαίνεται η θέση μέτρησης καθώς και το probe του μετρητή που είναι τοποθετημένο στο 1.5 m.



Φωτογραφία 6.2: Σύστημα παρακολούθησης της διαδικασίας που ακολουθείται μέσα στον ανεχτικό θάλαμο



Φωτογραφία 6.3: (α) Κεραία Frankonia CBL-6111D BiLog
(β) Κεραία Rohde&Schwarz HE200



Φωτογραφία 6.4: Λήψη μετρήσεων με το όργανο SRM-3000



Φωτογραφία 6.5: Δωμάτιο ελέγχου όπου βρίσκονται οι γεννήτριες σημάτων μαζί με τους ενισχυτές



Φωτογραφία 6.6: E444338 Signal Generator της Hewlett Packard



Φωτογραφία 6.7: CBA 9480 Power Amplifier 60 Watt της Schaffner



Φωτογραφία 6.8: (α) Γεννήτρια SMB 100A της Rohde & και (β) Ενισχυτής FLH-100 RF της Frankonia

6.3 ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΕΣ

Στις συγκριτικές μετρήσεις συμμετείχαν τριάντα (30) ομάδες μέτρησης - «Εργαστήρια». Οι ομάδες μέτρησης έχουν χαρακτηριστεί με τυχαίο τρόπο ως Εργαστήρια 1-30. Η κάθε ομάδα γνωρίζει τον αριθμό της, αλλά δεν γνωρίζει τον αριθμό των υπόλοιπων ομάδων. Τα ανεξάρτητα εργαστήρια που έλαβαν μέρος στις διεργαστηριακές μετρήσεις υψίσυχων ηλεκτρομαγνητικών πεδίων ήταν:

- Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (Εργαστήριο Ραδιοεπικοινωνιών)
(2 ομάδες)
- Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (Εργαστήριο Ιατρικής Φυσικής)
(2 ομάδες)
- ΔΕΜΑ-ΓΕΣ
- Εγνατία ΑΕΤΤΕΚ
- Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (Εργαστήριο Κινητών Ραδιοεπικοινωνιών)
(3 ομάδες)
- Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (Ε.Ε.Α.Ε.)
(5 ομάδες)
- Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου (Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Τηλεπικοινωνιών)

- Πανεπιστήμιο Αιγαίου (Εργαστήριο Συστημάτων Υπολογιστών και Επικοινωνιών)
- Πανεπιστήμιο Πειραιώς
- Πανεπιστήμιο Κύπρου (Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών) (2 ομάδες)
- Πλατύρραχος Ελευθέριος
- ΤΕΙ Πάτρας (Εργαστήριο Υγαιο-Φυσικής και Υπολογιστικής Νοημοσύνης)
- Alfa Measurements A.E. (2 ομάδες)
- Cosmote
- EMC ΕΛΛΑΣ Α.Ε.
- FASMETRICS A.E.
- Sine Technologies (2 ομάδες)
- Vodafone
- Wind Hellas

6.4 ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

Οι ομάδες, που συμμετείχαν είχαν διαφορετικό μετρητικό εξοπλισμό. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω:

- NARDA/SRM-3000 (18 ομάδες)
- NARDA/SRM-3006 (7 ομάδες)
- NARDA/EMR-300 (1 ομάδα)
- NARDA/EMR-300 (1 ομάδα)
Rohde & Scwhartz/ESMI Receiver
SCHAFFNER/6143 Bilog Antenna
- Rohde & Schwartz/FSH4 Spectrum Analyzer (1 ομάδα)
Rohde & Schwartz Isotropic Antenna
- Rohde & Schwartz/FSH6 Spectrum Analyzer (1 ομάδα)
Rohde & Schwartz HE200 Antenna
- GW Instek/GSP-830 Spectrum Analyzer, 3 kHz- 3 GHz (1 ομάδα)
Aaronia/Bicolog 30100 Antenna
Z Technology/ Log Periodic AA8 Antenna

6.5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Το κάθε εργαστήριο κλήθηκε να παραδώσει τα αποτελέσματά του εντός τριών (3) ημερών από τη μέρα διεξαγωγής των πειραμάτων. Αυτό έγινε μέσω της φόρμας που ακολουθεί στο Σχήμα 6.2.



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
Εργαστήριο Κινητών Ραδιοεπικοινωνιών

Έντυπο Παραδοτέων Β' Διεργασιολογικών Συγκριτικών Μετρήσεων Υφίσυχνων Ηλεκτρομαγνητικών Πεδίων (να αποσταλεί εντός τριών ημερών)

Σενάριο Μέτρησης	1	2	3
$E_{0\lambda}$ (V/m) ± (.....%) ± (.....%) ± (.....%)
E_{FM} (V/m) (87,5 - 108 MHz) ± (.....%) ± (.....%) ± (.....%)
E_{TV-LHF} (V/m) (108 - 272 MHz) ± (.....%) ± (.....%) ± (.....%)
E_{TV-UHF} (V/m) (430 - 838 MHz) ± (.....%) ± (.....%) ± (.....%)
E_{GSM} (V/m) (885 - 960 MHz) ± (.....%) ± (.....%) ± (.....%)
f_{MAX1} (MHz) ± (.....%) ± (.....%) ± (.....%)
f_{MAX2} (MHz) ± (.....%) ± (.....%) ± (.....%)
$\Lambda_{0\lambda}$ (max τιμή 1) ± (.....%) ± (.....%) ± (.....%)
Λ_{MAX1} (max τιμή 1) ± (.....%) ± (.....%) ± (.....%)
Λ_{MAX2} (max τιμή 1) ± (.....%) ± (.....%) ± (.....%)



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΤΟΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
Εργαστήριο Κινητών Ραδιοεπικοινωνιών

Στοιχεία εξοπλισμού και ομάδας μέτρησης

Ημερομηνία μέτρησης και χρονικό διάστημα μέτρησης ανά σενάριο μέτρησης:

Εξοπλισμός μέτρησης:

Ειδικές ρυθμίσεις εξοπλισμού:

Μετρούμενο εύρος συχνότητας εξοπλισμού (στο οποίο μετράται το $E_{0\lambda}$):

Χειριστής/-ες:

Κωδ. αριθμός ομάδας μέτρησης:

Οδηγίες συμπλήρωσης

$E_{0\lambda}$: Συνολική μετρούμενη τιμή έντασης ηλεκτρικού πεδίου σε όλο το φασματικό εύρος λειτουργίας του χρησιμοποιούμενου εξοπλισμού (μέσοι όροι δ min σε ύψος 1,5 m)

E_{FM} , E_{TV-LHF} , E_{TV-UHF} και E_{GSM} : Μέγιστη μετρούμενη τιμή έντασης ηλεκτρικού πεδίου στην αντίστοιχη (αναφερόμενη) φασματική περιοχή (σύμφωνα με τον ΕΚΚΣΣ)

f_{MAX1} και f_{MAX2} : Οι δύο συχνότητες (τιμή σε MHz) στις οποίες εντοπίζεται η μέγιστη τιμή έντασης ηλεκτρικού πεδίου

$\Lambda_{0\lambda}$: Συνολικός λόγος έκθεσης σε όλο το φασματικό εύρος λειτουργίας του χρησιμοποιούμενου εξοπλισμού (με εφαρμογή συντελεστή μείωσης ορίων 60 %)

Λ_{MAX1} και Λ_{MAX2} : Λόγος έκθεσης στις δύο φασματικές περιοχές με τη μέγιστη μετρούμενη τιμή έντασης ηλεκτρικού πεδίου κάθε σεναρίου μέτρησης

Όλα τα μεγέθη του παρόντος εντύπου (μετρούμενα και υπολογιζόμενα) δίνονται μαζί με τη διευρυμένη αβεβαιότητά τους (εκφορασμένη ως $\pm\%$).

Ως μία μέτρηση νοείται ο μοναδικός συνδυασμός προσωπικού που χειρίζεται τα όργανα, εξοπλισμού μέτρησης και διαδικασίας μέτρησης που καταλήγουν στην συγκέντρωση όλων των απαραίτητων πρωτογενών στοιχείων σε κάθε θέση μέτρησης για τον υπολογισμό του συνολικού λόγου έκθεσης. Αν στο πρωτόκολλο μέτρησης του κάθε εργαστηρίου προβλέπεται η επανάληψη των μετρήσεων, π.χ. για λόγους στατιστικής επεξεργασίας των αποτελεσμάτων, όλες αυτές οι επαναλήψεις συμπεριλαμβάνονται στην ίδια μέτρηση. Αντίθετα, η επανάληψη μιας μέτρησης από διαφορετικό προσωπικό ή με άλλα όργανα ή θεωρούμενους διαφορετικοί διαδικασίας μέτρησης θεωρείται ως άλλη μέτρηση. Γενικότερα, από κάθε διαφορετική μέτρηση προκύπτει μία ξεχωριστή εκτίμηση για το συνολικό λόγο έκθεσης.

Σχήμα 6.2: Φόρμα παράδοσης αποτελεσμάτων εργαστηρίου

Κεφάλαιο 6: Εφαρμογή 2 - Υψηλές Συχνότητες

Στους Πίνακες 6.2, 6.3 και 6.4 παρουσιάζονται οι μετρήσεις των εργαστηρίων μαζί με τις αβεβαιότητες τους για το κάθε ζητούμενο μέγεθος, για τα τρία σενάρια αντίστοιχα. Επίσης, δίνονται η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση, για το κάθε ζητούμενο μέγεθος.

ΣΕΝΑΡΙΟ 1										
Lab	E_{tot} (V/m)	uE_{tot} (%)	E_{FM} (V/m)	uE_{FM} (%)	E_{GSM} (V/m)	uE_{GSM} (%)	F_{MAX1} (MHz)	uF_{MAX1} (%)	F_{MAX2} (MHz)	uF_{MAX2} (%)
1	6,414	±29,80	6,240	±29,06	0,765	±29,42	102,5	±0,1	935	±0,03
2	5,463	±51,41	5,385	±11,14	0,767	±13,89	102,5	±0,244	935	±0,133
3	5,627	±30,1	5,526	±29,8	0,670	±32	102,5	±0,1	935	±0,01
4	6,0334	±10,27	5,98	±29,78	0,76542	±31,77	102,4	±2,44	935,1	±0,27
5	6,0671	±22	6,0021	±11,1	0,6729	±13,9	102,5	±0,05	935	±0,01
6	5,901	±33,32	5,890	±34,13	0,674	±35,22	102,567	±0,091	935,013	±0,010
7	5,6414	±33,28	5,6669	±34,17	0,6735	±35,26	102,4281	±0,072	934,9969	±0,008
8	6,036	±38,93	5,981	±39,75	0,629	±44,93	102,44	±0,222	934,88	±0,026
9	5,789	±5,14	7,557	±3,94	1,204	±26,39	102,5	±0,0005	935,00	±0,0008
10	5,923	±47,9	5,881	±40,81	0,672	±42,34	102,525	±0,073	940,00	±0,0082
11	6,057	±33,88	6,162	±29,74	0,6102	±31,79	102,5	±0,07	935	±0,07
12	6,087	±37,05	6,390	±32,13	0,7774	±32,7	102,5	±0,07	935	±0,07
13	5,4295	±20,83	5,4742	±20,75	0,7192	±25,21	102,5070	±0,0463	934,9920	±0,0102
14	5,4931	±20,83	5,5436	±20,75	0,7203	±25,21	102,5100	±0,0463	934,9780	±0,0102
15	6,48	±40,7	7,04	±33,8	0,851	±28,6	102,63	±5,42	935,11	±2,64
16	11,453	±43,51	16,911	±39,59	1,335	±43,51	102,852	±15,13	934,880	±12,34
17	12,19	±33	7,80	±33	2,22	±30,0	102,5	±0,3	935,0	±0,1
18	5,9079	±16,15	5,9189	±12,67	0,7155	±13,54	102,49	±12,67	935,01	±13,54
19	5,742	±27,5	5,814	±28,0	0,770	±33,1	102,437	±1,2	935,017	±1,2
20	5,751	±28	5,759	±28,3	0,782	±33,4	102,547	±1,2	935,000	±1,2
21	5,398	±38,16	5,465	±34,01	0,6891	±38	102,568	±0,22	934,999	±0,08
22	5,424	±38,16	5,413	±34,01	0,6707	±38	102,532	±0,22	935,001	±0,08
23	6,010705296	±57,84	5,792325816	±13,98	0,671150819	±16,05	102,5	±12,82	935	±16,05
24	5,28	±51,41	5,21	±11,14	0,71	±13,89	102,5	±0,244	935	±0,13
25	5,703	±24,2	6,051	±24,13	0,6460	±28,99	102,54	±0,05	935,00	±0,01
26	5,953	±51,41	5,336	±11,14	1,011	±13,89	102,5	±0,457	935	±0,0208
27	5,019	±52,40	4,953	±11,61	0,947	±14,27	102,5	±0,244	935,00	±0,066
28	5,304	±52,40	5,241	±11,61	0,710	±14,27	102,5	±0,25	935	±0,07
29	5,13	±13,26	-----	-----	-----	-----	102,5	0,023	940	0,023
30	5,4	±29	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Παράμετροι										
μ	6,137		6,299		0,823		102,516		---	
σ	1,588		2,180		0,321		0,078		---	

Πίνακας 6.2α: Μετρήσεις και αβεβαιότητες μετρήσεων για τα ζητούμενα μεγέθη στο Σενάριο 1

Κεφάλαιο 6: Εφαρμογή 2 - Υψηλές Συχνότητες

ΣΕΝΑΡΙΟ 1									
Lab	Λ_{tot} (%)	$u\Lambda_{tot_down}$ (%)	$u\Lambda_{tot_up}$ (%)	Λ_{MAX1} (%)	$u\Lambda_{MAX1_down}$ (%)	$u\Lambda_{MAX1_up}$ (%)	Λ_{MAX2} (%)	$u\Lambda_{MAX2_down}$ (%)	$u\Lambda_{MAX2_up}$ (%)
1	8,64	49,7	66,5	8,27	49,7	66,5	0,06	50	66,6
2	6,89	39,91	50,11	5,97	39,6	49,52	0,04	47,84	63,28
3	6,58	59,7	59,7	6,48	59,6	59,6	0,04	63,9	63,9
4	7,662	59,5929	59,5929	7,594	59,56	59,56	0,06	63,54	63,54
5	7,72	43,7	43,7	7,65	43,5	43,5	0,04	54,5	54,5
6	7,2891	67,59	67,59	7,366	68,25	68,25	0,0448	70,44	70,44
7	6,653	67,59	67,59	6,820	68,33	68,33	0,0448	70,52	70,52
8	7,36	77,41	77,41	7,596	77,89	77,89	0,0391	88,04	88,04
9	12,2661	51,56	70,05	12,1277	51,53	69,99	0,1367	54,33	75,35
10	7,37	77,99	77,99	7,34	78,81	78,81	0,0424	81,98	81,98
11	27,1	33,88	33,88	13,5	59,48	59,48	0,1	63,58	63,58
12	27	37,05	37,05	14,5	64,26	64,26	0,1	65,4	65,4
13	6,458	41,15	41,15	6,624	41,5	41,5	0,0516292	50,42	50,42
14	6,613	41,17	41,17	6,793	41,5	41,5	0,0517829	50,42	50,42
15	7,7	4,01	4,01	11	4,31	4,31	0,0683	0,021	0,021
16	27,6	28,63	28,63	60,7	28,6	28,6	0,17	0,08	0,08
17	14	33	33	13	33	33	0,5	33	33
18	7,33	25,08	25,08	7,33	25,33	25,33	0,07	19,21	19,21
19	6,946	54,1	54,1	7,179	54,6	54,6	0,06	57,6	57,6
20	6,934	54,5	54,5	7,044	55,3	55,3	0,062	58,1	58,1
21	6,13	67,42	67,42	6,34	76	76	0,0487	77	77
22	6,19	67,42	67,42	6,14	76	76	0,0421	77	77
23	7,6	57,84	57,84	7,13	16,97	16,97	0,04	16,05	16,05
24	5,74	39,89	50	5,63	39,59	49,52	0,0475	46,31	63,15
25	6,85	47,9	47,9	7,78	48,2	48,2	0,04	50	50
26	6,94	40,15	50,56	6,701	39,6	49,52	0,0563	47,84	63,28
27	5,08	41,16	52,03	5,02	41,04	51,83	0,17	48,93	65,23
28	5,9	41,19	52,08	5,83	41,05	51,83	0,05	48,94	65,23
29	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
30	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Παράμετροι									
μ	8,759			9,438			0,078		
σ	4,733			10,208			0,090		

Πίνακας 6.2β: Μετρήσεις και αβεβαιότητες μετρήσεων για τα ζητούμενα μεγέθη στο Σενάριο 1

Κεφάλαιο 6: Εφαρμογή 2 - Υψηλές Συχνότητες

ΣΕΝΑΡΙΟ 2										
Lab	E_{tot} (V/m)	uE_{tot} (%)	E_{FM} (V/m)	uE_{FM} (%)	E_{UHF} (V/m)	uE_{UHF} (%)	f_{MAX1} (MHz)	uF_{MAX1} (%)	f_{MAX2} (MHz)	uF_{MAX2} (%)
1	3,463	±29,80	3,402	±29,06	0,673	±29,42	96,3	±0,1	440	±0,03
2	2,997	±51,41	2,937	±11,14	0,538	±13,29	96,3	±0,244	440	±0,025
3	3,317	±30	3,318	±29,8	0,573	±32,5	96,3	±0,1	440	±0,1
4	3,3334	±18,597	3,3078	±29,78	0,3824	±32,56	96,1	±2,6	439,9	±0,568
5	3,2970	±22	3,229	±11,1	0,559	±13,3	96,3	±0,05	440	±0,03
6	3,282	±33,07	3,212	±34,13	0,503	±34,31	96,284	±0,097	440,001	±0,022
7	3,3998	±32,96	3,2404	±34,17	0,5051	±36	96,3725	±0,077	440,0001	±0,017
8	3,307	±38,53	3,230	±39,75	0,514	±42,13	96,27	±0,234	440	±0,052
9	3,272	±9,10	5,173	±5,76	0,503	±64,73	96,30	±0,078	439,95	±0,017
10	3,224	±47,90	3,198	±40,81	0,502	±41,63	96,30	±0,0778	440,00	±0,017
11	3,425	±33,38	3,456	±29,74	0,5834	±31,15	96,3	±0,07	440	±0,07
12	3,130	±36,11	3,232	±32,13	0,536	±32	96,3	±0,07	440	±0,07
13	2,9892	±20,89	2,9742	±20,75	0,4912	±25,18	96,3060	±0,0493	440,0000	±0,0108
14	2,9645	±20,88	2,9557	±20,75	0,4980	±25,18	96,3060	±0,0493	440,0000	±0,0108
15	3,33	±40,7	3,784	±33,8	0,000236	±28,6	96,41	±5,29	440,71	±6,39
16	6,534	±39,59	8,083	±39,59	0,709	±39,59	96,612	±14,81	439,9	±16,01
17	11,52	±32	5,38	±32	5,8	±32	96,0	±0,3	440,0	±0,1
18	3,4018	±16,15	3,290	±12,67	0,5720	±13,63	96,29	±12,67	433,99	±13,54
19	3,318	±27,5	3,354	±28,0	0,538	±31,8	96,229	±1,2	440,009	±1,2
20	3,350	±27,9	3,331	±28,3	0,415	±32,3	96,250	±1,2	439,938	±1,2
21	3,145	±38,16	3,115	±34,01	0,5308	±35,38	96,235	±0,23	440	±0,95
22	3,168	±38,16	3,144	±34,01	0,5245	±35,38	96,228	±0,23	440	±0,95
23	3,454341861	±58,05	3,415988303	±12,84	0,410915606	±15,40	96,281	±12,82	439,9375	±15,36
24	2,97	±51,41	2,9	±11,14	0,56	±13,29	96,300	±0,244	440	±0,122
25	3,285	±24,2	3,242	±24,13	0,4783	±29,13	96,250	±0,05	440	±0,11
26	2,784	±51,41	2,457	±11,14	0,562	±13,29	96,310	±0,457	440	±0,0915
27	2,823	±52,40	2,772	±11,61	0,528	±13,69	96,300	±0,244	440	±0,025
28	2,583	±52,40	2,52	±11,61	0,506	±13,69	96,350	±0,25	440	±0,01
29	2,94	±13,26	-----	-----	-----	-----	96,500	0,023	440	0,023
30	3,1	±29	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Παράμετροι										
μ	3,570		3,488		0,696		96,296		---	
σ	1,636		1,092		1,007		0,105		---	

Πίνακας 6.3α: Μετρήσεις και αβεβαιότητες μετρήσεων για τα ζητούμενα μεγέθη στο Σενάριο 2

Κεφάλαιο 6: Εφαρμογή 2 - Υψηλές Συχνότητες

ΣΕΝΑΡΙΟ 2									
Lab	Λ_{tot} (%)	$u\Lambda_{tot_down}$ (%)	$u\Lambda_{tot_up}$ (%)	Λ_{MAX1} (%)	$u\Lambda_{MAX1_down}$ (%)	$u\Lambda_{MAX1_up}$ (%)	Λ_{MAX2} (%)	$u\Lambda_{MAX2_down}$ (%)	$u\Lambda_{MAX2_up}$ (%)
1	2,53	49,8	66,8	2,46	49,6	66,7	0,07	42,8	57,1
2	1,79	40,04	50,31	1,7	39,60	49,52	0,063	46,10	60,22
3	2,32	59,8	59,8	2,09	59,6	59,6	0,07	65,1	65,1
4	2,356	59,62767	59,62767	2,323	59,56	59,56	0,02863	65,12	65,12
5	2,29	43,8	43,8	2,214	43,5	43,5	0,07	52,1	52,1
6	2,2716	66,60	66,60	2,1912	68,25	68,25	0,0515	68,61	68,61
7	2,4334	66,48	66,48	2,1911	68,33	68,33	0,0518	72,01	72,01
8	2,283	54,27	54,27	2,216	45,11	45,11	0,0537	82,56	82,56
9	5,7822	51,56	70,06	5,6828	51,53	69,99	0,0507	55,40	77,48
10	2,20	76,44	76,44	2,17	78,81	78,81	0,0505	80,51	80,51
11	8,7	33,38	33,38	4,2	59,48	59,48	0,1	65,06	65,06
12	7	36,11	36,11	3,7	64,26	64,26	0,1	69,18	69,18
13	1,975	40,30	40,30	1,955	41,50	41,50	0,0495524	50,36	50,36
14	1,942	40,35	40,35	1,931	41,50	41,50	0,0509348	50,36	50,36
15	2,35	1,16	1,16	3	1,2268	1,2268	0,0236	0,00897	0,00897
16	14,29	3,37	3,37	13,9	6,47	6,47	0,4	0,11	0,11
17	13	32	32	6	32	32	7	32	32
18	2,4	24,72	24,72	2,4	25,33	25,33	0,05	26,88	26,88
19	2,334	53,5	53,5	2,389	54,6	54,6	0,058	57,6	57,6
20	2,377	54,4	54,5	2,356	55,3	55,3	0,034	58,2	58,2
21	2,09	66,38	66,38	2,06	76	76	0,0528	82	82
22	2,12	66,37	66,37	2,07	76	76	0,0528	82	82
23	2,53	58,05	58,05	2,48	12,89	12,89	0,03	15,52	15,52
24	1,88	40,90	52,12	1,796	39,59	49,49	0,06	46,10	60,21
25	2,27	47,6	47,6	2,23	48	48	0,05	60	60
26	1,63	40,28	50,78	1,535	39,60	49,52	0,0619	46,10	60,23
27	1,67	41,27	52,22	1,61	41,05	51,83	0,05	47,26	62,26
28	1,41	41,35	52,37	1,35	41,05	51,83	0,05	47,26	62,25
29	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
30	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Παράμετροι									
μ	3,29			2,821			0,313		
σ	3,093			2,402			1,312		

Πίνακας 6.3β: Μετρήσεις και αβεβαιότητες μετρήσεων για τα ζητούμενα μεγέθη στο Σενάριο 2

Κεφάλαιο 6: Εφαρμογή 2 - Υψηλές Συχνότητες

ΣΕΝΑΡΙΟ 3										
Lab	Etot (V/m)	uEtot (%)	E _{VHF} (V/m)	uE _{VHF} (%)	E _{UHF} (V/m)	uE _{UHF} (%)	F _{MAX1} (MHz)	uF _{MAX1} (%)	F _{MAX2} (MHz)	uF _{MAX2} (%)
1	11,062	±29,80	10,76	±29,20	1,117	±29,42	180	±0,3	720	±0,01
2	13,66	±51,41	13,573	±11,14	1,111	±13,29	180	±0,061	720	±0,025
3	10,84	±30	10,71	±29,8	1,182	±32,5	180	±0,08	720	±0,07
4	9,9245	±6,246	9,8779	±29,78	0,94031	±32,56	179,8	±1,39	718,5	±0,348
5	10,1800	±22	10,1000	±11,1	0,915	±13,3	180	±0,06	720	±0,02
6	9,934	±33,35	9,960	±34,13	1,133	±34,31	180,000	±0,052	720,005	±0,013
7	9,784	±33,40	9,6233	±34,17	1,1801	±36	179,9998	±0,041	720,0002	±0,011
8	10,101	±39,04	9,932	±41,31	1,054	±42,132	180,00	±0,126	720,00	±0,032
9	9,22	±3,23	9,781	±3,04	1,059	±29,07	180,00	±0,01	719,97	±0,01
10	10,733	±47,90	10,678	±40,81	1,071	±41,63	180,00	±0,0416	720,00	±0,0104
11	9,360	±34,28	9,454	±29,74	1,131	±31,15	180	±0,07	720	±0,07
12	9,682	±37,04	9,747	±32,13	1,254	±32,00	180	±0,07	720	±0,07
13	10,5170	±20,79	10,6430	±20,75	0,9656	±25,18	179,9900	±0,2639	720,0000	±0,066
14	10,4911	±20,78	10,4670	±20,75	0,9240	±25,18	179,9900	±0,2639	720,0000	±0,066
15	11,11	±40,7	5,369	±33,8	0,929	±28,6	180,19	±9,6	720,06	±4,74
16	23,21	±39,59	13,273	±39,59	1,393	±39,59	180,376	±19,13	720,720	±14,43
17	14,69	±33	9,85	±33	5,10	±32	180,0	±0,2	720,0	±0,1
18	10,073	±16,15	10,05	±12,67	1,151	±13,63	179,99	±12,67	719,99	±13,54
19	10,094	±27,4	10,172	±28,0	1,033	±32,2	180,083	±1,2	720,031	±1,2
20	10,099	±27,8	10,195	±28,3	0,897	±32,6	180,083	±1,2	720,031	±1,2
21	9,807	±38,16	8,89	±33,31	0,8588	±35,38	180	±1,02	720,01	±0,58
22	9,671	±38,16	9,659	±33,31	0,8657	±35,38	180	±1,02	720,01	±0,58
23	10,50849658	±58,16	10,36040027	±12,90	0,947584597	±15,38	180	±12,82	719,96875	±15,36
24	9,229	±51,41	9,053	±11,14	1,053	±13,29	180	±0,061	720	±0,122
25	10,41	±24,15	11,04	±24,11	0,818	±29,13	180	±0,28	720	±0,07
26	9,441	±51,41	9,213	±11,14	1,029	±13,29	180	±0,0286	720	±0,0208
27	10,317	±52,40	10,273	±11,61	0,852	±13,69	180	±0,03	720	±0,012
28	10,85	±52,40	10,78	±11,61	0,881	±13,69	180	±0,03	720	±0,04
29	9,04	±13,26	-----	-----	-----	-----	180	0,023	720	0,023
30	10,4	±29	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Παράμετροι										
μ	10,815		9,807		1,173		---		---	
σ	2,618		2,358		0,782		---		---	

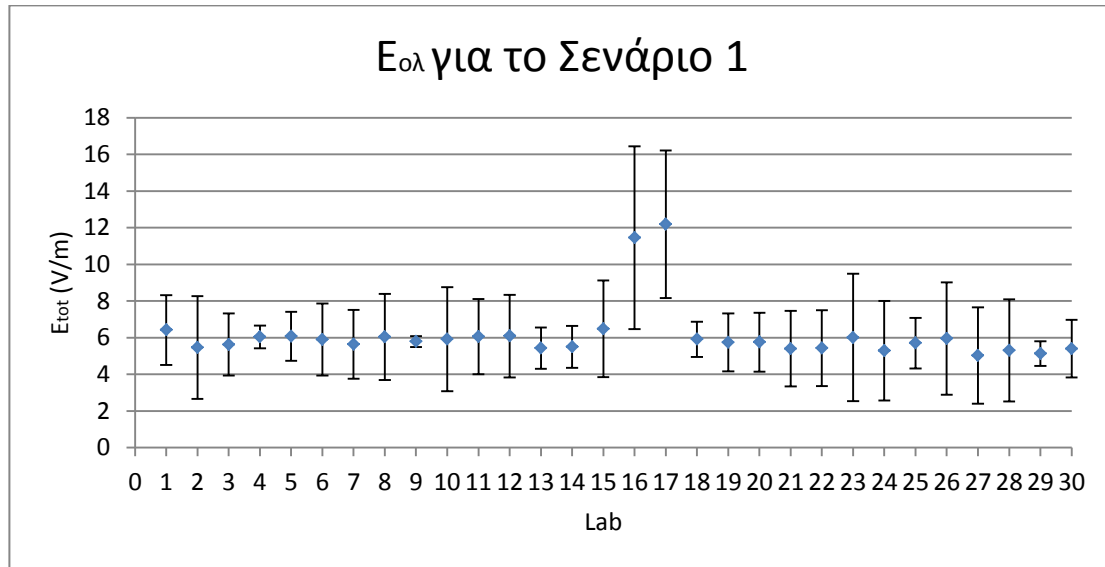
Πίνακας 6.4α: Μετρήσεις και αβεβαιότητες μετρήσεων για τα ζητούμενα μεγέθη στο Σενάριο 3

Κεφάλαιο 6: Εφαρμογή 2 - Υψηλές Συχνότητες

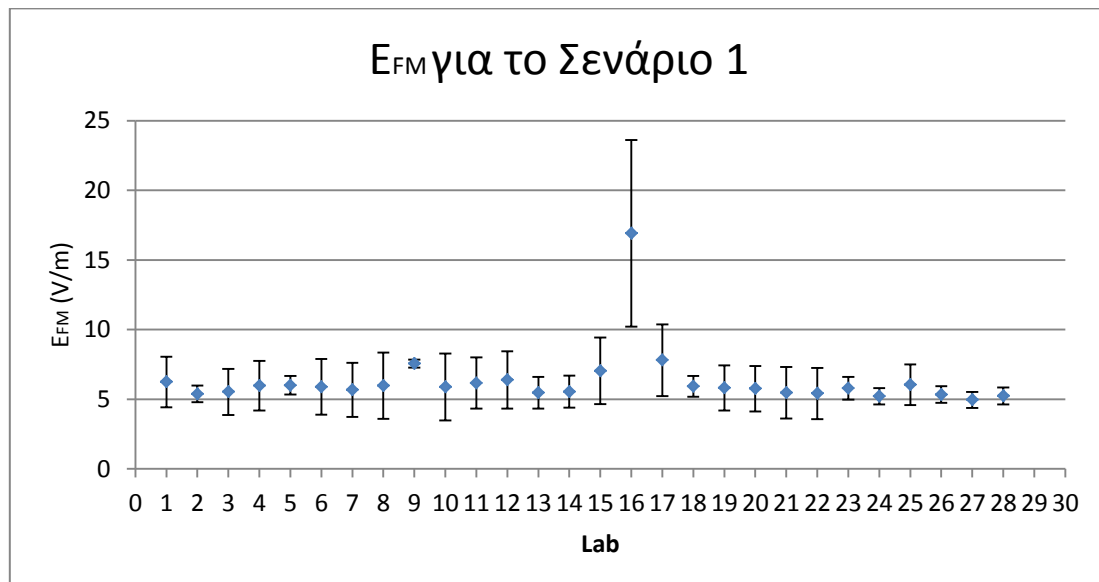
ΣΕΝΑΡΙΟ 3									
Lab	Λ_{tot} (%)	$u\Lambda_{tot_down}$ (%)	$u\Lambda_{tot_up}$ (%)	Λ_{MAX1} (%)	$u\Lambda_{MAX1_down}$ (%)	$u\Lambda_{MAX1_up}$ (%)	Λ_{MAX2} (%)	$u\Lambda_{MAX2_down}$ (%)	$u\Lambda_{MAX2_up}$ (%)
1	25,78	49,8	66,9	24,59	49,8	64,6	0,26	50	69,2
2	38,9	39,68	49,67	38,66	39,6	49,52	0,15	46,1	60,22
3	24,7	59,7	59,7	24,36	59,6	59,6	0,27	65,1	65,1
4	20,896	59,60614	59,60614	20,721	59,56	59,56	0,1731	65,12	65,12
5	21,88	43,6	43,6	21,7	43,5	43,5	0,16	52,1	52,1
6	20,7021	67,52	67,52	21,0668	68,25	68,25	0,2609	70,44	70,44
7	20,0979	67,57	67,57	19,667	68,33	68,33	0,2829	72,01	72,01
8	21,2	54,61	54,61	20,91	48,75	48,75	0,226	82,56	82,56
9	20,4506	51,55	70,02	20,3164	51,53	69,99	0,133	54,33	75,35
10	24,4	78,28	78,28	24,2	78,81	78,81	0,14	80,51	80,51
11	64,9	34,28	34,28	31,7	59,48	59,48	0,3	61,65	61,65
12	69	37,04	37,04	33,7	64,26	64,26	0,3	64	64
13	24,422	41,24	41,24	25,038	41,5	41,5	0,192	50,36	50,36
14	24,303	41,25	41,25	24,217	41,5	41,5	0,175	50,36	50,36
15	24,14	10,04	10,04	6,11	3,634	3,634	0,1067	0,0444	0,0444
16	41,91	43,15	43,15	37,4	29,58	29,58	0,5	0,13	0,13
17	24	32	32	21	32	32	3	32	32
18	21,25	25,16	25,16	21,1	25,33	25,33	0,12	27,1	27,1
19	21,621	54,2	54,2	21,972	54,6	54,6	0,213	57,6	57,6
20	21,641	54,8	54,8	22,073	55,3	55,3	0,161	58,2	58,2
21	20,38	66,09	66,09	20,77	82	82	0,1382	82	82
22	20,38	66,09	66,09	20,77	82	82	0,1382	82	82
23	23,36	58,16	58,16	22,8	13,14	13,14	0,13	15,45	15,45
24	17,24	39,85	50,058	16,92	39,59	49,52	0,131	46,1	60,21
25	23,04	48	48	25,88	48,2	48,2	0,14	57,1	57,1
26	17	40,07	50,41	16,5	39,6	49,52	0,155	46,1	60,23
27	22,8	41,1	51,92	22,7	41,05	51,83	0,08	47,26	62,26
28	24,9	41,17	52,04	24,7	41,05	51,83	0,09	47,26	62,26
29	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
30	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Παράμετροι									
μ	24,718			22,33			0,281		
σ	6,871			5,786			0,539		

Πίνακας 6.4β: Μετρήσεις και αβεβαιότητες μετρήσεων για τα ζητούμενα μεγέθη στο Σενάριο 3

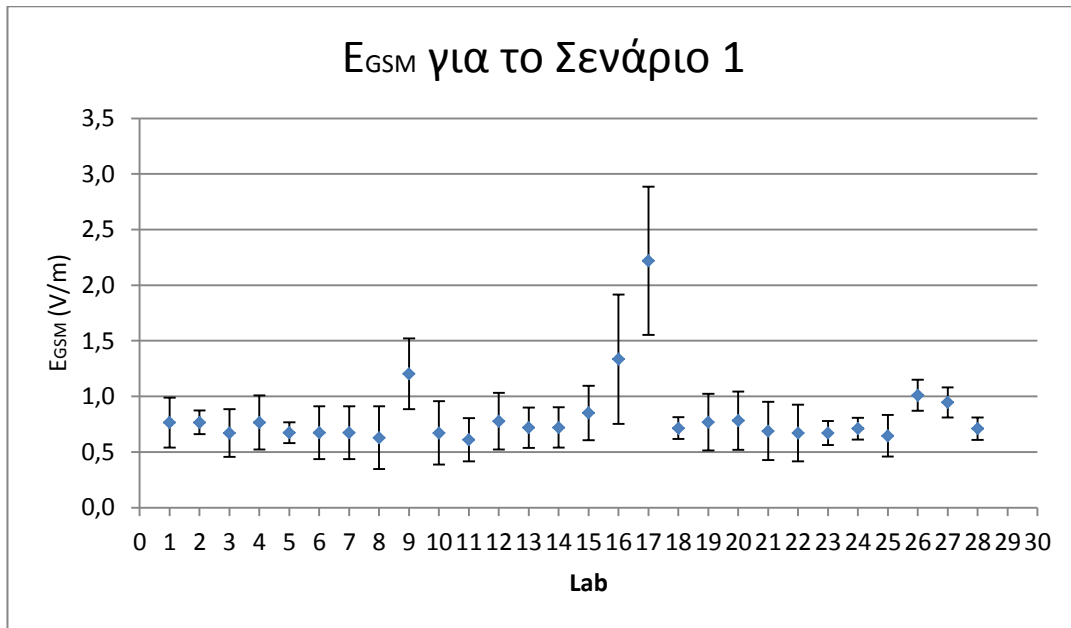
Παρακάτω, στα Διαγράμματα 6.1 μέχρι 6.24 παρουσιάζονται για το κάθε σενάριο οι μετρήσεις των εργαστηρίων, μαζί με τις αβεβαιότητες τους.



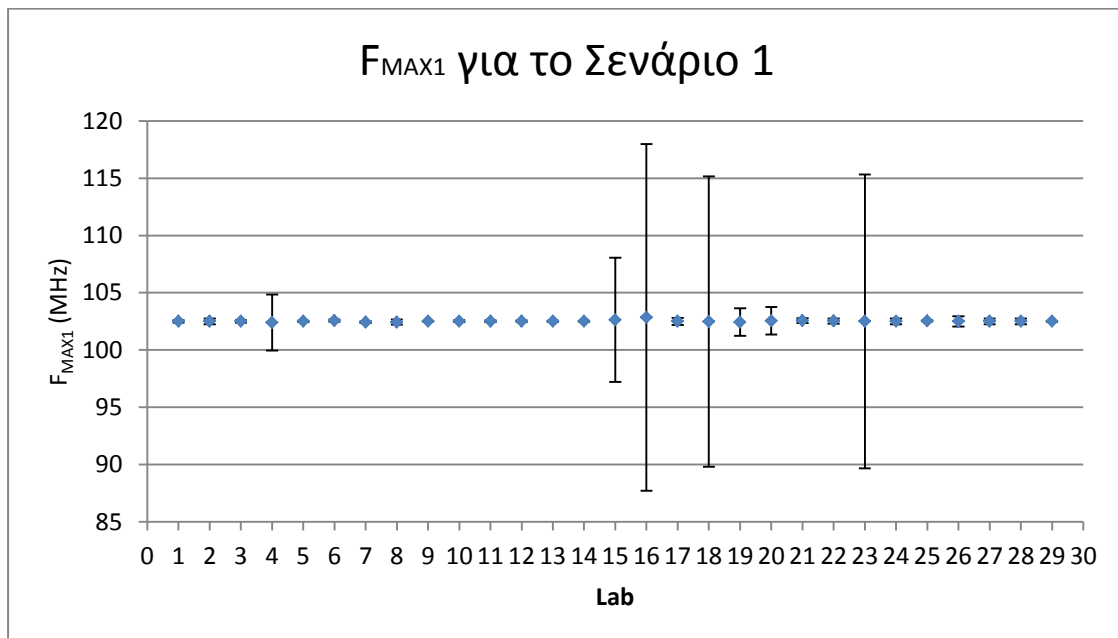
Διάγραμμα 6.1: Μετρήσεις και αβεβαιότητες των εργαστηρίων για τη συνολικά μετρούμενη τιμή της έντασης του πεδίου σε όλο το φασματικό εύρος για το Σενάριο 1



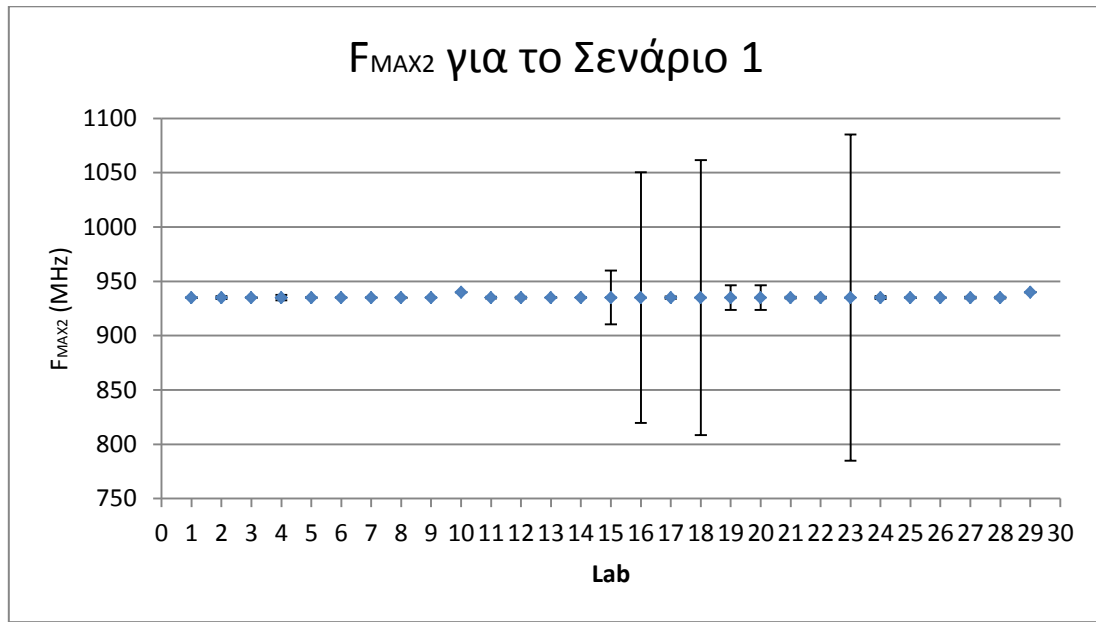
Διάγραμμα 6.2: Μετρήσεις και αβεβαιότητες των εργαστηρίων για τη μετρούμενη τιμή της έντασης του πεδίου στη φασματική περιοχή FM (87,5-108 MHz) για το Σενάριο 1



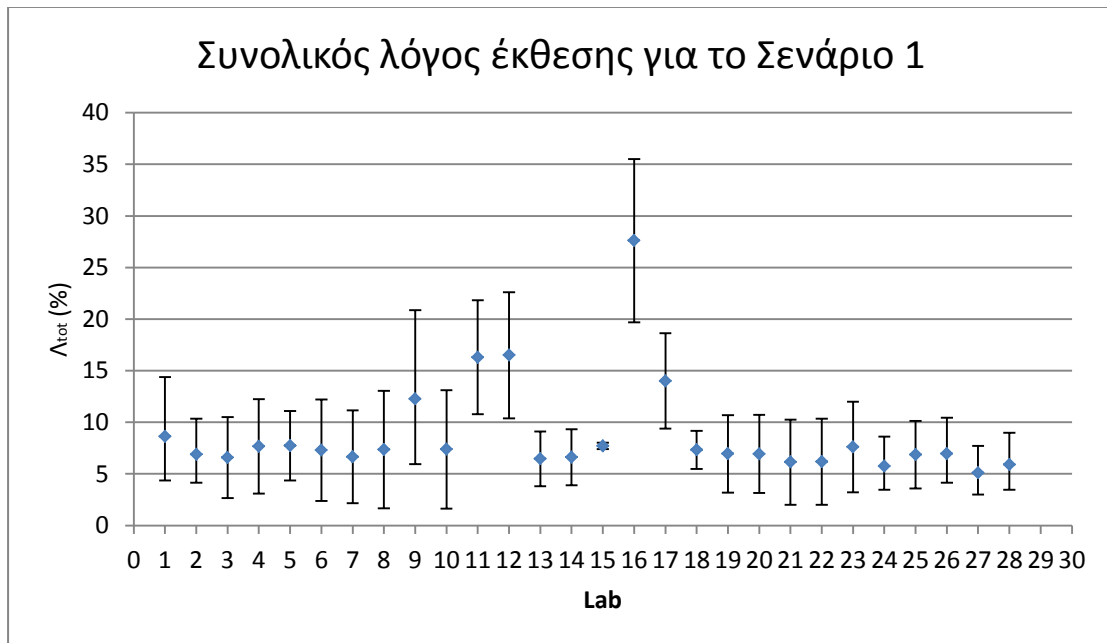
Διάγραμμα 6.3: Μετρήσεις και αβεβαιότητες των εργαστηρίων για τη μετρούμενη τιμή της έντασης του πεδίου στη φασματική περιοχή GSM (885-960 MHz) για το Σενάριο 1



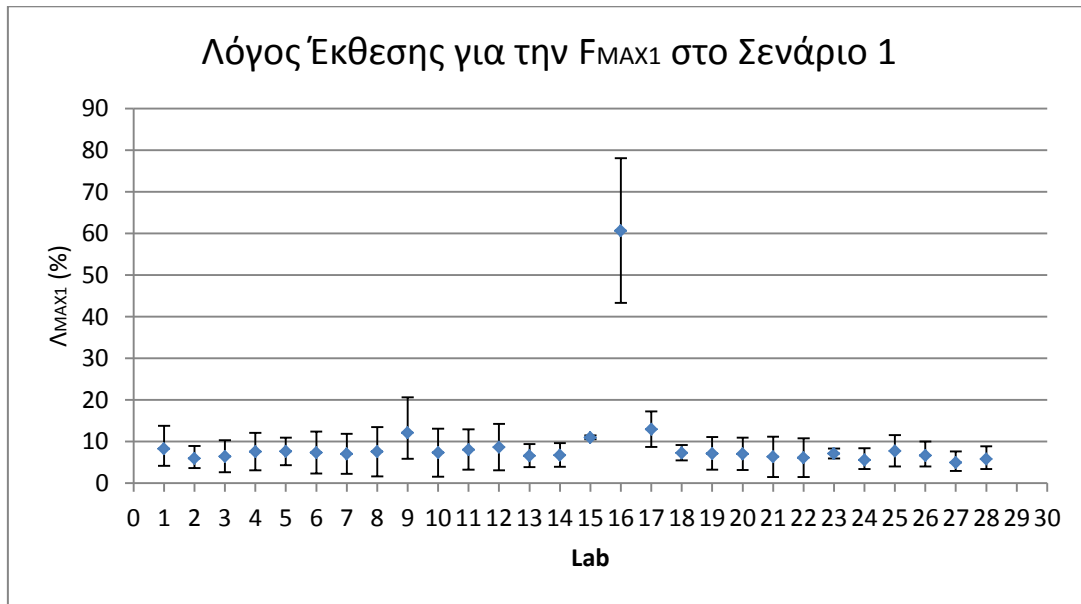
Διάγραμμα 6.4: Μετρήσεις και αβεβαιότητες των εργαστηρίων για τη συχνότητα στην οποία εντοπίστηκε η πρώτη μέγιστη τιμή έντασης του ηλεκτρικού πεδίου για το Σενάριο 1



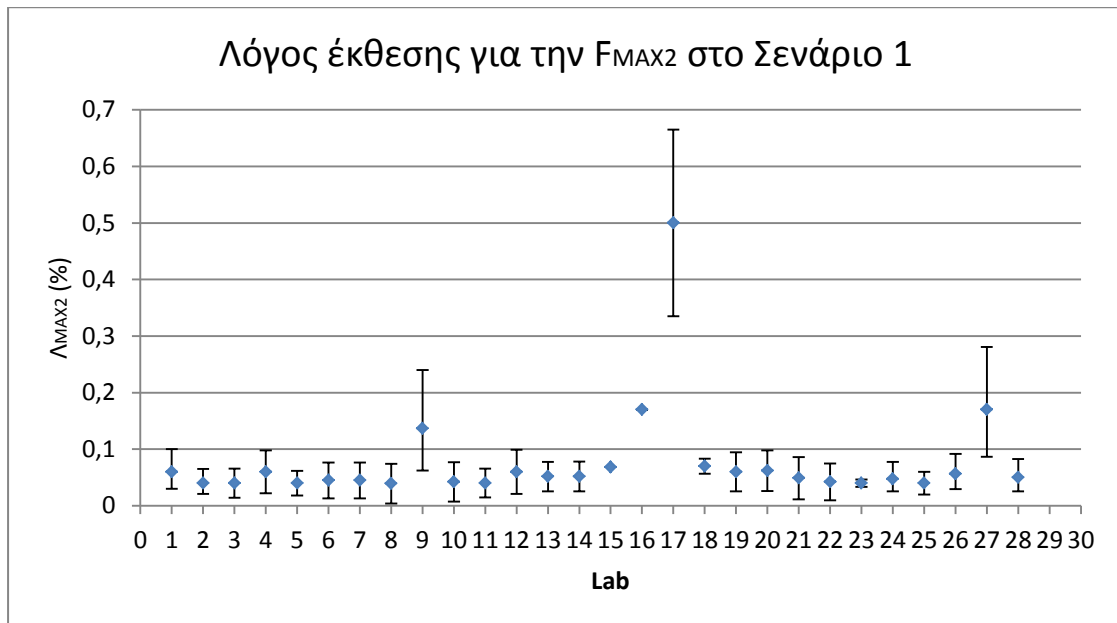
Διάγραμμα 6.5: Μετρήσεις και αβεβαιότητες των εργαστηρίων για τη συχνότητα στην οποία εντοπίστηκε η δεύτερη μέγιστη τιμή έντασης του ηλεκτρικού πεδίου για το Σενάριο 1



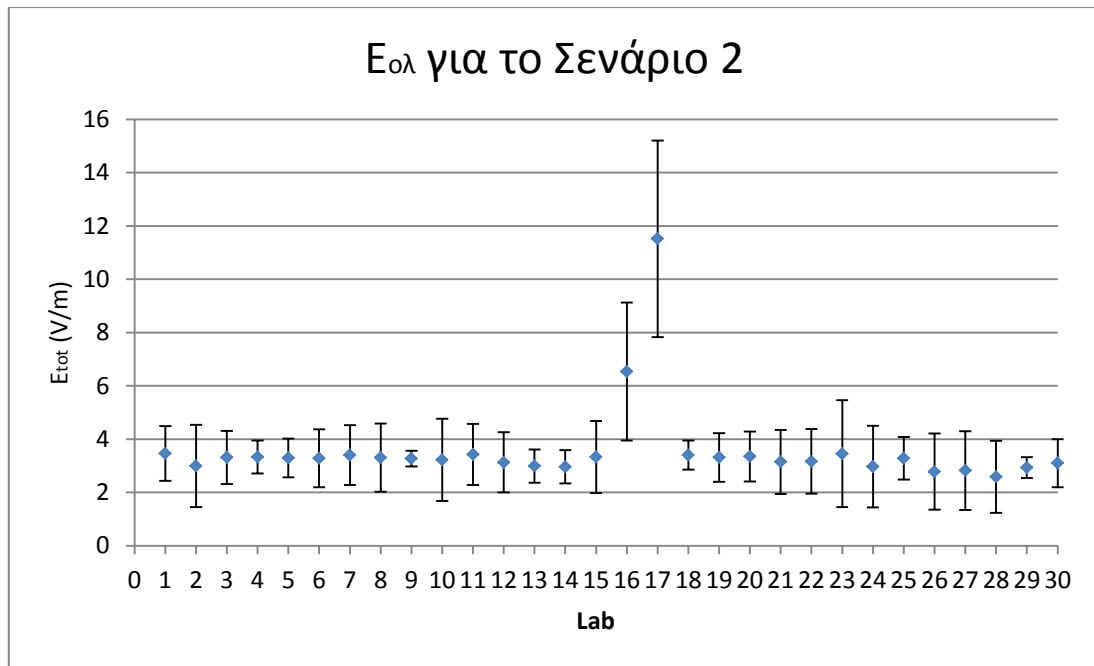
Διάγραμμα 6.6: Μετρήσεις και αβεβαιότητες των εργαστηρίων για το συνολικό λόγο έκθεσης για το Σενάριο 1



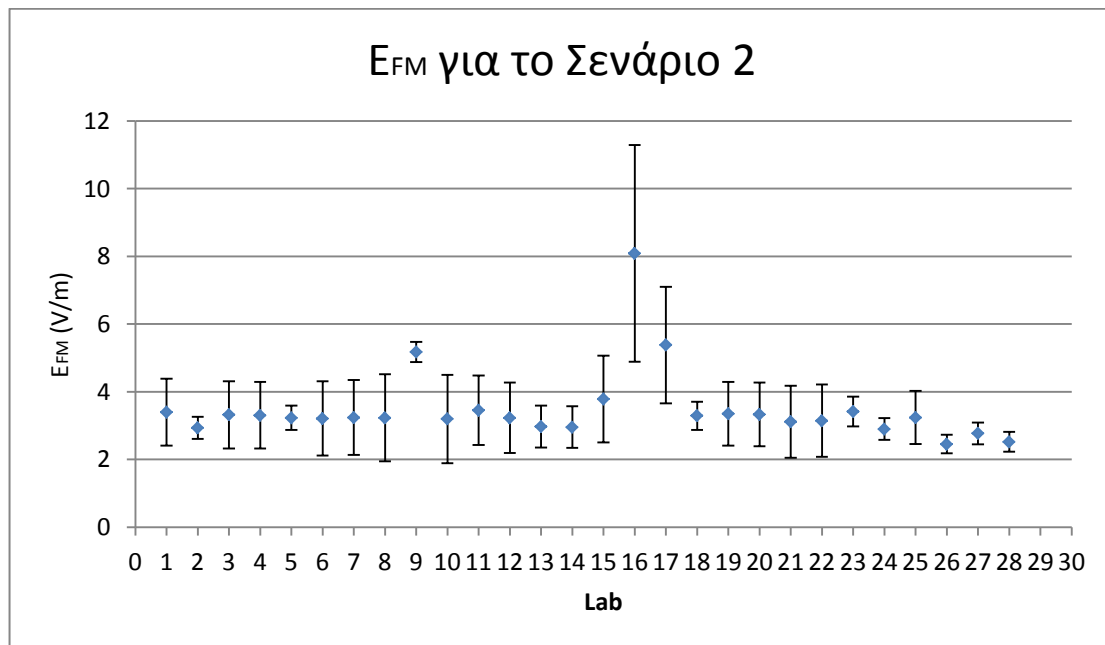
Διάγραμμα 6.7: Μετρήσεις και αβεβαιότητες των εργαστηρίων για το λόγο έκθεσης στη φασματική περιοχή με την πρώτη μέγιστη μετρούμενη τιμή έντασης πεδίου για το Σενάριο 1



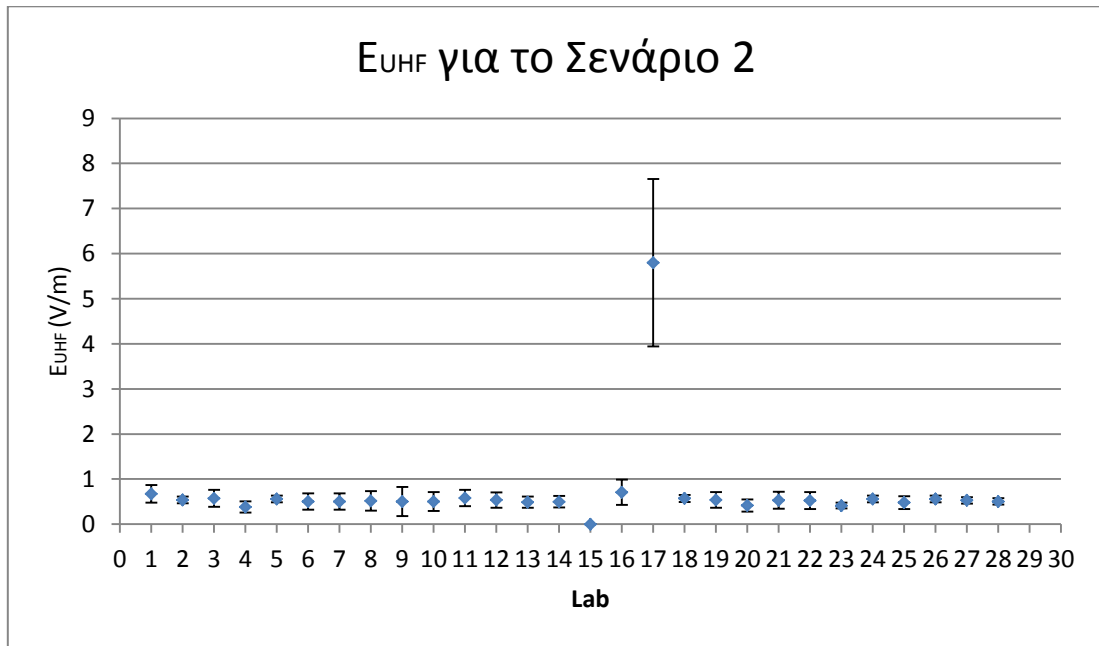
Διάγραμμα 6.8: Μετρήσεις και αβεβαιότητες των εργαστηρίων για το λόγο έκθεσης στη φασματική περιοχή με τη δεύτερη μέγιστη μετρούμενη τιμή έντασης πεδίου για το Σενάριο 1



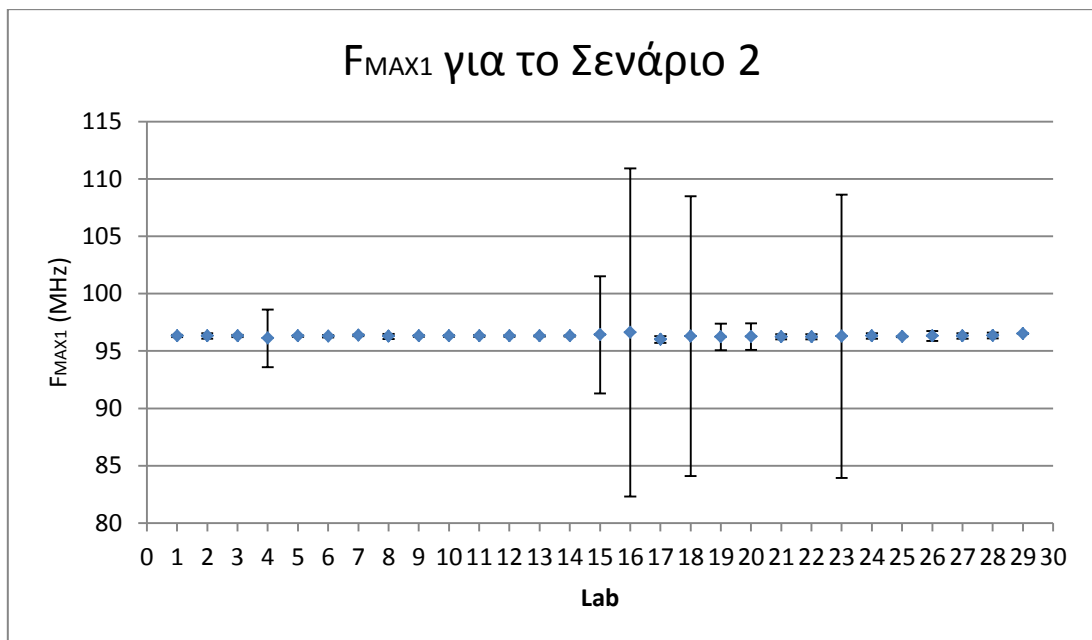
Διάγραμμα 6.9: Μετρήσεις και αβεβαιότητες των εργαστηρίων για τη συνολικά μετρούμενη τιμή της έντασης του πεδίου σε όλο το φασματικό εύρος για το Σενάριο 2



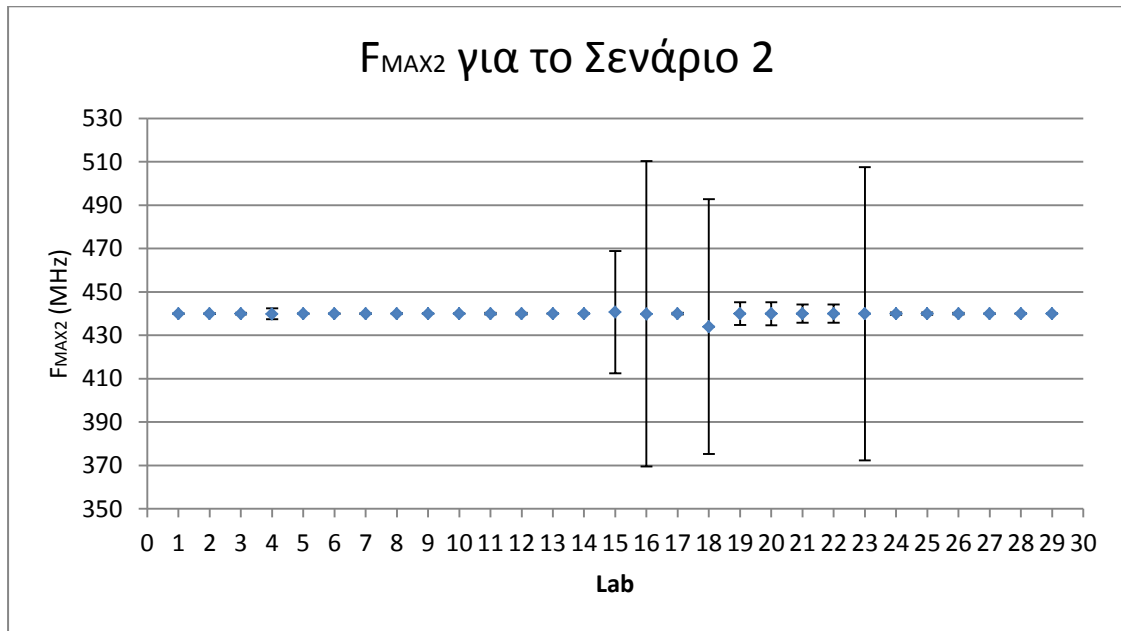
Διάγραμμα 6.10: Μετρήσεις και αβεβαιότητες των εργαστηρίων για τη μετρούμενη τιμή της έντασης του πεδίου στη φασματική περιοχή FM (87,5-108 MHz) για το Σενάριο 2



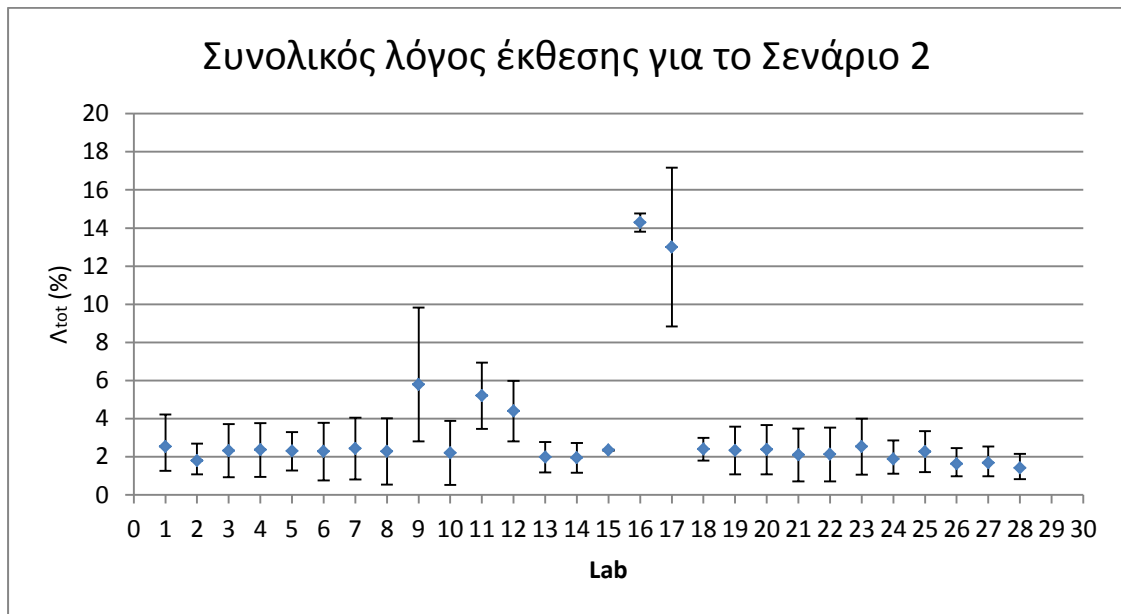
Διάγραμμα 6.11: Μετρήσεις και αβεβαιότητες των εργαστηρίων για τη μετρούμενη τιμή της έντασης του πεδίου στη φασματική περιοχή UHF (430-838 MHz) για το Σενάριο 2



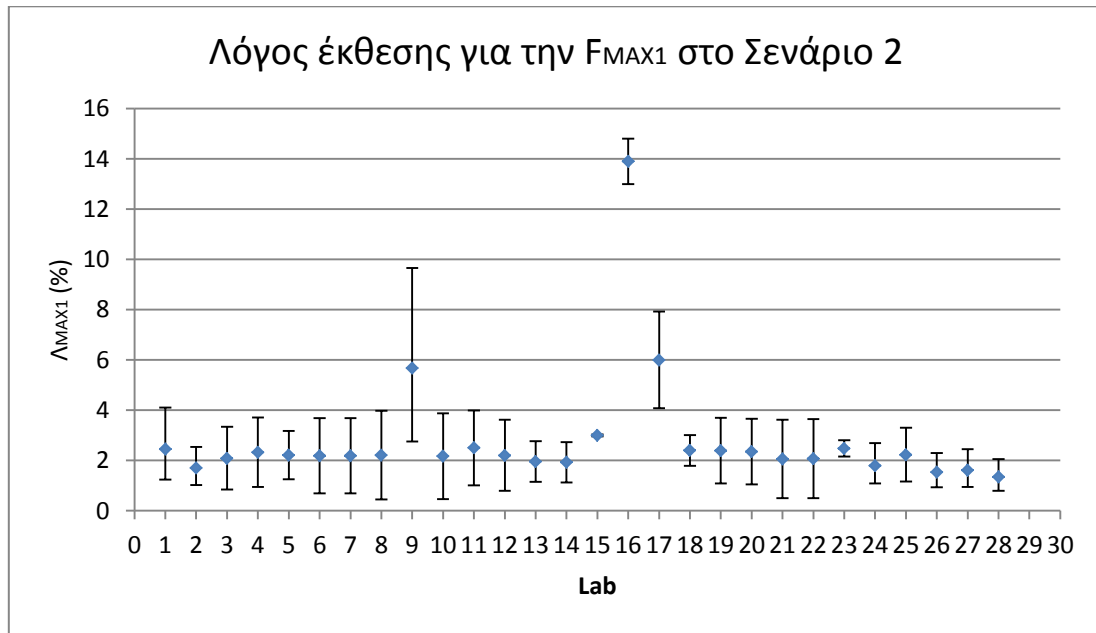
Διάγραμμα 6.12: Μετρήσεις και αβεβαιότητες των εργαστηρίων για τη συχνότητα στην οποία εντοπίστηκε η πρώτη μέγιστη τιμή έντασης του ηλεκτρικού πεδίου για το Σενάριο 2



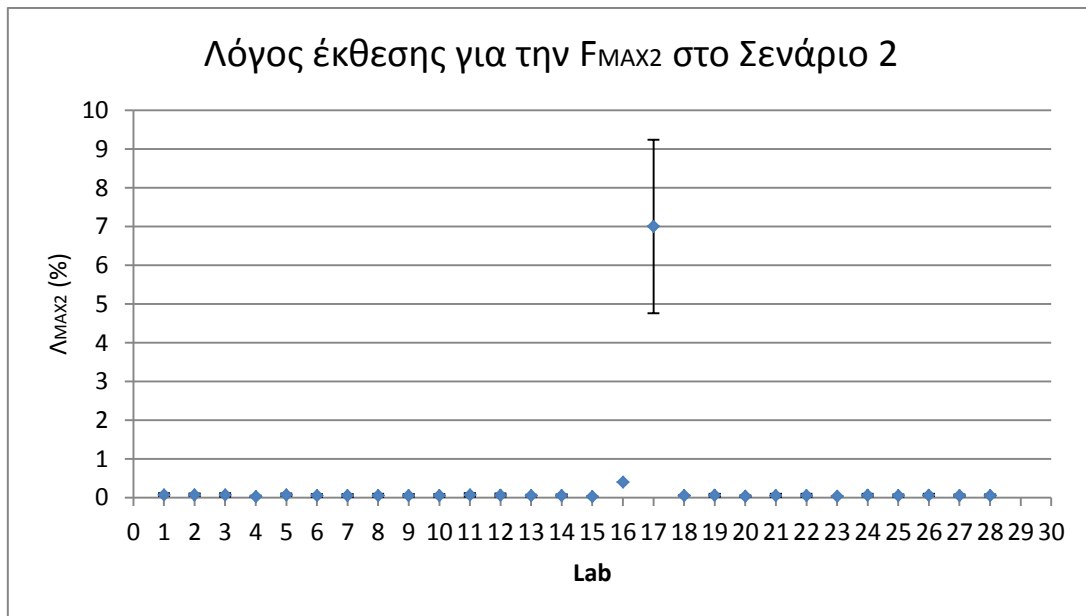
Διάγραμμα 6.13: Μετρήσεις και αβεβαιότητες των εργαστηρίων για τη συχνότητα στην οποία εντοπίστηκε η δεύτερη μέγιστη τιμή έντασης του ηλεκτρικού πεδίου για το Σενάριο 2



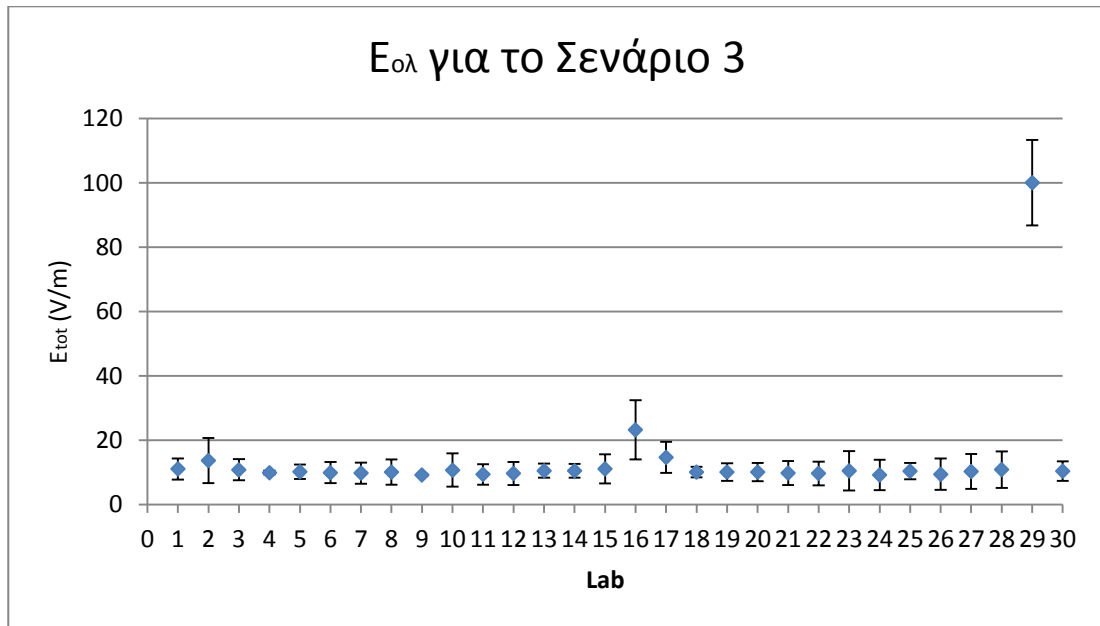
Διάγραμμα 6.14: Μετρήσεις και αβεβαιότητες των εργαστηρίων για το συνολικό λόγο έκθεσης για το Σενάριο 2



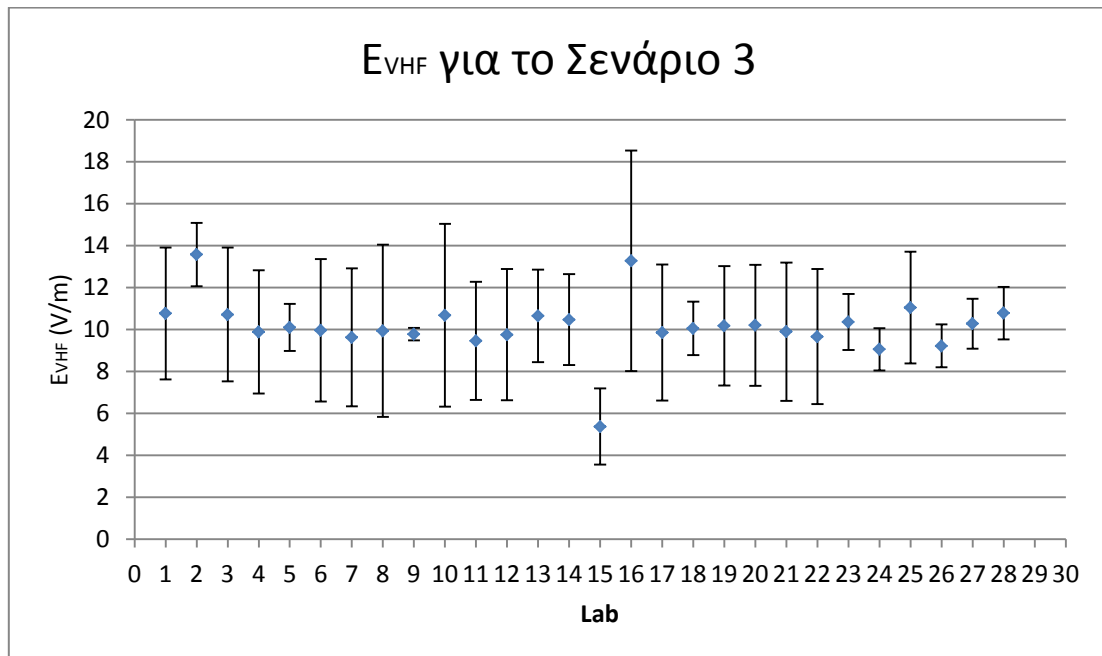
Διάγραμμα 6.15: Μετρήσεις και αβεβαιότητες των εργαστηρίων για το λόγο έκθεσης στη φασματική περιοχή με την πρώτη μέγιστη μετρούμενη τιμή έντασης πεδίου για το Σενάριο 2



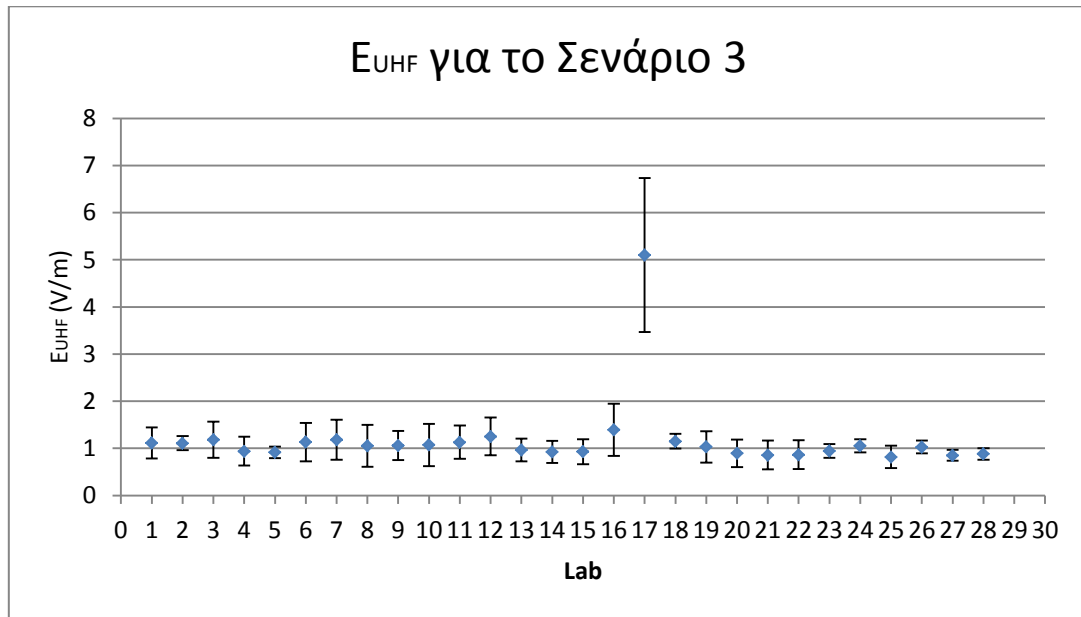
Διάγραμμα 6.16: Μετρήσεις και αβεβαιότητες των εργαστηρίων για το λόγο έκθεσης στη φασματική περιοχή με τη δεύτερη μέγιστη μετρούμενη τιμή έντασης πεδίου για το Σενάριο 2



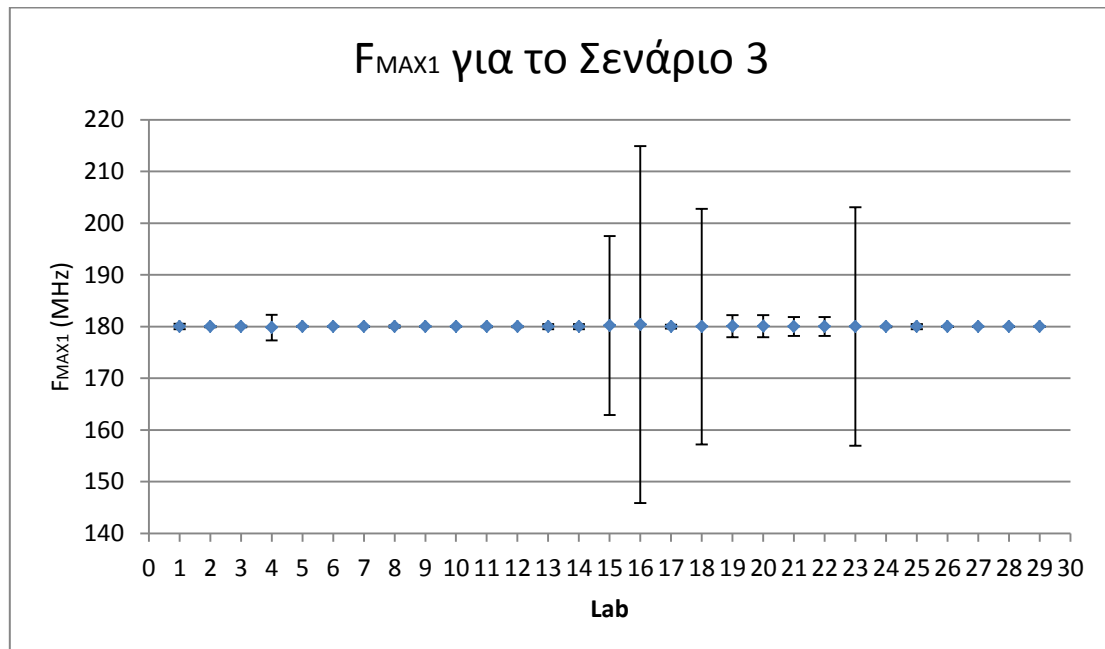
Διάγραμμα 6.17: Μετρήσεις και αβεβαιότητες των εργαστηρίων για τη συνολικά μετρούμενη τιμή της έντασης του πεδίου σε όλο το φασματικό εύρος για το Σενάριο 3



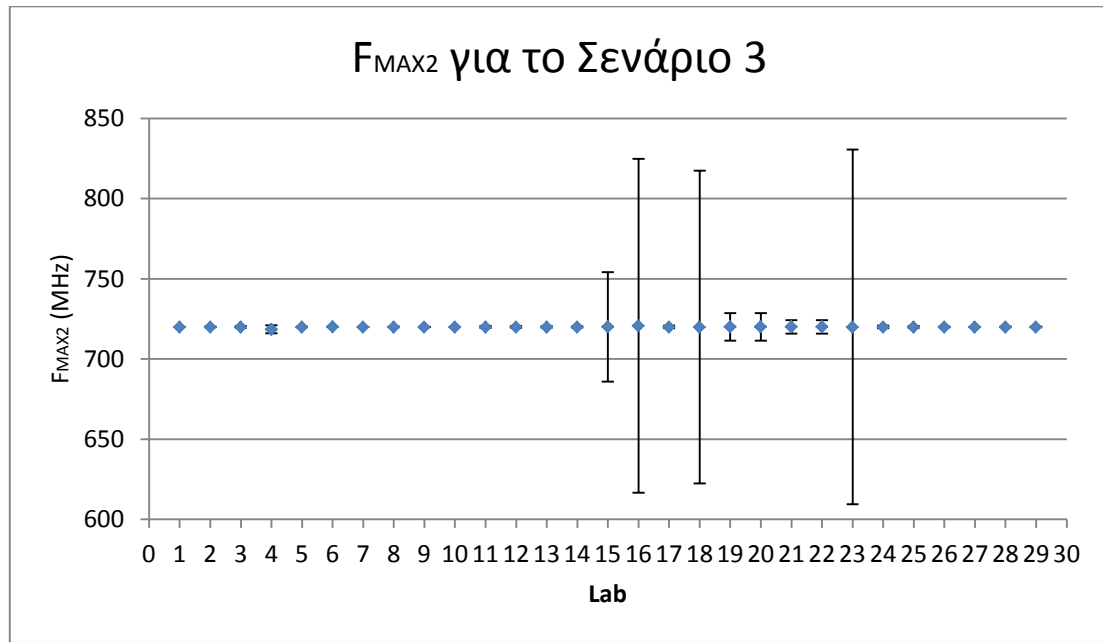
Διάγραμμα 6.18: Μετρήσεις και αβεβαιότητες των εργαστηρίων για τη μετρούμενη τιμή της έντασης του πεδίου στη φασματική περιοχή VHF (108-272 MHz) για το Σενάριο 3



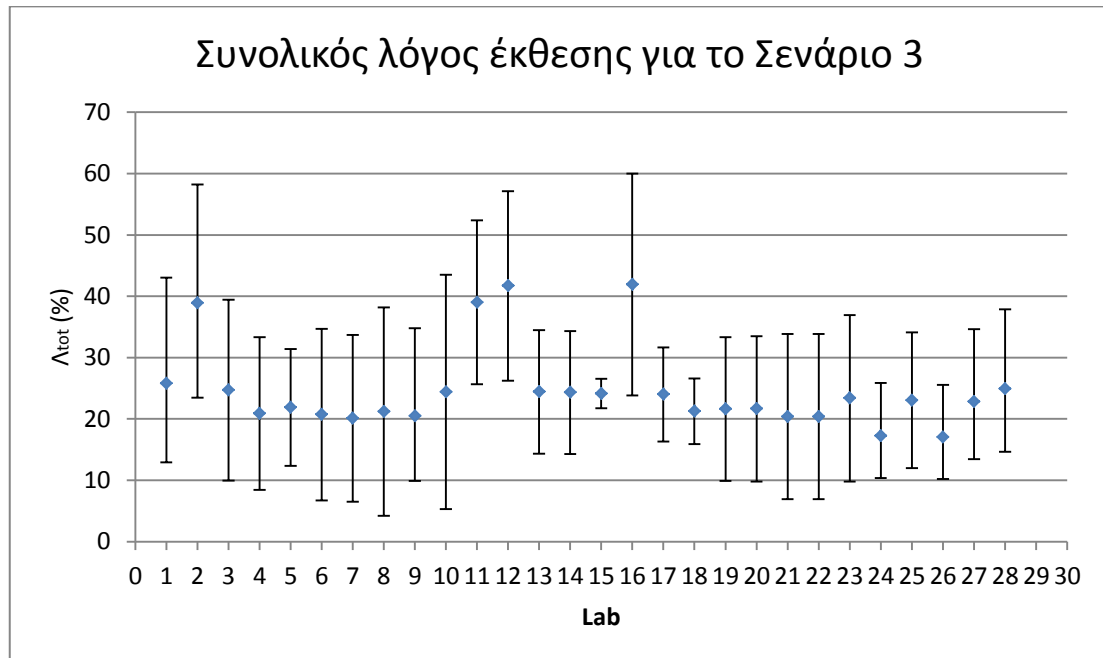
Διάγραμμα 6.19: Μετρήσεις και αβεβαιότητες των εργαστηρίων για τη μετρούμενη τιμή της έντασης του πεδίου στη φασματική περιοχή UHF (430-838 MHz) για το Σενάριο 3



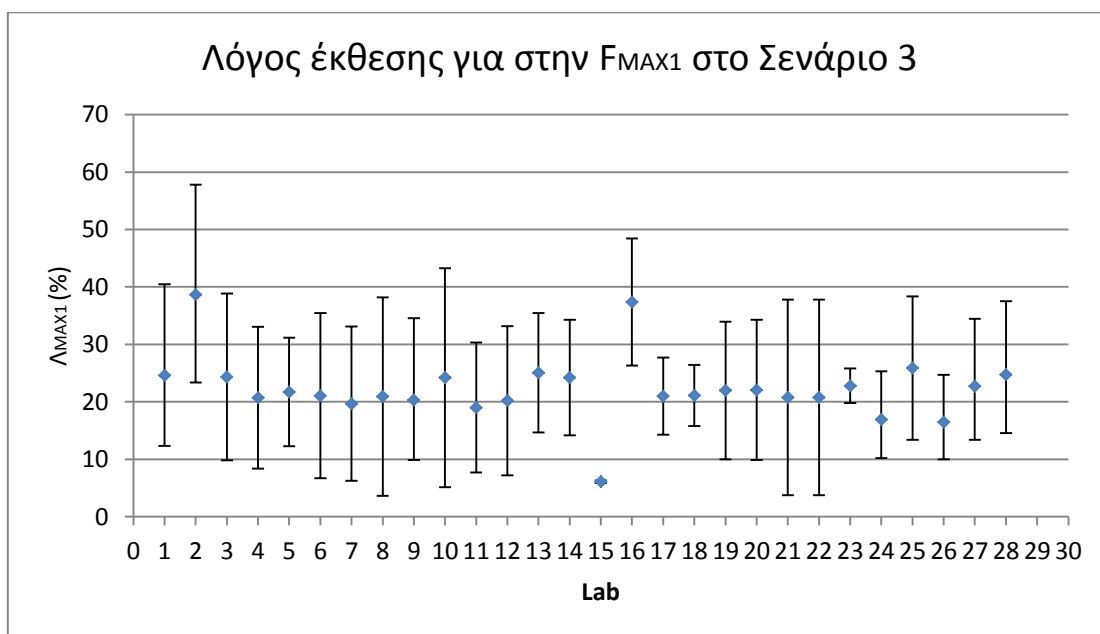
Διάγραμμα 6.20: Μετρήσεις και αβεβαιότητες των εργαστηρίων για τη συχνότητα στην οποία εντοπίστηκε η πρώτη μέγιστη τιμή έντασης του ηλεκτρικού πεδίου για το Σενάριο 3



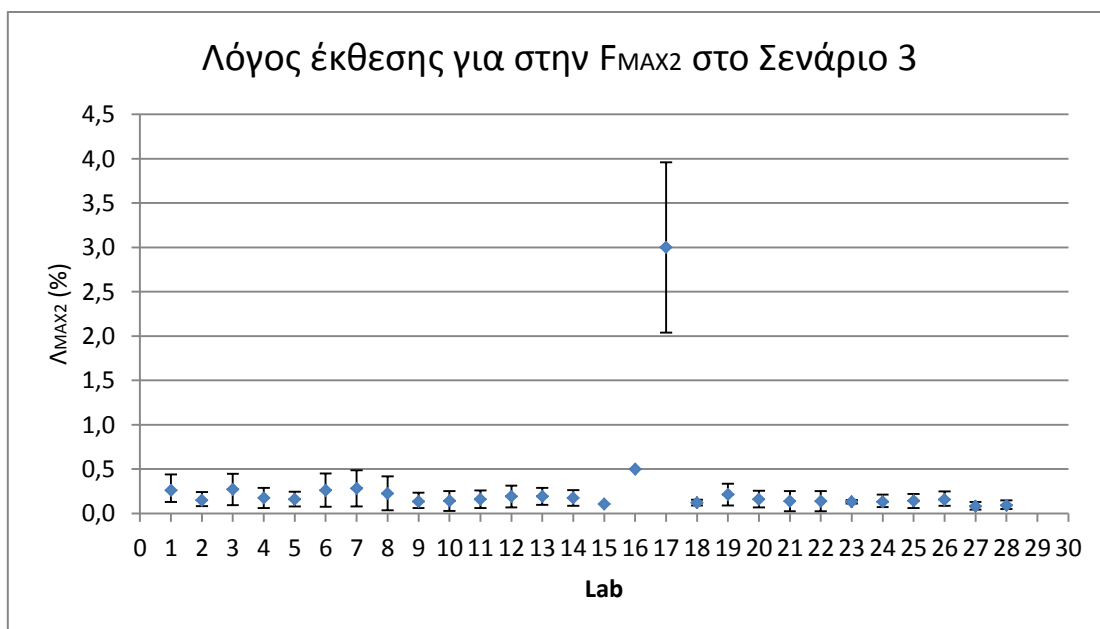
Διάγραμμα 6.21: Μετρήσεις και αβεβαιότητες των εργαστηρίων για τη συχνότητα στην οποία εντοπίστηκε η δεύτερη μέγιστη τιμή έντασης του ηλεκτρικού πεδίου για το Σενάριο 3



Διάγραμμα 6.22: Μετρήσεις και αβεβαιότητες των εργαστηρίων για το συνολικό λόγο έκθεσης για το Σενάριο 3



Διάγραμμα 6.23: Μετρήσεις και αβεβαιότητες των εργαστηρίων για το λόγο έκθεσης στη φασματική περιοχή με την πρώτη μέγιστη μετρούμενη τιμή έντασης πεδίου για το Σενάριο 3



Διάγραμμα 6.24: Μετρήσεις και αβεβαιότητες των εργαστηρίων για το λόγο έκθεσης στη φασματική περιοχή με τη δεύτερη μέγιστη μετρούμενη τιμή έντασης πεδίου για το Σενάριο 3

6.6 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ – ΔΕΙΚΤΕΣ ΕΠΙΔΟΣΗΣ

Στους Πίνακες 6.5 έως 6.7 που ακολουθούν παρουσιάζονται οι επιδόσεις των για τα ζητούμενα μεγέθη, για τα τρία σενάρια αντίστοιχα. Με ροζ χρώμα παρουσιάζονται τα “warning signals” και με κόκκινο χρώμα παρουσιάζονται τα “action signals” για τα z-scores και με κόκκινο επίσης οι δείκτες $|E_n| > 1$.

Ακολουθούν τα Διαγράμματα 6.25 μέχρι 6.56 όπου παρουσιάζονται οι δείκτες επίδοσης των εργαστηρίων, για τις διάφορες μετρήσεις, ταξινομημένοι κατά αύξουσα σειρά. Υπενθυμίζεται ότι όπου δεν ήταν δυνατός ο υπολογισμός των z-scores με χρήση του επαναληπτικού αλγορίθμου του προτύπου ISO 13528, ως δείκτες επίδοσης χρησιμοποιούνται οι E_n -numbers. Για λόγους πληρότητας, ο δείκτης αυτός παρουσιάζεται και για τις συχνότητες όπου τα z-scores υπολογίστηκαν κανονικά ($F_{\max 1}$ για τα σενάρια 1 και 2).

Επιπλέον, στο Σενάριο 1 στα πεδία $F_{\max 1}$, $\Lambda_{\max 1}$ και $\Lambda_{\max 2}$, στο Σενάριο 2 στα πεδία $\Lambda_{\max 2}$ και $E_{ολ}$ και στο Σενάριο 3 στο πεδίο $\Lambda_{\max 2}$ υπήρχαν κάποια εργαστήρια με πολύ ακραίους δείκτες επίδοσης. Έτσι, τα διαγράμματα αυτά παρουσιάζονται δύο φορές. Μία που φαίνονται όλα τα εργαστήρια με ολόκληρη απεικόνιση των δεικτών τους και μία όπου αποκόπτεται ένα μέρος των δεικτών που είναι πολύ μεγάλοι, για να διακρίνεται η χρήσιμη πληροφορία.

Οι πλήρεις πίνακες υπολογισμού των δεικτών επίδοσης βρίσκονται στο Παράρτημα 2 μαζί με σημειώσεις για την κατά περίπτωση επεξεργασία ή επιλογή των δεδομένων.

Δείκτες Επίδοσης Εργαστηρίων στο Σενάριο 1									
Εργαστήριο	$E_{ολ}$ z-score	E_{FM} z-score	E_{GSM} z-score	F_{max1} z-score	F_{max1} En-number	F_{max2} En-number	$\Lambda_{ολ}$ z-score	Λ_{max1} z-score	Λ_{max2} z-score
Lab 1	1,451	0,761	0,221	-0,208	0,00	0,000	1,006	0,773	0,441
Lab 2	-0,725	-0,890	0,241	-0,208	0,00	0,000	-0,339	-1,070	-0,936
Lab 3	-0,350	-0,617	-0,724	-0,208	0,00	0,000	-0,578	-0,661	-0,936
Lab 4	0,580	0,259	0,225	-3,095	-0,04	0,040	0,254	0,231	0,441
Lab 5	0,657	0,301	-0,696	-0,208	0,00	0,000	0,299	0,276	-0,936
Lab 6	0,277	0,085	-0,685	1,727	0,72	0,131	-0,033	0,049	-0,606
Lab 7	-0,317	-0,345	-0,690	-2,283	-0,97	-0,038	-0,522	-0,389	-0,606
Lab 8	0,586	0,261	-1,132	-1,940	-0,26	-0,489	0,022	0,233	-0,998
Lab 9	0,021	3,302	4,588	-0,208	0,00	0,000	3,795	3,863	5,723
Lab 10	0,328	0,068	-0,705	0,514	0,33	59,709	0,030	0,028	-0,771
Lab 11	0,634	0,610	-1,319	-0,208	0,00	0,000	6,897	0,637	-0,936
Lab 12	0,703	1,050	0,344	-0,208	0,00	0,000	7,051	1,117	0,441
Lab 13	-0,801	-0,717	-0,235	-0,005	0,15	-0,079	-0,672	-0,546	-0,135
Lab 14	-0,656	-0,583	-0,224	0,081	0,21	-0,218	-0,552	-0,410	-0,125
Lab 15	1,602	2,305	1,076	3,545	0,02	0,004	0,283	2,960	1,013
Lab 16	12,980	21,356	5,891	9,955	0,02	-0,001	15,587	42,775	8,016
Lab 17	14,666	3,771	14,694	-0,208	0,00	0,000	5,128	4,562	30,742
Lab 18	0,293	0,141	-0,272	-0,496	0,00	0,000	-0,001	0,020	1,130
Lab 19	-0,086	-0,062	0,270	-2,026	-0,05	0,002	-0,296	-0,101	0,441
Lab 20	-0,066	-0,168	0,390	1,149	0,04	0,000	-0,306	-0,209	0,579
Lab 21	-0,874	-0,735	-0,534	1,756	0,30	-0,001	-0,924	-0,773	-0,337
Lab 22	-0,814	-0,835	-0,717	0,716	0,14	0,001	-0,878	-0,933	-0,792
Lab 23	0,528	-0,103	-0,713	-0,208	0,00	0,000	0,207	-0,140	-0,936
Lab 24	-1,144	-1,227	-0,326	-0,208	0,00	0,000	-1,245	-1,342	-0,420
Lab 25	-0,176	0,396	-0,963	0,947	0,78	0,000	-0,388	0,380	-0,936
Lab 26	0,396	-0,984	2,668	-0,208	0,00	0,000	-0,318	-0,484	0,186
Lab 27	-1,741	-1,723	2,031	-0,208	0,00	0,000	-1,754	-1,831	8,016
Lab 28	-1,089	-1,167	-0,326	-0,208	0,00	0,000	-1,121	-1,182	-0,248
Lab 29	-1,487	-----	-----	-0,208	0,00	152,788	-----	-----	-----
Lab 30	-0,869	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

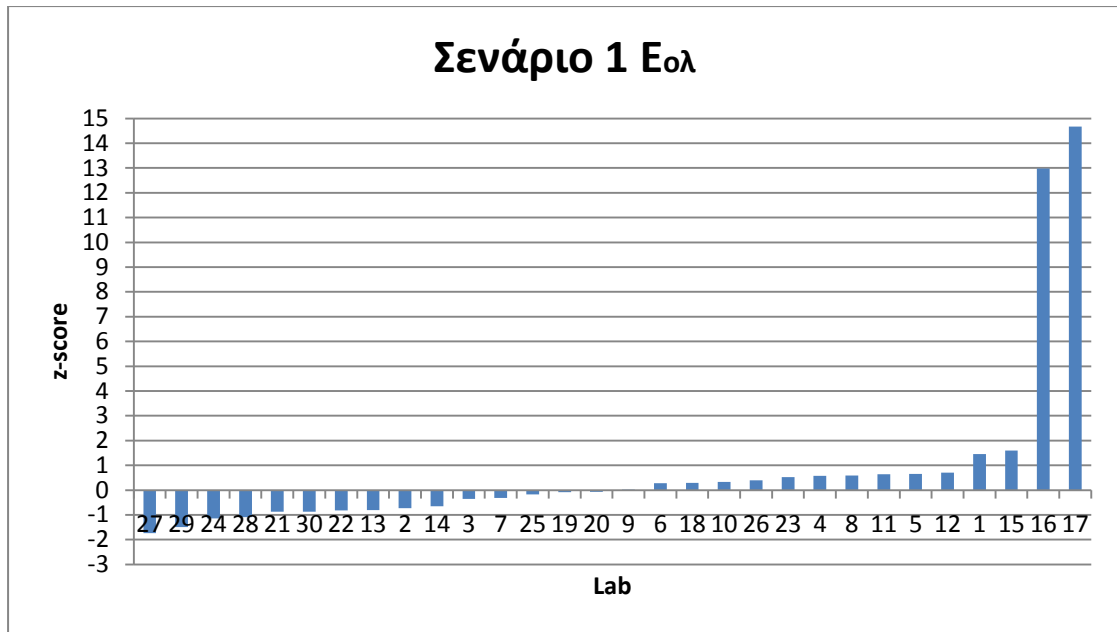
Πίνακας 6.5: Δείκτες επίδοσης εργαστηρίων για τα ζητούμενα μεγέθη στο Σενάριο 1

Δείκτες Επίδοσης Εργαστηρίων στο Σενάριο 2									
Εργαστήριο	E _{ολ} z-score	E _{FM} z-score	E _{UHF} z-score	F _{max1} z-score	F _{max1} En-number	F _{max2} En-number	Λ _{ολ} z-score	Λ _{max1} z-score	Λ _{max2} z-score
Lab 1	1,018	0,532	2,494	0,142	0,00	0,000	0,426	0,576	1,156
Lab 2	-0,936	-0,957	0,226	0,142	0,00	0,000	-1,066	-1,231	0,619
Lab 3	0,406	0,263	0,814	0,142	0,00	0,000	0,002	-0,304	1,156
Lab 4	0,474	0,230	-2,389	-3,883	-0,08	-0,040	0,075	0,250	-2,016
Lab 5	0,322	-0,022	0,578	0,142	0,00	0,000	-0,058	-0,009	1,156
Lab 6	0,259	-0,077	-0,363	-0,180	-0,17	0,010	-0,095	-0,063	-0,262
Lab 7	0,753	0,014	-0,327	1,600	0,98	0,001	0,231	-0,063	-0,239
Lab 8	0,364	-0,019	-0,178	-0,462	-0,13	0,000	-0,072	-0,004	-0,094
Lab 9	0,217	6,203	-0,363	0,142	0,00	-0,655	6,979	8,241	-0,324
Lab 10	0,016	-0,121	-0,379	0,142	0,00	0,000	-0,239	-0,114	-0,339
Lab 11	0,859	0,705	0,988	0,142	0,00	0,000	5,806	0,671	1,156
Lab 12	-0,379	-0,013	0,192	0,142	0,00	0,000	4,194	-0,042	0,389
Lab 13	-0,969	-0,838	-0,561	0,262	0,13	0,000	-0,693	-0,625	-0,412
Lab 14	-1,073	-0,897	-0,447	0,262	0,13	0,000	-0,759	-0,682	-0,306
Lab 15	0,460	1,755	-8,810	2,355	0,02	0,025	0,063	1,860	-2,402
Lab 16	13,897	15,520	3,099	6,420	0,02	-0,001	24,124	27,785	26,459
Lab 17	34,807	6,865	88,634	-5,895	-1,04	0,000	21,524	8,996	532,508
Lab 18	0,761	0,173	0,797	-0,060	0,00	-0,102	0,164	0,433	-0,377
Lab 19	0,410	0,378	0,226	-1,287	-0,06	0,002	0,031	0,407	0,236
Lab 20	0,544	0,304	-1,841	-0,865	-0,04	-0,012	0,117	0,329	-1,604
Lab 21	-0,316	-0,387	0,105	-1,166	-0,29	0,000	-0,461	-0,375	-0,163
Lab 22	-0,219	-0,294	-0,001	-1,307	-0,33	0,000	-0,401	-0,351	-0,163
Lab 23	0,982	0,577	-1,910	-0,236	0,00	-0,001	0,426	0,624	-1,911
Lab 24	-1,050	-1,076	0,595	0,142	0,00	0,000	-0,884	-1,003	0,389
Lab 25	0,271	0,019	-0,778	-0,865	-1,04	0,000	-0,098	0,029	-0,377
Lab 26	-1,830	-2,494	0,629	0,343	0,02	0,000	-1,388	-1,624	0,535
Lab 27	-1,666	-1,486	0,058	0,142	0,00	0,000	-1,308	-1,445	-0,377
Lab 28	-2,673	-2,292	-0,312	1,148	0,21	0,000	-1,831	-2,064	-0,377
Lab 29	-1,175	-----	-----	4,166	8,91	0,000	-----	-----	-----
Lab 30	-0,504	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

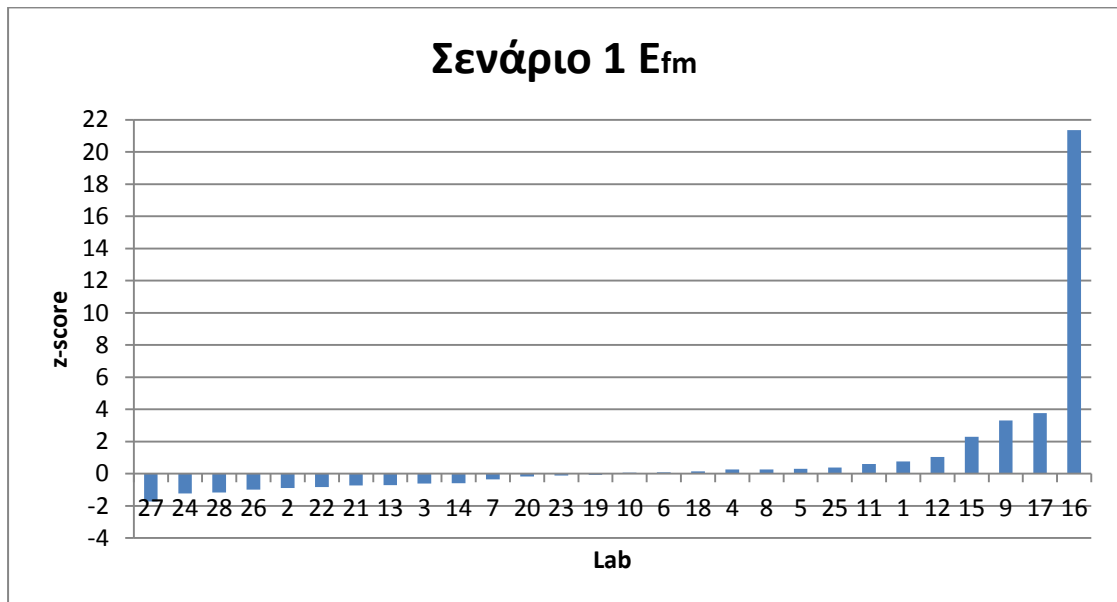
Πίνακας 6.6: Δείκτες επίδοσης εργαστηρίων για τα ζητούμενα μεγέθη στο Σενάριο 2

Δείκτες Επίδοσης Εργαστηρίων στο Σενάριο 3								
Εργαστήριο	$E_{ολ}$ z-score	E_{VHF} z-score	E_{UHF} z-score	F_{max1} En-number	F_{max2} En-number	$\Lambda_{ολ}$ z-score	Λ_{max1} z-score	Λ_{max2} z-score
Lab 1	1,120	0,964	0,569	0,000	0,000	0,907	0,892	1,243
Lab 2	4,628	5,298	0,529	0,000	0,000	5,161	5,689	-0,383
Lab 3	0,820	0,887	0,999	0,000	0,000	0,557	0,814	1,391
Lab 4	-0,417	-0,395	-0,600	-0,080	-0,600	-0,676	-0,427	-0,041
Lab 5	-0,072	-0,052	-0,768	0,000	0,000	-0,357	-0,093	-0,235
Lab 6	-0,404	-0,268	0,675	0,000	0,052	-0,739	-0,309	1,257
Lab 7	-0,606	-0,787	0,986	-0,003	0,002	-0,935	-0,786	1,582
Lab 8	-0,178	-0,311	0,152	0,000	0,000	-0,577	-0,362	0,741
Lab 9	-1,368	-0,544	0,185	0,000	-0,393	-0,820	-0,564	-0,634
Lab 10	0,675	0,838	0,264	0,000	0,000	0,460	0,759	-0,531
Lab 11	-1,179	-1,048	0,661	0,000	0,000	5,193	-1,013	-0,235
Lab 12	-0,744	-0,596	1,475	0,000	0,000	6,069	-0,604	0,209
Lab 13	0,384	0,784	-0,433	-0,021	0,000	0,467	1,045	0,238
Lab 14	0,349	0,513	-0,708	-0,021	0,000	0,429	0,765	-0,013
Lab 15	1,184	-7,341	-0,675	0,011	0,002	0,376	-5,407	-1,023
Lab 16	17,525	4,836	2,395	0,011	0,007	6,137	5,259	4,792
Lab 17	6,019	-0,437	26,919	0,000	0,000	0,330	-0,331	41,753
Lab 18	-0,216	-0,129	0,794	0,000	0,000	-0,561	-0,297	-0,826
Lab 19	-0,188	0,059	0,013	0,038	0,004	-0,441	0,000	0,549
Lab 20	-0,181	0,094	-0,887	0,038	0,004	-0,434	0,034	-0,220
Lab 21	-0,575	-0,376	-1,139	0,000	0,002	-0,843	-0,410	-0,557
Lab 22	-0,759	-0,732	-1,094	0,000	0,002	-0,843	-0,410	-0,557
Lab 23	0,372	0,349	-0,552	0,000	0,000	0,123	0,282	-0,678
Lab 24	-1,356	-1,665	0,145	0,000	0,000	-1,861	-1,722	-0,664
Lab 25	0,239	1,396	-1,409	0,000	0,000	0,019	1,332	-0,531
Lab 26	-1,070	-1,419	-0,013	0,000	0,000	-1,939	-1,865	-0,309
Lab 27	0,113	0,214	-1,184	0,000	0,000	-0,059	0,248	-1,418
Lab 28	0,833	0,995	-0,993	0,000	0,000	0,622	0,930	-1,270
Lab 29	-1,611	-----	-----	0,000	0,000	-----	-----	-----
Lab 30	0,226	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

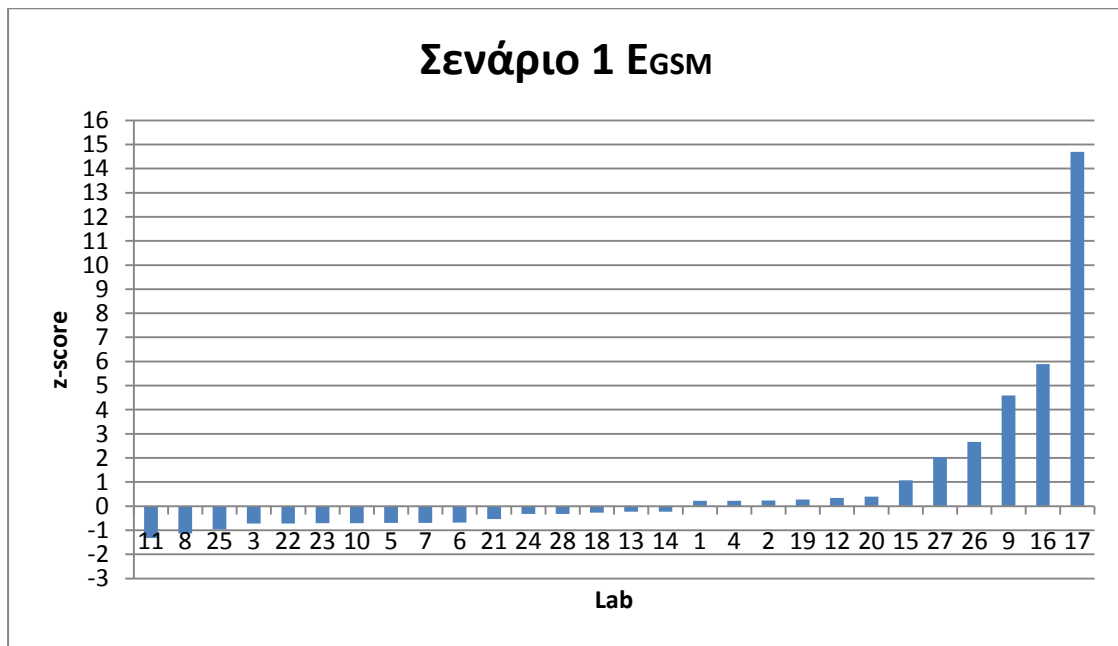
Πίνακας 6.7: Δείκτες επίδοσης εργαστηρίων για τα ζητούμενα μεγέθη στο Σενάριο 3



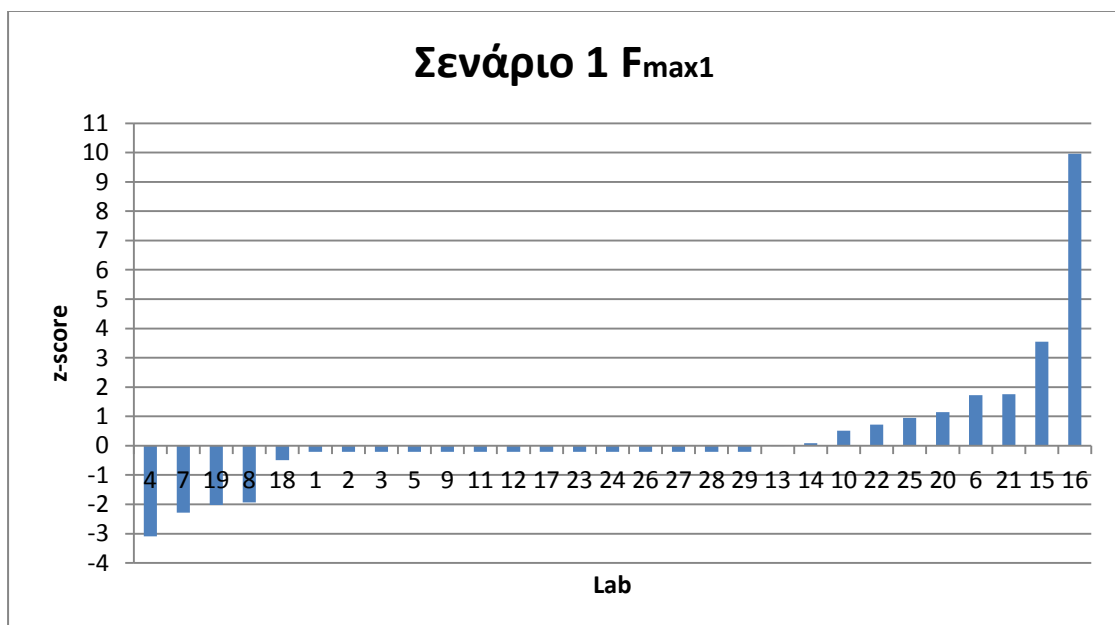
Διάγραμμα 6.25: Δείκτες επίδοσης z-score των εργαστηρίων για τη συνολικά μετρούμενη τιμή της έντασης του πεδίου σε όλο το φασματικό εύρος για το Σενάριο 1



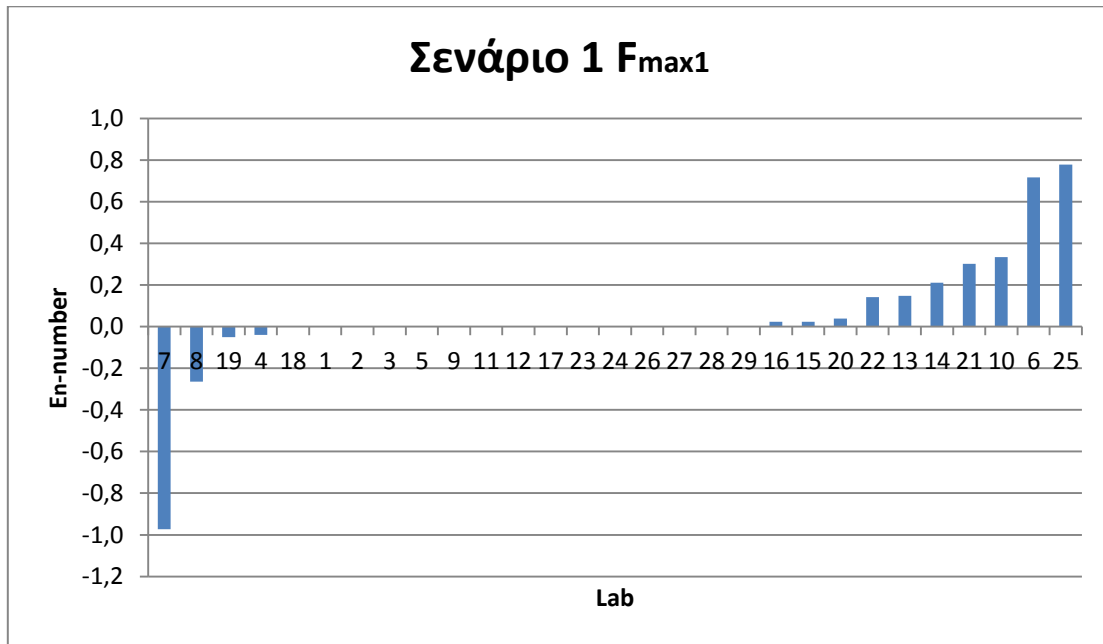
Διάγραμμα 6.26: Δείκτες επίδοσης z-score των εργαστηρίων για τη μετρούμενη τιμή της έντασης του πεδίου στη φασματική περιοχή FM (87,5-108 MHz) για το Σενάριο 1



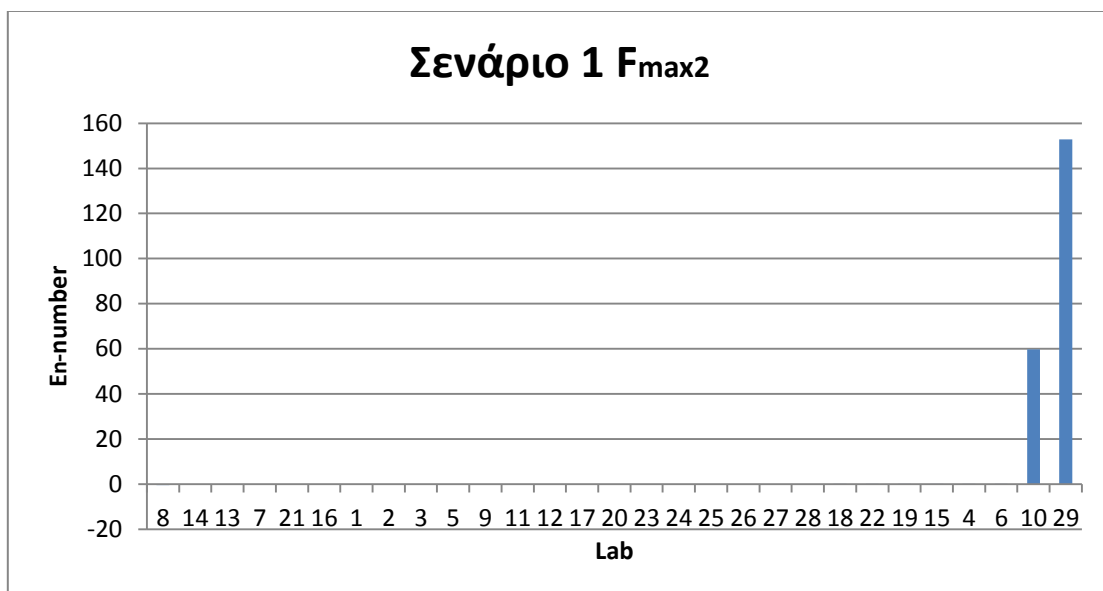
Διάγραμμα 6.27: Δείκτες επίδοσης z-score των εργαστηρίων για τη μετρούμενη τιμή της έντασης του πεδίου στη φασματική περιοχή GSM (885-960 MHz) για το Σενάριο 1



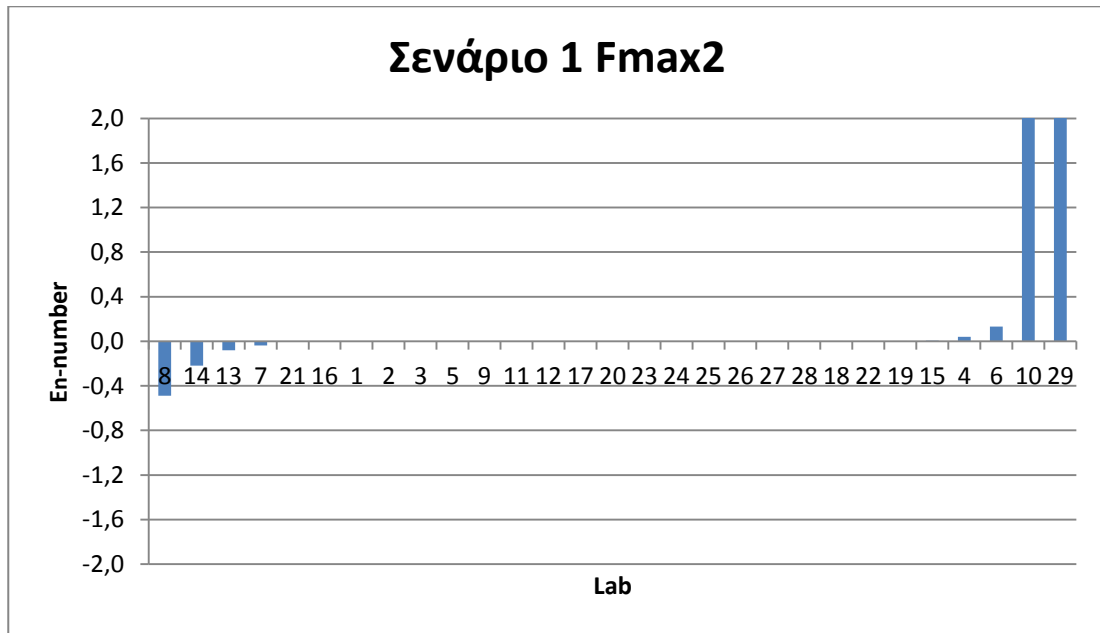
Διάγραμμα 6.28: Δείκτες επίδοσης z-score των εργαστηρίων για τη συχνότητα στην οποία εντοπίστηκε η πρώτη μέγιστη τιμή έντασης του ηλεκτρικού πεδίου για το Σενάριο 1



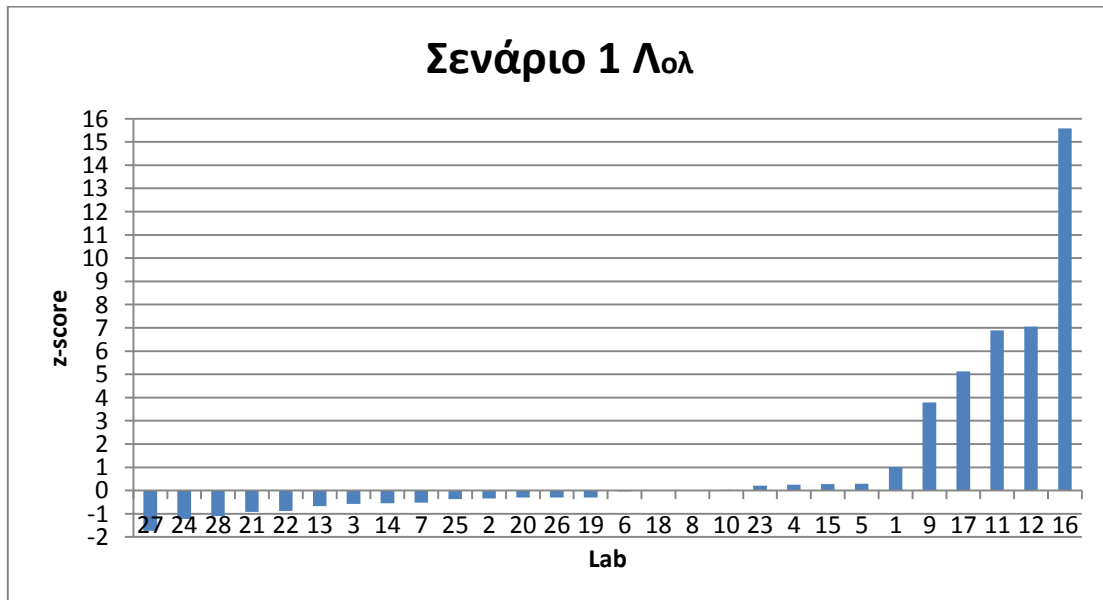
Διάγραμμα 6.29: Δείκτες επίδοσης E_n -number των εργαστηρίων για τη συχνότητα στην οποία εντοπίστηκε η πρώτη μέγιστη τιμή έντασης του ηλεκτρικού πεδίου για το Σενάριο 1



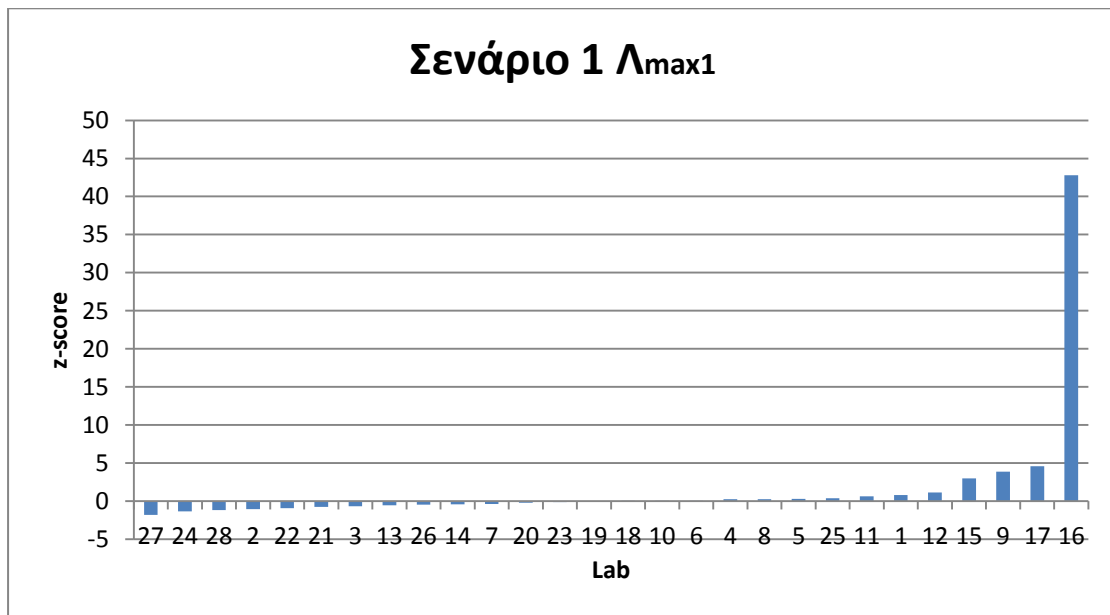
Διάγραμμα 6.30: Ολόκληρη απεικόνιση των δεικτών επίδοσης E_n -number των εργαστηρίων για τη συχνότητα στην οποία εντοπίστηκε η δεύτερη μέγιστη τιμή έντασης του ηλεκτρικού πεδίου για το Σενάριο 1



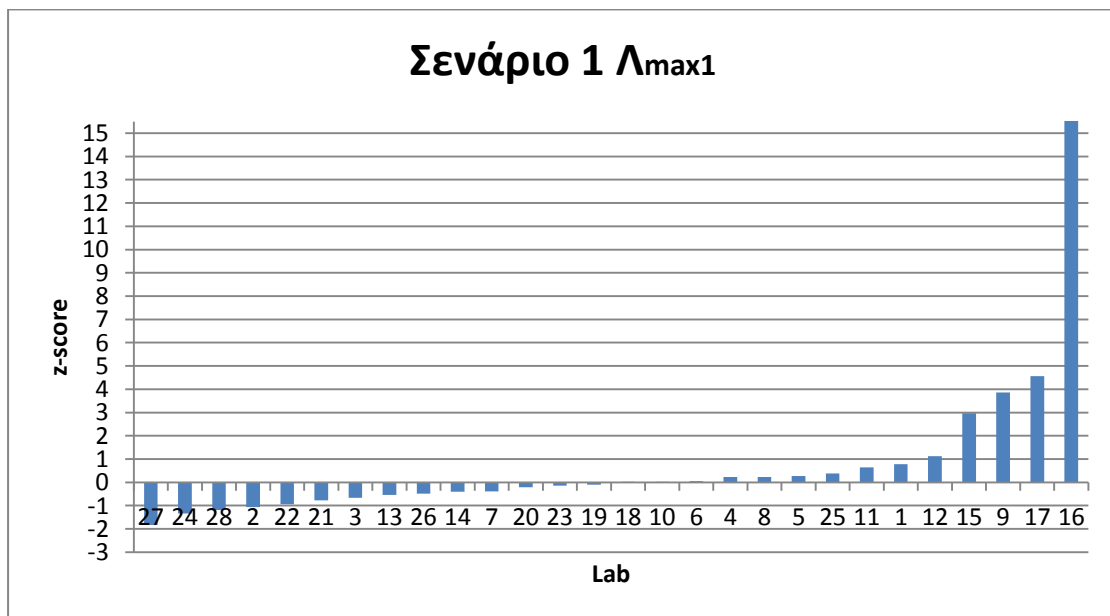
Διάγραμμα 6.31: Απεικόνιση των δεικτών επίδοσης E_n -number των εργαστηρίων, με αποκομμένες τις ακραίες τιμές, για τη συχνότητα στην οποία εντοπίστηκε η δεύτερη μέγιστη τιμή έντασης του ηλεκτρικού πεδίου για το Σενάριο 1



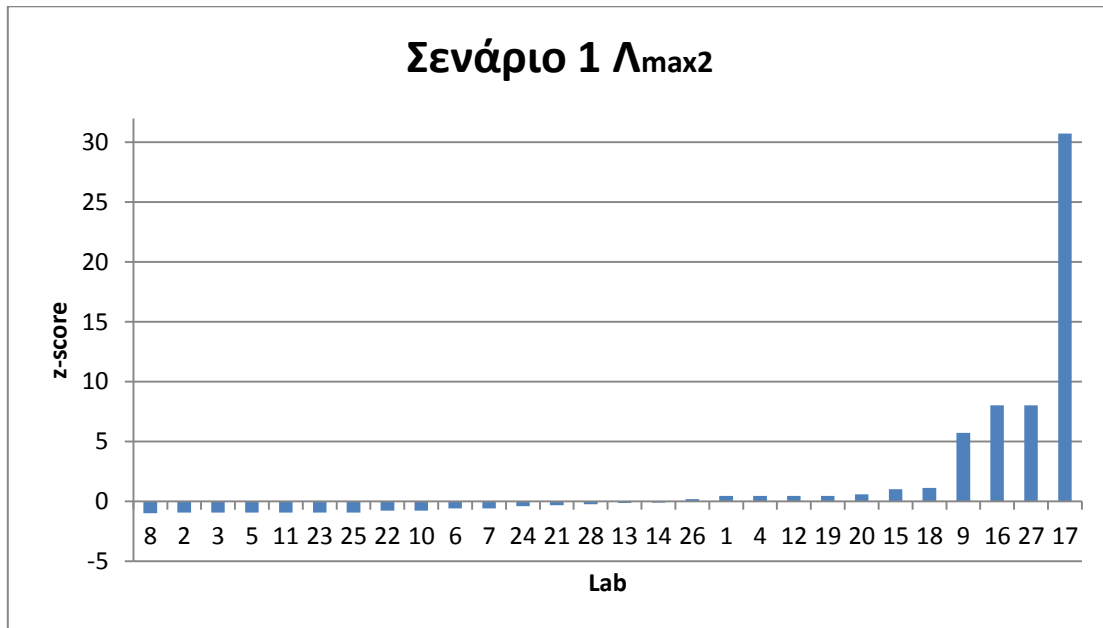
Διάγραμμα 6.32: Δείκτες επίδοσης z-score των εργαστηρίων για το συνολικό λόγο έκθεσης, σε όλο το φασματικό εύρος του εξοπλισμού για το Σενάριο 1



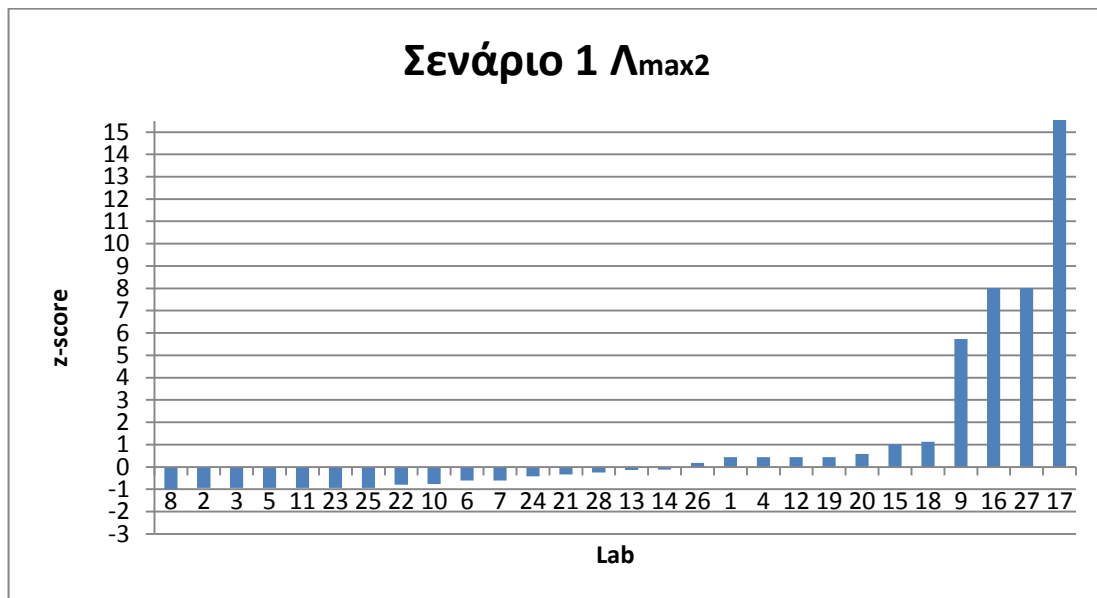
Διάγραμμα 6.33: Δείκτες επίδοσης z-score των εργαστηρίων για το λόγο έκθεσης, στη φασματική περιοχή με την πρώτη μέγιστη μετρούμενη τιμή έντασης πεδίου για το Σενάριο 1



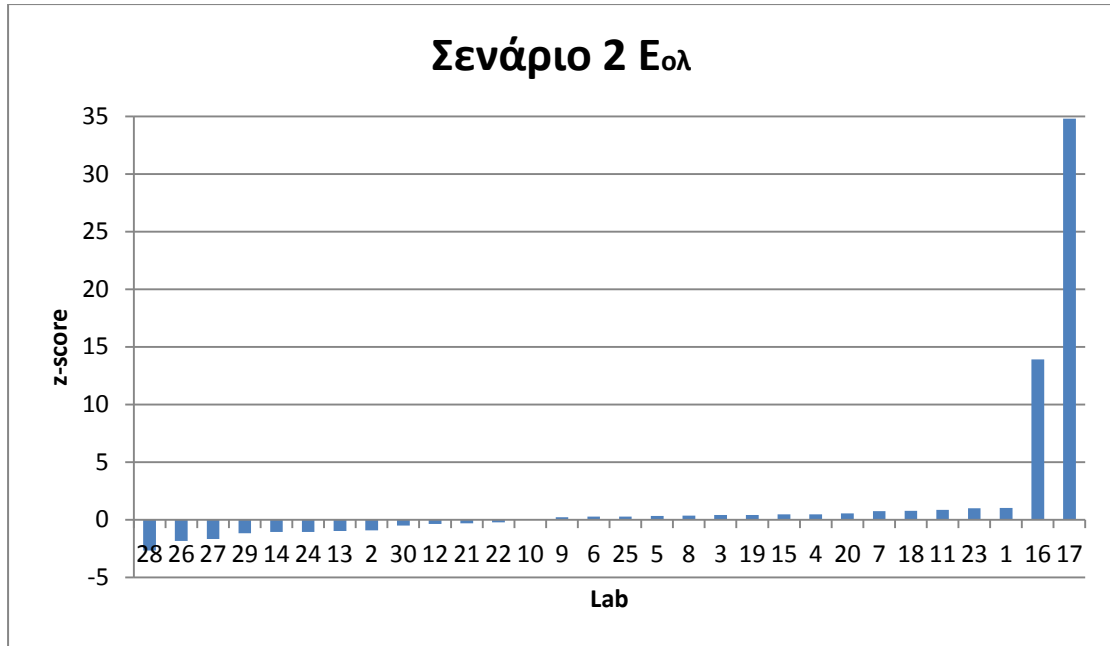
Διάγραμμα 6.34: Δείκτες επίδοσης z-score των εργαστηρίων, με αποκομμένες τις ακραίες τιμές, για το λόγο έκθεσης στη φασματική περιοχή με την πρώτη μέγιστη μετρούμενη τιμή έντασης πεδίου για το Σενάριο 1



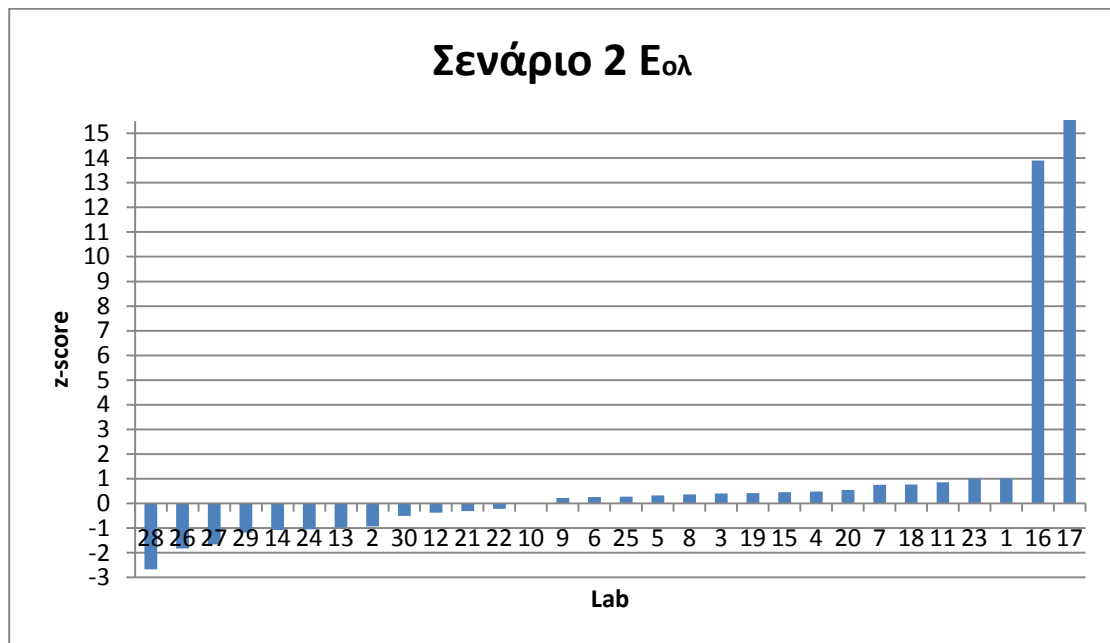
Διάγραμμα 6.35: Δείκτες επίδοσης z-score των εργαστηρίων για το λόγο έκθεσης, στη φασματική περιοχή με τη δεύτερη μέγιστη μετρούμενη τιμή έντασης πεδίου για το Σενάριο 1



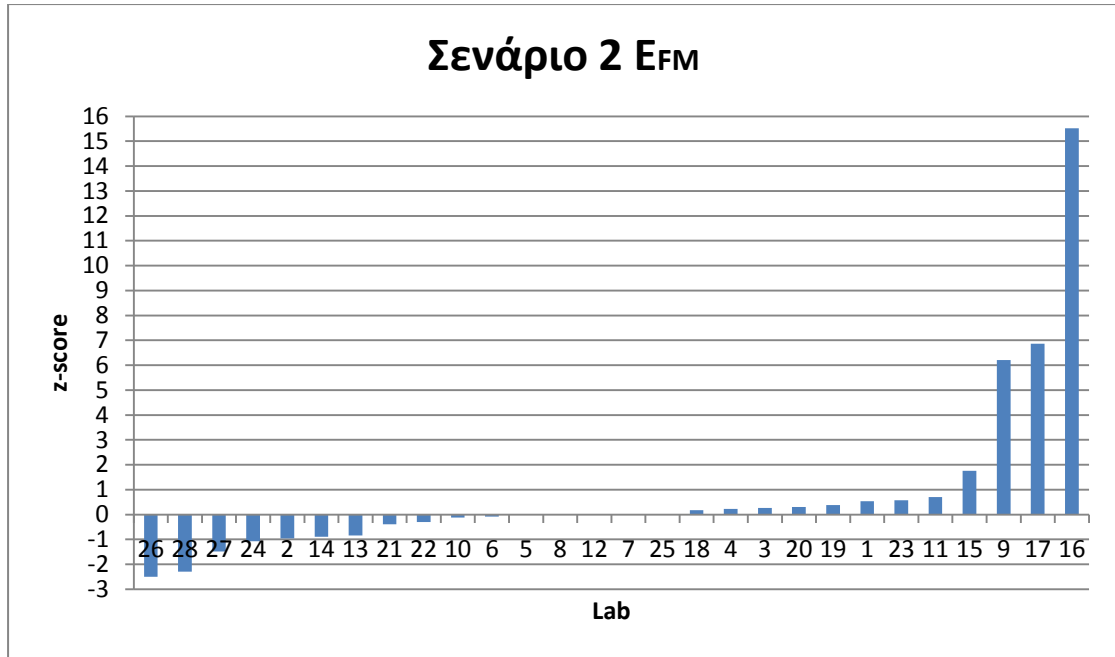
Διάγραμμα 6.36: Δείκτες επίδοσης z-score των εργαστηρίων, με αποκομμένες τις ακραίες τιμές, για το λόγο έκθεσης στη φασματική περιοχή με τη δεύτερη μέγιστη μετρούμενη τιμή έντασης πεδίου για το Σενάριο 1



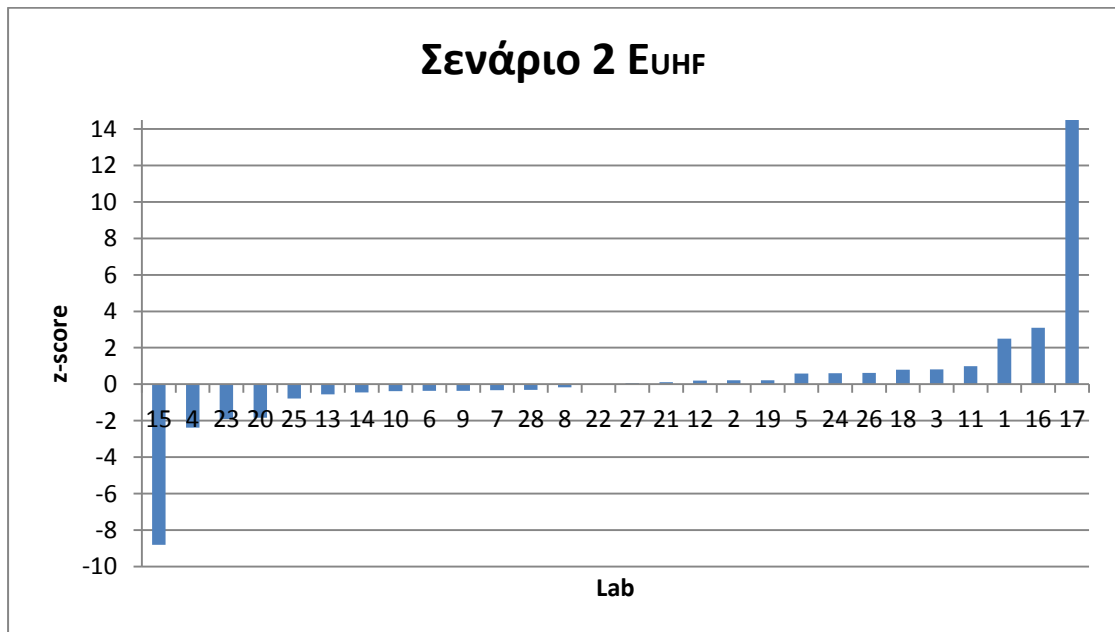
Διάγραμμα 6.37: Δείκτες επίδοσης z-score των εργαστηρίων για τη συνολικά μετρούμενη τιμή της έντασης του πεδίου σε όλο το φασματικό εύρος για το Σενάριο 2



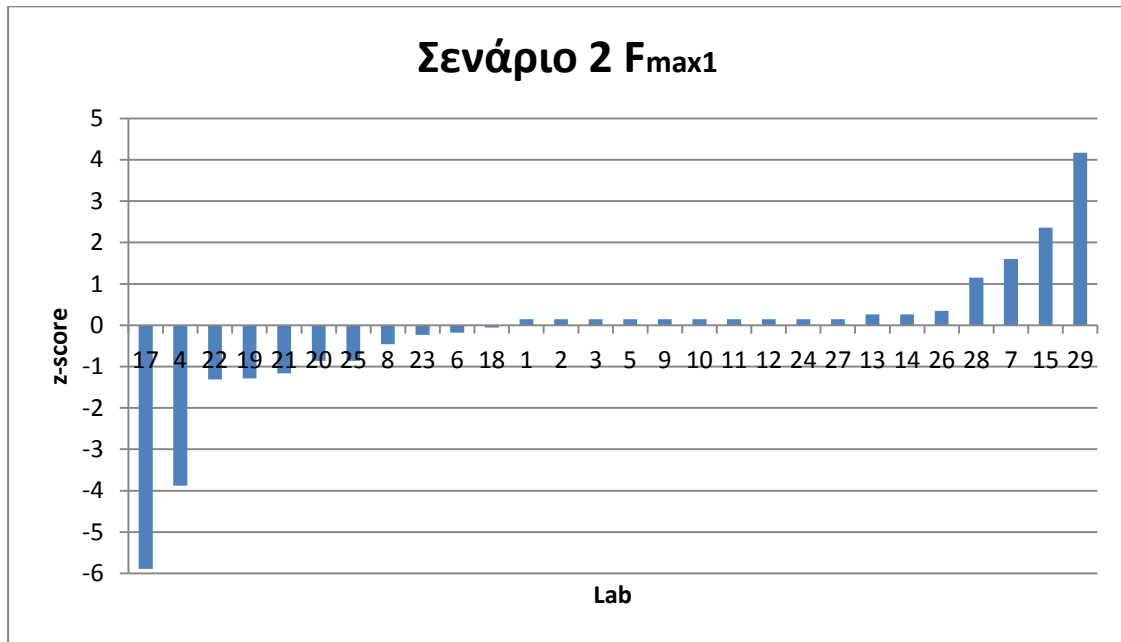
Διάγραμμα 6.38: Δείκτες επίδοσης z-score των εργαστηρίων, με αποκομμένες τις ακραίες τιμές, για τη συνολικά μετρούμενη τιμή της έντασης του πεδίου σε όλο το φασματικό εύρος για το Σενάριο 2



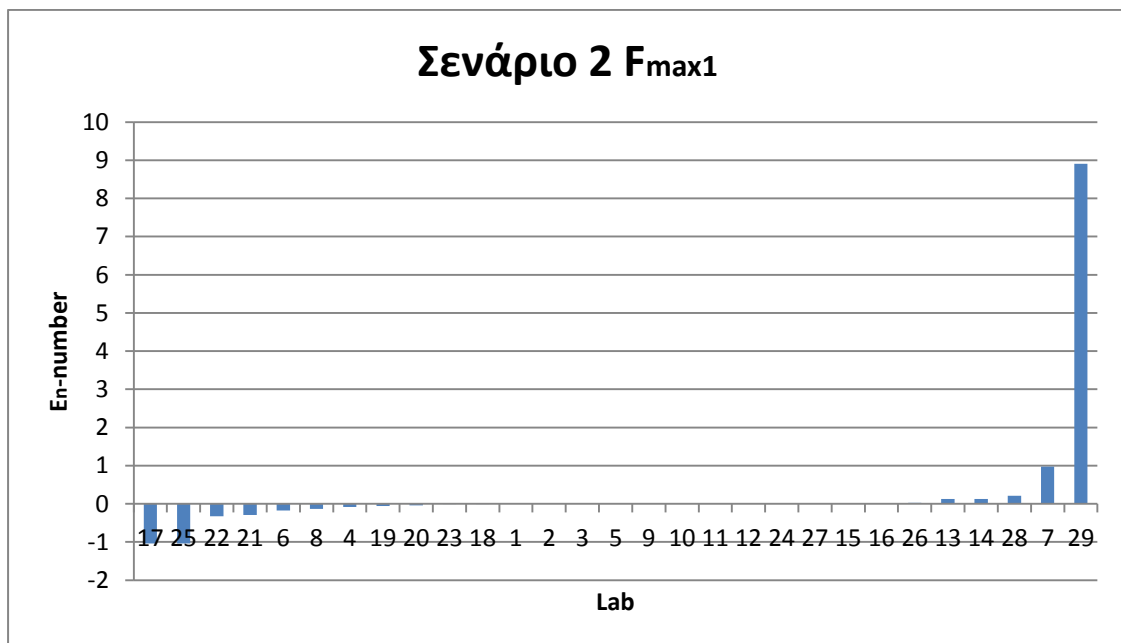
Διάγραμμα 6.39: Δείκτες επίδοσης z-score των εργαστηρίων για τη μετρούμενη τιμή της έντασης του πεδίου στη φασματική περιοχή FM (87,5-108 MHz) για το Σενάριο 2



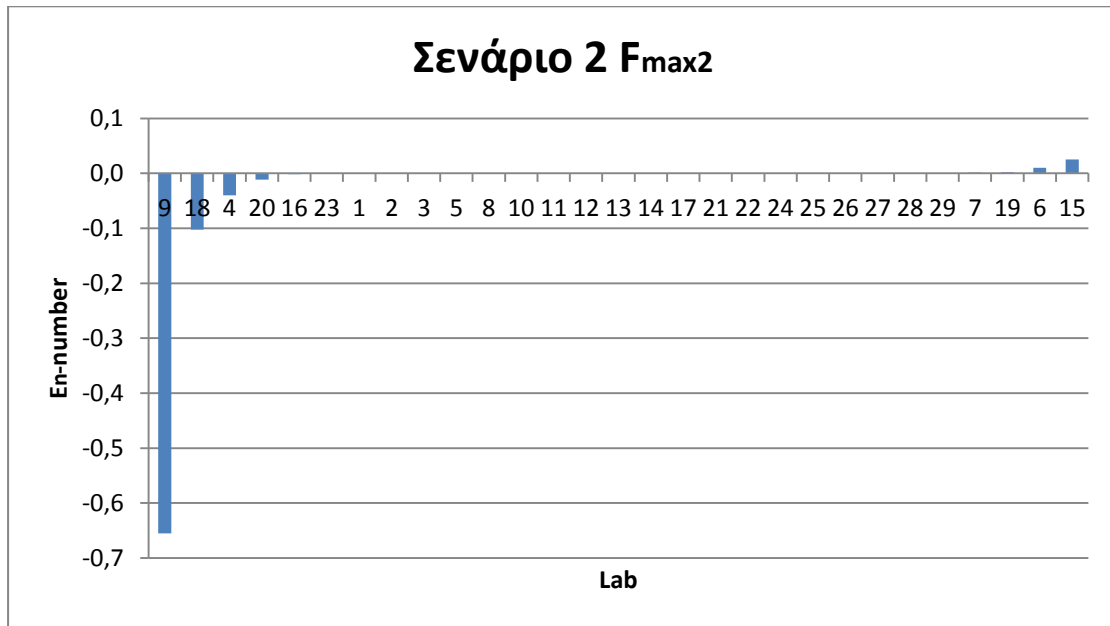
Διάγραμμα 6.40: Δείκτες επίδοσης z-score των εργαστηρίων για τη μετρούμενη τιμή της έντασης του πεδίου στη φασματική περιοχή UHF (430-838 MHz) για το Σενάριο 2



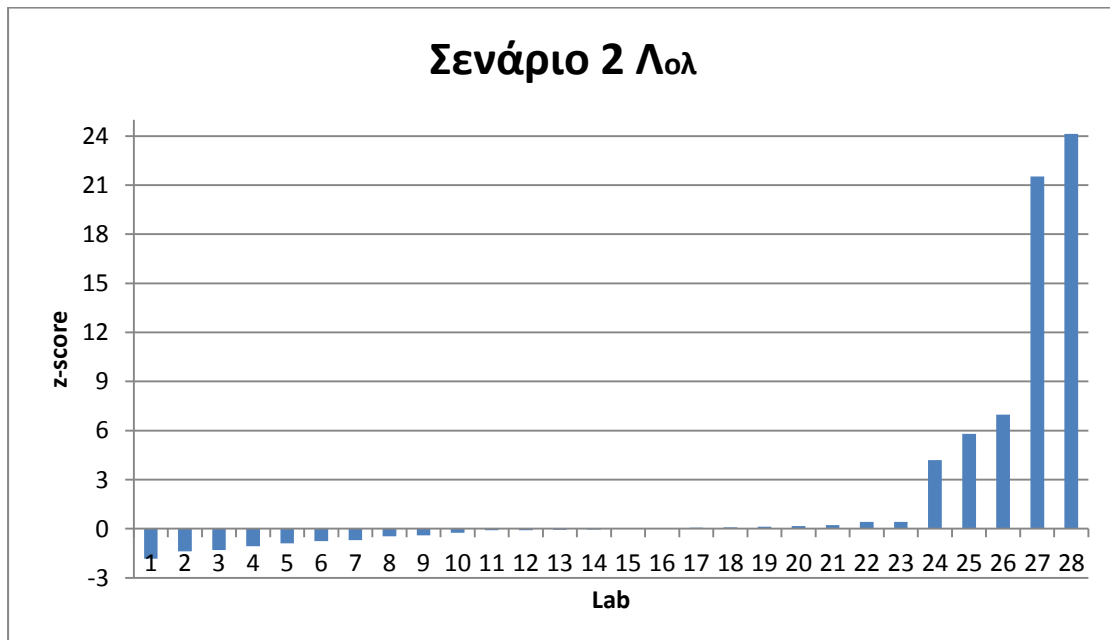
Διάγραμμα 6.41: Δείκτες επίδοσης z-score των εργαστηρίων για τη συχνότητα στην οποία εντοπίστηκε η πρώτη μέγιστη τιμή έντασης του ηλεκτρικού πεδίου για το Σενάριο 2



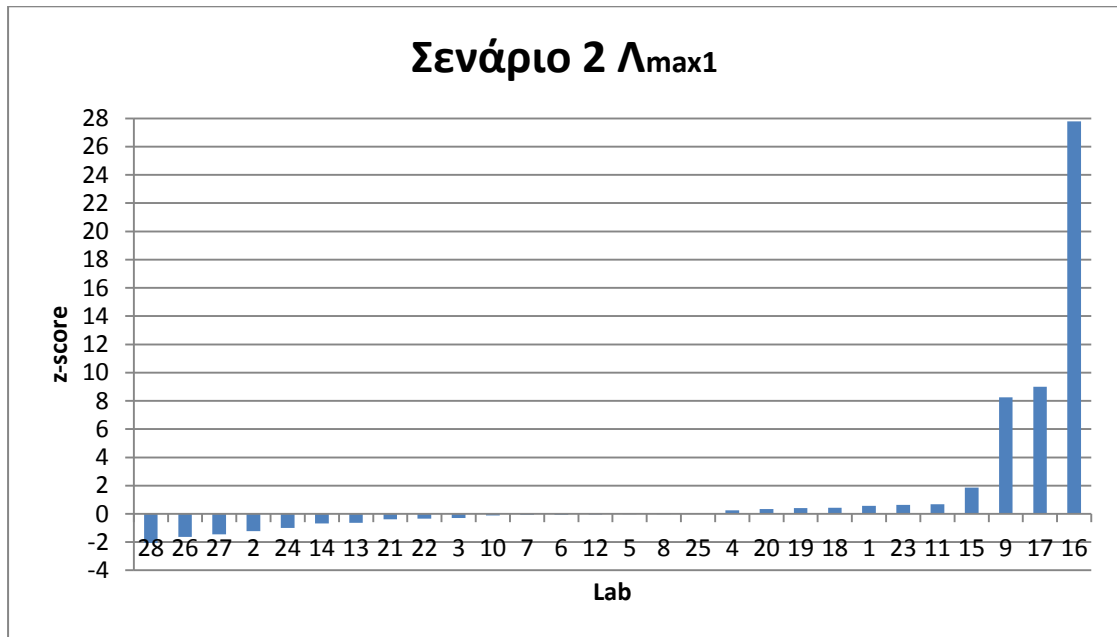
Διάγραμμα 6.42: Δείκτες επίδοσης E_n -number των εργαστηρίων για τη συχνότητα στην οποία εντοπίστηκε η πρώτη μέγιστη τιμή έντασης του ηλεκτρικού πεδίου για το Σενάριο 2



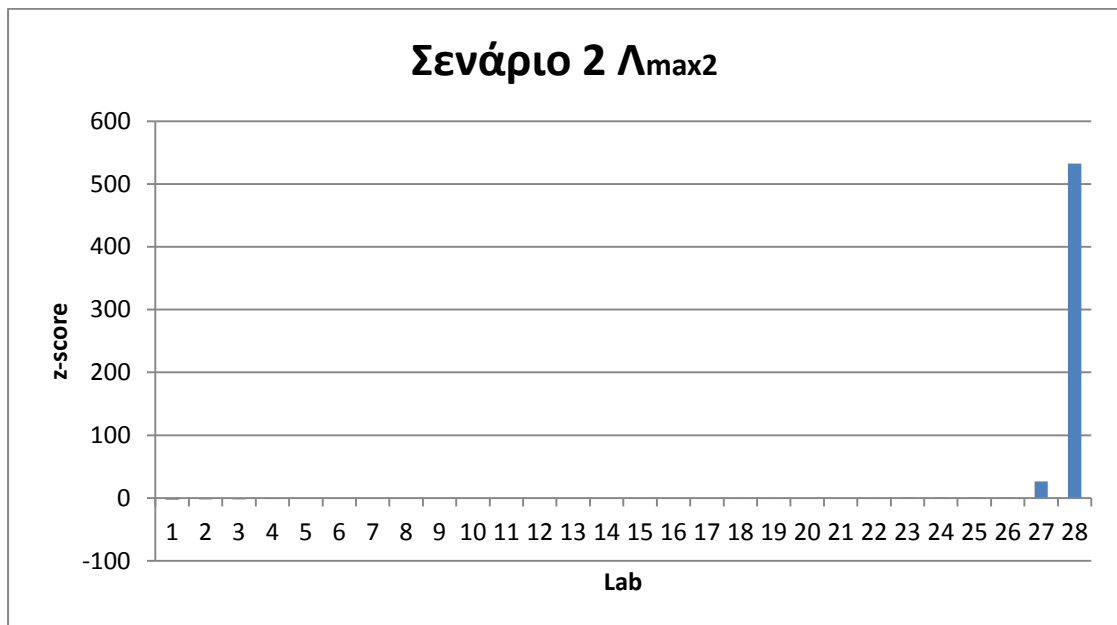
Διάγραμμα 6.43: Δείκτες επίδοσης E_n -number των εργαστηρίων για τη συχνότητα στην οποία εντοπίστηκε η δεύτερη μέγιστη τιμή έντασης του ηλεκτρικού πεδίου για το Σενάριο 2



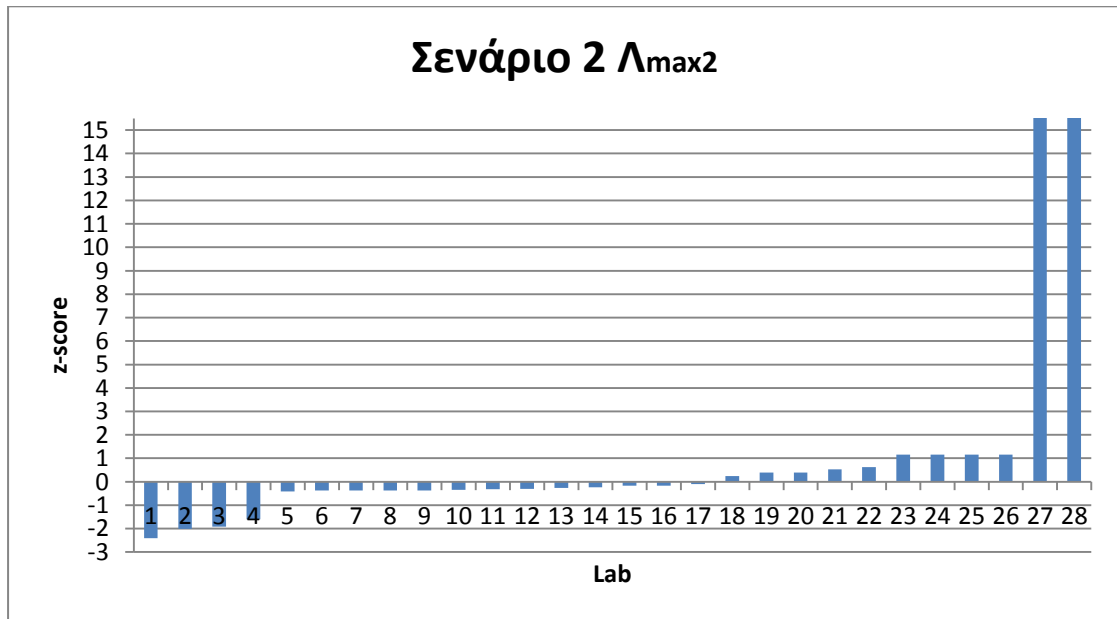
Διάγραμμα 6.44: Δείκτες επίδοσης z-score των εργαστηρίων για το συνολικό λόγο έκθεσης, σε όλο το φασματικό εύρος του εξοπλισμού για το Σενάριο 2



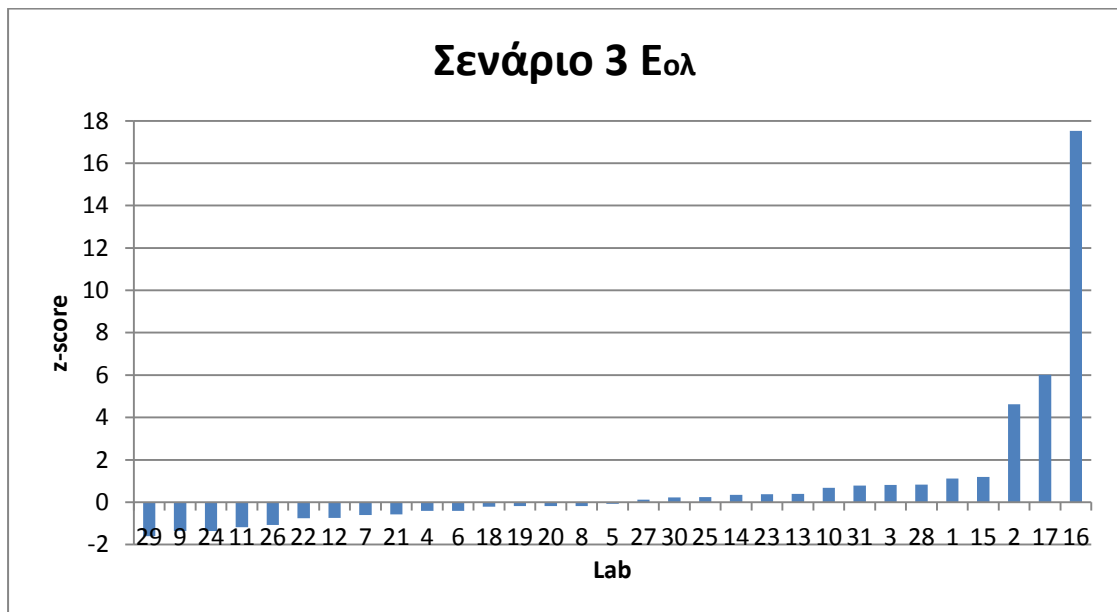
Διάγραμμα 6.45: Δείκτες επίδοσης z-score των εργαστηρίων για το λόγο έκθεσης, στη φασματική περιοχή με την πρώτη μέγιστη μετρούμενη τιμή έντασης πεδίου για το Σενάριο 2



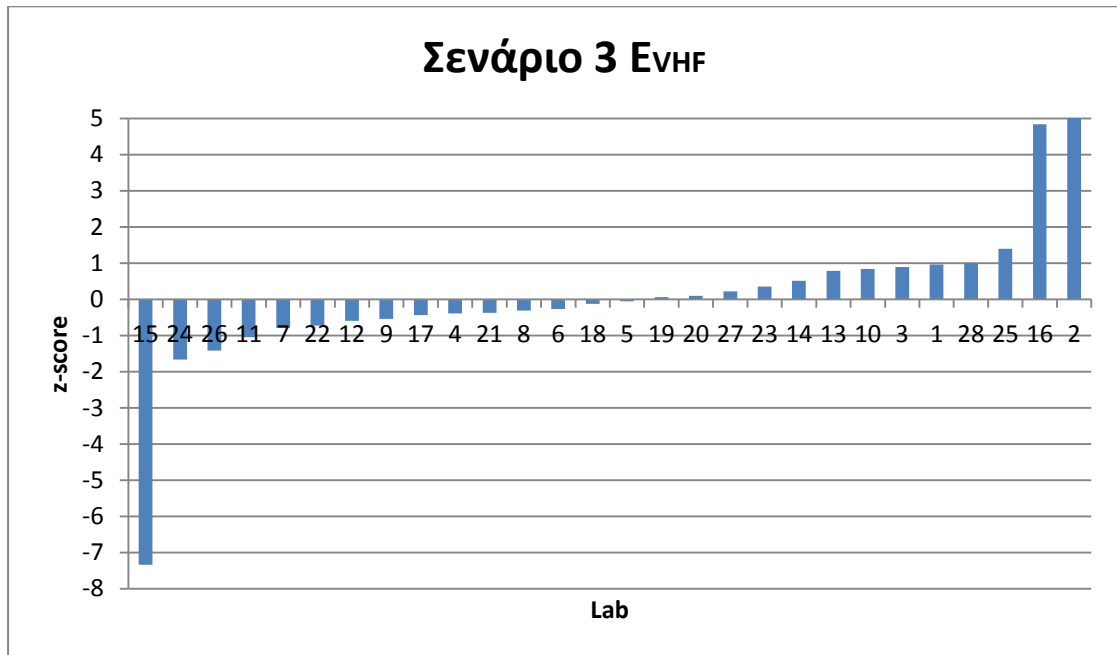
Διάγραμμα 6.46: Δείκτες επίδοσης z-score των εργαστηρίων για το λόγο έκθεσης στη φασματική περιοχή με τη δεύτερη μέγιστη μετρούμενη τιμή έντασης πεδίου για το Σενάριο 2



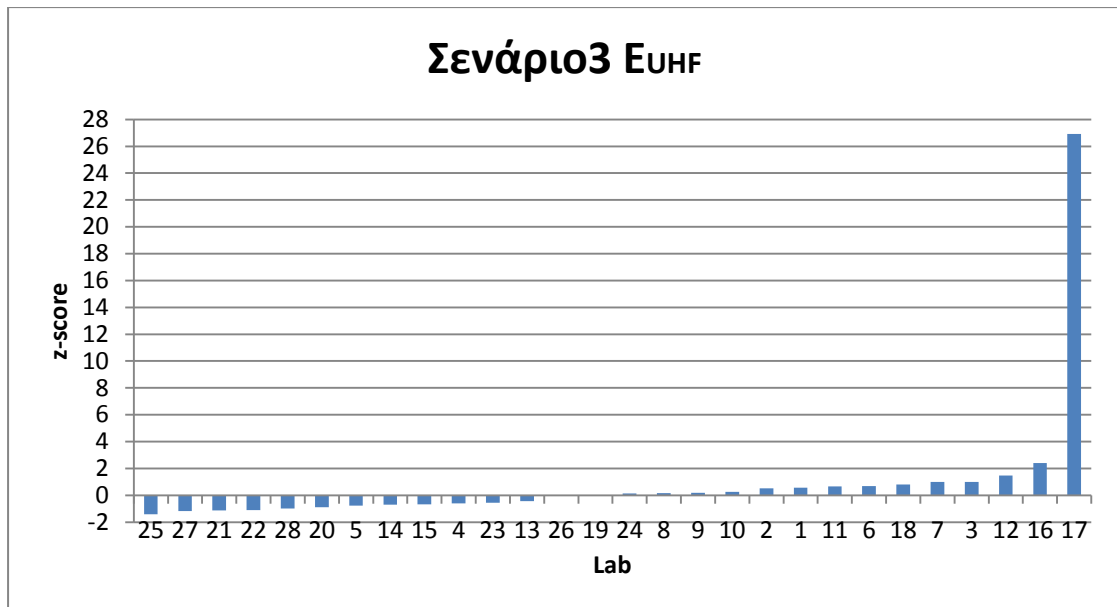
Διάγραμμα 6.47: Δείκτες επίδοσης z-score των εργαστηρίων, με αποκομμένες τις ακραίες τιμές, για το λόγο έκθεσης στη φασματική περιοχή με τη δεύτερη μέγιστη μετρούμενη τιμή έντασης πεδίου για το Σενάριο 2



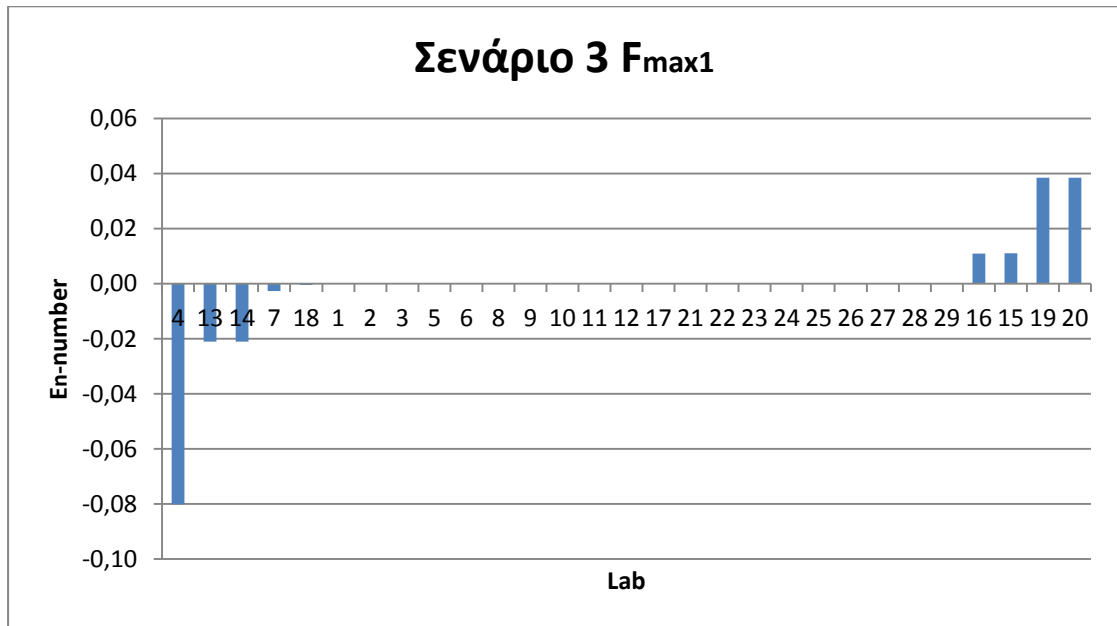
Διάγραμμα 6.48: Δείκτες επίδοσης z-score των εργαστηρίων για τη συνολικά μετρούμενη τιμή της έντασης του πεδίου σε όλο το φασματικό εύρος για το Σενάριο 3



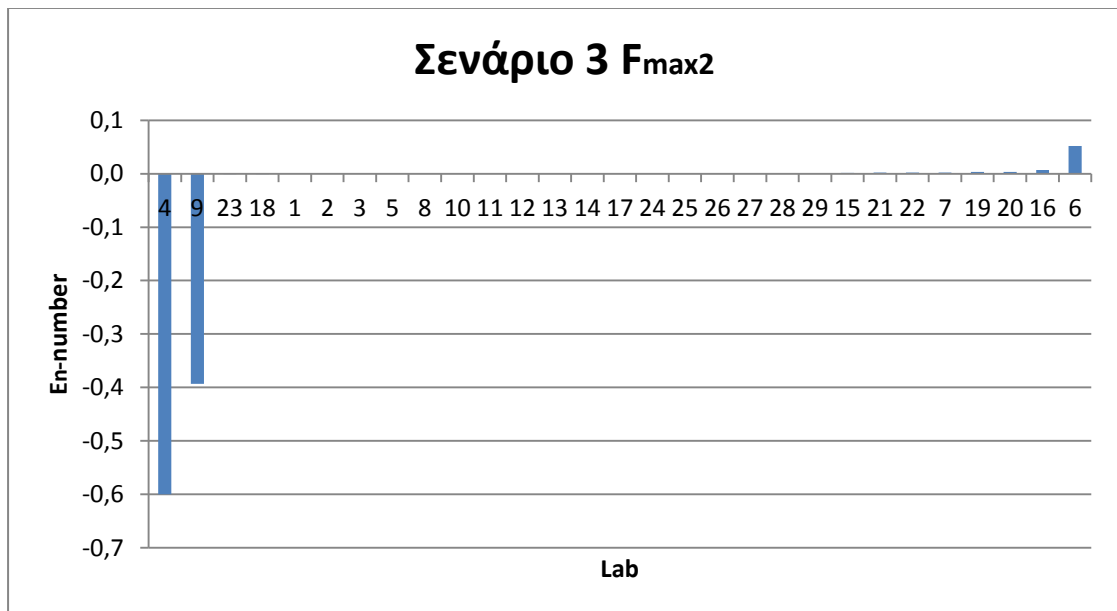
Διάγραμμα 6.49: Δείκτες επίδοσης z-score των εργαστηρίων για τη μετρούμενη τιμή της έντασης του πεδίου στη φασματική περιοχή VHF (108-272 MHz) για το Σενάριο 3



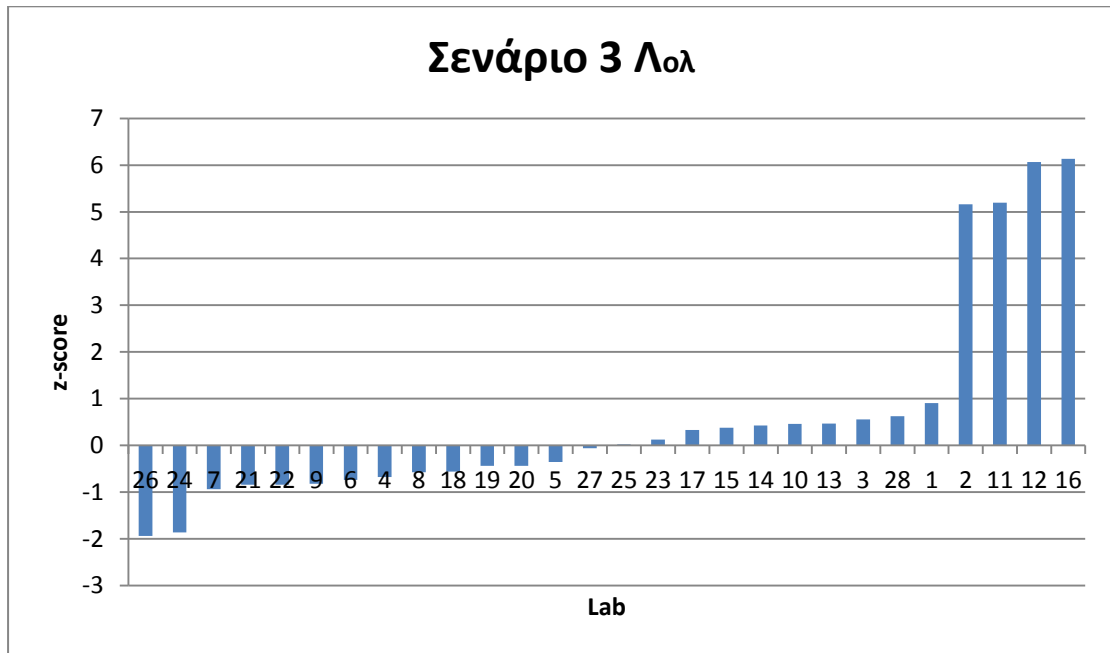
Διάγραμμα 6.50: Δείκτες επίδοσης z-score των εργαστηρίων για τη μετρούμενη τιμή της έντασης του πεδίου στη φασματική περιοχή UHF (430-838 MHz) για το Σενάριο 3



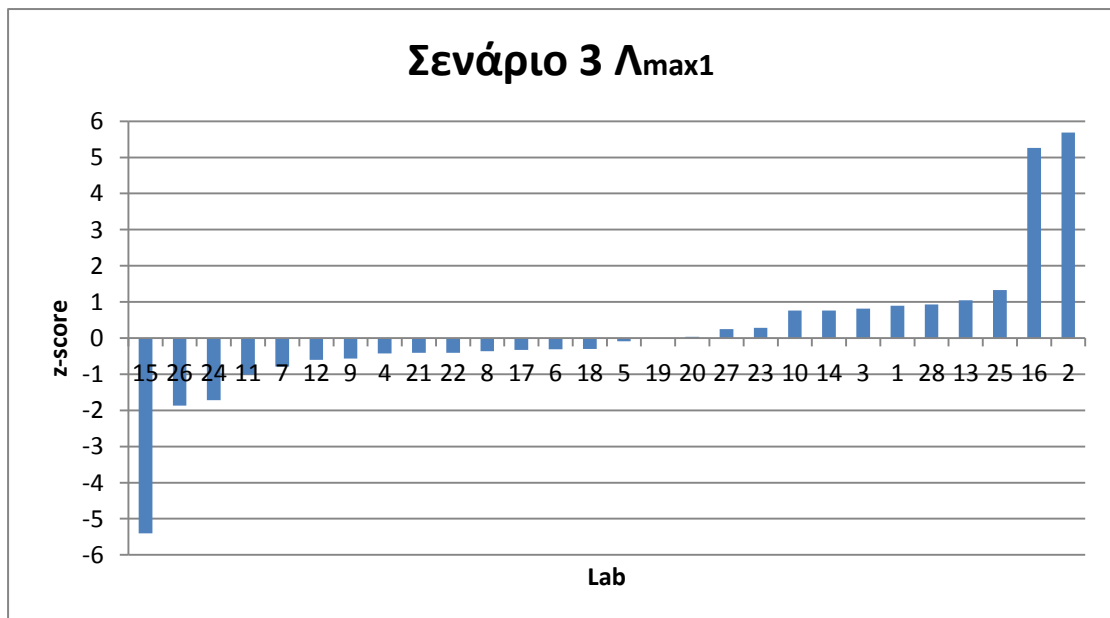
Διάγραμμα 6.51: Δείκτες επίδοσης E_n -number των εργαστηρίων για τη συχνότητα στην οποία εντοπίστηκε η πρώτη μέγιστη τιμή έντασης του ηλεκτρικού πεδίου για το Σενάριο 3



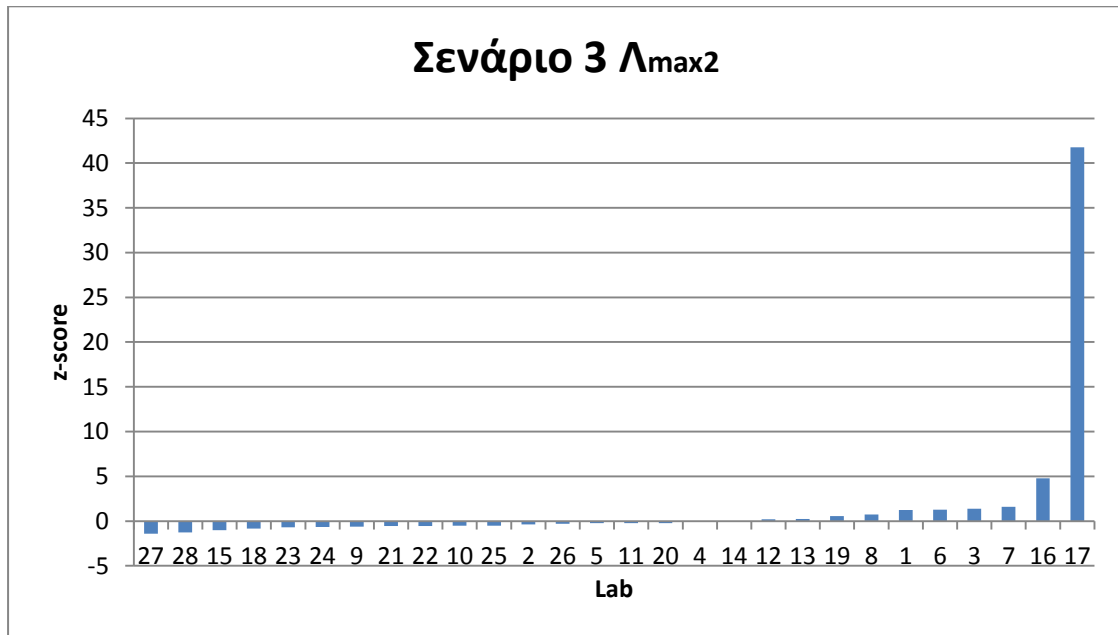
Διάγραμμα 6.52: Δείκτες επίδοσης E_n -number των εργαστηρίων για τη συχνότητα στην οποία εντοπίστηκε η δεύτερη μέγιστη τιμή έντασης του ηλεκτρικού πεδίου για το Σενάριο 3



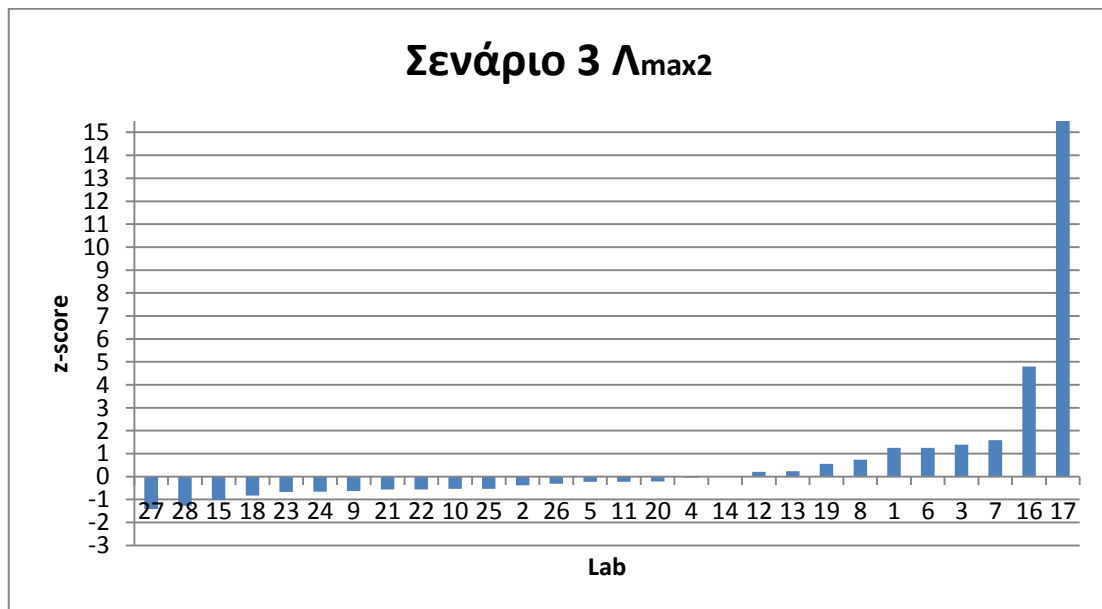
Διάγραμμα 6.53: Δείκτες επίδοσης z-score των εργαστηρίων για το συνολικό λόγο έκθεσης, σε όλο το φασματικό εύρος του εξοπλισμού για το Σενάριο 3



Διάγραμμα 6.54: Δείκτες επίδοσης z-score των εργαστηρίων για το λόγο έκθεσης, στη φασματική περιοχή με τη πρώτη μέγιστη μετρούμενη τιμή έντασης πεδίου για το Σενάριο 3



Διάγραμμα 6.55: Δείκτες επίδοσης z-score των εργαστηρίων για το λόγο έκθεσης, στη φασματική περιοχή με τη δεύτερη μέγιστη μετρούμενη τιμή έντασης πεδίου για το Σενάριο 3



Διάγραμμα 6.56: Δείκτες επίδοσης z-score των εργαστηρίων, με αποκομμένες τις ακραίες τιμές, για το λόγο έκθεσης στη φασματική περιοχή με τη δεύτερη μέγιστη μετρούμενη τιμή έντασης πεδίου για το Σενάριο 3

6.7 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στους Πίνακες 6.8 έως 6.10 που ακολουθούν παρουσιάζονται τα εργαστήρια τα οποία είχαν τουλάχιστον ένα z-score μεγαλύτερο του 2 ή ένα E_n -number μεγαλύτερο του 1 στα διάφορα ζητούμενα των τριών σεναρίων αντίστοιχα.

Σενάριο 1			
Μέτρηση	$2 < |z| < 3$	$|z| \geq 3$	$|E_n| \geq 1$
$E_{ολ}$	Lab 16 Lab 17	----	
E_{FM}	Lab 16 Lab 17	Lab 15	
E_{GSM}	Lab 9 Lab 16 Lab 17	Lab 26 Lab 27	
F_{max1}	Lab 15 Lab 16	Lab 4 Lab 7 Lab 19	
F_{max2}			Lab 10 Lab 29
$\Lambda_{ολ}$	Lab 9 Lab 11 Lab 12 Lab 16 Lab 17	----	
Λ_{max1}	Lab 9 Lab 16 Lab 17	Lab 15	
Λ_{max2}	Lab 9 Lab 16 Lab 17 Lab 27		

Πίνακας 6.8: Μη ικανοποιητικοί δείκτες επίδοσης για το Σενάριο 1

Σενάριο 2			
Μέτρηση	$2 < |z| < 3$	$|z| \geq 3$	$|E_n| \geq 1$
$E_{ολ}$	Lab 16 Lab 17	Lab 28	
E_{FM}	Lab 9 Lab 16 Lab 17	Lab 26 Lab 28	
E_{UHF}	Lab 15 Lab 16 Lab 17	Lab 1 Lab 4	
F_{max1}	Lab 15	Lab 4 Lab 16 Lab 17 Lab 29	
F_{max2}			----
$\Lambda_{ολ}$	Lab 9 Lab 11 Lab 12 Lab 16 Lab 17	----	
Λ_{max1}	Lab 9 Lab 16 Lab 17	Lab 28	
Λ_{max2}	Lab 4 Lab 16 Lab 17	Lab 15	

Πίνακας 6.9: Μη ικανοποιητικοί δείκτες επίδοσης για το Σενάριο 2

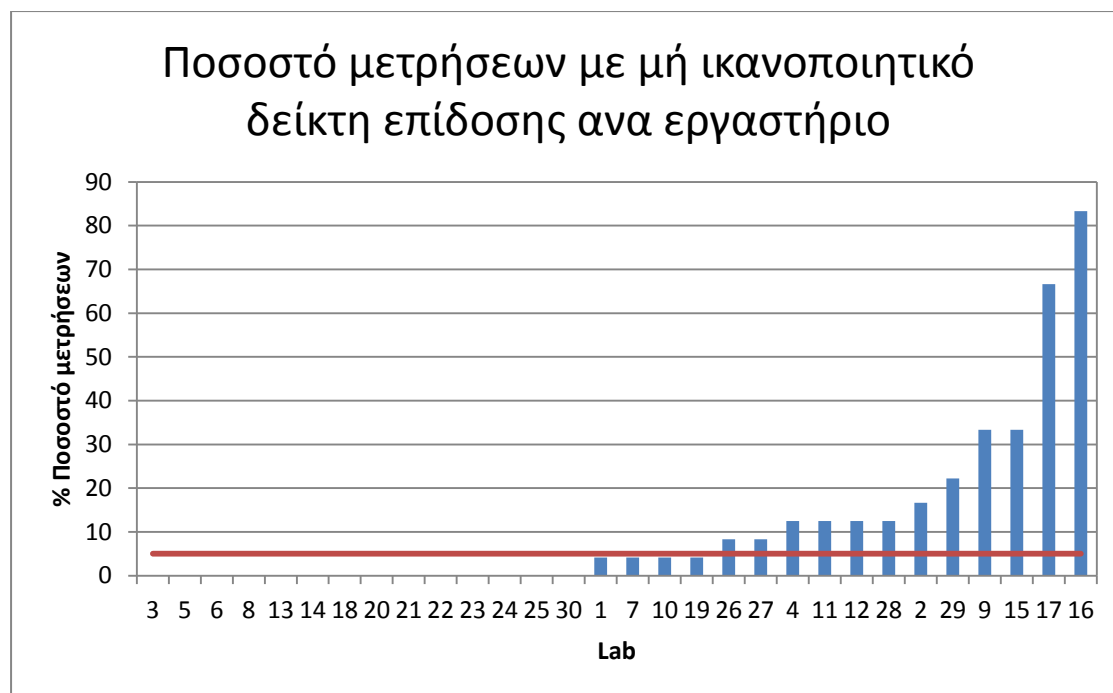
Σενάριο 3			
Μέτρηση	$2 < |z| < 3$	$|z| \geq 3$	$|E_n| \geq 1$
$E_{ολ}$	Lab 2 Lab 16 Lab 17	----	
E_{VHF}	Lab 2 Lab 15 Lab 16	----	
E_{UHF}	Lab 17	Lab 16	
F_{max1}			----
F_{max2}			----
$\Lambda_{ολ}$	Lab 2 Lab 11 Lab 12 Lab 16	----	
Λ_{max1}	Lab 2 Lab 15 Lab 16	----	
Λ_{max2}	Lab 16 Lab 17	----	

Πίνακας 6.10: Μη ικανοποιητικοί δείκτες επίδοσης για το Σενάριο 3

Σε αντίθεση με την εφαρμογή 1, όπου ο αριθμός των ζητούμενων μεγεθών ήταν σχετικά μικρός, σε αυτή την εφαρμογή είναι αρκετά μεγάλος οπότεν έχει νόημα να ελεγχτεί η επίδοση των εργαστηρίων ως ποσοστά των μη ικανοποιητικών δεικτών επίδοσης που έλαβε σε σχέση με το πλήθος των μεγεθών τα οποία παρέδωσε. Το επιτρεπόμενο όριο μη ικανοποιητικών δεικτών επίδοσης είναι 5%. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον πίνακα, καθώς και στο διάγραμμα πιο κάτω. Σημειώνεται ότι οι αριθμοί E_n συνυπολογίστηκαν στα αποτελέσματα μόνο στις τέσσερις περιπτώσεις όπου δεν ήταν δυνατός ο υπολογισμός των z-score.

Εργαστήριο	Πλήθος δεικτών επίδοσης που συμμετείχε το εργαστήριο	Πλήθος δεικτών επίδοσης όπου $|z| > 2$ ή $E_n > 1$	(%) Ποσοστό δεικτών επίδοσης όπου $|z| > 2$ ή $E_n > 1$
1	24	1	4,2
2	24	4	16,7
3	24	0	0,0
4	24	4	16,7
5	24	0	0,0
6	24	0	0,0
7	24	1	4,2
8	24	0	0,0
9	24	8	33,3
10	24	1	4,2
11	24	3	12,5
12	24	3	12,5
13	24	0	0,0
14	24	0	0,0
15	24	8	33,3
16	24	20	83,3
17	24	16	66,7
18	24	0	0,0
19	24	1	4,2
20	24	0	0,0
21	24	0	0,0
22	24	0	0,0
23	24	0	0,0
24	24	0	0,0
25	24	0	0,0
26	24	2	8,3
27	24	2	8,3
28	24	3	12,5
29	9	2	22,2
30	3	0	0,0

Πίνακας 6.11: Ποσοστιαίο πλήθος δεικτών μη ικανοποιητικής δείκτες επίδοσης



Διάγραμμα 6.57: Ποσοστιαία απεικόνιση των μη ικανοποιητικών δεικτών επίδοσης ανά εργαστήριο

Αναλύοντας τα αποτελέσματα των Πινάκων 6.5 – 6.11 προκύπτουν τα εξής βασικά συμπεράσματα:

- Τα Εργαστήρια 3, 5, 6, 8, 13, 14, 18, 20,21, 22, 23, 24, 25 και 30 μπορούν να χαρακτηριστούν ως απόλυτα καλώς συμπεριφερόμενα καθώς όλες οι μετρήσεις τους έχουν αξιολογηθεί με $|z| < 2$ και $|E_n| < 1$.
- Τα Εργαστήρια 1, 10, και 19 επίσης είχαν ικανοποιητική επίδοση, καθώς αξιολογήθηκαν μόνο με ένα δείκτη $|z| > 2$ στα 24 μεγέθη που παρέδωσαν. Υπενθυμίζεται ότι στην κανονική κατανομή, το ακριβές ποσοστό των περιπτώσεων στις οποίες μπορεί να βρεθούν τιμές εκτός του διαστήματος $\mu \pm 2\sigma$ είναι 4.6%.
- Αρκετά Εργαστήρια είχαν κάποια μεμονωμένα «Σήματα Δράσης» ή «Προειδοποιητικά Σήματα», διάσπαρτα στα μεγέθη των τριών σεναρίων που κλήθηκαν να παραδώσουν. Επειδή αυτές οι μη ικανοποιητικές επιδόσεις δεν επαναλαμβάνονται σε όλες τις μετρήσεις τους, δεν μπορούν να θεωρηθούν σαν αποτέλεσμα συστηματικών σφαλμάτων. Αντιθέτως, είτε οφείλονται σε λανθασμένη επεξεργασία των δεδομένων κατά τον υπολογισμό των

ζητούμενων μεγεθών είτε σε κάποια εσφαλμένη ρύθμιση του μετρητικού εξοπλισμού. Στα εργαστήρια αυτά πέραν από τα εργαστήρια 1, 7, 10 και 19 μπορούμε να συμπεριλάβουμε και τα 26 και 27. Η υπέρβαση του ορίου του 5% οφείλεται για αυτά τα δύο εργαστήρια μόνο σε δύο μη ικανοποιητικούς δείκτες επίδοσης στα 24 μεγέθη που παρέδωσαν, επομένως η συνολική επίδοσή τους μπορεί να χαρακτηριστεί μερικώς ικανοποιητική.

- Εξετάζοντας τις επιδόσεις των εργαστηρίων τα οποία χρησιμοποίησαν αναλυτές φάσματος για τις μετρήσεις τους (Εργαστήρια 8, 15, 16, 29) προκύπτει ότι μόνο το ένα από αυτά είχε ικανοποιητική επίδοση (Εργαστήριο 8). Συνεπώς γίνεται αντιληπτό ότι χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στην επεξεργασία των δεδομένων που λαμβάνονται κατά τις μετρήσεις από φασματογράφους. Επιπλέον προσοχή χρειάζεται στην περίπτωση που η κεραία λήψης που συνδέεται με τον αναλυτή φάσματος δεν είναι ισοτροπική, καθώς πρέπει να γίνει αξιολόγηση του πεδίου και στις τρεις χωρικές συνιστώσες και ακολούθως να υπολογιστούν τα ζητούμενα μεγέθη, εφαρμόζοντας τους κατάλληλους τύπους. Σε αντίθεση, οι ομάδες που χρησιμοποίησαν επιλεκτικούς μετρητές ακτινοβολίας SRM, είχαν αρκετά καλύτερες επιδόσεις. Οι 15 από τις 25 αυτές ομάδες είχαν συνολική επίδοση που βρισκόταν μέσα στο διάστημα $\mu \pm 2\sigma$.
- Τα εργαστήρια 15 και 16 ανήκαν στο ίδιο εργαστήριο, με τη συμβατική έννοια του όρου. Οι δύο αυτές ομάδες είχαν χρησιμοποιήσει δύο διαφορετικούς αναλυτές φάσματος για τη λήψη μετρήσεων. Αν και οι δύο δεν είχαν ικανοποιητική επίδοση, το Εργαστήριο 15 είχε συνολικά ελαφρώς καλύτερα αποτελέσματα από το 16. Ένας πιθανός λόγος που παρατηρείται αυτό είναι το ότι το Εργαστήριο 15 είχε χρησιμοποιήσει ισοτροπική κεραία για τη λήψη των μετρήσεων στα Σενάρια 2 και 3, σε αντίθεση με το άλλο. Οι τιμές που αφορούσαν τόσο την ένταση του συνολικού πεδίου, όσο και την ένταση στις ζώνες όπου εντοπίζονταν τα μέγιστα, ήταν πολύ απόμακρες σε σχέση με αυτές των υπολοίπων εργαστηρίων. Κάποιες από αυτές ήταν υπερδιπλάσιες από το μέσο όρο. Η πιο πιθανή εξήγηση για αυτά τα αποτελέσματα είναι ότι δεν έχει γίνει σωστή επεξεργασία των τριών συνιστωσών του πεδίου για τον υπολογισμό του πεδίου. Επίσης, σύμφωνα με το παραδοτέο έντυπο του Εργαστηρίου 16, στο πρώτο σενάριο

χρησιμοποιήθηκε η κεραία Log Periodic AA8 της Z-Technology η οποία έχει εύρος λειτουργίας 800 MHz-2600 MHz. Εκεί, υπήρχε μέγιστο εκπομπής στην περιοχή FM στα 102.5 MHz και ενώ η κεραία αυτή δεν έχει βέλτιστη απόδοση εκεί, χρησιμοποιήθηκε για τη λήψη μετρήσεων. Έτσι έλαβε επτά “action signals” στο σενάριο αυτό.

- Το Εργαστήριο 29 είχε χρησιμοποιήσει αναλυτή φάσματος σε συνδυασμό με μια κεραία εύρους λειτουργίας 30 MHz με 3 GHz για την εύρεση των συχνοτήτων και το όργανο EMR-300 για τη μέτρηση της συνολικής έντασης του πεδίου στο κάθε σενάριο. Η ομάδα αυτή είχε μη ικανοποιητικούς δείκτες επίδοσης στις μετρήσεις της F_{max1} στα Σενάρια 1 και 2, οι οποίες ανήκαν στην περιοχή FM του φάσματος. Αυτό πιθανώς να οφείλεται στη λανθασμένη χρήση του εξοπλισμού ή σε λανθασμένη επεξεργασία των μετρήσεων, καθώς η κεραία λήψης που χρησιμοποιήθηκε δεν ήταν ισοτροπική.
- Τα Εργαστήρια 11 και 12 είχαν μη ικανοποιητικές επιδόσεις στους συνολικούς λόγους έκθεσης με αποτέλεσμα τα δύο αυτά εργαστήρια να αξιολογηθούν με $|z| > 3$ και στα τρία Σενάρια. Το γεγονός αυτό είναι πολύ πιθανό να οφείλεται σε εφαρμογή λανθασμένων ορίων ακτινοβολίας κατά τους υπολογισμούς για την εξαγωγή των συνολικών λόγων έκθεσης. Σημειώνεται ότι τα εργαστήρια αυτά απαρτιζόνταν από το ίδιο προσωπικό. Αυτό που διέφερε ήταν ο εξοπλισμός μέτρησης (SRM-3000 και SRM-3006).
- Το Εργαστήριο 17 είχε ποσοστό δεικτών μη ικανοποιητικής επίδοσης 66.7%. Το Εργαστήριο 2 έλαβε τέσσερα «Σήματα Δράσης» στα $E_{ολ}$, E_{VHH} , $\Lambda_{ολ}$ και Λ_{max1} , όλα στο Σενάριο 3. Τα δύο αυτά εργαστήρια έχουν δύο κοινά: Πρώτο ότι δεν έχουν παραδώσει επαρκή στοιχεία για τις ρυθμίσεις που χρησιμοποίησαν στον εξοπλισμό τους και δεύτερο ότι το μόνο στοιχείο που αναφέρεται είναι ότι το φασματικό εύρος στο οποίο μετρήθηκε το $E_{ολ}$ ήταν 27 MHz – 3 GHz, σε αντίθεση με την πλειοψηφία των υπολοίπων εργαστηρίων που χρησιμοποίησαν εύρος 75 MHz – 3 GHz. Και τα δύο εργαστήρια, έλαβαν «σήματα δράσης» στις μετρήσεις της έντασης των πεδίων αφού είχαν παραδώσει μεγαλύτερες τιμές συγκρινόμενες με αυτές των υπολοίπων. Επειδή χρησιμοποίησαν μεγαλύτερο εύρος ζώνης για τη λήψη των μετρήσεων τους, πιθανό είναι να συνυπολόγισαν μέσα σε αυτό και κάποιες

επιπλέον αρμονικές που βρίσκονταν σε αυτό το κομμάτι του φάσματος οι οποίες προέρχονταν από τις γεννήτριες.

- Όσον αφορά την εύρεση των συχνοτήτων που εντοπίζονταν τα δύο μέγιστα εκπομπής ανά σενάριο, τα εργαστήρια είχαν σε γενικές γραμμές ικανοποιητικές επιδόσεις με μόνο κάποιες εξαιρέσεις. Στο Σενάριο 3, όπου η αξιολόγηση των εργαστηρίων έγινε με αριθμούς E_n , όλα τα εργαστήρια είχαν καλά αποτελέσματα καθώς ο δείκτης αυτός δεν ξεπέρασε τη μονάδα για κανένα από αυτά. Επίσης στο Σενάριο 2, στην εύρεση της F_{max2} όλα τα εργαστήρια είχαν επιδόσεις εντός των ορίων. Στην εύρεση της F_{max1} , το Εργαστήριο 15 έλαβε «προειδοποιητικό σήμα» ενώ τα εργαστήρια 15, 16 και 17 έλαβαν «σήμα δράσης». Τα εργαστήρια 15 και 16 δεν είχαν ικανοποιητική επίδοση ούτε στην F_{max1} στο Σενάριο 1, όπως και τα εργαστήρια 4, 7, 19, καθώς και τα εργαστήρια 10 και 29 στην εύρεση της F_{max2} .
- Το Εργαστήριο 4 είχε τέσσερις δείκτες επίδοσης με $|z| > 2$, οι δύο εκ των οποίων ήταν στις μετρήσεις της F_{max1} στα Σενάρια 1 και 2, οι οποίες υπενθυμίζεται ότι βρισκότουσαν στην περιοχή FM του φάσματος. Εξετάζοντας τις ρυθμίσεις του εξοπλισμού του εργαστηρίου αυτού, παρατηρείται ότι το μετρούμενο εύρος των συχνοτήτων που χρησιμοποιήθηκε ήταν 87.5 – 960 MHz. Οι δύο ζητούμενες συχνότητες F_{max1} στα Σενάρια 1 και 2 ήταν 102.5 MHz και 96.3 MHz αντίστοιχα και το εργαστήριο έδωσε τιμές 102.4 MHz και 96.1. Η ανακρίβεια αυτή πολύ πιθανό να οφείλεται στο ότι οι δύο αυτές συχνότητες βρίσκονταν πολύ κοντά στο κάτω άκρο του εύρους συχνοτήτων στο οποίο λειτουργούσε το όργανο.
- Το Εργαστήριο 9 είχε μη ικανοποιητική επίδοση και συγκεκριμένα έλαβε οκτώ $|z| > 3$ στα πρώτα δύο σενάρια. Από το παραδοτέο έντυπο του εργαστηρίου φαίνεται ότι η ένταση του πεδίου στη ζώνη των FM που εντοπίζεται το πρώτο μέγιστο, για το Σενάριο 1, είναι σημαντικά μεγαλύτερη από την ένταση του συνολικού πεδίου. Στο πρώτο σενάριο, το εργαστήριο αυτό χρησιμοποίησε RBW (Resolution BandWidth) 2 kHz στην περιοχή FM και 30 kHz στην περιοχή GSM, που είναι πολύ μικρά, συγκρινόμενο με τα RBW's των υπολοίπων εργαστηρίων καθώς είχαν χρησιμοποιήσει 100 kHz και 200 kHz αντίστοιχα. Το εύρος μέτρησης (measurement range) που χρησιμοποίησε το εργαστήριο αυτό ήταν επίσης μικρό, αφού είχε τεθεί στα

2.8 V/m. Στο δεύτερο σενάριο το εργαστήριο είχε χρησιμοποιήσει πάλι λανθασμένες ρυθμίσεις στο SRM, καθώς το RBW των FM ήταν το ίδιο με πριν και το RBW των UHF ήταν 200 kHz, ενώ τα υπόλοιπα εργαστήρια το είχαν ορίσει στο 1 MHz. Συνεπώς τα “action signals” που έλαβε το εργαστήριο αυτό οφείλονται στην εφαρμογή λανθασμένων ρυθμίσεων στο μετρητικό εξοπλισμό.

- Το Εργαστήριο 28 έλαβε τρία «Προειδοποιητικά Σήματα» ($2 \leq |z| < 3$) στα E_{ol} , E_{FM} και Λ_{max1} στο Σενάριο 2. Αυτό πιθανώς να υποδηλώνει κάποια λάθος ρύθμιση του οργάνου ή κάποια λάθος επεξεργασία των δεδομένων που έλαβε στο Σενάριο αυτό.
- Συγκρίνοντας τους δείκτες επίδοσης E_n με τους αντίστοιχους δείκτες z-score στις δύο συχνότητες όπου ήταν δυνατό να υπολογιστούν προκύπτει ότι δεν υπάρχει απόλυτη συμφωνία μεταξύ τους. Στο Σενάριο 1 στην F_{max1} , ενώ πέντε εργαστήρια έλαβαν $|z| > 2$, ο αντίστοιχος δείκτης E_n υποδεικνύει ότι η επίδοση τους βρίσκεται εντός των ικανοποιητικών ορίων. Αντίστοιχα, στην F_{max1} του Σεναρίου 2 από τα πέντε εργαστήρια που έλαβαν $|z| > 2$, μόνο τα δύο από αυτά είχαν $|E_n| > 1$ και επιπλέον το Εργαστήριο 25 ενώ είχε ικανοποιητικό δείκτη z-score, σύμφωνα με το δείκτη E_n βρίσκεται οριακά εκτός. Αυτό οφείλεται στο ότι κατά τον υπολογισμό του δείκτη E_n υπεισέρχεται εξ' ορισμού και η αβεβαιότητα της μέτρησης του κάθε εργαστηρίου. Άρα με το δείκτη αυτό αξιολογείται και η ορθότητα των αβεβαιοτήτων που παρέδωσαν τα εργαστήρια. Το γεγονός αυτό επίσης δικαιολογείται από το ότι ο δείκτης αυτός υπολογίζεται ξεχωριστά για το κάθε εργαστήριο και δεν εξαρτάται από τα αποτελέσματα των υπολοίπων εργαστηρίων, σε αντίθεση με το δείκτη z-score.

Επίσης, αξίζει να αναφερθούν κάποιες παρατηρήσεις οι οποίες προέκυψαν κατά την εκτέλεση των πειραμάτων:

- Μια ομάδα η οποία χρησιμοποιούσε SRM-3000 είχε αισθητήρα λήψης εύρους ζώνης 420 MHz με 6 GHz. Δεν θα ήταν επομένως δυνατή η μέτρηση όλων των φασματικών συνιστωσών, αφού οι συχνότητες FM βρίσκονταν εκτός του εύρους ζώνης λειτουργίας του probe. Έτσι, η συγκεκριμένη ομάδα δεν έλαβε

τελικά μέρος στο σχήμα δοκιμών και δεν εμφανίζεται ούτε στα αποτελέσματα.

- Για έναν εργαστηριακό φορέα, με τη συμβατική έννοια του όρου, που λάμβανε μέρος στο Σ.Δ.Ι. με δύο ομάδες μέτρησης, κατά τη διάρκεια της λήψης των μετρήσεων έγινε αντιληπτό ότι υπήρχε μεγάλη διαφορά στις τιμές που έλαβαν οι δύο ομάδες. Τελικά προέκυψε ότι το καλώδιο που συνέδεε το μετρητή με τον αισθητήρα ήταν ελαττωματικό. Όταν αντικαταστάθηκε και επαναλήφθηκαν οι μετρήσεις της μιας ομάδας, υπήρξε σχετική συμφωνία των αποτελεσμάτων και επιβεβαιώθηκε ότι το πρόβλημα ήταν στο καλώδιο.
- Παρά το ότι το χρονικό διάστημα το οποίο δόθηκε στην κάθε ομάδα για να λάβει τις μετρήσεις της ήταν υπεραρκετό, υπήρξαν σημαντικές αδικαιολόγητες καθυστερήσεις από κάποια εργαστήρια με αποτέλεσμα να μην τηρηθεί το προσχεδιασμένο χρονοδιάγραμμα. Παρά τις υποδείξεις του διοργανωτή για τον τρόπο λήψης των μετρήσεων ορισμένα εργαστήρια χρησιμοποίησαν διαφορετική μέθοδο και χρειάστηκαν έτσι διπλάσιο χρόνο από αυτόν που τους αναλογούσε. Υπήρχαν όμως και περιπτώσεις, όπως για παράδειγμα το Εργαστήριο 12, όπου υπήρχε δικαιολογημένη καθυστέρηση, λόγω τεχνικών προβλημάτων στον εξοπλισμό.

Βιβλιογραφία

- [1] ISO/IEC Guide 43-1: 1997, “Proficiency testing by Interlaboratory Comparisons - Part 1: Development and operation of proficiency testing schemes”.
- [2] ISO/IEC Guide 43-2: 1997, “Proficiency testing by Interlaboratory Comparisons - Part 2: Selection and use of proficiency testing schemes by laboratory accreditation bodies”.
- [3] ISO 13528: 2005, “Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparisons”.
- [4] ISO 5725-6: 1994, “Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results – Part 2: Basic method for the determination of repeatability and reproducibility of a standard measurement method”.
- [5] Νικολοπούλου Ε.Π., «Αξιολόγηση διεργασιολογικών μετρήσεων η/μ πεδίου», Διπλωματική εργασία, 2010.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - Η ΕΠΟΜΕΝΗ ΜΕΡΑ

7.1 ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

Τα οφέλη που προκύπτουν για όλους τους εμπλεκόμενους φορείς επιβάλλουν τη συνέχιση της διεξαγωγής διεργαστηριακών μετρήσεων ηλεκτρομαγνητικών πεδίων και την καθιέρωσή τους και στη χώρα μας ως την πλέον αξιόπιστη μέθοδο για το συνεχή έλεγχο της αξιοπιστίας των εργαστηρίων που δραστηριοποιούνται σε αυτό τον τομέα.

Είναι η δεύτερη φορά που διοργανώνονται τέτοια σχήματα δοκιμών τόσο στον τομέα των χαμηλόσυχων όσο και στον τομέα των υψίσυχων ηλεκτρομαγνητικών πεδίων. Οι δύο εφαρμογές που αναλύθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία είχαν αρκετές διαφορές ως προς τα ζητούμενα μεγέθη, τις πειραματικές διαδικασίες και το χώρο διεξαγωγής τους, σε σχέση με τις αντίστοιχες προηγούμενες.

Για να διασφαλισθεί η ποιότητα της συγκριτικής δοκιμής, απαιτείται η συνεχής αναβάθμιση και διακρίβωση του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται από τον οργανωτή για τη διεξαγωγή του πειράματος. Το σχετικό κόστος μπορεί να επιμερισθεί στα συμμετέχοντα εργαστήρια μέσω της καταβολής ενός μικρού ποσού.

Η αναγκαιότητα συνέχισής των διεργαστηριακών μετρήσεων επιβεβαιώνεται και από τα αποτελέσματα της αξιολόγησης των εργαστηρίων, καθώς αρκετές ομάδες μέτρησης σημείωσαν μη ικανοποιητική επίδοση που χρήζει διορθωτικών παρεμβάσεων, ενώ παράλληλα εντοπίστηκαν και μέθοδοι μέτρησης που απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή κατά την εφαρμογή τους.

7.2 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ

Η συμμετοχή των εργαστηρίων ανά τακτά διαστήματα σε συγκριτικές μετρήσεις έχει θεσμοθετηθεί από το ΕΣΥΔ. Η ορθότητα της πειραματικής διαδικασίας που τίθεται από το συντονιστή είναι βασική προϋπόθεση για την αντικειμενική αξιολόγηση των εργαστηρίων. Βάσει της εμπειρίας από τις εφαρμογές που αναλύθηκαν στην παρούσα εργασία προκύπτουν ορισμένες προτάσεις για περαιτέρω βελτίωση των σχημάτων δοκιμών σε μελλοντική επανάληψή τους.

7.2.1 Εφαρμογή 1: Χαμηλές Συχνότητες

Οι μόνες παρατηρήσεις που προέκυψαν κατά τη διεξαγωγή του σχήματος των χαμηλόσυχνων πεδίων αναφέρονται σε διαδικαστικές λεπτομέρειες. Μελλοντικά, στα επόμενα σχήματα μπορεί να εφαρμοστεί με αυστηρότερο τρόπο το χρονοδιάγραμμα παράδοσης των αποτελεσμάτων από τις ομάδες. Όσον αφορά το τεχνικό κομμάτι, δεν έχουν προκύψει κάποιες ιδιαίτερες παρατηρήσεις, καθώς η διαδικασία είχε βελτιωθεί αισθητά σε σχέση με το αντίστοιχο προηγούμενο Σ.Δ.Ι. με την εφαρμογή των παρατηρήσεων που είχαν προκύψει.

7.2.2 Εφαρμογή 2: Υψηλές Συχνότητες

Όπως και στην εφαρμογή 1, και εδώ θα ήταν καλό μελλοντικά να εφαρμοστούν αυστηρότερα χρονοδιαγράμματα αναφοράς των αποτελεσμάτων. Στο συγκεκριμένο σχήμα, υπήρχαν εργαστήρια τα οποία καθυστέρησαν τρεις βδομάδες να παραδώσουν τις μετρήσεις τους και ακολούθως δεν μπορούσε να προχωρήσει η διαδικασία με την επεξεργασία των αποτελεσμάτων. Μελλοντικά, σε τέτοιες περιπτώσεις, μπορούν να εφαρμοστούν κυρώσεις, όπως για παράδειγμα αποκλεισμός από το σχήμα των εργαστηρίων που δεν συμμορφώνονται.

Επίσης, αυστηρότερα χρονικά όρια μπορούν να εφαρμοστούν και στη λήψη των μετρήσεων. Υπήρχαν ομάδες που καθυστερούσαν αδικαιολόγητα είτε λόγω απειρίας του προσωπικού, είτε λόγω λανθασμένης μεθοδολογίας λήψης μετρήσεων με αποτέλεσμα να καταναλώνουν πολύ περισσότερο χρόνο από αυτό που τους

αναλογούσε. Επομένως, υπήρξε αλυσιδωτή καθυστέρηση και τα εργαστήρια τα οποία ήταν τελευταία στο πρόγραμμα λήψης των μετρήσεων καθυστερούσαν αρκετά για την έναρξη των μετρήσεων τους.

Επιπλέον, τα συμμετέχοντα εργαστήρια οφείλουν να παραδίδουν όλα τα στοιχεία που τους ζητούνται μέσω της φόρμας παράδοσης αποτελεσμάτων. Κάποιες ομάδες όμως είτε είχαν παραδώσει ελλιπή στοιχεία για τις ρυθμίσεις που χρησιμοποίησαν στους μετρητές τους, είτε δεν περιέγραφαν τη μέθοδο που ακολούθησαν για την λήψη – εξαγωγή των αποτελεσμάτων είτε δεν ανέφεραν το πότε ήταν η τελευταία διακρίβωσή τους. Άρα, σε περίπτωση που κάποια από αυτές τις ομάδες δεν είχε ικανοποιητική επίδοση, δεν υπήρχαν επαρκή στοιχεία είτε για να βρεθεί η αιτία της μη ικανοποιητικής επίδοσης τους είτε για να γίνει μια σύγκριση των τεχνικών χαρακτηριστικών του εξοπλισμού της με των υπολοίπων εργαστηρίων.

Στο τεχνικό μέρος, μπορούν να τροποποιηθούν τα επίπεδα των μετρήσεων και να ζητηθούν περισσότερα στοιχεία για τα πεδία ή ακόμη μπορούν να προστεθούν και επιπλέον πηγές ακτινοβολίας. Περιοριστικός παράγοντας όμως είναι το μέγεθος και τα χαρακτηριστικά του ανηχωικού θαλάμου του E.Y.T. E.M.Π..

7.3 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΚΥΚΛΩΝ ΤΟΥ ΣΧΗΜΑΤΟΣ

Κατά την επανάληψη των σχημάτων δοκιμών, που πραγματεύεται η εν λόγω εργασία, πέρα από τη βελτίωση της πειραματικής διαδικασίας, χρήζει εξέτασης και ο συνδυασμός των αποτελεσμάτων μεταξύ των διαφόρων κύκλων του σχήματος. Η αξιολόγηση των εργαστηρίων μεταξύ κύκλων του σχήματος αφορά τόσο στη συνολική επίδοση σε κάθε κύκλο όσο και στην επίδοση σε κάθε μεμονωμένο επίπεδο μέτρησης.

Προτεινόμενη μέθοδος

Σε Σ.Δ.Ι., όπως η εφαρμογή των υψηλών συχνοτήτων, όπου ποικίλλει το πλήθος των επιμέρους επιπέδων δοκιμής ανά εργαστήριο και ανά κύκλο προκειμένου να γίνει απλούστερη και αποτελεσματικότερη αξιολόγηση των εργαστηρίων μεταξύ κύκλων του σχήματος είναι προτιμότερη η γραφική απεικόνιση για κάθε εργαστήριο της

χρονικής εξέλιξης του ποσοστού των μετρήσεων του που έχουν βαθμολογηθεί με $|z| > 2$ εντός κάθε κύκλου δοκιμών. Η μέθοδος αυτή δεν επηρεάζεται από τυχόν αλλαγές στη δομή του σχήματος δοκιμών, ενώ παρέχει σημαντική δυνατότητα σύγκρισης της επίδοσης ακόμα και σε πολύ μικρό αριθμό κύκλων του σχήματος, σε αντίθεση με άλλες μεθόδους (όπως χρήση τρέχουσας βαθμολογίας ή συνδυαστικών δεικτών επίδοσης), οι οποίες έχουν νόημα κυρίως για σχετικά μεγάλο αριθμό εκτελεσθέντων κύκλων του σχήματος.

7.4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΔΥΟ ΚΥΚΛΩΝ ΤΟΥ Σ.Δ.Ι.

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.

7.4.1 Εφαρμογή 1: Χαμηλές Συχνότητες

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.

Στο σχήμα αυτό, δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στη διατήρηση της σταθερότητας των προς μέτρηση πεδίων. Αυτό κατέστη δυνατό για κάθε μία 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 προσάρμοζε αυτόματα το ρεύμα του πηνίου αντίστοιχα.

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.

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 $|z| > 2$. Κάνοντας το αυτό, προκύπτει 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 έλαβαν «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.

7.4.2 Εφαρμογή 2: Υψηλές Συχνότητες

Το συγκεκριμένο σχήμα που αφορούσε τα υψίσυχνα ηλεκτρομαγνητικά πεδία, έγινε σε ελεγχόμενο περιβάλλον, σε αντίθεση με το προηγούμενο Σ.Δ.Ι. που διεξήχθη στις εγκαταστάσεις του Ε.ΚΕ.ΦΕ. «Δημόκριτος» και στο Πάρκο Κεραιών του Υμηττού. Με την εκτέλεση των πειραμάτων σε ανηχωικό θάλαμο κατέστη δυνατή η ελαχιστοποίηση της επιρροής εξωτερικών ηλεκτρομαγνητικών πεδίων στις μετρήσεις. Συνεπώς, η ορθότητα των μετρήσεων που έλαβε το κάθε εργαστήριο εξαρτιόταν κυρίως από την ακρίβεια του μετρητικού εξοπλισμού, καθώς και από την ικανότητα του προσωπικού να τον χρησιμοποιήσει σωστά.

Πέρα από το περιβάλλον διεξαγωγής των μετρήσεων, στο δεύτερο κύκλο του σχήματος άλλαξε και η ίδια η διαδικασία μέτρησης. Λόγω του περιορισμένου χώρου η μέτρηση εντός του ανηχωικού θαλάμου έγινε μόνο σε μία προκαθορισμένη θέση, ώστε να εξασφαλίζεται ότι βρισκόμαστε στο μακρινό πεδίο των κεραιών. Μάλιστα οι μετρήσεις έγιναν μόνο σε ένα ύψος προκειμένου να μειωθεί όχι μόνο ο απαιτούμενος χρόνος μέτρησης, αλλά και η ανομοιογένεια των παραδοτέων αποτελεσμάτων, η

οποία όπως διαπιστώθηκε στον πρώτο κύκλο καθιστά την αξιολόγησή τους πολύπλοκη.

Σημαντική διαφοροποίηση στη μορφή των παραδοτέων αποτελεσμάτων αποτελεί ο διαχωρισμός του συνολικού φάσματος σε φασματικές ζώνες με όρια προκαθορισμένα από τον οργανωτή. Η ικανότητα των εργαστηρίων να εντοπίζουν τις κύριες φασματικές συνιστώσες του μετρούμενου πεδίου διερευνήθηκε μέσω των μετρήσεων της συχνότητας.

Επιπλέον έγινε προσπάθεια να αξιοποιηθούν οι αβεβαιότητες των μετρήσεων και να ενταχθούν στη διαδικασία αξιολόγησης μέσω χρήσης των E_n – numbers για τις μετρήσεις της συχνότητας.

Από τα τριάντα εργαστήρια που συμμετείχαν στο παρόν σχήμα, τα δεκαπέντε από αυτά συμμετείχαν και στο προηγούμενο. Μια άμεση σύγκριση των επιδόσεων των εργαστηρίων (συνδυασμός προσωπικού – εξοπλισμού) δεν ήταν δυνατή καθώς το προσωπικό που έλαβε μέρος ήταν στην πλειοψηφία του διαφορετικό από του προηγούμενου σχήματος. Έτσι, όπως και στο σχήμα των χαμηλόσυχνων πεδίων, μπορεί να γίνει μια σύγκριση της επίδρασης του εξοπλισμού που χρησιμοποίησαν τα εργαστήρια στα τελικά αποτελέσματα. Στον Πίνακα 7.1 που ακολουθεί φαίνεται η αντιστοίχιση των κωδικών των εργαστηρίων στα δύο σχήματα καθώς και το ποσοστό των μη ικανοποιητικών επιδόσεων τους στο κάθε ένα από αυτά. Για να μπορέσει να γίνει η σύγκριση υπό κοινή βάση, εφόσον τα επίπεδα και οι συνθήκες μέτρησης δέν ήταν τα ίδια, θεωρήθηκε ότι τα εργαστήρια που είχαν ποσοστό κάτω από 5% ότι είχαν απόλυτα ικανοποιητική επίδοση, από 5% - 10% μερικώς ικανοποιητική επίδοση και από 10% και πάνω μη ικανοποιητική επίδοση. Τα αποτελέσματα του πίνακα παρουσιάζονται συγκριτικά και στο Διάγραμμα 7.1.

Σημειώνεται ότι το Εργαστήριο 1 παρουσιάζεται δύο φορές στις συγκρίσεις καθώς το συγκεκριμένο όργανο που χρησιμοποιήθηκε, στο προηγούμενο σχήμα συμμετείχε με δύο ομάδες μέτρησης (διαφορετικό προσωπικό). Επίσης, τα εργαστήρια 21 και 22 συγκρίνονται και τα δύο με μια συγκεκριμένη ομάδα του προηγούμενου σχήματος, αφού χρησιμοποίησαν το ίδιο όργανο. Ακόμη, όσον αφορά το Εργαστήριο 29, το ποσοστό μη ικανοποιητικής επίδοσης σε αυτό το σχήμα που συγκρίνεται με το προηγούμενο είναι 0,0% και όχι το 22.2% όπως προαναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 6. Το

εν λόγω εργαστήριο πέραν από το όργανο EMR-300 που χρησιμοποίησε για τη μέτρηση του συνολικού πεδίου στα τρία σενάρια, χρησιμοποίησε και μια κεραία μαζί με έναν αναλυτή φάσματος για τον εντοπισμό των μεγεθών $F_{\max1}$ και $F_{\max2}$. Στο προηγούμενο Σ.Δ.Ι. όμως, χρησιμοποίησε μόνο το EMR-300, γι αυτό και γίνεται μια σύγκριση των τριών μετρήσεων $E_{\text{ολ}}$ του παρόντος σχήματος, όπου είχε 0,0% μη ικανοποιητικούς δείκτες επίδοσης, με τα αποτελέσματα του προηγούμενου διεργαστηριακού που χρησιμοποίησε τον ίδιο μετρητή.

Κωδικός εργαστηρίου στο παρόν Σ.Δ.Ι.	Κωδικός εργαστηρίου στο προηγούμενο Σ.Δ.Ι.	Ποσοστό μη ικανοποιητικής επίδοσης στο παρόν Σ.Δ.Ι.	Ποσοστό μη ικανοποιητικής επίδοσης στο προηγούμενο Σ.Δ.Ι.
Lab 1	Lab 1	4,2	0,0
Lab 1	Lab 26	4,2	10,9
Lab 2	Lab 31	16,7	4,8
Lab 3	Lab 13	0,0	5,6
Lab 5	Lab 10	0,0	1,7
Lab 6	Lab 20	0,0	2,9
Lab 7	Lab 22	4,2	2,0
Lab 8	Lab 2	0,0	18,4
Lab 10	Lab 7	4,2	0,0
Lab 11	Lab 18	12,5	11,5
Lab 17	Lab 14	66,7	4,0
Lab 18	Lab 5	0,0	0,0
Lab 21	Lab 12	0,0	1,7
Lab 22	Lab 12	0,0	1,7
Lab 26	Lab 16	8,3	1,4
Lab 29	Lab 8	0,0	11,8

Πίνακας 7.1: Αντιστοίχιση των κωδικών των εργαστηρίων που συμμετείχαν και στα δύο σχήματα καθώς και οι επιδόσεις τους στο κάθε ένα από αυτά



Διάγραμμα 7.1: Συγκριτική απεικόνιση του ποσοστού των μη ικανοποιητικών δεικτών επίδοσης που έλαβαν τα εργαστήρια που συμμετείχαν και στα δύο Σ.Δ.Ι.

Για να μην υπάρξει οποιαδήποτε σύγχυση, επισημαίνεται ότι οι αριθμοί των εργαστηρίων που χρησιμοποιούνται στην πιο κάτω ανάλυση αναφέρονται σε αυτούς του παρόντος σχήματος.

Εξετάζοντας τα πιο πάνω αποτελέσματα, προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- Το Εργαστήριο 1 έλαβε απόλυτα ικανοποιητικές μετρήσεις στο παρόν σχήμα, ενώ στο προηγούμενο που συμμετείχε με δυο ομάδες, η μία είχε απόλυτα ικανοποιητική επίδοση ενώ η άλλη μη ικανοποιητική. Το γεγονός αυτό υποδεικνύει χαρακτηριστικά την επίδραση που έχει το προσωπικό που χειρίζεται το όργανο στην ακρίβεια των μετρήσεων.
- Τα Εργαστήρια 5, 6, 7, 10, 18, 21, 22 είχαν απόλυτα ικανοποιητικά αποτελέσματα και στα δύο Σ.Δ.Ι.
- Ενώ τα Εργαστήρια 2, 17 και 26 στο προηγούμενο διεργαστηριακό σχήμα είχαν απόλυτα καλές επιδόσεις, στο τελευταίο είχαν μη ικανοποιητικές τα πρώτα δύο και μερικώς ικανοποιητική το τρίτο.
- Τα Εργαστήρια 8 και 29 έχουν λάβει βελτιωμένους δείκτες επίδοσης σε σχέση με το προηγούμενο Σ.Δ.Ι. καθώς τώρα συγκαταλέγονται στα απόλυτα καλώς συμπεριφερόμενα εργαστήρια ενώ στο προηγούμενο είχαν μη ικανοποιητικές

επιδόσεις. Το Εργαστήριο 3 βελτιώθηκε επίσης καθώς στο προηγούμενο σχήμα είχε μερικώς ικανοποιητική επίδοση ενώ τώρα είχε ποσοστό μη ικανοποιητικών δεικτών επίδοσης 0%.

- Το Εργαστήριο 11 είχε μή ικανοποιητική επίδοση και στα δύο σχήματα δοκιμών, με ελαφρώς χειρότερη στο τελευταίο.

Οι πιο πάνω συγκρίσεις αποδεικνύουν περίτρανα την αναγκαιότητα διεξαγωγής Σ.Δ.Ι. ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Προκύπτει ότι μερικοί από τους συμμετέχοντες αξιοποίησαν τις προτεινόμενες διορθωτικές ενέργειες που προέκυψαν από το πρώτο Σ.Δ.Ι. και βελτίωσαν την επίδοσή τους, ενώ προγενέστερες ικανοποιητικές επιδόσεις άλλων εργαστηρίων μειώθηκαν. Η απαίτηση του ΕΛΟΤ για τη διεξαγωγή των διεργαστηριακών δοκιμών ανά τετραετία μπορεί να μειωθεί και να επαναλαμβάνονται ανά διετία.

Βιβλιογραφία

- [1] ISO/IEC Guide 43-1: 1997, “Proficiency testing by Interlaboratory Comparisons - Part 1: Development and operation of proficiency testing schemes”.
- [2] ISO/IEC Guide 43-2: 1997, “Proficiency testing by Interlaboratory Comparisons - Part 2: Selection and use of proficiency testing schemes by laboratory accreditation bodies”.
- [3] ISO 13528: 2005, “Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparisons”.
- [4] ISO 5725-6: 1994, “Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results – Part 2: Basic method for the determination of repeatability and reproducibility of a standard measurement method”.
- [5] Νικολοπούλου Ε.Π., «Αξιολόγηση διεργασιολογικών μετρήσεων η/μ πεδίου», Διπλωματική εργασία, 2010.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1: ΧΑΜΗΛΟΣΥΧΝΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΚΑΙ ΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΠΕΔΙΑ

Παρακάτω ακολουθούν οι ολοκληρωμένοι πίνακες υπολογισμού των δεικτών επίδοσης των εργαστηρίων για τις μετρήσεις των χαμηλόσυχνων ηλεκτρομαγνητικών πεδίων. Παρουσιάζονται αναλυτικά όλες οι επαναλήψεις του αλγορίθμου για την κάθε θέση μέτρησης.

Παράρτημα 1: Χαμηλόσυχνα Ηλεκτρικά και Μαγνητικά Πεδία

Number of laboratories=		14											Z-Score		Z-Score	
Iteration	0	$\xi_i - x^*$	1	2	3	4	.....	25	26	27	28	Z-Score	Αύξουσα σειρά		
$\delta = 1.5s^*$	-		0,154	0,189	0,227	0,270	.....	0,664	0,666	0,667	0,667				
$x^* - \delta$	-		4,830	4,798	4,760	4,718	.....	4,302	4,300	4,299	4,298				
$x^* + \delta$	-		5,138	5,175	5,215	5,258	.....	5,630	5,632	5,632	5,633				
Lab 1	5,910	0,926	5,138	5,175	5,215	5,258	.....	5,630	5,632	5,632	5,633	2,121	Lab 7	-3,001	
Lab 2	4,970	0,014	4,970	4,970	4,970	4,970	.....	4,970	4,970	4,970	4,970	0,010	Lab 12	-2,375	
Lab 3	5,040	0,056	5,040	5,040	5,040	5,040	.....	5,040	5,040	5,040	5,040	0,167	Lab 6	-0,918	
Lab 4	4,924	0,060	4,924	4,924	4,924	4,924	.....	4,924	4,924	4,924	4,924	-0,093	Lab 4	-0,093	
Lab 5	5,214	0,230	5,138	5,175	5,214	5,214	.....	5,214	5,214	5,214	5,214	0,558	Lab 8	-0,057	
Lab 6	4,557	0,427	4,830	4,798	4,760	4,718	.....	4,557	4,557	4,557	4,557	-0,918	Lab 13	-0,044	
Lab 7	3,629	1,355	4,830	4,798	4,760	4,718	.....	4,302	4,300	4,299	4,298	-3,001	Lab 2	0,010	
Lab 8	4,940	0,044	4,940	4,940	4,940	4,940	.....	4,940	4,940	4,940	4,940	-0,057	Lab 10	0,073	
Lab 9	5,611	0,627	5,138	5,175	5,215	5,258	.....	5,611	5,611	5,611	5,611	1,450	Lab 11	0,136	
Lab 10	4,998	0,014	4,998	4,998	4,998	4,998	.....	4,998	4,998	4,998	4,998	0,073	Lab 3	0,167	
Lab 11	5,026	0,042	5,026	5,026	5,026	5,026	.....	5,026	5,026	5,026	5,026	0,136	Lab 14	0,217	
Lab 12	3,908	1,076	4,830	4,798	4,760	4,718	.....	4,302	4,300	4,299	4,298	-2,375	Lab 5	0,558	
Lab 13	4,946	0,038	4,946	4,946	4,946	4,946	.....	4,946	4,946	4,946	4,946	-0,044	Lab 9	1,450	
Lab 14	5,062	0,078	5,062	5,062	5,062	5,062	.....	5,062	5,062	5,062	5,062	0,217	Lab 1	2,121	
Average	4,910		4,986	4,987	4,988	4,985	.....	4,966	4,966	4,966	4,966				
SD	0,583	0,458	0,111	0,134	0,159	0,183	.....	0,391	0,392	0,392	0,393				
New x^*	4,984	0,069	4,9864	4,9875	4,9879	4,9850	.....	4,9659	4,9657	4,9656	4,9655				
New s^*	0,102		0,1258	0,1514	0,1800	0,2071	.....	0,4438	0,4445	0,4450	0,4453				

Πίνακας Π.1.1: Υπολογισμός των στατιστικών επίδοσης z-score για τη θέση μέτρησης 1 του ηλεκτρικού πεδίου (E1)

Παράρτημα 1: Χαμηλόσυχνα Ηλεκτρικά και Μαγνητικά Πεδία

Number of laboratories=		14										Z-Score		Z-Score	
Iteration	0	xi-x*	1	2	3	4	.....	32	33	34	35		Αύξουσα σειρά	
$\delta=1.5s^*$	-		0,040	0,047	0,054	0,060	.....	0,130	0,131	0,131	0,131			
$x^*-\delta$	-		1,195	1,190	1,185	1,179	.....	1,123	1,123	1,123	1,122			
$x^*+\delta$	-		1,275	1,284	1,292	1,299	.....	1,384	1,384	1,384	1,384			
Lab 1	1,470	0,235	1,275	1,284	1,292	1,299	.....	1,384	1,384	1,384	1,384	2,480	Lab 12	-3,781
Lab 2	1,230	0,005	1,230	1,230	1,230	1,230	.....	1,230	1,230	1,230	1,230	-0,267	Lab 6	-0,851
Lab 3	1,240	0,005	1,240	1,240	1,240	1,240	.....	1,240	1,240	1,240	1,240	-0,153	Lab 8	-0,428
Lab 4	1,218	0,017	1,218	1,218	1,218	1,218	.....	1,218	1,218	1,218	1,218	-0,405	Lab 4	-0,405
Lab 5	1,267	0,032	1,267	1,267	1,267	1,267	.....	1,267	1,267	1,267	1,267	0,156	Lab 13	-0,347
Lab 6	1,179	0,056	1,195	1,190	1,185	1,179	.....	1,179	1,179	1,179	1,179	-0,851	Lab 2	-0,267
Lab 7	1,658	0,423	1,275	1,284	1,292	1,299	.....	1,384	1,384	1,384	1,384	4,632	Lab 10	-0,233
Lab 8	1,216	0,019	1,216	1,216	1,216	1,216	.....	1,216	1,216	1,216	1,216	-0,428	Lab 11	-0,187
Lab 9	1,375	0,140	1,275	1,284	1,292	1,299	.....	1,375	1,375	1,375	1,375	1,392	Lab 14	-0,176
Lab 10	1,233	0,002	1,233	1,233	1,233	1,233	.....	1,233	1,233	1,233	1,233	-0,233	Lab 3	-0,153
Lab 11	1,237	0,002	1,237	1,237	1,237	1,237	.....	1,237	1,237	1,237	1,237	-0,187	Lab 5	0,156
Lab 12	0,923	0,312	1,195	1,190	1,185	1,179	.....	1,123	1,123	1,123	1,122	-3,781	Lab 9	1,392
Lab 13	1,223	0,012	1,223	1,223	1,223	1,223	.....	1,223	1,223	1,223	1,223	-0,347	Lab 1	2,480
Lab 14	1,238	0,003	1,238	1,238	1,238	1,238	.....	1,238	1,238	1,238	1,238	-0,176	Lab 7	4,632
Average	1,265		1,237	1,238	1,239	1,240	.....	1,253	1,253	1,253	1,253			
SD	0,163	0,136	0,028	0,032	0,036	0,040	.....	0,077	0,077	0,077	0,077			
New x^*	1,235	0,018	1,2369	1,2381	1,2390	1,2399	.....	1,2533	1,2533	1,2533	1,2534			
New s^*	0,027		0,0312	0,0357	0,0403	0,0448	.....	0,0871	0,08721	0,08730	0,08736			

Πίνακας Π.1.2: Υπολογισμός των στατιστικών επίδοσης z-score για τη θέση μέτρησης 2 του ηλεκτρικού πεδίου (E2)

Παράρτημα 1: Χαμηλόσυχνα Ηλεκτρικά και Μαγνητικά Πεδία

Number of laboratories=		14										Z-Score		Z-Score	
Iteration	0	xi-x*	1	2	3	4	.....	22	23	24	25		Αύξουσα σειρά	
$\delta=1.5s^*$	-		5,005	5,806	6,613	7,329	.....	9,635	9,655	9,668	9,678			
$x^*-\delta$	-		238,745	237,719	236,774	235,989	.....	233,755	233,739	233,727	233,719			
$x^*+\delta$	-		248,755	249,330	250,000	250,647	.....	253,026	253,048	253,064	253,074			
Lab 1	234,8	8,950	238,745	237,719	236,774	235,989	.....	234,800	234,800	234,800	234,800	-1,332	Lab 12	-9,820
Lab 2	246,0	2,250	246,000	246,000	246,000	246,000	.....	246,000	246,000	246,000	246,000	0,403	Lab 1	-1,332
Lab 3	245,0	1,250	245,000	245,000	245,000	245,000	.....	245,000	245,000	245,000	245,000	0,248	Lab 6	-0,944
Lab 4	241,2	2,550	241,200	241,200	241,200	241,200	.....	241,200	241,200	241,200	241,200	-0,340	Lab 4	-0,340
Lab 5	253,9	10,150	248,755	249,330	250,000	250,647	.....	253,026	253,048	253,064	253,074	1,627	Lab 8	-0,278
Lab 6	237,3	6,450	238,745	237,719	237,300	237,300	.....	237,300	237,300	237,300	237,300	-0,944	Lab 10	-0,093
Lab 7	246,0	2,250	246,000	246,000	246,000	246,000	.....	246,000	246,000	246,000	246,000	0,403	Lab 13	0,016
Lab 8	241,6	2,150	241,600	241,600	241,600	241,600	.....	241,600	241,600	241,600	241,600	-0,278	Lab 14	0,093
Lab 9	268,2	24,450	248,755	249,330	250,000	250,647	.....	253,026	253,048	253,064	253,074	3,842	Lab 3	0,248
Lab 10	242,8	0,950	242,800	242,800	242,800	242,800	.....	242,800	242,800	242,800	242,800	-0,093	Lab 11	0,326
Lab 11	245,5	1,750	245,500	245,500	245,500	245,500	.....	245,500	245,500	245,500	245,500	0,326	Lab 2	0,403
Lab 12	180,0	63,750	238,745	237,719	236,774	235,989	.....	233,755	233,739	233,727	233,719	-9,820	Lab 7	0,403
Lab 13	243,5	0,250	243,500	243,500	243,500	243,500	.....	243,500	243,500	243,500	243,500	0,016	Lab 5	1,627
Lab 14	244,0	0,250	244,000	244,000	244,000	244,000	.....	244,000	244,000	244,000	244,000	0,093	Lab 9	3,842
Average	240,700		243,525	243,387	243,318	243,298	.....	243,393	243,395	243,397	243,398			
SD	19,182	16,994	3,413	3,888	4,309	4,651	.....	5,676	5,684	5,689	5,693			
New x*	243,750	2,250	243,525	243,387	243,318	243,298	.....	243,393	243,395	243,397	243,398			
New s*	3,337		3,871	4,408	4,886	5,274	.....	6,436	6,445	6,452	6,456			

Πίνακας Π.1.3: Υπολογισμός των στατιστικών επίδοσης z-score για τη θέση μέτρησης 3 του ηλεκτρικού πεδίου (E3)

Number of laboratories=			16				Z-Score	Z-Score	
Iteration	0	xi-x*	1	2	3	4		Αύξουσα σειρά	
$\delta=1.5s^*$	-		2,035	2,106	2,133	2,147			
$x^*-\delta$	-		57,745	57,607	57,572	57,559			
$x^*+\delta$	-		61,815	61,819	61,838	61,852			
Lab 1	61,05	1,270	61,050	61,050	61,050	61,050	0,935	Lab 8	-1,877
Lab 2	59,20	0,580	59,200	59,200	59,200	59,200	-0,353	Lab 6	-1,083
Lab 3	60,52	0,740	60,520	60,520	60,520	60,520	0,566	Lab 5	-0,986
Lab 4	58,85	0,930	58,850	58,850	58,850	58,850	-0,596	Lab 10	-0,610
Lab 5	58,29	1,490	58,290	58,290	58,290	58,290	-0,986	Lab 4	-0,596
Lab 6	58,15	1,630	58,150	58,150	58,150	58,150	-1,083	Lab 12	-0,575
Lab 7	62,33	2,550	61,815	61,819	61,838	61,852	1,826	Lab 2	-0,353
Lab 8	57,01	2,770	57,745	57,607	57,572	57,559	-1,877	Lab 9	0,044
Lab 9	59,77	0,010	59,770	59,770	59,770	59,770	0,044	Lab 14	0,058
Lab 10	58,83	0,950	58,830	58,830	58,830	58,830	-0,610	Lab 16	0,246
Lab 11	60,40	0,620	60,400	60,400	60,400	60,400	0,483	Lab 13	0,378
Lab 12	58,88	0,900	58,880	58,880	58,880	58,880	-0,575	Lab 11	0,483
Lab 13	60,25	0,470	60,250	60,250	60,250	60,250	0,378	Lab 3	0,566
Lab 14	59,79	0,010	59,790	59,790	59,790	59,790	0,058	Lab 1	0,935
Lab 15	63,60	3,820	61,815	61,819	61,838	61,852	2,710	Lab 7	1,826
Lab 16	60,06	0,280	60,060	60,060	60,060	60,060	0,246	Lab 15	2,710
Average	59,811		59,713	59,705	59,706	59,706			
SD	1,620	1,058	1,238	1,254	1,262	1,267			
New x*	59,780	0,915	59,713	59,705	59,706	59,706			
New s*	1,357		1,404	1,422	1,431	1,437			

Πίνακας Π.1.4: Υπολογισμός των στατιστικών επίδοσης z-score για τη θέση μέτρησης 1 του μαγνητικού πεδίου (B1)

Number of laboratories=			16					Z-Score	Z-Score	
Iteration	0	$x_i - x^*$	1	2	3	4	5		Αύξουσα σειρά	
$\delta = 1.5s^*$	-		0,129	0,133	0,135	0,136	0,136			
$x^* - \delta$	-		2,092	2,080	2,077	2,076	2,076			
$x^* + \delta$	-		2,350	2,346	2,347	2,348	2,348			
Lab 1	2,226	0,005	2,226	2,226	2,226	2,226	2,226	0,154	Lab 10	-1,992
Lab 2	2,230	0,009	2,230	2,230	2,230	2,230	2,230	0,198	Lab 6	-1,354
Lab 3	2,295	0,074	2,295	2,295	2,295	2,295	2,295	0,914	Lab 5	-1,189
Lab 4	2,216	0,005	2,216	2,216	2,216	2,216	2,216	0,044	Lab 8	-0,583
Lab 5	2,104	0,117	2,104	2,104	2,104	2,104	2,104	-1,189	Lab 13	-0,561
Lab 6	2,089	0,132	2,092	2,089	2,089	2,089	2,089	-1,354	Lab 14	-0,352
Lab 7	2,240	0,019	2,240	2,240	2,240	2,240	2,240	0,308	Lab 4	0,044
Lab 8	2,159	0,062	2,159	2,159	2,159	2,159	2,159	-0,583	Lab 9	0,044
Lab 9	2,216	0,005	2,216	2,216	2,216	2,216	2,216	0,044	Lab 1	0,154
Lab 10	2,031	0,190	2,092	2,080	2,077	2,076	2,076	-1,992	Lab 2	0,198
Lab 11	2,277	0,056	2,277	2,277	2,277	2,277	2,277	0,715	Lab 7	0,308
Lab 12	2,320	0,099	2,320	2,320	2,320	2,320	2,320	1,189	Lab 15	0,473
Lab 13	2,161	0,060	2,161	2,161	2,161	2,161	2,161	-0,561	Lab 11	0,715
Lab 14	2,180	0,041	2,180	2,180	2,180	2,180	2,180	-0,352	Lab 3	0,914
Lab 15	2,255	0,034	2,255	2,255	2,255	2,255	2,255	0,473	Lab 12	1,189
Lab 16	2,400	0,179	2,350	2,346	2,347	2,348	2,348	2,069	Lab 16	2,069
Average	2,212		2,213	2,212	2,212	2,212	2,212			
SD	0,092	0,060	0,078	0,079	0,080	0,080	0,080			
New x^*	2,221	0,058	2,2133	2,2122	2,2120	2,2120	2,2120			
New s^*	0,086		0,0888	0,0901	0,0906	0,0908	0,0908			

Πίνακας Π.1.5: Υπολογισμός των στατιστικών επίδοσης z-score για τη θέση μέτρησης 2 του μαγνητικού πεδίου (B2)

Παράρτημα 1: Χαμηλόσυχνα Ηλεκτρικά και Μαγνητικά Πεδία

Number of laboratories=		16										Z-Score		Z-Score	
Iteration	0	$\bar{x}_i - x^*$	1	2	3	4	19	20	21	22				
$\delta = 1.5s^*$	-		130,133	133,368	146,822	156,498	178,117	179,777	181,040	182,002				
$x^* - \delta$	-		412,867	434,282	426,056	419,883	405,623	404,509	403,659	403,012				
$x^* + \delta$	-		673,133	701,018	719,701	732,880	761,857	764,063	765,739	767,016				
Lab 1	530,0	13,000	530,000	530,000	530,000	530,000	.....	530,000	530,000	530,000	530,000	-0,454	Lab 12	-1,110
Lab 2	590,0	47,000	590,000	590,000	590,000	590,000	.....	590,000	590,000	590,000	590,000	0,039	Lab 4	-0,898
Lab 3	501,0	42,000	501,000	501,000	501,000	501,000	.....	501,000	501,000	501,000	501,000	-0,692	Lab 14	-0,839
Lab 4	475,9	67,100	475,900	475,900	475,900	475,900	.....	475,900	475,900	475,900	475,900	-0,898	Lab 3	-0,692
Lab 5	665,0	122,000	665,000	665,000	665,000	665,000	.....	665,000	665,000	665,000	665,000	0,655	Lab 7	-0,593
Lab 6	818,8	275,800	673,133	701,018	719,701	732,880	.....	761,857	764,063	765,739	767,016	1,917	Lab 11	-0,515
Lab 7	513,0	30,000	513,000	513,000	513,000	513,000	.....	513,000	513,000	513,000	513,000	-0,593	Lab 1	-0,454
Lab 8	803,8	260,800	673,133	701,018	719,701	732,880	.....	761,857	764,063	765,739	767,016	1,794	Lab 13	-0,388
Lab 9	646,6	103,600	646,600	646,600	646,600	646,600	.....	646,600	646,600	646,600	646,600	0,504	Lab 15	-0,306
Lab 10	827,8	284,800	673,133	701,018	719,701	732,880	.....	761,857	764,063	765,739	767,016	1,991	Lab 2	0,039
Lab 11	522,5	20,500	522,500	522,500	522,500	522,500	.....	522,500	522,500	522,500	522,500	-0,515	Lab 16	0,121
Lab 12	450,0	93,000	450,000	450,000	450,000	450,000	.....	450,000	450,000	450,000	450,000	-1,110	Lab 9	0,504
Lab 13	538,0	5,000	538,000	538,000	538,000	538,000	.....	538,000	538,000	538,000	538,000	-0,388	Lab 5	0,655
Lab 14	483,0	60,000	483,000	483,000	483,000	483,000	.....	483,000	483,000	483,000	483,000	-0,839	Lab 8	1,794
Lab 15	548,0	5,000	548,000	548,000	548,000	548,000	.....	548,000	548,000	548,000	548,000	-0,306	Lab 6	1,917
Lab 16	600,0	57,000	600,000	600,000	600,000	600,000	.....	600,000	600,000	600,000	600,000	0,121	Lab 10	1,991
Average	594,588		567,650	572,878	576,381	578,852	.....	584,286	584,699	585,014	585,253			
SD	124,831	95,986	78,406	86,315	92,004	96,169	.....	105,689	106,431	106,997	107,429			
New x^*	543,000	58,500	567,650	572,878	576,381	578,852	.....	584,286	584,699	585,014	585,253			
New s^*	86,756		88,912	97,882	104,332	109,055	.....	119,851	120,693	121,335	121,824			

Πίνακας Π.1.6: Υπολογισμός των στατιστικών επίδοσης z-score για τη θέση μέτρησης 3 του μαγνητικού πεδίου (B3)

Number of laboratories=			13			Z-Score	Z-Score	
Iteration	0	xi-x*	1	2	3		Αύξουσα σειρά	
$\delta=1.5s^*$	-		0,029	0,023	0,022			
$x^*-\delta$	-		1,148	1,153	1,154			
$x^*+\delta$	-		1,206	1,199	1,198			
Lab 1	1,2000	0,023	1,200	1,199	1,198	1,612	Lab 6	-1,142
Lab 2	1,1600	0,017	1,160	1,160	1,160	-1,075	Lab 2	-1,075
Lab 3	1,1700	0,007	1,170	1,170	1,170	-0,403	Lab 7	-1,075
Lab 4	1,1820	0,005	1,182	1,182	1,182	0,403	Lab 11	-0,806
Lab 5	1,1900	0,013	1,190	1,190	1,190	0,940	Lab 14	-0,605
Lab 6	1,1590	0,018	1,159	1,159	1,159	-1,142	Lab 3	-0,403
Lab 7	1,1600	0,017	1,160	1,160	1,160	-1,075	Lab 8	-0,188
Lab 8	1,1732	0,003	1,173	1,173	1,173	-0,188	Lab 13	0,268
Lab 9	1,1900	0,013	1,190	1,190	1,190	0,940	Lab 15	0,268
Lab 10	1,1904	0,014	1,190	1,190	1,190	0,967	Lab 4	0,403
Lab 11	1,1640	0,013	1,164	1,164	1,164	-0,806	Lab 5	0,940
Lab 13	1,1800	0,003	1,180	1,180	1,180	0,268	Lab 9	0,940
Lab 14	1,1670	0,010	1,167	1,167	1,167	-0,605	Lab 10	0,967
Lab 15	1,1800	0,003	1,180	1,180	1,180	0,268	Lab 1	1,612
Average	1,176		1,176	1,176	1,176			
SD	0,013	0,006	0,013	0,013	0,013			
New x^*	1,177	0,013	1,176	1,176	1,176			
New s^*	0,019		0,0151	0,0149	0,0149			

Πίνακας Π.1.7: Υπολογισμός των στατιστικών επίδοσης z-score για τη θέση μέτρησης 4 του μαγνητικού πεδίου (B4)

Παράρτημα 1: Χαμηλόσυχνα Ηλεκτρικά και Μαγνητικά Πεδία

Number of laboratories=		14										Z-Score		Z-Score	
Iteration	0	$\chi_i - x^*$	1	2	3	4	.....	20	21	22	23	Αύξουσα σειρά		
$\delta = 1.5s^*$	-		3,145	1,794	1,414	1,147	.....	1,378	1,457	1,491	1,504			
$x^* - \delta$	-		123,855	124,993	125,455	125,787	.....	124,813	124,734	124,700	124,687			
$x^* + \delta$	-		130,145	128,581	128,283	128,082	.....	127,569	127,648	127,681	127,695			
Lab 1	127,00	0,000	127,000	127,000	127,000	127,000	.....	127,000	127,000	127,000	127,000	0,805	Lab 9	-10,631
Lab 2	127,50	0,500	127,500	127,500	127,500	127,500	.....	127,500	127,500	127,500	127,500	1,302	Lab 6	-1,184
Lab 3	127,50	0,500	127,500	127,500	127,500	127,500	.....	127,500	127,500	127,500	127,500	1,302	Lab 1	0,805
Lab 4	127,00	0,000	127,000	127,000	127,000	127,000	.....	127,000	127,000	127,000	127,000	0,805	Lab 4	0,805
Lab 5	127,00	0,000	127,000	127,000	127,000	127,000	.....	127,000	127,000	127,000	127,000	0,805	Lab 5	0,805
Lab 6	125,00	2,000	125,000	125,000	125,455	125,787	.....	125,000	125,000	125,000	125,000	-1,184	Lab 7	0,805
Lab 7	127,00	0,000	127,000	127,000	127,000	127,000	.....	127,000	127,000	127,000	127,000	0,805	Lab 8	0,805
Lab 8	127,00	0,000	127,000	127,000	127,000	127,000	.....	127,000	127,000	127,000	127,000	0,805	Lab 13	0,805
Lab 9	115,50	11,500	123,855	124,993	125,455	125,787	.....	124,813	124,734	124,700	124,687	-10,631	Lab 14	0,805
Lab 10	127,50	0,500	127,500	127,500	127,500	127,500	.....	127,500	127,500	127,500	127,500	1,302	Lab 15	0,805
Lab 11	127,67	0,670	127,670	127,670	127,670	127,670	.....	127,569	127,648	127,670	127,670	1,471	Lab 2	1,302
Lab 13	127,00	0,000	127,000	127,000	127,000	127,000	.....	127,000	127,000	127,000	127,000	0,805	Lab 3	1,302
Lab 14	127,00	0,000	127,000	127,000	127,000	127,000	.....	127,000	127,000	127,000	127,000	0,805	Lab 10	1,302
Lab 15	127,00	0,000	127,000	127,000	127,000	127,000	.....	127,000	127,000	127,000	127,000	0,805	Lab 11	1,471
Average	126,191		126,787	126,869	126,934	126,982	.....	126,191	126,191	126,191	126,191			
SD	3,141	3,037	1,055	0,831	0,674	0,564	.....	0,857	0,876	0,884	0,887			
New x^*	127,000	1,414	126,787	126,869	126,934	126,982	.....	126,191	126,191	126,191	126,191			
New s^*	2,097		1,196	0,943	0,765	0,640	.....	0,971	0,994	1,003	1,006			

Πίνακας Π.1.8: Υπολογισμός των στατιστικών επίδοσης z-score για τη θέση μέτρησης της συχνότητας του μαγνητικού πεδίου (f)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2

ΥΨΙΣΥΧΝΑ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΠΕΔΙΑ

Πιο κάτω ακολουθούν οι ολοκληρωμένοι πίνακες υπολογισμού των δεικτών επίδοσης των εργαστηρίων για τις μετρήσεις των υψίσυχνων ηλεκτρομαγνητικών πεδίων. Παρουσιάζονται αναλυτικά όλες οι επαναλήψεις του αλγορίθμου υπολογισμού των z-scores για το κάθε μέγεθος καθώς και ο υπολογισμός των E_n -numbers για τις συχνότητες.

Παράρτημα 2: Υψίσουχνα Ηλεκτρομαγνητικά Πεδία

Number of laboratories=			30				Z-Score	Z-score	
Iteration	0	$\bar{x}_i - x^*$	1	2	3	4		Αύξουσα σειρά	
$\delta = 1.5s^*$	-		0,650	0,652	0,654	0,655			
$x^* - \delta$	-		5,120	5,127	5,125	5,125			
$x^* + \delta$	-		6,420	6,430	6,433	6,435			
Lab 1	6,414	0,644	6,414	6,414	6,414	6,414		Lab 27	-1,74066
Lab 2	5,463	0,307	5,463	5,463	5,463	5,463	-0,725	Lab 29	-1,4867
Lab 3	5,627	0,143	5,627	5,627	5,627	5,627	-0,350	Lab 24	-1,14351
Lab 4	6,0334	0,263	6,033	6,033	6,033	6,033	0,580	Lab 28	-1,0886
Lab 5	6,0671	0,297	6,067	6,067	6,067	6,067	0,657	Lab 21	-0,87353
Lab 6	5,901	0,131	5,901	5,901	5,901	5,901	0,277	Lab 30	-0,86896
Lab 7	5,6414	0,129	5,641	5,641	5,641	5,641	-0,317	Lab 22	-0,81404
Lab 8	6,036	0,266	6,036	6,036	6,036	6,036	0,586	Lab 13	-0,80146
Lab 9	5,789	0,019	5,789	5,789	5,789	5,789	0,021	Lab 2	-0,72482
Lab 10	5,923	0,153	5,923	5,923	5,923	5,923	0,328	Lab 14	-0,65595
Lab 11	6,057	0,287	6,057	6,057	6,057	6,057	0,634	Lab 3	-0,34959
Lab 12	6,087	0,317	6,087	6,087	6,087	6,087	0,703	Lab 7	-0,31665
Lab 13	5,4295	0,341	5,430	5,430	5,430	5,430	-0,801	Lab 25	-0,17571
Lab 14	5,4931	0,277	5,493	5,493	5,493	5,493	-0,656	Lab 19	-0,08648
Lab 15	6,480	0,710	6,420	6,430	6,433	6,435	1,602	Lab 20	-0,06589
Lab 16	11,453	5,683	6,420	6,430	6,433	6,435	12,980	Lab 9	0,02105
Lab 17	12,190	6,420	6,420	6,430	6,433	6,435	14,666	Lab 6	0,277298
Lab 18	5,9079	0,138	5,908	5,908	5,908	5,908	0,293	Lab 18	0,293085
Lab 19	5,742	0,028	5,742	5,742	5,742	5,742	-0,086	Lab 10	0,327633
Lab 20	5,751	0,019	5,751	5,751	5,751	5,751	-0,066	Lab 26	0,396271
Lab 21	5,398	0,372	5,398	5,398	5,398	5,398	-0,874	Lab 23	0,528297
Lab 22	5,424	0,346	5,424	5,424	5,424	5,424	-0,814	Lab 4	0,580221
Lab 23	6,010705296	0,241	6,011	6,011	6,011	6,011	0,528	Lab 8	0,586169
Lab 24	5,28	0,490	5,280	5,280	5,280	5,280	-1,144	Lab 11	0,634216
Lab 25	5,703	0,067	5,703	5,703	5,703	5,703	-0,176	Lab 5	0,657324
Lab 26	5,953	0,183	5,953	5,953	5,953	5,953	0,396	Lab 12	0,702854
Lab 27	5,019	0,751	5,120	5,127	5,125	5,125	-1,741	Lab 1	1,451007
Lab 28	5,304	0,466	5,304	5,304	5,304	5,304	-1,089	Lab 15	1,602011
Lab 29	5,13	0,640	5,130	5,130	5,130	5,130	-1,487	Lab 16	12,97989
Lab 30	5,4	0,370	5,400	5,400	5,400	5,400	-0,869	Lab 17	14,6661
Average	6,137		5,778	5,779	5,780	5,780			
SD	1,588	1,476	0,383	0,384	0,385	0,385			
New x^*	5,770	0,292	5,778	5,779	5,780	5,780			
New s^*	0,433		0,434	0,436	0,437	0,437			

Πίνακας Π.2.1: Υπολογισμός των στατιστικών επίδοσης z-score για τη συνολικά μετρούμενη τιμή της έντασης του πεδίου σε όλο το φασματικό εύρος για το Σενάριο 1

Παράρτημα 2: Υψίσουχα Ηλεκτρομαγνητικά Πεδία

Number of laboratories=		28								
Iteration	0	xi-x*	1	2	.....	13	14	Z-Score	Z-score	
$\delta=1.5s^*$	-		1,030	1,065	.....	0,778	0,778		Αύξουσα σειρά	
$x^*-\delta$	-		5,270	4,882	.....	5,068	5,068			
$x^*+\delta$	-		7,329	7,012	.....	6,624	6,624			
Lab 1	6,24	0,059	6,240	6,240	.....	6,240	6,240	0,761	Lab 27	-1,723
Lab 2	5,385	0,914	5,385	5,385	.....	5,385	5,385	-0,890	Lab 24	-1,227
Lab 3	5,526	0,773	5,526	5,526	.....	5,526	5,526	-0,617	Lab 28	-1,167
Lab 4	5,98	0,319	5,980	5,980	.....	5,980	5,980	0,259	Lab 26	-0,984
Lab 5	6,0021	0,297	6,002	6,002	.....	6,002	6,002	0,301	Lab 2	-0,890
Lab 6	5,89	0,409	5,890	5,890	.....	5,890	5,890	0,085	Lab 22	-0,835
Lab 7	5,6669	0,632	5,667	5,667	.....	5,667	5,667	-0,345	Lab 21	-0,735
Lab 8	5,981	0,318	5,981	5,981	.....	5,981	5,981	0,261	Lab 13	-0,717
Lab 9	7,557	1,258	7,329	7,012	.....	6,624	6,624	3,302	Lab 3	-0,617
Lab 10	5,881	0,418	5,881	5,881	.....	5,881	5,881	0,068	Lab 14	-0,583
Lab 11	6,162	0,137	6,162	6,162	.....	6,162	6,162	0,610	Lab 7	-0,345
Lab 12	6,39	0,091	6,390	6,390	.....	6,390	6,390	1,050	Lab 20	-0,168
Lab 13	5,4742	0,825	5,474	5,474	.....	5,474	5,474	-0,717	Lab 23	-0,103
Lab 14	5,5436	0,756	5,544	5,544	.....	5,544	5,544	-0,583	Lab 19	-0,062
Lab 15	7,04	0,741	7,040	7,012	.....	6,624	6,624	2,305	Lab 10	0,068
Lab 16	16,911	10,612	7,329	7,012	.....	6,624	6,624	21,356	Lab 6	0,085
Lab 17	7,8	1,501	7,329	7,012	.....	6,624	6,624	3,771	Lab 18	0,141
Lab 18	5,919	0,380	5,919	5,919	.....	5,919	5,919	0,141	Lab 4	0,259
Lab 19	5,814	0,485	5,814	5,814	.....	5,814	5,814	-0,062	Lab 8	0,261
Lab 20	5,759	0,540	5,759	5,759	.....	5,759	5,759	-0,168	Lab 5	0,301
Lab 21	5,465	0,834	5,465	5,465	.....	5,465	5,465	-0,735	Lab 25	0,396
Lab 22	5,413	0,886	5,413	5,413	.....	5,413	5,413	-0,835	Lab 11	0,610
Lab 23	5,792325816	0,507	5,792	5,792	.....	5,792	5,792	-0,103	Lab 1	0,761
Lab 24	5,21	1,089	5,270	5,210	.....	5,210	5,210	-1,227	Lab 12	1,050
Lab 25	6,051	0,248	6,051	6,051	.....	6,051	6,051	0,396	Lab 15	2,305
Lab 26	5,336	0,963	5,336	5,336	.....	5,336	5,336	-0,984	Lab 9	3,302
Lab 27	4,953	1,346	5,270	4,953	.....	5,068	5,068	-1,723	Lab 17	3,771
Lab 28	5,241	1,058	5,270	5,241	.....	5,241	5,241	-1,167	Lab 16	21,356
Average	6,299		5,947	5,897	.....	5,846	5,846			
SD	2,180	1,919	0,626	0,570	.....	0,457	0,457			
New x*	6,299	0,687	5,947	5,897	.....	5,846	5,846			
New s*	0,687		0,710	0,646	.....	0,518	0,518			

Πίνακας Π.2.2: Υπολογισμός των στατιστικών επίδοσης z-score για τη μετρούμενη τιμή της έντασης του πεδίου στη φασματική περιοχή FM (87,5-108 MHz) για το Σενάριο 1

Παράρτημα 2: Υψίσουχνα Ηλεκτρομαγνητικά Πεδία

Number of laboratories=		28								
Iteration	0	xi-x*	1	2	.....	16	17	Z-Score	Z-score	
$\delta=1.5s^*$	-		0,106	0,114	.....	0,151	0,151		Αύξουσα σειρά	
$x^*-\delta$	-		0,611	0,616	.....	0,592	0,592			
$x^*+\delta$	-		0,824	0,843	.....	0,893	0,894			
Lab 1	0,765	0,048	0,765	0,765	.....	0,765	0,765	0,221	Lab 11	-1,319
Lab 2	0,767	0,050	0,767	0,767	.....	0,767	0,767	0,241	Lab 8	-1,132
Lab 3	0,67	0,047	0,670	0,670	.....	0,670	0,670	-0,724	Lab 25	-0,963
Lab 4	0,76542	0,048	0,765	0,765	.....	0,765	0,765	0,225	Lab 3	-0,724
Lab 5	0,6729	0,044	0,673	0,673	.....	0,673	0,673	-0,696	Lab 22	-0,717
Lab 6	0,674	0,043	0,674	0,674	.....	0,674	0,674	-0,685	Lab 23	-0,713
Lab 7	0,6735	0,044	0,674	0,674	.....	0,674	0,674	-0,690	Lab 10	-0,705
Lab 8	0,629	0,088	0,629	0,629	.....	0,629	0,629	-1,132	Lab 5	-0,696
Lab 9	1,204	0,487	0,824	0,843	.....	0,893	0,894	4,588	Lab 7	-0,690
Lab 10	0,672	0,045	0,672	0,672	.....	0,672	0,672	-0,705	Lab 6	-0,685
Lab 11	0,6102	0,107	0,611	0,616	.....	0,610	0,610	-1,319	Lab 21	-0,534
Lab 12	0,7774	0,060	0,777	0,777	.....	0,777	0,777	0,344	Lab 24	-0,326
Lab 13	0,7192	0,002	0,719	0,719	.....	0,719	0,719	-0,235	Lab 28	-0,326
Lab 14	0,7203	0,003	0,720	0,720	.....	0,720	0,720	-0,224	Lab 18	-0,272
Lab 15	0,851	0,134	0,824	0,843	.....	0,851	0,851	1,076	Lab 13	-0,235
Lab 16	1,335	0,618	0,824	0,843	.....	0,893	0,894	5,891	Lab 14	-0,224
Lab 17	2,22	1,503	0,824	0,843	.....	0,893	0,894	14,694	Lab 1	0,221
Lab 18	0,7155	0,002	0,716	0,716	.....	0,716	0,716	-0,272	Lab 4	0,225
Lab 19	0,77	0,053	0,770	0,770	.....	0,770	0,770	0,270	Lab 2	0,241
Lab 20	0,782	0,065	0,782	0,782	.....	0,782	0,782	0,390	Lab 19	0,270
Lab 21	0,6891	0,028	0,689	0,689	.....	0,689	0,689	-0,534	Lab 12	0,344
Lab 22	0,6707	0,047	0,671	0,671	.....	0,671	0,671	-0,717	Lab 20	0,390
Lab 23	0,671150819	0,046	0,671	0,671	.....	0,671	0,671	-0,713	Lab 15	1,076
Lab 24	0,71	0,007	0,710	0,710	.....	0,710	0,710	-0,326	Lab 27	2,031
Lab 25	0,646	0,071	0,646	0,646	.....	0,646	0,646	-0,963	Lab 26	2,668
Lab 26	1,011	0,294	0,824	0,843	.....	0,893	0,894	2,668	Lab 9	4,588
Lab 27	0,947	0,230	0,824	0,843	.....	0,893	0,894	2,031	Lab 16	5,891
Lab 28	0,71	0,007	0,710	0,710	.....	0,710	0,710	-0,326	Lab 17	14,694
Average	0,823		0,729	0,734	.....	0,743	0,743			
SD	0,321	0,301	0,067	0,073	.....	0,089	0,089			
New x^*	0,717	0,048	0,729	0,734	.....	0,743	0,743			
New s^*	0,071		0,076	0,083	.....	0,1005	0,1005			

Πίνακας Π.2.3: Υπολογισμός των στατιστικών επίδοσης z-score για τη μετρούμενη τιμή της έντασης του πεδίου στη φασματική περιοχή GSM (885-960 MHz) για το Σενάριο

Παράρτημα 2: Υψίσουχνα Ηλεκτρομαγνητικά Πεδία

Number of laboratories=		29						Z-Score	Z-score	
Iteration	0	xi-x*	1	2	23	24		Αύξουσα σειρά	
$\delta=1.5s^*$	-		0,016	0,018	.....	0,052	0,052		
$x^*-\delta$	-		102,484	102,485	.....	102,455	102,455		
$x^*+\delta$	-		102,516	102,520	.....	102,559	102,559		
Lab 1	102,5	0,000	102,500	102,500	.....	102,500	102,500	-0,208	Lab 4 -3,095
Lab 2	102,5	0,000	102,500	102,500	.....	102,500	102,500	-0,208	Lab 7 -2,283
Lab 3	102,5	0,000	102,500	102,500	.....	102,500	102,500	-0,208	Lab 19 -2,026
Lab 4	102,4	0,100	102,484	102,485	.....	102,455	102,455	-3,095	Lab 8 -1,940
Lab 5	102,5	0,000	102,500	102,500	.....	102,500	102,500	-0,208	Lab 18 -0,496
Lab 6	102,567	0,067	102,516	102,520	.....	102,559	102,559	1,727	Lab 1 -0,208
Lab 7	102,4281	0,072	102,484	102,485	.....	102,455	102,455	-2,283	Lab 2 -0,208
Lab 8	102,44	0,060	102,484	102,485	.....	102,455	102,455	-1,940	Lab 3 -0,208
Lab 9	102,5	0,000	102,500	102,500	.....	102,500	102,500	-0,208	Lab 5 -0,208
Lab 10	102,525	0,025	102,516	102,520	.....	102,525	102,525	0,514	Lab 9 -0,208
Lab 11	102,5	0,000	102,500	102,500	.....	102,500	102,500	-0,208	Lab 11 -0,208
Lab 12	102,5	0,000	102,500	102,500	.....	102,500	102,500	-0,208	Lab 12 -0,208
Lab 13	102,507	0,007	102,507	102,507	.....	102,507	102,507	-0,005	Lab 17 -0,208
Lab 14	102,51	0,010	102,510	102,510	.....	102,510	102,510	0,081	Lab 23 -0,208
Lab 15	102,63	0,130	102,516	102,520	.....	102,559	102,559	3,545	Lab 24 -0,208
Lab 16	102,852	0,352	102,516	102,520	.....	102,559	102,559	9,955	Lab 26 -0,208
Lab 17	102,5	0,000	102,500	102,500	.....	102,500	102,500	-0,208	Lab 27 -0,208
Lab 18	102,49	0,010	102,490	102,490	.....	102,490	102,490	-0,496	Lab 28 -0,208
Lab 19	102,43700	0,063	102,484	102,485	.....	102,455	102,455	-2,026	Lab 29 -0,208
Lab 20	102,54700	0,047	102,516	102,520	.....	102,547	102,547	1,149	Lab 13 -0,005
Lab 21	102,56800	0,068	102,516	102,520	.....	102,559	102,559	1,756	Lab 14 0,081
Lab 22	102,53200	0,032	102,516	102,520	.....	102,532	102,532	0,716	Lab 10 0,514
Lab 23	102,5	0,000	102,500	102,500	.....	102,500	102,500	-0,208	Lab 22 0,716
Lab 24	102,5	0,000	102,500	102,500	.....	102,500	102,500	-0,208	Lab 25 0,947
Lab 25	102,54	0,040	102,516	102,520	.....	102,540	102,540	0,947	Lab 20 1,149
Lab 26	102,5	0,000	102,500	102,500	.....	102,500	102,500	-0,208	Lab 6 1,727
Lab 27	102,5	0,000	102,500	102,500	.....	102,500	102,500	-0,208	Lab 21 1,756
Lab 28	102,5	0,000	102,500	102,500	.....	102,500	102,500	-0,208	Lab 15 3,545
Lab 29	102,5	0,000	102,500	102,500	.....	102,500	102,500	-0,208	Lab 16 9,955
Average	102,516		102,502	102,504	.....	102,507	102,507		
SD	0,078	0,070	0,010	0,012	.....	0,030	0,031		
New x^*	102,500	0,007	102,502	102,504	.....	102,507	102,507		
New s^*	0,010		0,0117	0,0135	.....	0,0346	0,0346		

Πίνακας Π.2.4: Υπολογισμός των στατιστικών επίδοσης z-score για τη συχνότητα στην οποία εντοπίστηκε η πρώτη μέγιστη τιμή έντασης του ηλεκτρικού πεδίου για το Σενάριο 1

				Frequency	u_ref	u_ref_calc
Number of laboratories=				102,5	0,0035	0,003588
				29		
				E_n-number		
	Fmax1	u_F_{MAX1}	u_Fmax1_calc	E_n-numbers	Αύξουσα σειρά	
Lab 1	102,5	0,1	0,1025	0,00	Lab 7	-0,97
Lab 2	102,5	0,244	0,2501	0,00	Lab 8	-0,26
Lab 3	102,5	0,1	0,1025	0,00	Lab 19	-0,05
Lab 4	102,4	2,44	2,49856	-0,04	Lab 4	-0,04
Lab 5	102,5	0,05	0,05125	0,00	Lab 18	0,00
Lab 6	102,567	0,091	0,09333597	0,72	Lab 1	0,00
Lab 7	102,4281	0,072	0,073748232	-0,97	Lab 2	0,00
Lab 8	102,44	0,222	0,2274168	-0,26	Lab 3	0,00
Lab 9	102,5	0,0005	0,0005125	0,00	Lab 5	0,00
Lab 10	102,525	0,073	0,07484325	0,33	Lab 9	0,00
Lab 11	102,5	0,07	0,07175	0,00	Lab 11	0,00
Lab 12	102,5	0,07	0,07175	0,00	Lab 12	0,00
Lab 13	102,507	0,0463	0,047460741	0,15	Lab 17	0,00
Lab 14	102,51	0,0463	0,04746213	0,21	Lab 23	0,00
Lab 15	102,63	5,42	5,562546	0,02	Lab 24	0,00
Lab 16	102,85	15,13	15,5615076	0,02	Lab 26	0,00
Lab 17	102,5	0,3	0,3075	0,00	Lab 27	0,00
Lab 18	102,49	12,67	12,985483	0,00	Lab 28	0,00
Lab 19	102,437	1,2	1,229244	-0,05	Lab 29	0,00
Lab 20	102,547	1,2	1,230564	0,04	Lab 16	0,02
Lab 21	102,568	0,22	0,2256496	0,30	Lab 15	0,02
Lab 22	102,532	0,22	0,2255704	0,14	Lab 20	0,04
Lab 23	102,5	12,82	13,1405	0,00	Lab 22	0,14
Lab 24	102,5	0,244	0,2501	0,00	Lab 13	0,15
Lab 25	102,54	0,05	0,05127	0,78	Lab 14	0,21
Lab 26	102,5	0,457	0,468425	0,00	Lab 21	0,30
Lab 27	102,5	0,244	0,2501	0,00	Lab 10	0,33
Lab 28	102,5	0,25	0,25625	0,00	Lab 6	0,72
Lab 29	102,5	0,023	0,023575	0,00	Lab 25	0,78

Πίνακας Π.2.5: Υπολογισμός των στατιστικών επίδοσης E_n-number για τη συχνότητα στην οποία εντοπίστηκε η πρώτη μέγιστη τιμή έντασης του ηλεκτρικού πεδίου για το Σενάριο 1

Number of laboratories=		29				
Iteration	0	$x_i - x^*$	1	2	3	.....
$\delta = 1.5s^*$	-		0,000	0,000	0,000	.....
$x^* - \delta$	-		935,000	935,000	935,000	.....
$x^* + \delta$	-		935,000	935,000	935,000	.....
Lab 1	935,0	0,000	935,000	935,000	935,000	.....
Lab 2	935,0	0,000	935,000	935,000	935,000	.....
Lab 3	935,0	0,000	935,000	935,000	935,000	.....
Lab 4	935,1	0,100	935,000	935,000	935,000	.....
Lab 5	935,0	0,000	935,000	935,000	935,000	.....
Lab 6	935,013	0,013	935,000	935,000	935,000	.....
Lab 7	934,9969	0,003	935,000	935,000	935,000	.....
Lab 8	934,88	0,120	935,000	935,000	935,000	.....
Lab 9	935	0,000	935,000	935,000	935,000	.....
Lab 10	940	5,000	935,000	935,000	935,000	.....
Lab 11	935	0,000	935,000	935,000	935,000	.....
Lab 12	935	0,000	935,000	935,000	935,000	.....
Lab 13	934,992	0,008	935,000	935,000	935,000	.....
Lab 14	934,978	0,022	935,000	935,000	935,000	.....
Lab 15	935,11	0,110	935,000	935,000	935,000	.....
Lab 16	934,88	0,120	935,000	935,000	935,000	.....
Lab 17	935	0,000	935,000	935,000	935,000	.....
Lab 18	935,01	0,010	935,000	935,000	935,000	.....
Lab 19	935,017	0,017	935,000	935,000	935,000	.....
Lab 20	935	0,000	935,000	935,000	935,000	.....
Lab 21	934,999	0,001	935,000	935,000	935,000	.....
Lab 22	935,001	0,001	935,000	935,000	935,000	.....
Lab 23	935	0,000	935,000	935,000	935,000	.....
Lab 24	935	0,000	935,000	935,000	935,000	.....
Lab 25	935	0,000	935,000	935,000	935,000	.....
Lab 26	935	0,000	935,000	935,000	935,000	.....
Lab 27	935	0,000	935,000	935,000	935,000	.....
Lab 28	935	0,000	935,000	935,000	935,000	.....
Lab 29	940	5,000	935,000	935,000	935,000	.....
Average	935,344		935,000	935,000	935,000	.....
SD	1,290	1,285	0,000	0,000	0,000	.....
New x^*	935,000	0,000	935,000	935,000	935,000	.....
New s^*	0,000		0,000	0,000	0,000	.....

Πίνακας Π.2.6: Αδυναμία υπολογισμού των στατιστικών επίδοσης z-score για τη συχνότητα στην οποία εντοπίστηκε η δεύτερη μέγιστη τιμή έντασης του ηλεκτρικού πεδίου για το Σενάριο 1

				Frequency	u_ref	u_ref_calc
Number of laboratories=				935	0,0035	0,032725
				29		
	Fmax2	u_FMAX2	u_Fmax2_calc	E _n -number	E _n -number	
					Αύξουσα σειρά	
Lab 1	935,0	0,03	0,2805	0,000	Lab 8	-0,489
Lab 2	935,0	0,133	1,24355	0,000	Lab 14	-0,218
Lab 3	935,0	0,01	0,0935	0,000	Lab 13	-0,079
Lab 4	935,1	0,27	2,52477	0,040	Lab 7	-0,038
Lab 5	935,0	0,01	0,0935	0,000	Lab 21	-0,001
Lab 6	935,0	0,010	0,0935013	0,131	Lab 16	-0,001
Lab 7	935,0	0,008	0,074799752	-0,038	Lab 1	0,000
Lab 8	934,9	0,026	0,2430688	-0,489	Lab 2	0,000
Lab 9	935,0	0,0008	0,00748	0,000	Lab 3	0,000
Lab 10	940,0	0,0082	0,07708	59,709	Lab 5	0,000
Lab 11	935,0	0,07	0,6545	0,000	Lab 9	0,000
Lab 12	935,0	0,07	0,6545	0,000	Lab 11	0,000
Lab 13	935,0	0,0102	0,095369184	-0,079	Lab 12	0,000
Lab 14	935,0	0,0102	0,095367756	-0,218	Lab 17	0,000
Lab 15	935,1	2,64	24,686904	0,004	Lab 20	0,000
Lab 16	934,9	12,34	115,364192	-0,001	Lab 23	0,000
Lab 17	935,0	0,1	0,935	0,000	Lab 24	0,000
Lab 18	935,0	13,54	126,600354	0,000	Lab 25	0,000
Lab 19	935,0	1,2	11,220204	0,002	Lab 26	0,000
Lab 20	935,0	1,2	11,22	0,000	Lab 27	0,000
Lab 21	935,0	0,08	0,7479992	-0,001	Lab 28	0,000
Lab 22	935,0	0,08	0,7480008	0,001	Lab 18	0,000
Lab 23	935,0	16,05	150,0675	0,000	Lab 22	0,001
Lab 24	935,0	0,13	1,2155	0,000	Lab 19	0,002
Lab 25	935,0	0,01	0,0935	0,000	Lab 15	0,004
Lab 26	935,0	0,0208	0,19448	0,000	Lab 4	0,040
Lab 27	935,0	0,066	0,6171	0,000	Lab 6	0,131
Lab 28	935,0	0,07	0,6545	0,000	Lab 29	22,866
Lab 29	940,0	0,023	0,2162	22,866	Lab 10	59,709

Πίνακας Π.2.7: Υπολογισμός των στατιστικών επίδοσης E_n-number για τη συχνότητα στην οποία εντοπίστηκε η δεύτερη μέγιστη τιμή έντασης του ηλεκτρικού πεδίου για το Σενάριο 1

Παράρτημα 2: Υψίσυχα Ηλεκτρομαγνητικά Πεδία

Number of laboratories=		28							Z-score	
Iteration	0	$\bar{x}-x^*$	1	2	.....	18	19	Z-Score	Z-score	
$\delta=1.5s^*$	-		1,253	1,412	.....	1,948	1,950		Αύξουσα σειρά	
$x^*-\delta$	-		5,864	5,769	.....	5,383	5,382			
$x^*+\delta$	-		8,371	8,593	.....	9,279	9,281			
Lab 1	8,64	1,522	8,371	8,593	.....	8,640	8,640	1,006	Lab 27	-1,731
Lab 2	6,89	0,228	6,890	6,890	.....	6,890	6,890	-0,339	Lab 24	-1,224
Lab 3	6,58	0,538	6,580	6,580	.....	6,580	6,580	-0,578	Lab 28	-1,101
Lab 4	7,662	0,544	7,662	7,662	.....	7,662	7,662	0,254	Lab 21	-0,924
Lab 5	7,72	0,602	7,720	7,720	.....	7,720	7,720	0,299	Lab 22	-0,878
Lab 6	7,2891	0,172	7,289	7,289	.....	7,289	7,289	-0,033	Lab 13	-0,672
Lab 7	6,653	0,465	6,653	6,653	.....	6,653	6,653	-0,522	Lab 3	-0,578
Lab 8	7,36	0,242	7,360	7,360	.....	7,360	7,360	0,022	Lab 14	-0,552
Lab 9	12,2661	5,149	8,371	8,593	.....	9,279	9,281	3,795	Lab 7	-0,522
Lab 10	7,37	0,252	7,370	7,370	.....	7,370	7,370	0,030	Lab 25	-0,370
Lab 11	16,3	9,182	8,371	8,593	.....	9,279	9,281	6,897	Lab 2	-0,339
Lab 12	16,5	9,382	8,371	8,593	.....	9,279	9,281	7,051	Lab 20	-0,306
Lab 13	6,458	0,660	6,458	6,458	.....	6,458	6,458	-0,672	Lab 26	-0,301
Lab 14	6,613	0,505	6,613	6,613	.....	6,613	6,613	-0,552	Lab 19	-0,296
Lab 15	7,7	0,582	7,700	7,700	.....	7,700	7,700	0,283	Lab 6	-0,033
Lab 16	27,6	20,482	8,371	8,593	.....	9,279	9,281	15,587	Lab 18	-0,001
Lab 17	14	6,882	8,371	8,593	.....	9,279	9,281	5,128	Lab 8	0,022
Lab 18	7,33	0,212	7,330	7,330	.....	7,330	7,330	-0,001	Lab 10	0,030
Lab 19	6,946	0,172	6,946	6,946	.....	6,946	6,946	-0,296	Lab 23	0,207
Lab 20	6,934	0,184	6,934	6,934	.....	6,934	6,934	-0,306	Lab 4	0,254
Lab 21	6,13	0,988	6,130	6,130	.....	6,130	6,130	-0,924	Lab 15	0,283
Lab 22	6,19	0,928	6,190	6,190	.....	6,190	6,190	-0,878	Lab 5	0,299
Lab 23	7,6	0,482	7,600	7,600	.....	7,600	7,600	0,207	Lab 1	1,006
Lab 24	5,74	1,378	5,864	5,769	.....	5,740	5,740	-1,224	Lab 9	3,795
Lab 25	6,85	0,268	6,850	6,850	.....	6,850	6,850	-0,370	Lab 17	5,128
Lab 26	6,94	0,178	6,940	6,940	.....	6,940	6,940	-0,301	Lab 11	6,897
Lab 27	5,08	2,038	5,864	5,769	.....	5,383	5,382	-1,731	Lab 12	7,051
Lab 28	5,9	1,218	5,900	5,900	.....	5,900	5,900	-1,101	Lab 16	15,587
Average	8,759		7,181	7,222	.....	7,331	7,331			
SD	4,733	4,420	0,830	0,914	.....	1,146	1,147			
New x^*	7,118	0,563	7,181	7,222	.....	7,331	7,331			
New s^*	0,836		0,942	1,037	.....	1,300	1,300			

Πίνακας Π.2.8: Υπολογισμός των στατιστικών επίδοσης z-score των εργαστηρίων για το συνολικό λόγο έκθεσης, σε όλο το φασματικό εύρος του εξοπλισμού για το Σενάριο 1

Παράρτημα 2: Υγίσουχνα Ηλεκτρομαγνητικά Πεδία

Number of laboratories=		28						Z-Score	Z-score	
Iteration	0	$\bar{x} - x^*$	1	2	.....	10	11		Αύξουσα σειρά	
$\delta = 1.5s^*$	-		1,563	1,692	.....	1,870	1,872			
$x^* - \delta$	-		5,692	5,574	.....	5,434	5,433			
$x^* + \delta$	-		8,817	8,957	.....	9,175	9,177			
Lab 1	8,27	1,016	8,270	8,270	.....	8,270	8,270	0,773	Lab 27	-1,831
Lab 2	5,97	1,285	5,970	5,970	.....	5,970	5,970	-1,070	Lab 24	-1,342
Lab 3	6,48	0,775	6,480	6,480	.....	6,480	6,480	-0,661	Lab 28	-1,182
Lab 4	7,594	0,339	7,594	7,594	.....	7,594	7,594	0,231	Lab 2	-1,070
Lab 5	7,65	0,395	7,650	7,650	.....	7,650	7,650	0,276	Lab 22	-0,933
Lab 6	7,366	0,112	7,366	7,366	.....	7,366	7,366	0,049	Lab 21	-0,773
Lab 7	6,82	0,435	6,820	6,820	.....	6,820	6,820	-0,389	Lab 3	-0,661
Lab 8	7,596	0,342	7,596	7,596	.....	7,596	7,596	0,233	Lab 13	-0,546
Lab 9	12,1277	4,873	8,817	8,957	.....	9,175	9,177	3,863	Lab 26	-0,484
Lab 10	7,34	0,086	7,340	7,340	.....	7,340	7,340	0,028	Lab 14	-0,410
Lab 11	8,1	0,845	8,100	8,100	.....	8,100	8,100	0,637	Lab 7	-0,389
Lab 12	8,7	1,446	8,700	8,700	.....	8,700	8,700	1,117	Lab 20	-0,209
Lab 13	6,624	0,631	6,624	6,624	.....	6,624	6,624	-0,546	Lab 23	-0,140
Lab 14	6,793	0,462	6,793	6,793	.....	6,793	6,793	-0,410	Lab 19	-0,101
Lab 15	11	3,746	8,817	8,957	.....	9,175	9,177	2,960	Lab 18	0,020
Lab 16	60,7	53,446	8,817	8,957	.....	9,175	9,177	42,775	Lab 10	0,028
Lab 17	13	5,746	8,817	8,957	.....	9,175	9,177	4,562	Lab 6	0,049
Lab 18	7,33	0,075	7,330	7,330	.....	7,330	7,330	0,020	Lab 4	0,231
Lab 19	7,179	0,075	7,179	7,179	.....	7,179	7,179	-0,101	Lab 8	0,233
Lab 20	7,044	0,211	7,044	7,044	.....	7,044	7,044	-0,209	Lab 5	0,276
Lab 21	6,34	0,915	6,340	6,340	.....	6,340	6,340	-0,773	Lab 25	0,380
Lab 22	6,14	1,115	6,140	6,140	.....	6,140	6,140	-0,933	Lab 11	0,637
Lab 23	7,13	0,125	7,130	7,130	.....	7,130	7,130	-0,140	Lab 1	0,773
Lab 24	5,63	1,625	5,692	5,630	.....	5,630	5,630	-1,342	Lab 12	1,117
Lab 25	7,78	0,525	7,780	7,780	.....	7,780	7,780	0,380	Lab 15	2,960
Lab 26	6,701	0,554	6,701	6,701	.....	6,701	6,701	-0,484	Lab 9	3,863
Lab 27	5,02	2,235	5,692	5,574	.....	5,434	5,433	-1,831	Lab 17	4,562
Lab 28	5,83	1,425	5,830	5,830	.....	5,830	5,830	-1,182	Lab 16	42,775
Average	9,438		7,265	7,279	.....	7,305	7,305			
SD	10,208	9,981	0,994	1,038	.....	1,100	1,101			
New x^*	7,255	0,703	7,265	7,279	.....	7,305	7,305			
New s^*	1,042		1,128	1,177	.....	1,248	1,248			

Πίνακας Π.2.9: Υπολογισμός των στατιστικών επίδοσης z-score των εργαστηρίων για το λόγο έκθεσης, στη φασματική περιοχή με την πρώτη μέγιστη μετρούμενη τιμή έντασης πεδίου για το Σενάριο 1

Παράρτημα 2: Υψίσουχνα Ηλεκτρομαγνητικά Πεδία

Number of laboratories=		28						Z-Score	Z-score	
Iteration	0	xi-x*	1	2	....	5	6		Αύξουσα σειρά	
$\delta=1.5s^*$	-		0,022	0,021	.....	0,022	0,022			
$x^*-\delta$	-		0,029	0,032	.....	0,032	0,032			
$x^*+\delta$	-		0,073	0,074	.....	0,075	0,075			
Lab 1	0,06	0,009	0,060	0,060	.....	0,060	0,060	0,441	Lab 8	-0,998
Lab 2	0,04	0,011	0,040	0,040	.....	0,040	0,040	-0,936	Lab 2	-0,936
Lab 3	0,04	0,011	0,040	0,040	.....	0,040	0,040	-0,936	Lab 3	-0,936
Lab 4	0,06	0,009	0,060	0,060	.....	0,060	0,060	0,441	Lab 5	-0,936
Lab 5	0,04	0,011	0,040	0,040	.....	0,040	0,040	-0,936	Lab 11	-0,936
Lab 6	0,0448	0,006	0,045	0,045	.....	0,045	0,045	-0,606	Lab 23	-0,936
Lab 7	0,0448	0,006	0,045	0,045	.....	0,045	0,045	-0,606	Lab 25	-0,936
Lab 8	0,0391	0,012	0,039	0,039	.....	0,039	0,039	-0,998	Lab 22	-0,792
Lab 9	0,1367	0,086	0,073	0,074	.....	0,075	0,075	5,723	Lab 10	-0,771
Lab 10	0,0424	0,008	0,042	0,042	.....	0,042	0,042	-0,771	Lab 6	-0,606
Lab 11	0,04	0,011	0,040	0,040	.....	0,040	0,040	-0,936	Lab 7	-0,606
Lab 12	0,06	0,009	0,060	0,060	.....	0,060	0,060	0,441	Lab 24	-0,420
Lab 13	0,0516292	0,001	0,052	0,052	.....	0,052	0,052	-0,135	Lab 21	-0,337
Lab 14	0,0517829	0,001	0,052	0,052	.....	0,052	0,052	-0,125	Lab 28	-0,248
Lab 15	0,0683	0,017	0,068	0,068	.....	0,068	0,068	1,013	Lab 13	-0,135
Lab 16	0,17	0,119	0,073	0,074	.....	0,075	0,075	8,016	Lab 14	-0,125
Lab 17	0,5	0,449	0,073	0,074	.....	0,075	0,075	30,742	Lab 26	0,186
Lab 18	0,07	0,019	0,070	0,070	.....	0,070	0,070	1,130	Lab 1	0,441
Lab 19	0,06	0,009	0,060	0,060	.....	0,060	0,060	0,441	Lab 4	0,441
Lab 20	0,062	0,011	0,062	0,062	.....	0,062	0,062	0,579	Lab 12	0,441
Lab 21	0,0487	0,002	0,049	0,049	.....	0,049	0,049	-0,337	Lab 19	0,441
Lab 22	0,0421	0,009	0,042	0,042	.....	0,042	0,042	-0,792	Lab 20	0,579
Lab 23	0,04	0,011	0,040	0,040	.....	0,040	0,040	-0,936	Lab 15	1,013
Lab 24	0,0475	0,003	0,048	0,048	.....	0,048	0,048	-0,420	Lab 18	1,130
Lab 25	0,04	0,011	0,040	0,040	.....	0,040	0,040	-0,936	Lab 9	5,723
Lab 26	0,0563	0,005	0,056	0,056	.....	0,056	0,056	0,186	Lab 16	8,016
Lab 27	0,17	0,119	0,073	0,074	.....	0,075	0,075	8,016	Lab 27	8,016
Lab 28	0,05	0,001	0,050	0,050	.....	0,050	0,050	-0,248	Lab 17	30,742
Average	0,078		0,053	0,053	.....	0,054	0,054			
SD	0,090	0,087	0,012	0,013	.....	0,013	0,013			
New x^*	0,051	0,010	0,053	0,0534	.....	0,0536	0,0536			
New s^*	0,015		0,014	0,0142	.....	0,0145	0,0145			

Πίνακας Π.2.10: Υπολογισμός των στατιστικών επίδοσης z-score των εργαστηρίων για το λόγο έκθεσης, στη φασματική περιοχή με τη δεύτερη μέγιστη μετρούμενη τιμή έντασης πεδίου για το Σενάριο 1

Παράρτημα 2: Υπίσχυρα Ηλεκτρομαγνητικά Πεδία

Number of laboratories=		30					Z-Score	Z-score		
Iteration	0	xi-x*	1	2	.....	5		6	Αύξουσα σειρά	
$\delta=1.5s^*$	-		0,311	0,329	.....	0,355	0,357			
$x^*-\delta$	-		2,972	2,905	.....	2,866	2,864			
$x^*+\delta$	-		3,595	3,563	.....	3,575	3,577			
Lab 1	3,463	0,180	3,463	3,463	.....	3,463	3,463	1,018	Lab 28	-2,673
Lab 2	2,997	0,287	2,997	2,997	.....	2,997	2,997	-0,936	Lab 26	-1,830
Lab 3	3,317	0,034	3,317	3,317	.....	3,317	3,317	0,406	Lab 27	-1,666
Lab 4	3,3334	0,050	3,333	3,333	.....	3,333	3,333	0,474	Lab 29	-1,175
Lab 5	3,297	0,014	3,297	3,297	.....	3,297	3,297	0,322	Lab 14	-1,073
Lab 6	3,282	0,002	3,282	3,282	.....	3,282	3,282	0,259	Lab 24	-1,050
Lab 7	3,3998	0,116	3,400	3,400	.....	3,400	3,400	0,753	Lab 13	-0,969
Lab 8	3,307	0,023	3,307	3,307	.....	3,307	3,307	0,364	Lab 2	-0,936
Lab 9	3,272	0,012	3,272	3,272	.....	3,272	3,272	0,217	Lab 30	-0,504
Lab 10	3,224	0,059	3,224	3,224	.....	3,224	3,224	0,016	Lab 12	-0,379
Lab 11	3,425	0,142	3,425	3,425	.....	3,425	3,425	0,859	Lab 21	-0,316
Lab 12	3,13	0,154	3,130	3,130	.....	3,130	3,130	-0,379	Lab 22	-0,219
Lab 13	2,9892	0,294	2,989	2,989	.....	2,989	2,989	-0,969	Lab 10	0,016
Lab 14	2,9645	0,319	2,972	2,965	.....	2,965	2,965	-1,073	Lab 9	0,217
Lab 15	3,33	0,047	3,330	3,330	.....	3,330	3,330	0,460	Lab 6	0,259
Lab 16	6,534	3,251	3,595	3,563	.....	3,575	3,577	13,897	Lab 25	0,271
Lab 17	11,52	8,237	3,595	3,563	.....	3,575	3,577	34,807	Lab 5	0,322
Lab 18	3,4018	0,118	3,402	3,402	.....	3,402	3,402	0,761	Lab 8	0,364
Lab 19	3,318	0,035	3,318	3,318	.....	3,318	3,318	0,410	Lab 3	0,406
Lab 20	3,35	0,067	3,350	3,350	.....	3,350	3,350	0,544	Lab 19	0,410
Lab 21	3,145	0,139	3,145	3,145	.....	3,145	3,145	-0,316	Lab 15	0,460
Lab 22	3,168	0,116	3,168	3,168	.....	3,168	3,168	-0,219	Lab 4	0,474
Lab 23	3,454341861	0,171	3,454	3,454	.....	3,454	3,454	0,982	Lab 20	0,544
Lab 24	2,97	0,314	2,972	2,970	.....	2,970	2,970	-1,050	Lab 7	0,753
Lab 25	3,285	0,002	3,285	3,285	.....	3,285	3,285	0,271	Lab 18	0,761
Lab 26	2,784	0,500	2,972	2,905	.....	2,866	2,864	-1,830	Lab 11	0,859
Lab 27	2,823	0,461	2,972	2,905	.....	2,866	2,864	-1,666	Lab 23	0,982
Lab 28	2,583	0,701	2,972	2,905	.....	2,866	2,864	-2,673	Lab 1	1,018
Lab 29	2,94	0,344	2,972	2,940	.....	2,940	2,940	-1,175	Lab 16	13,897
Lab 30	3,1	0,184	3,100	3,100	.....	3,100	3,100	-0,504	Lab 17	34,807
Average	3,570		3,234	3,223	.....	3,220	3,220			
SD	1,636	1,566	0,193	0,202	.....	0,210	0,210			
New x*	3,284	0,140	3,234	3,223	.....	3,220	3,220			
New s*	0,208		0,219	0,229	.....	0,238	0,238			

Πίνακας Π.2.11: Υπολογισμός των στατιστικών επίδοσης z-score για τη συνολικά μετρούμενη τιμή της έντασης του πεδίου σε όλο το φασματικό εύρος για το Σενάριο 2

Παράρτημα 2: Υψίσυχα Ηλεκτρομαγνητικά Πεδία

Number of laboratories=		28								
Iteration	0	$x_i - x^*$	1	2	.....	12	13	Z-Score	Z-score Αύξουσα σειρά
$\delta = 1.5s^*$	-		0,319	0,362	.....	0,466	0,468		
$x^* - \delta$	-		2,917	2,869	.....	2,769	2,768		
$x^* + \delta$	-		3,555	3,593	.....	3,702	3,703		
Lab 1	3,402	0,166	3,402	3,402	.....	3,402	3,402	0,532	Lab 26 -2,494
Lab 2	2,937	0,299	2,937	2,937	.....	2,937	2,937	-0,957	Lab 28 -2,292
Lab 3	3,318	0,082	3,318	3,318	.....	3,318	3,318	0,263	Lab 27 -1,486
Lab 4	3,3078	0,072	3,308	3,308	.....	3,308	3,308	0,230	Lab 24 -1,076
Lab 5	3,229	0,007	3,229	3,229	.....	3,229	3,229	-0,022	Lab 2 -0,957
Lab 6	3,212	0,024	3,212	3,212	.....	3,212	3,212	-0,077	Lab 14 -0,897
Lab 7	3,2404	0,004	3,240	3,240	.....	3,240	3,240	0,014	Lab 13 -0,838
Lab 8	3,23	0,006	3,230	3,230	.....	3,230	3,230	-0,019	Lab 21 -0,387
Lab 9	5,173	1,937	3,555	3,593	.....	3,702	3,703	6,203	Lab 22 -0,294
Lab 10	3,198	0,038	3,198	3,198	.....	3,198	3,198	-0,121	Lab 10 -0,121
Lab 11	3,456	0,220	3,456	3,456	.....	3,456	3,456	0,705	Lab 6 -0,077
Lab 12	3,232	0,004	3,232	3,232	.....	3,232	3,232	-0,013	Lab 5 -0,022
Lab 13	2,9742	0,262	2,974	2,974	.....	2,974	2,974	-0,838	Lab 8 -0,019
Lab 14	2,9557	0,281	2,956	2,956	.....	2,956	2,956	-0,897	Lab 12 -0,013
Lab 15	3,784	0,548	3,555	3,593	.....	3,702	3,703	1,755	Lab 7 0,014
Lab 16	8,083	4,847	3,555	3,593	.....	3,702	3,703	15,520	Lab 25 0,019
Lab 17	5,38	2,144	3,555	3,593	.....	3,702	3,703	6,865	Lab 18 0,173
Lab 18	3,29	0,054	3,290	3,290	.....	3,290	3,290	0,173	Lab 4 0,230
Lab 19	3,354	0,118	3,354	3,354	.....	3,354	3,354	0,378	Lab 3 0,263
Lab 20	3,331	0,095	3,331	3,331	.....	3,331	3,331	0,304	Lab 20 0,304
Lab 21	3,115	0,121	3,115	3,115	.....	3,115	3,115	-0,387	Lab 19 0,378
Lab 22	3,144	0,092	3,144	3,144	.....	3,144	3,144	-0,294	Lab 1 0,532
Lab 23	3,415988303	0,180	3,416	3,416	.....	3,416	3,416	0,577	Lab 23 0,577
Lab 24	2,9	0,336	2,917	2,900	.....	2,900	2,900	-1,076	Lab 11 0,705
Lab 25	3,242	0,006	3,242	3,242	.....	3,242	3,242	0,019	Lab 15 1,755
Lab 26	2,457	0,779	2,917	2,869	.....	2,769	2,768	-2,494	Lab 9 6,203
Lab 27	2,772	0,464	2,917	2,869	.....	2,772	2,772	-1,486	Lab 17 6,865
Lab 28	2,52	0,716	2,917	2,869	.....	2,769	2,768	-2,292	Lab 16 15,520
Average	3,488		3,231	3,231	.....	3,236	3,236		
SD	1,092	1,002	0,213	0,230	.....	0,275	0,275		
New x^*	3,236	0,144	3,231	3,231	.....	3,236	3,236		
New s^*	0,213		0,241	0,261	.....	0,312	0,312		

Πίνακας Π.2.12: Υπολογισμός των στατιστικών επίδοσης z-score για τη μετρούμενη τιμή της έντασης του πεδίου στη φασματική περιοχή FM (87,5-108 MHz) για το Σενάριο 2

Παράρτημα 2: Υψίσουχνα Ηλεκτρομαγνητικά Πεδία

Number of laboratories=		28								
Iteration	0	$\bar{x}_i - x^*$	1	2	....	14	15	Z-Score	Z-score	
$\delta = 1.5s^*$	-		0,074	0,078	....	0,089	0,089		Αύξουσα σειρά	
$x^* - \delta$	-		0,452	0,448	....	0,435	0,435			
$x^* + \delta$	-		0,600	0,603	....	0,614	0,614			
Lab 1	0,673	0,147	0,600	0,603	....	0,614	0,614	2,494	Lab 15	-8,810
Lab 2	0,538	0,012	0,538	0,538	....	0,538	0,538	0,226	Lab 4	-2,389
Lab 3	0,573	0,047	0,573	0,573	....	0,573	0,573	0,814	Lab 23	-1,910
Lab 4	0,3824	0,144	0,452	0,448	....	0,435	0,435	-2,389	Lab 20	-1,841
Lab 5	0,559	0,033	0,559	0,559	....	0,559	0,559	0,578	Lab 25	-0,778
Lab 6	0,503	0,023	0,503	0,503	....	0,503	0,503	-0,363	Lab 13	-0,561
Lab 7	0,5051	0,021	0,505	0,505	....	0,505	0,505	-0,327	Lab 14	-0,447
Lab 8	0,514	0,012	0,514	0,514	....	0,514	0,514	-0,178	Lab 10	-0,379
Lab 9	0,503	0,023	0,503	0,503	....	0,503	0,503	-0,363	Lab 6	-0,363
Lab 10	0,502	0,024	0,502	0,502	....	0,502	0,502	-0,379	Lab 9	-0,363
Lab 11	0,5834	0,057	0,583	0,583	....	0,583	0,583	0,988	Lab 7	-0,327
Lab 12	0,536	0,010	0,536	0,536	....	0,536	0,536	0,192	Lab 28	-0,312
Lab 13	0,4912	0,035	0,491	0,491	....	0,491	0,491	-0,561	Lab 8	-0,178
Lab 14	0,498	0,028	0,498	0,498	....	0,498	0,498	-0,447	Lab 22	-0,001
Lab 15	0,000236	0,526	0,452	0,448	....	0,435	0,435	-8,810	Lab 27	0,058
Lab 16	0,709	0,183	0,600	0,603	....	0,614	0,614	3,099	Lab 21	0,105
Lab 17	5,8	5,274	0,600	0,603	....	0,614	0,614	88,634	Lab 12	0,192
Lab 18	0,572	0,046	0,572	0,572	....	0,572	0,572	0,797	Lab 2	0,226
Lab 19	0,538	0,012	0,538	0,538	....	0,538	0,538	0,226	Lab 19	0,226
Lab 20	0,415	0,111	0,452	0,448	....	0,435	0,435	-1,841	Lab 5	0,578
Lab 21	0,5308	0,005	0,531	0,531	....	0,531	0,531	0,105	Lab 24	0,595
Lab 22	0,5245	0,002	0,525	0,525	....	0,525	0,525	-0,001	Lab 26	0,629
Lab 23	0,410915606	0,115	0,452	0,448	....	0,435	0,435	-1,910	Lab 18	0,797
Lab 24	0,56	0,034	0,560	0,560	....	0,560	0,560	0,595	Lab 3	0,814
Lab 25	0,4783	0,048	0,478	0,478	....	0,478	0,478	-0,778	Lab 11	0,988
Lab 26	0,562	0,036	0,562	0,562	....	0,562	0,562	0,629	Lab 1	2,494
Lab 27	0,528	0,002	0,528	0,528	....	0,528	0,528	0,058	Lab 16	3,099
Lab 28	0,506	0,020	0,506	0,506	....	0,506	0,506	-0,312	Lab 17	88,634
Average	0,696		0,526	0,525	....	0,525	0,525			
SD	1,007	0,990	0,046	0,048	....	0,052	0,052			
New x^*	0,526	0,033	0,526	0,525	....	0,525	0,525			
New s^*	0,049		0,0520	0,0539	....	0,0595	0,0595			

Πίνακας Π.2.13: Υπολογισμός των στατιστικών επίδοσης z-score για τη μετρούμενη τιμή της έντασης του πεδίου στη φασματική περιοχή UHF (430-838 MHz) για το Σενάριο 2

Παράρτημα 2: Υψίσυχνα Ηλεκτρομαγνητικά Πεδία

Number of laboratories=		29							Z-score	
Iteration	0	xi-x*	1	2	.....	14	15	Z-Score	Αύξουσα σειρά	
$\delta=1.5s^*$	-		0,036	0,041	.....	0,074	0,074			
$x^*-\delta$	-		96,264	96,254	.....	96,219	96,218			
$x^*+\delta$	-		96,336	96,337	.....	96,367	96,367			
Lab 1	96,3	0,000	96,300	96,300	.....	96,300	96,300	0,142	Lab 17	-5,895
Lab 2	96,3	0,000	96,300	96,300	.....	96,300	96,300	0,142	Lab 4	-3,883
Lab 3	96,3	0,000	96,300	96,300	.....	96,300	96,300	0,142	Lab 22	-1,307
Lab 4	96,1	0,200	96,264	96,254	.....	96,219	96,218	-3,883	Lab 19	-1,287
Lab 5	96,3	0,000	96,300	96,300	.....	96,300	96,300	0,142	Lab 21	-1,166
Lab 6	96,284	0,016	96,284	96,284	.....	96,284	96,284	-0,180	Lab 20	-0,865
Lab 7	96,3725	0,073	96,336	96,337	.....	96,367	96,367	1,600	Lab 25	-0,865
Lab 8	96,27	0,030	96,270	96,270	.....	96,270	96,270	-0,462	Lab 8	-0,462
Lab 9	96,3	0,000	96,300	96,300	.....	96,300	96,300	0,142	Lab 23	-0,236
Lab 10	96,3	0,000	96,300	96,300	.....	96,300	96,300	0,142	Lab 6	-0,180
Lab 11	96,3	0,000	96,300	96,300	.....	96,300	96,300	0,142	Lab 18	-0,060
Lab 12	96,3	0,000	96,300	96,300	.....	96,300	96,300	0,142	Lab 1	0,142
Lab 13	96,306	0,006	96,306	96,306	.....	96,306	96,306	0,262	Lab 2	0,142
Lab 14	96,306	0,006	96,306	96,306	.....	96,306	96,306	0,262	Lab 3	0,142
Lab 15	96,41	0,110	96,336	96,337	.....	96,367	96,367	2,355	Lab 5	0,142
Lab 16	96,612	0,312	96,336	96,337	.....	96,367	96,367	6,420	Lab 9	0,142
Lab 17	96	0,300	96,264	96,254	.....	96,219	96,218	-5,895	Lab 10	0,142
Lab 18	96,29	0,010	96,290	96,290	.....	96,290	96,290	-0,060	Lab 11	0,142
Lab 19	96,229	0,071	96,264	96,254	.....	96,229	96,229	-1,287	Lab 12	0,142
Lab 20	96,25	0,050	96,264	96,254	.....	96,250	96,250	-0,865	Lab 24	0,142
Lab 21	96,235	0,065	96,264	96,254	.....	96,235	96,235	-1,166	Lab 27	0,142
Lab 22	96,228	0,072	96,264	96,254	.....	96,228	96,228	-1,307	Lab 13	0,262
Lab 23	96,28125	0,019	96,281	96,281	.....	96,281	96,281	-0,236	Lab 14	0,262
Lab 24	96,3	0,000	96,300	96,300	.....	96,300	96,300	0,142	Lab 26	0,343
Lab 25	96,25	0,050	96,264	96,254	.....	96,250	96,250	-0,865	Lab 28	1,148
Lab 26	96,31	0,010	96,310	96,310	.....	96,310	96,310	0,343	Lab 7	1,600
Lab 27	96,3	0,000	96,300	96,300	.....	96,300	96,300	0,142	Lab 15	2,355
Lab 28	96,35	0,050	96,336	96,337	.....	96,350	96,350	1,148	Lab 29	4,166
Lab 29	96,5	0,200	96,336	96,337	.....	96,367	96,367	4,166	Lab 16	6,420
Average	96,296	0,057	96,296	96,294	.....	96,293	96,293			
SD	0,105	0,088	0,024	0,028	.....	0,044	0,044			
New x^*	96,300	0,016	96,296	96,294	.....	96,293	96,293			
New s^*	0,024		0,027	0,0317	.....	0,0497	0,0497			

Πίνακας Π.2.14: Υπολογισμός των στατιστικών επίδοσης z-score για τη συχνότητα στην οποία εντοπίστηκε η πρώτη μέγιστη τιμή έντασης του ηλεκτρικού πεδίου για το Σενάριο 2

				Frequency	u_ref	u_ref_calc
Number of laboratories=				96,3	0,0035	0,003371
				29		
	Fmax1	u_Fmax1	u_Fmax1_calc	E _n -number	E _n -number	
					Αύξουσα σειρά	
Lab 1	96,3	0,1	0,0963	0,00	Lab 17	-1,04
Lab 2	96,3	0,244	0,234972	0,00	Lab 25	-1,04
Lab 3	96,3	0,1	0,0963	0,00	Lab 22	-0,33
Lab 4	96,1	2,6	2,4986	-0,08	Lab 21	-0,29
Lab 5	96,3	0,05	0,04815	0,00	Lab 6	-0,17
Lab 6	96,284	0,097	0,09339548	-0,17	Lab 8	-0,13
Lab 7	96,3725	0,077	0,074206825	0,98	Lab 4	-0,08
Lab 8	96,27	0,234	0,2252718	-0,13	Lab 19	-0,06
Lab 9	96,3	0,078	0,075114	0,00	Lab 20	-0,04
Lab 10	96,3	0,0778	0,0749214	0,00	Lab 23	0,00
Lab 11	96,3	0,07	0,06741	0,00	Lab 18	0,00
Lab 12	96,3	0,07	0,06741	0,00	Lab 1	0,00
Lab 13	96,306	0,0493	0,047478858	0,13	Lab 2	0,00
Lab 14	96,306	0,0493	0,047478858	0,13	Lab 3	0,00
Lab 15	96,41	5,29	5,100089	0,02	Lab 5	0,00
Lab 16	96,612	14,81	14,3082372	0,02	Lab 9	0,00
Lab 17	96	0,3	0,288	-1,04	Lab 10	0,00
Lab 18	96,29	12,67	12,199943	0,00	Lab 11	0,00
Lab 19	96,229	1,2	1,154748	-0,06	Lab 12	0,00
Lab 20	96,25	1,2	1,155	-0,04	Lab 24	0,00
Lab 21	96,235	0,23	0,2213405	-0,29	Lab 27	0,00
Lab 22	96,228	0,23	0,2213244	-0,33	Lab 15	0,02
Lab 23	96,28125	12,82	12,34325625	0,00	Lab 16	0,02
Lab 24	96,3	0,244	0,234972	0,00	Lab 26	0,02
Lab 25	96,25	0,05	0,048125	-1,04	Lab 13	0,13
Lab 26	96,31	0,457	0,4401367	0,02	Lab 14	0,13
Lab 27	96,3	0,244	0,234972	0,00	Lab 28	0,21
Lab 28	96,35	0,25	0,240875	0,21	Lab 7	0,98
Lab 29	96,5	0,023	0,022195	8,91	Lab 29	8,91

Πίνακας Π.2.15: Υπολογισμός των στατιστικών επίδοσης E_n-number για τη συχνότητα στην οποία εντοπίστηκε η πρώτη μέγιστη τιμή έντασης του ηλεκτρικού πεδίου για το Σενάριο 2

Παράρτημα 2: Υψίσυχα Ηλεκτρομαγνητικά Πεδία

Number of laboratories=			29			
Iteration	0	$x_i - x^*$	1	2	3	.....
$\delta = 1.5s^*$	-		0,000	0,000	0,000	.....
$x^* - \delta$	-		440,000	440,000	440,000	.....
$x^* + \delta$	-		440,000	440,000	440,000	.....
Lab 1	440,0000	0,000	440,000	440,000	440,000	.....
Lab 2	440,0000	0,000	440,000	440,000	440,000	.....
Lab 3	440,0000	0,000	440,000	440,000	440,000	.....
Lab 4	439,9000	0,100	440,000	440,000	440,000	.....
Lab 5	440,0000	0,000	440,000	440,000	440,000	.....
Lab 6	440,0010	0,001	440,000	440,000	440,000	.....
Lab 7	440,0001	0,000	440,000	440,000	440,000	.....
Lab 8	440,0000	0,000	440,000	440,000	440,000	.....
Lab 9	439,9500	0,050	440,000	440,000	440,000	.....
Lab 10	440,0000	0,000	440,000	440,000	440,000	.....
Lab 11	440,0000	0,000	440,000	440,000	440,000	.....
Lab 12	440,0000	0,000	440,000	440,000	440,000	.....
Lab 13	440,0000	0,000	440,000	440,000	440,000	.....
Lab 14	440,0000	0,000	440,000	440,000	440,000	.....
Lab 15	440,7100	0,710	440,000	440,000	440,000	.....
Lab 16	439,9000	0,100	440,000	440,000	440,000	.....
Lab 17	440,0000	0,000	440,000	440,000	440,000	.....
Lab 18	433,9900	6,010	440,000	440,000	440,000	.....
Lab 19	440,0090	0,009	440,000	440,000	440,000	.....
Lab 20	439,9380	0,062	440,000	440,000	440,000	.....
Lab 21	440,0000	0,000	440,000	440,000	440,000	.....
Lab 22	440,0000	0,000	440,000	440,000	440,000	.....
Lab 23	439,9375	0,063	440,000	440,000	440,000	.....
Lab 24	440,0000	0,000	440,000	440,000	440,000	.....
Lab 25	440,0000	0,000	440,000	440,000	440,000	.....
Lab 26	440,0000	0,000	440,000	440,000	440,000	.....
Lab 27	440,0000	0,000	440,000	440,000	440,000	.....
Lab 28	440,0000	0,000	440,000	440,000	440,000	.....
Lab 29	440,0000	0,000	440,000	440,000	440,000	.....
Average	439,805		440,000	440,000	440,000	.....
SD	1,127	1,117	0,000	0,000	0,000	.....
New x^*	440,000	0,000	440,000	440,000	440,000	.....
New s^*	0,000		0,000	0,000	0,000	.....

Πίνακας Π.2.16: Αδυναμία υπολογισμού των στατιστικών επίδοσης z-score για τη συχνότητα στην οποία εντοπίστηκε η δεύτερη μέγιστη τιμή έντασης του ηλεκτρικού πεδίου για το Σενάριο 2

				Frequency	u_ref	u_ref_calc
				440	0,0035	0,0154
Number of laboratories=			29	En-number		
				Αύξουσα σειρά		
	Fmax2	u_Fmax2_calc	u_Fmax2	En-number		
Lab 1	440	0,132	0,03	0,000	Lab 9	-0,655
Lab 2	440	0,11	0,025	0,000	Lab 18	-0,102
Lab 3	440	0,44	0,1	0,000	Lab 4	-0,040
Lab 4	439,9	2,498632	0,568	-0,040	Lab 20	-0,012
Lab 5	440	0,132	0,03	0,000	Lab 16	-0,001
Lab 6	440,001	0,09680022	0,022	0,010	Lab 23	-0,001
Lab 7	440,0001	0,074800017	0,017	0,001	Lab 1	0,000
Lab 8	440	0,2288	0,052	0,000	Lab 2	0,000
Lab 9	439,95	0,0747915	0,017	-0,655	Lab 3	0,000
Lab 10	440	0,0748	0,017	0,000	Lab 5	0,000
Lab 11	440	0,308	0,07	0,000	Lab 8	0,000
Lab 12	440	0,308	0,07	0,000	Lab 10	0,000
Lab 13	440	0,04752	0,0108	0,000	Lab 11	0,000
Lab 14	440	0,04752	0,0108	0,000	Lab 12	0,000
Lab 15	440,71	28,161369	6,39	0,025	Lab 13	0,000
Lab 16	439,9	70,42799	16,01	-0,001	Lab 14	0,000
Lab 17	440	0,44	0,1	0,000	Lab 17	0,000
Lab 18	433,99	58,762246	13,54	-0,102	Lab 21	0,000
Lab 19	440,009	5,280108	1,2	0,002	Lab 22	0,000
Lab 20	439,938	5,279256	1,2	-0,012	Lab 24	0,000
Lab 21	440	4,18	0,95	0,000	Lab 25	0,000
Lab 22	440	4,18	0,95	0,000	Lab 26	0,000
Lab 23	439,9375	67,5744	15,36	-0,001	Lab 27	0,000
Lab 24	440	0,5368	0,122	0,000	Lab 28	0,000
Lab 25	440	0,484	0,11	0,000	Lab 29	0,000
Lab 26	440	0,4026	0,0915	0,000	Lab 7	0,001
Lab 27	440	0,11	0,025	0,000	Lab 19	0,002
Lab 28	440	0,044	0,01	0,000	Lab 6	0,010
Lab 29	440	0,1012	0,023	0,000	Lab 15	0,025

Πίνακας Π.2.17: Υπολογισμός των στατιστικών επίδοσης E_n -number για τη συχνότητα στην οποία εντοπίστηκε η δεύτερη μέγιστη τιμή έντασης του ηλεκτρικού πεδίου για το Σενάριο 2

Παράρτημα 2: Υψίσυχνα Ηλεκτρομαγνητικά Πεδία

Number of laboratories=		28						Z-Score	Z-score	
Iteration	0	xi-x*	1	2	.....	15	16		Αύξουσα	
$\delta=1.5s^*$	-		0,489	0,548	.....	0,742	0,743		σειρά	
$x^*-\delta$	-		1,816	1,744	.....	1,576	1,575			
$x^*+\delta$	-		2,794	2,841	.....	3,060	3,062			
Lab 1	2,530	0,225	2,530	2,530	.....	2,530	2,530	0,426	Lab 28	-1,831
Lab 2	1,79	0,515	1,816	1,790	.....	1,790	1,790	-1,066	Lab 26	-1,388
Lab 3	2,32	0,015	2,320	2,320	.....	2,320	2,320	0,002	Lab 27	-1,308
Lab 4	2,356	0,051	2,356	2,356	.....	2,356	2,356	0,075	Lab 2	-1,066
Lab 5	2,29	0,015	2,290	2,290	.....	2,290	2,290	-0,058	Lab 24	-0,884
Lab 6	2,2716	0,033	2,272	2,272	.....	2,272	2,272	-0,095	Lab 14	-0,759
Lab 7	2,4334	0,128	2,433	2,433	.....	2,433	2,433	0,231	Lab 13	-0,693
Lab 8	2,283	0,022	2,283	2,283	.....	2,283	2,283	-0,072	Lab 21	-0,461
Lab 9	5,7822	3,477	2,794	2,841	.....	3,060	3,062	6,979	Lab 22	-0,401
Lab 10	2,2	0,105	2,200	2,200	.....	2,200	2,200	-0,239	Lab 10	-0,239
Lab 11	5,2	2,895	2,794	2,841	.....	3,060	3,062	5,806	Lab 25	-0,098
Lab 12	4,4	2,095	2,794	2,841	.....	3,060	3,062	4,194	Lab 6	-0,095
Lab 13	1,975	0,330	1,975	1,975	.....	1,975	1,975	-0,693	Lab 8	-0,072
Lab 14	1,942	0,363	1,942	1,942	.....	1,942	1,942	-0,759	Lab 5	-0,058
Lab 15	2,35	0,045	2,350	2,350	.....	2,350	2,350	0,063	Lab 3	0,002
Lab 16	14,29	11,985	2,794	2,841	.....	3,060	3,062	24,124	Lab 19	0,031
Lab 17	13	10,695	2,794	2,841	.....	3,060	3,062	21,524	Lab 15	0,063
Lab 18	2,4	0,095	2,400	2,400	.....	2,400	2,400	0,164	Lab 4	0,075
Lab 19	2,334	0,029	2,334	2,334	.....	2,334	2,334	0,031	Lab 20	0,117
Lab 20	2,377	0,072	2,377	2,377	.....	2,377	2,377	0,117	Lab 18	0,164
Lab 21	2,09	0,215	2,090	2,090	.....	2,090	2,090	-0,461	Lab 7	0,231
Lab 22	2,12	0,185	2,120	2,120	.....	2,120	2,120	-0,401	Lab 1	0,426
Lab 23	2,53	0,225	2,530	2,530	.....	2,530	2,530	0,426	Lab 23	0,426
Lab 24	1,880	0,425	1,880	1,880	.....	1,880	1,880	-0,884	Lab 12	4,194
Lab 25	2,27	0,035	2,270	2,270	.....	2,270	2,270	-0,098	Lab 11	5,806
Lab 26	1,63	0,675	1,816	1,744	.....	1,630	1,630	-1,388	Lab 9	6,979
Lab 27	1,67	0,635	1,816	1,744	.....	1,670	1,670	-1,308	Lab 17	21,524
Lab 28	1,41	0,895	1,816	1,744	.....	1,576	1,575	-1,831	Lab 16	24,124
Average	3,29015		2,29	2,29	.....	2,32	2,32			
SD	3,093	2,969	0,322	0,349	.....	0,437	0,438			
New x*	2,305	0,220	2,292	2,292	.....	2,319	2,319			
New s*	0,326		0,365	0,396	.....	0,496	0,496			

Πίνακας Π.2.18: Υπολογισμός των στατιστικών επίδοσης z-score των εργαστηρίων για το συνολικό λόγο έκθεσης, σε όλο το φασματικό εύρος του εξοπλισμού για το Σενάριο 2

Παράρτημα 2: Υψίσουχνα Ηλεκτρομαγνητικά Πεδία

Number of laboratories=		28							
Iteration	0	xi-x*	1	2	.....	10	11	Z-Score	Z-score
$\delta=1.5s^*$	-		0,495	0,533	.....	0,628	0,630		Αύξουσα
$x^*-\delta$	-		1,712	1,677	.....	1,589	1,588		σειρά
$x^*+\delta$	-		2,702	2,743	.....	2,845	2,847		
Lab 1	2,460	0,253	2,460	2,460	.....	2,460	2,460	0,576	Lab 28 -2,064
Lab 2	1,700	0,507	1,712	1,700	.....	1,700	1,700	-1,231	Lab 26 -1,624
Lab 3	2,090	0,117	2,090	2,090	.....	2,090	2,090	-0,304	Lab 27 -1,445
Lab 4	2,323	0,116	2,323	2,323	.....	2,323	2,323	0,250	Lab 2 -1,231
Lab 5	2,214	0,007	2,214	2,214	.....	2,214	2,214	-0,009	Lab 24 -1,003
Lab 6	2,191	0,016	2,191	2,191	.....	2,191	2,191	-0,063	Lab 14 -0,682
Lab 7	2,191	0,016	2,191	2,191	.....	2,191	2,191	-0,063	Lab 13 -0,625
Lab 8	2,216	0,009	2,216	2,216	.....	2,216	2,216	-0,004	Lab 21 -0,375
Lab 9	5,683	3,476	2,702	2,743	.....	2,845	2,847	8,241	Lab 22 -0,351
Lab 10	2,170	0,037	2,170	2,170	.....	2,170	2,170	-0,114	Lab 3 -0,304
Lab 11	2,500	0,293	2,500	2,500	.....	2,500	2,500	0,671	Lab 10 -0,114
Lab 12	2,200	0,007	2,200	2,200	.....	2,200	2,200	-0,042	Lab 7 -0,063
Lab 13	1,955	0,252	1,955	1,955	.....	1,955	1,955	-0,625	Lab 6 -0,063
Lab 14	1,931	0,276	1,931	1,931	.....	1,931	1,931	-0,682	Lab 12 -0,042
Lab 15	3,000	0,793	2,702	2,743	.....	2,845	2,847	1,860	Lab 5 -0,009
Lab 16	13,900	11,693	2,702	2,743	.....	2,845	2,847	27,785	Lab 8 -0,004
Lab 17	6,000	3,793	2,702	2,743	.....	2,845	2,847	8,996	Lab 25 0,029
Lab 18	2,400	0,193	2,400	2,400	.....	2,400	2,400	0,433	Lab 4 0,250
Lab 19	2,389	0,182	2,389	2,389	.....	2,389	2,389	0,407	Lab 20 0,329
Lab 20	2,356	0,149	2,356	2,356	.....	2,356	2,356	0,329	Lab 19 0,407
Lab 21	2,060	0,147	2,060	2,060	.....	2,060	2,060	-0,375	Lab 18 0,433
Lab 22	2,070	0,137	2,070	2,070	.....	2,070	2,070	-0,351	Lab 1 0,576
Lab 23	2,480	0,273	2,480	2,480	.....	2,480	2,480	0,624	Lab 23 0,624
Lab 24	1,796	0,411	1,796	1,796	.....	1,796	1,796	-1,003	Lab 11 0,671
Lab 25	2,230	0,023	2,230	2,230	.....	2,230	2,230	0,029	Lab 15 1,860
Lab 26	1,535	0,672	1,712	1,677	.....	1,589	1,588	-1,624	Lab 9 8,241
Lab 27	1,610	0,597	1,712	1,677	.....	1,610	1,610	-1,445	Lab 17 8,996
Lab 28	1,350	0,857	1,712	1,677	.....	1,589	1,588	-2,064	Lab 16 27,785
Average	2,821		2,210	2,212	.....	2,218	2,218		
SD	2,402	2,305	0,314	0,330	.....	0,370	0,371		
New x*	2,207	0,223	2,210	2,212	.....	2,218	2,218		
New s*	0,330		0,356	0,375	.....	0,420	0,420		

Πίνακας Π.2.19: Υπολογισμός των στατιστικών επίδοσης z-score των εργαστηρίων για το λόγο έκθεσης, στη φασματική περιοχή με την πρώτη μέγιστη μετρούμενη τιμή έντασης πεδίου για το Σενάριο 2

Παράρτημα 2: Υψίσυχνα Ηλεκτρομαγνητικά Πεδία

Number of laboratories=		28						Z-Score	Z-score
Iteration	0	$\bar{x}-x^*$	1	2	.....	7	8		Αύξουσα σειρά
$\delta=1.5s^*$	-		0,015	0,016	.....	0,019	0,019		
$x^*-\delta$	-		0,037	0,038	.....	0,036	0,035		
$x^*+\delta$	-		0,067	0,071	.....	0,074	0,074		
Lab 1	0,07000	0,018	0,067	0,070	.....	0,070	0,070	1,156	Lab 15 -2,402
Lab 2	0,06300	0,011	0,063	0,063	.....	0,063	0,063	0,619	Lab 4 -2,016
Lab 3	0,07000	0,018	0,067	0,070	.....	0,070	0,070	1,156	Lab 23 -1,911
Lab 4	0,02863	0,024	0,037	0,038	.....	0,036	0,035	-2,016	Lab 20 -1,604
Lab 5	0,07000	0,018	0,067	0,070	.....	0,070	0,070	1,156	Lab 13 -0,412
Lab 6	0,05150	0,001	0,052	0,052	.....	0,052	0,052	-0,262	Lab 18 -0,377
Lab 7	0,05180	0,001	0,052	0,052	.....	0,052	0,052	-0,239	Lab 25 -0,377
Lab 8	0,05370	0,001	0,054	0,054	.....	0,054	0,054	-0,094	Lab 27 -0,377
Lab 9	0,05070	0,002	0,051	0,051	.....	0,051	0,051	-0,324	Lab 28 -0,377
Lab 10	0,05050	0,002	0,051	0,051	.....	0,051	0,051	-0,339	Lab 10 -0,339
Lab 11	0,07000	0,018	0,067	0,070	.....	0,070	0,070	1,156	Lab 9 -0,324
Lab 12	0,06000	0,008	0,060	0,060	.....	0,060	0,060	0,389	Lab 14 -0,306
Lab 13	0,04955	0,003	0,050	0,050	.....	0,050	0,050	-0,412	Lab 6 -0,262
Lab 14	0,05093	0,001	0,051	0,051	.....	0,051	0,051	-0,306	Lab 7 -0,239
Lab 15	0,02360	0,029	0,037	0,038	.....	0,036	0,035	-2,402	Lab 21 -0,163
Lab 16	0,40000	0,348	0,067	0,071	.....	0,074	0,074	26,459	Lab 22 -0,163
Lab 17	7,00000	6,948	0,067	0,071	.....	0,074	0,074	532,508	Lab 8 -0,094
Lab 18	0,05000	0,002	0,050	0,050	.....	0,050	0,050	-0,377	Lab 19 0,236
Lab 19	0,05800	0,006	0,058	0,058	.....	0,058	0,058	0,236	Lab 12 0,389
Lab 20	0,03400	0,018	0,037	0,038	.....	0,036	0,035	-1,604	Lab 24 0,389
Lab 21	0,05280	0,001	0,053	0,053	.....	0,053	0,053	-0,163	Lab 26 0,535
Lab 22	0,05280	0,001	0,053	0,053	.....	0,053	0,053	-0,163	Lab 2 0,619
Lab 23	0,03000	0,022	0,037	0,038	.....	0,036	0,035	-1,911	Lab 5 1,156
Lab 24	0,06000	0,008	0,060	0,060	.....	0,060	0,060	0,389	Lab 1 1,156
Lab 25	0,05000	0,002	0,050	0,050	.....	0,050	0,050	-0,377	Lab 3 1,156
Lab 26	0,06190	0,010	0,062	0,062	.....	0,062	0,062	0,535	Lab 11 1,156
Lab 27	0,05000	0,002	0,050	0,050	.....	0,050	0,050	-0,377	Lab 16 26,459
Lab 28	0,05000	0,002	0,050	0,050	.....	0,050	0,050	-0,377	Lab 17 532,508
Average	0,313		0,054	0,055	.....	0,055	0,055		
SD	1,312	1,311	0,010	0,010	.....	0,011	0,012		
New x^*	0,052	0,007	0,0543	0,0550	.....	0,0549	0,0549		
New s^*	0,010		0,0109	0,0119	.....	0,0130	0,0130		

Πίνακας Π.2.20: Υπολογισμός των στατιστικών επίδοσης z-score των εργαστηρίων για το λόγο έκθεσης, στη φασματική περιοχή με τη δεύτερη μέγιστη μετρούμενη τιμή έντασης πεδίου για το Σενάριο 2

Παράρτημα 2: Υψίσουχνα Ηλεκτρομαγνητικά Πεδία

Number of laboratories=		30						Z-Score	Z-score	
Iteration	0	$\bar{x}_i - x^*$	1	2	.....	6	7		Αύξουσα σειρά	
$\delta=1.5s^*$	-		0,929	0,000	.....	1,108	1,110			
$x^* - \delta$	-		9,212	9,128	.....	9,124	9,123			
$x^* + \delta$	-		11,069	9,128	.....	11,340	11,343			
Lab 1	11,0620	0,922	9,128	9,124	.....	11,062	11,062	1,120	Lab 29	-1,611
Lab 2	13,6600	3,520	9,128	9,124	.....	11,340	11,343	4,628	Lab 9	-1,368
Lab 3	10,8400	0,700	9,128	9,124	.....	10,840	10,840	0,820	Lab 24	-1,356
Lab 4	9,9245	0,216	9,128	9,124	.....	9,925	9,925	-0,417	Lab 11	-1,179
Lab 5	10,1800	0,040	9,128	9,124	.....	10,180	10,180	-0,072	Lab 26	-1,070
Lab 6	9,9340	0,207	9,128	9,124	.....	9,934	9,934	-0,404	Lab 22	-0,759
Lab 7	9,7840	0,356	9,128	9,124	.....	9,784	9,784	-0,606	Lab 12	-0,744
Lab 8	10,1010	0,039	9,128	9,124	.....	10,101	10,101	-0,178	Lab 7	-0,606
Lab 9	9,2200	0,920	9,128	9,124	.....	9,220	9,220	-1,368	Lab 21	-0,575
Lab 10	10,7330	0,593	9,128	9,124	.....	10,733	10,733	0,675	Lab 4	-0,417
Lab 11	9,3600	0,781	9,128	9,124	.....	9,360	9,360	-1,179	Lab 6	-0,404
Lab 12	9,6820	0,458	9,128	9,124	.....	9,682	9,682	-0,744	Lab 18	-0,216
Lab 13	10,5170	0,377	9,128	9,124	.....	10,517	10,517	0,384	Lab 19	-0,188
Lab 14	10,4911	0,351	9,128	9,124	.....	10,491	10,491	0,349	Lab 20	-0,181
Lab 15	11,1100	0,970	9,128	9,124	.....	11,110	11,110	1,184	Lab 8	-0,178
Lab 16	23,2100	13,070	9,128	9,124	.....	11,340	11,343	17,525	Lab 5	-0,072
Lab 17	14,6900	4,550	9,128	9,124	.....	11,340	11,343	6,019	Lab 27	0,113
Lab 18	10,0730	0,067	9,128	9,124	.....	10,073	10,073	-0,216	Lab 30	0,226
Lab 19	10,0940	0,047	9,128	9,124	.....	10,094	10,094	-0,188	Lab 25	0,239
Lab 20	10,0990	0,041	9,128	9,124	.....	10,099	10,099	-0,181	Lab 14	0,349
Lab 21	9,8070	0,333	9,128	9,124	.....	9,807	9,807	-0,575	Lab 23	0,372
Lab 22	9,6710	0,470	9,128	9,124	.....	9,671	9,671	-0,759	Lab 13	0,384
Lab 23	10,5085	0,368	9,128	9,124	.....	10,508	10,508	0,372	Lab 10	0,675
Lab 24	9,2290	0,912	9,128	9,124	.....	9,229	9,229	-1,356	Lab 31	0,785
Lab 25	10,4100	0,270	9,128	9,124	.....	10,410	10,410	0,239	Lab 3	0,820
Lab 26	9,4410	0,699	9,128	9,124	.....	9,441	9,441	-1,070	Lab 28	0,833
Lab 27	10,3170	0,177	9,128	9,124	.....	10,317	10,317	0,113	Lab 1	1,120
Lab 28	10,8500	0,710	9,128	9,124	.....	10,850	10,850	0,833	Lab 15	1,184
Lab 29	9,0400	1,101	9,128	9,124	.....	9,124	9,123	-1,611	Lab 2	4,628
Lab 30	10,4000	0,260	9,128	9,124	.....	10,400	10,400	0,226	Lab 17	6,019
Average	10,815		9,128	9,124	.....	10,233	10,233	0,785	Lab 16	17,525
SD	2,618	2,456	0,000	0,000	.....	0,652	0,653			
New x^*	10,141	0,418	9,128	9,124	.....	10,233	10,233			
New s^*	0,619		0,000	0,000	.....	0,740	0,740			

Πίνακας Π.2.21: Υπολογισμός των στατιστικών επίδοσης z-score για τη συνολικά μετρούμενη τιμή της έντασης του πεδίου σε όλο το φασματικό εύρος για το Σενάριο 3

Παράρτημα 2: Υψίσυχα Ηλεκτρομαγνητικά Πεδία

Number of laboratories=		28						Z-Score	Z-score	
Iteration	0	xi-x*	1	2	.....	5	6		Αύξουσα σειρά	
$\delta=1.5s^*$	-		0,899	0,937	.....	0,971	0,973			
$x^*-\delta$	-		9,176	9,187	.....	9,163	9,161			
$x^*+\delta$	-		10,974	11,060	.....	11,105	11,107			
Lab 1	10,7600	0,685	10,760	10,760	.....	10,760	10,760	0,964	Lab 15	-7,341
Lab 2	13,5730	3,498	10,974	11,060	.....	11,105	11,107	5,298	Lab 24	-1,665
Lab 3	10,7100	0,635	10,710	10,710	.....	10,710	10,710	0,887	Lab 26	-1,419
Lab 4	9,8779	0,197	9,878	9,878	.....	9,878	9,878	-0,395	Lab 11	-1,048
Lab 5	10,1000	0,025	10,100	10,100	.....	10,100	10,100	-0,052	Lab 7	-0,787
Lab 6	9,9600	0,115	9,960	9,960	.....	9,960	9,960	-0,268	Lab 22	-0,732
Lab 7	9,6233	0,452	9,623	9,623	.....	9,623	9,623	-0,787	Lab 12	-0,596
Lab 8	9,9320	0,143	9,932	9,932	.....	9,932	9,932	-0,311	Lab 9	-0,544
Lab 9	9,7810	0,294	9,781	9,781	.....	9,781	9,781	-0,544	Lab 17	-0,437
Lab 10	10,6780	0,603	10,678	10,678	.....	10,678	10,678	0,838	Lab 4	-0,395
Lab 11	9,4540	0,621	9,454	9,454	.....	9,454	9,454	-1,048	Lab 21	-0,376
Lab 12	9,7470	0,328	9,747	9,747	.....	9,747	9,747	-0,596	Lab 8	-0,311
Lab 13	10,6430	0,568	10,643	10,643	.....	10,643	10,643	0,784	Lab 6	-0,268
Lab 14	10,4670	0,392	10,467	10,467	.....	10,467	10,467	0,513	Lab 18	-0,129
Lab 15	5,3690	4,706	9,176	9,187	.....	9,163	9,161	-7,341	Lab 5	-0,052
Lab 16	13,2730	3,198	10,974	11,060	.....	11,105	11,107	4,836	Lab 19	0,059
Lab 17	9,8500	0,225	9,850	9,850	.....	9,850	9,850	-0,437	Lab 20	0,094
Lab 18	10,0500	0,025	10,050	10,050	.....	10,050	10,050	-0,129	Lab 27	0,214
Lab 19	10,1720	0,097	10,172	10,172	.....	10,172	10,172	0,059	Lab 23	0,349
Lab 20	10,1950	0,120	10,195	10,195	.....	10,195	10,195	0,094	Lab 14	0,513
Lab 21	9,8900	0,185	9,890	9,890	.....	9,890	9,890	-0,376	Lab 13	0,784
Lab 22	9,6590	0,416	9,659	9,659	.....	9,659	9,659	-0,732	Lab 10	0,838
Lab 23	10,3604	0,285	10,360	10,360	.....	10,360	10,360	0,349	Lab 3	0,887
Lab 24	9,0530	1,022	9,176	9,187	.....	9,163	9,161	-1,665	Lab 1	0,964
Lab 25	11,0400	0,965	10,974	11,040	.....	11,040	11,040	1,396	Lab 28	0,995
Lab 26	9,2130	0,862	9,213	9,213	.....	9,213	9,213	-1,419	Lab 25	1,396
Lab 27	10,2730	0,198	10,273	10,273	.....	10,273	10,273	0,214	Lab 16	4,836
Lab 28	10,7800	0,705	10,780	10,780	.....	10,780	10,780	0,995	Lab 2	5,298
Average	10,160		10,123	10,132	.....	10,134	10,134			
SD	1,369	1,125	0,551	0,563	.....	0,572	0,572			
New x*	10,075	0,404	10,123	10,132	.....	10,134	10,134			
New s*	0,599		0,624	0,639	.....	0,649	0,649			

Πίνακας Π.2.22: Υπολογισμός των στατιστικών επίδοσης z-score για τη μετρούμενη τιμή της έντασης του πεδίου στη φασματική περιοχή VHF (108-272 MHz) για το Σενάριο 3

Παράρτημα 2: Υψίσουχνα Ηλεκτρομαγνητικά Πεδία

Number of laboratories=		28					Z-Score	Z-score	
Iteration	0	$\bar{x}-x^*$	1	2	3	4		Αύξουσα σειρά	
$\delta=1.5s^*$	-		0,247	0,234	0,229	0,227			
$x^*-\delta$	-		0,796	0,799	0,803	0,804			
$x^*+\delta$	-		1,290	1,267	1,260	1,258			
Lab 1	1,11700	0,074	1,117	1,117	1,117	1,117	0,569	Lab 25	-1,409
Lab 2	1,11100	0,068	1,111	1,111	1,111	1,111	0,529	Lab 27	-1,184
Lab 3	1,18200	0,139	1,182	1,182	1,182	1,182	0,999	Lab 21	-1,139
Lab 4	0,94031	0,103	0,940	0,940	0,940	0,940	-0,600	Lab 22	-1,094
Lab 5	0,91500	0,128	0,915	0,915	0,915	0,915	-0,768	Lab 28	-0,993
Lab 6	1,13300	0,090	1,133	1,133	1,133	1,133	0,675	Lab 20	-0,887
Lab 7	1,18010	0,137	1,180	1,180	1,180	1,180	0,986	Lab 5	-0,768
Lab 8	1,05400	0,011	1,054	1,054	1,054	1,054	0,152	Lab 14	-0,708
Lab 9	1,05900	0,016	1,059	1,059	1,059	1,059	0,185	Lab 15	-0,675
Lab 10	1,07100	0,028	1,071	1,071	1,071	1,071	0,264	Lab 4	-0,600
Lab 11	1,13100	0,088	1,131	1,131	1,131	1,131	0,661	Lab 23	-0,552
Lab 12	1,25400	0,211	1,254	1,254	1,254	1,254	1,475	Lab 13	-0,433
Lab 13	0,96560	0,077	0,966	0,966	0,966	0,966	-0,433	Lab 26	-0,013
Lab 14	0,92400	0,119	0,924	0,924	0,924	0,924	-0,708	Lab 19	0,013
Lab 15	0,92900	0,114	0,929	0,929	0,929	0,929	-0,675	Lab 24	0,145
Lab 16	1,39300	0,350	1,290	1,267	1,260	1,258	2,395	Lab 8	0,152
Lab 17	5,10000	4,057	1,290	1,267	1,260	1,258	26,919	Lab 9	0,185
Lab 18	1,15100	0,108	1,151	1,151	1,151	1,151	0,794	Lab 10	0,264
Lab 19	1,03300	0,010	1,033	1,033	1,033	1,033	0,013	Lab 2	0,529
Lab 20	0,89700	0,146	0,897	0,897	0,897	0,897	-0,887	Lab 1	0,569
Lab 21	0,85880	0,184	0,859	0,859	0,859	0,859	-1,139	Lab 11	0,661
Lab 22	0,86570	0,177	0,866	0,866	0,866	0,866	-1,094	Lab 6	0,675
Lab 23	0,94758	0,095	0,948	0,948	0,948	0,948	-0,552	Lab 18	0,794
Lab 24	1,05300	0,010	1,053	1,053	1,053	1,053	0,145	Lab 7	0,986
Lab 25	0,81800	0,225	0,818	0,818	0,818	0,818	-1,409	Lab 3	0,999
Lab 26	1,02900	0,014	1,029	1,029	1,029	1,029	-0,013	Lab 12	1,475
Lab 27	0,85200	0,191	0,852	0,852	0,852	0,852	-1,184	Lab 16	2,395
Lab 28	0,88100	0,162	0,881	0,881	0,881	0,881	-0,993	Lab 17	26,919
Average	1,173		1,033	1,032	1,031	1,031			
SD	0,782	0,749	0,137	0,134	0,134	0,133			
New x^*	1,043	0,111	1,033	1,032	1,031	1,031			
New s^*	0,165		0,156	0,152	0,151	0,151			

Πίνακας Π.2.23: Υπολογισμός των στατιστικών επίδοσης z-score για τη μετρούμενη τιμή της έντασης του πεδίου στη φασματική περιοχή UHF (430-838 MHz) για το Σενάριο 3

Number of laboratories=		29				
Iteration	0	$\xi_i - x^*$	1	2	3	.....
$\delta = 1.5s^*$	-		0,000	0,000	0,000	.....
$x^* - \delta$	-		180,000	180,000	180,000	.....
$x^* + \delta$	-		180,000	180,000	180,000	.....
Lab 1	180,0	0,000	180,000	180,000	180,000	.....
Lab 2	180,0	0,000	180,000	180,000	180,000	.....
Lab 3	180,0	0,000	180,000	180,000	180,000	.....
Lab 4	179,8	0,200	180,000	180,000	180,000	.....
Lab 5	180,0	0,000	180,000	180,000	180,000	.....
Lab 6	180,0	0,000	180,000	180,000	180,000	.....
Lab 7	180,0	0,000	180,000	180,000	180,000	.....
Lab 8	180,0	0,000	180,000	180,000	180,000	.....
Lab 9	180,0	0,000	180,000	180,000	180,000	.....
Lab 10	180,0	0,000	180,000	180,000	180,000	.....
Lab 11	180,0	0,000	180,000	180,000	180,000	.....
Lab 12	180,0	0,000	180,000	180,000	180,000	.....
Lab 13	180,0	0,010	180,000	180,000	180,000	.....
Lab 14	180,0	0,010	180,000	180,000	180,000	.....
Lab 15	180,2	0,190	180,000	180,000	180,000	.....
Lab 16	180,4	0,376	180,000	180,000	180,000	.....
Lab 17	180,0	0,000	180,000	180,000	180,000	.....
Lab 18	180,0	0,010	180,000	180,000	180,000	.....
Lab 19	180,083	0,083	180,000	180,000	180,000	.....
Lab 20	180,083	0,083	180,000	180,000	180,000	.....
Lab 21	180	0,000	180,000	180,000	180,000	.....
Lab 22	180	0,000	180,000	180,000	180,000	.....
Lab 23	180	0,000	180,000	180,000	180,000	.....
Lab 24	180	0,000	180,000	180,000	180,000	.....
Lab 25	180	0,000	180,000	180,000	180,000	.....
Lab 26	180	0,000	180,000	180,000	180,000	.....
Lab 27	180	0,000	180,000	180,000	180,000	.....
Lab 28	180	0,000	180,000	180,000	180,000	.....
Lab 29	180	0,000	180,000	180,000	180,000	.....
Average	180,017		180,000	180,000	180,000	.....
SD	0,089	0,084	0,000	0,000	0,000	.....
New x^*	180,000	0,000	180,000	180,000	180,000	.....
New s^*	0,000		0,00000	0,00000	0,00000	.....

Πίνακας Π.2.24: Αδυναμία υπολογισμού των στατιστικών επίδοσης z-score για τη συχνότητα στην οποία εντοπίστηκε η πρώτη μέγιστη τιμή έντασης του ηλεκτρικού πεδίου για το Σενάριο 3

					Frequency	u_ref	u_ref_calc
					180	0,0035	0,0063
Number of laboratories=					29		
					E _n -number		
					Αύξουσα σειρά		
	Fmax1	u_Fmax1	u_Fmax1_calc	E _n -number			
Lab 1	180	0,3	0,54	0,000	Lab 4		-0,080
Lab 2	180	0,061	0,1098	0,000	Lab 13		-0,021
Lab 3	180	0,08	0,144	0,000	Lab 14		-0,021
Lab 4	179,8	1,39	2,49922	-0,080	Lab 7		-0,003
Lab 5	180	0,06	0,108	0,000	Lab 18		0,000
Lab 6	180	0,052	0,0936	0,000	Lab 1		0,000
Lab 7	179,9998	0,041	0,073799918	-0,003	Lab 2		0,000
Lab 8	180	0,126	0,2268	0,000	Lab 3		0,000
Lab 9	180	0,01	0,018	0,000	Lab 5		0,000
Lab 10	180	0,0416	0,07488	0,000	Lab 6		0,000
Lab 11	180	0,07	0,126	0,000	Lab 8		0,000
Lab 12	180	0,07	0,126	0,000	Lab 9		0,000
Lab 13	179,99	0,2639	0,47499361	-0,021	Lab 10		0,000
Lab 14	179,99	0,2639	0,47499361	-0,021	Lab 11		0,000
Lab 15	180,19	9,6	17,29824	0,011	Lab 12		0,000
Lab 16	180,376	19,13	34,5059288	0,011	Lab 17		0,000
Lab 17	180	0,2	0,36	0,000	Lab 21		0,000
Lab 18	179,99	12,67	22,804733	0,000	Lab 22		0,000
Lab 19	180,083	1,2	2,160996	0,038	Lab 23		0,000
Lab 20	180,083	1,2	2,160996	0,038	Lab 24		0,000
Lab 21	180	1,02	1,836	0,000	Lab 25		0,000
Lab 22	180	1,02	1,836	0,000	Lab 26		0,000
Lab 23	180	12,82	23,076	0,000	Lab 27		0,000
Lab 24	180	0,061	0,1098	0,000	Lab 28		0,000
Lab 25	180	0,28	0,504	0,000	Lab 29		0,000
Lab 26	180	0,0286	0,05148	0,000	Lab 16		0,011
Lab 27	180	0,03	0,054	0,000	Lab 15		0,011
Lab 28	180	0,03	0,054	0,000	Lab 19		0,038
Lab 29	180	0,023	0,0414	0,000	Lab 20		0,038

Πίνακας Π.2.25: Υπολογισμός των στατιστικών επίδοσης E_n-number για τη συχνότητα στην οποία εντοπίστηκε η πρώτη μέγιστη τιμή έντασης του ηλεκτρικού πεδίου για το Σενάριο 3

Number of laboratories=		29				
Iteration	0	xi-x*	1	2	3	.....
$\delta=1.5s^*$	-		0,000	0,000	0,000	.....
$x^*-\delta$	-		720,000	720,000	720,000	.....
$x^*+\delta$	-		720,000	720,000	720,000	.....
Lab 1	720,0	0,000	720,000	720,000	720,000	.....
Lab 2	720,0	0,000	720,000	720,000	720,000	.....
Lab 3	720,0	0,000	720,000	720,000	720,000	.....
Lab 4	718,5	1,500	720,000	720,000	720,000	.....
Lab 5	720,0	0,000	720,000	720,000	720,000	.....
Lab 6	720,0	0,005	720,000	720,000	720,000	.....
Lab 7	720,0	0,000	720,000	720,000	720,000	.....
Lab 8	720,0	0,000	720,000	720,000	720,000	.....
Lab 9	720,0	0,030	720,000	720,000	720,000	.....
Lab 10	720,0	0,000	720,000	720,000	720,000	.....
Lab 11	720,0	0,000	720,000	720,000	720,000	.....
Lab 12	720,0	0,000	720,000	720,000	720,000	.....
Lab 13	720,0	0,000	720,000	720,000	720,000	.....
Lab 14	720,0	0,000	720,000	720,000	720,000	.....
Lab 15	720,1	0,060	720,000	720,000	720,000	.....
Lab 16	720,7	0,720	720,000	720,000	720,000	.....
Lab 17	720,0	0,000	720,000	720,000	720,000	.....
Lab 18	720,0	0,010	720,000	720,000	720,000	.....
Lab 19	720,031	0,031	720,000	720,000	720,000	.....
Lab 20	720,031	0,031	720,000	720,000	720,000	.....
Lab 21	720,01	0,010	720,000	720,000	720,000	.....
Lab 22	720,01	0,010	720,000	720,000	720,000	.....
Lab 23	719,9688	0,031	720,000	720,000	720,000	.....
Lab 24	720	0,000	720,000	720,000	720,000	.....
Lab 25	720	0,000	720,000	720,000	720,000	.....
Lab 26	720	0,000	720,000	720,000	720,000	.....
Lab 27	720	0,000	720,000	720,000	720,000	.....
Lab 28	720	0,000	720,000	720,000	720,000	.....
Lab 29	720	0,000	720,000	720,000	720,000	.....
Average	719,976		720,000	720,000	720,000	.....
SD	0,314	0,303	0,000	0,000	0,000	.....
New x*	720,000	0,000	720,000	720,000	720,000	.....
New s*	0,000		0,000	0,000	0,00000	.....

Πίνακας Π.2.26: Αδυναμία υπολογισμού των στατιστικών επίδοσης z-score για τη συχνότητα στην οποία εντοπίστηκε η δεύτερη μέγιστη τιμή έντασης του ηλεκτρικού πεδίου για το Σενάριο 3

				Frequency	u_ref	u_ref_calc
Number of laboratories=				720	0,0035	0,0252
				29		
				En-number		
				Αύξουσα σειρά		
	Fmax2	u_Fmax2	uF _{MAX2} calc	En-number		
Lab 1	720	0,072	0,5184	0,000	Lab 4	-0,600
Lab 2	720	0,18	1,296	0,000	Lab 9	-0,393
Lab 3	720	0,504	3,6288	0,000	Lab 23	0,000
Lab 4	718,5	2,50038	17,9652303	-0,600	Lab 18	0,000
Lab 5	720	0,144	1,0368	0,000	Lab 1	0,000
Lab 6	720,005	0,093601	0,67392936	0,052	Lab 2	0,000
Lab 7	720,0002	0,0792	0,570240317	0,002	Lab 3	0,000
Lab 8	720	0,2304	1,65888	0,000	Lab 5	0,000
Lab 9	719,97	0,071997	0,518356801	-0,393	Lab 8	0,000
Lab 10	720	0,07488	0,539136	0,000	Lab 10	0,000
Lab 11	720	0,504	3,6288	0,000	Lab 11	0,000
Lab 12	720	0,504	3,6288	0,000	Lab 12	0,000
Lab 13	720	0,4752	3,42144	0,000	Lab 13	0,000
Lab 14	720	0,4752	3,42144	0,000	Lab 14	0,000
Lab 15	720,06	34,13084	245,7625553	0,002	Lab 17	0,000
Lab 16	720,72	103,9999	749,5480505	0,007	Lab 24	0,000
Lab 17	720	0,72	5,184	0,000	Lab 25	0,000
Lab 18	719,99	97,48665	701,8941025	0,000	Lab 26	0,000
Lab 19	720,031	8,640372	62,21335692	0,004	Lab 27	0,000
Lab 20	720,031	8,640372	62,21335692	0,004	Lab 28	0,000
Lab 21	720,01	4,176058	30,06803521	0,002	Lab 29	0,000
Lab 22	720,01	4,176058	30,06803521	0,002	Lab 15	0,002
Lab 23	719,96875	110,5872	796,1932815	0,000	Lab 21	0,002
Lab 24	720	0,8784	6,32448	0,000	Lab 22	0,002
Lab 25	720	0,504	3,6288	0,000	Lab 7	0,002
Lab 26	720	0,14976	1,078272	0,000	Lab 19	0,004
Lab 27	720	0,0864	0,62208	0,000	Lab 20	0,004
Lab 28	720	0,288	2,0736	0,000	Lab 16	0,007
Lab 29	720	0,1656	1,19232	0,000	Lab 6	0,052

Πίνακας Π.2.27: Υπολογισμός των στατιστικών επίδοσης E_n -number για τη συχνότητα στην οποία εντοπίστηκε η δεύτερη μέγιστη τιμή έντασης του ηλεκτρικού πεδίου για το Σενάριο 3

Παράρτημα 2: Υψίσουχνα Ηλεκτρομαγνητικά Πεδία

Number of laboratories=		28						Z-Score	Z-score	
Iteration	0	xi-x*	1	2	.....	8	9		Αύξουσα σειρά	
$\delta=1.5s^*$	-		4,182	4,338	.....	4,612	4,621			
$x^*-\delta$	-		18,738	18,599	.....	18,367	18,359			
$x^*+\delta$	-		27,102	27,274	.....	27,590	27,601			
Lab 1	25,78	2,860	25,780	25,780	.....	25,780	25,780	0,907	Lab 26	-1,939
Lab 2	38,9	15,980	27,102	27,274	.....	27,590	27,601	5,161	Lab 24	-1,861
Lab 3	24,7	1,780	24,700	24,700	.....	24,700	24,700	0,557	Lab 7	-0,935
Lab 4	20,896	2,024	20,896	20,896	.....	20,896	20,896	-0,676	Lab 21	-0,843
Lab 5	21,88	1,040	21,880	21,880	.....	21,880	21,880	-0,357	Lab 22	-0,843
Lab 6	20,7021	2,218	20,702	20,702	.....	20,702	20,702	-0,739	Lab 9	-0,820
Lab 7	20,0979	2,822	20,098	20,098	.....	20,098	20,098	-0,935	Lab 6	-0,739
Lab 8	21,2	1,720	21,200	21,200	.....	21,200	21,200	-0,577	Lab 4	-0,676
Lab 9	20,4506	2,469	20,451	20,451	.....	20,451	20,451	-0,820	Lab 8	-0,577
Lab 10	24,4	1,480	24,400	24,400	.....	24,400	24,400	0,460	Lab 18	-0,561
Lab 11	39	16,080	27,102	27,274	.....	27,590	27,601	5,193	Lab 19	-0,441
Lab 12	41,7	18,780	27,102	27,274	.....	27,590	27,601	6,069	Lab 20	-0,434
Lab 13	24,422	1,502	24,422	24,422	.....	24,422	24,422	0,467	Lab 5	-0,357
Lab 14	24,303	1,383	24,303	24,303	.....	24,303	24,303	0,429	Lab 27	-0,059
Lab 15	24,14	1,220	24,140	24,140	.....	24,140	24,140	0,376	Lab 25	0,019
Lab 16	41,91	18,990	27,102	27,274	.....	27,590	27,601	6,137	Lab 23	0,123
Lab 17	24	1,080	24,000	24,000	.....	24,000	24,000	0,330	Lab 17	0,330
Lab 18	21,25	1,670	21,250	21,250	.....	21,250	21,250	-0,561	Lab 15	0,376
Lab 19	21,621	1,299	21,621	21,621	.....	21,621	21,621	-0,441	Lab 14	0,429
Lab 20	21,641	1,279	21,641	21,641	.....	21,641	21,641	-0,434	Lab 10	0,460
Lab 21	20,38	2,540	20,380	20,380	.....	20,380	20,380	-0,843	Lab 13	0,467
Lab 22	20,38	2,540	20,380	20,380	.....	20,380	20,380	-0,843	Lab 3	0,557
Lab 23	23,36	0,440	23,360	23,360	.....	23,360	23,360	0,123	Lab 28	0,622
Lab 24	17,24	5,680	18,738	18,599	.....	18,367	18,359	-1,861	Lab 1	0,907
Lab 25	23,04	0,120	23,040	23,040	.....	23,040	23,040	0,019	Lab 2	5,161
Lab 26	17	5,920	18,738	18,599	.....	18,367	18,359	-1,939	Lab 11	5,193
Lab 27	22,8	0,120	22,800	22,800	.....	22,800	22,800	-0,059	Lab 12	6,069
Lab 28	24,9	1,980	24,900	24,900	.....	24,900	24,900	0,622	Lab 16	6,137
Average	24,718		22,937	22,951	.....	22,980	22,981			
SD	6,871	5,696	2,550	2,609	.....	2,717	2,720			
New x^*	22,920	1,880	22,937	22,951	.....	22,980	22,981			
New s^*	2,788		2,892	2,959	.....	3,081	3,085			

Πίνακας Π.2.28: Υπολογισμός των στατιστικών επίδοσης z-score των εργαστηρίων για το συνολικό λόγο έκθεσης, σε όλο το φασματικό εύρος του εξοπλισμού για το Σενάριο 3

Παράρτημα 2: Υψίσουχνα Ηλεκτρομαγνητικά Πεδία

Number of laboratories=		28					Z-Score	Z-score	
Iteration	0	xi-x*	1	2	7		8	Αύξουσα σειρά
$\delta=1.5s^*$	-		3,485	3,906	.....	4,385	4,395		
$x^*-\delta$	-		17,915	17,955	.....	17,589	17,578		
$x^*+\delta$	-		24,885	25,768	.....	26,358	26,367		
Lab 1	24,590	3,190	24,590	24,590	.....	24,590	24,590	0,892	Lab 15 -5,407
Lab 2	38,660	17,260	24,885	25,768	.....	26,358	26,367	5,689	Lab 26 -1,865
Lab 3	24,360	2,960	24,360	24,360	.....	24,360	24,360	0,814	Lab 24 -1,722
Lab 4	20,721	0,679	20,721	20,721	.....	20,721	20,721	-0,427	Lab 11 -1,013
Lab 5	21,700	0,300	21,700	21,700	.....	21,700	21,700	-0,093	Lab 7 -0,786
Lab 6	21,067	0,333	21,067	21,067	.....	21,067	21,067	-0,309	Lab 12 -0,604
Lab 7	19,667	1,733	19,667	19,667	.....	19,667	19,667	-0,786	Lab 9 -0,564
Lab 8	20,910	0,490	20,910	20,910	.....	20,910	20,910	-0,362	Lab 4 -0,427
Lab 9	20,316	1,084	20,316	20,316	.....	20,316	20,316	-0,564	Lab 21 -0,410
Lab 10	24,200	2,800	24,200	24,200	.....	24,200	24,200	0,759	Lab 22 -0,410
Lab 11	19,000	2,400	19,000	19,000	.....	19,000	19,000	-1,013	Lab 8 -0,362
Lab 12	20,200	1,200	20,200	20,200	.....	20,200	20,200	-0,604	Lab 17 -0,331
Lab 13	25,038	3,638	24,885	25,038	.....	25,038	25,038	1,045	Lab 6 -0,309
Lab 14	24,217	2,817	24,217	24,217	.....	24,217	24,217	0,765	Lab 18 -0,297
Lab 15	6,110	15,290	17,915	17,955	.....	17,589	17,578	-5,407	Lab 5 -0,093
Lab 16	37,400	16,000	24,885	25,768	.....	26,358	26,367	5,259	Lab 19 0,000
Lab 17	21,000	0,400	21,000	21,000	.....	21,000	21,000	-0,331	Lab 20 0,034
Lab 18	21,100	0,300	21,100	21,100	.....	21,100	21,100	-0,297	Lab 27 0,248
Lab 19	21,972	0,572	21,972	21,972	.....	21,972	21,972	0,000	Lab 23 0,282
Lab 20	22,073	0,673	22,073	22,073	.....	22,073	22,073	0,034	Lab 10 0,759
Lab 21	20,770	0,630	20,770	20,770	.....	20,770	20,770	-0,410	Lab 14 0,765
Lab 22	20,770	0,630	20,770	20,770	.....	20,770	20,770	-0,410	Lab 3 0,814
Lab 23	22,800	1,400	22,800	22,800	.....	22,800	22,800	0,282	Lab 1 0,892
Lab 24	16,920	4,480	17,915	17,955	.....	17,589	17,578	-1,722	Lab 28 0,930
Lab 25	25,880	4,480	24,885	25,768	.....	25,880	25,880	1,332	Lab 13 1,045
Lab 26	16,500	4,900	17,915	17,955	.....	17,589	17,578	-1,865	Lab 25 1,332
Lab 27	22,700	1,300	22,700	22,700	.....	22,700	22,700	0,248	Lab 16 5,259
Lab 28	24,700	3,300	24,700	24,700	.....	24,700	24,700	0,930	Lab 2 5,689
Average	22,33		21,86	21,97	.....	21,97	21,97		
SD	5,786	4,732	2,297	2,438	.....	2,584	2,587		
New x*	21,400	1,567	21,861	21,966	.....	21,973	21,972		
New s*	2,323		2,604	2,765	.....	2,930	2,933		

Πίνακας Π.2.29: Υπολογισμός των στατιστικών επίδοσης z-score των εργαστηρίων για το λόγο έκθεσης, στη φασματική περιοχή με την πρώτη μέγιστη μετρούμενη τιμή έντασης πεδίου για το Σενάριο 3

Παράρτημα 2: Υψίσυχα Ηλεκτρομαγνητικά Πεδία

Number of laboratories=		28						Z-Score	Z-score	
Iteration	0	$\bar{x}_i - x^*$	1	2	.....	9	10		Αύξουσα σειρά	
$\delta = 1.5s^*$	-		0,067	0,075	.....	0,101	0,101			
$x^* - \delta$	-		0,093	0,092	.....	0,075	0,074			
$x^* + \delta$	-		0,227	0,242	.....	0,277	0,277			
Lab 1	0,2600	0,100	0,227	0,242	.....	0,260	0,260	1,243	Lab 27	-1,418
Lab 2	0,1500	0,010	0,150	0,150	.....	0,150	0,150	-0,383	Lab 28	-1,270
Lab 3	0,2700	0,110	0,227	0,242	.....	0,270	0,270	1,391	Lab 15	-1,023
Lab 4	0,1731	0,013	0,173	0,173	.....	0,173	0,173	-0,041	Lab 18	-0,826
Lab 5	0,1600	0,000	0,160	0,160	.....	0,160	0,160	-0,235	Lab 23	-0,678
Lab 6	0,2609	0,101	0,227	0,242	.....	0,261	0,261	1,257	Lab 24	-0,664
Lab 7	0,2829	0,123	0,227	0,242	.....	0,277	0,277	1,582	Lab 9	-0,634
Lab 8	0,2260	0,066	0,226	0,226	.....	0,226	0,226	0,741	Lab 21	-0,557
Lab 9	0,1330	0,027	0,133	0,133	.....	0,133	0,133	-0,634	Lab 22	-0,557
Lab 10	0,1400	0,020	0,140	0,140	.....	0,140	0,140	-0,531	Lab 10	-0,531
Lab 11	0,1600	0,000	0,160	0,160	.....	0,160	0,160	-0,235	Lab 25	-0,531
Lab 12	0,1900	0,030	0,190	0,190	.....	0,190	0,190	0,209	Lab 2	-0,383
Lab 13	0,1920	0,032	0,192	0,192	.....	0,192	0,192	0,238	Lab 26	-0,309
Lab 14	0,1750	0,015	0,175	0,175	.....	0,175	0,175	-0,013	Lab 5	-0,235
Lab 15	0,1067	0,053	0,107	0,107	.....	0,107	0,107	-1,023	Lab 11	-0,235
Lab 16	0,5000	0,340	0,227	0,242	.....	0,277	0,277	4,792	Lab 20	-0,220
Lab 17	3,0000	2,840	0,227	0,242	.....	0,277	0,277	41,753	Lab 4	-0,041
Lab 18	0,1200	0,040	0,120	0,120	.....	0,120	0,120	-0,826	Lab 14	-0,013
Lab 19	0,2130	0,053	0,213	0,213	.....	0,213	0,213	0,549	Lab 12	0,209
Lab 20	0,1610	0,001	0,161	0,161	.....	0,161	0,161	-0,220	Lab 13	0,238
Lab 21	0,1382	0,022	0,138	0,138	.....	0,138	0,138	-0,557	Lab 19	0,549
Lab 22	0,1382	0,022	0,138	0,138	.....	0,138	0,138	-0,557	Lab 8	0,741
Lab 23	0,1300	0,030	0,130	0,130	.....	0,130	0,130	-0,678	Lab 1	1,243
Lab 24	0,1310	0,029	0,131	0,131	.....	0,131	0,131	-0,664	Lab 6	1,257
Lab 25	0,1400	0,020	0,140	0,140	.....	0,140	0,140	-0,531	Lab 3	1,391
Lab 26	0,1550	0,005	0,155	0,155	.....	0,155	0,155	-0,309	Lab 7	1,582
Lab 27	0,0800	0,080	0,093	0,092	.....	0,080	0,080	-1,418	Lab 16	4,792
Lab 28	0,0900	0,070	0,093	0,092	.....	0,090	0,090	-1,270	Lab 17	41,753
Average	0,281		0,167	0,170	.....	0,176	0,176			
SD	0,539	0,531	0,044	0,049	.....	0,060	0,060			
New x^*	0,160	0,030	0,167	0,170	.....	0,176	0,176			
New s^*	0,044		0,0500	0,0556	.....	0,0676	0,0676			

Πίνακας Π.2.30: Υπολογισμός των στατιστικών επίδοσης z-score των εργαστηρίων για το λόγο έκθεσης, στη φασματική περιοχή με τη δεύτερη μέγιστη μετρούμενη τιμή έντασης πεδίου για το Σενάριο 3

