



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝ

Μέτρηση ηλεκτρομαγνητικού πεδίου χαμηλής συχνότητας

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ιωάννης Ν. Ζτούπης

Καθηγητής : Ιωάννης Αθ. Σταθόπουλος

Επιβλέποντες: Δρ. Ιωάννης Φ. Γκόνος, Χρήστος Α. Χριστοδούλου

Αθήνα, Ιούλιος 2009

Στην οικογένειά μου



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝ

149

Μέτρηση ηλεκτρομαγνητικού πεδίου χαμηλής συχνότητας

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ιωάννης Ν. Ζτούπης

Καθηγητής : Ιωάννης Αθ. Σταθόπουλος

Επιβλέποντες : Δρ. Ιωάννης Φ. Γκόνος, Χρήστο Α. Χριστοδούλου

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 17^η Ιουλίου 2009.

Ιωάννης Αθ. Σταθόπουλος
Καθηγητής

Περικλής Δ. Μπούρκας
Καθηγητής

Φραγκίσκος Β. Τοπαλής
Αναπληρωτής Καθηγητής

Αθήνα, Ιούλιος 2009

Ιωάννης Ν. Ζτούπης

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.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα χαμηλόσυχνα ηλεκτρομαγνητικά πεδία υφίστανται λόγω των πολλαπλών εφαρμογών του ηλεκτρισμού σήμερα και αποτελούν αντικείμενο επιστημονικής μελέτης για τις πιθανές δυσμενείς επιπτώσεις στον άνθρωπο. Στην παρούσα διπλωματική εργασία προσδιορίζονται αρχικά τα χαμηλόσυχνα ηλεκτρομαγνητικά πεδία και παρουσιάζονται οι πηγές έκθεσης τους στο περιβάλλον. Στη συνέχεια γίνεται αναφορά στις έρευνες για ενδεχόμενες επιδράσεις των χαμηλόσυχνων πεδίων καθώς και των υπάρχοντων Ελληνικών και διεθνών ορίων έκθεσης. Επίσης, παρουσιάζεται το πρότυπο IEC 61786 σύμφωνα με το οποίο θα γίνουν οι μετρήσεις σε γραμμές μεταφοράς υψηλής και μέσης τάσης και θα υπολογιστεί η αβεβαιότητα τους. Τέλος, περιγράφεται η διαδικασία λήψης μετρήσεων και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα τους σε σύγκριση με τα επίπεδα αναφοράς για την ασφαλή έκθεση του κοινού σε χαμηλόσυχνα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία.

ΛΕΞΕΙΣ – ΚΛΕΙΔΙΑ

ΗΜ Πεδία χαμηλής συχνότητας, Γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, Καρκίνος, Όρια ασφαλούς έκθεσης, Διεθνές πρότυπο IEC 61786, Αβεβαιότητα μέτρησης.

ABSTRACT

Extremely-low-frequency (ELF) electromagnetic fields exist today because of the multiple applications of electricity and are a subject of scientific study on their likely unfavourable repercussions on human health. In the present diplomatic work the ELF fields are determined initially and their sources of exposure in the environment are presented. Then the researches refer to potential effects of ELF fields as well as of the existing Greek and international limits of exposure. Also, the International Standard IEC 61786 is presented according to which the measurements in power lines of high and medium voltage will take place and their uncertainty will be calculated. Finally, the process of reception of measurements is described and their results are presented compared to the safe exposure limits of public in ELF electromagnetic fields.

KEYWORDS

Extremely low frequency EMF, Power Lines, Cancer, Safety exposure limits, International Standard IEC 61786, Measurement uncertainty.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται το θέμα της μέτρησης ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου χαμηλής συχνότητας σε γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Αναφέρεται περιληπτικά στο πρότυπο IEC 61786 και παρουσιάζει συνοπτικά τους βασικούς κανόνες για ασφαλείς και επιτυχείς μετρήσεις. Επίσης, στην εργασία εξετάζονται οι πιθανές επιπτώσεις των πεδίων στον άνθρωπο και αναφέρονται τα ισχύοντα όρια της ελληνικής και ευρωπαϊκής νομοθεσίας.

Ειδικότερα, η διπλωματική εργασία αποτελείται από τα εξής κεφάλαια:

Κεφάλαιο 1. Στο κεφάλαιο αυτό κατηγοριοποιούνται τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία με βάση την συχνότητα τους, προσδιορίζονται τα χαμηλόσυχνα πεδία και παρουσιάζονται αναλυτικά οι πηγές εκπομπής τους στο περιβάλλον.

Κεφάλαιο 2. Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται αναφορά σε επιδημιολογικές, εργαστηριακές και κλινικές έρευνες για τις βιολογικές επιδράσεις στον ανθρώπινο οργανισμό. Επίσης, παρουσιάζονται οι απόψεις των αρμόδιων διεθνών φορέων για τα αποτελέσματα των ερευνών αυτών.

Κεφάλαιο 3. Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται λόγος στους κανονισμούς προστασίας έναντι χαμηλόσυχνων ηλεκτρομαγνητικών πεδίων και στα όρια έκθεσης που ισχύουν στην Ευρώπη και στην Ελλάδα. Επίσης γίνεται αναφορά στα κριτήρια με βάση τα οποία υιοθετήθηκαν τα όρια αυτά.

Κεφάλαιο 4. Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα σημαντικότερα στοιχεία του προτύπου IEC 61786 στο οποίο δίνονται μέθοδοι μέτρησης των χαμηλόσυχνων πεδίων και τρόποι ανάπτυξης του πρωτοκόλλου μέτρησης.

Κεφάλαιο 5. Στο κεφάλαιο αυτό υπολογίζουμε με την βοήθεια κατάλληλου εξοπλισμού τα επίπεδα του επαγόμενου ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου από τις διατάξεις παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων με την υπολογισμένη αβεβαιότητα τους και συγκρίνονται με τα όρια ασφαλούς έκθεσης στο κοινό.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω 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 του Τομέα Ηλεκτρικής Ισχύος του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου για την αμέριστη συμπαράστασή του και το άριστο κλίμα συνεργασίας που καλλιέργησε.

Τον κ. Ιωάννη Φ. Γκόνο, διδάκτορα μηχανικό του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου για τη διάθεση του πολύτιμου χρόνου του προς καθοδήγηση, υποστήριξη και συμπαράστασή μου.

Τον κ. Χρήστο Α. Χριστοδούλου, υποψήφιο διδάκτορα μηχανικό του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου για την αμέριστη βοήθεια του στη λήψη των μετρήσεων και στην εκπόνηση της εργασίας.

Την οικογένειά μου για την αγάπη και την υποστήριξη που μου προσφέρει σε κάθε δυσκολία.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη-----	i
Πρόλογος-----	iii
Περιεχόμενα-----	v
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή-----	1
1.1. Βασικές έννοιες-----	2
1.1.1. Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και κύματα-----	2
1.1.2. Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα-----	3
1.2. Ιοντίζουσα και μη ιοντίζουσα ακτινοβολία-----	4
1.2.1. Ιοντισμός και διαχωρισμός ηλεκτρομαγνητικού φάσματος-----	4
1.2.2. Πηγές ιοντίζουσας και μη ιοντίζουσας ακτινοβολίας-----	6
1.3. Χαμηλόσυχνα ηλεκτρομαγνητικά πεδία-----	8
1.3.1. Βασικά χαρακτηριστικά των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων (ΗΜΠ)-----	9
1.3.2. Χαρακτηριστικά των ΗΜΠ χαμηλής συχνότητας-----	10
1.4. Πηγές χαμηλόσυχνων ηλεκτρομαγνητικών πεδίων-----	13
1.4.1. Ηλεκτρικές συσκευές-----	13
1.4.2. Εσωτερικές καλωδιώσεις-----	15
1.4.3. Δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας-----	16
1.4.3.1. Τμήματα δικτύου μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας -----	18
1.4.3.2. Χαρακτηριστικά των γραμμών μεταφοράς -----	21
1.4.4. Σύγκριση χαμηλόσυχνων πεδιακών πηγών-----	28
Κεφάλαιο 2: Βιολογική επίδραση ηλεκτρομαγνητικών πεδίων-----	29
2.1. Οι πρώτες έρευνες-----	29
2.1.1. Η ιστορία των Βέρτχαϊμερ και Μπέκερ-----	29
2.1.2. Οι πρώτες διεθνείς επιδημιολογικές μελέτες-----	32
2.2. Πειραματικές έρευνες σε ζώικούς οργανισμούς-----	35
2.2.1. Ζωικές έρευνες καρκινογένεσης -----	35
2.2.2. Μελέτες μετάλλαξης και γενοτοξικότητας ζωικών οργανισμών-----	37
2.3. Μελέτες στον ανθρώπινο οργανισμό-----	38
2.3.1. Η έννοια της επιδημιολογίας-----	38

2.3.2. Επίδραση των ELF πεδίων στα παιδιά-----	40
2.3.3. Επαγγελματική έκθεση σε πεδία χαμηλής συχνότητας-----	43
2.3.4. Πιθανές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία-----	44
2.4. Απόψεις διεθνών οργανισμών-----	52
Κεφάλαιο 3: Κανονισμοί προστασίας έναντι ELF πεδίων-----	55
3.1. Ιστορική αναδρομή-----	55
3.2. Κριτήρια για ασφαλή όρια έκθεσης-----	58
3.3. Όρια έκθεσης στην Ελλάδα-----	61
Κεφάλαιο 4: Ανασκόπηση προτύπου IEC 61786-----	69
4.1. Σκοπός-----	69
4.2. Ορισμοί-----	70
4.2.1. Δοκιμές-----	70
4.2.2. Μετρητές-----	70
4.2.3. Χαρακτηριστικά μετρητών-----	72
4.2.4. Χαρακτηριστικά πεδίου-----	73
4.2.5. Μετρήσεις-----	74
4.3. Προδιαγραφές οργάνου-----	75
4.4. Βαθμονόμηση οργάνου -----	77
4.4.1. Διαδικασία βαθμονόμησης -----	77
4.4.2. Τεκμηρίωση δοκιμής-----	80
4.4.3. Δοκιμές επαλήθευσης-----	82
4.5. Αβεβαιότητα μέτρησης-----	83
4.6. Μέτρηση χαμηλόσυχνων ηλεκτρομαγνητικών πεδίων-----	86
4.6.1 Προπαρασκευή Μετρήσεων-----	86
4.6.2. Διαδικασία μέτρησης-----	89
4.6.3. Καταγραφή και υποβολή έκθεσης των αποτελεσμάτων μέτρησης----	92
Κεφάλαιο 5: Μετρήσεις ELF πεδίων σε γραμμές ΜΤ και ΥΤ-----	94
5.1. Σκοπός των μετρήσεων-----	94
5.2. Εξοπλισμός των μετρήσεων ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου-----	94
5.3. Αποτελέσματα των μετρήσεων-----	96

5.3.1. Μετρήσεις σε μέση τάση-----	96
5.3.2. Μετρήσεις σε υψηλή τάση-----	105
5.4. Συμπεράσματα-----	118
Βιβλιογραφία-----	120
Παράρτημα Α: Περιγραφή πεδιομέτρου και αισθητήρα (probe)-----	128
Παράρτημα Β: Παραδείγματα ηλεκτρομαγνητικών πεδιομέτρων-----	136
Παράρτημα Γ: Αβεβαιότητα μετρήσεων-----	151
Παράρτημα Δ: Πρωτόκολλο διεξαγωγής μετρήσεων-----	161

Κεφάλαιο 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ιστορία της ανθρωπότητας είναι ταυτόσημη με την προσπάθεια ελέγχου και αξιοποίησης των διαφόρων μορφών ενέργειας, με κορυφαία στιγμή αυτή της χρήσης του ηλεκτρισμού. Οι πολλαπλές εφαρμογές του ηλεκτρισμού συνέβαλαν όχι μόνο στην καθοριστική βελτίωση του επιπέδου της καθημερινής ζωής των ανθρώπων, αλλά και στην ραγδαία πρόοδο και την αύξηση της αποδοτικότητας της βιομηχανικής παραγωγής, των επικοινωνιών, των μεταφορών, της ιατρικής τεχνολογίας, κ.λ.π.

Η μοναδικότητα της ηλεκτρικής ενέργειας συνίσταται στο γεγονός ότι μπορεί να παράγεται σε μεγάλες ποσότητες σε συγκεκριμένες θέσεις (των σταθμών παραγωγής) και να χρησιμοποιείται στη συνέχεια σε αποστάσεις πολλών χιλιομέτρων από τα σημεία παραγωγής. Αυτό επιτυγχάνεται με την ύπαρξη των δικτύων μεταφοράς (υψηλής τάσης) και διανομής (μέσης και χαμηλής τάσης), καθώς και των υποσταθμών που τα διασυνδέουν.

Η ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας γνωρίζει σταθερή αύξηση, ιδιαίτερα στον αναπτυσσόμενο κόσμο, στη διάρκεια των τελευταίων πενήντα ετών, αύξηση που έχει ως φυσική συνέπεια την εξάπλωση των δικτύων μεταφοράς και διανομής που καλύπτουν ολοένα και ευρύτερες εκτάσεις σε όλο τον πλανήτη. Παράλληλα, διευρύνεται και η χρήση του πάσης φύσεως ηλεκτρικού εξοπλισμού και συσκευών στην καθημερινή ζωή: οικιακές συσκευές διαφόρων ειδών, προσωπικοί υπολογιστές, κλιματιστικά μηχανήματα, κ.λ.π.

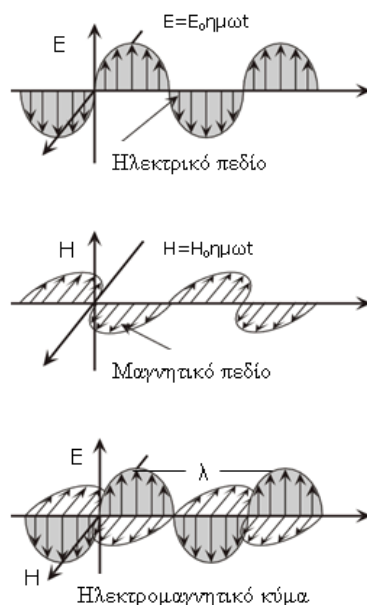
Ωστόσο, παρά το γεγονός ότι ο ηλεκτρισμός συνιστά αδιαμφισβήτητα στοιχειώδες κοινωνικό αγαθό, άρρηκτα συνδεδεμένο με την ποιότητα της ζωής μας, υπάρχει σήμερα διάχυτος προβληματισμός σχετικά με ενδεχόμενες δυσμενείς επιπτώσεις από τη χρήση του στο ανθρωπογενές περιβάλλον. Ο προβληματισμός αυτός επικεντρώνεται στα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία, η ύπαρξη των οποίων είναι συνυφασμένη με τη χρήση του ηλεκτρισμού και ειδικότερα του εναλλασσόμενου ρεύματος κατά τα τελευταία 100 χρόνια.

1.1 Βασικές έννοιες

Σε αυτό το κεφάλαιο, λοιπόν, θα μιλήσουμε για τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία και δη για αυτά που παράγονται από τον ηλεκτρισμό. Πριν όμως αναφερθούμε σε αυτά θα πρέπει να αποσαφηνίσουμε τις παρακάτω έννοιες.

1.1.1 Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και κύματα

Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία [1] ονομάζεται το σύνολο των ακτινοβολιών που μεταφέρουν ενέργεια με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα διαδίδονται στην ύλη και το κενό με την ταχύτητα του φωτός (300.000 km/s) και συνίστανται από ένα ηλεκτρικό και ένα μαγνητικό πεδίο που μεταβάλλονται περιοδικά στο χώρο και το χρόνο (ακολουθώντας το νόμο του ημιτόνου), κάθετα το ένα στο άλλο και κάθετα στην κατεύθυνση διάδοσης του κύματος (σχήμα 1.1). Διαδίδονται στο χώρο κατά επίπεδα μέτωπα και γι' αυτό ονομάζονται επίπεδα κύματα. Επιπλέον είναι και συμφασικά, παίρνουν δηλαδή συγχρόνως τη μέγιστη ή ελάχιστη τιμή τους. Η συχνότητα του ηλεκτρομαγνητικού κύματος με την οποία πάλλεται μέσα στο χώρο, είναι η ίδια με τη συχνότητα του παλλόμενου ηλεκτρικού φορτίου που το δημιούργησε. Η μεταφορά τους γίνεται από τα σωματίδια που ονομάζονται κβάντα (διακριτά ποσά ενέργειας) σύμφωνα με το θεμελιωτή της θεωρίας, το Γερμανό φυσικό Max Planck.

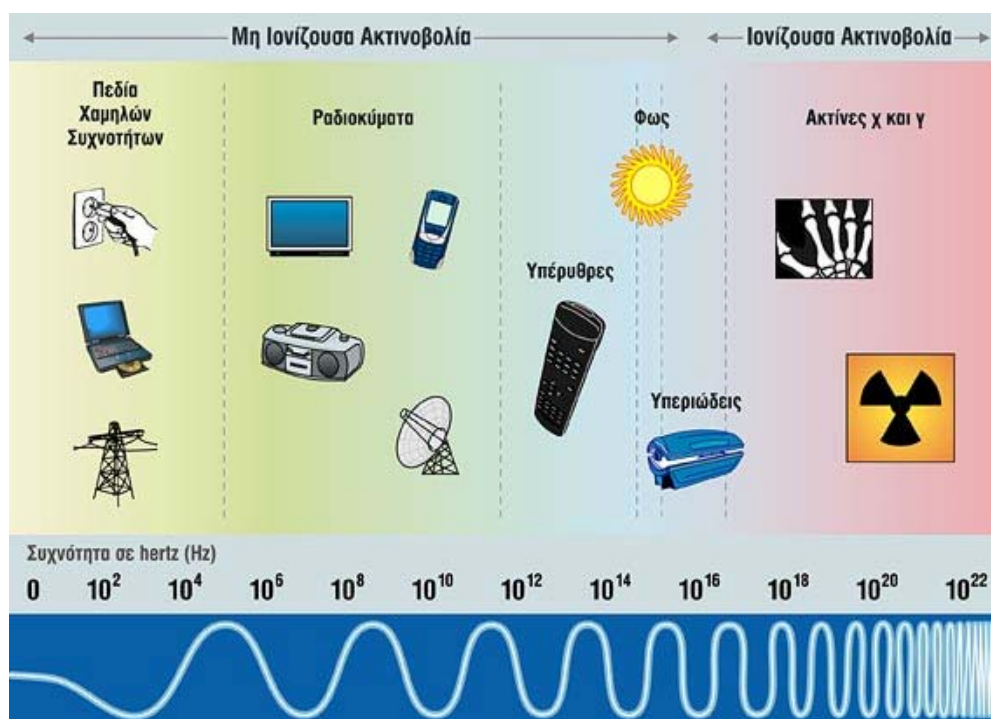


Σχήμα 1.1: Διάδοση του ηλεκτρομαγνητικού κύματος.

Η απόσταση μέσα στην οποία οι εντάσεις του ηλεκτρικού (E) και του μαγνητικού (H) πεδίου συμπληρώνουν μία πλήρη εναλλαγή λέγεται μήκος κύματος λ , ενώ ο αριθμός των πλήρων εναλλαγών στο δευτερόλεπτο είναι η συχνότητα του κύματος f . Τα μεγέθη λ και f συνδέονται με τη γνωστή σχέση $c=\lambda f$, όπου c είναι η ταχύτητα του φωτός ίση με 300.000 km/sec. Επομένως όλα τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα έχουν την ίδια φύση, όλα έχουν την ίδια ταχύτητα διάδοσης. Διαφέρουν μόνο στη συχνότητα και το μήκος κύματος [2].

1.1.2 Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα

Η ταξινόμηση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων σε ένα ευρύ φάσμα συχνοτήτων ονομάζεται ηλεκτρομαγνητικό φάσμα (σχήμα 1.2) [1,3]. Το φάσμα χωρίζεται σε διάφορες περιοχές (ζώνες συχνοτήτων όπως λέγονται) χωρίς όμως τα όρια μεταξύ των περιοχών να είναι σαφή τα δε ονόματα των περιοχών έχουν σχέση με τον τρόπο παραγωγής τους ή τον τρόπο χρήσης τους.



Σχήμα 1.2: Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα.

Το φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας αποτελείται από κύματα που στην πλειονότητα τους είναι αόρατα. Μόνο ένα μικρό μέρος της ακτινοβολίας αυτής μπορεί να εντοπισθεί από το ανθρώπινο μάτι και αποτελεί το ορατό φως .

Τα κυριότερα χαρακτηριστικά που διαφοροποιούν την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία είναι:

- Το μήκος κύματος (m)
- Η συχνότητα (Hz)
- Η ενέργεια που μεταφέρουν (eV)

Το μήκος κύματος, όπως είδαμε παραπάνω, συνδέεται άμεσα με τη συχνότητα ($c=\lambda f$) καθώς όσο πιο μικρό είναι το μήκος κύματος, τόσο πιο υψηλή είναι η συχνότητα. Όσον αφορά την ενέργεια που μεταφέρεται, αυτή σχετίζεται με τη συχνότητα από την σχέση $E=hf$, όπου h η σταθερά του Planck. Όταν, λοιπόν, η κβαντική ενέργεια είναι μεγάλη (και άρα υψηλή συχνότητα), τότε σπάζουν οι δεσμοί μεταξύ των μορίων. Το γεγονός αυτό είναι ιδιαίτερα επικίνδυνο γιατί προκαλούνται αλλοιώσεις του γενετικού κώδικα του DNA με αποτέλεσμα την πρόκληση καρκίνου και άλλων σοβαρών ασθενειών όπως θα αναλύσουμε στο επόμενο εδάφιο.

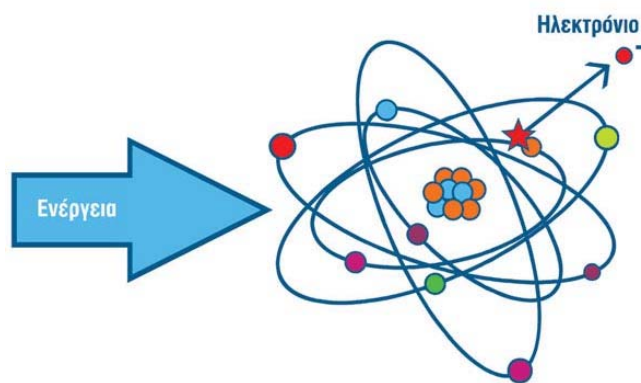
1.2 Ιοντίζουσα και μη ιοντίζουσα ακτινοβολία

Αλλοιώσεις και βλάβες στο DNA δεν μπορούν να προκαλέσουν όλα τα είδη ηλεκτρομαγνητικών πεδίων (ΗΜΠ), παρά μόνο αυτά που χαρακτηρίζονται από υψηλή συχνότητα, μικρό μήκος κύματος και υψηλή ενέργεια. Αντίθετα, η ακτινοβολία στην οποία υποβαλλόμαστε συνήθως και καθημερινά δεν έχει τέτοιες δυνατότητες και κινδύνους. Επομένως, τα διάφορα είδη ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και τα πεδία που προκύπτουν, έχουν διαφορετικές επιδράσεις στον ανθρώπινο οργανισμό ανάλογα με το αν προκαλούν ιοντισμό, διαδικασία η οποία περιγράφεται παρακάτω.

1.2.1 Ιοντισμός και διαχωρισμός ηλεκτρομαγνητικού φάσματος

Ιοντισμός ουδέτερου ατόμου [4, 5] από προσβολή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας είναι η βίαιη εκδίωξη του ηλεκτρονίου από το άτομο και παραγωγή ζεύγους αντίθετα φορτισμένων ιόντων. Τα ιόντα αυτά αφορούν αφενός στα αρνητικά ηλεκτρόνια που απομακρύνθηκαν από το άτομο και αφετέρου στα ελλειμματικά σε ηλεκτρόνια θετικά φορτισμένα άτομα που προέκυψαν από την αλληλεπίδραση.

Για να εκδιωχθεί ένα ηλεκτρόνιο από τις στοιβάδες του, απαιτείται ενέργεια η οποία προσδίδεται στο άτομο από κάποιο εξωτερικό αίτιο (σχήμα 1.3). Η ενέργεια αυτή πρέπει προφανώς να καλύπτει την ενέργεια σύνδεσης του ηλεκτρονίου στο άτομο. Η τιμή της εξαρτάται από την ταυτότητα του ατόμου και τη θέση της ηλεκτρονικής στοιβάδας στην οποία είναι συνδεδεμένο του ηλεκτρονίου και δεν μπορεί να είναι μικρότερη των 10 eV.



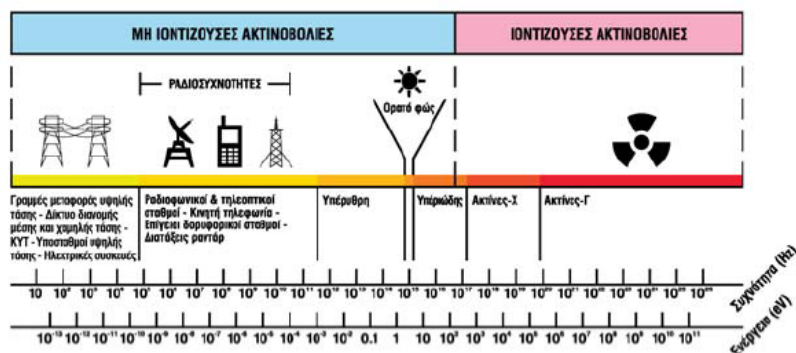
Σχήμα 1.3: Ιοντισμός ουδέτερου ατόμου.

Όταν η ακτινοβολία προκαλεί ιοντισμό σε ένα βιολογικό υλικό, έχει σαν αποτέλεσμα τη ρήξη ενός χημικού δεσμού, δηλαδή την καταστροφή ενός μορίου με επακόλουθο την παραγωγή δύο δραστικών χημικών ριζών. Η ρήξη του μοριακού δεσμού προκαλεί άμεση βιολογική βλάβη διότι καταστρέφει ένα ωφέλιμο για τη ζωή ή τον πολλαπλασιασμό του κυττάρου μόριο. Οι δραστικές χημικές ρίζες που παράγονται, με τη σειρά τους από τη διάσπαση του μορίου, θα προκαλέσουν πρόσθετη έμμεση βλάβη, διότι θα επιτεθούν σε ωφέλιμα μόρια, θα τα καταστρέψουν και θα δημιουργήσουν άχρηστες ή βλαβερές για το κύτταρο χημικές ενώσεις. Ιδιαίτερη σημασία για τη ζωή και την αναπαραγωγή του κυττάρου έχουν οι βλάβες εκείνες που προκαλούνται στο γενετικό του υλικό, διότι αυτές συνδέονται τόσο με τη μεταβίβαση κληρονομικών ανωμαλιών στους απογόνους όσο και με τη διαδικασία της καρκινογένεσης.

Επομένως, οι ακτινοβολίες μπορούν σε πρώτη προσέγγιση να διακριθούν με βάση την ενέργειά τους σε δύο μεγάλες κατηγορίες [4, 5]: τις ιοντίζουσες και τις μη ιοντίζουσες (σχήμα 1.3).

Ιοντίζουσα είναι η ακτινοβολία που μεταφέρει μεγάλη ενέργεια (μεγαλύτερη από 10eV), ικανή να εισχωρήσει στην ύλη, να διασπάσει βίαια χημικούς δεσμούς και να προκαλέσει βιολογικές βλάβες σε ζώντες οργανισμούς.

Μη ιοντίζουσα είναι η ακτινοβολία που μεταφέρει σχετικά μικρή ενέργεια, ανίκανη κατά την αλληλεπίδραση να προκαλέσει άμεσα ιοντισμό, αλλά ικανή να προκαλέσει ηλεκτρικές, θερμικές ή χημικές επιδράσεις στα κύτταρα άλλοτε ευεργετικές και άλλοτε επιβλαβείς για τη λειτουργία τους.



Σχήμα 1.3: Οι δύο μεγάλες κατηγορίες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος : οι ιοντίζουσες και οι μη ιοντίζουσες.

1.2.2 Πηγές ιοντίζουσας και μη ιοντίζουσας ακτινοβολίας

Οι πηγές των δύο προαναφερθέντων μεγάλων κατηγοριών ακτινοβολίας [4, 5] εμφανίζονται παρακάτω:

Πηγές ιοντίζουσών ακτινοβολιών

Οι ιοντίζουσες ακτινοβολίες εκπέμπονται από φυσικές πηγές παραγωγής ακτινοβολιών όπως ο ήλιος, τα αστέρια, οι γαλαξίες κ.τ.λ. (εκπέμπουν την κοσμική ακτινοβολία) και τα φυσικά ραδιοϊσότοπα ή από τεχνητές πηγές όπως είναι οι ακτινολογικές λυχνίες (παράγουν ακτινοβολία X) και τα τεχνητά ραδιοϊσότοπα που εκπέμπουν τις ακτινοβολίες α, β, και γ.

Πηγές μη ιοντίζουσών ακτινοβολιών

α) Ακτινοβολία εξαιρετικά χαμηλής συχνότητας (ELF)

Η περιοχή της ELF (extra low frequencies) είναι η περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος στην οποία ανήκουν ακτινοβολίες με συχνότητες από μερικά Hz μέχρι 300 Hz. Μεταξύ αυτών περιλαμβάνεται η ακτινοβολία ELF των 50/60 Hz που παράγεται από τα ηλεκτροφόρα καλώδια, την ηλεκτρική καλωδίωση, και τον ηλεκτρικό εξοπλισμό (π.χ. τις ηλεκτρικές οικιακές συσκευές) και θα περιγραφεί σε επόμενες ενότητες του κεφαλαίου αναλυτικότερα. Οι κοινές πηγές έντονης έκθεσης σε αυτή την ακτινοβολία περιλαμβάνουν τους κλιβάνους επαγωγής και τα υψηλής τάσεως ηλεκτροφόρα καλώδια. Δεν έχει αποδειχθεί η ανθυγιεινή επίδραση των ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων αυτών των συχνοτήτων στους ανθρώπους, καθώς οι εντάσεις των πεδίων αυτών σε θέσεις παραμονής ανθρώπων, είναι πολύ μικρότερες από τα επιτρεπόμενα όρια όπως θα δούμε σε επόμενο κεφάλαιο.

β) Ακτινοβολία ραδιοσυχνοτήτων (RF) / Ακτινοβολία μικροκυμάτων (MW)

Οι πηγές ακτινοβολίας RF και MW περιλαμβάνουν τις κεραίες των ραδιοφωνικών και τηλεοπτικών σταθμών, τα ραντάρ, τα ασύρματα δίκτυα, τα συστήματα μικροκυματικών ζεύξεων, τα συστήματα δορυφορικών επικοινωνιών και τα συστήματα επικοινωνίας αστυνομίας, στρατού, πυροσβεστικής, αεροπορίας, ναυσιπλοΐας. Λόγω όμως της τεράστιας διάδοσης των κινητών τηλεφώνων η πιο γνωστή πηγή αποτελούν τα κυψελωτά κινητά τηλέφωνα και σταθμοί κινητής τηλεφωνίας.

Η ακτινοβολία μικροκυμάτων απορροφάται κοντά στο δέρμα, ενώ η ακτινοβολία RF (3 kHz μέχρι 300 GHz) μπορεί να απορροφηθεί από όλο το σώμα. Γενικά αυτά τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία υψηλών συχνοτήτων μπορούν να διεισδύουν σε βιολογικούς ιστούς και να απορροφηθούν από αυτούς σε διαφορετικό βαθμό που εξαρτάται από την εσωτερική δομή των ιστών και από τη γεωμετρία τους καθώς και από τα χαρακτηριστικά της ηλεκτρομαγνητικής πηγής. Η αλληλεπίδραση αυτή μπορεί να προκαλέσει βλάβη των ιστών εξ' αιτίας της θέρμανσης τους αν και η εκτίμηση των επιπτώσεων στην υγεία από αυτά τα πεδία, χαρακτηρίζεται από μεγάλο βαθμό αβεβαιότητας.

γ) Υπέρυθρη ακτινοβολία (IR)

Στις πηγές ακτινοβολίας IR περιλαμβάνονται οι φούρνοι, οι λαμπτήρες θερμότητας, και τα λέιζερ υπέρυθρης ακτινοβολίας (IR). Μοναδική βιολογική επίδραση αυτής

της ακτινοβολίας αποτελεί η απορρόφηση της ως θερμότητα από το δέρμα και τα μάτια.

δ) Ορατή ακτινοβολία

Ο ήλιος είναι η σημαντικότερη πηγή, αλλά και το πλήθος και η ποικιλία των ηλεκτρικών λαμπτήρων, πυρακτώσεως και φθορισμού δεν είναι ευκαταφρόνητο. Οι διαφορετικές ορατές συχνότητες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος "θεωρούνται" από τα μάτια μας ως διαφορετικά χρώματα. Ακόμα και η ορατή ακτινοβολία, γνωστή ως φως, μπορεί να βλάψει τα μάτια και το δέρμα όταν είναι έντονη.

ε) Υπεριώδης ακτινοβολία (UV)

Οι πηγές της UV ακτινοβολίας περιλαμβάνουν τον ήλιο, τα μαύρα φώτα, η οξυγονοκόλληση, και τα UV λείζερ. Τα φωτόνια της υπεριώδους ακτινοβολίας έχουν υψηλή ενέργεια, λόγω της υψηλής συχνότητάς τους και είναι ιδιαίτερα επικίνδυνα, μη περιοριζόμενη μόνο στη θέρμανση του σώματος που την απορροφά, αλλά μπορεί να προκαλέσει βλάβες στα κύτταρα του δέρματος που μπορεί να οδηγήσουν ακόμα και σε καρκίνο. Άλλωστε μια περιοχή της υπεριώδους ακτινοβολίας ανήκει στις ιοντίζουσες.

στ) Ακτινοβολία λείζερ

Η ακτινοβολία αυτή παράγεται από τις ομώνυμες συσκευές, οι οποίες στην πραγματικότητα δρουν σαν ενισχυτές αντίστοιχων μονοχρωματικών ακτινοβολιών. Τα λείζερ εκπέμπουν UV, ορατές και IR ακτινοβολίες και μπορούν να επιφέρουν ζημιές κυρίως στα μάτια και στο δέρμα, είτε με θερμική δράση, οπότε εκφυλίζονται οι πρωτεΐνες, είτε με φωτοχημική δράση, οπότε επέρχονται αλλοιώσεις των χαρακτηριστικών των μορίων.

1.3 Χαμηλόσυχνα ηλεκτρομαγνητικά πεδία

Όπως είναι γνωστό [2], τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία (ΗΜΠ), υπάρχουν παντού στο περιβάλλον μας και μπορεί να είναι φυσικής προέλευσης ή να έχουν δημιουργηθεί από τον άνθρωπο. Το γήινο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο, το ηλιακό φως, οι κεραυνοί, ο χτύπος της καρδιάς, το ανθρώπινο νευρικό σύστημα αποτελούν φυσικές πηγές ηλεκτρομαγνητικών πεδίων. Αντίθετα, στις τεχνητές πηγές περιλαμβάνονται οι

οικιακές ηλεκτρικές συσκευές (ηλεκτρική σκούπα, φούρνος μικροκυμάτων, ψυγείο, τηλεόραση κ.λ.π.), οι γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικού ρεύματος, οι τηλεοπτικοί και ραδιοφωνικοί σταθμοί, οι σταθμοί βάσης κινητής τηλεφωνίας, τα ραντάρ κ.λ.π. Παρακάτω, λοιπόν, αναγράφονται κάποια από τα βασικά χαρακτηριστικά των ηλεκτρικών και των μαγνητικών πεδίων τεχνητής προέλευσης.

1.3.1 Βασικά χαρακτηριστικά των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων (ΗΜΠ)

Ηλεκτρικό πεδίο

- Ονομάζεται ο χώρος μέσα στον οποίο ασκούνται δυνάμεις σε ηλεκτρικά φορτία.
- Δημιουργείται από τις τάσεις των αγωγών μιας ηλεκτρικής γραμμής, συσκευής ή άλλης εγκατάστασης, ανεξάρτητα από το εάν διαρρέονται από ρεύμα ή όχι (δηλαδή την παρουσία ηλεκτρικών φορτίων).
- Το μέγεθος που εκφράζει πόσο ισχυρό είναι το πεδίο είναι η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου E (V/m) και εξαρτάται από την τάση, την γεωμετρία και την απόσταση.
- Παραμορφώνεται από την παρουσία αγώγιμων διατάξεων και διαταράσσεται από την παρουσία του ανθρώπινου σώματος (σχεδόν περιορίζεται στην εξωτερική επιφάνειά του).
- Η θωράκιση ενός χώρου έναντι ηλεκτρικού πεδίου καθίσταται δυνατή αφού τα συνήθη οικοδομικά υλικά έχουν επαρκή αγωγιμότητα ώστε να παρέχεται ικανοποιητική προστασία (δραστική μείωση της έντασης του πεδίου) σε εσωτερικούς χώρους από έξωθεν πηγές [2, 6, 7].

Μαγνητικό πεδίο

- Ονομάζεται ο χώρος μέσα στον οποίο ασκούνται δυνάμεις σε ηλεκτρικά ρεύματα.
- Δημιουργείται από τις εντάσεις των ρευμάτων που διαρρέουν τους αγωγούς μιας ηλεκτρικής γραμμής, συσκευής ή άλλης εγκατάστασης (δηλ. από την κίνηση ηλεκτρικών φορτίων).

- Το μέγεθος που εκφράζει πόσο ισχυρό είναι το πεδίο είναι η πυκνότητα μαγνητικής ροής B (Tesla ή Gauss όπου $10.000 \text{ G} = 1 \text{ T}$) και εξαρτάται από την ένταση του ρεύματος, την γεωμετρία και την απόσταση.
- Διαπερνά και τα οικοδομικά υλικά και το ανθρώπινο σώμα.
- Η θωράκιση έναντι μαγνητικού πεδίου είναι κατά κανόνα δύσκολη και απαιτεί τη χρήση ειδικών υλικών σε κατάλληλη διάταξη [2, 6, 7].

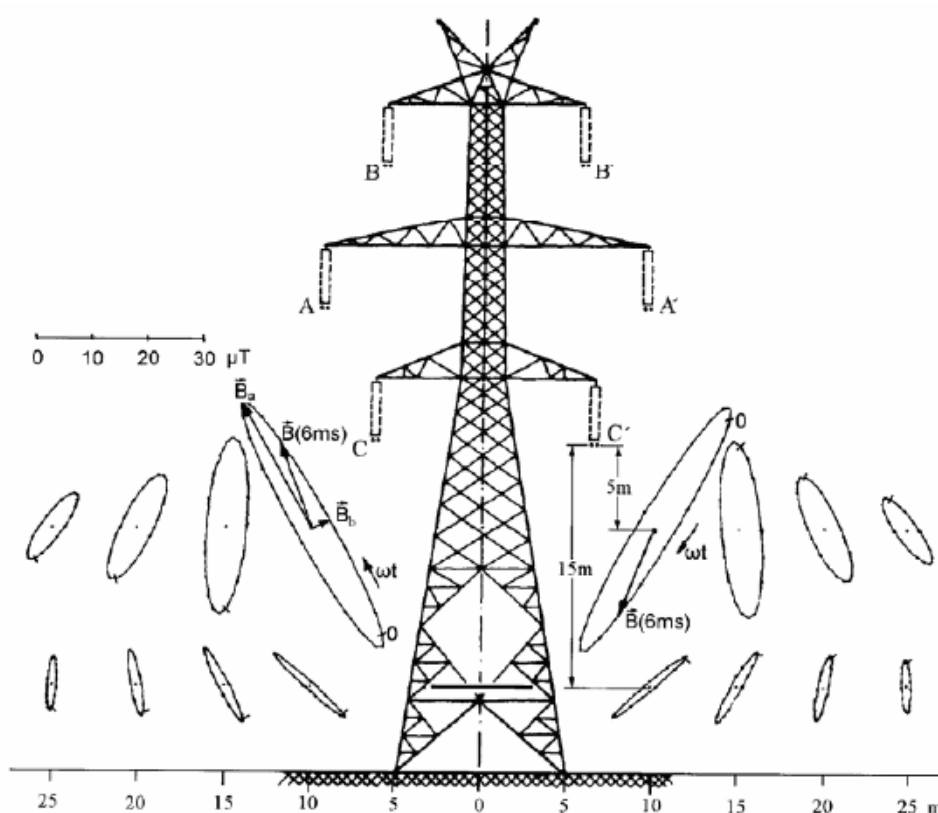
1.3.2 Χαρακτηριστικά των ΗΜΠ χαμηλής συχνότητας

Από το αχανές σύνολο συχνοτήτων των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων (πίνακας 1.1), σημείο μελέτης της εργασίας θα αποτελέσουν τα ΗΜΠ συχνότητας 50/60 Hz (50 Hz στην Ευρώπη, 60 Hz στις Η.Π.Α.). Αυτά ονομάζονται πεδία εξαιρετικά χαμηλής συχνότητας ή πεδία ELF (Extremely Low Frequency) και αποτελούν τα μεταβαλλόμενα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία που δημιουργούνται από τις διατάξεις ηλεκτρικής ενέργειας.

Περιοχή συχνοτήτων	Συχνότητα	Πηγές Εκπομπής
πέρα πολύ χαμηλές	0 - 300 Hz	γραμμές ηλεκτρικής ενέργειας, ακουστικές συχνότητες, υποβρύχιες επικοινωνίες
ακουστικές (VF)	0,3 - 3 kHz	φωνή, ακουστικές συχνότητες
πολύ χαμηλές (VLF)	3 - 300 kHz	ραδιοεπικοινωνία ναυσιπλοΐας, επικοινωνίες μεγάλων αποστάσεων
μεσαίες (MF)	0,3 - 3 MHz	ραδιοεπικοινωνίες ναυσιπλοΐας, ερασιτέχνες ραδιοσταθμοί
υψηλές (HF)	3 - 30 MHz	διεθνείς επικοινωνίες, έλεγχος αεροπλοΐας
πολύ υψηλές (VHF)	30 - 300 MHz	αστυνομία, σταθμοί FM, VHF-TV, έλεγχος αεροπλοΐας και ναυσιπλοΐας
πέρα πολύ υψηλές (UHF)	0,3 - 3 GHz	κινητή και ασύρματη τηλεφωνία, αστυνομία, ραδιοταξί, UHF-TV, φούρνοι μικροκυμάτων, ιατρικές διαθερμίες, βιομηχανικά μικροκύματα
εξαιρετικά υψηλές (EHF)	3 - 300 GHz	ραντάρ, δορυφορικές επικοινωνίες, ραδιοεπικοινωνίες, ραδιο-φασματομετρία
υπερύθρη ακτινοβολία (IR)	0,3 - 300 THz	εποπτεία, ηλεκτρονικός πόλεμος, βιομηχανική θέρμανση

Πίνακας 1.1: Περιοχές συχνοτήτων των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων.

Το φαινόμενο αυτό ανεξαρτησίας των δύο μεγεθών [8] εμφανίζεται π.χ. στην περίπτωση που έχουμε ένα ή περισσότερα τριφασικά συστήματα τα οποία δημιουργούν ένα στρεφόμενο ελλειπτικό ηλεκτρικό πεδίο και ένα στρεφόμενο ελλειπτικό μαγνητικό πεδίο. Τα στρεφόμενα ανύσματα των πεδιακών εντάσεων μεταξύ κέντρων και περιφερειών των ελλείψεων διαγράφουν μία πλήρη τροχιά σε χρονικό διάστημα μιας περιόδου (20ms για τη συχνότητα των 50Hz). Στο σχήμα 1.4 παρουσιάζονται οι γεωμετρικοί τόποι στρεφομένων ανυσμάτων μαγνητικής επαγωγής γραμμής 400 kV διπλού κυκλώματος με φορτίο 1000 A ανά κύκλωμα και φάση.



Σχήμα 1.4: Ανύσματα μαγνητικής επαγωγής σε γραμμή διπλού κυκλώματος 400 kV.

Επίσης, με βάσει τις παρατηρήσεις του προηγούμενου εδαφίου 1.3.1, αξίζει να επικεντρώσουμε την προσοχή μας και να επισημάνουμε τα εξής χαρακτηριστικά:

- **Το μαγνητικό πεδίο είναι ανεξάρτητο της τάσης**

Η ευρέως διαδεδομένη στο κοινό αντίληψη [7] ότι η υψηλή τάση συνεπάγεται και υψηλή έκθεση σε μαγνητικό πεδίο δεν ευσταθεί. Στην πραγματικότητα, όπως

προαναφέρθηκε, μόνο το ηλεκτρικό πεδίο εξαρτάται από την τάση των αγωγών, ενώ το μαγνητικό πεδίο εξαρτάται από την ένταση του ρεύματος που διαρρέει τους αγωγούς (και γραμμές διαφορετικών επιπέδων τάσης είναι δυνατόν να διαρρέονται από παρεμφερείς εντάσεις).

Αυτό που τελικά ενδιαφέρει είναι το ύψος της έκθεσης, δηλαδή η τιμή του μαγνητικού πεδίου και όχι η φύση της πηγής που το προκαλεί. Ο ανθρώπινος οργανισμός δεν διακρίνει κατά πόσον το μαγνητικό πεδίο στο οποίο εκτίθεται δημιουργείται από μία γραμμή 150 kV ή από την ηλεκτρική παροχή του σπιτιού, από μία ηλεκτρική κουζίνα ή μία κλιματιστική συσκευή, κ.ο.κ.

- **Δραστική μείωση των πεδίων με την απόσταση**

Βασικό χαρακτηριστικό των ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων είναι, όπως προαναφέρθηκε, ότι οι τιμές των εντάσεών τους αποσβένονται όσο αυξάνεται η απόσταση από την πηγή που τα δημιουργεί και, κατά συνέπεια, οπτική επαφή με πάσης φύσεως ηλεκτρικές εγκαταστάσεις δεν συνεπάγεται και έκθεση σε πεδία. Η απόσβεση αυτή δεν είναι ανάλογη προς την απόσταση, αλλά ακολουθεί εκθετικό νόμο (ταχύτερες μειώσεις πλησίον της πηγής και ασυμπτωτική εξασθένηση μέχρι το μηδενισμό).

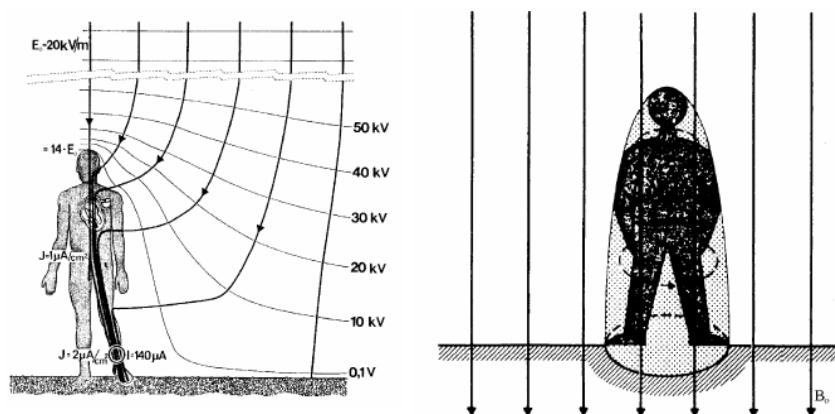
Σ' αυτό το σημείο οφείλουμε, λοιπόν, να τονίσουμε ότι δεν είναι η υψηλή τάση ή η μεγάλη ένταση του ρεύματος τα μεγέθη που θα μπορούσαν να έχουν επίπτωση στον ανθρώπινο οργανισμό, αλλά το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο. Τα δύο αυτά πεδία εξαρτώνται από πολλές παραμέτρους. Μικρές εντάσεις ρεύματος σε συνδυασμό με μικρές αποστάσεις, όπως είναι οι αποστάσεις μεταξύ ηλεκτρικών συσκευών και ανθρώπων στα σπίτια, προκαλούν μαγνητικά πεδία, τα οποία είναι πολλές φορές μεγαλύτερα από εκείνα που οφείλονται στις εναέριες γραμμές, όπου υπάρχουν μεγάλες εντάσεις αλλά και μεγάλες αποστάσεις [7, 8].

- **Συμπεριφορά πεδίων παρουσία ανθρώπινου σώματος**

Η πρώτη εικόνα του σχήματος 1.5 [8] δείχνει την παραμόρφωση ομογενούς ηλεκτρικού πεδίου εντάσεως 20 kV/m λόγω της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του ανθρώπινου σώματος. Στην κεφαλή του ανθρώπου εμφανίζεται η μέγιστη ένταση ηλεκτρικού πεδίου $E_{o,max} \approx 14E_o$, όπου E_o η ένταση του ομογενούς πεδίου.

Παραμόρφωση εμφανίζεται επίσης στις ισοδυναμικές γραμμές, έτσι ώστε η διαφορά δυναμικού μεταξύ κεφαλιού και ποδιών να είναι περίπου 0,1V.

Σε αντίθεση προς το ηλεκτρικό πεδίο, το μαγνητικό πεδίο διαπερνά τον ανθρώπινο οργανισμό χωρίς παραμόρφωση λόγω έλλειψης σ' αυτόν μαγνητικού υλικού. Η δεύτερη εικόνα του σχήματος 1.5 δείχνει τον άνθρωπο σε ομογενές μαγνητικό πεδίο.



Σχήμα 1.5: Άνθρωπος σε ομογενές ηλεκτρικό πεδίο και σε ομογενές μαγνητικό πεδίο.

1.4 Πηγές χαμηλόσυχων ηλεκτρομαγνητικά πεδία

Όπως έχουμε προαναφέρει, τα πεδία ELF χαρακτηρίζονται ως τα πεδία που παράγονται από διατάξεις ηλεκτρικής ενέργειας. Με τον όρο διατάξεις ηλεκτρικής ενέργειας [9] εννοούμε το δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, όπως οι γραμμές και οι υποσταθμοί υψηλής τάσης, το δίκτυο μέσης και χαμηλής τάσης που χρησιμοποιείται για την διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και οι ηλεκτρικές καλωδιώσεις και συσκευές που υπάρχουν στα σπίτια και στους χώρους εργασίας μας. Αυτές λοιπόν αποτελούν πηγές των χαμηλόσυχων ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων στο περιβάλλον μας και περιγράφονται αναλυτικά παρακάτω.

1.4.1 Ηλεκτρικές συσκευές

Όταν οι ηλεκτρικές συσκευές λειτουργούν, παράγουν μαγνητικά πεδία στο περιβάλλον τους. Τα πεδία αυτά εξασθενούν τάχιστα καθώς αυξάνεται η απόσταση από την συσκευή και έτσι είναι άξια λόγου μόνο σε αποστάσεις αρκετά μικρότερες από ένα μέτρο. Το πεδίο σε επαφή με την συσκευή μπορεί να είναι πολύ μεγάλο, ανερχόμενο μέχρι εκατοντάδες μT . Παράγουν, επίσης, και κάποιες τιμές ηλεκτρικού πεδίου στο περιβάλλον τους, εφόσον βρίσκονται υπό τάση, όταν δηλαδή είναι στην

πρίζα. Οι τιμές αυτές (της τάξης των 10 V/m) είναι εξαιρετικά χαμηλές σε σχέση με τα όρια της Ευρωπαϊκής Ένωσης και της Ελληνικής νομοθεσίας (5000V/m) τα οποία θα εξετάσουμε σε άλλο κεφάλαιο. Κατά κανόνα όμως, η έκθεση των ανθρώπων λαμβάνει χώρα σε αποστάσεις πολύ μεγαλύτερες, πλην μερικών συσκευών που κατά τη χρήση τους βρισκόμαστε αναπόφευκτα κοντά τους, π.χ. οι ηλεκτρικές ξυριστικές μηχανές και τα σεσουάρ για τα μαλλιά. Οι άνθρωποι όμως δεν χρησιμοποιούν τέτοιες συσκευές για πολύ ώρα καθημερινά και έτσι η χρονική διάρκεια της έκθεσης είναι περιορισμένη.

Επίσης, αφενός η έκθεση από τις συσκευές αυτές εστιάζεται τοπικά σε μια πολύ μικρή περιοχή του σώματος, αφετέρου η σύζευξη του πεδίου με το σώμα είναι εξαιρετικά ασθενής. Λαμβάνοντας λοιπόν υπόψη τις ειδικές αυτές συνθήκες έκθεσης, στην συντριπτική πλειοψηφία των περιπτώσεων, δεν είναι δυνατόν να ξεπεραστούν οι βασικοί περιορισμοί τοπικής έκθεσης, αν και μπορεί να υπάρχει υπέρβαση των επιπέδων αναφοράς που αναφέρθηκαν.



Σχήμα 1.6: Τυπικά επίπεδα μαγνητικού πεδίου από οικιακές ηλεκτρικές συσκευές.

Παρατηρώντας, λοιπόν, τις τιμές του ακόλουθου πίνακα 1.2 και του σχήματος 1.6

[6], βλέπουμε ότι σε όλες τις περιπτώσεις το μαγνητικό πεδίο ήδη σε απόσταση 30cm είναι πολύ μικρότερο από το επίπεδο αναφοράς των 100μT που θέτει η Ευρωπαϊκή Ένωση και η Ελληνική νομοθεσία για την συχνότητα των 50Hz.

Οικιακή Συσκευή	ΕΝΤΑΣΗ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ (μT)		
	3 cm	30 cm	1 m
Ξυριστική μηχανή	10-900	0,05-9	0,01-0,2
Στεγνωτήρας μαλλιών	8-800	0,01-7	0,01-0,03
Λαμπτήρας φθορισμού	40-400	0,5-2	0,02-0,25
Ηλεκτρική κουζίνα	1-50	0,15-0,5	0,01-0,04
Φούρνος μικροκυμάτων	5-100	0,4-8	0,15-0,5
Ψυγείο	0,5-1,7	0,01-0,3	0,01-0,05
Πλυντήριο ρούχων	0,8-40	0,15-3	0,01-0,15
Πλυντήριο πιάτων	1-15	0,2-2	0,07-0,3
Ηλεκτρικό σίδερο	3-30	0,14-0,3	0,01-0,03
Ηλεκτρική σκούπα	60-500	0,8-12	0,08-0,8
Φορητό ραδιόφωνο	1-15	0,4-1,5	0,01-0,1
Τηλεόραση	2-80	0,04-8	0,01-0,9
Βιντεοκάμερα	0,6-20	0,7-2,5	0,01-0,03
Φωτοτυπικό	0,6-40	0,1-2,7	0,01-0,3
Συσκευή FAX	0,4-1,5	0,01-0,2	0,01-0,02
Οθόνη υπολογιστή	1-60	0,02-5	0,01-0,6
Ηλεκτρικό πριόνι	4-200	0,2-3,3	0,01-0,8

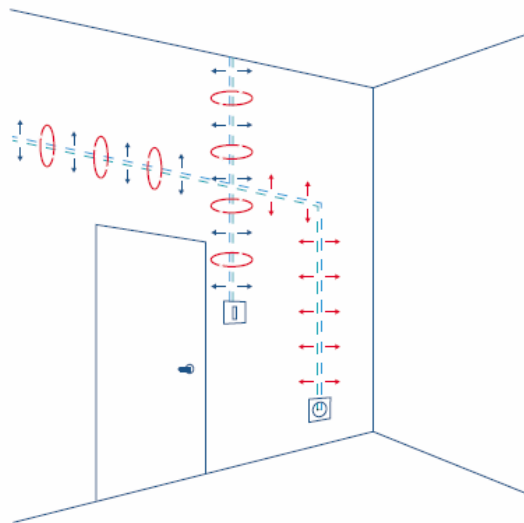
Πίνακας 1.2: Τυπικά επίπεδα μαγνητικού πεδίου από κοινές ηλεκτρικές συσκευές. [6]

1.4.2 Εσωτερικές καλωδιώσεις

Όσον αφορά στις καλωδιώσεις που χρησιμοποιούνται για την τροφοδότηση των συσκευών, είναι γεγονός πως δημιουργούν και αυτές στο περιβάλλον τους μαγνητικά κυρίως πεδία που οφείλονται στο ηλεκτρικό τους ρεύμα.

Στις εγκαταστάσεις που λειτουργούν σύμφωνα με τους κανονισμούς ηλεκτρικών εγκαταστάσεων τα ρεύματα των αγωγών των καλωδιώσεων δημιουργούν μαγνητικά πεδία που σε μεγάλο βαθμό αλληλοαναιρούνται όπως απεικονίζεται στο σχήμα 1.7. Σε σπάνιες περιπτώσεις εγκαταστάσεων που δεν πληρούν τους όρους των κανονισμών είναι δυνατόν, λόγω λανθασμένης συνδεσμολογίας ή λόγω ύπαρξης

διαρροών, να εμφανιστούν μεγάλα επίπεδα μαγνητικών πεδίων στο περιβάλλον των καλωδιώσεων. Η εμφάνιση μεγάλων μαγνητικών πεδίων από τις ηλεκτρικές καλωδιώσεις είναι, δηλαδή, σύμπτωμα λανθασμένης ηλεκτρολογικής εγκατάστασης που ενδεχομένως να υποκρύπτει και κινδύνους ηλεκτροπληξίας στους χρήστες της εγκατάστασης [6].



Σχήμα 1.7: Αλληλοαναίρεση των μαγνητικών πεδίων στις εσωτερικές καλωδιώσεις.

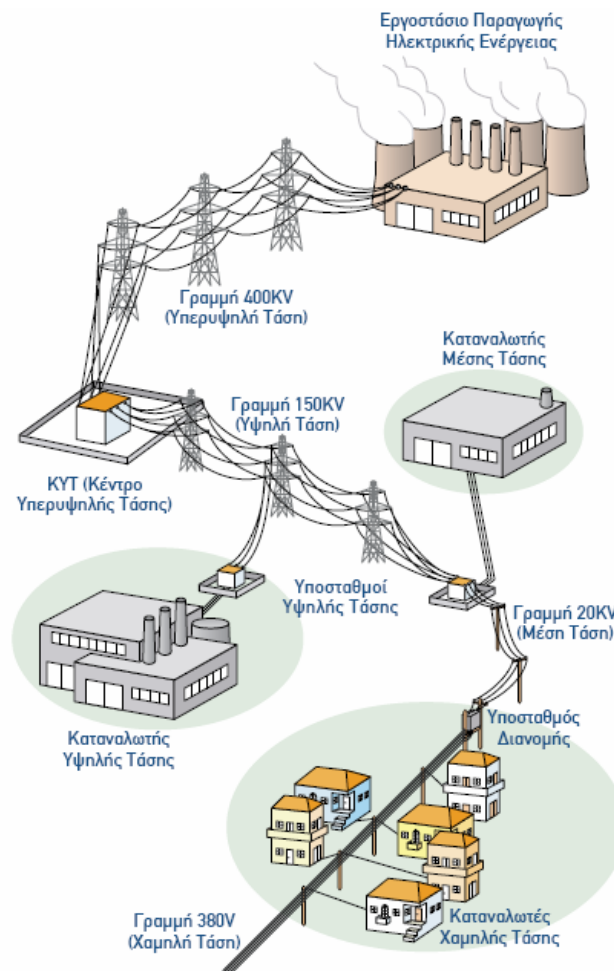
1.4.3 Δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας

Σ' αυτό το σημείο αξίζει να περιγράψουμε περιληπτικά τη λειτουργία του δικτύου μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας (σχήμα 1.8.) [6]: Η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται στους σταθμούς ηλεκτρικής ενέργειας οι οποίοι συνήθως είναι θερμοηλεκτρικοί (καύση υλικών) και υδροηλεκτρικοί (ενέργεια από υδατοπτώσεις). Στη συνέχεια, μεταφέρεται από το εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στα κέντρα κατανάλωσης (μεγάλα αστικά κέντρα) μέσω των γραμμών υψηλής (150kV) και υπερυψηλής τάσης (400kV). Οι γραμμές αυτές επιτρέπουν :

1. να συνεχίζει να παρέχει ηλεκτρική ενέργεια ακόμα και αν παρουσιαστεί κάποια βλάβη
2. την εξοικονόμηση ενέργειας με την λειτουργία μόνο των πιο οικονομικών σταθμών
3. και την διασύνδεση με τα γειτονικά κράτη.

Έπειτα, η ηλεκτρική ενέργεια διανέμεται στους κατά τόπους καταναλωτές. Οι περισσότεροι καταναλωτές τροφοδοτούνται με μονοφασικές παροχές χαμηλής τάσης (230V), άλλοι όμως που έχουν κάπως μεγαλύτερες ανάγκες, τροφοδοτούνται με τριφασικές παροχές (400V). Σε αρκετές περιπτώσεις, όπως βιοτεχνίες, μεγάλα ξενοδοχεία κλπ. Οι καταναλωτές τροφοδοτούνται με μέση τάση (20kV) και σε σπανιότερες όπως μεγάλα εργοστάσια, με υψηλή τάση (150kV).

Για τον υποβιβασμό των επιπέδων των τάσεων από την υπερυψηλή τάση έως την χαμηλή χρησιμοποιούνται ειδικές συσκευές που ονομάζονται μετασχηματιστές. Η όλη εγκατάσταση που περιλαμβάνει τον μετασχηματιστή και τις πέριξ αυτού συνδέσεις, τους διακόπτες, τα στοιχεία προστασίας από βραχυκυκλώματα, υπερφόρτιση κ.λ.π. ονομάζεται υποσταθμός.



Σχήμα 1.8: Δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. [6]

1.4.3.1 Τμήματα Δικτύου μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας

Δίκτυο διανομής χαμηλής τάσης

Τα σπίτια μας τροφοδοτούνται από γραμμές χαμηλής τάσης (230V/400V), οι οποίες μπορεί να είναι εναέριες γραμμές, εναέρια συνεστραμμένα καλώδια, υπόγεια καλώδια και επιτοίχια καλώδια. Όλες αυτές οι γραμμές δημιουργούν στο περιβάλλον τους μαγνητικά κυρίως πεδία. Τα ηλεκτρικά πεδία είναι πολύ μικρά λόγω της χαμηλής τάσης. Τα μαγνητικά πεδία που δημιουργούνται από τις γραμμές αυτές ανέρχονται σε λίγα μT κοντά στους αγωγούς και εξασθενούν σε αμελητέα επίπεδα σε λίγα μέτρα από την γραμμή. Στην περίπτωση όμως που υπάρχει τέτοια ασυμμετρία στα ρεύματα των αγωγών που οδηγεί στην ανάπτυξη ρευμάτων επιστροφής, π.χ. ρεύματα σε γειωμένα αντικείμενα (μεταλλικοί σωλήνες, μεταλλικοί φράχτες, σιδηροδρομικές ράγες κ.λ.π.) δημιουργούνται μαγνητικά πεδία που εξασθενούν σχετικά αργά με την απόσταση από την γραμμή [6].

Δίκτυο διανομής μέσης τάσης

Τμήμα του δικτύου διανομής είναι και οι γραμμές μέσης τάσης (20 kV), οι οποίες τροφοδοτούν τις γραμμές χαμηλής τάσης μέσω των υποσταθμών διανομής, που περιλαμβάνουν μετασχηματιστές μέσης προς χαμηλή τάση. Οι γραμμές μέσης τάσης μπορεί να είναι εναέριες ή υπόγεια καλώδια. Οι εναέριες γραμμές δημιουργούν τόσο ηλεκτρικά όσο και μαγνητικά πεδία, ενώ τα υπόγεια καλώδια μόνο μαγνητικά πεδία. Λόγω της ηλεκτρικής συνδεσμολογίας τους, οι γραμμές αυτές δεν εμφανίζουν τις ασυμμετρίες στα ρεύματα που αναφέρθηκαν για τις γραμμές χαμηλής τάσης [6].

Υποσταθμοί διανομής

Οι υποσταθμοί διανομής είναι πολύ συνηθισμένα στοιχεία του δικτύου, αφού αντιστοιχεί ένας ανά μερικές δεκάδες ή εκατοντάδες κατοικίες. Τοποθετούνται κατά την συνήθη πρακτική εναερίως πάνω σε κατασκευές που αποτελούνται από δύο κολώνες ή σε εσωτερικούς χώρους στα υπόγεια μεγάλων κτιρίων. Πρακτικά στο περιβάλλον των υποσταθμών διανομής τα ηλεκτρικά και τα μαγνητικά πεδία δημιουργούνται από τις γραμμές μέσης και χαμηλής τάσης που συνδέονται σε αυτούς και όχι από τον μετασχηματιστή. Επειδή οι γραμμές χαμηλής τάσης τροφοδοτούνται από τους υποσταθμούς αυτούς είναι αναμενόμενο το ρεύμα τους να

είναι μεγαλύτερο κοντά στον υποσταθμό από ότι μακριά από αυτόν, όπου θα έχουν υπάρξει αρκετές παροχτεύσεις. Στο περιβάλλον των υποσταθμών αναπτύσσονται μαγνητικά πεδία της τάξης των μερικών μT σε σημεία που βρίσκονται κοντά στους αγωγούς (λιγότερο από ένα ή δύο μέτρα) και εξασθενούν σε πολύ χαμηλότερα επίπεδα μερικά μέτρα πιο μακριά [6].

Υποσταθμοί υψηλής τάσης

Όπως είδαμε, υποσταθμοί ονομάζονται οι εγκαταστάσεις στις οποίες συρρέουν γραμμές διαφορετικών επιπέδων τάσεων προκειμένου να μεταφέρεται η ηλεκτρική ενέργεια από το ένα επίπεδο τάσεως στο άλλο. Έτσι υπάρχουν τα ΚΥΤ (Κέντρα Υπερψηλής Τάσης) που συνδέονται γραμμές υπερψηλής και υψηλής τάσης καθώς και υποσταθμοί υψηλής τάσης, στους οποίους συνδέονται μόνο γραμμές υψηλής τάσης (σχήμα 1.9).



Σχήμα 1.9: Φωτογραφία Κέντρου Υπερψηλής Τάσης (ΚΥΤ). [6]

Στους εξωτερικούς χώρους των υποσταθμών υψηλής τάσης και των ΚΥΤ, τα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία δημιουργούνται αποκλειστικά από τις γραμμές που συνδέονται σε αυτούς και όχι από τον εξοπλισμό τους. Από μετρήσεις που έχει διεξάγει το Γραφείο Μη Ιοντιζουσών Ακτινοβολιών της ΕΕΑΕ προέκυψε ότι στις πλευρές των υποσταθμών που δεν διέρχονται γραμμές, τα επίπεδα των ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων είναι πρακτικά τα ίδια με αυτά που θα υπήρχαν και χωρίς την παρουσία του υποσταθμού (ακόμα και πολύ κοντά στην περίφραξή του), ενώ στις άλλες πλευρές των υποσταθμών που διέρχονται γραμμές, υπάρχουν οι τυπικές τιμές των ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων στο περιβάλλον των γραμμών αυτών [9].

Γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας

Με τον όρο γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας [6, 9] εννοούμε τις εναέριες γραμμές υψηλής τάσης (συνήθως 150kV, αν και υπάρχουν και γραμμές 66kV) και υπερυψηλής τάσης (400kV), καθώς και τις υπόγειες γραμμές υψηλής τάσης. Οι γραμμές αυτές χαρακτηρίζονται ως γραμμές απλού ή διπλού κυκλώματος ανάλογα με το αν φέρουν ένα ή δύο τριφασικά κυκλώματα. Στην Ελλάδα υπάρχουν περίπου 10000km εναέριων γραμμών υψηλής και υπερυψηλής τάσης σε όλη την επικράτεια, καθώς και 200km υπόγειων γραμμών υψηλής τάσης που χρησιμοποιούνται κυρίως για την μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας εντός των κατοικημένων περιοχών.



Σχήμα 1.10: Φωτογραφίες από γραμμές υψηλής τάσης (150kV).



Σχήμα 1.11: Φωτογραφίες από γραμμές υπερυψηλής τάσης 400kV.

1.4.3.2 Χαρακτηριστικά των γραμμών μεταφοράς

Τα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία που δημιουργεί η γραμμή οφείλονται στους ρευματοφόρους αγωγούς της και μειώνονται με την αύξηση της απόστασης από αυτούς. Κατ' αυτόν τον τρόπο οι μέγιστες τιμές των ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων στις εναέριες γραμμές εμφανίζονται ακριβώς κάτω από τους αγωγούς.

Το μέγεθος του δημιουργούμενου μαγνητικού πεδίου στο περιβάλλον μιας γραμμής εξαρτάται από το ρεύμα στην γραμμή. Το μέγεθος του ρεύματος σε μία γραμμή δεν είναι σταθερό αλλά ποικίλει πολύ στη διάρκεια μιας μέρας, εμφανίζοντας ημερήσιους, εβδομαδιαίους, και ετήσιους κύκλους, προκαλώντας αντίστοιχη διακύμανση στο δημιουργούμενο μαγνητικό πεδίο. Οι μέγιστες τιμές του ρεύματος στη διάρκεια μιας μέρας και συνεπώς και οι μέγιστες τιμές του δημιουργούμενου μαγνητικού πεδίου από την γραμμή εξαρτώνται από το είδος των καταναλωτών που εξυπηρετεί η γραμμή (κατοικίες, εμπορικά καταστήματα, βιοτεχνίες, εργοστάσια, αγροτικές αρδεύσεις κλπ). Ως γενικός κανόνας, εμφανίζονται συνήθως τις μεσημβρινές ώρες κατά τους θερινούς μήνες και τις μεσημβρινές ή τις πρώτες βραδινές ώρες κατά τους χειμερινούς μήνες.

Επομένως, τα μεγέθη των παραγόμενων ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων στο περιβάλλον μιας γραμμής, πέρα από το μέγεθος των ρευμάτων και των τάσεων, εξαρτώνται και από τα ιδιαίτερα τεχνικά χαρακτηριστικά της κατασκευής της γραμμής [6, 9] όπως είναι:

- **Η διάταξη των φάσεων στις γραμμές διπλού κυκλώματος**

Ανάλογα με την διάταξη των φάσεων στις γραμμές αυτές υπάρχει η δυνατότητα να μειωθούν τα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία στο περιβάλλον τους. Πλέον, οι γραμμές υπερυψηλής τάσης στη χώρα μας, κατασκευάζονται με την βέλτιστη διάταξη φάσεων για την ελαχιστοποίηση των δημιουργούμενων πεδίων ενώ δεν ισχύει το ίδιο για τις γραμμές υψηλής τάσης.

- **Η απόσταση των αγωγών από την γη**

Όσο μικρότερη είναι η απόσταση αυτή, τόσο μεγαλύτερα είναι τα δημιουργούμενα πεδία. Καθώς οι αγωγοί μιας γραμμής αναρτώνται στους πυλώνες στήριξης, κάμπτονται από το βάρος τους και έτσι η ελάχιστη απόσταση των αγωγών από την γη εμφανίζεται συνήθως στο ενδιάμεσο μεταξύ δύο γειτονικών πυλώνων. Αντίθετα

κοντά στους πυλώνες η απόσταση των αγωγών από τη γη είναι η μέγιστη δυνατή. Λόγω της τάσεως των γραμμών υπάρχει μια ελάχιστη τηρούμενη απόσταση των αγωγών τους από οροφές κτιρίων. Αυτή είναι 7m για τις γραμμές 400kV και 5m για τις γραμμές 150kV.

- **Η απόσταση μεταξύ των ρευματοφόρων αγωγών της γραμμής**

Για παράδειγμα στη χώρα μας τμήματα γραμμών υψηλής τάσης κατασκευάζονται με συμπαγείς μονωτήρες όπου οι αποστάσεις μεταξύ των ρευματοφόρων αγωγών είναι αρκετά μικρότερες από αυτές των συνήθων γραμμών. Τα τμήματα αυτά ξεχωρίζουν εύκολα από τα υπόλοιπα λόγω της στήριξης των αγωγών σε μεταλλικούς ιστούς έναντι των γνωστών μεταλλικών πυλώνων που χρησιμοποιούνται συνήθως (σχήμα 1.12). Οι γραμμές μειωμένων διαστάσεων με ιστούς δημιουργούν πολύ μικρότερα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία από αυτές των κανονικών διαστάσεων στην περίπτωση των γραμμών απλού κυκλώματος και στην περίπτωση των γραμμών διπλού κυκλώματος με την βέλτιστη διάταξη των φάσεων.



Σχήμα 1.12: Γραμμές υψηλής τάσης με μειωμένες αποστάσεις μεταξύ ρευματοφόρων αγωγών.

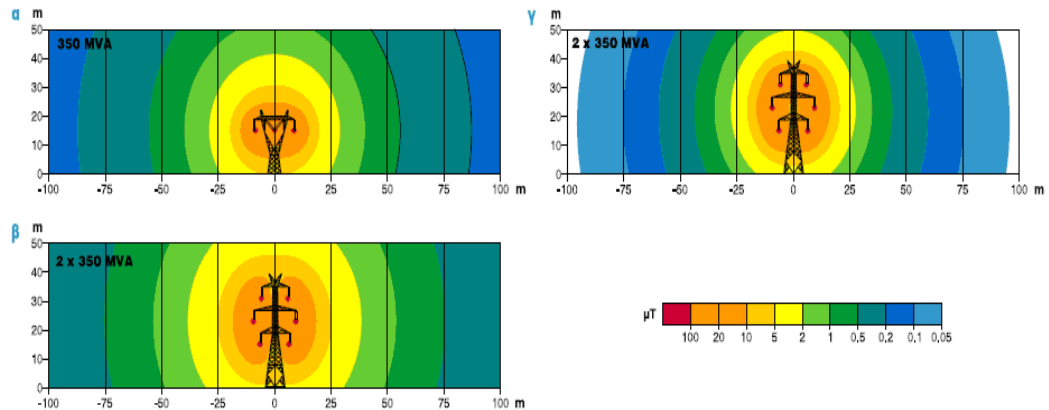
Με δεδομένους όλους αυτούς τους παράγοντες, στον ακόλουθο πίνακα 1.3 δίνονται οι μέγιστες τιμές των ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων που είναι δυνατόν να εμφανιστούν ακριβώς κάτω από μια γραμμή λαμβάνοντας υπόψη τις δυσμενέστερες συνθήκες ρευμάτων, διάταξης φάσεων και αποστάσεων (οι οποίες προκύπτουν από θεωρητικές εκτιμήσεις), καθώς και τυπικές τιμές ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων που προέκυψαν από μετρήσεις του Γραφείου Μη Ιοντιζουσών Ακτινοβολιών της ΕΕΑΕ ακριβώς κάτω και 25m παραπλεύρως από κάθε γραμμή.

		Μαγνητικό πεδίο (μT)	Ηλεκτρικό πεδίο (V/m)
Γραμμές 400 kV (μεταλλικοί πυλώνες)	Μέγιστη τιμή (κάτω από αγωγούς)	25	6000
	Τυπική τιμή (κάτω από αγωγούς)	1 – 4	2000 – 4000
	Τυπική τιμή (25m παραπλεύρως)	0,5 – 2	200 – 500
Γραμμές 150 kV (μεταλλικοί πυλώνες)	Μέγιστη τιμή (κάτω από αγωγούς)	15	2000
	Τυπική τιμή (κάτω από αγωγούς)	0,5 – 2	1000 – 2000
	Τυπική τιμή (25m παραπλεύρως)	0,1 – 0,2	100 – 300
Γραμμές 150 kV (μεταλλικοί ιστοί)	Μέγιστη τιμή (κάτω από αγωγούς)	10	1200
	Τυπική τιμή (κάτω από αγωγούς)	0,3 – 1,5	500 – 1000
	Τυπική τιμή (25m παραπλεύρως)	0,05 – 0,2	50 – 100
Γραμμές 20 kV (ξύλινες κολώνες)	Μέγιστη τιμή (κάτω από αγωγούς)	5	700
	Τυπική τιμή (κάτω από αγωγούς)	0,2 – 0,5	200
	Τυπική τιμή (25m παραπλεύρως)	0,01 – 0,05	10 – 20

Πίνακας 1.3: Τιμές ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων σε ύψος 1,5 μέτρου από το έδαφος στο περιβάλλον εναέριων γραμμών ηλεκτρικής ενέργειας.

Επίσης, στις επόμενες σελίδες της ενότητας απεικονίζονται στα σχήματα 1.13-1.18 τα αποτελέσματα προσομοιώσεων [6, 9] της μαγνητικής επαγωγής και της έντασης ηλεκτρικού πεδίου που δημιουργούνται σε γραμμές μεταφοράς υψηλής τάσης, υπερυψηλής τάσης και υπόγειων καλωδίων, με σκοπό την ανάδειξη των χαρακτηριστικών που επηρεάζουν τα χαμηλόσυχνα ηλεκτρομαγνητικά πεδία.

Γραμμές υπερυψηλής τάσης 400kV

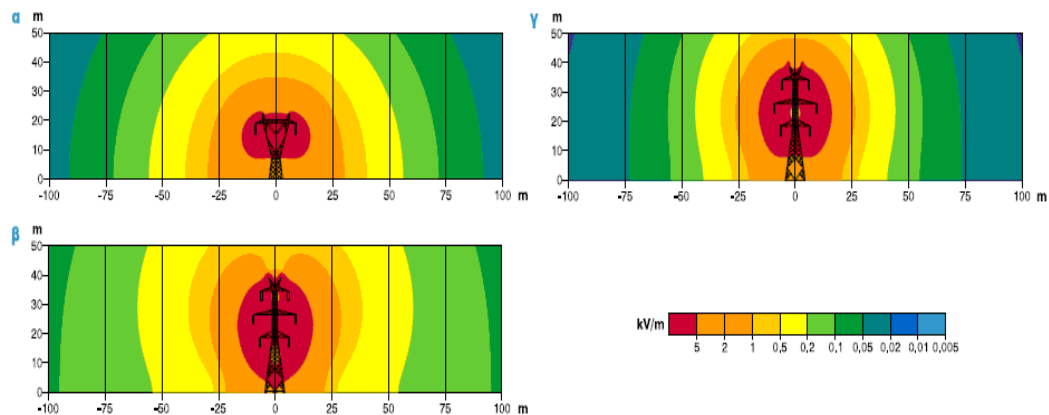


Σχήμα 1.13: Μαγνητική επαγωγή που δημιουργείται από εναέριες γραμμές 400kV του Ελληνικού Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας

α) γραμμή απλού κυκλώματος κατά την μεταφορά ισχύος 350 MVA

β) γραμμή διπλού κυκλώματος με τον παλιό τρόπο διάταξης των φάσεων κατά την μεταφορά ισχύος 700 MVA (2*350 MVA)

γ) γραμμή διπλού κυκλώματος με τον νέο τρόπο διάταξης των φάσεων κατά την μεταφορά ισχύος 700 MVA (2*350 MVA).



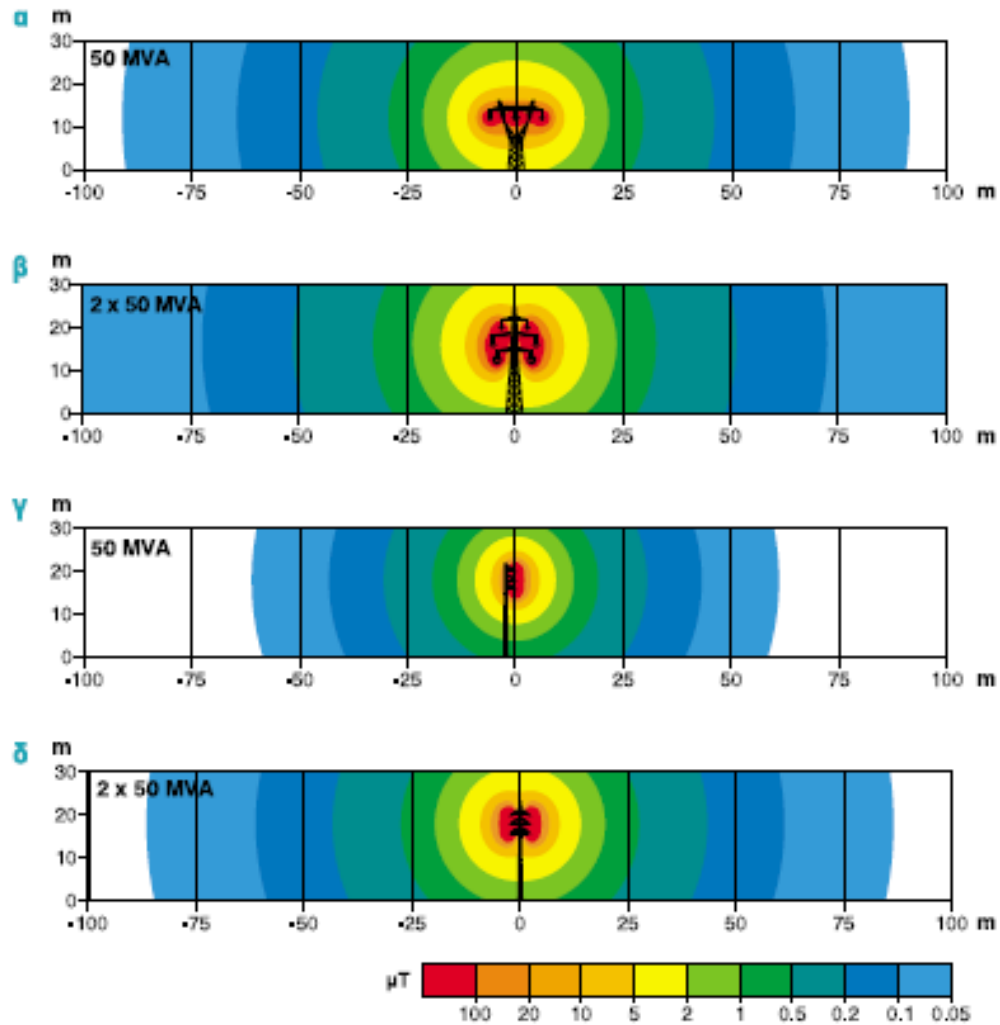
Σχήμα 1.14: Ένταση ηλεκτρικού πεδίου που δημιουργείται από εναέριες γραμμές 400kV του Ελληνικού Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας

α) γραμμή απλού κυκλώματος (ικανότητα μεταφοράς ισχύος 1400 MVA ή 2000 MVA ανάλογα με τον τύπο)

β) γραμμή διπλού κυκλώματος με τον παλιό τρόπο διάταξης των φάσεων (συνολική ικανότητα μεταφοράς ισχύος 2800 MVA)

γ) γραμμή διπλού κυκλώματος με τον νέο τρόπο διάταξης των φάσεων (συνολική ικανότητα μεταφοράς ισχύος 2800 MVA).

Γραμμές υψηλής τάσης (150kV)



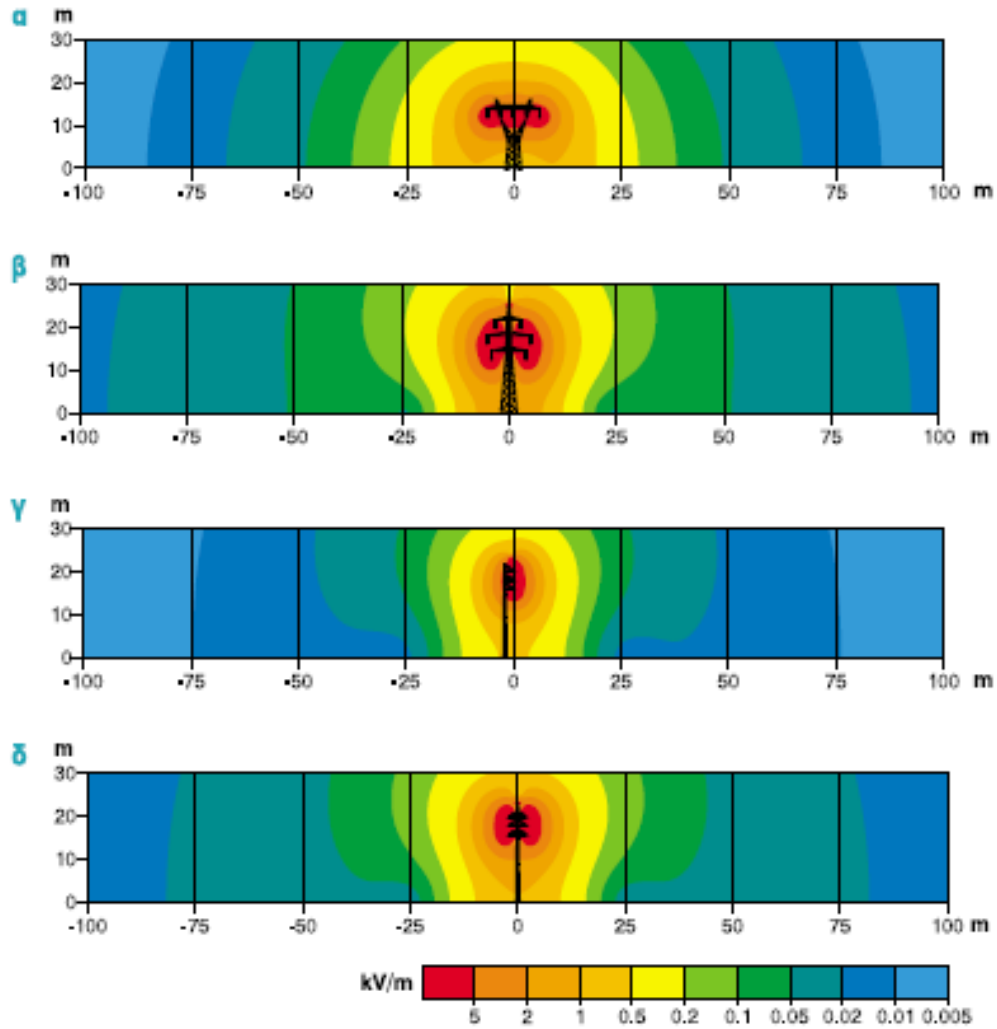
Σχήμα 1.15: Μαγνητική επαγωγή που δημιουργείται από εναέριες γραμμές 150kV του Ελληνικού Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας

α) γραμμή απλού κυκλώματος με μεταλλικά δικτυώματα κατά την μεταφορά ισχύος 50 MVA

β) γραμμή διπλού κυκλώματος με μεταλλικά δικτυώματα κατά την μεταφορά ισχύος 100 MVA(2*50 MVA)

γ) γραμμή απλού κυκλώματος με ιστούς κατά την μεταφορά ισχύος 50 MVA

δ) γραμμή διπλού κυκλώματος με ιστούς κατά την μεταφορά ισχύος 100 MVA(2*50 MVA).



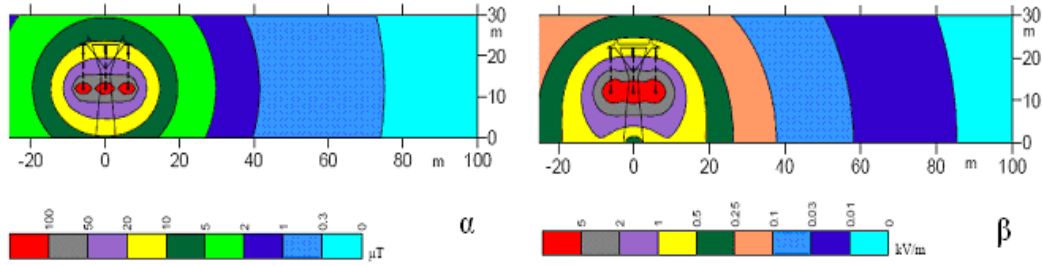
Σχήμα 1.16: Ένταση ηλεκτρικού πεδίου που δημιουργείται από εναέριες γραμμές 150kV του Ελληνικού Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας

α) γραμμή απλού κυκλώματος με μεταλλικά δικτυώματα (ικανότητα μεταφοράς ισχύος 138 MVA ή 202 MVA ανάλογα με τον τύπο)

β) γραμμή διπλού κυκλώματος με μεταλλικά δικτυώματα (συνολική ικανότητα μεταφοράς ισχύος 404 MVA)

γ) γραμμή απλού κυκλώματος με ιστούς (ικανότητα μεταφοράς ισχύος 138 MVA ή 202 MVA ανάλογα με τον τύπο)

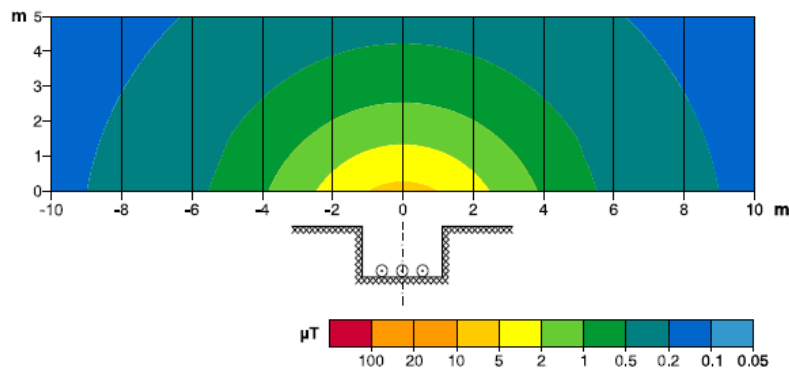
δ) γραμμή διπλού κυκλώματος με ιστούς (συνολική ικανότητα μεταφοράς ισχύος 404 MVA).



Σχήμα 1.17. Θεωρητικά υπολογιζόμενα πεδία γραμμής 150kV, απλού κυκλώματος (μέγιστη φόρτιση): α) Μαγνητικό Πεδίο (B)
β) Ηλεκτρικό Πεδίο (E)

Υπόγεια καλώδια

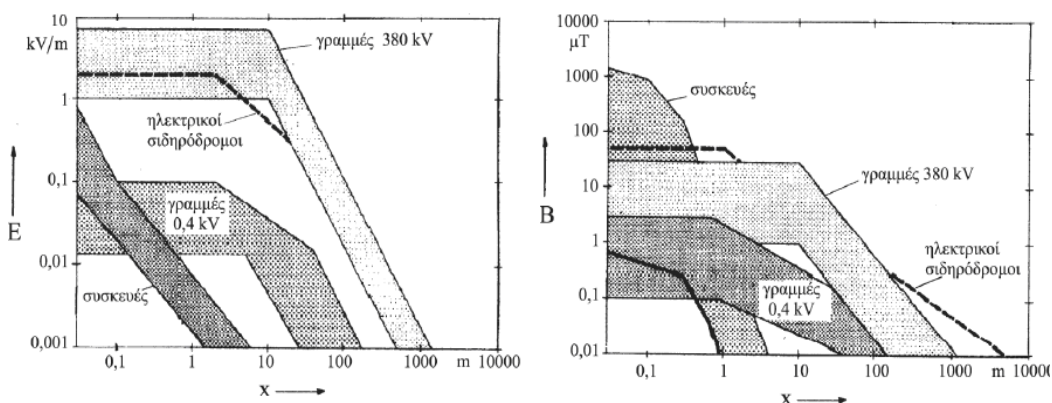
Εντός αστικών περιοχών, καλώδια υψηλής τάσης τοποθετούνται υπογείως σε βάθος της τάξης του ενός με δύο μέτρων κάτω από δρόμους και πεζοδρόμια. Στα υπόγεια καλώδια οι ρευματοφόροι αγωγοί είναι μονωμένοι και έτσι μπορούν να τοποθετηθούν πολύ κοντά ο ένας στον άλλο, δημιουργώντας έτσι μικρότερα πεδία σε σχέση με τις αντίστοιχες διατάξεις εναέριων γραμμών. Παρόλα αυτά, στα σημεία που βρίσκονται ακριβώς πάνω τους δημιουργούνται σημαντικά μαγνητικά πεδία (σχήμα 1.18), τα οποία όμως φθίνουν πολύ γρηγορότερα με την απόσταση σε σχέση με αυτά που δημιουργούνται από αντίστοιχες εναέριες γραμμές. Τα υπόγεια καλώδια δεν παράγουν ηλεκτρικά πεδία στις θέσεις που βρίσκονται οι άνθρωποι [6].



Σχήμα 1.18: Μαγνητική επαγωγή υπόγειου καλωδίου 150kV κατά τη μεταφορά ισχύος 50 MVA.

1.4.4 Σύγκριση χαμηλόσυχνων πεδιακών πηγών

Το σχήμα 1.19 [8] δείχνει τις περιοχές των πεδιακών εντάσεων στο περιβάλλον διαφόρων πηγών έτσι ώστε να είναι δυνατή τόσο η σύγκριση των πεδίων διαφορετικών πηγών όσο και η σύγκριση των τιμών των πεδίων με τις επιτρεπόμενες οριακές τιμές.



Σχήμα 1.19: Πεδιακές εντάσεις διαφόρων πηγών ως συνάρτηση της απόστασης x από τον άξονα των πηγών. Για εναέριες γραμμές και σιδηροδρόμους τα πεδία αναφέρονται σε ύψος 1m από το έδαφος και σε απόσταση x από τον άξονα της εναέριας γραμμής.

Από το παραπάνω σχήμα αλλά και από τη σύγκριση προηγούμενων δεδομένων (πίνακες και σχήματα) που αναφέρθηκαν σε αυτό το κεφάλαιο, προκύπτει ότι οι γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας και οι υποσταθμοί υψηλής τάσεως, οι οποίες προκαλούν συχνά ανησυχίες λόγω των μεγάλων διαστάσεων τους, δεν προκαλούν πάντα τις μεγαλύτερες πεδιακές εντάσεις, σε σχέση με τις πεδιακές εντάσεις άλλων πηγών (π.χ. ηλεκτρικών συσκευών).

Επομένως, θα πρέπει η κοινή γνώμη να λαμβάνει περισσότερο υπόψιν της, τις μικρές ηλεκτρικές συσκευές που βρίσκονται στα σπίτια ή στους εργασιακούς χώρους και χρησιμοποιούνται σε κοντινή απόσταση από τον άνθρωπο παρά τα εξωτερικά τμήματα του δικτύου μεταφοράς.

Κεφάλαιο 2

ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ

Το ζήτημα της επιδράσεως των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων στον ανθρώπινο οργανισμό αποτελεί σήμερα έναν τομέα έρευνας σχετικά νέο, αφού μόνον κατά την τελευταία 15ετία μπορεί κανείς να ομιλήσει περί συντεταγμένων προσπαθειών, ενώ ακόμη και σήμερα ορισμένοι "πιονιέροι" της επιστήμης προσπαθούν να ξετυλίξουν τον "μίτο της Αριάδνης". Οι "εμβρυϊκές" ερευνητικές προσπάθειες -οι οποίες επικεντρώθηκαν κυρίως στα ηλεκτρομαγνητικά πεδία χαμηλής συχνότητας, συνυφασμένα με γραμμές μεταφοράς ρεύματος υψηλής τάσεως- δεν μπορούν να θεωρηθούν ως παρέχουσες αποτελέσματα καταληκτικά. Ωστόσο, καταδεικνύουν ότι "κάτι τρέχει" και δημιουργούν στους επιστήμονες βάσιμες ανησυχίες, κυρίως σε ότι αφορά την αυξημένη συχνότητα εμφανίσεως μορφών καρκίνου (κυρίως λευχαιμίας).

2.1 Οι πρώτες έρευνες

Το ηλεκτρικό ρεύμα πρωτοχρησιμοποιήθηκε για το φωτισμό μιας πόλης από τον Έντισον το 1879 και από τότε, για σχεδόν 130 χρόνια, οι άνθρωποι ζουν «κοντά» στο ηλεκτρικό ρεύμα. Μέχρι το 1974 το ρεύμα θεωρείτο αθώο και αβλαβές καθώς έμοιαζε απίθανη η σκέψη ότι τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία (ΗΜΠ) που προέρχονταν από καθετί ηλεκτρικό, από καλώδια έως κουβέρτες, θα μπορούσαν να αποβούν επιβλαβή για τον άνθρωπο. Αυτό συνέβαινε γιατί τα ΗΜΠ με τα οποία ο περισσότερος κόσμος έρχεται σ' επαφή είναι μάλλον αδύναμα αλλά και το ηλεκτρικό πεδίο που επάγεται μέσα στο ανθρώπινο σώμα είναι πολύ μικρό, συγκρίσιμο με αυτό που φυσιολογικά παράγουν κάποια κύτταρα. Έτσι οι επιστήμονες είχαν καθησυχαστεί ότι τα ΗΜΠ αυτού του είδους ήταν ακίνδυνα.

2.1.1 Η ιστορία των Βέρτχαϊμερ και Μπέκερ

Όμως, πρώτοι οι Ρώσοι, το 1960, ανέφεραν ποικίλα προβλήματα υγείας (αφορούσαν πονοκεφάλους, ναυτίες και γενικά εξασθένηση του οργανισμού) σε εργαζόμενους που ασχολούνταν με την ηλεκτρική ενέργεια αλλά το θέμα ουσιαστικά ανακινήθηκε από μια σειρά επιδημιολογικών ερευνών που δημοσιεύθηκαν στις αρχές της δεκαετίας του '80. Τότε ένας αριθμός ερευνητών βρήκε αυξημένο κίνδυνο καρκίνου

για παιδιά που ζούσαν κοντά σε ηλεκτρικά καλώδια και για άνδρες των οποίων τα επαγγέλματα απαιτούσαν έκθεση σε ασυνήθιστα αυξημένα επίπεδα ΗΜΠ. Την αρχική αυτή ανακάλυψη του προβλήματος των βιολογικών επιπτώσεων από τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία χαμηλής συχνότητας την οφείλουμε κυρίως σε δύο ανθρώπους: στη Νάνσι Βέρτχαιμερ [10, 11] (Nancy Wertheimer) και στον Ρόμπερτ Μπέκερ [10] (Robert Becker).

Η Νάνσι Βέρτχαιμερ ήταν μια Αμερικανίδα γιατρός με διδακτορικό δίπλωμα από το Πανεπιστήμιο του Χάρβαρντ. Το 1968 το αμερικανικό υπουργείο Υγείας της πρόσφερε ένα κονδύλι, για να κάνει μια επιδημιολογική έρευνα πάνω στην παιδική λευχαιμία σε σχέση με το ρόλο της ηλικίας της μητέρας και της εποχής γέννησης του παιδιού. Η Βέρτχαιμερ δεν δέχτηκε να την κάνει αλλά έξι χρόνια αργότερα, το 1974, αποφάσισε να κάνει την έρευνα με δικά της λεφτά. Έτσι, άρχισε να επισκέπτεται τα σπίτια, στο Ντένβερ του Κολοράντο, όπου έκανε την έρευνα, στα οποία υπήρχαν θάνατοι παιδιών από λευχαιμία.

Χάρη στην οξυδέρκεια και την επιμέλεια της, η Βέρτχαιμερ ανακάλυψε ότι οι παιδικές λευχαιμίες που ερευνούσε οφείλονταν σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία, τα οποία προέρχονταν από τα ηλεκτρικά σύρματα που τροφοδοτούσαν τα σπίτια στα οποία υπήρχαν οι θάνατοι από λευχαιμία. Το ξεκίνημα έγινε από την παρατήρηση της Βέρτχαιμερ, ότι κοντά στα σπίτια αυτά υπήρχαν μετασχηματιστές. Στη συνέχεια ανακάλυψε ότι οι λευχαιμίες δεν οφείλονταν στους μικρούς μετασχηματιστές της γειτονιάς (οι οποίοι δεν δημιουργούσαν σημαντικό ηλεκτρομαγνητικό πεδίο), αλλά στα σύρματα που τροφοδοτούσαν το πρώτο και το δεύτερο σπίτι μετά το μετασχηματιστή, τα οποία είχαν ρεύμα μεγάλης έντασης, μέχρις ότου διακλαδωθούν στα υπόλοιπα σπίτια του τετραγώνου. Για να κάνει τις μετρήσεις του μαγνητικού πεδίου έξω από τα σπίτια αυτά η Βέρτχαιμερ ζήτησε τη βοήθεια ενός γνωστού της φυσικού, του Εντ Λίπερ (Ed Leeper), με τον οποίο στη συνέχεια συνεργάστηκε στην επιδημιολογική μελέτη.

Το Μάρτιο του 1979 η N. Wertheimer και ο Ed. Leeper πρωτοανέφεραν συσχέτιση μεταξύ του καρκίνου της παιδικής ηλικίας (ιδιαίτερα λευχαιμία, λεμφώματα, όγκοι του νευρικού συστήματος) και των υψηλών εκθέσεων σε ΗΜΠ, όπως την εκτίμησαν με βάση το μέγεθος των καλωδίων, την απόσταση από το σπίτι, την απόσταση από την πηγή παραγωγής του ηλεκτρικού ρεύματος κλπ. Συνέκριναν τις περιπτώσεις 344

παιδιών στο Colorado που πέθαναν από καρκίνο τη χρονική περίοδο 1950 - 73 με αυτές αναλόγου αριθμού υγιών παιδιών της ίδιας ηλικίας. Το αποτέλεσμα ήταν ότι τα πρώτα είχαν 2 - 3 φορές μεγαλύτερο κίνδυνο. Ακόμη, είναι σημαντική η διαπίστωση ότι οι λευχαιμίες των παιδιών της έρευνας της Βέρτχαϊμερ προκαλούνταν από μαγνητικά πεδία που είχαν ένταση μόνο 2 μέχρι 4 μιλιΓκάους.

Όμως χρειάστηκαν δέκα χρόνια για να γίνει αποδεκτή η μελέτη της Βέρτχαϊμερ, ύστερα από την κοινοποίηση μιας ανάλογης μελέτης που έγινε από το γιατρό-ερευνητή Δρα Ντέιβιντ Σάβιτς [10, 11] (David Savitz), η οποία είχε στόχο να διαψεύσει τη μελέτη της Βέρτχαϊμερ, που, όμως, στην πορεία της κατέληξε να επιβεβαιώσει τα συμπεράσματά της.

Έτσι, το 1988 ανακοινώθηκαν τ' αποτελέσματα της μελέτης του D. Savitz που πραγματοποιήθηκε στο Denver, Colorado τη χρονική περίοδο 1976 - 83 με σκοπό να διερευνήσει τη σχέση μεταξύ της έκθεσης σε μαγνητικά πεδία στη κατοικία και της ανάπτυξης καρκίνου στα παιδιά. Εξέτασε τις περιπτώσεις 365 παιδικών καρκίνων και υπολόγισε το σχετικό κίνδυνο περίπου σε 1,5. Αν και βρήκε μικρότερο σχετικό κίνδυνο σε σχέση με προγενέστερες μελέτες, η έρευνά του απέκτησε μεγαλύτερη αξιοπιστία γιατί έκανε στατιστικές αναλύσεις προκειμένου να απαλείψει συγχυτικούς παράγοντες όπως το κοινωνικοοικονομικό επίπεδο και το κάπνισμα των μητέρων κατά τη διάρκεια της κύησης. Ο κίνδυνος ήταν ιδιαίτερα αυξημένος για τις λευχαιμίες και τους όγκους του εγκεφάλου. Ο Savitz πραγματοποίησε τόσο επιτόπιες στιγμιαίες μετρήσεις όσο και υπολογισμούς της έκθεσης με βάση τον τύπο των καλωδιώσεων. Ο ίδιος θεωρεί το δεύτερο παράγοντα ως αντιπροσωπευτικότερο για την μακροπρόθεσμη έκθεση του παιδιού στα ΗΜΠ.

Όμοια, ένας Αμερικανός ορθοπεδικός χειρουργός, ο Ρόμπερτ Μπέκερ ήρθε αντιμέτωπος με τις επιδράσεις των χαμηλόσυχνων ΗΜ πεδίων. Η ιστορία του ξεκινάει το έτος 1956 όπου έγινε διευθυντής της ορθοπεδικής κλινικής στο Νοσοκομείο Διοίκησης των Παλαιμάχων, στην πόλη Σίρακιουζ της πολιτείας της Νέας Υόρκης. Εκεί άρχισε να ερευνά το ρόλο του ηλεκτρικού ρεύματος στην επούλωση τραυμάτων και στη συγκόλληση των οστών έπειτα από κάταγμα. Τη δεκαετία του 1960 ο Μπέκερ μελετώντας τις επιπτώσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας πάνω στον άνθρωπο έρχεται στο συνταρακτικό συμπέρασμα (που είχε ήδη επισημανθεί και από Σοβιετικούς επιστήμονες) πως η ηλεκτρομαγνητική

ακτινοβολία προκαλούσε στρες στον άνθρωπο, πράγμα που είχε ως συνέπεια την εξασθένηση του συστήματος ανοσίας του.

Το 1973 το αμερικανικό Πολεμικό Ναυτικό προσκαλεί τον Μπέκερ να γίνει μέλος μιας επιτροπής για τη μελέτη των βιολογικών επιπτώσεων από την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία εξαιρετικά χαμηλής συχνότητας. Η έκθεση της επιτροπής κατέληγε στο συμπέρασμα ότι υπάρχουν σοβαρές βιολογικές επιπτώσεις από την ακτινοβολία των ELF και συνιστούσε «επείγουσες και απολύτως απαραίτητες» περαιτέρω μελέτες πάνω στο πρόβλημα. Μάλιστα, συνιστούσε να ενημερωθεί ο Αμερικανός πρόεδρος «για τα θετικά ευρήματα (σ.σ. δηλαδή της ύπαρξης προβλήματος) της επιτροπής και την πιθανή τους σημασία, εάν επαληθευθούν με περαιτέρω μελέτες, για μεγάλα τμήματα του πληθυσμού των ΗΠΑ, τα οποία κινδυνεύουν από ηλεκτρομαγνητικά πεδία 60 Hz από γραμμές υψηλής τάσης και άλλες πηγές 60 Hz». Το αμερικανικό Πολεμικό Ναυτικό, ως αναμενόταν, καταχώνιασε την έκθεση της επιτροπής. Όμως, ο Μπέκερ με την ευκαιρία μιας επικείμενης κατασκευής μιας γραμμής υψηλής τάσης στην περιοχή που ζούσε, βγαίνει και αποκαλύπτει τα συμπεράσματα της έκθεσης ενώ σε συνεργασία με ένα Βρετανό ερευνητή, τον Στίβεν Πέρι (Stephen Perry), αποδεικνύει για πρώτη φορά ότι υπάρχει σχέση ανάμεσα στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και τον αριθμό των αυτοκτονιών ατόμων που ζουν κοντά σε τέτοια ακτινοβολία.

2.1.2 Οι πρώτες διεθνείς επιδημιολογικές μελέτες

Έτσι, λοιπόν, μετά την αποκάλυψη των παραπάνω επιστημόνων καταρρίπτεται η άποψη πως τα πεδία συχνότητας 50-60 Hz δεν έχουν ιονικές ή θερμικές επιδράσεις και είναι ακίνδυνα για τον ανθρώπινο οργανισμό. Μια σειρά όμως από μελέτες που έγιναν τα μετέπειτα χρόνια κατέγραψαν μια σειρά παρενεργειών που συσχετιζόνταν με την μακροχρόνια έκθεση σε αυτές τις ακτινοβολίες.

Αναφέρουμε ενδεικτικά ορισμένες Διεθνείς επιδημιολογικές έρευνες [10-13] σχετικά με τις επιπτώσεις στην υγεία από το ηλεκτρομαγνητικά πεδία χαμηλής συχνότητας:

- Το 1985, μια έρευνα του Miham που έγινε στην πολιτεία Maryland των ΗΠΑ, σε εργαζόμενους σε ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις από το 1969 μέχρι το 1982, έδειξε μια σχετική αύξηση των θανάτων από καρκίνο στον εγκέφαλο μεταξύ των εργαζομένων

- Το 1989 η G. Matanoski ανακοίνωσε τα αποτελέσματα της δικής της έρευνας στην οποία περιλαμβάνονταν 50.582 άρρενες υπάλληλοι της τηλεφωνικής εταιρίας της Νέας Υόρκης. Το αποτέλεσμα εντυπωσίασε κυρίως γιατί βρήκε σχέση δόσης - αποτελέσματος. Συγκεκριμένα, μέτρησε τη μέση έκθεση στα μαγνητικά πεδία στις διάφορες ειδικότητες των υπαλλήλων και τους κατέταξε με βάση αυτή με πρώτους τους συγκολλητές καλωδίων (cable splicers). Αυτοί είχαν δύο φορές μεγαλύτερο κίνδυνο να αντιμετωπίσουν οποιαδήποτε μορφή καρκίνου σε σύγκριση με τους υπαλλήλους που δεν εργάζονταν στις τηλεφωνικές γραμμές, επτά φορές τον κίνδυνο για λευχαιμία και αυξημένη συχνότητα καρκίνου του γαστρεντερικού, προστάτη, μαστού και εγκεφάλου. Τα ποσοστά του καρκίνου μειώνονταν σχετικά προς την έκθεση.
- Σε άρθρο του Πολ Μπροντέρ στο New Yorker, της 9ης Ιουλίου 1990, αναφέρεται μια περίπτωση ομαδικών καρκίνων στην οδό Μέντουου στην πόλη Γκίλφορντ στο Κονέκτικατ της Αμερικής που οφείλονταν σε υποσταθμούς που δημιουργούσαν έντονα ηλεκτρομαγνητικά πεδία. Συγκεκριμένα, μέσα σε είκοσι χρόνια στους κατοίκους του συγκεκριμένου δρόμου παρουσιάστηκαν επτά περιπτώσεις καρκίνου: 4 στον εγκέφαλο, 1 στα μάτια, 1 στις ωθήκες και 1 στο μυελό των οστών. Οι δρόμος έχει μόνο 9 σπίτια. Οι καρκίνοι παρουσιάστηκαν σε πέντε συνεχόμενα σπίτια που ήταν κοντά σε έναν υποσταθμό και δίπλα από μια γραμμή διανομής 115.000 βολτ. Μετρήσεις που έγιναν επί τόπου, στο φράκτη του χώρου του υποσταθμού, έδειξαν ένταση του μαγνητικού πεδίου από 20 μιλιΓκάους μέχρι πολλές εκατοντάδες μιλιΓκάους.
- Η επιδημιολογική έρευνα του J. Peters ανακοινώθηκε στις 7/2/91 και δεν βρήκε σχέση μεταξύ της λευχαιμίας και της μετρημένης έκθεσης και σχέση μεταξύ της 24ωρης μέτρησης και του κινδύνου για λευχαιμία. Βρήκε ωστόσο σημαντική σχέση μεταξύ αυτής και του τύπου της καλωδίωσης (σχετικός κίνδυνος: 2,5). Συγκεκριμένα, ο J. Peters μελέτησε 232 περιπτώσεις παιδικής λευχαιμίας στην περιοχή του Los Angeles την χρονική περίοδο 1980 - 87. Τα παιδιά ήταν ως 10 ετών. Συγχρόνως μελέτησε ισάριθμο πληθυσμό παιδιών της ίδιας ηλικίας, φυλής και φύλου σαν πληθυσμό αναφοράς. Η μέθοδος του περιελάμβανε: 1) μετρήσεις των ΗΜΠ για 24 - 72 ώρες μέσο στο υπνοδωμάτιο του παιδιού, 2) στιγμιαίες επιτόπιες μετρήσεις μέσα κι έξω από το σπίτι και 3) υπολογισμό της έκθεσης με βάση τον

τύπο των καλωδιώσεων. Επίσης συνέλεξε πληροφορίες σχετικές με παράγοντες που θα μπορούσαν να προκαλέσουν ή να προάγουν τον καρκίνο όπως ιατρικό ιστορικό παιδιού και γονέων, επαγγελματικό ιστορικό γονέων, ιστορικό κατοικίας. Τέλος, ο Peters μελέτησε επίσης τη σχέση της χρήσης 13 ηλεκτρικών συσκευών από τα παιδιά με λευχαιμία. Σημαντικό αποτέλεσμα προέκυψε για την μαυρόασπρη TV και τους στεγνωτήρες μαλλιών.

- Το 1993, μια επιδημιολογική έρευνα από τον Feychting του Ινστιτούτου της Καρολίνσκα (Σουηδία) σε 400000 ανθρώπους που έζησαν επί ένα χρόνο τουλάχιστον από το 1960 μέχρι το 1985 δίπλα από γραμμές υψηλής τάσης, έδειξε μια σχετική αύξηση των περιπτώσεων λευχαιμίας σε μαγνητικά πεδία 0.2 μT και πάνω.
- Το Εθνικό Συμβούλιο Έρευνας των ΗΠΑ δημοσίευσε το 1996 τα συμπεράσματά του από την εξέταση περίπου 500 εργασιών 17 ετών σχετικά με την ενδεχόμενη επίδραση των πεδίων στην υγεία. Συμμετείχαν διακεκριμένοι επιστήμονες της Ιατρικής, του περιβάλλοντος της Ηλεκτρολογίας, της Γενετικής, της Βιολογίας, της Δημόσιας Υγείας, της Ογκολογίας κ.ά. Προέκυψε ότι δεν υπάρχουν πειστικά στοιχεία, ότι τα ηλεκτρικά και τα μαγνητικά πεδία που συναντώνται στα σπίτια παίζουν κάποιο ρόλο στην ανάπτυξη καρκίνου, σε αναπαραγωγικές και αναπτυξιακές ανωμαλίες ή σε προβλήματα μάθησης και συμπεριφοράς.
- Σύμφωνα με έκθεση που δημοσίευσε τον Ιούλιο του 1997 ο M.Linet για λογαριασμό του Εθνικού Καρκινολογικού Ινστιτούτου (N.C.I.) των ΗΠΑ, προκύπτει συσχέτιση μεταξύ χρόνιας έκθεσης (ενδεικτικός χρόνος 8 ώρες ημερησίως) σε ΗΜΠ έντασης άνω των 0,3 μT και νευρικής κατάθλιψης, λόγω διαταραχής των ιόντων ασβεστίου εντός των νευρικών κυττάρων. Επίσης, η έκθεση αποκλείει ένα μόνον τύπο παιδικής λευχαιμίας, ενώ γενικότερα αποδεικνύει ότι στα 0,2 μικροτέσλα υπάρχει αύξηση - μικρού επιπέδου σημαντικότητας, της τάξεως του 52% - η οποία καθίσταται σημαντικότερη (72%) στα 0,3 μικροτέσλα, και σαφέστατη (600%) μεταξύ 0,4 και 0,5 μικροτέσλα.

2.2 Πειραματικές έρευνες σε ζωικούς οργανισμούς

Από τις πρώτες φορές αναφορές που έκαναν λόγο για επίδραση των χαμηλόσυχνων πεδίων στα ζώα ήταν τον Ιούνιο του 1983 στο Μπόουλντερ του Κολοράντο στο ετήσιο Διεθνές Συνέδριο της Βιοηλεκτρομαγνητικής Εταιρείας (Bioelektromagnetics Society - διεθνής οργανισμός επιστημόνων που ασχολείται με τις βιολογικές επιδράσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας). Εκεί, κάποιοι ερευνητές ανακοίνωσαν, ότι τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία των 50/60 Hz μπορούν να προκαλέσουν βλάβες στα χρωματοσώματα των κυττάρων του σπέρματος των ποντικών, δίνοντας το έναυσμα για περισσότερη μελέτη των εκτεθειμένων ζωικών οργανισμών.

2.2.1 Ζωικές έρευνες καρκινογένεσης

Κυρίως την τελευταία δεκαετία, έχουν δημοσιευθεί δεκάδες έρευνες, που εξέτασαν καρκίνο σε ζώα, που εκτέθηκαν σε βιομηχανική συχνότητα ισοβίως, ή κατά το μεγαλύτερο μέρος της ζωής τους. Αυτές οι έρευνες δεν έχουν βρει κανένα στοιχείο, ότι τα πεδία χαμηλής συχνότητας προκαλούν οποιουσδήποτε συγκεκριμένους τύπους καρκίνου σε αρουραίους ή τα ποντίκια. Οι τύποι καρκίνου, που έχουν αξιολογηθεί περιλαμβάνουν:

- Συνολικός καρκίνο
- Λευχαιμία
- Λέμφωμα
- Καρκίνος πνευμόνων
- Καρκίνος δέρματος
- Καρκίνος μαστού
- Καρκίνος εγκεφάλου

Κάποιες από τις πιο γνωστές εργαστηριακές έρευνες των τελευταίων χρόνων είναι οι εξής :

- 1991: Ο Beniashvili [14] ανέφερε ότι έκθεση ποντικών σε 20 μT , για δύο έτη, προκάλεσε αυξημένο ρυθμό ανάπτυξης των μαστικών όγκων. Ωστόσο, η έρευνα έχει

αναφερθεί μόνο σε προκαταρκτική μορφή, με ελλείψεις πληροφορίες για τις συνθήκες έκθεσης και το πειραματικό σχήμα.

- 1993: Ο Rannug [15] ανέφερε ότι έκθεση ποντικών σε πεδία 50 και 500 μT , για 2 έτη, δεν αύξησε σημαντικά τον ρυθμό ανάπτυξης των όγκων δέρματος και πνευμόνων, ή της λευχαιμίας.
- 1997: Ο Yasui [16] ανέφερε την απουσία αυξημένης εμφάνισης καρκίνου και θνησιμότητας σε αρσενικούς και θηλυκούς αρουραίους, μετά από δύο έτη έκθεσης σε πεδία 50 Hz, 500 και 5000 μT . Εκτός από την απουσία αλλαγής στα ολικά ποσοστά καρκίνου, δεν βρήκαν ουδεμία διαφορά στα ποσοστά μεμονωμένων τύπων καρκίνου, συμπεριλαμβανομένης της λευχαιμίας, του λεμφώματος, των καρκίνων εγκεφάλου και μαστού.
- 1997: Ο Mandeville [16] ανέφερε ότι δύο έτη έκθεσης θηλυκών αρουραίων σε πεδία 60 Hz, εντάσεων 2, 20, 200 ή 2000 μT , δεν είχαν ουδεμία επίδραση στην επιβίωση, την ρυθμό ανάπτυξης λευχαιμίας, καρκίνου μαστού ή την εμφάνιση άλλου στερεού όγκου. Εκτός από την απουσία γενικής αλλαγής στην ρυθμό ανάπτυξης επιβίωσης ή καρκίνου, ο Mandeville δεν βρήκε κανένα στοιχείο για οποιεσδήποτε τάσεις, σχετικές με την δόση, την επιβίωση ή την επίδραση καρκίνου.
- 1998-2004: Ο Harris [17] διαπίστωσε ότι 1,5 έτη έκθεσης ποντικών, επιρρεπών σε λέμφωμα, σε πεδία 50 Hz, εντάσεων 1, 100 ή 1000 μT , δεν είχαν ουδεμία επίδραση στον ρυθμό ανάπτυξης λεμφώματος. Επιπλέον των ελέγχων συνεχούς έκθεσης, ο Harris έδειξε επίσης ότι έκθεση ποντικών σε διακοπτόμενα (15 min ON, 15 min. OFF) πεδία 1000 μT , δεν είχε ουδεμία επίδραση στο λέμφωμα. Παρόμοια αποτελέσματα στον ρυθμό ανάπτυξης, αναφέρθηκαν από τους Mc-Cormick και Sommer και Lerchi.
- 1999: Το Εθνικό Πρόγραμμα Τοξικολογίας (NTP) των ΗΠΑ, ανέφερε ότι δύο έτη έκθεσης ποντικών (McCormick [18]) και αρουραίων (Boorman [19]) σε πεδία 60 Hz, εντάσεων 2, 200 ή 1000 μT , δεν είχαν ουδεμία επίδραση στην επιβίωση ή στην ρυθμό ανάπτυξης καρκίνου. Εκτός από την δοκιμή της συνεχούς έκθεσης, το NTP έδειξε ότι η έκθεση σε διακοπτόμενα (1 h ON – 1 h OFF) πεδία των 1000 μT , δεν είχε ουδεμία επίδραση εμφάνισης καρκίνου. Δεν παρατηρήθηκε κανένα αποτέλεσμα σε καθολικό καρκίνο, λευχαιμία, καρκίνο εγκεφάλου, λέμφωμα ή καρκίνο του μαστού, και δεν βρέθηκαν τάσεις για σχέση έκθεσης–αντίδρασης.

- 2001: Ο Vellejo [20] ανέφερε ότι η έκθεση ποντικών για 15 ή 52 εβδομάδες σε πεδίο 50 Hz, 15 μ T, οδήγησε σε μία σημαντική αύξηση λευχαιμίας.

2.2.2 Μελέτες μετάλλαξης και γενοτοξικότητας ζωικών οργανισμών

Οι έρευνες έκθεσης ολόκληρων οργανισμών, μπορεί να είναι σχετικές με την καρκινογόνο δυνατότητα, ακόμα και όταν το τελικό αποτέλεσμα δεν είναι καρκίνος. Η δυνατότητα ενός παράγοντα να προκαλέσει μεταλλάξεις ή παρεκκλίσεις χρωμοσωμάτων σε έναν οργανισμό, είναι ένδειξη ότι ο παράγοντας είναι γενοτοξικός, και ως εκ τούτου ενδεχομένως καρκινογόνος. Αυτές οι έρευνες περιλαμβάνουν :

- 1998: Ο Kikuchi [21] ανέφερε ότι έκθεση μυγών φρούτων σε πεδία εντάσεως 500 ή 5000 μ T για 40 γενεές, δεν είχε ουδεμία επίδραση στον ρυθμό μετάλλαξης.
- 2001: Οι Abramsson - Zetterberg και J. Grawé [22] δεν βρήκαν κανένα στοιχείο τραυματισμού χρωμοσωμάτων σε ενήλικα ή εμβρυϊκά ποντίκια, που εκτέθηκαν για 18 ημέρες σε πεδία βιομηχανικής συχνότητας, εντάσεως 14 μ T.
- 2004: Οι Heredia-Rojas [23] ανέφεραν ότι έκθεση ποντικών σε πεδία 2.000 μ T, 60 Hz (24 h/ημέρα για 3 ημέρες ή 8 h/ημέρα για 10 ημέρες) δεν παρουσίασαν καταστροφή χρωμοσωμάτων των κυττάρων του σπέρματός τους.

Οι μόνες θετικές αναφορές γενοτοξικότητας, ερευνών ολόκληρων οργανισμών, είναι διαρρήξεις σκελών DNA αρουραίων και ποντικών, που είχαν εκτεθεί σε πεδία 10-500 μ T. Είναι δύσκολο να καθορίσουμε την βαρύτητα αυτών των μελετών ως προς την αξιολόγηση της επικινδυνότητας για καρκίνο, για αρκετούς λόγους:

- Το 2002, ο McNamee [24] ανέφερε ότι δεν βρήκε κανένα στοιχείο για τέτοιο γενοτοξικό τραυματισμό εγκεφαλικών κυττάρων νεαρών ποντικών, που είχαν εκτεθεί σε πεδία 1000 μ T.
- Επτά από οκτώ προσπάθειες ανιχνεύσεως διαρρήξεων σκέλους DNA, μετά την έκθεση καλλιέργειας κυττάρων θηλαστικών σε πεδία βιομηχανικής συχνότητας, απέτυχαν να παρουσιάσουν οποιαδήποτε σημαντική αύξηση.
- Τέλος, τέσσερις διαφορετικές ομάδες (Yasui [16], McCormick [18], Boorman [19], Kharazi [25]) έχουν διαπιστώσει ότι παρατεταμένη (σχεδόν ισόβια) έκθεση τρωκτικών σε πολύ έντονα πεδία βιομηχανικής συχνότητας, δεν προκαλεί καρκίνο

εγκεφάλου. Αυτό υπονοεί ότι οι αναφορές θραύσεως σκελών DNA είναι είτε πειραματικό κατασκεύασμα, ή ότι οι θραύσεις σκελών DNA δεν έχουν οποιεσδήποτε μακροχρόνιες συνέπειες καρκινογένεσης για τα ζώα.

Εν περιλήψει, οι έρευνες μακροχρόνιας έκθεσης ζώων, που πραγματοποιήθηκαν μέχρι σήμερα, δεν παρέχουν κανένα επιβεβαιωμένο στοιχείο ότι η μακροχρόνια έκθεση σε πεδία βιομηχανικής συχνότητας προκαλεί καρκίνο ή γενετοξική κάκωση στα ζώα.

2.3 Μελέτες στον ανθρώπινο οργανισμό

Πέρα από τις εργαστηριακές και κλινικές έρευνες που χρησιμοποιούνται για την απόδειξη βλαβερής επίδρασης στον άνθρωπο υπάρχουν οι επιδημιολογικές μελέτες που θα αναλυθούν παρακάτω και τις οποίες η επιστήμη χρησιμοποιεί για να καθορίσει εάν υπάρχει ένας κίνδυνος υγείας από κάποια, μέχρι τώρα, άγνωστη αιτία.

2.3.1 Η έννοια της επιδημιολογίας

Η επιδημιολογία είναι η μελέτη του περιστατικού και διανομή της ασθένειας στον πληθυσμό (ή την κοινότητα). Για να κάνει αυτόν τον τύπο μελέτης για ηλεκτρομαγνητικά πεδία και τον καρκίνο, δύο ομάδες ανθρώπων πρέπει να συγκριθούν: μια ομάδα που, στο παρελθόν, έχει εκτεθεί σε ΗΜΠ ενώ μια άλλη ομάδα (η ομάδα ελέγχου) δεν έχει. Επειδή ο καθένας στην κοινότητα έχει εκτεθεί, ως ένα ορισμένο βαθμό, σε αυτούς τους τομείς, η εκτεθειμένη ομάδα αποτελείται συνήθως από τους ανθρώπους που ζουν πλησίον στα ηλεκτροφόρα καλώδια, ενώ η μη εκτεθειμένη ομάδα ζωντανή πιο πέρα. Μια παρατήρηση γίνεται έπειτα ως προς το εάν υπάρχουν περισσότεροι καρκίνοι στην εκτεθειμένη ομάδα απ' ό,τι στη μη εκτεθειμένη ομάδα.

Σε αυτό το σημείο είναι απαραίτητο να συζητηθεί η έννοια της ένωσης, λέξης όπως χρησιμοποιείται στην επιδημιολογία. Η ένωση δεν σημαίνει την αιτιολογία. Για να περάσει από την ένωση στην αιτιολογία τα αποτελέσματα αυτών των μελετών πρέπει να συναντήσουν των περισσότερων εάν όχι όλα τα ακόλουθα κριτήρια:

- Η αναλογία κινδύνου πρέπει να είναι υψηλή, συνήθως 5 ή μεγαλύτερος.
- Οι μελέτες πρέπει με συνέπεια να καταδείξουν μια ένωση.

- Πρέπει να υπάρξει μια ένωση μεταξύ της έκθεσης και μιας συγκεκριμένης ασθένειας. Η ένωση δεν πρέπει να αναφερθεί στον καρκίνο γενικά αλλά έναν συγκεκριμένο καρκίνο π.χ. η λευχαιμία και ο καρκίνος εγκεφάλου είναι μαζί αποδεκτοί αλλά όχι λευχαιμία σε μια μελέτη και καρκίνος εγκεφάλου σε άλλη.
- Πρέπει να υπάρξει μια αποδείξιμη επίδραση δόσεων. Μια επίδραση δόσεων σημαίνει ότι δεδομένου της αύξησης της έκθεσης ηλεκτρομαγνητικών πεδίων, αυξάνετε και ο αριθμός των καρκίνων.
- Υπάρχει ένας βιολογικός μηχανισμός από τον οποίο ο πράκτορας υπό δοκιμή μπορεί να προκαλέσει τη σχετική ασθένεια π.χ. η χολέρα προκαλείται από ένα βακτηρίδιο, ο καρκίνος πνευμόνων προκαλείται από τις χημικές καρκινογόνες ουσίες στην πίσσα καπνών.

Όμως, μέχρι σήμερα όλες οι επιδημιολογικές μελέτες σε έκθεση ηλεκτρομαγνητικών πεδίων δεν ικανοποιούν αυτά τα κριτήρια, καθώς τα στοιχεία είναι είτε αδύνατα είτε απόντα. Ειδικότερα:

- Η σχετική αναλογία κινδύνου για εκείνες τις μελέτες που παρουσιάζουν μια ένωση είναι συνήθως λιγότερο από 3.
- Οι μελέτες είναι ασυμβίβαστες. Πολλές μελέτες δεν παρουσιάζουν καμία επίδραση.
- Οι επιπτώσεις στην υγεία ποικίλλουν. Μερικές μελέτες παρουσιάζουν μια αύξηση στον καρκίνο εγκεφάλου ενώ άλλοι παρουσιάζουν μια αύξηση στη λευχαιμία.
- Καμία επίδραση δόσεων δεν έχει καταδειχθεί.
- Κανένας βιολογικός μηχανισμός δεν είναι γνωστός για την επαγωγή του καρκίνου από την έκθεση ηλεκτρομαγνητικών πεδίων.

Για αυτούς τους λόγους, λοιπόν, η πλειοψηφία των επιστημόνων δεν θεωρεί τη χρόνια έκθεση σε ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία 50Hz στα επίπεδα που βρίσκονται συνήθως στο περιβάλλον ως αποδεδειγμένο κίνδυνο υγείας. Επιπλέον, τα στοιχεία που έχουμε είναι αναποτελεσματικά και δεν επιτρέπουν στις αρμόδιες για την υγεία αρχές για να αποφασίσουν εάν υπάρχει ένα συγκεκριμένο επίπεδο μαγνητικών

πεδίων επάνω από το οποίο η χρόνια έκθεση είναι επικίνδυνη ή συμβιβάζει την ανθρώπινη υγεία.

2.3.2 Επίδραση των ELF πεδίων στα παιδιά

Τα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία που δημιουργούνται από το σύστημα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, μελετούνται από το 1979 για τις πιθανές επιπτώσεις τους όσον αφορά στην πρόκληση καρκίνου και λευχαιμίας. Τον Ιούνιο του 2001 με βάση οδηγίες διεθνών ερευνητικών οργανισμών (International Agency for Research on Cancer), τα χαμηλόσυχνα μαγνητικά πεδία χαρακτηρίστηκαν ως **ενδεχομένως καρκινογόνα** (κατατάσσονται στην κατηγορία 2B) για πρόκληση παιδικής λευχαιμίας. Τα ELF μαγνητικά πεδία ταξινομήθηκαν από την IARC σε αυτήν την κατηγορία βάσει των “περιορισμένων” στοιχείων από τις επιδημιολογικές που αφορούν την παιδική λευχαιμία. Τα επιδημιολογικά στοιχεία που αφορούν τους υπόλοιπους καρκίνους, καθώς και αυτά από τις εργαστηριακές μελέτες σε πειραματόζωα, ιστούς και κύτταρα θεωρήθηκαν “ανεπαρκή” και έτσι τα ELF μαγνητικά πεδία δεν κατατάχθηκαν σε κατηγορίες των πιο επικίνδυνων παραγόντων.

Γεγονός είναι πάντως ότι τα παιδιά αποτελούν την πλέον ευάλωτη κατηγορία πληθυσμού. Κι αυτό γιατί τα κύτταρά τους είναι πολύ πιο ευαίσθητα από αυτά των ενηλίκων στην ακτινοβολία, αφού στον παιδικό οργανισμό υπάρχουν περισσότερα αναπτυσσόμενα και διαιρούμενα κύτταρα απ' ό,τι στον οργανισμό των ενηλίκων. Ερευνητές έχουν διαπιστώσει ότι η διαμονή κοντά στα ηλεκτροφόρα καλώδια υψηλής τάσης μπορεί να συνδέεται με την εμφάνιση της λευχαιμίας κατά την παιδική ηλικία, αλλά όπως προηγουμένως αναφέρθηκε, η σύνδεση αυτή παραμένει “μικρή” και “η σχέση μπορεί να οφείλεται στην πιθανότητα”.

Η νέα μελέτη, που δημοσιεύθηκε στο **Βρετανικό Ιατρικό Περιοδικό (BMJ)** [26], σύγκρινε περίπου 29.000 περιπτώσεις καρκίνου (συμπεριλαμβανομένων και 9700 περιπτώσεων λευχαιμίας) που εντοπίστηκαν σε παιδιά μικρότερα των 15 ετών - γεννημένων από το 1962 ως το 1995- στη Μεγάλη Βρετανία με έναν παρόμοιο αριθμό υγιών παιδιών χωρίς καρκίνο, με αντιστοιχία στο φύλο, την ημερομηνία γέννησης, και την περιοχή γέννησης. Και στις δύο ομάδες, υπολογίστηκε η απόσταση του σπιτιού των παιδιών κατά τη γέννηση και των πιο κοντινών ηλεκτροφόρων συρμάτων υψηλής τάσης. Είναι σημαντικό, επίσης, να τονισθεί ότι

πέραν του 55% των περιπτώσεων λευχαιμίας στα παιδιά και 43% των άλλων καρκίνων παιδικής ηλικίας, εκδηλώνονται πριν από την ηλικία των 5 ετών.

Τα αποτελέσματα έδειξαν:

1. Τα παιδιά που κατά τη γέννηση κατοικούσαν κοντά σε εξωτερικά, υψηλής τάσης ηλεκτροφόρα σύρματα του δικτύου διανομής, είχαν μεγαλύτερο κίνδυνο να προσβληθούν από λευχαιμία
2. Η σχέση απόστασης και κινδύνου για λευχαιμία έδειξε ότι τα παιδιά που κατοικούσαν κατά τη γέννηση τους σε σπίτια που βρίσκονταν σε λιγότερο από 200 μέτρα από σύρματα υψηλής τάσης, είχαν 70% αυξημένο κίνδυνο για λευχαιμία σε σύγκριση με εκείνα που ζούσαν κατά την ίδια περίοδο της ζωής τους σε σπίτια που βρίσκονταν σε απόσταση μεγαλύτερη των 600 μέτρων από σύρματα υψηλής τάσης
3. Τα παιδιά που ζούσαν σε ενδιάμεση απόσταση, δηλαδή μεταξύ 200 και 600 μέτρων είχαν ελαφρώς μεγαλύτερο κίνδυνο
4. Δεν βρέθηκε συσχετισμός μεταξύ συρμάτων υψηλής τάσης και αυξημένου κινδύνου για οποιαδήποτε άλλη μορφή παιδικού καρκίνου
5. Συνολικά οι Βρετανοί ερευνητές υπολόγισαν ότι για κάθε 400 - 420 περιπτώσεις παιδικής λευχαιμίας που καταγράφονται ετησίως στην Αγγλία, περίπου 5 πιθανόν να σχετίζονται με σύρματα υψηλής τάσης του δικτύου διανομής που βρίσκονται κοντά στα σπίτια τους.

Στη Βρετανία και την Ουαλία υπάρχουν περίπου 7.000 χλμ. γραμμών υψηλής τάσης, αλλά λιγότερα από το 1% των σπιτιών βρίσκονται σε απόσταση μικρότερη των 200 μέτρων από τις γραμμές αυτές.

Οι ερευνητές τονίζουν όμως ότι ο συσχετισμός που έχουν βρει, μπορεί να οφείλεται στην τύχη και ότι χρειάζονται περισσότερες έρευνες για να διαπιστωθεί κατά πόσο υπάρχει πράγματι αιτιολογική σχέση. Επίσης τονίζουν ότι βιολογικά δεν μπορεί να εξηγηθεί το γεγονός ότι τα μαγνητικά πεδία μπορούν να προκαλούν λευχαιμία στα παιδιά τόσο μακριά, σε απόσταση μέχρι και 200 μέτρων. Είναι γνωστό ότι τα μαγνητικά πεδία μειώνονται δραστικά με την αύξηση της απόστασης από την πηγή δημιουργίας τους. Αυτός είναι ακόμη ένας λόγος, επισημαίνουν οι ερευνητές, για τον οποίο πιστεύουν ότι ο συσχετισμός που βρήκαν μπορεί να είναι τυχαίος. Ακόμη μια άλλη πιθανότητα είναι ότι η αιτία της αύξησης του κινδύνου που βρέθηκε, να

οφείλεται σε κάτι άλλο που υπάρχει στα παιδιά που κατοικούν στις εν λόγω αποστάσεις από τα ηλεκτροφόρα καλώδια υψηλής τάσης.

Επίσης, ο Gerald J. Draper [26], στο πανεπιστήμιο της Οξφόρδης, και οι συνάδελφοι του εξέτασαν παιδιά που ζούσαν μέσα σε μια ακτίνα 1 χιλιομέτρου από εναέρια ηλεκτροφόρα καλώδια, τάσης 275 kV και 400 kV. Η ομάδα αυτή δεν βρήκε καμία σύνδεση μεταξύ της απόστασης από τα ηλεκτροφόρα καλώδια και της συνολικής εμφάνισης του καρκίνου. Εντούτοις, τα παιδιά που ζουν σε απόσταση μέχρι 200 μέτρα από τα ηλεκτροφόρα καλώδια είχαν έναν 69% υψηλότερο κίνδυνο για λευχαιμία από αυτά που ζούσαν περισσότερο από 600 μέτρα μακριά. Μεταξύ αυτών των δύο αποστάσεων, ο κίνδυνος αυξανόταν κατά 23%. Δηλαδή εξήντα τέσσερα παιδιά που εμφάνισαν λευχαιμία ζούσαν σε απόσταση μικρότερη των 200 μέτρων από πυλώνα υψηλής τάσης, έναντι 258 παιδιών που ζούσαν σε απόσταση 200 ως 600 μέτρων από πυλώνα.

Όμως, σε ένα συνοδευτικό κύριο άρθρο, ο Δρ Heather Dickinson [26], από το πανεπιστήμιο του Νιουκάστλ, σημειώνει ότι τα μαγνητικά πεδία που περιβάλλουν τα ηλεκτροφόρα καλώδια ανέρχονται σε "περίπου 1% του γήινου μαγνητικού πεδίου, το οποίο έχει επιπτώσεις σε όλους μας συνεχώς". Κατά συνέπεια, οι σχέσεις που η ομάδα του Draper παρατήρησε μπορεί να ανακλά έναν άλλο παράγοντα που μεταβάλλεται γεωγραφικά, υποστηρίζει.

Συνοπτικά βλέπουμε ότι ακόμη και εάν δεχτούμε ότι υπάρχει αιτιολογική σχέση μεταξύ των δύο, τότε τα καλώδια που βρίσκονται σε απόσταση μικρότερη των 200 μέτρων από τα σπίτια παιδιών, θα ευθύνονταν για ένα πολύ μικρό αριθμό περιπτώσεων παιδικής λευχαιμίας. Συνεπώς, είναι αξιοσημείωτο ότι παρά το γεγονός ότι έχουν γίνει πολύχρονες και εκτεταμένες έρευνες για το ζήτημα της αιτιολογίας του παιδικού καρκίνου και λευχαιμίας, εντούτοις στο 95% των περιπτώσεων σήμερα δεν γνωρίζουμε την αιτία.

Έχουν ενοχοποιηθεί και διερευνηθεί πολλοί παράγοντες όπως η κληρονομικότητα, η γενετική προδιάθεση, η ιοντίζουσα ακτινοβολία, τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία και οι μολύνσεις. Σήμερα η επικρατέστερη θεωρία για την πρόκληση της λευχαιμίας στα παιδιά είναι ότι συχνά υπάρχει ανωμαλία στο DNA πριν από τη γέννηση και στη συνέχεια μια ασυνήθιστη έκθεση και ανταπόκριση του οργανισμού των παιδιών σε λοιμώξεις μετά τη γέννηση.

Σίγουρα η πρόοδος που έχει επιτευχθεί κατά τα τελευταία χρόνια, θα μας επιτρέψουν στο προσεχές μέλλον να κατανοήσουμε καλύτερα τα γεγονότα που οδηγούν στη γένεση και εξέλιξη της λευχαιμίας στα παιδιά.

2.3.3 Επαγγελματική έκθεση σε πεδία χαμηλής συχνότητας

Από το 1996, έχουν δημοσιευθεί τουλάχιστον 24 σημαντικές έρευνες καρκίνου και επαγγελματικής έκθεσης σε πεδία βιομηχανικής συχνότητας. Αυτές οι έρευνες εξετάζουν:

- Λευχαιμία
- Καρκίνο εγκεφάλου
- Καρκίνο μαστού ανδρών και γυναικών
- Λέμφωμα
- Καρκίνο πνευμόνων
- Άλλα είδη καρκίνων
- Καθολικό καρκίνο

Αντίθετα από τις παλαιότερες έρευνες, που ήταν βασισμένες σε τίτλους εργασιών, όπως καταγράφηκαν σε πιστοποιητικά θανάτων, οι νεότερες έρευνες χρησιμοποίησαν συμπληρώματα περιγραφής εργασίας από στοιχεία εργαζομένων στις εργασίες αυτές. Ουδεμία έρευνα μέχρι σήμερα δεν πληρούσε τους όρους της δοσιμετρίας στα πραγματικά θέματα της έρευνας. Ακόμα κι αν ήταν διαθέσιμη τέτοια δοσιμετρία, δεν υπάρχει ομοφωνία ως προς την κατάλληλη μετρική έκθεσης· έχουν γίνει συζητήσεις για χρονικώς μεταβαλλόμενα μέσα πεδία, μέγιστα πεδία, ρυθμό αλλαγής των πεδίων, ή ακόμα και μεταβατικά φαινόμενα.

Παρακάτω αναφέρονται τα αποτελέσματα ερευνών καρκίνου και επαγγελματικής έκθεσης σε πεδία χαμηλής συχνότητας που δημοσιεύθηκαν το 1997 και μετά:

- Από 10 έρευνες **λευχαιμίας**, τρεις [27-29] παρουσίασαν κάποια στοιχεία για μια στατιστικά σημαντική αύξηση, τουλάχιστον σε μια ομάδα, που "εκτέθηκε σε μαγνητικά πεδία βιομηχανικής συχνότητας". Μια άλλη έρευνα [30] ανέφερε αυξημένο ρυθμό ανάπτυξης λευχαιμίας για έκθεση ηλεκτρικών πεδίων, αλλά όχι για

έκθεση μαγνητικών πεδίων· οι άλλες έρευνες επαγγελματικής έκθεσης σε ηλεκτρικά πεδία, έρχονται σε αντίθεση με αυτά τα ευρήματα [31, 32].

- Από 5 έρευνες **λεμφώματος**, ουδεμία βρήκε στοιχεία για μια στατιστικά σημαντική αύξηση, σε οποιοσδήποτε ομάδες, που εκτέθηκαν σε μαγνητικά πεδία βιομηχανικής συχνότητας, αλλά μια έρευνα [33] διαπίστωσε μια αύξηση σε εργαζομένους, που εκτέθηκαν σε ηλεκτρικά πεδία βιομηχανικής συχνότητας.
- Από 12 έρευνες **καρκίνου εγκεφάλου**, τέσσερις [28, 29, 34, 35] παρουσίασαν στοιχεία για μια στατιστικά σημαντική αύξηση, τουλάχιστον σε μια ομάδα, που εκτέθηκε σε μαγνητικά πεδία. Μία πέμπτη [36] ανέφερε ότι μαγνητικά πεδία βιομηχανικής συχνότητας συνδέθηκαν με καρκίνο εγκεφάλου, αλλά μόνο εάν συνυπήρχε έκθεση σε μόλυβδο, διαλύτες ή φυτοφάρμακα/ζιζανιοκτόνα
- Πολλοί άλλοι **συγκεκριμένοι τύποι καρκίνου** έχουν μελετηθεί στα "ηλεκτρικά επαγγέλματα" και στους εργαζομένους με γνωστή ή δεδομένη έκθεση σε ηλεκτρικά ή/και μαγνητικά πεδία βιομηχανικής συχνότητας. Μερικές αναφορές ανέλυσαν 12 ή περισσότερους διαφορετικούς τύπους καρκίνου. Κανένα προφανές υπόδειγμα δεν προκύπτει, αν και σε μεμονωμένες έρευνες έχουν αναφερθεί συγκεκριμένοι τύποι καρκίνου, συνδεδεμένοι με έκθεση. Τα παραδείγματα τέτοιων συσχετίσεων περιλαμβάνουν μια αναφορά του 2003, ότι η έκθεση σε μαγνητικά πεδία εξαιρετικά χαμηλής συχνότητας συνδέθηκε με καρκίνο προστάτη [37].
- Από 3 έρευνες **καθολικού καρκίνου**, η μια [29] παρουσίασε κάποια στοιχεία για αύξηση στον καθολικό καρκίνο, τουλάχιστον σε μια "εκτεθειμένη" ομάδα.

2.3.4 Πιθανές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία

Καρκίνος και λευχαιμία

Έγιναν πολλές έρευνες που εξέτασαν κατά πόσο τα ΗΜΠ προκαλούν ή όχι κάποιας μορφής καρκίνο. Δεν υπήρξαν μέχρι σήμερα αποδεικτικά στοιχεία που να τεκμηριώνουν ότι η έκθεση στα ΗΜΠ προκαλεί κάποιας μορφής καρκίνο. Είναι γεγονός ότι υπήρξαν έρευνες με αντιφατικά αποτελέσματα. Όμως δεν παρατηρήθηκαν ποτέ μεγάλες αυξήσεις στον κίνδυνο για πρόκληση οποιασδήποτε μορφής κακοήθους νόσου σε παιδιά ή σε ενήλικες.

Παρά τα προβλήματα που υπήρξαν με διάφορες έρευνες, οι ειδικοί συγκλίνουν στο να αποδεχτούν ότι ο κίνδυνος έστω και εάν υποθετικά υπάρχει, τότε πρέπει να είναι πολύ μικρός. Ο κίνδυνος λευχαιμίας στα παιδιά συσχετίστηκε σε έρευνες με την έκθεση των παιδιών σε πολύ χαμηλής έντασης ΗΜΠ στο σπίτι τους. Τα μαγνητικά πεδία στα σπίτια δημιουργούνται κυρίως από τα ηλεκτροφόρα καλώδια που διακλαδώνονται εντός των σπιτιών και τις ηλεκτρικές οικιακές και άλλες συσκευές ενώ τα μαγνητικά πεδία που δημιουργούνται από τα εξωτερικά σύρματα υψηλής τάσης του δικτύου διανομής, εξαρτώνται από την απόσταση μεταξύ σπιτιών και συρμάτων. Όσο πιο κοντά είναι τα ηλεκτροφόρα σύρματα ψηλής τάσης, τόσο πιο ψηλά είναι και τα μαγνητικά πεδία που σχηματίζονται.

Μερικές επιδημιολογικές έρευνες, έδειξαν ότι υπήρχε συσχετισμός έκθεσης σε ΗΜΠ πολύ χαμηλής έντασης και λευχαιμίας στα παιδιά. Όμως οι ειδικοί τονίζουν ότι εκείνο που φάνηκε ήταν μια αδύνατη σχέση συσχετισμού. Ουδέποτε αποδείχθηκε ότι τα χαμηλής έντασης ΗΜΠ είναι αιτία λευχαιμίας στα παιδιά ή στους ενήλικες [38].

Πρόκληση όγκου / αύξηση κυττάρων

Έχουν υπάρξει αναφορές ότι τα πεδία βιομηχανικής συχνότητας μπορούν να ενισχύσουν την αύξηση κυττάρων ή όγκων, αλλά οι περισσότερες έρευνες δεν έχουν παρουσιάσει ουδεμία επίδραση. Πολλοί ουσιαστικά αβλαβείς παράγοντες (π.χ. θερμοκρασία, pH, θρεπτικές ουσίες) έχουν επιπτώσεις στον αριθμό αύξησης των κυττάρων και των όγκων, έτσι τα αποτελέσματα της αύξησης κυττάρων, αυτά καθ' εαυτά, δεν είναι στοιχεία για κινδύνους. Ωστόσο, η παρουσία ορισμένων τύπων αποτελεσμάτων στην αύξηση κυττάρων θα ήταν σχετική με μια αξιολόγηση της καρκινογόνου δυνατότητας. Θα είχε ιδιαίτερη σχέση με τον καρκίνο εάν ένας παράγοντας ανάγκαζε τα προηγουμένως μη-διαιρούμενα φυσιολογικά (σε αντιδιαστολή με τον όγκο ή τα μετασχηματισμένα) κύτταρα να αρχίσουν να διαιρούνται, εάν η επίδραση υποκίνησης αύξησης παρέμεινε αφότου απομακρύνθηκε ο παράγοντας, ή/και εάν η επίδραση εμφανίστηκε σε επίπεδα, στα οποία οι άνθρωποι εκτέθηκαν πραγματικά.

Οι πιο πρόσφατες (μετά το 1995) έρευνες της επίδρασης των μαγνητικών πεδίων χαμηλής συχνότητας στην **αύξηση των φυσιολογικών κυττάρων ή των κυττάρων όγκων** δεν έχουν παρουσιάσει επίσης ουδεμία επίδραση αλλά μερικές έχουν

αναφέρει αυξημένη ή μειωμένη ανάπτυξη κυττάρων, μετά από την έκθεση σε ισχυρά (> 90 μT) πεδία.

Οι πρόσφατες αναφορές των αποτελεσμάτων των πεδίων χαμηλής συχνότητας στην ανάπτυξη των κυττάρων περιλαμβάνουν:

- 2001: Οι Heredia-Rojias [39] ανέφεραν ότι η αύξηση των ανθρώπινων λεμφοκυττάρων ενισχύθηκε ελαφρώς από 72ώρη έκθεση σε πεδία 60 Hz, 1.000 ÷ 2.000 μT .
- 2001: Ο Zeni [40] ανέφερε ότι η αύξηση των ανθρώπινων λευκοκυττάρων ενισχύθηκε ελαφρώς από 72ώρη έκθεση σε πεδία 50 Hz, 1.000 μT .
- 2003: Ο Pirozzoli [41] εξέθεσε ότι πολυήμερη έκθεση γραμμής κυττάρων ανθρώπινων όγκων σε πεδίο 1000 μT , 50 Hz, αύξησε ελαφρώς την ανάπτυξη κυττάρων.
- 2004: Ο Grassi [42] ανέφερε ότι έκθεση κυττάρων μαστοφόρων σε ένα πεδίο 500 ÷ 1000 μT , 50 Hz, επί 24 ÷ 72 ώρες, αύξησε την ανάπτυξη κυττάρων, αλλά χαμηλότερες εντάσεις δεν είχαν καμία επίδραση.
- 2004: Ο Stronati [43] ανέφερε ότι έκθεση ανθρώπινων κυττάρων αίματος επί 2 ώρες σε ένα πεδίο 1000 μT , 50 Hz, προκάλεσε μια "μικρή, αλλά σημαντική, μείωση πολλαπλασιασμού κυττάρων".

Εν περιλήψει, δεν έχει υπάρξει κανένα αναφερόμενο αποτέλεσμα στον πολλαπλασιασμό κυττάρων ή την πρόοδο όγκων, που εισάγει δυνατότητα για καρκινογένεση, και δεν έχει υπάρξει ουδεμία έκθεση των αποτελεσμάτων καθολικά για πεδία κάτω των περίπου 50 μT .

Καρκίνος μαστού

Στις αρχές της δεκαετίας του '90 υπήρξαν μερικές εργαστηριακές έρευνες που ανέφεραν ότι τα χαμηλόσυχα ΗΜ πεδία μπορούν να προωθήσουν τον χημικά προκληθέντα καρκίνο μαστού και έχει αναφερθεί βιολογικός μηχανισμός, που θα μπορούσε να εξηγήσει μια τέτοια συσχέτιση. Αντίθετα, οι πιο πρόσφατες έρευνες δεν έχουν υποστηρίξει αυτόν τον συλλογισμό.

Καρκίνος μαστού και έκθεση κατοικιών σε πεδία γραμμών μεταφοράς:

Οι έρευνες έχουν βρει λίγα στοιχεία ότι οικιστική έκθεση σε πεδία ELF συνδέεται με καρκίνο μαστού είτε αρρένων είτε θηλέων. Μερικές από τις μεγαλύτερες έρευνες είναι:

- 1996: Verkasalo [44] : λιγότερος καρκίνος μαστού από τον αναμενόμενο, σε γυναίκες με οικιστική έκθεση σε πεδία βιομηχανικής συχνότητας.
- 1997, 1998: Li [45] και Feychting [46, 47] : κανένας υπερβολικός καρκίνος μαστού γυναικών, σε ενήλικες, που κατοικούν πλησίον γραμμών ή υποσταθμών μεταφοράς.
- 1998, 2000: Cogan [48] και Forssun και λοιποί [47] : ούτε επαγγελματική, ούτε οικιστική έκθεση σε πεδία βιομηχανικής συχνότητας, δεν συνδέθηκε με αυξημένο κίνδυνο καρκίνου μαστού γυναικών.
- 2002: Davis [49] : η οικιστική έκθεση σε μαγνητικά πεδία βιομηχανικής συχνότητας, δεν συνδέθηκε με υπερβολικό καρκίνο μαστού γυναικών.
- 2004: Kliukiene [50] : οικιστική έκθεση σε μαγνητικά πεδία βιομηχανικής συχνότητας, συνδέθηκε με αυξημένο κίνδυνο καρκίνου μαστού σε Νορβηγές· αλλά επαγγελματική έκθεση σε μαγνητικά πεδία βιομηχανικής συχνότητας δεν συνδέθηκε με αυξημένο κίνδυνο καρκίνου μαστού στις ίδιες γυναίκες.

Καρκίνος μαστού γυναικών και επαγγελματική έκθεση σε πεδία βιομηχανικής συχνότητας:

Έχουν υπάρξει περί τις 20 επιδημιολογικές έρευνες καρκίνου μαστού σε γυναίκες, που έχουν επαγγελματική έκθεση σε χαμηλόσυχα πεδία. Από αυτές, μόνο η έρευνα του 1994 του Loomis, παρουσίασε σαφή συσχέτιση του καρκίνου μαστού γυναικών με την επαγγελματική έκθεση σε πεδία ELF. Οι μεγαλύτερες έρευνες σε αυτήν την περιοχή είναι :

- 1996: Ο Fear [51] ανέφερε ότι γυναίκες σε "ηλεκτρικά" επαγγέλματα στην Βρετανία, είχαν μια ελαφρώς χαμηλότερη εμφάνιση του καρκίνου του μαστού από το αναμενόμενο.
- 1998: Οι Johansen [52] (στην Δανία), Coogan [48] (στις ΗΠΑ) και Petralia [53] (στην Κίνα) ανέφεραν ότι η επαγγελματική έκθεση σε πεδία βιομηχανικής συχνότητας δεν συνδέθηκε με υπερβολικό καρκίνο μαστού γυναικών.

- 1999: Ο Floderus [29] ανέφερε ότι οι γυναίκες με την επαγγελματική έκθεση σε πεδία ELF, δεν είχαν κανένα σημαντικό υπερβολικό ποσοστό καρκίνου του μαστού.
- 2000: Ο Forssin [47] ανέφερε ότι ούτε η επαγγελματική ούτε η οικιστική, ούτε ένας συνδυασμός οικιστικής και επαγγελματικής έκθεσης σε πεδία ELF, δεν συνδέθηκε με τον αυξημένο κίνδυνο καρκίνου μαστού γυναικών.
- 2002, 2004: Ο Håkansson [35] και Ο Kliukiene [50] ανέφεραν ότι η επαγγελματική έκθεση σε πεδία βιομηχανικής συχνότητας, δεν συνδέθηκε με μια στατιστικά-σημαντική υπερβολή του καρκίνου μαστού γυναικών.
- Ο Forssin [54] : ανέφερε ότι επαγγελματική έκθεση σε πεδία ELF στην Σουηδία, δεν συνδέθηκε με υπερβολή του καρκίνου μαστού γυναικών· αυτή είναι μια μεγάλη έρευνα, βασιζόμενη σε πραγματικές μετρήσεις πεδίων, για διάφορα επαγγέλματα.

Επιδράσεις στην λειτουργία του ανοσοποιητικού

Στις αρχές της δεκαετίας του '70 υπήρξε υπόνοια ότι το ανοσοποιητικό σύστημα είχε έναν σημαντικό ρόλο στην παρεμπόδιση της ανάπτυξης καρκίνου. Εάν αυτή η υπόθεση ήταν αληθής, η βλάβη στο ανοσοποιητικό σύστημα θα μπορούσε αποτελεσματικά να προκαλέσει καρκίνο. Επόμενες έρευνες έχουν δείξει ότι αυτή η υπόθεση γενικά δεν ισχύει. Η καταστολή του ανοσοποιητικού συστήματος στα ζώα και τους ανθρώπους συνδέεται με τα αυξανόμενα ποσοστά μόνο ορισμένων τύπων καρκίνων, ιδιαίτερα λεμφώματος. Η καταστολή του ανοσοποιητικού δεν έχει συνδεθεί με υπερβολικό ρυθμό ανάπτυξης λευχαιμίας, εκτός από την προερχόμενη από ιογενή λευχαιμία στα ζώα και δεν έχει συνδεθεί με τον καρκίνο εγκεφάλου ή μαστού στα ζώα ή στον άνθρωπο.

Μερικές, προ του 1992, έρευνες, ανέφεραν ότι τα πεδία ELF θα μπορούσαν να έχουν αποτελέσματα στα κύτταρα του ανοσοποιητικού συστήματος, αλλά ουδεμία έρευνα δεν έχει παρουσιάσει τον τύπο ή το μέγεθος της καταστολής του ανοσοποιητικού, που συνδέεται με αυξημένο ρυθμό ανάπτυξης των λεμφωμάτων. Οι πιο πρόσφατες έρευνες αναφέρουν:

- 1995: Συνδυασμένα ηλεκτρικά (6 ή 30 kV/m) και μαγνητικά (50 ή 100 μ T) πεδία δεν είχαν κανένα συνεπές αποτέλεσμα στο ανοσοποιητικό σύστημα [55].

- 1996: Καμία επίδραση πεδίου 10 μT στο ανοσοποιητικό σύστημα ανθρώπων – εθελοντών [56].
- 2002: Κανένα "κλινικά σημαντικό" αποτέλεσμα σε αιματολογικούς ή ανοσοποιητικούς παραμέτρους επί ηλεκτροσυγκολλητών, σε εκθέσεις 100÷250 μT [57].
- 2003: Έκθεση ανθρώπινων κυττάρων σε πεδία 2÷500 μT , 50 ή 60 Hz, επί μέχρι και 72 ώρες, δεν είχε κανένα αποτέλεσμα στην λειτουργία του ανοσοποιητικού συστήματος [58].

Εν συντομία, δεν υπάρχει κανένα στοιχείο ότι τα πεδία ELF συμβάλλουν στον καρκίνο, μέσω της καταστολής του ανοσοποιητικού, και ουδεμία έκθεση κάτω των 200 μT επιφέρει οποιαδήποτε αποτελέσματα στο ανοσοποιητικό σύστημα.

Προβλήματα εγκυμοσύνης

Η έκθεση των εγκύων γυναικών σε διάφορες πηγές ΗΜΠ, δεν έδειξαν ότι δημιουργείται αυξημένος κίνδυνος για ανωμαλίες στο παιδί, αποβολή, χαμηλό βάρος γέννησης ή εκ γενετής παθήσεις.

Ωστόσο, έχουν περιστασιακά περιγραφεί περιπτώσεις πρόωρων γεννήσεων και παιδιών χαμηλού βάρους γέννησης. Επρόκειτο για γυναίκες που εργάζονταν σε βιομηχανίες ηλεκτρονικών και είναι πιθανό ότι στις περιπτώσεις αυτές να υπήρξε έκθεση σε πεδία ασυνήθιστα ψηλά που δεν υπάρχουν στο σύνηθες καθημερινό περιβάλλον.

Επίσης, η ανησυχία για τις αποβολές και τις ατέλειες γέννησης, έχει εστιασθεί τόσο στις οθόνες ΗΥ (VDT) όσο και στις γραμμές μεταφοράς. Οι πιο πρόσφατες (μετά το 1997) επιδημιολογικές και εργαστηριακές έρευνες παρέχουν μικρή υποστήριξη για μια συσχέτιση μεταξύ της μη ιοντίζουσας ηλεκτρομαγνητικής έκθεσης και των ατελειών γέννησης.

Μια εξαίρεση στην έλλειψη συσχέτισης αποβολών και έκθεσης σε πεδία βιομηχανικής συχνότητας είναι μια έρευνα, που ανέφερε ότι οι υψηλές μέγιστες εκθέσεις ELF (και υψηλοί ρυθμοί αλλαγών στην έκθεση) συνδέθηκαν με έναν αυξημένο κίνδυνο αποβολής στους ανθρώπους. Κατά τρόπο ενδιαφέροντα οι χρονικά υπολογισμένοι μέσοι όροι εκθέσεων και οι κώδικες καλωδίων δεν

συνδέθηκαν με τις αυξημένες αποβολές σε αυτήν την έρευνα. Οι πηγές αυτών των μέγιστων εκθέσεων δεν προσδιορίστηκαν. Οι πηγές βεβαίως θα είχαν περιλάβει ηλεκτρικές συσκευές (που μπορούν να δημιουργήσουν υψηλά μέγιστα πεδία, αλλά έχουν μικρή επίδραση στα μέσα πεδία)· αλλά οι γραμμές μεταφοράς δεν ήταν σχεδόν βέβαια μια κοινή πηγή (δεδομένου ότι τείνουν να αυξήσουν τις μέσες εκθέσεις χωρίς μεγάλη επίδραση στις μέγιστες εκθέσεις) [38].

Ψυχοσωματικές διαταραχές

Διάφορες διαταραχές της σωματικής και ψυχικής υγείας, θεωρήθηκαν ότι ήταν αποτέλεσμα της έκθεσης σε ΗΜΠ. Σειρά από έρευνες εξέτασαν κατά πόσο η έκθεση στα ΗΜΠ χαμηλής έντασης στο σπίτι ή στον εργασιακό χώρο μπορούσαν να προκαλέσουν μια σειρά από σωματικές διαταραχές όπως πονοκέφαλο, κούραση, ναυτία ή ψυχολογικές διαταραχές όπως κατάθλιψη, άγχος, απώλεια σεξουαλικής επιθυμίας και αυτοκτονίας.

Τα δεδομένα που υπάρχουν μέχρι σήμερα, δεν επιτρέπουν την αποδοχή αυτών των συσχετισμών. Αντίθετα φαίνεται ότι οι εν λόγω διαταραχές μπορεί να είναι το αποτέλεσμα άλλων περιβαλλοντικών παραγόντων και του τρόπου ζωής μας που συνοδεύεται από τη σύγχρονη συνεχή τεχνολογική αναβάθμιση. Εμείς απλώς θα καταγράψουμε τις μοναδικές έρευνες που αναφέρουν τέτοιες πιθανές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία:

- 1999: Οι Graham και Cook [59] ανέφεραν ότι έκθεση ανθρώπων–εθελοντών σε πεδίο 28 μT , 60 Hz, προκάλεσε διαταραχές ύπνου, όταν η έκθεση ήταν διακοπτόμενη, αλλά όχι όταν ήταν συνεχής.
- 2000: Ο van Wijngaarden [60] ανέφερε μια συσχέτιση μεταξύ απόπειρας αυτοκτονίας και έκθεσης σε πεδία βιομηχανικής συχνότητας, σε άρρηνες εργαζομένους σε ηλεκτρικές εταιρείες.

Ασθένεια Alzheimer και άλλες νευρολογικές διαταραχές

Αν και δεν έχει επιστημονικά τεκμηριωθεί κάποια επίδραση των ΗΜΠ με νευρολογικές διαταραχές, έρευνες έχουν δείξει μια πολύ χαμηλή συσχέτιση μεταξύ τους όπως διαπιστώνεται παρακάτω :

- Το 2003 υπήρξαν τρεις πρόσθετες αναφορές [61-63] ότι η ασθένεια Alzheimer συνδέθηκε με έκθεση σε πεδία ELF. Δύο άλλες έρευνες [64, 65] δεν έχουν βρει κανένα υπερβολικό ποσοστό ασθένειας Alzheimer στους εργαζομένους σε ηλεκτρικές εταιρείες ή σε άλλα επαγγέλματα με έκθεση σε πεδία βιομηχανικής συχνότητας.
- 2002: Ο Podd [66] ανέφερε ότι έκθεση σε πεδίο 100 μ T, 50 Hz, δεν είχε ουδεμία σημαντική επίδραση στον χρόνο αντίδρασης των ανθρώπων, αλλά ότι η έκθεση είχε μια καθυστερημένη επίδραση στην μνήμη.
- Ο Delhez [67] ανέφερε ότι έκθεση ανθρώπων–εθελοντών (υγιή νεαρά άτομα) σε πεδία 20 ή 400 μ T, 50 Hz, για 65 min δεν επέδρασε σε γνωστικές λειτουργίες (προσοχή, μνήμη, αντίληψη χρόνου). Έτσι, λοιπόν η επιστημονική κοινότητα πιστεύει πως η έκθεση ανθρώπων εθελοντών σε πεδία 50 Hz, δεν έχουν καμία επίδραση στις δοκιμές γνωστικής λειτουργίας.
- Το 2003, ο Håkansson [62] ανέφερε ότι αυξημένος ρυθμός ανάπτυξης της αμυοτροφικής πλευρικής σκλήρυνσης (ALS) συνδέθηκε με την εκτιμώμενη επαγγελματική έκθεση σε μαγνητικά πεδία ELF· αλλά ο Feychting [62], σε παρόμοια έρευνα, δεν βρήκε μια αύξηση της νόσου ALS.

Καρδιακά αποτελέσματα

Το 1998, ο Sastre [68] ανέφερε ότι έκθεση ανθρώπων–εθελοντών σε μαγνητικά πεδία βιομηχανικής συχνότητας προκάλεσε αλλαγές στον καρδιακό ρυθμό. Σε μια μελέτη του 1999, που υποκινήθηκε από αυτήν την υπόθεση, ο Savitz [69] ανέφερε ότι επαγγελματική έκθεση σε πεδία ELF συνδέθηκε με ένα αυξημένο ρυθμό ανάπτυξης ορισμένων τύπων καρδιακών παθήσεων ενώ σε σχετικές μελέτες, ο Sait [70] ανέφερε ότι έκθεση ανθρώπων–εθελοντών σε ένα πεδίο βιομηχανικής συχνότητας 15 μ T προκάλεσε μια μικρή βραδυκαρδία. Ωστόσο, το 2000, οι Graham, Sastre και συνεργάτες [71, 72] τους ανέφεραν ότι δεν θα μπορούσαν να επαναλάβουν την έρευνά τους του 1998 [73], ακόμη και σε υψηλότερες εντάσεις πεδίων.

Στην συνέχεια των χρόνων, ακολούθησαν οι παρακάτω έρευνες :

- 2002: δύο μεγάλες έρευνες [74, 75] εργαζομένων σε ηλεκτρικές εταιρείες δεν βρήκαν κανένα στοιχείο ότι έκθεση σε πεδία βιομηχανικής συχνότητας συνδέθηκε με καρδιακή αρρυθμία ή θνησιμότητα.
- 2003: ο Kurokawa [76] ανέφερε απουσία επίδρασης στον καρδιακό ρυθμό σε ανθρώπους-εθελοντές, που εκτέθηκαν σε μαγνητικά πεδία 50-1000 Hz, εντάσεως 20-100 μ T, για 2 min έως 12 h.
- 2003: ο Håkansson [77] ανέφερε ότι η επαγγελματική έκθεση σε μαγνητικά πεδία 50 Hz συνδέθηκε αδύναμα με κίνδυνο θανάτου από οξύ έμφραγμα του μυοκαρδίου, αλλά όχι με θάνατο από άλλους τύπους καρδιακών ασθενειών.
- Ο Ahlbom [78] ανέφερε ότι η επαγγελματική έκθεση σε μαγνητικά πεδία συχνότητας ισχύος δεν συνδέθηκε με αυξημένο κίνδυνο εμφράγματος του μυοκαρδίου (καρδιακή προσβολή). Την άποψη αυτή συμμερίζονται τα τελευταία χρόνια οι περισσότεροι επιστήμονες σύμφωνα με την οποία η επαγγελματική έκθεση σε πεδία ELF, δεν συνδέεται με αυξημένο κίνδυνο καρδιακών προσβολών.

Τέλος, σοβαρό πρόβλημα αποτελεί και η αλληλεπίδραση του H/M πεδίου με τους καρδιακούς βηματοδότες, αφού σύμφωνα με μελέτες, H/M πεδία εντάσεως 3-14 KV είναι ικανά να προκαλέσουν παρεμβολή και να επηρεάσουν την ομαλή λειτουργία τους.

2.4 Απόψεις διεθνών οργανισμών

Όπως είδαμε παραπάνω, για την διερεύνηση των επιδράσεων των ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων στον άνθρωπο διεξάγονται πολλών ειδών έρευνες (επιδημιολογικές, εργαστηριακές, κλινικές). Τα αποτελέσματα των ερευνών αυτών αξιολογούνται από ειδικές επιτροπές αρμόδιων διεθνών φορέων όπως ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (WHO), η Διεθνής Επιτροπή Προστασίας από Μη Ιοντίζουσες Ακτινοβολίες (ICNIRP), καθώς και από εθνικούς φορείς όπως π.χ. το Εθνικό Συμβούλιο Έρευνας (NRC) των ΗΠΑ, το Εθνικό Συμβούλιο Ραδιολογικής Προστασίας (NRPB) της Μεγάλης Βρετανίας. Μερικές απ' αυτές τις μελέτες εμφανίζουν να δείχνουν μια αδύναμη σχέση μεταξύ της έκθεσης σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία ELF και μερικών περιστατικών ανάπτυξης καρκίνου. Ωστόσο:

- Οι πιο πρόσφατες επιδημιολογικές έρευνες δείχνουν λίγα στοιχεία ότι είτε οι γραμμές μεταφοράς, είτε τα "ηλεκτρικά επαγγέλματα" συνδέονται με μια αύξηση καρκίνου.
- Οι εργαστηριακές έρευνες έχουν παρουσιάσει λίγα στοιχεία συσχέτισης μεταξύ των πεδίων βιομηχανικής συχνότητας και του καρκίνου.
- Μία εκτενής σειρά μελετών έχει παρουσιάσει ποια έκθεση, κατά την διάρκεια της ζωής ζώων, σε μαγνητικά πεδία ELF, δεν προκαλεί τον καρκίνο.
- Μια συσχέτιση μεταξύ των πεδίων γραμμών μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας και του καρκίνου είναι φυσικά αδικαιολόγητη.

Τα παραπάνω συμπεράσματα αποτελούν τις απόψεις των διεθνών φορέων και διατυπώνονται παρακάτω :

- Η Διεθνής Επιτροπή Προστασίας από Μη Ιοντίζουσες Ακτινοβολίες (ICNIRP) [79], 2001:

"Ελλείπει στοιχεία από κυτταρικές ή ζωικές έρευνες, και λαμβάνοντας υπόψη μεθοδολογικές αβεβαιότητες και σε πολλές περιπτώσεις ασυνέπειες της υπάρχουσας επιδημιολογικής βιβλιογραφίας, δεν υπάρχει ουδεμία χρόνια πάθηση, για την οποία μπορεί να θεωρηθεί ότι επαληθεύεται μια αιτιώδης σχέση με πεδία βιομηχανικής συχνότητας".

- Η Διεθνής Αντιπροσωπεία Ερευνών Καρκίνου (IARC) [80], 2001:

"Υπάρχουν περιορισμένα στοιχεία στους ανθρώπους για την καρκινογένεση των εξαιρετικά χαμηλής συχνότητας μαγνητικών πεδίων, σε σχέση με την λευχαιμία παιδικής ηλικίας. Επίσης, υπάρχουν ανεπαρκή στοιχεία στους ανθρώπους για την καρκινογένεση των εξαιρετικά χαμηλής συχνότητας μαγνητικών πεδίων, σε σχέση με όλους τους άλλους καρκίνους και υπάρχουν ανεπαρκή στοιχεία στους ανθρώπους για την καρκινογένεση των εξαιρετικά χαμηλής συχνότητας ηλεκτρικών πεδίων."

- Το Εθνικό Συμβούλιο Έρευνας (NRC) των ΗΠΑ [81], 2002:

"Τα επιστημονικά στοιχεία που υποδηλώνουν ότι η έκθεση σε ηλεκτρομαγνητικό πεδίο ELF θέτει οποιοδήποτε κίνδυνο υγείας, είναι αδύναμα. Κανένα συνεπές σχήμα βιολογικών αποτελεσμάτων από έκθεση σε χαμηλόσυχνα πεδία δεν έχει προκύψει από τις εργαστηριακές μελέτες ζώων ή κυττάρων. Ωστόσο, οι επιδημιολογικές

μελέτες είχαν παρουσιάσει αρκετά συνεπές σχήμα σχετικής δυνατότητας της έκθεσης σε πεδία βιομηχανικής συχνότητας για έναν μικρό αυξημένο κίνδυνο λευχαιμίας σε παιδιά και χρόνιας λεμφοκυτταρικής λευχαιμίας σε ενήλικες. Για την λευχαιμία, είτε παιδικής ηλικίας είτε ενηλίκων, η ερμηνεία των επιδημιολογικών συμπερασμάτων είναι δύσκολη, λόγω της απουσίας υποστήριξης των εργαστηριακών στοιχείων ή μιας επιστημονικής εξήγησης σύνδεσης της έκθεσης σε τέτοιου είδους πεδία με λευχαιμία." .

- Το Βρετανικό Εθνικό Συμβούλιο Προστασίας από την Ραδιενέργεια (NRPB) [82], 2004:

"Τα επιδημιολογικά στοιχεία δείχνουν ότι η έκθεση στα μαγνητικά πεδία ELF, άνω των 0,4 μT (4 mG), συνδέεται με έναν απόλυτα μικρό αυξημένο κίνδυνο λευχαιμίας στα παιδιά. Ωστόσο, τα επιδημιολογικά στοιχεία δεν είναι αρκετά ισχυρά να δικαιολογήσουν ένα σταθερό συμπέρασμα ότι τα μαγνητικά πεδία των 50/60Hz προκαλούν παιδική λευχαιμία. Υπάρχουν λίγα στοιχεία για να αποδείξουν ότι οι κίνδυνοι εμφάνισης καρκίνου άλλων τύπων, σε παιδιά και ενήλικες, προκύπτουν από την έκθεση σε μαγνητικά πεδία χαμηλής συχνότητας. Τα αποτελέσματα των επιδημιολογικών μελετών, τα οποία ανασκοπούνται από ομάδες εμπειρογνομόνων ξεχωριστά ή συγκεντρωτικά, δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως βάση για να θεσπισθούν ποσοτικοί περιορισμοί έκθεσης σε αυτά τα πεδία."

Επομένως, από επιδημιολογικές μελέτες και εργαστηριακές έρευνες που έχουν γίνει μέχρι σήμερα από οργανισμούς διεθνούς κύρους, ινστιτούτα ιατρικών ερευνών, πανεπιστήμια κ.λπ., δεν έχει αποδειχθεί συσχέτιση οποιασδήποτε αρρώστιας με ηλεκτρομαγνητικά πεδία ιδιαίτερα χαμηλής συχνότητας, περιλαμβανομένου και του διαστήματος συχνοτήτων 50/60Hz, των συχνοτήτων δηλαδή που λειτουργούν τα ηλεκτρικά δίκτυα πλείστων χωρών του κόσμου.

Κεφάλαιο 3

ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΕΝΑΝΤΙ ELF ΠΕΔΙΩΝ

Επειδή οι όποιες επιδράσεις στην υγεία από τα ΗΜΠ χαμηλής συχνότητας είναι μακροπρόθεσμες, υπάρχει μία δυσκολία στον προσδιορισμό ορίων ασφαλείας για την έκθεση στις ακτινοβολίες αυτές. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την δημοσίευση πολλών κανονισμών και ορίων ασφαλείας έως ότου η Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας και μετέπειτα ολόκληρη η ευρωπαϊκή ένωση αποδεχθεί τα όρια που έχει θεσπίσει ο Διεθνής Οργανισμός Προστασίας από τις ακτινοβολίες (IRPA). Αυτά τα όρια αλλά και τα κριτήρια με τα οποία σχηματίστηκαν θα αναφερθούμε στην συνέχεια του κεφαλαίου.

3.1 Ιστορική αναδρομή των κανονισμών προστασίας

Το 1977 η Διεθνής Εταιρεία Προστασίας έναντι Ακτινοβολίας (IRPA) σχημάτισε τη Διεθνή Επιτροπή Προστασίας έναντι μη Ιοντίζουσας Ακτινοβολίας (ICNIRP). Η Επιτροπή αυτή, σε συνεργασία με το Περιβαλλοντικό Τμήμα Υγείας της Παγκόσμιας Οργάνωσης Υγείας (WHO), δημοσίευσε τον Ιανουάριο του 1990 την εργασία «Προσωρινές οδηγίες ορίων για την έκθεση σε ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία 50/60Hz»[83], θεσπίζοντας τα όρια του πίνακα 3.1. Στις εργασίες αυτές, με διάρκεια εκπόνησης άνω των 10 ετών, είχαν σταθμισθεί και ληφθεί υπόψη όλες οι σχετικές επιστημονικές δημοσιεύσεις.

Γενικό κοινό		Επαγγελματική απασχόληση	
Ηλεκτρικό πεδίο	Μαγνητικό πεδίο	Ηλεκτρικό πεδίο	Μαγνητικό πεδίο
5 kV/m (50 Hz)	100 μ T (50 Hz)	10 kV/m (50 Hz)	500 μ T (50 Hz)
4,2 kV/m (60 Hz)	84 μ T (60 Hz)	8.3 kV/m (60 Hz)	420 μ T (60 Hz)

Πίνακας 3.1: Όρια έκθεσης σε ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο 50/60 Hz που προβλέπονται από την ICNIRP.

Στα χρόνια που ακολούθησαν, δημοσιεύονται διάφοροι κανονισμοί και οδηγίες όσον αφορά τα όρια των πεδιακών εντάσεων για την προστασία των ανθρώπων έναντι πεδίων συχνότητας 50Hz. Οι σημαντικότεροι από αυτούς αναγράφονται παρακάτω και περιλαμβάνονται στον πίνακα 3.3:

- Τον Νοέμβριο 1993 δημοσιεύθηκε ο Βρετανικός κανονισμός [84] με σημαντικά υψηλότερα όρια έναντι των ορίων της ICNIRP. Με την δημοσίευση [85] όμως υιοθετήθηκαν το 2004 τα όρια τις ICNIRP.
- Τον Ιανουάριο του 1995 δημοσιεύθηκε το Προσωρινό Ευρωπαϊκό Πρότυπο της Ευρωπαϊκής Επιτροπής Ηλεκτροτεχνικής Τυποποίησης (CENELEC) [86]. Τα όρια έκθεσης σε ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο 50/60 Hz που προβλέπονται από αυτό βρίσκονται στον παρακάτω πίνακα.3.2. και προκύπτουν από την τήρηση της βασικής απαίτησης, οι επαγόμενες πυκνότητες ρεύματος στον ανθρώπινο οργανισμό, λόγω της αλληλεπίδρασής του με τα πεδία στα οποία εκτίθεται, να παραμένουν κατώτερες από 10 mA/m^2 , δεδομένου ότι οι πυκνότητες ρεύματος που ενδογενώς συναντώνται στο σώμα του ανθρώπου είναι περί τα 10 mA/m^2 .

Γενικό κοινό		Επαγγελματική απασχόληση	
Ηλεκτρικό πεδίο (kV / m)	Μαγνητικό πεδίο (μT)	Ηλεκτρικό πεδίο (kV / m)	Μαγνητικό πεδίο (μT)
10	640	10 12 για 6,7 h 20 για 4,0 h 30 για 2,7 h	1.600

Πίνακας 3.2: Όρια έκθεσης σε ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο 50/60 Hz που προβλέπονται από την CENELEC.

- Τον Δεκέμβριο 1996 δημοσιεύθηκε το Γερμανικό Ομοσπονδιακό Διάταγμα [87], στο οποίο θεσμοθετούνται τα επιτρεπόμενα όρια για τα ηλεκτρικά και τα μαγνητικά πεδία για τη συνεχή έκθεση του κοινού. Τα όρια αυτά συμπίπτουν με τα όρια της Οδηγίας του 1990.
- Το 1997 ολοκληρώθηκαν οι οδηγίες της ICNIRP «Οδηγίες για όρια εκθέσεως σε χρονικά μεταβαλλόμενα ηλεκτρικά, μαγνητικά και ηλεκτρομαγνητικά πεδία» [88] που εκπονήθηκαν σε συνεργασία με την Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας και οι οποίες δημοσιεύθηκαν τον Δεκέμβριο 1998. Για την εκπόνηση των οδηγιών αυτών εξετάστηκαν και σταθμίστηκαν επιπρόσθετα και όλες οι νεότερες σχετικές ερευνητικές εργασίες. Στις οδηγίες αυτές, χωρίς τον περιορισμό «προσωρινές οδηγίες», παραμένουν αμετάβλητα τα όρια των προσωρινών οδηγιών του 1990 (5kV/m και $100\mu\text{T}$ για συνεχή έκθεση κοινού και 10kV/m και $500\mu\text{T}$ για την επαγγελματική απασχόληση).

- Τον Ιούλιο 1999 δημοσιεύτηκε η Σύσταση του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης περί του περιορισμού της έκθεσης του κοινού σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία [89]. Στη Σύσταση αυτή το Συμβούλιο υιοθέτησε τα όρια των οδηγιών της ICNIRP μετά την επικύρωσή τους από την Επιστημονική Συντονιστική Επιτροπή της Ευρωπαϊκής Επιτροπής.
- Τον Απρίλιο 2002 δημοσιεύθηκε η Κοινή Υπουργική Απόφαση [90] στην οποία υιοθετούνται στην Ελλάδα τα όρια της Ευρωπαϊκής Επιτροπής.
- Τον Απρίλιο 2004 δημοσιεύτηκε η Οδηγία του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και Συμβουλίου [91], στην οποία ορίζονται τα επιτρεπόμενα όρια κατά την επαγγελματική απασχόληση.

Όρια πεδιακών εντάσεων	Περιοχή			
	μη ελεγχόμενη, παρανομή κοινού		ελεγχόμενη, επαγγ. απασχόληση	
	E kV/m	B μT	E kV/m	B μT
Κανονισμοί προστασίας				
Προσωρινές οδηγίες IRPA/ICNIRP, 1990	5	100	10	500
Οδηγίες ICNIRP, 1998				
Βρετανικός κανονισμός NRPB, 1993	12	1600	12	1600
Επισκόπηση NRPB, 2004	5	100	10	500
CENELEC ENV 50166-1, 1995	10	640	30	1600
Γερμανικό Διάταγμα 26. BIMSchV 1996	5	100	-	-
Σύσταση του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης, 1999	5	100	-	-
ΚΥΑ 3060 (ΦΟΡ) 238, Φ.Ε.Κ. 512 / Β / 25.04.02	5	100	-	-
Οδηγία του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου για την επαγγελματική έκθεση, 2004	-	-	10	500

Πίνακας 3.3: Όρια πεδιακών εντάσεων έναντι ηλεκτομαγνητικών πεδίων συχνότητας 50Hz κατά τη συνεχή έκθεση του κοινού και κατά την επαγγελματική απασχόληση.

Τέλος, όπως έχουμε προαναφέρει, τα παραπάνω όρια εντάσεων των ηλεκτρικών και των μαγνητικών πεδίων στους κανονισμούς δεν είναι και όρια επικινδυνότητας, αλλά εμπεριέχουν πολύ μεγάλους συντελεστές ασφαλείας, ώστε να καλύπτονται οι ασάφειες από την περιορισμένη γνώση σχετικά με την επίδραση των πεδίων και να πληρούται η απαίτηση για την πρόληψη δυσμενών επιδράσεων. Εμφανίζονται έτσι

αποκλίσεις μεταξύ των οριακών τιμών των κανονισμών, επειδή οι συντελεστές ασφαλείας δεν είναι κοινοί για όλους τους κανονισμούς.

3.2 Κριτήρια για ασφαλή όρια έκθεσης

Η Διεθνής Επιτροπή Προστασίας από Μη Ιοντίζουσες Ακτινοβολίες (ICNIRP) το 1998 εξέδωσε όρια για την έκθεση, τόσο του γενικού πληθυσμού όσο και των εργαζομένων, σε ΗΜ πεδία συχνοτήτων 0 έως 300 GHz. Στις συχνοτικές αυτές περιοχές περιλαμβάνονται οι κεραιές των τηλεοπτικών και ραδιοφωνικών σταθμών, οι σταθμοί βάσης κινητής τηλεφωνίας, οι διατάξεις ραντάρ αλλά και τα χαμηλόσυχνα ηλεκτρομαγνητικά πεδία τα οποία μελετάμε.

Με την δημοσίευση των οδηγιών [88], η ICNIRP εξέθεσε τις κατευθυντήριες γραμμές σχετικά με τα όρια για την έκθεση των ανθρώπων. Οι κατευθυντήριες αυτές γραμμές βασίζονται στις αποδεδειγμένες επιδράσεις των ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων στον άνθρωπο. Σε σχέση, όμως, με τις μακροχρόνιες και αβέβαιες επιδράσεις των μαγνητικών πεδίων που αναφέρθηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο, εφόσον δεν υπάρχει γνωστός μηχανισμός δημιουργίας τους, είναι αδύνατον να καθοριστούν όρια βάσει αυτών.

Οι κατευθυντήριες γραμμές της ICNIRP αποτελούνται από βασικούς περιορισμούς και επίπεδα αναφοράς :

- Οι βασικοί περιορισμοί είναι οι περιορισμοί έκθεσης σε χρονικά μεταβαλλόμενα ηλεκτρικά, μαγνητικά και ηλεκτρομαγνητικά πεδία και οι οποίοι βασίζονται άμεσα σε αποδεδειγμένες επιδράσεις στην υγεία και σε βιολογικές μελέτες. Τα φυσικά μεγέθη που χρησιμοποιούνται για να προσδιορίσουν αυτούς τους περιορισμούς, είναι η μαγνητική επαγωγή (B), η πυκνότητα ρεύματος (J), ο ρυθμός ειδικής απορρόφησης ενέργειας (SAR) και η πυκνότητα ισχύος (S).
- Τα επίπεδα αναφοράς είναι αυτά που χρησιμοποιούνται για την πρακτική εκτίμηση της έκθεσης, προκειμένου να ελεγχθεί το ενδεχόμενο υπέρβασης των βασικών περιορισμών. Τα φυσικά μεγέθη που προέρχονται από αντίστοιχους βασικούς περιορισμούς με τη χρήση μετρήσεων ή/και υπολογισμών είναι η ένταση ηλεκτρικού πεδίου (E), η ένταση μαγνητικού πεδίου (H), η μαγνητική επαγωγή (B), η πυκνότητα ισχύος (S) και το ρεύμα των άκρων (IL). Το μέγεθος που σχετίζεται με

την αντίληψή του από τον εκτιθέμενο και άλλες έμμεσες επιδράσεις είναι το ρεύμα επαφής (IC) και για παλμικά πεδία η ειδική απορρόφηση ενέργειας (SA).

Ανάλογα, όμως με τη συχνότητα των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων, χρησιμοποιούνται τα ακόλουθα φυσικά μεγέθη, για τον προσδιορισμό των βασικών περιορισμών:

- Για συχνότητες από 0 έως 1 Hz : Προβλέπονται βασικοί περιορισμοί για την μαγνητική επαγωγή στατικών μαγνητικών πεδίων (0 Hz) και για την πυκνότητα ρεύματος χρονικά μεταβαλλόμενων πεδίων έως 1 Hz, για την πρόληψη επιπτώσεων στο καρδιαγγειακό και στο κεντρικό νευρικό σύστημα
- Για συχνότητες από 1Hz έως 10 MHz : Προβλέπονται βασικοί περιορισμοί για την πυκνότητα ρεύματος, για την πρόληψη επιπτώσεων σε λειτουργίες του νευρικού συστήματος
- Για συχνότητες από 100 kHz έως 10 GHz : Προβλέπονται βασικοί περιορισμοί για τον SAR, για την πρόληψη θερμοπληξίας ολόκληρου του σώματος και της υπερβολικής τοπικής θέρμανσης των ιστών
- Για συχνότητες από 10 GHz έως 300 GHz : Προβλέπονται βασικοί περιορισμοί για την πυκνότητα ισχύος, για την πρόληψη της θέρμανσης των ιστών στην επιφάνεια του σώματος ή κοντά της.

Επομένως, οι βασικοί περιορισμοί και τα επίπεδα αναφοράς για το γενικό πληθυσμό, όπως καθορίστηκαν από την ICNIRP και την Σύσταση της Ε.Ε. που εκδόθηκε το 1999 [89], δίνονται στους πίνακες 3.4 και 3.5 αντίστοιχα.

Περιοχή συχνοτήτων	B (mT)	J (mA/m ²) (rms)	Ολόσωμο SAR (W/kg)	Τοπικό SAR (κεφάλι & κορμός) (W/kg)	Τοπικό SAR (άκρα) (W/kg)	S (W/m ²)
0 Hz	40	-	-	-	-	-
>0-1 Hz	-	8	-	-	-	-
1-4 Hz	-	8/f	-	-	-	-
4-1000 Hz	-	2	-	-	-	-
1 kHz – 100 kHz	-	f/500	-	-	-	-
100 kHz – 10 MHz	-	f/500	0,08	2	4	-
10 MHz – 10 GHz	-	-	0,08	2	4	-
10 – 300 GHz	-	-	-	-	-	10

Πίνακας 3.4: Βασικοί περιορισμοί για το γενικό πληθυσμό με βάση την ICNIRP.

Περιοχή συχνοτήτων	Ένταση Ηλεκτρικού Πεδίου (V/m)	Ένταση Μαγνητικού Πεδίου (A/m)	Μαγνητική Επαγωγή (μ T)	Ποκνότητα ισχύος (W/m^2)
0-1 Hz	-	$3,2 \times 10^4$	4×10^4	-
1-8 Hz	10000	$3,2 \times 10^4 / f^2$	$4 \times 10^4 / f^2$	-
8-25 Hz	10000	$4000 / f$	$5000 / f$	-
0.025-0.8 kHz	$250 / f$	$4 / f$	$5 / f$	-
0.8-3 kHz	$250 / f$	5	6,25	-
3-150 kHz	87	5	6,25	-
0,15 – 1 MHz	87	$0,73 / f$	$0,92 / f$	-
1 – 10 MHz	$87 / f^{1/2}$	$0,73 / f$	$0,92 / f$	-
10 – 400 MHz	28	0,073	0,092	-
400 – 2000 MHz	$1,375 f^{1/2}$	$0,0037 f^{1/2}$	$0,0046 f^{1/2}$	$f/200$
2 – 300 GHz	61	0,16	0,20	10

Πίνακας 3.5: Επίπεδα αναφοράς για το γενικό πληθυσμό με βάση την ICNIRP.

Σημειώνουμε πως όπου f στους πίνακες του κεφαλαίου είναι η συχνότητα στις μονάδες που εμφανίζονται στη στήλη της περιοχής συχνοτήτων

Επίσης, οι βασικοί περιορισμοί και τα επίπεδα αναφοράς για τους επαγγελματικά εκτιθέμενους, όπως καθορίστηκαν από την ICNIRP και την Οδηγία του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και Συμβουλίου που εκδόθηκε το 2004 [91], καταχωρούνται στους πίνακες 3.6 και 3.7 αντίστοιχα.

Περιοχή συχνοτήτων	J (mA/m^2) (rms)	Ολόσωμο SAR (W/kg)	Τοπικό SAR (κεφάλι & κορμός) (W/kg)	Τοπικό SAR (άκρα) (W/kg)	S (W/m^2)
0 Hz	40	-	-	-	-
>0-1 Hz	40	-	-	-	-
1-4 Hz	$40 / f$	-	-	-	-
4-1000 Hz	10	-	-	-	-
1 kHz – 100 kHz	$f/100$	-	-	-	-
100 kHz – 10 MHz	$f/100$	0,4	5	20	-
10 MHz – 10 GHz	-	0,4	5	20	-
10 – 300 GHz	-	-	-	-	50

Πίνακας 3.6: Βασικοί περιορισμοί για τους επαγγελματικά εκτιθέμενους με βάση την ICNIRP.

Περιοχή συχνοτήτων	Ένταση Ηλεκτρικού Πεδίου (V/m)	Ένταση Μαγνητικού Πεδίου (A/m)	Μαγνητική Επαγωγή (μ T)	Πυκνότητα ισχύος (W/m ²)
0-1 Hz	-	$1,63 \times 10^5$	2×10^5	-
1-8 Hz	20000	$1,63 \times 10^5 / f^2$	$2 \times 10^5 / f^2$	-
8-25 Hz	20000	$20000 / f$	$2,5 \times 10^4 / f$	-
0.025-0.8 kHz	$500 / f$	$20 / f$	$25 / f$	-
0.8-1 MHz	610	24,4	30,7	-
1 – 10 MHz	$610 / f$	$1,6 / f$	$2,0 / f$	-
10 – 400 MHz	61	0,16	0,2	10
400 – 2000 MHz	$3 f^{1/2}$	$0,008 f^{1/2}$	$0,01 f^{1/2}$	$f/40$
2 – 300 GHz	137	0,36	0,45	50

Πίνακας 3.7: Επίπεδα αναφοράς για τους επαγγελματικά εκτιθέμενους με βάση την ICNIRP.

Παρατηρούμε, λοιπόν, πως οι τιμές για τον γενικό πληθυσμό είναι αρκετά μικρότερες από αυτές για τους επαγγελματικά απασχολούμενους, καθώς λαμβάνονται υπόψη ότι στον γενικό πληθυσμό εντάσσονται άτομα με ιδιαίτερες ευαισθησίες, όπως ηλικιωμένοι, μικρά παιδιά, πάσχοντες από ασθένειες κλπ.

3.3 Όρια έκθεσης στην Ελλάδα

Σύμφωνα με την Ελληνική Νομοθεσία, για τις εκπομπές ηλεκτρομαγνητικών πεδίων χαμηλών συχνοτήτων έχει εκδοθεί η Κοινή Υπουργική Απόφαση με αριθμό 3060 (ΦΟΡ) 238 (Φ.Ε.Κ. Αρ. 512, Τεύχος Δεύτερο, 25 Απριλίου 2002) από τα Υπουργεία Ανάπτυξης, Περιβάλλοντος Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων και Υγείας και Πρόνοιας, με θέμα: «τα μέτρα προφύλαξης του κοινού από τη λειτουργία διατάξεων εκπομπής ηλεκτρομαγνητικών πεδίων χαμηλών συχνοτήτων» [90]. Η προαναφερθείσα Κ.Υ.Α. βασίστηκε στη Σύσταση του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης "Σχετικά με τον περιορισμό της έκθεσης του κοινού σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία 0 Hz - 300 GHz" (L199, 1999/519/EC) [89] και στις κατευθυντήριες γραμμές (guidelines) που εξεδόθησαν από την ICNIRP (International Commission on Non Ionizing Radiation Protection) το 1998 [88] που μελετήσαμε στην παραπάνω ενότητα. Σε αυτήν προσδιορίζονται τα επίπεδα αναφοράς και οι βασικοί περιορισμοί για τον γενικό πληθυσμό από στατικά και ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία εξαιρετικά

χαμηλής συχνότητας καθώς και οι αρμόδιες υπηρεσίες για την προστασία του κοινού από αυτές.

Βασικοί περιορισμοί και επίπεδα αναφοράς

Οι βασικοί περιορισμοί προέκυψαν από τις τιμές κατωφλίου που προκαλούν δυσμενείς βιολογικές επιδράσεις και έχουν οριστεί λαμβάνοντας υπόψη μεγάλους συντελεστές ασφαλείας. Για τον γενικό πληθυσμό οι βασικοί περιορισμοί έχουν οριστεί 50 φορές χαμηλότερα από τις τιμές στις οποίες προκύπτουν οι δυσμενείς επιδράσεις όπως π.χ. για την προστασία του κοινού ο βασικός περιορισμός της πυκνότητας του επαγόμενου ρεύματος στο ανθρώπινο σώμα ορίστηκε σε 2 mA/cm^2 για την συχνότητα των 50 Hz. Επομένως, για την έκθεση του κοινού σε χρονικά μεταβαλλόμενα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία σε χαμηλές συχνότητες προβλέπονται στη Ελληνική Νομοθεσία βασικοί περιορισμοί για την πυκνότητα του επαγόμενου ρεύματος για την πρόληψη επιπτώσεων σε λειτουργίες του νευρικού συστήματος για συχνότητες έως 100 kHz, με ίδιες τιμές με την Σύσταση της Ε.Ε. Οι βασικοί αυτοί περιορισμοί παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα 3.8.

Ζώνη συχνοτήτων	Μαγνητική Επαγωγή (mT)	Πυκνότητα ρεύματος (mA/m^2) (rms)
0 Hz	40	-
>0-1 Hz	-	8
1-4 Hz	-	8/f
4-1000 Hz	-	2
1000 Hz	-	
100 kHz	-	f/500

Πίνακας 3.8: Βασικοί περιορισμοί της ελληνικής νομοθεσίας για τα ΗΜΠ χαμηλών συχνοτήτων.

Όσον αφορά τα επίπεδα αναφοράς που χρησιμοποιούνται για τον περιορισμό της έκθεσης αναφέραμε πως προέρχονται από τους βασικούς περιορισμούς θεωρώντας τις δυσμενέστερες συνθήκες σύζευξης των πεδίων με το σώμα εισάγοντας, δηλαδή, στην πράξη ένα επιπλέον συντελεστή ασφαλείας. Έτσι, τα επίπεδα αναφοράς, που σύμφωνα με την Ελληνική Νομοθεσία αποτελούν τα όρια ασφαλούς έκθεσης του κοινού σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία στο φάσμα των χαμηλών συχνοτήτων, αφορούν

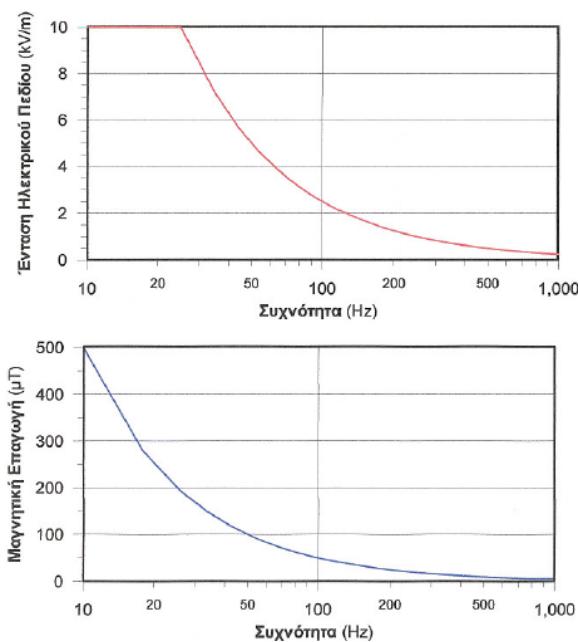
τα μετρούμενα μεγέθη του ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου για συχνότητες έως 150 kHz και έχουν ίδιες τιμές με την Σύσταση της Ε.Ε. (πίνακα 3.9).

Ζώνη συχνοτήτων	Ένταση Ηλεκτρικού Πεδίου E (V/m)	Ένταση Μαγνητικού Πεδίου H (A/m)	Μαγνητική Επαγωγή B (μΤ)
0-1 Hz	-	$3,2 \times 10^4$	4×10^4
1-8 Hz	10000	$3,2 \times 10^4 / f^2$	$4 \times 10^4 / f^2$
8-25 Hz	10000	$4000 / f$	$5000 / f$
0.025-0.8 kHz	$250 / f$	$4 / f$	$5 / f$
0.8-3 kHz	$250 / f$	5	6,25
3-150 kHz	87	5	6,25

Πίνακας 3.9: Επίπεδα αναφοράς της ελληνικής νομοθεσίας για τα ΗΜΠ χαμηλών συχνοτήτων.

Επομένως, στην Ελλάδα, ορίστηκαν για την συχνότητα των 50 Hz για το γενικό πληθυσμό τα γνωστά μας όρια των 5 kV/m (ένταση ηλεκτρικού πεδίου) και 100 μΤ (μαγνητική επαγωγή).

Επίσης, στο σχήμα 3.1 παρουσιάζονται τα επίπεδα αναφοράς για τα δύο αυτά φυσικά μεγέθη όπως ορίζονται στην Ελληνική Νομοθεσία (και στη Σύσταση της Ε.Ε.), σε συνάρτηση με την συχνότητα, για συχνότητες από 10 Hz έως 1000 Hz.



Σχήμα 3.1. Επίπεδα αναφοράς της Ελληνικής Νομοθεσίας για συχνότητες από 10 Hz έως 1000 Hz.

Ακόμη, για συχνότητες έως 100 kHz και προκειμένου να αποφευχθούν οι κίνδυνοι που οφείλονται σε ρεύματα επαφής, συνιστώνται από την Ελληνική Νομοθεσία πρόσθετα επίπεδα αναφοράς. Τα επίπεδα αναφοράς για το ρεύμα επαφής δίνονται στον πίνακα 3.10.

Ζώνη συχνοτήτων	Μέγιστο επιτρεπόμενο ρεύμα επαφής (mA)
0 - 2,5 kHz	0,5
2,5 kHz - 100 kHz	0,2f

Πίνακας 3.10: Επίπεδα αναφοράς για ρεύματα επαφής από αγωγίμα σώματα (f σε kHz).

Έκθεση σε πηγές με πολλαπλές συχνότητες

Γνωρίζουμε πως το Ελληνικό Σύστημα Μεταφοράς και Διανομής Ηλεκτρικής ενέργειας λειτουργεί στην συχνότητα των 50 Hz και για το λόγο αυτό η κύρια φασματική συνιστώσα των ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων εμφανίζεται συνήθως στην συχνότητα αυτή. Ωστόσο, πολλές φορές τα μετρούμενα ηλεκτρικά και πολύ περισσότερο τα μαγνητικά πεδία εμφανίζουν φασματικές συνιστώσες και σε άλλες συχνότητες, συνήθως σε αρμονικές (δηλαδή σε ακέραια πολλαπλάσια) των 50 Hz.. Στις περιπτώσεις αυτές προβλέπεται στην Ελληνική Νομοθεσία [90] (όπως και στη Σύσταση της Ε.Ε.) η συνεκτίμηση της επιβάρυνσης από την ύπαρξη πεδίων πολλών συχνοτήτων.

Για το φαινόμενο της ηλεκτρικής διέγερσης σε συχνότητες από 1 Hz έως 100 kHz, οι πυκνότητες του ρεύματος εξ επαγωγής (βασικός περιορισμός) πρέπει να προστίθενται σύμφωνα με τον τύπο:

$$\sum_{i=1\text{Hz}}^{100\text{kHz}} \frac{J_i}{J_{L,i}} \leq 1 \quad (4.1)$$

όπου J_i είναι η πυκνότητα ρεύματος σε συχνότητα i και

$J_{L,i}$ είναι ο βασικός περιορισμός για την πυκνότητα ρεύματος σε συχνότητα i

όπως αναφέρεται στον πίνακα 3.8.

Για την εφαρμογή των βασικών περιορισμών, εφαρμόζονται τα ακόλουθα κριτήρια, όσον αφορά τα επίπεδα αναφοράς για τις εντάσεις των πεδίων.

1) Για τις πυκνότητες ρεύματος εξ επαγωγής και τα φαινόμενα ηλεκτρικών διεγέρσεων που προκαλούνται από αυτά και εξετάζονται σε συχνότητες έως 150 kHz, πρέπει να εφαρμόζονται οι ακόλουθες δύο απαιτήσεις:

$$\sum_{i=1\text{Hz}}^{150\text{kHz}} \frac{H_i}{H_{L,i}} \leq 1 \quad (4.2)$$

και

$$\sum_{i=1\text{Hz}}^{150\text{kHz}} \frac{E_i}{E_{L,i}} \leq 1 \quad (4.3)$$

όπου E_i είναι η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου σε συχνότητα i ,

$E_{L,i}$ είναι το επίπεδο αναφοράς για την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου σε συχνότητα i που αναφέρεται στον πίνακα 3.9,

H_i είναι η ένταση του μαγνητικού πεδίου σε συχνότητα i ,

$H_{L,i}$ είναι το επίπεδο αναφοράς για την ένταση του μαγνητικού πεδίου σε συχνότητα i που αναφέρεται στον πίνακα 3.9.

2) Για το ρεύμα των άκρων και για το ρεύμα επαφής αντίστοιχα, θα πρέπει να εφαρμόζονται οι ακόλουθες δύο απαιτήσεις:

$$\sum_{k=10\text{Hz}}^{100\text{kHz}} \left(\frac{I_k}{I_{L,k}} \right)^2 \leq 1 \quad (4.4) \quad \text{και} \quad \sum_{n>1\text{Hz}}^{100\text{kHz}} \left(\frac{I_n}{I_{C,n}} \right)^2 \leq 1 \quad (4.5)$$

όπου I_k είναι η τιμή του ρεύματος άκρων σε συχνότητα k ,

$I_{L,k}$ είναι το επίπεδο αναφοράς για το ρεύμα άκρων, 45 mA,

I_n είναι η τιμή του ρεύματος επαφής σε συχνότητα n και,

$I_{C,n}$ είναι το επίπεδο αναφοράς για το ρεύμα επαφής σε συχνότητα n (βλέπε πίνακα 3.10).

Τέλος, στον παρακάτω πίνακα 3.11 παρουσιάζονται τα επίπεδα αναφοράς της ελληνικής νομοθεσίας για διάφορες «γνωστές» συχνότητες.

Συχνότητα f (Hz)	Ένταση Ηλεκτρικού Πεδίου E (V/m)	Μαγνητική Επαγωγή B (μ T)	Παρατηρήσεις
<1	-	40000	Τα πεδία αυτά είναι κατ' ουσία στατικά. Δεν ορίζεται όριο για την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου καθώς για τους περισσότερους, η ενοχλητική αίσθηση τους γίνεται αντιληπτή σε πεδία με ένταση μεγαλύτερη από 25000 V/m.
16,67	10000	300	Η συχνότητα αυτή χρησιμοποιείται συνήθως σε συστήματα έλξης ηλεκτρικών συρμών σε Ευρωπαϊκές χώρες.
50	5000	100	Η συχνότητα αυτή χρησιμοποιείται για την Διανομή και Μεταφορά Ηλεκτρικής Ενέργειας στην Ελλάδα όπως και σε όλη την Ευρώπη καθώς και σε πολλά μέρη του κόσμου εκτός από την Βόρεια Αμερική.
60	4166	83,3	Η συχνότητα αυτή χρησιμοποιείται για την Διανομή και Μεταφορά Ηλεκτρικής Ενέργειας στην Βόρεια Αμερική.
85	2941	58,8	Η συχνότητα αυτή χρησιμοποιείται σε κάποιες οθόνες οπτικής απεικόνισης καθοδικού σωλήνα. Οι αναφερόμενες τιμές είναι ενδεικτικές καθώς πρέπει να ληφθούν υπόψη και οι υψηλές αρμονικές συνιστώσες των 85 Hz που δημιουργούνται από την πριονωτή κυματομορφή του πεδίου.
100	2500	50	Η συχνότητα αυτή είναι η δεύτερη αρμονική των 50 Hz· εμφανίζεται συνήθως (όπως και όλες οι ζυγές αρμονικές) όταν το θετικό μέρος της βασικής κυματομορφής είναι διαφορετικό από το αρνητικό.
150	1667	33,3	Η συχνότητα αυτή είναι η τρίτη αρμονική των 50 Hz· είναι η πιο συνηθισμένη και η παρουσία της συσχετίζεται με την ικανότητα ανάπτυξης ομοπολικού ρεύματος στα τριφασικά συστήματα.
400	625	12,5	Η συχνότητα αυτή χρησιμοποιείται στις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις αεροπλάνων και πλοίων

Πίνακας 3.11: Επίπεδα αναφοράς της ελληνικής νομοθεσίας σε διάφορες συχνότητες για τα μεγέθη της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου (E) και της μαγνητικής επαγωγής (B).

Αρμόδιες υπηρεσίες και έλεγχοι

Σύμφωνα με την κείμενη νομοθεσία [90], ορίζονται οι αρμοδιότητες της ΕΕΑΕ για την προφύλαξη του κοινού και του περιβάλλοντος από τα πεδία αυτά. Συγκεκριμένα, το γραφείο μη-ιοντιζουσών ακτινοβολιών της Ελληνικής Επιτροπής Ατομικής Ενέργειας είναι υπεύθυνο για την προστασία του πληθυσμού και του περιβάλλοντος από τις τεχνητά παραγόμενες μη-ιοντίζουσες ακτινοβολίες και φροντίζει για την παροχή σχετικής πληροφόρησης σε κάθε ενδιαφερόμενο. Έτσι, η Ε.Ε.Α.Ε. στα πλαίσια των αρμοδιοτήτων της, πραγματοποιεί εκπαιδευτικά προγράμματα για την κατάρτιση του προσωπικού όλων των ενδιαφερομένων φορέων σε θέματα προστασίας του κοινού από ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες και αναλαμβάνει συντονισμένες πρωτοβουλίες με τις συναρμόδιες υπηρεσίες των Υπουργείων ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ., Υγείας και Πρόνοιας, Μεταφορών και Επικοινωνιών για την αποτελεσματική παρακολούθηση των διεθνών εξελίξεων, την εκπόνηση ερευνητικών μελετών και τη σχετική ενημέρωση του γενικού πληθυσμού για θέματα προστασίας της υγείας από την εκπομπή ηλεκτρομαγνητικών ακτινοβολιών.

Επίσης, κατά τη λειτουργία των διατάξεων εκπομπής, η τήρηση των ορίων ασφαλούς έκθεσης του κοινού ελέγχεται μέσω μετρήσεων περιοδικά ή οποτεδήποτε κριθεί αυτό απαραίτητο από την Ε.Ε.Α.Ε. καθώς και από αρμόδιες υπηρεσίες του Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ., του Υπουργείου Υγείας και Πρόνοιας, του Υπουργείου Μεταφορών και Επικοινωνιών, των Νομαρχιακών Αυτοδιοικήσεων ή από άλλα εξουσιοδοτημένα από την Ε.Ε.Α.Ε. συνεργεία (π.χ. Εργαστήρια Πολυτεχνείων και άλλων φορέων), με τον συντονισμό και την κατανομή των μετρήσεων να αναλαμβάνει η Ε.Ε.Α.Ε.

Άρα, λοιπόν, η Ε.Ε.Α.Ε. διεξάγει ελέγχους και μετρήσεις των επιπέδων της εκπεμπόμενης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από διατάξεις ηλεκτρικής ενέργειας, όπως π.χ. οι γραμμές μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, οι υποσταθμοί συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας και οι ηλεκτρικές εγκαταστάσεις, τα μηχανήματα και οι συσκευές και άλλες διατάξεις εκπομπής ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων χαμηλών συχνοτήτων.

Σε περίπτωση που η Ε.Ε.Α.Ε. διαπιστώσει από τις μετρήσεις, υπέρβαση των ορίων ασφαλούς έκθεσης, ενημερώνει την Υπηρεσία που χορήγησε την άδεια εγκατάστασης, η οποία στη συνέχεια ειδοποιεί εγγράφως τον κάτοχο του εξοπλισμού να προβεί στις εξής ενέργειες:

- Άμεση διακοπή λειτουργίας του υπαίτιου εξοπλισμού και γνωστοποίησή της στην Υπηρεσία που χορήγησε την άδεια εγκατάστασης
- Μη επανάληψη της λειτουργίας του πριν αρθεί η αιτία της δυσλειτουργίας
- Γνωστοποίηση της επανάληψης λειτουργίας στην Υπηρεσία που χορήγησε την άδεια εγκατάστασης, με παροχή εξηγήσεων για την αιτία δυσλειτουργίας.

Τέλος, εάν οποτεδήποτε μετά την αρχική ειδοποίηση διαπιστωθεί ξανά αντικανονική λειτουργία του ίδιου εξοπλισμού, τότε ανακαλείται οριστικά η άδεια εγκατάστασης στη θέση αυτή.

Κεφάλαιο 4

ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΠΡΟΤΥΠΟΥ IEC 61786

Ο IEC (International Electrotechnical Commission) είναι ένας παγκόσμιος οργανισμός που συνεργάζεται με εθνικές ηλεκτροτεχνικές επιτροπές για την τυποποίηση οτιδήποτε έχει σχέση με τον ηλεκτρισμό και τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία. Κύρια απασχόληση του αποτελεί η δημοσίευση διεθνών προτύπων όπως το IEC 61786:98: *Measurement of low-frequency magnetic and electric fields with regard to exposure of human beings – Special requirements for instruments and guidance for measurements* που θα περιγράψουμε παρακάτω.

4.1 Σκοπός

Αυτό το διεθνές πρότυπο παρέχει τις οδηγίες για τη μέτρηση της r.m.s. τιμής των χαμηλόσυχνων μαγνητικών και ηλεκτρικών πεδίων με φασματικό περιεχόμενο από 15 Hz έως 9 kHz. Στις πηγές των χαμηλόσυχνων πεδίων περιλαμβάνονται οι συσκευές που λειτουργούν στις συχνότητες ισχύος και παράγουν πεδία στην συχνότητα ισχύος (με ή χωρίς αρμονικές), αλλά και συσκευών που παράγουν πεδία ανεξάρτητα από την συχνότητα των 50/60 Hz. Οι περιοχές έντασης που καλύπτονται από αυτό το πρότυπο είναι 100 nT έως 100 mT και 1 V/m έως 50 kV/m για τα μαγνητικά πεδία και τα ηλεκτρικά πεδία, αντίστοιχα. Ακόμα και αν εκτελούνται μετρήσεις έξω από αυτές τις περιοχές, οι περισσότερες από τις προβλέψεις αυτού του προτύπου θα ισχύουν ακόμα, αν και ορισμένες όπως η διευκρινισμένη αβεβαιότητα και η διαδικασία βαθμονόμησης μπορεί να χρειαστούν τροποποίηση.

Συγκεκριμένα, αυτό το πρότυπο

- καθορίζει την ορολογία
- προσδιορίζει τις απαραίτητες προδιαγραφές των πεδιομετρητών
- υποδεικνύει τις μεθόδους βαθμονόμησης
- καθορίζει τις απαιτήσεις για την αβεβαιότητα του οργάνου
- περιγράφει τα γενικά χαρακτηριστικά των πεδίων

- εκτιμά τις λειτουργικές αρχές για την χρήση του οργάνου
- περιγράφει μεθόδους μέτρησης που επιτυγχάνουν καθορισμένους στόχους σχετικά με την ανθρώπινη έκθεση.

Επίσης, προσδιορίζονται οι πηγές αβεβαιότητας κατά τη διάρκεια της βαθμονόμησης και των μετρήσεων και παρέχονται οι οδηγίες για τον τρόπο με τον οποίο πρέπει να συνδυαστούν για να καθορίσουν την συνολική αβεβαιότητα μέτρησης. Όσον αφορά τις μετρήσεις ηλεκτρικού πεδίου, αυτό το πρότυπο εξετάζει μόνο την μέτρηση της έντασης του μη διαταρασμένου ηλεκτρικού πεδίου σε σημείο στο χώρο (π.χ. το ηλεκτρικό πεδίο πριν από την εισαγωγή του μετρητή και του χειριστή) ή σε αγωγίμες επιφάνειες.

4.2 Ορισμοί

Για την καλύτερη κατανόηση του προτύπου θα πρέπει να αποσαφηνίσουμε την σημασία κάποιων εννοιών που θα χρειαστούν στην παρακάτω ανάλυση. Έτσι, λοιπόν, έχουμε :

4.2.1 Δοκιμές

Δοκιμή αποδοχής: Αποτελεί συμβατική δοκιμή για να αποδείξει στον πελάτη ότι η συσκευή ικανοποιεί ορισμένες προϋποθέσεις των προδιαγραφών.

Δοκιμή τύπου: Είναι η δοκιμή μιας ή περισσότερων συσκευών που γίνονται σε μια ορισμένη διάταξη για να δείξει ότι η διάταξη ικανοποιεί ορισμένες προδιαγραφές. Η συγκεκριμένη δοκιμή εκτελείται κανονικά από τον σχεδιαστή/κατασκευαστή της συσκευής.

4.2.2 Μετρητές

Μετρητής έντασης εναλλασσόμενου ηλεκτρικού πεδίου: Σχεδιάστηκε να μετράει τα εναλλασσόμενα ηλεκτρικά πεδία και υπάρχουν τρεις διαθέσιμοι τύποι μετρητών έντασης ηλεκτρικού πεδίου: **μετρητής ελεύθερου σώματος, μετρητής επίγειας αναφοράς, ηλεκτρο-οπτικός μετρητής.** Οι μετρητές αυτοί αποτελούνται από δύο μέρη: τον αισθητήρα πεδίου και τον ανιχνευτή που επεξεργάζεται το σήμα από τον

αισθητήρα και δείχνει την τιμή r.m.s. του ηλεκτρικού πεδίου με αναλογική ή ψηφιακή ένδειξη.

Ηλεκτρο-οπτικός μετρητής (electro-optic meter): Είναι ο μετρητής που μετρά την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου από τις αλλαγές στη μετάδοση του φωτός μέσω μιας ίνας ή κρύσταλλου που οφείλονται στην επίδραση του ηλεκτρικού πεδίου. Ενώ υπάρχουν διάφορες ηλεκτρο-οπτικές μέθοδοι που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μέτρηση των ηλεκτρικών πεδίων, π.χ. η επίδραση Pockels, η επίδραση Kerr, και οι συμβολομετρικές τεχνικές, αυτό το πρότυπο εξετάζει μόνο τα ηλεκτρο-οπτικά πεδιόμετρα που χρησιμοποιούν την επίδραση Pockels.

Μετρητής ελεύθερου σώματος (free-body meter): Ο μετρητής που μετρά την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου σε μη γειωμένο σημείο άνωθεν του εδάφους. Οι συγκεκριμένοι μετρητές κατασκευάζονται συνήθως για να μετρήσουν το επαγόμενο ρεύμα μεταξύ δύο μονωμένων μερών ενός αγωγίμου σώματος. Αφού το επαγόμενο ρεύμα είναι ανάλογο προς την χρονική παράγωγο της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου, το κύκλωμα ανιχνευτή του μετρητή περιέχει ένα στάδιο ολοκλήρωσης για να ανακτήσει την κυματομορφή του ηλεκτρικού πεδίου. Η κυματομορφή του ολοκληρωμένου ρεύματος συμπίπτει επίσης με αυτό του επαγόμενου ηλ. φορτίου. Τέλος, το στάδιο ολοκλήρωσης είναι επιθυμητό, ιδιαίτερα για τη μέτρηση ηλεκτρικών πεδίων με αρμονικό περιεχόμενο.

Μετρητής επίγειας αναφοράς (ground reference meter): Ο μετρητής που μετρά το ηλεκτρικό πεδίο στην επιφάνεια του εδάφους (ή κοντά του), με την βοήθεια υπολογισμού του επαγόμενου ρεύματος ή της ταλάντευσης φορτίου μεταξύ ενός μονωμένου ηλεκτροδίου και του εδάφους. Αφού οι μετρητές αυτοί μετρούν το επαγόμενο ρεύμα συχνά περιέχουν ένα κύκλωμα ολοκληρωτή που αντισταθμίζει την παράγωγο σχέση μεταξύ του επαγόμενου ρεύματος και του ηλεκτρικού πεδίου.

Μαγνητόμετρο ρυθμιζόμενης μαγνητικής ροής (fluxgate meter): Όργανο με σκοπό να μετρήσει τα μαγνητικά πεδία χρησιμοποιώντας τα μη γραμμικά μαγνητικά χαρακτηριστικά του αισθητήρα που έχει έναν σιδηρομαγνητικό πυρήνα

Μετρητής πυκνότητας μαγνητικής ροής: Μετρητής με σκοπό να μετρήσει την πυκνότητα μαγνητικής ροής και αποτελείται από δύο μέρη: τον αισθητήρα πεδίου και τον ανιχνευτή που επεξεργάζεται το σήμα από τον αισθητήρα και δείχνει την τιμή r.m.s. του μαγνητικού πεδίου με αναλογική ή ψηφιακή ένδειξη. Σε κοινή χρήση

υπάρχουν διάφοροι τύποι μετρητών όπως, π.χ. πεδιόμετρα με αισθητήρια πηνία, μετρητές με αισθητήρες Hall και μετρητές που συνδυάζουν δύο πηνία με ένα σιδηρομαγνητικό πυρήνα όπως στο **μαγνητόμετρο ρυθμιζόμενης μαγνητικής ροής**.

Αισθητήριο πηνίο (Coil probe): Αισθητήρας πυκνότητας μαγνητικής ροής αποτελούμενο από μια σπείρα καλωδίου η οποία παράγει μια επαγόμενη τάση ανάλογη προς την χρονική παράγωγο του μαγνητικού πεδίου, με αποτέλεσμα το κύκλωμα ανιχνευτή του αισθητήρα να απαιτεί ένα στάδιο ολοκλήρωσης για να ανακτήσει την κυματομορφή της πυκνότητας μαγνητικής ροής.

Αισθητήρας Hall: Αισθητήρας πυκνότητας μαγνητικής ροής που περιλαμβάνει ένα στοιχείο που επηρεάζεται από το φαινόμενο Hall για την παραγωγή τάσης ανάλογη προς την πυκνότητα μαγνητικής ροής.

Στο Παράρτημα Β εμπεριέχονται διάφοροι τύποι μετρητών της αγοράς όπως αυτοί που αναλύσαμε παραπάνω.

4.2.3 Χαρακτηριστικά μετρητών

Συντελεστής κορυφής: Για τις περιοδικές συναρτήσεις, ο λόγος της τιμής της κορυφής της κυματομορφής (αιχμή, μέγιστο) προς την r.m.s. τιμή της.

Αντεγκλήσεις (crosstalk): Είναι ο θόρυβος ή το εξωτερικό σήμα προκαλούμενο από εναλλασσόμενο ρεύμα ή παλμικά σήματα από γειτονικά κυκλώματα.

Απόκριση συχνότητας: Απόκριση (ανάγνωση) ενός πεδιομέτρου σε ένα πεδίο σταθερού πλάτους αλλά διαφορετικών συχνοτήτων.

Περατή ζώνη συχνοτήτων: Είναι η ζώνη συχνοτήτων μέσω της οποίας περνούν τα σήματα με μικρή εξασθένηση.

Μέσος ανορθωμένος ανιχνευτής (βαθμονομημένος σε r.m.s.): Κύκλωμα ανιχνευτή που ανορθώνει το σήμα από τον αισθητήρα και είναι βαθμονομημένο για να δώσει τη πραγματική r.m.s. τιμή ενός ημιτονοειδούς πεδίου σε μια δεδομένη συχνότητα. Εάν όμως υπάρχουν αρμονικές στο πεδίο, ο μετρητής πεδίου με το **μέσο ανορθωμένο ανιχνευτή** δεν θα δείξει την πραγματική τιμή r.m.s. (true r.m.s.) του πεδίου εάν το σήμα από τον αισθητήρα είναι ανάλογο προς την χρονική παράγωγο

του πεδίου. Αντίθετα, εάν ο ανιχνευτής περιέχει ένα στάδιο ολοκλήρωσης, τότε το σφάλμα μειώνεται.

Ανιχνευτής πραγματικής r.m.s. (true r.m.s.): Ανιχνευτής που περιέχει ένα

κυκλωματικό στοιχείο που εκτελεί τη μαθηματική πράξη $\sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [v(t)]^2 dt}$ (1) σε ένα

περιοδικό σήμα $v(t)$, όπου το T είναι η περίοδος του σήματος.

Εάν η $v(t)$ είναι ανάλογη προς τη χρονική παράγωγο του πεδίου, το κύκλωμα ανιχνευτή απαιτεί επίσης ένα στάδιο ολοκλήρωσης πριν από τη πράξη της r.m.s. για να ανακτήσει την κυματομορφή της πυκνότητας μαγνητικής ροής. Αυτός ο τύπος ανιχνευτή δίνει την πραγματική τιμή r.m.s. ενός πεδίου που περιέχει αρμονικές υπό τον όρο ότι η απόκριση συχνότητας του ανιχνευτή είναι επίπεδη πέρα από το ενδιαφερόμενο φάσμα συχνότητας.

4.2.4 Χαρακτηριστικά πεδίου

Ανομοιογενές πεδίο: Το πεδίο που αλλάζει σε μέγεθος ή κατεύθυνση, ή και στα δύο, από την εισαγωγή ενός αντικειμένου. Επίσης πρέπει να σημειώσουμε πως το ηλεκτρικό πεδίο στην επιφάνεια του αντικειμένου είναι, γενικά, έντονα διαταρασσόμενο από την παρουσία του, σε αντίθεση με το μαγνητικό που δεν διαταράσσεται αρκετά (στις συχνότητες ισχύος) από την παρουσία αντικειμένων που είναι φτιαγμένα χωρίς μαγνητικά υλικά. Εξαιρέση αυτού αποτελούν οι περιοχές κοντά στην επιφάνεια των χοντρών ηλεκτρικών αγωγών και οι περιοχές μακριά από χοντρούς αγωγούς, εάν αυτοί βρίσκονται κοντά σε πηγή μαγνητικού πεδίου. Η διαταραχή σε αυτές τις περιπτώσεις οφείλεται στα αντίθετα μαγνητικά πεδία που παράγονται από τα δινορεύματα στους αγωγούς.

Ομοιογενές πεδίο: Το πεδίο που θα υπήρχε σε ένα σημείο ελλείψει προσώπων ή κινούμενων αντικειμένων

Χαμηλόσυχνο πεδίο (quasi-static field): Το πεδίο που ικανοποιεί την συνθήκη $f \ll c \div l$, όπου f είναι η συχνότητα του πεδίου, c είναι η ταχύτητα του φωτός, και l είναι ένα χαρακτηριστικό μέγεθος της γεωμετρίας μέτρησης, π.χ. η απόσταση μεταξύ της πηγής του πεδίου και του σημείου μέτρησης

Ολικό (συνιστάμενο) ηλεκτρικό πεδίο: Είναι το ηλεκτρικό πεδίο που δίνεται από την έκφραση $E_R = \sqrt{E_x^2 + E_y^2 + E_z^2}$ (4.1) όπου E_x , E_y , και E_z είναι οι τιμές r.m.s. των τριών ορθογώνιων πεδριακών συνιστωσών

Ολικό (συνιστάμενο) μαγνητικό πεδίο: Είναι το μαγνητικό πεδίο που δίνεται από την έκφραση $B_R = \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2}$ (4.2) όπου B_x , B_y , και B_z είναι οι τιμές r.m.s. των τριών ορθογώνιων πεδριακών συνιστωσών

4.2.5 Μετρήσεις

Συντελεστής διόρθωσης: Ο αριθμητικός παράγοντας με τον οποίο το μη διορθωμένο αποτέλεσμα μιας μέτρησης πολλαπλασιάζεται για να αντισταθμίσει ένα γνωστό σφάλμα. Δεδομένου, όμως, ότι το γνωστό σφάλμα δεν μπορεί να καθοριστεί ακριβώς, η αποκατάσταση δεν μπορεί να είναι πλήρης.

Συντελεστής κάλυψης: Ο αριθμητικός παράγοντας που χρησιμοποιείται ως πολλαπλασιαστής της συνδυασμένης **πρότυπης αβεβαιότητας (standard uncertainty)** προκειμένου να λάβουμε την εκτεταμένη αβεβαιότητα (expanded uncertainty)

Συντελεστής κλίμακας: Ο παράγοντας με τον οποίο η ανάγνωση του οργάνου πολλαπλασιάζεται για να λάβει την εισερχόμενη ποσότητα.

Μέτρηση σημείου (point-in-time measurement): Μέτρηση που εκτελείται σε κάποια στιγμή και σημείο στο χώρο, το οποίο δεν παρέχει πληροφορίες σχετικά με τις χρονικές ή χωρικές μεταβολές του πεδίου.

Πρότυπη αβεβαιότητα: Η αβεβαιότητα του αποτελέσματος μιας μέτρησης που εκφράζεται ως τυπική απόκλιση.

Αβεβαιότητα της μέτρησης: Παράμετρος, συσχετιζόμενη με το αποτέλεσμα μιας μέτρησης, η οποία χαρακτηρίζει την διασπορά των μετρούμενων τιμών. Η αβεβαιότητα της μέτρησης περιλαμβάνει γενικά πολλές συνιστώσες. Κάποιες από αυτές μπορούν να εκτιμηθούν βάσει της στατιστικής κατανομής των αποτελεσμάτων μιας σειράς μετρήσεων, και μπορεί να χαρακτηριστούν από τις πειραματικές τυπικές αποκλίσεις. Οι εκτιμήσεις άλλων συνιστωσών μπορούν να βασιστούν στην εμπειρία ή σε άλλες πληροφορίες που θα δούμε παρακάτω.

4.3 Προδιαγραφές οργάνου

Μαζί με το όργανο μέτρησης ηλεκτρικού ή μαγνητικού πεδίου θα πρέπει να παρέχονται κατάλληλες πληροφορίες για τις προδιαγραφές του όπως αυτές που αναλύονται παρακάτω.

Αβεβαιότητα του οργάνου: Το μετρητικό σύστημα για τα εναλλασσόμενα μαγνητικά πεδία θα πρέπει να απεικονίζει την τιμή r.m.s. του ομογενούς μαγνητικού πεδίου με μια αβεβαιότητα μικρότερη από \pm (10% της ένδειξης + 20 nT) ενώ το μετρητικό σύστημα για τα εναλλασσόμενα ηλεκτρικά πεδία πρέπει να υποδείξει την τιμή r.m.s. του ομοιόμορφου ηλεκτρικού πεδίου με μια αβεβαιότητα λιγότερο από \pm (10% της ανάγνωσης + 2 V/m), αφότου έχουν εφαρμοστεί και στις δύο περιπτώσεις **οι συντελεστές διόρθωσης**, εάν κριθεί απαραίτητο.

Εύρος Έντασης: Θα πρέπει να υποδεικνύεται ευκρινώς το εύρος έντασης μέσα στο οποίο το όργανο λειτουργεί εντός της διευκρινισμένης αβεβαιότητας.

Περατή ζώνη συχνότητων: Στο όργανο πρέπει να περιέχονται τα στοιχεία βαθμονόμησης ή οι προδιαγραφές που επιτρέπουν στον χρήστη να αξιολογήσει την αβεβαιότητα στα καθορισμένα επίπεδα του πεδίου κατά την χρήση του οργάνου σε πεδία που περιέχουν διαφορετικές συχνότητες. Αυτές οι πληροφορίες πρέπει επίσης να περιλαμβάνουν την ευαισθησία του οργάνου στις συχνότητες πέρα από το προσδοκώμενο χρήσιμο εύρος, π.χ. τα -3 dB σημεία. Η απόκριση συχνότητας του οργάνου θα είναι τέτοια που η απαίτηση της αβεβαιότητας του οργάνου ικανοποιείται πέρα από το φάσμα συχνότητας για το οποίο επιδιώκεται.

Εύρη λειτουργίας θερμοκρασίας και υγρασίας: Τα εύρη θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας μέσα στα οποία το όργανο λειτουργεί εντός της διευκρινισμένης αβεβαιότητας πρέπει να είναι τουλάχιστον 0 °C σε 45 °C και 5% έως 95 %, αντίστοιχα

Παροχές ηλεκτρικού ρεύματος: Εάν χρησιμοποιούνται μπαταρίες, θα πρέπει να λαμβάνονται μέτρα που θα δείχνουν κατά πόσον η κατάσταση των μπαταριών είναι επαρκής για κατάλληλη λειτουργία του πεδίομετρου. Τα όργανα που χρησιμοποιούνται για να καταγράψουν την έκθεση από τα πεδία πρέπει να είναι ικανά για λειτουργία τουλάχιστον 8 ωρών μέσα στην εκτιμημένη αβεβαιότητά τους προτού η αντικατάσταση ή η επαναφόρτιση των μπαταριών να γίνει απαραίτητη.

Εάν χρησιμοποιούνται επαναφορτιζόμενες μπαταρίες, συνιστάται να μην χρησιμοποιείται το όργανο ενώ συνδέεται με την κύρια τάση.

Αναγνωσιμότητα της κλίμακας: Οι ψηφιακές ή αναλογικές ενδείξεις θα πρέπει να είναι μεγάλες έτσι ώστε να διαβάζονται εύκολα και από μακριά (π.χ για τα ηλεκτρικά πεδιόμετρα ώστε να αποφεύγουμε τις επιδράσεις πάνω στο πεδίο από τον παρατηρητή του οργάνου) ενώ οι κλίμακες και οι μονάδες μέτρησης θα πρέπει να ερμηνεύονται εύκολα.

Διαστάσεις του οργάνου: Αυτές εξαρτώνται από το αν χρησιμοποιούμε μαγνητικό ή ηλεκτρικό πεδιόμετρο.

Για μαγνητικά πεδιόμετρα

Θα πρέπει να παρέχονται οι διαστάσεις του αντικειμένου που περιέχει το κύκλωμα ανιχνευτή και οποιωνδήποτε συνδετικών καλωδίων ενώ το μέγεθος των αισθητήριων στοιχείων θα πρέπει να είναι κατάλληλο για τη χωρική μεταβολή του πεδίου που μετρείται. Συγκεκριμένα, τα αισθητήρια στοιχεία πρέπει να έχουν εμβαδόν 0.01 m^2 , ή μικρότερο ενώ για τα τριαξονικά όργανα, τα τρία αισθητήρια στοιχεία πρέπει να είναι ομόκεντρα (δηλ. τα αισθητήρια πηνία να έχουν ένα κοινό κεντρικό σημείο) ή, εάν δεν είναι μεγαλύτερα από 0.05 m , θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν κοντά.

Για ηλεκτρικά πεδιόμετρα

Οι διαστάσεις για τους μετρητές ηλεκτρικών πεδίων πρέπει να δοθούν ανάλογα με τον τύπο του μετρητή:

α) **Μετρητής ελεύθερου σώματος:** οι διαστάσεις του αισθητήρα και μήκος της μονωμένης λαβής;

β) **Μετρητής επίγειας αναφοράς:** οι διαστάσεις του αισθητήρα και του ανιχνευτή και μήκος του ομοαξονικού καλωδίου

γ) **Ηλεκτρο-οπτικός μετρητής:** οι διαστάσεις του αισθητήρα και του ανιχνευτή και το μήκος της οπτικής ίνας.

Ανθεκτικότητα: Το πεδιόμετρο και τα άλλα τμήματα του οργάνου θα πρέπει να αντιστέκονται των δονήσεων και των κλονισμών κατά την μεταφορά και για αυτό είναι επιθυμητή η χρήση βαλίτσας.

Βάρος: Θα πρέπει να παρέχεται το βάρος του οργάνου και το οποίο θα πρέπει να είναι τόσο χαμηλό έτσι ώστε να είναι πρακτικό για φορητή λειτουργία.

4.4 Βαθμονόμηση οργάνου

Τα συστήματα μέτρησης απαιτούνται να υποβληθούν σε βαθμονόμηση και σε επαλήθευση της βαθμονόμησής τους καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής τους. Οι δοκιμές βαθμονόμησης που αναφέρονται σε αυτό το πρότυπο είναι δοκιμές τύπου και δοκιμές αποδοχής. Οι δοκιμές τύπου εκτελούνται συνήθως από τον κατασκευαστή σε μια ή περισσότερες συσκευές ενώ οι δοκιμές αποδοχής εκτελούνται συνήθως μόνο μία φορά από τον κατασκευαστή σε κάθε πεδίομετρο (οι δοκιμές αποδοχής πρέπει να επαναλαμβάνονται εάν έχουν γίνει σημαντικές αλλαγές ή επισκευές στο όργανο). Οι δοκιμές επαλήθευσης εκτελούνται σε χρονικά διαστήματα κατά τη διάρκεια χρήσης του οργάνου και θα πρέπει να υπόκεινται σε εθνικά και διεθνή πρότυπα.

Οι τρεις ακόλουθες μέθοδοι βαθμονόμησης καλύπτονται από το συγκεκριμένο πρότυπο:

- α) βαθμονόμηση με την εισαγωγή του αισθητήρα του πεδιομετρητή σε ένα υπολογισμένο μαγνητικό πεδίο (μετά από τις μετρήσεις των διαστάσεων του πηνίου και του ρεύματος στο σύστημα του πηνίου)
- β) βαθμονόμηση που χρησιμοποιεί μια τεχνική έγχυσης τάσης, και
- γ) βαθμονόμηση σύγκρισης με ένα σύστημα μέτρησης αναφοράς.

4.4.1 Διαδικασία βαθμονόμησης

Η διαδικασία βαθμονόμησης διαφοροποιείται με το είδος του πεδιομέτρου και άρα για μαγνητικό και ηλεκτρικό πεδίομετρο έχουμε τις παρακάτω διαδικασίες.

Για μαγνητικά πεδίομετρα

Για τη βαθμονόμηση των υψηλότερων εύρων έντασης (δηλ. τα εύρη που δεν επηρεάζονται σημαντικά από τα μαγνητικά πεδία υποβάθρου), ο αισθητήρας μαγνητικού πεδίου πρέπει να τοποθετηθεί σε έναν σχεδόν ομοιόμορφο πεδίο γνωστού μεγέθους και κατεύθυνσης που παράγεται από ένα σύστημα σπειρών

(συχνά χρησιμοποιούνται τα πηνία Helmholtz για την παραγωγή τέτοιων πεδίων). Ο άξονας του αισθητήρα πρέπει να συμπέσει με τον άξονα του συστήματος σπειρών και η μεγαλύτερη απόκλιση του πεδίου από την κεντρική τιμή πέρα από τη διατομική περιοχή του αισθητήρα πρέπει είναι λιγότερη από 1%.

Οι βαθμονομήσεις των μονοαξονικών πεδιομέτρων και του κάθε άξονα των τριαξονικών πεδιομέτρων πρέπει να διενεργούνται με ημιτονοειδή μαγνητικά πεδία ή τις ισοδύναμες τάσεις τους (τεχνική έγχυση τάσης) στα επίπεδα και τις συχνότητες που υποδεικνύονται από τις προδιαγραφές του οργάνου.

Η πυκνότητα μαγνητικής ροής στο σύστημα σπειρών πρέπει να είναι γνωστή με μια αβεβαιότητα λιγότερη από $\pm 3\%$ (συντελεστής κάλυψης ίσος με 1). Η ένταση μπορεί να καθοριστεί από τον υπολογισμό βασισμένο στις μετρήσεις των διαστάσεων του πηνίου, του αριθμού ελιγμάτων του πηνίου(ων), και του ρεύματος στα πηνία, ή από την άμεση μέτρηση με έναν βαθμονομημένο μετρητή αναφοράς πυκνότητας μαγνητικής ροής με αρκετά χαμηλή αβεβαιότητα μέτρησης. Εάν όμως χρησιμοποιείται η τεχνική έγχυσης τάσης ως μέθοδος βαθμονόμησης (εξαρτάται από τον σχεδιασμό του οργάνου, αυτό μπορεί να είναι δυνατό μόνο κατά τη διάρκεια των δοκιμών τύπου), η ισοδύναμη πυκνότητα μαγνητικής ροής προσδιορίζεται από την εγχυμένη τάση.

Η αβεβαιότητα της βαθμονόμησης θα καθοριστεί από παράγοντες όπως η αβεβαιότητα της τιμής της πυκνότητας μαγνητικής ροής στο σύστημα βαθμονόμησης ($\pm 3\%$) ή η αβεβαιότητα στην εγχυμένη τάση, η ανάλυση στην ανάγνωση του υπό δοκιμή οργάνου, και η μεταβολή της ανάγνωσης εάν το υπό δοκιμή όργανο τοποθετείται επανειλημμένα στο σύστημα βαθμονόμησης. Άλλοι παράγοντες όπως τα περιβαλλοντικά μαγνητικά πεδία υποβάθρου μπορούν περαιτέρω να συμβιβάσουν την αβεβαιότητα της βαθμονόμησης. Η ολική αβεβαιότητα της διαδικασίας βαθμονόμησης (συντελεστής κάλυψης ίσος με 1) δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από $\pm (5\% + 10 \text{ nT})$. Αντίθετα, κατά την διευκρίνιση της αβεβαιότητας του οργάνου χρησιμοποιείται συντελεστής κάλυψης ίσος με 2 και επομένως η αβεβαιότητα του οργάνου είναι σε αυτήν την περίπτωση $\leq \pm(10\% + 20 \text{ nT})$.

Επίσης, κατά την βαθμονόμηση κάθε άξονα των τριαξονικών αισθητήρων, πρέπει να γίνουν έλεγχοι για την ορθογωνιότητα των αισθητήρων καθώς επίσης και για τις

αντεγκλήσεις μεταξύ των στοιχείων κυκλώματος ανιχνευτών για κάθε αισθητήρα. Ο τριαξονικός αισθητήρας και το μαγνητικό πεδίο πρέπει να διαμορφωθούν έτσι ώστε ο άξονας κάθε αισθητήρα να μπορεί να ευθυγραμμιστεί διαδοχικά με την κατεύθυνση των μαγνητικών πεδίων. Για κάθε ευθυγράμμιση των αισθητήρων, η έξοδος από τους υπόλοιπους δύο αισθητήρες πρέπει να μετρηθεί και πρέπει να είναι λιγότερο από 3% του σήματος από τον ευθυγραμμισμένο αισθητήρα. Αυτή η εξέταση για ορθογωνιότητα των αισθητήριων πηνίων χρειάζεται να εκτελεσθεί μόνο σε ένα πεδιακό επίπεδο. Η βαθμονόμηση των μετρητών μαγνητικού πεδίου με τους τριαξονικούς αισθητήρες πρέπει επίσης να ελεγχθεί για τον προσανατολισμό (σε μια συχνότητα και πεδιακό επίπεδο) από όπου περίπου περνά η ίδια ροή μέσω όλων των πηνίων.

Ακόμη, κατά τη διάρκεια των δοκιμών τύπου, το δάπεδο θορύβου πρέπει να καθοριστεί για κάθε κλίμακα που βαθμονομείται γιατί εάν είναι σημαντικής έντασης θα πρέπει να μειωθεί ή να συνδυαστεί με άλλες πηγές αβεβαιότητας του οργάνου. Αυτό πρέπει να γίνεται για τους μονοαξονικούς μετρητές και για κάθε έναν άξονα των τριαξονικών πεδιομετρητών.

Σημαντική παράμετρος αποτελεί και η συχνότητα συντονισμού του βρόχου βαθμονόμησης η οποία θα πρέπει να είναι ουσιαστικά μεγαλύτερη από τις συχνότητες βαθμονόμησης έτσι ώστε οι βαθμονομήσεις να μην επηρεάζονται από το φαινόμενο συντονισμού.

Τέλος, το ρεύμα στις σπείρες βαθμονόμησης πρέπει να είναι σχεδόν απαλλαγμένο (< 1 %) από αρμονικές.

Για ηλεκτρικά πεδιόμετρα

Κατά τη διάρκεια της βαθμονόμησης, ο αισθητήρας του πεδιομέτρου πρέπει να τοποθετηθεί σε έναν σχεδόν ομοιόμορφο πεδίο που παράγεται από παράλληλες πλάκες (επιτρέπεται η χρήση και άλλων μεθόδων παραγωγής ηλεκτρικού πεδίου) ανάλογα με τον τύπο του μετρητή. Η απόκλιση του πεδίου στο κέντρο των παράλληλων πλακών από την τιμή του ομοιόμορφου πεδίου, δηλ. το πεδίο που παράγεται από άπειρες παράλληλες πλάκες, πρέπει είναι μικρότερη από 1%. Η παράλληλη απόσταση των πλακών πρέπει να είναι επαρκής για να αποφεύγονται οι

γειτονικές επιρροές όταν εισάγεται ο αισθητήρας του πεδιομετρητή μεταξύ των πλακών.

Οι βαθμονομήσεις των μονοαξονικών πεδιομέτρων και του κάθε άξονα των τριαξονικών πεδιομέτρων πρέπει να διενεργούνται με ημιτονοειδή μαγνητικά πεδία ή τις ισοδύναμες τάσεις τους (τεχνική έγχυση τάσης) στα επίπεδα και τις συχνότητες που υποδεικνύονται από τις προδιαγραφές του οργάνου.

Η ένταση ηλεκτρικού πεδίου στο σύστημα των παράλληλων πλακών πρέπει να είναι γνωστή με μια αβεβαιότητα λιγότερη από $\pm 3\%$ (συντελεστής κάλυψης 1). Η ένταση μπορεί να καθοριστεί από τον υπολογισμό βασισμένο στις μετρήσεις από την απόσταση και την τάση των παράλληλων πλακών, ή από την άμεση μέτρηση με έναν βαθμονομημένο μετρητή αναφοράς έντασης ηλεκτρικού πεδίου με αρκετά χαμηλή αβεβαιότητα μέτρησης.

Η αβεβαιότητα της βαθμονόμησης θα καθοριστεί από παράγοντες όπως η αβεβαιότητα της τιμής της έντασης ηλεκτρικού πεδίου στο σύστημα βαθμονόμησης ($\pm 3\%$), η ανάλυση στην ανάγνωση του υπό δοκιμή οργάνου, και η μεταβολή της ανάγνωσης εάν το υπό δοκιμή όργανο τοποθετείται επανειλημμένα στο σύστημα βαθμονόμησης. Η ολική αβεβαιότητα της διαδικασίας βαθμονόμησης (συντελεστής κάλυψης 1) δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από $\pm (5 \% + 1 \text{ V/m})$. Αντίθετα, κατά την διευκρίνιση της αβεβαιότητας του οργάνου χρησιμοποιείται συντελεστής κάλυψης ίσος με 2 και επομένως η αβεβαιότητα του οργάνου είναι σε αυτήν την περίπτωση $\leq \pm (10 \% + 2 \text{ V/m})$.

Τέλος θα πρέπει να παρέχεται στις παράλληλες πλάκες τάση που είναι σχεδόν απαλλαγμένη ($\leq 2\%$) από αρμονικές. Όταν αυτό δεν είναι δυνατό, το αρμονικό περιεχόμενο θα πρέπει να καταγράφεται και να καταδεικνύεται πως το αρμονικό περιεχόμενο κάνει αμελητέα διαφορά στα αποτελέσματα της βαθμονόμησης.

4.4.2 Τεκμηρίωση δοκιμής

Οι κατασκευαστές των πεδιομέτρων πρέπει να τεκμηριώσουν τα αποτελέσματα των δοκιμών και να παρέχουν, εκτός από τα στοιχεία για τις προδιαγραφές του οργάνου, τις ακόλουθες πληροφορίες:

- προσδιορισμός της εγκατάστασης που πραγματοποιήθηκε η δοκιμή

- προσδιορισμός του πελάτη
- προσδιορισμός του μοντέλου του οργάνου και του σειριακού αριθμού
- αναγραφή ενός μοναδικού αριθμού στο πόρισμα της δοκιμής
- η ημερομηνία (ες) της δοκιμής (ων)
- προσδιορισμός του προσώπου(ων) που δέχεται την τεχνική ευθύνη για τις εκθέσεις της

Επίσης, οι κατασκευαστές του οργάνου πρέπει να τεκμηριώσουν τις διαδικασίες βαθμονόμησής του, αποκαλύπτοντας όλες τις παρακάτω πληροφορίες (όσο αυτό είναι δυνατό) ανάλογα με το πεδίομετρο:

Για μαγνητικά πεδίομετρα

- γεωμετρία και διαστάσεις του πηνίου μαγνητικού πεδίου
- συχνότητα συντονισμού του συστήματος πηνίου
- ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση του ρεύματος στο σύστημα του πηνίου, αβεβαιότητα του οργάνου, ημερομηνία της τελευταίας επαλήθευσης της βαθμονόμησης
- ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται για την μέτρηση της τάσης (τεχνική έγχυσης τάσης), αβεβαιότητα του οργάνου, ημερομηνία της τελευταίας επαλήθευσης της βαθμονόμησης
- ο λόγος του διαιρέτη τάσης (τεχνική έγχυσης τάσης), εξάρτηση του λόγου στη συχνότητα
- αβεβαιότητα του συστήματος μέτρησης αναφοράς, διαστάσεις του αισθητήρα, περάτη ζώνη συχνοτήτων, ημερομηνία της τελευταίας επαλήθευσης της βαθμονόμησης

Για ηλεκτρικά πεδίομετρα

- διαστάσεις των παράλληλων πλακών

- ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται για την μέτρηση της τάσης των παράλληλων πλακών, αβεβαιότητα του οργάνου, ημερομηνία της τελευταίας επαλήθευσης της βαθμονόμησης
- αβεβαιότητα του συστήματος μέτρησης αναφοράς, διαστάσεις του αισθητήρα, περάτη ζώνη συχνοτήτων, ημερομηνία της τελευταίας επαλήθευσης της βαθμονόμησης

4.4.3 Δοκιμές επαλήθευσης

Κάποιες φορές είναι επιθυμητό να εξετάζεται η απόκριση των πεδιομέτρων χρησιμοποιώντας την τεχνική έγχυσης τάσης ή ρεύματος (η τεχνική έγχυσης ρεύματος χρησιμοποιείται μόνο για τα ηλεκτρικά πεδιόμετρα) την στιγμή που βαθμονομείται ο μετρητής σε γνωστό πεδίο. Αυτή η πρακτική επιτρέπει τη χρήση της τεχνικής έγχυσης τάσης ή ρεύματος για περιοδικές επαληθεύσεις όταν τα συστήματα πηνίων για μαγνητικά πεδιόμετρα και το σύστημα των παράλληλων πλακών για ηλεκτρικά πεδιόμετρα δεν είναι διαθέσιμα.

Οι επαληθεύσεις της βαθμονόμησης από το χρήστη του οργάνου δεν χρειάζονται να είναι τόσο εξαντλητικές όπως οι δοκιμές αποδοχής. Για παράδειγμα, σε συχνότητες σχετικές με την εφαρμογή μέτρησης, έλεγχοι σε ένα ή δύο σημεία για κάθε εύρος του πεδιομετρητή που θα χρησιμοποιηθεί για μετρήσεις θα είναι επαρκείς για την επαλήθευση του παράγοντα κλίμακας.

Τα αποτελέσματα των δοκιμών επαλήθευσης πρέπει να είναι τεκμηριωμένα σε έγγραφα στα οποία πρέπει να περιλαμβάνονται η ημερομηνία των δοκιμών και το προσωπικό που εκτέλεσε τις δοκιμές.

Η επαλήθευση της βαθμονόμησης στα εύρη έντασης προοριζόμενα για χρήση πρέπει να εκτελούνται σε τακτά χρονικά διαστήματα. Συγκεκριμένα, προτείνεται ένα αρχικό διάστημα δώδεκα μηνών αν και αυτό το διάστημα μπορεί να αλλάξει ανάλογα με την παρέκκλιση της απόκρισης μεταξύ των επαληθεύσεων του πεδιομέτρου. Τέλος, οι επαληθεύσεις πρέπει επίσης να εξεταστούν πριν και μετά από εκτεταμένες περιόδους χρήσης του πεδιομέτρου, π.χ. εάν εκτελούνται μετρήσεις για μία περίοδο αρκετών ημερών σε μια εβδομάδα.

4.5 Αβεβαιότητα μέτρησης

Η αβεβαιότητα μέτρησης εξαρτάται με το μετρούμενο μέγεθος. Προκειμένου να καθοριστεί η συνολική αβεβαιότητα που συνδέεται με τις r.m.s. μετρήσεις της πυκνότητας μαγνητικής ροής και της εντάσεως του ηλεκτρικού πεδίου στα διαφορετικά περιβάλλοντα μέτρησης, πρέπει να υπάρξει μια κατάλληλη καταμέτρηση των διάφορων πηγών αβεβαιότητας.

Μετρήσεις πυκνότητας μαγνητικής ροής

Πιθανές πηγές αβεβαιότητας είναι οι ακόλουθες

- η αβεβαιότητα βαθμονόμησης του οργάνου
- οι επιδράσεις εξομάλυνσης από τα αισθητήρια πηνία κατά την μέτρηση ανομοιογενών πεδίων
- λάθη κατά την τοποθέτηση του αισθητήρα σε ανομοιογενή πεδία
- η απόκριση συχνότητας ή οι περιορισμοί της περατής ζώνης
- η ακατάλληλη θωράκιση έναντι του ηλεκτρικού πεδίου
- το δάπεδο θορύβου
- η ορθογωνιότητα των τριαξοκών πηνίων
- οι αντεγκλήσεις (crosstalk)
- χρονική σταθερά του οργάνου
- η θερμοκρασία
- η υγρασία
- θέση της μέτρησης.

Μερικές πηγές αβεβαιότητας μπορούν να μειωθούν σε αμελητέα επίπεδα. Για παράδειγμα, η κατάλληλη θωράκιση μπορεί να μειώσει την ευαισθησία των ηλεκτρικών πεδίων (συχνότητα ισχύος) και την ηλεκτρομαγνητική παρέμβολή σε αμελητέα επίπεδα.

Γνωστοί συντελεστές διόρθωσης πρέπει να εφαρμοστούν στις αναγνώσεις που λαμβάνονται από τους μετρητές πυκνότητας μαγνητικής ροής. Εάν δεν είναι πρακτικό να εφαρμοστούν οι συντελεστές διόρθωσης τότε η επίδραση τους θα πρέπει να αντιμετωπιστεί ως προστιθέμενη αβεβαιότητα μέτρησης.

Επίσης, πρόβλημα αβεβαιότητας εμφανίζεται όταν το μαγνητικό πεδίο περιέχει αρμονικές, όπου η πραγματική r.m.s. τιμή της πυκνότητας μαγνητικής ροής δίνεται από την :

$$B = B_f \sqrt{1 + \alpha_1^2 + \alpha_2^2 + \alpha_3^2 + \dots} \quad (4.3)$$

όπου B_f είναι η r.m.s. τιμή της θεμελιώδους πεδιακής συνιστώσας και α_n το κλάσμα της n -οστής αρμονικής.

Εάν οι αρμονικές μειώνονται σε πλάτος στις υψηλότερες συχνότητες και η περάτη ζώνη συχνοτήτων του πεδιομέτρου είναι ανεπαρκή για να δώσει την πλήρη τιμή στις υψηλότερες αρμονικές, η πραγματική r.m.s. τιμή της πυκνότητας μαγνητικής ροής δεν μπορεί ακόμα να επηρεαστεί πολύ από την περιορισμένη απόκριση συχνότητας λόγω του αθροίσματος που δίνεται στην εξίσωση (4.3).

Ομοίως, πρέπει να αναγνωριστεί ότι οι αβεβαιότητες κατά τη διάρκεια της μέτρησης των μαγνητικών πεδίων από συσκευές ή άλλου ηλεκτρικού εξοπλισμού, συναρτήσκει της απόστασης από την πηγή, μπορούν να γίνουν πολύ μεγάλες (π.χ. υπερβαίνοντας το 100 %) καθώς το επίπεδο του πεδίου από την πηγή πλησιάζει την τιμή του μαγνητικού πεδίου υποβάθρου. Για αυτήν την περίπτωση, η αβεβαιότητα πρέπει να περιλάβει έναν πρόσθετο όρο, το "ποσοστό του υποβάθρου," συντομευμένο ως "% υπόβαθρο", όπου "% υπόβαθρο " είναι ίσο με (πεδίο υποβάθρου/μετρημένο πεδίο) Χ100 %.

Μετρήσεις εντάσεως ηλεκτρικού πεδίου

Όμοια με πριν, για τον καθορισμό της συνολικής αβεβαιότητας για μετρήσεις r.m.s. της εντάσεως του ηλεκτρικού καταγράφουμε τις εξής πιθανές πηγές αβεβαιότητας:

- η επίδραση εγγύτητας του παρατηρητή
- τα σφάλματα ανάγνωσης (μετρητές ελεύθερου σώματος με αναλογικές ενδείξεις)

- οι επιδράσεις εγγύτητας αγώγιμων επιφανειών (μετρητές ελεύθερου σώματος)
- ασυμμετρία στον σχεδιασμό του αισθητήρα
- τα περιβαλλοντικά μαγνητικά πεδία
- ανομοιόμορφο ηλεκτρικό πεδίο (μετρητές ελεύθερου σώματος)
- η υγρασία
- η θερμοκρασία
- η θέση της μέτρησης

Επίσης, οι αναφορές που έγιναν προηγουμένως σχετικά με την περάτη ζώνη συχνοτήτων και τις μετρήσεις των πεδίων με αρμονικές, καθώς και των μετρήσεων κοντά στα επίπεδα του πεδίου υποβάθρου, ισχύουν στην παρούσα περίπτωση.

Ακόμη, εάν δεν είναι πρακτικό να εφαρμοστούν οι συντελεστές διόρθωσης στις αναγνώσεις που λαμβάνονται από τους μετρητές έντασης ηλεκτρικού πεδίου, η επίδραση αυτών θα πρέπει να αντιμετωπιστεί ως προστιθέμενη αβεβαιότητα μέτρησης.

Και στις δύο παραπάνω περιπτώσεις, για την εκτίμηση των αβεβαιοτήτων απαιτείται η τυπική απόκλιση που συνδέεται με κάθε ποσότητα που επηρεάζει τη μέτρηση να καθορίζεται βάσει των εκτελούμενων μετρήσεων ή βάσει της εμπειρίας. Η συνδυασμένη τυπική απόκλιση θα ληφθεί ως τετραγωνική ρίζα του αθροίσματος των διακυμάνσεων (δηλ. η τετραγωνική ρίζα του αθροίσματος των τετραγώνων των τυπικών αποκλίσεων). Η εκτεταμένη (συνολική) αβεβαιότητα θα είναι k φορές η συνδυασμένη τυπική απόκλιση, όπου το k είναι ο **συντελεστής κάλυψης**. Ο συντελεστής κάλυψης θα λαμβάνεται ίσος με 2 όπου, για τις γκαουσιανές κατανομές, αντιστοιχεί σε ένα διάστημα εμπιστοσύνης περίπου 95 %.

Στο Παράρτημα Γ περιγράφεται αναλυτικά η αβεβαιότητα μέτρησης και ο τρόπος με τον οποίο προσδιορίζεται.

4.6 Μέτρηση χαμηλόσυχνων ηλεκτρομαγνητικών πεδίων

4.6.1 Προπαρασκευή Μετρήσεων

Προετοιμασία (πριν την επίσκεψη στην περιοχή διεξαγωγής των μετρήσεων)

Τα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία μπορούν να χαρακτηριστούν σύμφωνα με ένα αριθμό παραμέτρων, όπως, ένταση, συχνότητα, πόλωση, κ.λπ. και οι οποίες μπορεί να χρησιμεύσουν ως οι πιθανοί στόχοι ενός προγράμματος μέτρησης. Είναι εξαιρετικά σημαντικό οι στόχοι των μετρήσεων, όπως εκείνοι που εξετάζονται κατωτέρω, να καθορίζονται με σαφήνεια στην έναρξη του πρωτοκόλλου μέτρησης. Ένας σαφής καθορισμός των στόχων χρειάζεται έτσι ώστε να προσδιοριστούν οι απαιτήσεις του οργάνου και της βαθμονόμησης, π.χ. η περατή ζώνη του οργάνου, το εύρος έντασης, τα σημεία βαθμονόμησης συχνότητας, κ.λπ. Η λίστα με τους πιθανούς στόχους των μετρήσεων δίνεται παρακάτω:

- (α): χαρακτηρισμός των επιπέδων του ηλεκτρικού/μαγνητικού πεδίου
- (β): χαρακτηρισμός των χωρικών μεταβολών
- (γ): χαρακτηρισμός της χρονικής μεταβολής
- (δ): χαρακτηρισμός του χρονικά σταθμισμένου μέσου όρου του ηλεκτρικού/μαγνητικού πεδίου
- (ε): χαρακτηρισμός ενδιαμεσότητας του ηλεκτρικού/μαγνητικού πεδίου
- (στ): χαρακτηρισμός των πεδιακών επιπέδων που υπερβαίνουν μια συγκεκριμένη τιμή
- (ζ): χαρακτηρισμός του περιεχόμενου συχνότητας στο ηλεκτρικό/μαγνητικό πεδίο
- (η): χαρακτηρισμός της πόλωσης του ηλεκτρικού/μαγνητικού πεδίου
- (θ): χαρακτηρισμός της ανθρώπινης έκθεσης σε ηλεκτρικό/μαγνητικό πεδίο

Αρχικά, λοιπόν, συγκεντρώνονται όσο το δυνατό περισσότερες πληροφορίες σχετικά με το χώρο στον οποίο θα γίνουν οι μετρήσεις, τη φύση και τη σκοπιμότητα των μετρήσεων, με επόμενο βήμα να αποτελεί η διασφάλιση της σωστής λειτουργίας της μετρητικής διάταξης.

Μόλις ολοκληρωθεί και αυτή η διαδικασία, μια πειραματική μελέτη στο περιβάλλον μέτρησης ενδιαφέροντος μπορεί να είναι επιθυμητή προτού να ληφθούν οι αποφάσεις ως προς τις τελικές μεθόδους μέτρησης και το σχετικό πρωτόκολλο.

Επόπτευση χώρου και αξιολόγηση συνθηκών (επίσκεψη στο πεδίο μετρήσεων)

Αξιολογώντας τις πληροφορίες που συγκεντρώθηκαν κατά τη φάση της προετοιμασίας και κυρίως με την επιτόπια έρευνα στο πεδίο των μετρήσεων εξάγονται τα παρακάτω συμπεράσματα που βοηθούν στην αποτελεσματικότερη διεξαγωγή μετρήσεων:

α) Προσδιορισμός των πηγών που επηρεάζουν το υπό μέτρηση πεδίο, το μέγεθος και η θέση τους στο χώρο, η ισχύς λειτουργίας τους, η απόστασή τους από χώρους που συχνάζουν άνθρωποι. Πιο συνηθισμένα ήδη πηγών είναι:

ο Γραμμές υψηλής ή υπερύψηλης τάσης.

ο Σταθμοί μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

ο Καλώδια μεταφοράς ρεύματος (πηγές ηλεκτρικού πεδίου).

ο Μετασχηματιστές ισχύος.

ο Κινητήρες, γεννήτριες.

ο Οθόνες CRT, λαμπτήρες πυρακτώσεως, λοιπές ηλεκτρικές συσκευές.

Η γνώση αυτή επιτρέπει μια καλύτερη εκτίμηση των αναμενόμενων εντάσεων πεδίου στο χώρο και των περιοχών με αυξημένη επικινδυνότητα όπου περισσότερα δείγματα μετρήσεων απαιτούνται.

β) Γνώση της χρονικής περιόδου (ώρα / μέρα) στην οποία αναμένονται οι ισχυρότερες τιμές πεδίου. Οι μετρήσεις πρέπει να πραγματοποιούνται αυτή τη χρονική στιγμή ή αν κάτι τέτοιο δεν είναι εφικτό πρέπει να εφαρμόζεται διορθωτικός παράγοντας στα αποτελέσματα ώστε οι τιμές ν' αντιπροσωπεύουν τις μέγιστες.

γ) Οριοθέτηση και καταγραφή του χώρου πραγματοποίησης μετρήσεων, προσδιορισμός των περιοχών υψηλού ενδιαφέροντος καθώς και αντιμετώπιση τυχόν δυσκολιών (π.χ. δύσκολη προσβασιμότητα στο χώρο των μετρήσεων). Συγκεκριμένα, γίνεται σχέδιο της κάτοψης της περιοχής στην οποία πρόκειται να διεξαχθούν οι μετρήσεις ενώ στο σκαρίφημα τα σημεία μέτρησης πρέπει να διευκρινίζονται πλήρως με "x" ή "•" και θα πρέπει ν' αναγράφονται τα

χαρακτηριστικά της περιοχής που να βοηθούν στον προσανατολισμό. Επίσης, πηγές ηλεκτρικού ή μαγνητικού πεδίου πρέπει να καταγράφονται μαζί με γενικές πληροφορίες αν είναι γνωστές, όπως ισχύς, τάση, βασική συχνότητα λειτουργίας. Όταν γίνεται απεικόνιση εσωτερικού χώρου οι βασικές διαστάσεις του πρέπει να μετρούνται και να καταγράφονται. Σε περίπτωση που διεξάγονται μετρήσεις σε πολλούς ορόφους τότε κάθε επίπεδο σχεδιάζεται ξεχωριστά και ο αριθμός του ορόφου αναγράφεται εμφανώς στο σχέδιο.

δ) Σε περίπτωση που η θερμοκρασία χώρου είναι χαμηλότερη από 0°C οι μετρήσεις δεν πραγματοποιούνται γιατί η ακρίβεια του οργάνου δεν είναι η αναμενόμενη. Σε περίπτωση που η μεταφορά του οργάνου έγινε σε χαμηλή θερμοκρασία, πρέπει οι μετρήσεις ν' αρχίσουν αν κι εφόσον η θερμοκρασία του οργάνου βρίσκεται εντός της επιτρεπόμενης περιοχής.

ε) Καθορισμός των σημείων μέτρησης. Ο προσδιορισμός των σημείων μέτρησης σε πολλές περιπτώσεις γίνεται με βάση την εμπειρία, ιδίως όταν ζητείται η μέτρηση της έντασης που προέρχεται από μια συγκεκριμένη πηγή. Όταν όμως οι πηγές πεδίου δεν είναι οφθαλμοφανείς (για παράδειγμα δεν είναι ορατές ή γνωστές ή πρόκειται για δίκτυο αγωγών που δεν επηρεάζει μόνο ένα σημείο), τότε η έρευνα του χώρου είναι απαραίτητη προκειμένου να εντοπιστούν τα σημεία μέγιστης ισχύος. Επίσης, τα ηλεκτρικά διαγράμματα των κτιρίων μπορούν να είναι χρήσιμα στον προσδιορισμό των πεδιακών πηγών στα γραφεία και παρόμοια κτίρια, αν και η υπερβολική εμπιστοσύνη σε τέτοια σχέδια πρέπει να αποφευχθεί λόγω των μη καταγραφόμενων αλλαγών στο ηλεκτρικό σύστημα του κτιρίου.

στ) Εύρεση σημείων Μαγνητικού πεδίου. Ο χειρηστής του οργάνου με αργό βηματισμό και κρατώντας το πεδιόμετρο στο ύψος των ώμων του, σαρώνει το χώρο στον οποίο ζητήθηκε να γίνουν μετρήσεις σημειώνοντας τα σημεία στα οποία παρατηρούνται οι υψηλότερες τιμές ισχύος.

ζ) Εύρεση σημείων Ηλεκτρικού πεδίου. Ο αισθητήρας ηλεκτρικού πεδίου αφού στερεωθεί σε τρίποδο και συνδεθεί στο όργανο μέσω οπτικής ίνας, λαμβάνονται στιγμιαίες μετρήσεις σε διάφορα σημεία του χώρου. Σε κάθε στιγμιαία μέτρηση ο χειρηστής του οργάνου στερεώνει το τρίποδο, απομακρύνεται λίγα μέτρα από τον αισθητήρα και διαβάζει την ένδειξη του οργάνου. Ο χρόνος που απαιτείται για τη μέτρηση κάθε σημείου δεν ξεπερνά υπό κανονικές συνθήκες τα 20 με 30

δευτερόλεπτα. Επίσης, η πυκνότητα των σημείων δύναται ν' αυξηθεί σε περιοχές υψηλής έντασης προκειμένου να εντοπιστεί το χωρικό σημείο που δέχεται τη μεγαλύτερη επιβάρυνση ή να μειωθεί σε περιοχές όπου η ένταση του πεδίου παρουσιάζει αρκετά χαμηλές τιμές για εξοικονόμηση χρόνου.

Από την παραπάνω διαδικασία παρατηρήσεων και σύντομων μετρήσεων καθορίζονται, αριθμούνται και καταγράφονται στο σχεδιάγραμμα του χώρου τα σημεία στα οποία θα γίνουν μετρήσεις. Υπάρχει περίπτωση τα σημεία στα οποία παρατηρήθηκαν υψηλές τιμές ηλεκτρικού πεδίου να διαφέρουν στο σύνολο ή και σε ποσοστό από αυτά με υψηλές τιμές μαγνητικού πεδίου. Στην περίπτωση αυτή ξεχωρίζουν κατά την αποτύπωσή τους στο σκαρίφημα του χώρου. Κατ' αυτόν τον τρόπο γίνεται σαφές τι είδους μετρήσεις θα ληφθούν σε κάθε σημείο.

4.6.2 Διαδικασία μέτρησης

Πρώτα εκτελούνται οι μετρήσεις των σημείων του μαγνητικού πεδίου και κατόπιν του ηλεκτρικού πεδίου. Οι διαδικασίες μέτρησης παρουσιάζονται παρακάτω.

Μετρήσεις πυκνότητας μαγνητικής ροής

Οι μετρήσεις πυκνότητας μαγνητικής ροής πρέπει να γίνονται με τριαξονικά όργανα για τον υπολογισμό του **συνιστάμενου μαγνητικού πεδίου**, εκτός και αν υπάρχει κάποιος ιδιαίτερος λόγος για να χρησιμοποιηθούν μονοαξονικά όργανα. Οι λόγοι για τη χρήση μονοαξονικών οργάνων περιλαμβάνουν την επιθυμία να γίνουν γνωστά η κατεύθυνση του πεδίου και του **μέγιστου μαγνητικού πεδίου**, η επιθυμία να ερευνηθεί ο προσανατολισμός και η μορφή της έλλειψης μαγνητικού πεδίου, και σε περιπτώσεις που είναι ήδη γνωστή η κατεύθυνση ενός γραμμικά πολωμένου πεδίου.

Τα μονοαξονικά όργανα μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για να καθορίσουν το **συνιστάμενο μαγνητικό πεδίο** χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις (4.2) όταν το πεδιακό επίπεδο παραμένει σταθερό. Για αυτήν την περίπτωση, η χρήση ενός προσαρτήματος που γίνεται από μη αγωγίμα υλικά για τον προσανατολισμό του αισθητήρα στις ορθογώνιες κατευθύνσεις θα επισπεύσει τη διαδικασία μέτρησης.

Ο χειριστής σε κάθε υπό μέτρηση σημείο κρατάει το όργανο στο ύψος του θώρακα και αποθηκεύει για κάθε σημείο ορισμένες τιμές με συγκεκριμένη συχνότητα δειγματοληψίας. Για ευκολία στην καταγραφή και ομοιομορφία στην απεικόνιση

των αποτελεσμάτων η αποθήκευση γίνεται με τον αυτόματο τρόπο. Η ίδια διαδικασία επαναλαμβάνεται για όλα τα σημεία.

Ακόμη, το μέγεθος του αισθητήρα θα πρέπει να είναι κατάλληλο της χωρικής μεταβολής του πεδίου που μετρείται και συνιστάται να έχει εμβαδόν 0.01 m^2 ή μικρότερο.

Όσον αφορά την περάτη ζώνη συχνοτήτων του οργάνου αυτή θα πρέπει να είναι κατάλληλη για το φασματικό περιεχόμενο του πεδίου που μετρείται και θα πρέπει να καταγραφεί και να αναφερθεί με τα αποτελέσματα.

Όταν το μαγνητικό πεδίο παράγεται από σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, οι παρούσες συχνότητες θα είναι συνήθως οι θεμελιώδεις (50 Hz ή 60 Hz), συν τις πρώτες-πρώτες αρμονικές. Η ελάχιστη περάτη ζώνη συχνοτήτων που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση τέτοιων πεδίων πρέπει να επεκταθεί από τη θεμελιώδη συχνότητα έως τα 500 Hz. Στενότερη περάτη ζώνη συχνοτήτων μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο εάν μπορεί να αποδειχθεί ότι το αρμονικό περιεχόμενο είναι αρκετά μικρό έτσι ώστε το αποτέλεσμα της μέτρησης να είναι αμελητέα διαφορετικό, π.χ. κοντά στα ηλεκτροφόρα καλώδια, ή εάν υπάρχει ένας συγκεκριμένος λόγος για στενότερο φάσμα συχνοτήτων.

Επίσης, κατά τη μέτρηση των πεδίων που παράγονται από πηγές διαφορετικές των συστημάτων ηλ. ενέργειας, η περάτη ζώνη συχνοτήτων θα πρέπει να επιλεχτεί κατάλληλα. Τα πεδία που παράγονται από κάποια συστήματα έλξης έχουν χαμηλότερη θεμελιώδη συχνότητα, ενώ οι θερμάστρες επαγωγής, οι βιντεοσθόνες, τα αεροπλάνα, τα πλοία, και οι αρμονικές που παράγονται από κάποιους κινητήρες μπορούν να παραγάγουν πεδία με υψηλότερες συχνότητες. Κατά την επέκταση της περάτης ζώνης συχνοτήτων σε χαμηλότερες συχνότητες, πρέπει να προσέχουμε για να αποφύγουμε τα λάθη που προκαλούνται από την κίνηση των αισθητήριων πηνίων στα στατικά πεδία. Τέτοια λάθη μπορούν γενικά να αποφευχθούν κρατώντας το πηνίο στάσιμο.

Τέλος, οι φορητές συσκευές που εκπέμπουν ηλεκτρομαγνητικά πεδία (π.χ. κινητά τηλέφωνα, Bluetooth, συσκευές ενδοσυνεννόησης, ασύρματα τηλέφωνα) πρέπει να είναι απενεργοποιημένα ή να μην χρησιμοποιούνται κατά την εκτέλεση των μετρήσεων μαγνητικού πεδίου.

Μετρήσεις εντάσεως ηλεκτρικού πεδίου

Οι μετρήσεις ομογενών πεδίων θα γίνουν με όργανα που δείχνουν το μέγεθος και την κατεύθυνση του ηλεκτρικού πεδίου, π.χ. μονοαξονικοί και τριαξονικοί μετρητές ελεύθερου σώματος που δείχνουν τον προσανατολισμό του πεδίου, ηλεκτρο-οπτικοί μετρητές, και μετρητές επίγειας αναφοράς. Ο χειριστής για κάθε σημείο καταγράφει ορισμένες τιμές με συγκεκριμένη συχνότητα δειγματοληψίας. Για ευκολία στην καταγραφή και ομοιομορφία στην απεικόνιση των αποτελεσμάτων η αποθήκευση γίνεται με τον αυτόματο τρόπο.

Επίσης, το μέγεθος του αισθητήρα θα είναι κατάλληλο της χωρικής μεταβολής του πεδίου και της γειτνίασης των κοντινών αγωγίμων επίπεδων επιφανειών ενώ όμοια με την προηγούμενη διαδικασία, η περάτη ζώνη συχνοτήτων του οργάνου θα πρέπει να είναι κατάλληλη για το φασματικό περιεχόμενο του πεδίου που μετρείται καθώς και να καταγράφεται με τα αποτελέσματα.

Όταν τα ηλεκτρικά πεδία παράγονται από συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας, όπως ηλεκτροφόρα καλώδια, μετασχηματιστές, και ούτω καθ'εξής, η κυρίαρχη συχνότητα είναι η συχνότητα ισχύος των 50 Hz ή 60 Hz. Ένα όργανο με στενή περάτη ζώνη συχνοτήτων που κεντροθετείται γύρω από τη συχνότητα ισχύος θα είναι κατάλληλο σε τέτοιες περιπτώσεις μέτρησης της r.m.s. τιμής του ηλεκτρικού πεδίου.

Ακόμη, κατά τη μέτρηση των ηλεκτρικών πεδίων από άλλες πηγές, π.χ. στα επιβατικά αεροπλάνα, πλοία, και μερικά ηλεκτρικά τρένα, η θεμελιώδης συχνότητα μπορεί να διαφέρει σημαντικά από αυτή των 50 Hz/60 Hz, και η περάτη ζώνη συχνοτήτων θα πρέπει να επιλεγεί κατάλληλα.

Φορητές συσκευές που εκπέμπουν ηλεκτρομαγνητικά πεδία πρέπει να είναι απενεργοποιημένα ή να μην χρησιμοποιούνται κατά την εκτέλεση των μετρήσεων ηλεκτρικού πεδίου.

Τέλος, κατά τη διάρκεια των μετρήσεων ηλεκτρικού πεδίου, πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή για την αποφυγή των επιρροών του παρατηρητή καθώς επίσης και άλλων που μπορεί να είναι κοντά στον πεδιακό αισθητήρα. Επίσης, λόγω ευαισθησίας στη γειτνίαση άλλων αντικειμένων, ο αισθητήρας ηλεκτρικού πεδίου τοποθετείται σε τρίποδο γιατί η εκδήλωση σημαντικής διαταραχής του πεδίου είναι ικανή για την εισαγωγή ανεπιθύμητων σφαλμάτων στις μετρήσεις.

Λήψη φωτογραφιών του χώρου μέτρησης

Μετά τη διεκπεραίωση των μετρήσεων λαμβάνονται φωτογραφίες του χώρου που έγιναν οι μετρήσεις. Στην περίπτωση μετρήσεων εξωτερικού χώρου λαμβάνονται επιπλέον περιμετρικές φωτογραφίες της γύρω περιοχής. Και στις δύο περιπτώσεις πάντως πρέπει να φωτογραφίζονται οι πηγές πεδίου που επιβαρύνουν την υπό μέτρηση περιοχή.

4.6.3 Καταγραφή και υποβολή έκθεσης των αποτελεσμάτων μέτρησης

Οι πληροφορίες που απαιτούνται κατά την καταγραφή και την υποβολή έκθεσης των αποτελεσμάτων των μετρήσεων μπορούν να ποικίλουν ανάλογα με τους στόχους των μετρήσεων που υποδεικνύονται στην έναρξη του πρωτοκόλλου. Οι ακόλουθες πληροφορίες σχετικά με το όργανο και τις μετρήσεις πρέπει να παρέχονται σε όλες τις περιπτώσεις:

- προσδιορισμός του κατασκευαστή
- προσδιορισμός του μοντέλου του οργάνου
- ημερομηνία των μετρήσεων
- χρόνος των μετρήσεων
- συνολική αβεβαιότητα μέτρησης
- το μέγεθος που μετρήσαμε (σε SI μονάδες), π.χ. το μέγιστο του μαγνητικού / ηλεκτρικού πεδίου, το συνιστάμενο μαγνητικό / ηλεκτρικό πεδίο, η κάθετη πεδιακή συνιστώσα, ο χρονικά σταθμισμένος μέσος όρος (TWA), η r.m.s. τιμή, κλπ.
- μέγεθος/γεωμετρία του αισθητήρα
- ημερομηνία της τελευταίας δοκιμής βαθμονόμησης/επαλήθευσης.

Άλλες πληροφορίες που πρέπει να δίνονται όπου χρειάζεται, είναι οι εξής:

- η περάτη ζώνη συχνοτήτων
- συχνότητα δειγματοληψίας
- περιγραφές της ανθρώπινης δραστηριότητας όταν λαμβάνονται τα δεδομένα της ανθρώπινης έκθεσης

- σχέδια (ή σκαριφήματα) που περιγράφουν την περιοχή και τις θέσεις όπου οι μετρήσεις εκτελούνται
- στατιστικές πληροφορίες, π.χ. οι μεγαλύτερες και μικρότερες τιμές του πεδίου, η διάμεσος, ο γεωμετρικός μέσος όρος, κ.λπ.
- ανάλυση συχνοτήτων του φάσματος των πεδίων που περιέχουν πολλαπλάσιες συχνότητες
- τοποθεσίες μέτρησης
- καιρικές συνθήκες
- προσδιορισμός του προσωπικού που εκτελεί τις μετρήσεις
- προσδιορισμός και συνθήκες της πηγής.

Κεφάλαιο 5

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΗΜ ΠΕΔΙΩΝ (ELF) ΣΕ ΓΡΑΜΜΕΣ ΜΤ ΚΑΙ ΥΤ

5.1 Σκοπός των μετρήσεων

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με σκοπό την καταγραφή των επιπέδων του επαγόμενου ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου από τις διατάξεις παροχής ηλεκτρικής ενέργειας που βρίσκονται τοποθετημένες σε διάφορες περιοχές (Ζωγράφου, Καισαριανή και Αχαρναί) και την εξακρίβωση της συμμόρφωσης ή όχι με τα όρια ασφαλούς έκθεσης του κοινού όπως αυτά ορίζονται στην κείμενη νομοθεσία (Κ.Υ.Α. υπ' αριθ. 3060 (ΦΟΡ) 238 με θέμα τα μέτρα προ φύλαξης του κοινού από την λειτουργία διατάξεων εκπομπής ηλεκτρομαγνητικών πεδίων χαμηλών συχνοτήτων, Φ.Ε.Κ., Αρ. 512, Τεύχος Δεύτερο, 25 Απριλίου 2002).

Η προαναφερθείσα Κ.Υ.Α. βασίστηκε στην σύσταση του Συμβουλίου της Ε.Ε., L 199 (1999/519/EC), 30-7-1999, "Σχετικά με τον περιορισμό της έκθεσης του κοινού σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία 0 HZ - 300 GHz".

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σύμφωνα με το πρότυπο IEC 61786:98: "Measurement of low-frequency magnetic and electric fields with regard to exposure of human beings - Special requirements for instruments and guidance for measurements".

5.2 Εξοπλισμός μέτρησης ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου

Ως όργανο μέτρησης πεδίων χαμηλών συχνοτήτων χρησιμοποιείται η μονάδα PMM 8053A, που κατασκευάζεται από την εταιρεία Narda. Πρόκειται για φορητή ψηφιακή μονάδα μέτρησης πεδίου για ισοτροπικές και μη μετρήσεις, με εύρος φάσματος μετρήσεων στην περιοχή συχνοτήτων 5Hz - 40GHz. Τα μετρήσιμα μεγέθη είναι η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου (E) σε V/m και η μαγνητική επαγωγή (B) σε μΤ.

Για την μέτρηση των δύο μεγεθών προσαρμόζεται στο όργανο μέτρησης ένας αισθητήρας ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου χαμηλών συχνοτήτων (ELECTRIC

AND MAGNETIC FIELD ANALYZER) ονόματι EHP-50B που μπορεί να λειτουργεί στο φάσμα συχνοτήτων από 5 Hz – 100 kHz.

Αναλυτικά τα στοιχεία των οργάνων φαίνονται στον πίνακα 5.1.

A/A	Εξάρτημα	Περιοχές μέτρησης
1	Βασική μονάδα PMM 8053A με σειριακό αριθμό 152WK50252	5Hz - 40GHz
2	Ανιχνευτής Ηλεκτρικού και Μαγνητικού Πεδίου EHP-50B με σειριακό αριθμό 242WM40220	5Hz-100kHz 0.01V/m-100kV/m 1nT-10mT

Πίνακας 5.1: Χαρακτηριστικά συστήματος μέτρησης ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων χαμηλών συχνοτήτων PMM 8053A της εταιρίας Narda Safety Test Solutions.

Το σύστημα δύναται να μετρά τα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία σε επιλεγμένες συχνότητες ή σε συγκεκριμένες περιοχές συχνοτήτων. Κατ' αυτόν τον τρόπο είναι δυνατή η αρμονική ανάλυση των μετρούμενων πεδίων καθώς επίσης και η φασματική ανάλυση μέσω γρήγορου μετασχηματισμού Fourier (FFT).

Η αποθήκευση των σειρών μετρήσεων και των άλλων δεδομένων σε όλες τις θέσεις μέτρησης μπορεί να γίνεται με την βοήθεια ενός φορητού υπολογιστή, ο οποίος ελέγχει το όργανο μέτρησης μέσω κατάλληλα εξελιγμένου λογισμικού (8053 LOGGER INTERFACE software της Narda-STs), από όπου ρυθμίζονται και όλες οι παράμετροι λειτουργίας κατά την διεξαγωγή των μετρήσεων. Το υπολογιστικό αυτό σύστημα, χρησιμοποιεί έναν προσαρμογέα εισόδου διπλής οπτικής ίνας σε θύρα RS232 και το λογισμικό που προαναφέρθηκε για την συλλογή και την καταγραφή των πεδιακών μετρήσεων.

Στο Παράρτημα Α παρουσιάζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του πεδιομέτρου και του αισθητήρα.

5.3 Αποτελέσματα των μετρήσεων

Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν αφορούν την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου και την μαγνητική επαγωγή, που επάγεται στην εκάστοτε περιγραφόμενη θέση. Η επιλογή των σημείων μέτρησης σε κάθε χώρο έγινε ώστε να καλυφθούν και οι πιο επιβαρυνμένες θέσεις έκθεσης στον υπό εξέταση χώρο. Επίσης, εξετάστηκε η επίδραση των δύο πραπάνων μεγεθών με βάση το ύψος στο οποίο τοποθετούμε τον πεδιακό αισθητήρα ενώ επιλέχθηκαν και σημεία ιδιαίτερου ενδιαφέροντος όπως κάτω από επίτονο ή δίπλα από υποσταθμό διανομής έτσι ώστε το ηλεκτρικό και το μαγνητικό να μετρηθεί σε διαφορετικές θέσεις και στην περιοχή συχνοτήτων από 5 Hz – 100 kHz. Ταυτόχρονα, πρέπει να επισημάνουμε πως οι γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας στις οποίες διεξήχθησαν μετρήσεις ήταν μέσης τάσης των 20 kV και υψηλής τάσης των 150 kV. Οι δοκιμές στη μέση τάση έγιναν στην περιοχή της Πολυτεχνειούπολης και της Πανεπιστημιούπολης ενώ για τις μετρήσεις στην υψηλή τάση επιλέχθηκε η περιοχή των Αχαρνών.

Όσον αφορά την αβεβαιότητα των παρακάτω μετρήσεων, αυτή δίνεται στη σελίδα 157 του Παραρτήματος Γ.

5.3.1 Μετρήσεις σε μέση τάση

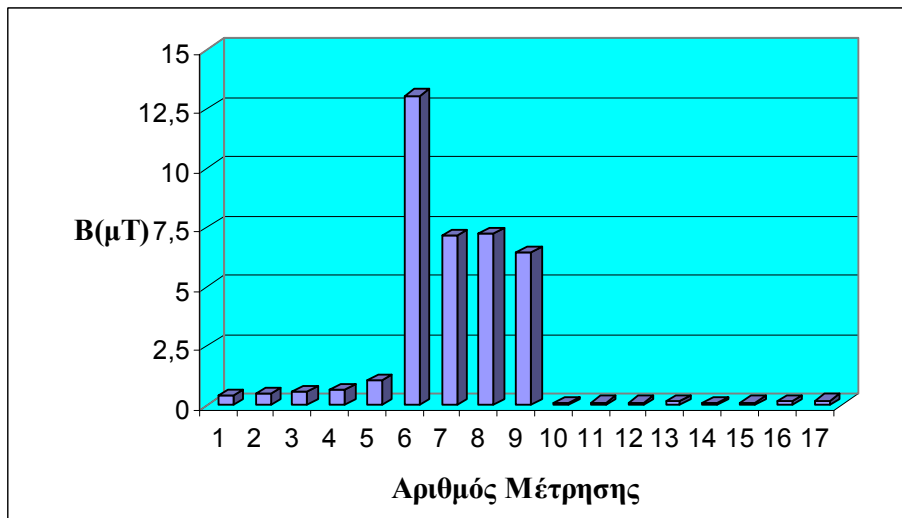
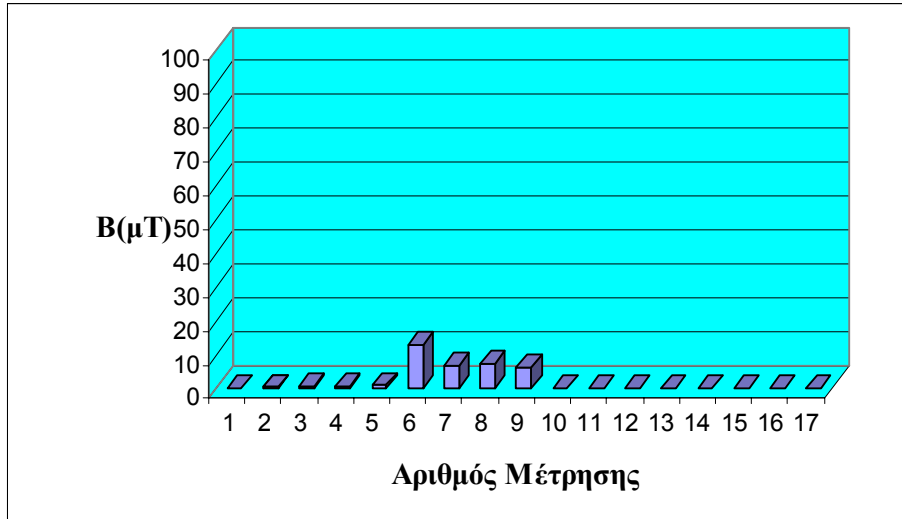
Στον πίνακα 5.2 παρατίθενται οι περιγραφές των θέσεων μέτρησης και τα αποτελέσματα των μετρήσεων για το μαγνητικό και το ηλεκτρικό πεδίο κάτω από γραμμές μέσης τάσης.

a/a	Περιγραφή θέσης	Μαγνητική Επαγωγή (μΤ)	Ένταση Ηλ. Πεδίου (V/m)
1	Κάτω από γραμμή μέσης τάσης, παράλληλης της οδού Ηρώων Πολυτεχνείου, προς το εσωτερικό της Πολυτεχνειούπολης και σε ύψος 1,5 m από το έδαφος	0,391	21,30
2	Κάτω από γραμμή μέσης τάσης, παράλληλης της οδού Ηρώων Πολυτεχνείου, προς το εσωτερικό της Πολυτεχνειούπολης και σε ύψος 2,5 m από το έδαφος	0,465	29,67
3	Κάτω από γραμμή μέσης τάσης, παράλληλης της οδού Ηρώων Πολυτεχνείου, προς το εσωτερικό της Πολυτεχνειούπολης και σε ύψος 3,5 m από το έδαφος	0,563	38,90
4	Κάτω από γραμμή μέσης τάσης, παράλληλης της οδού Ηρώων Πολυτεχνείου, προς το εσωτερικό της Πολυτεχνειούπολης και σε ύψος 4,5 m από το έδαφος	0,634	39,10

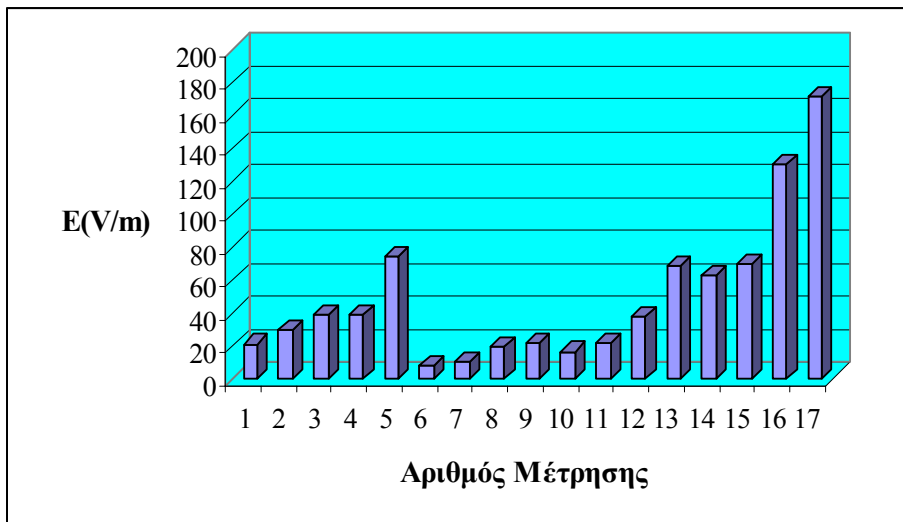
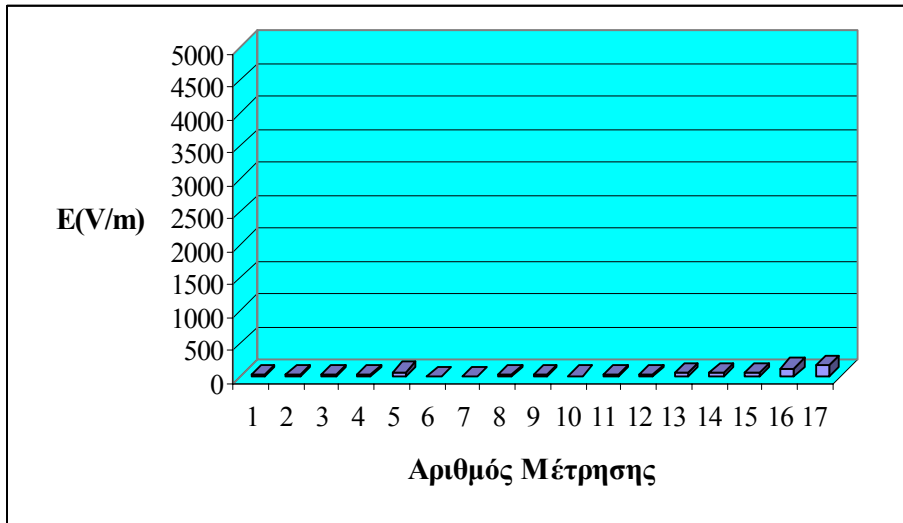
5	Κάτω από γραμμή μέσης τάσης, παράλληλης της οδού Ηρώων Πολυτεχνείου, προς το εσωτερικό της Πολυτεχνειούπολης και σε ύψος 5,5 m από το έδαφος	1,035	74,54
6	Μπροστά από υποσταθμό διανομής (ΑΒ ₁₀) πανεπιστημιούπολη και σε ύψος 1,5 m από το έδαφος	13,06	8,043
7	Μπροστά από υποσταθμό διανομής (ΑΒ ₁₀) πανεπιστημιούπολη και σε ύψος 2,5 m από το έδαφος	7,118	10,90
8	Μπροστά από υποσταθμό διανομής (ΑΒ ₁₀) πανεπιστημιούπολη και σε ύψος 3,5 m από το έδαφος	7,245	19,46
9	Μπροστά από υποσταθμό διανομής (ΑΒ ₁₀) πανεπιστημιούπολη και σε ύψος 4,5 m από το έδαφος	6,413	21,53
10	Κοντά στο υδραγωγείο της πανεπιστημιούπολης, κάτω από γραμμή μέσης τάσης (μεταξύ τσιμεντένιου στύλου Μ ₁ και της ξύλινης κολώνας 1098) και σε ύψος 1,5 m από το έδαφος	0,064	16,74
11	Κοντά στο υδραγωγείο της πανεπιστημιούπολης, κάτω από γραμμή μέσης τάσης (μεταξύ τσιμεντένιου στύλου Μ ₁ και της ξύλινης κολώνας 1098) και σε ύψος 2,5 m από το έδαφος	0,096	21,64
12	Κοντά στο υδραγωγείο της πανεπιστημιούπολης, κάτω από γραμμή μέσης τάσης (μεταξύ τσιμεντένιου στύλου Μ ₁ και της ξύλινης κολώνας 1098) και σε ύψος 3,5 m από το έδαφος	0,118	37,89
13	Κοντά στο το υδραγωγείο της πανεπιστημιούπολης, κάτω από γραμμή μέσης τάσης (μεταξύ τσιμεντένιου στύλου Μ ₁ και της ξύλινης κολώνας 1098) και σε ύψος 4,5 m από το έδαφος	0,168	68,70
14	Κοντά στο υδραγωγείο της πανεπιστημιούπολης, κάτω από επίτονο (του τσιμεντένιο στύλου Μ ₁) και σε ύψος 1,5 m από το έδαφος	0,073	62,50
15	Κοντά στο υδραγωγείο της πανεπιστημιούπολης, κάτω από επίτονο (του τσιμεντένιο στύλου Μ ₁) και σε ύψος 2,5 m από το έδαφος	0,098	70,11
16	Κοντά στο υδραγωγείο της πανεπιστημιούπολης, κάτω από επίτονο (του τσιμεντένιο στύλου Μ ₁) και σε ύψος 3,5 m από το έδαφος	0,148	130,2
17	Κοντά στο υδραγωγείο της πανεπιστημιούπολης, κάτω από επίτονο (του τσιμεντένιο στύλου Μ ₁) και σε ύψος 4,5 m από το έδαφος	0,192	171,3

Πίνακας 5.2: Μετρήσεις του μαγνητικού και ηλεκτρικού πεδίου.

Στα σχήματα 5.1 έως 5.4 που ακολουθούν απεικονίζονται γραφικά τα αποτελέσματα των μετρήσεων ανά μέγεθος και ανά θέση του μαγνητικού και του ηλεκτρικού πεδίου, για την μεταξύ τους σύγκριση των τιμών αλλά και με τα όρια έκθεσης.



Σχήμα 5.1.,5.2 Τιμές της μαγνητικής επαγωγής B, όπως καταγράφηκαν σε όλες τις θέσεις μέτρησης.



Σχήμα 5.3,5.4: Τιμές της ένταση του ηλεκτρικού πεδίου E , όπως καταγράφηκαν σε όλες τις θέσεις μέτρησης.

Επίσης, παρουσιάζονται τα σημεία μέτρησης στα σχήματα 5.5 έως 5.10 σε κάτοψη αλλά και στην κανονική τους διάταξη.



Σχήμα 5.5: Κάτοψη των σημείων μέτρησης στο χώρο της Πολυτεχνειούπολης.



Σχήμα 5.6: Τα σημεία μέτρησης στο χώρο της Πανεπιστημιούπολης (κάτοψη).



Σχήμα 5.7: Τα σημεία μέτρησης 1 έως 5 στο χώρο της Πολυτεχνειούπολης.



Σχήμα 5.8: Τα σημεία μέτρησης 6 έως 9 στο χώρο της Πανεπιστημιούπολης.



Σχήμα 5.9: Τα σημεία μέτρησης 10 έως 13 στο χώρο της Πανεπιστημιούπολης.



Σχήμα 5.10: Τα σημεία μέτρησης 14 έως 17 στο χώρο της Πανεπιστημιούπολης.

5.3.2 Μετρήσεις σε υψηλή τάση

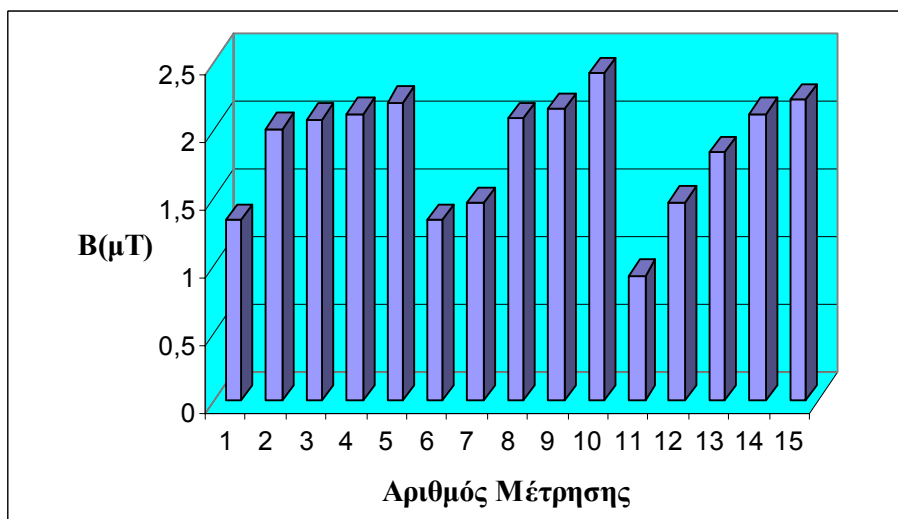
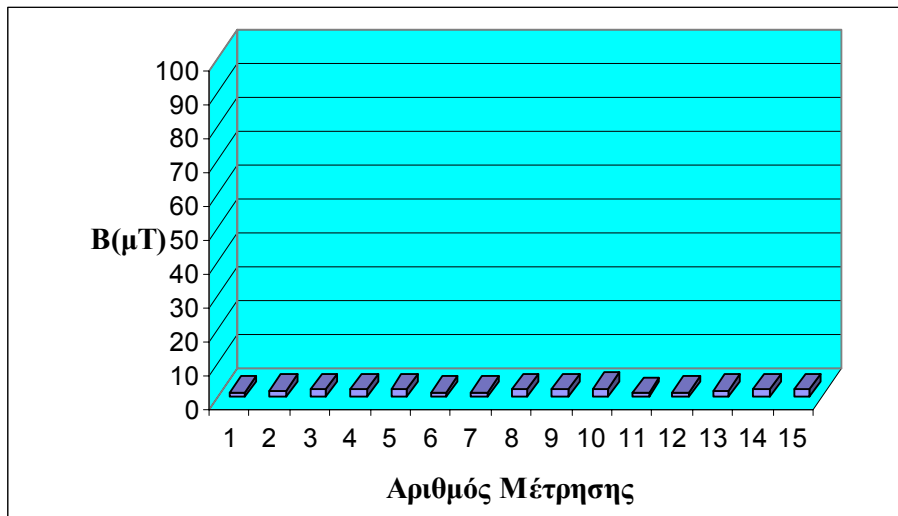
Στον πίνακα 5.3 παρατίθενται οι περιγραφές των θέσεων μέτρησης και τα αποτελέσματα των μετρήσεων για το μαγνητικό και το ηλεκτρικό πεδίο κάτω από γραμμές υψηλής τάσης.

a/a	Περιγραφή θέσης	Μαγνητική Επαγωγή (μΤ)	Ένταση Ηλ. Πεδίου (V/m)
1	Κάτω από γραμμή υψηλής τάσης, παράλληλη της οδού Αγίου Διονυσίου (περιοχή των Αχαρνών), σε ύψος 1 m από το έδαφος και σε μέση απόσταση από τους μεταλλικούς πυλώνες Α και Β.	1,330	1314
2	Κάτω από γραμμή υψηλής τάσης, παράλληλη της οδού Αγίου Διονυσίου (περιοχή των Αχαρνών), σε ύψος 1,5 m από το έδαφος και σε μέση απόσταση από τους μεταλλικούς πυλώνες Α και Β.	2,006	1695
3	Κάτω από γραμμή υψηλής τάσης, παράλληλη της οδού Αγίου Διονυσίου (περιοχή των Αχαρνών), σε ύψος 2 m από το έδαφος και σε μέση απόσταση από τους μεταλλικούς πυλώνες Α και Β.	2,074	1797
4	Κάτω από γραμμή υψηλής τάσης, παράλληλη της οδού Αγίου Διονυσίου (περιοχή των Αχαρνών), σε ύψος 3 m από το έδαφος και σε μέση απόσταση από τους μεταλλικούς πυλώνες Α και Β.	2,118	1901
5	Κάτω από γραμμή υψηλής τάσης, παράλληλη της οδού Αγίου Διονυσίου (περιοχή των Αχαρνών), σε ύψος 4 m από το έδαφος και σε μέση απόσταση από τους μεταλλικούς πυλώνες Α και Β.	2,201	2078
6	Κάτω από γραμμή υψηλής τάσης, παράλληλη της οδού Αγίου Διονυσίου (περιοχή των Αχαρνών), σε ύψος 1 m από το έδαφος και απόσταση 10 m από μεταλλικό πυλώνα (Α).	1,330	1649
7	Κάτω από γραμμή υψηλής τάσης, παράλληλη της οδού Αγίου Διονυσίου (περιοχή των Αχαρνών), σε ύψος 1,5 m από το έδαφος και απόσταση 10 m από μεταλλικό πυλώνα (Α).	1,461	1895
8	Κάτω από γραμμή υψηλής τάσης, παράλληλη της οδού Αγίου Διονυσίου (περιοχή των Αχαρνών), σε ύψος 2 m από το έδαφος και απόσταση 10 m από μεταλλικό πυλώνα (Α).	2,081	1966
9	Κάτω από γραμμή υψηλής τάσης, παράλληλη της οδού Αγίου Διονυσίου (περιοχή των Αχαρνών), σε ύψος 3 m από το έδαφος και απόσταση 10 m από μεταλλικό πυλώνα (Α).	2,151	2132
10	Κάτω από γραμμή υψηλής τάσης, παράλληλης της οδού Αγίου Διονυσίου (περιοχή των Αχαρνών), σε ύψος 4 m από το έδαφος και απόσταση 10 m από μεταλλικό πυλώνα (Α).	2,415	2191
11	Κάτω από γραμμή υψηλής τάσης, παράλληλη της οδού Αγίου Διονυσίου (περιοχή των Αχαρνών), σε ύψος 1 m από το έδαφος και απόσταση 15 m από μεταλλικό πυλώνα (Β).	0,924	759
12	Κάτω από γραμμή υψηλής τάσης, παράλληλη της οδού Αγίου Διονυσίου (περιοχή των Αχαρνών), σε ύψος 1,5 m από το έδαφος και απόσταση 15 m από μεταλλικό πυλώνα (Β).	1,463	1170

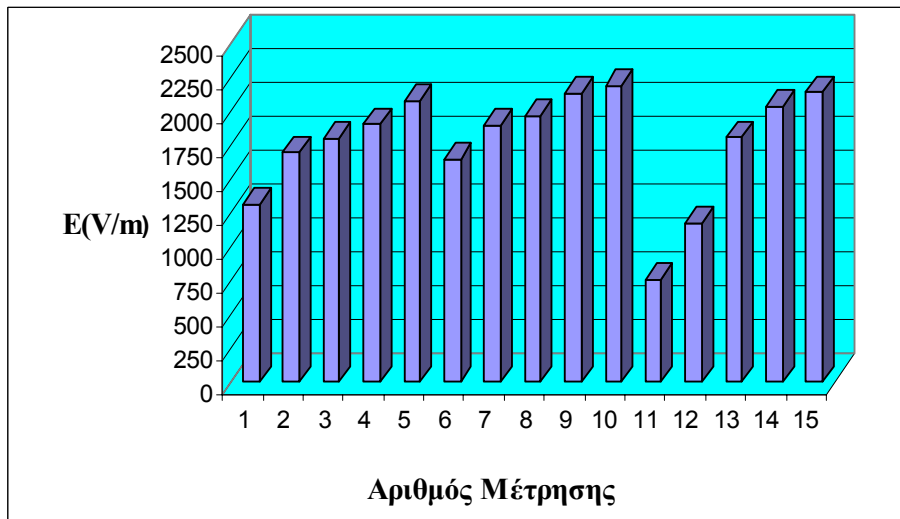
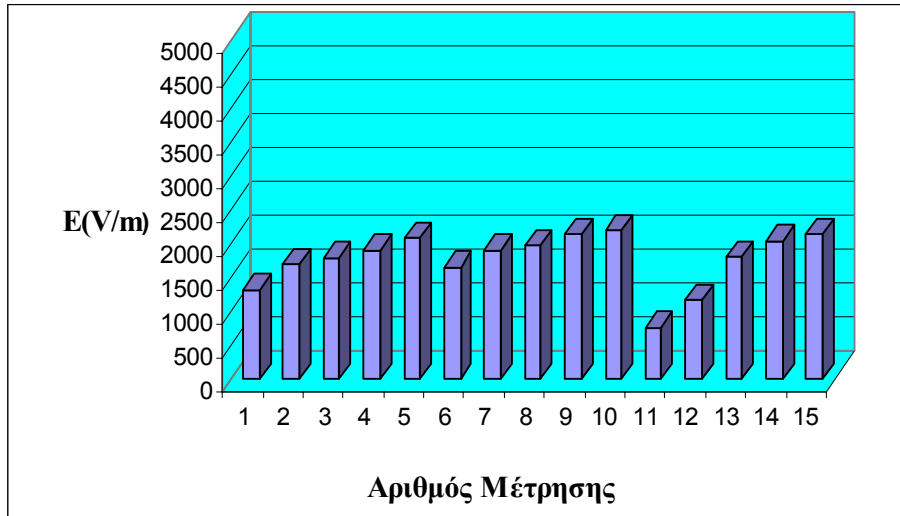
13	Κάτω από γραμμή υψηλής τάσης, παράλληλη της οδού Αγίου Διονυσίου (περιοχή των Αχαρνών), σε ύψος 2 m από το έδαφος και απόσταση 15 m από μεταλλικό πυλώνα (B).	1,835	1804
14	Κάτω από γραμμή υψηλής τάσης, παράλληλη της οδού Αγίου Διονυσίου (περιοχή των Αχαρνών), σε ύψος 3 m από το έδαφος και απόσταση 15 m από μεταλλικό πυλώνα (B).	2,122	2038
15	Κάτω από γραμμή υψηλής τάσης, παράλληλη της οδού Αγίου Διονυσίου (περιοχή των Αχαρνών), σε ύψος 4 m από το έδαφος και απόσταση 15 m από μεταλλικό πυλώνα (B).	2,226	2138

Πίνακας 5.3: Μετρήσεις του μαγνητικού και ηλεκτρικού πεδίου.

Στα σχήματα 5.11 έως 5.14 που ακολουθούν απεικονίζονται γραφικά τα αποτελέσματα των μετρήσεων ανά μέγεθος και ανά θέση του μαγνητικού και του ηλεκτρικού πεδίου, αντίστοιχα.



Σχήμα 5.11,5.12: Τιμές της μαγνητικής επαγωγής B , όπως καταγράφηκαν σε όλες τις θέσεις μέτρησης.



Σχήμα 5.13,5.14: Τιμές της ένταση του ηλεκτρικού πεδίου E , όπως καταγράφηκαν σε όλες τις θέσεις μέτρησης.

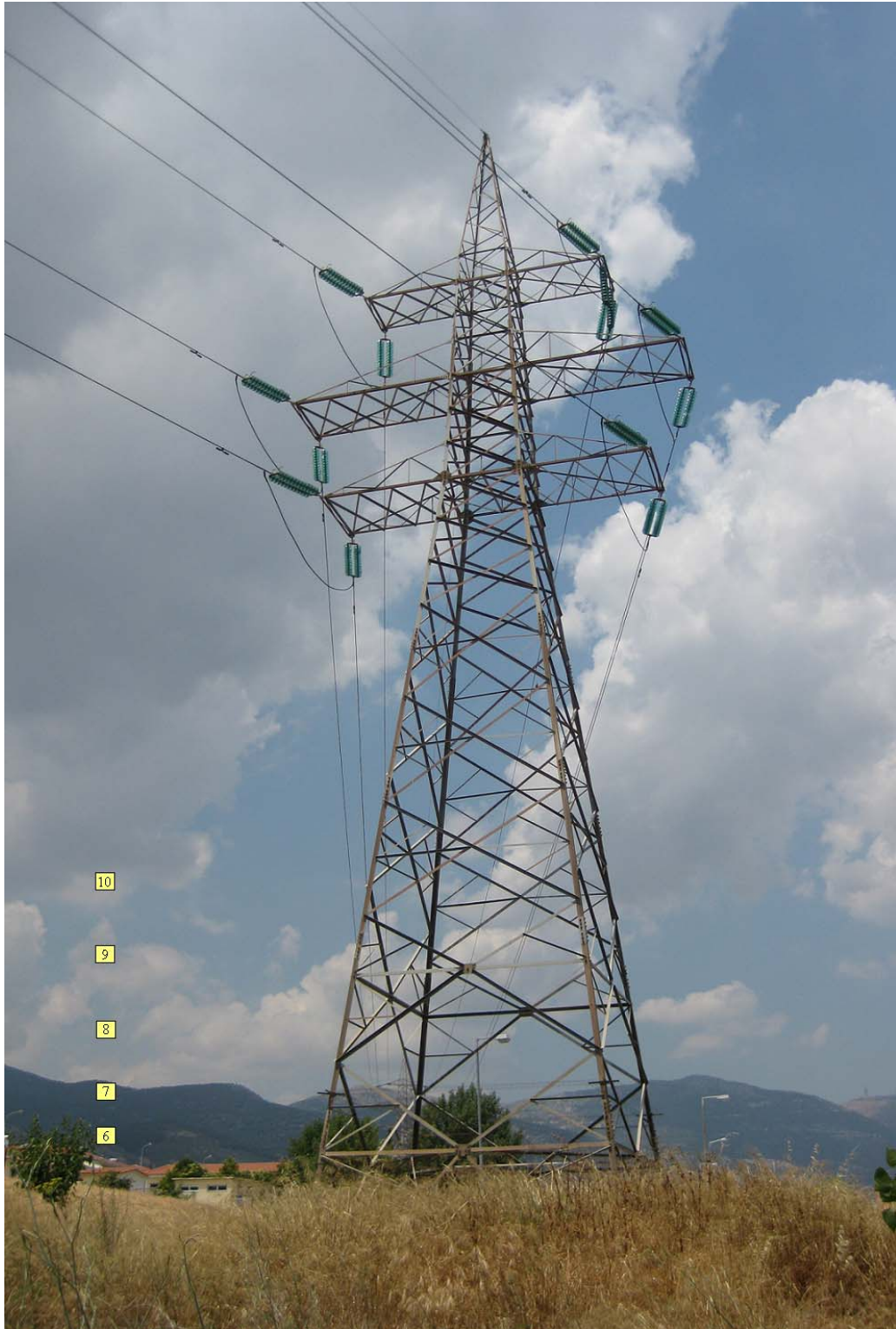
Παράλληλα, παραθέτονται τα σημεία μέτρησης στα σχήματα 5.15 έως 5.18 σε κάτοψη και σε κανονική διάταξη.



Σχήμα 5.15: Τα σημεία μέτρησης στη περιοχή των Αχαρνών (κάτοψη).



Σχήμα 5.16: Τα σημεία μέτρησης 1 έως 5 στη περιοχή των Αχαρνών.



Σχήμα 5.17: Τα σημεία μέτρησης 6 έως 10 στη περιοχή των Αχαρνών.



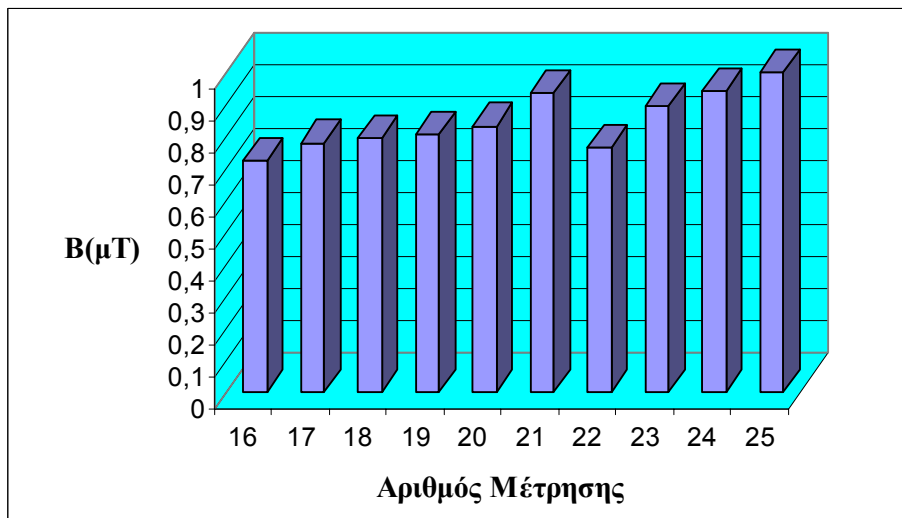
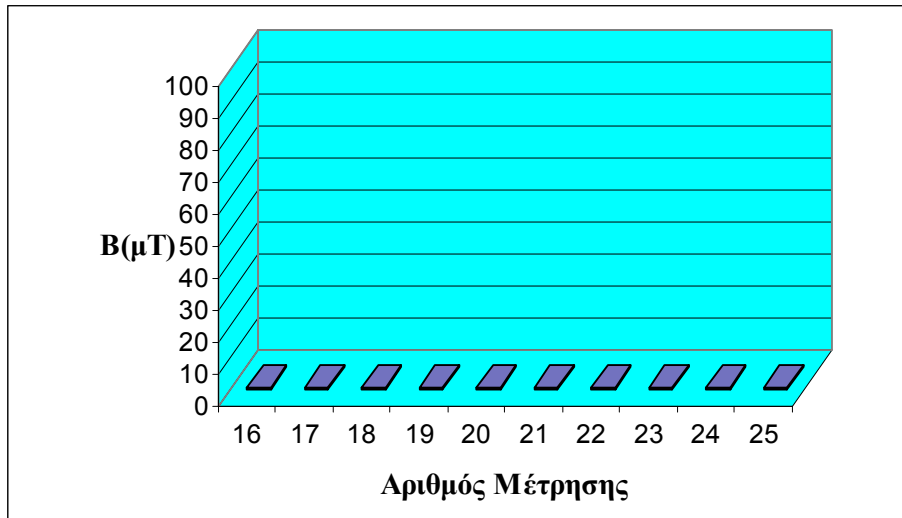
Σχήμα 5.18: Τα σημεία μέτρησης 11 έως 16 στη περιοχή των Αχαρνών.

Στον πίνακα 5.4 παρατίθενται οι περιγραφές των θέσεων μέτρησης και τα αποτελέσματα των μετρήσεων για το μαγνητικό και το ηλεκτρικό πεδίο παραπλεύρως από γραμμές υψηλής τάσης.

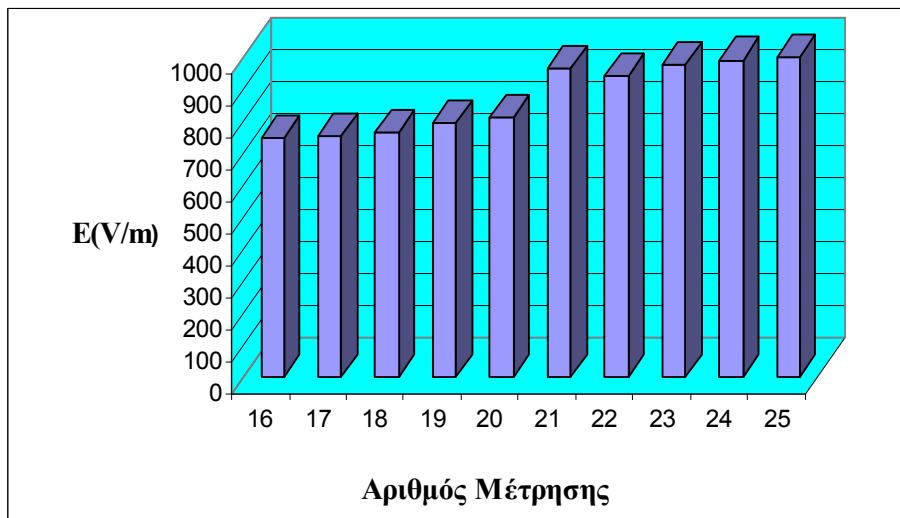
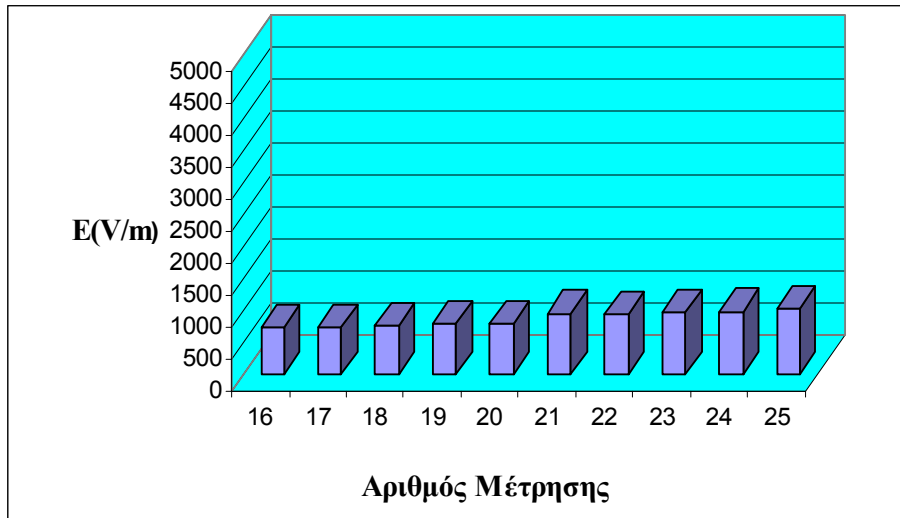
α/α	Περιγραφή θέσης	Μαγνητική Επαγωγή (μΤ)	Ένταση Ηλ. Πεδίου (V/m)
16	15 m παραπλεύρως της γραμμής υψηλής τάσης, παράλληλη της οδού Αγίου Διονυσίου (περιοχή των Αχαρνών), σε ύψος 1 m από το έδαφος.	0,721	745
17	15 m παραπλεύρως της γραμμής υψηλής τάσης, παράλληλη της οδού Αγίου Διονυσίου (περιοχή των Αχαρνών) και σε ύψος 1,5 m από το έδαφος.	0,778	754
18	15 m παραπλεύρως της γραμμής υψηλής τάσης, παράλληλη της οδού Αγίου Διονυσίου (περιοχή των Αχαρνών) και σε ύψος 2 m από το έδαφος.	0,794	762
19	15 m παραπλεύρως της γραμμής υψηλής τάσης, παράλληλη της οδού Αγίου Διονυσίου (περιοχή των Αχαρνών) και σε ύψος 3 m από το έδαφος.	0,805	795
20	15 m παραπλεύρως της γραμμής υψηλής τάσης, παράλληλη της οδού Αγίου Διονυσίου (περιοχή των Αχαρνών) και σε ύψος 4 m από το έδαφος.	0,831	811
21	11 m παραπλεύρως της γραμμής υψηλής τάσης, παράλληλη της οδού Αγίου Διονυσίου (περιοχή των Αχαρνών) και σε ύψος 1 m από το έδαφος.	0,732	962
22	11 m παραπλεύρως της γραμμής υψηλής τάσης παράλληλη της οδού Αγίου Διονυσίου (περιοχή των Αχαρνών) και σε ύψος 1,5 m από το έδαφος.	0,762	939
23	11 m παραπλεύρως της γραμμής υψηλής τάσης παράλληλη της οδού Αγίου Διονυσίου (περιοχή των Αχαρνών) και σε ύψος 2 m από το έδαφος.	0,891	975
24	11 m παραπλεύρως της γραμμής υψηλής τάσης παράλληλη της οδού Αγίου Διονυσίου (περιοχή των Αχαρνών) και σε ύψος 3 m από το έδαφος.	0,941	989
25	11 m παραπλεύρως της γραμμής υψηλής τάσης παράλληλη της οδού Αγίου Διονυσίου (περιοχή των Αχαρνών) και σε ύψος 4 m από το έδαφος.	1,025	1032

Πίνακας 5.4: Μετρήσεις του μαγνητικού και ηλεκτρικού πεδίου.

Στα σχήματα 5.19 έως 5.22 που ακολουθούν απεικονίζονται γραφικά τα αποτελέσματα των μετρήσεων ανά μέγεθος και ανά θέση (συγκρινόμενα μεταξύ τους αλλά και με τα όρια έκθεσης) του μαγνητικού και του ηλεκτρικού πεδίου.



Σχήμα 5.19,5.20: Τιμές της μαγνητικής επαγωγής B , όπως καταγράφηκαν σε όλες τις θέσεις μέτρησης.

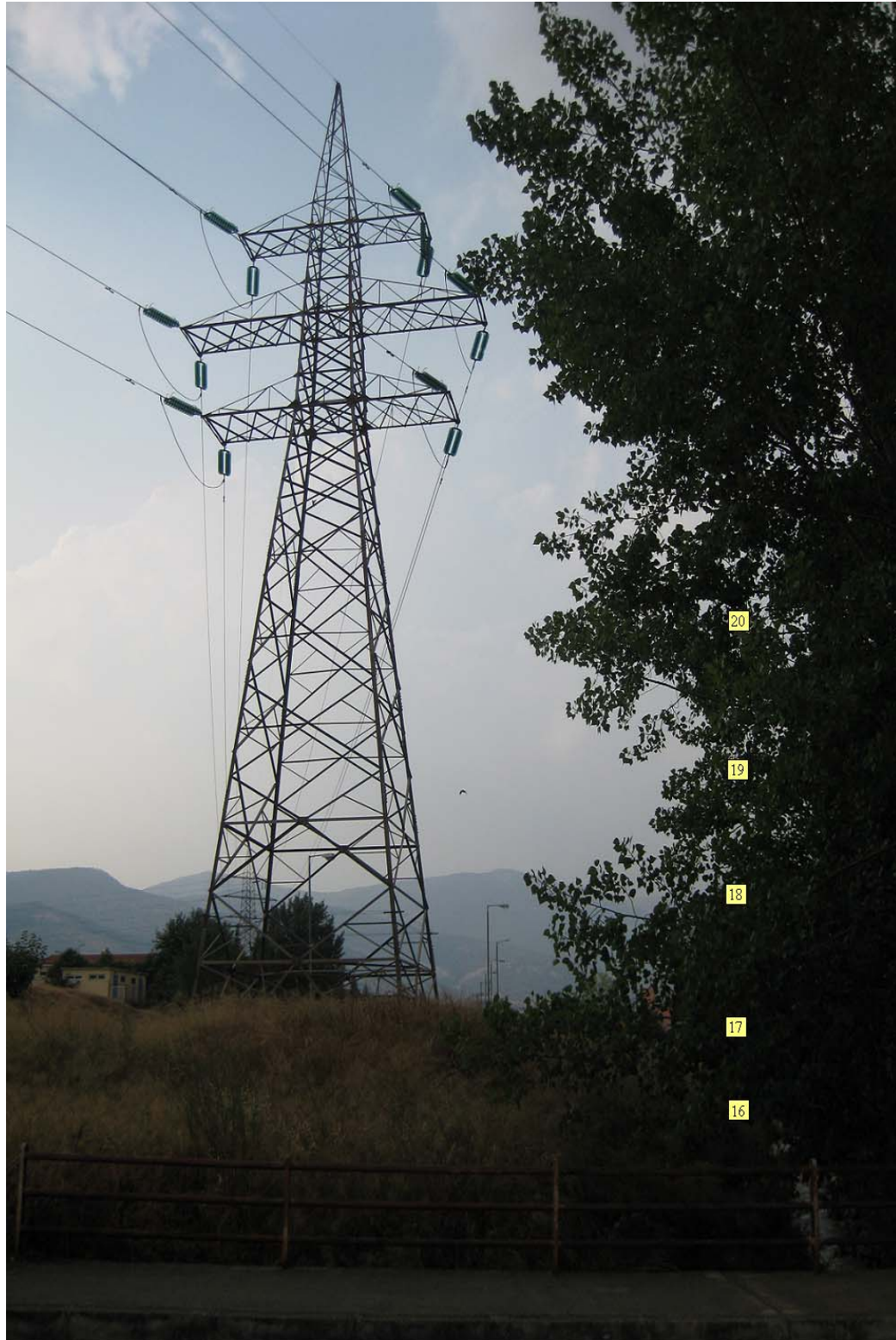


Σχήμα 5.21,5.22: Τιμές της ένταση του ηλεκτρικού πεδίου E, όπως καταγράφηκαν σε όλες τις θέσεις μέτρησης.

Ταυτόχρονα, παρουσιάζονται τα σημεία μέτρησης στα σχήματα 5.23 έως 5.25 σε κάτοψη και στην κανονική τους διάταξη ενώ στο σχήμα 5.26 φαίνονται όλα τα σημεία μέτρησης στην περιοχή των Αχαρνών.



Σχήμα 5.23: Τα σημεία μέτρησης στη περιοχή των Αχαρνών (κάτοψη).



Σχήμα 5.24: Τα σημεία μέτρησης 16 έως 20 στη περιοχή των Αχαρνών.



Σχήμα 5.25: Τα σημεία μέτρησης 21 έως 25 στη περιοχή των Αχαρνών.



Σχήμα 5.26: Όλα τα σημεία μέτρησης στη περιοχή των Αχαρνών.

5.4 Συμπεράσματα

Με βάση τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις μετρήσεις και με βάση τους βασικούς περιορισμούς και τα επίπεδα αναφοράς για την ασφαλή έκθεση του κοινού σε χαμηλόσυχνα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία, όπως αυτά έχουν καθοριστεί στην Κοινή Υπουργική Απόφαση των Υπουργών Ανάπτυξης, Περιβάλλοντος Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων και Υγείας και Πρόνοιας, (Φ.Ε.Κ., Αρ. 512, Τεύχος Δεύτερο, 25 Απριλίου 2002), συνάγονται τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Οι τιμές που λαμβάνει η μαγνητική επαγωγή B (μT) σε καμία από τις θέσεις μέτρησης δεν υπερέβησαν τα επίπεδα αναφοράς, όπως αυτά καθορίζονται από την προαναφερθείσα Κ.Υ.Α. για την προστασία του κοινού. Μάλιστα οι τιμές που μετρήθηκαν, είναι από 45 έως 1562 φορές μικρότερες από την οριακή τιμή των $100\mu\text{T}$ που καθορίζεται στην εν λόγω Κ.Υ.Α. για τη μαγνητική επαγωγή στη συχνότητα των 50HZ (συχνότητα λειτουργίας του συστήματος παροχής ηλεκτρικής ενέργειας).
- Οι τιμές που λαμβάνει η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου E (V/m) σε καμία από τις θέσεις μέτρησης δεν υπερέβησαν τα επίπεδα αναφοράς, όπως αυτά καθορίζονται από την προαναφερθείσα Κ.Υ.Α. για την προστασία του κοινού. Μάλιστα οι τιμές που μετρήθηκαν, είναι από 2,3 έως 621 φορές μικρότερες από την οριακή τιμή των 5.000V/m που καθορίζεται στην εν λόγω Κ.Υ.Α. για την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου στη συχνότητα των 50HZ (συχνότητα λειτουργίας του συστήματος παροχής ηλεκτρικής ενέργειας).
- Οι τιμές που λαμβάνουν τα δύο εξεταζόμενα πεδιακά μεγέθη είναι ανάλογες με αυτές που έχει πραγματοποιήσει το Γραφείο Μη Ιοντιζουσών Ακτινοβολιών της ΕΕΑΕ (βλ. Πίνακα 1.3).

Συμπερασματικά, για τα επίπεδα του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου στις περιοχές μέτρησης μπορεί να αναφερθεί ότι δεν παρουσιάζονται υπερβάσεις των επιπέδων αναφοράς και των βασικών περιορισμών για την ασφαλή έκθεση του κοινού σε χαμηλόσυχνα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία σε όλες τις θέσεις όπου πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις.

Παράλληλα, επισημαίνεται πως στην παρούσα διπλωματική εργασία δεν εξετάστηκε αν θα πρέπει ή όχι να αλλάξουν τα όρια ασφαλείας αλλά θεωρούνται δεδομένα και με βάση αυτά γίνονται οι συγκρίσεις και εξάγονται τα κατάλληλα συμπεράσματα.

Επίσης, θα πρέπει να σημειώσουμε πως οι τιμές της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου E και της μαγνητικής επαγωγής B δεν ήταν σταθερές κατά την διάρκεια των μετρήσεων (κυρίως στις γραμμές ΥΤ) καθώς αυτές μεταβάλλονταν με την πάροδο του χρόνου. Αν και είχε ρυθμιστεί το όργανο να χρειάζεται 30 sec ώστε να ληφθεί η τιμή, λόγω των προαναφερθέντων μεταβολών περιμέναμε την κάθε μέτρηση για περίπου 2 min και καταγράφαμε την μέγιστη τιμή. Οι διακυμάνσεις αυτές μπορεί να οφείλονται σε μεταβολές του φορτίου αλλά και σε άγνωστα αίτια.

Ακόμη, θα πρέπει να επισημάνουμε την επιρροή στις μετρηθείσες τιμές από το ύψος που τοποθετούμε τον αισθητήρα καθώς και από το αν μετρούμε κάτω από τις γραμμές ή παραπλεύρως από αυτές. Έχουμε δει από το πρώτο κεφάλαιο πως οι μέγιστες τιμές εμφανίζονται κάτω από τις γραμμές μεταφοράς όπως συνέβησε και στις παραπάνω μετρήσεις. Επίσης, επιβεβαιώνεται και η μείωση των μεγεθών E και B όταν μετράμε λίγα μέτρα παραπλεύρως των γραμμών. Όσον αφορά την επίδραση του ύψους του αισθητήρα βλέπουμε εύκολα πως όσο απομακρυνόμαστε από το έδαφος και πλησιάζουμε στις γραμμές έχουμε αύξηση των δύο γνωστών μας μεγεθών.

Επιπλέον, παρατηρούμε στις μετρήσεις που έγιναν μπροστά από τον υποσταθμό διανομής αυξημένα επίπεδα μαγνητικής επαγωγής συγκριτικά με τις υπόλοιπες μετρήσεις. Αυτό οφείλεται, όπως φαίνεται και στο σχήμα 5.6, από το καλώδιο του μετασχηματιστή στο οποίο διέρχεται ρεύμα μεγάλης εντάσεως και βρίσκονταν πλησίον του αισθητήρα κατά την διεξαγωγή των μετρήσεων.

Τέλος, για τις δοκιμές δημιουργήθηκε πρωτόκολλο στο οποίο συμπεριλήφθηκαν όλα τα απαραίτητα στοιχεία που πρέπει να καταγραφούν κατά την διεξαγωγή των μετρήσεων και παραθέτεται στο Παράρτημα Δ.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Hugh D. Young. Πανεπιστημιακή φυσική : Τόμος Β' Ηλεκτρομαγνητισμός οπτική σύγχρονη φυσική. Εκδόσεις Παπαζήση, 8^η Έκδοση p.p. 919-936
- [2] <http://www.medlook.net/emf/general.asp>
- [3] http://www.hermes-program.gr/gr/emrinfo_basic.html
- [4] <http://users.att.sch.gr/xtsamis/OkosmosMas/Aktinovolies/Aktinovolies.htm>
- [5] <http://emlab.epp.teiher.gr/DesktopDefault.aspx?TabId=67>
- [6] http://www.eeae.gr/gr/docs/president/_xamilosixna.pdf
- [7] <http://www.hellasres.gr/Greek/THEMATATA/ARTHRA/stavropoulos.html>
- [8] Τσανάκας Δ, Μίμος Ε, Ζαχαροπούλου Π, Καραμανής Κ. Το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο των Υ/Σ 150kV εξωτερικού χώρου ως περιβαλλοντικοί παράγοντες. ΕΕ CIGRE, Σύνοδος Αθήνα 2003.
- [9] Καραμπέτσος Ε, Ηλεκτρομαγνητικά πεδία: Νομοθετικό πλαίσιο, Όρια ασφαλούς έκθεσης του κοινού, Αποτελέσματα ελέγχων. Ημερίδα Εθνικού Ιδρύματος ερευνών 2005.
- [10] <http://aktinobolia.wordpress.com/2008/07/18/>
- [11] <http://www.oikipa.gr>
- [12] <http://news.kathimerini.gr>
- [13] <http://www.e-natural.gr/default/text/diafora/eemp.asp>
- [14] DS Beniashvili et al: Low-frequency electromagnetic radiation enhances the induction of rat mammary tumors by nitrosomethyl urea. Cancer Let 61:75-79, 1991.
- [15] A. Rannug et al: A study on skin tumor formation in mice with 50 Hz magnetic field exposure. Carcinogenesis 14:573-578, 1993.
- [16] M Yasui et al: Carcinogenicity test of 50 Hz sinusoidal magnetic field in rats. Bioelectromag 18:531-540, 1997.

- [17] AW Harris et al: A test of lymphoma induction by long-term exposure of Eμ-Pim1 transgenic mice to 50-Hz magnetic fields. *Rad Res* 149:300-307, 1998.
- [18] DL McCormick, GA Boorman et al: Chronic toxicity/oncogenicity evaluation of 60 Hz (power frequency) magnetic fields in B6C3F1 mice. *Toxicol Pathol* 27:279-285, 1999.
- [19] GA Boorman, DL McCormick et al: Chronic toxicity/oncogenicity evaluation of 60 Hz (power frequency) magnetic fields in F344/N rats. *Toxicol Pathol* 27:267-278, 1999.
- [20] D Vallejo, P Sanz et al: A hematological study in mice for evaluation of leukemogenesis by extremely low frequency magnetic fields. *Electro Magnetobio* 20:281-298, 2001.
- [21] T Kikuchi, M Ogawa et al: Multigeneration exposure test of *Drosophila melanogaster* to ELF magnetic fields. *Bioelectromag* 19:335-340, 1998.
- [22] L Abramsson-Zetterberg and J Grawé: Extended exposure of adult and fetal mice to 50 Hz magnetic field does not increase the incidence of micronuclei in erythrocytes. *Bioelectromag* 22:351-357, 2001.
- [23] JA Heredia-Rojas, DE Cabellero-Hernandez et al: Lack of alterations on meiotic chromosomes and morphological characteristics of male germ cells in mice exposed to a 60 Hz and 2.0 mT magnetic field. *Bioelectromag* 25:63-68, 2004.
- [24] JP McNamee, PV Bellier et al: DNA damage and apoptosis in the immature mouse cerebellum after acute exposure to a 1 mT, 60 Hz magnetic field. *Mutat Res* 513:121-133, 2002.
- [25] A Kharazi, JT Babbitt, et al: Primary brain tumor incidence in mice exposed to split-dose ionizing radiation and circularly polarized 60 Hz magnetic fields. *Cancer Letters* 147:149-156, 1999.
- [26] <http://www.physics4u.gr/news/2005/scnews1992.html>
- [27] M Feychting et al: Occupational and residential magnetic field exposure and leukemia and central nervous system tumors. *Epidemiology* 8:384-389, 1997.

- [28] CE Minder and DH Pfluger: Leukemia, brain tumors, and exposure to extremely low frequency electromagnetic fields in Swiss railway employees. *Am J Epidem* 153:825-835, 2001.
- [29] B Floderus, C Stenlund et al: Occupational magnetic field exposure and site-specific cancer incidence: a Swedish cohort study. *Cancer Causes Control* 10:323-332, 1999.
- [30] PJ Villeneuve, D Agnew et al: Leukemia in electric utility workers: The evaluation of alternative indices of exposure to 60 Hz electric and magnetic fields, *Amer J Indust Med* 37:607-617, 2000.
- [31] P Guenel et al: Exposure to 50-Hz electric field and the incidence of leukemia, brain tumors, and other cancers among French electric utility workers. *Am J Epidem* 144:1107-1121, 1996.
- [32] LI Kheifets et al: Leukemia risk and occupational electric field exposure in Los Angeles County, California. *Amer J Epidem* 146:87-90, 1997.
- [33] PJ Villeneuve, DA Agnew et al: Non-Hodgkin's lymphoma among electric utility workers in Ontario: the evaluation of alternate indices of exposure to 60 Hz electric and magnetic fields, *Occup Environ Med* 57:249-257, 2000.
- [34] PJ Villeneuve, DA Agnew et al: Brain cancer and occupational exposure to magnetic fields among men: Results from a Canadian population-based case-control study. *Int J Epidem* 31:210-217, 2002.
- [35] N Håkansson, B Floderus et al: Cancer incidence and magnetic field exposure in industries using resistance welding in Sweden. *Occup Environ Med* 59:481-486, 2002.
- [36] A Navas-Acién, M Pollán et al: Interactive effect of chemical substances and occupational electromagnetic field exposure on the risk of gliomas and meningiomas in Swedish men. *Cancer Epidem Biomark Prev* 11:1678-1683, 2002.
- [37] LE Charles, D Loomis et al: Electromagnetic fields, polychlorinated biphenyls, and prostate cancer mortality in electric utility workers. *Amer J Epidem* 157:683-691, 2003.

- [38] <http://www.medlook.net/emf/emf-diseases.asp>
- [39] AJ Heredia-Rojas, AO Rodríguez-De la Fuente et al: Cytological effects of 60 Hz magnetic fields on human lymphocytes in vitro: sister-chromatid exchanges, cell kinetics and mitotic rate. *Bioelectromag* 22:145-149, 2001.
- [40] O Zeni, MB Lioi et al: Combined exposure to extremely low frequency (ELF) magnetic fields and chemical mutagens: Lack of genotoxic effects in human lymphocytes. *Electro Magnetobio* 23:331-341, 2001.
- [41] MC Pirozzoli, C Marino et al: Effects of 50 Hz electromagnetic field exposure on apoptosis and differentiation in a neuroblastoma cell line. *Bioelectromag* 24:510-516, 2003.
- [42] C Grassi, M D'Ascenzo et al: Effects of 50 Hz electromagnetic fields on voltage-gated Ca²⁺ channels and their role in modulation of neuroendocrine cell proliferation and death. *Cell Calcium* 35:307-315, 2004.
- [43] L Stronati, A Testa et al: Absence of genotoxicity in human blood cells exposed to 50 Hz magnetic fields as assessed by comet assay, chromosome aberration, micronucleus, and sister chromatic exchange analyses. *Bioelectromag* 25:41-48, 2004.
- [44] PK Verkasalo et al: Magnetic fields of high voltage power lines and risk of cancer in Finnish adults: nationwide cohort studies. *Br Med J* 313:1047-1051, 1996.
- [45] CY Li et al: Residential exposure to 60-Hertz magnetic fields and adult cancers in Taiwan. *Epidemiology* 8:25-30, 1997.
- [46] M Feychting et al: Magnetic fields and breast cancer in Swedish adults residing near highvoltage power lines. *Epidemiology* 9:392-397, 1998
- [47] UM Forssén, M Feychting et al: Occupational and residential magnetic field exposure and breast cancer in females. *Epidem* 11:24-29, 2000.
- [48] PF Coogan et al: Exposure to power-frequency magnetic fields and risk of breast cancer in the Upper Cape Cod cancer incidence study. *Arch Environ Health* 53:359-367, 1998.

- [49] S Davis, DK Mirick et al: Residential magnetic fields and the risk of breast cancer. *American Journal of Epidemiology* 155:446-454, 2002.
- [50] J Kliukiene, T Tynes et al: Residential and occupational exposures to 50-Hz magnetic fields and breast cancer in women: A population-based study. *American Journal of Epidemiology* 159:852-861, 2004.
- [51] NT Fear, E Roman et al: Cancer in electrical workers: an analysis of cancer registrations in England, 1981-87. *Brit J Cancer* 73:935-939, 1996.
- [52] C Johansen et al: Risk of cancer among Danish utility workers -- A nationwide cohort study. *Amer J Epidem* 147:548-555, 1998.
- [53] SA Petralia et al: Occupational risk factors for breast cancer among women in Shanghai. *Amer J Indust Med* 34:477-483, 1998.
- [54] UM Forssén, LE Rutqvist et al: Occupational magnetic fields and female breast cancer: a case-control study using Swedish population registers and new exposure data. *Am J Epidem* 161:250-259, 2005.
- [55] KK Murthy et al: Initial studies on the effects of combined 60 Hz electric and magnetic field exposure on the immune system of nonhuman primates. *Bioelectromag Suppl* 3:93-102, 1995.
- [56] B Selmaoui et al: Acute exposure to 50 Hz magnetic field does not affect hematologic or immunologic functions in healthy young men: A circadian study. *Bioelectromag* 17:364-372, 1996.
- [57] S Dasdag, C Sert et al: Effects of extremely low frequency electromagnetic fields on hematologic and immunologic parameters in welders. *Archives of Medical Research* 33:29-32, 2002.
- [58] K Ikeda, Y Shinmura et al: No effects of extremely low frequency magnetic fields found on cytotoxic activities and cytokine production of human peripheral blood mononuclear cells in vitro. *Bioelectromag* 24:21-31, 2003.
- [59] C Graham and MR Cook: Human sleep in 60 Hz magnetic fields, *Bioelectromag* 0:277-283, 1999.

- [60] E van Wijngaarden, DA Savitz et al: Exposure to electromagnetic fields and suicide among electric utility workers: a nested case-control study, *Occup Environ Med* 57:258-263, 2000.
- [61] M Feychting, F Jonsson et al: Occupational magnetic field exposure and neurodegenerative disease. *Epidem* 14:413-419, 2003.
- [62] N Håkansson, P Gustavsson et al: Neurodegenerative diseases in welders and other workers exposed to high levels of magnetic fields. *Epidem* 14:420-426, 2003.
- [63] H Harmanci, M Emre et al: Risk factors for Alzheimer disease: a population-based casecontrol study in Istanbul, Turkey. *Alzheimer Dis Assoc Disord* 17:139-145, 2003.
- [64] DA Savitz et al: Magnetic field exposure and neurodegenerative disease mortality among electric utility workers. *Epidemiology* 9:398-404, 1998.
- [65] AB Graves, D Rosner et al: Occupational exposure to electromagnetic fields and Alzheimer Disease. *Alzheimer Dis Assoc Disord* 13:165-170, 1999.
- [66] EE Hatch et al: Association between childhood acute lymphoblastic leukemia and use of electrical appliances during pregnancy and childhood. *Epidemiology* 9:234-245, 1998.
- [67] M Delhez, JJ Legros et al: No influence of 20 and 400 microT, 50 Hz magnetic field exposure on cognitive function in humans. *Bioelectromag* 25:592-598, 2004.
- [68] A Sastre, MR Coor et al; Nocturnal exposure to intermittent 60 Hz magnetic fields alters human cardiac rhythm. *Bioelectromag* 19:98-106, 1998.
- [69] DA Savitz, D Liao et al: Magnetic field exposure_ and cardiovascular disease mortality among electric utility workers. *Amer J Epidem* 149:135-142, 1999.
- [70] ML Sait, AW Wood et al: Human heart rate changes in response to 50 Hz sinusoidal and square waveform magnetic fields: A follow up study, In: "Electricity and Magnetism in Medicine and Biology", F Bersani., ed., Kluwer Academic/Plenum Publishers, pp. 517-520 (1999).

- [71] C Graham, A Sastre et al: Heart rate variability and physiological arousal in men exposed to 60 Hz magnetic fields. *Bioelectromag* 21:480-482, 2000.
- [72] C Graham, A Sastre et al: Exposure to strong ELF magnetic fields does not alter cardiac autonomic control mechanisms. *Bioelectromag* 21:413-421, 2000.
- [73] A Sastre, MR Coor et al; Nocturnal exposure to intermittent 60 Hz magnetic fields alters human cardiac rhythm. *Bioelectromag* 19:98-106, 1998.
- [74] C Johansen, M Feychting et al: Risk of severe cardiac arrhythmia in male utility workers: A nationwide Danish cohort study. *Amer J Epidem* 156:857-861, 2002.
- [75] J Sahl, G Mezei et al: Occupational magnetic field exposure and cardiovascular mortality in a cohort of electric utility workers. *Amer J Epidem* 156:913-918, 2002.
- [76] Y Kurokawa, H Nitta et al: Can extremely low frequency alternating magnetic fields modulate heart rate or its variability in humans? *Auton Neurosci-Basic Clin* 105:53-61, 2003.
- [77] N Håkansson, P Gustavsson et al: Occupational exposure to extremely low frequency magnetic fields and mortality from cardiovascular disease. *Am J Epidem* 158:534-542, 2003.
- [78] A Ahlbom, M Feychting et al: Occupational magnetic field exposure and myocardial infarction incidence. *Epidemiol* 15:403-408, 2004.
- [79] Ahlbom, E Cardis et al: Review of the epidemiologic literature on EMF and health. *Environ Health Perspect* 109:911-933, 2001.
- [80] Static and extremely low-frequency (ELF) electric and magnetic fields. Report No. 80. International Agency for Research on Cancer, March, 2002.
- [81] National Institute of Environmental Health Sciences: EMF Questions and Answers, 2002.
- [82] AF McKinlay, SG Allen et al: Review of the scientific evidence for limiting exposure to electromagnetic fields (0-300 GHz). *Doc NRPB* 15:1-215, 2004.
- [83] International Radiation Protection Association/ International Non-Ionizing Radiation Committee, IRPA/ INIRC (1990): Interim Guidelines on limits of

- exposure to 50/60 Hz electric and magnetic fields. Health Physics January 1990; 58 (No1): 113-122.
- [84] National Radiological Protection Board, NRPB: Board statement on restrictions on human exposure to static and time varying electromagnetic fields and radiation. Nov. 1993; 4 (No 5), Hilton, Great Britain.
- [85] NRPB Review of the scientific evidence for limiting exposure to electromagnetic fields (0 – 300 GHz). Doc. NRPB 2004; 15 (3): 1-215.
- [86] CENELEC ENV 50166-1: Human exposure to electromagnetic fields. Low - frequency (0 Hz to 10 kHz), January 1995.
- [87] 26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV) vom 16.Dezember 1996 (BGBl I S.1996).
- [88] ICNIRP Guidelines, International Committee for Non-Ionizing Radiation Protection: Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300GHz), Health Physics, April 1998; 74 (No 4): 494-522.
- [89] Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης: Σύσταση του Συμβουλίου της 12ης Ιουλίου 1999 περί του περιορισμού της έκθεσης του κοινού σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία (0Hz – 300GHz), 1999/519/EK, Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, L199, σελ. 59 – 70, 30/7/1999.
- [90] Κοινή Υπουργική Απόφαση, Αριθμός 3060 (ΦΟΡ) 238, ΦΕΚ 512 / Β / 25.04.02: «Μέτρα προφύλαξης του κοινού από τη λειτουργία διατάξεων εκπομπής ηλεκτρομαγνητικών πεδίων χαμηλών συχνοτήτων».
- [91] Οδηγία του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Ευρωπαϊκού Συμβουλίου, Περί των ελαχίστων προδιαγραφών υγείας και ασφάλειας όσον αφορά στην έκθεση των εργαζομένων σε κινδύνους προερχόμενους από φυσικούς παράγοντες (ηλεκτρομαγνητικά πεδία), Οδηγία 2004/40/EK, Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, L159, σελ. 1 – 26, 30/4/2004.

Παράρτημα Α

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΔΙΟΜΕΤΡΟΥ ΚΑΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ (PROBE)

Στο παρόν παράρτημα περιγράφεται ο τρόπος λειτουργίας του πεδιομέτρου PMM 8053A, σε συνδυασμό με τον αισθητήρα (probe) PMM EHP 50B (Σχήματα Α.1 – Α.3) που χρησιμοποιήσαμε για την λήψη των μετρήσεων.



Σχήμα Α.1: Πεδιόμετρο.



Σχήμα Α.2: Αισθητήρας (probe).



Σχήμα Α.3: Σύνδεση πεδιομέτρου με την οπτική ίνα.

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του πεδιομέτρου και του αισθητήρα παρουσιάζονται στους Πίνακες Α.1 και Α.2 αντίστοιχα.

Εύρος συχνότητας	5Hz - 40GHz
Μονάδες μέτρησης	V/m, kV/m, $\mu\text{W}/\text{cm}^2$, mW/cm^2 , W/m^2 , A/m, nT, μT , mT
Μέτρηση πεδίου	X, Y, Z σε απόλυτες τιμές, επί τοις εκατό και συνολικό
Εσωτερική μνήμη	Έως 32700 μετρήσεις
Έξοδος	Οθόνη LCD 72×72mm, RS232
Είσοδος	Απ' ευθείας ή μέσω οπτικής ίνας
Εσωτερική μπαταρία	Επαναφορτιζόμενες NiMH μπαταρίες (5·1,2V)
Χρόνος λειτουργίας	24 ώρες
Χρόνος επαναφόρτισης	< 4 ώρες
Τροφοδοσία	DC, 10-15V, $I \approx 500\text{mA}$
Θερμοκρασία λειτουργίας	-10°C έως 40°C
Θερμοκρασία αποθήκευσης	-20°C έως 70°C
Μέγεθος / Βάρος	108×240×50mm / 1,07kg

Πίνακας Α.1: Τεχνικά χαρακτηριστικά του πεδιομέτρου PMM 8053A.

	Ηλεκτρικό πεδίο	Μαγνητικό πεδίο
Εύρος συχνότητας	5Hz -100kHz	
Επίπεδο κλίμακας	0.01V/m-100kV/m	1nT-10mT
Υπερφόρτιση	200kV/m (@50Hz)	20mT (@50Hz)
Ανάλυση	0.001V/m	1nT
Ευαισθησία	0.01V/m	1nT
Απόλυτο σφάλμα	$\pm 0.5\text{dB}$ (50Hz, 1 kV/m)	$\pm 0.5\text{dB}$ (50Hz, 0.1mT)
Ομαλότητα (40Hz-10kHz)	$\pm 0,5\text{dB}$	$\pm 0,5\text{dB}$
Γραμμικότητα (50Hz)	$\pm 0,2\text{dB}$ (1V/m-100kV/m)	$\pm 0,2\text{dB}$ (200nT-10mT)
SPAN	100Hz, 200Hz, 500Hz, 1kHz, 2kHz, 10kHz, 100kHz	
Συχνότητα έναρξης	1,2% του SPAN	
Συχνότητα λήξης	ίση με του SPAN	
Απόρριψη ηλ. πεδίου	-	>20dB
Απόρριψη μαγν. πεδίου	>20dB	-
Σφάλμα θερμοκρασίας	0.05dB/ °C	
Διαστάσεις / Βάρος	96×96×115mm / 525g	
Εσωτερική μπαταρία	Επαναφορτιζόμενες NiMH μπαταρίες (5·1,2V)	
Χρόνος λειτουργίας	>10 ώρες >150 ώρες σε χαμηλής ισχύος λειτουργία	
Χρόνος επαναφόρτισης	< 4 ώρες	
Εξωτερική DC Τροφοδοσία	DC, 10-15V, $I \approx 500\text{mA}$	
Σύνδεση οπτικής ίνας	> 80m	
Ενημέρωση λογισμικού	Μέσω σειριακής θύρας	
Αυτόματος έλεγχος	Αυτόματα όταν ανάβει	
Θερμοκρασία λειτουργίας	-10°C έως 40°C	
Θερμοκρασία αποθήκευσης	-20°C έως 70°C	

Πίνακας Α.2: Τεχνικά χαρακτηριστικά του αισθητήρα PMM EHP-50B.

Εγκατάσταση του EHP-50B στο 8053A

Ο αισθητήρας EHP-50B συνδέεται στο πεδίομετρο 8053A με τη βοήθεια οπτικής ίνας, γεγονός το οποίο επιτρέπει το χειρισμό του πεδιομέτρου εκτός του πεδίου δοκιμών. Συγκεκριμένα, για την εγκατάσταση του probe EHP-50B, συνδέουμε α) την οπτική ίνα η οποία παρέχεται με το probe, στην υποδοχή του αισθητήρα με την επιγραφή OPTIC LINK, φροντίζοντας το βύσμα να ταιριάζει στην υποδοχή, β) και το άλλο άκρο της οπτικής ίνας στην υποδοχή με την επιγραφή OPTIC LINK του PMM 8053A.

Ο συνδυασμός PMM EHP-50B μπορεί τώρα να ενεργοποιηθεί πατώντας το κόκκινο κουμπί POWER για ένα δευτερόλεπτο. Τότε το 8053A και το EHP-50B θα ξεκινήσουν να επικοινωνούν. Το EHP-50B θα αρχίσει να φορτώνει όλα τα εσωτερικά δεδομένα στο 8053A και στην οθόνη είναι πιθανό να εμφανιστεί ο τύπος του probe (EHP-50B) που συνδέθηκε και ο εσωτερικός τύπος του λογισμικού του.

Ενεργοποίηση του EHP-50B στο 8053A

Μετά τη σύνδεση της οπτικής ίνας είναι απαραίτητη η ενεργοποίηση του αισθητήρα EHP-50B, ώστε να αναγνωριστεί ο τύπος του από το πεδίομετρο. Για να ενεργοποιήσουμε τη σύνδεση, χρησιμοποιούμε το PMM 8053A ως εξής:

1. Πιέζουμε το κουμπί SET για να ενεργοποιηθεί ένα παράθυρο από το οποίο οι κύριες παράμετροι και ρυθμίσεις μπορούν να επιλεγούν.
2. Επιλέγουμε την εντολή SERIAL.
3. Επιλέγουμε OPTICAL.

Με βοήθεια όλων αυτών των ρυθμίσεων γίνεται δυνατή μέσω της οπτικής ίνας, η σύνδεση και η αναγνώριση του EHP-50B από το 8053A.

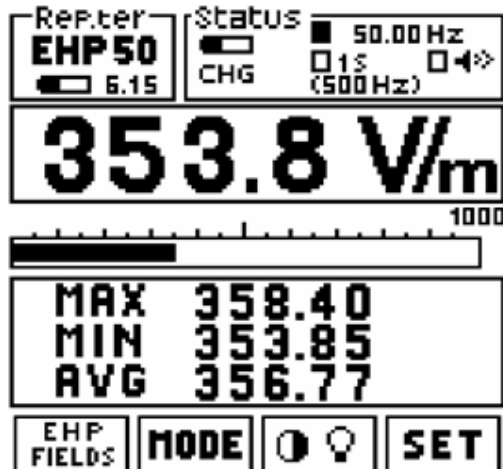


Αφού γίνει η απαραίτητη σύνδεση, ο τύπος του probe, EHP-50B, θα εμφανιστεί στην οθόνη του μετρητή, στο πάνω αριστερό πλαίσιο με την επιγραφή Rep.ter.



Λειτουργία του πεδιομέτρου 8053A

Κατά τη λειτουργία του πεδιομέτρου μία τυπική οθόνη είναι αυτή του Σχήματος Α.4.

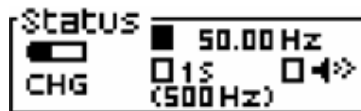


Σχήμα Α.4: Οθόνη του πεδιομέτρου κατά τη λειτουργία του.

- Στην πρώτη γραμμή του σχήματος Α.4 στο αριστερό πλαίσιο απεικονίζεται, όπως είδαμε, ο τύπος του probe που συνδέθηκε στο πεδιόμετρο και η φόρτιση της μπαταρίας.



- Στην πρώτη γραμμή του σχήματος Α.4 στο δεξί πλαίσιο φαίνεται το επίπεδο φόρτισης της μπαταρίας του PMM 8053A και μια ένδειξη σήματος κινδύνου. Επίσης, απεικονίζεται η συχνότητα στην οποία πραγματοποιούνται οι μετρήσεις καθώς και η συχνότητα καταγραφής των μετρήσεων από το πεδιόμετρο.



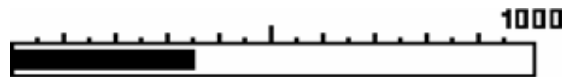
- Στη δεύτερη γραμμή του σχήματος A.4 αναγράφεται η ψηφιακή τιμή της ένδειξης του οργάνου σύμφωνα με την ισχύουσα μονάδα μέτρησης. Αυτή η ένδειξη υπολογίζεται με βάση τον παρακάτω τύπο: $V / \text{μολικό} = \sqrt{E_x^2 + E_y^2 + E_z^2}$.

Επίσης μας δίνεται η δυνατότητα να επιλέξουμε τη μονάδα μέτρησης για το ηλεκτρικό ή το μαγνητικό πεδίο με δυο διαφορετικής κλίμακας τιμές μέσω ενός κομβίου που βρίσκεται στην πέμπτη γραμμή του σχήματος A.4:



Επομένως, για το ηλεκτρικό πεδίο υπάρχουν οι επιλογές: α) 1k=1000V/m και β) 100k=100kV/m ενώ για το μαγνητικό οι επιλογές : α) 100μ=100μT και β) 10m=10mT.

- Στην τρίτη γραμμή του σχήματος A.4 αναγράφεται η αναλογική τιμή της ένδειξης του οργάνου η οποία μπορεί να είναι γραμμική ή λογαριθμική.



- Στην τέταρτη γραμμή και με την ενεργοποίηση του κουμπιού MODE (βρίσκεται στην πέμπτη γραμμή), το πεδίομετρο έχει τις εξής δυνατότητες απεικόνισης των αποτελεσμάτων:



1. ABS %: παρουσιάζονται οι τρεις ανυσματικές συνιστώσες του μετρούμενου πεδίου σε απόλυτες και ποσοστιαίες τιμές.

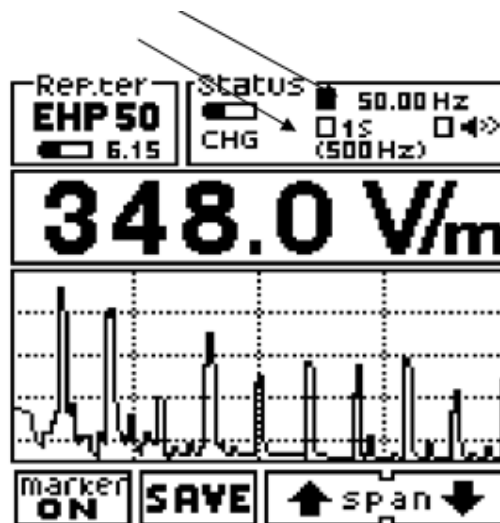
X	274.64	ABS	X	64.0	%
Y	115.75		Y	11.3	
Z	177.97		Z	24.6	

2. MIN-MAX/AVG, MIN-MAX/RMS: παρουσιάζονται οι μέγιστες και οι ελάχιστες τιμές εκφρασμένες ως αριθμητικοί μεσοί όροι (AVG) ή ως τετραγωνικοί μεσοί όροι (RMS). Παρακάτω δίνονται οι αναλυτικοί τύποι υπολογισμού για τους αριθμητικούς και τετραγωνικούς μέσους όρους.

$$\text{AVG} = \frac{1}{T} \int_0^T [E(t)] dt$$

$$\text{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [E(t)]^2 dt}$$

3. SPECT MODE: Σε αυτή τη λειτουργία, το EHP-50B παρουσιάζει μια FFT (γρήγορος μετασχηματισμός Fourier) ανάλυση μεταξύ των επιλεγμένων SPAN και εμφανίζει τα αποτελέσματα στην οθόνη του 8053A. Η υψηλότερη συχνότητα σήματος παρουσιάζεται στην πρώτη σειρά ενώ το set value του SPAN παρουσιάζεται στις αγκύλες του πλαισίου STATUS.



4. DATA LOGGER: ο χρήστης αποθηκεύει τα δεδομένα των μετρήσεων και τα σώζει σε ένα αρχείο. Όλα τα αρχεία είναι αριθμημένα προοδευτικά και περιλαμβάνουν α) ημερομηνία και ώρα που ξεκίνησαν οι μετρήσεις β) τη μέση τιμή των μετρήσεων γ) την τιμή του κάθε μεμονωμένου δεδομένου δ) τα σχόλια του χρήστη.

Με βάση το σχήμα Α.4, στην πέμπτη γραμμή εκτός των επιλογών EHP FIELDS και MODE έχουμε τα εξής :



Το τρίτο κατά σειρά κουμπί μας δίνει τη δυνατότητα να προσαρμόσουμε το φωτισμό της οθόνης με βάση το περιβάλλον φωτισμό έτσι ώστε να βλέπουμε καλύτερα την οθόνη.



Το τέταρτο κατά σειρά κουμπί επιτρέπει στο χρήστη να επέμβει και να επιλέξει βασικές παραμέτρους και ρυθμίσεις για τις μετρήσεις.

Πατώντας λοιπόν το SET εμφανίζεται στην οθόνη ο παρακάτω πίνακας:



- Alarm: Με αυτή τη λειτουργία, όταν το μετρούμενο πεδίο υπερβεί την τάση κατωφλίου, ενεργοποιούνται κάποιες διαδικασίες, οι οποίες μας ειδοποιούν για αυτή την υπέρβαση.
- Μπορούμε να επιλέξουμε RMS ή AVG πατώντας τα βελάκια στο κάτω μέρος της σελίδας. Επίσης, μπορούμε εμείς να θέσουμε το χρονικό εύρος υπολογισμού των δυο παραπάνω μεγεθών.
- Freq: σε αυτή τη λειτουργία υπάρχουν δυο επιλογές, wideband και highest.
- Span: Δυνατότητα επιλογής φάσματος
- Serial: Υπάρχουν δυο επιλογές ανάλογα με τον τρόπο σύνδεσης του πεδιομέτρου με το probe. Αν η σύνδεση είναι καλωδιακή τότε επιλέγουμε 'wired', ενώ αν η σύνδεση έγινε μέσω οπτικής ίνας επιλέγουμε 'optical'.
- Logger: Καθορισμός δειγματοληψίας για τη λειτουργία απόκτησης και αποθήκευσης μετρήσεων πεδίου για μεγάλο χρονικό διάστημα.
- Log.End: αυτή η λειτουργία καθορίζει πόσος χρόνος απαιτείται για την απόκτηση των στοιχείων. Οι πιθανές επιλογές είναι:
 1. χειροκίνητα: η καταγραφή θα σταματήσει χειροκίνητα.
 2. 1 min : η καταγραφή θα σταματήσει μετά από 1 λεπτό.

3. 2 min: η καταγραφή θα σταματήσει μετά από 2 λεπτά.
 4. 4 min: η καταγραφή θα σταματήσει μετά από 4 λεπτά.
 5. 6 min: η καταγραφή θα σταματήσει μετά από 6 λεπτά.
 6. 12 min: η καταγραφή θα σταματήσει μετά από 12 λεπτά.
 7. 20 min: η καταγραφή θα σταματήσει μετά από 20 λεπτά.
 8. 30 min: η καταγραφή θα σταματήσει μετά από 30 λεπτά.
 9. 60 min: η καταγραφή θα σταματήσει μετά από 60 λεπτά.
- Bar: σε αυτό το πεδίο επιλέγουμε γραμμική ή λογαριθμική κλίμακα στην αναλογική μπάρα.
 - AutoOFF: το πεδίομετρο μπορεί να σβήσει χειροκίνητα ή αυτόματα, αφού αυτό ήταν ενεργό για μια καθορισμένη χρονική διάρκεια, χωρίς να χρειαστεί να πατήσουμε κάποιο κουμπί. Υπάρχουν τρεις εναλλακτικές
 1. disabled: χειροκίνητο σβήσιμο
 2. 10 min: το PMM 8053A θα σβήσει μετά από 10 λεπτά
 3. 60 min: το PMM 8053A θα σβήσει μετά από 60 λεπτά.
- Αυτή η λειτουργία είναι ιδιαίτερα σημαντική στην μείωση κατανάλωσης μπαταρίας.
- Time: σε αυτό το πεδίο ο χρήστης μπορεί να εισάγει ώρα.
 - Date: σε αυτό το πεδίο ο χρήστης μπορεί να εισάγει ημερομηνία.

Παράρτημα Β

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΠΕΔΙΟΜΕΤΡΩΝ

Στο παρόν παράρτημα παρουσιάζονται μερικά πεδιόμετρα της αγοράς μαζί με τα χαρακτηριστικά τους γνωρίσματα με σκοπό την σύγκριση τους με τον φορητό μετρητή PMM 8053A που χρησιμοποιήσαμε στην εργασία.

Digital AC Electric Field Meter (AlphaLab, Inc.)

Ο μετρητής Digital AC Electric Field Meter (σχήμα Β.1) της εταιρείας AlphaLab, Inc μετρά το εναλλασσόμενο ηλεκτρικό πεδίο στην κάθετη κατεύθυνση (ίδια κατεύθυνση με τον κατακόρυφο άξονα του μετρητή αφού ο αισθητήρας είναι στην κορυφή του μετρητή) και έχει τα εξής χαρακτηριστικά.

- Εύρος συχνότητας : 40 Hz - 50 KHz
- Υψηλή ακρίβεια (+/- 2% της ανάγνωσης και +/- 1 της μέτρησης)
- Υπολογίζει την RMS τιμή του ηλ. πεδίου σε μονάδες βολτ ανά μέτρο (V/m)
- Περιοχή έντασης ηλεκτρικού πεδίου : 0 - 19.999 V/m
- Ανάλυση : 1 V/m
- Περιλαμβάνει μπαταρία των 9-βολτ με διάρκεια ζωής 20 ώρες



Σχήμα Β.1: Πεδιόμετρο Digital AC Electric Field Meter της AlphaLab, Inc.

AC ELECTRIC FIELD METER (AlphaLab, Inc.)

Το συγκεκριμένο φορητό πεδίομετρο παρέχει την RMS τιμή της έντασης ηλεκτρικού πεδίου με εύρος συχνότητας από 5 Hz έως 2 kHz και έχει δύο περιοχές μέτρησης του πεδίου. Το πρώτο προσφέρει 20 V/m ακρίβεια από 20 έως 300 V/m και το δεύτερο προσφέρει 0.1 kV/m ακρίβεια από 0 έως 10 kV/m. Είναι απλό στην χρήση και την ανάγνωση των μετρήσεων (μεγάλη αναλογική οθόνη) ενώ επίσης λειτουργεί με μπαταρία των 9V.

Τέλος, όπως συμβαίνει με τα περισσότερα όργανα ανίχνευσης ηλεκτρικών πεδίων, έτσι και με το παρακάτω όργανο (σχήμα Β.2) είναι προτιμότερο να τοποθετούμε τον μετρητή σε μια σταθερή επιφάνεια και να στεκόμαστε μακριά της για να παίρνουμε ακριβέστερες μετρήσεις χωρίς να διαστρεβλώνουμε το περιβάλλον πεδίο με την παρουσία του σώματός μας.



Σχήμα Β.2: Πεδίομετρο AC Electric Field Meter της AlphaLab, Inc.

FIELD ANALYZER

Το FIELD ANALYZER μετράει το εναλλασσόμενο ΗΜΠ με υψηλή ευαισθησία και ακρίβεια. Έχει οθόνη LCD και AC έξοδο για την ανάλυση συχνοτήτων. Επίσης, στην επιλογή ραδιοσυχνοτήτων, το πεδίομετρο δείχνει την ένταση του πεδίου σαν συνάρτηση του χρόνου και στην επιλογή εναλλασσόμενου ηλεκτρικού ή μαγνητικού πεδίου, η κυματομορφή εμφανίζεται στην οθόνη. Ακόμη, υπολογίζει συναρτήσεις του μέσου όρου και μέγιστης τιμής ενώ περιλαμβάνει επαναφορτιζόμενη μπαταρία των 9V.



Σχήμα Β.3: Πεδιόμετρο FIELD ANALYZER.

Τέλος, παραθέτουμε παρακάτω όλα τα χαρακτηριστικά του οργάνου για τις επιλογές (mode) των RF, ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου.

RF

Φάσμα συχνότητας: 300-3000 MHz

Διακρίνεται σε 3 υποκατηγορίες : 0.3 – 0.7 GHz 0.7 – 1.5 GHz 1.5 – 3.0 GHz

Τρία επίπεδα μέτρησης για 0.05-39000 $\mu\text{W}/\text{m}^2$: α) 0.02 έως 39.0 $\mu\text{W}/\text{m}^2$

β) 20 έως 3900 $\mu\text{W}/\text{m}^2$

γ) 2000 έως 39000 $\mu\text{W}/\text{m}^2$

Λειτουργίες: μέσος όρος, μέγιστη τιμή, peak-hold

Ακρίβεια: 6 dB (10 dB από 1.5 – 3.0 GHz)

Ηλεκτρικό πεδίο

Φάσμα συχνότητας: 15-300 Hz

Δύο επίπεδα μέτρησης για 0.1-99 V/m: α) 0.0 to 20,0 V/m β) 15 to 99 V/m

Ακρίβεια: 10 %

Μαγνητικό πεδίο

Φάσμα συχνότητας: 40-7000 Hz

Εύρος μετρήσεων : 0.01 μT έως 3.99 μT (σε μονάδες Gauss : 0.1 έως 39.9 mG)

ELF Survey Meter HI3604 (ETS-LINDGREN)

Το HI-3604 ELF Survey πεδίομετρο (σχήμα Β.4) κατασκευάστηκε από την εταιρία ETS-LINDGREN στις ΗΠΑ και σχεδιάστηκε για να υπολογίσει τα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία που σχετίζονται με τα ηλεκτροφόρα καλώδια, τις γραμμές μεταφοράς και τις συσκευές των 50/60Hz.



Σχήμα Β.4: Πεδίομετρο HI-3604 ELF Survey της ETS-LINDGREN.

Η LCD οθόνη δείχνει τα ηλεκτρικά πεδία σε μονάδες μέτρησης V/m και τα μαγνητικά πεδία σε G (Gauss), T (Tesla) ή A/m. Επίσης, μια μπάρα αναλογικού δείκτη βοηθάει στο να εντοπιστούν γρήγορα οι προσανατολισμοί της μέγιστης πεδιακής έντασης και τα "καυτά σημεία" των ΗΜΠ. Ακόμη, ένα από τα χρήσιμα χαρακτηριστικά γνωρίσματα είναι η αποθήκευση μέχρι 112 μετρήσεων στην εσωτερική μνήμη.

Τέλος, παραθέτουμε στον παρακάτω πίνακα Β.1 τις προδιαγραφές του οργάνου.

Εύρος συχνότητας :	30 - 2000 Hertz
Ευαισθησία (για ηλεκτρικά πεδία):	1 V/m - 200 kV/m
Ευαισθησία (για μαγνητικά πεδία):	0.2 mG - 20 G

Πίνακας Β.1: Προδιαγραφές του πεδίομετρου HI-3604 ELF Survey.

ME 3030B (GIGAHERTZ SOLUTIONS)

Το ME-3030B ψηφιακό πεδιόμετρο της GIGAHERTZ SOLUTIONS χρησιμοποιείται για τη μέτρηση του ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου που υπάρχουν στο περιβάλλον εξ' αιτίας της χρήσης του ηλεκτρισμού. Με το συγκεκριμένο πεδιόμετρο (σχήμα B.5) μπορεί ο καθένας να μετρήσει εύκολα τα παραπάνω πεδία καθώς ανιχνεύει τα ΗΜΠ των ηλεκτρικών καλωδίων, των γραμμών μεταφοράς υψηλής τάσεως, των μετασχηματιστών, των κομπιούτερ και γενικότερα των ηλεκτρικών συσκευών (όχι μόνο των 50/60Hz αλλά όλων όσων λειτουργούν σε εύρος συχνότητας από 16Hz έως 2000Hz).



Σχήμα B.5: Πεδιόμετρο ME 3030B της GIGAHERTZ SOLUTIONS.

Κάποια από τα γενικά χαρακτηριστικά είναι τα εξής :

- Εύρος συχνότητας : αρκετά επίπεδο (1 dB) από 16 Hz έως 2000 Hz; χρήσιμο από 5 Hz έως 7000 Hz (3 dB)
- Τεράστια ευαισθησία και εύρος: Μαγνητικό πεδίο: 1-2000 nT (0.01-20.00 mG) και Ηλεκτρικό πεδίο: 1-2000 V/m
- Ακρίβεια: $\pm 2\%$ ± 20 ψηφία στα 50/60 Hz
- Ακουστικός ηχοβολητής που σε προειδοποιεί για τον εντοπισμό ηλεκτρομαγνητικών πεδίων και οι ήχοι του οποίου αυξάνονται σε ένταση όταν αυξάνεται η ένταση του κάθε πεδίου
- Απλό σε χρήση και εύκολο σε ανάγνωση.

- Χρησιμοποιεί μπαταρία των 9V.

Όπως προαναφέραμε, το παραπάνω πεδίομετρο έχει δύο επιλογές - λειτουργίες (mode) στις οποίες μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Την πρώτη την βρίσκουμε στην ένδειξη “M” όπου έχουμε εντοπισμό και μέτρηση του μαγνητικού πεδίου λειτουργώντας το όργανο ως γκαουσόμετρο (‘Gauss Meter / Tesla Meter’) ενώ την δεύτερη λειτουργία την επιτυγχάνουμε με την ένδειξη “E” με την οποία το όργανο ενεργεί ως ανιχνευτής ηλεκτρικού πεδίου (‘Electric Field Detector’).

Για την πρώτη επιλογή απλά περιστρέφουμε το όργανο για την εύρεση του μαγνητικού πεδίου στις διάφορες διευθύνσεις. Όπως είδαμε το μαγνητικό πεδίο μετριέται σε nanoTesla (nT) ή milliGauss (mG) με μέγιστη ένδειξη τα 2000nT ή τα 20mG (100nT = 1 milliGauss).

Για την δεύτερη επιλογή είναι απαραίτητο να γειώσουμε το όργανο πριν ξεκινήσουμε να πάρουμε τις μετρήσεις του ηλεκτρικού πεδίου το οποίο μετριέται σε Volts/meter (V/m) με μέγιστη ένδειξη τα 2000 V/m.

Τέλος, για πιο λεπτομερή ανάλυση του οργάνου παραθέτουμε τον παρακάτω πίνακα B.2 με όλα τα χαρακτηριστικά του.

Τεχνικά στοιχεία	
Εύρος μαγνητικού πεδίου:	2000 nanoTesla (20milliGauss) - Ανάλυση 1nT (0.01mG)
Εύρος ηλεκτρικού πεδίου:	2000 Volts/meter – Ανάλυση 1V/m – συμπεριλαμβάνεται επίγειο καλώδιο
Ακρίβεια	+/- 2% στα 50Hz, 20 βαθμοί Κελσίου, 45% υγρασία
Απόκριση συχνότητας	Ομαλή απόκριση συχνότητας από 16HZ έως 2000Hz στα -2db
Οθόνη	3.5 ίντσες LCD – ένδειξη μετρηθέντος πεδίου
Διαστάσεις	7.4x18.0x3.2 cm
Βάρος	175 γραμμάρια
Παροχή ηλεκτρικού ρεύματος:	9 Volt αλκαλική μπαταρία
Χρόνος λειτουργίας	24 - 36 ώρες ανάλογα με την λειτουργία
Χαρακτηριστικά γνωρίσματα	
Τόνος	Ακουστικό σήμα ανάλογο της έντασης του πεδίου
Μπαταρία χαμηλή	Ο μετρητής θα σβήσει αυτόματα μετά από 3 λεπτά
Αυτόματος τερματισμός λειτουργίας	Σβήνει αυτόματα ο μετρητής ύστερα από 40 λεπτά συνεχούς λειτουργίας

Πίνακας B.2: Τεχνικά χαρακτηριστικά του πεδιομέτρου ME 3030B.

ME 3851A (GIGAHERTZ SOLUTIONS)

Το συγκεκριμένο πεδίομετρο καλύπτει όλες τις απαιτήσεις σύμφωνα με τις διεθνώς αναγνωρισμένες σουηδικές οδηγίες (TCO/MRP) για ακριβείς μετρήσεις των εναλλασσόμενων ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων. Όπως το προηγούμενο πεδίομετρο που περιγράψαμε έτσι και το ME 3851A είναι της ίδιας εταιρίας και απεικονίζεται στο σχήμα Β.6. Κύρια λειτουργία του είναι να ανιχνεύει και να μετράει τα ΗΜΠ των ηλεκτρικών καλωδίων, των γραμμών μεταφοράς, των μετασηματιστών αλλά και των ηλεκτρικών συσκευών που λειτουργούν σε εύρος συχνότητας από 5Hz έως 100KHz. Χαρακτηριστικό γνώρισμα αποτελεί η τεράστια ευαισθησία και τα 4 εξαιρετικά γραμμικά επιλέξιμα φάσματα συχνότητας που επιτρέπουν τον προσδιορισμό α) των ELF, β) των VLF, γ) των υπερβολικά χαμηλών συχνοτήτων κάτω των 5 Hz, και δ) ενός ειδικού φίλτρου στα 16 Hz χαρακτηριστικά συσχετισμένο με τα ηλεκτρικά τρένα. Επίσης, περιλαμβάνει μια έξοδο εναλλασσόμενης τάσης (για την ανάλυση της φασματικής πληροφορίας ή για την χρήση ακουστικών για το άκουσμα των αντίστοιχων ακουστικών συχνοτήτων), μια έξοδο συνεχής τάσης (για μακροπρόθεσμη παρακολούθηση με μια συσκευή καταγραφής), μια ακουστική έξοδο τύπου Geiger μετρητή, αυτόματο τερματισμό λειτουργίας και ενσωματωμένο έλεγχο μπαταριών.



Σχήμα Β.6: Πεδίομετρο ME 3851A της GIGAHERTZ SOLUTIONS.

Όμοια με το προηγούμενο πεδίομετρο που περιγράψαμε, το μαγνητικό πεδίο μετριέται σε nanoTesla (nT) ή milliGauss (mG) με μέγιστη ένδειξη τα 2000nT ή τα 20mG (100nT = 1 milliGauss) ενώ το ηλεκτρικό πεδίο σε Volts/meter (V/m) με μέγιστη ένδειξη τα 2000 V/m.

Τέλος, για πιο λεπτομερή ανάλυση του οργάνου παραθέτουμε στον παρακάτω πίνακα Β.3 με όλα τα χαρακτηριστικά του.

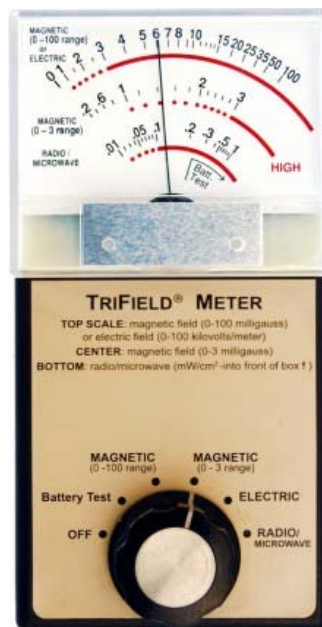
Τεχνικά στοιχεία	
Εύρος μαγνητικού πεδίου	Εύρος 1-200nanoTesla (2milliGauss) – Ανάλυση - 0.1nT (0.001mG)
	Εύρος 2-2000nanoTesla (20milliGauss) – Ανάλυση 1nT (0.01mG)
Εύρος ηλεκτρικού πεδίου	Εύρος 1-200 Volts/meter – Ανάλυση 0.1V/m
	Εύρος 2-2000 Volts/meter – Ανάλυση 1V/m
Φάσματα συχνότητας	<ul style="list-style-type: none"> • 5Hz-100KHz (πλήρες εύρος ζώνης) • 16.7 Hz (ηλεκτρικά τρένα) • 50Hz-100KHz (ELF και VLF) • 2KHz-100KHz (μόνο VLF)
Ακρίβεια	+/- 2% στα 50Hz, 20 βαθμοί Κελσίου, 45% υγρασία
Γραμμική απόκλιση	Εύρος 1-200 nT +/- 0.3nT // 200V/m +/- 0.2 V/m
	Εύρος 2-2000 nT +/- 3nT // 2000V/m +/- 2V/m
Offset	Εύρος 1-200 nT +/- 0.4nT // 200V/m +/- 0.4 V/m
	Εύρος 2-2000 nT +/- 4nT // 2000V/m +/- 4V/m
Απόκριση συχνότητας	Ομαλή απόκριση συχνότητας από 5Hz έως 100KHz στα -1db
Οθόνη	3.5 ίντσες Ψηφιακή LCD
Διαστάσεις	74x122x31 mm
Βάρος	196 γραμμάρια
Παροχή ηλεκτρικού ρεύματος:	Επαναφορτιζόμενη μπαταρία των 9 βολτ (NIMH)
Χρόνος λειτουργίας:	8 ώρες με επαναφορτιζόμενες μπαταρίες και μέχρι 24 ώρες για τις αλκαλικές μπαταρίες
Χαρακτηριστικά γνωρίσματα	
Τόνος	Ακουστικό σήμα ανάλογο της έντασης του πεδίου
Μπαταρία χαμηλή	Ο μετρητής θα σβήσει αυτόματα μετά από 3 λεπτά
Αυτόματος τερματισμός λειτουργίας:	Σβήνει αυτόματα ο μετρητής ύστερα από 40 λεπτά συνεχούς λειτουργίας
AC έξοδος	Ανάλυση συχνοτήτων / Φασματική ανάλυση
DC έξοδος	Έξοδος ακατέργαστων δεδομένων – 0.5 mV DC για κάθε ψηφίο

Πίνακας Β.3: Τεχνικά χαρακτηριστικά του πεδίομετρου ME 3851A.

Trifield Meter (AlphaLab, Inc.)

Ο μετρητής TriField είναι ένα από τα λίγα πεδιόμετρα που συνδυάζει τη μαγνητική, ηλεκτρική και ραδιοκυμάτων/μικροκυμάτων ανίχνευση σε μια συσκευασία. Συγκεκριμένα, υπολογίζει ακριβώς τη ρύπανση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από τις πηγές ΗΜΠ στο σπίτι, το γραφείο ή γενικά το περιβάλλον εργασίας για την λήψη μέτρων όπως η αποφυγή ή η μείωση της έκθεσης σε μεγάλης έντασης ηλεκτρομαγνητικά πεδία τα οποία μπορούν να προκαλέσουν την όποια αρνητική διαταραχή. Τέτοιες πηγές μπορεί να είναι :

- ηλεκτροφόρα καλώδια (πηγή χαμηλόσυχνων ηλεκτρομαγνητικών πεδίων)
- φούρνοι μικροκυμάτων (πηγή μικροκυμάτων)
- κυβελωτά δίκτυα και ραντάρ (πηγή ραδιοκυμάτων)
- FM μεταδότες και CB πομποί (πηγή ραδιοκυμάτων)
- τηλεοράσεις και υπολογιστές (πηγή χαμηλόσυχνων ηλεκτρομαγνητικών πεδίων)
- διάφορες ηλεκτρονικές συσκευές (π.χ. ηλεκτρικά καλύμματα, ηλεκτρική κουζίνα κτλ.) και φώτα φθορισμού (πηγή χαμηλόσυχνων ηλεκτρομαγνητικών πεδίων)



Σχήμα Β.7: Πεδιόμετρο TriField της AlphaLab, Inc.

Όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα, το όργανο έχει 6 επιλογές λειτουργίας :

1. Μέτρηση ηλεκτρικού πεδίου.
2. Μέτρηση μαγνητικού πεδίου (κλίμακα 0.5 -100 milligauss στα 60 Hz).
3. Μέτρηση μαγνητικού πεδίου (κλίμακα 0,2-3 milligauss στα 60 Hz για την ακριβέστερη μέτρηση των αδύνατων σε ένταση πεδίων).
4. Μέτρηση της ραδιοκυματικής / μικροκυματικής πυκνότητας ισχύος.
5. Έλεγχος μπαταριών.
6. Τερματισμός λειτουργίας.

Αυτό το πεδίομετρο συνδυάζει όλα τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα που απαιτούνται για τις γρήγορες και ακριβείς μετρήσεις της ηλεκτρομαγνητικής ρύπανσης όπως :

- Συνεχής αναλογική ανάγνωση δειγματοληψίας.
- Ομοιοκατευθυντική ηλεκτρική & μαγνητική ευαισθησία. Αυτό οφείλεται στην ύπαρξη των τριών πηνίων που ανιχνεύουν τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία και βρίσκονται στο εσωτερικό τμήμα του μετρητή TriField τοποθετημένα στις κατευθύνσεις X, Y, και Z. Εκεί ένα κύκλωμα ενισχύει αυτά τα σήματα και τους δίνει την κατάλληλη συχνοτική αντιστάθμιση (η ευαισθησία αυξάνει γραμμικά από 30 Hz έως 500 Hz, αλλά με κάποια παραμένουσα ευαισθησία μέχρι 100 MHz) ενώ στην συνέχεια ένα μοναδικό δίκτυο συνδυάζει μη γραμμικά τις τρεις εξόδους των πηνίων για να προσεγγίσει την πραγματική ένταση του πεδίου.
- Δύο χωριστές κλίμακες για τις αναγνώσεις μαγνητικών πεδίων και μία κλίμακα για τις αναγνώσεις του ηλεκτρικού πεδίου και των μικροκυμάτων.
- Απλό και εύκολο σε χρήση. Για την μέτρηση του μαγνητικού πεδίου σε ένα χώρο ακόμη και αν ο μετρητής είναι γερμένος σε διάφορες γωνίες, η μαγνητική ανάγνωση θα μείνει περίπου η ίδια ανεξάρτητα με τον τρόπο που κλίνει ή περιστρέφεται το όργανο. Τα ίδια ισχύουν και για την ηλεκτρική ανάγνωση, αν και η παρουσία ανθρώπων ίσως αλλάξει το πραγματικό ηλεκτρικό πεδίο με τις αναγνώσεις να ποικίλουν περισσότερο. Όσον αφορά όμως την ανάγνωση της ολικής ισχύος των ραδιοκυμάτων θα πρέπει ο μετρητής να στοχεύει προς την πηγή.
- Περιλαμβάνει μπαταρία των 9V διάρκειας 10 ωρών. Όταν η ένδειξη της μπαταρίας ('BATTERY TEST') είναι χαμηλή τότε μπορεί να αντικατασταθεί από άλλη μπαταρία των 9V ή από αλκαλική διάρκειας περίπου 50 ωρών.

Τέλος, παρακάτω δίνονται κάποιες από τις προδιαγραφές του οργάνου.

	Ελάχιστη Ευαισθησία	Κλίμακα	Ακρίβεια	Φάσμα συχνότητας
Μαγνητικά πεδία 1	1 mG	0-100 mG	± 20%	50 Hz - 100 kHz
Μαγνητικά πεδία 2	0.2 mG	0-3 mG	± 20%	50 Hz - 100 kHz
Ηλεκτρικά πεδία	5 V/m	0-1000 V/m	± 30%	50 Hz - 100 kHz
RF/Μικροκύματα	0.01 mW/cm ²	0-1 mW/cm ²	Παράγοντας του 2 στα 2 GHz	50 MHz - 3 GHz

Πίνακας Β.4: Προδιαγραφές του πεδιομέτρου TriField.

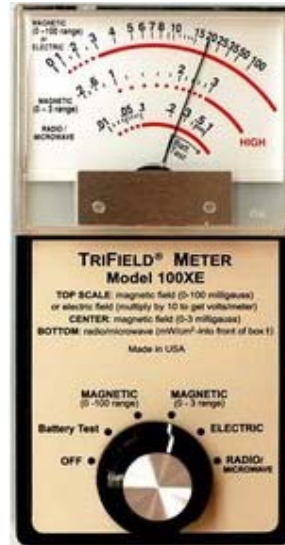
TriField Meter - Extended Range Model 100XE

Ο μετρητής TriField - Extended Range Model 100XE (ή αλλιώς TriField BroadBand Meter) αποτελεί την τροποποιημένη έκδοση του κλασικού μετρητή TriField που περιγράψαμε παραπάνω και έχει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

- Ο αισθητήρας ηλεκτρικού πεδίου είναι 100 φορές πιο ευαίσθητος σε 60 Hz, και επομένως έχει εύρος 0 - 1000 V/m.
- Ο αισθητήρας μαγνητικών πεδίων έχει ενισχυμένη ευαισθησία σε συχνότητες κάτω των 50Hz (π.χ. η ευαισθησία σε 5 Hz είναι 33 φορές μεγαλύτερη από τον κανονικό μετρητή Trifield)
- Ο RF αισθητήρας έχει ομαλό φάσμα συχνότητας πέρα της εκτεταμένης περιοχής των 100 kHz - 2.5 GHz. Αυτό συμπληρώνει το κενό των 100 kHz - 50 MHz που έλειπαν από τον κανονικό μετρητή Trifield (όμως η ευαισθησία μετατοπίστηκε στην περιοχή των 0.026 - 260 mW/cm²)

	Ελάχιστη Ευαισθησία	Κλίμακα	Ακρίβεια	Φάσμα συχνότητας
Μαγνητικά πεδία 1	1 mG	0-100 mG	± 20%	5 Hz - 100 kHz
Μαγνητικά πεδία 2	0.2 mG	0-3 mG	± 20%	5 Hz - 100 kHz
Ηλεκτρικά πεδία	10 V/m	0-1000 V/m	± 30%	5 Hz - 100 kHz
RF/Μικροκύματα	0.01 mW/cm ²	0-1 mW/cm ²	Παράγοντας του 2 στα 2 GHz	100 kHz – 2.5 GHz

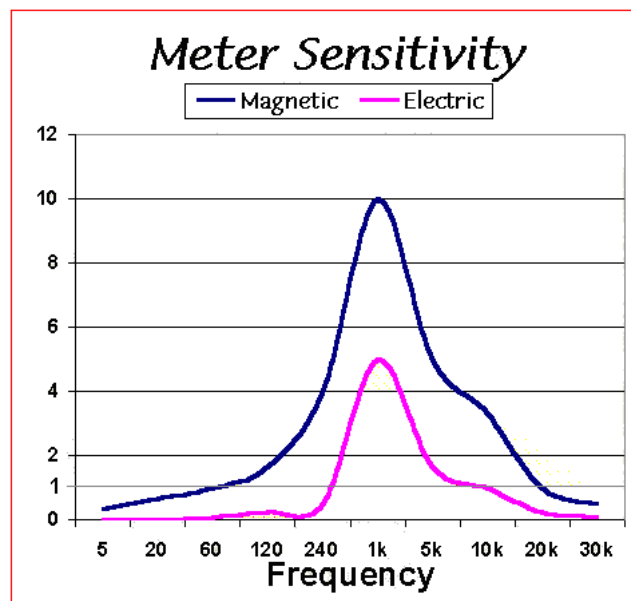
Πίνακας Β.5: Προδιαγραφές του μετρητή TriField - Extended Range Model 100XE.



Σχήμα Β.8: Πεδιόμετρο TriField - Extended Range Model 100XE της AlphaLab, Inc.

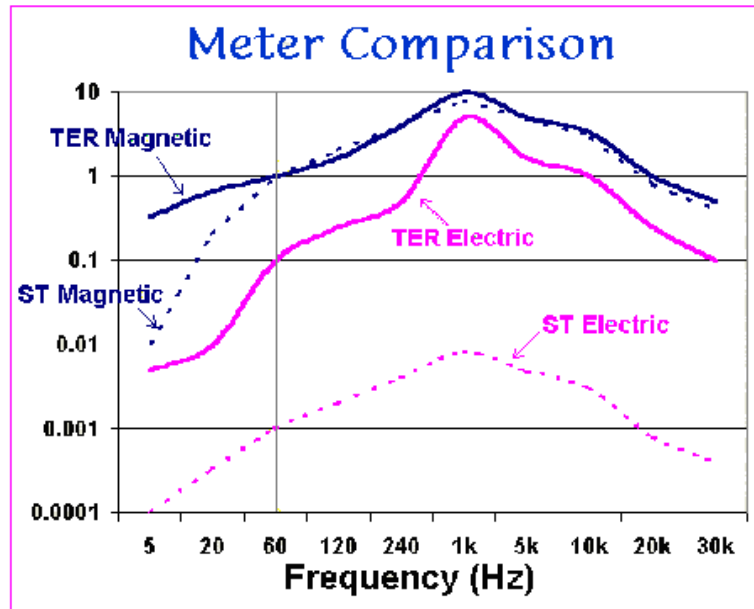
Απόκριση συχνότητας του μετρητή

Η κατωτέρω γραφική παράσταση (σχήμα Β.9) επιδεικνύει πώς θα αποκριθεί ο μετρητής TriField - Extended Range Model 100XE σε ένα μαγνητικό πεδίο 1 mG, ή σε ένα ηλεκτρικό πεδίο 1 V/m, στις διάφορες συχνότητες.



Σχήμα Β.9: Απόκριση συχνότητας του μετρητής TriField - Extended Range Model 100XE.

Η ακόλουθη γραφική παράσταση συγκρίνει την απόκριση συχνότητας του μετρητή TriField - Extended Range Model 100XE (TER) με τον κλασικό μετρητή Standard TriField (ST). Παρατηρούμε ότι στις χαμηλές συχνότητες, το TER είναι πιο ευαίσθητο από το ST στα μαγνητικά πεδία σε αντίθεση με τα ηλεκτρικά πεδία όπου το TER είναι (από 100 έως και 1000 φορές) πιο ευαίσθητο σε όλο φάσμα συχνότητας.



Σχήμα Β.10: Σύγκριση των αποκρίσεων συχνότητας του μετρητή TriField - Extended Range Model 100XE (TER) και του κλασικού μετρητή TriField (ST).

EFA-300 Field Analyzer (NARDA Safety Test Solutions)

Τα EFA-300 είναι η ιδανική συσκευή ανάλυσης πεδίων για τη μέτρηση των μαγνητικών και ηλεκτρικών πεδίων στον εργασιακό χώρο και στους δημόσιους χώρους καθώς οι χρήστες του χειρίζονται σχεδόν οποιαδήποτε μέτρηση που απαιτείται στο φάσμα χαμηλής συχνότητας, εύκολα και με ακρίβεια.

Συγκεκριμένα, το όργανο μέτρησης πεδίων χαμηλών συχνοτήτων EFA-300 (σχήμα Β.11) είναι της εταιρείας NARDA Safety Test Solutions και πρόκειται για φορητή ψηφιακή μονάδα μέτρησης πεδίου για ιστροπικές και μη μετρήσεις, με εύρος φάσματος από 5Hz έως 32kHz. Το όργανο διαθέτει ενσωματωμένο ανιχνευτή μαγνητικού πεδίου ενώ για τη μέτρηση του ηλεκτρικού πεδίου συνδέεται εξωτερικός αισθητήρας. Υπάρχει η δυνατότητα καταγραφής της συνολικής έντασης του πεδίου

σε όλο το εύρος του φάσματος των μετρήσεων, της γραφικής απεικόνισης των συνιστωσών του πεδίου και προσδιορισμού της εντάσεως μέρους αυτών.

Παρακάτω παραθέτονται αναλυτικά τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα του πεδιομέτρου EFA-300:

- Σχεδιάστηκε να λειτουργεί σε χαμηλό εύρος συχνότητας από 5 Hz έως 32 kHz και είναι εξοπλισμένο να εκτελεί RMS μετρήσεις και μετρήσεις μέγιστης τιμής.
- Σε περιβάλλον με πολυσυχνотικά σήματα, το όργανο μέτρησης είναι ικανό για φασματική ανάλυση αλλά και για τον υπολογισμό του γρήγορου μετασχηματισμού Fourier (FFT) με την βοήθεια της επιλογής Spectrum FFT όπου όλες οι συνιστώσες, συμπεριλαμβανομένου και των αρμονικών, αποτιμούνται ταυτοχρόνως.
- Η καινοτόμος επιλογή STD (Shaped Time Domain) του πεδιομέτρου EFA-300 ανοίγει περαιτέρω τομείς εφαρμογής. Με αυτήν την νέα επιλογή τα αποτελέσματα μέτρησης για την ένταση μαγνητικών και ηλεκτρικών πεδίων επιδεικνύονται ως "τοις εκατό του ορίου ενός πρότυπου," ανεξάρτητα από τη μορφή των σημάτων επιτρέποντας έτσι έναν άμεσο προσδιορισμό της ασφάλειας ή της δυνατότητας για ζημιά. Αυτή η εφαρμογή επιτρέπει γρήγορες και αξιόπιστες μετρήσεις και την αξιολόγηση των χαρακτηριστικών πεδίων σε περιοχές που τα σύνθετα, μη-ημιτονοειδή σήματα είναι ευρέως διαδεδομένα.
- Ο ανιχνευτής Ηλεκτρικού Πεδίου Χαμηλών Συχνοτήτων (E-field probe) λειτουργεί στο φάσμα συχνοτήτων από 5Hz έως 32 kHz. Οι εξωτερικές διαστάσεις του οργάνου 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 τη διαμόρφωση της λειτουργίας του και τον έλεγχο του. Επίσης, η σύνδεση του επιτρέπει στο πεδιόμετρο EFA-300 να χρησιμοποιηθεί μακριά από τον αισθητήρα, έτσι ώστε η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου να μετρηθεί με ελάχιστη ή καμία επιρροή από τα γειτονικά ανθρώπινα σώματα.
- Το όργανο μέτρησης EFA-300 χρησιμοποιεί ενσωματωμένο ιστροπικό αισθητήρα μαγνητικού πεδίου (με εύρος μέτρησης 100nT-32mT), και μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί με έναν προαιρετικό μεγάλο αισθητήρα υψηλής-

ευαισθησίας για ενισχυμένη απόδοση και μέτρηση των ανομοιογενών μαγνητικών πεδίων. Μια εναλλακτική επιλογή για την ανάλυση των μαγνητικών πεδίων σε θέσεις που είναι δύσκολο για την πραγματοποίηση μετρήσεων χρησιμοποιείται ένας μικροσκοπικός αισθητήρας 3 cm.

- Το EFA-300 συνδέεται σε ηλεκτρονικό υπολογιστή με τη θύρα RS232 (ή με προσαρμογέα USB) μέσω οπτικής ίνας χρησιμοποιώντας το κατάλληλο λογισμικό που παρέχεται μαζί με την αγορά του οργάνου. Το προαιρετικό λογισμικό EFA-TS (υποστηρίζεται από τα WINDOWS) παρέχει μια εξαιρετικά ισχυρή λύση για τον τηλεχειρισμό και την περαιτέρω επεξεργασία και ανάλυση των μετρημένων ηλεκτρομαγνητικών πεδίων που αποθηκεύονται στη συσκευή ανάλυσης.
- Τέλος, για ακριβέστερες αναγνώσεις των πεδίων χαμηλής συχνότητας δίνεται από την εταιρεία της Narda ένα μη μεταλλικό τρίποδο για την τοποθέτηση του αισθητήρα μέτρησης Ηλεκτρικού πεδίου.



Σχήμα Β.11: Όργανο μέτρησης EFA-300 με ανιχνευτές ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου

Παράρτημα Γ

ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Εισαγωγικά

Η αξιοπιστία, η εγκυρότητα και η ποιότητα μιας μέτρησης αποτελούσε στο παρελθόν περισσότερο μια αφηρημένη επιδίωξη και λιγότερο μια οργανωμένη προσπάθεια αναζήτησης τρόπων διασφάλισης και συγκεκριμενοποίησης της ποιότητας αυτής. Τις τελευταίες όμως δεκαετίες έγινε επιτακτική η ανάγκη για έναν κοινά αποδεκτό και έγκυρο **τρόπο «μέτρησης» της ποιότητας μέτρησης**, αφού έχει μεγάλη σημασία τα όργανα όχι μόνο να μετράνε σωστά, αλλά και να είναι γνωστό το πόσο σωστά μετράνε. Το ζητούμενο λοιπόν είναι η αποδοχή ενός ενιαίου μηχανισμού αποτίμησης της ποιότητας μέτρησης, δηλαδή της **αβεβαιότητας (uncertainty)**.

Κάθε μέτρηση, ανεξάρτητα από το πόσο καλά έχει σχεδιαστεί και εκτελεστεί, υπόκειται σε σφάλματα και επομένως το αποτέλεσμα μιας μέτρησης εμπεριέχει κάποιο ποσοστό αβεβαιότητας. 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). Είναι φανερό ότι βασικό πρόβλημα της μετρολογίας είναι η εύρεση της «αληθινής» τιμής του μετρούμενου μεγέθους. Παλαιότερα, η χρήση του όρου ακρίβεια προσδιόριζε τη μέγιστη απόκλιση της μετρούμενης τιμής από την «αληθινή», ως εάν η «αληθινή» τιμή να ήταν απολύτως γνωστή. Εάν αυτό ήταν αληθές, τα προβλήματα της μετρολογίας θα είχαν επιλυθεί. Αντί για αυτό προσπαθούμε να προσεγγίσουμε το «σύννεφο» που περιβάλλει την «αληθινή» τιμή με όρους στατιστικής.

Επομένως, σήμερα είναι κοινά αποδεκτό μια ποσοτική δήλωση σχετική με οποιοδήποτε μέγεθος δεν μπορεί να είναι πλήρης εάν δεν περιλαμβάνει, εκτός από το αποτέλεσμα της μέτρησης, μια αναφορά στην αβεβαιότητα που συνοδεύει το αποτέλεσμα αυτό. Το να συμπεριληφθεί η αβεβαιότητα στις πληροφορίες ποσοτικού προσδιορισμού ενός μεγέθους υπακούει σε μια διπλή αναγκαιότητα : αφενός επισημαίνεται στο χρήστη της μέτρησης η πιθανότητα ύπαρξης σφαλμάτων,

επιστώντας την προσοχή του στον πεπερασμένο χαρακτήρα της γνώσης μας 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.

Από το σφάλμα στην αβεβαιότητα

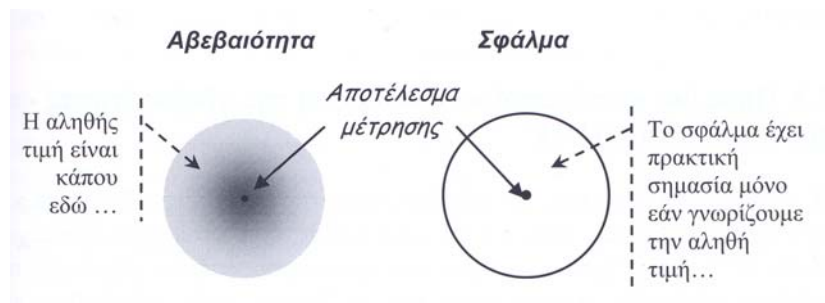
Ως **σφάλμα** ορίζεται η διαφορά ανάμεσα στο αποτέλεσμα μιας μέτρησης και μιας αληθούς τιμής του μετρούμενου μεγέθους. Πρέπει να σημειωθεί ότι με τη λέξη αληθής χρησιμοποιείται το αόριστο άρθρο «μια» και όχι το οριστικό «η» για να τονιστεί ότι είναι δυνατόν να υπάρχουν περισσότερες από μία τιμές συμβατές με τον ορισμό του μετρούμενου μεγέθους και ότι δεν μπορούμε να ξέρουμε ποια είναι η αληθής τιμή. Δηλαδή το σφάλμα είναι εξ ορισμού μια μη προσδιορίσιμη αφηρημένη έννοια, που **αντιπροσωπεύει τη διαφορά ανάμεσα στη μετρούμενη και την αληθή αλλά άγνωστη τιμή ενός μεγέθους.**

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, όχι και όμως και η τιμή τους, ενώ υπακούουν σε φυσικούς νόμους. 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, δεν υπακούουν σε φυσικούς νόμους, ενώ μελετώνται στη θεωρία σφαλμάτων.

Με τον όρο σφάλμα, λοιπόν, δεν εννοούμε την απόκλιση της μέτρησης από τη θεωρητικά αποδεκτή τιμή. Η έννοια του σφάλματος αναφέρεται στην αβεβαιότητα των μετρήσεων την οποία δεν μπορούμε να διορθώσουμε. Ακόμα και αν επαναλάβουμε τις μετρήσεις δεν μπορεί να εξαλειφθεί, μπορεί όμως να οδηγήσει σε μια κατανομή των μετρούμενων μεγεθών που μπορούν να αναλυθούν στατιστικά. Πρέπει επομένως το σφάλμα να διαφοροποιείται προσεκτικά από την αβεβαιότητα, η οποία αποτελεί ένα ποσοτικό μέτρο της ποιότητας των γνώσεων που διαθέτουμε

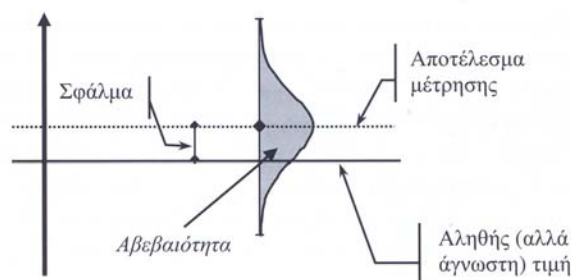
για το μετρούμενο μέγεθος. Τελικά το σφάλμα δεν έχει ιδιαίτερα πρακτική χρησιμότητα, αφού εκφράζει τη διαφορά της αληθούς τιμής, που δεν είναι δυνατόν να γνωρίζουμε, από μια μέτρηση, για την αξιοπιστία της οποίας δε διαθέτουμε καμία ένδειξη. **Το σφάλμα αποτελεί μια αφηρημένη έννοια σχετική με ένα σημείο, ενώ η αβεβαιότητα περιγράφει ένα εύρος τιμών.**

Σε αντιδιαστολή με τον αφηρημένο χαρακτήρα του σφάλματος, η αβεβαιότητα ορίζεται πρακτικά –σύμφωνα με τον Guide to the expression of uncertainty (GUM)- ως παράμετρος συνδεδεμένη με το αποτέλεσμα μιας μέτρησης, η οποία χαρακτηρίζει τη διασπορά των τιμών που θα μπορούσε εύλογα να αποδοθεί στο μετρούμενο μέγεθος.



Σχήμα Γ.1: Η αβεβαιότητα, συγκρινόμενη με το σφάλμα, δίνει μια θολή αλλά ρεαλιστική εικόνα για την τιμή του μετρούμενου μεγέθους. Σχηματικά μπορεί να ειπωθεί ότι η τοποθέτηση του σφάλματος στο επίκεντρο της προσοχής έχει τις ρίζες της σε μια ντετερμινιστική προσέγγιση, ενώ η αβεβαιότητα συνδέεται με μια στοχαστική προσέγγιση.

Η πληροφορία επομένως που διαθέτουμε για το αποτέλεσμα μιας μέτρησης αφορά όχι μόνο στην εκτιμώμενη καλύτερη προσέγγιση της τιμής του μετρούμενου μεγέθους, αλλά και στη διασπορά των πιθανών τιμών που το μέγεθος αυτό θα μπορούσε να έχει, με επίγνωση της αδυναμίας να εντοπιστεί η μία και μοναδική αληθής τιμή.



Σχήμα Γ.2 : Σφάλμα και αβεβαιότητα

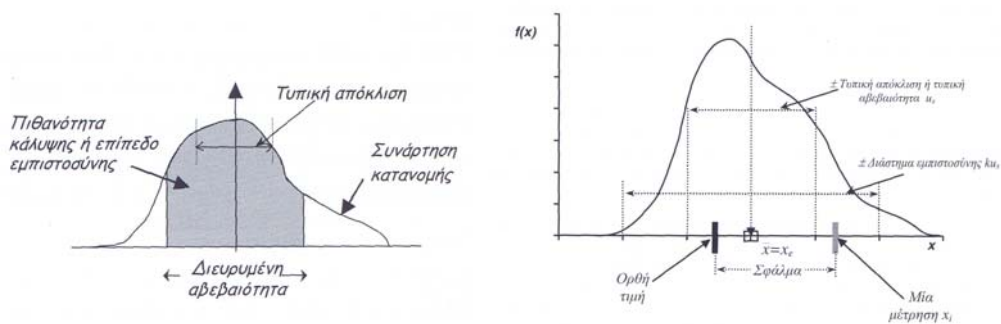
Από τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι ένα αποτέλεσμα μέτρησης μπορεί τελικά να εμπεριέχει μικρό (αλλά άγνωστο) σφάλμα και να χαρακτηρίζεται από μεγάλη αβεβαιότητα, όπως και αντίστροφα, μπορεί να χαρακτηρίζεται από μικρή αβεβαιότητα αλλά στην πραγματικότητα το σφάλμα να είναι μεγάλο. Αυτό που απαιτείται είναι η διατύπωση ενός διαστήματος $\Delta X = (x_a, x_b)$, μέσα στο οποίο περιέχεται η αληθής τιμή με μια λιγότερο ή περισσότερο σημαντική πιθανότητα p , αποκαλούμενη **πιθανότητα κάλυψης** (coverage probability) ή **επίπεδο εμπιστοσύνης** (confidence level). Για τις συνήθεις κατανομές πιθανοτήτων η επιλογή ενός διαστήματος ΔX εκατέρωθεν της αναμενόμενης τιμής x_e , οδηγεί σε χαμηλά επίπεδα εμπιστοσύνης. Εάν επιζητείται μεγαλύτερη πιθανότητα κάλυψης, είναι αναγκαία η αύξηση του διαστήματος, πολλαπλασιάζοντας αντίστοιχα την τυπική αβεβαιότητα με ένα **συντελεστή κάλυψης k** , η τιμή του οποίου εξαρτάται από το είδος της κατανομής $f(x)$ και από το επιθυμητό επίπεδο εμπιστοσύνης. Το γινόμενο $U_x = k u_x$ ονομάζεται διευρυμένη αβεβαιότητα και το τελικό αποτέλεσμα διατυπώνεται ως $x_e \pm U_x$.

Πέρα λοιπόν από την πιθανότερη τιμή, απαιτείται η γνώση της τυπικής απόκλισης σ_x των πιθανών τιμών, αλλά και πληροφορίες για το είδος της κατανομής $f(x)$, έτσι ώστε να είναι δυνατόν να προσδιοριστεί η τυπική αβεβαιότητα $u_x = \sigma_x$ και το διάστημα $(x_e - k u_x, x_e + k u_x)$, μέσα στο οποίο περιέχεται η ορθή αλλά άγνωστη τιμή για ένα δεδομένο επίπεδο εμπιστοσύνης, το οποίο ορίζεται με τη βοήθεια του συντελεστή κάλυψης k , που εξαρτάται με τη σειρά του από την επιθυμητή πιθανότητα εμπιστοσύνης.

Κατηγοριοποίηση αβεβαιοτήτων (Τύπου Α & Τύπου Β)

Σύμφωνα με όσα ειπώθηκαν παραπάνω, το αποτέλεσμα μιας μέτρησης δεν περιορίζεται σε καμία περίπτωση στην τιμή του μετρούμενου μεγέθους, αφού πρόκειται για μία στοχαστική μεταβλητή και η αποδιδόμενη τιμή χαρακτηρίζεται από μία αβεβαιότητα. Η αβεβαιότητα αυτή μπορεί να εκφραστεί είτε ως τυπική απόκλιση της συνάρτησης κατανομής που χαρακτηρίζει το αποτέλεσμα, και αποκαλείται τότε «τυπική αβεβαιότητα», είτε ως διάστημα στο οποίο περιέχεται η αληθής τιμή, με μια ορισμένη στάθμη σιγουριάς ή εμπιστοσύνης, και αποκαλείται «διευρυμένη αβεβαιότητα».

Πρέπει να τονισθεί ότι, η αβεβαιότητα χαρακτηρίζει την ποιότητα μίας μέτρησης και πιο συγκεκριμένα το αποτέλεσμα της. Δεν αφορά άμεσα τα παρατηρούμενα μεγέθη, τα οποία είναι δεδομένα και ανεξάρτητα από τη δυνατότητα του παρατηρητή να τα προσεγγίσει. Η αβεβαιότητα αφορά πάντα μια συγκεκριμένη τιμή, όπως αυτή εκτιμήθηκε κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες, σύμφωνα με συγκεκριμένη διαδικασία, και χαρακτηρίζει τη γνώση που διαθέτουμε για το μετρούμενο μέγεθος. Είναι επομένως δυνατόν, κάποιος άλλος να δώσει μια άλλη εκτίμηση τόσο για την τιμή του ίδιου μεγέθους όσο και για την αβεβαιότητα που συνοδεύει την τιμή αυτή.



Σχήμα Γ.3 , Γ.4: Κατανομή πιθανοτήτων των πιθανών τιμών μιας μεταβλητής

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 Α**, που υπολογίζονται με στατιστικές μεθόδους, και οι αβεβαιότητες **τύπου Β**, που υπολογίζονται με άλλα μέσα. Η κατηγοριοποίηση αυτή δεν αντιστοιχεί στη διάκριση μεταξύ «τυχαίων» και «συστηματικών» αβεβαιοτήτων.

Οι συνιστώσες **τύπου Α** 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 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.

Η τελική συνδυασμένη αβεβαιότητα προκύπτει από το συνδυασμό όλων των επιμέρους συνιστωσών, εκφραζόμενων με τη μορφή τυπικών αποκλίσεων.

Εκτίμηση αβεβαιοτήτων τύπου Α

Η **αβεβαιότητα τύπου Α (random uncertainty)** χρησιμοποιείται όταν το αποτέλεσμα x μιας μέτρησης προκύπτει από τις τιμές x_i , $i=1,2,\dots,n$ των n ανεξάρτητων επαναλαμβανόμενων μετρήσεων μιας μη μεταβαλλόμενης ποσότητας X , κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες επαναληψιμότητας, χρησιμοποιώντας όργανα μέτρησης χαρακτηριζόμενα από αμελητέα απόκλιση στο χρονικό διάστημα που διαρκεί η μέτρηση.

Οι αβεβαιότητες τύπου Α υπολογίζονται βάσει στατιστικών κανόνων. Πραγματοποιείται ένας αριθμός μετρήσεων και προκύπτει η στατιστική κατανομή των αποτελεσμάτων μέτρησης. Η πραγματική κατανομή σπάνια είναι γνωστή με ακρίβεια και για λόγους πρακτικούς όσο και στατιστικούς προσεγγίζεται με την κανονική κατανομή.

Ανάλογα με το πλήθος των μετρήσεων διακρίνουμε τις εξής περιπτώσεις :

α) U_r για μικρό αριθμό μετρήσεων (π.χ. 10)

Σε αυτήν την περίπτωση η αβεβαιότητα δίνεται από τη σχέση :

$$U_r = \frac{ts_r}{\sqrt{n}} \quad (\Gamma.1)$$

όπου t : συντελεστής Student (Student's factor)

P : το επιθυμητό επίπεδο εμπιστοσύνης (confidence level)

s_r : τυπική απόκλιση του δείγματος των μετρήσεων που δίνεται από τη σχέση

$$s_r = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - x_m)^2} \quad (\Gamma.2)$$

όπου n : ο αριθμός των μετρήσεων

x_i : οι μετρηθείσες τιμές

x_m : η μέση τιμή των μετρήσεων

n \ P%	68,3	90	95	99,7
2	1,84	6,31	12,7	-
3	1,32	2,92	4,30	-
4	1,20	2,35	3,18	9,22
5	1,14	2,13	2,78	6,62
6	1,11	2,02	2,57	5,51
7	1,09	1,94	2,45	4,90
8	1,08	1,89	2,36	4,53
9	1,07	1,86	2,31	4,28
10	1,06	1,83	2,26	4,09
20	1,03	1,73	2,09	3,45
∞	1,00	1,65	1,96	3,00

Πίνακας Γ.1: Τιμές του συντελεστή Student 't' για διάφορα επίπεδα εμπιστοσύνης συναρτήσει του αριθμού των μετρήσεων.

β) U_r μεγάλο αριθμό μετρήσεων ($n \gg 10$)

Για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% (που είναι και αυτό που ζητείται συνήθως) και για ένα δείγμα με περισσότερες από 10 μετρήσεις ($n \gg 10$), ο συντελεστής Student t μπορεί να αντικατασταθεί από το συντελεστή κάλυψης k. Σε αυτήν την περίπτωση η αβεβαιότητα της μέσης τιμής είναι :

$$U_r = \frac{ks_r}{\sqrt{n}} \quad (\Gamma.3)$$

γ) Χρησιμοποίηση προϋπάρχουσας γνώσης για τον υπολογισμό της αβεβαιότητας

Η προσέγγιση αυτή μπορεί να εφαρμοστεί όταν υφίσταται προηγούμενη πληροφορία για τη συμπεριφορά του οργάνου ή της μεθόδου μέτρησης. Η πληροφορία αυτή αφορά μια ήδη γνωστή τυπική απόκλιση s_r , η οποία υπολογίστηκε από μεγάλο αριθμό επαναλαμβανόμενων μετρήσεων παρόμοιου μεγέθους, σε παρόμοιες συνθήκες μέτρησης. Στην περίπτωση αυτή αντί να χρησιμοποιηθεί η τυπική απόκλιση του μικρού τρέχοντος δείγματος μετρήσεων, χρησιμοποιείται η παλαιότερα υπολογισμένη s_r και η αβεβαιότητα λαμβάνεται ίση με :

$$U_r = \frac{ks_r}{\sqrt{n_2}} \quad (\Gamma.4)$$

Εκτίμηση αβεβαιοτήτων τύπου B

Αβεβαιότητα τύπου B (systematic uncertainty) έχουμε στην περίπτωση όπου δεν υπάρχουν επαρκείς πληροφορίες από επαναλαμβανόμενες μετρήσεις. 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
- υποκειμενικές κρίσεις του μετρολόγου

Η βασική εξίσωση για τον υπολογισμό αβεβαιοτήτων τύπου B είναι :

$$U_s = k \cdot s_s = k \cdot \sqrt{s_{sa}^2 + s_{sg}^2} \quad (\Gamma.5)$$

όπου s_{sa} η τυπική απόκλιση για την περίπτωση ορθογώνιας κατανομής και s_{sg} η τυπική απόκλιση στην περίπτωση κανονικής κατανομής.

Όταν η διαθέσιμη πληροφορία αφορά μόνο στα όρια $\pm a$ ανάμεσα στα οποία κυμαίνεται το αναμενόμενο σφάλμα, χωρίς να υπάρχουν ειδικότερες ενδείξεις για την κατανομή ανάμεσα στα όρια αυτά, τότε η υποτιθέμενη κατανομή είναι ομοιόμορφη (ορθογώνια) και η τυπική απόκλιση είναι ίση με : $s_{sa} = \frac{a}{\sqrt{3}}$. Στην περίπτωση που έχουμε n ανεξάρτητες κατανομές η τυπική απόκλιση δίνεται από τη σχέση :

$$s_{sa} = \sqrt{\frac{a_1^2}{3} + \frac{a_2^2}{3} + \frac{a_3^2}{3} + \dots + \frac{a_n^2}{3}} \quad (\Gamma.6)$$

Όταν η αβεβαιότητα δίνεται μαζί με ένα επίπεδο εμπιστοσύνης, τότε πρέπει να υποτεθεί ότι έχουμε κανονική κατανομή. Εάν το επίπεδο εμπιστοσύνης είναι της

τάξης του 95% , η τιμή του συντελεστή k είναι 2 και η τυπική απόκλιση είναι :

$s_{sg} = \frac{U_{95}}{2}$. Έτσι η εξίσωση (Γ.5) γίνεται :

$$U_s = k \sqrt{\frac{a_1^2}{3} + \frac{a_2^2}{3} + \frac{a_3^2}{3} + \dots + \frac{a_n^2}{3} + \left(\frac{U_{95}}{2}\right)^2} \quad (\Gamma.7)$$

Η γενική μορφή της εξίσωσης (Γ.5) γίνεται :

$$U_s = k \sqrt{\frac{a_1^2}{3} + \frac{a_2^2}{3} + \frac{a_3^2}{3} + \dots + \frac{a_n^2}{3} + \left(\frac{U_1}{k_1}\right)^2 + \left(\frac{U_2}{k_2}\right)^2 + \dots + \left(\frac{U_m}{k_m}\right)^2} \quad (\Gamma.8)$$

όπου U_1 έως U_m είναι οι αβεβαιότητες (calibration contribution) με δεδομένο επίπεδο εμπιστοσύνης

k_1 έως k_m οι αντίστοιχοι συντελεστές κάλυψης

Υπολογισμός ολικής αβεβαιότητας

Η ολική αβεβαιότητα δίνεται από τη σχέση :

$$u_{total} = \sqrt{U_r^2 + U_s^2} \quad (\Gamma.9)$$

Συνδυασμός αβεβαιοτήτων – Νόμος διάδοσης αβεβαιοτήτων

Στις περισσότερες περιπτώσεις, η μέτρηση ενός φυσικού μεγέθους Y πραγματοποιείται έμμεσα, δηλαδή στη βάση απευθείας μετρήσεων μιας σειράς πρωτογενών μεγεθών X_i , $i=1,2,\dots,N$. Η μετρούμενη κάθε φορά τιμή y_i του Y προκύπτει από το συνδυασμό των τιμών x_1, x_2, \dots, x_N των πρωτογενών μεγεθών μέσω μιας συνάρτησης $Y=M(X_1, X_2, \dots, X_N)$ η οποία αντιπροσωπεύει το φυσικό μοντέλο συσχέτισης των μετρούμενων στην πράξη με το προς μέτρηση μέγεθος.

Ο νόμος διάδοσης των αβεβαιοτήτων (law of error propagation) προκύπτει από την ανάπτυξη σε 1^{ης} τάξης σειρά Taylor της συνάρτησης $M(Y)$ γύρω από το σημείο της μέτρησης $y_e=M(x_{1e}, x_{2e}, \dots, x_{Ne})$. Η τυπική συνδυασμένη αβεβαιότητα (standard combined uncertainty) γύρω από την τιμή μέτρησης δίνεται από την παρακάτω σχέση, γνωστή και ως νόμος διάδοσης των αβεβαιοτήτων :

$$u_y^2 = \sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial M}{\partial x_i}\right)^2 u_{x_i}^2 + 2 \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \frac{\partial M}{\partial x_i} \frac{\partial M}{\partial x_j} u(x_i, x_j) \quad (\Gamma.10)$$

όπου u_{x_i} είναι η τυπική αβεβαιότητα του μεγέθους X_i και $u(x_i, x_j)$ είναι η συμμεταβλητότητα μεταξύ X_i και X_j .

Συνήθως στις δοκιμές τα μεγέθη X_1, X_2, \dots, X_N θεωρούνται ανεξάρτητα μεταξύ τους και η παραπάνω σχέση γράφεται :

$$u_y^2 = \sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial M}{\partial x_i}\right)^2 u_{x_i}^2 \quad (\Gamma.11)$$

Υπολογισμός αβεβαιότητας των μετρήσεων

Σύμφωνα με τα πιστοποιητικά διακρίβωσης του οργάνου του πεδιομέτρου και του αισθητήρα (probe) έχουμε τα παρακάτω στοιχεία.

1. *Αισθητήρας ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου EHP 50B:*

Εκτεταμένες αβεβαιότητες		
Ηλεκτρικό πεδίο	3%	στα 50 Hz
	10%	στις υπόλοιπες συχνότητες
Μαγνητικό πεδίο	2%	στα 50 Hz
	3%	στις υπόλοιπες συχνότητες

2. *Ηλεκτρομαγνητικό πεδίομετρο 8053A:* Εκτεταμένη αβεβαιότητα ίση με 0,05%

Με βάση λοιπόν τα παραπάνω δεδομένα και τις σχέσεις που προηγήθηκαν σε αυτό το κεφάλαιο υπολογίζουμε την αβεβαιότητα των μετρήσεων του ηλεκτρικού πεδίου και της μαγνητικής επαγωγής.

$$U_{E-field} = 2 \times \sqrt{\frac{0,03^2}{3} + \frac{0,005^2}{3}} = 3,51\%$$

$$U_{H-field} = 2 \times \sqrt{\frac{0,02^2}{3} + \frac{0,005^2}{3}} = 2,38\%$$

Όπου ο ο συντελεστής κάλυψης k λαμβάνεται ίσος με 2 γιατί αντιστοιχεί σε ένα διάστημα εμπιστοσύνης 95 %.

Παράρτημα Δ

ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΔΙΕΞΑΓΩΓΗΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ



ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ

Χειριστής/ές : _____

Κανονισμός : _____

Εξοπλισμός : _____

Θέση : Διεύθυνση _____ Πόλη _____

Φωτογραφία

Σκαρίφημα

Ημερομηνία & Ώρα Έναρξης _____ Θερμοκρασία _____ Υγρασία _____

α/α	Περιγραφή θέσης	Μαγνητική Επαγωγή	Αβεβαιότητα
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

α/α	Περιγραφή θέσης	Ένταση Ηλ. Πεδίου	Αβεβαιότητα
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

Ημερομηνία & Ώρα Λήξης _____ Θερμοκρασία _____ Υγρασία _____