



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

ΤΟ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ
ΤΩΝ ΥΠΟΣΤΑΘΜΩΝ ΔΙΑΝΟΜΗΣ (20 kV/400 V)
ΚΑΙ ΜΕΣΑ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΟΥ

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΑΧΙΛΛΕΑΣ Ν. ΠΡΩΙΟΣ

Αθήνα, Ιούνιος 2011



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

ΤΟ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ
ΤΩΝ ΥΠΟΣΤΑΘΜΩΝ ΔΙΑΝΟΜΗΣ (20 kV/400 V)
ΚΑΙ ΜΕΣΑ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΟΥ

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΑΧΙΛΛΕΑΣ Ν. ΠΡΩΙΟΣ

Συμβουλευτική Επιτροπή : Περικλής Δ. Μπούρκας
Νικόλαος Ι. Θεοδώρου
Κωνσταντίνος Γ. Καραγιαννόπουλος

Εγκρίθηκε από την επταμελή εξεταστική επιτροπή την

.....
Π.Δ.Μπούρκας
Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....
Ν.Ι.Θεοδώρου
Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....
Κ.Γ.Καραγιαννόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....
Μ.Ιωαννίδου
Καθηγήτρια Ε.Μ.Π

.....
Δ.Κουτσούρης
Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....
Ι.Ψαρράς
Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....
Ε.Πυργιώτη
Επι.Καθηγήτρια Παν.Πατρών

Αθήνα, Ιούνιος 2011

.....

Αχιλλέας Ν. Πρώιος

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

Copyright © Αχιλλέας Ν. Πρώιος, 2011

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.

Αφιερώνεται στη μνήμη της μητέρας μου

Αναστασίας Μ. Σιδέρη

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η εργασία αυτή πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο Υψηλών Τάσεων και Ηλεκτρικών Μετρήσεων του Τομέα Ηλεκτρικών Βιομηχανικών Διατάξεων και Συστημάτων Αποφάσεων της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου υπό την επίβλεψη του Καθηγητή κ.Περικλή Μπούρκα.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή μου κ.Περικλή Μπούρκα για την τιμή που μου έκανε ώστε να με δεχτεί ως υποψήφιο Διδάκτορα, την πολύτιμη βοήθεια, τις συμβουλές του όσο και την αμέριστη συμπαράσταση του όλα αυτά τα χρόνια. Επίσης ευχαριστίες οφείλω στους Καθηγητές κ.Νικόλαο Θεοδώρου και κ.Κωνσταντίνο Καραγιαννόπουλο, ως μέλη της Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής, για τη βοήθεια και το ενδιαφέρον τους. Ευχαριστίες οφείλω στη Δρ. Αικατερίνη Πολυκράτη για τη συνεργασία μας όπως επίσης και σε όλους τους υποψήφιους Διδάκτορες του εργαστηρίου.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τον πατέρα μου Νικόλαο και την αδερφή μου Σταυρούλα που όλα αυτά τα χρόνια με στήριξαν σε αυτή μου την προσπάθεια.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	6
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	7
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	9
ABSTRACT	10
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	
1.1 Τα όρια ασφαλείας της έκθεσης του ανθρώπου σε ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία συχνότητας 50Hz	11
1.2 Οι αρχές πρόληψης και προφύλαξης δεν παραβιάζονται όταν τηρούνται τα όρια ασφαλείας	12
1.3 Μετρήσεις στην Ελλάδα	13
1.3.1 Μετρήσεις και υπολογιστικές διερευνήσεις ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου στο Κρυονέρι Αττικής και στο περιβάλλον του Κ.Υ.Τ. (Κέντρο Υψηλής Τάσης) Αργυρούπολης – Ηλιούπολης	13
1.3.2 Μετρήσεις από το Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων και Ηλεκτρικών Μετρήσεων του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου	14
1.3.3 Μετρήσεις του τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Δημοκρίτειου Πανεπιστημίου, Θράκης	22
1.4 Μετρήσεις και υπολογισμοί του ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου εκτός Ελλάδας	24
1.4.1 Μετρήσεις και υπολογισμοί σε γραμμές μεταφοράς και διανομής	24
1.4.2 Μετρήσεις και υπολογισμοί του ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου σε υποσταθμούς	25
1.4.3 Μετρήσεις σε αστικό περιβάλλον και σε υπόγεια συστήματα διανομής	27
1.4.4 Μετρήσεις οικιακών συσκευών	31
1.5 Έλεγχος της αξιοπιστίας των ορίων ασφαλείας για το ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο συχνότητας 50 Hz	34
1.5.1 Μακροσκοπικά μοντέλα για την έκθεση στο ηλεκτρικό πεδίο	34
1.5.2 Μακροσκοπικά μοντέλα για την έκθεση στο μαγνητικό πεδίο	38
2. ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΙΩΣΗΣ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ	
2.1 Γενική περιγραφή	45
2.1.1 Υπολογισμός μαγνητικού πεδίου για ένα αγωγό	45
2.1.2 Υπολογισμός μαγνητικού πεδίου για τρεις αγωγούς	47
2.2 Μείωση ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου σε γραμμές μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας	48
2.3 Μείωση του μαγνητικού πεδίου σε υπόγεια συστήματα διανομής και καλώδια	50
2.4 Μείωση ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου σε υποσταθμούς εξωτερικού χώρου	50
2.5 Μείωση ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου σε υποσταθμούς εσωτερικού χώρου	51
3. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	53

4. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	
4.1 Γενική περιγραφή	54
4.2 Μετρήσεις σε δίστυλους υποσταθμούς διανομής	54
4.3 Μετρήσεις σε ασφαλειοκιβώτια υπαιθρίων δίστυλων υποσταθμών διανομής με τοποθέτηση στην εξωτερική πλευρά τους φύλλων αλουμινίου	71
4.4 Μετρήσεις σε υποσταθμούς διανομής εντός μεταλλικού οικίσκου	78
4.5 Μετρήσεις σε υποσταθμούς διανομής εσωτερικού χώρου	93
5. ΣΧΟΛΙΑ ΕΠΙ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	
5.1 Σχόλια επί των μετρήσεων σε δίστυλους υποσταθμούς διανομής	101
5.2 Σχόλια επί των μετρήσεων σε ασφαλειοκιβώτια υπαιθρίων δίστυλων υποσταθμών διανομής με τοποθέτηση στην εξωτερική πλευρά τους φύλλων αλουμινίου	110
5.3 Σχόλια επί των μετρήσεων σε υποσταθμούς διανομής εντός μεταλλικού οικίσκου (κίосκ)	114
5.4 Σχόλια επί των μετρήσεων σε υποσταθμούς διανομής εσωτερικού χώρου	121
6. ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ ΤΙΣ ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ	123
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	125

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της διατριβής είναι η έκθεση του ανθρώπου από το μαγνητικό πεδίο, στο περιβάλλον των υποσταθμών διανομής. Προσδιορίζεται πειραματικά το επίπεδο του μαγνητικού πεδίου και οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν συγκρίνονται με τα διεθνώς καθορισμένα όρια. Επίσης προτείνεται μια μέθοδος περιορισμού του μαγνητικού πεδίου, στο περιβάλλον των υπαίθριων υποσταθμών διανομής επί διστύλων.

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα όρια ασφαλείας για την έκθεση του ανθρώπου σε ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία βιομηχανικής συχνότητας. Επίσης γίνεται παρουσίαση των μετρήσεων του μαγνητικού και ηλεκτρικού πεδίου που έχουν γίνει τόσο στην Ελλάδα όσο και σε άλλες χώρες. Τέλος γίνεται αξιολόγηση των ορίων ασφαλείας του ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου συχνότητας 50 Hz με τη χρήση μακροσκοπικών μοντέλων.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι διάφορες μέθοδοι μείωσης του μαγνητικού πεδίου που εφαρμόζονται σε δίκτυα μεταφοράς και διανομής και σε υποσταθμούς ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπλέον γίνεται θεωρητικός υπολογισμός του μαγνητικού πεδίου κάτω από εναέριες γραμμές μέσης τάσης 20 kV.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται ο σκοπός της εργασίας, ο οποίος είναι ο προσδιορισμός με μετρήσεις του μαγνητικού πεδίου στο περιβάλλον των υποσταθμών διανομής (20 kV/400 V). Επίσης παρουσιάζεται και η πειραματική διερεύνηση μιας μεθόδου μείωσης του μαγνητικού πεδίου που εφαρμόστηκε σε δίστυλους υποσταθμούς διανομής, με θωράκιση των πινάκων διανομής χαμηλής τάσης με φύλλα αλουμινίου πάχους 0,5 mm.

Στο τέταρτο κεφάλαιο δίνονται οι μετρήσεις της μαγνητικής επαγωγής που πραγματοποιήθηκαν στο περιβάλλον των υποσταθμών διανομής (20 kV/400V).

Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται ο σχολιασμός επί των αποτελεσμάτων των μετρήσεων και εξάγονται συμπεράσματα από αυτές.

Στο έκτο κεφάλαιο δίνεται η συνεισφορά της εργασίας στην έρευνα και τις πρακτικές εφαρμογές.

Τέλος δίνεται η βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε.

ABSTRACT

The title of this thesis is “The magnetic field in the environment of the distribution substations (20 kV/400 V) and the magnetic field’s mitigation methods”.

The objective of this thesis is to present the human exposure from magnetic field in the area surrounding distribution substations. The level of the magnetic field is determined experimentally and the results of the measurements are compared with the international specified limits for public and occupational exposure. In addition a method for the mitigation of the magnetic field near two-pole type distribution substations is also proposed.

The first chapter presents the limits of the recommended exposure from electric and magnetic fields for both general public and workers. Also measurements of the electric and magnetic fields that were conducted in Greece and in other countries are presented. Finally with the use of macroscopic human models an evaluation of the exposure limits to 50 Hz electric and magnetic fields is demonstrated.

The second chapter introduces various methods for mitigating the magnetic field in transmission and distribution lines as well as in electric power substations. Further more a theoretical calculation of the magnetic field under overhead distribution lines (20 kV) is also presented.

The purpose of this thesis which is the determination of the magnetic field near distribution substations (20 kV/400 V) is demonstrated in chapter three. More over an experimental study of a method for the mitigation of the magnetic field in two-pole type distribution substations when shielding the low voltage fuse boxes with aluminum plates 0,5 mm thick is also described.

The fourth chapter presents the measurements of the magnetic field that were conducted in the environment of the distribution substations (20 kV/400 V).

In the fifth chapter comments over the outcomes of the measurements along with conclusions for them are described.

In the sixth chapter the contribution of this thesis in both research and practical implementation is presented.

In the end the bibliography that was used is presented.

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Τα όρια ασφαλείας της έκθεσης του ανθρώπου σε ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία συχνότητας 50 Hz

Η έκθεση του ανθρώπου στα χαμηλής συχνότητας ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία 50 Hz και 60 Hz των δικτύων μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, έχει απασχολήσει το ενδιαφέρον του κοινού για πολλά χρόνια. Γι' αυτό έχουν θεσπιστεί από όργανα της διεθνούς επιστημονικής κοινότητας μέτρα προστασίας έναντι των πεδίων αυτών. Διεθνείς οργανισμοί όπως ο ICNIRP (International Commission on Non- Ionizing Radiation Protection), ο NRPB (National Radiological Protection Board) στο Ηνωμένο Βασίλειο και το IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers) στις Η.Π.Α. [1,2,3] έχουν θεσπίσει και έχουν προτείνει όρια ασφαλείας για την έκθεση του ανθρώπου από τα πεδία αυτά.

Ο οργανισμός ICNIRP είναι αναγνωρισμένος επίσημα από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας και το Διεθνές Γραφείο Εργασίας ως μη κυβερνητικός οργανισμός, για την προστασία έναντι της μη ιονίζουσας ακτινοβολίας [4]. Τα όρια που προτείνονται από τον ICNIRP συνιστώνται από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας World Health Organization (WHO) και είναι τα ποιο διαδεδομένα διεθνώς. Τα όρια που προτείνονται από τον ICNIRP έχουν υιοθετηθεί και στην Ελλάδα [5].

Εύρος Συχνοτήτων	Ηλεκτρικό Πεδίο E (V/m) (Εργαζόμενοι)	Μαγνητικό Πεδίο B (μT) (Εργαζόμενοι)
Μέχρι 1 Hz	-	2×10^5
1 ÷ 8 Hz	20,000	$2 \times 10^5 / f^2$
8 ÷ 25 Hz	20,000	$2,5 \times 10^4 / f$
0,025 ÷ 0,82 kHz	$500 / f$	$25 / f$
0,82 ÷ 65 kHz	610	30,7
0,065 ÷ 1 MHz	610	$2,0 / f$
1 ÷ 10 MHz	$610 / f$	$2,0 / f$
10 ÷ 400 MHz	61	0,2
400 ÷ 2000 MHz	$3f^{1/2}$	$0,01 f^{1/2}$
2 ÷ 300 GHz	137	0,45

Πίνακας 1.1.1: Όρια ασφαλείας ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων εργαζομένων. Όπου f κάθε φορά αναφέρεται στο συγκεκριμένο εύρος όπως φαίνεται στον πίνακα [1].

Ο ICNIRP εξέδωσε τις νέες κατευθυντήριες γραμμές του για τα όρια της έκθεσης στα ηλεκτρομαγνητικά πεδία το 1998 [1] αντικαθιστώντας τις προηγούμενες προσωρινές οδηγίες [6] του 1990. Οι προσωρινές οδηγίες του 1990 αναφερόταν μόνο στα πεδία συχνοτήτων 50/60 Hz ενώ με τις νέες οδηγίες του 1998 καλύπτεται το φάσμα των συχνοτήτων έως 300 GHz. Τα όρια ασφαλείας για τα πεδία προέκυψαν

τόσο από μαθηματικές προσομοιώσεις όσο και από εργαστηριακές μελέτες σε όλο το φάσμα των συχνοτήτων.

Εύρος Συχνοτήτων	Ηλεκτρικό Πεδίο E (V/m) (Γενικός Πληθυσμός)	Μαγνητικό Πεδίο B (μT) (Γενικός Πληθυσμός)
Μέχρι 1 Hz	-	4×10^4
1÷8 Hz	10000	$4 \times 10^4 / f^2$
8÷25 Hz	10000	$5,000/f$
0,025÷0,8 kHz	$250/f$	$5/f$
0,8÷3 kHz	$250/f$	6,25
3÷150 kHz	87	6,25
0,15÷1 MHz	87	$0,92/f$
1÷10 MHz	$87f^{1/2}$	$0,92/f$
10÷400 MHz	28	0,092
400÷2000 MHz	$1,375f^{1/2}$	$0,0046 f^{1/2}$
2÷300 GHz	61	0,2

Πίνακας 1.1.2: Όρια ασφαλείας ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων για την έκθεση του γενικού πληθυσμού. Όπου f κάθε φορά αναφέρεται στο συγκεκριμένο εύρος όπως φαίνεται στον πίνακα [1].

Στους πίνακες 1.1.1 και 1.1.2 δίνονται όρια ασφαλείας που αφορούν την έκθεση του γενικού πληθυσμού και των εργαζομένων στο ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο που έχουν προταθεί από τον ICNIRP για συχνότητες 0÷300 GHz.

Τα όρια ασφαλείας σύμφωνα με τους πίνακες 1.1.1 και 1.1.2 που αφορούν στην έκθεση από το ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο στα 50 Hz για τους εργαζομένους είναι $E=10$ kV/m , $B=500$ μT ενώ για το γενικό πληθυσμό είναι $E=5$ kV/m , $B=100$ μT.

1.2 Οι αρχές πρόληψης και προφύλαξης δεν παραβιάζονται όταν τηρούνται τα όρια ασφαλείας

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία [7] η μη υπέρβαση των ορίων ασφαλείας ικανοποιεί τις αρχές προφύλαξης και πρόληψης της Παγκόσμιας Οργάνωσης Υγείας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Σε σχετική εργασία «Σχέδιο πλαισίου για την ανάπτυξη μέτρων πρόληψης σε περιοχές επιστημονικής αβεβαιότητας» της Παγκόσμιας Οργάνωσης Υγείας [8] αναφέρεται ότι οι οδηγίες που καθορίζουν τα ποσοτικά όρια για την έκθεση του ανθρώπου σε περιβαλλοντικούς παράγοντες θεσπίζονται μόνο βάσει συνεπών, αναπαραγωγίμων δεδομένων, τα οποία έχουν επιβεβαιωθεί από διαφορετικά εργαστήρια και καθορίζουν σαφώς τα επίπεδα έκθεσης σε φυσικούς, βιολογικούς ή χημικούς παράγοντες που θεωρούνται επιβλαβείς για τον άνθρωπο. Επιπρόσθετα, τα όρια έκθεσης γενικώς εμπεριέχουν συντελεστές ασφαλείας, με τους οποίους λαμβάνονται προληπτικά μέτρα έναντι της αβεβαιότητας αναγνωρισμένων κατωφλίων για εξακριβωμένες επιδράσεις. Τέτοιες προσεγγίσεις είναι καθοριστικής

σημασίας για το πλαίσιο της πρόληψης της Παγκόσμιας Οργάνωσης Υγείας. Οι οδηγίες δεν θα πρέπει να υπονομεύονται από επιπρόσθετες αυθαίρετες μειώσεις των ορίων της έκθεσης στο όνομα της <πρόληψης>, καθώς αυτό θα υποτιμούσε την επιστημονική τους αξιοπιστία.

Συνεπώς, επειδή οι τιμές της μαγνητικής επαγωγής και έντασης του ηλεκτρικού πεδίου που δίνονται γενικά από υπολογισμούς [9,10] και μετριοούνται [11,12,13] είναι μικρότερες των ορίων ασφαλείας, δεν υπάρχει καμία παράβαση των αρχών πρόληψης και προφύλαξης.

Πέραν των ανωτέρω αναφερόμενων τονίζεται ότι στη Σύσταση του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης του έτους 1999 [14] υιοθετούνται τα όρια της I.C.N.I.R.P μετά την επικύρωσή τους από την Επιστημονική Συντονιστική Επιτροπή της Ευρωπαϊκής Επιτροπής. Στη Σύσταση αναφέρεται: « Οι βασικοί αυτοί περιορισμοί και τα επίπεδα αυτά αναφοράς για τον περιορισμό της έκθεσης καταρτίστηκαν ύστερα από διεξοδική ανασκόπηση όλης της δημοσιευμένης επιστημονικής βιβλιογραφίας». Μεμονωμένες μελέτες είναι ανεπαρκείς για την εξαγωγή συμπερασμάτων. Απαιτείται η στάθμιση όλων των σχετικών με την ενδεχόμενη επίδραση των πεδίων στην υγεία των μελετών (εργαστηριακών, δοσιμετρικών, επιδημιολογικών), βάσει διεθνώς ποιοτικών κριτηρίων, από ειδικούς επιστημονικούς φορείς με διεπιστημονική σύνθεση όπως είναι η I.C.N.I.R.P. Η τελευταία αξιολόγηση όλων των σχετικών επιστημονικών εργασιών από την I.C.N.I.R.P. ολοκληρώθηκε και δημοσιεύτηκε το 2003 σε ένα τόμο εκτάσεως 500 περίπου σελίδων [107]. Από την αξιολόγηση αυτή δεν προέκυψαν επιπτώσεις στην υγεία βάσει των οποίων θα έπρεπε να αναθεωρηθούν τα όρια ασφαλείας του 1998 [1].

1.3 Μετρήσεις στην Ελλάδα

1.3.1 Μετρήσεις και υπολογιστικές διερευνήσεις ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου στο Κρυονέρι Αττικής και στο περιβάλλον του Κ.Υ.Τ. (Κέντρο Υψηλής Τάσης) Αργυρούπολης –Ηλιούπολης

Στο Κρυονέρι Αττικής, διέρχονται γραμμές του ηλεκτρικού δικτύου της Δ.Ε.Η. των 150 kV και 400 kV. Από τις μετρήσεις της Ελληνικής Επιτροπής Ατομικής Ενέργειας [12] προκύπτει ότι:

- Η μαγνητική επαγωγή B είναι από 19,5 έως και 106 φορές μικρότερη από το όριο ασφαλείας των 100 μT .
- Η ηλεκτρική πεδιακή ένταση E είναι από 2,7 έως 42,8 φορές μικρότερη από το όριο ασφαλείας των 5 kV/m.

Υπολογισμοί πραγματοποιήθηκαν από το Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Πατρών [9,11] σε ύψη:

- 1,7 m από το έδαφος (ύψος ανθρώπου)
- 5,2 m από το έδαφος (εξώστης ύψους 3,5 m από το έδαφος και άνθρωπος 1,7 m)
- 9,7 m από το έδαφος (ύψος κτίσματος 8,0 m και άνθρωπος 1,7 m)

Με την ισχύουσα σήμερα διάταξη των αγωγών οι μέγιστες δυνατές τιμές (κατά την ταυτόχρονη λειτουργία όλων των γραμμών με το μέγιστο ρεύμα λειτουργίας έχουν ως ακολούθως:

- Για το ύψος 1,7 m από το έδαφος : $B=4,2 \mu\text{T}$ και $E=1,4 \text{ kV/m}$
- Για το ύψος 5,2 m από το έδαφος : $B=6,0 \mu\text{T}$ και $E=1,9 \text{ kV/m}$
- Για το ύψος 9,7 m από το έδαφος : $B=11,0 \mu\text{T}$ και $E=3,5 \text{ kV/m}$

Από τα ανωτέρω αποτελέσματα διαπιστώνεται ότι οι τιμές της μαγνητικής επαγωγής είναι μικρότερες από το όριο ασφαλείας των $100 \mu\text{T}$.

Οι τιμές που μετρήθηκαν (από το Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Πατρών με σύμπραξη ειδικών επιστημόνων υγείας) [9,11] είναι πολύ μικρότερες από τις παραπάνω μέγιστες τιμές, δεδομένου ότι οι υπολογισμοί έγιναν με δυσμενέστερες παραδοχές.

Οι υπολογισμοί στο περιβάλλον του Κ.Υ.Τ. Αργυρούπολης –Ηλιούπολης έγιναν στα πλαίσια της μελέτης περιβαλλοντικών επιπτώσεων με τη μέγιστη τιμή του ρεύματος λειτουργίας ανά φάση κάθε κυκλώματος (1000 A). Τα αποτελέσματα δίνονται στον πίνακα 1.3.1:

Θέση υπολογισμού	B_{\max} (μT)	E_{\max} (kV/m)
Στο όριο περίφραξης σχολείου	0,23	0,016
Στο όριο περίφραξης του Κ.Υ.Τ.	0,27	0,020
Κάτω από τις γραμμές, στο όριο περίφραξης του Κ.Υ.Τ. Αργυρούπολης (περιοχή εκτός σχεδίου)	10,2	2,570

Πίνακας 1.3.1: Υπολογιστικές διερευνήσεις στο περιβάλλον του Κ.Υ.Τ. Αργυρούπολης-Ηλιούπολης (κατά τη μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων). B_{\max} και E_{\max} οι μέγιστες τιμές της μαγνητικής επαγωγής και της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου [7].

Από τα αποτελέσματα του πίνακα 1.3.1 προκύπτει ότι οι υπολογισμένες τιμές είναι πολύ μικρότερες των ορίων ασφαλείας που είναι $100 \mu\text{T}$ και 5 kV/m και συνεπώς δεν υπάρχει καμία παραβίαση των αρχών πρόληψης και προφύλαξης.

1.3.2 Μετρήσεις από το Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων και Ηλεκτρικών Μετρήσεων του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου [15]

Παρακάτω παρουσιάζονται μετρήσεις του ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου που έχουν διεξαχθεί από το Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων και Ηλεκτρικών Μετρήσεων του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

1) Εκτίμηση των πεδιακών εντάσεων στο Κ.Υ.Τ Αμαρουσίου (κατά την κατασκευή του)

Η μαγνητική επαγωγή είναι της ίδιας τάξης μεγέθους, όπως και στο παρόμοιο Κ.Υ.Τ. Παγκρατίου (βλ. Πίνακα 1.3.2.1.).

2) Υπολογιστική διερεύνηση για το υπόγειο καλώδιο των 150 kV στο Ολυμπιακό Χωρίο.

Οι τιμές που υπολογίστηκαν για λειτουργία υπό ονομαστικό ρεύμα (μέγιστο ρεύμα λειτουργίας) των αγωγών [16] είναι $B=12 \mu\text{T}$ και $E \approx 0 \text{ kV/m}$

3) Μετρήσεις της μαγνητικής επαγωγής σε διάφορες εγκαταστάσεις της Δ.Ε.Η.

Περιοχή μέτρησης	B (μT)
Κάτω από εναέριες γραμμές μέσης τάσης (20 kV)	0,2÷1,1
Κάτω από εναέριες γραμμές χαμηλής τάσης (400 V, 230 V)	0,2÷2,4
Γραμμές χαμηλής ή μέσης τάσης στο έδαφος	0,15÷1,7
Κ.Υ.Τ Παγκρατίου 150/20 kV	2,0÷5,2
Κάτω από γραμμές υψηλών τάσεων (400 kV και 150 kV)	1÷2

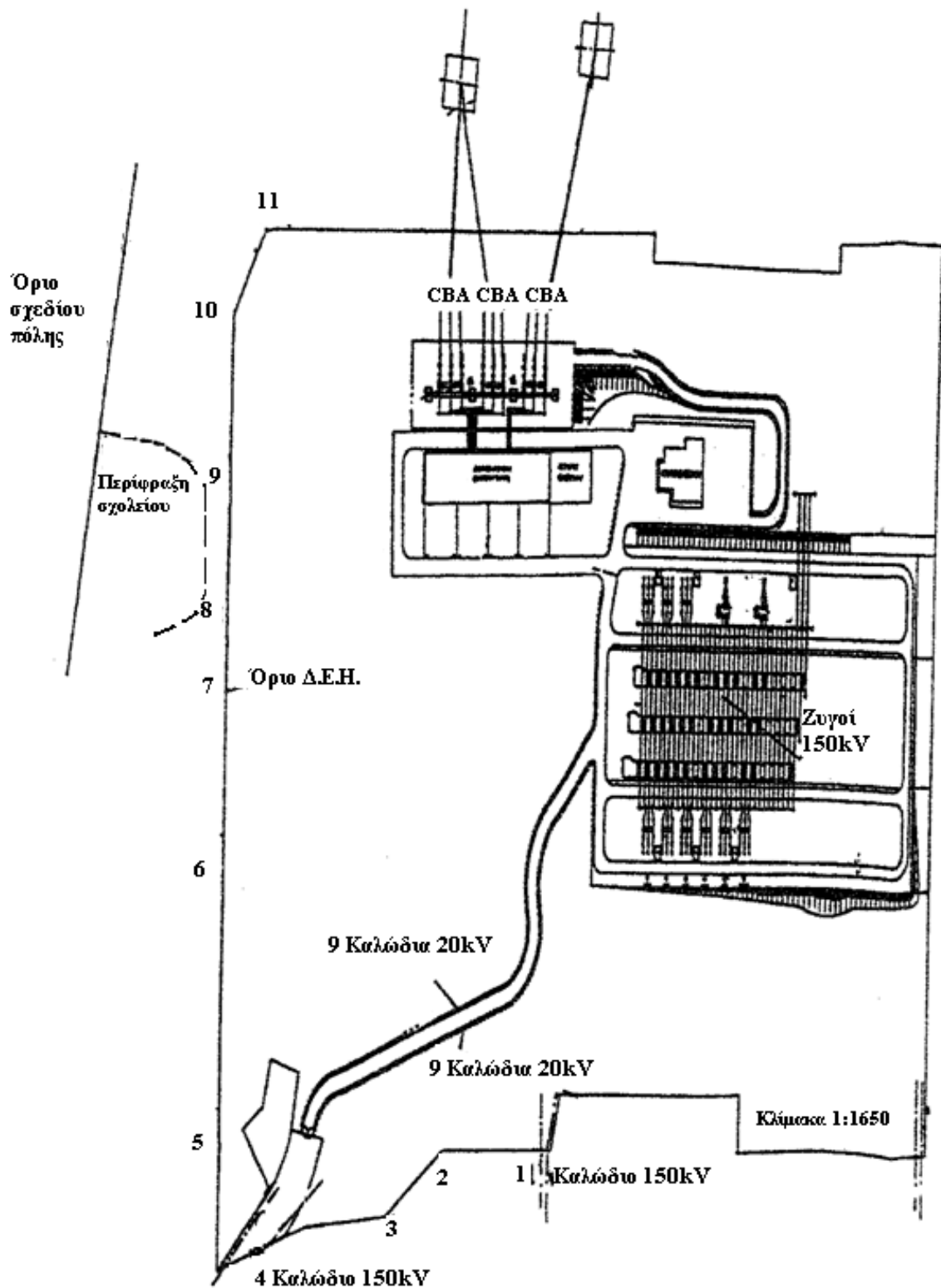
Πίνακας 1.3.2.1: Μετρήσεις της μαγνητικής επαγωγής σε διάφορες εγκαταστάσεις της Δ.Ε.Η. [7].

4) Μετρήσεις στο περιβάλλον του Κ.Υ.Τ Αργυρούπολης-Ηλιούπολης

Σημείο μέτρησης	B_{μ} (μT)	E_{μ} (kV/m)
1	5,5	Μικρότερο από 0,001
2	8,5	Μικρότερο από 0,001
3	9,5	Μικρότερο από 0,001
4	7,5	Μικρότερο από 0,001
5	0,0	0,0
6	0,0	0,0
7	0,0	0,0
8	0,0	0,0
9	0,0	0,0
10	0,0	0,0
11	0,0	0,0

Πίνακας 1.3.2.2: Μέση τιμή της μαγνητικής επαγωγής (B_{μ}) και της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου (E_{μ}) στις πιο κοντινές προσιτές θέσεις του κοινού στο Κ.Υ.Τ. Αργυρούπολης-Ηλιούπολης [7].

Οι μετρήσεις έγιναν σε ύψος $y=1,7 \text{ m}$ (ύψος μέσου ανθρώπου). Οι θέσεις μέτρησης επελέγησαν στις πιο κοντινές προσιτές θέσεις του κοινού στην επίμαχη εγκατάσταση. Οι θέσεις αυτές σημειώνονται στο απλοποιημένο σχέδιο του σχήματος 1.3.2.1 με αριθμούς (από 1 έως 11).

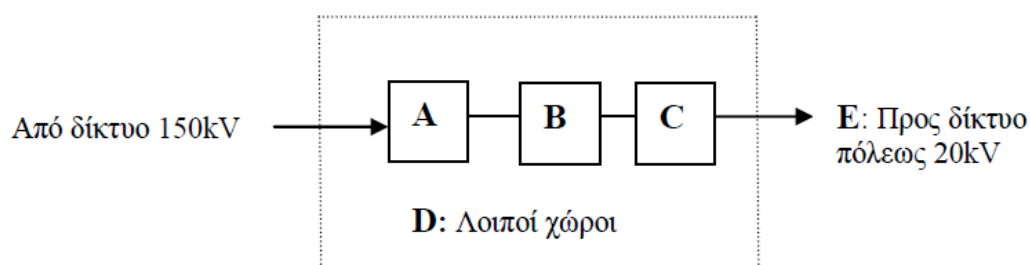


Σχήμα 1.3.2.1: Απλοποιημένο σχέδιο της περιοχής του κέντρου υψηλής τάσης (Κ.Υ.Τ.) Αργυρούπολης – Ηλιούπολης. 1 έως 11: Θέσεις μέτρησης. Οι θέσεις μέτρησης 5 έως 11 αφορούν την κατοικημένη περιοχή [7].

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων που δίνονται στον πίνακα 1.3.2.2. Αφορούν την μέση τιμή ανά θέση μέτρησης για την μαγνητική επαγωγή (B_{μ}) και την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου (E_{μ}). Οι μετρήσεις έγιναν επί 7 ημέρες την ίδια περίπου ώρα, 3 φορές την ημέρα (ώρα 08:00, 13:00, και 20:00).

5) Μετρήσεις σε Κ.Υ.Τ. και σε Κέντρα Διανομής (Κ.Δ.) στην Αττική

Σε πρόσφατη επιστημονική εργασία πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις της μαγνητικής επαγωγής σε ένα μεγάλο αριθμό κέντρων διανομής 150/20 kV ή 400/150 kV στην Ελλάδα [17]. Λόγω του μεγάλου αριθμού των μετρήσεων παρουσιάζεται ο μέσος όρος τους, ενώ γίνεται αναλυτική αναφορά σε μετρήσεις που ελήφθησαν σε ένα κέντρο διανομής στο Παγκράτι. Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στην εν λόγω εργασία έγιναν με βάση τη διαρρύθμιση των χώρων κατά το σχήμα 1.3.2.2. Πρόκειται για πέντε βασικούς χώρους (Α,Β,С,Δ και Ε).

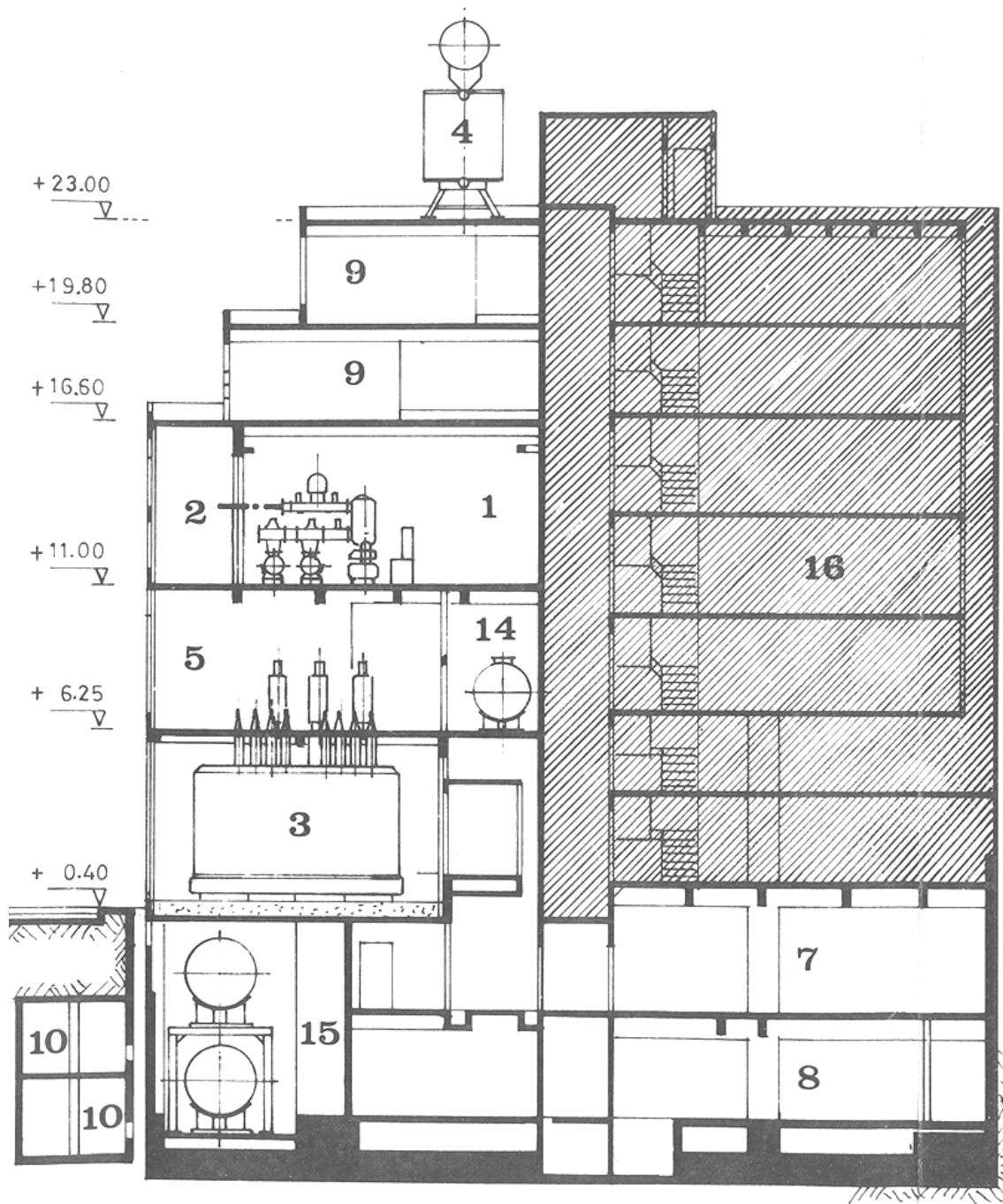


Σχήμα 1.3.2.2: Διαρρύθμιση χώρων στους υποσταθμούς (ΥΣ) που έγιναν οι μετρήσεις. (Α) πίνακας 150 kV, (Β) μετασχηματιστής 150/20 kV, (С) πίνακας 20 kV, (D) λοιποί χώροι, (Ε) περιοχή έξω από κάθε υποσταθμό [17].

Κάθε χώρος χωρίστηκε σε μικρότερες περιοχές και έτσι ελήφθησαν περισσότερες από μία μετρήσεις. Από τις μέγιστες τιμές που μετρήθηκαν σε κάθε χώρο και σε κάθε κέντρο μεταφοράς υπολογίστηκε η μέση τιμή του μαγνητικού πεδίου για 16 κέντρα υψηλών τάσεων (βλ. Πίνακα 1.3.2.3).

Περιοχή	B (μ T)
A	52
B	10,2
C	8
D	1,8
E	1,2

Πίνακας 1.3.2.3: Μέσες τιμές μετρήσεων μαγνητικής επαγωγής για τα 16 κέντρα διανομής (ΚΔ) των Αθηνών, ανά χώρο του κέντρου [17].



Σχήμα 1.3.2.3:

Τομή κτιρίου KYT Παγκρατίου [17].

1. Πίνακες 150 kV, 2. Καλώδια 150 kV,
3. Μετασχηματιστής 150/20 kV, 100 MVA, 4. Ψυγεία μετασχηματιστή
5. Ακροδέκτες μετασχηματιστή, 6. Αντιστάσεις κόμβου μετασχηματιστή 12Ω
7. Πίνακες 20 kV, 8. Καλώδια 20 kV,
9. Πυκνωτές 20 kV, 4 MVAR, 10. Στοές καλωδίων 20 kV,
11. Τοπικοί μετασχηματιστές 20/0,4 kV,
12. Σύστημα τηλεχειρισμού ακουστικής συχνότητας,
13. Βοηθητικές εγκαταστάσεις, 14. Δεξαμενές πυρόσβεσης,
15. Δεξαμενές ελαίου μετασχηματιστή, 16. Γραφεία

Στο Κέντρο Υψηλών Τάσεων Παγκρατίου οι πίνακες των 150 kV είναι με μονωτικό αέριο SF₆. Οι μετρήσεις του μαγνητικού πεδίου που πραγματοποιήθηκαν παρουσιάζονται αναλυτικά στον πίνακα 1.3.2.4. Στο σχήμα 1.3.2.3 φαίνεται μια τομή του κτιρίου του KYT Παγκρατίου.

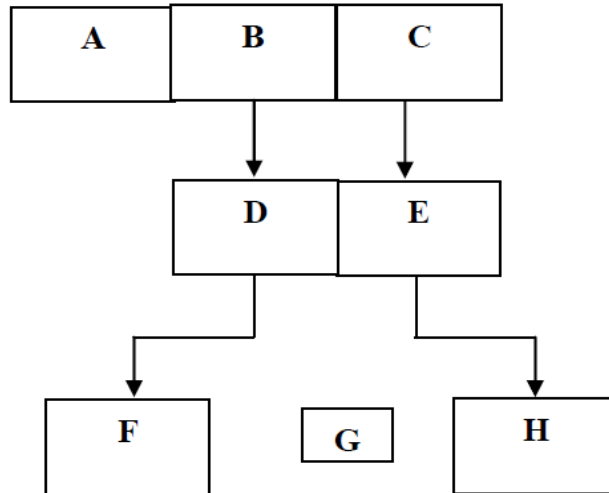
Ενότητα των χώρων	Χώρος	B (μT)
A	Καλώδια 150 kV (0,7 m)	38
	Καλώδια 150 kV (1 m)	17
	Καλώδια 150 kV (2 m)	6
	Διακόπτες 150 kV (1 m)	1
B	Ακροδέκτες των μετασχηματιστών 150 kV (3 m)	2,2
	Κέλυφος των μετασχηματιστών	0,5
	Χώρος ψυγείων των μετασχηματιστών	2
	Σε επαφή με το δοχείο του μετασχηματιστή	0,5
	Εξωτερικός χώρος ισογείου (12 m από μετασχηματιστή)	0,1
C	Καλώδια 20 kV (0,1 m)	5
	Αναχώρηση καλωδίων – υπόγεια στοά	0,9
D	Κλιμακοστάσιο	0,1
	Ισόγειο	0,5
E	Εξωτερικός χώρος ισογείου	0,15
	Είσοδος του κτιρίου	0,5
	Έξω από το κτίριο σε απόσταση 10 m	0,3

Πίνακας 1.3.2.4: Αναλυτικά οι μετρήσεις που ελήφθησαν σε όλους τους χώρους του Κέντρου Υψηλών Τάσεων (KYT) στο Παγκράτι [17].

6) Μετρήσεις σε υποσταθμό (ΥΣ) μέσης τάσης, ισχύος 9,5 MVA στον Οργανισμό Λιμένος Πειραιώς

Από το εργαστήριο Υψηλών Τάσεων και Ηλεκτρικών Μετρήσεων του Ε.Μ.Π. έχουν πραγματοποιηθεί μετρήσεις σε υποσταθμό με τρία επίπεδα τάσεων: 20 kV, 6,6 kV και 0,4 kV [17]. Η ισχύς του υποσταθμού ήταν 9,5 MVA, καλυπτόμενη από 2 μετασχηματιστές 20/6,6 kV, 3150 kVA και από 2 μετασχηματιστές 20/0,4 kV, 1600 kVA (συνολικά 4 μετασχηματιστές). Από τους μετασχηματιστές αυτούς δύο ήταν σε λειτουργία (ένας των 1600 kVA και ένας των 3150 kVA) ενώ οι άλλοι δύο ήταν εφεδρικοί και κατά την πραγματοποίηση των μετρήσεων δεν λειτουργούσαν. Οι μετασχηματιστές βρισκόταν σε ξεχωριστούς χώρους (δωμάτια) στον υποσταθμό και η πρόσβαση σε αυτούς γίνεται μόνο από εξειδικευμένο προσωπικό. Στην πλευρά της μέσης τάσης (20 kV και 6,6 kV) υπάρχει τοποθετημένο προστατευτικό πλέγμα το οποίο εξασφαλίζει προστασία από την τάση [18] . Ο υποσταθμός έχει δύο ορόφους (ισόγειο και πρώτο όροφο). Στον 1^ο όροφο υπήρχαν ο πίνακας των 20 kV που περιλάμβανε μεταξύ άλλων τον υποπίνακα καλωδίων 20 kV, τον υποπίνακα μετασχηματιστών 20/0,4 kV, 1600 kVA, και τον υποπίνακα μετασχηματιστών

20/6,6 kV, 3150 kVA. Στον ίδιο όροφο υπήρχε μία τράπεζα χειρισμών, διάδρομοι, γραφεία και συνεργείο. Στο ισόγειο βρισκόταν οι χώροι των μετασχηματιστών, ο πίνακας των 6,6 kV, ο πίνακας 0,4 kV και ο πίνακας των πυκνωτών. Το απλοποιημένο διάγραμμα για τον υποσταθμό δίνεται στο σχήμα 1.3.2.4.



Σχήμα 1.3.2.4: Απλοποιημένο διάγραμμα υποσταθμού [17] :

Πίνακας 20 kV,

A: Υποπίνακας άφιξης

B: Υποπίνακας μετασχηματιστή 20/0,4 kV, 1600 kVA

C: Υποπίνακας μετασχηματιστή 20/6,6 kV, 3150 kVA

Χώροι μετασχηματιστών,

D: Χώρος μετασχηματιστή 20/0,4 kV, 1600 kVA

E: Χώρος μετασχηματιστή 20/6,6 kV, 3150 kVA

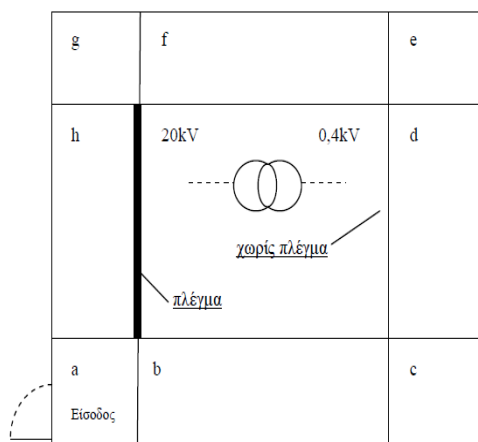
Πίνακας 6,6 kV ,

F: Υποπίνακας μετασχηματιστή 20/6,6 kV, 3150 kVA

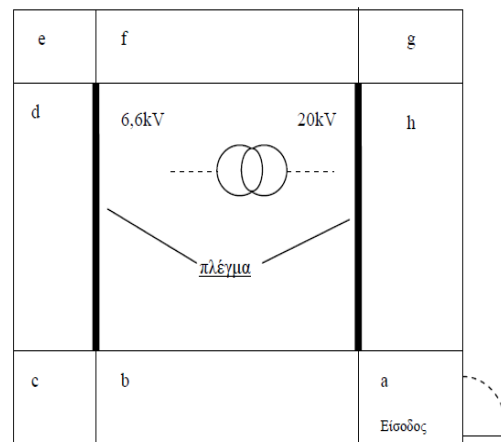
Πίνακας 0,4 kV,

G: Πυκνωτές

H: Υποπίνακας μετασχηματιστή 20/0,4 kV, 1600 kVA



Σχήμα 1.3.2.5: Χώρος μετασχηματιστών 20/0,4 kV, 1600 kVA [17].



Σχήμα 1.3.2.6: Χώρος μετασχηματιστών 20/6,6 kV, 3150 kVA [17].

Στον πίνακα 1.3.2.5 δίνονται οι μετρήσεις της μαγνητικής επαγωγής για τους χώρους του ΥΣ εκτός από τους χώρους των μετασχηματιστών. Οι μετρήσεις για το μετασχηματιστή 20/0,4 kV, 1600 kVA, φαίνονται στο σχήμα 1.3.2.5 και δίνονται στον πίνακα 1.3.2.6, ενώ για το μετασχηματιστή 20/6,6 kV, 3150 kVA φαίνονται στο σχήμα 1.3.2.6 και δίνονται στον πίνακα 1.3.2.7.

Στους πίνακες 1.3.2.5÷1.3.2.7 αναφέρεται ο χώρος του ΥΣ, η απόσταση X και η μαγνητική επαγωγή B. Όπου δεν αναφέρεται απόσταση X, έχει καταγραφεί η μέγιστη παρατηρούμενη τιμή σε τυχαία θέση.

Τμήμα εγκατάστασης	X (cm)	B(μT)
Πίνακας 20 kV (υποπίνακας άφιξης)		
Κλειστή πόρτα	100	6
Ανοιχτή πόρτα	100	5
Όπισθεν της κυψέλης	100	1,2
Όπισθεν της κυψέλης	1	1,8
Πίνακας 20 kV (υποπίνακας μετασχηματιστή 20/0,4 kV, 1600 kVA)		
Κλειστή πόρτα	100	3
Ανοιχτή πόρτα	100	2,4
Τράπεζα χειρισμών	1	0,5
Υπόβαθρο 20kV (όροφος)	-	1÷5
Διάδρομος	-	1,7
Κλιμακοστάσιο	-	2
Συνεργείο	-	1,5
Πίνακας 6,6 kV (υποπίνακας μετασχηματιστή 20/6,6 kV, 3150 kVA)		
Κλειστή πόρτα	100	0,6
Ανοιχτή πόρτα	100	0,6
Όπισθεν της κυψέλης	100	0,7
Όπισθεν της κυψέλης	1	2,2
Υπόβαθρο 6,6kV (όροφος)	-	1,0
Πίνακας 0,4 kV (υποπίνακας μετασχηματιστή 20/0,4 kV, 1600 kVA)		
Κλειστή πόρτα	1	72,5
Όπισθεν της κυψέλης	40	88
Όπισθεν της κυψέλης	10	98
Πίνακας 0,4 kV (υποπίνακας φωτισμού)		
Κλειστή πόρτα	1	32
Όπισθεν της κυψέλης	40	35
Όπισθεν της κυψέλης	10	37
Πυκνωτές	1÷10	26÷88
Υπόβαθρο 0,4kV (όροφος)	-	14

Πίνακας 1.3.2.5: Μετρήσεις της μαγνητικής επαγωγής στους χώρους του υποσταθμού (δεν περιλαμβάνονται οι χώροι των μετασχηματιστών). X : απόσταση από το στοιχείο μέτρησης (όπου δεν αναφέρεται η απόσταση δίνεται η μέγιστη τιμή σε τυχαία θέση) [17].

Χώρος	Διαστάσεις (m)	B(μ T)
a	0,5×1,2	17÷22
b	2×1,2	15,2÷18
c	0,5×1,2	15÷23
d	0,5×2,5	33÷57
e	0,5×0,8	7÷30
f	2×0,8	8÷16
g	0,5×0,8	6÷7
h	0,5×2,5	0

Πίνακας 1.3.2.6: Μετρήσεις στο δωμάτιο μετασχηματιστή 20/0,4 kV, 1600 kVA [17].

Χώρος	Διαστάσεις (m)	B(μ T)
a	1,5×1,3	0,7÷1
b	2×0,3	0,3÷1
c	1,2×1,3	0,3÷1
d	1,2×4,0	1÷5
e	1,2×0,8	0,8÷1,8
f	2×0,8	0,2÷0,6
g	1,5×0,8	0,6÷2
h	1,5×4,0	0÷1,2

Πίνακας 1.3.2.7: Μετρήσεις στο δωμάτιο μετασχηματιστή 20/6,6 kV, 3150 kVA [17].

1.3.3 Μετρήσεις του τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Δημοκρίτειου Πανεπιστημίου, Θράκης [13,19]

1) Μετρήσεις σε Υποσταθμό εξωτερικού χώρου

Μετρήσεις της μαγνητικής επαγωγής και της ηλεκτρικής πεδιακής έντασης πραγματοποιήθηκαν εντός υποσταθμού εξωτερικού χώρου 150/20 kV, 2×50 MVA, κοντά σε αυτοκινητόδρομο στην Ξάνθη [19]. Ο υποσταθμός αφορά δύο μετασχηματιστές των 50 MVA ο καθένας και τρεις συστοιχίες πυκνωτών (C1,C2 και C3). Οι C1 και C2 έχουν ονομαστική ισχύ 13,91 MVA και η C3 13,30 MVA. Επίσης υπάρχουν 13 διακόπτες ισχύος SF₆ εγκατεστημένοι μπροστά από τους μετασχηματιστές. Οι μετρήσεις του μαγνητικού πεδίου έγιναν σε τρία ύψη, 0 m, 1 m και 1,8 m από το έδαφος. Στον πίνακα 1.3.3.1 παρουσιάζονται οι μέγιστες τιμές της μαγνητικής επαγωγής. Ενώ η μέγιστη τιμή της ηλεκτρικής πεδιακής έντασης ήταν 4,3 kV/m, κοντά στην πλευρά της υψηλής τάσης στο μετασχηματιστή T1. Η πλειονότητα των μετρήσεων του μαγνητικού πεδίου που παρατηρήθηκαν ήταν αρκετά χαμηλότερες από τα όρια που αναφέρονται στην έκθεση του πληθυσμού και των εργαζομένων.

Περιοχή μέτρησης	B_{max} (μT)
Ζυγοί 150 kV	24,4
Μετασχηματιστής T1	26,3
Μετασχηματιστής T2	28,5
Συστοιχία πυκνωτών C1	707,6
Συστοιχία πυκνωτών C2	705,5
Συστοιχία πυκνωτών C3	20
Διακόπτων ισχύος SF ₆	61,4
Δωμάτιο ελέγχου	3,5
Ευρύτερη περιοχή υποσταθμού	42,7
Περιμετρικά υποσταθμού	1,04

Πίνακας 1.3.3.1: Μέγιστες μετρούμενες τιμές του μαγνητικού πεδίου στους χώρους υποσταθμού εξωτερικού χώρου 150/20 kV, 2×50 MVA [19].

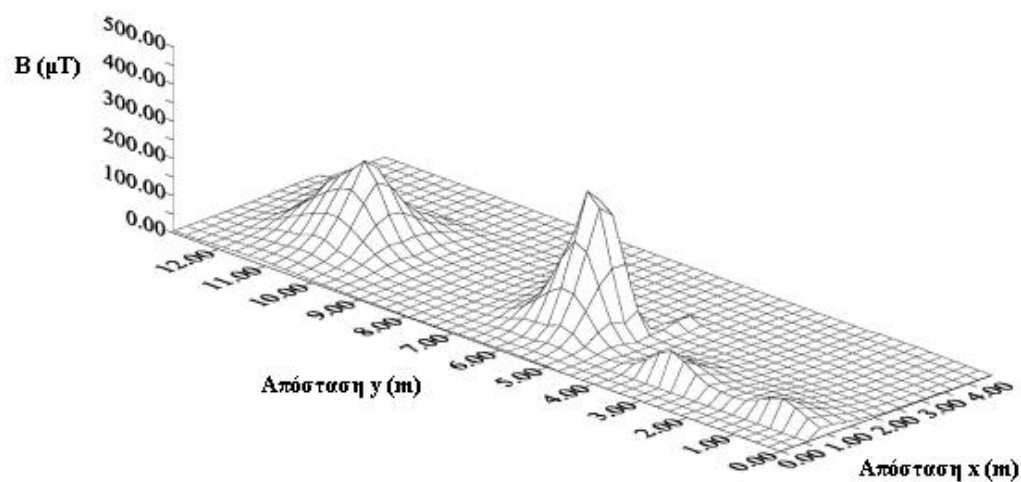
Σε δύο σημεία υπήρξαν τιμές μεγαλύτερες των ορίων και αυτά ήταν κοντά στις συστοιχίες των πυκνωτών. Αξίζει να σημειωθεί πως στο δωμάτιο ελέγχου οι τιμές της μαγνητικής επαγωγής που μετρήθηκαν ήταν αρκετά χαμηλές. Όσον αφορά τις τιμές του ηλεκτρικού πεδίου ήταν και αυτές χαμηλές εντός των διεθνών καθορισμένων ορίων για την έκθεση του πληθυσμού και των εργαζομένων.

2) Μετρήσεις σε Υποσταθμούς εσωτερικού χώρου

Οι μετρήσεις της μαγνητικής επαγωγής και της ηλεκτρικής πεδιακής έντασης έγιναν εντός υποσταθμών μέσης τάσης (20/0,4 kV), όπου έχει πρόσβαση μόνο το τεχνικό προσωπικό της ΔΕΗ [13]. Οι τιμές του ηλεκτρικού πεδίου που μετρήθηκαν στα περισσότερα σημεία ήταν αρκετά χαμηλότερες από το όρια που αναφέρονται για την έκθεση των εργαζομένων. Σε ότι αφορά το μαγνητικό πεδίο, μετρήθηκε σε τρία ύψη από το έδαφος (0 m, 1 m και 1,8 m) σε 74 σημεία σε κάθε υποσταθμό. Οι μέγιστες τιμές που καταγράφηκαν σε κάθε υποσταθμό παρουσιάζονται στον πίνακα 1.3.3.2. Στο σχήμα 1.3.3.1 φαίνεται η κατανομή του μαγνητικού πεδίου που μετρήθηκε σε ύψος 1 m από το έδαφος στον υποσταθμό 2×630 kVA.

Ονομαστική ισχύς υποσταθμού (kVA)	B_{max} (μT)
250	24
400	81
630	466
2×400	255
2×630	429

Πίνακας 1.3.3.2: Μέγιστες τιμές μαγνητικού πεδίου σε υποσταθμούς διανομής εσωτερικού χώρου [13].



Σχήμα 1.3.3.1: Τρισδιάστατη κατανομή του μαγνητικού πεδίου στο χώρο στον υποσταθμό εσωτερικού χώρου 2×630 kVA [13].

1.4 Μετρήσεις και υπολογισμοί του ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου εκτός Ελλάδας

1.4.1 Μετρήσεις και υπολογισμοί σε γραμμές μεταφοράς και διανομής

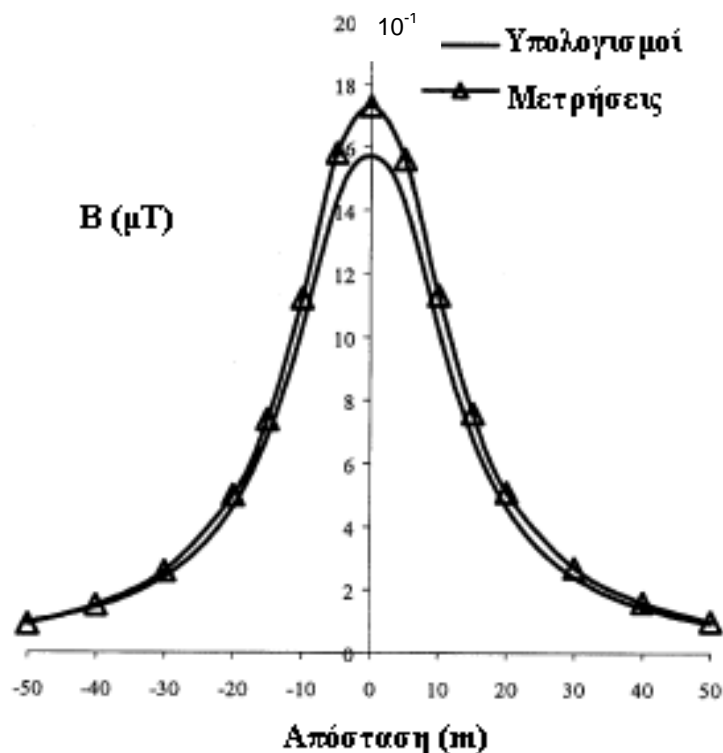
Έρευνες που αφορούν μετρήσεις και προσομοιώσεις των ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων κοντά σε περιοχές που βρίσκονται γραμμές μεταφοράς και γραμμές διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας είναι πολυάριθμες.

Η πεδιακή ένταση εξαρτάται ως γνωστό [20,21] από την τάση λειτουργίας, από την απόσταση από τη γραμμή, τη διάταξη, τη διατομή και τον αριθμό των αγωγών. Η μαγνητική επαγωγή είναι ανάλογη του ρεύματος και αντιστρόφως ανάλογη της απόστασης από τον αγωγό και είναι ανάλογη της απόστασης μεταξύ των αγωγών. Στην πράξη κάτω από γραμμές μεταφοράς η μαγνητική επαγωγή είναι από μερικά μT μέχρι μερικές δεκάδες μT [20].

Μια θεωρητική ανάλυση των μαγνητικών πεδίων που παράγονται από διαφορετικές διατάξεις των γραμμών παρουσιάζεται στην βιβλιογραφία [22,23]. Γνωρίζοντας τις τιμές των ρευμάτων που διαρρέουν τους αγωγούς των γραμμών, μπορεί να γίνει μία πρόβλεψη των πεδίων που προέρχονται από γραμμές μεταφοράς και διανομής. Αυτή η θεωρητική προσέγγιση εναρμονίζεται με μετρήσεις που έγιναν κοντά σε γραμμές μεταφοράς και διανομής στις Η.Π.Α. [24].

Στη βιβλιογραφία δίδεται ένα στατιστικό μοντέλο του υπολογισμού των μαγνητικών πεδίων σε γραμμές μεταφοράς, βασισμένο στην προσομοίωση με τη μέθοδο Monte Carlo [25]. Ο υπολογισμός, γίνεται μέσω της γνώσης της στατιστικής διακύμανσης του ρεύματος φορτίου και της στατιστικής κατανομής του μαγνητικού

πεδίου σε αυτή. Επιπρόσθετα τα υπολογισμένα πεδία ταυτίζονται ικανοποιητικά με πειραματικές μετρήσεις που έγιναν στον Καναδά [26].



Σχήμα 1.4.1.1: Μετρούμενες και υπολογισμένες τιμές του μαγνητικού πεδίου κάτω από μια γραμμή υψηλής τάσης διπλού κυκλώματος 132 kV [27].

Μία ακόμη μέθοδος για τον προσδιορισμό του μαγνητικού πεδίου που προέρχεται από γραμμές ηλεκτρικής ενέργειας σε συνδυασμό με μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στην Ισπανία [27]. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή στο σχήμα 1.4.1.1 δίνονται οι μετρούμενες και υπολογισμένες τιμές του μαγνητικού πεδίου κάτω από μια γραμμή υψηλής τάσης διπλού κυκλώματος. Μετρήσεις του μαγνητικού πεδίου πραγματοποιήθηκαν σε γραμμή μεταφοράς υψηλής τάσης πριν και μετά την εγκατάσταση εξωτερικού υποσταθμού διανομής [28].

1.4.2 Μετρήσεις και υπολογισμοί του ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου σε υποσταθμούς

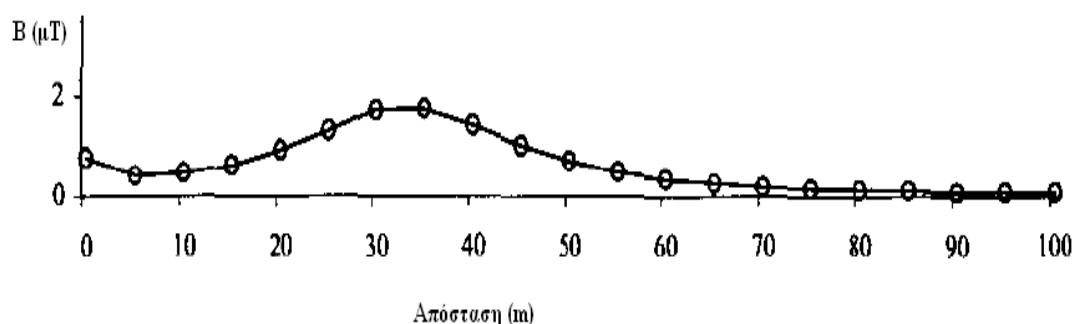
Αρκετές έρευνες αφορούν ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία που προέρχονται από υποσταθμούς εξωτερικού και εσωτερικού χώρου. Στην βιβλιογραφία [29] παρουσιάζεται μία αναλυτική μέθοδος για τον υπολογισμό του μαγνητικού πεδίου,

βασισμένη στο νόμο των Biot-Savart, σε υποσταθμούς 187 kV και 66 kV, στην οποία γίνεται σύγκριση των θεωρητικών αποτελεσμάτων με πειραματικές μετρήσεις. Για τον υπολογισμό των μαγνητικών πεδίων στην εν λόγω εργασία θεωρήθηκαν αμελητέα τα ρεύματα προς γη. Επίσης η γη θεωρήθηκε ως μη μαγνητική και τα ρεύματα θεωρήθηκαν σε φάση με την τάση [29].

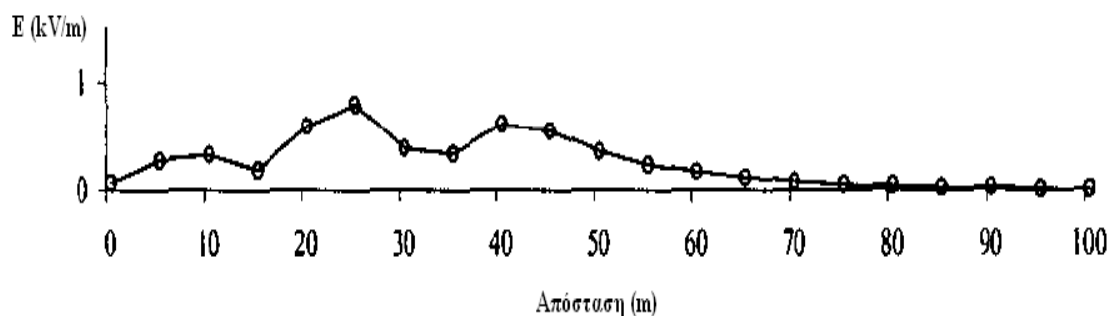
Ένα μοντέλο σε υπολογιστή, λαμβάνει υπόψη στον υπολογισμό των πεδίων τα ρεύματα στα συστήματα γείωσης, ουδέτερου, υπέργειων αγωγών και τα επαγόμενα ρεύματα στις διάφορες διατάξεις του εξοπλισμού ενός υποσταθμού διανομής 115/13,8kV εξωτερικού χώρου [30]. Σύμφωνα με την παραπάνω έρευνα οι τιμές της μαγνητικής επαγωγής που υπολογίστηκαν εναρμονίζονται με τις μετρηθείσες και είναι μικρότερες από τα όρια ασφαλείας του ICNIRP.

Συγκρίσεις μεταξύ των διεθνών καθορισμένων ορίων της έκθεσης του πληθυσμού και των εργαζομένων στα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία και αυτών που μετρήθηκαν σε υποσταθμούς εξωτερικού χώρου στη Φιλανδία, την Ιαπωνία και την Κροατία αναφέρονται στις εργασίες [28,29,30]. Στις εργασίες [28] και [30] έγινε και θεωρητικός υπολογισμός των ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων βασιζόμενος σε πρόγραμμα ηλεκτρονικού υπολογιστή, από όπου προέκυψε ικανοποιητική ταύτιση με τα αποτελέσματα των μετρήσεων. Από τις προαναφερθείσες μετρήσεις και υπολογισμούς προκύπτει ότι οι τιμές τους είναι μικρότερες των ορίων ασφαλείας.

Μετρήσεις των ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων εντός και εκτός των περιφράξεων υποσταθμών εξωτερικού χώρου καθώς και εντός υποσταθμών εσωτερικού χώρου στη Φιλανδία αναφέρονται στις εργασίες [31,32]. Στα σχήματα 1.4.2.1 και 1.4.2.2 δίνονται οι τιμές του μαγνητικού και ηλεκτρικού πεδίου που μετρήθηκαν εκτός των περιφράξεων ενός υποσταθμού 400 kV [31]. Όλες οι μετρούμενες τιμές ήταν μικρότερες των διεθνών καθορισμένων ορίων για την έκθεση του πληθυσμού.



Σχήμα 1.4.2.1: Μαγνητικό πεδίο σε απόσταση από την περίφραξη του υποσταθμού 400 kV [31].



Σχήμα 1.4.2.2: Ηλεκτρικό πεδίο σε απόσταση από την περίφραξη του υποσταθμού 400 kV [31].

Υποσταθμός	Πεδίο	Τιμές	n	Μέση τιμή
1	B	0,051÷13,17 μT	58	1,43 μT
	E	(0,095÷3,00)·10 ⁻³ kV/m	19	0,66 ·10 ⁻³ kV/m
2	B	0,052÷3,05 μT	33	1,01 μT
	E	(0,11÷270,0) ·10 ⁻³ kV/m	32	106,23 ·10 ⁻³ kV/m

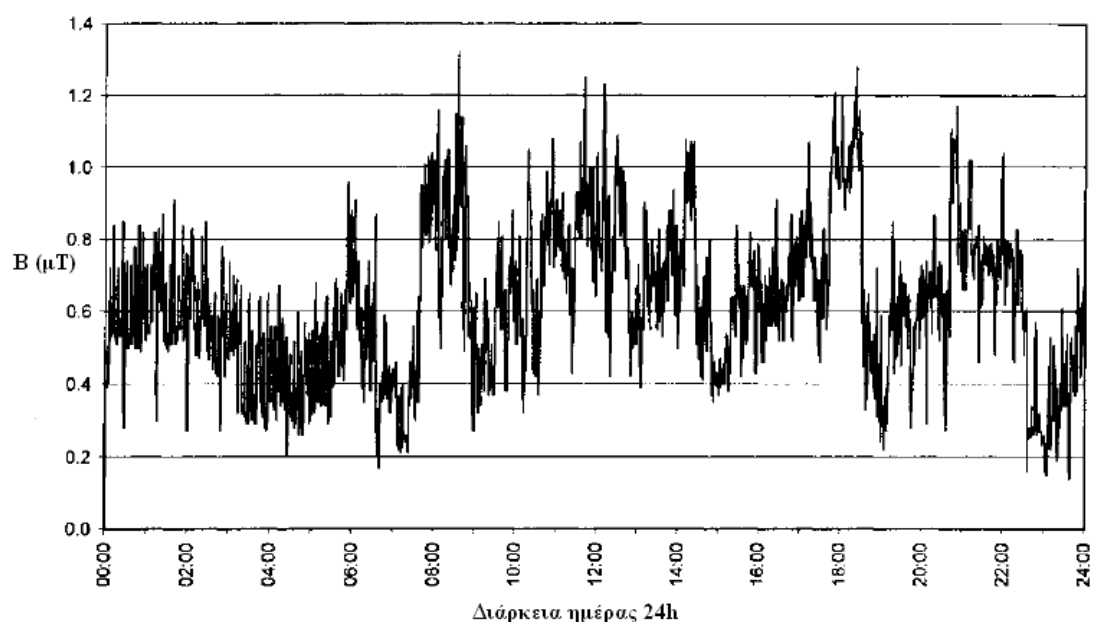
Πίνακας 1.4.2.1: Μέσες τιμές του ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου που μετρήθηκαν σε 2 υποσταθμούς εξωτερικού χώρου 150-36/11 kV όπου n το πλήθος των μετρήσεων [34].

Μετρήσεις ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων σε αστικό περιβάλλον κοντά σε υποσταθμούς εσωτερικού και εξωτερικού χώρου 250 kVA έως 630 kVA, 11/0,4 kV όπως επίσης και σε δύο υποσταθμούς 150-36/11 kV περιγράφονται στις εργασίες [33], [34]. Στις παραπάνω εργασίες, οι στιγμιαίες μετρηθείσες τιμές συγκριθήκαν με τα όρια του ICNIRP για την έκθεση του κοινού στα πεδία. Στον πίνακα 1.4.2.1 δίνονται οι μέσες τιμές του ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου που μετρήθηκαν σε 2 υποσταθμούς εξωτερικού χώρου 150-36/11 kV σε αποστάσεις 0,25 m μέχρι 10 m από αυτούς και σε ύψος 1,5 m από το έδαφος [34].

1.4.3 Μετρήσεις σε αστικό περιβάλλον και σε υπόγεια συστήματα διανομής

Μετρήσεις του μαγνητικού πεδίου σε κέντρα των πόλεων του Göteborg της Σουηδίας, στην Cáceres της Ισπανίας και στο Τορίνο της Ιταλίας δίνονται στις εργασίες [35,36,37]. Στη βιβλιογραφία [35] έγιναν μετρήσεις του μαγνητικού πεδίου σε πεζοδρόμια και δρόμους της πόλης του Göteborg σε ύψος 1 m από το έδαφος με συχνότητα μετρήσεων κάθε δύο μέτρα. Συνολικά έγιναν 6106 μετρήσεις καλύπτοντας περίπου 12 km πεζοδρομίων. Σε ορισμένα σημεία γίνανε μετρήσεις του μαγνητικού πεδίου σε χρονικά διαστήματα των 5 min και των 24 h ώστε να υπάρχει μία αίσθηση της διακύμανσης του πεδίου κατά τη διάρκεια της ημέρας. Στο σχήμα 1.4.3.1 φαίνονται τιμές του μαγνητικού πεδίου που έχουν καταγραφεί κατά τη διάρκεια 24 h

σε ένα επιλεγμένο σημείο μέτρησης με μέση τιμή της μαγνητικής επαγωγής 0,62 μT . Οι τιμές που γενικά μετρήθηκαν στην πόλη του Göteborg ήταν από $0,2 \pm 1 \mu\text{T}$. Οι τιμές άνω του $1 \mu\text{T}$ ήταν πολύ μικρότερες του ορίου ασφαλείας των $100 \mu\text{T}$.



Σχήμα 1.4.3.1: 24 h καταγραφή της μαγνητικής επαγωγής σε ένα τυχαίο σημείο της πόλης του Göteborg [35].

Στην εργασία [36] παρουσιάζονται 27.743 μετρήσεις του μαγνητικού πεδίου που έγιναν στην πόλη Cáceres της Ισπανίας. Οι μετρήσεις γίνανε ανά 5 m καλύπτοντας συνολικά 140 km πεζοδρομίων σε ύψος 1 m από το έδαφος. Σύμφωνα με την εν λόγω εργασία το 99 % των μετρήσεων ήταν κάτω από $1 \mu\text{T}$. Οι μετρήσεις πάνω από $1 \mu\text{T}$ ήταν επίσης ασήμαντες (πολύ μικρότερες του ορίου ασφαλείας των $100 \mu\text{T}$).

Στην εργασία [38] παρουσιάζονται εκτεταμένες μετρήσεις του ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού σε εμπορικές περιοχές, σε 60 διαφορετικές αστικές περιοχές στο Οντάριο του Καναδά με πυκνότητα πληθυσμού από 1000 μέχρι 2,3 εκατομμύρια κατοίκους. Η μέση τιμή της μαγνητικής επαγωγής για τις 60 αστικές περιοχές ήταν $0,58 \mu\text{T}$. Οι τιμές του πεδίου που καταγράφηκαν σε πυκνοκατοικημένες περιοχές ήταν υψηλότερες. Στις περιοχές με πληθυσμούς πάνω από 100000, μεταξύ $50000 \div 100000$, μεταξύ $10000 \div 50000$ και λιγότερους από 10000 οι μέσες τιμές της μαγνητικής επαγωγής ήταν 1,4, 0,7, 0,4 και $0,24 \mu\text{T}$ αντίστοιχα. Για παράδειγμα στην πόλη του Kingston με πληθυσμό 123000 παρατηρήθηκε η μέγιστη μέση τιμή της μαγνητικής επαγωγής και ήταν $0,47 \mu\text{T}$. Ενώ στην πόλη του Burks Falls με πληθυσμό 1000 η ελάχιστη μέση τιμή ήταν $0,08 \mu\text{T}$.

Διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια της ημέρας παρατηρήθηκαν στις μετρήσεις του μαγνητικού πεδίου (αλλά όχι στις μετρήσεις του ηλεκτρικού πεδίου) με τις υψηλότερες καταγραφείσες τιμές στις ώρες λειτουργίας των εμπορικών καταστημάτων.

Σε ότι αφορά την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου η τιμή του ήταν της τάξεως των 0,0032 kV/m. Σε αραιοκατοικημένες περιοχές, όπου τα δίκτυα ήταν υπέργεια η μέγιστη τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου ήταν 0,008 kV/m, ενώ στις πυκνοκατοικημένες περιοχές η τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου ήταν λόγω των υπόγειων γραμμών ηλεκτροδότησης μικρότερη από 0,0001 kV/m έως και μη μετρήσιμη από το όργανο.

Στον πίνακα 1.4.3.1 δίνονται οι τιμές B και E σε 6 αστικές περιοχές στο Οντάριο του Καναδά για τα έτη 1998 και 2000.

Περιοχή Πληθυσμός	Έτος	Μαγνητικό πεδίο B (μT)			Ηλεκτρικό πεδίο E (kV/m)		
		Ελάχιστη	Μέση	Μέγιστη	Ελάχιστη	Μέση	Μέγιστη
Oshawa (139000)	1998	0,1	3,0	9,0	0,0002	0,0003	0,0006
	2000	0,09	3,3	10,1	0,0	0,0003	0,0007
Pickering (81000)	1998	0,2	1,1	4,8	0,0003	0,016	0,044
	2000	0,12	0,82	5,2	0,0007	0,041	0,094
Peterborough (67000)	1998	0,04	2,1	11,0	0,0002	0,002	0,015
	2000	0,14	1,6	9,0	0,0003	0,006	0,048
Havelock (1400)	1998	0,02	0,19	0,6	0,0016	0,020	0,068
	2000	0,03	0,15	0,5	0,0016	0,024	0,093
Norwood (1300)	1998	0,05	0,17	0,28	0,0003	0,014	0,056
	2000	0,04	0,13	0,18	0,0003	0,015	0,057
Hastings (1200)	1998	0,13	0,26	0,8	0,0002	0,008	0,050
	2000	0,05	0,16	0,5	0,001	0,012	0,068

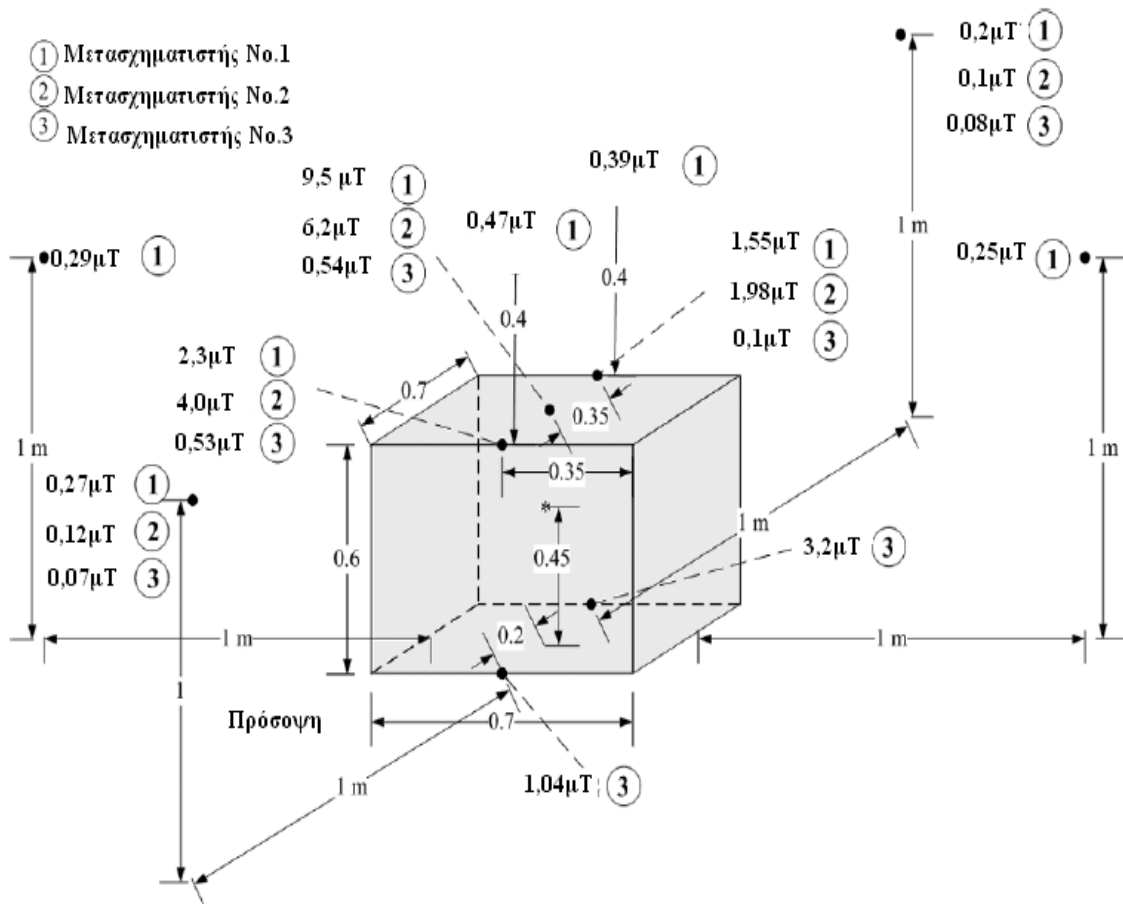
Πίνακας 1.4.3.1: Τιμές ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου που μετρήθηκαν το 1998 και το 2000 σε 6 διαφορετικές αστικές περιοχές στο Οντάριο του Καναδά [38].

Μέτρηση	B_{\max} (μT)	Μέγιστο πεδίο σε απόσταση 1m (μT)
Γύρω από κιβώτια συνενώσεων	14,8	0,16
Γύρω από μετασχηματιστές	9,5	0,29
Υπόγεια Καλώδια	0,3	0,3

Πίνακας 1.4.3.2: Σύνοψη μετρήσεων μαγνητικού πεδίου σε υπόγειο σύστημα διανομής [39].

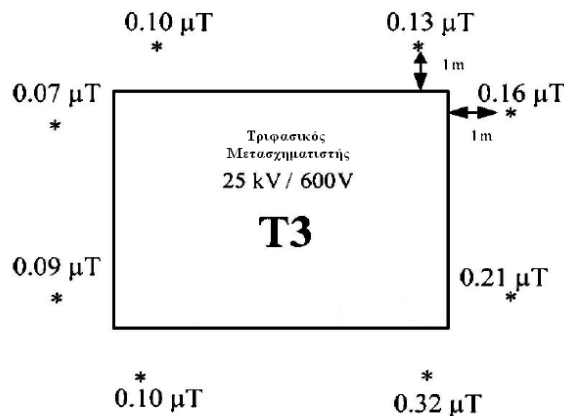
Μετρήσεις μαγνητικών πεδίων που προέρχονται από υπόγειο σύστημα διανομής, το οποίο αποτελείται από υπόγεια καλώδια, μετασχηματιστές και κιβώτια συνενώσεων σε κατοικημένη περιοχή παρουσιάζονται στη βιβλιογραφία [39]. Οι μέγιστες τιμές του μαγνητικού πεδίου που καταγράφηκαν ήταν $9,5 \mu\text{T}$ και $14,8 \mu\text{T}$ στο κέλυφος των μετασχηματιστών και των κιβωτίων συνενώσεων. Καθώς η απόσταση μέτρησης από το υπόγειο σύστημα διανομής μεγάλωνε πάνω από το 1 m όλες οι τιμές ήταν κάτω από $0,3 \mu\text{T}$. Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν συνοψίζονται στον Πίνακα 1.4.3.2.

Στο σχήμα 1.4.3.2 δίνονται τα διάφορα σημεία μέτρησης όπως και οι τιμές της μαγνητικής επαγωγής που έχουν μετρηθεί σε τρεις μετασχηματιστές 75 kVA, 7,5 kV/ 240 V, σε υπόγειο σύστημα διανομής [39].



Σχήμα 1.4.3.2: Τιμές μαγνητικού πεδίου κοντά σε τρεις μετασχηματιστές υπόγειου συστήματος διανομής 75 kVA, 7,5 kV/ 240 V [39].

Στο σχήμα 1.4.3.3 δίνονται οι τιμές του πεδίου που καταγράφηκαν σε ύψος 1 m από το έδαφος και σε οριζόντια απόσταση 1 m περιμετρικά ενός τριφασικού μετασχηματιστή 2000 kVA, 25/0,6 kV [40].



Σχήμα 1.4.3.3: Τιμές μαγνητικού πεδίου σε ύψος 1 m από το έδαφος και απόσταση 1 m περιμετρικά από τριφασικό μετασχηματιστή διανομής 2000 kVA, 25/0,6 kV [40].

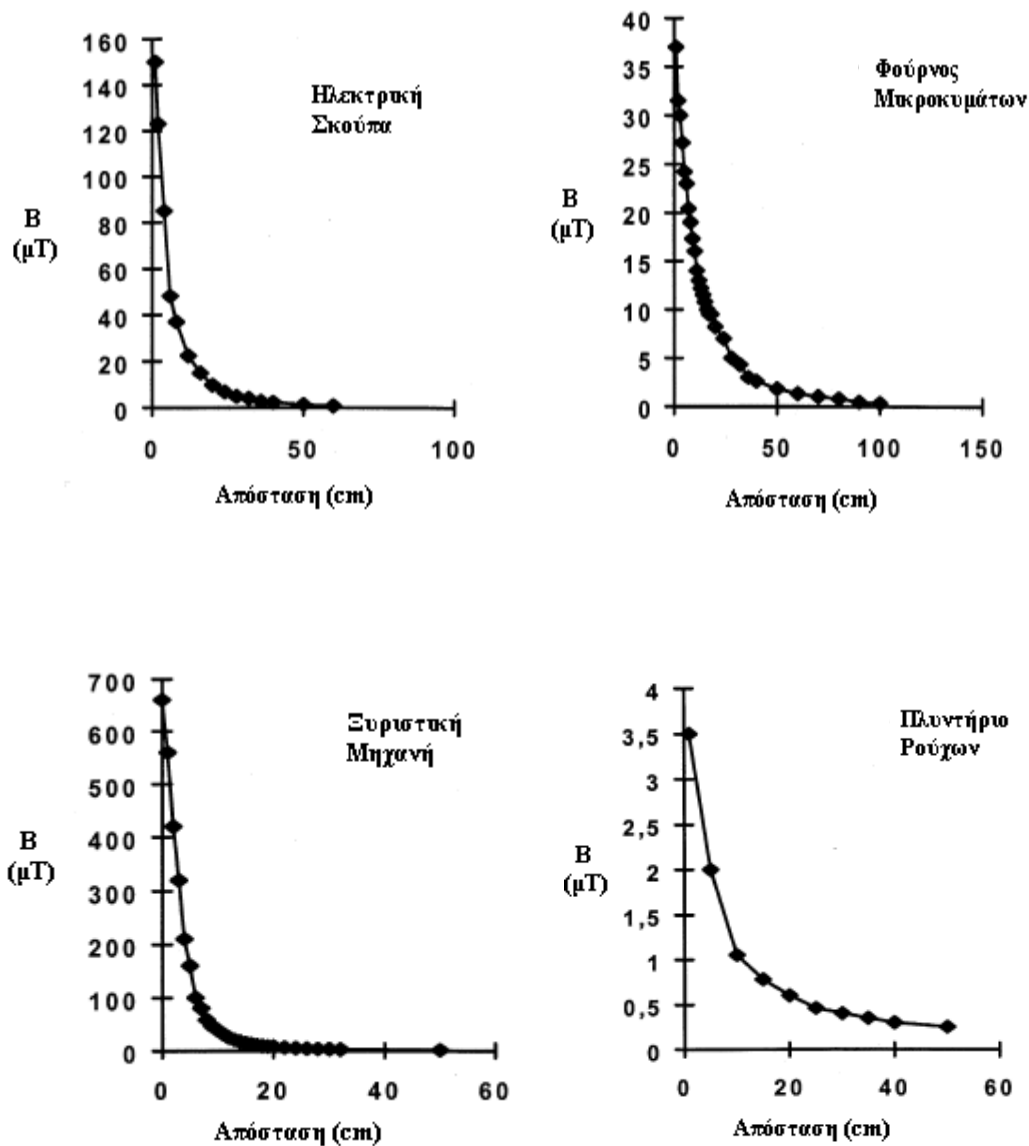
1.4.4 Μετρήσεις οικιακών συσκευών

Για το μαγνητικό πεδίο των οικιακών συσκευών έχουν γίνει μετρήσεις με σκοπό τη σύγκριση τους με τα διεθνή καθορισμένα όρια και τον υπολογισμό της ημερήσιας έκθεσης του πληθυσμού [7,41,42,43,44,45,46,47,48,49].

Στον πίνακα 1.4.4.1 δίδονται με βάση την Οδηγία Νο.27 (που προέρχεται από συνεργασία του Ο.Η.Ε., Ι.Ρ.Ρ.Α., Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας) τιμές της μαγνητικής επαγωγής για ένα μεγάλο αριθμό ηλεκτρικών συσκευών [7].

Στο σχήμα 1.4.4.1, [41], παρουσιάζονται μετρήσεις του μαγνητικού πεδίου σε διάφορες οικιακές συσκευές (ηλεκτρική σκούπα, φούρνος μικροκυμάτων, ξυριστική μηχανή και πλυντήριο ρούχων) συναρτήσει της απόστασης χρησιμοποίησης από αυτές. Στην ξυριστική μηχανή παρατηρούνται οι υψηλότερες τιμές της μαγνητικής επαγωγής. Όπως φαίνεται από τα διαγράμματα για όλες τις παραπάνω συσκευές οι τιμές του πεδίου μειώνονται γρήγορα καθώς η απόσταση μέτρησης μεγαλώνει. Αξίζει να σημειωθεί πως ορισμένες από τις τιμές του μαγνητικού πεδίου που έχουν μετρηθεί σε οικιακές συσκευές είναι μεγαλύτερες από αυτές που έχουν μετρηθεί κοντά σε γραμμές ηλεκτρικής ενέργειας. Θα πρέπει να σημειωθεί πως η χρήση των παραπάνω ηλεκτρικών συσκευών είναι μικρή κατά τη διάρκεια της ημέρας και η απόσταση χρήσης από αυτές είναι μεγάλη.

Η συνολική ημερήσια έκθεση του πληθυσμού στο μαγνητικό πεδίο που προέρχεται από τη χρήση διαφόρων οικιακών συσκευών υπολογίστηκε στην βιβλιογραφία [42]. Στην εν λόγω εργασία δίνονται μετρήσεις του μαγνητικού πεδίου σε οικιακές συσκευές σε αποστάσεις 50 cm από αυτές, σε 50 διαφορετικές κατοικίες και τα αποτελέσματα φαίνονται στον πίνακα 1.4.4.2.



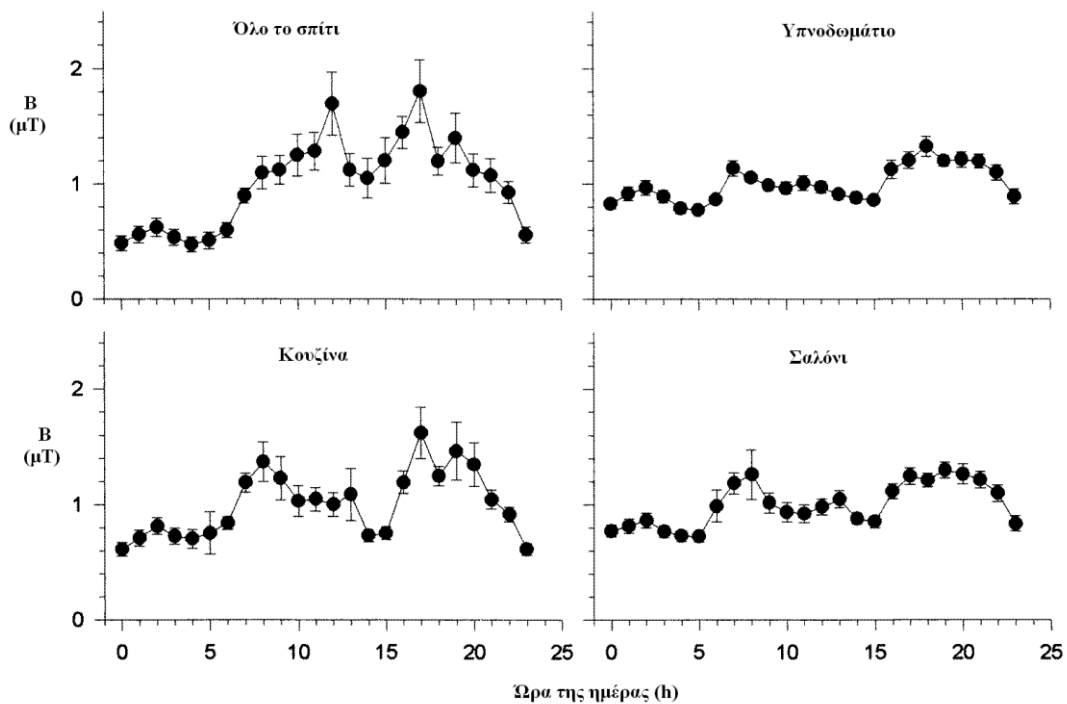
Σχήμα 1.4.4.1: Τιμές μαγνητικού πεδίου συναρτήσει της απόστασης σε διάφορες οικιακές συσκευές [41].

Στο σχήμα 1.4.4.2 φαίνονται οι μέσες τιμές ημερήσιας έκθεσης του κοινού από το μαγνητικό πεδίο σε 50 κατοικίες στο Ανοπ της Αγγλίας [43] στη διάρκεια ενός 24 h. Από τις μετρήσεις σε τρία δωμάτια όπως επίσης και σε ολόκληρο το σπίτι προκύπτει ότι η μέση εικοσιτετράωρη έκθεση στο υπνοδωμάτιο είναι 0,03 μT , στην κουζίνα 0,04 μT , στο σαλόνι 0,06 μT , ενώ η συνολική μέση έκθεση σε όλο το σπίτι είναι 0,07 μT .

Παρόμοιες μελέτες που παρουσιάζουν μέσες τιμές του μαγνητικού πεδίου σε κατοικίες κυμάνθηκαν από 0,2 μT στις Η.Π.Α [47] και 0,275 μT στον Καναδά [48]. Στην εργασία [49] στην Καλιφόρνια η μέση εικοσιτετράωρη έκθεση σε κατοικίες ήταν 0,141 μT , ενώ οι μετρήσεις στα διάφορα δωμάτια κυμάνθηκαν από 0,157=0,183 μT .

Ηλεκτρική Συσκευή	Μαγνητική επαγωγή σε μT
Στεγνωτήρας μαλλιών	6 έως 2000
Ηλεκτρική ξυριστική μηχανή	15 έως 1500
Ηλεκτρικό πριόνι (απόσταση 3 cm)	250 έως 1000
Ηλεκτρικό τρυπάνι (απόσταση 3 cm)	400 έως 800
Ηλεκτρική σκούπα (απόσταση 3 cm)	200 έως 800
(απόσταση 30 cm)	2 έως 20
Μίξερ (απόσταση 3 cm)	60 έως 700
(απόσταση 30 cm)	0,6 έως 10
Φούρνος μικροκυμάτων (απόσταση 3 cm)	75 έως 200
(απόσταση 30 cm)	4 έως 8
Ηλεκτρικό μάτι κουζίνας (απόσταση 3 cm)	6 έως 200
(απόσταση 30 cm)	0,35 έως 4
Ηλεκτρικό σίδερο (απόσταση 3 cm)	8 έως 30
Πλυντήριο ρούχων (απόσταση 3 cm)	0,8 έως 50
(απόσταση 30 cm)	0,15 έως 3
Πλυντήριο πιάτων (απόσταση 3 cm)	3,5 έως 20
(απόσταση 30 cm)	0,6 έως 3
Ψυγείο (απόσταση 3 cm)	0,5 έως 1,7

Πίνακας 1.4.4.1: Τιμές της μαγνητικής επαγωγής για έναν αριθμό ηλεκτρικών συσκευών (από συνεργασία Ο.Η.Ε., Ι.Ρ.Ρ.Α., Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας) [7].



Σχήμα 1.4.4.2: Μέση 24 h έκθεση στο μαγνητικό πεδίο σε 50 κατοικίες στην Αγγλία [43].

Συσκευή	N	Ημερήσια έκθεση (h)	Μέση τιμή μαγνητικού πεδίου B (μT) (d=50cm)	Συνολική ημερήσια έκθεση ($\mu\text{T}\cdot\text{h}$)
Πλυντήριο πιάτων	13	0,38	0,82	0,47
Ρολόι-Ράδιο	15	7,88	0,05	0,43
Φούρνος μικροκυμάτων	30	0,22	1,65	0,34
Ρολόι	5	6,91	0,04	0,27
Πλυντήριο ρούχων	25	0,49	1,00	0,25
Τηλέοραση	6	1,31	0,20	0,19
Ηλεκτρική σκούπα	49	0,21	0,78	0,18
Χρονοδιακόπτης	16	1,50	0,13	0,17
Ηλεκτρικός φούρνος	15	0,45	0,40	0,17
Εστία ηλεκτρικής κουζίνας	17	0,85	0,19	0,17
Συναγερμός	7	0,91	0,13	0,10
Ράδιο	17	0,85	0,19	0,17
Υπολογιστής	9	0,48	0,12	0,05
Ψυγείο	22	0,46	0,06	0,03
Ηχείο	10	0,32	0,06	0,02
Ψυγειοκαταψύκτης	24	0,33	0,06	0,02
Πιστολάκι μαλλιών	42	0,13	0,12	0,01
Μίξερ	28	0,02	0,70	0,01
Ηλεκτρικό μαχαίρι	11	0,01	0,12	0,00

Πίνακας 1.4.4.2: Μέση ημερήσια εκτιμώμενη έκθεση του πληθυσμού από διάφορες οικιακές συσκευές. Όπου N το πλήθος των μετρούμενων οικιακών συσκευών [42].

1.5 Έλεγχος της αξιοπιστίας των ορίων ασφαλείας για το ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο συχνότητας 50 Hz

Για την αξιολόγηση της αξιοπιστίας των ορίων ασφαλείας (βλ. παρ. 1.1.) υπάρχουν δύο ερμηνείες (η μακροσκοπική και η μικροσκοπική) που και οι δύο συγκλίνουν στα ίδια συμπεράσματα [17]. Στην εργασία αυτή θα γίνει μια σύντομη αναφορά στην αξιολόγηση των ορίων ασφαλείας για το ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο συχνότητας 50 Hz με βάση την μακροσκοπική ερμηνεία.

1.5.1 Μακροσκοπικά μοντέλα για την έκθεση στο ηλεκτρικό πεδίο [17]

Θεωρώντας γενικά ένα αγώγιμο αντικείμενο πάνω από το έδαφος και εντός ενός κατακόρυφου ηλεκτρικού πεδίου, το αντικείμενο θα αποκτήσει ένα φορτίο Q, το οποίο δίνεται από την γνωστή σχέση:

$$Q = CU \quad (1.5.1.1)$$

Όπου C η χωρητικότητα του αντικειμένου (ως προς γη) και U η διαφορά δυναμικού. Αν το πεδίο είναι εναλλασσόμενο χαμηλής συχνότητας, το ρεύμα θα είναι dQ/dt , οπότε από την (1.5.1.1) θα είναι:

$$I_s = j2\pi fUC \quad (1.5.1.2)$$

Όπου f η συχνότητα και j η φανταστική μονάδα. Ο δείκτης s υποδηλώνει το “short circuit” δηλ. ρεύμα βραχυκύκλωσης, όπως συμβολίζεται στη βιβλιογραφία [20,111,112].

Αν το πεδίο είναι ομογενές, τότε σε ύψος h' (και επειδή $U=Uh'$), η (1.5.1.2) γίνεται:

$$I_s = 2\pi fEh'C \quad (1.5.1.3)$$

Όπου E η πεδιακή ένταση. Η φανταστική μονάδα στην (1.5.1.2) δείχνει ότι το ρεύμα προηγείται κατά 90° της τάσης U (ή της πεδιακής έντασης E) και για πρακτικούς υπολογισμούς μπορεί να αγνοηθεί. Στην (1.5.1.3) το ύψος h' δεν είναι η απόσταση του ψηλότερου σημείου από το έδαφος, αλλά το ύψος του «ηλεκτρικού κέντρου» από το έδαφος [111] το οποίο για ένα απλό γεωμετρικό σχήμα βρίσκεται στο μέσον του αντικειμένου. Από την ίδια σχέση φαίνεται ότι με γνωστή την χωρητικότητα ενός αντικειμένου, μπορεί να υπολογιστεί το επαγόμενο ρεύμα. Ο πίνακας 1.5.1.1 δίνει στοιχεία για την χωρητικότητα, το ύψος «ηλεκτρικού κέντρου» h' και το ανηγμένο ρεύμα ανά μονάδα πεδιακής έντασης I_s/E , για διάφορα αντικείμενα σε πεδίο 60 Hz [111,113]. Για τα 50 Hz θα αλλάξει το ανηγμένο ρεύμα και το h' (αναλογικά) αφού η χωρητικότητα μιας διάταξης εξαρτάται από το υλικό και τη γεωμετρία και όχι από τη συχνότητα [114].

Θεωρώντας τον άνθρωπο ως μια χωρητικότητα και θεωρώντας κυλινδρική γεωμετρία προκύπτει για το ρεύμα η σχέση [111]:

$$I_s = \frac{2\pi^2 \epsilon_o fhE}{\ln\{(h/r)[(4d+h)/4d+3h]\}^{1/2}} \quad (1.5.1.4)$$

Όπου h το ύψος του ανθρώπου, r η ακτίνα του, d η απόσταση από τις πατούσες στο έδαφος, E το ηλεκτρικό πεδίο (κατακόρυφο) και $\epsilon_o = 8,86 \text{ pF/m}$ η διηλεκτρική σταθερά του κενού. Επιπλέον απλοποίηση μπορεί να γίνει θεωρώντας ότι ο άνθρωπος έχει μια αναλογία $h/r=12$ και αν δεν απέχει από το έδαφος ($d=0$), η (1.5.1.4) γίνεται [111]:

$$I_s = 9 \times 10^{-11} h^2 fE \quad (1.5.1.5)$$

Αντικείμενο	I_s/E (60 Hz) [Am/V]	I_s/E (50 Hz) [Am/V]	h' (60 Hz) [m]	h' (50 Hz) [m]	C [pF]
Άνθρωπος (1,8m ύψος)	$1,8 \times 10^{-8}$	$1,5 \times 10^{-8}$	0,48	0,4	100÷150
Αυτοκίνητο (μεσαίο)	$9,1 \times 10^{-8}$	$7,6 \times 10^{-8}$	0,21	0,18	200
Αυτοκίνητο (μεγάλο)	$1,2 \times 10^{-7}$	1×10^{-7}	0,16	0,13	2000
Σχολικό λεωφορείο	$3,7 \times 10^{-7}$	$3,1 \times 10^{-7}$	0,26	0,22	3700
Αστικό λεωφορείο	$4,9 \times 10^{-7}$	$4,1 \times 10^{-7}$	0,45	0,38	2900

Πίνακας 1.5.1.1: Ανηγμένο ρεύμα ανά μονάδα πεδιακής έντασης για ηλεκτρικό πεδίο στα 60 Hz και στα 50 Hz, ύψος «ηλεκτρικού κέντρου» h' (βλ. σχέση (1.5.1.3)) και χωρητικότητα ορισμένων αντικειμένων [111,115]

Διάφορες εργασίες είτε θεωρητικές είτε πειραματικές [20,116,117] έχουν καταλήξει σε παρόμοιες σχέσεις όπου δηλ. το ρεύμα είναι ανάλογο του ύψους του ανθρώπου, της συχνότητας f και της πεδιακής έντασης E .

Η σχέση (1.5.1.5) θέτοντας $f=50$ Hz και εκφράζοντας την πεδιακή ένταση σε kV/m, γίνεται:

$$I_s = 4,5h^2 E \text{ [}\mu\text{A]} \quad (1.5.1.6)$$

Για παράδειγμα σε έναν άνθρωπο με ύψος 1,8 m, εντός πεδίου 5 kV/m συχνότητας 50 Hz (όριο ασφαλείας για γενικό πληθυσμό), το ρεύμα θα είναι 72,9 μ A. Σε άνθρωπο με ύψος 1,7 m, αντίστοιχα θα είναι 65 μ A. Αντίστοιχα στα 10 kV/m (όριο ασφαλείας επαγγελματικού πληθυσμού) θα είναι 145,8 μ A και 130 μ A.

Στον πίνακα 1.5.1.2 δίδονται τα αποτελέσματα των επιδράσεων του εναλλασσόμενου ρεύματος βιομηχανικής συχνότητας στον άνθρωπο [15]. Το ρεύμα που προκαλεί ερέθισμα στον άνθρωπο είναι 1 mA. Αυτό θεωρείται το όριο που γίνεται αντιληπτό. Ωστόσο για ασθενείς μονάδων επείγουσας ιατρικής, το όριο τίθεται στα 100 μ A.

I [mA]	Ερέθισμα
1	Όριο αντίληψης
16	Σύσπαση μυών
50	Απώλεια αισθήσεων, τραυματισμός (φυσιολογική καρδιακή και αναπνευστική λειτουργία)
100÷300	Μαρμαρυγή
5000	Μαρμαρυγή, διακοπή της αναπνοής κατά διαστήματα, εγκαύματα

Πίνακας 1.5.1.2: Αποτελέσματα του εναλλασσόμενου ρεύματος 50 Hz στον υγιή άνθρωπο [15].

Σύμφωνα με τον πίνακα 1.5.1.2 οι τιμές που προκύπτουν από τα 5 kV/m είναι μικρότερες από το όριο αντίληψης (1 mA) αλλά και από το όριο ευαίσθητων ομάδων επειγόντων περιστατικών (100 μA). Στην περίπτωση των 10 kV/m, το ρεύμα είναι μεν μεγαλύτερο από τα 100 μA, αλλά ο επαγγελματικός πληθυσμός δεν έχει σχέση με τα επείγοντα περιστατικά. Επιπλέον το ρεύμα είναι περίπου 8 φορές μικρότερο από το όριο αντίληψης (1 mA). Με βάση αυτά, φαίνεται ότι τα όρια ασφαλείας είναι αξιόπιστα.

Παρόμοιο μακροσκοπικό μοντέλο, για την έκθεση στο ηλεκτρικό πεδίο, μπορεί να προκύψει θεωρώντας τον άνθρωπο ως μια «κατακόρυφη κεραία» (και όχι ως κύλινδρο). Σε αυτή την περίπτωση η χωρητικότητα δίνεται από την σχέση [118]:

$$C = \frac{4\pi\epsilon_0 l}{\ln \left[\left(\frac{l + \sqrt{d^2 + l^2}}{-l + \sqrt{d^2 + l^2}} \right) \left(\frac{l + 4h + \sqrt{d^2 + (4h + l)^2}}{3l + 4h + \sqrt{d^2 + (4h + 3l)^2}} \right) \right]} \quad (1.5.1.7)$$

Όπου l το μήκος (ύψος) της κεραίας, d το πλάτος της και h το ύψος της από το έδαφος. Η (1.5.1.7) για $h=0$ (κεραία στο έδαφος) μπορεί να απλοποιηθεί στην [119]:

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0 l}{\ln \left(\frac{2l}{d\sqrt{3}} \right)} \quad (1.5.1.8)$$

Οπότε (θεωρώντας $h'=h/2$) το ρεύμα από την (1.5.1.3), θα είναι

$$I_s = \pi f E h C \quad (1.5.1.9)$$

Και από την (1.5.1.8) θα προκύψει τελικά:

$$I_s = \frac{2\pi^2 \epsilon_0 h^2 f E}{\ln \left(\frac{2h}{d\sqrt{3}} \right)} \quad (1.5.1.10)$$

Στην παραπάνω σχέση (1.5.1.8) για μήκος της κεραίας (l) τέθηκε το ύψος του ανθρώπου (h). Θεωρώντας έναν άνθρωπο ύψους 1,7 m, με πλάτος 0,5 m (με τα πόδια σε διάσταση), η χωρητικότητα θα προκύψει από την σχέση (1.5.1.8) ότι είναι:

$$C = 69,2 \text{ pF}$$

Η τιμή αυτή είναι κοντά στην τιμή των 100 pF που έχει δοθεί από μετρήσεις στον πίνακα 1.5.1.1. Θεωρώντας μια τέτοια χωρητικότητα για έναν άνθρωπο ύψους 1,7 m, εντός ηλεκτρικού πεδίου 10 kV/m, 50 Hz, η σχέση (1.5.1.9) δίνει: $I_s = 184,8 \mu\text{A}$, που είναι μεν μεγαλύτερο από το ρεύμα που δίνει η (1.5.1.6), παραμένει όμως της αυτής τάξης μεγέθους. Η διαφορά που προκύπτει μεταξύ των δύο υπολογισμών οφείλεται

πιθανόν στο ότι το ύψος h' δεν είναι ίσο με $h/2$, αφού ο άνθρωπος δεν έχει απλή γεωμετρία. Αν ωστόσο ληφθεί το ύψος h' από τα δεδομένα του πίνακα 1.5.1.1 για τα 50 Hz σε άνθρωπο με ύψος 1,8 m είναι $h'=0,4$ m. Για ύψος 1,7m αναλογικά θα είναι $h'= 0,38$ m. Με γνωστή την χωρητικότητα (69,2 pF) η σχέση (1.5.1.3) δίνει: $I_s = 82,6 \mu\text{A}$.

Σε άλλο μοντέλο, αντί για το ύψος του ανθρώπου έχει τεθεί ως παράμετρος το βάρος, οπότε σε αυτή την περίπτωση το ρεύμα (σε mA) θα είναι [113,121]:

$$I_s = 15 \times 10^{-8} f W^{2/3} E \text{ [mA]} \quad (1.5.1.11)$$

Όπου το βάρος W είναι σε gr, η πεδιακή ένταση σε kV/m και f η συχνότητα σε Hz. Σε αυτό το μοντέλο θεωρείται γενικά ότι ένας άνθρωπος βάρους 70 kg, ισοδυναμεί με έναν που έχει ύψος 1,7 m (βλ. σχέσεις (1.5.1.3÷1.5.1.5)) [121,122].

Σύμφωνα με την σχέση (1.5.1.5) το ρεύμα είναι ανάλογο με το ύψος στο τετράγωνο. Από την άλλη το βάρος (μάζα) είναι πυκνότητα ρ επί όγκο $V:W= \rho V$, που για κύλινδρο γίνεται $W= \rho \pi r^2 h$, οπότε θεωρώντας την ακτίνα ανάλογη του ύψους έστω $r= k_1 h$, θα ισχύει ότι:

$$h^2 = W / \rho \pi k_1^2 \quad (1.5.1.12)$$

Αντικαθιστώντας στην (1.5.1.5), το ρεύμα γίνεται:

$$I_s = a f E W^{2/3} \quad (1.5.1.13)$$

Όπου a είναι μια σταθερά που εξαρτάται από την πυκνότητα σώματος και την αναλογία ύψους και ακτίνας. Με βάση το μοντέλο με παράμετρο το βάρος, ένας άνθρωπος βάρους 70 kg, εντός πεδίου 10 kV/m, 50 Hz, θα διαρρέεται από ρεύμα $I_s = 127 \mu\text{A}$, που είναι κοντά στην τιμή που βρέθηκε με την σχέση (1.5.1.5).

1.5.2 Μακροσκοπικά μοντέλα για την έκθεση στο μαγνητικό πεδίο [17]

Τα ρεύματα που δημιουργούνται από ρευματοφόρες συσκευές επάγουν ηλεκτρικά ρεύματα σε αγωγίμα υλικά, συμπεριλαμβανομένου του ανθρώπινου σώματος. Στις περισσότερες περιπτώσεις τα επαγόμενα ρεύματα είναι πολύ μικρά για να προκαλέσουν διέγερση σε νευρώνα. Ωστόσο, πεδία ικανά να προκαλέσουν διέγερση, μπορεί να βρίσκονται σε διάφορες βιομηχανικές εγκαταστάσεις ή ακόμη και σε ιατρικές διαγνωστικές συσκευές [111].

Ο προσδιορισμός των ρευμάτων αυτών δεν μπορεί να γίνει με μέτρηση (αφού ρέουν εντός του ανθρώπου), αλλά με υπολογισμό. Για πεδία χαμηλής συχνότητας έχουν αναπτυχθεί διάφορα υπολογιστικά μοντέλα. Μια απλή προσέγγιση είναι να θεωρηθεί το ανθρώπινο σώμα σα να είναι φτιαγμένο από δακτύλιους κάθετους στην διεύθυνση του μαγνητικού πεδίου (βλ. σχήμα 1.5.2.1). Το μαγνητικό πεδίο επάγει στο

σώμα ένα ηλεκτρικό πεδίο με κλειστές δυναμικές γραμμές [123]. Το επαγόμενο πεδίο στη συνέχεια προκαλεί την ροή δυνουρευμάτων τα οποία ακολουθούν την φορά του ηλεκτρικού πεδίου σε ένα μέσο ομογενούς αγωγιμότητας [20,111].

Κατά το νόμο του Faraday, το εσωτερικά επαγόμενο ηλεκτρικό πεδίο συνδέεται με το ρυθμό μεταβολής της μαγνητικής πυκνότητας ροής:

$$\oint_c E dl = -\frac{\partial}{\partial t} \iint B ds \quad (1.5.2.1)$$

Το επαγόμενο ηλεκτρικό πεδίο σε έναν κύκλο ακτίνας r , υπολογίζεται από τη σχέση:

$$E = -\frac{r}{2} \frac{dB}{dt} \quad (1.5.2.2)$$

Όταν το μαγνητικό πεδίο μεταβάλλεται αρμονικά ($B=B_0 \cos 2\pi ft$), όπου B_0 το πλάτος, η (1.5.2.2) γίνεται:

$$E t = r\pi f B_0 \sin 2\pi ft \quad (1.5.2.3)$$

όπου ο όρος στην παρένθεση είναι η μέγιστη επαγόμενη πεδιακή ένταση. Συχνά γίνονται υπολογισμοί χωρίς να λαμβάνεται υπόψη ο ημιτονοειδής όρος [20] οπότε:

$$E = r\pi f B \quad (1.5.2.4)$$

Όπου αμφότερα τα μεγέθη E, B μπορούν να εκφράζονται σε τιμές rms [20].

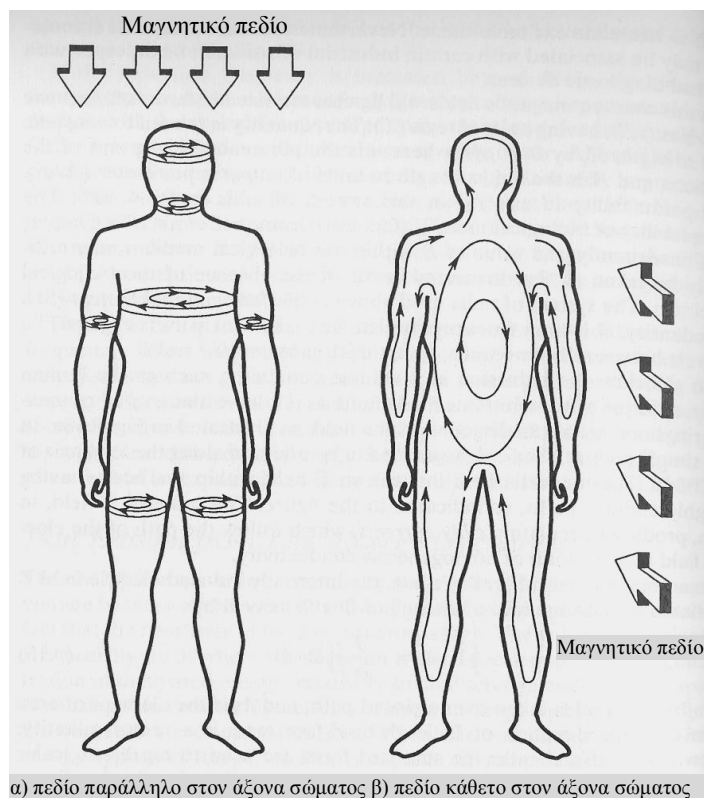
Από τη σχέση 1.5.2.4 φαίνεται ότι για δεδομένο μαγνητικό πεδίο και συχνότητα, η μεγαλύτερη ηλεκτρική πεδιακή ένταση E , θα εμφανίζεται στην μεγαλύτερη ακτίνα. Σύμφωνα λοιπόν με το απλό αυτό μοντέλο, η μέγιστη πεδιακή ένταση ολόσωμης έκθεσης ανθρώπου εντός μαγνητικού πεδίου, θα εμφανίζεται στον εσωτερικό κύκλο μέγιστης ακτίνας (βλ.σχήμα 1.5.2.1). Η πυκνότητα ρεύματος που προκαλείται από το επαγόμενο ηλεκτρικό πεδίο θα δίνεται από το νόμο του Ohm : $J=\sigma E$, οπότε συνδυάζοντας με τη σχέση (1.5.2.4) θα προκύψει [123]:

$$J = \sigma \pi r f B \quad (1.5.2.5)$$

Όπου οι τιμές για τα J, B εκφράζονται σε τιμές rms.

Για επαγωγή σε ζωντανούς οργανισμούς, ο υπολογισμός της κατανομής ρεύματος γίνεται περισσότερο πολύπλοκος λόγω της διαφορετικής αγωγιμότητας που έχουν οι ιστοί. Ωστόσο υποθέτοντας μια μέση αγωγιμότητα 0,2 S/m [15] και μια μέση ακτίνα ανθρώπινου κορμού 0,25 m, στα 50 Hz η ρευματική πυκνότητα θα είναι [123]:

$$J = 2,5\pi B \quad (1.5.2.6)$$



Σχήμα 1.5.2.1: Άνθρωπος εντός εναλλασσόμενου μαγνητικού πεδίου. α) Το μαγνητικό πεδίο είναι παράλληλο στον άξονα του σώματος, β) Το μαγνητικό πεδίο είναι κάθετο στον άξονα του σώματος. Οι κύκλοι στο σώμα υποδεικνύουν το επαγόμενο ηλεκτρικό πεδίο και το ρεύμα. Η διεύθυνση του πεδίου και των ρευμάτων αντιστρέφεται ανα μισή περίοδο (10 ms στα 50 Hz) [111].

Εφαρμογή μαγνητικού πεδίου 100 μT (όριο INCIRP για γενικό πληθυσμό), συνεπάγεται μια ρευματική πυκνότητα 785 $\mu\text{A}/\text{m}^2$, τιμή πολύ μικρότερη από αυτή που μπορεί να προκαλέσει ερέθισμα σε νευρικό κύτταρο [111]. Αντίστοιχα (για $f=50\text{ Hz}$, $r=0,25\text{ m}$) για την ηλεκτρική πεδιακή ένταση θα είναι:

$$E = 12,5\pi B \quad (1.5.2.7)$$

Στην περίπτωση αυτή το ηλεκτρικό πεδίο που προκύπτει για το μαγνητικό πεδίο 100 μT , θα είναι 3,9 mV/m, τιμή πολύ μικρότερη από αυτή που μπορεί να προκαλέσει ερέθισμα σε νευρικό κύτταρο [111].

Για συχνότητες και ακτίνες κορμού διαφορετικές από τις προηγούμενες, η σχέση (1.5.2.6.) γίνεται [123]:

$$J = 2\pi B \cdot r / 0,25 \cdot f / 50 \quad (1.5.2.8)$$

και η σχέση (1.5.2.7) γίνεται:

$$E = 10\pi B \cdot r / 0,25 \cdot f / 50 \quad (1.5.2.9)$$

Όπου (r) η ακτίνα κορμού σε m και (f) η συχνότητα σε Hz.

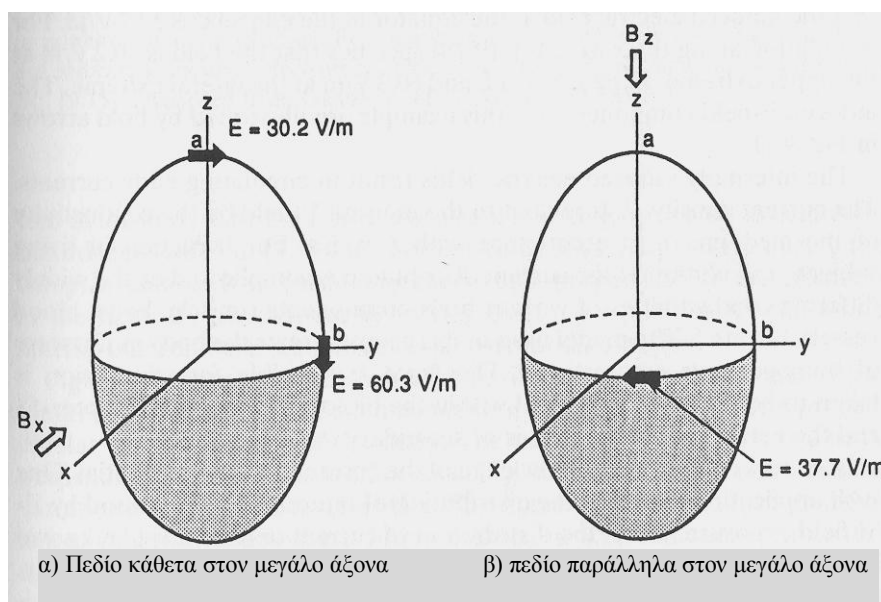
Οι σχέσεις αυτές ισχύουν για συχνότητες έως 10 kHz, αφού σε αυτή την περιοχή η μέση αγωγιμότητα παραμένει πρακτικά ίδια [20].

Σύμφωνα με ένα ποιο σύνθετο μοντέλο, ο άνθρωπος μπορεί να θεωρηθεί ως ένα ελλειψοειδές εκ περιστροφής [20,111,124]. Το μοντέλο αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε για ολόκληρο το σώμα [124], είτε για τον κορμό μόνο [111]. Κάθε μια από τις τρεις συνιστώσες μαγνητικής επαγωγής B_x , B_y , B_z , θα δημιουργήσει μια συνιστώσα ηλεκτρικού πεδίου. Αυτές οι συνιστώσες θα είναι [111]:

$$E_1 = \frac{-j2\pi f B_x (a^2 y \hat{z} - b^2 z \hat{y})}{(a^2 + b^2)} \quad (1.5.2.10\alpha)$$

$$E_2 = \frac{+j2\pi f B_y (a^2 x \hat{z} - b^2 z \hat{x})}{(a^2 + b^2)} \quad (1.5.2.10\beta)$$

$$E_3 = j\pi f B_z (y \hat{x} - x \hat{y}) \quad (1.5.2.10\gamma)$$



Σχήμα 1.5.2.2: Ελλειψοειδές εκ περιστροφής εντός μαγνητικού πεδίου: α) κάθετου στον άξονα του σώματος (z) , β) παράλληλου στον άξονα του σώματος [111].

Στις σχέσεις (1.5.2.10α, 1.5.2.10β, 1.5.2.10γ) $\hat{x}, \hat{y}, \hat{z}$, είναι τα χαρακτηριστικά μοναδιαία διανύσματα και j η φανταστική μονάδα. Όπως φαίνεται από τα σχήματα 1.5.2.1 και 1.5.2.2, το μαγνητικό πεδίο στη διεύθυνση z , προκαλεί κλειστό ηλεκτρικό πεδίο στο επίπεδο xy , ενώ το μαγνητικό πεδίο στην διεύθυνση x , προκαλεί κλειστό ηλεκτρικό πεδίο στο επίπεδο yz . Από τις παραπάνω σχέσεις μπορούν να προκύψουν για το μέτρο των διανυσμάτων οι σχέσεις:

$$|E_1| = \frac{2\pi fB_x \sqrt{a^4 y^2 + b^4 z^2}}{(a^2 + b^2)} \quad (1.5.2.11\alpha)$$

$$|E_2| = \frac{2\pi fB_y \sqrt{a^4 x^2 + b^4 z^2}}{(a^2 + b^2)} \quad (1.5.2.11\beta)$$

$$|E_3| = \pi fB_z \sqrt{y^2 + x^2} \quad (1.5.2.11\gamma)$$

Όπως φαίνεται από τις σχέσεις αυτές και από το σχήμα 1.5.2.2, οι μέγιστες τιμές για την ηλεκτρική πεδιακή ένταση είναι για $z=a$ και $x=y=b$ [111]. Σε αυτή την περίπτωση προκύπτουν οι σχέσεις :

$$|E_{1,\max}| = |E_{2,\max}| = \frac{2\pi fB_{x,y} ab}{\sqrt{a^2 + b^2}} \quad (1.5.2.12\alpha)$$

$$|E_{3,\max}| = \sqrt{2}\pi fB_z b = 4,44 fB_z b \quad (1.5.2.12\beta)$$

Αν το μαγνητικό πεδίο έχει διεύθυνση μόνο στον άξονα x , θα προκύψει μόνο η E_1 , το μέτρο της οποίας δίνεται από τη σχέση (1.5.2.11α). Σε αυτή την περίπτωση από τη σχέση (1.5.2.12β) είναι $E_2 = E_3 = 0$. Όμοια ισχύουν και για τις άλλες διευθύνσεις. Από τις σχέσεις (1.5.2.12α και 1.5.2.12β) φαίνεται ότι αν ασκηθεί μαγνητικό πεδίο με διεύθυνση είτε στον άξονα x μόνο, είτε στον άξονα y μόνο, το ηλεκτρικό πεδίο που θα προκύψει θα έχει την ίδια τιμή. Διαφορετικά είναι τα πράγματα όταν ασκηθεί πεδίο με διεύθυνση μόνο στον άξονα z . Αν το μαγνητικό πεδίο είναι κάθετο στον άξονα του σώματος (σχήματα 1.5.2.1β και 1.5.2.2α) δηλ. υπάρχουν μόνο οι πεδιακές συνιστώσες E_1 και E_2 , τότε το ηλεκτρικό πεδίο που θα προκύψει θα είναι μεγαλύτερο από ότι αν το μαγνητικό πεδίο είναι παράλληλο στον άξονα του σώματος (σχήματα 1.5.2.1α και 1.5.2.2β), όπως φαίνεται και από τις σχέσεις (1.5.2.12α και 1.5.2.12β).

Θεωρώντας τα αριθμητικά δεδομένα:

- Πυκνότητα ροής μαγνητικού πεδίου $B=100 \mu T$ (όριο έκθεσης για τον γενικό πληθυσμό),

- Συχνότητα $f=50$ Hz,
 - Ημιάξονας $a=0,85$ m (ήμισυ ανθρώπινου ύψους),
 - Ημιάξονας $b=0,25$ m (ήμισυ από ώμο σε ώμο),
- και αντικαθιστώντας στις (1.5.2.12α και 1.5.2.12β) είναι:

$$|E_{1,\max}|=|E_{2,\max}|=7,5 \text{ mV/m}$$

$$|E_{3,\max}|=5,5 \text{ mV/m}$$

Το παράδειγμα αυτό δείχνει ότι η μεγαλύτερη τιμή ηλεκτρικού πεδίου εμφανίζεται αν ασκηθεί μαγνητικό πεδίο είτε στη διεύθυνση x , είτε στη διεύθυνση y . Αν το μαγνητικό πεδίο είναι στη διεύθυνση z , το ηλεκτρικό πεδίο που θα προκύψει στον άνθρωπο θα είναι μικρότερο περίπου κατά 35%. Επιπλέον, οι τιμές αυτές είναι μεν μεγαλύτερες από αυτές που προσδιορίστηκαν με το προηγούμενο μοντέλο (σχέση (1.5.2.7)), αλλά και πάλι είναι μικρότερες από αυτές που θα μπορούσαν να προκαλέσουν νευρικό ερέθισμα [111]. Ο λόγος των συνιστωσών E_3 / E_1 (θεωρώντας $B_x=B_z$), εξαρτάται από τις διαστάσεις a και b . Διαιρώντας κατά μέλη τις σχέσεις (1.5.2.12α) και (1.5.2.12β) προκύπτει:

$$\frac{|E_3|}{|E_1|} = \sqrt{\frac{1+(b/a)^2}{2}} \quad (1.5.2.13)$$

Όπως φαίνεται από την (1.5.2.13), ο λόγος $|E_3|/|E_1|$ είναι ανεξάρτητος από την συχνότητα. Θεωρώντας ότι στον άνθρωπο $2a/b=6,34$ (ύψος προς ήμισυ από ώμο σε ώμο) [124], ο λόγος των ημιαξόνων θα είναι $b/a=0,315$ προκύπτει $|E_3|/|E_1|=0,74$ ή $|E_1|/|E_3|=1,35$.

Έχοντας ήδη υπολογίσει την ηλεκτρική πεδιακή ένταση και με γνωστή την ειδική αγωγιμότητα του ανθρώπου ($0,2$ S/m), από το νόμο του Ohm ισχύει για την πυκνότητα ρεύματος:

$$J_{1,2}=1,5 \text{ mA/m}^2 \text{ και } J_3=1,1 \text{ mA/m}^2$$

Οι παραπάνω πυκνότητες ρεύματος είναι πολύ μικρότερες από αυτές που απαιτούνται για να προκαλέσουν ερέθισμα σε νευρικό κύτταρο [111].

Ακόμη πιο ακριβής υπολογισμός γίνεται με τη μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών [120,124]. Στον πίνακα 1.5.2.1 δίνονται αποτελέσματα με τη μέθοδο αυτή προσδιορισμού της πυκνότητας ρεύματος για έκθεση σε μαγνητικό πεδίο $500 \mu\text{T}$, 50 Hz.

Όπως φαίνεται από τον πίνακα 1.5.2.1, η μέση ολόσωμη πυκνότητα ρεύματος δεν ξεπερνά τα $J=1,2 \text{ mA/m}^2$. Η τιμή αυτή ισχύει για τα $500 \mu\text{T}$ και υπολογίστηκε βάση

συνθετών υπολογιστικών μοντέλων και θα πρέπει να θεωρείται ακριβέστερη από τα αποτελέσματα των σχέσεων που έχουν δοθεί προηγουμένως.

Ερευνητής	Πυκνότητα ρεύματος [mA/m ²]		Μέρος σώματος	Μέθοδος- Ανάλυση
	Μέγιστη	Μέση		
Xi (1994)	3,7	0,53	Ολόσωμη	Μέθοδος Σύνθετης αντίστασης, ανάλυση 1,3 cm, ομογενές πεδίο
Stuchly, Zhao (1996)	10	1,2	Ολόσωμη	Μέθοδος Σύνθετης αντίστασης, ανάλυση 1,3 cm, εγγύς πεδίο
	7,7	0,78	Κεφάλι	Όπως παραπάνω 0,67 cm ανάλυση
Dawson 1997	2,8	0,5	Καρδιά	Μέθοδος SPFD*, ανάλυση 3,6 mm, ομογενές πεδίο
	32	6,3	Σωματικό υγρό	
	32	1,2	Ολόσωμη	
Dimbylow 1998	41	-	Ολόσωμη	Μέθοδος SPFD*, ανάλυση 2 mm, ομογενές πεδίο, 1 voxel
	19	-	Ολόσωμη	Όπως παραπάνω 10 mm ² μέση ανάλυση
Dawson 1999	>1,2	0,78	Μυοκάρδιο	Μέθοδος SPFD*
	>4,4	2,8	Αίμα στην καρδιά	Ανάλυση 3,6 mm, εγγύς πεδίο

Πίνακας 1.5.2.1: Πυκνότητα ρεύματος επαγόμενη στο ανθρώπινο σώμα από έκθεση σε μαγνητικό πεδίο 50 Hz, 500 μT, όπως προσδιορίστηκε από διάφορα υπολογιστικά μοντέλα.

*SPFD=Scalar Potential Finite Difference=

(Μέθοδος) πεπερασμένων διαφορών βαθμωτού δυναμικού [20].

2.ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΙΩΣΗΣ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

2.1 Γενική περιγραφή

Σημαντικό μέρος της έρευνας, που γίνεται για το ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο των δικτύων μεταφοράς και διανομής και των εγκαταστάσεων, αφορά τις διάφορες λύσεις και τεχνικές που μπορούν να εφαρμοστούν για την μείωση τους, με σκοπό την κατά το δυνατό μεγαλύτερη προστασία του κοινού και των εργαζομένων. Πλήθος μεθόδων για τη μείωση των πεδίων σε γραμμές μεταφοράς και σε ηλεκτρικές εγκαταστάσεις αναφέρονται στη βιβλιογραφία [50÷106]. Ορισμένες από αυτές είναι: ο διαχωρισμός και η αλλαγή της διάταξης των φάσεων, η συμπαγής σχεδίαση των γραμμών, η αύξηση του ύψους ανάρτησης των αγωγών και η χρήση διαφόρων υλικών για τη θωράκιση του εξοπλισμού ή των διαφόρων χώρων των υποσταθμών. Παραδείγματα τεχνικών που χρησιμοποιούνται στις γραμμές διανομής ηλεκτρικής ενέργειας για τη μείωση του ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου είναι, η αναδιάταξη των αγωγών των φάσεων και η σύμπτυξη των γραμμών. Γειωμένα μεταλλικά μονοπάτια στους υποσταθμούς ή η κατάλληλη τοποθέτηση δένδρων μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την μείωση του ηλεκτρικού πεδίου [58].

Μέσω του θεωρητικού υπολογισμού του μαγνητικού πεδίου για ένα και τρεις αγωγούς προκύπτουν χρήσιμα συμπεράσματα για τις μεθόδους μείωσης του μαγνητικού πεδίου που μπορεί να χρησιμοποιηθούν.

2.1.1 Υπολογισμός μαγνητικού πεδίου για ένα αγωγό

Για αγωγό γραμμικής πυκνότητας λ ο οποίος διαρρέεται από ρεύμα εντάσεως I σε ύψος h πάνω από την επιφάνεια του εδάφους. Έστω σημείο K στην επιφάνεια το οποίο απέχει απόσταση R από τον αγωγό (σχήμα 2.1.1). Χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του κατοπτρισμού υπολογίζεται το μαγνητικό πεδίο που δημιουργεί ο αγωγός. Από την επίδραση του αγωγού 1 ρεύματος I , προκύπτει η μαγνητική επαγωγή:

$$\vec{B}_1 = \mu_o \frac{I}{2\pi R} \quad (2.1.1.1)$$

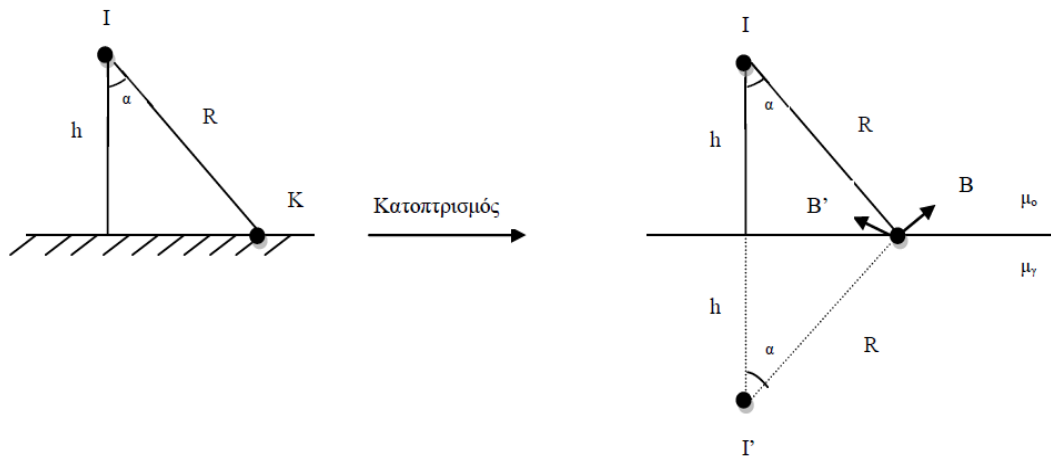
Ομοίως από το αγωγό 2 προκύπτει

$$\vec{B}_2 = \mu_o \frac{I'}{2\pi R} \quad (2.1.1.2)$$

Όπου $I' = I(\mu_\gamma - \mu_o) / (\mu_\gamma + \mu_o)$

Σύμφωνα με την επαλληλία η ολική μαγνητική επαγωγή θα ισούται με

$$\vec{B}_{ολ} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 \quad (2.1.1.3)$$



Σχήμα 2.1.1: Υπολογισμός του μαγνητικού πεδίου ενός αγωγού, σε σημείο Κ που απέχει από αυτόν απόσταση R , με τη μέθοδο του κατοπτρισμού.

Σημείωση : Ο αγωγός διαρρέεται από ρεύμα εντάσεως I σε ύψος h πάνω από την επιφάνεια του εδάφους
 μ_0 : μαγνητική διαπερατότητα του κενού
 μ_γ : μαγνητική διαπερατότητα εδάφους

Αναλύοντας τα \vec{B}_1 και \vec{B}_2 στους άξονες x και y προκύπτει

Άξονας x

$$\begin{aligned} \vec{B}_{ολx} &= \vec{B}_{1x} + \vec{B}_{2x} = [\mu_0 I \sigma \nu \alpha / (2\pi R)] \vec{x} - [\mu_0 I' \sigma \nu \alpha / (2\pi R)] \vec{x} = \\ &= [\mu_0 \sigma \nu \alpha (I - I') / 2\pi R] \vec{x} = \{ \mu_0 \sigma \nu \alpha [I - I(\mu_\gamma - \mu_0) / (\mu_\gamma + \mu_0)] / 2\pi R \} \vec{x} \Rightarrow \\ \vec{B}_{ολx} &= \left[I \mu_0^2 \sigma \nu \alpha / \pi R (\mu_\gamma + \mu_0) \right] \vec{x} \end{aligned} \quad (2.1.1.4)$$

Όμως $R = h / \sigma \nu \alpha$, οπότε

$$\vec{B}_{ολx} = \left[I \mu_0^2 \sigma \nu^2 \alpha / \pi h (\mu_\gamma + \mu_0) \right] \vec{x} \quad (2.1.1.5)$$

Άξονας y

$$\begin{aligned} \vec{B}_{ολy} &= \vec{B}_{1y} + \vec{B}_{2y} = [\mu_0 I \eta \mu \alpha / (2\pi R)] \vec{y} + [\mu_0 I' \eta \mu \alpha / (2\pi R)] \vec{y} = \\ &= [\mu_0 \eta \mu \alpha (I + I') / 2\pi R] \vec{y} = \{ \mu_0 \eta \mu \alpha [I + I(\mu_\gamma - \mu_0) / (\mu_\gamma + \mu_0)] / 2\pi R \} \vec{y} \Rightarrow \end{aligned}$$

$$\vec{B}_{o\lambda y} = \left[I \mu_o \mu_\gamma \eta \mu \alpha / \pi h (\mu_\gamma + \mu_o) \right] \vec{y} \quad (2.1.1.6)$$

Όμως $R = h / \sigma \nu \alpha$, οπότε

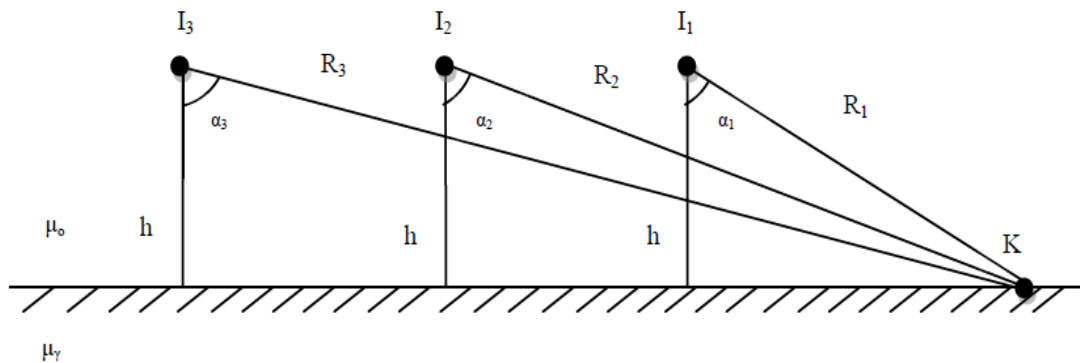
$$\vec{B}_{o\lambda y} = \left[I \mu_o \mu_\gamma \eta \mu \alpha \sigma \nu \alpha / \pi h (\mu_\gamma + \mu_o) \right] \vec{y} \quad (2.1.1.7)$$

Άρα η ολική μαγνητική επαγωγή του αγωγού θα είναι:

$$\vec{B}_{o\lambda} = \vec{B}_{o\lambda x} + \vec{B}_{o\lambda y} = \left[I \mu_o^2 \sigma \nu^2 \alpha / \pi h (\mu_\gamma + \mu_o) \right] \vec{x} + \left[I \mu_o \mu_\gamma \eta \mu \alpha \sigma \nu \alpha / \pi h (\mu_\gamma + \mu_o) \right] \vec{y} \quad (2.1.1.8)$$

2.1.2 Υπολογισμός μαγνητικού πεδίου για τρεις αγωγούς

Έστω τυχαίο σημείο K στην επιφάνεια του εδάφους το οποίο απέχει απόσταση R_1, R_2, R_3 αντίστοιχα από τρεις αγωγούς. Θεωρείται οι τρεις αγωγοί διαρρέονται από ρεύματα I_1, I_2, I_3 αντίστοιχα (σχήμα 2.1.2). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης του μαγνητικού πεδίου για έναν αγωγό και βάση της αρχής της επαλληλίας, προκύπτει ότι η συνολική τιμή του πεδίου θα ισούται με το διανυσματικό άθροισμα των επιδράσεων των τριών αγωγών.



Σχήμα 2.1.2: Υπολογισμός του μαγνητικού πεδίου τριών αγωγών, σε σημείο K που απέχει από αυτούς απόσταση R,

Σημείωση : Οι αγωγοί διαρρέονται από ρεύματα εντάσεως I_1, I_2 και I_3 σε ύψος h πάνω από την επιφάνεια του εδάφους

μ_o : μαγνητική διαπερατότητα του κενού

μ_γ : μαγνητική διαπερατότητα εδάφους

Μαγνητικό πεδίο αγωγού 1:

$$\vec{B}_1 = \left[I_1 \mu_o^2 \sigma \nu^2 \alpha_1 / \pi h (\mu_\gamma + \mu_o) \right] \vec{x} + \left[I_1 \mu_o \mu_\gamma \eta \mu \alpha_1 \sigma \nu \alpha_1 / \pi h (\mu_\gamma + \mu_o) \right] \vec{y} \quad (2.1.2.1)$$

Μαγνητικό πεδίο αγωγού 2:

$$\vec{B}_2 = \left[I_2 \mu_o^2 \sigma \nu^2 \alpha_2 / \pi h (\mu_\gamma + \mu_o) \right] \vec{x} + \left[I_2 \mu_o \mu_\gamma \eta \mu \alpha_2 \sigma \nu \alpha_2 / \pi h (\mu_\gamma + \mu_o) \right] \vec{y} \quad (2.1.2.2)$$

Μαγνητικό πεδίο αγωγού 3:

$$\vec{B}_3 = \left[I_3 \mu_o^2 \sigma \nu^2 \alpha_3 / \pi h (\mu_\gamma + \mu_o) \right] \vec{x} + \left[I_3 \mu_o \mu_\gamma \eta \mu \alpha_3 \sigma \nu \alpha_3 / \pi h (\mu_\gamma + \mu_o) \right] \vec{y} \quad (2.1.2.3)$$

Το συνολικό μαγνητικό πεδίο είναι:

$$\vec{B}_{ολ} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \vec{B}_3 \quad (2.1.2.4)$$

$$\vec{B}_{ολ} = \left[\mu_o^2 \quad I_1 \sigma \nu^2 \alpha_1 + I_2 \sigma \nu^2 \alpha_2 + I_3 \sigma \nu^2 \alpha_3 \quad / \pi h \quad \mu_\gamma + \mu_o \right] \vec{x} + \left[\mu_o \mu_\gamma \quad I_1 \eta \mu \alpha_1 \sigma \nu \alpha_1 + I_2 \eta \mu \alpha_2 \sigma \nu \alpha_2 + I_3 \eta \mu \alpha_3 \sigma \nu \alpha_3 \quad / \pi h \quad \mu_\gamma + \mu_o \right] \vec{y} \quad (2.1.2.5)$$

Σύμφωνα με τα παραπάνω η μείωση του μαγνητικού πεδίου από αγωγούς μπορεί να γίνει με τη μείωση των ρευμάτων που τους διαρρέουν, τη μείωση της απόστασης μεταξύ τους και με την αύξηση της απόστασης από τους αγωγούς.

Με τη χρήση της σχέσης (2.1.2.5) γίνεται ο υπολογισμός της μαγνητικής επαγωγής κάτω από εναέριες γραμμές μέσης τάσης 20 kV, σε σημείο K (βλ. σχήμα 2.1.2) σε ύψος 1,5 m από το έδαφος και σε οριζόντια απόσταση 1 m από τον αγωγό που διαρρέεται από ρεύμα I_1 .

Για το υπολογισμό γίνονται οι εξής παραδοχές:

- Η απόσταση μεταξύ των αγωγών μέσης τάσης θεωρείται 1 m.
- Το ύψος ανάρτησης των αγωγών θεωρείται 10 m από το έδαφος.
- Οι αγωγοί διαρρέονται από το ίδιο ρεύμα $I=4,72$ A.
- Η μαγνητική διαπερατότητα εδάφους θεωρείται ίση με αυτή του κενού.

Η οριζόντια απόσταση του σημείου K από τους άλλους δύο αγωγούς είναι 2 m και 3 m αντίστοιχα. Το ύψος h είναι 8,5 m και οι γωνίες α_1 , α_2 και α_3 είναι $6,71^\circ$, $13,24^\circ$ και $19,44^\circ$ αντίστοιχα. Με αντικατάσταση στη σχέση (2.1.2.5) προκύπτει $B_{ολ} = 0,32 \mu T$.

Η τιμή αυτή της μαγνητικής επαγωγής είναι εντός του εύρους των τιμών που αναφέρονται στην παράγραφο 1.3.2 για μετρήσεις κάτω από εναέριες γραμμές μέσης τάσης 20 kV.

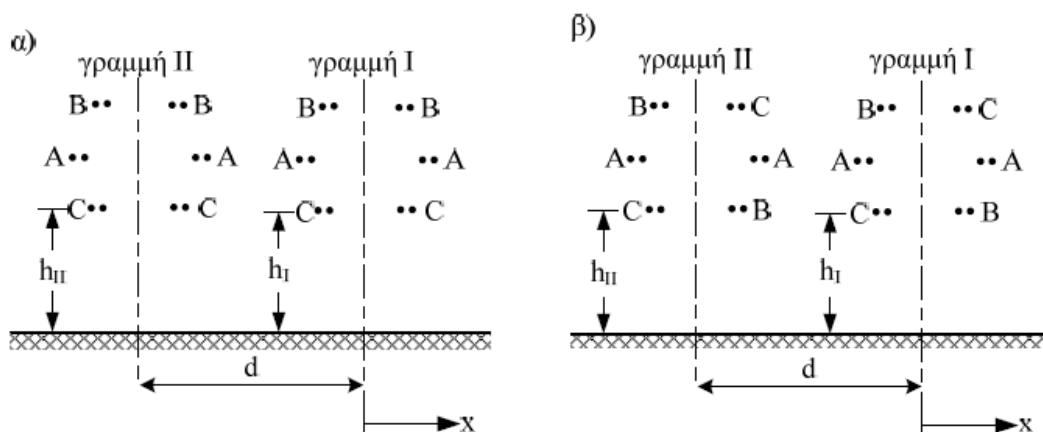
2.2 Μείωση ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου σε γραμμές μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας

Στις γραμμές μεταφοράς και διανομής οι τεχνικές μείωσης του ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου που εφαρμόζονται είναι κυρίως κατασκευαστικές. Ορισμένες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τη μείωση των πεδίων στις εναέριες γραμμές

ηλεκτρικής ενέργειας, είναι ο διαχωρισμός των φάσεων [64,65,66], η συμπαγής σχεδίαση των γραμμών [23,67] και η αύξηση του ύψους ανάρτησης των αγωγών [68,69].

Για τις διάφορες μεθόδους μείωσης του ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου έχουν γίνει εκτενείς έρευνες [68]. Αξιολόγηση του κόστους μείωσης του μαγνητικού πεδίου κοντά σε κατοικημένες περιοχές όπου υπάρχουν υπέργειες γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας έγινε από το Εθνικό Ινστιτούτο Δημόσιας Υγείας και Περιβάλλοντος της Ολλανδίας [70].

Στη βιβλιογραφία δίνονται θεωρητικοί υπολογισμοί μέσω προσεγγιστικών εξισώσεων του μαγνητικού πεδίου για διαφορετικές διατάξεις γραμμών διανομής [23]. Αυτές οι προσεγγιστικές εξισώσεις βοηθούν ώστε να δώσουν γρήγορες εκτιμήσεις όπως και επίσης βοηθούν στην κατανόηση της εξάρτησης των διαφόρων παραμέτρων του μαγνητικού πεδίου. Οι διατάξεις των γραμμών διανομής μπορεί να είναι ποιο συνεπτυγμένου μεγέθους όταν χρησιμοποιούνται καλώδια και αγωγοί με μόνωση στις φάσεις [71,72].



Σχήμα 2.2.1: Διάταξη των αγωγών των φάσεων σε δύο παράλληλα οδεύουσες γραμμές 400 kV διπλού κυκλώματος που χρησιμοποιήθηκε κατά την διαδικασία των μετρήσεων [51].

α) Συμμετρική διάταξη των αγωγών των φάσεων BAC|BAC
BAC|BAC

β) Βέλτιστη διάταξη των αγωγών των φάσεων BAC|CAB
BAC|CAB

Σημείωση:

d : Η απόσταση μεταξύ των αξόνων των γραμμών

h_I, h_{II} : Οι αποστάσεις των κάτω αγωγών των γραμμών I και II από το έδαφος.

Η κατεύθυνση της ροής φορτίου λαμβάνεται υπόψη για τη βέλτιστη διάταξη των φάσεων σε γραμμές διπλού κυκλώματος [73]. Στη βιβλιογραφία δίνεται μία θεωρητική μέθοδος της ρύθμισης της ροής φορτίου σε γραμμές μεταφοράς ενέργειας, με σκοπό τη μείωση του μαγνητικού πεδίου [74]. Για την αξιολόγηση της

χρησιμότητας του προτεινόμενου μοντέλου εφαρμόστηκε η μέθοδος αυτή, σε ένα πρότυπο μοντέλο προσομοιώσεων δικτύων του IEEE.

Σε πρόσφατη επιστημονική εργασία [51] έγιναν μετρήσεις και υπολογισμοί της μαγνητικής επαγωγής σε μοντέλο γραμμών όπως επίσης και σε πραγματικές γραμμές 400 kV διπλού κυκλώματος για την πειραματική επαλήθευση της μείωσης της μαγνητικής επαγωγής με την εφαρμογή της βέλτιστης διάταξης των αγωγών των φάσεων. Στο σχήμα 2.2.1 δίνονται η συμμετρική και η προτεινόμενη βέλτιστη διάταξη των αγωγών των φάσεων για την μείωση της μαγνητικής επαγωγής.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας τόσο στο πειραματικό μοντέλο όσο και στις πραγματικές γραμμές επιτεύχθηκε μεγάλη μείωση της μαγνητικής επαγωγής κατά την εφαρμογή της βέλτιστης διάταξης των αγωγών.

2.3 Μείωση του μαγνητικού πεδίου σε υπόγεια συστήματα διανομής και καλώδια

Η μείωση του μαγνητικού πεδίου στα υπόγεια καλώδια επιτυγχάνεται κυρίως με τη χρήση διάφορων υλικών θωράκισης [84,85,86,87,88] ή με τη αλλαγή της διάταξης των φάσεων [51,89,90,91]. Στη βιβλιογραφία γίνεται μία ταύτιση των θεωρητικών υπολογισμών και των πειραματικών μετρήσεων σε τριφασικούς αγωγούς για τη μείωση του μαγνητικού πεδίου, με τη χρήση πλακών αλουμινίου, χαλκού και σιδήρου [84]. Έρευνες έχουν γίνει επίσης για διάφορες δυνατές διατάξεις των φάσεων καλωδίων 150 kV και 400 kV καθώς και υπολογισμοί για την ελαχιστοποίηση της μαγνητικής επαγωγής από αυτά [51]. Από τους υπολογισμούς που έγιναν προκύπτει ότι οι βέλτιστες διατάξεις των φάσεων που προτείνονται, για διάφορα βάθη εγκατάστασης και αποστάσεις μεταξύ των καλωδίων, προκαλούν μεγάλη μείωση της μαγνητικής επαγωγής.

2.4 Μείωση ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου σε υποσταθμούς εξωτερικού χώρου

Τεχνικές μείωσης του ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου που εφαρμόζονται σε υποσταθμούς εξωτερικού χώρου επικεντρώνονται κυρίως σε κατασκευαστικές αλλαγές, θωράκιση του εξοπλισμού με διάφορα υλικά, αύξηση της απόστασης των εργαζομένων από τις πηγές δημιουργίας των πεδίων [92,93,94,95]. Μια μέθοδος προστασίας των εργαζομένων από την έκθεση τους στο ηλεκτρικό πεδίο είναι η χρησιμοποίηση προστατευτικών αγωγίμων ρούχων κατά την παρουσία τους στους υποσταθμούς. Με την κατασκευή υποσταθμών με μονωτικό αέριο είναι δυνατή η μείωση του ηλεκτρικού πεδίου και του μαγνητικού πεδίου [92,93]. Πρέπει να επισημανθεί ότι το κόστος κατασκευής ενός τέτοιου υποσταθμού είναι μεγάλο. Μείωση του μαγνητικού πεδίου κατά 25 % σε ένα υποσταθμό εσωτερικού χώρου 69/13,8 kV , επιτεύχθηκε με την αύξηση του ύψους ανάρτησης των ζυγών κατά 0,6 m [94]. Στην ίδια εργασία σε ένα

υποσταθμό εξωτερικού χώρου 115/13,8 kV μείωση του πεδίου επιτεύχθηκε με την αλλαγή των φάσεων των ζυγών.

2.5 Μείωση ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου σε υποσταθμούς εσωτερικού χώρου

Οι τεχνικές μείωσης των ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων που εκδηλώνονται σε υποσταθμούς εσωτερικού χώρου, αφορούν κυρίως κατασκευαστικές αλλαγές ή θωράκιση του εξοπλισμού και των διαφόρων χώρων τους με διάφορα υλικά όπως το αλουμίνιο, ο χαλκός και ο σίδηρος.

Στη βιβλιογραφία δίνονται διάφορες μέθοδοι εξασθένισης του μαγνητικού πεδίου που εφαρμόζονται σε υποσταθμούς εσωτερικού χώρου [96,97,98,99,100,102, 103,104,105,106]. Πρόκειται κυρίως για αντικατάσταση των ζυγών από καλώδια, αλλαγή του μετασχηματιστή από άλλο νεότερης τεχνολογίας, θωράκιση με πλάκες αλουμινίου σε μετασχηματιστές και καλώδια και η αλλαγή της διάταξης των φάσεων στους αγωγούς χαμηλής τάσης.

Δυο μέθοδοι μείωσης του μαγνητικού πεδίου σε καλώδια χαμηλής τάσης υποσταθμών εσωτερικού χώρου παρουσιάζονται στη βιβλιογραφία [98]. Η πρώτη μέθοδος αφορά τη μείωση του πεδίου που επιτυγχάνεται από τη αλλαγή της διάταξης των φάσεων των αγωγών των καλωδίων. Η δεύτερη μέθοδος που εφαρμόστηκε αφορά τη θωράκιση των καλωδίων με πλάκες διάφορων υλικών και παχών όπως επίσης και συνδυασμούς τους. Στον πίνακα 2.5.1 δίνονται οι τιμές της μαγνητικής επαγωγής που μετρήθηκαν σε ύψος 1 m από τα καλώδια, χωρίς και με θωράκιση από υλικά διάφορων παχών και συνδυασμούς τους. Επίσης δίνεται το ποσοστό επί τις (%) του λόγου των τιμών της μαγνητικής επαγωγής που μετρήθηκαν με τη χρήση των υλικών αυτών προς την τιμή της μαγνητικής επαγωγής χωρίς τη θωράκιση. Από τον πίνακα 2.5.1 παρατηρούμε πως το αλουμίνιο και ο χαλκός παρουσιάζουν την καλύτερη συμπεριφορά.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων του μαγνητικού πεδίου σε δυο μετασχηματιστές 10/0,4 kV, 800 kVA σε ένα υποσταθμό εσωτερικού χώρου με και χωρίς θωράκιση κάτω από ίδιες συνθήκες λειτουργίας δίδονται στην [96]. Το μέσο για τη θωράκιση που χρησιμοποιήθηκε ήταν ένα αλουμινένιο δοχείο πάχους 5 mm. Για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας της θωράκισης χρησιμοποιήθηκε η παρακάτω σχέση:

$$S = 20 \log(B_o / B_\theta) \quad (2.5.1)$$

σε db, όπου B_o είναι το μετρούμενο πεδίο χωρίς τη θωράκιση ενώ B_θ είναι το πεδίο με τη θωράκιση και υπολογίστηκε σε $S=13,8$ db, σε ύψος 3 m από το έδαφος του υποσταθμού.

α/α	Υλικό θωράκισης	B_i (μT)	B_i/B₁ (%)
1	Χωρίς θωράκιση	53,53	100
2	MuMetal (0,5 mm)	53,26	99,50
3	FeSi (0,5 mm)	52,86	98,8
4	MuMetal (0,5 mm) + FeSi (0,5 mm)	51,06	95,4
5	FeSi (0,5 mm) + Fe (2 mm)	34,65	64,7
6	MuMetal (0,5 mm) +Al (2 mm)	28,55	53,3
7	Cu (2 mm) +MuMetal (0,5 mm)	26,85	50,2
8	Al (2 mm) + FeSi (0,5 mm)	23,16	43,3
9	Al (2 mm)	22,47	42,0
10	Al (2 mm) + Fe (2 mm)	20,11	37,6
11	Cu (2 mm)	19,77	36,9
12	Cu (2 mm) + Fe (2 mm)	19,52	36,5
13	Al (2 mm) +Cu (2 mm)	16,24	30,3
14	Cu (2 mm) +Al (2 mm)	17,25	32,2

Πίνακας 2.5.1: Τιμές της μαγνητικής επαγωγής που μετρήθηκαν σε ύψος 1 m από τα καλώδια, χωρίς και με θωράκιση από υλικά διάφορων παχών και συνδυασμούς τους και το ποσοστό επί τις (%) του λόγου B_i/B_1 , $i=1...14$ [98].

B_1 : Η τιμή της μετρούμενης μαγνητικής επαγωγής χωρίς τη θωράκιση.

$B_2 \div B_{14}$: Τιμές της μετρούμενης μαγνητικής επαγωγής με τη θωράκιση διαφόρων υλικών.

Οι διαστάσεις που δίδονται σε mm, αφορούν τα πάχη των υλικών.

3. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η εργασία αυτή είναι μια έρευνα για την μείωση του μαγνητικού πεδίου σε εγκαταστάσεις διανομής ηλεκτρικής ενέργειας εντός αστικών περιοχών. Για το σκοπό αυτό οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στην Αθήνα και τα Χανιά και αφορούν:

- 36 υπαίθριους υποσταθμούς διανομής επί δίστυλων.
- 8 υποσταθμούς διανομής εντός μεταλλικού οικίσκου (τύπου κιόσκ).
- 3 υποσταθμούς διανομής εσωτερικού χώρου.

Γίνεται μια σύγκριση των τιμών που μετρήθηκαν με τα όρια ασφαλείας (βλ. παρ. 1.1) και προτείνεται μια μέθοδος περιορισμού του μαγνητικού πεδίου στο περιβάλλον των υπαίθριων υποσταθμών επί δίστυλων που αφθονούν στις αστικές περιοχές. Η έρευνα επικεντρώθηκε με την χρησιμοποίηση φύλλων αλουμινίου στους πίνακες χαμηλής τάσης (ασφαλειοκιβώτια), των υπαίθριων υποσταθμών διανομής, όπου και έγιναν μετρήσεις μείωσης του μαγνητικού πεδίου σε αποστάσεις από 0÷30 cm και από 0÷3 m.

4. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

4.1 Γενική περιγραφή

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται μετρήσεις της συνισταμένης τιμής της μαγνητικής επαγωγής, σε αστικό περιβάλλον, κοντά σε υπαίθριους δίστυλους υποσταθμούς διανομής, σε υποσταθμούς εσωτερικού χώρου και υποσταθμούς εντός μεταλλικών οικίσκων (τύπου κίοσκ). Σε όλες τις μετρήσεις που διεξήχθησαν το όργανο που χρησιμοποιήθηκε ήταν το High Field EMDEX II του Οίκου Enertech Consultants, με εύρος συχνοτήτων 40÷800 Hz, περιοχή μέτρησης μαγνητικού πεδίου 0,4 μT÷12 mT και ακρίβεια $\pm 1 \%$. Το όργανο μετρά τις x, y, και z συνιστώσες του μαγνητικού πεδίου μέσω εσωτερικών αισθητήρων. Με τη χρήση εξωτερικού αισθητηρίου είναι δυνατή και η μέτρηση της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου. Οι μετρήσεις μπορούν να αποθηκευθούν στη μνήμη του οργάνου και στη συνέχεια να μεταφερθούν και να αποθηκευθούν σε ένα ηλεκτρονικό υπολογιστή για περαιτέρω ανάλυση. Το όργανο βαθμονομήθηκε και προγραμματίστηκε να μετρά την τιμή της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής B_R σύμφωνα με την σχέση (4.1.1):

$$B_R = \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2} \quad (4.1.1)$$

Όπου οι B_x , B_y , και B_z είναι οι x,y και z διανυσματικές συνιστώσες της μαγνητικής επαγωγής.

Οι μετρήσεις σε όλους τους υποσταθμούς πραγματοποιήθηκαν κυρίως σύμφωνα με το πρότυπο IEEE Standard 644-1994 [24], σε τρία διαφορετικά ύψη από το έδαφος σε μία προσπάθεια να εκτιμηθεί το μαγνητικό πεδίο στην θέση των ζωτικών οργάνων του ανθρώπου, της καρδιάς και του εγκεφάλου. Οι αποστάσεις από τους υποσταθμούς και τα σημεία μέτρησης ήταν διαφορετικά κάθε φορά και περιγράφονται παρακάτω.

4.2 Μετρήσεις σε δίστυλους υποσταθμούς διανομής

Μετρήσεις κοντά σε 21 δίστυλους υποσταθμούς διανομής 20/0,4 kV, 250 kVA και 400 kVA πραγματοποιήθηκαν σε τρεις περιοχές της Αττικής (Αγ. Ανάργυροι, Θρακομακεδόνες και Καισαριανή) όπως επίσης και σε 15 δίστυλους υποσταθμούς 400 kVA στα Χανιά.

Ένας αντιπροσωπευτικός δίστυλος υποσταθμός διανομής φαίνεται στο σχήμα 4.2.1. Αποτελείται από δύο στύλους (συνήθως ξύλινους) τις γραμμές μέσης τάσης, τους τρεις μονοπολικούς ασφαλειοαποζεύκτες, το αλεξικέραυνο, το μετασχηματιστή, τον πίνακα της χαμηλής τάσης (ασφαλειοκιβώτιο) ο οποίος περιέχει τους μονοπολικούς αποζεύκτες και τις ασφάλειες χαμηλής τάσης και τις γραμμές της

χαμηλής τάσης. Το ύψος των στύλων είναι συνήθως 12 m και η απόσταση μεταξύ τους περίπου 2,2 m και ο μετασχηματιστής είναι εγκατεστημένος σε ύψος της τάξεως των 6 m πάνω από το έδαφος. Οι διαστάσεις του ασφαλειοκιβωτίου, εξαρτώνται από τον αριθμό των αναχωρήσεων (δηλαδή των γραμμών της χαμηλής τάσης). Ως παράδειγμα οι διαστάσεις ενός πίνακα χαμηλής τάσης 5 αναχωρήσεων είναι: ύψος 1,52 m από το έδαφος, μήκος 1,16 m, πλάτος 35,5 cm. Η εξωτερική μεταλλική κατασκευή του εν λόγω πίνακα είναι από λαμαρίνα πάχους 2 mm.



Σχήμα 4.2.1: Τυπικός δίστυλος υποσταθμός διανομής. 1. Γραμμή Μέσης τάσης, 2. Ασφαλειοαποζεύκτες, 3.Γραμμή Χαμηλής τάσης, 4. Μετασχηματιστής, 5.Ασφαλειοκιβώτιο Χαμηλής τάσης.

Η πρώτη σειρά των μετρήσεων στους δίστυλους υποσταθμούς διανομής στην Αθήνα πραγματοποιήθηκε σε περιοχή με μέση πυκνότητα δόμησης (περιοχή Α-Αγ.Ανάργυροι). Η δεύτερη σε αραιοκατοικημένη περιοχή (περιοχή Β-Θρακομακεδόνες) και η τρίτη σειρά σε πυκνοκατοικημένη περιοχή (περιοχή C-Καισαριανή). Οι μετρήσεις των δίστυλων υποσταθμών στην Αθήνα έγιναν κατά τη χειμερινή περίοδο και σε ώρες της κατά το δυνατό μεγαλύτερης ζήτησεως φορτίου, δηλαδή το μεσημέρι και το απόγευμα την Παρασκευή και την Κυριακή και σε ημέρες με μικρή εξωτερική θερμοκρασία συνήθως μικρότερη των 10 °C.

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε 3 διαφορετικά ύψη από το έδαφος 1,5 m, 1,7 m, 1,9 m και σε τρεις οριζόντιες αποστάσεις 0 m, 1 m, 2 m από το μέσο των ασφαλειοκιβωτίων στις προσόψεις τους.

α/α (Υπαίθριου υποσταθμού επί δίστυλου)	Ύψος από το έδαφος (m)	1,5	1,7	1,9
	Οριζόντια απόσταση (m)	Συνισταμένη τιμή μαγνητικής επαγωγής (μΤ)		
1	0	43,20	23,55	14,55
	1	4,90	4,90	4,95
	2	2,60	2,90	3,25
2	0	46,95	41,85	33,85
	1	5,35	5,80	5,40
	2	2,15	2,05	1,85
3	0	25,15	15,20	9,35
	1	6,70	5,50	5,45
	2	4,40	3,75	3,70
4	0	60,2	34,95	28,60
	1	9,75	9,70	10,50
	2	5,55	5,30	6,30
5	0	9,85	11,35	2,45
	1	2,10	2,55	2,15
	2	1,20	1,50	1,50
6	0	34,80	19,10	11,75
	1	4,85	4,95	4,95
	2	0,90	1,20	1,20
7	0	21,60	14,50	11,40
	1	11,65	10,30	8,80
	2	4,00	3,75	3,70

Πίνακας 4.2.1: Συνισταμένη τιμή της μαγνητικής επαγωγής (μΤ) σε υπαίθριους υποσταθμούς διανομής στην Περιοχή Α (Αγ.Ανάργυροι).

Σημείωση:

α) Η οριζόντια απόσταση σε m έχει μετρηθεί από το μέσο των ασφαλειοκιβωτίων στην πρόσοψη τους.

β) Το ύψος από το έδαφος καθορίζεται με ρυθμιζόμενη βάση τοποθέτησης του οργάνου μέτρησης.

α/α (Υπαίθριου υποσταθμού επί δίστυλου)	Ύψος από το έδαφος (m)	1,5	1,7	1,9
	Οριζόντια απόσταση (m)	Συνισταμένη τιμή μαγνητικής επαγωγής (μΤ)		
1	0	63,20	38,40	10,05
	1	34,00	3,05	2,90
	2	1,50	1,90	1,50
2	0	11,75	4,70	2,20
	1	2,05	2,45	2,15
	2	1,20	1,25	0,90
3	0	61,10	56,80	26,40
	1	3,80	4,25	3,65
	2	2,20	2,10	2,10
4	0	4,25	1,90	1,40
	1	1,20	1,00	1,00
	2	0,55	0,40	0
5	0	64,60	54,40	10,60
	1	3,20	3,10	2,85
	2	1,00	1,00	0,70
6	0	17,80	10,30	7,75
	1	3,70	3,55	3,50
	2	1,80	1,50	2,15
7	0	8,50	7,00	4,55
	1	4,65	4,70	5,00
	2	3,25	3,50	3,45

Πίνακας 4.2.2: Συνισταμένη τιμή της μαγνητικής επαγωγής (μΤ) σε υπαίθριους υποσταθμούς διανομής στην Περιοχή Β (Θρακομακεδόνες).

Σημείωση:

α) Η οριζόντια απόσταση σε m έχει μετρηθεί από το μέσο των ασφαλειοκιβωτίων στην πρόσοψη τους.

β) Το ύψος από το έδαφος καθορίζεται με ρυθμιζόμενη βάση τοποθέτησης του οργάνου μέτρησης.

α/α (Υπαίθριου υποσταθμού επί δίστυλου)	Ύψος από το έδαφος (m)	1,5	1,7	1,9
	Οριζόντια απόσταση (m)	Συνισταμένη τιμή μαγνητικής επαγωγής (μΤ)		
1	0	49,95	33,60	51,20
	1	10,00	10,00	7,00
	2	0	0	0
2	0	44,40	28,60	8,70
	1	3,20	3,05	3,00
	2	1,90	1,65	1,65
3	0	65,60	53,60	8,80
	1	7,15	6,90	6,16
	2	2,10	2,10	1,65
4	0	61,60	42,40	40,80
	1	10,75	8,05	7,50
	2	5,50	4,95	4,70
5	0	92,00	60,00	28,15
	1	3,15	3,5	2,80
	2	1,50	1,50	1,50
6	0	70,40	48,80	17,60
	1	23,50	2,15	1,75
	2	0,70	0,70	0,55
7	0	82,40	64,00	56,80
	1	3,45	4,10	3,45
	2	0,55	0,55	0,55

Πίνακας 4.2.3: Συνισταμένη τιμή της μαγνητικής επαγωγής (μΤ) σε υπαίθριους υποσταθμούς διανομής στην Περιοχή C (Καισαριανή).

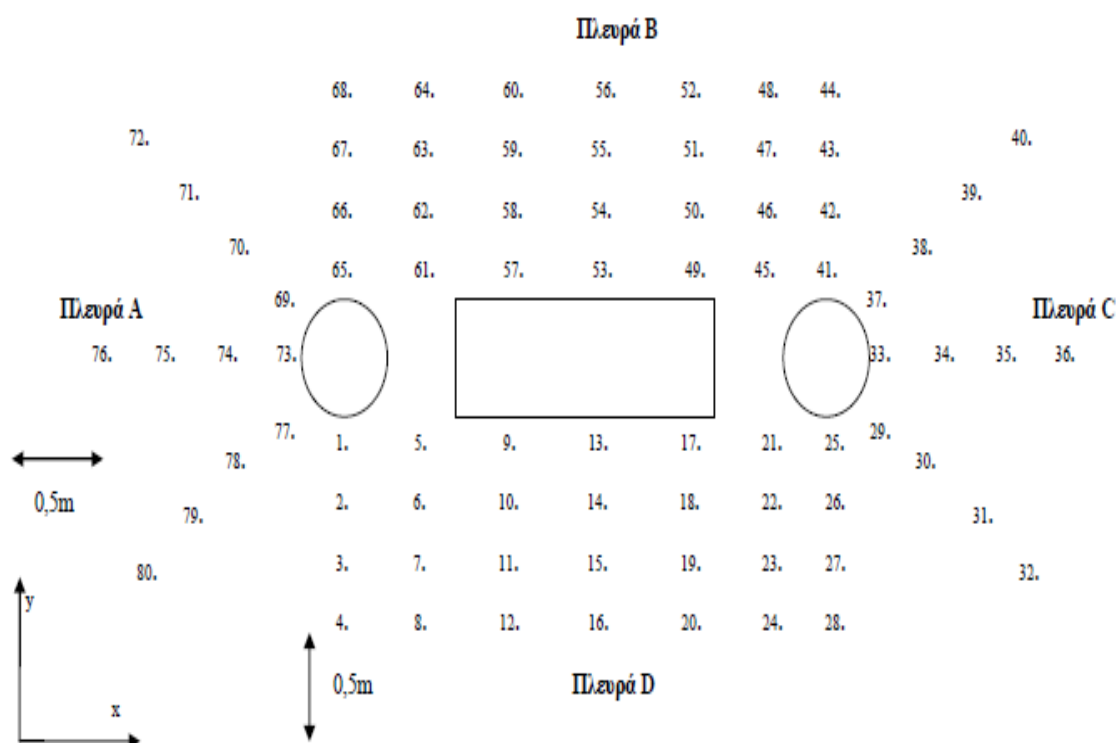
Σημείωση:

α) Η οριζόντια απόσταση σε m έχει μετρηθεί από το μέσο των ασφαλειοκιβωτίων στην πρόσοψη τους.

β) Το ύψος από το έδαφος καθοριζόταν με ρυθμιζόμενη βάση τοποθέτησης του οργάνου μέτρησης.

Οι μετρήσεις στα διάφορα ύψη επετεύχθησαν με τη χρήση ρυθμιζόμενης βάσης που κατασκευάστηκε για το σκοπό αυτό. Στους πίνακες 4.2.1 μέχρι 4.2.3 παρουσιάζονται ενδεικτικές μετρήσεις της συνισταμένης τιμής της μαγνητικής επαγωγής για επτά δίστυλους υποσταθμούς διανομής σε κάθε περιοχή Α, Β και C αντίστοιχα

Οι μετρήσεις της μαγνητικής επαγωγής κοντά σε 10 δίστυλους υποσταθμούς διανομής στην πόλη των Χανίων έγιναν κατά τη χειμερινή περίοδο μεταξύ των ωρών 09:00÷ 17:00. Ενώ μετρήσεις στους πέντε πρώτους υποσταθμούς επαναλήφθηκαν τις ίδιες ώρες κατά την καλοκαιρινή περίοδο.



Σχήμα 4.2.2: Σημεία μέτρησης της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής στην περιοχή των δίστυλων υποσταθμών διανομής στα Χανιά.

Το πλέγμα των σημείων μέτρησης στην περιοχή των 15 δίστυλων υποσταθμών διανομής φαίνεται στο σχήμα 4.2.2. Για κάθε υποσταθμό επιλέχθηκαν 80 σημεία μέτρησης. Κάθε υποσταθμός χωρίστηκε σε τέσσερις πλευρές. Η πλευρά Α καθορίζεται από το χώρο αριστερά από τον άξονα που ενώνει τα σημεία 4 και 68 και αποτελείται από τα σημεία 1÷4 και 65÷80, η πλευρά Β από το χώρο πάνω από τον άξονα που ενώνει τα σημεία 41 και 65 και αποτελείται από τα σημεία 41÷68, η πλευρά C καθορίζεται από το χώρο δεξιά από τον άξονα που ενώνει τα σημεία 28 και 44 και αποτελείται από τα σημεία 25÷44 και η πλευρά D από το χώρο κάτω από τον άξονα που ενώνει τα σημεία 1 και 25 και αποτελείται από τα σημεία 1÷28.

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν όπως και προηγουμένως σε τρία διαφορετικά ύψη από το έδαφος (1 m, 1,5 m και 1,7 m) και σε δύο κατηγορίες οριζοντίων αποστάσεων

0÷30 cm και 0÷3 m (κάθετα στην όψη του ασφαλειοκιβωτίου που αντιστοιχεί στην πλευρά μέτρησης). Έτσι, όταν πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις στα 80 σημεία σε οριζόντιες αποστάσεις 0÷30 cm (κάθετα στην όψη του ασφαλειοκιβωτίου που αντιστοιχεί στην πλευρά μέτρησης) η απόσταση μεταξύ των σημείων π.χ. 1 και 2, 65 και 66, 77 και 78 κλπ ήταν 10 cm, ενώ όταν πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις στα 80 σημεία σε οριζόντιες αποστάσεις 0÷3 m (κάθετα στην όψη του ασφαλειοκιβωτίου που αντιστοιχεί στην πλευρά μέτρησης) η απόσταση μεταξύ των σημείων π.χ. 1 και 2, 65 και 66, 77 και 78 κλπ ήταν 1 m.

Οι μετρήσεις της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής στα διάφορα ύψη και ανά σημείο μέτρησης (σχήμα 4.2.2), επετεύχθησαν με τη χρήση μιας ξύλινης βάσης ρυθμιζόμενης καθ' ύψος. Η αρχή των αξόνων ορίστηκε 0,5 m αριστερά του σημείου 76 και 0,5 m κάτω από το σημείο 4. Σε κάθε σημείο και ύψος μέτρησης το όργανο High Field EMDEX II τοποθετήθηκε στην ξύλινη βάση. Το όργανο ρυθμίστηκε ώστε να μετράει τη συνισταμένη της μαγνητικής επαγωγής της θεμελιώδους αρμονικής των 50 Hz, στο εύρος των συχνοτήτων μεταξύ 40÷800 Hz. Οι αισθητήρες του οργάνου ήταν προσανατολισμένοι προς την πλευρά του κάθε υποσταθμού, σε οριζόντια θέση ως προς το έδαφος. Η μέγιστη τιμή του πεδίου καταγραφόταν μετά από χρονική περίοδο περίπου ενός λεπτού.

Σε κάθε υποσταθμό έγιναν έξι σειρές μετρήσεων της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής. Η πρώτη σειρά αναφέρεται σε μετρήσεις σε μικρή απόσταση από κάθε υποσταθμό σε όλα τα σημεία μέτρησης και συγκεκριμένα σε οριζόντιες αποστάσεις, 0÷30 cm (κάθετα στην όψη του ασφαλειοκιβωτίου που αντιστοιχεί στην πλευρά μέτρησης), ενώ η τέταρτη σε οριζόντιες αποστάσεις, 0÷3 m (κάθετα στην όψη του ασφαλειοκιβωτίου που αντιστοιχεί στην πλευρά μέτρησης) και σε όλα τα προαναφερθέντα ύψη. Ομοίως, η δεύτερη και τρίτη σειρά μετρήσεων έγιναν κατόπιν τοποθέτησης στα ασφαλειοκιβώτια (στις εξωτερικές πλευρές τους), λεπτών φύλλων αλουμινίου πάχους 0,5 mm. Σκοπός ήταν η διερεύνηση της μείωσης του μαγνητικού πεδίου που μπορεί να επιτευχθεί.

Οι τελευταίες δύο σειρές των μετρήσεων της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής πραγματοποιήθηκαν στα ασφαλειοκιβώτια, με τις πόρτες των υποσταθμών ανοικτές στα σημεία 9÷20 στις δύο κατηγορίες οριζοντίων αποστάσεων (μια φορά σε οριζόντια απόσταση, 0÷30 cm και μία σε 0÷3 m, κάθετα στην όψη του ασφαλειοκιβωτίου στην πλευρά μέτρησης D) σε ύψη 1 m, 1,5 m και 1,7 m από το έδαφος. Οι μετρήσεις αυτές έγιναν όχι μόνο για την εξακρίβωση της τιμής της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής κατά την παρουσία εργαζομένων, αλλά και για να αξιολογηθεί η θωράκιση που παρέχεται από το περίβλημα του ασφαλειοκιβωτίου με τα φύλλα αλουμινίου. Η χρονολογική σειρά διεξαγωγής των μετρήσεων δίνεται στον πίνακα 4.2.5.

Παράλληλα με τις μετρήσεις της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής, καταγράφονταν τα ρεύματα στις τρεις φάσεις στην πλευρά της χαμηλής τάσης του κάθε υποσταθμού κατά τη διάρκεια 24 h. Στον πίνακα 4.2.4 δίδονται οι μέσες τιμές

των ρευμάτων $I_{\mu,1}^{(i)}$, $I_{\mu,2}^{(i)}$, $I_{\mu,3}^{(i)}$, $I_{\mu,4}^{(i)}$ και $I_{\mu,5}^{(i)}$ κατά τις ακόλουθες χρονικές περιόδους: 9:00÷10:45, 10:45÷12:30, 12:30÷14:15, 14:15÷16:00 και 16:00÷17:00 h αντίστοιχα.

α/α Υποσταθμός	Μέση τιμή ρεύματος						
	$I_{\mu,1}$ (A)	$I_{\mu,2}$ (A)	$I_{\mu,3}$ (A)	$I_{\mu,4}$ (A)	$I_{\mu,5}$ (A)	$I_{\mu,8}$ (A)	I_{μ} (A)
1	178	193	220	235	210	207	127
2	212	235	248	260	245	240	168
3	219	259	237	226	223	233	178
4	189	205	223	247	238	221	150
5	158	174	185	176	167	172	124
6	263	276	287	305	294	286	183
7	207	221	238	245	224	227	148
8	285	303	318	305	294	301	211
9	228	245	267	278	259	255	158
10	198	212	238	227	215	218	145
11	295	308	324	337	329	319	252
12	336	410	428	412	402	398	339
13	335	352	368	381	371	361	278
14	292	319	335	357	346	330	248
15	264	277	296	293	280	282	206

Πίνακας 4.2.4: Μέσες τιμές των ρευμάτων στην πλευρά της χαμηλής τάσης των υπαιθρίων δίστυλων υποσταθμών διανομής στα Χανιά.

Σημείωση:

$I_{\mu,1}$, $I_{\mu,2}$, $I_{\mu,3}$, $I_{\mu,4}$, και $I_{\mu,5}$, μέσες τιμές των ρευμάτων, κατά τις χρονικές περιόδους 9:00÷10:45, 10:45÷12:30, 12:30÷14:15, 14:15÷16:00 και 16:00÷17:00 h αντίστοιχα.

$I_{\mu,8}$, μέση τιμή του ρεύματος κατά τη διάρκεια των 8 h.

I_{μ} , μέση τιμή του ρεύματος το 24 h.

Για παράδειγμα $I_{\mu,2}^{(1)}$ είναι η μέση τιμή των ρευμάτων του υποσταθμού 1 κατά τη χρονική περίοδο 10:45÷12:30 h. $I_{\mu,8}^{(i)}$ είναι η μέση τιμή των ρευμάτων κατά τη διάρκεια των οχτώ ωρών της διαδικασίας των μετρήσεων και $I_{\mu}^{(i)}$ η μέση τιμή τους

κατά τη διάρκεια των 24 h.

Η μέση τιμή της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής για n- υποσταθμούς, σε κάθε ύψος και για κάθε μετρούμενο σημείο j υπολογίστηκε από την ακόλουθη σχέση (4.2.1).

$$\overline{B}_j = \sum_{i=1}^n B_{ji} \quad (4.2.1)$$

Σειρά μετρήσεων	Ωρα	Αποστάσεις και σημεία μέτρησης
1	9:00÷10:45	0÷30 cm χωρίς τα φύλλα αλουμινίου, σημεία 1÷80
2	10:45÷12:30	0÷30 cm με τα φύλλα αλουμινίου, σημεία 1÷80
3	12:30÷14:15	0÷3 m με τα φύλλα αλουμινίου, σημεία 1÷80
4	14:15÷16:00	0÷3 m χωρίς τα φύλλα αλουμινίου, σημεία 1÷80
5 και 6	16:00÷17:00	0÷30 cm και 0÷3 m με τις πόρτες των ασφαλειοκιβωτίων ανοικτές, σημεία 9÷20

Πίνακας 4.2.5: Χρονολογική σειρά των μετρήσεων στην περιοχή των υπαίθριων δίστυλων υποσταθμών διανομής στα Χανιά όπου δίνονται οι αποστάσεις και τα σημεία μέτρησης.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται χωρίς σχόλια τα αποτελέσματα των μετρήσεων. Στα σχήματα 4.2.3 έως 4.2.8, από τα τρισδιάστατα διαγράμματα, φαίνεται η κατανομή της μέσης τιμής της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής 50 Hz σε ύψη 1 m, 1,5 m και 1,7 m από το έδαφος την χειμερινή και καλοκαιρινή περίοδο αντίστοιχα.

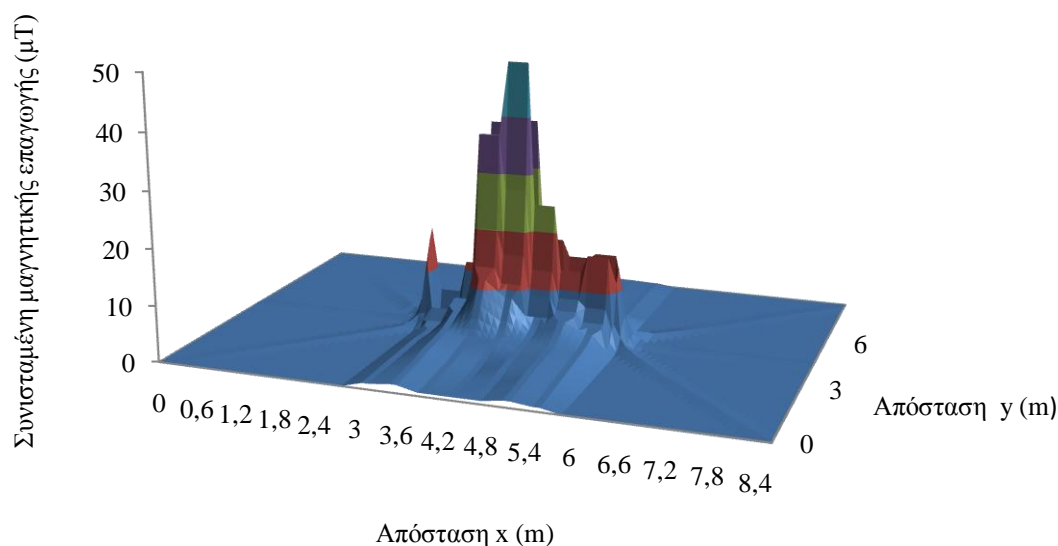
Στα σχήματα 4.2.9 και 4.2.10 δίνονται οι μέσες τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής σε ύψος 1 m από το έδαφος και σε οριζόντιες αποστάσεις 0÷30 cm και 0÷3 m κάθετα στην όψη του ασφαλειοκιβωτίου στην πλευρά A των υποσταθμών (βλ.σχήμα 4.2.2), τη χειμερινή και καλοκαιρινή περίοδο αντίστοιχα.

Οι μέσες τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής σε τρία ύψη από το έδαφος στις πλευρές A και C (βλ.σχήμα 4.2.2) κατά τη χειμερινή περίοδο δίνονται στα σχήματα 4.2.11 και 4.2.12.

Στα σχήματα 4.2.13 και 4.2.14 δίνονται οι μέσες τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής σε ύψος 1 m από το έδαφος και σε οριζόντιες αποστάσεις 0÷30 cm κάθετα στην όψη του ασφαλειοκιβωτίου στην πλευρά D (βλ.σχήμα 4.2.2) των υποσταθμών, τη χειμερινή και καλοκαιρινή περίοδο αντίστοιχα. Η υψηλότερη τιμή της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής που καταγράφηκε την χειμερινή περίοδο ήταν 59,40 μT στον υποσταθμό 8 και στο σημείο μέτρησης 13 (βλ. σχήμα 4.2.2), σε μηδενική απόσταση από το ασφαλειοκιβώτιο και σε ύψος 1 m από το έδαφος. Η μεγαλύτερη τιμή της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής που καταγράφηκε την καλοκαιρινή περίοδο ήταν 83,20 μT στον υποσταθμό 12 στο σημείο 13 (σε μηδενική απόσταση από το ασφαλειοκιβώτιο και σε ύψος 1 m από το έδαφος, βλ. σχήμα 4.2.2).

Οι μέσες τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής σε τρία ύψη από το έδαφος (1 m, 1,5 m και 1,7 m) κατά μήκος της ευθείας που ενώνει τα σημεία μέτρησης 16 και 56, τη χειμερινή περίοδο, δίνονται στο σχήμα 4.2.15.

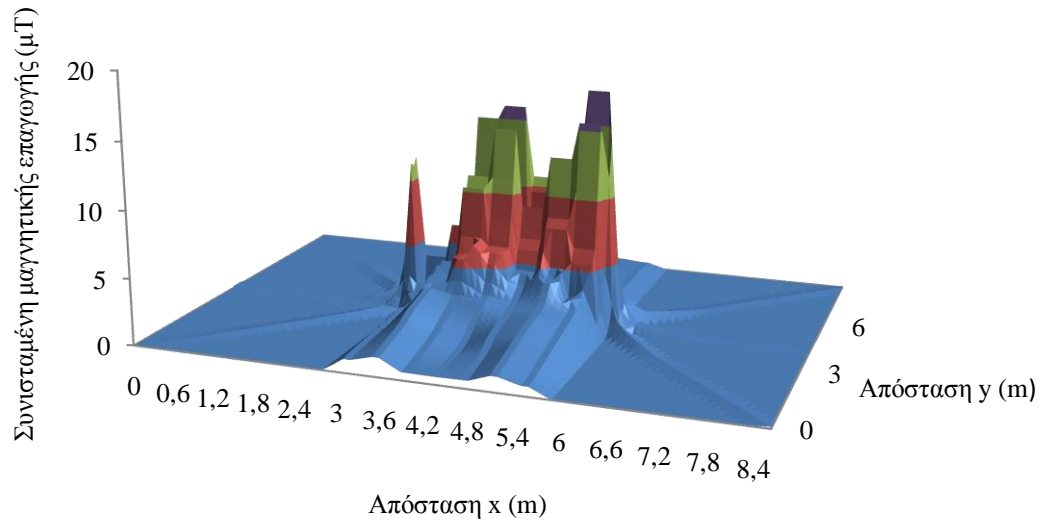
Στα σχήματα 4.2.16 και 4.2.17 δίνονται οι μέσες τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής στα σημεία μέτρησης 9÷20, σε ύψος 1 m από το έδαφος και σε οριζόντιες αποστάσεις 0÷3 m (κάθετα στην όψη του ασφαλειοκιβωτίου στην πλευρά D, βλ.σχήμα 4.2.2), οι οποίες γίνανε με τις πόρτες των ασφαλειοκιβωτίων ανοικτές κατά τη χειμερινή και την καλοκαιρινή περίοδο αντίστοιχα. Η μέγιστη τιμή που μετρήθηκε τη χειμερινή περίοδο ήταν 118,69 μT , στον υποσταθμό 8 στο σημείο 13 (βλ.σχήμα 4.2.2) σε μηδενική απόσταση από το ασφαλειοκιβώτιο και σε ύψος 1 m από το έδαφος. Ενώ την καλοκαιρινή περίοδο η μέγιστη τιμή ήταν 147,2 μT , στον υποσταθμό 12 στο σημείο 13 (βλ.σχήμα 4.2.2) σε μηδενική απόσταση από το ασφαλειοκιβώτιο και σε ύψος 1 m από το έδαφος.



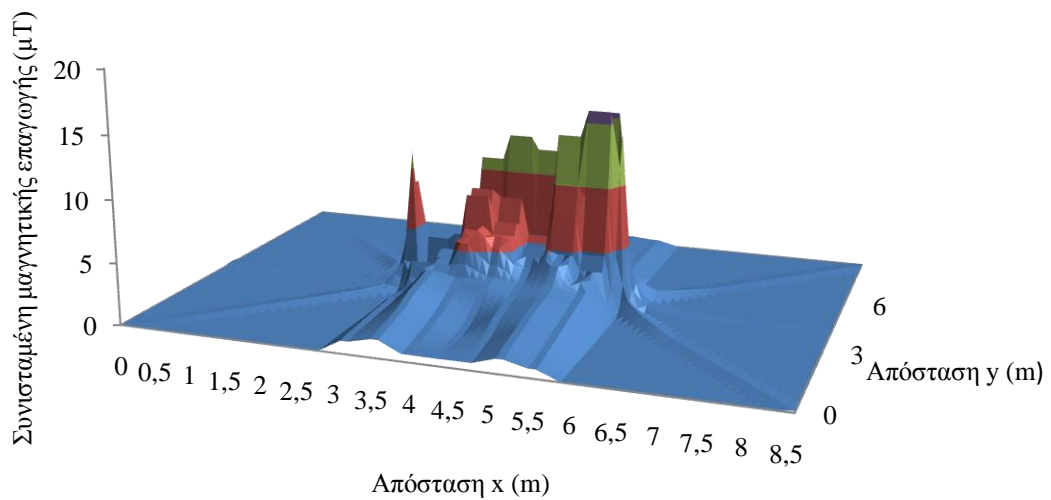
Σχήμα 4.2.3: Κατανομή της μέσης τιμής της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής στα 50 Hz σε ύψος 1 m από το έδαφος στην περιοχή των υπαίθριων δίστυλων υποσταθμών διανομής 400 kVA στα Χανιά κατά την χειμερινή περίοδο.

Σημείωση:

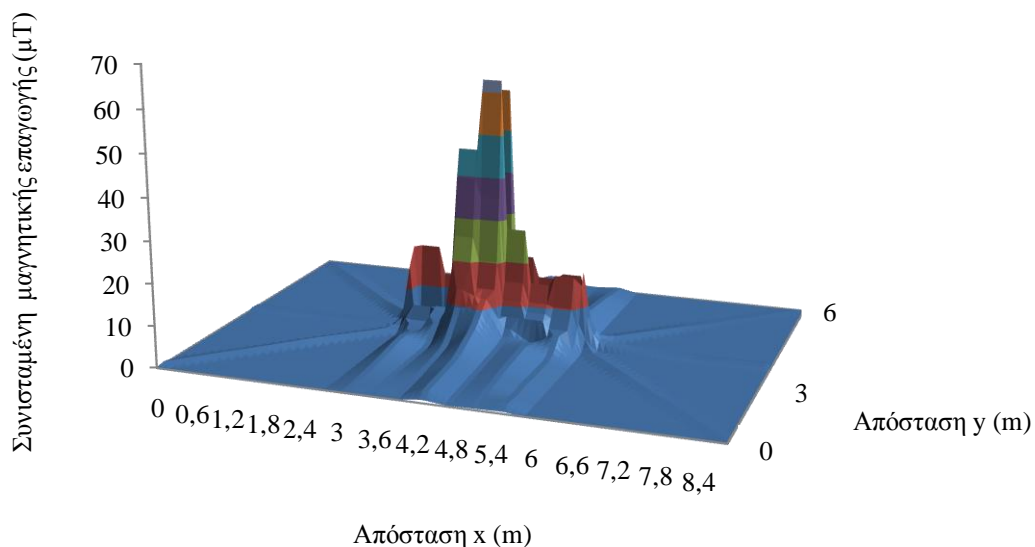
Η περιοχή που απεικονίζεται ορίζεται από τους άξονες x και y, όπως δίνονται στο σχήμα 4.2.2.



Σχήμα 4.2.4: Κατανομή της μέσης τιμής της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής στα 50 Hz σε ύψος 1,5 m από το έδαφος στην περιοχή των υπαίθριων δίστυλων υποσταθμών διανομής 400 kVA στα Χανιά κατά την χειμερινή περίοδο.
 Σημείωση:
 Η περιοχή που απεικονίζεται ορίζεται από τους άξονες x και y, όπως δίνονται στο σχήμα 4.2.2.



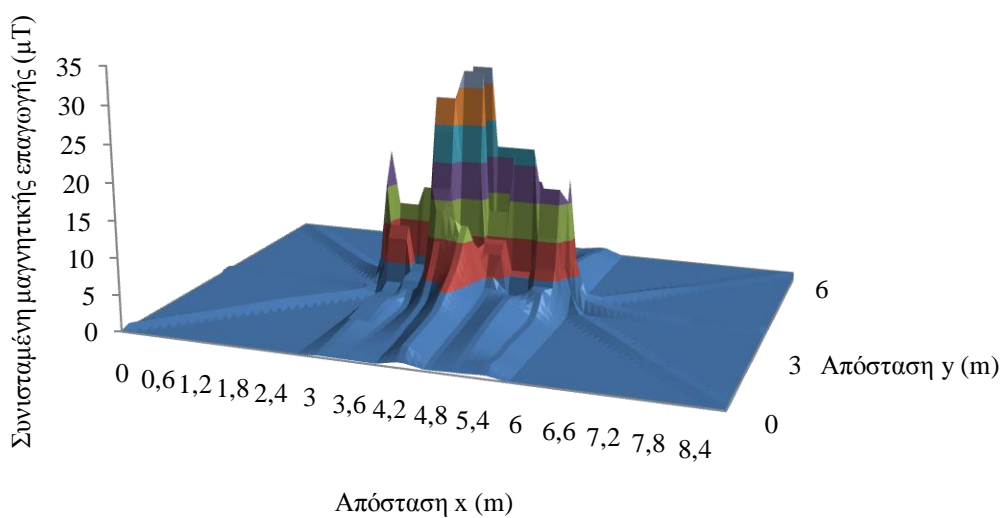
Σχήμα 4.2.5: Κατανομή της μέσης τιμής της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής στα 50 Hz σε ύψος 1,7 m από το έδαφος στην περιοχή των υπαίθριων δίστυλων υποσταθμών διανομής 400 kVA στα Χανιά κατά την χειμερινή περίοδο.
 Σημείωση:
 Η περιοχή που απεικονίζεται ορίζεται από τους άξονες x και y, όπως δίνονται στο σχήμα 4.2.2.



Σχήμα 4.2.6: Κατανομή της μέσης τιμής της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής στα 50 Hz σε ύψος 1 m από το έδαφος στην περιοχή των υπαίθριων δίστυλων υποσταθμών διανομής 400 kVA στα Χανιά κατά την καλοκαιρινή περίοδο.

Σημείωση:

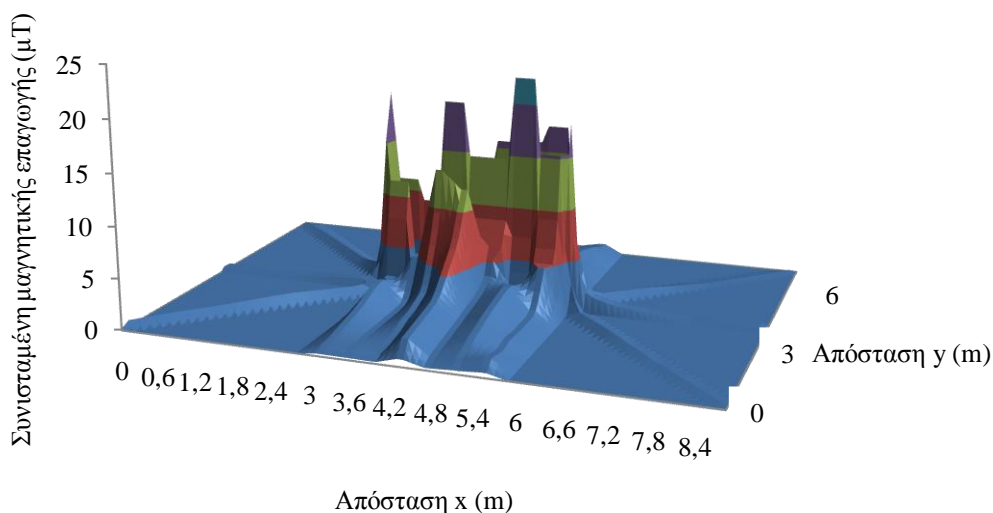
Η περιοχή που απεικονίζεται ορίζεται από τους άξονες x και y, όπως δίνονται στο σχήμα 4.2.2.



Σχήμα 4.2.7: Κατανομή της μέσης τιμής της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής στα 50 Hz σε ύψος 1,5 m από το έδαφος στην περιοχή των υπαίθριων δίστυλων υποσταθμών διανομής 400 kVA στα Χανιά κατά την καλοκαιρινή περίοδο.

Σημείωση:

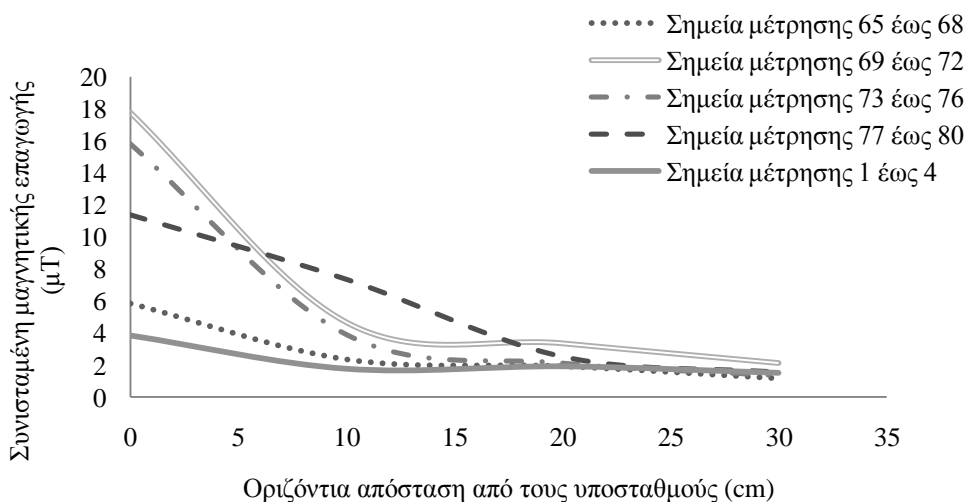
Η περιοχή που απεικονίζεται ορίζεται από τους άξονες x και y, όπως δίνονται στο σχήμα 4.2.2.



Σχήμα 4.2.8: Κατανομή της μέσης τιμής της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής στα 50 Hz σε ύψος 1,7 m από το έδαφος στην περιοχή των υπαίθριων δίστυλων υποσταθμών διανομής 400 kVA στα Χανιά κατά την καλοκαιρινή περίοδο.

Σημείωση:

Η περιοχή που απεικονίζεται ορίζεται από τους άξονες x και y, όπως δίνονται στο σχήμα 4.2.2.

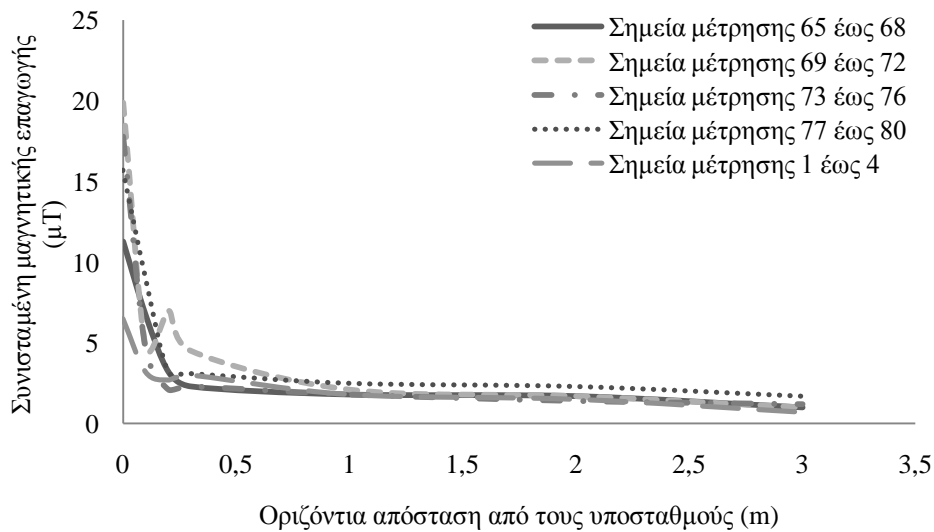


Σχήμα 4.2.9: Μέσες τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής σε ύψος 1 m από το έδαφος και σε οριζόντιες αποστάσεις 0÷30 cm στους υπαίθριους δίστυλους υποσταθμούς στα Χανιά τη χειμερινή περίοδο.

Σημείωση:

1) Αφορά την πλευρά Α (βλ. σχήμα 4.2.2) που αποτελείται από τα σημεία μέτρησης 1÷4 και 65÷80.

2) Ως οριζόντια απόσταση εννοείται η απόσταση κάθετα στην όψη του ασφαλειοκιβωτίου που αντιστοιχεί στην πλευρά μέτρησης.

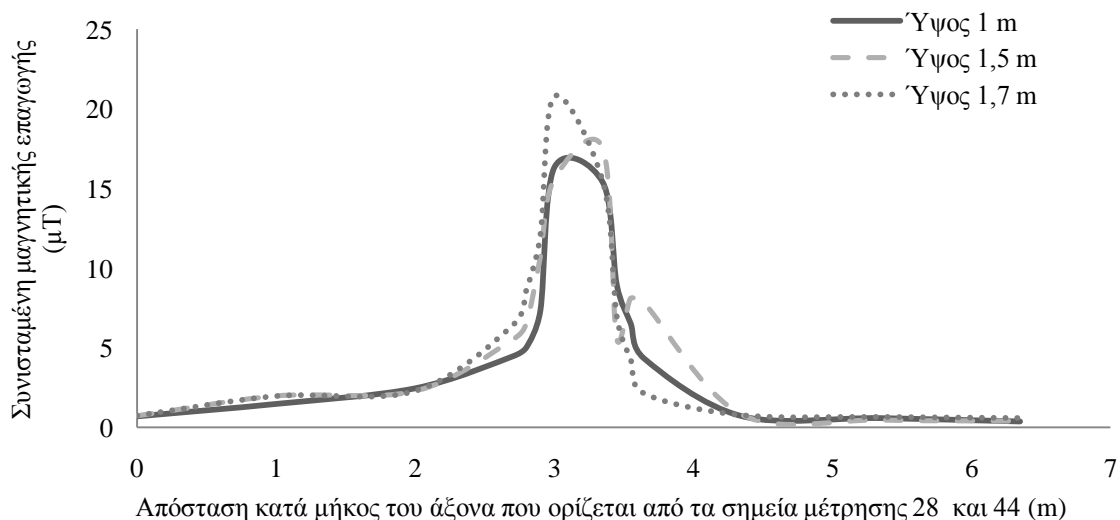


Σχήμα 4.2.10: Μέσες τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής σε ύψος 1 m από το έδαφος και σε οριζόντιες αποστάσεις 0÷3 m στους υπαίθριους δίστυλους υποσταθμούς στα Χανιά την καλοκαιρινή περίοδο.

Σημείωση:

1) Αφορά την πλευρά Α (βλ. σχήμα 4.2.2) που αποτελείται από τα σημεία μέτρησης 1÷4 και 65÷80.

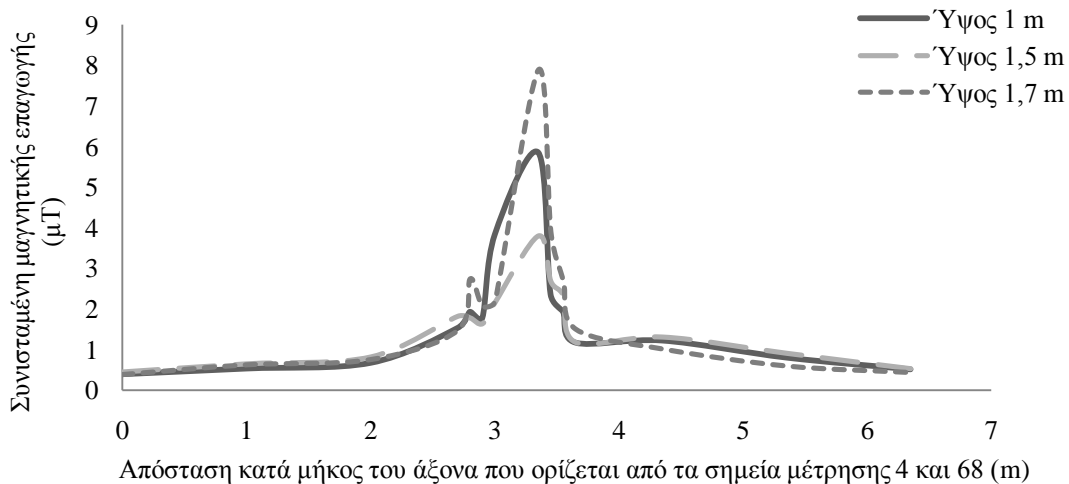
2) Ως οριζόντια απόσταση εννοείται η απόσταση κάθετα στην όψη του ασφαλειοκιβωτίου που αντιστοιχεί στην πλευρά μέτρησης.



Σχήμα 4.2.11: Μέσες τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής σε τρία ύψη από το έδαφος (1 m , 1,5 m και 1,7 m) κατά μήκος της ευθείας που ενώνει τα σημεία μέτρησης 28 και 44, τη χειμερινή περίοδο.

Σημείωση:

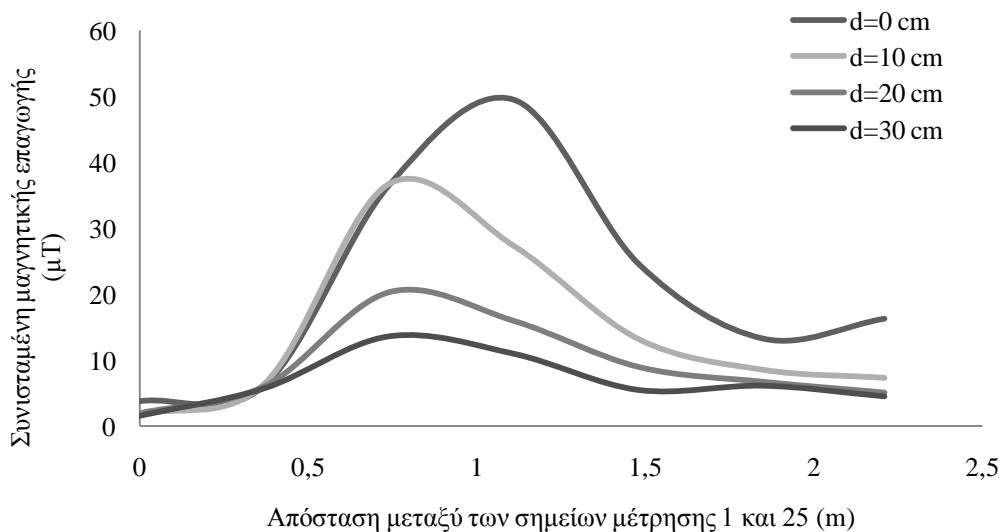
Αφορά την πλευρά C (βλ. σχήμα 4.2.2) που αποτελείται από τα σημεία μέτρησης 25÷44.



Σχήμα 4.2.12: Μέσες τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής σε τρία ύψη από το έδαφος (1 m , 1,5 m και 1,7 m) κατά μήκος της ευθείας που ενώνει τα σημεία μέτρησης 4 και 68, τη χειμερινή περίοδο.

Σημείωση:

Αφορά την πλευρά Α (βλ.σχήμα 4.2.2) που αποτελείται από τα σημεία μέτρησης 1÷4 και 65÷80.

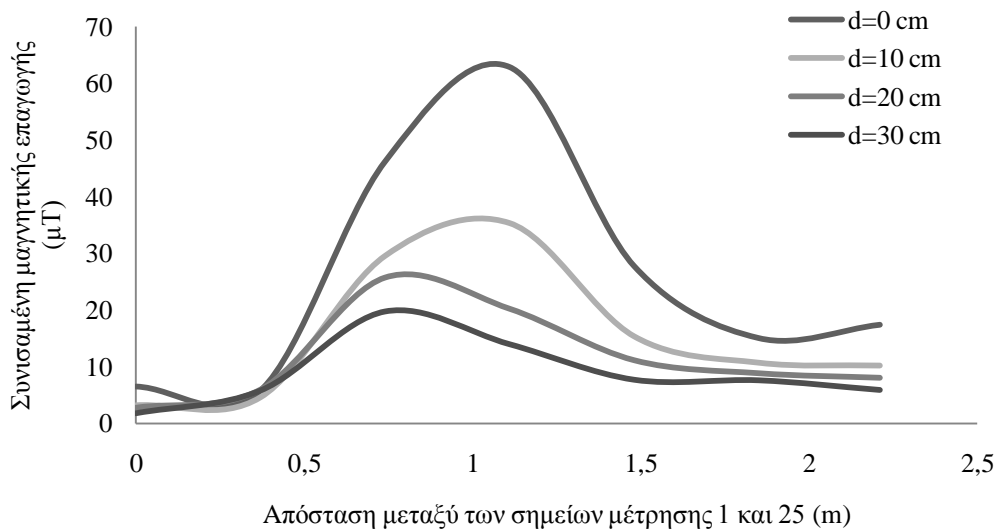


Σχήμα 4.2.13: Μέσες τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής σε ύψος 1 m από το έδαφος και σε οριζόντιες αποστάσεις $d=0\div30$ cm στους υπαίθριους δίστυλους υποσταθμούς στα Χανιά τη χειμερινή περίοδο.

Σημείωση:

1)Αφορά την πλευρά D (βλ.σχήμα 4.2.2) που αποτελείται από τα σημεία μέτρησης 1÷28.

2)Ως οριζόντια απόσταση εννοείται η απόσταση κάθετα στην όψη του ασφαλειοκιβωτίου που αντιστοιχεί στην πλευρά μέτρησης.

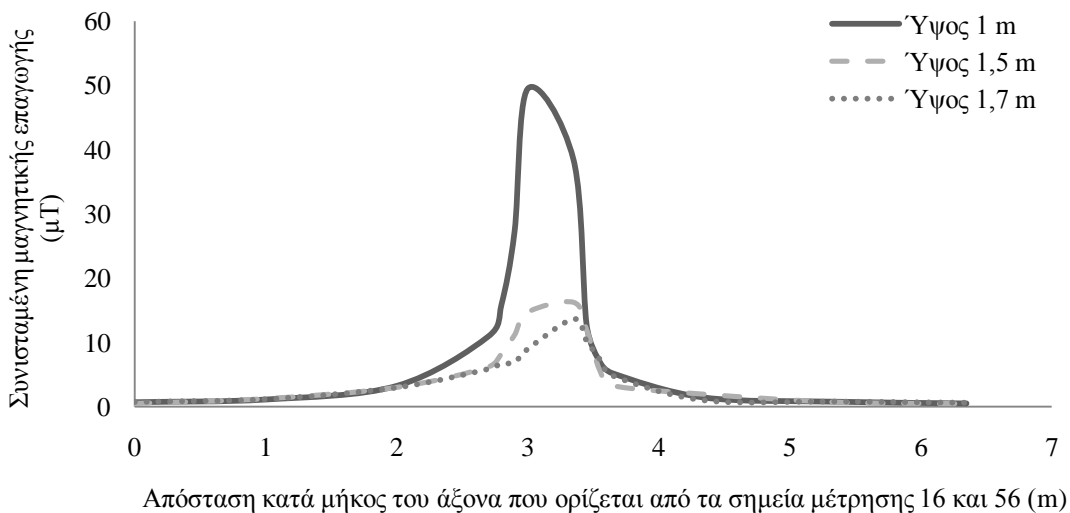


Σχήμα 4.2.14: Μέσες τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής σε ύψος 1 m από το έδαφος και σε οριζόντιες αποστάσεις $d=0\div 30$ cm στους υπαίθριους δίστυλους υποσταθμούς στα Χανιά την καλοκαιρινή περίοδο.

Σημείωση:

1) Αφορά την πλευρά D (βλ. σχήμα 4.2.2) που αποτελείται από τα σημεία μέτρησης 1÷28.

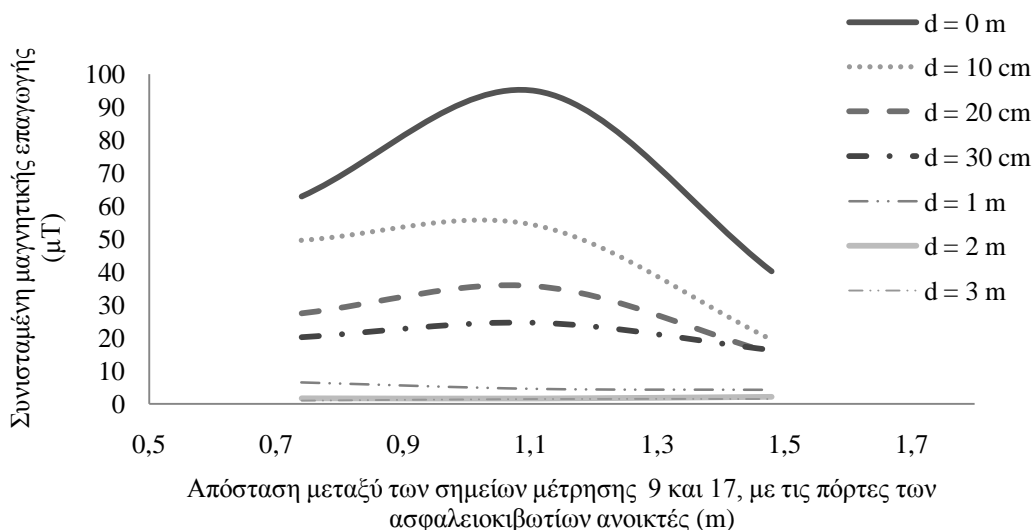
2) Ως οριζόντια απόσταση εννοείται η απόσταση κάθετα στην όψη του ασφαλειοκιβωτίου που αντιστοιχεί στην πλευρά μέτρησης.



Σχήμα 4.2.15: Μέσες τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής σε τρία ύψη από το έδαφος (1 m , 1,5 m και 1,7 m) κατά μήκος της ευθείας που ενώνει τα σημεία μέτρησης 16 και 56, τη χειμερινή περίοδο.

Σημείωση:

Αφορά τις πλευρές B και D (βλ. σχήμα 4.2.2), κατά μήκος της ευθείας που ορίζουν τα σημεία μέτρησης 16 και 56 και περνά από το κέντρο των ασφαλειοκιβωτίων.

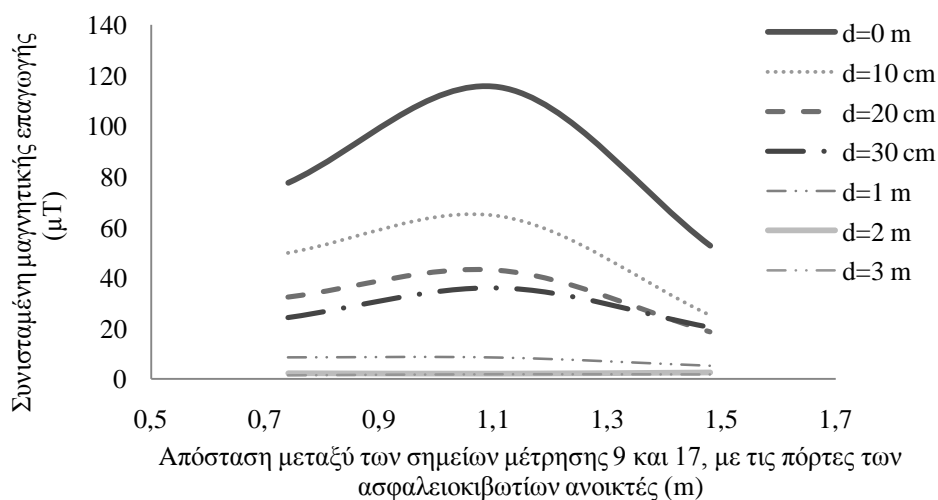


Σχήμα 4.2.16: Μέσες τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής σε ύψος 1 m από το έδαφος και σε οριζόντιες αποστάσεις $d=0\div 3$ m με τις πόρτες των ασφαλειοκιβωτίων ανοικτές, στους υπαίθριους δίστυλους υποσταθμούς στα Χανιά τη χειμερινή περίοδο.

Σημείωση:

1) Αφορά την πλευρά D (βλ. σχήμα 4.2.2) που αποτελείται από τα σημεία μέτρησης 1÷28.

2) Ως οριζόντια απόσταση εννοείται η απόσταση κάθετα στην όψη του ασφαλειοκιβωτίου που αντιστοιχεί στην πλευρά μέτρησης.



Σχήμα 4.2.17: Μέσες τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής σε ύψος 1 m από το έδαφος και σε οριζόντιες αποστάσεις $d=0\div 3$ m με τις πόρτες των ασφαλειοκιβωτίων ανοικτές, στους υπαίθριους δίστυλους υποσταθμούς στα Χανιά την καλοκαιρινή περίοδο.

Σημείωση:

1) Αφορά την πλευρά D (βλ. σχήμα 4.2.2) που αποτελείται από τα σημεία μέτρησης 1÷28.

2) Ως οριζόντια απόσταση εννοείται η απόσταση κάθετα στην όψη του ασφαλειοκιβωτίου που αντιστοιχεί στην πλευρά μέτρησης.

4.3 Μετρήσεις σε ασφαλειοκιβώτια υπαιθρίων δίστυλων υποσταθμών διανομής με τοποθέτηση στην εξωτερική πλευρά τους φύλλων αλουμινίου

Οι μετρήσεις του μαγνητικού πεδίου που έγιναν σε οριζόντιες αποστάσεις $0\div 30$ cm και $0\div 3$ m (κάθετα στην όψη του ασφαλειοκιβωτίου που αντιστοιχεί στην πλευρά μέτρησης), μετά την τοποθέτηση, στο ασφαλειοκιβώτιο (στις εξωτερικές πλευρές του) σε κάθε δίστυλο υποσταθμό, λεπτών φύλλων αλουμινίου πάχους $0,5$ mm, αποσκοπούν στη διερεύνηση της μείωσης του μαγνητικού πεδίου που μπορεί να επιτευχθεί.

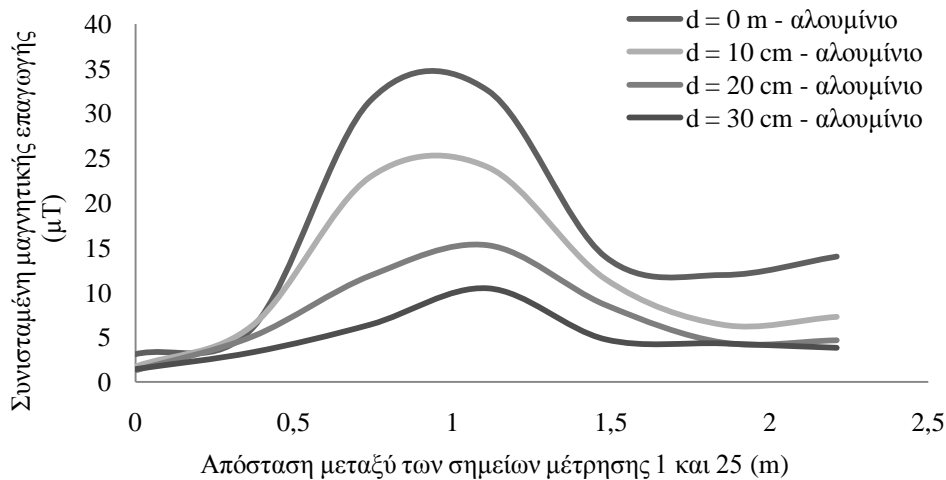
Η μείωση του πεδίου που επιτυγχάνεται με τη μέθοδο αυτή είναι πολύ μεγάλη στα σημεία μέτρησης $9\div 20$ και στα σημεία μέτρησης $49\div 60$ (βλ.σχήμα 4.2.2) που είναι κοντά στο ασφαλειοκιβώτιο. Μείωση του πεδίου επιτυγχάνεται και στα σημεία μέτρησης: $5\div 8$, $21\div 24$, $41\div 44$ και $61\div 64$ (βλ.σχήμα 4.2.2) που βρίσκονται ενδιάμεσα των στύλων και του κιβωτίου της χαμηλής τάσης. Ενώ, στα υπόλοιπα σημεία δεν παρατηρείται κάποια αξιόλογη μεταβολή σε σύγκριση με τις μετρήσεις χωρίς την τοποθέτηση των φύλλων αλουμινίου σε όλες τις μετρούμενες αποστάσεις από τους υποσταθμούς.

Οι υψηλότερες τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής που καταγράφηκαν στα σημεία μέτρησης $9\div 20$ και στα σημεία μέτρησης $49\div 60$ (βλ.σχήμα 4.2.2) και στις δύο χρονικές περιόδους, ήταν σε μηδενική απόσταση από τα ασφαλειοκιβώτια και σε ύψος 1 m από το έδαφος. Στα πρώτα 30 cm παρατηρείται μείωση του πεδίου με μεγάλο ρυθμό.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται χωρίς σχόλια τα αποτελέσματα των μετρήσεων. Στα σχήματα 4.3.1 και 4.3.2 δίνονται οι τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής που καταγράφηκαν μετά την τοποθέτηση των φύλλων αλουμινίου σε ύψος 1 m από το έδαφος και σε οριζόντιες αποστάσεις $0\div 30$ cm (κάθετα στην όψη του ασφαλειοκιβωτίου στην πλευρά μέτρησης D, βλ.σχήμα 4.2.2) τη χειμερινή και καλοκαιρινή περίοδο αντίστοιχα. Ενώ στα σχήματα 4.3.3 και 4.3.4 δίδονται οι τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής σε ύψος 1 m από το έδαφος και σε οριζόντιες αποστάσεις $1\div 3$ m κάθετα στην όψη του ασφαλειοκιβωτίου στην πλευρά μέτρησης D (βλ.σχήμα 4.2.2) τη χειμερινή και καλοκαιρινή περίοδο αντίστοιχα.

Στα σχήματα 4.3.5 έως 4.3.8 δίνονται οι τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής που καταγράφηκαν σε ύψος 1 m από το έδαφος και σε οριζόντιες αποστάσεις $0\div 30$ cm και $1\div 3$ m, (κάθετα στην όψη του ασφαλειοκιβωτίου στην πλευρά μέτρησης B, βλ.σχήμα 4.2.2) τη χειμερινή και καλοκαιρινή περίοδο.

Οι τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής που καταγράφηκαν στις πλευρές B και D σε ύψη $1,5$ m και $1,7$ m από το έδαφος σε οριζόντιες αποστάσεις $0\div 30$ cm (κάθετα στην όψη του ασφαλειοκιβωτίου που αντιστοιχεί στην πλευρά μέτρησης) δίνονται στα σχήματα 4.3.9 έως 4.3.12.

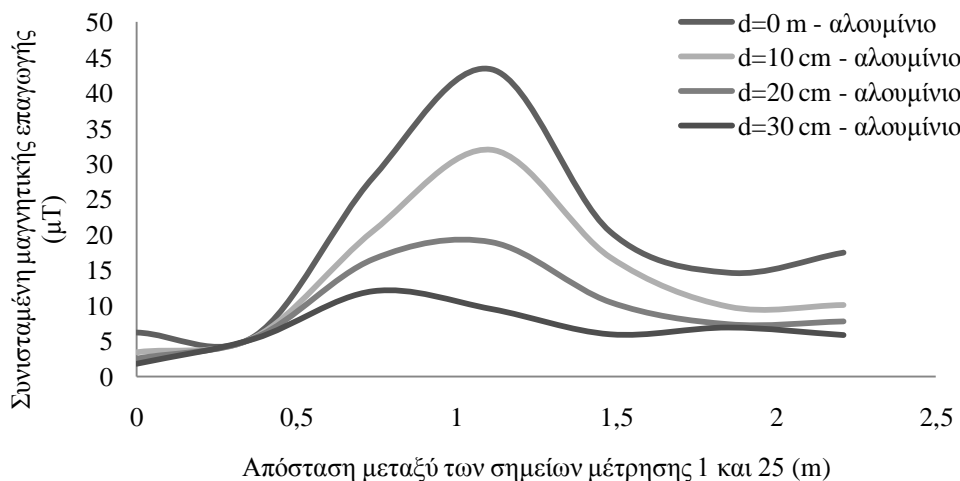


Σχήμα 4.3.1: Μέσες τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής σε ύψος 1 m από το έδαφος και σε οριζόντιες αποστάσεις $d=0\div 30$ cm με τα φύλλα αλουμινίου τοποθετημένα εξωτερικά στα ασφαλειοκιβώτια, στους υπαίθριους δίστυλους υποσταθμούς στα Χανιά τη χειμερινή περίοδο.

Σημείωση:

1) Αφορά την πλευρά D (βλ. σχήμα 4.2.2) που αποτελείται από τα σημεία μέτρησης 1÷28.

2) Ως οριζόντια απόσταση εννοείται η απόσταση κάθετα στην όψη του ασφαλειοκιβωτίου που αντιστοιχεί στην πλευρά μέτρησης.

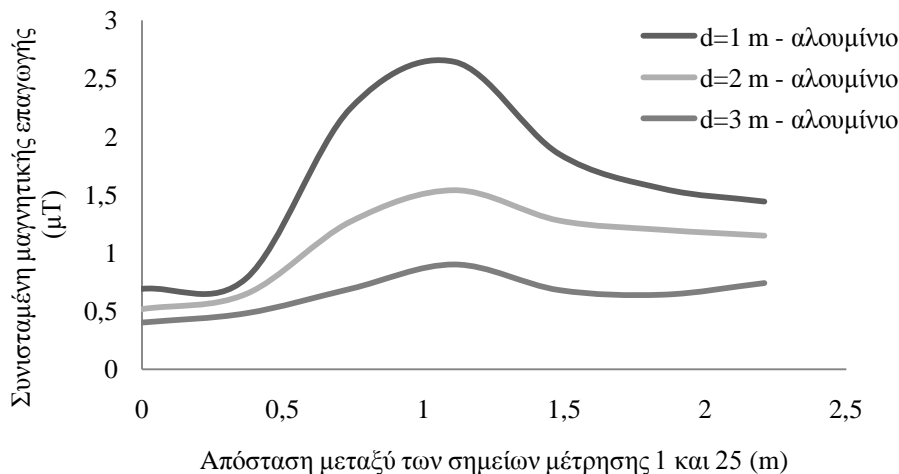


Σχήμα 4.3.2: Μέσες τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής σε ύψος 1 m από το έδαφος και σε οριζόντιες αποστάσεις $d=0\div 30$ cm με τα φύλλα αλουμινίου τοποθετημένα εξωτερικά στα ασφαλειοκιβώτια, στους υπαίθριους δίστυλους υποσταθμούς στα Χανιά την καλοκαιρινή περίοδο.

Σημείωση:

1) Αφορά την πλευρά D (βλ. σχήμα 4.2.2) που αποτελείται από τα σημεία μέτρησης 1÷28.

2) Ως οριζόντια απόσταση εννοείται η απόσταση κάθετα στην όψη του ασφαλειοκιβωτίου που αντιστοιχεί στην πλευρά μέτρησης.

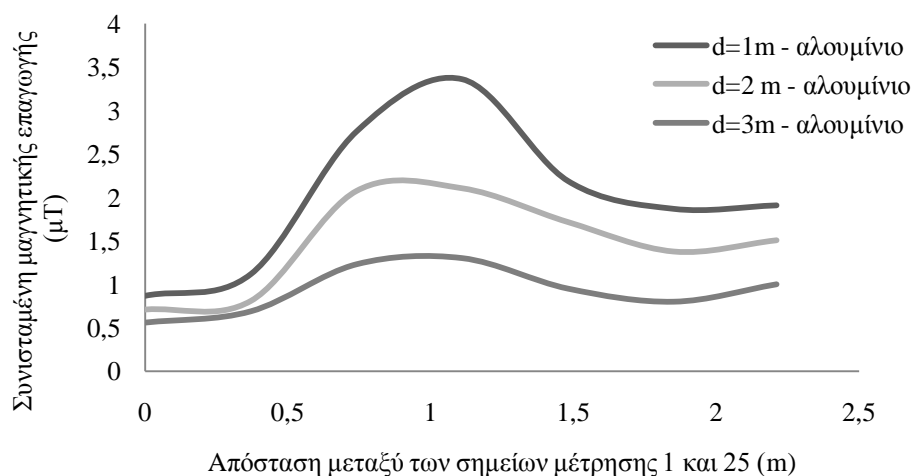


Σχήμα 4.3.3: Μέσες τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής σε ύψος 1 m από το έδαφος και σε οριζόντιες αποστάσεις $d=1\div 3$ m με τα φύλλα αλουμινίου τοποθετημένα εξωτερικά στα ασφαλειοκιβώτια, στους υπαίθριους δίστυλους υποσταθμούς στα Χανιά τη χειμερινή περίοδο.

Σημείωση:

1) Αφορά την πλευρά D (βλ. σχήμα 4.2.2) που αποτελείται από τα σημεία μέτρησης 1÷28.

2) Ως οριζόντια απόσταση εννοείται η απόσταση κάθετα στην όψη του ασφαλειοκιβωτίου που αντιστοιχεί στην πλευρά μέτρησης.

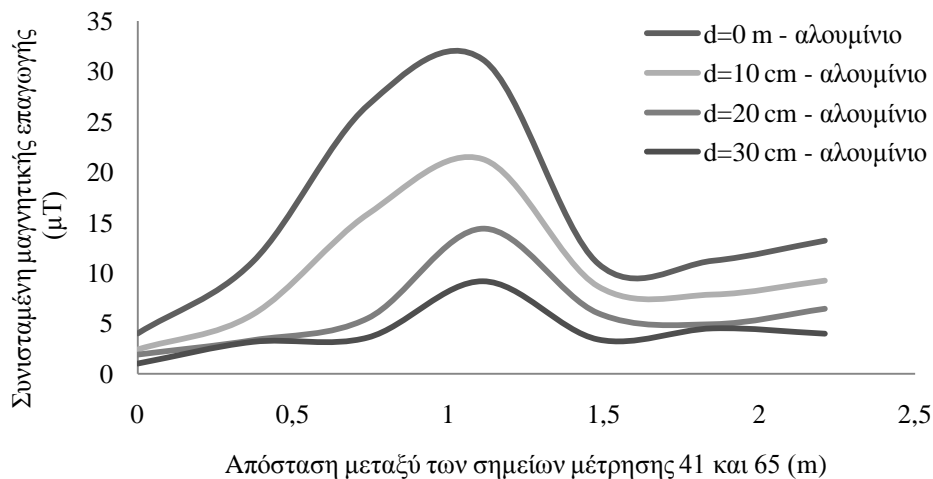


Σχήμα 4.3.4: Μέσες τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής σε ύψος 1 m από το έδαφος και σε οριζόντιες αποστάσεις $d=1\div 3$ m με τα φύλλα αλουμινίου τοποθετημένα εξωτερικά στα ασφαλειοκιβώτια, στους υπαίθριους δίστυλους υποσταθμούς στα Χανιά την καλοκαιρινή περίοδο.

Σημείωση:

1) Αφορά την πλευρά D (βλ. σχήμα 4.2.2) που αποτελείται από τα σημεία μέτρησης 1÷28.

2) Ως οριζόντια απόσταση εννοείται η απόσταση κάθετα στην όψη του ασφαλειοκιβωτίου που αντιστοιχεί στην πλευρά μέτρησης.

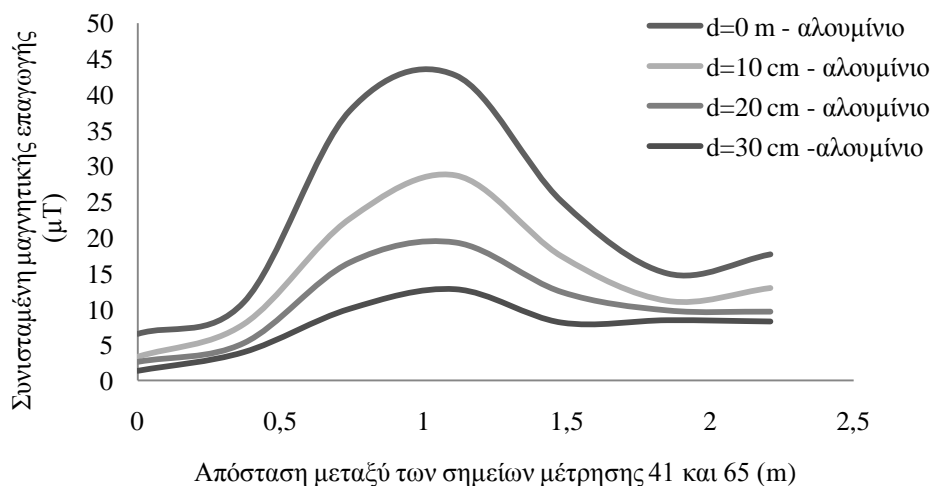


Σχήμα 4.3.5: Μέσες τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής σε ύψος 1 m από το έδαφος και σε οριζόντιες αποστάσεις $d=0\div 30$ cm με τα φύλλα αλουμινίου τοποθετημένα εξωτερικά στα ασφαλειοκιβώτια, στους υπαίθριους δίστυλους υποσταθμούς στα Χανιά τη χειμερινή περίοδο.

Σημείωση:

1) Αφορά την πλευρά Β (βλ. σχήμα 4.2.2) που αποτελείται από τα σημεία μέτρησης 41÷68.

2) Ως οριζόντια απόσταση εννοείται η απόσταση κάθετα στην όψη του ασφαλειοκιβωτίου που αντιστοιχεί στην πλευρά μέτρησης.

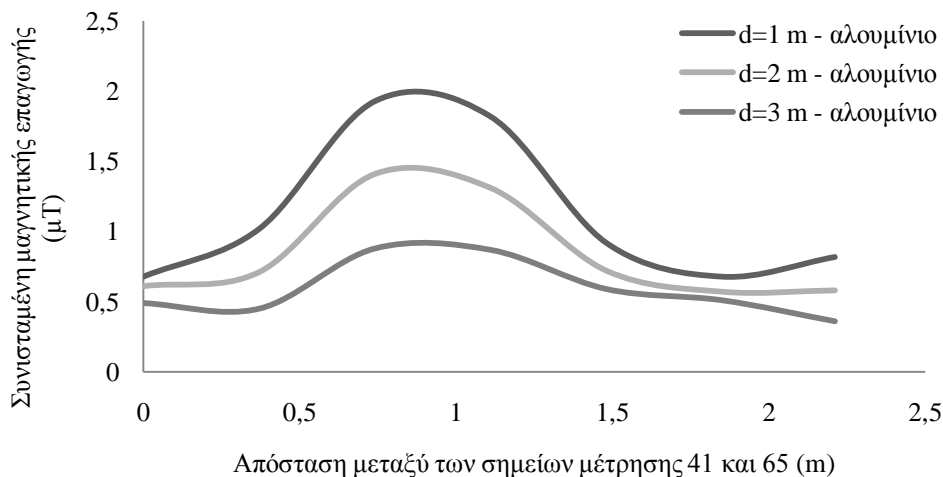


Σχήμα 4.3.6: Μέσες τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής σε ύψος 1 m από το έδαφος και σε οριζόντιες αποστάσεις $d=0\div 30$ cm με τα φύλλα αλουμινίου τοποθετημένα εξωτερικά στα ασφαλειοκιβώτια, στους υπαίθριους δίστυλους υποσταθμούς στα Χανιά την καλοκαιρινή περίοδο.

Σημείωση:

1) Αφορά την πλευρά Β (βλ. σχήμα 4.2.2) που αποτελείται από τα σημεία μέτρησης 41÷68.

2) Ως οριζόντια απόσταση εννοείται η απόσταση κάθετα στην όψη του ασφαλειοκιβωτίου που αντιστοιχεί στην πλευρά μέτρησης.

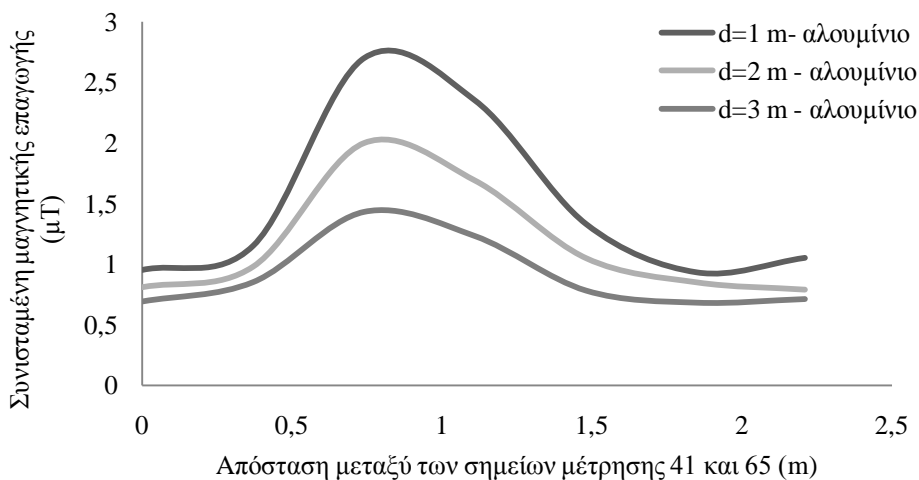


Σχήμα 4.3.7: Μέσες τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής σε ύψος 1 m από το έδαφος και σε οριζόντιες αποστάσεις $d=1\div 3$ m με τα φύλλα αλουμινίου τοποθετημένα εξωτερικά στα ασφαλειοκιβώτια, στους υπαίθριους δίστυλους υποσταθμούς στα Χανιά τη χειμερινή περίοδο.

Σημείωση:

1) Αφορά την πλευρά Β (βλ. σχήμα 4.2.2) που αποτελείται από τα σημεία μέτρησης 41÷68.

2) Ως οριζόντια απόσταση εννοείται η απόσταση κάθετα στην όψη του ασφαλειοκιβωτίου που αντιστοιχεί στην πλευρά μέτρησης.

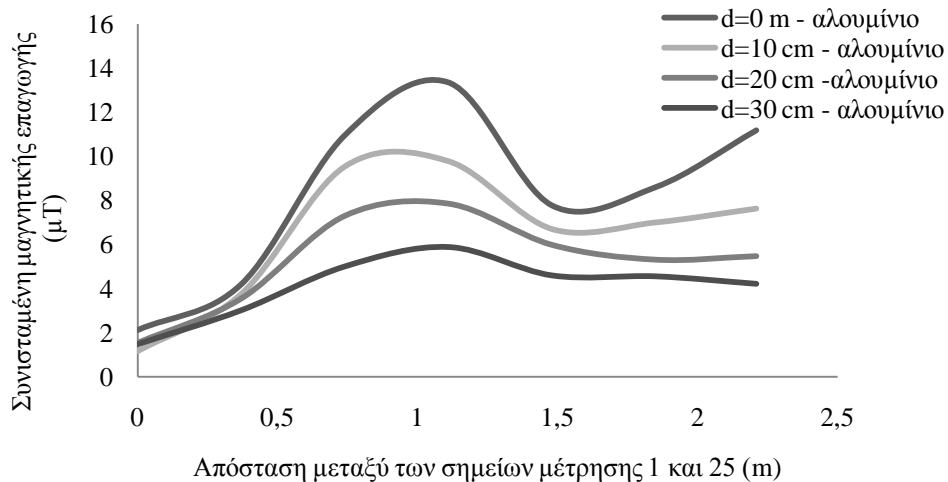


Σχήμα 4.3.8: Μέσες τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής σε ύψος 1 m από το έδαφος και σε οριζόντιες αποστάσεις $d=1\div 3$ m με τα φύλλα αλουμινίου τοποθετημένα εξωτερικά στα ασφαλειοκιβώτια, στους υπαίθριους δίστυλους υποσταθμούς στα Χανιά την καλοκαιρινή περίοδο.

Σημείωση:

1) Αφορά την πλευρά Β (βλ. σχήμα 4.2.2) που αποτελείται από τα σημεία μέτρησης 41÷68.

2) Ως οριζόντια απόσταση εννοείται η απόσταση κάθετα στην όψη του ασφαλειοκιβωτίου που αντιστοιχεί στην πλευρά μέτρησης.

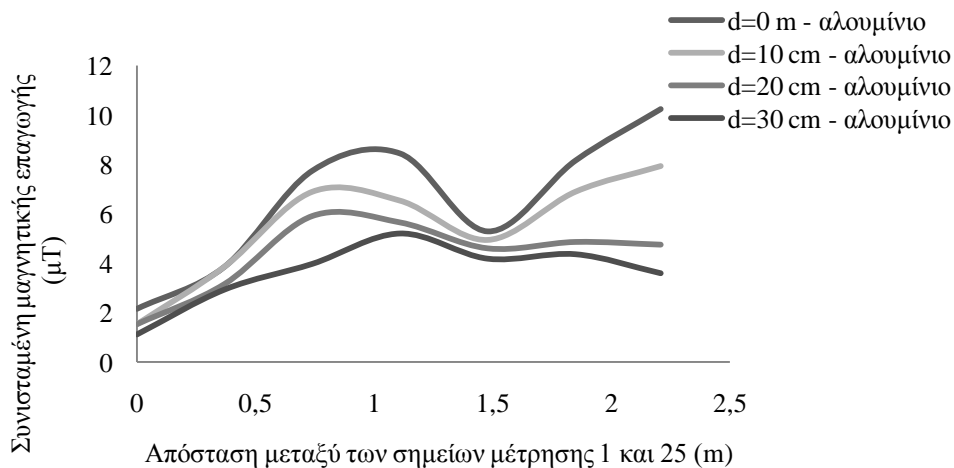


Σχήμα 4.3.9: Μέσες τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής σε ύψος 1,5 m και σε οριζόντιες αποστάσεις $d=0\div30$ cm με τα φύλλα αλουμινίου τοποθετημένα εξωτερικά στα ασφαλειοκιβώτια, στους υπαίθριους δίστυλους υποσταθμούς στα Χανιά τη χειμερινή περίοδο.

Σημείωση:

1) Αφορά την πλευρά D (βλ. σχήμα 4.2.2) που αποτελείται από τα σημεία μέτρησης 1÷28.

2) Ως οριζόντια απόσταση εννοείται η απόσταση κάθετα στην όψη του ασφαλειοκιβωτίου που αντιστοιχεί στην πλευρά μέτρησης.

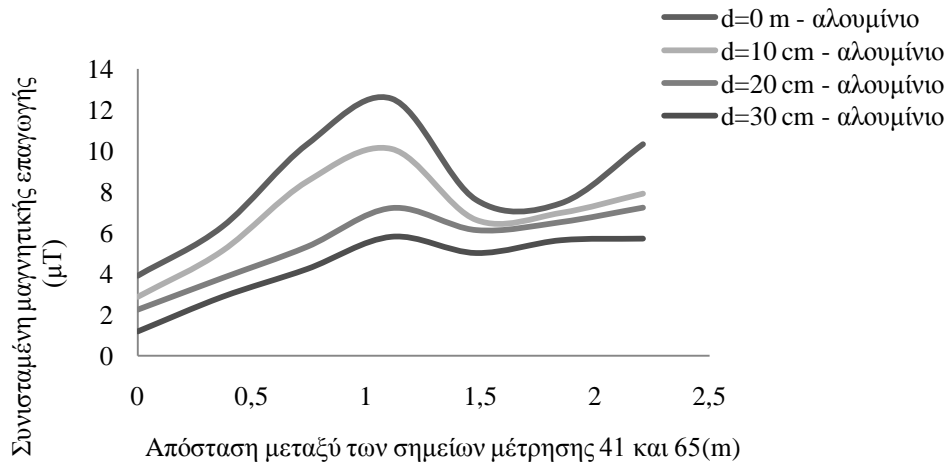


Σχήμα 4.3.10: Μέσες τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής σε ύψος 1,7 m και σε οριζόντιες αποστάσεις $d=0\div30$ cm με τα φύλλα αλουμινίου τοποθετημένα εξωτερικά στα ασφαλειοκιβώτια, στους υπαίθριους δίστυλους υποσταθμούς στα Χανιά τη χειμερινή περίοδο.

Σημείωση:

1) Αφορά την πλευρά D (βλ. σχήμα 4.2.2) που αποτελείται από τα σημεία μέτρησης 1÷28.

2) Ως οριζόντια απόσταση εννοείται η απόσταση κάθετα στην όψη του ασφαλειοκιβωτίου που αντιστοιχεί στην πλευρά μέτρησης.

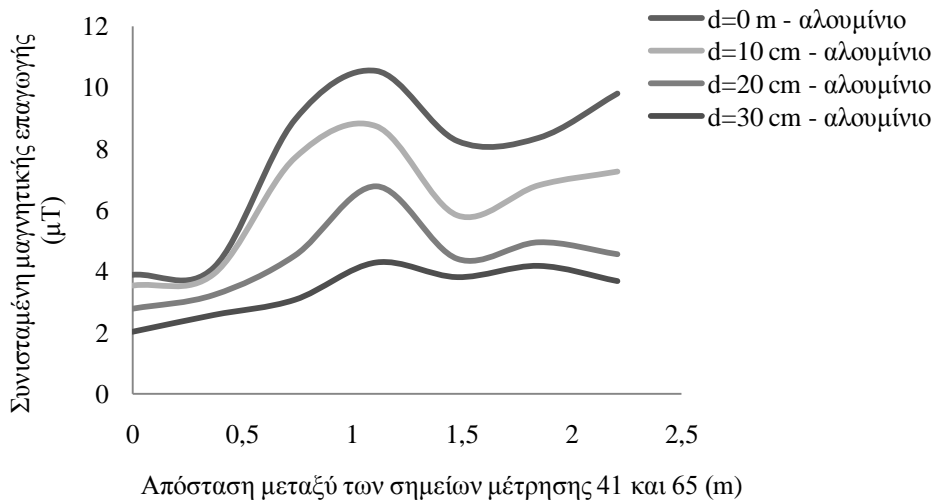


Σχήμα 4.3.11: Μέσες τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής σε ύψος 1,5 m και σε οριζόντιες αποστάσεις $d=0\div 30$ cm με τα φύλλα αλουμινίου τοποθετημένα εξωτερικά στα ασφαλειοκιβώτια, στους υπαίθριους δίστυλους υποσταθμούς στα Χανιά τη χειμερινή περίοδο.

Σημείωση:

1) Αφορά την πλευρά Β (βλ. σχήμα 4.2.2) που αποτελείται από τα σημεία μέτρησης 41÷68.

2) Ως οριζόντια απόσταση εννοείται η απόσταση κάθετα στην όψη του ασφαλειοκιβωτίου που αντιστοιχεί στην πλευρά μέτρησης.



Σχήμα 4.3.12: Μέσες τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής σε ύψος 1,7 m και σε οριζόντιες αποστάσεις $d=0\div 30$ cm με τα φύλλα αλουμινίου τοποθετημένα εξωτερικά στα ασφαλειοκιβώτια, στους υπαίθριους δίστυλους υποσταθμούς στα Χανιά τη χειμερινή περίοδο.

Σημείωση:

1) Αφορά την πλευρά Β (βλ. σχήμα 4.2.2) που αποτελείται από τα σημεία μέτρησης 41÷68.

2) Ως οριζόντια απόσταση εννοείται η απόσταση κάθετα στην όψη του ασφαλειοκιβωτίου που αντιστοιχεί στην πλευρά μέτρησης.

4.4 Μετρήσεις σε υποσταθμούς διανομής εντός μεταλλικού οικίσκου

Μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν, κοντά σε 8 μεταλλικού οικίσκου (κίосκ) υποσταθμούς διανομής 20/0,4 kV, 630 kVA στα Χανιά. Ένας αντιπροσωπευτικός υπαίθριος υποσταθμός τύπου κίосκ φαίνεται στο σχήμα 4.4.1.



Σχήμα 4.4.1: Υποσταθμός διανομής εντός μεταλλικού οικίσκου (κίосκ).

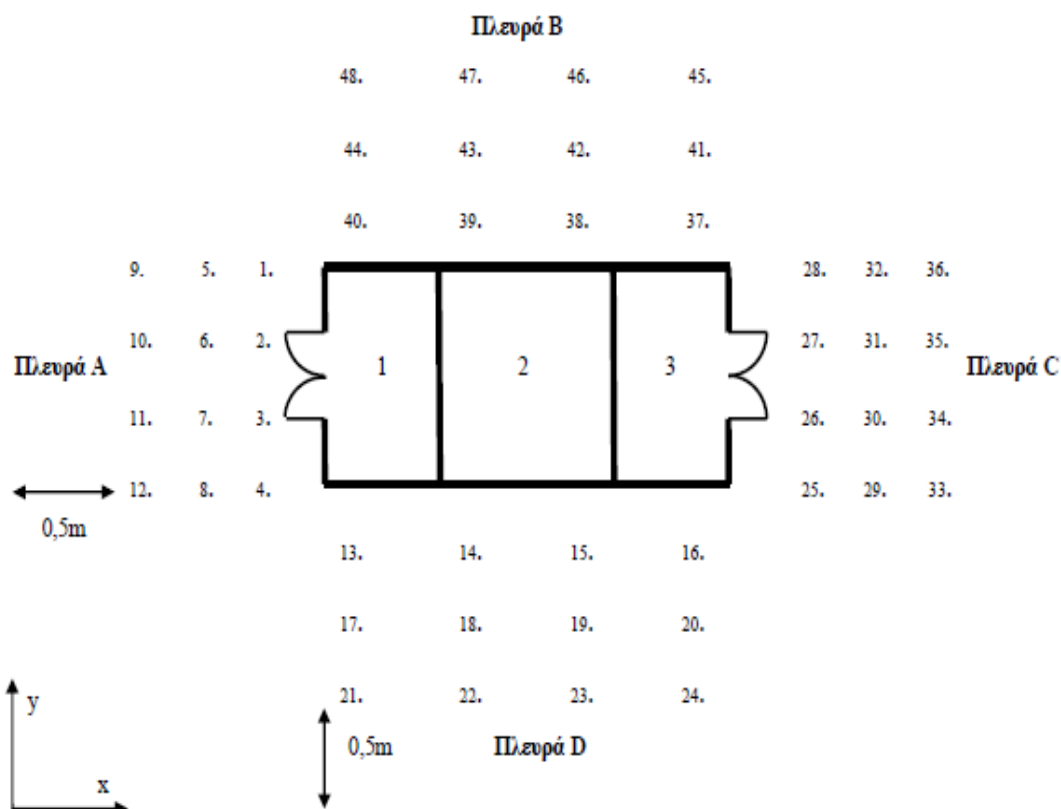
Στο σχήμα 4.4.2 δίνεται απλοποιημένη η κάτοψη του υποσταθμού. Στο χώρο 1 είναι η χαμηλή τάση (ζυγοί, αποζεύκτες, ασφάλειες και οι αναχωρήσεις). Στο χώρο 2 βρίσκεται ο μετασχηματιστής και στο χώρο 3 η διάταξη παροχής μέσης τάσης προς το μετασχηματιστή. Το περίβλημα του υποσταθμού είναι μεταλλικό με διαστάσεις περίπου: ύψος 1,7 m από το έδαφος, μήκος 3,6 m, πλάτος 1,6 m. Το δάπεδο του υποσταθμού βρίσκεται συνήθως 1 m μέσα στο έδαφος.

Αρχικά έγιναν μετρήσεις σε έναν υποσταθμό, στον οποίο τα σημεία μέτρησης καθορίστηκαν όπως δίνεται στο σχήμα 4.4.2. Οι μετρήσεις στα σημεία 1÷12 και 25÷36 επαναλήφθηκαν και στις δυο πλευρές (πρόσοψη, πλευρά χαμηλής τάσης και οπίσθια όψη, πλευρά μέσης τάσης) με τις πόρτες του υποσταθμού ανοικτές.

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε 3 διαφορετικά ύψη από το έδαφος, 1 m, 1,5 m, 1,7 m μέσω της ρυθμιζόμενης ξύλινης βάσης που έχει προαναφερθεί. Αποδεχόμενοι ότι η απόσταση 0 m, ήταν όταν το όργανο είχε τοποθετηθεί στο έδαφος, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις ώστε να διερευνηθεί η επίδραση των υπογείων καλωδίων στην απόσταση αυτή.

Η συνισταμένη της μαγνητικής επαγωγής μετρήθηκε σε 3 διαφορετικές οριζόντιες αποστάσεις, (κάθετα στην όψη του μεταλλικού οικίσκου που αντιστοιχεί στην πλευρά μέτρησης) 0,5 m, 1 m και 1,5 m. Έτσι όταν πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις η απόσταση p_x του σημείου μέτρησης 1 από την πλευρά Α ήταν 0,5 m, του σημείου μέτρησης 5 ήταν 1 m, του σημείου μέτρησης 9 ήταν 1,5 m κλπ. Οι τιμές της

συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής σε κάθε σημείο μέτρησης, πάρθηκαν με την τοποθέτηση του οργάνου είτε στο έδαφος, είτε στη ξύλινη βάση. Οι αισθητήρες του οργάνου ήταν προσανατολισμένοι προς την πλευρά του υποσταθμού, σε οριζόντια θέση ως προς το έδαφος. Η μέγιστη τιμή του καταγραφόταν μετά από περίοδο 1 ± 2 λεπτών. Η αρχή των αξόνων βρίσκεται 0,5 m αριστερά από το σημείο 12 και 0,5 m κάτω από το σημείο 21 (βλ. σχήμα 4.4.2.). Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων το όργανο ρυθμίστηκε να μετρά τη συνισταμένη της μαγνητικής επαγωγής της θεμελιώδους αρμονικής των 50 Hz στο εύρος συχνοτήτων 40 ± 800 Hz.



Σχήμα 4.4.2: Σημεία μέτρησης της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής στην περιοχή του υποσταθμού διανομής τύπου κιοσκ.

Σημείωση:

Χώρος 1: Χαμηλή τάση

Χώρος 2: Μετασχηματιστής

Χώρος 3: Μέση τάση

Στον πίνακα 4.4.1 δίνονται οι περιοχές τιμών της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής που μετρήθηκαν σε οριζόντιες αποστάσεις 0,5 m, 1 m και 1,5 m (κάθετα στην όψη του μεταλλικού οικίσκου που αντιστοιχεί στην πλευρά μέτρησης) με κλειστές τις πόρτες του υποσταθμού. Στον πίνακα 4.4.2 δίνονται οι περιοχές τιμών της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής στις πλευρές της χαμηλής και μέσης τάσης με τις πόρτες του υποσταθμού ανοικτές, που αναφέρονται στην έκθεση εργαζομένων. Τα

ρεύματα στην πλευρά της χαμηλής τάσης καταγράφηκαν τρεις φορές, μία κάθε ώρα και η μέση τιμή τους στις τρεις φάσεις ήταν $I_1=780$ A, $I_2=654$ A, $I_3=845$ A.

Επομένως επειδή για ονομαστική ισχύ των μετασχηματιστών 630 kVA, το ονομαστικό ρεύμα είναι περίπου $I_N = 910$ A και η μέση τιμή των ρευμάτων ήταν περίπου $I_\mu = 760$ A, είναι $I_\mu / I_N \approx 0,83$.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται χωρίς σχόλια τα αποτελέσματα των μετρήσεων. Από τα σχήματα 4.4.3 έως 4.4.6 των τρισδιάστατων απεικονίσεων, φαίνεται η κατανομή της συνισταμένης τιμής της μαγνητικής επαγωγής στην περιοχή περιμετρικά του υποσταθμού σε ύψη 0 m, 1 m, 1,5 m και 1,7 m από το έδαφος. Στα σχήματα 4.4.7 έως 4.4.9 δίνονται οι τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής που καταγράφηκαν με τις πόρτες ανοικτές στα σημεία μέτρησης 1÷12 και 25÷36 σε ύψη 1 m, 1,5 m και 1,7 m από το έδαφος.

Οριζόντια απόσταση (m)	Συνισταμένη τιμή μαγνητικής επαγωγής (μT)				Όριο ICNIRP
	Πλευρά A	Πλευρά B	Πλευρά C	Πλευρά D	
0,5	8÷39	0,7÷9,2	0,55÷1,2	0,7÷9,2	100 μT
1	4÷14	0,55÷4	0,4÷0,55	0,55÷4	
1,5	2,1÷7,7	0,55÷3,4	0÷0,55	0,55÷3,4	

Πίνακας 4.4.1: Τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής με τις πόρτες της χαμηλής και μέσης τάσης κλειστές συγκρινόμενες με το όριο ασφαλείας του ICNIRP που αφορά την έκθεση του κοινού.

Σημείωση:

α) Η οριζόντια απόσταση μετρήθηκε από 0,5÷1,5 m προς όλες τις πλευρές του υποσταθμού (βλ. σχήμα 4.4.2)

β) Οι πλευρές A,B,C και D μαζί με τα σημεία μέτρησης σε αυτές καθορίζονται στο σχήμα 4.4.2.

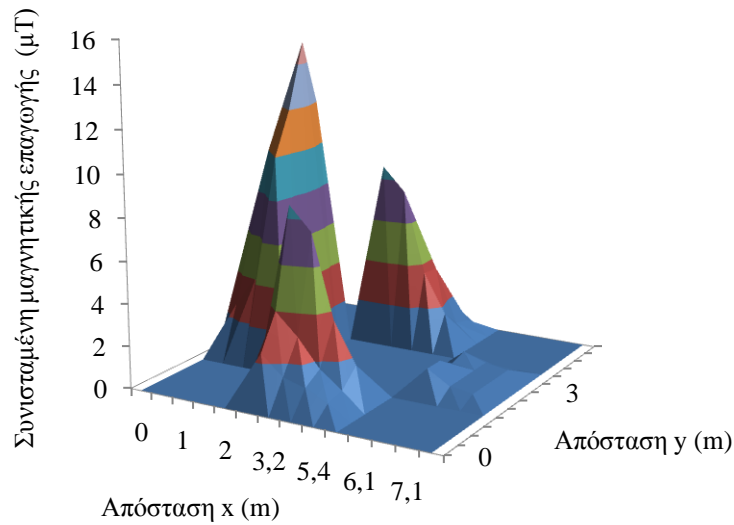
Οριζόντια απόσταση (m)	Συνισταμένη τιμή μαγνητικής επαγωγής (μT)		Όριο ICNIRP
	Πλευρά A	Πλευρά C	
0,5	12÷80	0,55÷3,1	500 μT
1	7,5÷29	0,55÷0,9	
1,5	3÷12	0,4÷0,7	

Πίνακας 4.4.2: Τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής με τις πόρτες της χαμηλής και μέσης τάσης ανοικτές συγκρινόμενες με το όριο ασφαλείας του ICNIRP που αφορά την έκθεση των εργαζομένων.

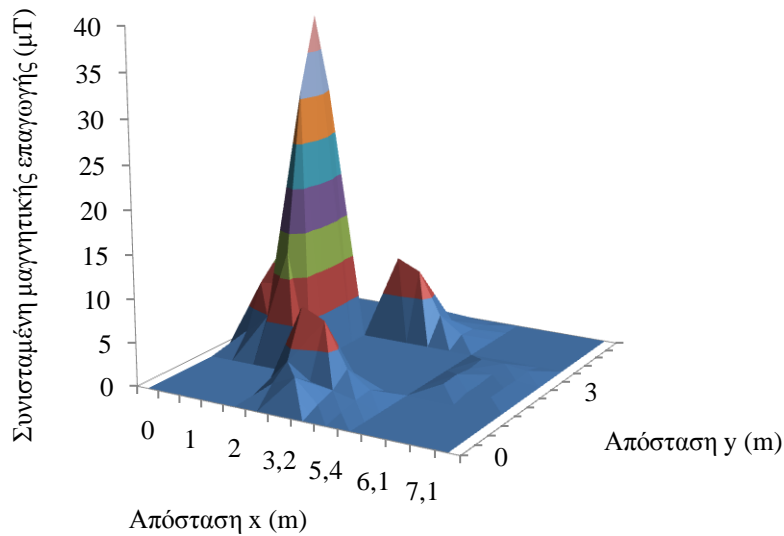
Σημείωση:

α) Η οριζόντια απόσταση μετρήθηκε από 0,5÷1,5 m στις πλευρές A και C του υποσταθμού (βλ. σχήμα 4.4.2)

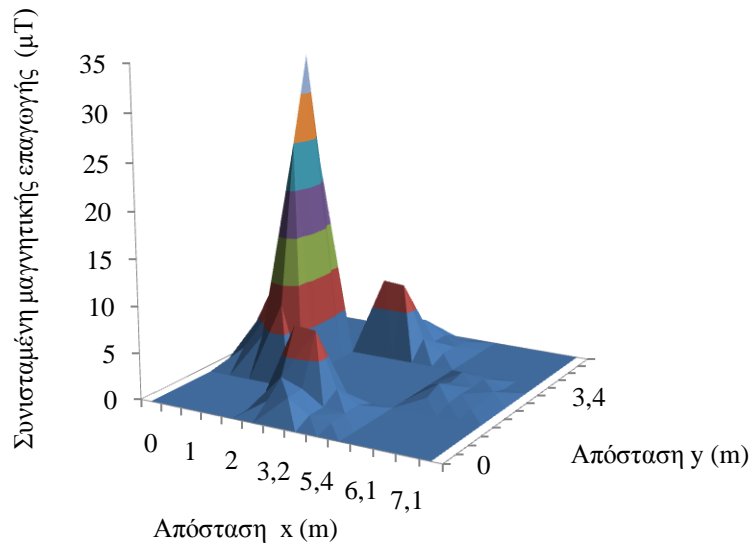
β) Οι πλευρές A και C μαζί με τα σημεία μέτρησης σε αυτές καθορίζονται στο σχήμα 4.4.2.



Σχήμα 4.4.3: Κατανομή της συνισταμένης τιμής της μαγνητικής επαγωγής στα 50 Hz, σε ύψος 0 m από το έδαφος με τις πόρτες στις πλευρές τις χαμηλής και μέσης τάσης του υποσταθμού κλειστές (πλευρές A και C, βλ. σχήμα 4.4.2), στην περιοχή του υπαιθρίου υποσταθμού διανομής εντός μεταλλικού οικίσκου 630 kVA στα Χανιά.
 Σημείωση:
 Η περιοχή που απεικονίζεται ορίζεται από τους άξονες x και y, όπως δίνονται στο σχήμα 4.4.2.



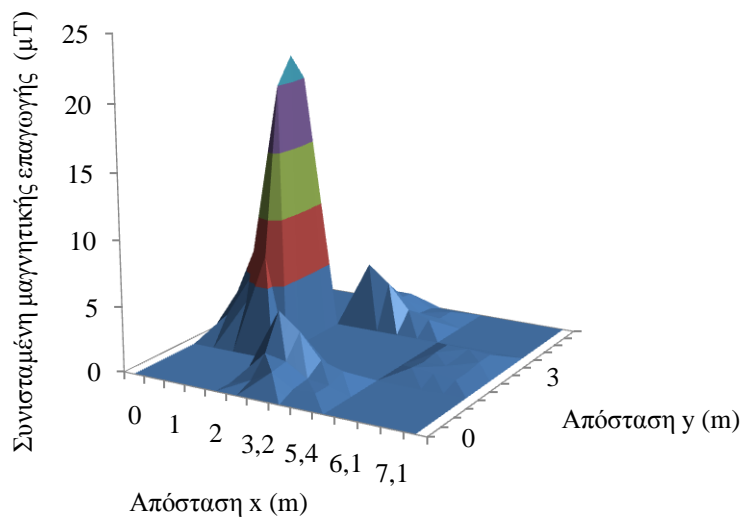
Σχήμα 4.4.4: Κατανομή της συνισταμένης τιμής της μαγνητικής επαγωγής στα 50 Hz, σε ύψος 1 m από το έδαφος με τις πόρτες στις πλευρές τις χαμηλής και μέσης τάσης του υποσταθμού κλειστές, (πλευρές A και C, βλ. σχήμα 4.4.2), στην περιοχή του υπαιθρίου υποσταθμού διανομής εντός μεταλλικού οικίσκου 630 kVA στα Χανιά.
 Σημείωση:
 Η περιοχή που απεικονίζεται ορίζεται από τους άξονες x και y, όπως δίνονται στο σχήμα 4.4.2.



Σχήμα 4.4.5: Κατανομή της συνισταμένης τιμής της μαγνητικής επαγωγής στα 50 Hz, σε ύψος 1,5 m από το έδαφος με τις πόρτες στις πλευρές τις χαμηλής και μέσης τάσης του υποσταθμού κλειστές, (πλευρές A και C, βλ.σχήμα 4.4.2), στην περιοχή του υπαιθρίου υποσταθμού διανομής εντός μεταλλικού οικίσκου 630 kVA στα Χανιά.

Σημείωση:

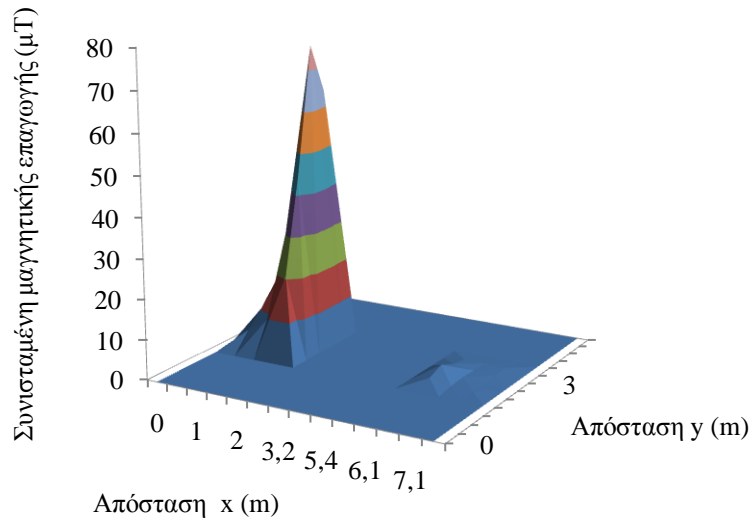
Η περιοχή που απεικονίζεται ορίζεται από τους άξονες x και y, όπως δίνονται στο σχήμα 4.4.2.



Σχήμα 4.4.6: Κατανομή της συνισταμένης τιμής της μαγνητικής επαγωγής στα 50 Hz, σε ύψος 1,7 m από το έδαφος με τις πόρτες στις πλευρές τις χαμηλής και μέσης τάσης του υποσταθμού κλειστές, (πλευρές A και C, βλ.σχήμα 4.4.2), στην περιοχή του υπαιθρίου υποσταθμού διανομής εντός μεταλλικού οικίσκου 630 kVA στα Χανιά.

Σημείωση:

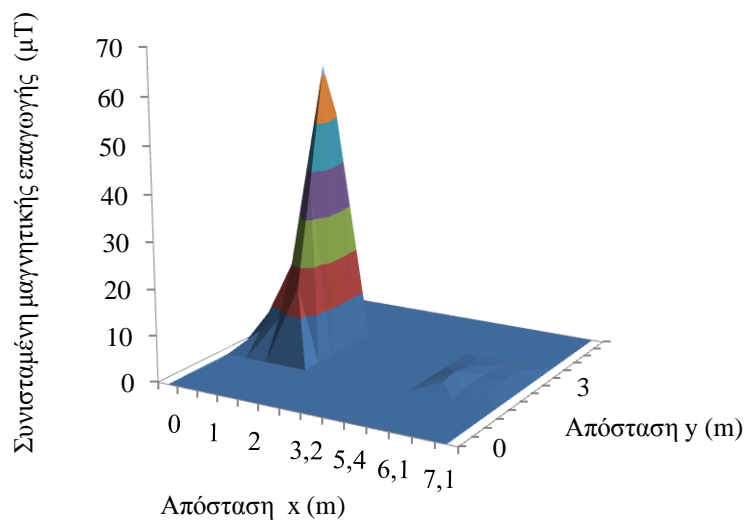
Η περιοχή που απεικονίζεται ορίζεται από τους άξονες x και y, όπως δίνονται στο σχήμα 4.4.2.



Σχήμα 4.4.7: Κατανομή της συνισταμένης τιμής της μαγνητικής επαγωγής στα 50 Hz, σε ύψος 1 m από το έδαφος με τις πόρτες ανοικτές στις πλευρές τις χαμηλής και μέσης τάσης του υποσταθμού, (πλευρές A και C, βλ.σχήμα 4.4.2), στην περιοχή του υπαιθρίου υποσταθμού διανομής εντός μεταλλικού οικίσκου 630 kVA στα Χανιά.

Σημείωση:

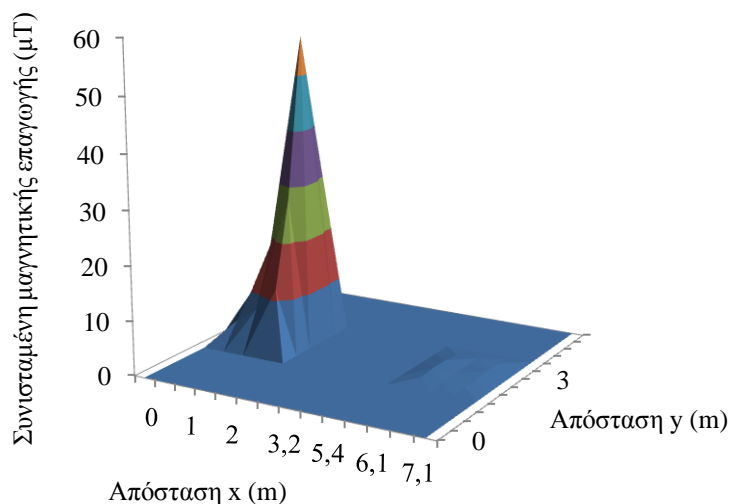
Η περιοχή που απεικονίζεται ορίζεται από τους άξονες x και y, όπως δίνονται στο σχήμα 4.4.2.



Σχήμα 4.4.8: Κατανομή της συνισταμένης τιμής της μαγνητικής επαγωγής στα 50 Hz, σε ύψος 1,5 m από το έδαφος με τις πόρτες ανοικτές στις πλευρές τις χαμηλής και μέσης τάσης του υποσταθμού, (πλευρές A και C, βλ. σχήμα 4.4.2), στην περιοχή του υπαιθρίου υποσταθμού διανομής εντός μεταλλικού οικίσκου 630 kVA στα Χανιά.

Σημείωση:

Η περιοχή που απεικονίζεται ορίζεται από τους άξονες x και y, όπως δίνονται στο σχήμα 4.4.2



Σχήμα 4.4.9: Κατανομή της συνισταμένης τιμής της μαγνητικής επαγωγής στα 50 Hz, σε ύψος 1,7 m από το έδαφος με τις πόρτες ανοικτές στις πλευρές τις χαμηλής και μέσης τάσης του υποσταθμού, (πλευρές A και C, βλ. σχήμα 4.4.2) , στην περιοχή του υπαιθρίου υποσταθμού διανομής εντός μεταλλικού οικίσκου 630 kVA στα Χανιά.

Σημείωση:

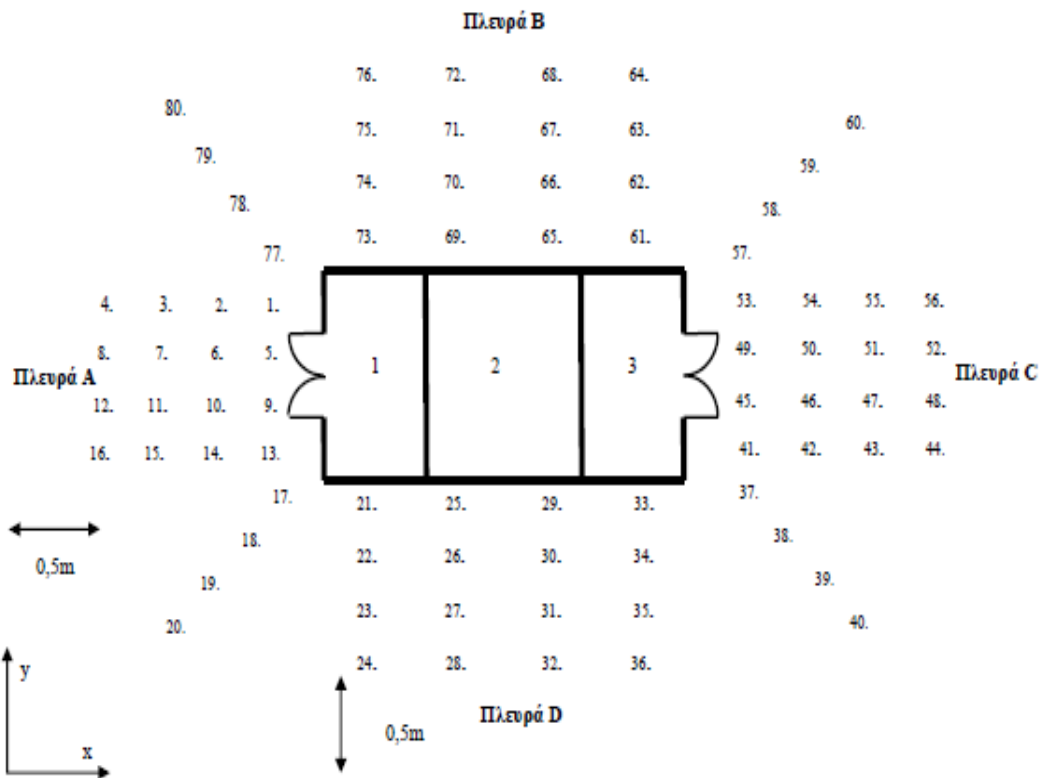
Η περιοχή που απεικονίζεται ορίζεται από τους άξονες x και y, όπως δίνονται στο σχήμα 4.4.2

Ακολούθως πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις σε άλλους 7 υποσταθμούς εντός μεταλλικού οικίσκου (τύπου κιόσκ) ισχύος και πάλι 630 kVA. Το πλέγμα των σημείων μέτρησης στην περιοχή των υποσταθμών δίνεται στο σχήμα 4.4.10. Για κάθε υποσταθμό επιλέχθηκαν 80 σημεία μέτρησης.

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν όπως και προηγουμένως σε τρία διαφορετικά ύψη από το έδαφος (1 m, 1,5 m και 1,7 m) και σε δύο κατηγορίες οριζοντίων αποστάσεων 0÷30 cm και 0÷3 m (κάθετα στην όψη του μεταλλικού οικίσκου που αντιστοιχεί στην πλευρά μέτρησης). Έτσι όταν πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις στα 80 σημεία σε οριζόντιες αποστάσεις 0÷30 cm, κάθετα στην όψη του μεταλλικού οικίσκου που αντιστοιχεί στην πλευρά μέτρησης, η απόσταση μεταξύ των σημείων πχ 1 και 2, 21 και 22, 41 και 42, 61 και 62 ήταν 10 cm, ενώ όταν πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις στα 80 σημεία σε οριζόντιες αποστάσεις 0÷3 m, κάθετα στην όψη του μεταλλικού οικίσκου που αντιστοιχεί στην πλευρά μέτρησης, η απόσταση μεταξύ των σημείων πχ 1 και 2, 21 και 22, 41 και 42, 61 και 62 ήταν 1 m.

Οι μετρήσεις της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής στα διάφορα ύψη και θέσεις κατά το σχήμα 4.4.10, επετεύχθησαν με τη χρήση της ρυθμιζόμενης καθ' ύψος ξύλινης βάσης. Η αρχή των αξόνων ορίστηκε 0,5 m αριστερά των σημείων 4, 8, 12 και 16 και 0,5 m κάτω από το σημείο 24. Σε κάθε σημείο και ύψος μέτρησης το όργανο High

Field EMDEX II τοποθετήθηκε στην ξύλινη βάση με τους αισθητήρες του οργάνου προσανατολισμένους προς την πλευρά του κάθε υποσταθμού, σε οριζόντια θέση ως προς το έδαφος. Η μέγιστη τιμή της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής καταγραφόταν μετά από χρονική περίοδο περίπου ενός λεπτού.



Σχήμα 4.4.10: Σημεία μέτρησης της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής στην περιοχή των επτά υποσταθμών διανομής εντός μεταλλικού οικίσκου (τύπου κιόσκ).

Σημείωση:

Χώρος 1: Χαμηλή τάση

Χώρος 2: Μετασχηματιστής

Χώρος 3: Μέση τάση

Σε κάθε υποσταθμό έγιναν τέσσερις σειρές μετρήσεων της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής. Στα σημεία μέτρησης 0÷80 (βλ.σχήμα 4.4.10), σε όλα τα προαναφερθέντα ύψη πραγματοποιήθηκε η πρώτη σειρά μετρήσεων σε μικρή απόσταση από κάθε υποσταθμό και συγκεκριμένα σε οριζόντιες αποστάσεις 0÷30 cm (κάθετα στην όψη του μεταλλικού οικίσκου που αντιστοιχεί στην πλευρά μέτρησης). Η δεύτερη σειρά μετρήσεων έγινε σε οριζόντιες αποστάσεις 0÷3 m (κάθετα στην όψη του μεταλλικού οικίσκου που αντιστοιχεί στην πλευρά μέτρησης).

Οι τελευταίες δύο σειρές των μετρήσεων πραγματοποιήθηκαν στην πλευρά της χαμηλής και μέσης τάσης, με τις πόρτες των υποσταθμών ανοικτές, σε οριζόντιες αποστάσεις 0÷30 cm και 0÷3 m (κάθετα στην όψη του μεταλλικού οικίσκου που αντιστοιχεί στην πλευρά μέτρησης) και σε ύψη 1 m, 1,5 m και 1,7 m από το έδαφος.

Σκοπός των μετρήσεων αυτών ήταν να παρατηρηθεί το επίπεδο του μαγνητικού πεδίου κατά την παρουσία εργαζομένων, αλλά και να εξετασθεί η θωράκιση που παρέχεται από το μεταλλικό περίβλημα. Η χρονολογική σειρά διεξαγωγής των μετρήσεων περιγράφεται στον πίνακα 4.4.3.

Μαζί με τις μετρήσεις της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής, καταγράφηκαν και τα ρεύματα στις τρεις φάσεις, στην πλευρά της χαμηλής τάσης του κάθε υποσταθμού κατά τη διάρκεια 24 h.

Στον πίνακα 4.4.4 δίνονται οι μέσες τιμές των ρευμάτων $I_{\mu,1}^{(i)}$, $I_{\mu,2}^{(i)}$, $I_{\mu,3}^{(i)}$ και $I_{\mu,4}^{(i)}$ κατά τις ακόλουθες χρονικές περιόδους : 9:00÷11:00, 11:00÷13:00, 13:00÷14:00 και 14:00÷15:00 h αντίστοιχα. Για παράδειγμα $I_{\mu,2}^{(1)}$ είναι η μέση τιμή των ρευμάτων του υποσταθμού 1 κατά τη χρονική περίοδο 11:00÷13:00 h. Το $I_{\mu,6}^{(i)}$ είναι η μέση τιμή των ρευμάτων κατά τη διάρκεια των έξι ωρών της διαδικασίας των μετρήσεων και $I_{\mu}^{(i)}$ η μέση τιμή τους κατά τη διάρκεια των 24 h.

Μετά την καταγραφή των μετρήσεων από όλους τους υποσταθμούς η μέση τιμή της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής σε κάθε ύψος και για κάθε μετρούμενο σημείο j υπολογίστηκε από την σχέση (4.2.1).

Ενδεικτικές μετρήσεις, με την τοποθέτηση φύλλων αλουμινίου (πάχους 0,5 mm) εξωτερικά επί των επιφανειών του οικίσκου των υποσταθμών, έδειξαν παρόμοια αποτελέσματα μείωσης της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής με τα προαναφερθέντα για τους πίνακες διανομής χαμηλής τάσης.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται χωρίς σχόλια τα αποτελέσματα των μετρήσεων. Έτσι, στα σχήματα 4.4.11 έως 4.4.13 από τα τρισδιάστατα διαγράμματα, φαίνεται η κατανομή της μέσης τιμής της μαγνητικής επαγωγής 50 Hz σε ύψη 1 m, 1,5 m και 1,7 m από το έδαφος και σε οριζόντιες αποστάσεις 0÷3 m (κάθετα στην όψη του μεταλλικού οικίσκου που αντιστοιχεί στην πλευρά μέτρησης), από τους υποσταθμούς. Στα σχήματα 4.4.14 έως 4.4.17 δίνονται οι μέσες τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής σε ύψος 1 m και σε οριζόντιες αποστάσεις 0÷3 m (κάθετα στην όψη του μεταλλικού οικίσκου που αντιστοιχεί στην πλευρά μέτρησης), στους 7 υπαίθριους υποσταθμούς διανομής εντός μεταλλικού οικίσκου στις τέσσερις πλευρές τους A,B,C και D (βλ.σχήμα 4.4.10).

Οι μετρήσεις της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής στα σημεία 1÷16 και 41÷56 (βλ.σχήμα 4.4.10), σε ύψος 1 m και σε οριζόντιες αποστάσεις 0÷3 m (κάθετα στην όψη του μεταλλικού οικίσκου που αντιστοιχεί στην πλευρά μέτρησης), οι οποίες πραγματοποιήθηκαν με τις πόρτες ανοικτές στις πλευρές της χαμηλής και μέσης τάσης του υποσταθμού δίνονται στα σχήματα 4.4.18 και 4.4.19.

Η μέγιστη τιμή που μετρήθηκε στην πλευρά της χαμηλής τάσης με τις πόρτες ανοικτές ήταν 138,40μT, στον υποσταθμό 4 στο σημείο 5 (βλ.σχήμα 4.4.10) σε μηδενική απόσταση από τον μεταλλικό οικίσκο και σε ύψος 1 m από το έδαφος. Ενώ στον ίδιο υποσταθμό η μέγιστη τιμή στην πλευρά της μέσης τάσης ήταν 8,12 μT στην ίδια οριζόντια απόσταση και ύψος από το έδαφος.

Στα σχήματα 4.4.20 και 4.4.21 δίνονται οι μετρήσεις της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής στους 7 υπαίθριους υποσταθμούς σε τρία ύψη από το έδαφος (1 m, 1,5 m και 1,7 m) κατά μήκος της ευθείας που ενώνει τα σημεία 5 και 8 στην πλευρά Α και κατά μήκος της ευθείας που ενώνει τα σημεία 45 και 48 στην πλευρά C αντίστοιχα.

Σειρά μετρήσεων	Ώρα	Αποστάσεις και σημεία μέτρησης
1	9:00÷11:00	0÷30 cm , στα σημεία 0÷80
2	11:00÷13:00	0÷3 m , στα σημεία 0÷80
3	13:00÷14:00	0÷30 cm , στα σημεία 1÷20 και 77÷80 στην πλευρά της χαμηλής τάσης
4	14:00÷15:00	0÷3 m , στα σημεία 37÷60 στην πλευρά της μέσης τάσης

Πίνακας 4.4.3: Χρονολογική σειρά των μετρήσεων στην περιοχή των υποσταθμών διανομής εντός μεταλλικών οικίσκων στα Χανιά όπου δίνονται οι αποστάσεις και τα σημεία μέτρησης.

a/a Υποσταθμός	Μέση τιμή ρεύματος					
	$I_{\mu,1}$ (A)	$I_{\mu,2}$ (A)	$I_{\mu,3}$ (A)	$I_{\mu,4}$ (A)	$I_{\mu,6}$ (A)	I_{μ} (A)
1	341	392	403	385	380	335
2	398	405	420	447	418	342
3	324	338	357	375	349	272
4	462	477	489	457	471	414
5	319	335	341	309	326	264
6	268	275	285	280	385	277
7	339	346	367	360	436	353

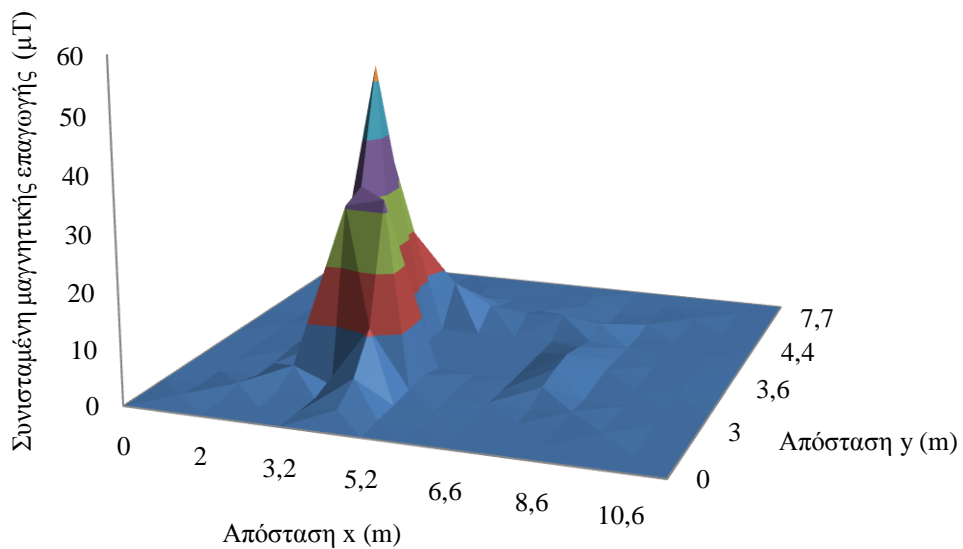
Πίνακας 4.4.4: Μέσες τιμές των ρευμάτων στην πλευρά της χαμηλής τάσης των υπαίθριων υποσταθμών διανομής εντός μεταλλικών οικίσκων στα Χανιά.

Σημείωση:

$I_{\mu,1}$, $I_{\mu,2}$, $I_{\mu,3}$, και $I_{\mu,4}$, μέσες τιμές των ρευμάτων, κατά τις χρονικές περιόδους 9:00÷11:00, 11:00÷13:00, 13:00÷14:00 και 14:00÷15:00 h αντίστοιχα.

$I_{\mu,6}$, μέση τιμή του ρεύματος κατά τη διάρκεια των 6 h.

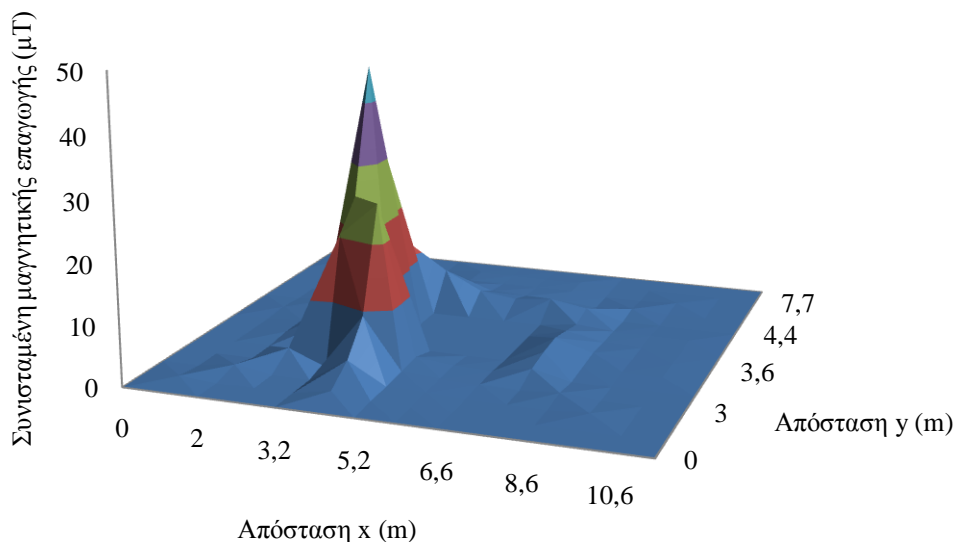
I_{μ} , μέση τιμή του ρεύματος το 24 h



Σχήμα 4.4.11: Κατανομή της μέσης τιμής της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής στα 50 Hz σε ύψος 1 m από το έδαφος στην περιοχή των 7 υπαιθρίων υποσταθμών διανομής εντός μεταλλικών οικίσκων 630 kVA στα Χανιά.

Σημείωση:

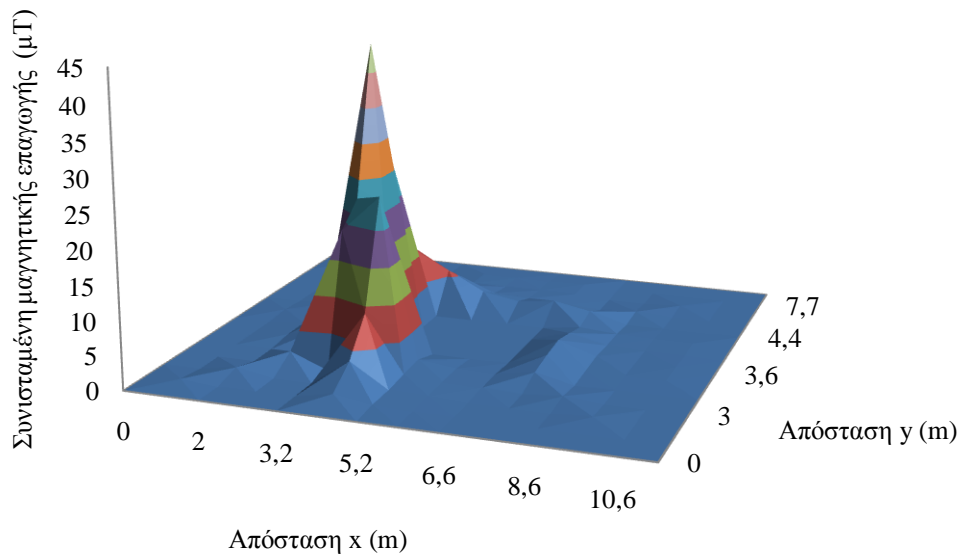
Η περιοχή που απεικονίζεται ορίζεται από τους άξονες x και y, όπως δίνονται στο σχήμα 4.4.10.



Σχήμα 4.4.12: Κατανομή της μέσης τιμής της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής στα 50 Hz σε ύψος 1,5 m από το έδαφος στην περιοχή των 7 υπαιθρίων υποσταθμών διανομής εντός μεταλλικών οικίσκων 630 kVA στα Χανιά.

Σημείωση:

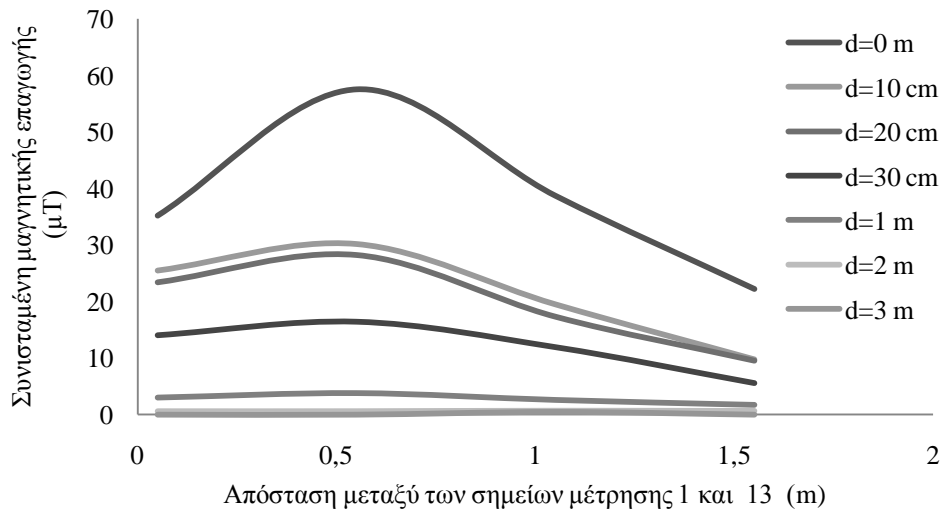
Η περιοχή που απεικονίζεται ορίζεται από τους άξονες x και y, όπως δίνονται στο σχήμα 4.4.10.



Σχήμα 4.4.13: Κατανομή της μέσης τιμής της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής στα 50 Hz σε ύψος 1,7 m από το έδαφος στην περιοχή των 7 υπαιθρίων υποσταθμών διανομής εντός μεταλλικών οικίσκων 630 kVA στα Χανιά.

Σημείωση:

Η περιοχή που απεικονίζεται ορίζεται από τους άξονες x και y, όπως δίνονται στο σχήμα 4.4.10.

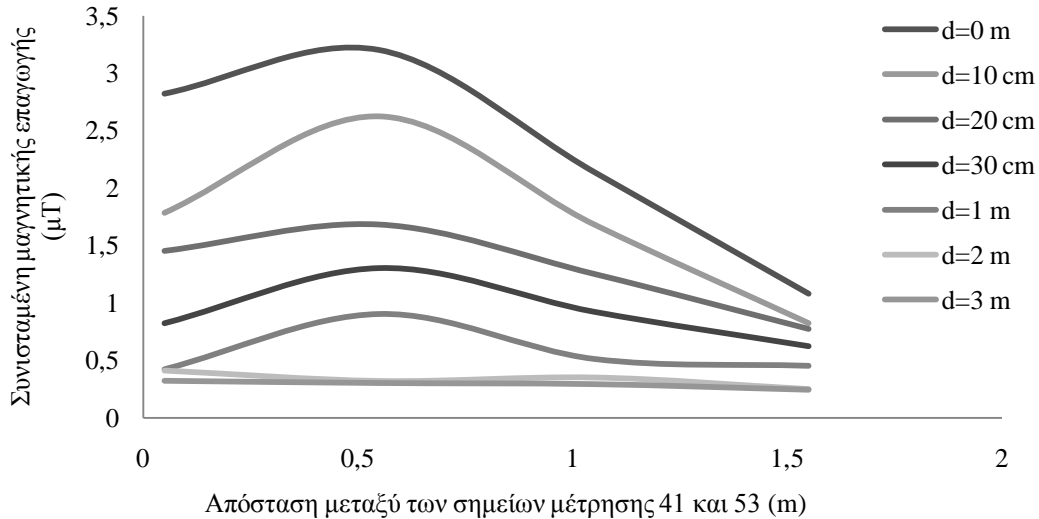


Σχήμα 4.4.14: Μέσες τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής σε ύψος 1 m και σε οριζόντιες αποστάσεις $d=0\div 3$ m στους 7 υπαίθριους υποσταθμούς διανομής εντός μεταλλικού οικίσκου στα Χανιά.

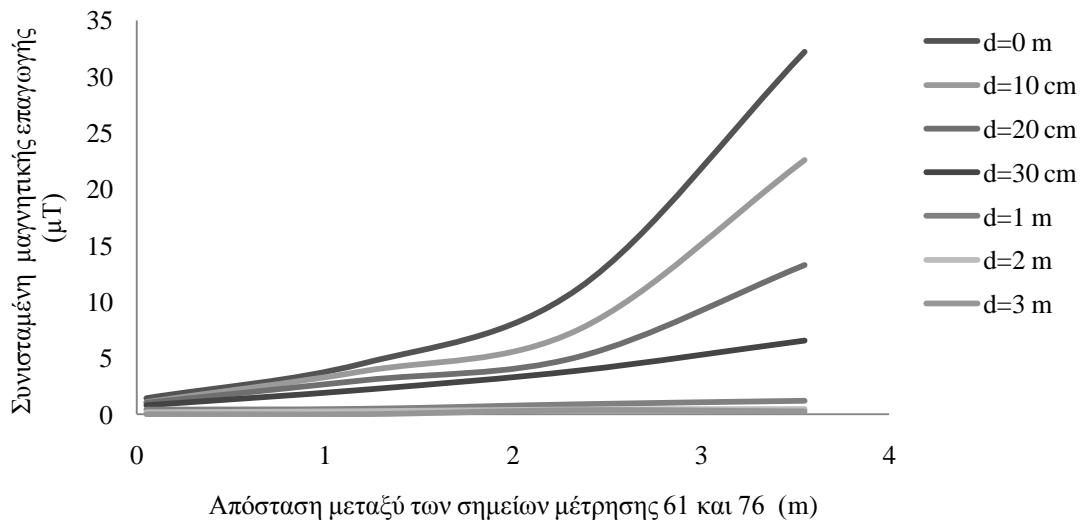
Σημείωση:

1) Αφορά την πλευρά Α (βλ. σχήμα 4.4.10) που αποτελείται από τα σημεία μέτρησης 1÷16.

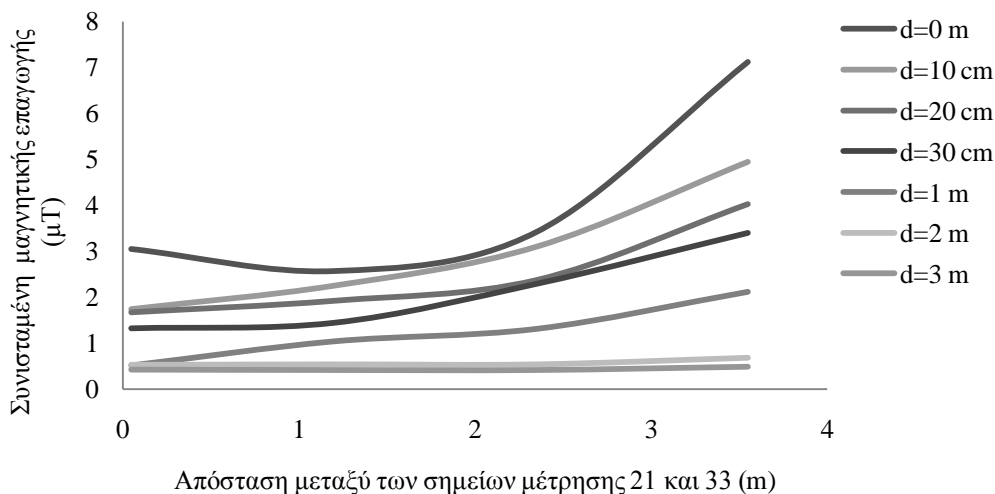
2) Ως οριζόντια απόσταση εννοείται η απόσταση κάθετα στην όψη του μεταλλικού οικίσκου που αντιστοιχεί στην πλευρά μέτρησης.



Σχήμα 4.4.15: Μέσες τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής σε ύψος 1 m και σε οριζόντιες αποστάσεις $d=0\div3$ m στους 7 υπαίθριους υποσταθμούς διανομής εντός μεταλλικού οικίσκου στα Χανιά.
 Σημείωση:
 1) Αφορά την πλευρά C (βλ. σχήμα 4.4.10) που αποτελείται από τα σημεία μέτρησης 41÷56.
 2) Ως οριζόντια απόσταση εννοείται η απόσταση κάθετα στην όψη του μεταλλικού οικίσκου που αντιστοιχεί στην πλευρά μέτρησης.



Σχήμα 4.4.16: Μέσες τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής σε ύψος 1 m και σε οριζόντιες αποστάσεις $d=0\div3$ m στους 7 υπαίθριους υποσταθμούς διανομής εντός μεταλλικού οικίσκου στα Χανιά.
 Σημείωση:
 1) Αφορά την πλευρά B (βλ. σχήμα 4.4.10) που αποτελείται από τα σημεία μέτρησης 61÷76.
 2) Ως οριζόντια απόσταση εννοείται η απόσταση κάθετα στην όψη του μεταλλικού οικίσκου που αντιστοιχεί στην πλευρά μέτρησης.

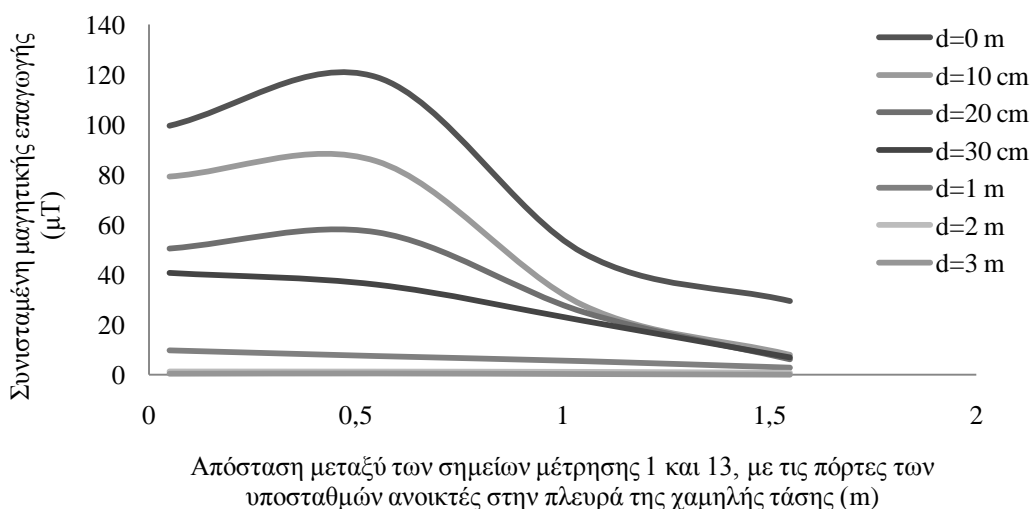


Σχήμα 4.4.17: Μέσες τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής σε ύψος 1 m και σε οριζόντιες αποστάσεις $d=0\div 3$ m στους 7 υπαίθριους υποσταθμούς διανομής εντός μεταλλικού οικίσκου στα Χανιά.

Σημείωση:

1) Αφορά την πλευρά D (βλ. σχήμα 4.4.10) που αποτελείται από τα σημεία μέτρησης 21÷36.

2) Ως οριζόντια απόσταση εννοείται η απόσταση κάθετα στην όψη του μεταλλικού οικίσκου που αντιστοιχεί στην πλευρά μέτρησης.

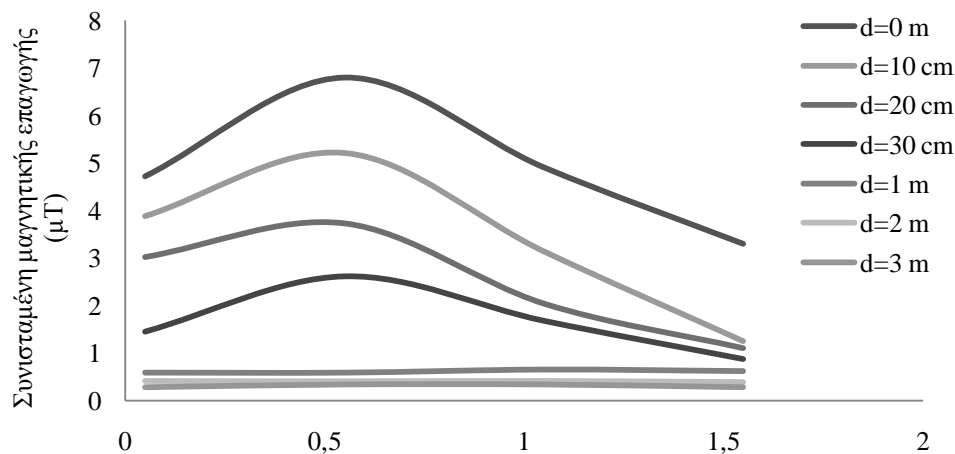


Σχήμα 4.4.18: Μέσες τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής μεταξύ των σημείων μέτρησης 1÷16 με τις πόρτες των υποσταθμών στην πλευρά της χαμηλής τάσης ανοικτές, σε ύψος 1 m και σε οριζόντιες αποστάσεις $d=0\div 3$ m, στους 7 υπαίθριους υποσταθμούς διανομής εντός μεταλλικού οικίσκου στα Χανιά.

Σημείωση:

1) Αφορά την πλευρά A (βλ. σχήμα 4.4.10) που αποτελείται από τα σημεία μέτρησης 1÷16.

2) Ως οριζόντια απόσταση εννοείται η απόσταση κάθετα στην όψη του μεταλλικού οικίσκου που αντιστοιχεί στην πλευρά μέτρησης.



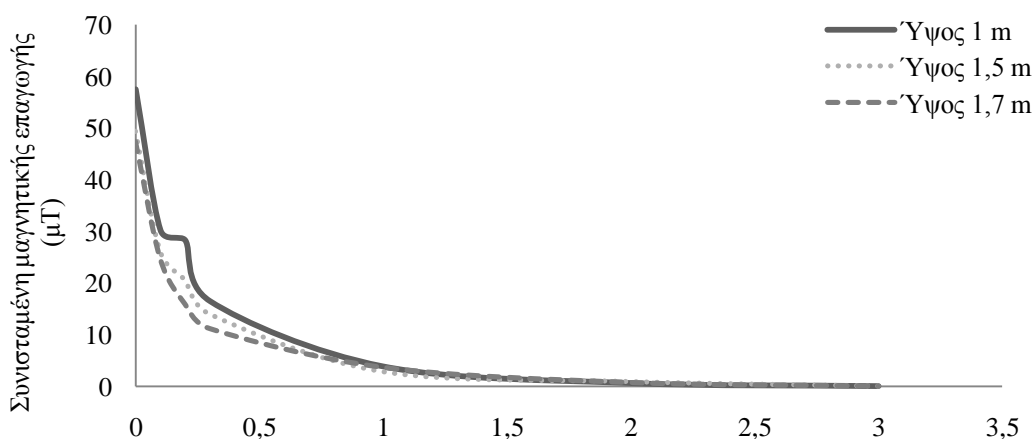
Απόσταση μεταξύ των σημείων μέτρησης 41 και 53, με τις πόρτες των υποσταθμών στην πλευρά της μέσης τάσης ανοικτές (m)

Σχήμα 4.4.19: Μέσες τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής μεταξύ των σημείων μέτρησης 41÷56 με τις πόρτες των υποσταθμών στην πλευρά της μέσης τάσης ανοικτές, σε ύψος 1 m και σε οριζόντιες αποστάσεις $d=0\div3$ m, στους 7 υπαίθριους υποσταθμούς διανομής εντός μεταλλικού οικίσκου στα Χανιά.

Σημείωση:

1) Αφορά την πλευρά C (βλ. σχήμα 4.4.10) που αποτελείται από τα σημεία μέτρησης 41÷56.

2) Ως οριζόντια απόσταση εννοείται η απόσταση κάθετα στην όψη του μεταλλικού οικίσκου που αντιστοιχεί στην πλευρά μέτρησης.

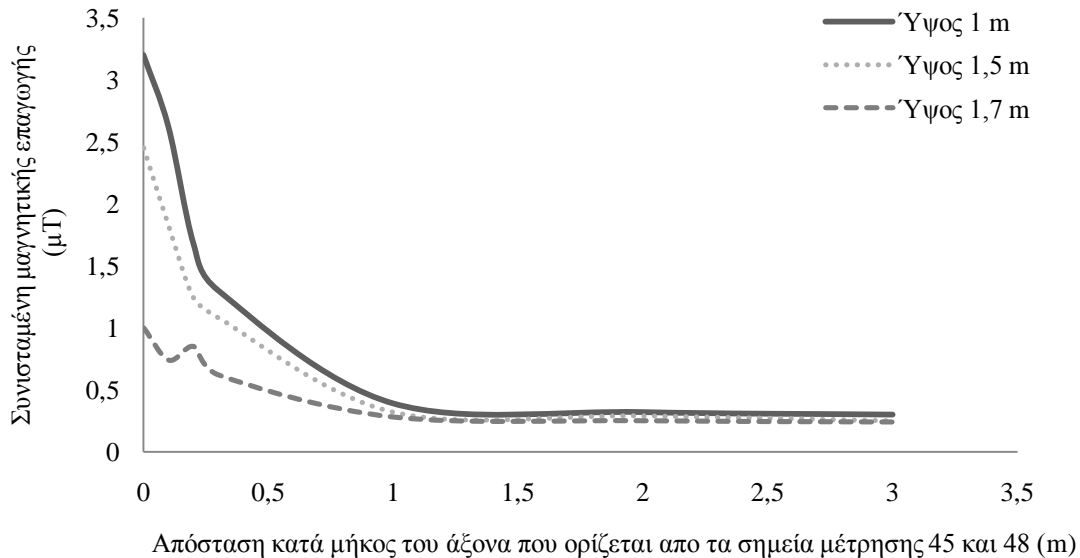


Απόσταση κατά μήκος του άξονα που ορίζεται από τα σημεία μέτρησης 5 και 8 (m)

Σχήμα 4.4.20: Μέσες τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής σε τρία ύψη από το έδαφος (1 m , 1,5 m και 1,7 m) κατά μήκος της ευθείας που ενώνει τα σημεία μέτρησης 5 και 8, στους 7 υπαίθριους υποσταθμούς διανομής εντός μεταλλικού οικίσκου στα Χανιά.

Σημείωση:

Αφορά την πλευρά A (βλ. σχήμα 4.4.10) που αποτελείται από τα σημεία μέτρησης 1÷16.



Σχήμα 4.4.21: Μέσες τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής σε τρία ύψη από το έδαφος (1 m , 1,5 m και 1,7 m) κατά μήκος της ευθείας που ενώνει τα σημεία μέτρησης 45 και 48, στους 7 υπαίθριους υποσταθμούς διανομής εντός μεταλλικού οικίσκου στα Χανιά.

Σημείωση:

Αφορά την πλευρά C (βλ.σχήμα 4.4.10) που αποτελείται από τα σημεία μέτρησης 41÷56.

4.5 Μετρήσεις σε υποσταθμούς διανομής εσωτερικού χώρου

Μετρήσεις της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής πραγματοποιήθηκαν κατά την καλοκαιρινή περίοδο εντός των χώρων τριών υπόγειων υποσταθμών διανομής 1000 kVA στα Χανιά. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε 3 διαφορετικά ύψη από το έδαφος (1 m, 1,5 m και 1,7 m) με τη χρήση της ρυθμιζόμενης καθ' ύψος ξύλινης βάσης. Μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στους χώρους όπου βρίσκονταν οι μετασχηματιστές και πίνακες της χαμηλής και μέσης τάσης. Σε κάθε σημείο και ύψος το όργανο τοποθετήθηκε σε οριζόντια θέση ως προς το έδαφος. Έπειτα από περίοδο 1÷2 λεπτών καταγραφόταν η μέγιστη τιμή της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής.

Στο σχήμα 4.5.1 παρουσιάζεται η κάτοψη του ενός υποσταθμού, όπου και φαίνονται τα διαφορετικά σημεία μέτρησης (βλ. σχήμα 4.5.2). Τα σημεία M1÷M20 ορίστηκαν στο χώρο όπου βρίσκεται ο μετασχηματιστής, ενώ τα σημεία 1÷85 στο χώρο όπου βρίσκονται οι πίνακες της χαμηλής και μέσης τάσης. Η ελάχιστη απόσταση μέτρησης από το μετασχηματιστή ήταν 1 m προς όλες τις κατευθύνσεις όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.5.2.

Ενώ οι αποστάσεις μεταξύ των σημείων στο χώρο των πινάκων κατά τον άξονα X ήταν 0,3 m και κατά τον άξονα Y 0,5 m (βλ.σχήμα 4.5.2). Οι διαστάσεις του

μετασχηματιστή είναι $1,7 \times 1,3$ m, του πίνακα της μέσης τάσης $2,8 \times 1,4$ m, του πίνακα 1 της χαμηλής $1 \times 0,4$ m και του πίνακα 2 είναι $1,5 \times 0,4$ m. Η μέση τιμή των ρευμάτων του μετασχηματιστή ήταν $I_1=719$ A, $I_2=623$ A, $I_3=800$ A, στους πίνακες χαμηλής τάσης ήταν: α) XT1 $I_1=335$ A, $I_2=322$ A και $I_3=455$ A και β) στον πίνακα XT2 $I_1=372$ A, $I_2=318$ A και $I_3=370$ A.

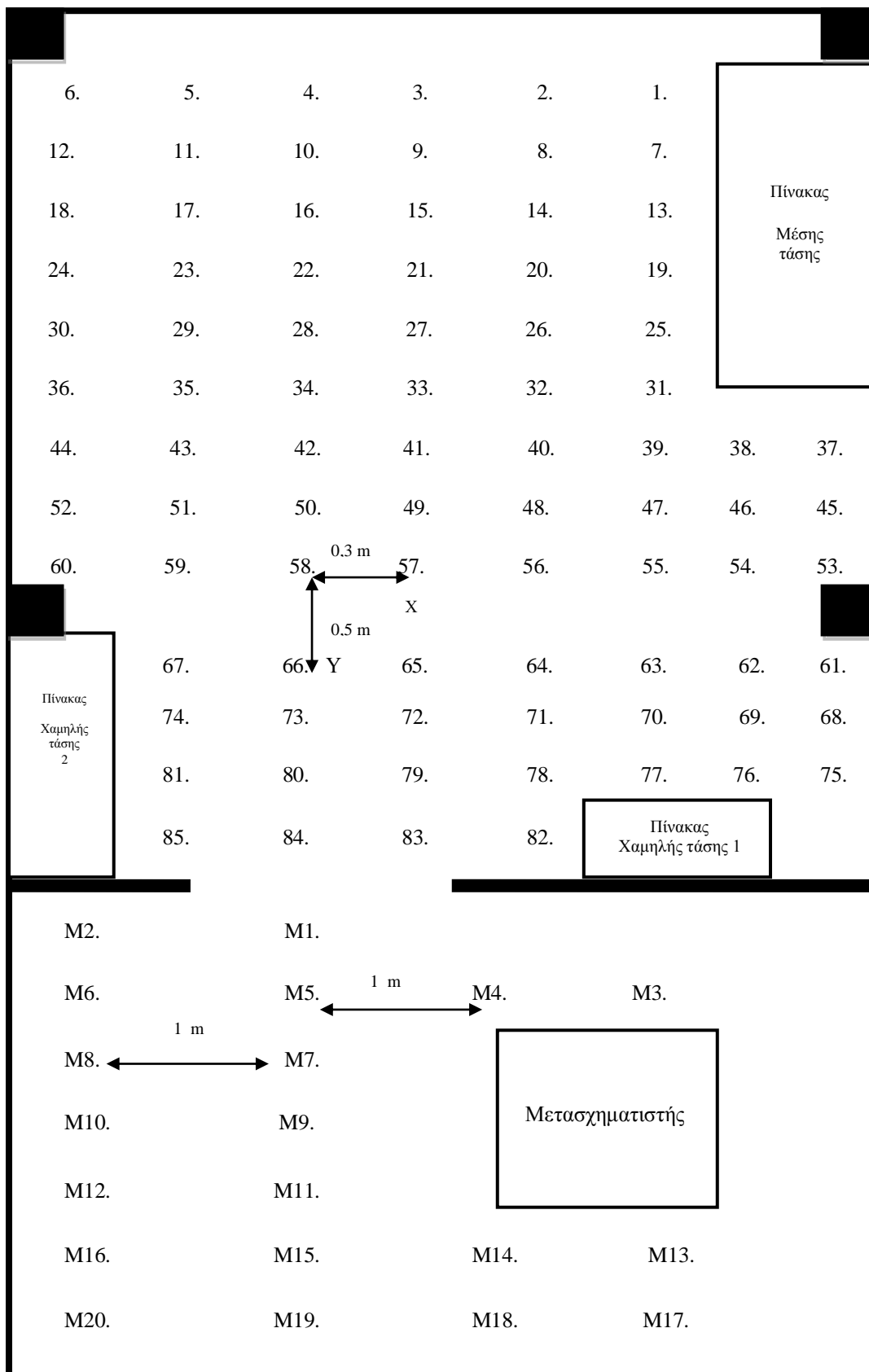
Στον πίνακα 4.5.1 παρουσιάζονται οι μετρήσεις της συνισταμένης τιμής της μαγνητικής επαγωγής στα σημεία 1÷85 στο χώρο όπου βρίσκονται οι πίνακες της μέσης και χαμηλής τάσης, ενώ στον πίνακα 4.5.2 οι μετρήσεις στα σημεία M1÷M20 στο χώρο όπου βρίσκεται ο μετασχηματιστής.

Στο σχήμα 4.5.3 δίνονται οι μετρήσεις της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής σε έναν από τους τρεις υποσταθμούς (υποσταθμό No.1), στο περιβάλλον του πίνακα της μέσης τάσης (βλ. σημεία 1÷4, 7÷10, 13÷16, 19÷22, 25÷28 και 31÷34) σε ύψος 1 m από το έδαφος και σε οριζόντιες αποστάσεις 0÷90 cm (κάθετα προς την πρόσοψη του πίνακα μέσης τάσης). Έτσι όταν πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις η οριζόντια απόσταση ρ_{χ} του σημείου μέτρησης 1 από τον πίνακα της μέσης τάσης ήταν 0 m, του σημείου μέτρησης 2 ήταν 30 cm, του σημείου μέτρησης 3 ήταν 60 cm και του σημείου μέτρησης 4 ήταν 90 cm κλπ. Η μέγιστη τιμή που καταγράφηκε ήταν 21,45 μ T στο σημείο 13 σε μηδενική απόσταση από τον πίνακα της μέσης τάσης και σε ύψος 1 m από το έδαφος. Οι μέγιστες τιμές της μαγνητικής επαγωγής που καταγραφήκαν κοντά στους πίνακες της μέσης τάσης, στους άλλους δύο υποσταθμούς ήταν 15,4 μ T και 18,9 μ T αντίστοιχα.

Στο σχήμα 4.5.4 δίνονται οι τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής στο περιβάλλον του πίνακα No.1 της χαμηλής τάσης, (βλ. σημεία 61÷64, 68÷71 και 75÷78) σε ύψος 1 m από το έδαφος και σε οριζόντιες αποστάσεις (κάθετα στην πρόσοψη του πίνακα) 0m, 0,5 m και 1 m. Η μέγιστη τιμή που καταγράφηκε ήταν 95,1 μ T στο σημείο 77.

Ενώ στο σχήμα 4.5.5 παρουσιάζονται οι τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής στο περιβάλλον του πίνακα No.2 της χαμηλής τάσης, (βλ. σημεία μέτρησης 65÷67, 72÷74, 79÷81 και 83÷85) σε ύψος 1 m από το έδαφος και σε οριζόντιες αποστάσεις (κάθετα στην πρόσοψη του πίνακα), 0÷60 cm. Η μέγιστη τιμή της μαγνητικής επαγωγής ήταν 106,4 μ T στο σημείο 81. Οι μέγιστες τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής που καταγραφήκαν κοντά στους πίνακες της χαμηλής τάσης, στους άλλους δύο υποσταθμούς ήταν 89,1 μ T και 94,7 μ T αντίστοιχα.

Στο σχήμα 4.5.6 δίνονται οι μετρήσεις της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής στο χώρο όπου βρίσκεται ο μετασχηματιστής στον υποσταθμό No.1, σε ύψος 1 m από το έδαφος και σε οριζόντιες αποστάσεις 1 m και 2 m (κάθετα προς την πρόσοψη του μετασχηματιστή).



Σχήμα 4.5.2: Σημεία μέτρησης της μαγνητικής επαγωγής εντός των χώρων του υποσταθμού Νο.1 όπως δίνονται στην κάτοψη στο σχήμα 4.5.1.

Σημείο μέτρησης	B _{1m}	B _{1,5m}	B _{1,7m}	Σημείο μέτρησης	B _{1m}	B _{1,5m}	B _{1,7m}
1	6,00	4,55	3,25	43	1,00	0,70	0,70
2	3,70	2,65	2,30	44	0,55	0,70	0,70
3	1,70	1,35	1,20	45	0,70	0,70	0,55
4	1,00	0,70	0,70	46	0,70	0,70	0,70
5	0,55	0,55	0,55	47	0,70	0,55	0,40
6	0,40	0,40	0,40	48	1,40	0,70	0,55
7	16,10	12,90	9,40	49	0,70	0,55	0,55
8	5,80	4,00	3,50	50	0,70	0,70	0,55
9	2,60	1,90	1,60	51	0,70	0,70	0,70
10	1,50	1,20	1,00	52	0,70	0,55	0,55
11	1,00	0,70	0,55	53	0,70	0,55	0,55
12	0,55	0,55	0,55	54	0,70	0,55	0,55
13	21,45	19,40	18,90	55	0,70	0,55	0,55
14	10,55	9,50	7,70	56	0,70	0,55	0,55
15	4,10	2,70	2,70	57	0,70	0,55	0,55
16	1,50	1,40	1,00	58	1,00	0,70	0,70
17	0,90	1,00	0,70	59	1,00	0,70	0,70
18	0,46	0,55	0,40	60	1,00	1,00	1,00
19	9,30	8,90	8,80	61	1,00	1,00	1,00
20	8,30	6,35	6,00	62	3,00	3,00	2,80
21	4,60	3,20	2,40	63	3,00	1,00	1,00
22	1,70	1,70	1,50	64	3,70	0,70	0,70
23	1,00	1,00	1,00	65	2,40	2,00	2,00
24	0,40	0,40	0,40	66	10,50	9,20	8,50
25	6,50	6,00	5,40	67	22,40	19,80	19,00
26	9,50	3,30	2,60	68	2,00	1,70	1,40
27	2,80	2,60	1,90	69	20,90	19,40	19,10
28	1,40	1,50	1,10	70	22,80	22,00	21,50
29	1,00	1,00	1,00	71	14,10	13,80	13,10
30	0,40	0,55	0,70	72	12,50	11,70	11,50
31	2,80	3,30	2,60	73	41,40	39,00	38,40
32	2,30	2,20	2,10	74	85,20	78,50	74,00
33	1,50	1,00	1,20	75	13,70	13,20	12,10
34	1,40	0,90	0,90	76	83,20	81,80	81,20
35	0,55	0,55	0,55	77	95,10	94,40	93,90
36	0,90	0,55	0,55	78	35,50	33,40	31,40
37	1,00	1,20	0,70	79	28,50	26,90	28,80
38	1,00	1,00	1,00	80	60,00	55,80	52,50
39	2,70	1,80	1,40	81	106,40	102,10	97,10
40	1,50	1,50	1,00	82	36,20	34,70	31,10
41	1,40	1,00	1,00	83	19,80	17,20	16,80
42	1,00	0,70	0,70	84	32,50	29,70	27,70
				85	48,40	43,10	39,40

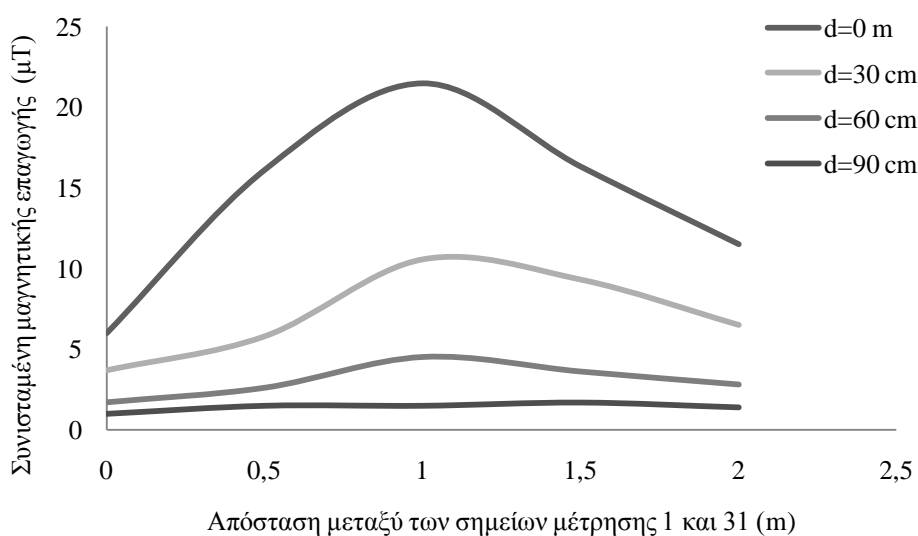
Πίνακας 4.5.1: Τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής στο χώρο των πινάκων χαμηλής και μέσης τάσης του υποσταθμού Νο.1.

Σημείωση :

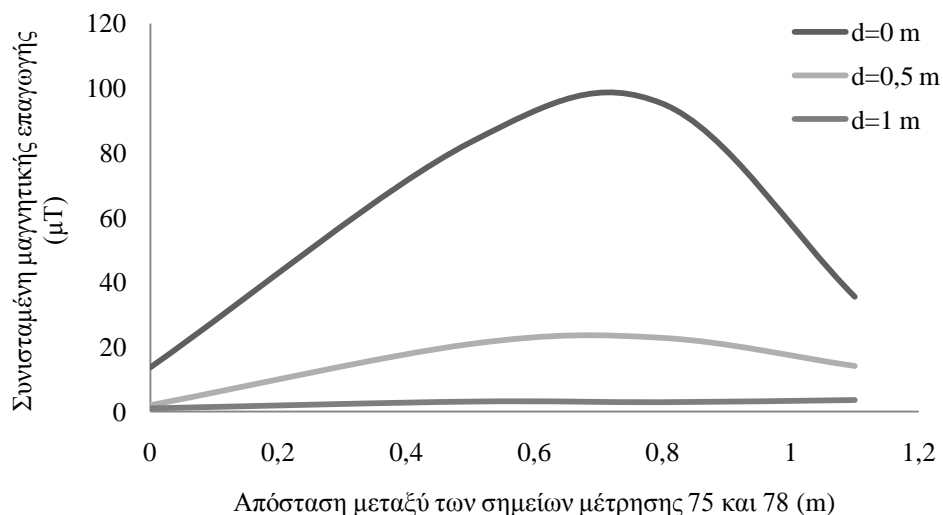
B_{1m}, B_{1,5m} και B_{1,7m}, μέση τιμή συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής στα 50 Hz σε ύψη 1 m, 1,5 m και 1,7 m από το έδαφος αντίστοιχα.

Σημείο μέτρησης	B _{1m}	B _{1,5m}	B _{1,7m}	Σημείο μέτρησης	B _{1m}	B _{1,5m}	B _{1,7m}
M1	9,1	8,8	8,5	M11	28,4	24,8	21,5
M2	5,2	4,8	4,8	M12	12,1	11,8	11,5
M3	22,1	19,0	15,5	M13	5,6	5,5	4,5
M4	29,0	28,2	24,2	M14	7,1	6,4	6,3
M5	12,2	11,8	11,3	M15	7,5	7,3	7,0
M6	6,4	6,1	5,8	M16	6,4	6,0	5,8
M7	36,1	34,8	33,5	M17	5,1	4,9	5,1
M8	11,5	10,8	10,4	M18	5,2	5,0	4,4
M9	57,4	53,5	52,3	M19	7,4	6,3	5,9
M10	14,4	14,0	13,8	M20	5,2	5,0	4,4

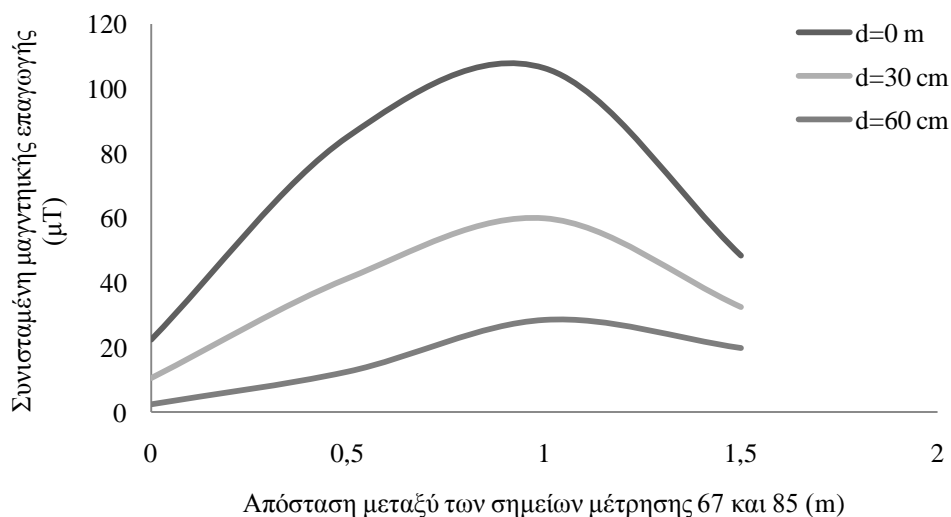
Πίνακας 4.5.2: Τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής στο χώρο όπου είναι εγκατεστημένος ο μετασχηματιστής του υποσταθμού Νο.1.
Σημείωση :
B_{1m}, B_{1,5m} και B_{1,7m}, μέση τιμή της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής στα 50 Hz σε ύψη 1 m, 1,5 m και 1,7 m από το έδαφος αντίστοιχα.



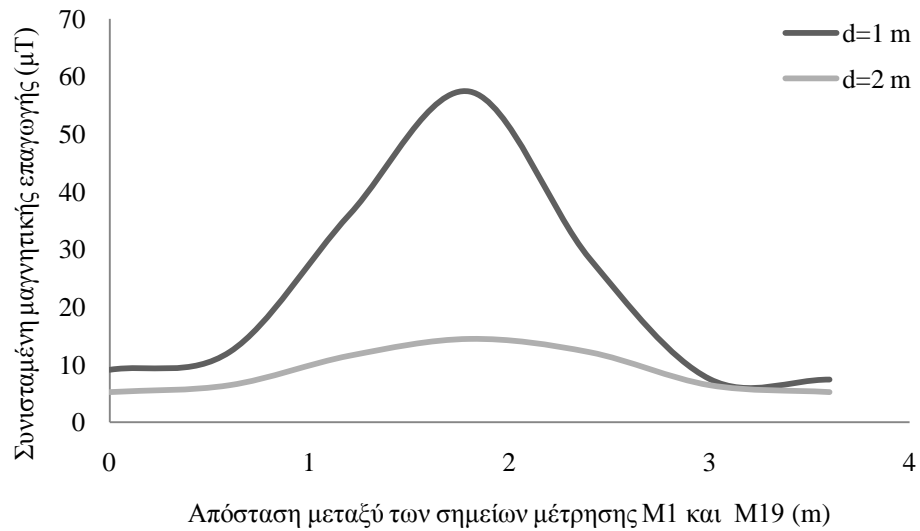
Σχήμα 4.5.3: Τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής σε ύψος 1 m από το έδαφος και σε οριζόντιες αποστάσεις d=0÷90 cm από την πρόσοψη του πίνακα της μέσης τάσης στον υποσταθμό διανομής εσωτερικού χώρου Νο.1.
Σημείωση:
1)Αφορά τα σημεία μέτρησης 1÷4, 7÷10, 13÷16, 19÷22, 25÷28 και 31÷34, (βλ. σχήματα 4.5.1 και 4.5.2).
2)Ως οριζόντια απόσταση εννοείται η απόσταση κάθετα προς την πρόσοψη του πίνακα μέσης τάσης.



Σχήμα 4.5.4: Τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής σε ύψος 1 m από το έδαφος και σε οριζόντιες αποστάσεις $d=0\div 1$ m από την πρόσοψη του πίνακα 1 της χαμηλής τάσης στον υποσταθμό Νο.1.
Σημείωση:
1)Αφορά τα σημεία μέτρησης 61÷64, 68÷71 και 75÷78, (βλ. σχήματα 4.5.1 και 4.5.2).
2)Ως οριζόντια απόσταση εννοείται η απόσταση κάθετα προς την πρόσοψη του πίνακα 1 της χαμηλής τάσης.



Σχήμα 4.5.5: Τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής σε ύψος 1 m από το έδαφος και σε οριζόντιες αποστάσεις $d=0\div 60$ cm από την πρόσοψη του πίνακα 2 της χαμηλής τάσης στον υποσταθμό Νο.1.
Σημείωση:
1)Αφορά τα σημεία μέτρησης 65÷67, 72÷74, 79÷81 και 83÷85, (βλ. σχήματα 4.5.1 και 4.5.2).
2)Ως οριζόντια απόσταση εννοείται η απόσταση κάθετα προς την πρόσοψη του πίνακα 2 της χαμηλής τάσης.



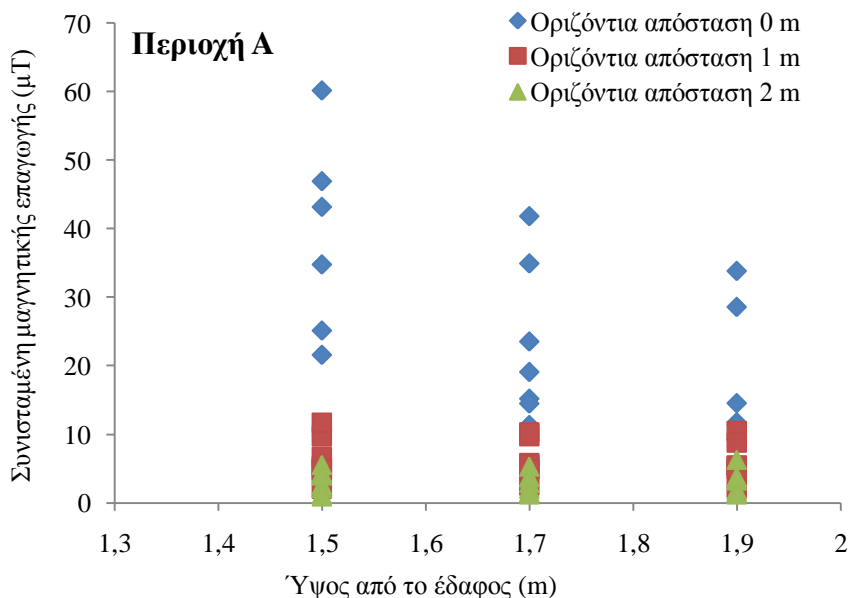
Σχήμα 4.5.6: Τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής σε ύψος 1 m από το έδαφος και σε οριζόντιες αποστάσεις $d=1\div 2$ m από την πρόσοψη του μετασχηματιστή στον υποσταθμό No.1.
 Σημείωση:
 1) Αφορά τα σημεία μέτρησης M1 και M2, M5÷M12, M15 και M16, M19 και M20 (βλ. σχήματα 4.5.1 και 4.5.2).
 2) Ως οριζόντια απόσταση εννοείται η απόσταση κάθετα προς την πρόσοψη του μετασχηματιστή.

5. ΣΧΟΛΙΑ ΕΠΙ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

5.1 Σχόλια επί των μετρήσεων σε δίστυλους υποσταθμούς διανομής

Όσον αφορά τις μετρήσεις κοντά σε δίστυλους υποσταθμούς διανομής στην Αθήνα από την ανάλυση των πειραματικών δεδομένων προκύπτει ότι για όλα τα μετρούμενα ύψη και αποστάσεις από τους υποσταθμούς, οι τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής που καταγράφηκαν ήταν χαμηλότερες σε σύγκριση με τα διεθνή καθορισμένα όρια.

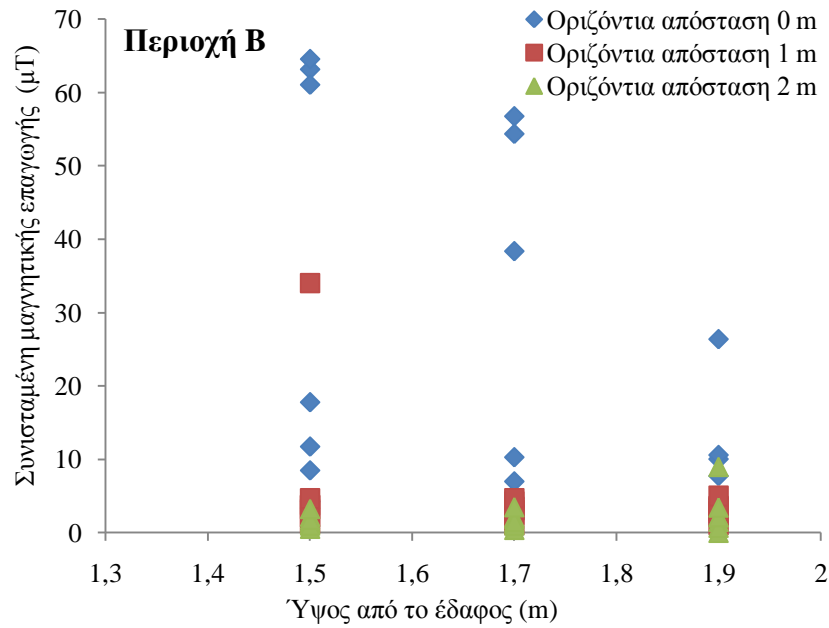
Στα σχήματα 5.1.1, 5.1.2 και 5.1.3 φαίνεται η διασπορά των μετρούμενων τιμών της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής, με τις υψηλότερες τιμές της να έχουν καταγραφεί στην ελάχιστη απόσταση από τα ασφαλειοκιβώτια των υποσταθμών και σε ύψος 1,5 m από το έδαφος στις περιοχές Α, Β και C (βλ. πίνακες 4.2.1, 4.2.2 και 4.2.3). Οι τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής σε μηδενική απόσταση (από το μέσο των ασφαλειοκιβωτίων στην πρόσοψη τους) ήταν αρκετά μεγαλύτερες σε σχέση με τις μετρηθείσες στις οριζόντιες αποστάσεις 1 m και 2 m (από το μέσο των ασφαλειοκιβωτίων στην πρόσοψη τους) σε όλα τα μετρούμενα ύψη. Αυτές οι υψηλές τιμές οφείλονται στην επίδραση των ρευμάτων της χαμηλής τάσης στα ασφαλειοκιβώτια.



Σχήμα 5.1.1: Κατανομή της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής σε υπαίθριους δίστυλους υποσταθμούς διανομής στην Περιοχή Α (βλ. πίνακα 4.2.1, παρ.4.2).

Σημείωση:

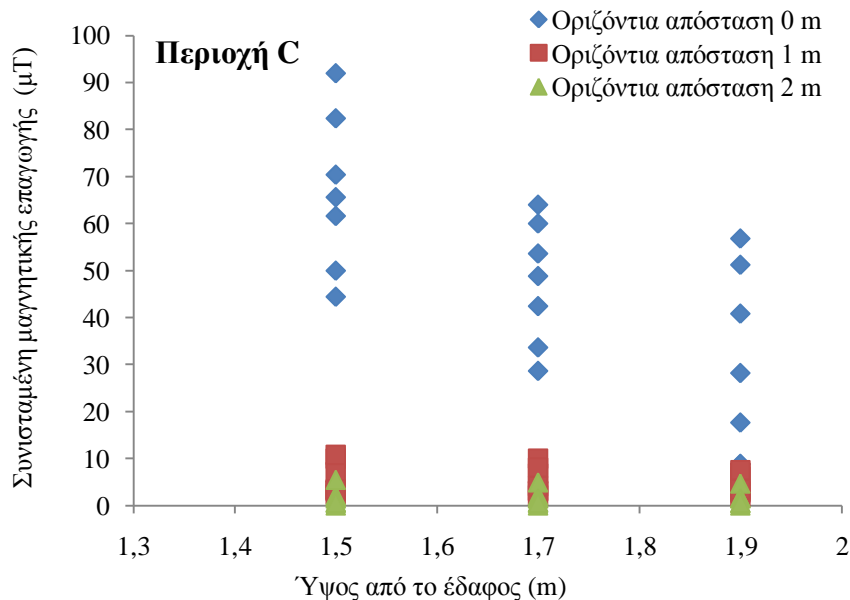
Ως οριζόντια απόσταση εννοείται η απόσταση από το μέσο των ασφαλειοκιβωτίων στην πρόσοψη τους.



Σχήμα 5.1.2: Κατανομή της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής σε υπαίθριους δίστυλους υποσταθμούς διανομής στην Περιοχή Β (βλ. πίνακα 4.2.2, παρ.4.2)

Σημείωση:

Ως οριζόντια απόσταση εννοείται η απόσταση από το μέσο των ασφαλειοκιβωτίων στην πρόσοψη τους.



Σχήμα 5.1.3: Κατανομή της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής σε υπαίθριους δίστυλους υποσταθμούς διανομής στην Περιοχή C (βλ. πίνακα 4.2.3, παρ.4.2)

Σημείωση:

Ως οριζόντια απόσταση εννοείται η απόσταση από το μέσο των ασφαλειοκιβωτίων στην πρόσοψη τους.

Πρέπει να σημειωθεί ότι το μαγνητικό πεδίο εξασθενεί με μεγάλο ρυθμό, όσο αυξάνεται η οριζόντια απόσταση από το μέσο των ασφαλειοκιβωτίων στην πρόσοψη τους. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα οι τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής στην οριζόντια απόσταση των 2 m να είναι αρκετά μικρότερες σε σχέση με τις μετρηθείσες σε απόσταση 0 m από το μέσο των ασφαλειοκιβωτίων στην πρόσοψη τους.

Στο σχήμα 5.1.1 φαίνεται ότι η διαφορά μεταξύ των ελάχιστων και μέγιστων τιμών της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής που καταγράφηκαν σε απόσταση 0 m από το μέσο των ασφαλειοκιβωτίων στην πρόσοψη τους, στην περιοχή Α ήταν περίπου 60 μT . Το ίδιο ισχύει και για τις άλλες περιοχές (Β και C) όπου οι μέγιστες τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής ήταν περίπου αντίστοιχα 65 μT και 92 μT (βλ. σχήματα 5.1.2 και 5.1.3).

Από την ανάλυση των πειραματικών δεδομένων που αφορούν στις μετρήσεις της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής κοντά σε δίστυλους υποσταθμούς διανομής στα Χανιά φαίνεται ότι για όλα τα μετρούμενα ύψη και αποστάσεις από αυτούς, (με κλειστές τις πόρτες των ασφαλειοκιβωτίων) οι τιμές της ήταν μικρότερες από την τιμή των 100 μT που έχει καθοριστεί από τον ICNIRP, για την έκθεση του πληθυσμού.

Για τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν σε υπαίθριους δίστυλους υποσταθμούς διανομής τη χειμερινή περίοδο στα Χανιά, από το σχήμα 4.2.9 φαίνεται πως σε ύψος 1 m από το έδαφος και σε οριζόντιες αποστάσεις 0÷30 cm (κάθετα στην όψη του ασφαλειοκιβωτίου στην πλευρά μέτρησης Α) οι μέσες τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής εξασθενούν με μεγάλο ρυθμό, στα σημεία μέτρησης 1÷4, 25÷44 και 65÷80, που βρίσκονται μακριά από τα ασφαλειοκιβώτια (βλ. σχήμα 4.2.2). Μεγάλος ρυθμός μείωσης της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής κοντά στα παραπάνω σημεία σε ύψος 1 m από το έδαφος και σε οριζόντιες αποστάσεις 0÷3 m (κάθετα στην όψη του ασφαλειοκιβωτίου στην πλευρά μέτρησης Α) παρατηρήθηκε και την καλοκαιρινή περίοδο (βλ. σχήμα 4.2.10).

Όπως φαίνεται στο σχήμα 4.2.9 οι μέσες τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής στα σημεία μέτρησης 1÷4 και 65÷80 σε ύψος 1 m από το έδαφος και σε οριζόντιες αποστάσεις 30 cm (κάθετα στην όψη του ασφαλειοκιβωτίου στην πλευρά μέτρησης Α) κυμάνθηκαν μεταξύ 6÷35 %, των τιμών της σε μηδενική οριζόντια απόσταση από τα ασφαλειοκιβώτια, τη χειμερινή περίοδο. Την καλοκαιρινή περίοδο η διακύμανση των μέσων τιμών της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής ήταν μεταξύ 12÷38 % (βλ. σχήμα 4.2.10). Επιπροσθέτως όλες οι μέσες τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής που μετρήθηκαν σε οριζόντια απόσταση 3 m (κάθετα στην όψη του ασφαλειοκιβωτίου στην πλευρά μέτρησης Α) ήταν μικρότερες από τα 1,82 μT .

Στα σημεία μέτρησης 1÷4 και 77÷80 (βλ. σχήμα 4.2.2), οι τιμές του μαγνητικού πεδίου επηρεάζονται από τους αγωγούς μέσης τάσης, ενώ στα σημεία 25÷32 από τους

αγωγούς της μέσης και χαμηλής τάσης. Από τα σχήματα 4.2.13 και 4.2.14 γίνεται φανερό πως κοντά στα σημεία 25÷32 το μαγνητικό πεδίο είναι υψηλότερο, γιατί τα ρεύματα που διαρρέουν τους αγωγούς της χαμηλής τάσης είναι πάντα μεγαλύτερα συγκριτικά προς εκείνα στους αγωγούς μέσης τάσης.

Για τα σημεία μέτρησης 5÷8 και 21÷24, (βλ.σχήμα 4.2.2) που βρίσκονται μεταξύ των στύλων και των ασφαλειοκιβωτίων οι μέσες τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής σε ύψος 1 m από το έδαφος και σε οριζόντια απόσταση 30 cm (κάθετα στην όψη του ασφαλειοκιβωτίου που αντιστοιχεί στην πλευρά μέτρησης) κυμάνθηκαν μεταξύ 33÷92 % των τιμών της σε μηδενική οριζόντια απόσταση από τα ασφαλειοκιβώτια (βλ.σχήμα 4.2.13). Την καλοκαιρινή περίοδο η διακύμανση των μέσων τιμών της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής ήταν μεταξύ 34÷85 % (βλ.σχήμα 4.2.14).

Έτσι, στα σημεία μέτρησης 5÷8 και 21÷24, (βλ.σχήμα 4.2.2) που βρίσκονται μεταξύ των στύλων και των ασφαλειοκιβωτίων, σε ύψος 1 m από το έδαφος και σε οριζόντιες αποστάσεις 0÷30 cm (κάθετα στην όψη του ασφαλειοκιβωτίου που αντιστοιχεί στην πλευρά μέτρησης), σύμφωνα με τα σχήματα 4.2.13 και 4.2.14 παρατηρείται μείωση των μέσων τιμών της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής σε σχέση με τις τιμές της κοντά στους στύλους στα σημεία μέτρησης 1÷4 και 25÷28 (βλ.σχήμα 4.2.2) και αυτές κοντά στα ασφαλειοκιβώτια στα σημεία μέτρησης 9÷20 (βλ.σχήμα 4.2.2).

Όπως φαίνεται στα σχήματα 4.2.13 και 4.2.14, για την πλευρά D που αποτελείται από τα σημεία μέτρησης 1÷28 (βλ. σχήμα 4.2.2), οι μέσες τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής σε ύψος 1 m από το έδαφος και σε οριζόντια απόσταση 30 cm (κάθετα στην όψη του ασφαλειοκιβωτίου στην πλευρά μέτρησης D) κυμάνθηκαν μεταξύ 22÷37 % και 24÷42 % των τιμών της σε μηδενική οριζόντια απόσταση από τα ασφαλειοκιβώτια, τη χειμερινή περίοδο και καλοκαιρινή περίοδο αντίστοιχα.

Στο σχήμα 4.2.15, δίνονται οι μέσες τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής μεταξύ της ευθείας που ενώνει τα σημεία μέτρησης 16 και 56 (στο κέντρο των ασφαλειοκιβωτίων, βλ. σχήμα 4.2.2). Παρατηρείται ότι οι μέσες τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής για τα ύψη 1,5 m και 1,7 m από το έδαφος, κυμάνθηκαν μεταξύ 18÷91 % των τιμών που καταγράφηκαν στα σημεία αυτά για ύψος 1 m τη χειμερινή περίοδο. Κατά την αύξηση της οριζόντιας απόστασης μέτρησης από 1 m σε 3 m (κάθετα στην όψη του ασφαλειοκιβωτίου που αντιστοιχεί στην πλευρά μέτρησης) οι μετρούμενες τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής ήταν περίπου ίδιες.

Επειδή τα ηλεκτρικά φορτία των υποσταθμών κατά την καλοκαιρινή ήταν υψηλότερα από ότι κατά τη χειμερινή περίοδο, οι τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής που καταγράφηκαν την καλοκαιρινή περίοδο σε όλα τα σημεία μέτρησης ήταν υψηλότερες από ότι κατά τη χειμερινή.

Οι τιμές του μαγνητικού πεδίου που δίδονται στη βιβλιογραφία κοντά σε δύο

υποσταθμούς εξωτερικού χώρου 400 kVA [33], ήταν παρόμοιες με αυτές που μετρήθηκαν στους δίστηλους υποσταθμούς διανομής. Από τη σχέση (5.1.1),

$$B_i = B_{\mu} I_i / I_{\mu} \quad (5.1.1)$$

γίνεται ως γνωστό [33], ο υπολογισμός της μέσης, μέγιστης και ονομαστικής έκθεσης του κοινού από τα μαγνητικά πεδία μέσω των στιγμιαίων μετρήσεων των μαγνητικών πεδίων και ρευμάτων.

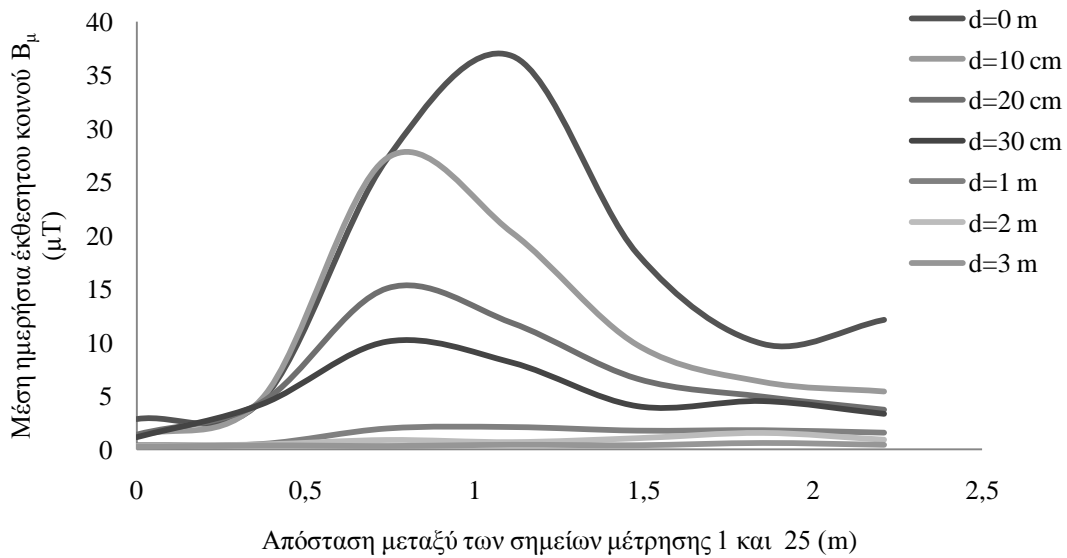
Γι' αυτό με βάση τα δεδομένα του πίνακα 4.2.4 και με τη χρήση της σχέσης (5.1.1), η μέση ημερήσια έκθεση του κοινού B_{μ}^j , μπορεί να υπολογιστεί σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$B_{\mu}^j = B_{\mu,i}^j I_{\mu} / I_{\mu,i} \quad (5.1.2)$$

όπου j είναι το σημείο μέτρησης και $i=1, 2, 3, 4$ και 5 είναι οι χρονικές περίοδοι αντίστοιχα 9:00÷10:45, 10:45÷12:30, 12:30÷14:15, 14:15÷16:00 και 16:00÷17:00 h. Για το σημείο μέτρησης 15 (βλ.σχήμα 4.2.2) και για τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν τη χειμερινή περίοδο, σε οριζόντια απόσταση 2 m (κάθετα στην όψη του ασφαλειοκιβωτίου στην πλευρά μέτρησης D) και σε ύψος 1 m από το έδαφος, η μέση τιμή της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής το χρονικό διάστημα 14:15÷16:00 h ήταν $B_{\mu,4}^{(15)}=1,13 \mu\text{T}$ (βλ.σχήμα 4.2.3). Από τον πίνακα 4.2.4 γίνεται ο υπολογισμός της μέσης τιμής των ρευμάτων για τους 10 υποσταθμούς κατά το χρονικό διάστημα 14:15÷16:00 h και κατά τη διάρκεια του 24 h. Οι τιμές που υπολογίστηκαν είναι $I_{\mu,4}=250 \text{ A}$, $I_{\mu}=159 \text{ A}$, οπότε από τη σχέση (5.1.2), η μέση ημερήσια έκθεση του κοινού ήταν: $B_{\mu}^{(15)}=0,72 \mu\text{T}$.

Στα παρακάτω διαγράμματα 5.1.4 έως 5.1.6 παρουσιάζεται η μέση ημερήσια έκθεση του κοινού σε οριζόντιες αποστάσεις 0÷3 m (κάθετα στην όψη του ασφαλειοκιβωτίου που αντιστοιχεί στην πλευρά μέτρησης) και ύψος 1 m από το έδαφος κοντά στους δίστυλους υποσταθμούς διανομής τη χειμερινή και καλοκαιρινή περίοδο αντίστοιχα.

Στο σχήμα 4.2.16 δίνονται οι μετρήσεις της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής στα σημεία μέτρησης 9÷20 (βλ.σχήμα 4.2.2) οι οποίες έγιναν με τις πόρτες των ασφαλειοκιβωτίων ανοικτές. Οι μετρήσεις αυτές αφορούν την παρουσία εργαζομένων στον υποσταθμό. Όλες οι τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής που μετρήθηκαν ήταν μικρότερες σε σύγκριση με το όριο των 500 μT που αφορά την έκθεση των εργαζομένων.

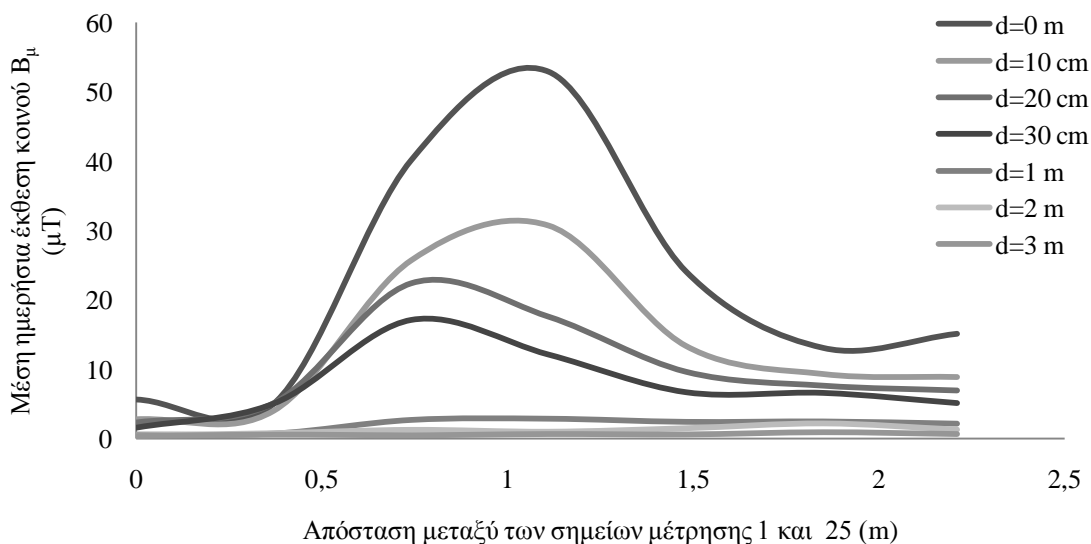


Σχήμα 5.1.4: Μέση ημερήσια έκθεση του κοινού (B_{μ}) σε ύψος 1 m από το έδαφος και σε οριζόντιες αποστάσεις $d=0\div 3$ m στους υπαίθριους δίστυλους υποσταθμούς στα Χανιά τη χειμερινή περίοδο.

Σημείωση:

1) Αφορά την πλευρά D (βλ. σχήμα 4.2.2) που αποτελείται από τα σημεία μέτρησης 1÷28.

2) Ως οριζόντια απόσταση εννοείται η απόσταση κάθετα στην όψη του ασφαλειοκιβωτίου που αντιστοιχεί στην πλευρά μέτρησης.

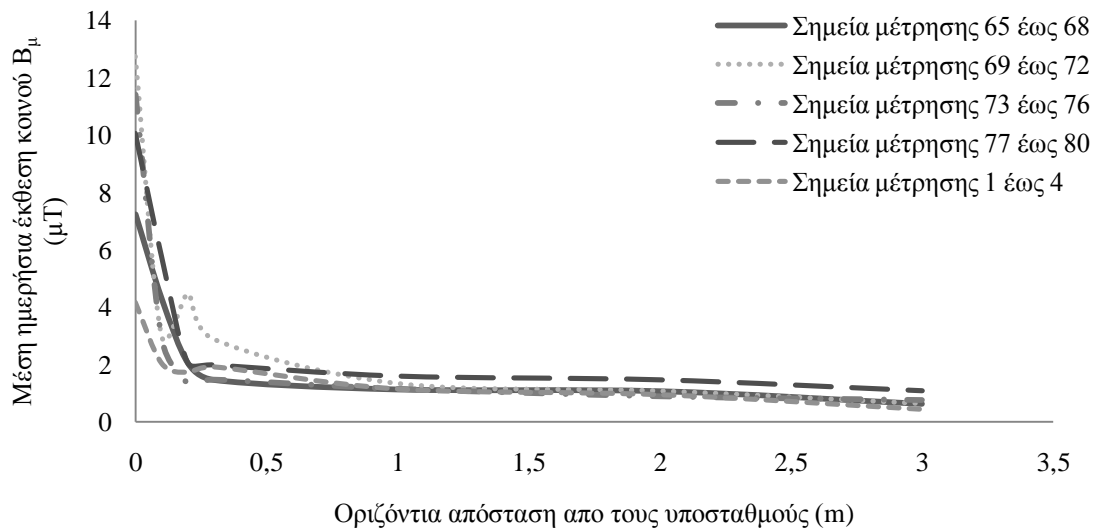


Σχήμα 5.1.5: Μέση ημερήσια έκθεση του κοινού (B_{μ}) σε ύψος 1 m από το έδαφος και σε οριζόντιες αποστάσεις $d=0\div 3$ m στους υπαίθριους δίστυλους υποσταθμούς στα Χανιά την καλοκαιρινή περίοδο.

Σημείωση:

1) Αφορά την πλευρά D (βλ. σχήμα 4.2.2) που αποτελείται από τα σημεία μέτρησης 1÷28.

2) Ως οριζόντια απόσταση εννοείται η απόσταση κάθετα στην όψη του ασφαλειοκιβωτίου που αντιστοιχεί στην πλευρά μέτρησης.

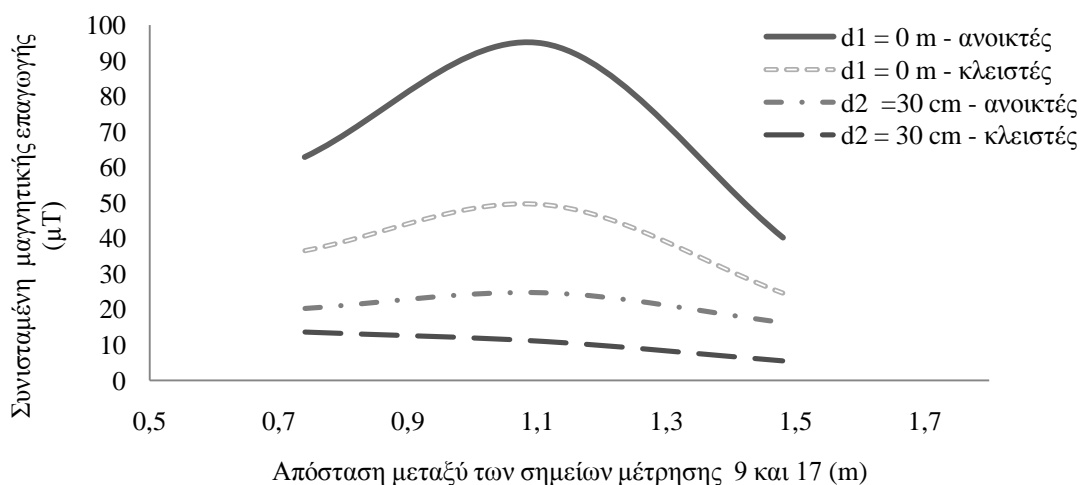


Σχήμα 5.1.6: Μέση ημερήσια έκθεση του κοινού (B_{μ}) σε ύψος 1 m από το έδαφος και σε οριζόντια απόσταση 0÷3 m στους υπαίθριους δίστυλους υποσταθμούς στα Χανιά τη χειμερινή περίοδο.

Σημείωση:

1)Αφορά την πλευρά Α (βλ.σχήμα 4.2.2) που αποτελείται από τα σημεία μέτρησης 1÷4 και 65÷80.

2)Ως οριζόντια απόσταση εννοείται η απόσταση κάθετα στην όψη του ασφαλειοκιβωτίου που αντιστοιχεί στην πλευρά μέτρησης.

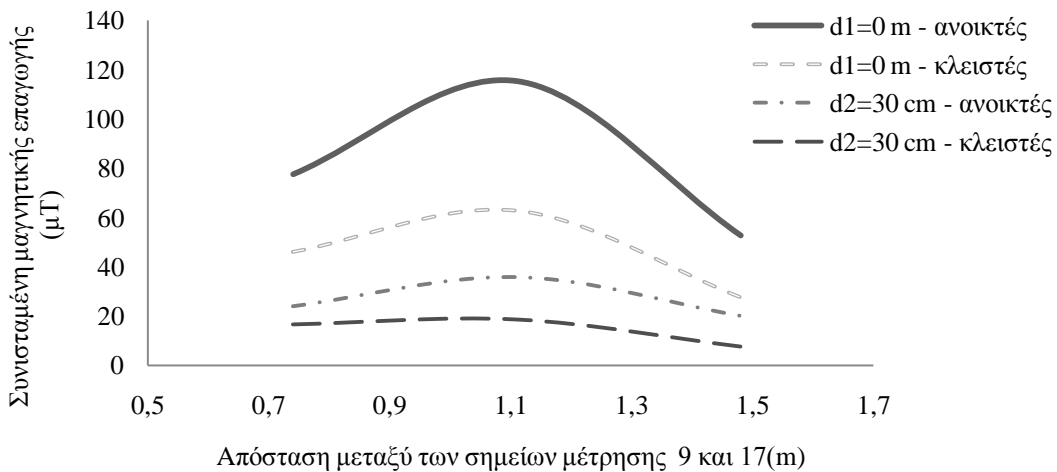


Σχήμα 5.1.7: Σύγκριση των μέσων τιμών της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής σε ύψος 1 m από το έδαφος και σε οριζόντιες αποστάσεις $d1=0$ m και $d2=30$ cm με τις πόρτες των ασφαλειοκιβωτίων ανοικτές και κλειστές, στους υπαίθριους δίστυλους υποσταθμούς στα Χανιά τη χειμερινή περίοδο.

Σημείωση:

1)Αφορά την πλευρά D (βλ.σχήμα 4.2.2) που αποτελείται από τα σημεία μέτρησης 1÷28.

2)Ως οριζόντια απόσταση εννοείται η απόσταση κάθετα στην όψη του ασφαλειοκιβωτίου που αντιστοιχεί στην πλευρά μέτρησης.

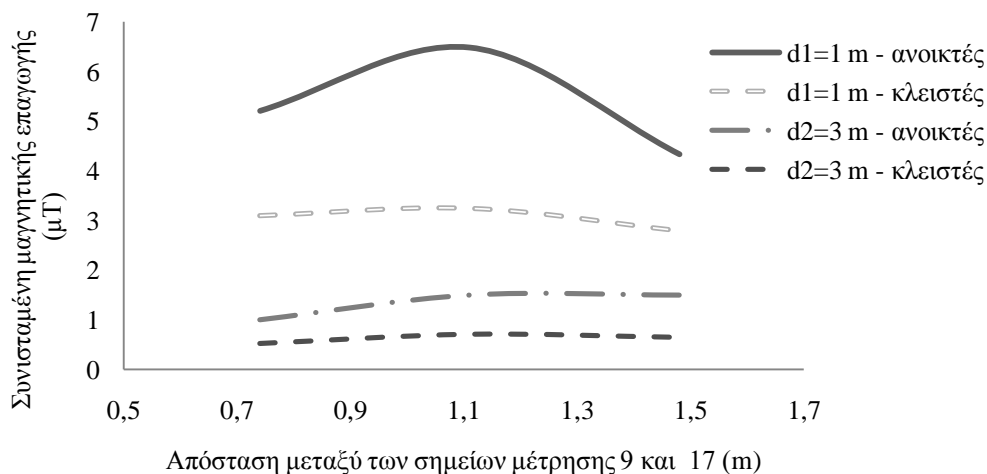


Σχήμα 5.1.8: Σύγκριση των μέσων τιμών της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής σε ύψος 1 m από το έδαφος και σε οριζόντιες αποστάσεις $d1=0$ m και $d2=30$ cm με τις πόρτες των ασφαλειοκιβωτίων ανοικτές και κλειστές, στους υπαίθριους δίστυλους υποσταθμούς στα Χανιά την καλοκαιρινή περίοδο.

Σημείωση:

1) Αφορά την πλευρά D (βλ. σχήμα 4.2.2) που αποτελείται από τα σημεία μέτρησης 1÷28.

2) Ως οριζόντια απόσταση εννοείται η απόσταση κάθετα στην όψη του ασφαλειοκιβωτίου που αντιστοιχεί στην πλευρά μέτρησης.

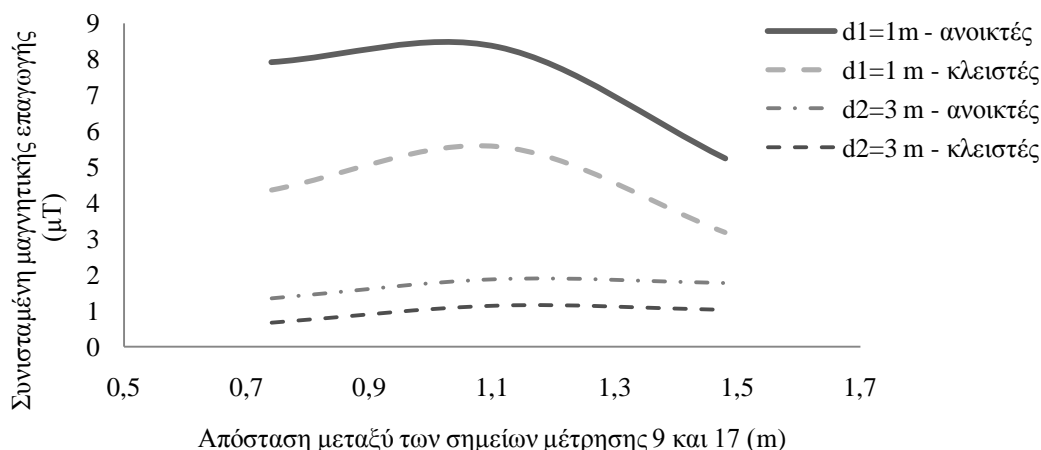


Σχήμα 5.1.9: Σύγκριση των μέσων τιμών της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής σε ύψος 1 m από το έδαφος και σε οριζόντιες αποστάσεις $d1=1$ m και $d2=3$ m με τις πόρτες των ασφαλειοκιβωτίων ανοικτές και κλειστές, στους υπαίθριους δίστυλους υποσταθμούς στα Χανιά τη χειμερινή περίοδο.

Σημείωση:

1) Αφορά την πλευρά D (βλ. σχήμα 4.2.2) που αποτελείται από τα σημεία μέτρησης 1÷28.

2) Ως οριζόντια απόσταση εννοείται η απόσταση κάθετα στην όψη του ασφαλειοκιβωτίου που αντιστοιχεί στην πλευρά μέτρησης.



Σχήμα 5.1.10: Σύγκριση των μέσων τιμών της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής σε ύψος 1 m από το έδαφος και σε οριζόντιες αποστάσεις $d1=1$ m και $d2=3$ m με τις πόρτες των ασφαλειοκιβωτίων ανοικτές και κλειστές, στους υπαίθριους δίστυλους υποσταθμούς στα Χανιά την καλοκαιρινή περίοδο.

Σημείωση:

1) Αφορά την πλευρά D (βλ. σχήμα 4.2.2) που αποτελείται από τα σημεία μέτρησης 1÷28.

2) Ως οριζόντια απόσταση εννοείται η απόσταση κάθετα στην όψη του ασφαλειοκιβωτίου που αντιστοιχεί στην πλευρά μέτρησης.

Σύμφωνα με το σχήμα 5.1.7 οι μέσες τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής τη χειμερινή περίοδο, σε ύψος 1 m από το έδαφος ήταν με κλειστές τις πόρτες των ασφαλειοκιβωτίων και μηδενική απόσταση από αυτές κατά 52÷61 % μικρότερες από ότι με ανοικτές τις πόρτες. Επίσης για οριζόντια απόσταση 30 cm (κάθετα στην όψη του ασφαλειοκιβωτίου στην πλευρά μέτρησης D) οι μέσες τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής ήταν με κλειστές τις πόρτες των ασφαλειοκιβωτίων κατά 33÷67 % μικρότερες από ότι με ανοικτές πόρτες.

Σύμφωνα με το σχήμα 5.1.8 οι μέσες τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής την καλοκαιρινή περίοδο, σε ύψος 1 m από το έδαφος ήταν με κλειστές τις πόρτες των ασφαλειοκιβωτίων και μηδενική απόσταση από αυτές κατά 45÷59% μικρότερες από ότι με ανοικτές τις πόρτες. Επίσης για οριζόντια απόσταση 30 cm (κάθετα στην όψη του ασφαλειοκιβωτίου στην πλευρά μέτρησης D) οι μέσες τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής ήταν με κλειστές τις πόρτες των ασφαλειοκιβωτίων κατά 51÷69% μικρότερες από ότι με ανοικτές πόρτες.

Σε ύψος 1 m από το έδαφος και σε οριζόντιες αποστάσεις 1 m και 3 m (κάθετα στην όψη του ασφαλειοκιβωτίου στην πλευρά μέτρησης D), οι μέσες τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής με τις πόρτες των ασφαλειοκιβωτίων κλειστές κυμάνθηκαν μεταξύ 47÷70 % και 43÷53 % τη χειμερινή και 52÷67 % και 49÷61 % την καλοκαιρινή περίοδο, σε σχέση με τις μέσες τιμές που μετρήθηκαν με τις πόρτες ανοικτές (βλ. σχήματα 5.1.9 και 5.1.10).

5.2 Σχόλια επί των μετρήσεων σε ασφαλειοκιβώτια υπαιθρίων δίστυλων υποσταθμών διανομής με τοποθέτηση στην εξωτερική πλευρά τους φύλλων αλουμινίου

Στα σχήματα 5.2.1 και 5.2.2 γίνεται μία σύγκριση των μέσων τιμών της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής με και χωρίς φύλλα αλουμινίου (πάχους 0,5 mm εξωτερικά των ασφαλειοκιβωτίων) σε οριζόντιες αποστάσεις 0 m και 30 cm (κάθετα στην όψη του ασφαλειοκιβωτίου στην πλευρά μέτρησης D, βλ. σχήμα 4.2.2) σε ύψος 1 m από το έδαφος. Στα σχήματα 5.2.3 και 5.2.4 γίνεται μία σύγκριση των μέσων τιμών της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής με και χωρίς τα παραπάνω φύλλα αλουμινίου σε οριζόντιες αποστάσεις 1 m και 3 m (κάθετα στην όψη του ασφαλειοκιβωτίου στις πλευρές B και D, βλ. σχήμα 4.2.2), σε ύψος 1 m από το έδαφος. Όπως φαίνεται στα σχήματα αυτά οι τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής μειώθηκαν με την τοποθέτηση φύλλων αλουμινίου 0,5 mm εξωτερικά των ασφαλειοκιβωτίων. Η μείωση είναι ιδιαίτερα εμφανής σε οριζόντια απόσταση περίπου 0,5÷1,5 m (βλ. σχήματα 5.2.1 έως 5.2.4)

Συνολικά η μέση μείωση της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής που επιτεύχθηκε μετά την τοποθέτηση των φύλλων αλουμινίου ήταν περίπου 23 % τη χειμερινή και 18 % την καλοκαιρινή σε οριζόντιες αποστάσεις 0÷30 cm (κάθετα στην όψη του ασφαλειοκιβωτίου που αντιστοιχεί στην πλευρά μέτρησης) και σε ύψος 1 m από το έδαφος, στα σημεία μέτρησης 1÷28 και 41÷68 (βλ. σχήμα 4.2.2) κοντά στα ασφαλειοκιβώτια.

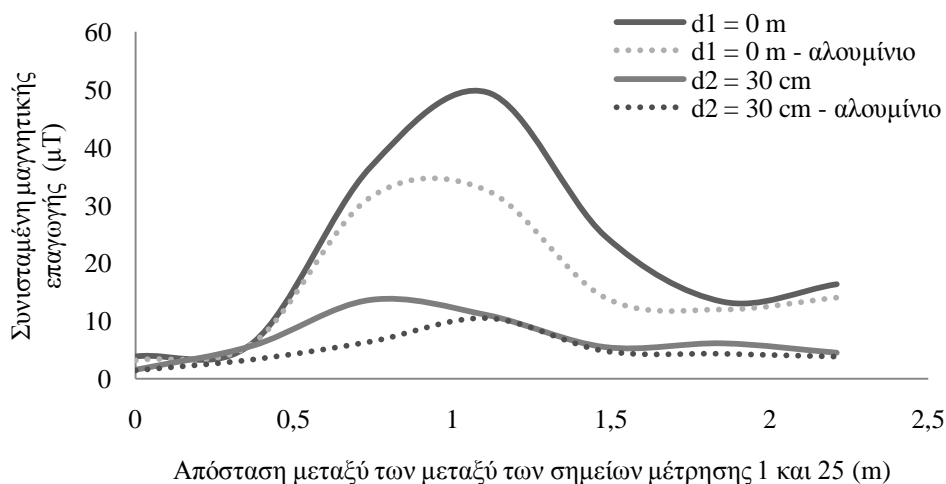
Όσον αφορά τα ύψη μέτρησης από το έδαφος 1,5 m και 1,7 m σε οριζόντιες αποστάσεις 0 m και 30 cm (κάθετα στην όψη του ασφαλειοκιβωτίου στις πλευρές B και D, βλ. σχήματα 4.3.9 έως 4.3.12), οι τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής μειώθηκαν με την τοποθέτηση φύλλων αλουμινίου 0,5 mm εξωτερικά των ασφαλειοκιβωτίων (βλ. σχήματα 5.2.5 και 5.2.6). Η μείωση της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής στα ύψη αυτά ήταν μικρότερη σε σχέση με τη μείωση που καταγράφηκε σε ύψος 1 m από το έδαφος (βλ. σχήματα 5.2.1, 5.2.2, 5.2.5 και 5.2.6).

Στα σημεία μέτρησης 5÷8 και 21÷24, (βλ. σχήμα 4.2.2) που βρίσκονται μεταξύ των στύλων και των ασφαλειοκιβωτίων σε όλα τα ύψη μέτρησης (1 m, 1,5 m και 1,7 m) και σε οριζόντιες αποστάσεις 0÷30 cm (κάθετα στην όψη του ασφαλειοκιβωτίου στην πλευρά μέτρησης D), σύμφωνα με τα σχήματα 4.3.1, 4.3.9 και 4.3.10, παρατηρείται μείωση των μέσων τιμών της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής σε σχέση με τις τιμές της κοντά στους στύλους στα σημεία μέτρησης 1÷4 και 25÷28 (βλ. σχήμα 4.2.2) και αυτές κοντά στα ασφαλειοκιβώτια στα σημεία μέτρησης 9÷20 (βλ. σχήμα 4.2.2).

Τα ίδια συμπεράσματα ισχύουν και για τα σημεία μέτρησης 45÷48 και 61÷64 που βρίσκονται μεταξύ των στύλων και των ασφαλειοκιβωτίων σε όλα τα ύψη μέτρησης (1 m, 1,5 m και 1,7 m) και σε οριζόντιες αποστάσεις 0÷30 cm (κάθετα στην όψη του

ασφαλειοκιβωτίου στην πλευρά μέτρησης B), σύμφωνα με τα σχήματα 4.3.5, 4.3.11 και 4.3.12.

Καθώς η οριζόντια απόσταση αυξήθηκε στο 1 m (κάθετα στην όψη του ασφαλειοκιβωτίου που αντιστοιχεί στην πλευρά μέτρησης), οι μέσες τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής κυμάνθηκαν μεταξύ 3÷25 % αυτών στην απόσταση των 0 m (βλ. σχήματα 4.3.1 έως 4.3.8). Σε οριζόντια απόσταση 2 m (κάθετα στην όψη του ασφαλειοκιβωτίου που αντιστοιχεί στην πλευρά μέτρησης), όλες οι μέσες τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής ήταν μικρότερες από 2,11 μT και στα 3 m (κάθετα στην όψη του ασφαλειοκιβωτίου που αντιστοιχεί στην πλευρά μέτρησης) ήταν μικρότερες από 1,3 μT και στις δύο χρονικές περιόδους των μετρήσεων (βλ. σχήματα 4.3.3, 4.3.4, 4.3.7 και 4.3.8).

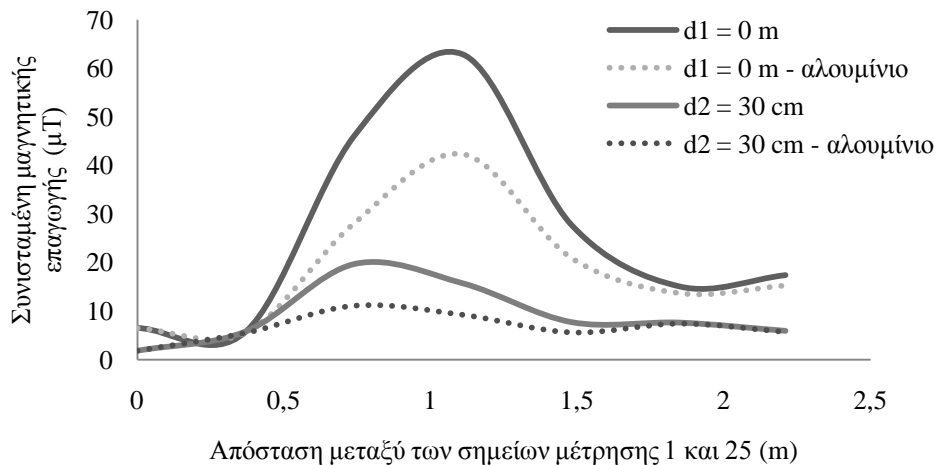


Σχήμα 5.2.1: Σύγκριση των μέσων τιμών της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής σε ύψος 1 m από το έδαφος και σε οριζόντιες αποστάσεις $d1=0$ m και $d2=30$ cm με και χωρίς τα φύλλα αλουμινίου εξωτερικά τοποθετημένα στα ασφαλειοκιβώτια, στους υπαίθριους δίστυλους υποσταθμούς στα Χανιά τη χειμερινή περίοδο.

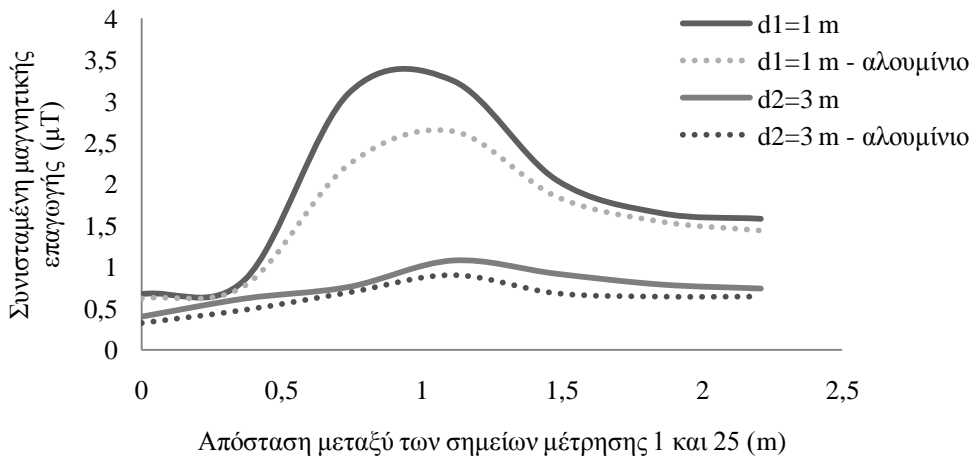
Σημείωση:

1) Αφορά την πλευρά D (βλ. σχήμα 4.2.2) που αποτελείται από τα σημεία μέτρησης 1÷28.

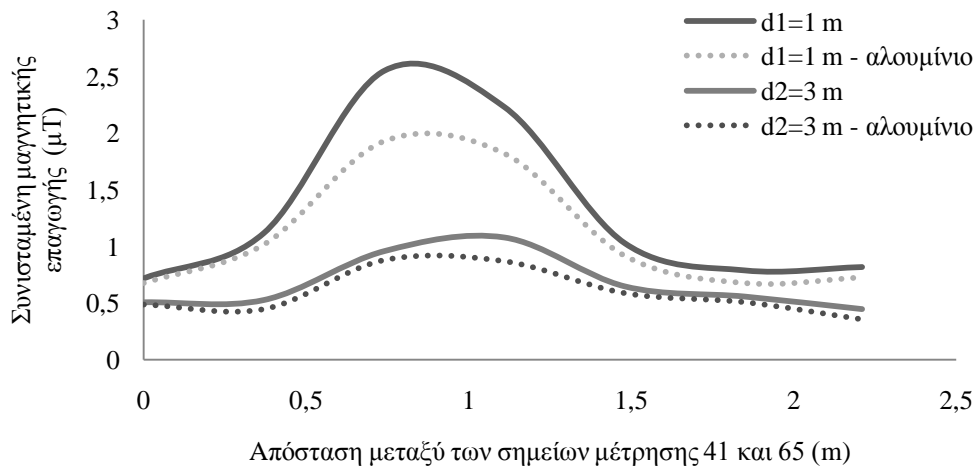
2) Ως οριζόντια απόσταση εννοείται η απόσταση κάθετα στην όψη του ασφαλειοκιβωτίου που αντιστοιχεί στην πλευρά μέτρησης.



Σχήμα 5.2.2: Σύγκριση των μέσων τιμών της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής σε ύψος 1 m από το έδαφος και σε οριζόντιες αποστάσεις $d1=0$ m και $d2=30$ cm με και χωρίς τα φύλλα αλουμινίου εξωτερικά τοποθετημένα στα ασφαλειοκιβώτια, στους υπαίθριους δίστυλους υποσταθμούς στα Χανιά την καλοκαιρινή περίοδο.
 Σημείωση:
 1) Αφορά την πλευρά D (βλ. σχήμα 4.2.2) που αποτελείται από τα σημεία μέτρησης 1÷28.
 2) Ως οριζόντια απόσταση εννοείται η απόσταση κάθετα στην όψη του ασφαλειοκιβωτίου που αντιστοιχεί στην πλευρά μέτρησης.



Σχήμα 5.2.3: Σύγκριση των μέσων τιμών της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής σε ύψος 1 m από το έδαφος και σε οριζόντιες αποστάσεις $d1=1$ m και $d2=3$ m με και χωρίς τα φύλλα αλουμινίου εξωτερικά τοποθετημένα στα ασφαλειοκιβώτια, στους υπαίθριους δίστυλους υποσταθμούς στα Χανιά τη χειμερινή περίοδο.
 Σημείωση:
 1) Αφορά την πλευρά D (βλ. σχήμα 4.2.2) που αποτελείται από τα σημεία μέτρησης 1÷28.
 2) Ως οριζόντια απόσταση εννοείται η απόσταση κάθετα στην όψη του ασφαλειοκιβωτίου που αντιστοιχεί στην πλευρά μέτρησης.

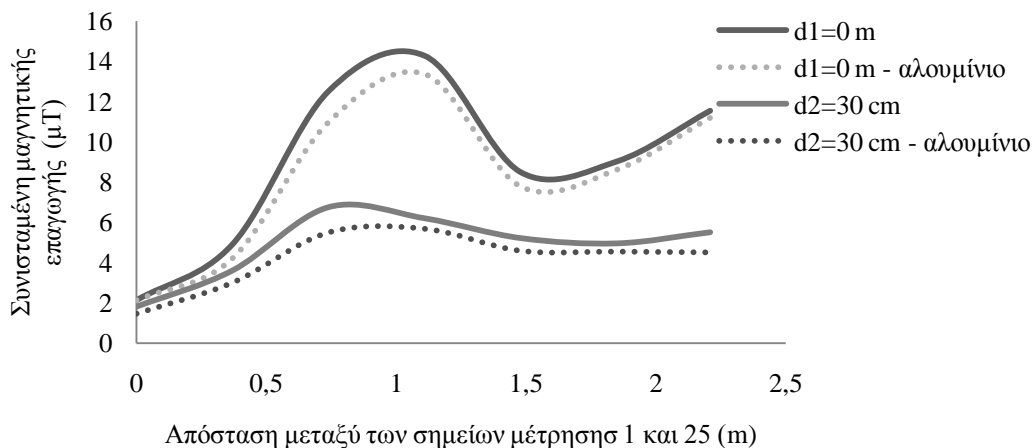


Σχήμα 5.2.4: Σύγκριση των μέσων τιμών της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής σε ύψος 1 m από το έδαφος και σε οριζόντιες αποστάσεις $d_1=1\text{ m}$ και $d_2=3\text{ m}$ με και χωρίς τα φύλλα αλουμινίου εξωτερικά τοποθετημένα στα ασφαλειοκιβώτια, στους υπαίθριους δίστυλους υποσταθμούς στα Χανιά τη χειμερινή περίοδο.

Σημείωση:

1) Αφορά την πλευρά Β (βλ. σχήμα 4.2.2) που αποτελείται από τα σημεία μέτρησης 41÷68.

2) Ως οριζόντια απόσταση εννοείται η απόσταση κάθετα στην όψη του ασφαλειοκιβωτίου που αντιστοιχεί στην πλευρά μέτρησης.

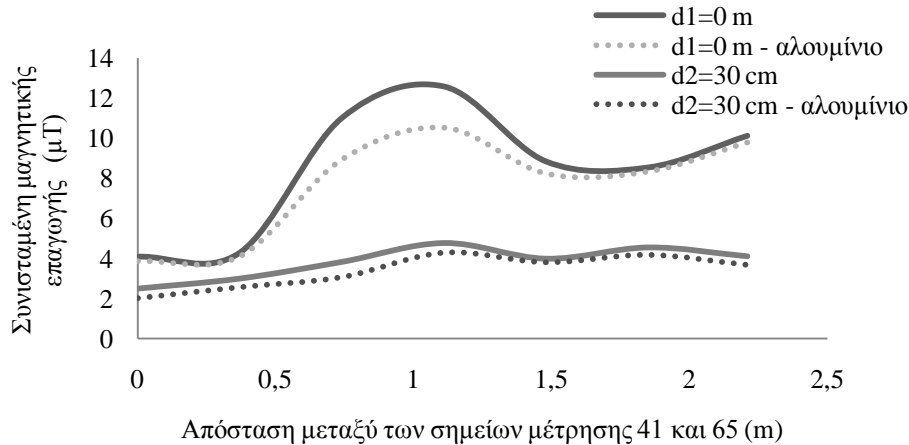


Σχήμα 5.2.5: Σύγκριση των μέσων τιμών της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής σε ύψος 1,5 m από το έδαφος και σε οριζόντιες αποστάσεις $d_1=0\text{ m}$ και $d_2=30\text{ cm}$ με και χωρίς τα φύλλα αλουμινίου εξωτερικά τοποθετημένα στα ασφαλειοκιβώτια, στους υπαίθριους δίστυλους υποσταθμούς στα Χανιά τη χειμερινή περίοδο.

Σημείωση:

1) Αφορά την πλευρά D (βλ. σχήμα 4.2.2) που αποτελείται από τα σημεία μέτρησης 1÷28.

2) Ως οριζόντια απόσταση εννοείται η απόσταση κάθετα στην όψη του ασφαλειοκιβωτίου που αντιστοιχεί στην πλευρά μέτρησης.



Σχήμα 5.2.6: Σύγκριση των μέσων τιμών της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής σε ύψος 1,7 m από το έδαφος και σε οριζόντιες αποστάσεις $d1=0$ m και $d2=30$ cm με και χωρίς τα φύλλα αλουμινίου εξωτερικά τοποθετημένα στα ασφαλειοκιβώτια, στους υπαίθριους δίστυλους υποσταθμούς στα Χανιά τη χειμερινή περίοδο.

Σημείωση:

1) Αφορά την πλευρά Β (βλ. σχήμα 4.2.2) που αποτελείται από τα σημεία μέτρησης 41÷68.

2) Ως οριζόντια απόσταση εννοείται η απόσταση κάθετα στην όψη του ασφαλειοκιβωτίου που αντιστοιχεί στην πλευρά μέτρησης.

5.3 Σχόλια επί των μετρήσεων σε υποσταθμούς διανομής εντός μεταλλικού οικίσκου (κίοςκ)

Από τα πειραματικά δεδομένα των μετρήσεων της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής στους 8 υποσταθμούς διανομής εντός μεταλλικού οικίσκου (κίοςκ) στα Χανιά φαίνεται ότι σε όλα τα εξεταζόμενα ύψη και αποστάσεις οι τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής ήταν μικρότερες σε σχέση με την τιμή των 100 μT για την έκθεση του κοινού που προβλέπεται από τον ICNIRP. Το μαγνητικό πεδίο εξασθενεί με πολύ μεγάλο ρυθμό καθώς αυξάνει η οριζόντια απόσταση από τους υποσταθμούς.

Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων σε ένα υποσταθμό τύπου κίοςκ, σε οριζόντια απόσταση 0,5 m κάθετα στην όψη του μεταλλικού οικίσκου στην πλευρά της χαμηλής τάσης (πλευρά Α, βλ. σχήμα 4.4.2), οι τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής ήταν σχετικά υψηλές, αλλά μέσα στα διεθνώς καθορισμένα όρια. Αυτές οι τιμές οφείλονται στην παρουσία μεγάλων ρευμάτων στην πλευρά Α του υποσταθμού. Σε όλες τις άλλες οριζόντιες αποστάσεις (κάθετα στην όψη του μεταλλικού οικίσκου στην πλευρά Α), που ήταν μεγαλύτερες από 0,5 m το πεδίο εξασθενούσε με γρήγορο ρυθμό. Οι υψηλότερες τιμές μετρήθηκαν στο σημείο μέτρησης 2 (βλ. σχήμα 4.4.2), όπου βρίσκονται οι ζυγοί της χαμηλής τάσης.

Στην πλευρά της μέσης τάσης (πλευρά C, βλ. σχήμα 4.4.2), οι τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής σε όλες τις αποστάσεις ήταν σημαντικά χαμηλότερες αν συγκριθούν με αυτές που μετρήθηκαν στην πλευρά της χαμηλής τάσης (πλευρά A, βλ. σχήμα 4.4.2). Αυτό οφείλεται στο ότι υπό σταθερή ισχύ τα ρεύματα στη μέση τάση είναι μικρότερα συγκριτικά προς τη χαμηλή τάση. Οι υψηλότερες τιμές μετρήθηκαν στο σημείο 27 (βλ. σχήμα 4.4.2), όπου βρίσκονται οι ζυγοί της μέσης τάσης. Επίσης σε οριζόντιες αποστάσεις 1 m και 1,5 m (κάθετα στην όψη του μεταλλικού οικίσκου στην πλευρά C) οι τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής που μετρήθηκαν ήταν μεταξύ 0 και 0,55 μT .

Οι μετρήσεις με τις πόρτες και στις δύο πλευρές του υποσταθμού ανοικτές (βλ. σχήματα 4.4.7 έως 4.4.9), αφορούν το επίπεδο του μαγνητικού πεδίου κατά την παρουσία εργαζομένων στον υποσταθμό. Οι τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής που μετρήθηκαν ήταν χαμηλότερες αυτών των διεθνών ορίων όσον αφορά την έκθεση εργαζομένων. Η μέγιστη τιμή της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής ήταν τα 80 μT , η οποία μετρήθηκε στην πλευρά της χαμηλής τάσης του υποσταθμού με τις πόρτες ανοικτές. Η παραπάνω τιμή είναι μικρότερη του ορίου των 100 μT και 500 μT που αναφέρονται από τον ICNIRP για την έκθεση του κοινού και των εργαζομένων αντίστοιχα.

Η τιμή της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής στις άλλες δύο πλευρές του υποσταθμού B και C (βλ. σχήμα 4.4.2), εξαρτάται από τη θέση του σημείου μέτρησης σε σχέση με την χαμηλή τάση, τη μέση τάση και τον μετασχηματιστή. Για παράδειγμα το σημείο μέτρησης 13 (βλ. σχήμα 4.4.2) επηρεάζεται περισσότερο από την πλευρά της χαμηλής τάσης, το σημείο μέτρησης 16 επηρεάζεται κυρίως από την πλευρά της μέσης και οι τιμές που μετρήθηκαν στα σημεία 14 και 15 οφείλονται κυρίως στον μετασχηματιστή.

Στο σχήμα 4.4.3 δίνεται η κατανομή της συνισταμένης τιμής της μαγνητικής επαγωγής, που καταγράφηκε με το όργανο High Field EMDEX II τοποθετημένο στο έδαφος. Οι τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής οφείλονται κυρίως στην παρουσία υπόγειων καλωδίων. Τα χαμηλής και μέσης τάσης υπόγεια καλώδια βρίσκονται σε βάθος 0,7 m και 0,9 m αντίστοιχα μέσα στο έδαφος. Οι τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής ήταν χαμηλότερες των διεθνών ορίων που καθορίζονται από τον ICNIRP.

Συγκρίνοντας τις τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής του διαγράμματος του σχήματος 4.4.4, σε ύψος 1 m από το έδαφος με τις πόρτες κλειστές και στις δύο πλευρές του υποσταθμού, με αυτές του διαγράμματος του σχήματος 4.4.7 με τις πόρτες ανοικτές, είναι φανερό πως το μεταλλικό υλικό της πόρτας είχε ως αποτέλεσμα την εξασθένηση του πεδίου σε όλες τις αποστάσεις.

Όσον αφορά τις μετρήσεις του μαγνητικού πεδίου για τους άλλους 7 υποσταθμούς διανομής εντός μεταλλικού οικίσκου (κιόσκ) στα Χανιά, από το σχήμα 4.4.14 στην πλευρά A (πλευρά της χαμηλής τάσης) φαίνεται πως σε οριζόντιες

αποστάσεις $0\div 30$ cm (κάθετα στην όψη του μεταλλικού οικίσκου στην πλευρά A), οι μέσες τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής εξασθενούν με μεγάλο ρυθμό. Οι μέσες τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής στα σημεία μέτρησης $1\div 16$ σε ύψος 1 m από το έδαφος και σε οριζόντια απόσταση 30 cm (κάθετα στην όψη του μεταλλικού οικίσκου στην πλευρά A), κυμάνθηκαν μεταξύ $42\div 67$ % των τιμών της σε μηδενική απόσταση από τους υποσταθμούς.

Οι μέσες τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής στα ίδια σημεία και σε απόσταση 1 m (κάθετα στην όψη του μεταλλικού οικίσκου στην πλευρά A), κυμάνθηκαν από $6\div 9$ % των τιμών της σε μηδενική απόσταση από τους υποσταθμούς. Επιπροσθέτως όλες οι μέσες τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής που μετρήθηκαν σε οριζόντια απόσταση 3 m ήταν μικρότερες από τα $0,48$ μT .

Η υψηλότερη τιμή της συνισταμένης μαγνητικής επαγωγής που καταγράφηκε ήταν $65,4$ μT στον υποσταθμό 1 και στο σημείο 5 (βλ. σχήμα 4.4.10), σε μηδενική απόσταση (κάθετα στην όψη του μεταλλικού οικίσκου στην πλευρά A) και σε ύψος 1 m από το έδαφος. Κοντά σε αυτό το σημείο βρίσκονται οι ζυγοί της χαμηλής τάσης. Οι υψηλές τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής που καταγράφηκαν κοντά στα σημεία $1\div 16$ (βλ. σχήμα 4.4.10) σε απόσταση $0\div 30$ cm (κάθετα στην όψη του μεταλλικού οικίσκου στην πλευρά A) οφείλονται στα ρεύματα της χαμηλής τάσης.

Από το σχήμα 4.4.15, για την πλευρά C (πλευρά της μέσης τάσης), οι τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής στα σημεία μέτρησης $41\div 56$ (βλ. σχήμα 4.4.10) σε ύψος 1 m από το έδαφος σε οριζόντιες αποστάσεις 30 cm και 1 m (κάθετα στην όψη του μεταλλικού οικίσκου στην πλευρά C) κυμάνθηκαν μεταξύ $51\div 71$ % και $15\div 42$ % σε σύγκριση με τις τιμές της σε μηδενική απόσταση από τους υποσταθμούς αντίστοιχα. Επίσης όλες οι μέσες τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής που μετρήθηκαν σε οριζόντια απόσταση 3 m (κάθετα στην όψη του μεταλλικού οικίσκου στην πλευρά C) ήταν μικρότερες από τα $0,34$ μT .

Η τιμή της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής στις άλλες δύο πλευρές του υποσταθμού B και D (βλ. σχήμα 4.4.10), εξαρτάται από τη θέση του σημείου μέτρησης σε σχέση με την χαμηλή τάση, τη μέση τάση και τον μετασχηματιστή.

Σύμφωνα με το σχήμα 4.4.16 στην πλευρά B, οι μέσες τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής στα σημεία μέτρησης $61\div 76$, σε ύψος 1 m από το έδαφος και σε οριζόντιες αποστάσεις 30 cm και 1 m (κάθετα στην όψη του μεταλλικού οικίσκου στην πλευρά B) κυμάνθηκαν μεταξύ $20\div 59$ % και $4\div 32$ % των τιμών της σε μηδενική απόσταση από τους υποσταθμούς αντίστοιχα. Επίσης όλες οι μέσες τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής που μετρήθηκαν σε οριζόντια απόσταση 3 m (κάθετα στην όψη του μεταλλικού οικίσκου στην πλευρά B) ήταν μικρότερες από τα $0,38$ μT .

Από το σχήμα 4.4.17, στην πλευρά D, οι μέσες τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής στα σημεία μέτρησης $21\div 36$, σε ύψος 1 m από το έδαφος και οριζόντιες αποστάσεις 30 cm και 1 m (κάθετα στην όψη του μεταλλικού οικίσκου στην πλευρά

D), κυμάνθηκαν μεταξύ 43÷67% και 17÷40 % των τιμών της σε μηδενική απόσταση από τους υποσταθμούς. Όλες οι μέσες τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής που μετρήθηκαν σε οριζόντια απόσταση 3 m (κάθετα στην όψη του μεταλλικού οικίσκου στην πλευρά D), ήταν μικρότερες από τα 0,44 μT .

Από τα σχήματα 4.4.16 και 4.4.17, φαίνεται ότι πως τα σημεία μέτρησης 21÷24 και 73÷16 (βλ.σχήμα 4.4.10) επηρεάζονται περισσότερο από την πλευρά της χαμηλής τάσης, τα σημεία μέτρησης 33÷36 και 61÷64 (βλ.σχήμα 4.4.10) επηρεάζονται από την πλευρά της μέσης και οι τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής που μετρήθηκαν στα σημεία μέτρησης 25÷32 και 65÷72 (βλ.σχήμα 4.4.10) οφείλονται κυρίως στον μετασχηματιστή.

Στα σχήματα 4.4.18 και 4.4.19 δίνονται οι μέσες τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής στα σημεία μέτρησης 1÷16 και 41÷56 (βλ.σχήμα 4.4.10) που μετρήθηκαν με τις πόρτες στις πλευρές της χαμηλής και μέσης τάσης του υποσταθμού ανοικτές. Όλες οι τιμές του πεδίου που μετρήθηκαν ήταν μικρότερες σε σύγκριση με το όριο των 500 μT που αφορά την έκθεση των εργαζομένων [1].

Από το σχήμα 4.4.18 στην πλευρά A, οι μέσες τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής στα σημεία 1÷16 (βλ.σχήμα 4.4.10), σε ύψος 1 m από το έδαφος και σε οριζόντιες αποστάσεις 30 cm και 1 m (κάθετα στην όψη του μεταλλικού οικίσκου στην πλευρά A), κυμάνθηκαν μεταξύ 23÷44 % και 6÷11 % των τιμών της σε μηδενική απόσταση από τον οικίσκο. Επίσης όλες οι μέσες τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής που μετρήθηκαν σε οριζόντια απόσταση 3 m (κάθετα στην όψη του μεταλλικού οικίσκου στην πλευρά A) ήταν μικρότερες από τα 0,58 μT .

Στο σχήμα 4.4.19, στην πλευρά C, (βλ.σχήμα 4.4.10) με τις πόρτες ανοικτές, οι μέσες τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής στα σημεία μέτρησης 41÷56, σε ύψος 1 m από το έδαφος και σε οριζόντιες αποστάσεις 30 cm και 1 m (κάθετα στην όψη του μεταλλικού οικίσκου στην πλευρά C) κυμάνθηκαν μεταξύ 26÷39 % και 9÷19 % των τιμών της σε μηδενική απόσταση από τον οικίσκο αντίστοιχα. Επίσης όλες οι μέσες τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής που μετρήθηκαν σε οριζόντια απόσταση 3 m (κάθετα στην όψη του μεταλλικού οικίσκου στην πλευρά C) ήταν μικρότερες από τα 0,38 μT .

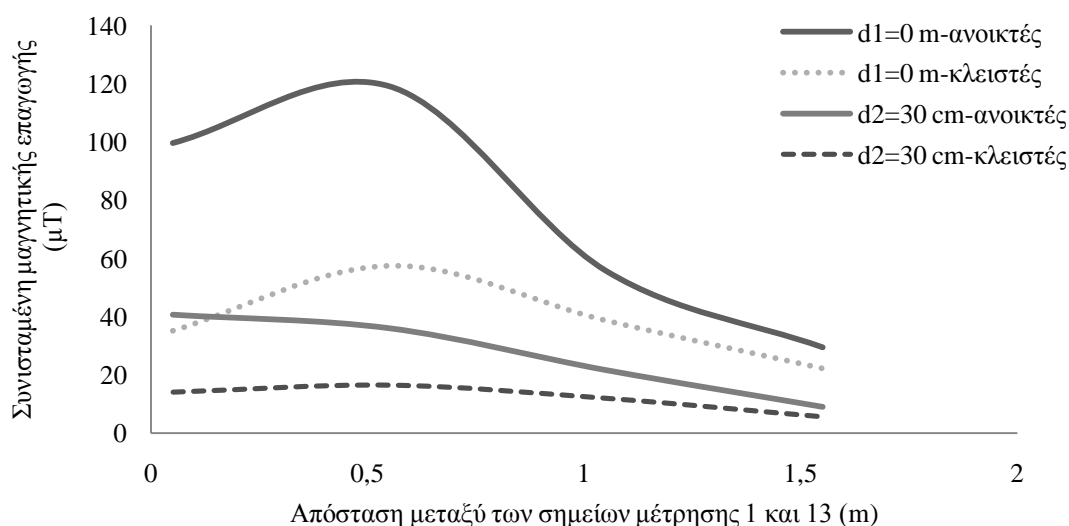
Από το σχήμα 5.3.1 φαίνεται ότι οι μέσες τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής στην πλευρά της χαμηλής τάσης (πλευρά A, βλ. σχήμα 4.4.10) σε ύψος 1 m από το έδαφος και με κλειστές τις πόρτες του οικίσκου είναι μικρότερες ως προς εκείνες με τις πόρτες ανοικτές και συγκεκριμένα κατά 35÷79 % για μηδενική απόσταση από τον οικίσκο και κατά 14÷35 % για οριζόντια απόσταση 30 cm (κάθετα στην πλευρά A του οικίσκου).

Από το σχήμα 5.3.2 φαίνεται ότι οι μέσες τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής στην πλευρά της μέσης τάσης (πλευρά C, βλ. σχήμα 4.4.10) σε ύψος 1 m από το έδαφος και με κλειστές τις πόρτες του οικίσκου είναι μικρότερες ως προς εκείνες με τις πόρτες ανοικτές και συγκεκριμένα κατά 31÷81 % για μηδενική

απόσταση από τον οικίσκο και κατά $19\div 71$ % για οριζόντια απόσταση 30 cm (κάθετα στην πλευρά C του οικίσκου).

Συνολικά, η μέση μείωση της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής που επιτυγχάνεται λόγω του μεταλλικού περιβλήματος στην πλευρά της χαμηλής τάσης (πλευρά A, βλ. σχήμα 4.4.10), ήταν 59 % (σε ύψος 1 m από το έδαφος και σε οριζόντια απόσταση $0\div 30$ cm κάθετα στην όψη του οικίσκου). Η αντίστοιχη μείωση στην πλευρά C (βλ. σχήμα 4.4.10), ήταν 49 %

Όταν το ύψος μέτρησης αυξήθηκε από 1 m σε 1,5 m και 1,7 m, παρατηρήθηκε μείωση των μέσων τιμών της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής σε όλες τις πλευρές των υποσταθμών. Στις οριζόντιες αποστάσεις $0\div 30$ cm για τα ύψη 1,5 m και 1,7 m και στην ευθεία που ενώνει τα σημεία $5\div 8$ στην πλευρά A, οι μέσες τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής κυμάνθηκαν μεταξύ $56\div 85$ % των τιμών που μετρήθηκαν στα σημεία αυτά για ύψος 1 m από το έδαφος (βλ. σχήμα 4.4.20).

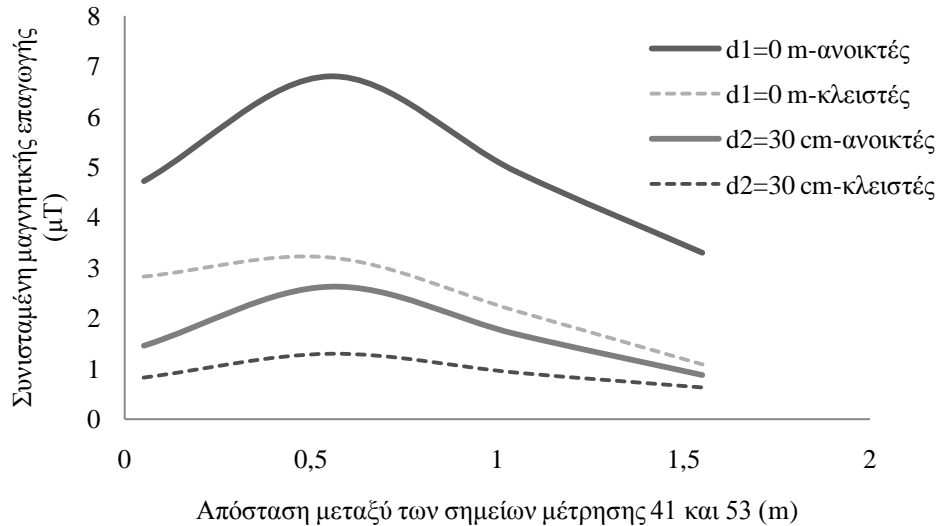


Σχήμα 5.3.1 Σύγκριση των μέσων τιμών της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής σε ύψος 1 m από το έδαφος και σε οριζόντιες αποστάσεις $d1=0$ m και $d2=30$ cm με τις πόρτες των υποσταθμών στην πλευρά της χαμηλής τάσης ανοικτές και κλειστές, στους 7 υπαίθριους υποσταθμούς διανομής εντός μεταλλικού οικίσκου στα Χανιά.

Σημείωση:

1) Αφορά την πλευρά A (βλ. σχήμα 4.4.10) που αποτελείται από τα σημεία μέτρησης $1\div 16$.

2) Ως οριζόντια απόσταση εννοείται η απόσταση κάθετα στην όψη του μεταλλικού οικίσκου που αντιστοιχεί στην πλευρά μέτρησης.



Σχήμα 5.3.2 Σύγκριση των μέσων τιμών της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής σε ύψος 1 m από το έδαφος και σε οριζόντιες αποστάσεις $d1=0$ m και $d2=30$ cm με τις πόρτες των υποσταθμών στην πλευρά της μέσης τάσης ανοικτές και κλειστές, στους 7 υπαίθριους υποσταθμούς διανομής εντός μεταλλικού οικίσκου στα Χανιά.

Σημείωση:

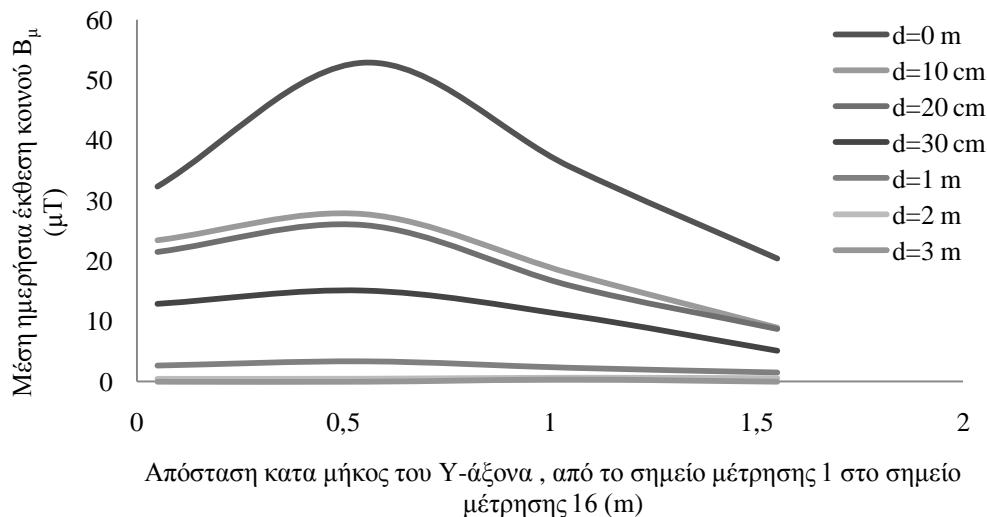
1) Αφορά την πλευρά C (βλ. σχήμα 4.4.10) που αποτελείται από τα σημεία μέτρησης 41÷56.

2) Ως οριζόντια απόσταση εννοείται η απόσταση κάθετα στην όψη του μεταλλικού οικίσκου που αντιστοιχεί στην πλευρά μέτρησης.

Στο σχήμα 4.4.21, που αφορά μετρήσεις στην πλευρά C (βλ. σχήμα 4.4.10), οι μέσες τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής για τα ύψη 1,5 m και 1,7 m στην ευθεία που ενώνει τα σημεία 45÷48, κυμάνθηκαν μεταξύ 31÷83 % των τιμών που μετρήθηκαν στα σημεία αυτά για ύψος 1 m από το έδαφος.

Με την αύξηση της απόστασης μέτρησης από 1 m σε 3 m (κάθετα στην όψη του μεταλλικού οικίσκου που αντιστοιχεί στην πλευρά μέτρησης) παρατηρήθηκαν μικρές αλλαγές μεταξύ των μετρούμενων τιμών στα τρία ύψη (1 m, 1,5 m και 1,7 m) και σε όλες τις πλευρές των υποσταθμών.

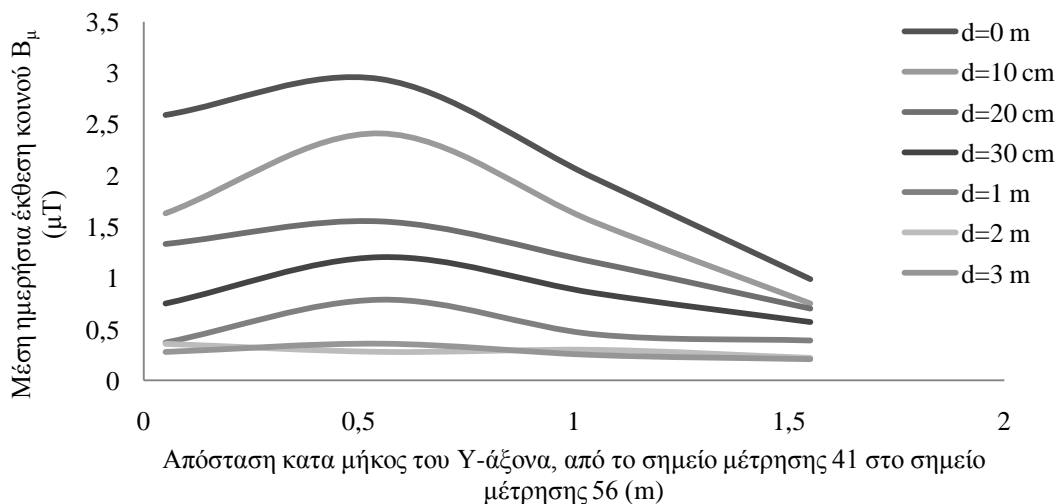
Βασίζόμενοι στα δεδομένα του πίνακα 4.4.4 και με τη χρήση της σχέσης (5.1.1), η μέση ημερήσια έκθεση του κοινού $B_{\mu(j)}$, μπορεί να υπολογιστεί σύμφωνα με την (5.1.2) για κάθε σημείο μέτρησης (όπου j είναι το σημείο μέτρησης). Για το σημείο μέτρησης 11, σε οριζόντια απόσταση 2 m (κάθετα στην όψη του μεταλλικού οικίσκου στην πλευρά A, βλ. σχήμα 4.4.10) και σε ύψος 1 m από το έδαφος, η μέση τιμή της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής μεταξύ 11:00÷13:00 h ήταν: $B_{\mu,2}^{(11)}=0,71$ μ T (βλ. σχήμα 4.4.11).



Σχήμα 5.3.3 Μέση ημερήσια έκθεση του κοινού (B_{μ}) σε ύψος 1 m από το έδαφος και σε οριζόντιες αποστάσεις $d=0\div 3$ m στην πλευρά της χαμηλής τάσης, στους 7 υπαίθριους υποσταθμούς διανομής εντός μεταλλικού οικίσκου στα Χανιά.

Σημείωση:

- 1) Αφορά την πλευρά Α (βλ.σχήμα 4.4.10) που αποτελείται από τα σημεία μέτρησης 1÷16.
- 2) Ως οριζόντια απόσταση εννοείται η απόσταση κάθετα στην όψη του μεταλλικού οικίσκου που αντιστοιχεί στην πλευρά μέτρησης.



Σχήμα 5.3.4 Μέση ημερήσια έκθεση του κοινού (B_{μ}) σε ύψος 1 m από το έδαφος και σε οριζόντιες αποστάσεις $d=0\div 3$ m στην πλευρά της χαμηλής τάσης, στους 7 υπαίθριους υποσταθμούς διανομής εντός μεταλλικού οικίσκου στα Χανιά.

Σημείωση:

- 1) Αφορά την πλευρά C (βλ.σχήμα 4.4.10) που αποτελείται από τα σημεία μέτρησης 41÷56.
- 2) Ως οριζόντια απόσταση εννοείται η απόσταση κάθετα στην όψη του μεταλλικού οικίσκου που αντιστοιχεί στην πλευρά μέτρησης.

Από τον πίνακα 4.4.4 γίνεται ο υπολογισμός της μέσης τιμής των ρευμάτων για τους 7 υποσταθμούς κατά το χρονικό διάστημα 11:00÷13:00 h και κατά τη διάρκεια του 24 h. Οι τιμές που υπολογίστηκαν είναι $I_{\mu,2}=368$ A, $I_{\mu}=323$ A, οπότε από τη σχέση 5.1.2 η μέση ημερήσια έκθεση του κοινού ήταν: $B_{\mu}^{(11)}=0,63$ μ T .

Στα διαγράμματα 5.3.3 και 5.3.4 παρουσιάζεται η μέση ημερήσια έκθεση του κοινού στις πλευρές A και C σε ύψος 1 m από το έδαφος και σε οριζόντιες αποστάσεις 0÷3 m (κάθετα στην όψη του μεταλλικού οικίσκου που αντιστοιχεί στην πλευρά μέτρησης) από τους υποσταθμούς διανομής εντός μεταλλικού οικίσκου.

5.4 Σχόλια επί των μετρήσεων σε υποσταθμούς διανομής εσωτερικού χώρου.

Οι μετρήσεις που διεξήχθησαν στους χώρους υπόγειων υποσταθμών διανομής έγιναν με σκοπό τη διερεύνηση του επιπέδου του μαγνητικού πεδίου κατά την παρουσία εργαζομένων. Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων προκύπτει πως σε όλα τα επιλεγμένα μετρούμενα σημεία στους υποσταθμούς οι τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής ήταν χαμηλότερες από το όριο των 500 μ T που αναφέρεται από τον ICNIRP για την έκθεση των εργαζομένων.

Οι τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής μειώνονται καθώς αυξάνεται η απόσταση μέτρησης από τους πίνακες χαμηλής, τους πίνακες μέσης τάσης και από το μετασχηματιστή. Επίσης καθώς αυξάνεται το ύψος μέτρησης από το 1 m στο 1,5 m και 1,7 m παρατηρείται μείωση της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής σε όλα τα σημεία μέτρησης (βλ. πίνακες 4.5.1. και 4.5.2.).

Οι μεγαλύτερες τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής που καταγράφηκαν ήταν κοντά στους πίνακες χαμηλής τάσης και στο χώρο όπου βρισκόταν οι μετασχηματιστές. Θα πρέπει να σημειωθεί πως η ελάχιστη απόσταση μέτρησης από τους μετασχηματιστές προς όλες τις κατευθύνσεις ήταν 1 m. Η απόσταση αυτή από τους μετασχηματιστές επιλέχθηκε για λόγους ασφαλείας κατά τη διεξαγωγή των μετρήσεων.

Από το σχήμα 4.5.3 για τον υποσταθμό No.1 παρατηρούμε πως σε οριζόντια απόσταση 30 cm κάθετα προς την πρόσοψη του πίνακα μέσης τάσης, οι τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής κυμαίνονται μεταξύ 36÷82 % σε σχέση με αυτές σε μηδενική απόσταση από την πρόσοψη του πίνακα. Για οριζόντια απόσταση μέτρησης 90 cm κάθετα προς την πρόσοψη των πινάκων μέσης τάσης οι τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής σε όλους τους υποσταθμούς κυμάνθηκαν μεταξύ 1÷1,7 μ T.

Καθώς αυξάνεται η απόσταση από τους πίνακες της χαμηλής τάσης παρατηρείται σημαντική μείωση του πεδίου σε όλους τους υποσταθμούς. Στον υποσταθμό No.1 και σε οριζόντια απόσταση 0,5 m κάθετα προς την πρόσοψη του πίνακα χαμηλής τάσης No.1, οι τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής

κυμάνθηκαν μεταξύ 15÷40 % των τιμών που μετρήθηκαν σε μηδενική απόσταση από την πρόσοψη του πίνακα αυτού. Σε οριζόντια απόσταση 0,6 m κάθετα προς την πρόσοψη του πίνακα χαμηλής τάσης Νο.2, οι τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής κυμάνθηκαν μεταξύ 11÷67 % των τιμών που μετρήθηκαν σε μηδενική απόσταση από την πρόσοψη του πίνακα αυτού. Θα πρέπει να επισημανθεί πως στα σημεία μέτρησης 78,79,80 και 82,83,84 οι τιμές του πεδίου επηρεάζονται και από τους δύο πίνακες της χαμηλής.

Στο σχήμα 4.5.6 παρουσιάζονται μετρήσεις της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής στο χώρο όπου βρίσκεται ο μετασχηματιστής στον υποσταθμό Νο.1 και σε οριζόντιες αποστάσεις 1 m και 2 m κάθετα προς την πρόσοψη του μετασχηματιστή. Από το σχήμα 4.5.6 παρατηρείται πως οι τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής σε οριζόντια απόσταση 2 m (σημεία M6, M8, M10 και M12, βλ.σχήμα 4.5.2) κυμαίνονται μεταξύ 32÷52 % των τιμών σε απόσταση 1 m (σημεία M5, M7, M9 και M11, βλ.σχήμα 4.5.2) κάθετα προς την πρόσοψη του μετασχηματιστή. Σε οριζόντια απόσταση 2 m κάθετα προς τη πρόσοψη του μετασχηματιστή οι τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής κυμαίνονται μεταξύ 5,2÷14,4 μT. Οι τιμές της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής στα επιλεγμένα σημεία μέτρησης στους χώρους όπου βρίσκονται οι μετασχηματιστές στους άλλους δύο υποσταθμούς κυμάνθηκαν μεταξύ 4,5÷51,9 μT και 4,8÷54,6 μT αντίστοιχα.

6. ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ ΤΙΣ ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Η εργασία αυτή συνέβαλε σημαντικά τόσο στις μετρήσεις της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής σε υποσταθμούς του δικτύου διανομής, όσο και στη διερεύνηση και μείωση των επιδράσεων που μπορούν να προκύψουν στον άνθρωπο από το μαγνητικό πεδίο στο περιβάλλον των εν λόγω υποσταθμών. Σημείο αναφοράς των μετρήσεων και των θεωρητικών αποτελεσμάτων ήταν τα διεθνώς αποδεκτά όρια του ICNIRP (International Commission on Non- Ionizing Radiation Protection) τα οποία ισχύουν και στην Ελλάδα (βλ. ΦΕΚ 512/Β/25-4-2002) και τα οποία είναι για συνεχή έκθεση του κοινού και των εργαζομένων 100 μT και 500 μT αντίστοιχα. Σε όλες τις μετρήσεις που έγιναν η τιμή της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής ήταν μικρότερη των προαναφερθέντων ορίων και μειώνονται όσο αυξάνει η απόσταση από τους υποσταθμούς.

Από τον έλεγχο της αξιοπιστίας των ορίων ασφαλείας φαίνεται ότι το επαγόμενο στον άνθρωπο ηλεκτρικό ρεύμα, κατά την έκθεσή του στα χαμηλής συχνότητας (50 Hz και 60 Hz) μαγνητικά και ηλεκτρικά πεδία, είναι πολύ μικρότερο από το όριο αντίληψης. Αυτό σημαίνει ότι οι προαναφερθείσες τιμές της μαγνητικής επαγωγής είναι όρια ασφαλείας και όχι όρια επικινδυνότητας και συνεπώς η μη υπέρβαση των ορίων αυτών ικανοποιεί τις αρχές προφύλαξης και πρόληψης της Παγκόσμιας Οργάνωσης Υγείας.

Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια της εργασίας αυτής μπορούν να θεωρηθούν αντιπροσωπευτικές των υποσταθμών διανομής, γιατί έγιναν σε ξεχωριστές αστικές περιοχές, σε διαφορετικές χρονικές περιόδους και αφορούν ένα μεγάλο αριθμό υποσταθμών.

Τα αποτελέσματα αυτής της εργασίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο στην έρευνα και τις πρακτικές εφαρμογές σχετικά με τα επίπεδα του μαγνητικού πεδίου, όσο και στην περαιτέρω ανάπτυξη μεθόδων μείωσης του μαγνητικού πεδίου, κοντά σε δίστυλους υποσταθμούς και σε υποσταθμούς εντός μεταλλικού οικίσκου (τύπου κιόσκ). Επειδή οι υποσταθμοί αυτοί είναι εγκατεστημένοι κυρίως σε κατοικημένες περιοχές, ενδιαφέρουν ιδιαίτερα οι τιμές της μαγνητικής επαγωγής.

Από τις μετρήσεις που έγιναν σε πίνακες χαμηλής τάσης (ασφαλειοκιβώτια) των υπαίθριων υποσταθμών και σε υποσταθμούς εντός μεταλλικού οικίσκου (υποσταθμοί τύπου κιόσκ) παρατηρήθηκε η αποτελεσματικότητα της θωράκισης που προσφέρει το μεταλλικό περίβλημα τους έναντι του μαγνητικού πεδίου.

Μια επιπλέον μείωση του μαγνητικού πεδίου στο περιβάλλον των υπαίθριων υποσταθμών διανομής μέσης τάσης εντός κατοικημένων περιοχών μπορεί να επιτευχθεί με θωράκιση των πινάκων διανομής χαμηλής τάσης μέσω φύλλων αλουμινίου. Πράγματι στην εργασία αυτή θωρακίστηκαν οι εν λόγω πίνακες με φύλλα αλουμινίου πάχους 0,5 mm και επιτεύχθηκε μείωση της μαγνητικής επαγωγής σε

ποσοστό περίπου 23 % σε ύψος 1 m από το έδαφος και σε οριζόντια απόσταση 30 cm από αυτούς. Για το λόγο αυτό προτείνεται οι καινούργιοι πίνακες διανομής χαμηλής τάσης να θωρακίζονται εσωτερικά με φύλλα αλουμινίου τόσο στις πόρτες τους, όσο και περιμετρικά του μεταλλικού περιβλήματός τους. Επίσης, προτείνεται να θωρακιστούν έναντι του μαγνητικού πεδίου οι ήδη εγκατεστημένοι πίνακες διανομής χαμηλής τάσης με φύλλα αλουμινίου περιμετρικά του ασφαλειοκιβωτίου (δηλαδή στις πόρτες και στις εξωτερικές πλευρές τους).

Η προαναφερθείσα μέθοδος θωράκισης έναντι του μαγνητικού πεδίου ενδείκνυται να εφαρμοστεί και σε υποσταθμούς διανομής εντός μεταλλικού οικίσκου (υποσταθμοί τύπου κιόσκ). Αυτό μπορεί να γίνει σε καινούριους υποσταθμούς με την τοποθέτηση φύλλων αλουμινίου εσωτερικά του οικίσκου αλουμινίου (τόσο στις πόρτες τους, όσο και περιμετρικά του μεταλλικού περιβλήματός τους), ενώ στους ήδη εγκατεστημένους υποσταθμούς οι τοποθέτηση των φύλλων αλουμινίου μπορεί να γίνει αντίστοιχα εξωτερικά του οικίσκου. Ενδεικτικές μετρήσεις, με την τοποθέτηση φύλλων αλουμινίου (πάχους 0,5 mm) εξωτερικά επί των επιφανειών του οικίσκου, έδειξαν παρόμοια αποτελέσματα μείωσης της συνισταμένης της μαγνητικής επαγωγής με τα προαναφερθέντα για τους πίνακες διανομής χαμηλής τάσης.

Η χρήση φύλλων αλουμινίου διαφόρων παχών, μπορεί να αποτελέσει αντικείμενο μελλοντικών ερευνών για την περαιτέρω μείωση του μαγνητικού πεδίου στο περιβάλλον των πινάκων διανομής χαμηλής τάσης και των υποσταθμών εντός μεταλλικών οικίσκων, αλλά και γενικότερα σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις όπου αναπτύσσονται υπολογίσιμα μαγνητικά πεδία.

Θα πρέπει επίσης να διερευνηθεί η μείωση του μαγνητικού πεδίου στο περιβάλλον των μετασχηματιστών διανομής. Η θωράκιση με φύλλα αλουμινίου των εν λόγω μετασχηματιστών ενδιαφέρει ιδιαίτερα σε υπαίθριους υποσταθμούς, σε περιπτώσεις που οι μετασχηματιστές γειτνιάζουν με κατοικίες.

Επίσης, θα ήταν πολύ χρήσιμο να γίνουν έρευνες για υγρά μέσα θωράκισης (π.χ. ως ένα είδος μοπαγιάς αλουμινίου) έναντι του μαγνητικού πεδίου στο περιβάλλον των υποσταθμών διανομής (αλλά και γενικότερα), γιατί θα διευκόλυνε άμεσα στη μείωση του μαγνητικού πεδίου σε ήδη υπάρχουσες κατασκευές.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Η σειρά που ακολουθείται σε κάθε αναφορά είναι: συγγραφέας, τίτλος δημοσίευσης, εκδοτικός οίκος (ή στοιχεία περιοδικού ή συνεδρίου), έτος δημοσίευσης.

[1] Int. Commission on Non Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), “Guidelines for limiting exposure to time varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz),” Health Phys., vol. 74, pp. 495–523, Apr.1998.

[2] NRPB, “Review of the scientific evidence for limiting exposure to electromagnetic fields (0 – 300 GHz),” Doc. NRPB, 15 (3), 1-215,2004.

[3] IEEE Standard for safety levels with respect to human exposure to electromagnetic fields, IEEE Std C95.6-2002, 0–3 kHz, p.11, Oct. 2002,

[4] <http://www.icnirp.de/aim.htm>

[5] Κοινή υπουργική απόφαση, ” Μέτρα προφύλαξης του κοινού από τη λειτουργία διατάξεων εκπομπής ηλεκτρομαγνητικών πεδίων χαμηλών συχνοτήτων”, ΦΕΚ 512/Β/25-4-2002.

[6] INIRC/IRPA, ” Interim guidelines on limits of exposure to 50/60Hz electric and magnetic fields”, Health Physics, 58(1),1990,pp 113-122

[7] Π.Δ.Μπούρκας ,”Εφαρμογές κτιριακών και βιομηχανικών εγκαταστάσεων”, Ε.Μ.Π., Αθήνα 1998.

[8] M.Rapachioli , “Draft of framework to develop precautionary measures in areas of scientific uncertainty”, WHO, Electromagnetic fields in our health,2004.

[9] Δ.Τσανάκας, Π.Ζαχαροπούλου, Ε.Μίμος , “Το μαγνητικό και το ηλεκτρικό πεδίο των γραμμών 400kV και 150kV στην περιοχή Κρυονερίου ως περιβαλλοντικοί παράγοντες”, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Πατρών, Εργαστήριο Παραγωγής Μεταφοράς και Χρησιμοποίησης της Ηλεκτρικής Ενέργειας, Ιούνιος 2002.

[10] P.D.Bourkas, C.G.Karagiannopoulos, C.S.Psomopoulos, P.Halaris “Theoretical and experimental approximation of the electromagnetic field resulted from underground power lines of 150kV”, Proceedings of the IASTED International Conference, Power and Energy Systems, July 3-6,2001, Rhodes, Greece.

[11] E.Davod, Δ.Τσανάκας, Ν.Παλληκαράκης”Περιβαλλοντική θεώρηση των μαγνητικών και ηλεκτρικών πεδίων των γραμμών υψηλής τάσεως στην περιοχή Κρυονερίου”, 21, Ιουνίου 2002

[12] Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας ,“Εκθεση μετρήσεων των επιπέδων του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου που δημιουργούνται από τις εναέριες γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας της Δ.Ε.Η. Α.Ε. στην περιοχή της Κοινότητας Κρυονερίου του Νομού Αττικής”, Φεβρουάριος 2005.

[13] A.S. Safigianni, C.G.Tsompanidou, ” Measurements of electric and magnetic fields due to the operation of indoor power distribution substations,” IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.20, pp. 1800-1805, Jul. 2005.

[14] Σύσταση του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης για ηλεκτρομαγνητικά πεδία, 1999, Επίσημη Εφημερίδα Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, 1999/519/ΕΚ, L199,σελ 59-70,30-7-1999.

- [15] Π.Δ.Μπούρκας, "Εφαρμογές εγκαταστάσεων σε Νοσοκομεία", ΕΜΠ,1999.
- [16] P.D. Bourkas, C.G.Karagianopoulos, C.S.Psomopoulos, P.Halaris, " Theoretical and experimental approximation of the electromagnetic field resulted from underground power lines 150kV", Proc.IASTED, Rhodes, Greece, July 3-6,2001
- [17]Α.Α.Παρασκευόπουλος, "Το ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο σε δίκτυα και εγκαταστάσεις ως παράγων περιβαλλοντικών επιπτώσεων", Διδακτορική διατριβή, Σχολή Η.Μ.Μ.Υ, Ε.Μ.Π., Αθήνα 2009.
- [18] Κ.Κüpfmüller, "Theoretische Elektrotechnik", Springer, 1968.
- [19] A.S. Safigianni and C.G. Tsompanidou," Electric and magnetic field measurements in an outdoor electric power substation," IEEE Transactions on Power Delivery," vol. 24, pp. 38-42, Jan.2009
- [20] R.Matthes, P.Vecchia, A.F.Mckinlay,B.Veyret,J.Bernhardt," Exposure to static and low frequency electromagnetic fields, biological effects and health consequences" , ICNIRP,2003.
- [21] G.Oberdorfer, "Lehrbuch der Electrotechnik", Oldenburg, 1961
- [22] G.Fillipopoulos and D.Tsanakas, "Analytical calculation of magnetic field produced by electric power lines", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.20, No.2, April 2005.
- [23]W.T Kaune and L.E. Zaffanella, "Analysis of magnetic fields produced far from electric power lines", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol7, No.4, October 1992.
- [24]A report of the IEEE Magnetic Fieldss Task Force: R.G.Olsen, D.Deno and R.S. Baishiki, principal authors;other members: J.R.Abbott, R.Conti, M.Frazier,K.Jaffa,G.B.Niles, J.R. Stewart, P.Wong and R.M. Zavadil, of the AC fields Working Group of the Corona and Field Effects Subcommittee of the Transmission and Distribution Committee, "Magnetic fields from electric power lines theory and comparison to measurements", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.3, No.4, October 1988.
- [25] P.S.Maruvada, A.Turgeon, D.L.Goulet and C.U.Cardinal, "A statistical model to evaluate the influence of proximity to transmission lines on residential magnetic fields", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.13,No.4, October 1998.
- [26]P.S.Maruvada, A.Turgeon, D.L.Goulet and C.U.Cardinal, "An experimental study of residential magnetic fields in the vicinity of transmission lines", IEEE Transactions on Power Delivery,Vol.13, No.4, October 1998.
- [27]C.Garrido,A.F.Otero and J.Cidras, "Low-Frequency magnetic fields from electrical appliances and power lines", IEEE Transactions on Power Delivery,Vol.18, No.4, October 2003.
- [28] W.E.Feero, J.Yontz and J.H. Dumlap, "Magnetic fields remote from substations", IEEE Transactions on Power Delivery,Vol.4,No.3, July 1989
- [29] N.Hayashi,K.Isaka and Y.Yokoi, "ELF Electromagnetic environment in power substations", Bioelectromagnetics, 10:51-64(1989).
- [30] W.K.Daily and F.Dawalibi, "Measurements and computations of electromagnetic fields in electric power substation", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.9,No.1, January 1994.
- [31] T.Keiko,S.Kuusiluoma,T.Sauramäki and L.Korpinen, " Comparison of electric and magnetic fields near 400kV electric substation with exposure recommendations of the

European Union”, Proceedings of Transmission and Distribution Conference and Exhibition 2002: Asia Pacific IEEE/PES, 6-10 Oct.2002

[32]T. Keikko, R. Seesvuori, and S. Valkealahti, ”Exposure to magnetic field harmonics in the vicinity of indoor distribution substations”, Health Physics, vol. 91, pp. 574-581, Dec. 2006.

[33]W. Joseph, L. Verloock and L. Martens, ”Measurements of ELF electromagnetic exposure of the general public from Belgian power distribution substations”, Health Physics, vol.94, pp. 57-66, Jan. 2008.

[34] W. Joseph, L. Verloock, and L. Martens, ” General public exposure by ELF fields of 150–36/11-kV substations in urban environment”, IEEE Transactions on Power Delivery, vol.24, pp. 642-649, Apr 2009.

[35]M. Lindgren, M. Gustavsson, Y. Hamnerius and S. Galt, ” ELF magnetic fields in a city environment”, Bioelectromagnetics, 22, pp. 87-90, 2001.

[36]J.M. Paniagua, A. Jimenez, M. Rufo, J.A. Gutierrez, F.J. Gomez and A. Antolin, “ Exposure to extremely low frequency magnetic fields in an urban area”, Radiat Environ Biophys , 46, pp. 69–76,(2007).

[37] G. d’Amore, L. Anglesio, M. Tasso, A. Benedetto and S. Roletti, ” Outdoor background ELF magnetic fields in an urban environment”, Radiation Protection Dosimetry, Vol. 94, No. 4, pp. 375–380 (2001)

[38]M. Havas “Intensity of electric and magnetic fields from power lines within the business district of 60 Ontario communities”, The Science of the Total Environment, 298, pp. 183–206, 2002

[39] K.E. Holbert, G.G.Karady, S.G.Adhikari and M.L. Dyer, ”Magnetic fields produced by underground residential distribution system”, IEEE Transactions on Power Delivery, vol.24, pp. 1616-1622, Jul. 2009.

[40] A. Turgeon, M. Bourdages, L. Richard, J. Giroux and L. Houde, ”Magnetic field levels near underground distribution systems”, Proc.2009 CIRED ,20th International Conference on Electricity Distribution , 8-11 June 2009

[41] C.Garrido,A.F.Otero and J.Cidras, “Low-Frequency magnetic fields from electrical appliances and power Lines”, IEEE Transactions on Power Delivery,Vol.18, No.4, October 2003.

[42] A. W. Preece, W. T. Kaune, P. Grainger and J. Golding, ” Assessment of human exposure to magnetic fields produced by domestic appliances”, Radiation Protection Dosimetry, Vol. 83, Nos 1–2, pp. 21–27 (1999).

[43] A W Preece, P Grainger, J Golding and W Kaune, “Domestic magnetic field exposures in Avon”, Phys. Med. Biol. 41 71–81 (1996).

[44]R.A. Cartwright, “Exposure from domestic appliances”, Radiation Protection Dosimetry ,Vol. 83, Nos 1–2, pp. 87–91 (1999).

[45]C J Merchant, D C Renew and J Swanson, “Exposures to power-frequency magnetic fields in the home”, J. Radio/. Prot. Vol. 14 No 1 77-87,1994.

[46]D.L. Mader, S.B. Peralta, “Residential exposure to 60-Hz magnetic fields from appliances”, Bioelectromagnetics 13:287301, (1992).

- [47] L.J. Dlugosz, T. Byers, J. Vena and M. Zielezny, "Ambient 60-Hz magnetic flux density in an urban neighborhood", *Bioelectromagnetics* 10 187–96, 1989.
- [48] D.L. Mader, D.A. Barrow, D.E. Donnelly, R.R. Scheer and M.D. Sherar "Simple model for calculating residential 60-hz magnetic fields", *Bioelectromagnetics* 11 283–96, 1990.
- [49] W. T. Kaune and L. E. Zaffanella, "Assessing historical exposures of children to power-frequency magnetic fields", *Anal. Environ. Epidemiol.* 4 149–70, 1994.
- [50] T.R. Johnson, J.R. Gauger, "Evaluation of field reduction technologies", RAPID Engineering Project #8, IIT Research Institute for Oak Ridge National Laboratory EMF Research Program, US Department of Energy, 1997.
- [51] Ε.Ι Μίμος, "Πειραματικός και υπολογιστικός καθορισμός της έκθεσης ανθρώπων σε ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία", Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών, Απρίλιος 2009.
- [52] EPRI, *Magnetic Field Management for Overhead Power Lines*, "Field Reduction Using Cancellation Loops", EPRI Report TR-105571, Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA, December 1995.
- [53] EPRI, "Handbook for the Assessment and Management of Magnetic Fields Caused by Distribution Lines", EPRI Report TR-106003, Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA, December 1995.
- [54] EPRI, "Transmission Cable Magnetic Field Management", EPRI Report TR-102003, Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA, 1993.
- [55] EPRI, "Material Based Magnetic Field Shielding Design Guide", EPRI Report TR-109271, Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA, 1997.
- [56] Electric Transmission Research Needs Task Force, "Electric and Magnetic Field Reduction: Research Needs", State of Washington, Department of Health, Olympia Washington, January 1992.
- [57] S. Rodick, P. Musser, "Evaluation of measures and costs to mitigate magnetic fields from transmission and distribution lines", Proceedings of the 1993 Missouri Valley Electric Association Engineering Conference, Kansas City, MO, 1993.
- [58] EPRI, *Transmission Line Reference Book - 345 kV and Above: 2nd Edition*, Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA, 1982.
- [59] G. B. Johnson, "Field management technologies", Power Research Engineering, Adams, MA EMF Engineering review Symposium, Version 04/22/98, Charleston, SC, Organized by the United States Department of Energy
- [60] EPRI, "Material shielding of power frequency magnetic fields", EPRI Report TR-109550, EPRI, Palo Alto, CA, 1998 (In-Press).
- [61] EPRI, "Handbook of shielding principles for power system magnetic fields", EPRI Report TR-103630, Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA, April 1994.
- [62] K.C. Lim, J.F. Hoburg, D.W. Fugate, R.J. Lordan, "Integral law descriptions of quasistatic magnetic field shielding by thin conducting plates" *IEEE Transactions on Power Delivery*, No. 4, October 1997, pp. 1642-1650.

- [63] J.F.Hoburg, B.A.,Clairmont, , D.W.Fugate, R. J.Lordan, "Comparisons of measured and calculated power frequency magnetic shielding by multilayered cylinders," IEEE Transactions on Power Delivery, No. 4, October 1997.
- [64] M.Echrich, L.O. Fichte, "Magnetic field reduction of twisted three phase power cables of finite length by specific phase mixing", International symposium on Electromagnetic Compatibility, 1999, p.448-451.
- [65]T.L.Landers, R.J.Richeda,E.Krizanskas,J.R.Stuart,R.A.Brown,"High phase order Economics: Constructing a New Transmission line", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 13, issue 4, April 1998.
- [66] J.R. Stewart, S. J. Dale, K. W.Klein,"Magnetic field reduction using high phase order lines", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 8, No. 2, April 1993
- [67] J.Gidlund, A.Peterson, R.Ruritz,L.Sönderberg,R.Jansson, "Swedish state power board adopts the T-Tower design for 420kV lines. CIGRE SC22-88,(WG8)-13,1988.
- [68] A.S. Farag , A. Al-Shehri , J.Bakhashwain ,T.C. Cheng, D. Penn," Impact of electromagnetic field management on the design of 500 kV transmission lines"Electric Power Systems Research 40 (1997) 203-238
- [69] R.Raschen, "Example of tower height regarding EMF", 37th CIGRE Session, Paris France, 30.08.-5.9.1998, Vol I,pp.70-71.
- [70] G. Kelfkens, J.Van Wolven, R.Pennders, C. Stuurman, L.Van Aernsbergen, G. Delfini, M.Pruppers," Costs and benefits of the reduction of magnetic fields due to overhead power lines",RIVM, National Institute for Public Health and the Environment, KEMA T&D POWER, Dutch Ministry of Housing, Spatial Planning ad the Environment (VROM), The Hague, The Netherlands.
- [71] M.Echrich, L.O. Fichte,M.Luer,"Magnetic field reduction of power cables by multi-splitting of conductors and compensation effects", Asian Pacific Conference on Environmental Electromagnetics,(CEEM 2000) 2000,pp33-38.
- [72] G.G.Karady,C.V.Nunez, R.Raghavan,"The feasibility of magnetic field reduction by a phase relationship optimization in cable systems", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 13, issue 2, 1998.
- [73] D.Reichelt, R. Scherer, R.Braunlich, T.Aschwanden,"Magnetic field reduction measures for transmission lines considering power flow conditions", Transmission and Distribution Conference IEEE, 1996, pp.486-492.
- [74] L.Ippolito, P. Siano," Using multi-objective optimal power flow for reducing magnetic fields from power lines",Electric Power Systems Research 68 (2004) 93_/101
- [75] N.M. K. Abdel-Gawad," An Investigation into Magnetic Field Management under Power into Magnetic Field Management under Power Transmission Lines using Delta Configurations", The Open Environmental Engineering Journal, 2009, 2, 50-67.
- [76] U. Jonsson, A. Larsson, J-O. Sjödin," Optimized reduction of the magnetic field near Swedish 400kV lines by advanced control of shield wire currents.Test results and economic evaluation", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 9, No. 2, April 1994

- [77] J.R. Stewart, S. J. Dale, K. W. Klein, "Magnetic field reduction using high phase order lines", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 8, No. 2, April 1993.
- [78] P. Pettersson, "Principles in transmission line magnetic field reduction", IEEE Transactions on Power Delivery Vol. 11, No. 3, July 1996.
- [79] P. Cruz, C. Izquierdo, M. Burgos, "Optimum passive shields for mitigation of power lines magnetic field", IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 18, No. 4, October 2003.
- [80] P.C. Romero, J. R. Santos, J. C. del Pino López, A. de la Villa Jaén, and J. L. M. Ramos, "A Comparative analysis of passive loop-based magnetic field mitigation of overhead lines", IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 22, No. 3, July 2007.
- [81] P. Cruz, J.M. Riquelme, A. de la Villa, J.L. Martinez, "Ga-based passive loop optimization for magnetic field mitigation of transmission lines", Neurocomputing 70, 2679-2686, (2007).
- [82] Clairmont, B.A., Fardanesh, B., Hopkins, L. Shperling, B., Zelingher, S., "Passive shielding loops for a multiple line corridor," Proceedings of the 1995 CIGRE Study Committee 36 Colloquium, Foz do Aquacu, Brazil, May 1995.
- [83] K. Yamazaki, T. Kawamoto and H. Fujinami, "Requirements for power line magnetic field mitigation using a passive loop conductor" IEEE Transactions on Power Delivery Vol. 15, No. 2, April 2000.
- [84] H. Beltran, V. Fuster, C. García, V. Ferrer, I. Piqueras, "Optimal screen width for field reduction applications of low frequency magnetic fields in three-phase conductors", Institut de Tecnologia Elèctrica, Valencia, Spain, Union Fenosa – Distribución, Coruña, Spain
- [85] T. Barbarics, A. Kost, D. Lederer, and P. Kis, "Electromagnetic field calculation for magnetic shielding with ferromagnetic material", IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 36, No. 4, July 2000.
- [86] A. Canova, A. Manzin, and M. Tartaglia, "Evaluation of different analytical and semi-analytical methods for the design of ELF magnetic field shields", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 38, No. 3, May/June 2002.
- [87] A. Canova, G. Gruosso, and M. Repetto, "Integral methods for analysis and design of low-frequency conductive shields", IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 39, No. 4, July 2003.
- [88] M. Guarnieri, F. Moro, and R. Turri, "An integral method for extremely low frequency magnetic shielding", IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 41, No. 5, May 2005.
- [89] E.C. Bascom, John H. Cooper, Wayne Banker, Rick Piteo, Angelo M. Regan, Steven A. Boggs, "Magnetic field management considerations for underground cable duct bank", IEEE Transmission & Distribution Conference and Exposition, New Orleans, Louisiana 9-14 October 2005.
- [90] G. G. Karady, C. V. Nunez, R. Raghavan, "The feasibility of magnetic field reduction by phase relationship optimization in cable systems", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 13, No. 2, April 1998

- [91] I.O. Habiballah 1, A.S. Farag , M.M. Dawoud, A. Firoz, "Underground cable magnetic field simulation and management using new design configurations", *Electric Power Systems Research* 45 (1998) 141–148.
- [92] P.S.Wong,T.M.Rind, S.M.Harvey, R.R.Scheer, "Power frequency electric and magnetic fields from a 230kV Gas Insulated Substation", *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol9, issue 3, 1994,pp 1494-1501.
- [93]A. S. Farag, T. C. Cheng and L. Hu, D. Penn and J. Thompson, "Study for optimal design of gas insulated substations (GIS) to reduce magnetic fields", *Electrical Power & Energy Systems*, Vol. 19, No. 3, pp. 185-194, 1997
- [94] A. S. Farag, M.M. Dawoud, T.C. Cheng, J.M.Bakhashwain, F.Shahzad, "Magnetic field measurement and management in and around substations in Saudi Arabia", *CIGRE 1998 session, Paris, France 1998*, paper 36-101,p12.
- [95]L. H. Korpinen and R.J.Pääkkönen, "Occupational exposure to electric and magnetic fields during work tasks at 110 kV substations in the Tampere Region", *Bioelectromagnetics* 31:252-254 (2010).
- [96]E.Salinas, "Passive and active shielding of power frequency magnetic fields from secondary substation components" *Proc.2000 PowerCon Power System Technology*, pp. 855-860.
- [97]D. Desideri, M. Guarnieri, A. Maschio and F. Moro, "Magnetic shielding of MV/LV substations: Numerical modeling and experimental validation" *Proc.2008 UPEC 43rd International Universities Power Engineering Conf.* pp. 1-5.
- [98] H. B. S.Segundo and V. F. Roig "Reduction of low voltage power cables electromagnetic field emission in MV/LV substations" *Electric Power Systems Research* ,78, pp. 1080–1088, 2008.
- [99] S. Kuusiluoma, T. Keikko and L. Korpinen, "Magnetic field disturbances of indoor MV/LV substations in Finland" *Proc.2002 IEEE/PES Transmission and Distribution Conf. and Exhibition Asian Pacific*, pp. 2348-2351.
- [100] D.Hearn, H. Luternauer, H. Schiesser, "Electromagnetic field mitigation techniques applied to MV/LV substations" , *19th International Conference on Electricity Distribution, CIRED,Vienna, 21-24 May 2007*
- [101] P. Alotto, M. Guarnieri, F. Moro and R. Turri, "Mitigation of residential magnetic fields generated by MV/LV substations", *UPEC 2007* – 832.
- [102] H. B. S. Segundo, C. C. García, V. F. Roig, T. Y. Vega, "Magnetic field reduction study for low voltage distribution panels located in MV/LV substations", *9th International Conference, Electrical Power Quality and Utilization, Barcelona, 9-11 October 2007*.
- [103] L. Hasselgren, E. Molle, Y. Hamnerius, "Calculation of magnetic shielding of a substation at power frequency using FEM" *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 9, No. 3, July 1994
- [104] L. Hasselgren, Y. Hamnerius, "Calculation of low-frequency magnetic shielding of a substation using a two dimensional Finite-Element Method", *ETEP Vol. 5. No. 2, March/April 1995*

- [105] B. Valic, P. Gajsek, "Mitigate the magnetic field exposure near transformer substations", Institute of Non-Ionizing Radiation, Pohorskega Bataljona 215, 1000 Ljubljana, Slovenia, Genera, Prevale 10, 1236 Trzin.
- [106] D.Fulchiron, J.Delaballe, "Reduction of the low frequency EMF emission of MV/LV substations", 17th International Conference on Electricity Distribution, CIRED, Barcelona, 12-15 May 2003.
- [107] I.C.N.I.R.P, "Έκθεση σε στατικά και σε χαμηλής συχνότητας ηλεκτρομαγνητικά πεδία, βιολογικές επιδράσεις και συνέπειες στην υγεία. Επισκόπηση των επιστημονικών αποδείξεων δοσιμετρίας, βιολογικών επιδράσεων, επιδημιολογικών παρατηρήσεων και συνέπειες στην υγεία σχετικά με την έκθεση σε στατικά και σε χαμηλής συχνότητας ηλεκτρομαγνητικά πεδία (0-100kHz)" ISBN 3-934994-03-2,2003.
- [108] A.N. Proios, S.D. Anagnostatos, J.S.Katsanis, P.T.Tsarabaris, P.D. Bourkas, "Magnetic field measurements under two-pole type distribution substations in the low frequency range", Proceedings of the Ninth IASTED European Conference, Power and Energy Systems (EuroPES 2009), September 7-9,2009 Palma de Mallorca, Spain.
- [109] A. N. Proios, C. D. Halevidis, E. I. Koufakis, P. D .Bourkas, " Magnetic-Field Measurements Near Two-Pole-Type Distribution Substations", IEEE Transactions on Power Delivery, April 2011, Volume: 26, Issue 2, pages 1137-1144.
- [110] A.N. Proios, S.D. Anagnostatos, A.D. Polikrati, , P.T.Tsarabaris, E.I. Koufakis, " Magnetic field measurements near a compact kiosk type substation", MELECON 2010 - 15th IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference, 26-28 April 2010, Valletta, Malta.
- [111] J.P. Reilly, "Applied Bioelectricity", Springer, 1998.
- [112] B. Wilson, R. Stevens, L. Anderson, "Extremely low frequency electromagnetic fields: the question of cancer", Batelle press, 1990.
- [113] T.D. Bracken, "Field measurements and calculations of electrostatic effects of overhead transmission lines", IEEE Transactions on power apparatus and Systems, PAS 95, 494-502,1976.
- [114] [I.A. Ρουμελιώτης, I.A. Τσαλαμέγκας, "Σημειώσεις ηλεκτρομαγνητικών πεδίων", ΕΜΠ, 2000.
- [115] L.P. Vanjan, "On the magnetospheric-ionospheric components of atmospheric electric fields", Phys.math.and biological problems of effects of electromagnetic fields and ionization of air, Moscow, Nauka,1, 49-57, 1975.
- [116] D.W. Deno, "Currents induced in the human body by high voltage transmission line electric field- measurement and calculation of distribution and dose", IEEE Transactions on power apparatus and Systems, PAS 96 (5), 1517-1527,1977.
- [117] O.P. Gandhi, J.Y. Chen, "Numerical dosimetry at power line frequencies using anatomically based models", Bioelectromagnetics, Suppl. 1, 43-60, 1992.

- [118] E. Philippow, "Taschenbuch Elektrotechnik", Carl Hansen, 1976.
- [119] K.Küpfmüller, "Theoretische Elektrotechnik", Springer, 1968.
- [120] R. Freiberger, "Der Elektrische Widerstand des menschlichen Körpers gegen technischen Gleich und Wechselstrom", Springer, 1934.
- [121] B. Wilson, R. Stevens, L. Anderson, "Extremely low frequency electromagnetic fields: the question of cancer", Batelle press, 1990.
- [122] ICRP (23), "International Commission on Radiological Protection: Report of the task group on reference man", Pergamon, Oxford, 1975.
- [123] A.A.P. Paraskevopoulos, P.D. Bourkas, C.G. Karagiannopoulos, "An evaluation of magnetically induced current density in human's body, based on measurements conducted in high voltage Center of 150/20kV", IEEE, BIBE Proc, Athens, Greece, 8-10 Oct 2008, BE 6.1-5, 2008
- [124] F.S. Barnes, B. Greenbaum, "Handbook of Biological effects of electromagnetic fields", CRC press, 2007.