



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

***Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ 50/60 ΗΖ ΣΤΟΝ
ΑΝΘΡΩΠΟ ΚΑΙ Η ΕΛΑΧΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΤΟΥΣ***

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ-ΑΓΓΕΛΟΣ Β. ΠΑΠΑΘΑΝΑΣΙΟΥ

Επιβλέπων : Νικόλαος Κ. Ουζούνογλου

Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούνιος 2018



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

***Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ 50/60 ΗΖ ΣΤΟΝ
ΑΝΘΡΩΠΟ ΚΑΙ Η ΕΛΑΧΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΤΟΥΣ***

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ-ΑΓΓΕΛΟΣ Β. ΠΑΠΑΘΑΝΑΣΙΟΥ

Επιβλέπων : Νικόλαος Κ. Ουζούνογλου

Καθηγητής ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 7^η Ιουνίου 2018

.....
Νικόλαος Κ. Ουζούνογλου
Κακλαμάνη

.....
Γεώργιος Ματσόπουλος

.....
Δήμητρα- Θεοδώρα

Αθήνα, Οκτώβριος 2018

.....
Αναστάσιος-Άγγελος Β. Παπαθανασίου
Τελειόφοιτος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Αναστάσιος-Άγγελος Β. Παπαθανασίου, 2018

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.

Περίληψη

Οι πολλαπλές εφαρμογές του ηλεκτρισμού στη σημερινή εποχή έχουν σαν αποτέλεσμα την καθημερινή έκθεση των ανθρώπων σε χαμηλόσυχνα ηλεκτρομαγνητικά πεδία. Για τον λόγο αυτό καθίσταται επιτακτική η ανάγκη για επιστημονική μελέτη των πιθανών δυσμενών επιπτώσεων στον ανθρώπινο οργανισμό. Στην παρούσα διπλωματική εργασία προσδιορίζονται αρχικά τα χαμηλόσυχνα ηλεκτρομαγνητικά πεδία και παρουσιάζονται οι πηγές έκθεσης τους στο περιβάλλον. Στη συνέχεια παρουσιάζονται διεθνείς έρευνες για ενδεχόμενες επιδράσεις των χαμηλόσυχνων πεδίων καθώς και των υπάρχοντων Ελληνικών και διεθνών ορίων έκθεσης. Έπειτα, περιγράφεται η διαδικασία λήψης μετρήσεων και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα τους σε σύγκριση με τα επίπεδα αναφοράς για την ασφαλή έκθεση του κοινού σε χαμηλόσυχνα μαγνητικά πεδία και εν κατακλείδι παρουσιάζονται οι βέλτιστες διατάξεις αγωγών των γραμμών μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας σε σκοπό την ελαχιστοποίηση του μαγνητικού πεδίου.

Επιγραμματικά η εργασία μπορεί να συνοψιστεί ως εξής:

Στο **Κεφάλαιο 1** γίνεται μια θεωρητική αναφορά σε βασικές έννοιες όπως αυτή της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος και γίνεται ο διαχωρισμός μεταξύ ιοντιζουσών και μη ακτινοβολιών. Προσδιορίζονται ακόμα, οι επιβλαβείς ακτινοβολίες για την υγεία καθώς επίσης και οι ιδιότητες των χαμηλόσυχνων ηλεκτρομαγνητικών πεδίων

Στο **Κεφάλαιο 2** παρουσιάζονται αναλυτικά οι διαφορετικές πηγές χαμηλόσυχνων ηλεκτρομαγνητικών πεδίων και γίνεται σύγκριση των πεδιακών εντάσεων στο περιβάλλον τους.

Στο **Κεφάλαιο 3** γίνεται λόγος για τη βιολογική επίδραση των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων. Παρουσιάζονται οι επιδράσεις τους στην ανθρώπινη υγεία όπως αυτές προκύπτουν από παγκόσμιες έρευνες διεθνών οργανισμών και φορέων καθώς και οι δράσεις που λαμβάνουν χώρα τόσο για τη μελέτη αυτών των επιδράσεων, όσο και για την προστασία του κοινού. Ακόμη, παρουσιάζονται οι κανονισμοί προστασίας και τα όρια έκθεσης σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία, τόσο στην Ευρώπη, όσο και στην Ελλάδα.

Στο **Κεφάλαιο 4** παρουσιάζονται οι μετρήσεις που διενεργήθηκαν στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας και στη συνέχεια πραγματοποιείται σύγκριση των αποτελεσμάτων με τα όρια ασφαλούς έκθεσης όπως αυτά θεσπίζονται από την ελληνική νομοθεσία

Τέλος στο **Κεφάλαιο 5** μελετώνται και παρουσιάζονται μέσω μετρήσεων οι βέλτιστες διατάξεις των αγωγών σε γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας έτσι ώστε να επιτευχθεί η ελαχιστοποίηση της μαγνητικής επαγωγής

ΛΕΞΕΙΣ – ΚΛΕΙΔΙΑ

Χαμηλόσυχνα μαγνητικά πεδία, βιολογικές επιδράσεις, Όρια ασφαλούς έκθεσης, μέτρηση μαγνητικού πεδίου, ελαχιστοποίηση έντασης μαγνητικού πεδίου

ABSTRACT

Extremely-low-frequency (ELF) electromagnetic fields exist today because of the multiple applications of electricity and are a subject of scientific study on their likely unfavourable repercussions on human health. In the present diplomatic work the ELF fields are determined initially and their sources of exposure in the environment are presented. Then the researches refer to potential effects of ELF fields as well as of the existing Greek and international limits of exposure. Furthermore, the process of reception of measurements is described and their results are presented compared to the safe exposure limits of public in ELF magnetic fields. At the end, the optimal configurations of cabling infrastructure in power transmission lines are studied and discussed.

In particular, this essay can be summarized as follows:

In **Chapter 1** there is a theoretical report in the basic concepts of electromagnetic radiation. Harmful radiation as well as the properties of low frequency electromagnetic fields is identified. Moreover, protection regulations and limits on exposure to electromagnetic fields are presented, both in Europe and in Greece.

In **Chapter 2** different sources of low frequency electromagnetic fields are presented and the fields' intensities in their environment are compared.

Chapter 3 talks about the biological effects of electromagnetic fields. It also presents the effects on human health and the actions that take place for the study of these effects, and for the public's protection.

In the **Chapter 4** the measurements are presented and is investigated whether they are within the legal limits as they are defined by the greek law.

Finally in **Chapter 5** the optimal configurations of cabling infrastructure in power transmission lines are studied and discussed in order minimization of magnetic induction to be achieved.

KEYWORDS

Extremely low frequency (ELF) Magnetic Fields, Safety exposure limits, magnetic field measurement, biological effects, minimization of magnetic induction.

Αφιερώνεται στην οικογένεια μου...

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή κ. Νικόλαο Ουζούνογλου για την τιμή που μου έκανε με την ανάθεση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, την πολύτιμη βοήθεια του, τις συμβουλές του όσο και την αμέριστη συμπαράστασή του

<<Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ 50/60 ΗΖ ΣΤΟΝ ΑΝΘΡΩΠΟ ΚΑΙ Η ΕΛΑΧΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΤΟΥΣ>>

Contents

Περίληψη	5
ΛΕΞΕΙΣ – ΚΛΕΙΔΙΑ	5
ABSTRACT	6
KEYWORDS	6
Κεφάλαιο 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ	11
1.1 ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	11
1.2 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ.....	12
1.2.1 Ηλεκτρομαγνητική Ακτινοβολία	12
1.2.2 Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα.....	13
1.2.3 Ιοντίζουσα και Μη Ιοντίζουσα Ακτινοβολία	15
1.2.4 Χαμηλόσυχνα Ηλεκτρομαγνητικά Πεδία	17
1.2.5 Ηλεκτρικά Πεδία	17
1.2.6 Μαγνητικά Πεδία	18
Κεφάλαιο 2: Πηγές ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων στο περιβάλλον μας και παραδείγματα.....	19
2.1 Φυσικές πηγές ηλεκτρομαγνητικών πεδίων	19
2.2 Τεχνητές πηγές ηλεκτρομαγνητικών πεδίων	20
2.2.1 Ηλεκτρικές Συσκευές.....	21
2.2.2 Εσωτερικές καλωδιώσεις.....	22
2.2.3 Δίκτυα Μεταφοράς και Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας	23
Κεφάλαιο 3: Βιολογικές επιπτώσεις των χαμηλόσυχνων ηλεκτρομαγνητικών πεδίων στον ανθρώπινο οργανισμό και τα όρια ασφαλούς έκθεσής του	30
3.1 Ιστορική ανασκόπηση	31
3.2 Εισαγωγή στις περιβαλλοντικές επιδράσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.....	31
3.3 Βιολογικές επιδράσεις χαμηλόσυχνης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.....	32
(Extremely Low Frequency 50/60 Hz)	32
3.3.1 Άμεσες επιδράσεις.....	32
3.3.2 Έμμεσες επιδράσεις	33
3.3.3 Η έννοια της επιδημιολογίας.....	33

3.3.4 Χαμηλόσυχνα μαγνητικά πεδία 50/60 Hz και παιδικός καρκίνος.....	34
3.3.5 Χαμηλόσυχνα μαγνητικά πεδία 50/60 Hz σε βιομηχανικές ζώνες και στον χώρο.....	36
εργασίας.....	36
3.3.6 Επιδράσεις στην Εγκυμοσύνη.....	38
3.3.7 Επιδράσεις σε βηματοδότες και Καρδιακά αποτελέσματα	38
3.3.8 Επιδράσεις στην λειτουργία του ανοσοποιητικού	39
3.3.10 ELF και νευρολογικές παθήσεις	40
3.4 Πλαίσιο προστασίας και όρια ασφαλούς έκθεσης	43
Κεφάλαιο 4: ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΧΑΜΗΛΟΣΥΧΝΩΝ ΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ	46
4.1 Προπαρασκευή Μετρήσεων	46
4.2 Διαδικασία μέτρησης	48
4.3 Καταγραφή και υποβολή έκθεσης των αποτελεσμάτων μέτρησης	49
4.4 Μετρήσεις χαμηλόσυχνων μαγνητικών πεδίων στο 1ο Δημοτικό σχολείο.....	50
Γλυκών Νερών και στον περίβολο του.....	50
4.4.1 Σκοπός των μετρήσεων	50
4.4.2 Εξοπλισμός μέτρησης μαγνητικού πεδίου	51
4.4.3 Αποτελέσματα των μετρήσεων.....	53
4.4.4 Ανάλυση Μετρήσεων και Συμπεράσματα	59
4.4 Μετρήσεις χαμηλόσυχνων μαγνητικών πεδίων σε Γραμμές ΥΤ.....	60
4.5.1 Σκοπός των μετρήσεων	60
4.5.2 Εξοπλισμός μέτρησης μαγνητικού πεδίου	60
4.5.3 Αποτελέσματα των μετρήσεων.....	60
4.5.4 Συμπεράσματα από τις μετρήσεις	63
Κεφάλαιο 5: Η ελαχιστοποίηση της μαγνητικής επαγωγής στο δίκτυο μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας	64
5.1 Πρόλογος.....	65
5.2 Συμμετρική και βέλτιστη διάταξη των αγωγών των φάσεων σε πύργο.....	65
υπερυψηλής τάσης 400 KV	65
5.3 Βελτιστοποίηση διατάξεων καλωδίων για την ελαχιστοποίηση της.....	72
μαγνητικής επαγωγής	72
5.3.1 Καλώδια 150kV	72
5.3.2 Καλώδια 400kV	76
5.3.3 Οριζόντια διάταξη καλωδίων 400kV σε δύο επίπεδα	78
5.3.4 Καλώδια 150kV σε σήραγγα	81
5.3.5 Οριζόντια διάταξη τριών συστημάτων σε ένα επίπεδο	84

5.3.6 Περισσότερα από τρία τριφασικά συστήματα σε οριζόντια διάταξη ενός επιπέδου	87
5.3.7 Συμπερασματικά	90
5.4 Συμπεράσματα	91
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ :	91

Κεφάλαιο 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Από την αρχή της ανθρωπότητας πραγματοποιήθηκαν προσπάθειες ελέγχου και αξιοποίησης των διαφόρων μορφών ενέργειας. Ορόσημο των προσπαθειών αυτών απετέλεσε η ανακάλυψη και η χρήση του ηλεκτρισμού. Παρόλο που τα ηλεκτρικά φαινόμενα στη φυσική πραγματικότητα γινόταν αντιληπτά από αρχαιότατα χρόνια, μόλις τον 19^ο αιώνα κατέστη δυνατή η δυνατότητα μαζικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και η αξιοποίησης της υπό την μορφή εναλλασσόμενου ρεύματος.

Η είσοδος του ηλεκτρισμού στην καθημερινή ζωή του ανθρώπου και οι πολλαπλές εφαρμογές του συνέβαλλαν όχι μόνο στην καθοριστική βελτίωση του βιοτικού επιπέδου των ανθρώπων, αλλά και στην ραγδαία πρόοδο και ανάπτυξη της βιομηχανικής παραγωγής, των επικοινωνιών, των μεταφορών, της ιατρικής τεχνολογίας κλπ. με αποτέλεσμα την αύξηση της αποδοτικότητας σε όλους τους τομείς

Η μοναδικότητα της ηλεκτρικής ενέργειας συνίσταται στο γεγονός ότι μπορεί να χρησιμοποιείται σε αποστάσεις εκατοντάδων χιλιομέτρων από τα σημεία παραγωγής της. Αυτό καθίσταται εφικτό με την ύπαρξη των δικτύων μεταφοράς

(υψηλής τάσης) και διανομής (μέσης και χαμηλής τάσης) και των υποσταθμών που τα διασυνδέουν, που είναι τα σημεία στα οποία μετασχηματίζεται η ενέργεια (υποβιβασμός της τάσεως από υψηλή σε μέση ή από μέση σε χαμηλή τάση).

Τα τελευταία πενήντα χρόνια η ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνεται διαρκώς, ιδιαίτερα στο βιομηχανικό κόσμο. Η αύξηση αυτή έχει ως συνέπεια την εξάπλωση των δικτύων μεταφοράς και διανομής που καλύπτουν ολοένα και ευρύτερες εκτάσεις σε όλο τον πλανήτη. Παράλληλα διευρύνεται και η χρήση του πάσης φύσεως ηλεκτρικού εξοπλισμού και συσκευών στην καθημερινή ζωή : οικιακές συσκευές διαφόρων ειδών, προσωπικοί υπολογιστές, κλιματιστικά μηχανήματα κλπ.

Εντούτοις, παρά το γεγονός ότι ο ηλεκτρισμός συνιστά αδιαμφισβήτητα στοιχειώδες κοινωνικό αγαθό, άρρηκτα συνδεδεμένο με την ποιότητα της ζωής μας, τις τελευταίες δεκαετίες υπάρχει διάχυτος προβληματισμός σχετικά με ενδεχόμενες δυσμενείς επιπτώσεις από τη χρήση του στο ανθρωπογενές περιβάλλον. Ο προβληματισμός αυτός επικεντρώνεται στα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία, η ύπαρξη των οποίων είναι συνυφασμένη με τη χρήση του εναλλασσομένου ρεύματος.

Πράγματι γύρω από κάθε ηλεκτροφόρο στοιχείο που διαρρέεται από εναλλασσόμενο ρεύμα (ηλεκτρικά δίκτυα, οικιακές ή άλλες ηλεκτρικές συσκευές και μηχανές, εσωτερικές ηλεκτρικές εγκαταστάσεις) αναπτύσσεται ένα ηλεκτρικό και ένα μαγνητικό πεδίο που μεταβάλλονται χρονικά με τη συχνότητα του ρεύματος (50 Hz στην Ελλάδα και τα περισσότερα κράτη του κόσμου, 60 Hz σε ΗΠΑ-Καναδά).

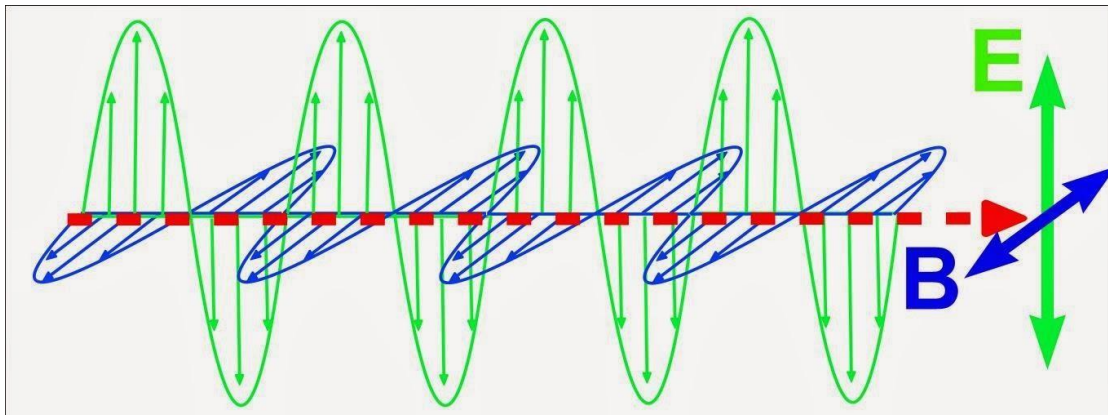
Είναι πλέον γενικά παραδεκτό ότι ζούμε περιστοιχιζόμενοι από ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία, είτε φυσικά (το μαγνητικό πεδίο της Γης), είτε τεχνητά, δηλ. πεδία που προέρχονται από την ανθρώπινη δραστηριότητα. Για τον λόγο καθίσταται επιτακτική η ανάγκη πραγματοποίησης πειραμάτων και ερευνών, ώστε να δοθούν απαντήσεις στα ερωτήματα του ευρύ κοινού.

1.2 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

1.2.1 Ηλεκτρομαγνητική Ακτινοβολία

Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία είναι η εκπομπή στον χώρο ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας υπό μορφή κυμάτων που ονομάζονται ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Ηλεκτρομαγνητικό κύμα είναι η ταυτόχρονη διάδοση ενός ηλεκτρικού και ενός μαγνητικού πεδίου. Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα διαδίδονται στο κενό με την

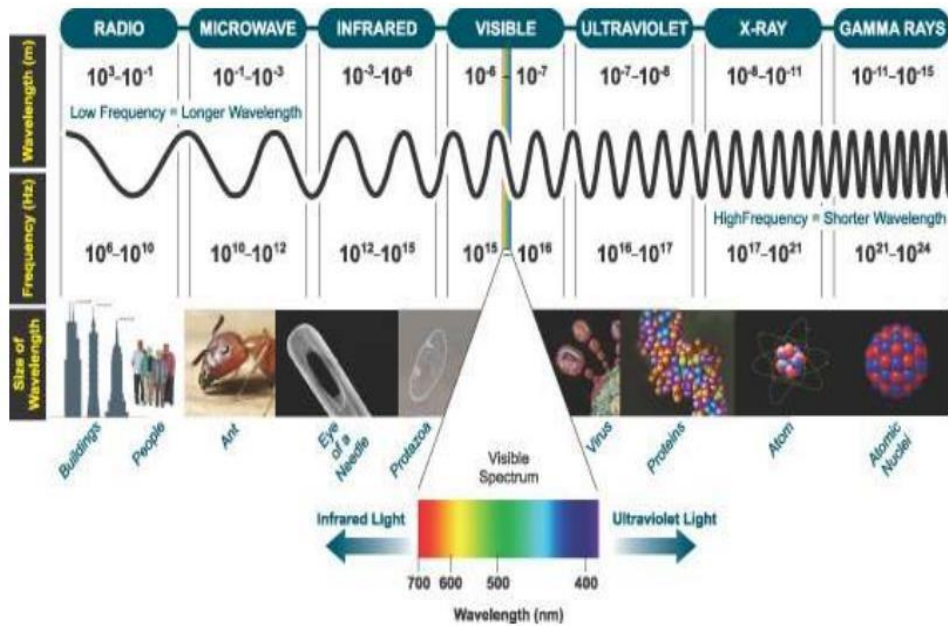
ταχύτητα του φωτός. Σε όλα τα άλλα υλικά διαδίδονται με μικρότερη ταχύτητα. Η ταχύτητα διάδοσης του ηλεκτρομαγνητικού κύματος εξαρτάται από την φύση του μέσου διάδοσης. Για το κενό η ταχύτητα του είναι $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$. Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα δημιουργούνται από μεταβαλλόμενα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία. Ένα σταθερό ηλεκτρικό πεδίο ή ένα σταθερό μαγνητικό πεδίο δεν παράγει ηλεκτρομαγνητικό κύμα. Επομένως η αιτία δημιουργίας ηλεκτρομαγνητικού κύματος είναι η επιταχυνόμενη κίνηση των ηλεκτρικών φορτίων.



Εικόνα 1.1 Διάδοση του ηλεκτρομαγνητικού κύματος

1.2.2 Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα

Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα ονομάζεται το εύρος της περιοχής συχνοτήτων που καλύπτουν τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα



Εικόνα 1.2 Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα

Όλα τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα έχουν τα γενικά χαρακτηριστικά των κυμάτων. Εφόσον όλα διαδίδονται στο κενό με την ταχύτητα c , η συχνότητα τους και το μήκος κύματος συνδέονται με τη σχέση: $c = \lambda \cdot f$

Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα εκτείνεται θεωρητικά από σχεδόν μηδενικές συχνότητες έως το άπειρο. Με βάση κάποιες χαρακτηριστικές ιδιότητες των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα χωρίζεται σε επιμέρους ζώνες.

Αυτές είναι:

α) **Τα ραδιοκύματα**, είναι το είδος της ενέργειας που εκπέμπουν οι ραδιοσταθμοί. Ραδιοκύματα εκπέμπονται επίσης και από άλλα σώματα, όπως αστέρες και αέρια στο διάστημα (όπου και χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της σύστασης των αντικειμένων αυτών). Παράγονται από φορτισμένα σωματίδια που κινούνται μπρος-πίσω. Η ατμόσφαιρα είναι διάφανη στα σε ραδιοκύματα με μήκη από λίγα mm σε περίπου 20 m.

β) **Τα μικροκύματα**, θεωρούνται και αυτά τμήμα των ραδιοκυμάτων λόγω του ότι παράγονται από κεραίες και έχουν πλήθος εφαρμογών στις τηλεπικοινωνίες. Παρουσιάζουν όμως και διαφορετικές ιδιότητες σε σχέση με τα υπόλοιπα ραδιοκύματα, λόγω της υψηλότερης ενέργειας των φωτονίων τους. Τα μικροκύματα καλύπτουν περιοχή συχνοτήτων από 300MHz -300GHz

γ) **Η υπέρυθρη ακτινοβολία**, Η Υπέρυθρη ακτινοβολία καλύπτει ζώνη συχνοτήτων από 300GHz - 400THz και η ενέργεια των φωτονίων της είναι από 10^{-3} - 1,6eV. Υπέρυθρη ακτινοβολία εκπέμπουν όλα τα σώματα λόγω θερμότητας. Βρίσκει πολλές εφαρμογές στην τεχνολογία. Οι υπέρυθρες ακτίνες χρησιμοποιούνται στα οπτικά ηλεκτρονικά μέσα όπως τα CD player, στις ηλεκτρονικές επικοινωνίες με οπτικές ίνες αλλά και με ασύρματη εκπομπή υπερύθρων. Πολύ σημαντική εφαρμογή έχει η υπέρυθρη φωτογραφία που βρίσκει εφαρμογές στην αρχαιολογία, τη γεωργία, την οικολογία, τη δασοπονία, τη γεωλογία και την υδρολογία

δ) **Η ορατή ακτινοβολία (φως)**, Η ζώνη του ορατού φωτός είναι μία στενή ζώνη του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, στην οποία είναι ευαίσθητο το αισθητήριο της όρασης των ζωντανών οργανισμών. καλύπτει περιοχή συχνοτήτων 400-800THz . Το ορατό φάσμα χωρίζεται σε επιμέρους ζώνες τις οποίες το ανθρώπινο μάτι τις αντιλαμβάνεται ως διαφορετικά χρώματα.

ε) **Η υπεριώδης ακτινοβολία**, Η Υπεριώδης ακτινοβολία καλύπτει την περιοχή συχνοτήτων από 800THz - $3 \cdot 10^{17}$ Hz . Εκπέμπεται από εξαιρετικά θερμά σώματα όπως τα άστρα. Η υπεριώδης είναι ακτινοβολία υψηλής ενέργειας και αρκετά επιβλαβής για τους ζωντανούς ιστούς.

στ) **Οι ακτίνες Χ**, εκτείνεται από $3 \cdot 10^{17}$ Hz - $5 \cdot 10^{19}$ Hz . Ο πιο συνηθισμένος τρόπος παραγωγής ακτίνων Χ είναι μέσω της επιτάχυνσης ηλεκτρονίων από δυναμικό τάξης μεγέθους των δεκάδων χιλιάδων βολτ και πρόσπτωσή τους σε στόχο ο οποίος αποτελείται από μεταλλικό υλικό μεγάλου ατομικού αριθμού.

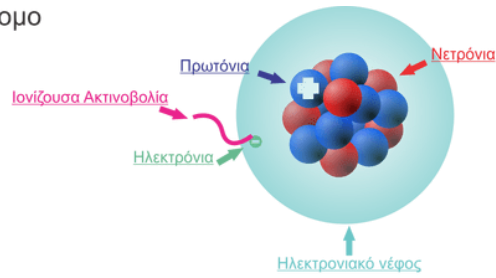
Χρησιμοποιούνται στην ιατρική για απεικόνιση οστών και ...δοντιών. Θερμά αέρια στο σύμπαν επίσης εκπέμπουν ακτίνες-Χ

ζ) **Οι ακτίνες γ**, είναι ακτινοβολία εξαιρετικά υψηλής συχνότητας που κυμαίνεται από $5 \cdot 10^{19}$ Hz - $3 \cdot 10^{22}$ Hz. Εκπέμπονται από ραδιενεργά υλικά, φυσικά ή τεχνητά. Μεγάλοι επιταχυντές που χρησιμοποιούν οι επιστήμονες για την κατανόηση της δομής της ύλης επίσης μπορούν να δώσουν ακτινοβολία γ. Αλλά η μεγαλύτερη πηγή ακτίνων γ είναι το σύμπαν! Παράγει ακτινοβολία-γ με όλους τους δυνατούς τρόπους

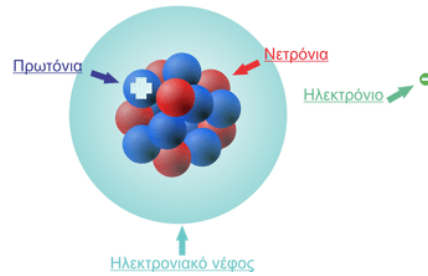
1.2.3 Ιοντίζουσα και Μη Ιοντίζουσα Ακτινοβολία

Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα μεταφέρονται από σωματίδια που λέγονται κβάντα. Τα κβάντα κυμάτων υψηλότερης συχνότητας (μικρότερο μήκος κύματος) μεταφέρουν περισσότερη ενέργεια από ό,τι τα πεδία με χαμηλότερη συχνότητα (μεγαλύτερο μήκος κύματος). Ορισμένα ηλεκτρομαγνητικά κύματα μεταφέρουν μεγάλες ποσότητες ενέργειας ανά κβάντο, αρκετή ώστε να μπορούν να διασπάσουν τους δεσμούς που υπάρχουν μεταξύ των μορίων.

Ουδέτερο άτομο

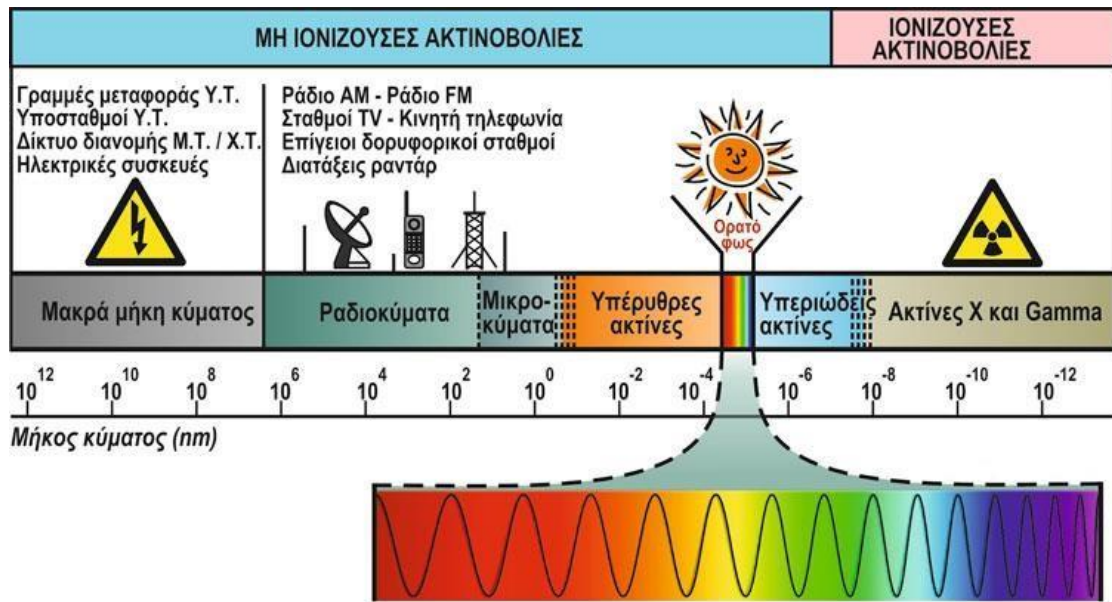


Θετικά φορτισμένο άτομο



Εικόνα 1.3 Διέγερση και αποδιέγερση του ατόμου

Στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα, οι ακτίνες γάμμα οι οποίες εκπέμπονται από τα ραδιενεργά υλικά, την κοσμική ακτινοβολία και τις ακτίνες-Χ, διαθέτουν αυτήν την ιδιότητα και αποκαλούνται "ιοντίζουσα ακτινοβολία". Τα πεδία των οποίων τα κβάντα δεν επαρκούν ώστε να διασπασούν τους μοριακούς δεσμούς αποκαλούνται "μη ιοντίζουσα ακτινοβολία". Επομένως οι ιοντίζουσες είναι οι ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες που είναι ανίκανες να προκαλέσουν βιολογικές επιδράσεις λόγω ιοντισμού. Στις ακτινοβολίες αυτές εντάσσονται τα στατικά ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία όπως είναι αυτά που δημιουργούνται στο φυσικό περιβάλλον, τα χαμηλόσυχνα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία που δημιουργούνται στο περιβάλλον διατάξεων ηλεκτρικής ενέργειας, τα ραδιοκύματα και τα μικροκύματα που εκπέμπονται από κεραιές επικοινωνιών (π.χ. σταθμούς βάσης κινητής τηλεφωνίας), κεραιές ραδιοφωνίας και τηλεόρασης, συστημάτων ραντάρ κ.λ.π., καθώς και η υπεριώδης, η ορατή και η υπέρυθη ακτινοβολία. Οι βιολογικές επιδράσεις όλων αυτών είναι διαφορετικές από αυτές της ιοντίζουσας ακτινοβολίας αλλά και μεταξύ τους. Έτσι, τα χαμηλόσυχνα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία επιδρούν στο ανθρώπινο σώμα επάγοντας πεδία και ρεύματα στο εσωτερικό του, ενώ τα ραδιοκύματα και τα μικροκύματα θερμαίνοντας τα κύτταρα και τους ιστούς.



Εικόνα 1.4 Ιοντίζουσα και Μη Ιοντίζουσα Ακτινοβολία

1.2.4 Χαμηλόσυχνα Ηλεκτρομαγνητικά Πεδία

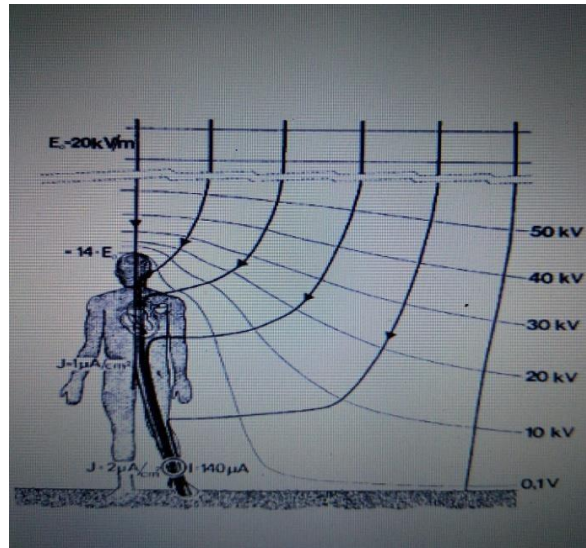
Με τον όρο χαμηλόσυχνα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία (30 – 300 Hz) εννοούμε τα πεδία που δημιουργούνται από το δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, όπως οι γραμμές και οι υποσταθμοί υψηλής τάσης, το δίκτυο μέσης και χαμηλής τάσης που χρησιμοποιείται για την διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και τις ηλεκτρικές καλωδιώσεις και τις συσκευές που υπάρχουν στα σπίτια και στους χώρους εργασίας. Στις εξαιρετικά χαμηλές συχνότητες των 50/60 Hz το μαγνητικό και το ηλεκτρικό πεδίο είναι στην ουσία αποζευγμένα. Αυτό σημαίνει ότι δεν υπάρχει ΗΜ ακτινοβολία, αλλά δύο ανεξάρτητα πεδία, το ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο. Με αυτό τον τρόπο το κάθε πεδίο μετρείται ξεχωριστά.

1.2.5 Ηλεκτρικά Πεδία

Ηλεκτρικό πεδίο ονομάζεται ο χώρος που έχει την ιδιότητα να ασκεί ηλεκτρικές δυνάμεις σε κάθε φορτισμένο σώμα που θα βρεθεί μέσα σε αυτό. Το ηλεκτρικό πεδίο είναι ένα διανυσματικό μέγεθος, με μονάδες μέτρησης στο SI τις Νιούτον προς Κουλόμπ (N C-1) ή, ισοδύναμα, Βολτ προς μέτρο (V m-1).

Τα ηλεκτρικά πεδία δημιουργούνται από διαφορές της τάσης: όσο μεγαλύτερη είναι η τάση, τόσο ισχυρότερο είναι το πεδίο που δημιουργείται. Έτσι τα ηλεκτρικά πεδία που δημιουργούνται από τις διατάξεις ηλεκτρικής ενέργειας σχετίζονται με τα μέγεθος της τάσης των ηλεκτροφόρων αγωγών καθώς και με τη γεωμετρία της διάταξης. Η τάση στους αγωγούς μπορεί να θεωρηθεί ως το αίτιο που προκαλεί τη μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας, κατ' αναλογία με την πίεση σε ένα δίκτυο ύδρευσης που προκαλεί την κίνηση του νερού. Γενικά όσο μεγαλύτερη είναι η τάση, τόσο μεγαλύτερα είναι τα ηλεκτρικά πεδία.

Τα ηλεκτρικά πεδία θωρακίζονται από τα οικοδομικά υλικά, τα δέντρα, τους ψηλούς φράκτες κλπ (σε αντίθεση με τα μαγνητικά πεδία). Για τον λόγο αυτό, τα ηλεκτρικά πεδία σε ένα σπίτι κοντά σε μια εναέρια γραμμή ηλεκτρικής ενέργειας είναι πολύ μικρότερα στο εσωτερικό του από ότι στο εξωτερικό του. Πέραν τούτου, τα ηλεκτρικά πεδία που δημιουργούνται από οποιαδήποτε πηγή εξασθενούν, καθώς αυξάνεται η απόσταση από την πηγή.



Εικόνα 1.5 Άνθρωπος σε ομογενές ηλεκτρικό πεδίο

1.2.6 Μαγνητικά Πεδία

Τα μαγνητικά πεδία δημιουργούνται όταν υπάρχει ροή ηλεκτρικού ρεύματος: όσο υψηλότερη είναι η ροή του ρεύματος, τόσο μεγαλύτερη είναι η ένταση του μαγνητικού πεδίου. Σε μια συσκευή υπάρχει πάντοτε ένα ηλεκτρικό πεδίο ακόμα κι αν δεν υπάρχει ροή ηλεκτρικού ρεύματος. Όταν ρέει ρεύμα, η ένταση του μαγνητικού πεδίου ποικίλει και εξαρτάται από την κατανάλωση ισχύος, σε αντίθεση με την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που παραμένει σταθερή.

Τα μαγνητικά πεδία μετρούνται συνήθως σε μικροτέσλα (μT). Επίσης χρησιμοποιείται και η μονάδα μέτρησης μιλιγκάους (mG) ($10 \text{ mG} = 1 \mu\text{T}$).

Τα μαγνητικά πεδία επηρεάζονται ελάχιστα από την παρουσία δέντρων, φραχτών και των περισσότερων οικοδομικών υλικών σε αντίθεση με τα ηλεκτρικά πεδία. Έτσι, το μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται από γραμμές ηλεκτρικής ενέργειας στο εξωτερικό των σπιτιών μας, μπορεί να διαπερνά τους τοίχους και τις οροφές. Τα μαγνητικά πεδία όπως και τα ηλεκτρικά, εξασθενούν με την αύξηση της απόστασης από την πηγή τους

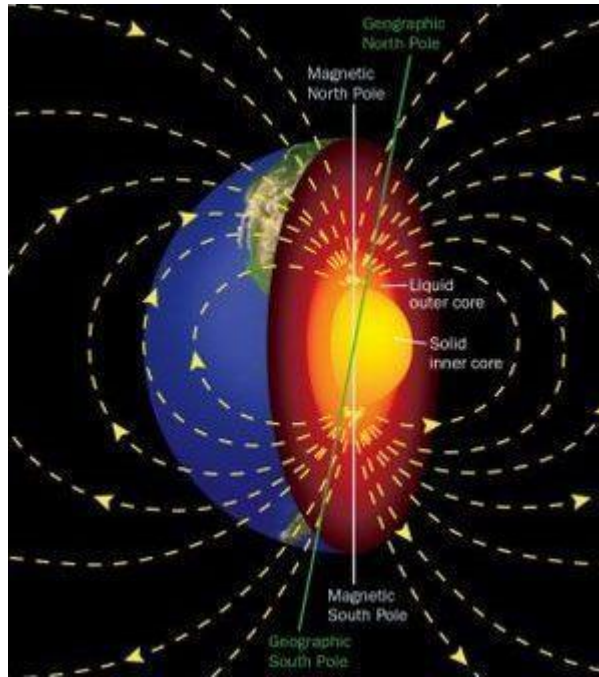


Εικόνα 1.6 Άνθρωπος σε ομογενές μαγνητικό πεδίο

Κεφάλαιο 2: Πηγές ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων στο περιβάλλον μας και παραδείγματα

2.1 Φυσικές πηγές ηλεκτρομαγνητικών πεδίων

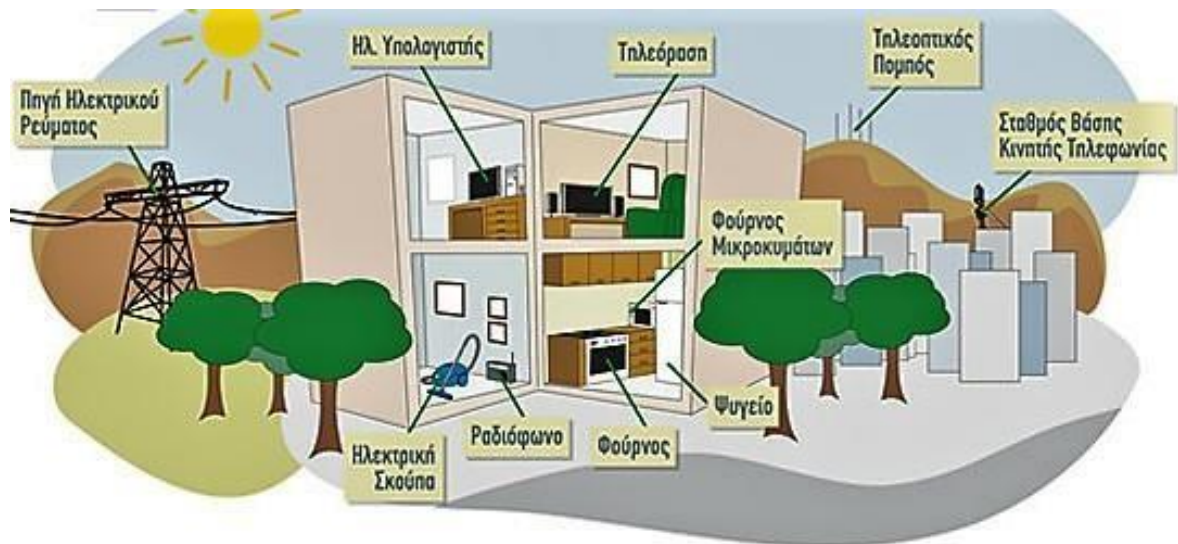
Τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία υπάρχουν παντού στο περιβάλλον μας, αλλά δεν γίνονται αντιληπτά από το ανθρώπινο μάτι. Φυσικές πηγές ακτινοβολίας είναι τα φυσικά ραδιοϊσότοπα τα οποία βρίσκονται στο έδαφος και στο υπέδαφος, στον αέρα, στο νερό και υπάρχουν από το σχηματισμό της γης. Φυσική πηγή ακτινοβολίας είναι και ο ήλιος, αλλά και η κοσμική ακτινοβολία που εκπέμπουν τα ουράνια σώματα. Η συσσώρευση ηλεκτρικών φορτίων σε διάφορα σημεία της ατμόσφαιρας σε συνθήκες καταιγίδας δημιουργεί ηλεκτρικά πεδία. Το μαγνητικό πεδίο της Γης κάνει τη βελόνα της πυξίδας μας να στρέφεται πάντοτε στην κατεύθυνση Βορρά-Νότου και αποτελεί ένα πολύτιμο "βοήθημα" για τα πουλιά και τα ψάρια, που το χρησιμοποιούν για τον προσανατολισμό τους.



Εικόνα 2.1 Το μαγνητικό πεδίο της Γης

2.2 Τεχνητές πηγές ηλεκτρομαγνητικών πεδίων

Εκτός από τις φυσικές πηγές, το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα περιλαμβάνει και πεδία τα οποία δημιουργούνται από τον άνθρωπο: Οι ακτίνες X χρησιμοποιούνται για τη διάγνωση τυχόν κατάγματος μετά από κάποιο ατύχημα ενός αθλητή. Η ηλεκτρική ενέργεια που φτάνει στις πρίζες του σπιτιού μας και τροφοδοτεί τις συσκευές μας συνοδεύεται από ηλεκτρομαγνητικά πεδία χαμηλής συχνότητας. Και, τέλος, διάφορα είδη ραδιοκυμάτων υψηλότερης συχνότητας χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση πληροφοριών – μέσω της κεραίας της τηλεόρασης, των ραδιοφωνικών σταθμών ή των σταθμών βάσης της κινητής τηλεφωνίας.



Εικόνα 2.2 Τεχνητές πηγές ηλεκτρομαγνητικών πεδίων

2.2.1 Ηλεκτρικές Συσκευές

Όταν οι ηλεκτρικές συσκευές λειτουργούν, παράγουν μαγνητικά πεδία στο περιβάλλον τους. Τα πεδία αυτά εξασθενούν τάχιστα καθώς αυξάνεται η απόσταση από την συσκευή και έτσι είναι άξια λόγου μόνο σε αποστάσεις αρκετά μικρότερες από ένα μέτρο. Το πεδίο σε επαφή με την συσκευή μπορεί να είναι πολύ μεγάλο, ανερχόμενο μέχρι εκατοντάδες μT . Κατά κανόνα όμως, η έκθεση των ανθρώπων λαμβάνει χώρα σε αποστάσεις πολύ μεγαλύτερες, πλην μερικών συσκευών που κατά τη χρήση τους βρισκόμαστε αναπόφευκτα κοντά τους, π.χ. οι ηλεκτρικές ξυριστικές μηχανές και τα σεσουάρ για τα μαλλιά. Οι άνθρωποι όμως δεν χρησιμοποιούν τέτοιες συσκευές για πολύ ώρα καθημερινά και έτσι η χρονική διάρκεια της έκθεσης είναι περιορισμένη. Επίσης, αφενός η έκθεση από τις συσκευές αυτές εστιάζεται τοπικά σε μια πολύ μικρή περιοχή του σώματος, αφετέρου η σύζευξη του πεδίου με το σώμα είναι εξαιρετικά ασθενής. Λαμβάνοντας λοιπόν υπόψη τις ειδικές αυτές συνθήκες έκθεσης, στην συντριπτική πλειοψηφία των περιπτώσεων, δεν είναι δυνατόν να ξεπεραστούν οι βασικοί περιορισμοί τοπικής έκθεσης, αν και μπορεί να υπάρχει υπέρβαση των επιπέδων αναφοράς που αναφέρθηκαν.

Παρατηρώντας τις τιμές του πίνακα, βλέπουμε ότι σε όλες τις περιπτώσεις το μαγνητικό πεδίο ήδη σε απόσταση 30cm είναι πολύ μικρότερο από το επίπεδο αναφοράς των $100\mu\text{T}$ που θέτει η Ευρωπαϊκή Ένωση και η Ελληνική νομοθεσία για την συχνότητα των 50Hz (συχνότητα λειτουργίας του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας στη χώρα μας).

Οι ηλεκτρικές συσκευές παράγουν, επίσης, και κάποιες τιμές ηλεκτρικού πεδίου στο περιβάλλον τους, εφόσον βρίσκονται υπό τάση, όταν δηλαδή είναι στην πρίζα. Οι τιμές αυτές (της τάξης των 10n/m) είναι εξαιρετικά χαμηλές σε σχέση με τα όρια της Ευρωπαϊκής Ένωσης και της Ελληνικής νομοθεσίας (5000/m).

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

Εικόνα 2.3 Τιμές μαγνητικού πεδίου από κοινές ηλεκτρικές συσκευές

2.2.2 Εσωτερικές καλωδιώσεις

Οι καλωδιώσεις που χρησιμοποιούνται για την τροφοδότηση των συσκευών δημιουργούν και αυτές στο περιβάλλον τους μαγνητικά κυρίως πεδία που οφείλονται στο ηλεκτρικό τους ρεύμα. Στις εγκαταστάσεις που λειτουργούν σύμφωνα με τους κανονισμούς ηλεκτρικών εγκαταστάσεων τα ρεύματα των αγωγών των καλωδιώσεων δημιουργούν μαγνητικά πεδία που σε μεγάλο βαθμό

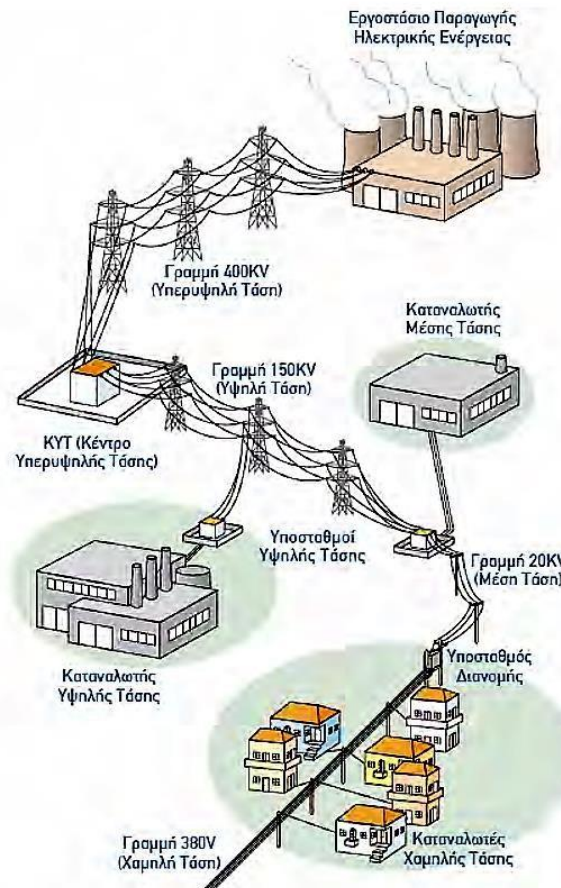
αλληλοαναιρούνται. Σε σπάνιες περιπτώσεις εγκαταστάσεων που δεν πληρούν τους όρους των κανονισμών είναι δυνατόν, λόγω λανθασμένης συνδεσμολογίας ή λόγω ύπαρξης διαρροών, να εμφανιστούν μεγάλα επίπεδα μαγνητικών πεδίων στο περιβάλλον των καλωδιώσεων. Η εμφάνιση μεγάλων μαγνητικών πεδίων από τις ηλεκτρικές καλωδιώσεις είναι, δηλαδή, σύμπτωμα λανθασμένης ηλεκτρολογικής εγκατάστασης που ενδεχομένως να υποκρύπτει και κινδύνους ηλεκτροπληξίας στους χρήστες της εγκατάστασης.

2.2.3 Δίκτυα Μεταφοράς και Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας

Η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται στους σταθμούς ηλεκτρικής ενέργειας που βρίσκονται σε διάφορα σημεία της χώρας. Οι σταθμοί που χρησιμοποιούνται στη χώρα μας είναι κυρίως Θερμοηλεκτρικοί (καύση υλικών, όπως ο λιγνίτης, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο) και υδροηλεκτρικοί (ενέργεια από τις υδατοπτώσεις). "Ένα μικρό ποσοστό της συνολικά παραγόμενης ενέργειας προέρχεται από την εκμετάλλευση ήπιων μορφών ενέργειας (π.χ. στα αιολικά πάρκα).

Η ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται στη συνέχεια από τους σταθμούς παραγωγής στα κέντρα κατανάλωσης (μεγάλα αστικά κέντρα) μέσω των γραμμών υψηλής (150kV) και υπερυψηλής τάσης (400kV). Οι γραμμές αυτές επιτρέπουν: α) να συνεχίζει να παρέχεται ηλεκτρική ενέργεια ακόμα και αν παρουσιαστεί κάποια βλάβη, β) την εξοικονόμηση ενέργειας με τη λειτουργία μόνο των πιο οικονομικών σταθμών και γ) τη διασύνδεση με τα γειτονικά κράτη.

Στη συνέχεια, η ηλεκτρική ενέργεια διανέμεται στους κατά τόπους καταναλωτές. Οι περισσότεροι καταναλωτές τροφοδοτούνται με μονοφασικές παροχές χαμηλής τάσης (220V), άλλοι όμως που έχουν κάπως μεγαλύτερες ανάγκες, τροφοδοτούνται με τριφασικές παροχές (380V). Σε αρκετές περιπτώσεις, όπως βιοτεχνίες, μεγάλα ξενοδοχεία κλπ. οι καταναλωτές τροφοδοτούνται με μέση τάση (20kV) και σε σπανιότερες, όπως μεγάλα εργοστάσια, με υψηλή τάση (150kV). Για τον υποβιβασμό των επιπέδων των τάσεων από την υπερυψηλή τάση έως την χαμηλή χρησιμοποιούνται ειδικές συσκευές που ονομάζονται μετασχηματιστές. Η όλη εγκατάσταση που περιλαμβάνει τον μετασχηματιστή και τις πέριξ αυτού συνδέσεις, τους διακόπτες, τα στοιχεία προστασίας από βραχυκυκλώματα, υπερφόρτιση κ.λ.π, ονομάζεται υποσταθμός.



Εικόνα 2.4 Τμήμα Δικτύου Μεταφοράς και Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας

2.2.3.1 Δίκτυο διανομής χαμηλής τάσης

Τα σπίτια μας τροφοδοτούνται από γραμμές χαμηλής τάσης (220v/380v), οι οποίες μπορεί να είναι εναέριες γραμμές, εναέρια συνεστραμένα καλώδια, υπόγεια καλώδια και επιτοίχια καλώδια. Όλες αυτές οι γραμμές δημιουργούν στο περιβάλλον τους μαγνητικά κυρίως πεδία. Τα ηλεκτρικά πεδία είναι πολύ μικρά λόγω της χαμηλής τάσης. Τα μαγνητικά πεδία που δημιουργούνται από τις γραμμές αυτές ανέρχονται σε λίγα μT κοντά στους αγωγούς και εξασθενούν σε αμελητέα επίπεδα σε λίγα μέτρα από την γραμμή. Στην περίπτωση όμως που υπάρχει τέτοια ασυμμετρία στα ρεύματα των αγωγών που οδηγεί στην ανάπτυξη ρευμάτων επιστροφής, π.χ. ρεύματα σε γειωμένα αντικείμενα (μεταλλικοί σωλήνες, μεταλλικοί φράχτες, σιδηροδρομικές ράγες κλπ) δημιουργούνται μαγνητικά πεδία που εξασθενούν σχετικά αργά με την απόσταση από την γραμμή.



Εικόνα 2.5 Δίκτυο διανομής χαμηλής τάσης

2.2.3.2 Δίκτυο διανομής μέσης τάσης

Τμήμα του δικτύου διανομής είναι και οι γραμμές μέσης τάσης (20kV), οι οποίες τροφοδοτούν τις γραμμές χαμηλής τάσης μέσω των υποσταθμών διανομής, που περιλαμβάνουν μετασχηματιστές μέσης προς χαμηλή τάση. Οι γραμμές μέσης τάσης μπορεί να είναι εναέριες ή υπόγεια καλώδια. Οι εναέριες γραμμές δημιουργούν τόσο ηλεκτρικά όσο και μαγνητικά πεδία, ενώ τα υπόγεια καλώδια μόνο μαγνητικά πεδία.

Λόγω της ηλεκτρικής συνδεσμολογίας τους, οι γραμμές αυτές δεν εμφανίζουν τις ασυμμετρίες στα ρεύματα που αναφέρθηκαν για τις γραμμές χαμηλής τάσης.



Εικόνα 2.6 Δίκτυο διανομής μέσης τάσης

2.2.3.3 Υποσταθμοί διανομής

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

Επειδή οι γραμμές χαμηλής τάσης τροφοδοτούνται από τους υποσταθμούς αυτούς είναι αναμενόμενο το ρεύμα τους να είναι μεγαλύτερο κοντά στον υποσταθμό από ότι μακριά από αυτόν, όπου θα έχουν υπάρξει αρκετές παροχετεύσεις. Στο περιβάλλον των υποσταθμών αναπτύσσονται μαγνητικά πεδία της τάξης των μερικών μT σε σημεία που βρίσκονται κοντά στους αγωγούς (λιγότερο από ένα ή δύο μέτρα) και εξασθενούν σε πολύ χαμηλότερα επίπεδα μερικά μέτρα πιο μακριά.



Εικόνα 2.7 Δίστυλος υποσταθμός διανομής

2.2.3.4 Γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας

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

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

Το μέγεθος του δημιουργούμενου μαγνητικού πεδίου στο περιβάλλον μιας γραμμής εξαρτάται από την ενέργεια που μεταφέρει. Η μεταφερόμενη ενέργεια δεν είναι σταθερή, αλλά εξαρτάται από την ώρα και την ημέρα. Εμφανίζει, δηλαδή, ημερήσιους, εβδομαδιαίους, και ετήσιους κύκλους, προκαλώντας αντίστοιχη διακύμανση στο δημιουργούμενο μαγνητικό πεδίο.

Οι μέγιστες τιμές της μεταφερόμενης ενέργειας στη διάρκεια μιας μέρας και συνεπώς και οι μέγιστες τιμές του δημιουργούμενου μαγνητικού πεδίου από την γραμμή εξαρτώνται από το είδος των καταναλωτών που εξυπηρετεί η γραμμή (κατοικίες, εμπορικά καταστήματα, βιοτεχνίες, εργοστάσια, αγροτικές αρδεύσεις κλπ). Ως γενικός κανόνας, οι μέγιστες τιμές εμφανίζονται συνήθως τις μεσημβρινές ώρες κατά τους Θερινούς μήνες και τις μεσημβρινές ή τις πρώτες βραδινές ώρες κατά τους χειμερινούς μήνες.

Για λόγους αξιοπιστίας του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας οι συνήθεις τιμές της μεταφερόμενης ενέργειας σε μια γραμμή είναι πολύ μικρότερες της μέγιστης δυνατής τιμής που μπορεί να αντέξει η γραμμή. Για παράδειγμα, σε περιπτώσεις ανάγκης που κάποιος σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας βγαίνει εκτός λειτουργίας, ίσως να χρειάζεται η γραμμή να μεταφέρει πολύ μεγαλύτερη ενέργεια από ότι συνήθως για να μην προκύψουν διακοπές ρεύματος. Με την πάροδο των ετών η ενέργεια που καταναλώνεται αυξάνεται και έτσι αυξάνεται και η μεταφερόμενη ενέργεια. Αν δεν κατασκευάζονται νέες γραμμές, τα μαγνητικά πεδία κάτω από τις υφιστάμενες γραμμές αυξάνονται, η αξιοπιστία του δικτύου μειώνεται και μεγαλώνει ο κίνδυνος διακοπών ηλεκτρικής ενέργειας.

Αντίθετα με το μαγνητικό πεδίο, το δημιουργούμενο ηλεκτρικό πεδίο παραμένει πρακτικά αμετάβλητο σε όσο διάστημα η γραμμή βρίσκεται υπό τάση. Οι γραμμές

αυτές σπανίως βγαίνουν εκτός λειτουργίας, για λόγους συντήρησης ή επισκευής βλαβών.

Τα μεγέθη των παραγόμενων ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων στο περιβάλλον μιας γραμμής εξαρτώνται και από τα ιδιαίτερα τεχνικά χαρακτηριστικά της κατασκευής της γραμμής, όπως είναι:

- η απόσταση των αγωγών από την γη. Όσο

μικρότερη είναι η απόσταση αυτή, τόσο μεγαλύτερα είναι τα δημιουργούμενα πεδία στο έδαφος κάτω από τους αγωγούς. Καθώς οι αγωγοί μιας γραμμής αναρτώνται στους πυλώνες στήριξης, κάμπτονται από το βάρος τους και έτσι η ελάχιστη απόσταση των αγωγών από την γη εμφανίζεται συνήθως στο ενδιάμεσο μεταξύ δύο γειτονικών πυλώνων. Αντίθετα κοντά στους πυλώνες η απόσταση των αγωγών από την γη είναι η μέγιστη δυνατή. Λόγω της τάσεως των γραμμών υπάρχει μια ελάχιστη τηρούμενη απόσταση των αγωγών τους από οροφές κτιρίων. Αυτή είναι 7m για τις γραμμές 400kV και 5m για τις γραμμές 150kV.

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

- η απόσταση μεταξύ των ρευματοφόρων αγωγών της γραμμής. Για παράδειγμα, στη χώρα μας τμήματα γραμμών υψηλής τάσης κατασκευάζονται με συμπαγείς μονωτήρες όπου οι αποστάσεις μεταξύ των ρευματοφόρων αγωγών είναι αρκετά μικρότερες από αυτές των συνήθων γραμμών. Τα τμήματα αυτά ξεχωρίζουν εύκολα από τα υπόλοιπα, λόγω της στήριξης των αγωγών σε μεταλλικούς ιστούς έναντι των γνωστών μεταλλικών πυλώνων που χρησιμοποιούνται συνήθως. Οι γραμμές μειωμένων διαστάσεων απλού κυκλώματος με ιστούς δημιουργούν πολύ μικρότερα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία από αυτές των κανονικών διαστάσεων. Με δεδομένους όλους αυτούς τους παράγοντες, που είναι δυνατόν να εμφανιστούν ακριβώς κάτω από μια γραμμή, καθώς και οι τυπικές τιμές των πεδίων αυτών που προέκυψαν από μετρήσεις του Γραφείου Μη Ιοντιζουσών Ακτινοβολιών της ΕΕΑΕ ακριβώς κάτω και 25m παραπλεύρως από κάθε γραμμή. Οι μέγιστες δυνατές τιμές προέκυψαν από Θεωρητικές εκτιμήσεις, λαμβάνοντας υπόψη τις δυσμενέστερες συνθήκες ρευμάτων, διάταξης φάσεων και αποστάσεων.

2.2.3.5 Υπόγεια καλώδια

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

Τα υπόγεια καλώδια δεν παράγουν ηλεκτρικά πεδία στις θέσεις που βρίσκονται οι άνθρωποι.

2.2.3.6 Υποσταθμοί υψηλής τάσης

Υποσταθμοί ονομάζονται οι εγκαταστάσεις στις οποίες συρρέουν γραμμές διαφορετικών επιπέδων τάσεων προκειμένου να μεταφέρεται η ηλεκτρική ενέργεια από το ένα επίπεδο τάσεως στο άλλο. "Έτσι υπάρχουν τα ΚΥΤ (Κέντρα Υπερυψηλής Τάσης) στα οποία συνδέονται γραμμές υπερυψηλής και υψηλής τάσης, καθώς και υποσταθμοί υψηλής τάσης, στους οποίους συνδέονται γραμμές υψηλής και μέσης τάσης. Στους χώρους εκτός των υποσταθμών υψηλής τάσης και των ΚΥΤ, τα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία δημιουργούνται αποκλειστικά από τις γραμμές που συνδέονται σε αυτούς και όχι από τον εξοπλισμό τους. Από μετρήσεις που έχει διεξάγει το Γραφείο Μη Ιονιζουσών Ακτινοβολιών της ΕΕΑΕ προέκυψε ότι στις εξωτερικές πλευρές των υποσταθμών που δεν διέρχονται γραμμές, τα επίπεδα των ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων είναι πρακτικά τα ίδια με αυτά που θα υπήρχαν και χωρίς την παρουσία του υποσταθμού (ακόμα και πολύ κοντά στην περίφραξή του). Στις άλλες πλευρές των υποσταθμών που διέρχονται γραμμές, υπάρχουν οι τυπικές τιμές των ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων στο περιβάλλον των γραμμών αυτών.



Εικόνα 2.8 : Υποσταθμός υψηλής τάσης

Κεφάλαιο 3: Βιολογικές επιπτώσεις των χαμηλόσυχνων ηλεκτρομαγνητικών πεδίων στον ανθρώπινο οργανισμό και τα όρια ασφαλούς έκθεσής του

Ενδεχόμενες βιολογικές επιδράσεις των εξαιρετικά χαμηλόσυχνων πεδίων και κυρίως του μαγνητικού πεδίου, αποτέλεσαν αντικείμενο επιστημονικής διερεύνησης, κατά την τελευταία 25ετία. Τα αποτελέσματα όλων των σχετικών μελετών και ερευνών συνεκτιμούνται αναλύονται και σταθμίζονται από τη διεθνή επιστημονική κοινότητα και τους αρμόδιους διεθνείς οργανισμούς και συνιστούν τη βάση των σχετικών κανονισμών και κατευθυντήριων οδηγιών για τις αποδεκτές στάθμες αναφοράς του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου, τόσο για τη συνεχή έκθεση του κοινού, όσο και για την έκθεση των εργαζομένων κατά την επαγγελματική τους ενασχόληση.

3.1 Ιστορική ανασκόπηση

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

Εντούτοις το 1960, οι Ρώσσοι Βέρτχαϊμερ και Μπέκερ ανέφεραν ποικίλα προβλήματα υγείας (αφορούσαν πονοκεφάλους, ναυτίες και γενικά εξασθένηση του οργανισμού) σε εργαζόμενους που ασχολούνταν με την ηλεκτρική ενέργεια. Έκτοτε τα τελευταία 50 χρόνια έχουν πραγματοποιηθεί εκτεταμένες ερευνητικές μελέτες για την επίδραση των μη-ιονιζουσών ηλεκτρομαγνητικών πεδίων αρχικά για τα υψηλές συχνότητες (1MHz-100 GHz) και μετά από το 1980 και για τις Εξαιρετικά Χαμηλές Συχνότητες (ELF, 0-100 KHz).

Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας, WHO ανταποκρίθηκε άμεσα στις εκτεταμένες ανησυχίες που εκφράζονταν για τη δημόσια υγεία και αφορούσαν την ανθρώπινη έκθεση στα ηλεκτρομαγνητικά πεδία κι έτσι το 1996 άρχισε μια μεγάλη διεπιστημονική έρευνα. Αυτή η έρευνα του WHO αποτελεί και το Διεθνές πρόγραμμα για τα ΗΜΠ (International EMF Project) και απαρτίζεται από όλες τις μέχρι σήμερα αποκτηθείσες γνώσεις για την έκθεση των ανθρώπων στα ΗΜΠ

3.2 Εισαγωγή στις περιβαλλοντικές επιδράσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας

Από περιβαλλοντική σκοπιά, αν θέλαμε να διαχωρίσουμε το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα με βάση την περιβαλλοντική του επικινδυνότητα, θα λέγαμε ότι για δεδομένη ένταση ακτινοβολίας η επικινδυνότητα μειώνεται με τη συχνότητα και με την ενέργεια ανά φωτόνιο. Εδώ θα μπορούσαμε να υποθέσουμε ότι όση περισσότερη ενέργεια περιέχει το φωτόνιο τόσο περισσότερο μπορεί να διεισδύσει εντός της μάζας και, άρα, τόσο περισσότερο μπορεί να προκαλέσει βλάβη στους βιολογικούς ιστούς. Επομένως, η ιονίζουσα ΗΜΑ, η οποία χαρακτηρίζεται από πάρα πολύ υψηλές συχνότητες και ενέργειες ανά φωτόνιο, είναι επικίνδυνη. Από άποψη, λοιπόν, επικινδυνότητας η ιονίζουσα ακτινοβολία είναι περισσότερη κρίσιμη (Συνήγορος του Πολίτη, 2003). Η ραδιενέργεια π.χ. είναι εκπομπή ιονίζουσας

ακτινοβολίας. Όταν η έκθεση ενός οργανισμού σ' αυτή υπερβεί κάποιο όριο, μπορεί να προκληθούν αλλοιώσεις του γενετικού κώδικα του DNA, καρκινογενετικά φαινόμενα στα βιολογικά συστήματα και άλλες σοβαρές ασθένειες. Να σημειωθεί ότι δεν υπάρχει καμία σχέση μεταξύ ραδιενέργειας και μη ιοντιζουσών ακτινοβολιών. Η τηλεόραση, τα radars και το κινητό τηλέφωνο δεν εκπέμπουν ραδιενέργεια, αφού είναι πηγές μη ιονίζουσας ακτινοβολίας. Αυτό, βέβαια, δε σημαίνει ότι οι μη ιονίζουσες ακτινοβολίες είναι και «αθώες». Υπάρχουν, για παράδειγμα, υπόνοιες για σχέση συνδρόμου Down (μογγολισμός) και ακτινοβολίας μικροκυμάτων (radars) (Μπαλιάς, 2000).

3.3 Βιολογικές επιδράσεις χαμηλόσυχνης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (Extremely Low Frequency 50/60 Hz)

Οι βιολογικές επιδράσεις που είναι γνωστές για τις μη ιονίζουσες ακτινοβολίες είναι αυτές που προκύπτουν κατά την διάρκεια ή σε σύντομο χρονικό διάστημα μετά το πέρας της έκθεσης. Οι επιδράσεις αυτές είναι ντετερμινιστικές και υπάρχουν κατώφλια, που όταν υπερβαίνονται προκύπτουν οι βιολογικές επιδράσεις

3.3.1 Άμεσες επιδράσεις

Κάθε εναλλασσόμενο μαγνητικό πεδίο B , που εφαρμόζεται σε ένα αγώγιμο μέσο επάγει ηλεκτρικά πεδία τα οποία με τη σειρά τους παράγουν ηλεκτρικά ρεύματα εντός του μέσου. Από ηλεκτρικής πλευράς, το εσωτερικό του σώματος του ανθρώπου είναι αρκετά αγώγιμο, επιτρέπει δηλαδή τη ροή ηλεκτρικού ρεύματος. Έτσι, στο εσωτερικό του ανθρώπου επάγονται ηλεκτρικά πεδία και δημιουργούνται ηλεκτρικά ρεύματα.

Λόγω της αγωγιμότητας του σώματός του, όταν ένας άνθρωπος βρίσκεται εντός ενός ηλεκτρικού πεδίου, E , το διαταράσσει, ώστε η επιφάνειά του να είναι μία ισοδυναμική επιφάνεια. Αυτό γίνεται με την παρουσία ηλεκτρικών φορτίων που αντισταθμίζουν το ηλεκτρικό πεδίο στο εσωτερικό του σώματος. Καθώς το πεδίο μεταβάλλεται, αλλάζει η κατανομή των επιφανειακών φορτίων δημιουργώντας ρεύματα στο εσωτερικό του σώματος.

Αν τα ρεύματα που επάγονται στο εσωτερικό του σώματος από τα πεδία είναι πολύ ισχυρά, επιφέρουν τα ίδια αποτελέσματα στον άνθρωπο με αυτά που δημιουργούνται όταν τα ρεύματα εισέρχονται στο σώμα από την επαφή αγωγών υπό τάση (ηλεκτροπληξία). Οι επιδράσεις αυτές εξαρτώνται αποκλειστικά από το μέγεθος του επαγόμενου ρεύματος στο εσωτερικό του σώματος.

3.3.2 Έμμεσες επιδράσεις

Όταν ένας άνθρωπος ηλεκτρικά μονωμένος ως προς τη γη, βρίσκεται εντός ενός ισχυρού ηλεκτρικού πεδίου και έρχεται σε επαφή με ένα γειωμένο αντικείμενο, τότε εμφανίζεται σπινθήρας στο σημείο επαφής. Εάν το ηλεκτρικό πεδίο (πριν την παρουσία του ανθρώπου) υπερβαίνει τα 5 kV/m, είναι πολύ πιθανό το φαινόμενο αυτό να είναι ενοχλητικό. Ομοίως, όταν ένας άνθρωπος αγγίζει ένα αγείοτο μεγάλο αντικείμενο, παρουσία ηλεκτρικού πεδίου, είναι πιθανό να προκύψουν σπινθηρισμοί. Το μέγεθος της ενόχλησης σε αυτές τις περιπτώσεις εξαρτάται και από το μέγεθος του αντικειμένου.

3.3.3 Η έννοια της επιδημιολογίας

Η επιδημιολογία είναι η μελέτη του περιστατικού και διανομή της ασθένειας στον πληθυσμό (ή την κοινότητα). Για να κάνει αυτόν τον τύπο μελέτης για ηλεκτρομαγνητικά πεδία και τον καρκίνο, δύο ομάδες ανθρώπων πρέπει να συγκριθούν: μια ομάδα που, στο παρελθόν, έχει εκτεθεί σε ΗΜΠ ενώ μια άλλη ομάδα (η ομάδα ελέγχου) δεν έχει. Επειδή ο καθένας στην κοινότητα έχει εκτεθεί, ως ένα ορισμένο βαθμό, σε αυτούς τους τομείς, η εκτεθειμένη ομάδα αποτελείται συνήθως από τους ανθρώπους που ζουν πλησίον στα ηλεκτροφόρα καλώδια, ενώ η μη εκτεθειμένη ομάδα ζει πιο πέρα. Μια παρατήρηση γίνεται έπειτα ως προς το εάν υπάρχουν περισσότεροι καρκίνοι στην εκτεθειμένη ομάδα απ' ό,τι στη μη εκτεθειμένη ομάδα. Σε αυτό το σημείο είναι απαραίτητο να συζητηθεί η έννοια της ένωσης, λέξης όπως χρησιμοποιείται στην επιδημιολογία. Η ένωση δεν σημαίνει την αιτιολογία. Για να περάσει από την ένωση στην αιτιολογία τα αποτελέσματα αυτών των μελετών πρέπει να συναντήσουν των περισσότερων εάν όχι όλα τα ακόλουθα κριτήρια:

- Η αναλογία κινδύνου πρέπει να είναι υψηλή, συνήθως 5 ή μεγαλύτερος.
- Οι μελέτες πρέπει με συνέπεια να καταδείξουν μια ένωση.
- Πρέπει να υπάρξει μια ένωση μεταξύ της έκθεσης και μιας συγκεκριμένης ασθένειας. Η ένωση δεν πρέπει να αναφερθεί στον καρκίνο γενικά αλλά έναν συγκεκριμένο καρκίνο π.χ. η λευχαιμία και ο καρκίνος εγκεφάλου είναι μαζί αποδεκτοί αλλά όχι λευχαιμία σε μια μελέτη και καρκίνος εγκεφάλου σε άλλη.
- Πρέπει να υπάρξει μια αποδείξιμη επίδραση δόσεων. Μια επίδραση δόσεων σημαίνει ότι δεδομένου της αύξησης της έκθεσης ηλεκτρομαγνητικών πεδίων, αυξάνετε και ο αριθμός των καρκίνων.
- Υπάρχει ένας βιολογικός μηχανισμός από τον οποίο ο πράκτορας υπό δοκιμή μπορεί να προκαλέσει τη σχετική ασθένεια π.χ. η χολέρα προκαλείται από ένα

βακτηρίδιο, ο καρκίνος πνευμόνων προκαλείται από τις χημικές καρκινογόνες ουσίες στην πίσσα καπνών. Όμως, μέχρι σήμερα όλες οι επιδημιολογικές μελέτες σε έκθεση ηλεκτρομαγνητικών πεδίων δεν ικανοποιούν αυτά τα κριτήρια, καθώς τα στοιχεία είναι είτε αδύνατα είτε απόντα. Ειδικότερα:

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

Σύμφωνα με τα παραπάνω κριτήρια, λοιπόν, η πλειοψηφία των επιστημόνων δεν θεωρεί τη χρόνια έκθεση σε ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία 50Hz στα επίπεδα που βρίσκονται συνήθως στο περιβάλλον ως αποδεδειγμένο κίνδυνο υγείας. Επιπλέον, τα στοιχεία που έχουμε είναι αναποτελεσματικά και δεν επιτρέπουν στις αρμόδιες για την υγεία αρχές για να αποφασίσουν εάν υπάρχει ένα συγκεκριμένο επίπεδο μαγνητικών πεδίων επάνω από το οποίο η χρόνια έκθεση είναι επικίνδυνη ή συμβιβάζει την ανθρώπινη υγεία.

3.3.4 Χαμηλόσυχνα μαγνητικά πεδία 50/60 Hz και παιδικός καρκίνος

Ιδιαίτερα σημαντική ερευνητική προσπάθεια καταγράφεται μετά από την δημοσίευση εργασίας το 1970: Electrical wiring configurations and childhood cancer, by Wertheimer N and Leeper E, Am J Epidemiol. 109: 273–284 με την οποία διατυπωνόταν ο ισχυρισμός της ύπαρξης ενός χαλαρού συσχετισμού αύξησης της πιθανότητας εμφάνισης του καρκίνου σε πληθυσμούς κοντά σε γραμμές μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας. Ακολούθησε επόμενη μελέτη που έγινε από το Ινστιτούτου Karolinska μετά από το 1995:

- A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukemia, by A Ahlbom, N Day, M Feychting, E Roman, J Skinner, J Dockerty, M Linet, M McBride, J Michaelis, JH Olsen, T Tynes and PK Verkasalo, British Journal of Cancer (2000) 83(5), 692–698, ©

2000 Cancer Research Campaign. doi: 10.1054/ bjoc.2000.1376, available online at <http://www.idealibrary.com> on και στη συνέχεια πρόσφατες μελέτες όπως :

- Childhood leukaemia close to high-voltage power lines – the Geocap study, 2002–2007, by C. Sermage-Faure, C Demour, J Rudant, S Goujon-Bellec^{1,2,3}, A GuyotGoubin, F Deschamps, D Hemon^{1,2} and J Clavel. British Journal of Cancer (2013) 108, 1899–1906 | doi: 10.1038/bjc.2013.128, www.bjcancer.com. - Childhood cancer in relation to distance from high voltage power lines in England and Wales: a casecontrol study, by Gerald Draper, Tim Vincent, Mary E Kroll, John Swanson, BMJ VOLUME 330 4 JUNE 2005 bmj.com.

Οι μελέτες αυτές έχοντας τον χαρακτήρα μακρόχρονων και μεγάλης έκτασης στατιστικών μελετών δείχνουν ότι παρουσιάζεται μια «χαλαρή» συσχέτιση του παιδικού καρκίνου και ειδικότερα της παιδικής λευχαιμίας όταν το μαγνητικό πεδίο είναι σημαντικά υψηλότερο από το συνηθισμένο υπόβαθρο που υπάρχει σε πόλεις όπου βρίσκονται εγκατεστημένα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία ενδέχεται να είναι εν μέρει αποτέλεσμα στατιστικής μεροληψίας. Η χαλαρή αυτή αύξηση αναφέρεται σε αύξηση της πιθανότητας εμφάνισης της οξείας λευχαιμίας από 0.1% σε 0.2%. Η αναφερόμενη στάθμη έντασης μαγνητικής επαγωγής από πολλούς ερευνητές είναι πολύ χαμηλότερη από τα οριζόμενα από την ισχύουσα νομοθεσία και είναι 0.4 μΤ. Η στάθμη αυτή είναι πάρα πολύ χαμηλή αν ληφθεί υπόψη ότι στις ημέρες μας σε μια βιομηχανικά ανεπτυγμένη κοινωνία, έχουμε συνήθεις στάθμες με μέση τιμή μέτρησης 0.2-0.3 μΤ εντός οικίας.

Ειδικότερα η πλέον πρόσφατη μελέτη των C. Sermage-Faure et.al. καταλήγει στο εξής συμπέρασμα:

« Σε αποστάσεις μικρότερες από 50 μέτρα σε γραμμές μεταφοράς υπερυψηλής τάση 225 ή 400 kV ευσταθεί ο ισχυρισμός της χαλαρής αύξησης παιδικής οξείας λευχαιμίας. Δεν παρατηρήθηκε αύξηση της πιθανότητας παιδικής οξείας λευχαιμίας για αποστάσεις μικρότερες από 50 μέτρα στην περίπτωση γραμμών μεταφοράς με τάση 63-150 kV».

Τονίζεται ότι δεν υπάρχει κανένας γενικά αποδεκτός βιολογικός ή φυσιολογικός μηχανισμός που να εξηγεί την «χαλαρή» αυτή αύξηση της πιθανότητας εμφάνισης του παιδικού καρκίνου, ούτε έχει καταδειχθεί από κάποια μελέτη μέχρι σήμερα αιτιότητα της στάθμης έντασης μαγνητικής επαγωγής ως προς την αύξηση της πιθανότητας εμφάνισης παιδικής λευχαιμίας.

Το βέβαιο είναι όμως ότι όποια επίδραση υπάρχει οφείλεται στην μαγνητική συνιστώσα του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου και όχι στην ηλεκτρική που συνυπάρχει πάντοτε με την πρώτη. Σημειώνεται ότι στις εξαιρετικά χαμηλές συχνότητες στο εσωτερικό του ανθρωπίνου σώματος η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου είναι

ασήμαντη ενώ για στην περίπτωση του μαγνητικού πεδίου το ανθρώπινο σώμα αλλά και σχεδόν όλα τα υλικά (με εξαίρεση τα σιδηρομαγνητικά υλικά) είναι «αόρατα» δηλαδή δεν αλλοιώνουν την ένταση του και επομένως μέσα στο ανθρώπινο σώμα έχουμε διείσδυση του μαγνητικού πεδίου. Πρέπει επίσης να τονιστεί ότι στις υπόψη χαμηλές συχνότητες (σε αντίθεση με τις υψηλές συχνότητες ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας) η σύζευξη της μαγνητικής και ηλεκτρικής συνιστώσας της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας είναι πολύ ασθενείς και το μαγνητικό πεδίο συμπεριφέρεται σχεδόν ανεξάρτητα από το αντίστοιχο ηλεκτρικό. Η ιδιότητα αυτή οφείλεται στις βασικές εξισώσεις Maxwell της ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας.

Οι παραπάνω συλλογισμοί λαμβάνοντας υπόψη ότι υπάρχει πολύ μεγάλη διαφορά μεταξύ του θεσμοθετημένου επιπέδου αναφοράς της έντασης μαγνητικής επαγωγής (100 μT) και των αντίστοιχων τιμών που παρουσιάζονται στην διεθνή βιβλιογραφία (0.4 μT) που δείχνουν μια χαλαρή συσχέτιση με αύξηση της οξείας παιδικής λευχαιμίας η άποψη του συντάκτη της παρούσας μελέτης είναι ότι πρέπει σαν αρχή να ελαττώνεται στο ελάχιστο δυνατόν το μαγνητικό πεδίο σε σημεία με συνεχή ανθρώπινη παρουσία, πρωτίστως παιδικού πληθυσμού.

3.3.5 Χαμηλόσυχνα μαγνητικά πεδία 50/60 Hz σε βιομηχανικές ζώνες και στον χώρο εργασίας

3.3.5.1 Λευχαιμία

Σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε το 1997 (M Feychting et al: Occupational and residential magnetic field exposure and leukemia and central nervous system tumors. *Epidemiology* 8:384-389, 1997) παρουσίασαν κάποια στοιχεία για μια στατιστικά σημαντική αύξηση, τουλάχιστον σε μια ομάδα, που "εκτέθηκε σε μαγνητικά πεδία βιομηχανικής συχνότητας". Μια άλλη έρευνα (PJ Villeneuve, D Agnew et al: Leukemia in electric utility workers: The evaluation of alternative indices of exposure to 60 Hz electric and magnetic fields, *Amer J Indust Med* 37:607617, 2000) ανέφερε αυξημένο ρυθμό ανάπτυξης λευχαιμίας για έκθεση ηλεκτρικών πεδίων, αλλά όχι για έκθεση μαγνητικών πεδίων· οι άλλες έρευνες επαγγελματικής έκθεσης σε ηλεκτρικά πεδία, έρχονται σε αντίθεση με αυτά τα ευρήματα [33, 34].

3.3.5.2 Λέμφωμα

Από 5 έρευνες λεμφώματος, ουδεμία βρήκε στοιχεία για μια στατιστικά σημαντική αύξηση, σε οποιεσδήποτε ομάδες, που εκτέθηκαν σε μαγνητικά πεδία βιομηχανικής συχνότητας, αλλά μια έρευνα [35] διαπίστωσε μια αύξηση σε εργαζομένους, που εκτέθηκαν σε ηλεκτρικά πεδία βιομηχανικής συχνότητας.

3.3.5.3 Καρκίνος

Πολλοί άλλοι συγκεκριμένοι τύποι καρκίνου έχουν μελετηθεί στα "ηλεκτρικά επαγγέλματα" και στους εργαζομένους με γνωστή ή δεδομένη έκθεση σε ηλεκτρικά ή/και μαγνητικά πεδία βιομηχανικής συχνότητας. Μερικές αναφορές ανέλυσαν 12 ή περισσότερους διαφορετικούς τύπους καρκίνου. Κανένα προφανές υπόδειγμα δεν προκύπτει, αν και σε μεμονωμένες έρευνες έχουν αναφερθεί συγκεκριμένοι τύποι καρκίνου, συνδεδεμένοι με έκθεση. Τα παραδείγματα τέτοιων συσχετίσεων περιλαμβάνουν μια αναφορά του 2003, ότι η έκθεση σε μαγνητικά πεδία εξαιρετικά χαμηλής συχνότητας συνδέθηκε με καρκίνο προστάτη (LE Charles, D Loomis et al: Electromagnetic fields, polychlorinated biphenyls, and prostate cancer mortality in electric utility workers. *Amer J Epidem* 157:683-691, 2003)

Από 3 έρευνες καθολικού καρκίνου, η μια (B Floderus, C Stenlund et al: Occupational magnetic field exposure and sitespecific cancer incidence: a Swedish cohort study. *Cancer Causes Control* 10:323-332, 1999) παρουσίασε κάποια στοιχεία για αύξηση στον καθολικό καρκίνο, τουλάχιστον σε μια "εκτεθειμένη" ομάδα.

Από 12 έρευνες καρκίνου εγκεφάλου, τέσσερις (N Håkansson, B Floderus et al: Cancer incidence and magnetic field exposure in industries using resistance welding in Sweden. *Occup Environ Med* 59:481- 486, 2002) (PJ Villeneuve, DA Agnew et al: Brain cancer and occupational exposure to magnetic fields among men: Results from a Canadian population-based casecontrol study. *Int J Epidem* 31:210-217, 2002) (CE Minder and DH Pfluger: Leukemia, brain tumors, and exposure to extremely low frequency electromagnetic fields in Swiss railway employees. *Am J Epidem* 153:825-835, 2001) (B Floderus, C Stenlund et al: Occupational magnetic field exposure and sitespecific cancer incidence: a Swedish cohort study. *Cancer Causes Control* 10:323-332, 1999) παρουσίασαν στοιχεία για μια στατιστικά σημαντική αύξηση, τουλάχιστον σε μια ομάδα, που εκτέθηκε σε μαγνητικά πεδία. Μία πέμπτη (A Navas-Acién, M Pollán et al: Interactive effect of chemical substances and occupational electromagnetic field exposure on the risk of gliomas and meningiomas in Swedish men. *Cancer Epidem Biomark Prev* 11:1678-1683, 2002) ανέφερε ότι μαγνητικά πεδία βιομηχανικής συχνότητας συνδέθηκαν με καρκίνο εγκεφάλου, αλλά μόνο εάν συνυπήρχε έκθεση σε μόλυβδο, διαλύτες ή φυτοφάρμακα/ζιζανιοκτόνα

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

3.3.6 Επιδράσεις στην Εγκυμοσύνη

Η έκθεση των εγκύων γυναικών σε διάφορες πηγές ΗΜΠ, δεν έδειξαν ότι δημιουργείται αυξημένος κίνδυνος για ανωμαλίες στο παιδί, αποβολή, χαμηλό βάρος γέννησης ή εκ γενετής παθήσεις. Ωστόσο, έχουν περιστασιακά περιγραφεί περιπτώσεις πρόωρων γεννήσεων και παιδιών χαμηλού βάρους γέννησης. Επρόκειτο για γυναίκες που εργάζονταν σεβιομηχανίες ηλεκτρονικών και είναι πιθανό ότι στις περιπτώσεις αυτές να υπήρξε έκθεση σε πεδία ασυνήθιστα ψηλά που δεν υπάρχουν στο σύνηθες καθημερινό περιβάλλον.

Επίσης, η ανησυχία για τις αποβολές και τις ατέλειες γέννησης, έχει εστιασθεί τόσο στις οθόνες ΗΥ (VDT) όσο και στις γραμμές μεταφορά. Οι πιο πρόσφατες (μετά το 1997) επιδημιολογικές και εργαστηριακές έρευνες παρέχουν μικρή υποστήριξη για μια συσχέτιση μεταξύ της μη ιοντίζουσας ηλεκτρομαγνητικής έκθεσης και των ατελειών γέννησης. Μια εξαίρεση στην έλλειψη συσχέτισης αποβολών και έκθεσης σε πεδία βιομηχανικής συχνότητας είναι μια έρευνα, που ανέφερε ότι οι υψηλές μέγιστες εκθέσεις ELF (και υψηλοί ρυθμοί αλλαγών στην έκθεση) συνδέθηκαν με έναν αυξημένο κίνδυνο αποβολής στους ανθρώπους. Κατά τρόπο ενδιαφέροντα οι χρονικά υπολογισμένοι μέσοι όροι εκθέσεων και οι κώδικες καλωδίων δεν συνδέθηκαν με τις αυξημένες αποβολές σε αυτήν την έρευνα. Οι πηγές αυτών των μέγιστων εκθέσεων δεν προσδιορίστηκαν. Οι πηγές βεβαίως θα είχαν περιλάβει ηλεκτρικές συσκευές (που μπορούν να δημιουργήσουν υψηλά μέγιστα πεδία, αλλά έχουν μικρή επίδραση στα μέσα πεδία)· αλλά οι γραμμές μεταφοράς δεν ήταν σχεδόν βέβαια μια κοινή πηγή (δεδομένου ότι τείνουν να αυξήσουν τις μέσες εκθέσεις χωρίς μεγάλη επίδραση στις μέγιστες εκθέσεις)

3.3.7 Επιδράσεις σε βηματοδότες και Καρδιακά αποτελέσματα

Ιδιαίτερα σημαντική μπορεί να είναι η αλληλεπίδραση των ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων με τη λειτουργία εμφυτευμένων καρδιακών βηματοδοτών ή με άλλα εμφυτεύματα στο ανθρώπινο σώμα. Αν και έχουν αναφερθεί παλαιότερα παρεμβολές σε κάποιους τύπους βηματοδοτών από ηλεκτρικά πεδία μεγαλύτερα από 2 kV/m και από μαγνητικά πεδία μεγαλύτερα από 20μT στα 50Hz, δεν αναμένονται συνήθως προβλήματα σε τόσο χαμηλές τιμές. Οι τιμές των πεδίων που δημιουργούν παρεμβολές διαφέρουν ανάλογα με την κατασκευή της συσκευής, αλλά είναι συνήθως πολύ υψηλότερες από αυτές που εμφανίζονται συνήθως. Οι σύγχρονοι βηματοδότες είναι έτσι σχεδιασμένοι, ώστε να εξασφαλίζουν τη λειτουργία τους ακόμα και αν βρεθούν σε ισχυρά ηλεκτρικά ή μαγνητικά πεδία.

Το 1998, ο Sastre (A Sastre, MR Coor et al; Nocturnal exposure to intermittent 60 Hz magnetic fields alters human cardiac rhythm. *Bioelectromag* 19:98-106, 1998) ανέφερε ότι έκθεση ανθρώπων–εθελοντών σε μαγνητικά πεδία βιομηχανικής συχνότητας προκάλεσε αλλαγές στον καρδιακό ρυθμό. Σε μια μελέτη του 1999, που υποκινήθηκε από αυτήν την υπόθεση, ο Savitz (DA Savitz, D Liao et al: Magnetic field exposure_ and cardiovascular disease mortality among electric utility workers. *Amer J Epidem* 149:135- 142, 1999) ανέφερε ότι επαγγελματική έκθεση σε πεδία ELF συνδέθηκε με ένα αυξημένο ρυθμό ανάπτυξης ορισμένων τύπων καρδιακών παθήσεων ενώ σε σχετικές μελέτες, ο Sait (ML Sait, AW Wood et al: Human heart rate changes in response to 50 Hz sinusoidal and square waveform magnetic fields: A follow up study, In:"Electricity and Magnetism in Medicine and Biology", F Bersani., ed., Kluwer Academic/Plenum Publishers, pp. 517-520 (1999)) ανέφερε ότι έκθεση ανθρώπων–εθελοντών σε ένα πεδίο βιομηχανικής συχνότητας 15 μ T προκάλεσε μια μικρή βραδυκαρδία. Ωστόσο, το 2000, οι Graham, Sastre και συνεργάτες (C Graham, A Sastre et al: Heart rate variability and physiological arousal in men exposed to 60 Hz magnetic fields. *Bioelectromag* 21:480- 482, 2000) (C Graham, A Sastre et al: Exposure to strong ELF magnetic fields does not alter cardiac autonomic control mechanisms. *Bioelectromag* 21:413- 421, 2000) τους ανέφεραν ότι δεν θα μπορούσαν να επαναλάβουν την έρευνά τους του 1998 (A Sastre, MR Coor et al; Nocturnal exposure to intermittent 60 Hz magnetic fields alters human cardiac rhythm. *Bioelectromag* 19:98-106, 1998) , ακόμη και σε υψηλότερες εντάσεις πεδίων

3.3.8 Επιδράσεις στην λειτουργία του ανοσοποιητικού

Έρευνες που πραγματοποιήθηκαν μέχρι το 1992, ανέφεραν ότι τα πεδία ELF θα μπορούσαν να έχουν αποτελέσματα στα κύτταρα του ανοσοποιητικού συστήματος, αλλά ουδεμία έρευνα δεν έχει παρουσιάσει τον τύπο ή το μέγεθος της καταστολής του ανοσοποιητικού, που συνδέεται με αυξημένο ρυθμό ανάπτυξης των λεμφωμάτων.

Οι πιο πρόσφατες έρευνες αναφέρουν:

- 1995: Συνδυασμένα ηλεκτρικά (6 ή 30 kV/m) και μαγνητικά (50 ή 100 μ T) πεδία δεν είχαν κανένα συνεπές αποτέλεσμα στο ανοσοποιητικό σύστημα (KK Murthy et al: Initial studies on the effects of combined 60 Hz electric and magnetic field exposure on the immune system of nonhuman primates. *Bioelectromag Suppl* 3:93102, 1995). ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ 49
- 1996: Καμία επίδραση πεδίου 10 μ T στο ανοσοποιητικό σύστημα ανθρώπων – εθελοντών (B Selmaoui et al: Acute exposure to 50 Hz magnetic field does not affect hematologic or immunologic functions in healthy young men: A circadian study. *Bioelectromag* 17:364-372, 1996).

- 2002: Κανένα "κλινικά σημαντικό" αποτέλεσμα σε αιματολογικούς ή ανοσοποιητικούς παραμέτρους επί ηλεκτροσυγκολλητών, σε εκθέσεις 100÷250 μT (S Dasdag, C Sert et al: Effects of extremely low frequency electromagnetic fields on hematologic and immunologic parameters in welders. Archives of Medical Research 33:29-32, 2002)
- 2003: Έκθεση ανθρώπινων κυττάρων σε πεδία 2÷500 μT, 50 ή 60 Hz, επί μέχρι και 72 ώρες, δεν είχε κανένα αποτέλεσμα στην λειτουργία του ανοσοποιητικού συστήματος (K Ikeda, Y Shinmura et al: No effects of extremely low frequency magnetic fields found on cytotoxic activities and cytokine production of human peripheral blood mononuclear cells in vitro. Bioelectromag 24:21-31, 2003).

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

3.3.9 Ψυχοσωματικές διαταραχές

Κάποιες μεμονωμένες περιπτώσεις ανθρώπων αναφέρουν υπερευαισθησία στα ηλεκτρικά ή μαγνητικά πεδία ρωτώντας αν τα διάφορα άλγη που κατά καιρούς εμφανίζονται θα μπορούσαν να συνδέονται με την έκθεση σε ΗΜΠ. Κάποια από τα εκδηλωθέντα συμπτώματα αυτών των ατόμων είναι πονοκέφαλοι, λήθαργος, διαταραχές ύπνου, επιληπτικές κρίσεις, κούραση, ναυτία ή ψυχολογικές διαταραχές όπως κατάθλιψη, άγχος, απώλεια σεξουαλικής επιθυμίας και αυτοκτονίας.

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

- 1999: Οι Graham και Cook (C Graham and MR Cook: Human sleep in 60 Hz magnetic fields, Bioelectromag 0:277-283, 1999) ανέφεραν ότι έκθεση ανθρώπων-εθελοντών σε πεδίο 28 μT, 60 Hz, προκάλεσε διαταραχές ύπνου, όταν η έκθεση ήταν διακοπτόμενη, αλλά όχι όταν ήταν συνεχής.
- 2000: O van Wijngaarden (E van Wijngaarden, DA Savitz et al: Exposure to electromagnetic fields and suicide among electric utility workers: a nested casecontrol study, Occup Environ Med 57:258-263, 2000) ανέφερε μια συσχέτιση μεταξύ απόπειρας αυτοκτονίας και έκθεσης σε πεδία βιομηχανικής συχνότητας, σε άρρενες εργαζομένους σε ηλεκτρικές εταιρείες.

3.3.10 ELF και νευρολογικές παθήσεις

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

- Το 2003 υπήρξαν τρεις πρόσθετες αναφορές (M Feychting, F Jonsson et al: Occupational magnetic field exposure and neurodegenerative disease. *Epidem* 14:413-419, 2003), (N Håkansson, P Gustavsson et al: Neurodegenerative diseases in welders and other workers exposed to high levels of magnetic fields. *Epidem* 14:420-426, 2003), (H Harmanci, M Emre et al: Risk factors for Alzheimer disease: a populationbased casecontrol study in Istanbul, Turkey. *Alzheimer Dis Assoc Disord* 17:139-145, 2003) ότι η ασθένεια Alzheimer συνδέθηκε με έκθεση σε πεδία ELF. Δύο άλλες έρευνες (DA Savitz et al: Magnetic field exposure and neurodegenerative disease mortality among electric utility workers. *Epidemiology* 9:398-404, 1998), (AB Graves, D Rosner et al: Occupational exposure to electromagnetic fields and Alzheimer Disease. *Alzheimer Dis Assoc Disord* 13:165-170, 1999) δεν έχουν βρει κανένα υπερβολικό ποσοστό ασθένειας Alzheimer στους εργαζομένους σε ηλεκτρικές εταιρείες ή σε άλλα επαγγέλματα με έκθεση σε πεδία βιομηχανικής συχνότητας.
- 2002: Ο Podd (EE Hatch et al: Association between childhood acute lymphoblastic leukemia and use of electrical appliances during pregnancy and childhood. *Epidemiology* 9:234-245, 1998) ανέφερε ότι έκθεση σε πεδίο 100 μ T, 50 Hz, δεν είχε ουδεμία σημαντική επίδραση στον χρόνο αντίδρασης των ανθρώπων, αλλά ότι η έκθεση είχε μια καθυστερημένη επίδραση στην μνήμη.
- Ο Delhez (M Delhez, JJ Legros et al: No influence of 20 and 400 microT, 50 Hz magnetic field exposure on cognitive function in humans. *Bioelectromag* 25:592-598, 2004) ανέφερε ότι έκθεση ανθρώπων-εθελοντών (υγιή νεαρά άτομα) σε πεδία 20 ή 400 μ T, 50 Hz, για 65 min δεν επέδρασε σε γνωστικές λειτουργίες (προσοχή, μνήμη, αντίληψη χρόνου). Έτσι, λοιπόν η επιστημονική κοινότητα πιστεύει πως η έκθεση ανθρώπων εθελοντών σε πεδία 50 Hz, δεν έχουν καμία επίδραση στις δοκιμές γνωστικής λειτουργίας.
- Το 2003, ο Håkansson (N Håkansson, P Gustavsson et al: Neurodegenerative diseases in welders and other workers exposed to high levels of magnetic fields. *Epidem* 14:420-426, 2003) ανέφερε ότι αυξημένος ρυθμός ανάπτυξης της αμυοτροφικής πλευρικής σκλήρυνσης (ALS) συνδέθηκε με την εκτιμώμενη επαγγελματική έκθεση σε μαγνητικά πεδία ELF

3.3. Διεθνή συμπεράσματα από την Επιστημονική Έρευνα

Για την διερεύνηση των επιδράσεων των ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων στον άνθρωπο διεξάγονται πολλών ειδών έρευνες (επιδημιολογικές, εργαστηριακές, κλινικές) όπως αναφέρθηκε ανωτέρω. Τα αποτελέσματα των ερευνών αυτών

αξιολογούνται από ειδικές επιτροπές αρμόδιων διεθνών φορέων όπως ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (WHO), η Διεθνής Επιτροπή Προστασίας από Μη Ιοντίζουσες Ακτινοβολίες (ICNIRP), καθώς και από εθνικούς φορείς όπως π.χ. το Εθνικό Συμβούλιο Έρευνας (NRC) των ΗΠΑ, το Εθνικό Συμβούλιο Ραδιολογικής Προστασίας (NRPB) της Μεγάλης Βρετανίας. Μερικές απ' αυτές τις μελέτες εμφανίζονται να δείχνουν μια αδύναμη σχέση μεταξύ της έκθεσης σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία ELF και μερικών περιστατικών ανάπτυξης καρκίνου. Πιο αναλυτικά :

- Η Διεθνής Επιτροπή Προστασίας από Μη Ιοντίζουσες Ακτινοβολίες (ICNIRP) (Ahlbom, E Cardis et al: Review of the epidemiologic literature on EMF and health. Environ Health Perspect 109:911-933, 2001): "Ελλείψει στοιχείων από κυτταρικές ή ζωικές έρευνες, και λαμβάνοντας υπόψη μεθοδολογικές αβεβαιότητες και σε πολλές περιπτώσεις ασυνέπειες της υπάρχουσας επιδημιολογικής βιβλιογραφίας, δεν υπάρχει ουδεμία χρονία πάθηση, για την οποία μπορεί να θεωρηθεί ότι επαληθεύεται μια αιτιώδης σχέση με πεδία βιομηχανικής συχνότητας".
- Η Διεθνής Αντιπροσωπεία Ερευνών Καρκίνου (IARC) (Static and extremely lowfrequency (ELF) electric and magnetic fields. Report No. 80. International Agency for Research on Cancer, March, 2002): "Υπάρχουν περιορισμένα στοιχεία στους ανθρώπους για την καρκινογένεση των εξαιρετικά χαμηλής συχνότητας μαγνητικών πεδίων, σε σχέση με την λευχαιμία παιδικής ηλικίας. Επίσης, υπάρχουν ανεπαρκή στοιχεία στους ανθρώπους για την καρκινογένεση των εξαιρετικά χαμηλής συχνότητας μαγνητικών πεδίων, σε σχέση με όλους τους άλλους καρκίνους και υπάρχουν ανεπαρκή στοιχεία στους ανθρώπους για την καρκινογένεση των εξαιρετικά χαμηλής συχνότητας ηλεκτρικών πεδίων."
- Το Εθνικό Συμβούλιο Έρευνας (NRC) των ΗΠΑ (National Institute of Environmental Health Sciences: EMF Questions and Answers, 2002): "Τα επιστημονικά στοιχεία που υποδηλώνουν ότι η έκθεση σε ηλεκτρομαγνητικό πεδίο ELF θέτει οποιοδήποτε κίνδυνο υγείας, είναι αδύναμα. Κανένα συνεπές σχήμα βιολογικών αποτελεσμάτων από έκθεση σε χαμηλόσυχνα πεδία δεν έχει προκύψει από τις εργαστηριακές μελέτες ζώων ή κυττάρων. Ωστόσο, οι επιδημιολογικές μελέτες είχαν παρουσιάσει αρκετά συνεπές σχήμα σχετικής δυνατότητας της έκθεσης σε πεδία βιομηχανικής συχνότητας για έναν μικρό αυξημένο κίνδυνο λευχαιμίας σε παιδιά και χρόνιας λεμφοκυτταρικής λευχαιμίας σε ενήλικες. Για την λευχαιμία, είτε παιδικής ηλικίας είτε ενηλίκων, η ερμηνεία των επιδημιολογικών συμπερασμάτων είναι δύσκολη, λόγω της απουσίας υποστήριξης των εργαστηριακών στοιχείων ή μιας επιστημονικής εξήγησης σύνδεσης της έκθεσης σε τέτοιου είδους πεδία με λευχαιμία."
- Το Βρετανικό Εθνικό Συμβούλιο Προστασίας από την Ραδιενέργεια (NRPB) (AF McKinlay, SG Allen et al: Review of the scientific evidence for limiting exposure to electromagnetic fields (0-300 GHz). Doc NRPB 15:1- 215, 2004) : "Τα επιδημιολογικά στοιχεία δείχνουν ότι η έκθεση στα μαγνητικά πεδία ELF, άνω των

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

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

3.4 Πλαίσιο προστασίας και όρια ασφαλούς έκθεσης

Το πλαίσιο προστασίας από μη ιοντίζουσες ακτινοβολίες βασίζεται στην καλή γνώση των μηχανισμών δράσης τους στον άνθρωπο. Πολλές φορές όμως, παρά την απουσία επαρκών επιστημονικών στοιχείων για την ύπαρξη κάποιων υποπτευόμενων επιδράσεων, προτείνεται η μείωση των επιστημονικών ορίων με αυθαίρετους συντελεστές λαμβάνοντας υπόψη κοινωνικά και πολιτικά κριτήρια. Για παράδειγμα, όπως θα αναφερθεί και παρακάτω, στην Ελληνική Νομοθεσία προβλέπεται η επιπλέον μείωση κατά 20% των τιμών των επιπέδων αναφοράς για τα επίπεδα της εκπεμπόμενης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στο περιβάλλον σταθμών κεραιών. Παρόλα αυτά, σε καμία περίπτωση η πρακτική εφαρμογή τέτοιων μέτρων δεν πρέπει να υπονομεύσει ή να απαξιώσει τα όρια που βασίζονται σε επιστημονικά στοιχεία.

Λαμβάνοντας υπόψη τις ιδιαιτερότητες του κάθε ανθρώπου και ότι ο χαρακτηρισμός «γενικός πληθυσμός» αφορά και άτομα όπως μικρά παιδιά, ασθενείς, ηλικιωμένους κ.λπ., που μπορεί να έχουν αυξημένες ευαισθησίες, προκύπτουν «βασικοί περιορισμοί» που η τήρησή τους εξασφαλίζει και την απουσία των βλαβερών επιδράσεων στην υγεία. Οι βασικοί περιορισμοί προκύπτουν δηλαδή από τα κατώφλια των βιολογικών επιδράσεων μέσω μεγάλων συντελεστών ασφαλείας (ή μείωσης) π.χ. για τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία 0- 300GHz της τάξης του 50

Ελληνική Νομοθεσία

Για τις εκπομπές ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας έχει εκδοθεί :

- Η Κοινή Υπουργική Απόφαση με αριθμό 53571/3839 (Φ.Ε.Κ. Αρ. 1105, Τεύχος Δεύτερο, 6 Σεπτεμβρίου 2000) από τα Υπουργεία Ανάπτυξης, Περιβάλλοντος Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων, Υγείας και Πρόνοιας, Μεταφορών και Επικοινωνιών, με θέμα τα μέτρα προφύλαξης του κοινού από τη λειτουργία κεραιών εγκατεστημένων στην ξηρά και
- Η Κοινή Υπουργική Απόφαση με αριθμό 3060 (ΦΟΡ) 238 (Φ.Ε.Κ. Αρ. 512, Τεύχος Δεύτερο, 25 Απριλίου 2002) από τα Υπουργεία Ανάπτυξης, Περιβάλλοντος Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων και Υγείας και Πρόνοιας, με θέμα τα μέτρα προφύλαξης του κοινού από τη λειτουργία διατάξεων εκπομπής ηλεκτρομαγνητικών πεδίων χαμηλών συχνοτήτων.

Οι προαναφερθείσες Κ.Υ.Α. βασίστηκαν στη Σύσταση του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης "Σχετικά με τον περιορισμό της έκθεσης του κοινού σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία 0 Hz - 300 GHz" (L199, 1999/519/EC). και στις κατευθυντήριες γραμμές (guidelines) που εξεδόθησαν από την ICNIRP (International Commission on Non Ionizing Radiation Protection) το 1998. Με τις αποφάσεις αυτές θεσπίζονται όρια για την ασφαλή έκθεση του κοινού στο περιβάλλον σταθμών κεραιών όλων των ειδών και διατάξεων εκπομπής χαμηλών συχνοτήτων, όπως γραμμές και υποσταθμοί υψηλής τάσης για την μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας

Πρέπει εδώ να αναφερθεί ότι ως όρια ασφαλούς έκθεσης του κοινού στη χώρα μας για τις εγκαταστάσεις σταθμών κεραιών όλων των ειδών ισχύουν το 80 % των επιπέδων αναφοράς όπως αυτά ορίζονται στην προαναφερθείσα σύσταση της Ε.Ε. ενώ στην περίπτωση των διατάξεων εκπομπής χαμηλών συχνοτήτων ως όρια ισχύουν το 100% των τιμών αυτών.

Σε όλους τους παραπάνω κανονισμούς, για την εφαρμογή περιορισμών που βασίζονται στην εκτίμηση πιθανών επιδράσεων στην υγεία από ηλεκτρομαγνητικά πεδία, γίνεται διαφοροποίηση μεταξύ βασικών περιορισμών και επιπέδων αναφοράς.

- Βασικοί περιορισμοί: οι περιορισμοί έκθεσης σε Η/Μ πεδία που βασίζονται άμεσα σε αποδεδειγμένες επιδράσεις στην υγεία και σε βιολογικές μελέτες. Τα φυσικά μεγέθη που χρησιμοποιούνται για να προσδιορίσουν αυτούς τους περιορισμούς, είναι η μαγνητική επαγωγή (B), η πυκνότητα ρεύματος (J), ο ρυθμός

ειδικής απορρόφησης ενέργειας (SAR) και η πυκνότητα ισχύος (S). (πινακες καραμπετσου)

- Επίπεδα αναφοράς: τα επίπεδα αυτά χρησιμοποιούνται για την πρακτική εκτίμηση της έκθεσης, προκειμένου να ελεγχθεί το ενδεχόμενο υπέρβασης των βασικών περιορισμών. Τα φυσικά μεγέθη που προέρχονται από αντίστοιχους βασικούς περιορισμούς με τη χρήση μετρήσεων ή/και υπολογισμών είναι η ένταση ηλεκτρικού πεδίου (E), η ένταση μαγνητικού πεδίου (H), η μαγνητική επαγωγή (B), η πυκνότητα ισχύος (S) και το ρεύμα των άκρων (IL). Το μέγεθος που σχετίζεται με την αντίληψή του από τον εκτιθέμενο και άλλες έμμεσες επιδράσεις είναι το ρεύμα επαφής (IC) και για παλμικά πεδία η ειδική απορρόφηση ενέργειας (SA). (Πικανες καραμπετσου)

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

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

Πρέπει να αναφερθεί πως στην κείμενη νομοθεσία, οι βασικοί περιορισμοί για την ασφαλή έκθεση του κοινού στα εκπεμπόμενα ηλεκτρομαγνητικά πεδία:

- Βασίστηκαν σε όλες τις μέχρι σήμερα αποδεδειγμένες βιολογικές επιδράσεις και έχουν οριστεί με μεγάλους συντελεστές ασφαλείας (μεγέθους περίπου 50) έτσι ώστε να καλύπτονται οι ενδεχόμενες μακροπρόθεσμες επιπτώσεις και να
- Λαμβάνονται υπόψη οι αβεβαιότητες που υπάρχουν όσον αφορά την ατομική ευαισθησία, τις περιβαλλοντικές συνθήκες καθώς και τις διαφορές όσον αφορά την ηλικία και την κατάσταση της υγείας του κοινού και επίσης τα επίπεδα

αναφοράς προϋποθέτουν συνθήκες μέγιστης σύζευξης του πεδίου με το εκτιθέμενο σε αυτό άτομο, παρέχοντας έτσι το μέγιστο βαθμό προστασίας.

Κεφάλαιο 4: ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΧΑΜΗΛΟΣΥΧΝΩΝ ΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ

4.1 Προπαρασκευή Μετρήσεων

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

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

Αρχικά, λοιπόν, συγκεντρώνονται όσο το δυνατό περισσότερες πληροφορίες σχετικά με το χώρο στον οποίο θα γίνουν οι μετρήσεις, τη φύση και τη σκοπιμότητα των μετρήσεων, με επόμενο βήμα να αποτελεί η διασφάλιση της σωστής λειτουργίας της μετρητικής διάταξης. Μόλις ολοκληρωθεί και αυτή η διαδικασία, μια πειραματική μελέτη στο περιβάλλον μέτρησης ενδιαφέροντος μπορεί να είναι

επιθυμητή προτού να ληφθούν οι αποφάσεις ως προς τις τελικές μεθόδους μέτρησης και το σχετικό πρωτόκολλο.

Επόπτευση χώρου και αξιολόγηση συνθηκών (επίσκεψη στο πεδίο μετρήσεων)

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

α) Προσδιορισμός των πηγών που επηρεάζουν το υπό μέτρηση πεδίο, το μέγεθος και η θέση τους στο χώρο, η ισχύς λειτουργίας τους, η απόστασή τους από χώρους που συχνάζουν άνθρωποι. Πιο συνηθισμένα ήδη πηγών είναι: ο Γραμμές υψηλής ή υπερύψηλης τάσης. ο Σταθμοί μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. ο Καλώδια μεταφοράς ρεύματος (πηγές ηλεκτρικού πεδίου). ο Μετασχηματιστές ισχύος. ο Κινητήρες, γεννήτριες. ο Οθόνες CRT, λαμπτήρες πυρακτώσεως, λοιπές ηλεκτρικές συσκευές. Η γνώση αυτή επιτρέπει μια καλύτερη εκτίμηση των αναμενόμενων εντάσεων πεδίου στο χώρο και των περιοχών με αυξημένη επικινδυνότητα όπου περισσότερα δείγματα μετρήσεων απαιτούνται.

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

γ) Οριοθέτηση και καταγραφή του χώρου πραγματοποίησης μετρήσεων, προσδιορισμός των περιοχών υψηλού ενδιαφέροντος καθώς και αντιμετώπιση τυχόν δυσκολιών (π.χ. δύσκολη προσβασιμότητα στο χώρο των μετρήσεων). Συγκεκριμένα, γίνεται σχέδιο της κάτοψης της περιοχής στην οποία πρόκειται να διεξαχθούν οι μετρήσεις ενώ στο σκαρίφημα τα σημεία μέτρησης πρέπει να διευκρινίζονται πλήρως με "x" ή "•" και θα πρέπει ν' αναγράφονται τα χαρακτηριστικά της περιοχής που να βοηθούν στον προσανατολισμό. Επίσης, πηγές μαγνητικού πεδίου πρέπει να καταγράφονται μαζί με γενικές πληροφορίες αν είναι γνωστές, όπως ισχύς, τάση, βασική συχνότητα λειτουργίας. Όταν γίνεται απεικόνιση εσωτερικού χώρου οι βασικές διαστάσεις του πρέπει να μετρούνται και να καταγράφονται. Σε περίπτωση που διεξάγονται μετρήσεις σε πολλούς ορόφους τότε κάθε επίπεδο σχεδιάζεται ξεχωριστά και ο αριθμός του ορόφου αναγράφεται εμφανώς στο σχέδιο.

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

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

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

4.2 Διαδικασία μέτρησης

Ο χειριστής σε κάθε υπό μέτρηση σημείο κρατάει το όργανο στο ύψος του θώρακα και αποθηκεύει για κάθε σημείο ορισμένες τιμές με συγκεκριμένη συχνότητα δειγματοληψίας. Για ευκολία στην καταγραφή και ομοιομορφία στην απεικόνιση των αποτελεσμάτων η αποθήκευση γίνεται με τον αυτόματο τρόπο. Η ίδια διαδικασία επαναλαμβάνεται για όλα τα σημεία. Ακόμη, το μέγεθος του αισθητήρα θα πρέπει να είναι κατάλληλο της χωρικής μεταβολής του πεδίου που μετρείται και συνιστάται να έχει εμβαδόν 0.01 m² ή μικρότερο.

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

Επίσης, κατά τη μέτρηση των πεδίων που παράγονται από πηγές διαφορετικές των συστημάτων ηλ. ενέργειας, η περάτη ζώνη συχνοτήτων θα πρέπει να επιλεχθεί κατάλληλα. Τα πεδία που παράγονται από κάποια συστήματα έλξης έχουν χαμηλότερη θεμελιώδη συχνότητα, ενώ οι θερμάστρες επαγωγής, οι βιντεοοθόνες, τα αεροπλάνα, τα πλοία, και οι αρμονικές που παράγονται από κάποιους κινητήρες μπορούν να παραγάγουν πεδία με υψηλότερες συχνότητες. Κατά την επέκταση της περάτης ζώνης συχνοτήτων σε χαμηλότερες συχνότητες, πρέπει να προσέχουμε για

να αποφύγουμε τα λάθη που προκαλούνται από την κίνηση των αισθητήριων πηνίων στα στατικά πεδία. Τέτοια λάθη μπορούν γενικά να αποφευχθούν κρατώντας το πηνίο στάσιμο.

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

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

4.3 Καταγραφή και υποβολή έκθεσης των αποτελεσμάτων μέτρησης

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

- προσδιορισμός του κατασκευαστή
- προσδιορισμός του μοντέλου του οργάνου
- ημερομηνία των μετρήσεων
- χρόνος των μετρήσεων
- συνολική αβεβαιότητα μέτρησης
- το μέγεθος που μετρήσαμε (σε SI μονάδες), π.χ. το μέγιστο του μαγνητικού / ηλεκτρικού πεδίου, το συνιστάμενο μαγνητικό / ηλεκτρικό πεδίο, η κάθετη πεδιακή συνιστώσα, ο χρονικά σταθμισμένος μέσος όρος (TWA), η r.m.s. τιμή, κλπ.
- μέγεθος/γεωμετρία του αισθητήρα
- ημερομηνία της τελευταίας δοκιμής βαθμονόμησης/επαλήθευσης. Άλλες πληροφορίες που πρέπει να δίνονται όπου χρειάζεται, είναι οι εξής: • η περάτη ζώνη συχνοτήτων

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

4.4 Μετρήσεις χαμηλόσυχνων μαγνητικών πεδίων στο 1ο Δημοτικό σχολείο Γλυκών Νερών και στον περίβολο του

4.4.1 Σκοπός των μετρήσεων

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με σκοπό την καταγραφή των επιπέδων του επαγόμενου μαγνητικού πεδίου από τις διατάξεις παροχής ηλεκτρικής ενέργειας που βρίσκονται τοποθετημένες στο 1^ο Δημοτικό σχολείο Γλυκών Νερών και την εξακρίβωση της συμμόρφωσης ή όχι με τα όρια ασφαλούς έκθεσης του κοινού όπως αυτά ορίζονται στην κείμενη νομοθεσία (Κ.Υ.Α. υπ' αριθ. 3060 (ΦΟΡ) 238 με θέμα τα μέτρα προ φύλαξης του κοινού από την λειτουργία διατάξεων εκπομπής ηλεκτρομαγνητικών πεδίων χαμηλών συχνοτήτων, Φ.Ε.Κ., Αρ. 512, Τεύχος Δεύτερο, 25 Απριλίου 2002) ώστε να εκτιμηθεί αν παρουσιάζουν επικινδυνότητα πρωτίστως στους μαθητές αλλά και στο διδακτικό προσωπικό του σχολείου. Η προαναφερθείσα Κ.Υ.Α. βασίστηκε στην σύσταση του Συμβουλίου της Ε.Ε., L 199 (1999/519/EC), 30-7-1999, "Σχετικά με τον περιορισμό της έκθεσης του κοινού σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία 0 HZ - 300 GHz

Τέλος οι μετρήσεις αυτές θα παρουσιαστούν σε σύγκριση με αντίστοιχες μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν το 2006 από τον Καθηγητή Νικόλαο Ουζούνογλου Διευθυντή του Εργαστηρίου Μικροκυμάτων και Οπτικών Ινών –

ΕΠΙΣΕΥ-ΕΜΟ κατόπιν αιτήματος του Δήμου Γλυκών Νερών με το έγγραφο Αρ. Πρωτ. 618 (23/1/06)

4.4.2 Εξοπλισμός μέτρησης μαγνητικού πεδίου

Ως όργανο μέτρησης πεδίων χαμηλών συχνοτήτων χρησιμοποιήθηκε η μονάδα EFA-300, που κατασκευάζεται από την εταιρεία Narda. Πρόκειται για φορητή ψηφιακή μονάδα μέτρησης πεδίου για ισοτροπικές και μη μετρήσεις. Το εν λόγω όργανο αποτελείται από ένα πεδιόμετρο, έναν αισθητήρα ηλεκτρικού πεδίου και έναν αισθητήρα μαγνητικού πεδίου. Το πεδιόμετρο του οργάνου αποτελεί ένα εύχρηστο εργαλείο για τις μετρήσεις ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου



Εικόνα 4. : NardaEFA-300

Παρακάτω φαίνονται κάποια από τα χαρακτηριστικά του:

Οθόνη	φωτιζόμενη LCDDotMatrix 128 x 64 Pixel	
Εσωτερική Μνήμη	έως 3600 μετρήσεις	
Μπαταρία	5 Επαναφορτιζόμενες μπαταρίες NiMH μεγέθους C	
Χρονική διάρκεια λειτουργίας	Συνεχείς μετρήσεις	10 ώρες
	Μη συνεχείς μετρήσεις	24 ώρες
Θερμοκρασία λειτουργίας	0 C – 50 C	
Υγρασία λειτουργίας	έως 95%	
Διαστάσεις	110 x 200 x 60 mm	
Βάρος	1 kg	

Πίνακας 4. : Τεχνικά χαρακτηριστικά πεδιομέτρου NardaEFA-300 [1, 2]

Λίγα λόγια για το EFA-300:

Το EFA-300 είναι η ιδανική συσκευή ανάλυσης πεδίων για τη μέτρηση των μαγνητικών και ηλεκτρικών πεδίων στον εργασιακό χώρο και στους δημόσιους χώρους καθώς οι χρήστες του χειρίζονται σχεδόν οποιαδήποτε μέτρηση που απαιτείται στο φάσμα χαμηλής συχνότητας, εύκολα και με ακρίβεια. Συγκεκριμένα, το όργανο μέτρησης πεδίων χαμηλών συχνοτήτων EFA-300 (σχήμα B.11) είναι της εταιρείας NARDA Safety Test Solutions και πρόκειται για φορητή ψηφιακή μονάδα μέτρησης πεδίου για ισοτροπικές και μη μετρήσεις, με εύρος φάσματος από 5Hz έως 32kHz. Το όργανο διαθέτει ενσωματωμένο ανιχνευτή μαγνητικού πεδίου ενώ για τη μέτρηση του ηλεκτρικού πεδίου συνδέεται εξωτερικός αισθητήρας. Υπάρχει η δυνατότητα καταγραφής της συνολικής έντασης του πεδίου ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΠΕΔΙΟΜΕΤΡΩΝ 149 σε όλο το εύρος του φάσματος των μετρήσεων, της γραφικής απεικόνισης των συνιστωσών του πεδίου και προσδιορισμού της εντάσεως μέρους αυτών. Παρακάτω παραθέτονται αναλυτικά τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα του πεδιομέτρου EFA-300:

- Σχεδιάστηκε να λειτουργεί σε χαμηλό εύρος συχνότητας από 5 Hz έως 32 kHz και είναι εξοπλισμένο να εκτελεί RMS μετρήσεις και μετρήσεις μέγιστης τιμής.
- Σε περιβάλλον με πολυσυχνотικά σήματα, το όργανο μέτρησης είναι ικανό για φασματική ανάλυση αλλά και για τον υπολογισμό του γρήγορου μετασχηματισμού Fourier (FFT) με την βοήθεια της επιλογής Spectrum FFT όπου όλες οι συνιστώσες, συμπεριλαμβανομένου και των αρμονικών, αποτιμούνται ταυτοχρόνως.
- Η καινοτόμος επιλογή STD (Shaped Time Domain) του πεδιομέτρου EFA-300 ανοίγει περαιτέρω τομέις εφαρμογής. Με αυτήν την νέα επιλογή τα αποτελέσματα μέτρησης για την ένταση μαγνητικών και ηλεκτρικών πεδίων επιδεικνύονται ως "τοις εκατό του ορίου ενός πρότυπου," ανεξάρτητα από τη μορφή των σημάτων επιτρέποντας έτσι έναν άμεσο προσδιορισμό της ασφάλειας ή της δυνατότητας για ζημιά. Αυτή η εφαρμογή επιτρέπει γρήγορες και αξιόπιστες μετρήσεις και την αξιολόγηση των χαρακτηριστικών πεδίων σε περιοχές που τα σύνθετα, μη- ημιτονοειδή σήματα είναι ευρέως διαδεδομένα.
- Ο ανιχνευτής Ηλεκτρικού Πεδίου Χαμηλών Συχνοτήτων (E-field probe) λειτουργεί στο φάσμα συχνοτήτων από 5Hz έως 32 kHz. Οι εξωτερικές διαστάσεις του οργάνου που περιέχει τον αισθητήρα είναι 10x10x10cm. Οι μετρήσεις μπορεί να γίνουν ισοτροπικές ή μη στο εύρος από 0.5V/m έως 100kV/m, με ακρίβεια $\pm 5\% \pm 1V/m$. Ο αισθητήρας μπορεί να λειτουργεί σαν αυτόνομη μονάδα μετρήσεων και αποθήκευσης δεδομένων ενώ η σύνδεσή του με την κυρίως μονάδα χρησιμοποιείται για τη διαμόρφωση της λειτουργίας του και τον έλεγχο του. Επίσης, η σύνδεση του επιτρέπει στο πεδιομέτρο EFA-300 να

χρησιμοποιηθεί μακριά από τον αισθητήρα, έτσι ώστε η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου να μετρηθεί με ελάχιστη ή καμία επιρροή από τα γειτονικά ανθρώπινα σώματα.

- Το όργανο μέτρησης EFA-300 χρησιμοποιεί ενσωματωμένο ιστροπικό αισθητήρα μαγνητικού πεδίου (με εύρος μέτρησης 100nT-32mT), και μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί με έναν προαιρετικό μεγάλο αισθητήρα υψηλής-ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΠΕΔΙΟΜΕΤΡΩΝ 150 ευαισθησίας για ενισχυμένη απόδοση και μέτρηση των ανομοιογενών μαγνητικών πεδίων. Μια εναλλακτική επιλογή για την ανάλυση των μαγνητικών πεδίων σε θέσεις που είναι δύσκολο για την πραγματοποίηση μετρήσεων χρησιμοποιείται ένας μικροσκοπικός αισθητήρας 3 cm.
- Το EFA-300 συνδέεται σε ηλεκτρονικό υπολογιστή με τη θύρα RS232 (ή με προσαρμογέα USB) μέσω οπτικής ίνας χρησιμοποιώντας το κατάλληλο λογισμικό που παρέχεται μαζί με την αγορά του οργάνου. Το προαιρετικό λογισμικό EFA-TS (υποστηρίζεται από τα WINDOWS) παρέχει μια εξαιρετικά ισχυρή λύση για τον τηλεχειρισμό και την περαιτέρω επεξεργασία και ανάλυση των μετρημένων ηλεκτρομαγνητικών πεδίων που αποθηκεύονται στη συσκευή ανάλυσης.
- Τέλος, για ακριβέστερες αναγνώσεις των πεδίων χαμηλής συχνότητας δίνεται από την εταιρεία της Narda ένα μη μεταλλικό τρίποδο για την τοποθέτηση του αισθητήρα μέτρησης Ηλεκτρικού πεδίου.

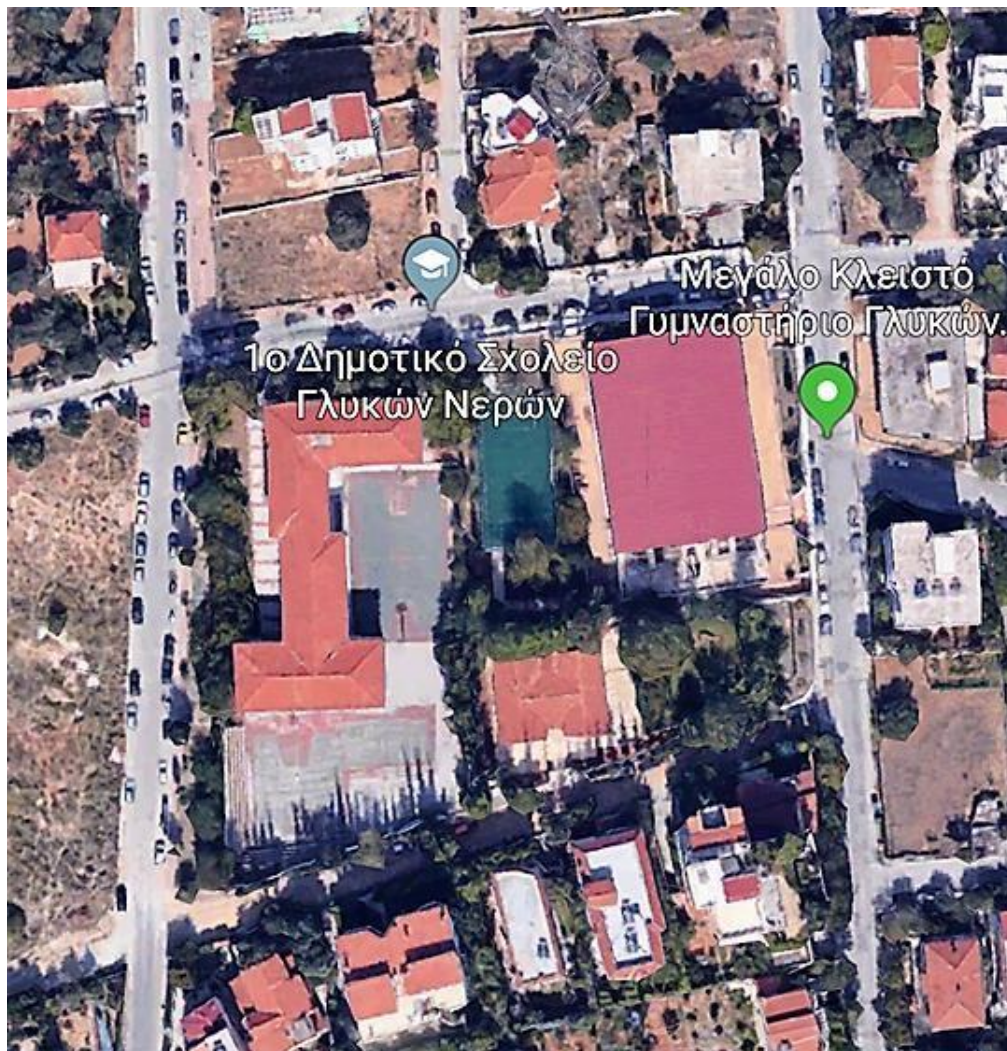
4.4.3 Αποτελέσματα των μετρήσεων

Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν αφορούν την ένταση του μαγνητικού πεδίου, που επάγεται από τις Γραμμές Μεταφοράς Υψηλής Τάσης 50 Hz στην εκάστοτε περιγραφόμενη θέση. Οι Γραμμές αυτές διέρχονται πλησίον του σχολείου και η επιλογή των σημείων μέτρησης έγινε ώστε να καλυφθούν και οι πιο επιβαρημένες θέσεις έκθεσης στον υπό εξέταση χώρο.

Να σημειωθεί εδώ ότι οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν τις πρώτες μεσημεριανές ώρες (13:00-14:00) όπου υφίσταται η μέγιστη κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος στα νοικοκυριά και κατ' επέκταση εμφανίζεται το μέγιστο μαγνητικό πεδίο. Επίσης τις ώρες αυτές υπήρχε η δυνατότητα να ληφθούν μετρήσεις και στο εσωτερικό του σχολείου καθώς το σχολείο ήταν σε λειτουργία.

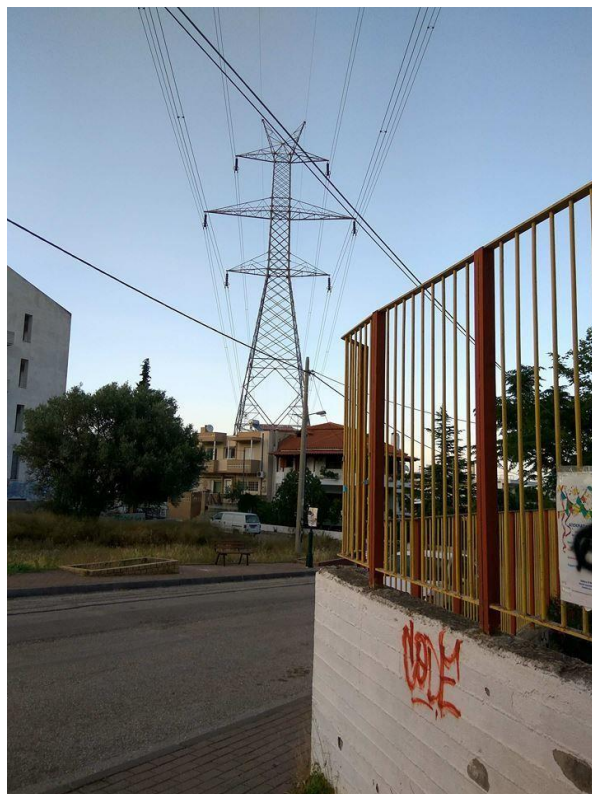


Εικόνα 4. : 1^ο Δημοτικό Σχολείο Γλυκών Νερών



Εικόνα 4. : Κάτοψη του κτηρίου. Στην κορυφή της εικόνας διακρίνεται ο πυλώνας υψηλής τάσης

Στις παρακάτω φωτογραφίες φαίνεται η διέλευση των γραμμών μεταφοράς υψηλής τάσης από το 1^ο Δημοτικό Σχολείο Γλυκών Νερών. Σημειώνεται οι γραμμές μεταφοράς διέρχονται εφαιπτομενικά από την βορειο-ανατολική πλευρά του Σχολείου.



Εικόνες 4. : Η βορειο-ανατολική πλευρά του Σχολείου

Ο 1^{ος} προαύλιος χώρος του Σχολείου φαίνεται στις παρακάτω φωτογραφίες. Στην δεύτερη φωτογραφία διακρίνονται οι γραμμές μεταφοράς ακριβώς πάνω από τον συγκεκριμένο χώρο



Παρομοίως ο 2^{ος} προαύλιος χώρος:



Τα αποτελέσματα των μετρήσεων όσον αφορά τα μαγνητικά πεδία φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Θέση	Ένταση Μαγνητικής Επαγωγής (μετρούμενη σε μT)		
	10/4/2006 9:30-10:30	24/5/2018 13:00-14:00	23/5/2018 19:00-20:00
Γραφείο Διεύθυνσης	0,760	0,540	-
Γραφείο Διδασκόντων	0,970	0,600	-
Είσοδος Σχολείου	1,300	1,023	0,830
Εκτός Σχολείου κάτω από τον Γραμμών Υψηλής Τάσης (Υ.Τ.)	2,000	1,500	1,140
ΒορειοΔυτική Γωνία στον 1 ^ο όροφο του Σχολείου-το κοντινότερο σημείο στις Γραμμές Υ.Τ.	1,800	1,250	-

ΒορειοΔυτική Γωνία στον 2 ^ο όροφο του Σχολείου-το κοντινότερο σημείο στις Γραμμές Υ.Τ.	2,800	2,000	-
ΝοτιοΔυτική Γωνία του Σχολείου	1,000	0,300	0,200
1 ^{ος} Προαύλιος Χώρος του Σχολείου	0,600	0,550	0,480
2 ^{ος} Προαύλιος Χώρος του Σχολείου	0,300	0,250	0,180

Στην πρώτη στήλη παρουσιάζονται οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στις 10 Απριλίου 2006 από τον από τον Καθηγητή Νικόλαο Ουζούνογλου Διευθυντή του Εργαστηρίου Μικροκυμάτων και Οπτικών Ινών –ΕΠΙΣΕΥ-ΕΜΟ

Στην δεύτερη και την Τρίτη στήλη φαίνονται οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν για τις ανάγκες της παρούσας Διπλωματικής εργασίας

4.4.4 Ανάλυση Μετρήσεων και Συμπεράσματα

Τα οριζόμενα όρια αναφοράς 80 μT για την συχνότητα 50 Hz (Υπουργική Απόφαση Αρ. 53571/3839, ΦΕΚ. 1105/6-11-00) προέρχονται από την Κατευθυντήρια Οδηγία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (Official Journal of the European Communities 30.7.1999 (L199/59): Council Recommendation of 12 July 1999 on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz) (1999/519/EC) αφορούν την προστασία από <<Άμεσες Δράσεις των Μαγνητικών Πεδίων>>

Εντούτοις, τα τελευταία 25 χρόνια έχουν δημοσιευθεί πλήθος εργασιών στην διεθνή βιβλιογραφία που εξετάζουν τις βιολογικές επιδράσεις των μαγνητικών πεδίων από τις εξαιρετικά χαμηλές συχνότητες (50 Hz) όπως στην παρούσα περίπτωση των πεδίων που προκαλούνται από τις γραμμές μεταφοράς υψηλής τάσης. Η πλέον εμπειριστατωμένη του Σουηδικού Ερευνητικού Ιδρύματος Karolinska το 1996 έδειξε ότι παρουσιάζεται μια ελάχιστη αύξηση της πιθανότητας παιδικού καρκίνου (λευχαιμία και όγκοι του εγκεφάλου) όταν οι εντάσεις των μαγνητικών πεδίων είναι σημαντικά μεγαλύτερες σε σύγκριση με τη στάθμη των 0.2-0.5 μT που υφίστανται στο περιβάλλον και κυρίως σε πυκνοκατοικημένες περιοχές. Η μέση αύξηση αυτής της πιθανότητας είναι από 1/1000 σε 2/1000.

Η μελέτη της Karolinska δεν ορίζει <<όριο ασφαλείας>> έκθεσης σε μαγνητικά πεδία. Σαν σημαντική αυξημένη ένταση μαγνητικού πεδίου εκτιμάται η ένταση πάνω από 2-5 μT δηλαδή περίπου δεκαπλάσια από αυτή που υφίσταται στο περιβάλλον σήμερα στις πόλεις.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό ότι πρέπει να καταβάλλονται προσπάθειες μείωσης των πιθανών κινδύνων από τις εντάσεις των μαγνητικών πεδίων που σημαντικά υπερβαίνουν τις μέσες στάθμες.

Στον υπό εξέταση χώρο τέτοιες τιμές απαντώνται μόνο στον δεύτερο όροφο στη βορειοδυτική γωνία του Σχολείου, χώρος στον οποίο δεν εκτίθενται παιδιά, μιας και δεν χρησιμοποιούνται οι αίθουσες διδασκαλίας στον όροφο αυτό.

4.4 Μετρήσεις χαμηλόσυχνων μαγνητικών πεδίων σε Γραμμές ΥΤ

4.5.1 Σκοπός των μετρήσεων

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με σκοπό την καταγραφή των επιπέδων του επαγόμενου μαγνητικού πεδίου από τις διατάξεις παροχής ηλεκτρικής ενέργειας που βρίσκονται τοποθετημένες σε διάφορες περιοχές (Ανθούσα, Γέρακας, Παπάγου) και την εξακρίβωση της συμμόρφωσης ή όχι με τα όρια ασφαλούς έκθεσης του κοινού όπως αυτά ορίζονται στην κείμενη νομοθεσία (Κ.Υ.Α. υπ' αριθ. 3060 (ΦΟΡ) 238 με θέμα τα μέτρα προ φύλαξης του κοινού από την λειτουργία διατάξεων εκπομπής ηλεκτρομαγνητικών πεδίων χαμηλών συχνοτήτων, Φ.Ε.Κ., Αρ. 512, Τεύχος Δεύτερο, 25 Απριλίου 2002). Η προαναφερθείσα Κ.Υ.Α. βασίστηκε στην σύσταση του Συμβουλίου της Ε.Ε., L 199 (1999/519/EC), 30-7-1999, "Σχετικά με τον περιορισμό της έκθεσης του κοινού σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία 0 Hz - 300 GHz".

4.5.2 Εξοπλισμός μέτρησης μαγνητικού πεδίου

Ως όργανο μέτρησης πεδίων χαμηλών συχνοτήτων χρησιμοποιήθηκε η μονάδα EFA300, όπως και προηγουμένως

4.5.3 Αποτελέσματα των μετρήσεων

- Δίστυλοι Υποσταθμοί Διανομής :



Εικόνα 4. Δίστυλος υποσταθμός επί της Οδού Κλειτάρχου

Η πρώτη μέτρηση πραγματοποιήθηκε στον δίστυλο υποσταθμό της Εικόνας 4. , ο οποίος βρίσκεται επί της Οδού Κλειτάρχου στην νοτιοανατολική πλευρά του 1^ο Δημοτικού Βρεφονηπιακού Σταθμού Γέρακα

Το επαγόμενο μαγνητικό πεδίο που εντοπίστηκε πίσω από τον δίστυλο υποσταθμό εντός του περιβάλλοντα χώρου του βρεφονηπιακού σταθμού, στο κοντινότερο σημείο στον υποσταθμό, ήταν 3,300 μT

Η δεύτερη μέτρηση πραγματοποιήθηκε στον δίστυλο υποσταθμό της εικόνας 4. επί της Οδού Μακεδονίας απέναντι από το 2^ο Δημοτικό Σχολείου Παπάγου

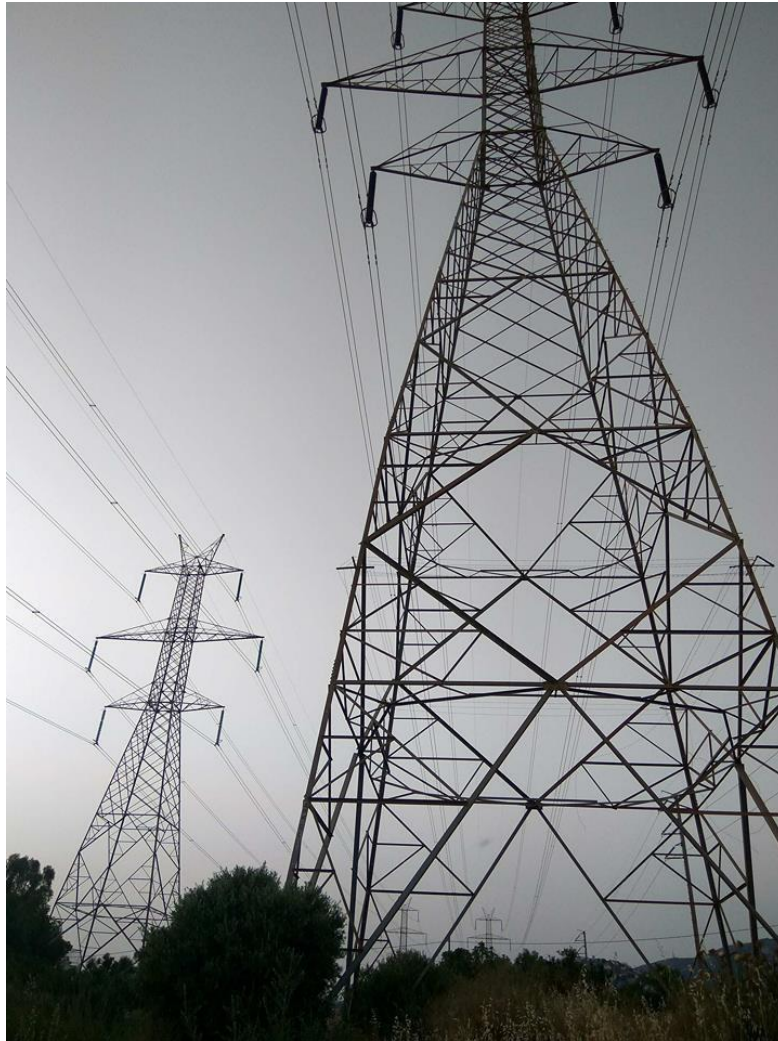


4. δίστυλος υποσταθμός επί της Οδού Μακεδονίας

Το επαγόμενο μαγνητικό πεδίο που εντοπίστηκε μπροστά από τον δίστυλο υποσταθμό πάνω στο πεζοδρόμιο ήταν 4,299 μT

- Γραμμές Υψηλής Τάσης

Σε μέτρηση που πραγματοποιήθηκε κάτω από τον άξονα των γραμμών υψηλής τάσης στην περιοχή της Ανθούσας όπως φαίνεται στην εικόνα 4. ,οι οποίες διέρχονται πάνω από οικίες, το μαγνητικό πεδίο που μετρήθηκε ήταν 0,35 μT



4. Γραμμές Υψηλής Τάσης

4.5.4 Συμπεράσματα από τις μετρήσεις

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

• Οι τιμές που λαμβάνει η μαγνητική επαγωγή B (μT) σε καμία από τις θέσεις μέτρησης δεν υπερέβησαν τα επίπεδα αναφοράς, όπως αυτά καθορίζονται από την προαναφερθείσα Κ.Υ.Α. για την προστασία του κοινού. Μάλιστα οι τιμές που μετρήθηκαν, είναι από 45 έως 1500 φορές μικρότερες από την οριακή τιμή των 100 μT που καθορίζεται στην εν λόγω Κ.Υ.Α. για τη μαγνητική επαγωγή στη συχνότητα των 50Hz (συχνότητα λειτουργίας του συστήματος παροχής ηλεκτρικής ενέργειας).

Εντούτοις, όπως αναφέραμε προηγουμένως, όταν οι εντάσεις των μαγνητικών πεδίων είναι σημαντικά μεγαλύτερες σε σύγκριση με τη στάθμη των 0.2-0.5 μT παρουσιάζεται μια ελάχιστη αύξηση της πιθανότητας παιδικού καρκίνου (λευχαιμία και όγκοι του εγκεφάλου), από 1/1000 σε 2/1000.

Για το λόγο αυτό, κρίνεται σκόπιμο να καταβάλλονται προσπάθειες μείωσης των πιθανών κινδύνων από τις εντάσεις των μαγνητικών πεδίων που σημαντικά υπερβαίνουν τις μέσες στάθμες, ειδικά όσον αφορά σημεία καίριου ενδιαφέροντος, όπως για παράδειγμα βρεφονηπιακοί σταθμοί και Δημοτικά σχολεία

Συγκεκριμένα στην περίπτωση του 1^ο Δημοτικού Βρεφονηπιακού Σταθμού Γέρακα, όπου το επαγώμενο μαγνητικό πεδίο που εντοπίστηκε πίσω από τον δίστυλο υποσταθμού, εντός του περιβάλλοντα χώρου του βρεφονηπιακού σταθμού, ήταν 3,300 μT , γίνεται αντιληπτό πως θα πρέπει να ληφθούν προληπτικά μέτρα για τη μείωση των πιθανών κινδύνων για τα παιδιά από την έκθεση τους στα μαγνητικά πεδία.

□ Ένα απ' αυτά θα μπορούσε να ήταν η περιφράξη της νοτιοανατολικής γωνίας του Βρεφονηπιακού Σταθμού, με την τοποθέτηση κατάλληλου πλέγματος, έτσι ώστε να μην καθίσταται δυνατή η προσέγγιση των παιδιών πλησίον και κάτωθεν του δίστυλου υποσταθμού.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να σημειωθεί πως στην παρούσα διπλωματική εργασία τα όρια ασφαλείας θεωρούνται δεδομένα και με βάση αυτά γίνονται οι συγκρίσεις και εξάγονται τα κατάλληλα συμπεράσματα

Κεφάλαιο 5: Η ελαχιστοποίηση της μαγνητικής επαγωγής στο δίκτυο μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας

5.1 Πρόλογος

Όπως προαναφέραμε, η ευρεία χρησιμοποίηση της ηλεκτρικής ενέργειας επιφέρει την έκθεση των ανθρώπων σε μαγνητικά πεδία χαμηλής συχνότητας. Ο καθορισμός της έκθεσης ανθρώπων σε μαγνητικά πεδία στοιχείων συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας όπως οι εναέριες γραμμές, τα καλώδια, οι μετασχηματιστές και οι υποσταθμοί είναι αναγκαίος για την σύγκριση των μεγίστων τιμών των πεδιακών εντάσεων με τα όρια για την προστασία των ανθρώπων έναντι μαγνητικών πεδίων.

Ωστόσο, τις τελευταίες δεκαετίες υπάρχει διάχυτος προβληματισμός σχετικά με ενδεχόμενες δυσμενείς επιπτώσεις από τη χρήση του ηλεκτρισμού στο ανθρωπογενές περιβάλλον ακόμα και σε περιπτώσεις που οι εντάσεις των μαγνητικών πεδίων είναι πολύ χαμηλότερες από τα καθορισμένα όρια. Όπως αναφέραμε και στο κεφάλαιο 3, μελέτες έδειξαν ότι παρουσιάζεται μία ελάχιστη αύξηση της πιθανότητας ανάπτυξης καρκίνου όταν οι εντάσεις των μαγνητικών πεδίων είναι σημαντικά μεγαλύτερες σε σύγκριση με τη στάθμη των 0.2-0.5 μT που υφίστανται στο περιβάλλον και κυρίως σε πυκνοκατοικημένες περιοχές.

Λαμβάνοντας υπόψη την ανησυχία του ευρύ κοινού γίνεται αντιληπτό ότι πρέπει να καταβάλλονται προσπάθειες μείωσης των πιθανών κινδύνων από τις εντάσεις των μαγνητικών πεδίων που σημαντικά υπερβαίνουν τις μέσες στάθμες.

Αυτό μπορεί να επιτευχθεί είτε με τον περιορισμό της προσβασιμότητας σε σημεία με αυξημένες πεδιακές εντάσεις (π.χ. τοποθέτηση φράχτη περιμετρικά ενός υποσταθμού διανομής ηλεκτρικής ενέργειας), είτε με την ελαχιστοποίηση των μαγνητικών πεδίων που επάγονται από τις διατάξεις ηλεκτρικής ενέργειας.

Στο κεφάλαιο αυτό θα ασχοληθούμε με την ελαχιστοποίηση της μαγνητικής επαγωγής μέσω της βελτιστοποίησης των διατάξεων των αγωγών στις γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας

5.2 Συμμετρική και βέλτιστη διάταξη των αγωγών των φάσεων σε πύργο υπερυψηλής τάσης 400 KV

Στις διατάξεις δύο τριφασικών συστημάτων, χωρίς εμπλοκή των δύο συστημάτων μεταξύ τους, όπως η γραμμή 400kV διπλού κυκλώματος, υπάρχουν 36 δυνατές διατάξεις των φάσεων που φαίνονται στον πίνακα 5.1. Οι διατάξεις αυτές ομαδοποιούνται σε ομάδες των 6 διατάξεων που δημιουργούν τις ίδιες πεδιακές εντάσεις (γραμμές του πίνακα 5.1). Έτσι προκύπτουν 6 ανεξάρτητες ομάδες διατάξεων. Υπάρχει πάντοτε μια ομάδα 6 διατάξεων των φάσεων (βέλτιστες διατάξεις) που προκαλούν τη μέγιστη μείωση (δραστική μείωση) των πεδιακών εντάσεων στο σημείο της μέγιστης τιμής τους. Οι βέλτιστες διατάξεις των φάσεων προκαλούν επίσης μείωση των πεδιακών εντάσεων σε όλο το περιβάλλον των γραμμών.

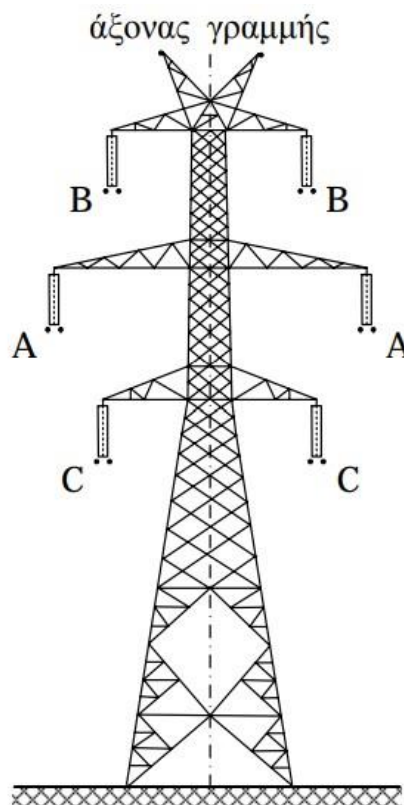
Διάταξη Ομάδα	a	b	c	a'	b'	c'
I	A A B B C C	B B C C A A	C C A A B B	A A C C B B	B B A A C C	C C B B A A
II	A B B C C A	B C C A A B	C A A B B C	A C C B B A	B A A C C B	C B B A A C
III	A C B A C B	B A C B A C	C B A C B A	A B C A B C	B C A B C A	C A B C A B
IV	A A B C C B	B B C A A C	C C A B B A	A A C B B C	B B A C C A	C C B A A B
V	A B B A C C	B C C B A A	C A A C B B	A C C A B B	B A A B C C	C B B C A A
VI	A C B B C A	B A C C A B	C B A A B C	A B C C B A	B C A A C B	C A B B A C

Πίνακας 5.1 : Διάταξη των φάσεων γραμμής 400kV διπλού κυκλώματος

Στις γραμμές διπλού κυκλώματος 400kV του Ελληνικού συστήματος μεταφοράς η συνήθης διάταξη των αγωγών των φάσεων είναι η συμμετρική διάταξη (συμμετρία των αγωγών των φάσεων ως προς τον γεωμετρικό άξονα της γραμμής). Από τις 6 συμμετρικές διατάξεις που προκαλούν τις ίδιες πεδιακές

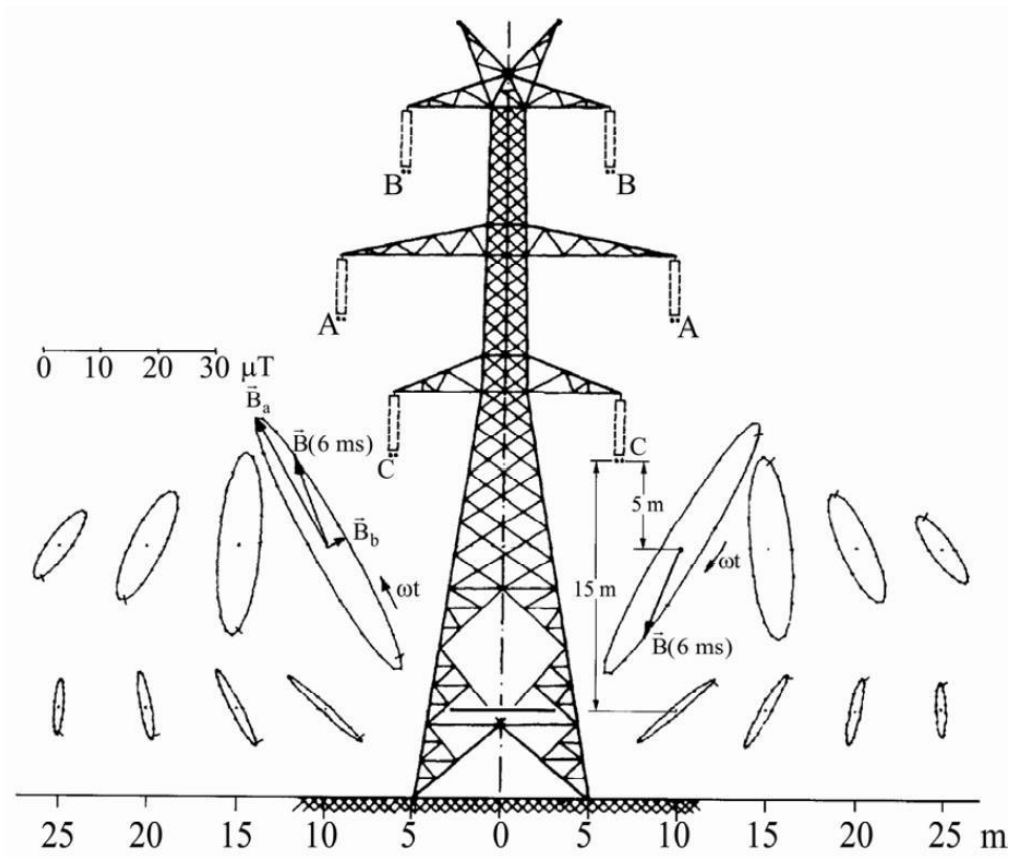
εντάσεις (ομάδα Ι, πίνακας 5.1), η διάταξη που εφαρμόζεται στο Ελληνικό σύστημα είναι η BAC|BAC και φαίνεται στην εικόνα 5.2

Η συνήθης διάταξη των αγωγών των φάσεων δύο παράλληλα οδευουσών γραμμών διπλού κυκλώματος 400kV του Ελληνικού συστήματος μεταφοράς προκύπτει από την συνήθη διατάξη (συμμετρική διάταξη) των αγωγών των φάσεων της κάθε γραμμής (BAC|BAC BAC|BAC).



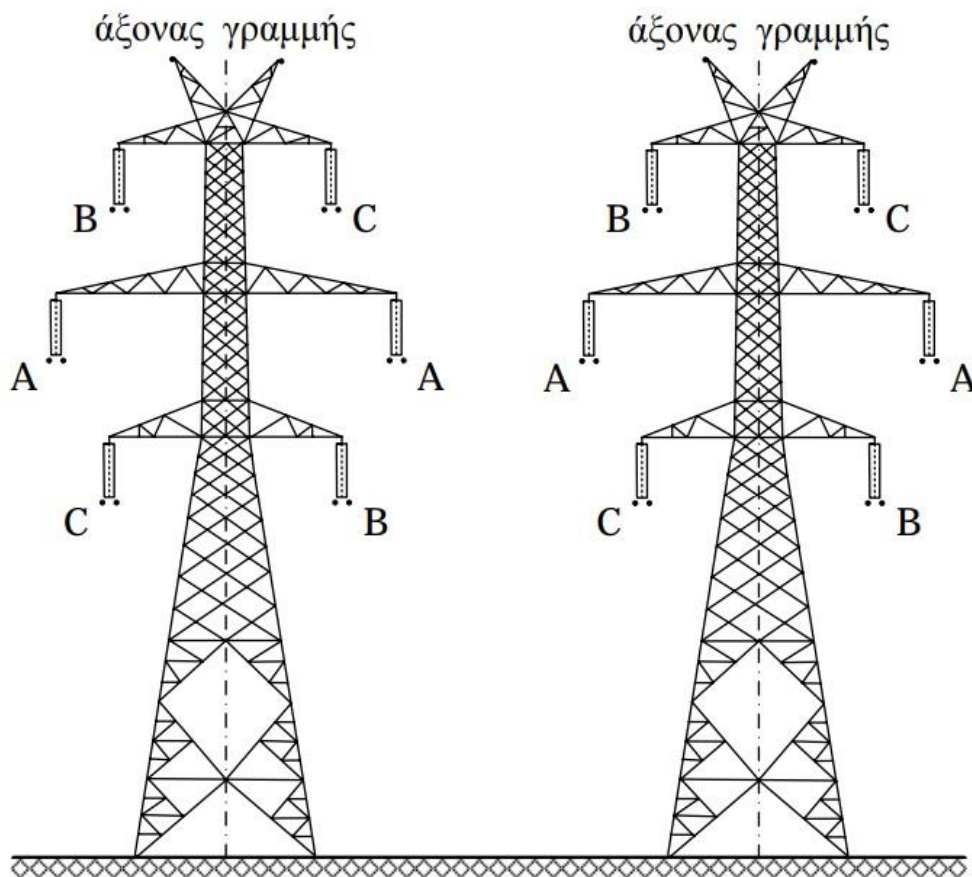
Εικόνα 5.2 Τυπικός πύργος με συμμετρική διάταξη των αγωγών γραμμής 400kV διπλού κυκλώματος του Ελληνικού συστήματος

Ένα ή περισσότερα τριφασικά συστήματα δημιουργούν σε κάθε σημείο του χώρου ένα στρεφόμενο ελλειπτικό μαγνητικό πεδίο. Τα στρεφόμενα ανύσματα των πεδιακών εντάσεων μεταξύ των κέντρων και περιφερειών των ελλείψεων διαγράφουν πλήρεις τροχιές σε χρονικό διάστημα μιας περιόδου (20ms για την συχνότητα των 50Hz). Η εικόνα 5.3 δείχνει τα στρεφόμενα μαγνητικά πεδία στο περιβάλλον μιας γραμμής 400kV διπλού κυκλώματος



Εικόνα 5.3 Γεωμετρικοί τόποι στρεφόμενων ανυσμάτων μαγνητικής επαγωγής γραμμής 400kV διπλού κυκλώματος με φορτίο 1000A ανά κύκλωμα και φάση

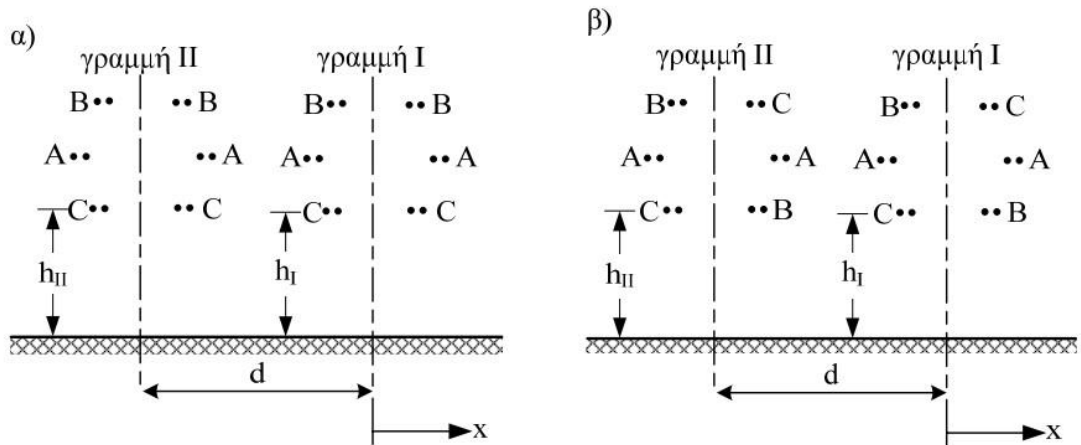
Οι βέλτιστες διατάξεις είναι οι διατάξεις της ομάδας VI του πίνακα 5.1. Η βέλτιστη διάταξη που έχει εφαρμοστεί στο Ελληνικό σύστημα είναι η BAC|CAB. Βελτιστοποίηση μπορεί να προκύψει όχι μόνο σε μία γραμμή διπλού κυκλώματος, αλλά σε δύο ή και περισσότερες παράλληλα οδεύουσες γραμμές διπλού κυκλώματος, αρκεί κάθε γραμμή να έχει την βέλτιστη διάταξη των αγωγών των φάσεων. Η εικόνα 5.4 δείχνει την βέλτιστη διάταξη των αγωγών των φάσεων δύο παράλληλα οδεουσών γραμμών διπλού κυκλώματος.



Εικόνα 5.4 : Βέλτιστη διάταξη δύο παράλληλα οδευουσών γραμμών του Ελληνικού συστήματος.

Μέχρι πριν λίγα χρόνια οι γραμμές διπλού κυκλώματος 400kV του ελληνικού συστήματος κατασκευάζονταν με τη συμμετρική διάταξη των αγωγών των φάσεων ως προς τον άξονα της γραμμής, (εικόνα 5.5.α). Οι νέες γραμμές κατασκευάζονται με την βέλτιστη διάταξη των αγωγών των φάσεων (εικόνα 5.5.β). Τα τελευταία χρόνια άρχισε στην Ελλάδα η εφαρμογή της βέλτιστης διάταξης και σε υφιστάμενες γραμμές, ώστε να περιοριστούν οι πεδιακές εντάσεις. Στην εικόνα 5.6 φαίνεται μια γραμμή διπλού κυκλώματος και οι πύλες εισόδου της γραμμής στους υποσταθμούς SI και SII. Στην εικόνα φαίνονται οι αγωγοί του ενός μόνο κυκλώματος, χαρακτηρίζονται όμως οι θέσεις των αγωγών και των δύο κυκλωμάτων. Η εικόνα 5.6.α δείχνει τη συμμετρική διάταξη των αγωγών των φάσεων. Στην εικόνα 5.6.β φαίνεται η βέλτιστη διάταξη για την ελαχιστοποίηση των πεδιακών εντάσεων. Η βέλτιστη διάταξη των αγωγών των φάσεων πραγματοποιείται με την εναλλαγή των φάσεων B' και C' στο ένα μόνο κύκλωμα κάθε γραμμής και μόνο στα τμήματα της γραμμής μεταξύ του πρώτου πύργου T1 και του υποσταθμού SI και μεταξύ του τελευταίου πύργου Tn και του αντίστοιχου υποσταθμού SII. Η εφαρμογή των ίδιων αλλαγών σε κάθε γραμμή διπλού κυκλώματος σε δύο ή περισσότερες παράλληλα οδευούσες γραμμές

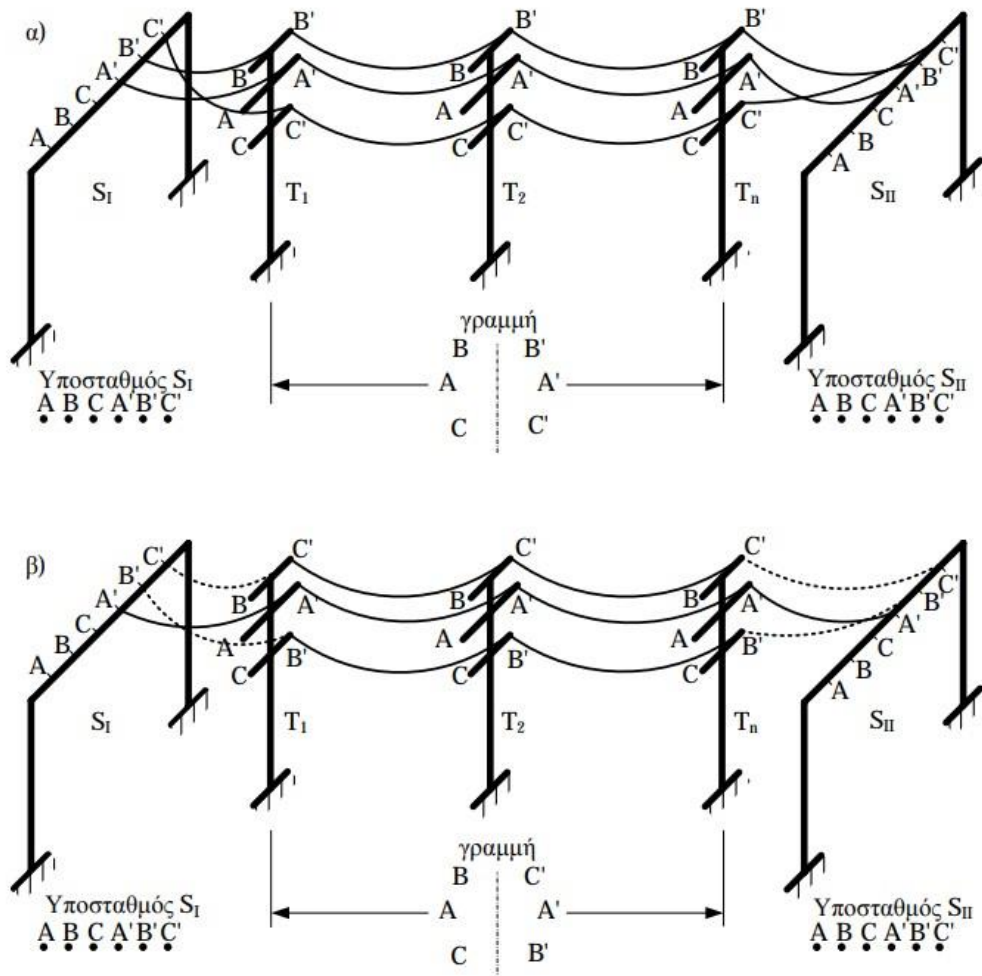
διπλού κυκλώματος, οδηγεί σε μια γενική βέλτιστη διάταξη των αγωγών των φάσεων.



Εικόνα 5.5 : Διάταξη των αγωγών των φάσεων σε δύο παράλληλα οδεύουσες γραμμές 400kV διπλού κυκλώματος κατά την διαδικασία των μετρήσεων.

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

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



Εικόνα 5.6 : Απαιτούμενες αλλαγές για την πραγματοποίηση της βέλτιστης διάταξης των αγωγών των φάσεων σε υφιστάμενη γραμμή διπλού κυκλώματος με συμμετρική διάταξη των αγωγών των φάσεων.

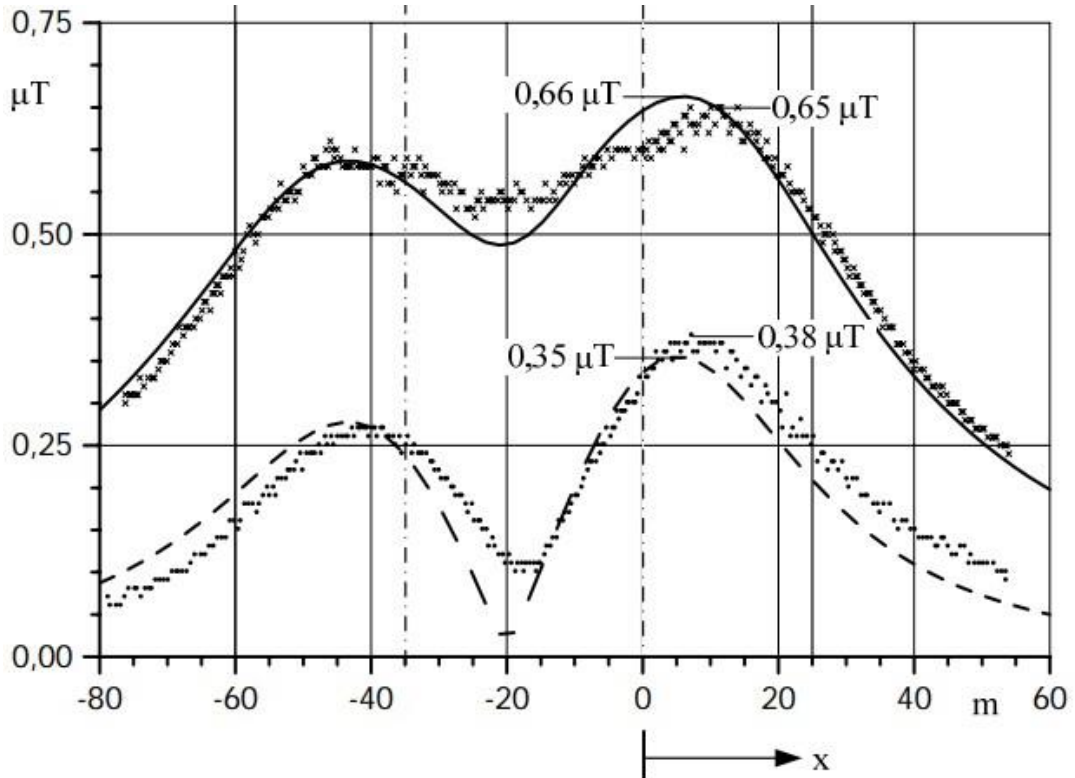
α) Συμμετρική διάταξη

β) Βέλτιστη διάταξη. Οι αλλαγές σημειώνονται με διακεκομμένες γραμμές

Η εικόνα 5.7 δείχνει τις μετρηθείσες τιμές της έντασης της μαγνητικής επαγωγής των δύο γραμμών I και II με διάταξη των αγωγών των φάσεων σύμφωνα με τα σχήματα 5.5.α και 5.5.β.

Σύμφωνα με μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στις 19/09/03 και στις 09/10/03, στις δύο παράλληλα οδεύουσες γραμμές 400kV διπλού κυκλώματος Παλλήνη – Αγ. Στέφανος (γραμμή I) και Αργυρούπολη – Κουμουندούρου (γραμμή II) στην περιοχή του Αγ. Στεφάνου επιβεβαιώνεται η δραστική μείωση των πεδιακών εντάσεων με την εφαρμογή της βέλτιστης διάταξης. Οι μετρηθείσες τιμές επαληθεύτηκαν και υπολογιστικά. Οι αποκλίσεις στην μαγνητική επαγωγή είναι πολύ μικρές και οφείλονται κυρίως στην μεταβολή των ρευμάτων των γραμμών κατά την διάρκεια των μετρήσεων.

Στο σχήμα 5.7 γίνεται εύκολα αντιληπτή η δραστική αυτή μείωση Π.χ. η μαγνητική επαγωγή περιορίζεται αντίστοιχα από 0,65μΤ (για ένταση 99Α) σε 0,38μΤ (για ένταση 114Α). Η πραγματική σχετική μείωση για τις ίδιες εντάσεις ανέρχεται σε $(0,38\mu\text{T} \cdot 99\text{A}/114\text{A})/0,65\mu\text{T}=51\%$ Οι σχετικά μικρές τιμές της μαγνητικής επαγωγής οφείλονται στο σχετικά μικρό φορτίο κατά την διάρκεια των μετρήσεων (100Α περίπου). Η μέγιστη δυνατή φόρτιση με το δεκαπλάσιο ρεύμα προκαλεί και τον δεκαπλασιασμό της μαγνητικής επαγωγής.



Εικόνα 5.7 : Μετρηθείσες και υπολογισθείσες τιμές της μαγνητικής επαγωγής B κατά μήκος του άξονα x

Μετρήσεις	Υπολογισμοί	
xxx	—	Συμμετρική διάταξη
•••	---	Βέλτιστη διάταξη

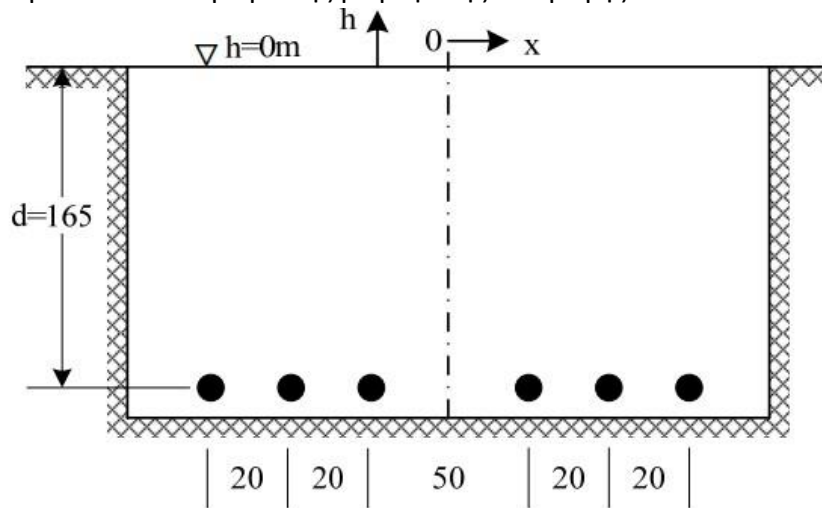
5.3 Βελτιστοποίηση διατάξεων καλωδίων για την ελαχιστοποίηση της μαγνητικής επαγωγής

5.3.1 Καλώδια 150kV

Στο κεφάλαιο αυτό εξετάζονται οι δυνατές διατάξεις δύο και τριών τριφασικών διατάξεων μονοφασικών καλωδίων, υψηλής και υπερυψηλής τάσης για τον

καθορισμό των βέλτιστων διατάξεων των φάσεων (ελαχιστοποίηση της μαγνητικής επαγωγής στο περιβάλλον καλωδίων).

Το σχήμα 5.8 δείχνει τη διάταξη έξι μονοπολικών καλωδίων 150kV σε ένα επίπεδο, τα οποία απαρτίζουν τα δύο τριφασικά κυκλώματα. Στο σχήμα δίδονται οι αποστάσεις μεταξύ των καλωδίων και το βάθος εγκαταστάσεώς τους, οι οποίες απαιτούνται για τον υπολογισμό της μαγνητικής επαγωγής.



Εικόνα 5.8: Διάταξη των καλωδίων 150kV σε ένα επίπεδο. Διαστάσεις σε cm.

Όπως και στις γραμμές διπλού κυκλώματος έτσι και στα καλώδια δύο τριφασικών συστημάτων, οι δυνατές διαφορετικές διατάξεις των φάσεων των μονοπολικών καλωδίων των δύο τριφασικών συστημάτων, χωρίς εμπλοκή των δύο συστημάτων, είναι 36 και φαίνονται στον πίνακα 5.9. Υπάρχει αντιστοιχία του καθορισμού των διαφορετικών διατάξεων των δύο συστημάτων των δύο καλωδίων με τις διατάξεις των αγωγών εναέριας γραμμής διπλού κυκλώματος

	a	b	c	a'	b'	c'	B_{1m}
I	ABC ABC	BCA BCA	CAB CAB	ACB ACB	BAC BAC	CBA CBA	13,9 μ T
II	ABC BCA	BCA CAB	CAB ABC	ACB CBA	BAC ACB	CBA BAC	8,40 μ T
III	ABC CAB	BCA ABC	CAB BCA	ACB BAC	BAC CBA	CBA ACB	7,70 μ T
IV	ABC ACB	BCA BAC	CAB CBA	ACB ABC	BAC BCA	CBA CAB	12,2 μ T
V	ABC BAC	BCA CBA	CAB ACB	ACB CAB	BAC ABC	CBA BCA	12,2 μ T
VI	ABC CBA	BCA ACB	CAB BAC	ACB BCA	BAC CAB	CBA ABC	4,74 μ T

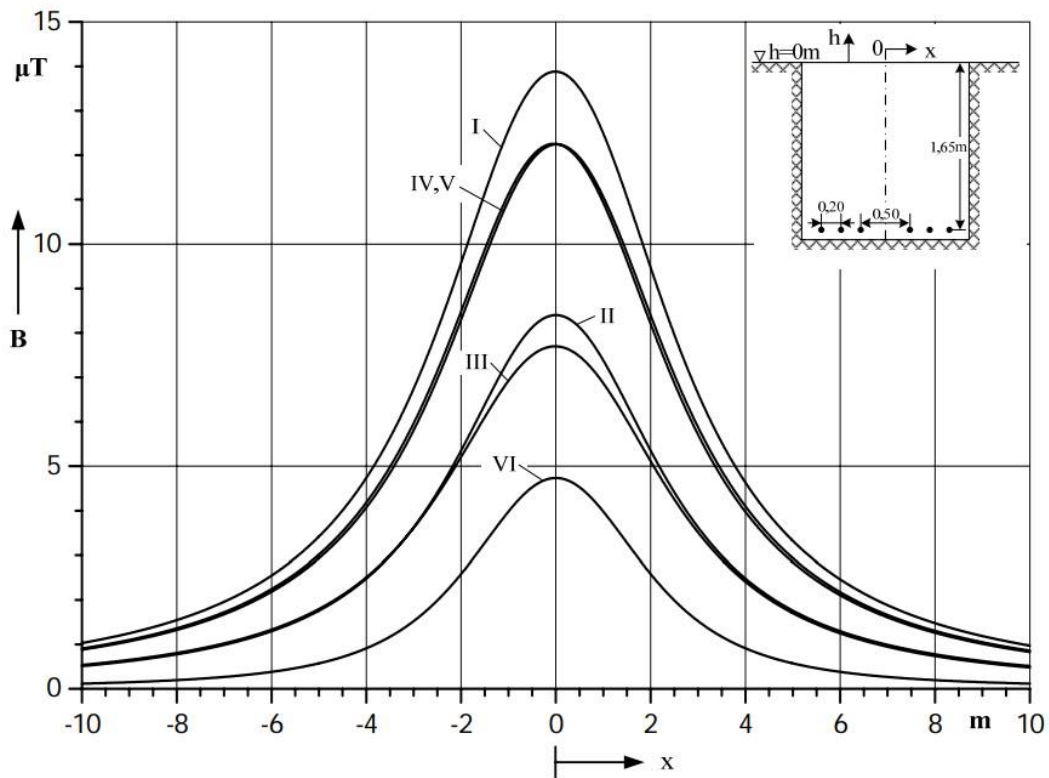
Πίνακας 5.9 : Δυνατές διατάξεις των φάσεων δύο τριφασικών συστημάτων καλωδίων 150kV. B_{1m} : Μέγιστη μαγνητική επαγωγή B σε ύψος 1m από το έδαφος με βάθος εκσκαφής $d=1,65m$ με ένταση $I=770A$ ανά φάση και κύκλωμα

Οι έξι διατάξεις κάθε γραμμής του πίνακα 5.9, π.χ. Ia έως Ic', προκαλούν την ίδια μαγνητική επαγωγή, ενώ οι διατάξεις των διαφορετικών γραμμών του πίνακα, γραμμές I, II, III, IV και VI προκαλούν διαφορετικά μαγνητικά πεδία. Οι διατάξεις της γραμμής V προκαλούν την ίδια μέγιστη τιμή της μαγνητικής επαγωγής με τις διατάξεις της γραμμής IV όπως φαίνεται και στην εικόνα 5.10 οι τιμές της μαγνητικής επαγωγής για $x \neq 0$ δεν συμπίπτουν. Προκύπτουν έτσι 5 ανεξάρτητες ομάδες διατάξεων ως προς την μέγιστη τιμή της μαγνητικής επαγωγής. Ο περιορισμός των 36 διατάξεων σε 5 ανεξάρτητες διατάξεις οφείλεται στην κυκλική συμμετρία των εντάσεων και στην αξονική γεωμετρική συμμετρία των δύο συστημάτων.

Με βάση την διάταξη Ia οι υπόλοιπες 5 διατάξεις της πρώτης στήλης (a) του πίνακα 5.9 προκύπτουν ως εξής: Οι διατάξεις IIa και IIIa με κυκλική εναλλαγή των φάσεων των καλωδίων του δευτέρου συστήματος. Η διάταξη IVa, προκύπτει από την Ia διατηρώντας αμετάβλητο το πρώτο σύστημα και εναλλάσσοντας τις φάσεις B και C του δεύτερου συστήματος. Οι πρόσθετες κυκλικές εναλλαγές του δεύτερου συστήματος της διάταξης IVa οδηγούν στις διατάξεις Va και VIa. Οι από πλευράς πεδίων ισοδύναμες διατάξεις κάθε γραμμής του πίνακα 5.9 προκύπτουν από τις διατάξεις Ia έως VIa της πρώτης στήλης ως εξής: - Οι διατάξεις Ib και Ic από την Ia με τις δύο δυνατές κυκλικές εναλλαγές των φάσεων (σε κάθε περίπτωση ίδια κυκλική εναλλαγή για τα δύο συστήματα) - Η διάταξη Ia' προκύπτει από την Ia εναλλάσσοντας τις φάσεις B και C του κάθε συστήματος και για τα δύο συστήματα. Οι πρόσθετες κυκλικές εναλλαγές των δύο συστημάτων (σε κάθε περίπτωση ίδια κυκλική εναλλαγή για τα δύο συστήματα) της διάταξης Ia' οδηγούν στις διατάξεις Ib', Ic', Οι διατάξεις των υπολοίπων γραμμών II έως VI εφαρμόζοντας την ίδια διαδικασία με εκείνη για την γραμμή I. Στην τελευταία στήλη του πίνακα 5.9 δίδονται χαρακτηριστικές μέγιστες τιμές της μαγνητικής επαγωγής σε ύψος 1m από την επιφάνεια του εδάφους με τις αποστάσεις της εικόνας 5.8, για ονομαστική ένταση $I=770A$ στο κάθε μονοπολικό καλώδιο. Οι διατάξεις της γραμμής I, ABC | ABC ή BCA | BCA κτλ, οδηγούν στις μέγιστες τιμές της μαγνητικής επαγωγής. Οι διατάξεις της γραμμής VI, διατάξεις των φάσεων συμμετρικά ως προς τον γεωμετρικό άξονα των δύο συστημάτων, ABC | CBA ή BCA | ACB κτλ, οδηγούν στις ελάχιστες τιμές της μαγνητικής επαγωγής. Οι διατάξεις αυτές είναι οι βέλτιστες διατάξεις. Όπως φαίνεται στον πίνακα 5.9, με τις βέλτιστες διατάξεις επιτυγχάνεται η δραστική μείωση των μέγιστων τιμών της μαγνητικής επαγωγής. Από τον πίνακα 5.9 παρατηρείται ότι οι διατάξεις (IV) και (V) έχουν την ίδια μέγιστη τιμή της μαγνητικής επαγωγής. Αυτό ερμηνεύεται λαμβάνοντας υπόψη την συνολική διάταξη των καλωδίων. Π.χ. η διάταξη IVa (ABC | ACB) έχει σαν είδωλο ως προς τον άξονα συμμετρίας της, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.8, τη διάταξη Vb (BCA | CBA). Όλες οι διατάξεις του πίνακα 5.9 έχουν ως είδωλο τους κάποια άλλη διάταξη του ίδιου πίνακα. Οι διατάξεις που έχουν σαν είδωλο τους τον εαυτό τους (π.χ. όλες οι διατάξεις της γραμμής VI) ή έχουν σαν είδωλο τους διάταξη της ίδιας γραμμής π.χ. η διάταξη Ia (ABC | ABC) με την διάταξη Ic' (CBA | CBA) έχουν τη συνάρτηση της μαγνητικής επαγωγής ως προς την απόσταση x άρτια $f(x)=f(-x)$. Αυτό ερμηνεύεται ως εξής: Έχοντας π.χ. τη διάταξη Ia (ABC | ABC) και ξεκινώντας τη διαδικασία των υπολογισμών από τα αριστερά προς τα δεξιά προκύπτει μια συνάρτηση $f(x)$ για την

μαγνητική επαγωγή. Αν για την ίδια διάταξη Ia (ABC | ABC) υπολογισθεί με αντίθετη φορά (από δεξιά προς τα αριστερά) προκύπτει η συνάρτηση $f'(x)$ η οποία ισούται με $f(-x)$. Εάν οδεύσουμε από δεξιά προς τα αριστερά την διάταξη Ia (ABC | ABC) τότε παρατηρούμε ότι εμφανίζεται ως προς την πορεία όδευσης, η διάταξη Ic' (CBA | CBA). Άρα η $f_{ABC\ ABC}(x) = f_{CBA\ CBA}(-x)$ όμως επειδή οι διατάξεις της ίδιας γραμμής δημιουργούν την ίδια μαγνητική επαγωγή δηλαδή $f_{ABC\ ABC}(x) = f_{CBA\ CBA}(x)$ τότε $f_{ABC\ ABC}(x) = f_{ABC\ ABC}(-x) = f_{CBA\ CBA}(x) = f_{CBA\ CBA}(-x)$. Δηλαδή η συναρτήσεις της μαγνητικής επαγωγής είναι άρτιες. Από τον πίνακα 5.9 προκύπτει ότι οι διατάξεις των ομάδων I, II, III και VI έχουν ως συμμετρικές διατάξεις, διατάξεις των ιδίων ομάδων (π.χ. Ia με Ic') και έτσι οι ομάδες αυτές έχουν άρτιες την συνάρτηση της μαγνητικής επαγωγής τους. Αν η μέγιστη τιμή των άρτιων συναρτήσεων είναι μοναδικό σημείο τότε θα βρίσκεται στην αρχή των αξόνων. Αν η μέγιστη τιμή δεν βρίσκεται στην αρχή των αξόνων τότε θα υπάρχουν δύο σημεία με την ίδια τιμή σε θέσεις αντιδιαμετρικές ως προς τον άξονα μετρήσεων. Οι ομάδες των διατάξεων IV και V που έχουν συμμετρία μεταξύ τους (π.χ. IVa με Vb) έχουν της συναρτήσεις της μαγνητικής τους επαγωγής: $f_{IV}(x) = f_{V}(-x)$. Οι συναρτήσεις αυτές θα έχουν τις ίδιες τιμές σε θέσεις αντιδιαμετρικές ως προς τον άξονα της γεωμετρικής διάταξης.

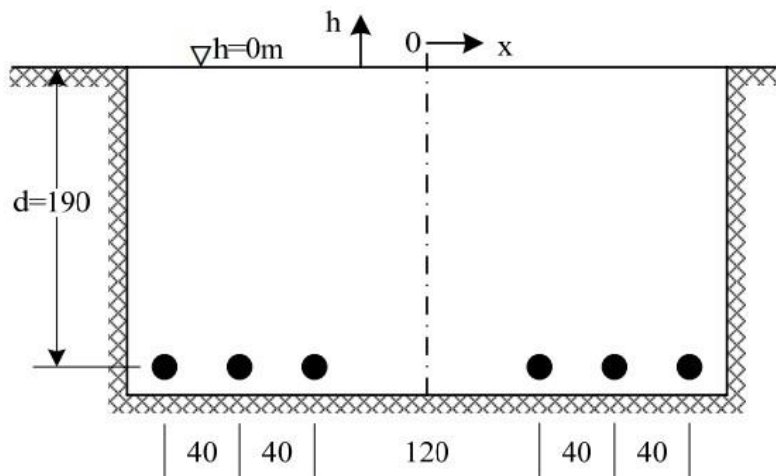
Η εικόνα 5.10 δείχνει τη μαγνητική επαγωγή των έξι δυνατών διατάξεων των φάσεων στο περιβάλλον των καλωδίων 150kV, ως συνάρτηση της απόστασης x από το γεωμετρικό άξονα της διάταξης της εικόνας 5.8 για ύψος $h=1m$ από το επίπεδο του εδάφους και για ονομαστική ένταση $I=770A$ ανά φάση και κύκλωμα. Όπως φαίνεται στο σχήμα 5.10, με τις βέλτιστες διατάξεις (VI) επιτυγχάνεται όχι μόνο η μείωση της μέγιστης τιμής της μαγνητικής επαγωγής αλλά και η μέγιστη μείωση της μαγνητικής επαγωγής, σε σχέση με της άλλες διατάξεις (I, II, III, IV, V), σε ολόκληρη την περιοχή του άξονα x .



Εικόνα 5.10 : Η μαγνητική επαγωγή B σε ύψος $h=1\text{m}$ από το έδαφος ως συνάρτηση της απόστασης x από τον άξονα της διάταξης του σχήματος 5.8 με παράμετρο τη διάταξη των φάσεων. Βάθος εγκατάστασης $d=1,65\text{m}$, $I=770\text{A}$

5.3.2 Καλώδια 400kV

Η εικόνα 5.11 δείχνει τη διάταξη έξι μονοπολικών καλωδίων 400kV τα οποία απαρτίζουν δύο τριφασικά συστήματα σε ένα επίπεδο. Στο σχήμα δίδονται οι αποστάσεις μεταξύ των καλωδίων και το βάθος εγκαταστάσεως τους, που απαιτούνται για τον υπολογισμό της μαγνητικής επαγωγής.



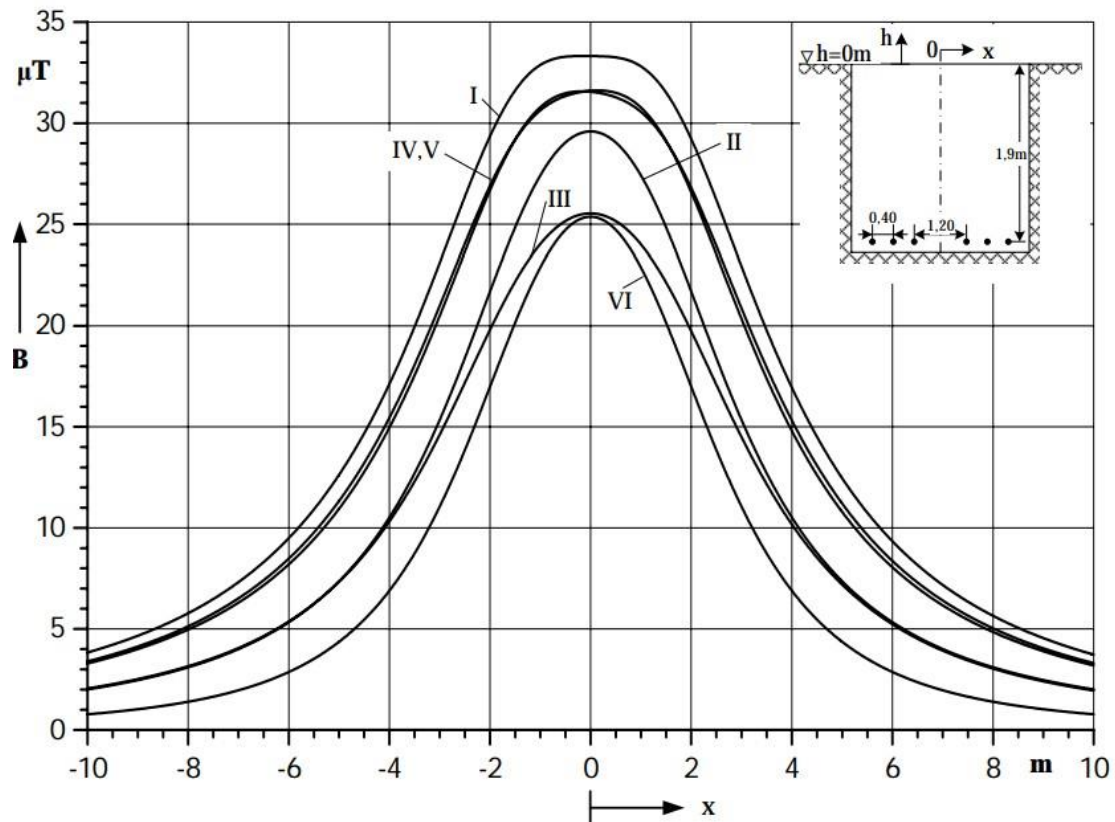
Εικόνα 5.11 : Διάταξη των καλωδίων 400kV σε ένα επίπεδο. Διαστάσεις σε cm

Ο πίνακας 5.12 παρουσιάζει τις ομάδες των φάσεων των καλωδίων που προκύπτουν με τον ίδιο τρόπο που προέκυψαν οι ομάδες του πίνακα 5.9. Η τελευταία στήλη του πίνακα 5.12 απεικονίζει τις μέγιστες τιμές της μαγνητικής επαγωγής για κάθε ομάδα σε ύψος υπολογισμού $h=1\text{m}$ από το έδαφος και για ένταση $I=1443\text{A}$ ανά φάση και κύκλωμα. Από τον πίνακα 5.12 παρατηρείται όπως και για τα 150kV, ότι οι διατάξεις της γραμμής V προκαλούν την ίδια μέγιστη τιμή της μαγνητικής επαγωγής με τις διατάξεις της γραμμής IV. Προκύπτουν έτσι 5 ανεξάρτητες ομάδες διατάξεων ως προς την μέγιστη τιμή της μαγνητικής επαγωγής.

	a	b	c	a'	b'	c'	B_{1m}
I	ABC ABC	BCA BCA	CAB CAB	ACB ACB	BAC BAC	CBA CBA	33,3 μT
II	ABC BCA	BCA CAB	CAB ABC	ACB CBA	BAC ACB	CBA BAC	29,6 μT
III	ABC CAB	BCA ABC	CAB BCA	ACB BAC	BAC CBA	CBA ACB	25,5 μT
IV	ABC ACB	BCA BAC	CAB CBA	ACB ABC	BAC BCA	CBA CAB	31,6 μT
V	ABC BAC	BCA CBA	CAB ACB	ACB CAB	BAC ABC	CBA BCA	31,6 μT
VI	ABC CBA	BCA ACB	CAB BAC	ACB BCA	BAC CAB	CBA ABC	25,4 μT

Πίνακας 5.12 : Δυνατές διατάξεις των φάσεων. B_{1m} : Μαγνητική επαγωγή B σε ύψος 1m.

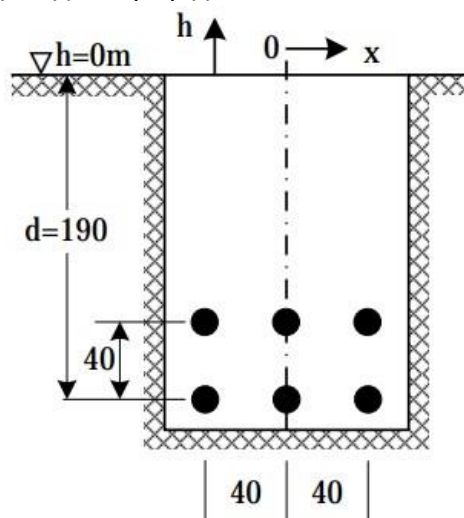
Η εικόνα 5.13 δείχνει την μαγνητική επαγωγή των έξι ομάδων ως συνάρτηση της απόστασης x από το γεωμετρικό άξονα της διάταξης της εικόνας 5.11 σε ύψος $h=1\text{m}$ από το επίπεδο του εδάφους και για την ονομαστική ένταση $I=1443\text{A}$ ανά φάση και κύκλωμα. Όπως φαίνεται στην εικόνα 5.13, όμοια με τα καλώδια 150kV (σχήμα 5.10), οι βέλτιστες διατάξεις (VI) επιτυγχάνουν όχι μόνο η μείωση της μέγιστης τιμής της μαγνητικής επαγωγής αλλά και τη μέγιστη μείωση του πεδίου σε σχέση με τις άλλες διατάξεις I, II, III, IV, V σε όλο το περιβάλλον των καλωδίων 400kV. Συγκρίνοντας την εικόνα 5.10 με την εικόνα 5.13 παρατηρείται ότι οι ομάδες των διατάξεων παραμένουν από πλευράς πεδίων ίδιες. Το συμπέρασμα αυτό επαληθεύτηκε και από την παραμετρική διερεύνηση των αποστάσεων των καλωδίων που έγινε στα καλώδια 150kV



Εικόνα 5.13 : Η μαγνητική επαγωγή B σε ύψος $h=1\text{m}$ από το έδαφος ως συνάρτηση της απόστασης x από τον άξονα της διάταξης με παράμετρο τη διάταξη των φάσεων του πίνακα 4-4. Βάθος εγκατάστασης $d=1,9\text{m}$

5.3.3 Οριζόντια διάταξη καλωδίων 400kV σε δύο επίπεδα

Η εικόνα 5.14 δείχνει τη διάταξη των έξι καλωδίων 400kV σε δύο επίπεδα, τα οποία απαρτίζουν δύο τριφασικά κυκλώματα. Στο σχήμα δίδονται οι αποστάσεις μεταξύ των καλωδίων και το βάθος εγκαταστάσεως τους, που απαιτούνται για τον υπολογισμό της μαγνητικής επαγωγής.



Εικόνα 5.14 : Οριζόντια διάταξη καλωδίων 400kV σε δύο επίπεδα. Διαστάσεις σε cm

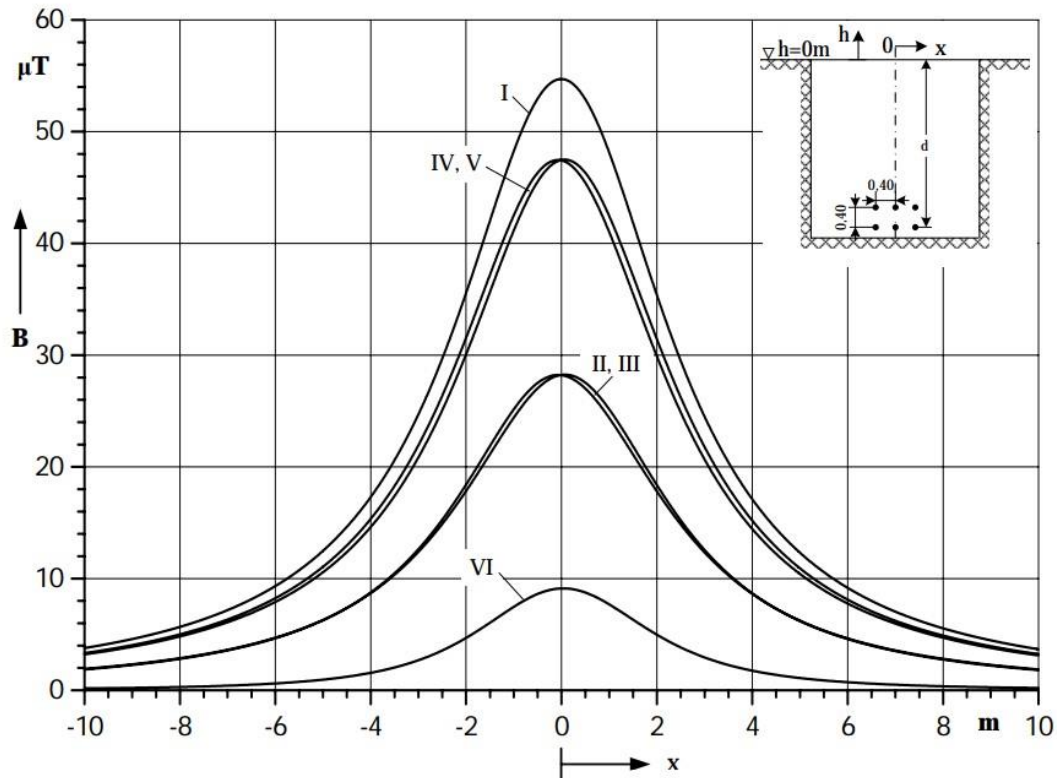
Οι δυνατές διαφορετικές διατάξεις των φάσεων των μονοπολικών καλωδίων των δύο τριφασικών συστημάτων σε δύο επίπεδα, χωρίς εμπλοκή των δύο συστημάτων, είναι 36 και φαίνονται στον πίνακα 5.15. Οι έξι διατάξεις κάθε γραμμής του πίνακα 5.15, π.χ. Ia έως Ic', προκαλούν την ίδια μαγνητική επαγωγή, ενώ οι διατάξεις των διαφορετικών γραμμών του πίνακα, γραμμές I, II, IV και VI προκαλούν διαφορετικά μαγνητικά πεδία. Οι διατάξεις της γραμμής II προκαλούν την ίδια μέγιστη τιμή της μαγνητικής επαγωγής με τις διατάξεις της γραμμής III και οι διατάξεις της γραμμής IV προκαλούν την ίδια μέγιστη τιμή της μαγνητικής επαγωγής με τις διατάξεις της γραμμής V. Προκύπτουν έτσι 4 ανεξάρτητες ομάδες διατάξεων ως προς την μέγιστη τιμή της μαγνητικής επαγωγής. Ο περιορισμός των 36 διατάξεων σε 4 ανεξάρτητες διατάξεις οφείλεται στην κυκλική συμμετρία των εντάσεων και στην αξονική γεωμετρική συμμετρία των δύο συστημάτων. Οι διατάξεις των φάσεων των καλωδίων του πίνακα 5.15 προκύπτουν με την ίδια διαδικασία που προέκυψαν οι διατάξεις των φάσεων των καλωδίων της οριζόντιας διάταξης ενός επιπέδου, του πίνακα 5.9. Στην τελευταία στήλη του πίνακα 5.15 δίδονται χαρακτηριστικές μέγιστες τιμές της μαγνητικής επαγωγής σε ύψος $h=1\text{m}$ από το έδαφος για ονομαστική ένταση $I=1443\text{A}$ στο κάθε μονοπολικό καλώδιο (1000MVA ανά σύστημα). Οι διατάξεις της γραμμής I, με ίδια διάταξη των φάσεων και στα δύο συστήματα, A B C / A B C ή B C A / B C A κτλ, οδηγούν στις μέγιστες τιμές της μαγνητικής επαγωγής. Οι διατάξεις της γραμμής VI, διατάξεις των φάσεων συμμετρικά ως προς τον γεωμετρικό άξονα των δύο συστημάτων, A B C / C B A ή B C A / A C B κτλ, οδηγούν στις ελάχιστες τιμές της μαγνητικής επαγωγής. Οι διατάξεις αυτές είναι οι βέλτιστες διατάξεις. Όπως φαίνεται στον πίνακα 5.15, με τις βέλτιστες διατάξεις επιτυγχάνεται η δραστική μείωση των μέγιστων τιμών της μαγνητικής επαγωγής.

	a	b	c	a'	b'	c'	B _{1m}
I	ABC ABC	BCA BCA	CAB CAB	ACB ACB	BAC BAC	CBA CBA	54,7 μT
II	ABC BCA	BCA CAB	CAB ABC	ACB CBA	BAC ACB	CBA BAC	28,2 μT
III	ABC CAB	BCA ABC	CAB BCA	ACB BAC	BAC CBA	CBA ACB	28,2 μT
IV	ABC ACB	BCA BAC	CAB CBA	ACB ABC	BAC BCA	CBA CAB	47,5 μT
V	ABC BAC	BCA CBA	CAB ACB	ACB CAB	BAC ABC	CBA BCA	47,5 μT
VI	ABC CBA	BCA ACB	CAB BAC	ACB BCA	BAC CAB	CBA ABC	9,12 μT

Πίνακας 5.15 : Δυνατές διατάξεις των φάσεων καλωδίων 400kV. B_{1m}: Μαγνητική επαγωγή B σε ύψος 1m από το έδαφος με βάθος εκκαφής d=1,65m με ένταση I=1443A ανά φάση και κύκλωμα.

Από τον πίνακα 5.15 παρατηρείται ότι οι διατάξεις (II) με (III) και οι διατάξεις (IV) με (V) έχουν την ίδια μέγιστη τιμή της μαγνητικής επαγωγής παρόλο ότι είναι ξεχωριστές διατάξεις. Το φαινόμενο αυτό ερμηνεύεται με τον ίδιο τρόπο με τον τρόπο που ερμηνεύτηκε στην περίπτωση της οριζόντιας διάταξης ενός επιπέδου. Η εικόνα 5.16 παρουσιάζει τη μαγνητική επαγωγή των 6 δυνατών ομάδων διατάξεων των φάσεων στο περιβάλλον των καλωδίων 400kV, ως συνάρτηση της απόστασης x από το γεωμετρικό άξονα της διάταξης της εικόνας 5.14 για ύψος υπολογισμού h=1m από την επιφάνεια του εδάφους και για ονομαστική ένταση I=1443A ανά φάση και κύκλωμα.

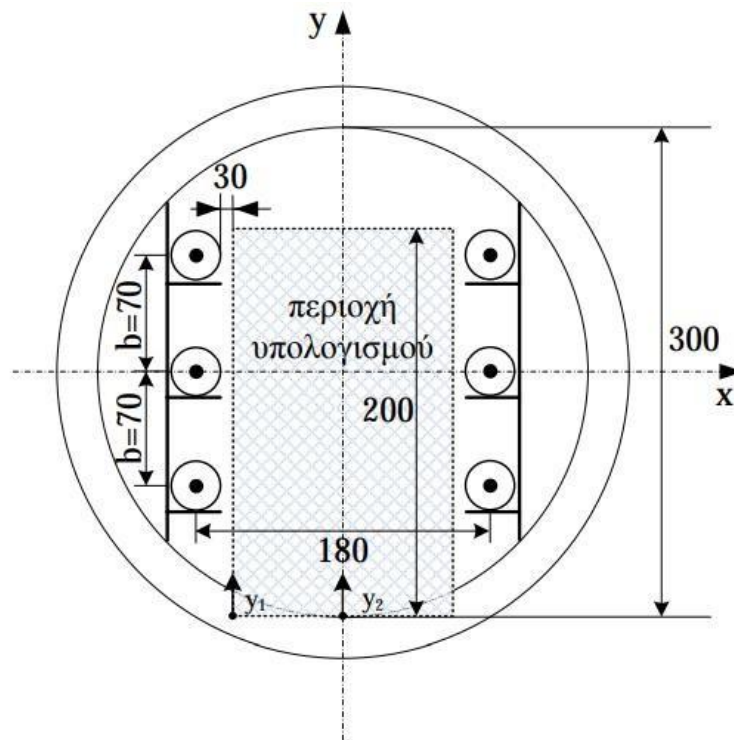
Από την εικόνα 5.16 παρατηρείται ότι η εφαρμογή της βέλτιστης διάταξης επιφέρει δραστική μείωση της μαγνητικής επαγωγής σε όλο το περιβάλλον των καλωδίων σε σχέση με οποιαδήποτε άλλη διάταξη των φάσεων.



Εικόνα 5.16 : Η μαγνητική επαγωγή B σε ύψος $h=1\text{m}$ από το έδαφος ως συνάρτηση της απόστασης x από τον άξονα της διάταξης με παράμετρο τη διάταξη των φάσεων του πίνακα 5.15. Βάθος εγκατάστασης $d=1,9\text{m}$

5.3.4 Καλώδια 150kV σε σήραγγα

Η εικόνα 5.17 δείχνει τα έξι μονοπολικά καλώδια 150kV σε σήραγγα. Τα καλώδια απαρτίζουν δύο τριφασικά συστήματα και θεωρούνται ευθύγραμμα χωρίς βέλος κάμψης και παράλληλα μεταξύ τους. Οι υπολογισμοί της μαγνητικής επαγωγής, έγιναν στο εσωτερικό της σήραγγας, σε θέσεις προσιτές στους εργαζόμενους (σε αποστάσεις μέχρι και 30cm από τα καλώδια και σε ύψος από 0m έως 2m από την κάτω επιφάνεια της σήραγγας). Η μαγνητική επαγωγή σε θέσεις προσιτές στο κοινό (στην επιφάνεια του εδάφους) λόγω του μεγάλου βάθους της σήραγγας είναι πρακτικά μηδενική και δεν υπολογίζεται. Οι υπολογισμοί έγιναν με ένταση $I=770\text{A}$ ανά φάση και κύκλωμα



Εικόνα 5.17 : Καλώδια 150kV σε σήραγγα. Διαστάσεις σε cm

Οι δυνατές διαφορετικές διατάξεις των φάσεων των μονοπολικών καλωδίων των δύο τριφασικών συστημάτων σε τούνελ, χωρίς εμπλοκή των δύο συστημάτων, είναι 36 και φαίνονται στον πίνακα 5.18. Οι 6 διατάξεις κάθε γραμμής του πίνακα 5.18, π.χ. Ia έως Ic', προκαλούν την ίδια μαγνητική επαγωγή, ενώ οι διατάξεις των διαφορετικών γραμμών του πίνακα προκαλούν διαφορετικά μαγνητικά πεδία. Οι διατάξεις της γραμμής II προκαλούν το ίδιο μέγιστο πεδίο με τις διατάξεις τις γραμμής III στις θέσεις προσιτές στους εργαζομένους και οι διατάξεις της γραμμής IV προκαλούν το ίδιο μέγιστο πεδίο με τις διατάξεις τις γραμμής V στις θέσεις προσιτές στους εργαζομένους. Οι μέγιστες τιμές της μαγνητικής επαγωγής που υπολογίσθηκαν βρέθηκαν πλησίον των καλωδίων (σε απόσταση 30cm από αυτά) για όλες τις δυνατές διατάξεις των φάσεων. Οι διατάξεις των φάσεων των καλωδίων του πίνακα 5.18 προκύπτουν με την ίδια διαδικασία που προέκυψαν οι διατάξεις των φάσεων των καλωδίων, των πινάκων 5.9 και 5.15. Στις δύο τελευταίες στήλες του πίνακα 5.18 δίδονται οι μέγιστες τιμές της μαγνητικής επαγωγής B_{y1} κατά μήκος των αξόνων y_1 (σε απόσταση 30cm από τα καλώδια) και B_{y2} (στο κέντρο της σήραγγας), με ονομαστική ένταση 770A στο κάθε μονοπολικό καλώδιο, για ύψος υπολογισμού από 0m έως 2m από την βάση του τούνελ όπως φαίνεται στην εικόνα 5.17

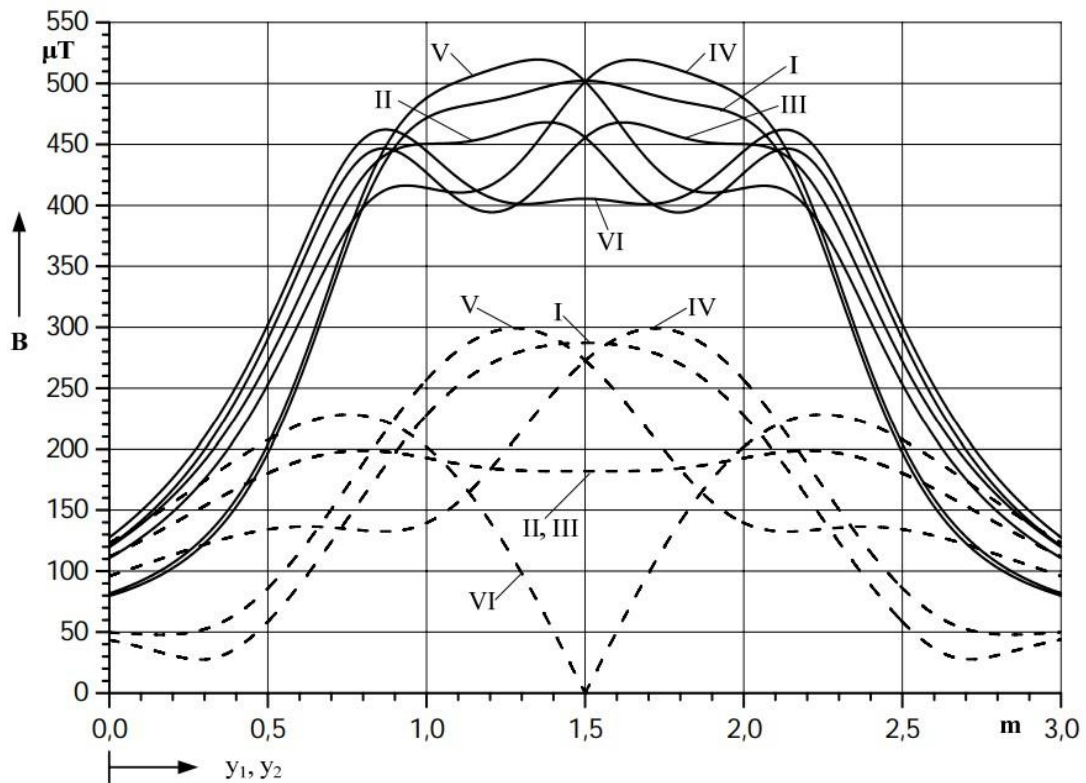
	a	b	c	a'	b'	c'	B_{y1}	B_{y2}
I	A A B B C C	B B C C A A	C C A A B B	A A C C B B	B B A A C C	C C B B A A	502 μ T	287 μ T
II	A B B C C A	B C C A A B	C A A B B C	A C C B B A	B A A C C B	C B B A A C	468 μ T	199 μ T
III	A C B A C B	B A C B A C	C B A C B A	A B C A B C	B C A B C A	C A B C A B	468 μ T	199 μ T
IV	A A B C C B	B B C A A C	C C A B B A	A A C B B C	B B A C C A	C C B A A B	520 μ T	299 μ T
V	A B B A C C	B C C B A A	C A A C B B	A C C A B B	B A A B C C	C B B C A A	520 μ T	299 μ T
VI	A C B B C A	B A C C A B	C B A A B C	A B C C B A	B C A A C B	C A B B A C	462 μ T	228 μ T

Πίνακας 5.18 : Δυνατές διατάξεις των φάσεων καλωδίων 150kV και μέγιστες τιμές της μαγνητικής επαγωγής για ένταση $I=770A$ ανά φάση και κύκλωμα.

B_{y1} : Μέγιστη τιμή της μαγνητικής επαγωγής B σε ύψος 0m έως 2m κατά μήκος του άξονα γ_1 .

B_{y2} : Μέγιστη τιμή της μαγνητικής επαγωγής B σε ύψος 0m έως 2m κατά μήκος του άξονα γ_2

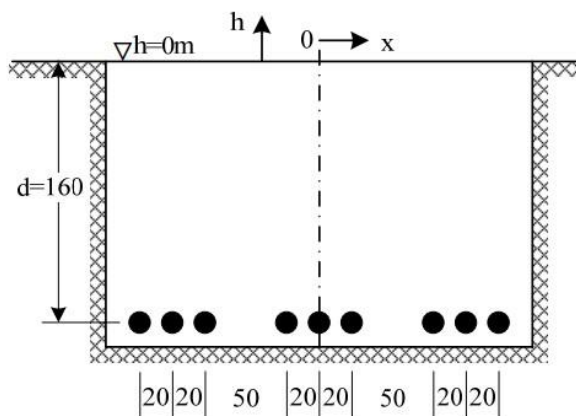
Οι διατάξεις των γραμμών IV και V οδηγούν στις μέγιστες τιμές της μαγνητικής επαγωγής (χειρίστες διατάξεις). Κατά μήκος του άξονα γ_1 εμφανίζονται μεγαλύτερες τιμές της μαγνητικής επαγωγής σε σχέση με τις τιμές στον άξονα γ_2 . Οι διατάξεις της γραμμής VI οδηγούν στις ελάχιστες τιμές της μαγνητικής επαγωγής κατά μήκος του άξονα γ_1 (βέλτιστες διατάξεις). Το σχήμα 5.19 δείχνει τη μαγνητική επαγωγή των 6 ανεξάρτητων ομάδων διατάξεων των φάσεων κατά μήκος των αξόνων γ_1 και γ_2 . Από το σχήμα 5.19 και τον πίνακα 5.18 προκύπτει ότι με την βέλτιστη διάταξη VI η μείωση της μαγνητικής επαγωγής είναι σχετικά μικρή (κατά 11% έναντι της τιμής της χειρίστης διάταξης). Για τα δεδομένα που προαναφέρθηκαν, η τιμή $B_{y1}=462 \mu T$ για την βέλτιστη διάταξη προσεγγίζει το επιτρεπόμενο όριο των 500 μT για την επαγγελματική απασχόληση.



Εικόνα 5.19 : Μαγνητική επαγωγή B κατά μήκος των αξόνων γ_1 και γ_2 όπως φαίνονται στο σχήμα 5,17, με παράμετρο τη διάταξη των φάσεων του πίνακα 5.18. $I=770A$. ----- άξονας γ_2
 _____ άξονας γ_1

5.3.5 Οριζόντια διάταξη τριών συστημάτων σε ένα επίπεδο

Η εικόνα 5.20 δείχνει τη διάταξη εννέα καλωδίων 150kV σε ένα επίπεδο, τα οποία απαρτίζουν τρία τριφασικά κυκλώματα. Στο σχήμα δίδονται οι αποστάσεις μεταξύ των καλωδίων και το βάθος εγκαταστάσεώς τους, που απαιτούνται για τον υπολογισμό της μαγνητικής επαγωγής



Εικόνα 5.20 : Διάταξη των καλωδίων 150kV σε ένα επίπεδο. Διαστάσεις σε cm.

Οι δυνατές διαφορετικές διατάξεις των φάσεων των μονοπολικών καλωδίων των τριών τριφασικών συστημάτων, χωρίς εμπλοκή των τριών συστημάτων, είναι $6^3 = 216$. Οι 216 διατάξεις ομαδοποιούνται σε ομάδες των 6 διατάξεων. Η κάθε ομάδα προκύπτει με τον ίδιο τρόπο όπως και οι ομάδες της κάθε γραμμής για τα δύο οριζόντια συστήματα. Από τις 36 ομάδες διατάξεων προκύπτουν ως προς την μέγιστη τιμή της μαγνητικής επαγωγής, λόγω συμμετρίας ορισμένων ομάδων, 21 ανεξάρτητες ομάδες. Ο πίνακας 5.21 δείχνει τις 216 δυνατές διατάξεις των φάσεων. Η παρουσίαση των διατάξεων γίνεται με αριθμούς. Ο αριθμός 1 αντιστοιχεί στην διάταξη ABC, ο αριθμός 2 στην διάταξη BCA, ο αριθμός 3 στην διάταξη CAB, ο αριθμός 4 στην διάταξη ACB, ο αριθμός 5 στην διάταξη BAC και ο αριθμός 6 στην διάταξη CBA. Ο αριθμός π.χ. 111 αντιστοιχεί στην διάταξη ABC ABC ABC, ενώ ο αριθμός 161 στην διάταξη ABC CBA ABC. Στην τελευταία στήλη του πίνακα 5.21 δίνεται η μέγιστη τιμή της μαγνητικής επαγωγής για την συγκεκριμένη ομάδα, για ένταση 770A ανά μονοπολικό καλώδιο και για ύψος υπολογισμού $h=1\text{m}$ από το έδαφος. Με έντονη γραφή απεικονίζονται οι βέλτιστες διατάξεις. Από τις 36 ανεξάρτητες ομάδες διατάξεων 15 ομάδες έχουν τις ίδιες μέγιστες τιμές της μαγνητικής επαγωγής αλλά σε άλλες θέσεις (αξονικά συμμετρικές ως προς τον άξονα της συνολικής διάταξης). Αυτό εξηγεί την επανάληψη των 15 τιμών στην τελευταία στήλη του πίνακα 5.21.

a/α	a	b	c	a'	b'	c'	B _{1m}
(1)	111	222	333	444	555	666	18,3 μT
(2)	112	223	331	446	554	665	13,8 μT
(3)	113	221	332	445	556	664	13,0 μT
(4)	114	225	336	441	552	663	16,9 μT
(5)	115	226	334	443	551	662	16,8 μT
(6)	116	224	335	442	553	661	11,3 μT
(7)	121	232	313	464	545	656	9,65 μT
(8)	122	233	311	466	544	655	13,8 μT
(9)	123	231	312	465	546	654	7,65 μT
(10)	124	235	316	461	542	653	6,97 μT
(11)	125	236	314	463	541	652	13,0 μT
(12)	126	234	315	462	543	651	11,3 μT
(13)	131	212	323	454	565	646	9,65 μT
(14)	132	213	321	456	564	645	6,99 μT
(15)	133	211	322	455	566	644	13,0 μT
(16)	134	215	326	451	562	643	12,6 μT
(17)	135	216	324	453	561	642	6,23 μT
(18)	136	214	325	452	563	641	10,9 μT
(19)	141	252	363	414	525	636	16,0 μT
(20)	142	253	361	416	524	635	10,2 μT
(21)	143	251	362	415	526	634	14,5 μT
(22)	144	255	366	411	522	633	16,8 μT
(23)	145	256	364	413	521	632	12,6 μT
(24)	146	254	365	412	523	631	11,3 μT
(25)	151	262	343	434	515	626	16,0 μT
(26)	152	263	341	436	514	625	15,0 μT
(27)	153	261	342	435	516	624	9,70 μT
(28)	154	265	346	431	512	623	13,0 μT
(29)	155	266	344	433	511	622	16,9 μT
(30)	156	264	345	432	513	621	10,9 μT
(31)	161	242	353	424	535	616	46,3 μT
(32)	162	243	351	426	534	615	10,2 μT
(33)	163	241	352	425	536	614	9,70 μT
(34)	164	245	356	421	532	613	6,23 μT
(35)	165	246	354	423	531	612	6,97 μT
(36)	166	244	355	422	533	611	11,3 μT

Πίνακας 5.21 : Ακολουθίες φάσεων μονοπολικών καλωδίων τριών τριφασικών συστημάτων σε επίπεδη διάταξη.

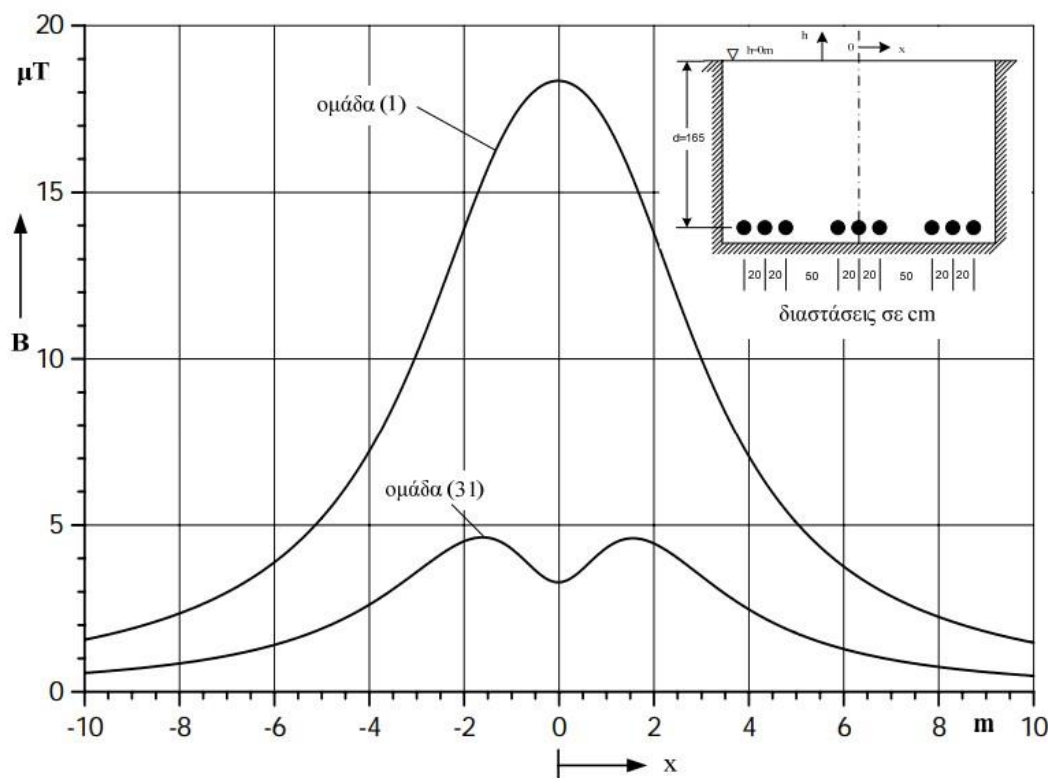
B_{1m}: Μέγιστη τιμή της μαγνητικής επαγωγής B σε ύψος h=1m από την επιφάνεια του εδάφους.

Βάθος εγκατάστασης d=1,65m, ένταση I=770A ανά φάση και κύκλωμα.

Ακολουθίες φάσεων: 1 ->ABC, 2-> BCA, 3-> CAB, 4->ACB, 5->BAC και 6-> CBA

Το σχήμα 5.22 απεικονίζει τη βέλτιστη και τη χειρίστη ομάδα. Η ομάδα με την μεγαλύτερη μέγιστη τιμή της μαγνητικής επαγωγής είναι η ομάδα (1) και η ομάδα με την μικρότερη μέγιστη τιμή της μαγνητικής επαγωγής η ομάδα (31). Από την

σύγκριση των πινάκων 5.21 και 5.9 προκύπτει ότι τα τρία τριφασικά συστήματα δεν προκαλούν πρακτικά αλλαγή της μέγιστης τιμής της μαγνητικής επαγωγής έναντι των δύο συστημάτων όταν εφαρμόζονται οι βέλτιστες διατάξεις (4,63μΤ έναντι 4,74μΤ). Για τις χειρίστες όμως διατάξεις τα τρία συστήματα προκαλούν σημαντική αύξηση της μαγνητικής επαγωγής έναντι των δύο συστημάτων (18,3μΤ έναντι 13,9μΤ).



Εικόνα 5.22 : Η μαγνητική επαγωγή B της βέλτιστης (31) και χειρίστης διάταξης (1) σε ύψος $h=1\text{m}$ από το έδαφος ως συνάρτηση της απόσταση x από τον άξονα της διάταξης του σχήματος 5.20. Ένταση 770 A ανά φάση και κύκλωμα

5.3.6 Περισσότερα από τρία τριφασικά συστήματα σε οριζόντια διάταξη ενός επιπέδου

Οι διατάξεις των φάσεων των μονοπολικών καλωδίων για 4 τριφασικά συστήματα, χωρίς εμπλοκή των τεσσάρων συστημάτων, είναι $64 = 1296$. Οι 1296 διατάξεις ομαδοποιούνται σε ομάδες των 6 διατάξεων που δημιουργούν το ίδιο πεδίο έτσι προκύπτουν $63 = 216$ ανεξάρτητες ομάδες διατάξεων. Γενικά ισχύει ότι για οποιοδήποτε αριθμό n τριφασικών συστημάτων χωρίς την εμπλοκή των n συστημάτων μεταξύ τους, υπάρχουν $6n$ δυνατές διατάξεις των φάσεων από τις οποίες προκύπτουν $6n-1$ ανεξάρτητες ομάδες διατάξεων. Η εικόνα 5.23 απεικονίζει την μαγνητική επαγωγή των βέλτιστων και χειρίστων διατάξεων για τέσσερα τριφασικά συστήματα σε ένα επίπεδο. Οι υπολογισμοί έγιναν για $b=20\text{cm}$, $c=50\text{cm}$

και $d=165\text{cm}$. Στο σχήμα φαίνονται επίσης η ομάδα με τις 6 βέλτιστες διατάξεις και η ομάδα με τις 6 χειρίστες διατάξεις.

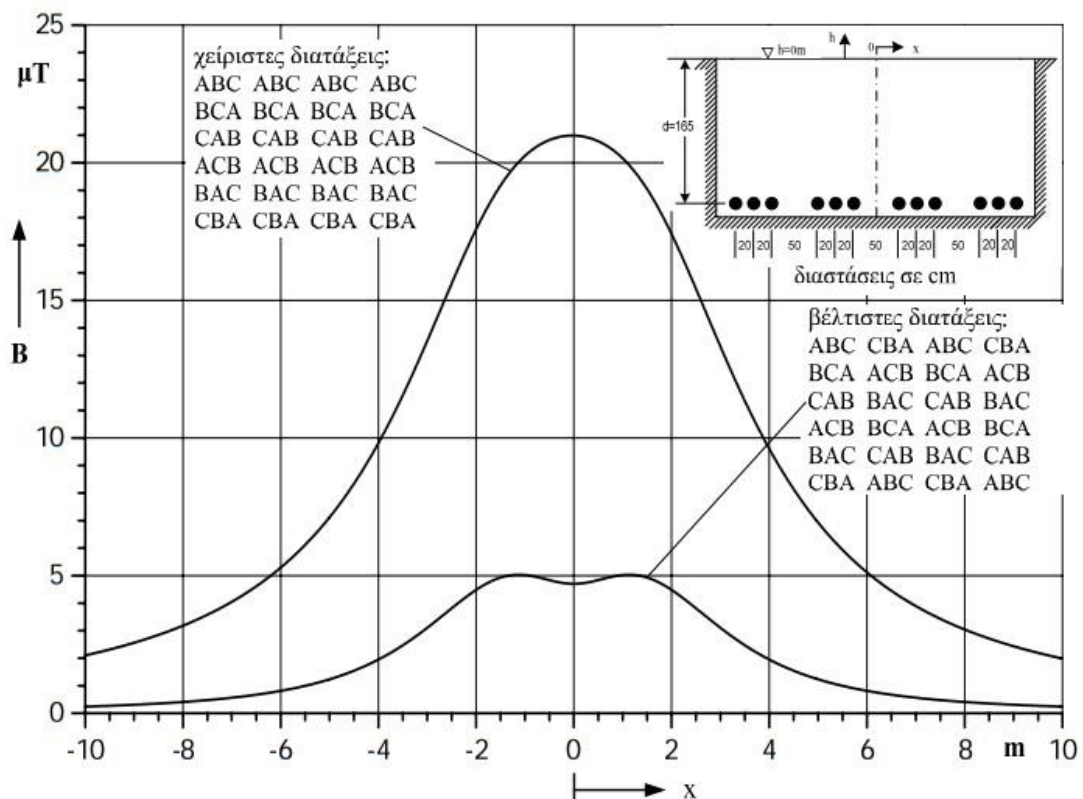
Με βάση τη διάταξη των φάσεων ενός συστήματος ABC προκύπτουν οι ακόλουθες βέλτιστες διατάξεις:

α) Προσθήκη νέων συστημάτων αριστερά

- ένα σύστημα: ABC
- δύο συστήματα: ABC CBA
- τρία συστήματα: ABC CBA ABC
- τέσσερα συστήματα: ABC CBA ABC CBA - πέντε συστήματα: ABC CBA ABC CBA ABC

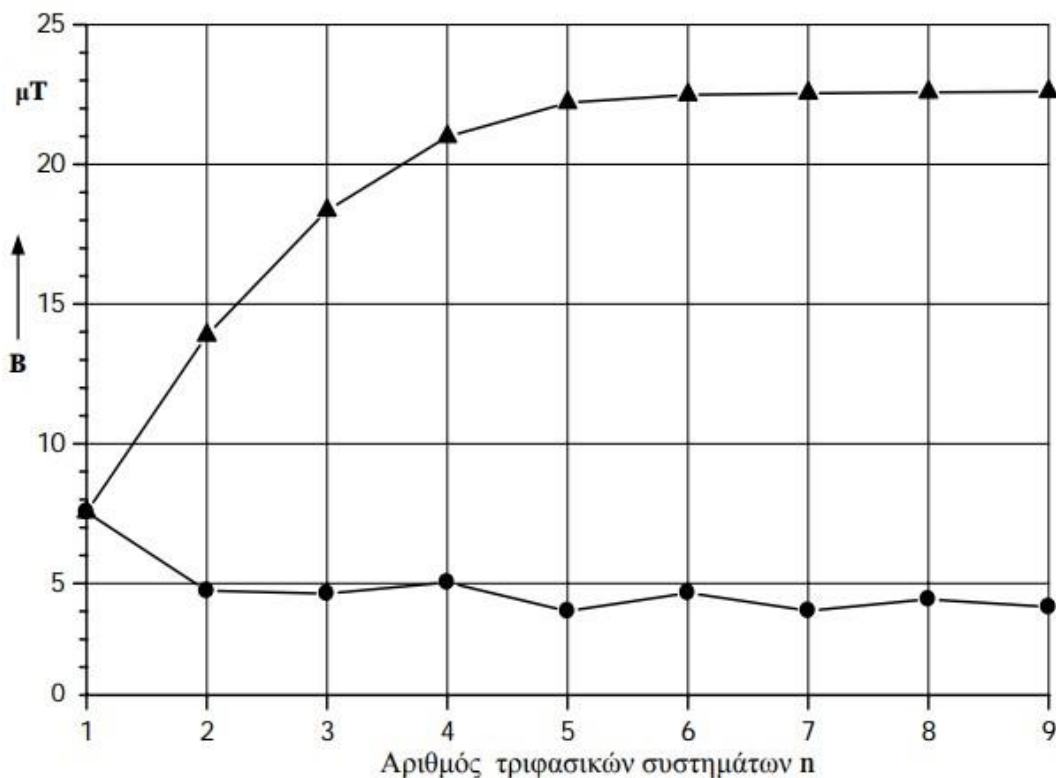
β) Προσθήκη νέων συστημάτων δεξιά

- ένα σύστημα: ABC
- δύο συστήματα: CBA ABC
- τρία συστήματα: ABC CBA ABC
- τέσσερα συστήματα: CBA ABC CBA ABC
- πέντε συστήματα: ABC CBA ABC CBA ABC



Εικόνα 5.23 : Η μαγνητική επαγωγή B των βέλτιστων και χειρίστων διατάξεων σε ύψος 1m από το έδαφος ως συνάρτηση της απόστασης x από τον άξονα της διάταξης. Ένταση 770 A ανά φάση και κύκλωμα

Από τα προηγούμενα φαίνεται ο τρόπος σχηματισμού βέλτιστων διατάξεων. Προκύπτει επίσης ότι για την επιτυχία της συνολικά βέλτιστης διάταξης με την προσθήκη ενός νέου συστήματος (bold) δεν απαιτούνται επεμβάσεις στα προϋπάρχοντα συστήματα. Εάν η τελευταία διάταξη του προϋπάρχοντος συστήματος, προς την πλευρά του νέου συστήματος είναι ABC η διάταξη του νέου συστήματος είναι CBA. Αντίστοιχα, το νέο σύστημα έχει την διάταξη ABC αν το γειτονικό προϋπάρχον σύστημα έχει την διάταξη CBA. Η εικόνα 5.24 παρουσιάζει την μέγιστη τιμή της μαγνητικής επαγωγής των χειρίστων και βέλτιστων διατάξεων ως συνάρτηση του αριθμού των τριφασικών κυκλωμάτων n . Παρατηρείται ότι η μέγιστη τιμή της μαγνητικής επαγωγής για τις βέλτιστες διατάξεις κυμαίνεται στο ίδιο επίπεδο τιμών (για $n \geq 2$). Οι χειρίστες διατάξεις παρουσιάζουν όμως εκθετική αύξηση της μέγιστης τιμής της μαγνητικής επαγωγής. Η συσσώρευση περισσότερων συστημάτων με τη βέλτιστη διάταξη δεν προκαλεί πρακτικά αύξηση της μέγιστης τιμής της μαγνητικής επαγωγής έναντι της περίπτωσης των δύο συστημάτων. Η βέλτιστη διάταξη δύο συστημάτων δεν επιφέρει αύξηση της μέγιστης τιμής της μαγνητικής επαγωγής αλλά ουσιαστική μείωση έναντι της περίπτωσης ενός μόνο συστήματος (για τα δεδομένα της εικόνας 5.24, μείωση από 7,56μT σε 4,74μT)



Εικόνα 5.24 : Μέγιστη τιμή της μαγνητικής επαγωγής B των βέλτιστων και χειρίστων διατάξεων, ως συνάρτηση του αριθμού n των τριφασικών συστημάτων. Ένταση 770 A ανά

φάση και κύκλωμα, ύψος υπολογισμού $h=1m$, αποστάσεις, $b=20cm$, $c=50cm$, $d=165cm$

5.3.7 Συμπερασματικά

Στις διατάξεις δύο τριφασικών συστημάτων, χωρίς εμπλοκή των δύο συστημάτων μεταξύ τους, υπάρχουν 36 δυνατές διατάξεις των φάσεων. Οι διατάξεις αυτές ομαδοποιούνται σε ομάδες των 6 διατάξεων που δημιουργούν το ίδιο μαγνητικό πεδίο. Έτσι προκύπτουν 6 ανεξάρτητες ομάδες διατάξεων. Αντίστοιχα, σε διατάξεις τριών τριφασικών συστημάτων, υπάρχουν 216 δυνατές διατάξεις των φάσεων από τις οποίες προκύπτουν 36 ανεξάρτητες ομάδες. Για οποιοδήποτε αριθμό n τριφασικών συστημάτων υπάρχουν $6n$ δυνατές διατάξεις των φάσεων από τις οποίες προκύπτουν $6n-1$ ανεξάρτητες ομάδες διατάξεων. Υπάρχει πάντοτε μια ομάδα 6 διατάξεων των φάσεων (βέλτιστες διατάξεις) που προκαλούν τη μέγιστη μείωση (δραστική μείωση) της μαγνητικής επαγωγής στο σημείο της μέγιστης τιμής της. Οι βέλτιστες διατάξεις των φάσεων προκαλούν επίσης μεγάλη μείωση τις μαγνητικής επαγωγής σε όλο το περιβάλλον των καλωδίων.

Από τις παραμετρικές διερευνήσεις ως προς την διάταξη των φάσεων τυπικών διατάξεων καλωδίων, για δυο, τρία και περισσότερα τριφασικά συστήματα (τα οποία απαρτίζονται από μονοπολικά καλώδια), με σκοπό την μείωση της μαγνητικής επαγωγής στο περιβάλλον των καλωδίων προκύπτουν οι διατάξεις με τις μικρότερες μέγιστες τιμές της μαγνητικής επαγωγής (βέλτιστες διατάξεις). Οι βέλτιστες διατάξεις των φάσεων επαληθεύτηκαν για διάφορα βάθη εγκατάστασης και για διαφορετικές αποστάσεις μεταξύ των καλωδίων και μεταξύ των τριφασικών συστημάτων. Οι βέλτιστες και χειρίστες διατάξεις έχουν την συνάρτηση της μαγνητικής επαγωγής άρτια.

Οι βέλτιστες διατάξεις 3 τριφασικών συστημάτων (για την οριζόντια διάταξη ενός επιπέδου) προκύπτουν από την βέλτιστη διάταξη των 2 τριφασικών συστημάτων (χωρίς να ληφθεί υπόψη το 3ο σύστημα) και κατάλληλης διάταξης των αγωγών του 3ου συστήματος. Αυτό σημαίνει ότι σε περίπτωση προσθήκης 3ου συστήματος σε 2 προϋπάρχοντα συστήματα με τη βέλτιστη διάταξη δεν απαιτείται καμιά αλλαγή στα προϋπάρχοντα συστήματα. Η διαδικασία αυτή ισχύει για n συστήματα.

Η εφαρμογή της βέλτιστης διάταξης των φάσεων καλωδίων μπορεί να εφαρμοσθεί και σε ήδη εγκατεστημένα καλώδια, με οποιονδήποτε αριθμό τριφασικών κυκλωμάτων, με την κατάλληλη εναλλαγή των φάσεων στην αρχή και στο τέλος τους. Για δύο τριφασικά συστήματα π.χ. το ένα σύστημα παραμένει ως έχει και

γίνεται εναλλαγή των φάσεων του δεύτερου συστήματος στην αρχή και στο τέλος του (στους ζυγούς των υποσταθμών).

5.4 Συμπεράσματα

Βέλτιστη διάταξη των αγωγών σε εναέριες γραμμές 400kV

Από τις μετρήσεις και τους υπολογισμούς στο περιβάλλον πραγματικών εναερίων γραμμών 400kV επαληθεύεται η δυνατότητα δραστικής μείωσης των τιμών της έντασης της μαγνητικής επαγωγής με την εφαρμογή της βέλτιστης διάταξης των αγωγών των φάσεων.

Βέλτιστες διατάξεις καλωδίων

Με την εφαρμογή των βέλτιστων διατάξεων επιτυγχάνεται η δραστική μείωση της μαγνητικής επαγωγής στο περιβάλλον καλωδίων εγκατεστημένων σε ένα επίπεδο. Οι βέλτιστες και χειρίστες διατάξεις έχουν την συνάρτηση της μαγνητικής επαγωγής άρτια. Οι βέλτιστες διατάξεις 3 τριφασικών συστημάτων (για την διάταξη σε ένα επίπεδο) προκύπτουν από την βέλτιστη διάταξη των 2 τριφασικών συστημάτων (χωρίς να ληφθεί υπόψη το 3ο σύστημα) και κατάλληλης διάταξης των αγωγών του 3ου συστήματος. Αυτό σημαίνει ότι σε περίπτωση προσθήκης 3ου συστήματος σε 2 προϋπάρχοντα συστήματα με τη βέλτιστη διάταξη δεν απαιτείται καμιά αλλαγή στα προϋπάρχοντα συστήματα. Η διαδικασία αυτή ισχύει για η συστήματα. Η εφαρμογή της βέλτιστης διάταξης των φάσεων καλωδίων μπορεί να εφαρμοσθεί και σε ήδη εγκατεστημένα καλώδια, με κατάλληλες επεμβάσεις στις συνδέσεις στην αρχή και στο τέλος των καλωδίων

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ :

<http://eeae.gr/> <http://www.electronics-tutorials.com/basics/inductance.htm>

Γ. Φιλιππόπουλος: Συμβολή στην ανάλυση του μαγνητικού πεδίου στο περιβάλλον τριφασικών διατάξεων, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Τεχνολογίας Υπολογιστών, Διδακτορική Διατριβή, 2002.

Δ. Τσαλέμης: Ελαχιστοποίηση των μαγνητικών και ηλεκτρικών πεδίων γραμμών μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών, Διδακτορική Διατριβή, 1998.

Tsanakas, D., Tsalemis, D., Agoris, D., Voyatzakis, J.: Optimum arrangements of the phase conductors of overhead transmission lines for the magnetic field minimization, CIGRE Report, 36-101, 1994.

D. Tsanakas, G. Filippopoulos, J. Voyatzakis, G. Kouvarakis: Compact and optimum phase conductor arrangement for the reduction of electric and magnetic fields of overhead lines, CIGRE Report, 36-103, 2000.

Δρ Ευθύμιος Καραμπέτσος. Ηλεκτρομαγνητικά πεδία: Νομοθετικό πλαίσιο, Όρια ασφαλούς έκθεσης του κοινού, Αποτελέσματα ελέγχων

<https://aktinobolia.wordpress.com/2008/07/18/>

ISO/IEC 17025, General requirements for the competence of testing and calibration laboratories <http://www.e-natural.gr/default/text/diafora/eemp.asp>

<http://politis.com.cy/article/ilektromagnitiki-aktinovolia-kindinevi-i-dimosia-igia>

http://www.aktinovolies.gr/index_files/Page642.htm

Οδηγία του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Ευρωπαϊκού Συμβουλίου, Περί των ελαχίστων προδιαγραφών υγείας και ασφάλειας όσον αφορά στην έκθεση των εργαζομένων σε κινδύνους προερχόμενους από φυσικούς παράγοντες (ηλεκτρομαγνητικά πεδία), Οδηγία 2004/40/EK, Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, L159, 30/4/2004.

<http://www.vodafone.gr/portal/resources/media/AboutUs/CorporateResponsibility/>

[WHO What are electromagnetic fields EL.pdf](#)

<http://esperia.iesl.forth.gr/~kafesaki/Modern-Physics/various/emspectrum.html>

International EMF Project, Φύλλο Πρωτοκόλλου No 263: Τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία και η δημόσια υγεία: Εξαιρετικά Χαμηλής Συχνότητας Πεδία & Καρκίνος, Οκτώβριος 2001

Τσανάκας Δ. Το ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο γραμμών και υποσταθμών ηλεκτρικής ενέργειας ως περιβαλλοντικοί παράγοντες, ΤΕΕ – Πανεπιστήμιο Πατρών – Ελληνική Επιτροπή Cigre, 2009

R. Matthes, A.F. McKinlay, J.H. Bernhardt, P. Vecchia, B. Veyret (Eds.). ICNIRP 13/2003: Exposure to static and low frequency electromagnetic fields, biological effects and health consequences. Review of the scientific evidence on dosimetry, biological effects, epidemiological observations, and health consequences concerning exposure to static and low frequency electromagnetic fields (0 – 100 kHz).

http://library.tee.gr/digital/kma/kma_m1354/kma_m1354_drosos.pdf

Tsanakas D, Tsalemis D, Agoris D, Voyazakis J. Optimum arrangements of the phase conductors of overhead transmission lines for the magnetic field minimization. CIGRE Report, 1994

IEC 62110 Ed.1: Measurement Procedures for Electric and Magnetic Field levels Generated by AC Power Systems with Regard to Human Exposure

J. H.Haubrich: Sicherheit im electromagnetischen Umfeld, VDE – Verlag, Berlin – Offenbach, 1990

Τσανάκας Δ, Τσαλέμης Δ. Υπολογισμοί και μετρήσεις ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων εναέριων γραμμών - Αναζήτηση περιβαλλοντικά ορθών λύσεων. ΕΕ CIGRE, Σύνοδος Αθήνα 97.

Τσαλέμης Δ, Τσανάκας Δ, Βογιατζάκης Ι.: Το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο γραμμών 400 kV και 150 kV του ελληνικού συστήματος. ΕΕ CIGRE, Σύνοδος Αθήνα 1995 http://physiclessons.blogspot.com/2013/11/blog-post_927.html#.WxR200iFOUn
<http://www.electrologos.gr/news/221> <https://meygeia.gr/ti-ine-ta-ilektromagnitika-pedia-ke-pos-sas-epireazoun/>

EN 50413 Basic standard on measurement and calculation procedures for human exposure to electric, magnetic and electromagnetic fields (0 Hz - 300 GHz)

Tsalemis D, Tsanakas D, Miliadis – Argitis J, Agoris D. Optimum arrangements of the phase conductors of overhead transmission lines for the electric field minimization. ISH, Montreal, 1997

International Committee for Non -Ionizing Radiation Protection, ICNIRP (2002): “General approach to protection against non -ionizing radiation”, Health Physics 82

International EMF Project, Φύλλο Πρωτοκόλλου No 263: Τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία και η δημόσια υγεία: Εξαιρετικά Χαμηλής Συχνότητας Πεδία & Καρκίνος, Οκτώβριος 2001

Δ. Τσανάκας, Ε. Μίμος, Α. Τζινευράκης, Ν. Τσεκουράς και Ν. Φωτιάδης, “Μετρήσεις και υπολογισμοί ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων γραμμών 400kV κατά τη συμμετρική και βέλτιστη διάταξη των αγωγών των φάσεων”, Σύνοδος Ελληνικής Επιτροπής CIGRE, Αθήνα, 15-16 Δεκεμβρίου 2005. <https://www.home-biology.gr/ilektromagnitikes-aktinovolies/pigeshttps://www.home-biology.gr/ilektromagnitikes-aktinovolies/piges-aktinovolias/kiries-piges-aktinovoliasaktinovolias/kiries-piges-aktinovolias>

D. Tsanakas, E. Mimos, A. Tzinevrakis, “Regulations for protection against electric and magnetic fields and optimum solution for the development of 150kV transmission lines in suburban regions”, WSEAS Transactions on Power Systems, vol. 1, no. 5, pp.780-785, May 2006.

CIGRE TF C4.205: Characterisation of ELF Magnetic Fields, CIGRE Technical Brochure 320, April 2007.

Δ. Τσανάκας, Ε. Μίμος, Α. Τζινευράκης: Μετρήσεις και υπολογισμοί ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων εναερίων γραμμών 400kV διπλού κυκλώματος – Δυνατότητα μείωσης των πεδιακών εντάσεων, Δελτίο Πανελληνίου Συλλόγου Διπλωματούχων Μηχανολόγων-Ηλεκτρολόγων, σελ. 31-35, Οκτώβριος 2007.

<http://eclass.uth.gr/eclass/modules/document/file.php/SEYA163/%CE%92%CE%B9%CE%BF%CE%BB%CE%BF%CE%B3%CE%B9%CE%BA%CE%AE%20%CE%B5%CF%80%CE%AF%CE%B4%CF%81%CE%B1%CF%83%CE%B7%20CF%84%CE%B7%CF%82%20CE%BC%CE%B7-%CE%B9%CE%BF%CE%BD%CF%84%CE%AF%CE%B6%CE%BF%CF%85%CF%83%CE%B1%CF%82%20CE%B1%CE%BA%CF%84%CE%B9%CE%BD%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CE%AF%CE%B1%CF%82%20CE%B5%CF%80%CE%AF%20CF%84%CF%89%CE%BD%20CE%B9%CF%83%CF%84%CF%8E%CE%BD%20http://eclass.uth.gr/eclass/modules/document/file.php/SEYA163/%CE%92%CE%B9%CE%BF%CE%BB%CE%BF%CE%B3%CE%B9%CE%BA%CE%AE%CE%B5%CF%80%CE%AF%CE%B4%CF%81%CE%B1%CF%83%CE%B7%CF%84%CE%B7%CF%82%CE%BC%CE%B7-%CE%B9%CE%BF%CE%BD%CF%84%CE%AF%CE%B6%CE%BF%CF%85%CF%83%CE%B1%CF%82%CE%B1%CE%BA%CF%84%CE%B9%CE%BD%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CE%AF%CE%B1%CF%82%CE%B5%CF%80%CE%AF%CF%84%CF%89%CE%BD%CE%B9%CF%83%CF%84%CF%8E%CE%BD-%CE%9A.%CE%9A%CE%AC%CF%80%CF%80%CE%B1%CF%82.pdf%20CE%9A.%20CE%9A%CE%AC%CF%80%CF%80%CE%B1%CF%82.pdf>

https://eclass.uoa.gr/modules/document/file.php/MED809/%CE%A3%CE%BF%CF%86%CE%AF%CE%B1%20%CE%9A%CF%8C%CF%84%CF%84%CE%BF%CF%85/nonhttps://eclass.uoa.gr/modules/document/file.php/MED809/%CE%A3%CE%BF%CF%86%CE%AF%CE%B1%CE%9A%CF%8C%CF%84%CF%84%CE%BF%CF%85/non-ionizing_Dec2017-short.pdfionizing_Dec2017-short.pdf

Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης: Σύσταση του Συμβουλίου της 12ης Ιουλίου 1999 περί του περιορισμού της έκθεσης του κοινού σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία (0Hz – 300GHz), 1999/519/EK, Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, L199, σελ. 59 – 70, 30/7/1999.

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

http://users.ntua.gr/igonos/2010/Metrologia2010_ELF_71.pdf

L Abramsson-Zetterberg and J Grawé: Extended exposure of adult and fetal mice to 50 Hz magnetic field does not increase the incidence of micronuclei in erythrocytes. *Bioelectromag* 22:351-357, 2001.

JA Heredia-Rojas, DE Cabellero-Hernandez et al: Lack of alterations on meiotic chromosomes and morphological characteristics of male germ cells in mice exposed to a 60 Hz and 2.0 mT magnetic field. *Bioelectromag* 25:63-68, 2004

GA Boorman, DL McCormick et al: Chronic toxicity/oncogenicity evaluation of 60 Hz (power frequency) magnetic fields in F344/N rats. *Toxicol Pathol* 27:267-278, 1999.

JP McNamee, PV Bellier et al: DNA damage and apoptosis in the immature mouse cerebellum after acute exposure to a 1 mT, 60 Hz magnetic field. *Mutat Res* 513:121-133, 2002.