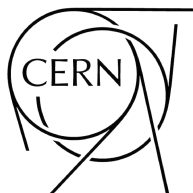




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ



EUROPEAN ORGANIZATION FOR NUCLEAR
RESEARCH
DGS-DI GROUP

Μετρήσεις Ηλεκτρικού και Μαγνητικού Πεδίου στο CERN

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αθανάσιος Ι. Κυρίτσης

Επιβλέπων στο ΕΜΠ:

Ιωάννης Φ. Γκόνος

Λέκτορας ΕΜΠ

Supervisor at CERN:

Dr. Friedrich A. Szoncsó

Αθήνα, Οκτώβριος 2014



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Μετρήσεις Ηλεκτρικού και Μαγνητικού Πεδίου στο CERN

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Συγγραφέας:
Αθανάσιος Ι. Κυρίτσης

Επιβλέπων:
Ιωάννης Φ. Γκόνος
Λέκτορας ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 31η Οκτωβρίου 2014.

.....
Ιωάννης Φ.
Γκόνος
Λέκτορας ΕΜΠ

.....
Ιωάννης Α.
Σταθόπουλος
Καθηγητής ΕΜΠ

.....
Φραγκίσκος Β.
Τοπαλής
Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Οκτώβριος 2014

.....
Αθανάσιος Ι. Κυρίτσης
Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών
Ε.Μ.Π.

Copyright © Αθανάσιος Ι. Κυρίτσης 2014.
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.

Ευχαριστίες

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Ιωάννη Γκόνο, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε στην ανάθεση της διπλωματικής και για τις χρήσιμες συμβουλές και υποδείξεις που μου έκανε κατά τη διάρκεια της εκπόνησής της. Η επικοινωνία μας ήταν πάντα άμεση κι ευχάριστη.

Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντά μου στο CERN, τον Friedrich Szoncsó, για την ευκαιρία που μου έδωσε να εργαστώ σε ένα τόσο μοναδικό περιβάλλον. Με τις συζητήσεις που κάναμε και με τον χρόνο που μου αφιέρωνε, μου μεταβίβασε γνώσεις που συνέβαλαν καθοριστικά στην ανάπτυξη της αντίληψής μου πάνω στο αντικείμενο του ηλεκτρολόγου μηχανικού.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ στους φίλους μου, με τους οποίους μοιράστηκα την φοιτητική μου ζωή. Ιδιαίτερα στην Εύη Βούλγαρη, η οποία μου συμπαραστάθηκε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τον αδερφό μου και τους γονείς μου για την υλική και πνευματική υποστήριξη που μου έχουνε προσφέρει. Χωρίς αυτούς, οι σπουδές μου γενικότερα δεν θα ήτανε εφικτές.

Περίληψη

Σκοπός αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι η αξιολόγηση και η μέτρηση των ηλεκτρικών, μαγνητικών και ηλεκτρομαγνητικών πεδίων που υπάρχουν στο καθημερινό περιβάλλον εργασίας ενός εργαζομένου στο CERN. Αυτά οφείλονται κυρίως στις διατάξεις παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, που βρίσκονται τοποθετημένες σε διάφορα σημεία και στις δύο περιοχές του (Meypin και Prévessin), στα συστήματα ασυρμάτων ευρυζωνικών μικροκυματικών επικοινωνιών (δίκτυο TETRA) και στις οικιακές συσκευές που χρησιμοποιούνται.

Η ολοένα και αυξανόμενη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και οι πολλαπλές εφαρμογές του ηλεκτρισμού, απαιτούν προσοχή όσον αφορά στους κινδύνους που ελλοχεύουν. Η διπλωματική αυτή περιλαμβάνει μια εκτενή αναφορά στις επιστημονικές μελέτες που έχουν διεξαχθεί τα τελευταία χρόνια για τις ενδεχόμενες επιδράσεις των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων στον άνθρωπο, καθώς και στα διεθνή όρια ασφαλείας που έχουν θεσπιστεί για την προστασία από αυτά.

Οι μετρήσεις έγιναν, σε γενικές γραμμές, σύμφωνα με τις συστάσεις των διεθνών προτύπων IEC 61786 και IEEE 644. Μετά από τη σύγκριση των επαγόμενων πεδίων με τα όρια ασφαλούς έκθεσης του γενικού πληθυσμού, όπως αυτά ορίζονται από την πολιτική ασφαλείας του CERN, διαπιστώθηκε ότι σχεδόν όλες οι μετρήσεις ήταν πολύ κάτω από τα επίπεδα αναφοράς. Για την μόνη περίπτωση που τα πεδία ξεπερνούσαν τα όρια αυτά, έγιναν, στα πλαίσια της εκστρατείας, οι κατάλληλες προτάσεις και συστάσεις.

Λέξεις κλειδιά

Ηλεκτρικά, Μαγνητικά, Ηλεκτρομαγνητικά πεδία, Βιολογικές επιδράσεις, Όρια έκθεσης, Πρότυπα IEC 61786, IEEE 644, CERN

Abstract

The purpose of this diploma thesis is to assess and measure the electric, magnetic and electromagnetic fields that exist in the daily work environment of someone working at CERN. These are mainly induced by power system equipment, located at various points in both its regions (Meyrin and Prévessin), by wireless broadband communication systems (TETRA network) and by frequently used home appliances.

The ever growing demand for electrical energy and the multiple applications of electricity, require attention to the dangers that lurk. This thesis provides an extensive reference to both the scientific studies that have been conducted in recent years, about the potential effects of electromagnetic fields on humans, and the international safety exposure limits established to protect from them.

The measurements were generally in accordance with the recommendations of the international standards IEC 61786 and IEEE 644. After comparing the induced fields with the exposure limit values for the general population, as defined by CERN's safety policy, almost all measurements were well below the reference levels. For the only occasion that the fields exceeded these limits, proper suggestions and recommendations were made, in the context of the campaign.

Keywords

Electric, Magnetic, Electromagnetic fields, Biological effects, Exposure limits, IEC 61786, IEEE 644 standards, CERN

Πάντα στὸ νοῦ σου νᾶχεις τὴν Ἰθάκη.
Τὸ φθάσιμον ἐκεῖ εἶν' ὁ προορισμός σου.
Ἄλλὰ μὴ βιάζεις τὸ ταξεῖδι διόλου.
Καλλίτερα χρόνια πολλὰ νὰ διαρκέσει·
καὶ γέρος πιά ν' ἀράξεις στὸ νησί,
πλούσιος με ὅσα κέρδισες στὸν δρόμο,
μὴ προσδοκῶντας πλούτη νὰ σὲ δώσει ἡ Ἰθάκη.

Ἡ Ἰθάκη σ' ἔδωσε τ' ὠραῖο ταξεῖδι.
Χωρὶς αὐτὴν δὲν θᾶβγαινες στὸν δρόμο.
Ἄλλα δὲν ἔχει νὰ σὲ δώσει πιά.

Κι ἂν πτωχικὴ τὴν βρεῖς, ἡ Ἰθάκη δὲν σὲ γέλασε.
Ἔτσι σοφὸς ποὺ ἔγινες, μὲ τόση πειρα,
ἤδη θὰ τὸ κατάλαβες ἡ Ἰθάκες τί σημαίνουν.

Κωνσταντῖνος Π. Καβάφης [1911]

Πρόλογος

Η διπλωματική εργασία αποτελείται από τα εξής μέρη:

- Κεφάλαιο 1** Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται ο διαχωρισμός της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε ιονίζουσα και μη ιονίζουσα, ανάλογα με την συχνότητα των πεδίων και δίνεται μια σύντομη θεωρητική προσέγγιση του τρόπου επαγωγής τους.
- Κεφάλαιο 2** Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται αναφορά στις επιδημιολογικές, νευροφυσιολογικές, *in vivo*, *in vitro* κ.λπ. μελέτες που εξετάζουν τις πιθανές επιδράσεις των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων, κατηγοριοποιημένων με βάση τη συχνότητα, στην υγεία του ανθρώπου.
- Κεφάλαιο 3** Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται οι διεθνείς και οι εθνικοί κανονισμοί σε Γαλλία, Ελβετία κι Ελλάδα για την προστασία έναντι ηλεκτρομαγνητικών πεδίων, καθώς και τα όρια ασφαλείας που θέτουν.
- Κεφάλαιο 4** Στο κεφάλαιο αυτό ανασκοπούνται τα σημαντικότερα στοιχεία των προτύπων IEC 61786 και IEEE 644, που υποδεικνύουν τον τρόπο διεξαγωγής μετρήσεων ηλεκτρομαγνητικών πεδίων.
- Κεφάλαιο 5** Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μια εισαγωγή στον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Πυρηνικών Ερευνών (CERN) και στο ηλεκτρικό του δίκτυο. Προσδιορίζονται επίσης οι πηγές μη ιονίζουσας ακτινοβολίας.
- Κεφάλαιο 6** Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε, τα επίπεδα των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων που μετρήθηκαν και γίνεται σύγκριση αυτών με τα ισχύοντα όρια.
- Κεφάλαιο 7** Στο κεφάλαιο αυτό εξάγονται τα συμπεράσματα της εκστρατείας και προτείνονται τα κατάλληλα μέτρα.
- Παράρτημα Α** Στο παράρτημα αυτό παρουσιάζεται ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε καθώς και τα τεχνικά χαρακτηριστικά αυτού.

Συντμήσεις - Αρκτικόλεξα - Ακρώνυμα

ΗΜΠ	Ηλεκτρομαγνητικό Πεδίο
ΜΠ	Μαγνητικό Πεδίο
ΗΠ	Ηλεκτρικό Πεδίο
ΦΕΚ	Φύλλο Εφημερίδας της Κυβερνήσεως
ΕΕΑΕ	Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας
EMF	Electromagnetic Field
RF	Radio Frequency
IF	Intermediate Frequency
ELF	Extremely Low Frequency
UV	Ultraviolet
IR	Infrared
SAR	Specific Absorption Rate
RMS	Root Mean Square
AC	Alternating Current
ICNIRP	International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers
IEC	International Electrotechnical Commission
WHO	World Health Organisation
IARC	International Agency for Research on Cancer
SCENIHR	Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks
CERN	European Organization for Nuclear Research
LHC	Large Hadron Collider
SVC	Static VAR compensator
TETRA	Terrestrial Trunked Radio
MRI	Magnetic Resonance Imaging

Περιεχόμενα

1	Βασικές Έννοιες	1
1.1	Ηλεκτρομαγνητισμός	1
1.2	Ηλεκτρομαγνητική Ακτινοβολία	1
1.3	Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα	2
1.3.1	Ιονίζουσα Ακτινοβολία	5
1.3.2	Μη Ιονίζουσα Ακτινοβολία	6
1.4	Εγγύς και Μακρινό Πεδίο	7
1.5	Εξισώσεις Maxwell	8
1.6	Εξισώσεις Jefimenko	10
1.7	Ποσότητες και Μονάδες	11
2	Πιθανές Επιδράσεις Ηλεκτρομαγνητικών Πεδίων στην Ανθρώπινη Υγεία	13
2.1	Έκθεση σε Ηλεκτρομαγνητικά Πεδία	14
2.1.1	Πηγές Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας	14
2.1.2	Συμπεράσματα	17
2.2	Τεχνολογίες THz	18
2.2.1	Μελέτες Επιδράσεων Πεδίων THz	18
2.2.2	Συμπεράσματα	22
2.3	Πεδία Ραδιοσυχνοτήτων (RF Πεδία)	23
2.3.1	Νεοπλασματικές Νόσοι	23
2.3.2	Νευρικό Σύστημα και Νευροσυμπεριφορικές Διαταραχές	28
2.3.3	Συμπτώματα	31
2.3.4	Άλλες Επιπτώσεις της Έκθεσης σε Ραδιοσυχνότητες	32
2.3.5	Συμπεράσματα	34
2.4	Πεδία Μεσαίων Συχνοτήτων (IF Πεδία)	35
2.4.1	Συμπεράσματα	38
2.5	Πεδία Εξαιρετικά Χαμηλής Συχνότητας (ELF Πεδία)	38
2.5.1	Νεοπλασματικές Νόσοι	38
2.5.2	Νευρικό Σύστημα και Νευροσυμπεριφορικές Διαταραχές	41
2.5.3	Άλλες Επιπτώσεις στην Υγεία	46
2.5.4	Συμπεράσματα	48
2.6	Στατικά Πεδία	49
2.6.1	Μελέτες σε Ανθρώπους	49
2.6.2	Μελέτες σε Ζώα	50
2.6.3	Μελέτες in Vitro	50

3	Κανονισμοί Προστασίας έναντι Ηλεκτρομαγνητικών Πεδίων	51
3.1	Κριτήρια για Ασφαλή Όρια Έκθεσης από την ICNIRP	51
3.1.1	Στατικά Μαγνητικά Πεδία (0 Hz)	52
3.1.2	Χαμηλές Συχνότητες (1 Hz - 100 kHz)	55
3.1.3	Υψηλές Συχνότητες (100 kHz - 300 GHz)	59
3.2	Κανονισμοί των Χωρών Οικοδοσποτών του CERN	63
3.3	Κανονισμοί στην Ελλάδα	64
3.3.1	Όρια Έκθεσης για Χαμηλές Συχνότητες	64
3.3.2	Όρια Έκθεσης για Υψηλές Συχνότητες	67
4	Ανασκόπηση Προτύπων	71
4.1	IEC 61786-1998	72
4.1.1	Σκοπός	72
4.1.2	Ορισμοί	73
4.1.3	Προδιαγραφές Οργάνων	78
4.1.4	Βαθμονόμηση	81
4.1.5	Αβεβαιότητα Μετρήσεων	87
4.1.6	Καταγραφή και Αναφορά Αποτελεσμάτων της Μέτρησης	89
4.1.7	Διαδικασία Μέτρησης Εναλλασσόμενων Μαγνητικών Πε- δίων	90
4.1.8	Διαδικασία Μέτρησης Εναλλασσόμενων Ηλεκτρικών Πε- δίων	92
4.2	IEEE 644-1994	93
4.2.1	Σκοπός	93
4.2.2	Ορισμοί	93
4.2.3	Μετρητές Ηλεκτρικού Πεδίου	95
4.2.4	Διαδικασία Μέτρησης Ηλεκτρικού Πεδίου	98
4.2.5	Μετρητές Μαγνητικού Πεδίου	99
4.2.6	Διαδικασία Μέτρησης Μαγνητικού Πεδίου	101
4.2.7	Αναφορά Μετρήσεων Πεδίου	101
5	Το CERN και το Ηλεκτρικό του Δίκτυο	103
5.1	Εισαγωγή	103
5.2	Σύμπλεγμα Επιταχυντών	105
5.3	Το Ηλεκτρικό Δίκτυο στο CERN	106
5.4	Πηγές Μη Ιονίζουσας Ακτινοβολίας στο CERN	111
5.4.1	Γραμμές Μεταφοράς	111
5.4.2	Ηλεκτρικοί Υποσταθμοί	112

5.4.3	Στατικοί Αντισταθμιστές Αέργου Ισχύος (Static VAR Compensators)	113
5.4.4	Συστήματα UPS	114
5.4.5	Δίκτυο TETRA	115
5.4.6	Φούρνοι Μικροκυμάτων	117
5.4.7	Λείζερ	118
5.4.8	Στατικά Πεδία	120
6	Παρουσίαση Μετρήσεων	123
6.1	Σκοπός των Μετρήσεων	123
6.2	Εξοπλισμός Μετρήσεων Ηλεκτρικού και Μαγνητικού Πεδίου	124
6.3	Διαδικασία Μετρήσεων	125
6.4	Γραμμές Μεταφοράς	125
6.5	Ηλεκτρικοί Υποσταθμοί	127
6.6	Στατικοί Αντισταθμιστές Αέργου Ισχύος	131
6.7	Δίκτυο TETRA	132
6.8	Φούρνοι Μικροκυμάτων	133
7	Επίλογος	135
7.1	Συμπεράσματα	135
7.2	Σημεία Καινοτομίας	135
7.3	Προτάσεις για Περαιτέρω Διερεύνηση	136
	Παράρτημα	145
	A' Περιγραφή Πεδιομέτρου και Αισθητήρων	145

Λίστα Σχημάτων

1	Διάδοση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας	3
2	Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα	5
3	Εγγύς και μακρινό πεδίο	9
4	Πινακίδα κινδύνου για μη ιονίζουσα ακτινοβολία	14
5	Βασικοί περιορισμοί της ICNIRP για την ανθρώπινη έκθεση σε χρονικά μεταβαλλόμενα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία (1 Hz - 100 kHz)	56
6	Επίπεδα αναφοράς για την έκθεση σε χρονικά μεταβαλλόμενα μαγνητικά πεδία (1 Hz - 100 kHz)	58
7	Επίπεδα αναφοράς για την έκθεση σε χρονικά μεταβαλλόμενα ηλεκτρικά πεδία (1 Hz - 100 kHz)	58
8	Επίπεδα αναφοράς για την έκθεση σε χρονικά μεταβαλλόμενα ηλεκτρικά πεδία (1 Hz - 300 GHz)	61
9	Επίπεδα αναφοράς για την έκθεση σε χρονικά μεταβαλλόμενα μαγνητικά πεδία (1 Hz - 300 GHz)	63
10	Σύμπλεγμα επιταχυντών στο CERN	105
11	Διάταξη του δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας του CERN	108
12	Απλοποιημένο μονογραμμικό διάγραμμα του ηλεκτρικού δικτύου του CERN	109
13	Θέσεις υποσταθμών στην περιοχή Meyrin του CERN	110
14	Μετρήσεις σε γραμμές μεταφοράς	127
15	Μετρήσεις μετασχηματιστή EMT104*72	129
16	Μετρήσεις μετασχηματιστή EMT104*43	130
17	Μετρήσεις στατικού αντισταθμιστή αέργου ισχύος	131
18	Μέτρηση δικτύου TETRA	133
19	Μετρήσεις φούρνων μικροκυμάτων	134
A'1	Μετρητικό όργανο PMM 8053A	145
A'2	Αισθητήρας PMM EHP50A	146
A'3	Αισθητήρας PMM EP330	146
A'4	Αισθητήρας PMM EP408	147
A'5	Τυπική απόκριση συχνότητας PMM EHP50A (ηλεκτρικό πεδίο)	149
A'6	Τυπική απόκριση συχνότητας PMM EHP50A (μαγνητικό πεδίο)	149
A'7	Τυπική απόκριση συχνότητας PMM EP330	150
A'8	Τυπική απόκριση συχνότητας PMM EP408	151
A'9	Τυπικό στιγμιότυπο της οθόνης του μετρητικού οργάνου	152

Λίστα Πινάκων

1	Περιοχές συχνοτήτων μη ιονίζουσας ακτινοβολίας	7
2	Ποσότητες και μονάδες για τον ηλεκτρομαγνητισμό	11
3	Μελέτες in vivo τεχνολογιών THz	19
4	Μελέτες in vitro τεχνολογιών THz	20
5	Όρια έκθεσης σε στατικά μαγνητικά πεδία της ICNIRP	54
6	Βασικοί περιορισμοί της ICNIRP για την ανθρώπινη έκθεση σε χρονικά μεταβαλλόμενα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία (1 Hz - 10 MHz)	56
7	Επίπεδα αναφοράς για την επαγγελματική έκθεση σε χρονικά μεταβαλλόμενα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία (1 Hz - 10 MHz, τιμές RMS)	57
8	Επίπεδα αναφοράς για την έκθεση του ευρύ κοινού σε χρονικά μεταβαλλόμενα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία (1 Hz - 10 MHz, τιμές RMS)	57
9	Βασικοί περιορισμοί για χρονικά μεταβαλλόμενα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία για συχνότητες μέχρι και 10 GHz	60
10	Βασικοί περιορισμοί για την πυκνότητα ισχύος για συχνότητες μεταξύ 10 και 300 GHz	60
11	Επίπεδα αναφοράς για την επαγγελματική έκθεση σε χρονικώς μεταβαλλόμενα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία (1 Hz - 300 GHz, RMS τιμές)	62
12	Επίπεδα αναφοράς για την έκθεση του ευρύ κοινού σε χρονικά μεταβαλλόμενα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία (1 Hz - 300 GHz, RMS τιμές)	62
13	Βασικοί περιορισμοί για ηλεκτρικά, μαγνητικά και ηλεκτρομαγνητικά πεδία χαμηλών συχνοτήτων (Ελλάδα)	65
14	Επίπεδα αναφοράς για την έκθεση του ευρύ κοινού σε χρονικά μεταβαλλόμενα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία (RMS τιμές, Ελλάδα)	66
15	Επίπεδα αναφοράς για ρεύματα επαφής από αγωγίμα σώματα (f σε kHz, Ελλάδα)	67
16	Επίπεδα αναφοράς για ηλεκτροδιεγερτικές επιδράσεις με συντελεστή 70% (Ελλάδα)	68
17	Επίπεδα αναφοράς για ηλεκτροδιεγερτικές επιδράσεις με συντελεστή 60% (Ελλάδα)	68

18	Επίπεδα αναφοράς για θερμικές επιδράσεις με συντελεστή 70% (Ελλάδα)	69
19	Επίπεδα αναφοράς για θερμικές επιδράσεις με συντελεστή 60% (Ελλάδα)	69
20	Εύρος συχνοτήτων και μονάδες του μετρητικού οργάνου και των αισθητήρων	124
21	Μετρήσεις σε γραμμές μεταφοράς	126
22	Μετρήσεις μετασχηματιστή ΕΜΤ104*72	129
23	Μετρήσεις μετασχηματιστή ΕΜΤ104*43	130
24	Μετρήσεις στατικού αντισταθμιστή αέργου ισχύος	132
25	Μέτρηση δικτύου ΤΕΤΡΑ	132
26	Μετρήσεις φούρνων μικροκυμάτων	134
Α'.1	Τεχνικές προδιαγραφές του μετρητικού οργάνου ΡΜΜ 8053Α	147
Α'.2	Τεχνικές προδιαγραφές του αισθητήρα ΡΜΜ ΕΗΡ50Α	148
Α'.3	Τεχνικές προδιαγραφές του αισθητήρα ΡΜΜ ΕΡ330	150
Α'.4	Τεχνικές προδιαγραφές του αισθητήρα ΡΜΜ ΕΡ408	151

1 Βασικές Έννοιες

1.1 Ηλεκτρομαγνητισμός

Ο ηλεκτρομαγνητισμός, ή η ηλεκτρομαγνητική δύναμη, είναι μία από τις τέσσερις θεμελιώδεις αλληλεπιδράσεις στη φύση. Οι άλλες τρεις είναι η ισχυρή αλληλεπίδραση, η ασθενής αλληλεπίδραση και η βαρύτητα. Η δύναμη αυτή περιγράφεται από τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία, κι εμφανίζεται σε αναρίθμητες περιπτώσεις στη φύση. Η λέξη «ηλεκτρομαγνητισμός» είναι μια σύνθετη λέξη των δύο ελληνικών όρων, «ήλεκτρον», που είναι η αρχαία ελληνική λέξη για το κεχριμπάρι, και της λέξης «μαγνήτης», ένα είδος σιδηρομεταλλεύματος. [1]

Κατά τη διάρκεια της εποχής κουάρκ (quark epoch), δηλαδή από 10^{-12} έως 10^{-6} δευτερόλεπτα μετά την Μεγάλη Έκρηξη (Big Bang), η ηλεκτρασθενής δύναμη χωρίστηκε στην ηλεκτρομαγνητική και στην ασθενή δύναμη. [2] Η ηλεκτρομαγνητική δύναμη διαδραματίζει ένα σημαντικό ρόλο στον καθορισμό των εσωτερικών ιδιοτήτων των περισσότερων αντικειμένων που συναντώνται στην καθημερινή ζωή. Η συνήθης ύλη παίρνει τη μορφή της, ως αποτέλεσμα διαμοριακών δυνάμεων μεταξύ των μεμονωμένων μορίων στην ύλη. Τα ηλεκτρόνια δεσμεύονται από τις ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις σε τροχιές γύρω από ατομικούς πυρήνες για να σχηματίσουν τα άτομα, τα οποία είναι τα δομικά στοιχεία των μορίων.

Υπάρχουν πολλές μαθηματικές περιγραφές του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου. Στην κλασική ηλεκτροδυναμική, τα ηλεκτρικά πεδία περιγράφονται ως ηλεκτρικό δυναμικό και ως ηλεκτρικό ρεύμα με τον νόμο του Ohm. Τα μαγνητικά πεδία σχετίζονται με την ηλεκτρομαγνητική επαγωγή και τον μαγνητισμό, και οι εξισώσεις του Maxwell περιγράφουν πώς τα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία δημιουργούνται και μεταβάλλονται το ένα από το άλλο, καθώς κι από φορτία και ρεύματα.

Οι θεωρητικές επιπτώσεις του ηλεκτρομαγνητισμού, ιδίως η θεμελίωση της ταχύτητας του φωτός με βάση τις ιδιότητες του «μέσου» της διάδοσης (μαγνητική διαπερατότητα και διηλεκτρική σταθερά), οδήγησε στην ανάπτυξη της ειδικής θεωρίας της σχετικότητας του Albert Einstein το 1905.

1.2 Ηλεκτρομαγνητική Ακτινοβολία

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία είναι μια μορφή ενέργειας που εκπέμπεται και απορροφάται από φορτισμένα σωματίδια και συμπεριφέρεται σαν κύμα, καθώς ταξιδεύει στο χώρο. Αποτελείται από το ηλεκτρικό και το μαγνητικό

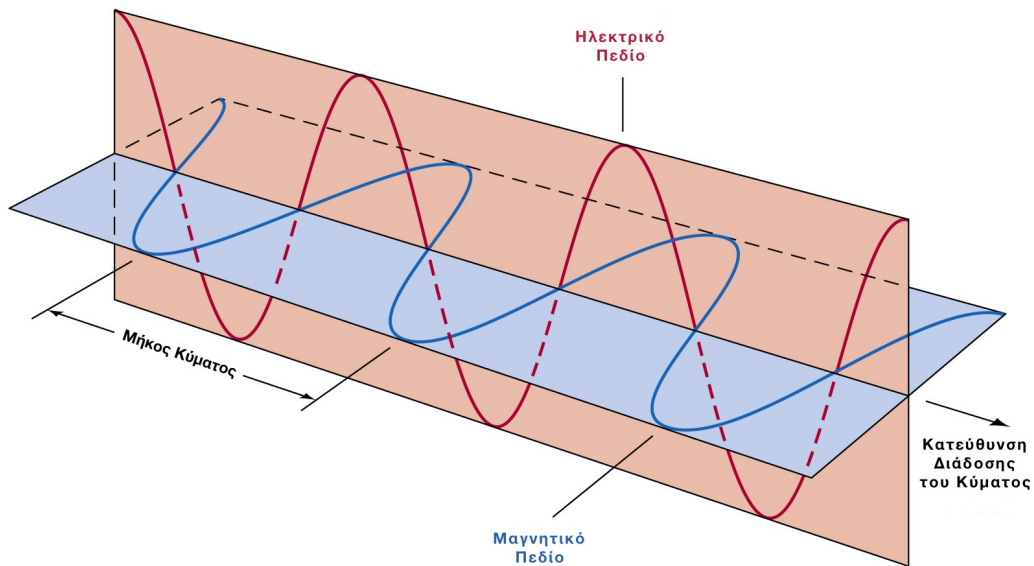
πεδίο, τα οποία στην περιοχή του μακρινού πεδίου διατηρούν ένα σταθερό λόγο έντασης του ενός προς το άλλο, είναι συμφασικά και ταλαντεύονται κάθετα μεταξύ τους και κάθετα προς την κατεύθυνση της ενέργειας και της διάδοσης. Στο κενό, η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία διαδίδεται με μια χαρακτηριστική ταχύτητα, την ταχύτητα του φωτός.

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μεταφέρει ενέργεια, η οποία ονομάζεται ενέργεια ακτινοβολίας, μέσα στο χώρο, η οποία απομακρύνεται συνεχώς από την πηγή (αυτό δεν ισχύει για το εγγύς πεδίο). Φέρει επίσης τόσο ορμή όσο και στροφορμή. Αυτές οι ιδιότητες μπορούν μεταδοθούν στην ύλη, με την οποία αλληλεπιδρά. Το φωτόνιο είναι το στοιχειώδες σωματίδιο, το κβάντο του φωτός και όλων των άλλων μορφών της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, κι ο φορέας της ηλεκτρομαγνητικής δύναμης. Η κβαντική φύση του φωτός γίνεται πιο εμφανής σε υψηλές συχνότητες (ή υψηλές ενέργειες), όπου τα φωτόνια συμπεριφέρονται περισσότερο σαν σωματίδια από ότι τα φωτόνια χαμηλών συχνοτήτων.

Στην κλασική φυσική, η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία θεωρείται ότι παράγεται όταν επιταχύνονται φορτισμένα σωματίδια από τις δυνάμεις που ασκούνται σε αυτά. Τα ηλεκτρόνια είναι υπεύθυνα για την εκπομπή της περισσότερης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας επειδή έχουν μικρή μάζα, κι ως εκ τούτου εύκολα επιταχύνονται από διάφορους μηχανισμούς. Για παράδειγμα, οι υψηλότερες συχνότητες ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που παρατηρούνται στη φύση, παράγονται από ταχέως κινούμενα ηλεκτρόνια που επιταχύνονται απότομα, όταν βρεθούν σε μια περιοχή υψηλής ενέργειας. Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μπορεί επίσης να παραχθεί από κβαντικές διαδικασίες, όπως όταν οι ατομικοί πυρήνες υφίστανται γ-διάσπαση, ή κατά τη διάσπαση ενός ουδέτερου πονίου.

1.3 Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ταξινομείται ανάλογα με την συχνότητα των κυμάτων της. Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα, κατά σειρά αυξανόμενης συχνότητας και μειούμενου μήκους κύματος, είναι το φάσμα όλων των πιθανών συχνοτήτων της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Εκτείνεται από συχνότητες μικρότερες των χαμηλών που χρησιμοποιούνται για τις σύγχρονες ραδιοεπικοινωνίες, έως την γάμμα ακτινοβολία μικρού μήκους κύματος (υψηλής συχνότητας) και καλύπτει έτσι μήκη κύματος από χιλιάδες χιλιόμετρα, έως ένα κλάσμα του μεγέθους ενός ατόμου. Το άνω όριο για μεγάλα μήκη κύματος είναι το μέγεθος του ίδιου του σύμπαντος, ενώ θεωρείται ότι το κάτω όριο για βραχεία μήκη



Σχήμα 1: Διάδοση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας

κύματος βρίσκεται στην περιοχή του μήκους Planck, αν και γενικά το φάσμα είναι άπειρο και συνεχές.

Οι τύποι ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας ευρέως ταξινομούνται στις ακόλουθες κατηγορίες:[3]

- ακτινοβολία γ
- ακτινοβολία ακτίνων X
- υπεριώδης ακτινοβολία
- ορατή ακτινοβολία
- υπέρυθρη ακτινοβολία
- ακτινοβολία terahertz
- ακτινοβολία μικροκυμάτων
- ραδιοκύματα

- ακτινοβολία εξαιρετικά χαμηλών συχνοτήτων

Ενώ σε γενικές γραμμές αυτό το σύστημα ταξινόμησης είναι ακριβές, στην πραγματικότητα υπάρχει συχνά κάποια επικάλυψη μεταξύ γειτονικών τύπων ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα περιγράφονται τυπικά με οποιαδήποτε από τις ακόλουθες τρεις φυσικές ιδιότητες:

- την συχνότητα f ,
- το μήκος κύματος λ και
- την ενέργεια των εκπεμπόμενων φωτονίων E .

Το μήκος κύματος είναι αντιστρόφως ανάλογο προς τη συχνότητα του κύματος, έτσι για παράδειγμα οι ακτίνες γ (υψηλή συχνότητα) έχουν πολύ βραχεία μήκη κύματος. Η ενέργεια των φωτονίων είναι ανάλογη της συχνότητας του κύματος, οπότε τα φωτόνια ακτίνων γάμμα έχουν την υψηλότερη ενέργεια (περίπου ένα δισεκατομμύριο ηλεκτρονιοβόλτ), ενώ τα φωτόνια ραδιοκυμάτων έχουν πολύ χαμηλή ενέργεια (γύρω στο ένα feV (femtoelectronvolt)). Οι σχέσεις αυτές απεικονίζονται με τις ακόλουθες εξισώσεις:

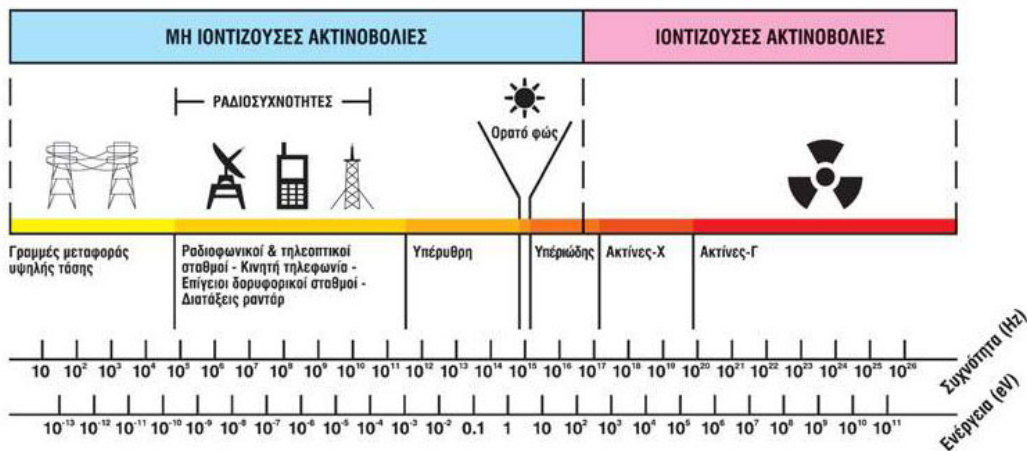
$$f = \frac{c}{\lambda} \quad (1)$$

$$f = \frac{E}{h} \quad (2)$$

$$E = \frac{hc}{\lambda} \quad (3)$$

όπου:

- $c = 299.792.458m/s$ είναι η ταχύτητα του φωτός στο κενό και
- $h = 6,62606896(33) \times 10^{-34}Js = 4,13566733(10) \times 10^{-15}eVs$ είναι η σταθερά του Planck.[4]



Σχήμα 2: Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα

1.3.1 Ιονίζουσα Ακτινοβολία

Ιονίζουσα (ή ιοντίζουσα) θεωρείται η ακτινοβολία που μεταφέρει αρκετή ενέργεια για να απελευθερώσει ηλεκτρόνια από άτομα ή μόρια, ιονίζοντάς τα με αυτόν τον τρόπο. Η ιονίζουσα ακτινοβολία περιλαμβάνει υποατομικά σωματίδια, ιόντα ή άτομα που κινούνται με σχετικιστικές ταχύτητες, καθώς και ηλεκτρομαγνητικά κύματα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος με μικρό μήκος κύματος. Οι ακτίνες γάμμα, οι ακτίνες X και το ανώτερο τμήμα της υπεριώδους ακτινοβολίας θεωρούνται ιονίζουσες ακτινοβολίες, ενώ το χαμηλότερο υπεριώδες, το ορατό φως (συμπεριλαμβανομένου του φωτός λέιζερ), οι υπέρυθρες ακτίνες, τα μικροκύματα και τα ραδιοκύματα θεωρούνται μη ιονίζουσες ακτινοβολίες. Το όριο δεν είναι ευκρινές, δεδομένου ότι διαφορετικά μόρια και άτομα ιονίζονται σε διαφορετικές ενέργειες.

Τυπικά σωματίδια ιονίζουσας ακτινοβολίας είναι τα σωματίδια άλφα και βήτα, τα νετρόνια, καθώς και τα μεσόνια που αποτελούν τις κοσμικές ακτίνες.[5]

Η ιονίζουσα ακτινοβολία προέρχεται από διάφορες πηγές, όπως από τον βομβαρδισμό της Γης από κοσμικές ακτίνες, την αποσύνθεση των ραδιενεργών υλικών, την ύλη σε εξαιρετικά υψηλές θερμοκρασίες (π.χ. αστρικό στέμμα του Ήλιου), ή την επιτάχυνση φορτισμένων σωματιδίων από ηλεκτρομαγνητικά πεδία (π.χ. αστραπές ή εκρήξεις σουπερνόβα). Ιονίζουσα ακτινοβολία μπορεί επίσης να δημιουργηθεί με την παραγωγή σωματιδίων υψηλής ενέργειας σε σωλήνες ακτίνων X και επιταχυντές σωματιδίων.

Η ιονίζουσα ακτινοβολία είναι αόρατη και δεν είναι άμεσα ανιχνεύσιμη από τις ανθρώπινες αισθήσεις. Έτσι απαιτούνται άλλα μέσα ανίχνευσης, όπως είναι οι μετρητές Geiger. Ωστόσο, σε ορισμένες περιπτώσεις η ιονίζουσα ακτινοβολία μπορεί να οδηγήσει σε δευτερεύουσα εκπομπή ορατού φωτός κατά την αλληλεπίδρασή της με την ύλη, όπως στην ακτινοβολία Cherenkov και στον ραδιοφωσφορισμό.

Εφαρμόζεται σε πολλούς τομείς, όπως στην ιατρική, στην βιομηχανία και στην έρευνα, αλλά παρουσιάζει κίνδυνο για την υγεία αν δεν ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα κατά της ανεπιθύμητης έκθεσης σε αυτή. Η έκθεση σε ιονίζουσα ακτινοβολία προκαλεί βλάβη στους ζωντανούς ιστούς και μπορεί να οδηγήσει σε μετάλλαξη, ασθένειες λόγω ακτινοβολίας, βιολογικές βλάβες, καρκίνο, ακόμη και θάνατο.

1.3.2 Μη Ιονίζουσα Ακτινοβολία

Η μη ιονίζουσα (ή μη ιοντίζουσα) ακτινοβολία αναφέρεται σε οποιοδήποτε είδος ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που δεν φέρει αρκετή ενέργεια ώστε να ιονίσει άτομα ή μόρια, δηλαδή να απομακρύνει εντελώς ένα ηλεκτρόνιο από ένα άτομο ή μόριο.[6] Αντί να παράγει φορτισμένα ιόντα όταν διέρχεται μέσω της ύλης, η μη ιονίζουσα ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία έχει επαρκή ενέργεια μόνο για διέγερση, δηλαδή την κίνηση ενός ηλεκτρονίου σε υψηλότερη ενεργειακή κατάσταση. Η περιοχή στην οποία η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία θεωρείται «ιονίζουσα» δεν είναι σαφώς καθορισμένη, δεδομένου ότι διαφορετικά μόρια κι άτομα ιονίζονται με διαφορετικές ενέργειες. Οι συνήθεις ορισμοί προτείνουν ότι η ακτινοβολία με ενέργεια σωματιδίων ή φωτονίων μικρότερη από 10 ηλεκτρονιοβόλτ (eV) θεωρείται μη ιονίζουσα. Ένα άλλο προτεινόμενο όριο είναι τα 33 ηλεκτρονιοβόλτ (eV), δηλαδή η ενέργεια που απαιτείται για τον ιονισμό των μορίων του νερού. Το φως από τον ήλιο που φτάνει στη γη αποτελείται σε μεγάλο βαθμό από μη ιονίζουσες ακτινοβολίες, δεδομένου ότι οι ιονίζουσες υπεριώδεις ακτίνες έχουν φιλτραριστεί από τα αέρια στην ατμόσφαιρα, κυρίως από το οξυγόνο. Η υπόλοιπη υπεριώδης ακτινοβολία από τον ήλιο βρίσκεται στην μη ιονίζουσα ζώνη, και προκαλεί μοριακή βλάβη (για παράδειγμα ηλιακά εγκαύματα) με φωτοχημικά μέσα και με παραγωγή ελευθέρων ριζών, χωρίς όμως να ιονίζει.

Η μη ιονίζουσα ακτινοβολία προέρχεται από διάφορες πηγές, είτε φυσικής προελεύσεως (όπως το φως του ήλιου, ηλεκτρικές εκκενώσεις κ.λπ.) είτε τεχνητής (παραγωγή και μεταφορά ενέργειας, ασύρματες επικοινωνίες, βιομηχανικές, επιστημονικές και ιατρικές εφαρμογές). Ο πίνακας 1 περιλαμβάνει τις

περιοχές συχνοτήτων και μήκη κυμάτων, τις πηγές και συνοπτικά τις επιδράσεις των διαφόρων μη ιονίζουσών ακτινοβολιών. Οι βιολογικές επιδράσεις των διαφόρων συχνοτήτων της μη ιονίζουσας ακτινοβολίας, καθώς και οι σχετικές έρευνες που έχουν γίνει, αναλύονται στο κεφάλαιο 2.

Πίνακας 1: Περιοχές συχνοτήτων μη ιονίζουσας ακτινοβολίας

[6]	Πηγές	Μήκος κύματος	Συχνότητα	Βιολογικές επιδράσεις
UVA	Μαύρο φως, φως του ήλιου	318 – 400nm	750 – 950THz	μάτια (καταρράκτης), δέρμα (ερύθημα)
Ορατό φως	φως του ήλιου, φωτιά, LED, λαμπτήρες, λέιζερ	400 – 780nm	385 – 750THz	δέρμα (γήρανση), μάτια (φωτοχημική & θερμική βλάβη του αμφιβληστροειδούς του αμφιβληστροειδούς)
IR-A	φως του ήλιου, θερμική ακτινοβολία, λαμπτήρες πυρακτώσεως, λέιζερ, τηλεχειριστήρια	780nm – 1.4μm	215 – 385THz	μάτια (θερμική βλάβη του αμφιβληστροειδούς, καταρράκτης), εγκαύματα στο δέρμα
IR-B	φως του ήλιου, θερμική ακτινοβολία, λαμπτήρες πυρακτώσεως, λέιζερ	1.4 – 3μm	100 – 215THz	μάτια (θερμική βλάβη του αμφιβληστροειδούς, καταρράκτης), εγκαύματα στο δέρμα
IR-C	φως του ήλιου, θερμική ακτινοβολία, λαμπτήρες πυρακτώσεως, υπέρυθρα λέιζερ	3μm – 1mm	300GHz – 100THz	μάτια (θερμική βλάβη του αμφιβληστροειδούς, καταρράκτης), θέρμανση της επιφάνειας του σώματος
Μικροκύματα (MW)	τηλέφωνα, φούρνοι μικροκυμάτων, ανιχνευτές κίνησης, υπεραστικές	1mm – 33cm	1 – 300GHz	θέρμανση του σωματικού ιστού
Ραδιοκύματα (RF)	τηλεπικοινωνίες, ραντάρ, Wi-Fi κινητά τηλέφωνα, τηλεόραση, FM, AM, βραχεία κύματα, ασύρματα τηλέφωνα	33cm – 3km	100kHz – 1GHz	θέρμανση των ιστών του σώματος, αυξημένη θερμοκρασία σώματος
Χαμηλής συχνότητας	δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας	> 3km	< 100kHz	συσώρευση φορτίου στην επιφάνεια του σώματος, διαταραχή των νεύρων & των μυών
Στατικά πεδία	ισχυροί μαγνήτες, MRI	άπειρο	0Hz	ίλιγγος/ναυτία, ηλεκτρικό φορτίο στην επιφάνεια του σώματος

1.4 Εγγύς και Μακρινό Πεδίο

Περιοχή εγγύς πεδίου (near field region) Ονομάζεται γενικά η περιοχή κοντά σε μια ακτινοβόλουσα κατασκευή (κεραία), στην οποία τα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία δεν έχουν χαρακτήρα επίπεδου κύματος, αλλά διαφέρουν αρκετά από σημείο σε σημείο. Δεν υπάρχει αυστηρή περιοχή ορισμού για το εγγύς πεδίο, αφού αυτό εξαρτάται από τον τύπο της εφαρμογής και της κεραίας. Συνήθως θεωρείται ότι βρίσκεται σε απόσταση μικρότερη από ένα μήκος κύματος (λ) από την κεραία. Η περιοχή του εγγύς πεδίου διαιρείται σε δύο επιμέρους περιοχές.

- Την αντιδραστική περιοχή του εγγύς πεδίου, που είναι η πιο κοντινή στην

ακτινοβολούσα κατασκευή και περιέχει την περισσότερη ή σχεδόν όλη την αποθηκευμένη ενέργεια

- Την ακτινοβολούσα περιοχή του εγγύς πεδίου, όπου το πεδίο ακτινοβολίας υπερτερεί του αντιδραστικού πεδίου, αλλά στερείται χαρακτηρα επίπεδου κύματος κι έχει περίπλοκη δομή.

Στο εγγύς πεδίο το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο δεν συνδέονται μεταξύ τους με μαθηματική σχέση και οι εντάσεις τους πρέπει να υπολογιστούν/μετρηθούν ξεχωριστά. Τέλος στο εγγύς πεδίο οι εντάσεις των πεδίων εξασθενούν με λόγο $1/R^3$, σε σχέση με την απόσταση από την κεραία.[7]

Περιοχή μακρινού πεδίου (far field region) Ονομάζεται η περιοχή που έχει απόσταση αρκετά μεγάλη από την ακτινοβολούσα κατασκευή, σε σχέση με τις φυσικές της διαστάσεις. Το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο είναι κάθετα μεταξύ τους, οπότε και οι εντάσεις τους συνδέονται μέσω απλών μαθηματικών σχέσεων και η γνώση του ενός μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση του άλλου.

Ως εκ τούτου, σε μετρήσεις που γίνονται στο μακρινό πεδίο, μετράται η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου και στη συνέχεια υπολογίζεται η ένταση του μαγνητικού με την χρήση της σχέσης:

$$E = H \cdot Z_0 \quad (4)$$

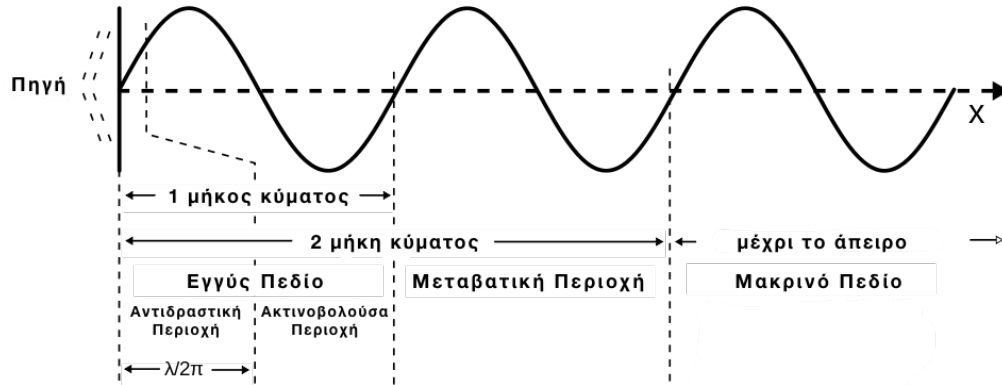
όπου $Z_0 = 377\Omega$, η εμπέδηση του κενού.

Σε αυτήν την περιοχή, το μοτίβο της ακτινοβολίας δεν αλλάζει ανάλογα με την απόσταση, αν και οι εντάσεις των πεδίων εξασθενούν με λόγο $1/R$ και η πυκνότητα ισχύος με λόγο $1/R^2$, σε σχέση με την απόσταση από την κεραία.

Οι περιοχές του εγγύς και του μακρινού πεδίου, όπως περιγράφηκαν πιο πάνω, απεικονίζονται στο σχήμα 3.

1.5 Εξισώσεις Maxwell

Οι εξισώσεις του Maxwell είναι ένα σύνολο μερικών διαφορικών εξισώσεων, που σε συνδυασμό με το νόμο της δύναμης Lorentz, αποτελούν τα θεμέλια της κλασικής ηλεκτροδυναμικής. Οι εξισώσεις αυτές περιγράφουν πώς τα ηλεκτρικά και τα μαγνητικά πεδία δημιουργούνται και πώς αλληλεπιδρούν με φορτία, ρεύματα, αλλά και μεταξύ τους. Πήραν το όνομά τους από τον Σκοτσέζο φυσικό



Σχήμα 3: Εγγύς και μακρινό πεδίο

και μαθηματικό James Clerk Maxwell, ο οποίος δημοσίευσε μια πρώτη μορφή των εξισώσεων αυτών μεταξύ 1861 και 1862.

Οι εξισώσεις έχουν δύο σημαντικές παραλλαγές. Η «μικροσκοπική προσέγγιση» των εξισώσεων Maxwell χρησιμοποιεί ολικά φορτία και ρεύματα, συμπεριλαμβανομένων των περίπλοκων φορτίων και ρευμάτων των υλικών σε ατομική κλίμακα. Έχουν καθολική εφαρμογή, αλλά συνήθως είναι ανέφικτο να υπολογιστούν. Η «μακροσκοπική προσέγγιση» των εξισώσεων Maxwell ορίζει δύο νέα βοηθητικά πεδία που περιγράφουν μεγάλης κλίμακας συμπεριφορές, χωρίς να χρειάζεται να εξεταστούν στοιχεία ατομικής κλίμακας, αλλά απαιτείται η χρήση των παραμέτρων που χαρακτηρίζουν τις ηλεκτρομαγνητικές ιδιότητες των σχετικών υλικών.

Από τα μέσα του 20ου αιώνα, έχει γίνει κατανοητό ότι οι εξισώσεις του Maxwell δεν είναι ακριβείς νόμοι του σύμπαντος, αλλά είναι μια κλασική προσέγγιση στην πιο ακριβή και θεμελιώδη θεωρία της κβαντικής ηλεκτροδυναμικής. Στις περισσότερες περιπτώσεις όμως, οι κβαντικές αποκλίσεις από τις εξισώσεις του Maxwell είναι εξαιρετικά μικρές. Οι εξισώσεις (5), (6), (7) και (8) είναι οι εξισώσεις Maxwell στη διαφορική τους μορφή.

$$\nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \quad (5)$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad (6)$$

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial B}{\partial t} \quad (7)$$

$$\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial E}{\partial t} \quad (8)$$

όπου:

- E είναι το ηλεκτρικό πεδίο,
- B είναι το μαγνητικό πεδίο,
- J είναι η επιφανειακή πυκνότητα ρεύματος,
- ρ είναι η χωρική πυκνότητα φορτίου,
- ϵ_0 είναι η διηλεκτρική σταθερά του κενού και
- μ_0 είναι η μαγνητική διαπερατότητα του κενού.

1.6 Εξισώσεις Jefimenko

Στον ηλεκτρομαγνητισμό, οι εξισώσεις Jefimenko (προς τιμήν του Oleg D. Jefimenko) περιγράφουν τη συμπεριφορά των ηλεκτρικών και των μαγνητικών πεδίων σε σχέση με τις κατανομές φορτίου και ρεύματος.

Οι εξισώσεις Jefimenko [8] είναι η λύση των εξισώσεων του Maxwell για μια δεδομένη κατανομή ηλεκτρικών φορτίων και ρευμάτων, με την παραδοχή ότι δεν υπάρχει ηλεκτρομαγνητικό πεδίο διαφορετικό από εκείνο που παράγεται από αυτές τις κατανομές. Το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο δίνονται στην περίπτωση αυτή από τις σχέσεις (9) και (10) αντίστοιχα.

$$E(r, t) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int \left[\left(\frac{\rho(r', t_r)}{|r - r'|^3} + \frac{1}{|r - r'|^2 c} \frac{\partial \rho(r', t_r)}{\partial t} \right) (r - r') - \frac{1}{|r - r'| c^2} \frac{\partial J(r', t_r)}{\partial t} \right] d^3 r' \quad (9)$$

$$B(r, t) = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \left[\frac{J(r', t_r)}{|r - r'|^3} + \frac{1}{|r - r'|^2 c} \frac{\partial J(r', t_r)}{\partial t} \right] \times (r - r') d^3 r' \quad (10)$$

όπου:

- r' είναι μια θέση στην κατανομή του φορτίου,
- r είναι ένα σημείο στον χώρο και

- $t_r = t - \frac{|r-r'|}{c}$ είναι ο χρόνος διάδοσης του κύματος.

Το «πλεονέκτημα» των εξισώσεων Jefimenko σε σχέση με τις εξισώσεις Maxwell, είναι ότι οι πρώτες υποδεικνύουν την ύπαρξη αιτιώδους σχέσης μεταξύ των ηλεκτρικών/μαγνητικών πεδίων και των κατανομών φορτίων/ρευμάτων. Οι εξισώσεις αυτές δεν είναι όμως μια ολοκληρωμένη θεωρία του ηλεκτρομαγνητισμού, επειδή δεν μπορούν να περιγράψουν τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα.

1.7 Ποσότητες και Μονάδες

Πίνακας 2: Ποσότητες και μονάδες για τον ηλεκτρομαγνητισμό

Σύμβολο	Όνομα ποσότητας	Παράγωγες μονάδες	Μονάδα	Μονάδες βάσης (SI)
I	ηλεκτρικό ρεύμα	ampere	A	A
Q	ηλεκτρικό φορτίο	coulomb	C	A·s
U, ΔV, Δφ - E	διαφορά δυναμικού - ΗΕΔ	volt	V	kg·m ² ·s ³ ·A ⁻¹
R - Z - X	αντίσταση - εμπέδηση - αντίδραση	ohm	Ω	kg·m ² ·s ³ ·A ⁻²
ρ	ειδική αντίσταση	ohm μέτρο	Ω·m	kg·m ³ ·s ³ ·A ⁻²
P	ηλεκτρική ισχύς	watt	W	kg·m ² ·s ⁻³
C	χωρητικότητα	farad	F	kg ⁻¹ ·m ⁻² ·s ⁴ ·A ²
E	ένταση ηλεκτρικού πεδίου	volt ανά μέτρο	V/m	kg·m·s ⁻³ ·A ⁻¹
D	ηλεκτρικό πεδίο μετατόπισης	coulomb ανά τετραγωνικό μέτρο	C/m ²	A·s·m ⁻²
ε	διηλεκτρική σταθερά	farad ανά μέτρο (αδιάστατο)	F/m	kg ⁻¹ ·m ⁻³ ·s ⁴ ·A ²
χ _e	ηλεκτρική επιδεκτικότητα		-	-
G - Y - B	αγωγιμότητα	siemens	S	kg ⁻¹ ·m ⁻² ·s ³ ·A ²
κ, γ, σ	αγωγιμότητα	siemens ανά μέτρο	S/m	kg ⁻¹ ·m ⁻³ ·s ³ ·A ²
B	πυκνότητα μαγνητικής ροής, μαγνητική επαγωγή	tesla	T	kg·s ⁻² ·A ⁻¹
Φ	μαγνητική ροή	weber	Wb	kg·m ² ·s ⁻² ·A ⁻¹
H	ένταση μαγνητικού πεδίου	ampere ανά μέτρο	A/m	A·m ⁻¹
L, M	επαγωγή	henry	H	kg·m ² ·s ⁻² ·A ⁻²
μ	διαπερατότητα	henry ανά μέτρο	H/m	kg·m·s ⁻² ·A ⁻²
χ	μαγνητική επιδεκτικότητα	(αδιάστατο)	-	-

2 Πιθανές Επιδράσεις Ηλεκτρομαγνητικών Πεδίων στην Ανθρώπινη Υγεία

Η επίδραση των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων στο ανθρώπινο σώμα, είναι ένας σχετικά νέος τομέας έρευνας, δεδομένου ότι μόνο κατά τη διάρκεια των τελευταίων 20 ετών γίνονται συντονισμένες μελέτες. Κι αυτές οι ερευνητικές προσπάθειες όμως δεν μπορεί να θεωρηθεί ότι προσφέρουν πειστικά αποτελέσματα. Επίσης, λόγω της πιθανότητας κάποιες «ανεξάρτητες» έρευνες να είναι επιτηδευμένες, στην παρούσα διπλωματική λήφθηκαν υπόψη ως επί το πλείστον οι κατευθυντήριες γραμμές και οι δημοσιεύσεις των παρακάτω οργάνωσεων:

- της Επιστημονικής Επιτροπής για τους Αναδυόμενους και τους Πρόσφατα Εντοπισμένους Κινδύνους για την υγεία (Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks - SCENIHR), μίας από τις ανεξάρτητες επιστημονικές επιτροπές που διαχειρίζεται η Γενική Διεύθυνση Υγείας και Προστασίας των Καταναλωτών της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, η οποία παρέχει επιστημονικές συμβουλές στην Επιτροπή σε θέματα που σχετίζονται με τα καταναλωτικά προϊόντα, την δημόσια υγεία και το περιβάλλον, [9, 10]
- του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (World Health Organisation - WHO), την διευθύνουσα και συντονίζουσα αρχή για την υγεία στο πλαίσιο του συστήματος των Ηνωμένων Εθνών [11] και
- της Διεθνούς Επιτροπής για την Προστασία από τις Μη Ιοντίζουσες Ακτινοβολίες (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection - ICNIRP), ένα δημόσια χρηματοδοτούμενο σώμα ανεξάρτητων επιστημονικών εμπειρογνομόνων που αποτελείται από μια κύρια επιτροπή 14ων μελών, μια επιστημονική ομάδα εμπειρογνομόνων και τις ομάδες έργων.

Μια βιολογική επίδραση συμβαίνει όταν μια αλλαγή μπορεί να μετρηθεί σε ένα βιολογικό σύστημα μετά την εισαγωγή κάποιου είδους ερεθίσματος. Ωστόσο, η παρατήρηση ενός βιολογικού αποτελέσματος, από μόνη της, δεν υποδηλώνει υποχρεωτικά την ύπαρξη ενός βιολογικού κινδύνου ή μιας επίδρασης για την υγεία. Μια βιολογική επίδραση γίνεται μόνο κίνδυνος για την ασφάλεια, όταν «προκαλεί ανιχνεύσιμη βλάβη της υγείας του ατόμου ή των απογόνων του» [15]. Οι βιολογικές επιδράσεις θα μπορούσαν να είναι φυσιολογικές, βιοχημικές ή συμπεριφορικές αλλαγές που προκαλούνται σε έναν οργανισμό, ιστό



Σχήμα 4: Πινακίδα κινδύνου για μη ιονίζουσα ακτινοβολία

ή κύτταρο. Στα επόμενα υποκεφάλαια παρουσιάζονται οι βιολογικές επιδράσεις της έκθεσης σε μη ιονίζουσα ακτινοβολία διαφορετικών συχνοτήτων.

2.1 Έκθεση σε Ηλεκτρομαγνητικά Πεδία

2.1.1 Πηγές Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας

Η έκθεση του ανθρώπου σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία γίνεται από πολλές διαφορετικές πηγές και σε διάφορες καθημερινές ή εξαιρετικές περιπτώσεις. Τα τεχνητά στατικά πεδία βρίσκονται κυρίως σε επαγγελματικούς χώρους, όπως κοντά σε μαγνητικούς τομογράφους, αν και οι γραμμές μεταφοράς υψηλής τάσης συνεχούς ρεύματος (HVDC) που κατασκευάζονται εκθέτουν μεγαλύτερα τμήματα του πληθυσμού σε στατικά πεδία.

Σε αντίθεση, τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία εξαιρετικά χαμηλών συχνοτήτων συναντώνται παντού. Οι κύριες πηγές αυτών των πεδίων που αφορούν το ευρύ κοινό είναι οι οικιακές συσκευές και τα ηλεκτροφόρα καλώδια. Σημαντικές πηγές αυτών των πεδίων είναι επίσης οι οικιακές συσκευές και οι γραμμές μεταφοράς. Οι ηλεκτρικές συσκευές που παράγουν υψηλότερα μαγνητικά πεδία γύρω τους, είναι εκείνες που χρησιμοποιούν ένα κινητήρα για τη λειτουργία τους. Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια, η προσοχή έχει κατευθυνθεί προς τους ανθρώπους που ζουν δίπλα σε μετασχηματιστές ισχύος που έχουν εγκατασταθεί στο εσωτερικό κατοικημένων κτιρίων. Φαίνεται ότι η μακροχρόνια έκθεση σε ELF μαγνητικά πεδία των ανθρώπων αυτών μπορεί να υπερβαίνει τα αρκετά

δέκατα του μT .

Σήμερα σχεδόν όλος ο ηλεκτρολογικός εξοπλισμός χρησιμοποιεί σύγχρονα ηλεκτρονικά αντί για μετασχηματιστές, όπως για παράδειγμα τα τροφοδοτικά με λειτουργία μεταγωγής (switched-mode power supplies) για φορητούς υπολογιστές κι άλλες παρόμοιες συσκευές, φορτιστές για κινητά τηλέφωνα κ.λπ. Σε νέες μηχανές συγκόλλησης, υπάρχει επίσης μια μετατόπιση προς τη χρήση σύγχρονων ηλεκτρονικών με την εισαγωγή των θυρίστωρ που ανορθώνουν το ρεύμα για τη συγκόλληση. Αυτό με τη σειρά του οδηγεί σε ένα ρεύμα κυμάτωσης με συχνότητα μερικές δεκάδες kHz αντί της θεμελιώδους συχνότητας των 50 Hz και σε αρμονικές συχνότητες.

Η χρήση των τροφοδοτικών με λειτουργία μεταγωγής έχει επίσης οδηγήσει σε αλλαγή του φασματικού περιεχομένου του μαγνητικού πεδίου στο οποίο εκτίθενται οι άνθρωποι καθημερινά. Δεδομένου ότι αυτές οι συσκευές χρησιμοποιούν μόνο ένα μικρό μέρος του ρεύματος στα 50 Hz, αυτό οδηγεί σε μεγάλες αρμονικές συχνότητας 150 Hz και άνω. Με την παρούσα ηλεκτρική καλωδίωση με τρεις φάσεις κι έναν ουδέτερο, οι αρμονικές 150 Hz είναι τώρα η κυρίαρχη συχνότητα των διαφυγόντων ρευμάτων στα κτίρια.

Πρόσφατα έχει επίσης αποδειχθεί ότι μετά από μερικά χρόνια χρήσης των τροφοδοτικών με λειτουργία μεταγωγής, μπορεί να υπάρχει ένα ζήτημα ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας, δεδομένου ότι ορισμένοι ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές που χρησιμοποιούνται σε αυτές τις συσκευές ενδέχεται να μην λειτουργούν σωστά με τον καιρό, οδηγώντας σε υψηλότερες εκπομπές ηλεκτρομαγνητικών πεδίων που μπορεί να θεωρηθεί ως ραδιοφωνική παρεμβολή.

Στο σπίτι, περισσότερες συσκευές έχουν εμφανιστεί στην περιοχή μεσαίων συχνοτήτων. Διαπιστώθηκε ότι μερικές από αυτές, συμπεριλαμβανομένων των παιχνιδιών, μπορεί να υπερβούν τα όρια που καθορίζονται από τις κατευθυντήριες γραμμές έκθεσης σε κοντινή απόσταση. Μια σημαντική πηγή έκθεσης σε αυτό το φάσμα είναι οι επαγωγικές εστίες, οι οποίες έχουν γίνει δημοφιλή τα τελευταία χρόνια. Αυτές μπορούν να εκθέσουν τους χρήστες τους (τόσο μέλη του ευρύ κοινού, όσο και επαγγελματίες) σε πεδία υψηλότερα από εκείνα που προτείνονται στις κατευθυντήριες γραμμές, κυρίως λόγω του γεγονότος ότι η τυπική συμμόρφωσή τους δεν αντιπροσωπεύει όλους τους διαφορετικούς τρόπους με τους οποίους αυτές οι συσκευές χρησιμοποιούνται.

Μέχρι στιγμής οι περισσότερες εφαρμογές που περιλαμβάνουν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία είναι στο εύρος συχνοτήτων πάνω από 100 kHz και μέχρι τα κύματα χιλιοστών. Υπάρχουν πολλαπλές πηγές που συμβάλλουν στην συνολική έκθεση του ατόμου υπό διάφορες συνθήκες. Ωστόσο, οι πομποί σε κοντινή απόσταση ή πάνω στο σώμα, είναι οι κύριες πηγές της έκθεσης του γε-

νικού πληθυσμού και των επαγγελματιών. Η απόσταση από την κύρια δέσμη της πηγής είναι ο κύριος καθοριστικός παράγοντας της έκθεσης, δεδομένου ότι η εκπεμπόμενη ισχύς κι ο κύκλος λειτουργίας παραμένουν τα ίδια. Η πιο σημαντική πηγή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε αυτό το φάσμα συχνοτήτων είναι το κινητό τηλέφωνο. Ωστόσο, ήδη από την πρώτη γενιά της κινητής τηλεφωνίας, υπάρχει μία τάση στην τεχνολογία των τερματικών των κινητών για χαμηλότερη κατά μέσο όρο εκπεμπόμενη ισχύ. Ειδικότερα, για τα συστήματα GSM, η εισαγωγή του ελέγχου ισχύος μείωσε την ισχύ εξόδου περίπου στο 50% του μεγίστου κατά τη διάρκεια των κλήσεων, ενώ η χρήση της ασυνεχούς μετάδοσης (discontinuous transmission - DTX) έδωσε μια περαιτέρω μείωση κατά 30% της εκπεμπόμενης ισχύος. Ο προσαρμοστικός έλεγχος ισχύος έγινε ταχύτερος και πιο αποτελεσματικός στην τρίτη γενιά (3G) των συστημάτων κινητής τηλεφωνίας, οδηγώντας σε μια περαιτέρω μείωση (περίπου δύο τάξεις μεγέθους) στην απορροφώμενη ενέργεια σε σύγκριση με τα τηλέφωνα GSM. Επιπλέον, τα λεγόμενα hands-free πακέτα μπορούν να μειώσουν την ενέργεια που απορροφάται από το κεφάλι δραστικά. Τα τηλέφωνα DECT, που είναι μια άλλη πηγή της καθημερινής έκθεσης, έχουν μέση ενέργεια απορρόφησης αρκετές φορές μικρότερη από εκείνη των τηλεφώνων GSM, αν κι ο μέγιστος χωρικός ειδικός ρυθμός απορρόφησης (SAR) τους είναι μικρότερος μόνο κατά μία τάξη μεγέθους.

Τα λεγόμενα έξυπνα τηλέφωνα, τα οποία λειτουργούν σε δίκτυα διαφορετικών τεχνολογιών, καθώς και άλλες φορητές ασύρματες συσκευές, όπως οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές, έχουν αυξήσει την πολυπλοκότητα όσον αφορά στην έκθεση του χρήστη κι ως εκ τούτου, η εκτίμηση της έκθεσης πρέπει να γίνεται συνδυαστικά.

Η έκθεση που προέρχεται από περιβαλλοντικές πηγές κυριαρχείται από τους σταθμούς βάσης κινητής τηλεφωνίας. Έχει αποδειχθεί ότι αυτά τα συστήματα έχουν αυξήσει σημαντικά τα επίπεδα ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στο αστικό περιβάλλον σε σύγκριση με τα επίπεδα που μετρούνταν κατά την διάρκεια του 1980, όταν υπήρχαν μόνο αναλογικές ραδιοφωνικές και τηλεοπτικές εκπομπές. Ωστόσο, τα ιστορικά στοιχεία από εκστρατείες μετρήσεων κι από συστήματα συνεχούς παρακολούθησης της ακτινοβολίας δείχνουν ότι η εισαγωγή των νέων τεχνολογιών, μετά τα συστήματα 2G, ακόμη και το αναδυόμενο σύστημα 4G, δεν αυξάνουν σημαντικά τα μετρούμενα πεδία στο περιβάλλον. Σε εσωτερικούς χώρους, η εγκατάσταση των σημείων πρόσβασης και σταθμών βάσης μικρής εμβέλειας, όπως τα 3G femtocells, WiFi hotspots και οι συσκευές DECT, έχουν αυξήσει την έκθεση σε αποστάσεις μικρότερες από 1 m από αυτά, ενώ πιο μακριά η παραγόμενη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία δεν μπορεί

να διακριθεί από τα επίπεδα υποβάθρου. Η εκπεμπόμενη ισχύς από αυτές τις συσκευές, ακόμη συνδυασμένη, εξακολουθεί να έχει ως αποτέλεσμα μια πολύ χαμηλή έκθεση σε σχέση με τις διεθνείς κατευθυντήριες γραμμές.

Η επαγγελματική έκθεση σε πηγές ραδιοσυχνοτήτων στην εργασία μπορεί να οδηγήσει σε συσσωρευτική έκθεση σε ολόκληρο το σώμα των επαγγελματιών, πολύ μεγαλύτερη από ότι από τη χρήση του κινητού τηλεφώνου τους, αν και η έκθεση των εγκεφαλικών ιστών τους εξακολουθεί να είναι υψηλότερη λόγω του κινητού τους τηλεφώνου.

Στις υψηλότερες συχνότητες του φάσματος ραδιοσυχνοτήτων και πέρα, δηλαδή στα κύματα χιλιοστών και υπό-χιλιοστών, υπάρχουν μόνο λίγες εφαρμογές σήμερα, αλλά αυτές οι εφαρμογές θα γίνουν πιο διαδεδομένες, ειδικά για τις ευρυζωνικές τηλεπικοινωνίες. Ωστόσο, τέτοια συστήματα θα λειτουργούν με χαμηλή ισχύ και, λόγω του μικρού βάθους διείσδυσης της ακτινοβολίας, μόνο οι επιφανειακοί ιστοί επηρεάζονται.

Οι εφαρμογές terahertz είναι επίσης ακόμα σε πρώιμο στάδιο ανάπτυξης. Η έκθεση όσον αφορά στο ευρύ κοινό θα οφείλεται κυρίως σε εφαρμογές ασφαλείας και τηλεπικοινωνιών, ενώ η επαγγελματική έκθεση θα προέρχεται από την εισαγωγή των συστημάτων απεικόνισης THz σε αλυσίδες παραγωγής για μη καταστρεπτικό έλεγχο ποιότητας.

2.1.2 Συμπεράσματα

Το τυπικό παράδειγμα της έκθεσης του ευρύ κοινού έχει αλλάξει τις τελευταίες δεκαετίες, με την ανάπτυξη νέων τεχνολογικών εφαρμογών. Τα φορητά ασύρματα τηλεπικοινωνιακά τερματικά εξακολουθούν να είναι οι κύριες πηγές έκθεσης του ανθρώπου. Ειδικά για τους εγκεφαλικούς ιστούς, το κινητό τηλέφωνο που χρησιμοποιείται στο αυτί παραμένει η κύρια πηγή έκθεσης.

Η εισαγωγή των νέων τεχνολογιών, μετά την εγκατάσταση των συστημάτων GSM, δεν αναμένεται να αυξήσει σημαντικά το μέσο όρο των επιπέδων των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων στο περιβάλλον. Παράλληλα, άλλες τεχνολογίες, όπως η ψηφιακή μετάδοση, συνέβαλαν στην μείωση της έκθεσης σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία από πηγές μακρινού πεδίου. Σε αντίθεση, ο αριθμός των πηγών έχει αυξηθεί σε εσωτερικούς χώρους. Φαίνεται ότι σε σχέση με τις τηλεπικοινωνιακές εφαρμογές, η τεχνολογική τάση είναι να χρησιμοποιούνται εκπομπή χαμηλής ισχύος, κοντά ή πάνω στο ανθρώπινο σώμα, και σε υψηλότερες συχνότητες. Εφαρμογές THz και κυμάτων χιλιοστού σύντομα θα είναι διαθέσιμες σε διάφορες βιομηχανικές εφαρμογές, αλλά δεν αναμένεται να επηρεάσουν σημαντικά τη μέση έκθεση του ευρύ κοινού.

Λόγω των διαφορετικών συχνοτήτων που χρησιμοποιούνται από τις πηγές δίπλα στο σώμα, είναι σημαντικό να λαμβάνονται υπόψη οι πολλαπλές πηγές, συνδυάζοντας την έκθεση για την αξιολόγηση του κινδύνου, καθώς και υπολογίζοντας την δοσιμετρία συγκεκριμένων οργάνων, όταν αυτό είναι δυνατόν. Το θέμα αυτό είναι ακόμη πιο σημαντικό για την επαγγελματική έκθεση, δεδομένου ότι υπάρχουν καταστάσεις, όπως η εργασία σε μια σουίτα MRI, όπου οι επαγγελματίες εκτίθενται ταυτόχρονα σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία από διάφορες πολλαπλές συχνότητες, διαφορετικών χρονικών διακυμάνσεων και εντάσεων.

2.2 Τεχνολογίες THz

2.2.1 Μελέτες Επιδράσεων Πεδίων THz

Οι βιολογικές επιδράσεις λόγω των πεδίων THz σχετίζονται αυστηρά με τις παραμέτρους έκθεσης της ακτινοβολίας (συχνότητα, ισχύ, διάρκεια της έκθεσης κ.λπ.) και τη σύνθεση και τις ιδιότητες του βιολογικού στόχου (δείκτης διάθλασης, απορρόφησης, ιδιότητες σκέδασης κ.λπ.). Αυτά τα στοιχεία μπορούν να επηρεάσουν τη διάδοση, την χωρική κατανομή ενέργειας και τις θερμικές επιδράσεις των ακτινοβολιών THz. Για παράδειγμα, οι μεγαλύτεροι και οι πρωτεύοντες στόχοι είναι το δέρμα και ο κερατοειδής (εφόσον το βάθος διεισδύσεως είναι της τάξεως των 100 μm), και πολλά βιολογικά μακρομόρια όπως το DNA, η τρυπτοφάνη, οι πρωτεΐνες και οι υδατάνθρακες συμβάλλουν στην απορρόφηση από τον ιστό, μολονότι το νερό είναι το κύριο χρωμοφόρο του ιστού σε συχνότητες THz. Εξαιτίας της απορρόφησης του νερού, τα πεδία THz υψηλή ισχύος υποτίθεται ότι προκαλούν θερμικές επιδράσεις στα βιολογικά υλικά, αν και μη θερμικές επιδράσεις έχουν επίσης προταθεί (Alexandron et al., 2011).

Ο αριθμός των μελετών που διερευνούν τις βιολογικές επιδράσεις των ασθενών πεδίων THz είναι μικρός, αλλά έχει αυξηθεί κατά τα τελευταία 10 χρόνια λόγω της διαθεσιμότητας αξιόπιστων πηγών και ανιχνευτών. Οι πίκανες 3 και 4 περιλαμβάνουν συνοπτικά τις μελέτες *in vivo* και *in vitro* αντίστοιχα που έχουν διεξαχθεί και παρουσιάζουν τα κύρια πειράματα, τα δείγματα, τις συχνότητες και τα εξαχθέντα αποτελέσματα των δημοσιεύσεων που μελέτησαν τις επιδράσεις των πεδίων THz στην ανθρώπινη υγεία.

Πίνακας 3: Μελέτες in vivo τεχνολογιών THz

Αναφορά	Δείγμα/Μοντέλο	Συνθήκες έκθεσης	Αποτελέσματα
Ostrovsky et al., 2005	14 ασθενείς με επιφανειακά εγκαύματα, 21 ασθενείς με βαθιά εγκαύματα	0,15 THz (CW), 0,3 W/m ² , 7 με 10 θεραπείες των 15 λεπτών	Επιτάχυνση της διαδικασίας σχηματισμού επιθηλίου και μείωση της διάδοσης μικροβίων
Kirichuk et al., 2008	Αρουραίοι αλμπίνο	0,15 THz, 2 W/m ² , 15 λεπτά	Ανάκτηση της συσσωμάτωσης των αιμοπεταλίων που προκαλείται από το στρες ακινητοποίησης
Kirichuk et al., 2009	Αρουραίοι αλμπίνο	0,15 THz, 30 W/m ² , 15-60 λεπτά	Αύξηση των παραμέτρων ανάκτηση της συσσωμάτωσης των αιμοπεταλίων. Αυξημένη αδυναμίας των ικανοτήτων προσανατολισμού
Kirichuk and Tsymbal, 2009	Αρουραίοι αλμπίνο	0,15 THz (συχνότητες νιτρικού οξειδίου) και 53,54 GHz, 2 W/m ² , 30 λεπτά	Μείωση των παραμέτρων του στρες που προκαλούνται από το στρες ακινητοποίησης σε συχνότητες νιτρικού οξειδίου, δεν υπάρχουν επιπτώσεις στη συχνότητα 53,54 GHz
Kirichuk και Tsymbal, 2010	Λευκοί mongrel αρουραίοι	0,13 THz, 1 W/m ² , 30 λεπτά	Ανάκτηση υπερπήξεως και καταστολή της ινωδύσης που προκαλούνται από το στρες ακινητοποίησης
Kirichuk et al., 2011	Αρουραίοι αλμπίνο	0,15 THz, 2W/m ² , 30 λεπτά	Ανάκτηση της διαταραχής περιφερικής αιμάτωσης που προκαλείται από το έντονο στρες ακινητοποίησης
Kirichuk et al., 2012	Αρουραίοι αλμπίνο	0,15 THz και 0,13 THz, 1 W/m ² , 5, 10, 15 λεπτά.	Επάνοδος των αιμοδυναμικών αλλαγών μετά από το στρες ακινητοποίησης
Kirichuk και Tsymbal, 2012	Λευκοί αρουραίοι	Έκθεση 0,13 THz +/- L-NAME, ένας αναστολέας της συνθάσης του NO	Θετικές επιπτώσεις της έκθεσης στη συγκέντρωση νιτρικών στο αίμα αναιρείται από το L-NAME
Bondar et al., 2008	Ποντίκια C57B1/6J	3,6 THz, 50 W/m ² , 5-30 λεπτά	Τα ποντίκια αναγνωρίζουν την ακτινοβολία δείχνοντας άγχος

Πίνακας 4: Μελέτες in vitro τεχνολογιών THz

Αναφορά	Δείγμα/Μοντέλο	Συνθήκες Έκθεσης	Αποτελέσματα
Clothier et al., 2003 και Bourne et al., 2008	Ανθρώπινα πρωτογενή κερατινοκύτταρα (NHKs), καλλιέργειες νευρικών κυττάρων (ND7 / 23) και ανθρώπινα επιθηλιακά κύτταρα κερατοειδούς	0,1-2,7 THz (CW), 240-620 W/m ² , 10 λεπτά – 24 ώρες	Καμία επίδραση επί της κυτταρικής διαφοροποίησης, του σχηματισμού φράγματος και της κυτταρικής βιωσιμότητας. Καμία αντίδραση στρες (επίπεδα γλουταθειόνης και πρωτεΐνης θερμικού σοκ).
Wilmlink et al., 2011	Ανθρώπινους δερματικούς ινοβλάστες	2,52 THz, 848 W/m ² , 5-80 λεπτά	Αύξηση κατά 3,5 φορές στην παραγωγή πρωτεΐνης θερμικού σοκ ως αποτελέσματα της αύξησης της θερμοκρασίας κατά 3°C κατά την διάρκεια της έκθεσης THz. Καμία επίδραση στη βιωσιμότητα των κυττάρων και επί του γονιδίου του DNA της αίσθησης και της επισκευής.
Hintzsche et al., 2012	Ανθρώπινοι πρωτογενείς ινοβλάστες του δέρματος (HDF) και κυτταρική σειρά κερατινοκυττάρων (HaCaT)	0,106 THz, 0,4-20 W/m ² , 2-24 ώρες	Ούτε βλάβη του DNA, ούτε χρωμοσωμική βλάβη.
Hintzsche et al., 2013	HDF και HaCaT	0,38 και 2,52 THz, 0,3-9 W/m ² , 2 και 8 ώρες	Καμία επίδραση στο DNA και καμία χρωμοσωμική βλάβη. Καμία επίδραση επί του κυτταρικού πολλαπλασιασμού. Ούτε γονοτοξικές επιδράσεις (DNA και χρωμοσωμική βλάβη), ούτε μεταβολή του πολλαπλασιασμού σε ανθρώπινα λεμφοκύτταρα περιφερικού αίματος.
Zeni et al., 2007	Δείγματα ανθρώπινου αίματος	0,12 THz (0,5 W/m ²) και 0,13 THz (0,3-2,3 W/m ²), 20 λεπτά	Καμία επίδραση στο DNA και καμία χρωμοσωμική βλάβη. Καμία επίδραση επί του κυτταρικού πολλαπλασιασμού. Ούτε γονοτοξικές επιδράσεις (DNA και χρωμοσωμική βλάβη), ούτε μεταβολή του πολλαπλασιασμού σε ανθρώπινα λεμφοκύτταρα περιφερικού αίματος.

Συνέχεια στην επόμενη σελίδα

Πίνακας 4 – συνέχεια από την προηγούμενη σελίδα

Αναφορά	Δείγμα/Μοντέλο	Συνθήκες Έκθεσης	Αποτελέσματα
Williams et al., 2013	Ανθρώπινα επιθηλιακά κύτταρα (HCE-T, κερατοειδούς και ARPE 19, αμφιβληστροειδούς) και ανθρώπινα εμβρυϊκά βλαστικά κύτταρα (hES07)	Μέχρι 0,5 THz, 0,2-3,7 W/m ² , 2-6 ώρες	Καμία επίδραση στη μορφολογία των κυττάρων και τον πολλαπλασιασμό ανεξάρτητα από τον τύπο των κυττάρων, το στάδιο της ανάπτυξης των κυττάρων πριν από την έκθεση, το χρόνο έκθεσης και το χρονοδιάγραμμα (πολλαπλή έκθεση).
Korenstein-Ilan et al., 2008	Απομονωμένα ανθρώπινα λεμφοκύτταρα περιφερικού αίματος	0,1 THz, 0,31 W/m ² , 1, 2 και 24 ώρες	Αύξηση 30% στην ανευπλοειδία των χρωμοσωμάτων 11 και 17 μετά από 2 και 24 ώρες έκθεσης.
Berns and Bewley, 1987	Κυτταρική γραμμή νεφρού αρουραίου-καγκουρό (PTK2)	Παλμικό πεδίο 1,5 THz, 1 W/m ² , 1-10 λεπτά	Καμία αλλαγή στη μορφολογία των κυττάρων αμέσως μετά την έκθεση, μικρή αλλαγή 20 ώρες αργότερα.
Berns et al., 1990, 1994	Κύτταρα CHO	Παλμικό πεδίο 1,5 THz, 1 W/m ² , 5-10 λεπτά	Αναστολή της σύνθεσης του DNA στη φάση S, συγχρονισμένα ή μη συγχρονισμένα κύτταρα. Συσσώρευση λιπιδίων, σαν σταγονίδια στο κυτταρόπλασμα και 6% ενεργοποιημένα γονίδια μετά 9 ώρες έκθεσης. Υπερπαραγωγή ενός παράγοντα μεταγραφής (PPARG) που σχετίζεται με την διαφοροποίηση λιποκυττάρων.
Bock et al., 2010	Μεσεγχυματικά βλαστικά κύτταρα ποντικού (MSC)	10 THz, 10 W/m ² , 2, 4, 6, 9 ώρες	Υπερπαραγωγή των αντιπνεκτίνης, GLUT4 και PPARG μετά από 9 ώρες έκθεσης στα 10 THz.
Alexandrov et al., 2011	Μεσεγχυματικά βλαστικά κύτταρα ποντικού (MSC)	10 THz, (10 W/m ²) και 2,52 THz (30 W/m ²), 2 και 9 ώρες	Διαταραχές της ατράκτου στην ανάφαση και τελόφαση.
Hintzsche et al., 2011	Κυτταρική γραμμή υβριδίου ανθρώπου-χάμστερ	0,106 THz (CW), 0,43-43 W/m ² , 30 λεπτά	

2.2.2 Συμπεράσματα

Είναι δύσκολο να εξαχθεί μια σωστή εκτίμηση του κινδύνου για τις επιπτώσεις στην υγεία από την έκθεση σε πεδία THz, δεδομένου ότι δεν υπάρχουν οι κατάλληλες ενδείξεις, λόγω του μικρού αριθμού των ερευνών που έχουν γίνει μέχρι σήμερα. Οι περισσότερες από αυτές τις έρευνες έχουν διεξαχθεί κατά την τελευταία δεκαετία, κυρίως στο φάσμα συχνοτήτων 0,1-1 THz. Υπάρχουν πολύ λίγες έρευνες που αφορούν υψηλότερες συχνότητες. Οι *in vivo* μελέτες δείχνουν κυρίως ευεργετικές επιδράσεις στις ενδοαγγειακές διαταραχές του κυκλοφορικού συστήματος σε ακινητοποιημένους αρουραίους, αλλά δεν μελετούν καθόλου την οξεία και χρόνια τοξικότητα ή την καρκινογένεση. Οι *in vitro* μελέτες σε κύτταρα θηλαστικών διαφέρουν σε μεγάλο βαθμό όσον αφορά στις συνθήκες ακτινοβολήσης και τα τελικά σημεία υπό έρευνα. Οι μελέτες που δείχνουν επιπτώσεις λόγω της έκθεσης δεν έχουν αναπαραχθεί από ανεξάρτητα εργαστήρια. Ορισμένοι θεωρητικοί μηχανισμοί έχουν προταθεί, αλλά είναι δύσκολο να γίνουν αποδεκτοί αφού δεν υπάρχουν πειστικές πειραματικές αποδείξεις για αυτούς.

Μια πιο συστηματική έρευνα είναι απαραίτητη ώστε να εξαχθεί οποιοδήποτε ακλόνητο συμπέρασμα σχετικά με τις επιπτώσεις στην υγεία από την έκθεση σε ένα πεδίο THz. Ειδικότερα θα πρέπει να διερευνηθούν ευρύτερες περιοχές συχνοτήτων. Οι μελέτες σε ανθρώπους και σε ζώα πρέπει να αντιμετωπίσουν συγκεκριμένες παραμέτρους που σχετίζονται με τις πιθανές τοξικές επιδράσεις στο δέρμα και τον κερατοειδή. Οι μελέτες που δίνουν θετικά αποτελέσματα θα πρέπει να επαναληφθούν σε ανεξάρτητα εργαστήρια.

Λαμβάνοντας υπόψη την αναμενόμενη αύξηση της χρήσης των τεχνολογιών THz, πρέπει να γίνει περισσότερη έρευνα με επίκεντρο τις συνέπειες για το δέρμα (μακροχρόνια έκθεση σε χαμηλά επίπεδα) και τον κερατοειδή (βραχυπρόθεσμη έκθεση υψηλής έντασης). Επιπλέον, η παρακολούθηση των επαγγελματικά εκτιθέμενων ομάδων για διαταραχές στο δέρμα και τα μάτια θα ήταν χρήσιμη.

2.3 Πεδία Ραδιοσυχνότητων (RF Πεδία)

2.3.1 Νεοπλασματικές Νόσοι

Επιδημιολογικές μελέτες

Εγκεφαλικοί όγκοι κι άλλοι καρκίνοι της κεφαλής και του λαιμού
Συνολικά, υπάρχουν λίγα στοιχεία για το ότι η μέτρια χρήση κινητού τηλεφώνου συνδέεται με οποιονδήποτε καρκίνο στην περιοχή της κεφαλής και του λαιμού. Αυτό υποστηρίζεται από επιδημιολογικές μελέτες μεγάλης κλίμακας τριών διαφορετικών πρακτικών. Μόνο σε μία περίπτωση, μια μελέτη δείχνει αύξηση κινδύνου για μέτρια επίπεδα χρήσης, αλλά τα αποτελέσματα δεν είναι συμβατά με τις παρατηρούμενες διαχρονικές τάσεις των ποσοστών εμφάνισης σε πραγματικούς ελέγχους και δεν μπορεί συνεπώς, να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση της επικινδυνότητας.

Τα στοιχεία είναι πιο αμφιλεγόμενα για τους βαρέους χρήστες (heavy users) των κινητών τηλεφώνων. Η «βαριά χρήση» είναι ένα ποιοτικό χαρακτηρισμό και δύσκολα ποσοτικοποιείται, αφού οι χρήστες με την υψηλότερη διαβίου χρήση συγκρίνονται με εκείνους με μικρότερη (συνδυάζοντας τα χρόνια και την διάρκεια της ημερήσιας χρήσης), με διάφορους ορισμούς και τρόπους. Για παράδειγμα, στην μελέτη της Interphone, οι «συχνοί χρήστες» ήταν περίπου το 10% των διαβίου «χειρότερων» τακτικών χρηστών (ή περίπου το 5% των συνολικών ατόμων της μελέτης). Αυτό αντιστοιχεί, για παράδειγμα, σε μισή ώρα καθημερινής χρήσης για 10 χρόνια ή περισσότερα (στην ανακοίνωση του αποτελέσματος από την IARC Monograph (IARC 2013)), αλλά ο αριθμός αυτός δεν πρέπει να ερμηνεύεται ως οποιαδήποτε πρόταση ενός ορίου ασφαλείας. Για το τμήμα των συχνότερων χρηστών, η μεγαλύτερη συγκριτική μελέτη περιπτώσεων συγκεκριμένα παρατήρησε περίπου 40% αυξημένο κίνδυνο για γλοίωμα και ακουστικό νευρίνωμα. Δεν μπορεί να συναχθεί από τις διαθέσιμες μελέτες εάν αυτό αντανακλά μια αιτιολογική συσχέτιση. Οι περιορισμοί των συγκριτικών μελετών, συμπεριλαμβανομένων μερικών με προκατάληψη κατά την επιλογή και κατά την έκθεση, εγείρουν την ανησυχία ότι η παρατηρηθείσα συσχέτιση σε μικρές υποομάδες θα μπορούσε να αποδοθεί σε μεθοδολογικές ελλείψεις. Η ανάλυση των χρονικών τάσεων στη συχνότητα εμφάνισης και οι μελέτες κοόρτης που έχουν διεξαχθεί δεν δείχνουν αποδεικτικά στοιχεία για κάποιο κίνδυνο.

Ένας σημαντικός περιορισμός των περισσότερων μελετών είναι ότι η χρήση του κινητού τηλεφώνου έχει ληφθεί ως υποκατάστατο για την έκθεση σε πεδία RF, με την τελευταία επίσης να εξαρτάται από πολλά τεχνολογικά χα-

ρακτηριστικά, αλλά πολύ έντονα από τη γενιά της τεχνολογίας της κινητής τηλεφωνίας. Η έκθεση σε ραδιοσυχνότητες από τις συσκευές NMT ήταν πολλές φορές υψηλότερη από την τεχνολογία GSM ή την σημερινή έκθεση σε RF και η έκθεση σε RF κατά τα πρώιμα στάδια της τεχνολογίας GSM, όταν τα δίκτυα δεν ήταν πλήρως βελτιστοποιημένα, ήταν επίσης σημαντικά υψηλότερη από τη σημερινή έκθεση. Ως εκ τούτου, οι αυξημένοι κίνδυνοι σε συχνούς χρήστες σε συγκριτικές μελέτες, κυρίως με τη χρήση τεχνολογίας που δεν είναι πια σε λειτουργία ή που λειτουργεί πιο αποτελεσματικά σήμερα, δεν θα μπορούσαν ίσως να οφείλονταν σε μεθοδολογικές αδυναμίες, αλλά πράγματι αντικατοπτρίζουν την ύπαρξη αιτιώδους σύνδεσης. Το εύρημα αυτό μπορεί συνεπώς να μην έχει σημασία για τυχόν μελλοντικές δραστηριότητες πρόληψης του καρκίνου, δεδομένου ότι τα σχετικά σωρευτικά επίπεδα έκθεσης σε RF δεν υπάρχουν πια, ούτε καν μεταξύ εκείνων που χρησιμοποιούν κινητά τηλέφωνα για μεγαλύτερη διάρκεια ή πολύ πιο συχνά από ότι οι χρήστες αυτών της δεκαετίας του 1980 ή του 1990.

Όσον αφορά στο μηνιγγίωμα και στο μελάνωμα του χοριοειδούς χιτώνα, δεν υπάρχει καμία απόδειξη για οποιαδήποτε γενική συσχέτιση, συμπεριλαμβανομένων των βαρέων χρηστών. Για τους όγκους των σιελογόνων αδένων και το μελάνωμα του μάγουλο ή του αυτιού, τα αποδεικτικά στοιχεία είναι κάπως αμφιλεγόμενα, όπως και στην περίπτωση με το γλοίωμα, αλλά βασίζονται σε πολύ λιγότερες μελέτες.

Καμία από τις δημοσιευμένες μελέτες για τον καρκίνο δεν έχει επαρκή στατιστική ισχύ και χρόνο παρατήρησης για τον εντοπισμό μικρών κινδύνων μετά από περιόδους έκθεσης 15 ετών και άνω. Αν και γενικά τα στοιχεία της οποιαδήποτε σύνδεσης είναι αδύναμα, λόγω της διαδεδομένης χρήσης των κινητών τηλεφώνων, είναι απαραίτητο να γίνει περισσότερη έρευνα με βελτιωμένες συνθήκες μελετών. Υπάρχει επί του παρόντος μόνο μια πρόσφατη μελέτη, που ξεπερνά τους περιορισμούς που αναφέρονται παραπάνω μέσω υπερδειγματοληψίας ελαφρών και βαρέων χρηστών από τον πληθυσμό και βασίζοντας την εκτίμηση της έκθεσης στα αρχεία της κυκλοφορίας δεδομένων των φορέων εκμετάλλευσης δικτύων (Schüz et al., 2011).

Άλλοι καρκίνοι Μια μελέτη σε εθνικό επίπεδο για την σχέση της έκθεσης σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία RF από τους σταθμούς βάσης και του καρκίνου της παιδικής ηλικίας διεξήχθη στο Ηνωμένο Βασίλειο (Elliott et al., 2010). Κάλυψε όλους τους καρκίνους παιδικής ηλικίας που διαγνώστηκαν στις ηλικίες 0-4 ετών κατά την περίοδο 1999-2001, με τέσσερις ελέγχους ανά περι-

πτωση και δεδομένα διασταυρωμένα από το εθνικό ληξιαρχείο όσον αφορά στο φύλο και την ημερομηνία γέννησης. Τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία από σταθμούς βάσης υπολογίστηκαν με βάση τις συντεταγμένες της κατοικίας κατά τη γέννηση (λήφθηκε για το 93% των περιπτώσεων και το 90% των ελέγχων) και τα περιεκτικά δεδομένα για όλους τους σταθμούς βάσης από τους τέσσερις εθνικούς φορείς εκμετάλλευσης δικτύων. Για τους καρκίνους του κεντρικού νευρικού συστήματος (251 περιπτώσεις), δεν παρατηρήθηκαν αυξημένοι κίνδυνοι για το τρίτημόριο με την υψηλότερη έκθεση όσον αφορά στην απόσταση από τον πλησιέστερο σταθμό βάσης, την έξοδο ισχύος της ή την υπολογισμένη πυκνότητα ισχύος (προσαρμοσμένοι λόγοι πιθανοτήτων 0,76 - 0,95, με ανώτατα όρια εμπιστοσύνης 1,12 - 1,38). Καμία ένδειξη για αυξημένο κίνδυνο δεν βρέθηκε είτε για λευχαιμία, είτε για λέμφωμα (λόγοι πιθανοτήτων 1,03 - 1,08, με ανώτατα όρια εμπιστοσύνης 1,34 - 1,42, 527 περιπτώσεις). Οι αναλύσεις των μετρικών συνεχών εκθέσεων δεν αποκαλύπτουν καμία ένδειξη συνεπειών λόγω της έκθεσης.

Συμπεράσματα σχετικά με την επιδημιολογία των νεοπλασματικών ασθενειών Οι επιδημιολογικές μελέτες δεν δείχνουν σαφώς αυξημένο κίνδυνο για όγκο του εγκεφάλου, άλλων καρκίνων της κεφαλής και της περιοχής του λαιμού, ή άλλες κακοήθεις ασθένειες, συμπεριλαμβανομένων του καρκίνου της παιδικής ηλικίας.

Δύο μεγάλες προοπτικές μελέτες κοόρτης δεν παρουσιάζουν αυξημένους κινδύνους για όγκο του εγκεφάλου ή άλλες κακοήθεις και οι μεγάλης κλίμακας αναλύσεις χρονοσειρών των τάσεων εμφάνισης είναι συνεπείς με τα αποτελέσματα αυτών. Ορισμένες μελέτες ασθενών-μαρτύρων ανέφεραν αναλογίες πιθανοτήτων περίπου 1,5 έως 2 για τις υψηλότερα εκτεθειμένες ομάδες συνολικού χρόνου χρήσης, αλλά το σφάλμα ανάκλησης δεν μπορεί να αποκλειστεί ως μια πιθανή εξήγηση. Αναλύσεις περιπτώσεων από τα υψηλότερα εκτεθειμένα μέρη του εγκεφάλου δεν έχουν δείξει αυξημένο κίνδυνο, όταν χρησιμοποιήθηκαν δείκτες έκθεσης ανεξάρτητοι της αυτο-αναφερθείσας χρήσης. Η μόνη μελέτη της χρήσης κινητού τηλεφώνου και των όγκων του εγκεφάλου σε παιδιά που έχει διεξαχθεί, δεν έδειξε κάποιον αυξημένο κίνδυνο. Παρόλα αυτά περισσότερες μελέτες είναι απαραίτητες, ειδικά για εκείνους που αρχίζουν να χρησιμοποιούν κινητά τηλέφωνα όπως τα παιδιά και για τον κίνδυνο καρκίνου αργότερα στη ζωή τους.

Το σύνολο των αποδείξεων των επιδημιολογικών μελετών γέρνει έναντι των κινδύνων του καρκίνου από τους σταθμούς βάσης και τις κεραιές εκπομπής.

Συγκεκριμένα, μεγάλες μελέτες μοντελοποίησης της έκθεσης σε RF που διερεύνησαν τους κινδύνους των καρκίνων της παιδικής ηλικίας δεν έχουν δείξει οποιαδήποτε σύνδεση. Πρόσφατα, μια ομάδα εργασίας στον Διεθνή Οργανισμό Ερευνών για τον Καρκίνο (IARC), στο πλαίσιο του προγράμματος Monograph για την αξιολόγηση των καρκινογόνων κινδύνων για τους ανθρώπους, χαρακτήρισε την επιδημιολογική απόδειξη για γλοίωμα και το ακουστικό νευρίνωμα περιορισμένη, κι ως εκ τούτου κατηγοριοποίησε τα πεδία ραδιοσυχνότητας πιθανώς καρκινογόνα για τον άνθρωπο (IARC, 2013). Με βάση τις μελέτες που δημοσιεύθηκαν από την εκτίμηση αυτή (επικαιροποίηση της Δανικής μελέτης κοόρτης της Δανίας, της Βρετανικής μελέτης κοόρτης, την μελέτη ασθενών-μαρτύρων για τα κινητά τηλέφωνα και τους όγκους του εγκεφάλου στα παιδιά και τους εφήβους, τους ελέγχους συνέπειας των ποσοστών εμφάνισης όγκων του εγκεφάλου με τη χρήση δεδομένων από τις σκανδιναβικές χώρες και τις ΗΠΑ), φαίνεται ότι η ένδειξη για γλοίωμα έγινε ασθενέστερη ενώ η δυνατότητα σύνδεσης με το ακουστικό νεύρωμα παραμένει.

Μελέτες in vivo Σε συμφωνία με πολλές παλιότερες μελέτες, οι πρόσφατες μελέτες σε ζώα δεν έχουν παράγει οποιαδήποτε αδιάσειστα στοιχεία ότι τα πεδία ραδιοσυχνότητας είναι καρκινογόνα ή ότι έχουν άλλες ανεπιθύμητες ενέργειες. Τα πρόσφατα στοιχεία δεν είναι ωστόσο εντελώς αρνητικά, αφού μια μελέτη διαπίστωσε ότι η μακροχρόνια χαμηλού επιπέδου έκθεση των αρουραίων σε σήματα GSM μπορεί να μικρύνει τη διάρκεια ζωής τους. Επίσης μια πιλοτική μελέτη χρησιμοποιώντας σήματα UMTS έδειξε αυξημένο κίνδυνο των όγκων του πνεύμονα σε θηλυκούς ποντικούς που υπέστησαν αγωγή με ένα χημικό καρκινογόνο κατά τη διάρκεια της κύησης και μετά τον απογαλακτισμό. Καμία μελέτη δεν είναι οριστική και τα αποτελέσματα απαιτούν ανεξάρτητη επιβεβαίωση.

Με βάση την ανάλυση των μελετών σε ζώα που έχουν δημοσιευτεί από τις αρχές της δεκαετίας του 1980, η IARC (2013) έκρινε ότι τα στοιχεία σε πειραματόζωα για την καρκινογένεση λόγω των πεδίων RF ήταν περιορισμένα (για να δώσουν οριστική αποτίμηση). Παρόλο που είχαν σημειωθεί κάποιες θετικές μελέτες, υπάρχουν εκκρεμή ζητήματα όσον αφορά στην επάρκεια του σχεδιασμού, την διεξαγωγή ή την ερμηνεία αυτών των μελετών.

Συνολικά, διότι ένας σημαντικός αριθμός από καλά διεξαχθείσες μελέτες χρησιμοποιώντας μια μεγάλη ποικιλία από ζωικά μοντέλα έχουν ως επί το πλείστον αρνητική έκβαση, οι μελέτες σε ζώα θεωρούνται ότι παρέχουν ισχυρά αποδεικτικά στοιχεία για την απουσία αρνητικής επίδρασης.

Μελέτες in vitro Ένας μεγάλος αριθμός μελετών έχει διεξαχθεί σε διαφορετικούς τύπους κυττάρων. Ασχολούνται με παραμέτρους γενοτοξικούς καθώς και μη-γενοτοξικούς σχετικούς με τον καρκίνο.

Δεν έχει ανιχνευθεί βλάβη του DNA σε έναν μεγάλο αριθμό από μελέτες in vitro, αν και η ακεραιότητα του DNA επηρεάστηκε σε ορισμένες έρευνες. Σε ορισμένες από αυτές τις περιπτώσεις, το αποτέλεσμα φάνηκε να εξαρτάται από τον κυτταρικό τύπο που ερευνούταν και από τις εφαρμοσμένες ηλεκτρομαγνητικές παραμέτρους (συχνότητα, διαμόρφωση). Οι περισσότερες από τις μελέτες που αναφέρουν την έλλειψη επιπτώσεων, αναφέρονται στην ανωμαλία χρωμοσωμάτων και μικροπυρήνων, που είναι δείκτες μόνιμης βλάβης του DNA, ενώ οι περισσότερες από τις έρευνες που αναφέρουν επιπτώσεις αναφέρονται στην μετανάστευση DNA, στις διαταραχές στην άτρακτο και τον σχηματισμό εστιών, τα οποία είναι δείκτες της μη-μόνιμης βλάβης του DNA. Σχετικά με τις άλλες παραμέτρους που σχετίζονται με τον καρκίνο που ελεγχθήκαν, οι περισσότερες από τις μελέτες δεν βρήκαν κάποιου είδους επιπτώσεις. Μερικές μελέτες ανέφεραν θετικά ευρήματα, τα οποία μερικές φορές ήταν αναστρέψιμα.

Συμπεράσματα σχετικά με νεοπλασματικές ασθένειες από την έκθεση σε ραδιοσυχνότητες Οι επιδημιολογικές μελέτες για την έκθεση σε ραδιοσυχνότητες δεν δείχνουν με βεβαιότητα αυξημένο κίνδυνο για όγκο του εγκεφάλου, και δεν δείχνουν αυξημένο κίνδυνο για άλλους καρκίνους της κεφαλής και της περιοχής του λαιμού, ή άλλες κακοήθεις ασθένειες, συμπεριλαμβανομένου του καρκίνου της παιδικής ηλικίας. Προγενέστερες μελέτες θέσαν ανοικτά ερωτήματα σχετικά με αυξημένο κίνδυνο γλοιώματος και ακουστικού νευρίνωματος στους έντονους χρήστες κινητών τηλεφώνων. Με βάση τις πιο πρόσφατες μελέτες κοόρτης και συχνότητας χρονικών τάσεων, φαίνεται ότι τα στοιχεία όσον αφορά στο γλοίωμα έγιναν πιο αδύναμα, ενώ η πιθανότητα μιας σχέσης με το ακουστικό νευρίνωμα παραμένει ανοικτή.

Ένας σημαντικός αριθμός από καλά εκτελεσμένες in vitro μελέτες χρησιμοποιώντας μια μεγάλη ποικιλία ζωικών μοντέλων έχουν ως επί το πλείστον αρνητική έκβαση. Οι μελέτες αυτές θεωρούνται ότι παρέχουν ισχυρές ενδείξεις για την απουσία κάποιας επίδρασης.

Ένας μεγάλος αριθμός μελετών in vitro σχετικά με κάποια γονιδιοτοξική ή μη επίδραση έχουν δημοσιευτεί. Στις περισσότερες από τις μελέτες, δεν παρατηρήθηκαν επιδράσεις της έκθεσης σε επιτρεπτά επίπεδα, αν και σε ορισμένες περιπτώσεις παρατηρήθηκαν αλλοιώσεις στη δομή του DNA. Η πιο ολοκληρωμένη αξιολόγηση της επικινδυνότητας της έκθεσης σε ραδιοσυχνότη-

τες και των νεοπλασματικών ασθένειών μέχρι τώρα είναι από το πρόγραμμα IARC Monograph για την εκτίμηση των κινδύνων καρκινογένεσης στον άνθρωπο (IARC, 2013). Συνοπτικά το IARC Monograph καταλήγει ότι υπάρχουν λίγες αποδείξεις για γλοιώμα και ακουστικό νεύρωμα για τους ανθρώπους κι ότι τόσο οι in vivo όσο και οι in vitro μελέτες παρέχουν περιορισμένα στοιχεία.

2.3.2 Νευρικό Σύστημα και Νευροσυμπεριφορικές Διαταραχές

Επιδημιολογικές Μελέτες Η μεγάλη μελέτη του Δανικού Σώματος Εθνικών Γεννήσεων (Danish National Birth Cohort) έχει αναφέρει αποτελέσματα που υποδεικνύουν κάποιες διαταραχές στη συμπεριφορά και την υγεία στα παιδιά, αλλά αυτά δεν έχουν επιβεβαιωθεί σε άλλες μελέτες. Οι δημοσιευμένες μελέτες έχουν μεθοδολογικές αδυναμίες συμπεριλαμβανομένων των πληροφοριών σχετικά με τη χρήση κινητού τηλεφώνου κατά τη διάρκεια της εγκυμοσύνης που ληφθήκαν χρόνια μετά τη γέννηση του παιδιού. Ένα θεμελιώδες ζήτημα είναι αν οι δείκτες της έκθεσης, όπως η συχνότητα της χρήσης του κινητού τηλεφώνου της μητέρας, είναι σε γενικές γραμμές σχετικές με την έκθεση του εμβρύου στη μήτρα σε ραδιοσυχνότητες. Οι διαταραχές ελλειμματικής προσοχής έχουν σαφή κληρονομική συνιστώσα κι ως εκ τούτου, είναι πιθανό τα ευρήματα να είναι τέτοια λόγω της αντίστροφης αιτιότητας, δηλαδή η χρήση κινητού τηλεφώνου της μητέρας να αντανακλά τα υπερκινητικά χαρακτηριστικά της, παρά η χρήση του τηλεφώνου να προκαλεί τα προβλήματα συμπεριφοράς του παιδιού. Εν κατακλείδι, υπάρχει ασθενής απόδειξη για μια συσχέτιση μεταξύ διαταραχών της συμπεριφοράς και την έκθεση σε ραδιοσυχνότητες του εμβρύου.

Πρόσφατες επιδημιολογικές μελέτες δεν έχουν δείξει αυξημένο κίνδυνο νευρολογικών ασθενειών που σχετίζονται με την έκθεση σε ραδιοσυχνότητες.

Νευροφυσιολογικές Μελέτες Συνολικά, οι νευροφυσιολογικές μελέτες σχετικά με τις πιθανές επιπτώσεις της έκθεσης σε σήματα ραδιοσυχνότητων για τη λειτουργία του ανθρώπινου εγκεφάλου (μακροδομή του ύπνου, ισχύ των EEG κατά τον ύπνο, EEG κατάστασης ηρεμίας, τάσεις που σχετίζονται με γεγονότα, αργές τάσεις του εγκεφάλου, γνωστική λειτουργία, καθώς και η περιφερειακή ροή του αίματος και αλλαγές οξυγόνωσης) έδωσαν ποικίλα αποτελέσματα. Οι λόγοι για αυτό είναι, μεταξύ άλλων, οι διαφορετικές συνθήκες έκθεσης κι οργάνωσης των πειραμάτων, ο μεγάλος αριθμός των διερευνηθέντων αποτελεσμάτων, η έλλειψη μελετών που αναπαράγουν τα αποτελέσματα και οι ποικίλες στατιστικές ιδιότητες. Παρά την «συνοχή» των αποτελεσμάτων που δείχνουν

ότι η έκθεση σε παλμική ακτινοβολία RF έχει επιπτώσεις στα σήματα EEG κατά τον ύπνο (SSM 2013), παρατηρούνται διαφορές στα φάσματα ισχύος:

- σε ποικίλες ζώνες συχνοτήτων EEG (όχι μόνο στην περιοχή συχνοτήτων της ατράκτου),
- όσον αφορά στα διάφορα στάδια του ύπνου αναφοράς (στάδιο 2 του NREM, NREM συμπεριλαμβανομένων όλων των NREM σταδίων, και του REM) και
- που αφορούν διαφορετικά χρονικά πλαίσια (όλη τη νύχτα, πρώτα 20 ή 30 λεπτά του NREM ύπνου ή στάδιο 2 του NREM ύπνου, πρώτος ή μεταγενέστερος κύκλος του ύπνου, 4ο επεισόδιο NREM).

Η ποικιλία αυτή υπογραμμίζεται από πιο πρόσφατες μελέτες. Τα αποτελέσματα των επιμέρους μελετών δεν έχουν επιβεβαιωθεί από ακριβείς μελέτες αναπαραγωγής των πειραμάτων που εκτελούνται από άλλα εργαστήρια.

Οι περισσότερες από τις μελέτες σε ανθρώπους έχουν διεξαχθεί σε νεαρά άτομα και κυρίως σε αρσενικά. Αφού οι νευροφυσιολογικές παράμετροι μπορεί να αλλάξουν με την ηλικία, δεν είναι γνωστό αν οι επιρροές στο κεντρικό νευρικό σύστημα ενδέχεται να επηρεάσουν διαφορετικά ηλικιωμένους και νεότερους (παιδιά κι εφήβους). Υπάρχουν όμως μερικές μελέτες που δείχνουν επιδράσεις σχετικές με την ηλικία. Επιπλέον, δεν είναι γνωστό αν τα θηλυκά, και/ή άτομα με προϋπάρχον ιατρικό ιστορικό μπορεί να επηρεαστούν διαφορετικά.

Συμπεράσματα Οι περισσότερες από τις πρόσφατες μελέτες έχουν αναφέρει μια επιρροή της έκθεσης σε σήματα ραδιοσυχνοτήτων στη φασματική ισχύ των EEG κατά τη διάρκεια του ύπνου και της εγρήγορσης. Οι επιδράσεις στα EEG κατά τη διάρκεια του ύπνου, ωστόσο, δεν περιορίζονται στο εύρος συχνοτήτων της ατράκτου. Επιπλέον, οι μισές πειραματικές μελέτες που έχουν διεξαχθεί κι εξετάζουν την μακροδομή του ύπνου (ειδικά εκείνα με τη μεγαλύτερη διάρκεια έκθεσης) επίσης βρήκαν αποτελέσματα, τα οποία ωστόσο δεν είναι συνεπή όσον αφορά στις παραμέτρους του ύπνου που επηρεαστήκαν. Φαίνεται ότι όσον αφορά στις τάσεις του σχετίζονται με γεγονότα και στις αργές ταλαντώσεις του εγκεφάλου, τα αποτελέσματα είναι ασυνεπή.

Υπάρχει έλλειψη στοιχείων για συγκεκριμένες ηλικιακές ομάδες. Μια μελέτη δείχνει ότι τα παιδιά και έφηβοι φαίνεται να επηρεάζονται λιγότερο.

Σε γενικές γραμμές υπάρχει έλλειψη αποδείξεων ότι η ακτινοβολία RF επηρεάζει τις γνωστικές λειτουργίες στον άνθρωπο. Μελέτες που εξετάζουν τις

πιθανές επιπτώσεις των πεδίων ραδιοσυχνοτήτων στις γνωστικές λειτουργίες περιλαμβάνουν συχνά πολλαπλές εκβάσεις. Όταν βρεθήκαν επιδράσεις από μεμονωμένες μελέτες, αυτές έχουν τυπικά παρατηρηθεί μόνο σε ένα μικρό αριθμό από αυτά τα αποτελέσματα, με μικρή συνοχή μεταξύ των μελετών ως προς τα ποια αποτελέσματα επηρεάζονται. Η βιολογική σημασία των μικρών φυσιολογικών αλλαγών παραμένει ασαφής.

Μελέτες in vivo Μια σειρά από μελέτες σε ζώα έχουν δημοσιευτεί και κυμαίνονται από την εστίαση στη μάθηση και τη μνήμη, τη συμπεριφορά, τις βιοχημικές αντιδράσεις του εγκεφάλου, την νευρογένεση και κυτταροτοξικότητα έως τις νευροεκφυλιστικές ασθένειες.

Έχει μελετηθεί ένας αριθμός διαφορετικών καταληκτικών σημείων σε διάφορα επίπεδα SAR, τόσο σε ποντικούς όσο και σε αρουραίους. Παρά το γεγονός ότι έχουν σημειωθεί ορισμένα θετικά ευρήματα, οι επιδράσεις είναι ασυνεπής κι εμφανίζονται ως επί το πλείστον σε επίπεδα πολύ πάνω από τις ενδεικτικές τιμές.

Μελέτες in vitro Υπάρχουν μόνο λίγες δημοσιευμένες in vitro μελέτες σε αυτό τον τομέα, και η σημασία τους για μια εκτίμηση των επιδράσεων στο νευρικό σύστημα είναι περιορισμένη. Ορισμένες μελέτες που σχετίζονται με τις νευροεκφυλιστικές ασθένειες έχουν επίσης δημοσιευθεί τελευταία. Η λογική πίσω από αυτές τις δημοσιεύσεις ήταν ότι ένα χαρακτηριστικό που συχνά εμπλέκεται στις νευροεκφυλιστικές ασθένειες είναι η ενεργοποίηση της μικρογλοίας ή/και των αστροκυττάρων, η οποία θα προκαλέσει αλλαγές στην ομοιόσταση των ριζών και μετέπειτα κυτταρικό στρες. Επίσης, έχει διερευνηθεί η βιωσιμότητα τόσο των νευρώνων όσο και των νευρογλοιακών κυττάρων.

Οι λίγες διαθέσιμες in vitro μελέτες δεν παρέχουν στοιχεία χρήσιμα για την αξιολόγηση των πιθανών επιδράσεων στην λειτουργία του νευρικού συστήματος ή στις διεργασίες ασθενειών στο νευρικό σύστημα.

Συμπεράσματα σχετικά με νευρικό σύστημα και νευροσυμπεριφορικές διαταραχές Παρόλο που το Δανικό Σώμα Εθνικών Γεννήσεων (Danish National Birth Cohort) έχει αναφερθεί αποτελέσματα που υποδεικνύουν διαταραχές στη συμπεριφορά και στην υγεία σε παιδιά των οποίων οι μητέρες ήταν χρήστες κινητών τηλεφώνων, τα ευρήματα αυτά δεν έχουν επιβεβαιωθεί σε άλλες μελέτες. Γενικά, οι δημοσιευμένες επιδημιολογικές μελέτες έχουν μεθοδολογικές αδυναμίες.

Οι πρόσφατες επιδημιολογικές μελέτες δεν έχουν δείξει αυξημένο κίνδυνο νευρολογικών ασθενειών που σχετίζονται με την έκθεση σε ραδιοσυχνότητες. Η βιολογική σημασία των μικρών φυσιολογικών αλλαγών παραμένει ασαφής.

Σε γενικές γραμμές υπάρχει έλλειψη αποδείξεων ότι η ακτινοβολία RF επηρεάζει τις γνωστικές λειτουργίες στον άνθρωπο.

Έχει μελετηθεί ένας αριθμός διαφορετικών καταληκτικών σημείων σε διάφορα επίπεδα SAR, τόσο σε ποντικούς όσο και σε αρουραίους. Παρά το γεγονός ότι έχουν σημειωθεί ορισμένα θετικά ευρήματα, οι επιδράσεις είναι ασυνεπείς κι εμφανίζονται ως επί το πλείστον σε επίπεδα πολύ πάνω από τα όρια αναφοράς.

Με τις περιορισμένες διαθέσιμες *in vitro* μελέτες, δεν εξάγονται σαφείς επιδράσεις στην λειτουργία του νευρικού συστήματος.

2.3.3 Συμπτώματα

Δοκιμασίες πρόκλησης παθολογικών αντιδράσεων και μελέτες παρατήρησης Οι μελέτες πρόκλησης που έχουν δημοσιευθεί είναι γενικά καλής ποιότητας και περιλαμβάνουν κατάλληλες τυφλές διαδικασίες, εκθέσεις εκτενούς χρόνου και στην περίπτωση των μελετών για τα τηλέφωνα, σχετικά υψηλά επίπεδα SAR. Παρόλο που ο τρόπος διεξαγωγής των μελετών αυτών θα μπορούσε να θεωρηθεί μια αδυναμία από ορισμένους, λόγω της σύνδεσης του ψυχολογικού στρες που συνδέεται με εργαστηριακές δοκιμές και μπορεί να επηρεάσει τις πιθανές επιπτώσεις της έκθεσης, στην πράξη, έχει αποδειχθεί ότι τα συμπτώματα ενεργοποιούνται στις μελέτες που διεξάγονται με μη τυφλές διαδικασίες. Το γεγονός ότι τα αποτελέσματα αυτά εξαφανίζονται μόλις χρησιμοποιηθεί τυφλή διαδικασία κι ο συμμετέχων επομένως αγνοεί την έκθεσή του σε πεδία, μαρτυρεί πρώτον ότι δεν υπάρχει περιστασιακή επίδραση της έκθεσης σε ραδιοσυχνότητες και δεύτερον, ότι πιστεύοντας και μόνο ότι υπάρχει έκθεση σε RF είναι επαρκές για την πρόκληση συμπτωμάτων μέσω ενός placebo φαινομένου.

Οι πιο πρόσφατες μελέτες παρατήρησης που έχουν δημοσιευθεί μετά το 2009 αντιπροσωπεύουν ένα σημαντικό βήμα προς τα εμπρός όσον αφορά στην ποιότητα των μελετών αξιολόγησης της σχέσης μεταξύ μακροχρόνιας έκθεσης σε ραδιοσυχνότητες και συμπτωμάτων. Οι πρώιμες μελέτες που υποδηλώνουν μια σχέση είχαν σημαντικές μεθοδολογικές αδυναμίες λόγω του φτωχού ελέγχου των συγχυτικών παραγόντων. Μελέτες που χρησιμοποίησαν αντικειμενικά μέτρα της έκθεσης συνήθως δεν βρήκαν συσχέτιση μεταξύ της έκθεσης και των συμπτωμάτων. Παρόλο που περαιτέρω εργασία χρησιμοποιώντας αυτό το πρότυπο θα είναι επωφελής, επί του παρόντος οι μελέτες αυτές υποστηρίζουν ότι δεν υπάρχει αιτιώδης συνάφεια μεταξύ έκθεσης και συμπτωμάτων.

Συμπεράσματα σχετικά με τα συμπτώματα Τα συμπτώματα που αποδίδονται από τους ανθρώπους για την έκθεση σε RF μπορούν μερικές φορές να προκαλέσουν σοβαρές βλάβες στην ευημερία ενός ατόμου. Ωστόσο, η έρευνα που διεξάγεται τα τελευταία χρόνια ισχυροποιεί το συμπέρασμα ότι δεν είναι η έκθεση σε RF η αιτία αυτών των συμπτωμάτων. Αυτό φαίνεται να ισχύει για το ευρύ κοινό, τα παιδιά και τους εφήβους και άτομα με υπερευαισθησία σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (IEI-EMF). Πρόσφατες μετα-αναλύσεις των δεδομένων μελετών παρατήρησης και πρόκλησης υποστηρίζουν αυτό το συμπέρασμα.

Για τα συμπτώματα που προκαλούνται από μικρής διάρκειας έκθεση σε πεδία ραδιοσυχνότητας (από λεπτά έως ώρες), τα συνεπή στοιχεία από πολλαπλές μελέτες τυφλών διαδικασιών οδηγούν σε μια ισχυρή απόδειξη ότι τα πεδία ραδιοσυχνότητας δεν προκαλούν τέτοια συμπτώματα.

Για τα συμπτώματα που σχετίζονται με μακροπρόθεσμες εκθέσεις (ημέρες έως και μήνες), τα στοιχεία από μελέτες παρατήρησης είναι σε γενικές γραμμές συνεπή, αλλά έχουν κενά, κυρίως όσον αφορά στην παρακολούθηση του στόχου της έκθεσης. Υπάρχουν επομένως, κάποια στοιχεία που δείχνουν απουσία επιπτώσεων που οφείλονται στην ακτινοβολία RF.

2.3.4 Άλλες Επιπτώσεις της Έκθεσης σε Ραδιοσυχνότητες

Επιδράσεις στην αναπαραγωγική ικανότητα Δύο είναι οι κύριες προσεγγίσεις που έχουν χρησιμοποιηθεί για να διερευνηθούν τις επιπτώσεις των ραδιοσυχνότητας στην ανδρική γονιμότητα στους ανθρώπους: είτε με τον υπολογισμό της χρήσης του τηλεφώνου σε άνδρες που επισκέπτονται τις κλινικές υπογονιμότητας, ή με δείγματα σπέρματος από υγιείς δότες που έχουν εκτεθεί σε πεδία ραδιοσυχνότητας ex vivo. Μερικές μελέτες έχουν χρησιμοποιήσει ένα κινητό τηλέφωνο ως πηγή έκθεσης, ενώ μια μελέτη εξέτασε την αναπαραγωγική ικανότητα ναυτών που είχαν εκτεθεί σε πεδία ραδιοσυχνότητας κατά τη διάρκεια της εργασίας του σε ένα πλοίο.

Οι μελέτες έχουν συνεχίσει να διερευνούν την πιθανότητα ότι η έκθεση σε χαμηλού επιπέδου πεδία ραδιοσυχνότητας από τα κινητά τηλέφωνα και άλλες πηγές μπορεί να επηρεάσει την ανδρική γονιμότητα, αλλά καμία από τις πρόσφατες μελέτες δεν είναι ιδιαίτερα κατατοπιστική. Οι περισσότερες από τις ex vivo μελέτες έχουν αναφέρει τουλάχιστον ένα θετικό αποτέλεσμα, αλλά όλες αυτές οι μελέτες υπόκεινται σε μια ποικιλία μεθοδολογικών περιορισμών, και τουλάχιστον μια μελέτη που αναφέρει αλλαγή στη μορφολογία του σπέρματος μπορεί να αποδοθεί σε τεχνούργημα. Μια νορβηγική μελέτη που εξετάζει την

πατρική έκθεση σε πεδία RF πάνω σε περιπολικά σκάφη ήταν μεγάλη, αλλά δεν μπορεί να αποκλειστεί η σύγχυση με τους ανεξέλεγκτους παράγοντες του τρόπου ζωής. Παρομοίως, μια μελέτη που εξετάζει τους άνδρες που επισκέπτονται μια κλινική υπογονιμότητας είναι επίσης προκατειλημμένη όσον αφορά στη χρήση κινητού τηλεφώνου.

Δεν είναι δυνατόν να βγουν καταληκτικά συμπεράσματα, λόγω της έλλειψης των ενημερωτικών μελετών.

Επιδράσεις στην ανάπτυξη Πολλές μελέτες σε ζώα έχουν διερευνήσει τις επιπτώσεις των ραδιοσυχνοτήτων στην ανδρική γονιμότητα και την έκβαση της εγκυμοσύνης και την ανάπτυξη. Ορισμένες από αυτές τις μελέτες χρησιμοποίησαν ένα εμπορικό κινητό τηλέφωνο, μερικές φορές σε κατάσταση αναμονής, ως την πηγή της έκθεσης στα πειράματά τους. Δυστυχώς, τέτοιες μελέτες δεν έχουν καμία χρησιμότητα για την αξιολόγηση των κινδύνων για την υγεία, καθώς οι εκθέσεις θα ήταν εξαιρετικά πολύπλοκες και πολύ μεταβλητές, ειδικά εάν τα ζώα ήταν μη ακινητοποιημένα, ελεύθερα να κινούνται μέσα στα κλουβιά τους. Επιπλέον, οι εκπομπές από ένα κινητό τηλέφωνο σε κατάσταση αναμονής θα ήταν αμελητέα (Hansson Mild et al., 2012). Αυτές οι μελέτες με ανεπαρκή δοσिमетρία, δεν λαμβάνονται υπόψη.

Οι μελέτες σε ζώα επιτρέπουν την λεπτομερή μελέτη των επιπτώσεων της μακροχρόνιας έκθεσης σε πεδία ραδιοσυχνοτήτων για τη λειτουργία των όρχεων και της ανάπτυξης. Σε αντίθεση με τους ανθρώπους, είναι δυνατό για τα ζώα να εκτίθενται σε ελεγχόμενα και καλά χαρακτηρισμένα πεδία, χωρίς πιθανή σύγχυση από άλλες πηγές ραδιοσυχνοτήτων στο περιβάλλον. Το χρονοδιάγραμμα των εργαστηριακών μελετών περιλαμβάνει την ενδομήτρια και μεταγεννητική ανάπτυξη στα τρωκτικά. Πρόσφατες ολοκληρωμένες μελέτες δείχνουν ότι η μακροπρόθεσμη, επανειλημμένη έκθεση σε WCDMA και/ή σήματα CDMA σε ολόκληρο το σώμα με SARs έως 4 W/kg, δεν συνδέονται με αρνητικές συνέπειες για τη λειτουργία των όρχεων σε αρουραίους. Τα αποτελέσματα αυτά είναι συνεπή με μια σειρά από άλλες μελέτες που αναφέρουν έλλειψη επιδράσεων στην απουσία σημαντικής θέρμανσης των όρχεων. Σε αντίθεση, ένα εργαστήριο έχει αναφέρει ότι η μακροπρόθεσμη έκθεση χαμηλού επιπέδου σε 2,45 ή 10 GHz, μπορεί να προκαλέσει δυσμενείς επιπτώσεις στο σπέρμα μέσω αύξησης που προκαλείται από το πεδίο σε αντιδραστικά είδη οξυγόνου. Ωστόσο, οι μελέτες αυτές έχουν μικρό μέγεθος και κάποιες επιβεβαιωτικές μελέτες με μεγαλύτερο αριθμό πειραματόζωων θα ήταν χρήσιμες. Οι πιο πρόσφατες μελέτες που διερευνούν επιπτώσεις στην έκβαση της εγκυμοσύνης και την α-

νάπτυξη των απογόνων ήταν μεγάλες και καλά διεξαγμένες, κι έτσι μπορούν να παρέχουν πολύ χρήσιμες πληροφορίες. Αυτές οι μελέτες διαπίστωσαν ότι η προγεννητική χαμηλού επιπέδου και η πρώιμη μεταγεννητική έκθεση σε μια ποικιλία σημάτων RF δεν συσχετίστηκε με οποιαδήποτε δυσμενή έκβαση, αν και μία μελέτη έδειξε ότι η πρώιμη μεταγεννητική έκθεση οδήγησε σε αυξημένη ωριμότητα σε αρσενικούς αρουραίους. Επιπλέον, δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές επιδράσεις μετά από σχεδόν συνεχή, ισόβια έκθεση των ποντικών για περισσότερες από τέσσερις γενεές.

2.3.5 Συμπεράσματα

Νευρικό σύστημα Μετά από πολύχρονες έρευνες έχει τεκμηριωθεί πια ότι η έκθεση σε ραδιοσυχνότητες μπορεί να επηρεάσει τις δραστηριότητες του εγκεφάλου, όπως έχει παρατηρηθεί από EEG μελέτες τόσο κατά τη διάρκεια της εγρήγορσης όσο και του ύπνου. Ωστόσο, με δεδομένη την ποικιλία των συχνοτήτων των πεδίων, της διάρκειας της έκθεσης, του αριθμού των δειγμάτων και των στατιστικών μεθόδων είναι δύσκολο να αντληθούν πιο αξιόπιστα συμπεράσματα. Όσον αφορά στις επαγόμενες τάσεις και τις αργές κυματομορφές του εγκεφάλου τα αποτελέσματα είναι ασυνεπή. Οι μελέτες σχετικά με τις επιπτώσεις των ραδιοκυμάτων στις νοητικές λειτουργίες του ανθρώπου δεν έχουν συνοχή. Η βιολογική σημασία των μικρών φυσιολογικών αλλαγών παραμένει ασαφής και λείπει μια μηχανιστική εξήγηση αυτών.

Συμπτώματα Ένας επαρκής αριθμός πειραματικών αποδείξεων δείχνουν ότι η έκθεση σε πεδία RF δεν προκαλεί συμπτώματα, τουλάχιστον βραχυπρόθεσμα. Παρόλο που χρειάζονται περισσότερες μελέτες για να αξιολογήσουν κατά πόσο η μακροπρόθεσμη έκθεση συνδέεται με συμπτώματα, τα αποδεικτικά στοιχεία μέχρι σήμερα δείχνουν ότι δεν υπάρχει σχέση αιτίου-αιτιατού.

Άλλες επιπτώσεις Οι μελέτες για νευρολογικές ασθένειες και συμπτώματα δεν δείχνουν σαφή επίδραση, αλλά τα στοιχεία είναι περιορισμένα.

Οι ανθρώπινες μελέτες για την ανάπτυξη του παιδιού και για τα προβλήματα συμπεριφοράς παρέχουν μόνο ασθενή στοιχεία, λόγω των αντικρουόμενων αποτελεσμάτων και των μεθοδολογικών περιορισμών. Οι επιδράσεις από την έκθεση ενός εμβρύου λόγω της χρήσης του κινητού τηλεφώνου από την μητέρα είναι εξαιρετικά χαμηλές.

Οι μελέτες πάνω στην ανδρική γονιμότητα είναι κακής ποιότητας και προσφέρουν ελάχιστα στοιχεία.

Νεοπλασματικές νόσοι Οι επιδημιολογικές μελέτες για την έκθεση σε ραδιοσυχνότητες δεν δείχνουν με σιγουριά αυξημένο κίνδυνο για όγκο στον εγκέφαλο, και δεν δείχνουν αυξημένο κίνδυνο για άλλους καρκίνους της κεφαλής και της περιοχής του λαιμού, ή άλλες κακοήθεις ασθένειες, συμπεριλαμβανομένου του καρκίνου της παιδικής ηλικίας. Παλιότερες μελέτες είχαν θέσει ανοικτά ερωτήματα σχετικά με αυξημένο κίνδυνο γλοιώματος και ακουστικού νευρινώματος σε συχνούς χρήστες κινητών τηλεφώνων. Με βάση τις πιο πρόσφατες μελέτες, φαίνεται ότι οι ενδείξεις περί γλοιώματος έχουν αποδυναμωθεί, ενώ η σχέση με το ακουστικό νευρίνωμα παραμένει ακόμη ένα ανοικτό ερώτημα.

Ένας σημαντικός αριθμός από καλά εκτελεσμένες *in vivo* μελέτες που χρησιμοποιούσαν μια μεγάλη ποικιλία μοντέλων ζώων έχουν ως επί το πλείστον αρνητική έκβαση. Οι μελέτες αυτές θεωρούνται ότι παρέχουν ισχυρές ενδείξεις για την απουσία μιας αρνητικής επίδρασης.

Έχει εκπονηθεί ένας μεγάλος αριθμός μελετών *in vitro* σχετικά με τις γονιδιοτοξικές, καθώς και μη-γονιδιοτοξικές επιδράσεις. Στις περισσότερες από τις μελέτες αυτές δεν παρατηρήθηκαν επιδράσεις της έκθεσης σε μη θερμικά επίπεδα, μολονότι σε ορισμένες περιπτώσεις παρατηρήθηκαν σπασίματα του DNA και διαταραχές της δομής του.

2.4 Πεδία Μεσαίων Συχνοτήτων (IF Πεδία)

Παρά το ευρύ φάσμα των πηγών μαγνητικών πεδίων IF, εξακολουθούν να υπάρχουν πολύ λίγες μελέτες που εξετάζουν τις πιθανές επιπτώσεις της έκθεσης σε αυτά τα πεδία στην υγεία. Οι λίγες σχετικές μελέτες που έχουν ταυτοποιηθεί περιλαμβάνουν τόσο *in vivo*, όσο και *in vitro* προσεγγίσεις.

Σύμφωνα με μελέτες που πραγματοποιήθηκαν κυρίως στην δεκαετία του 1990, ερευνήθηκαν πιθανές τερατογενέσεις σε έμβρυα ποντικών ICR, ως αποτελέσματα ενός μαγνητικού πεδίου τριγωνικού σήματος στα 20 kHz (Lee et al., 2009). Αυτό το σήμα εκπέμπεται από τερματικά οθονών βίντεο κι έχουν αναφερθεί αντιφατικά αποτελέσματα της έκθεσης για την ανάπτυξη του εμβρύου σε διάφορα είδη (Juutilainen, 2005). Το έργο των Lee et al. περιλάμβανε ένα μαγνητικό πεδίο 20 kHz, 30 μ T peak-to-peak, το οποίο εφαρμόστηκε για 8 ώρες ανά ημέρα από την ημέρα κυοφορίας ως έκθεση σε ολόκληρο το σώμα. Αυτή η πυκνότητα ροής επιλέχθηκε επειδή είναι το όριο επαγγελματικής έκθεσης για 20 kHz μαγνητικά πεδία στην Κορέα. Τα εκτεθειμένα και τα μη-εκτεθειμένα ζώα τοποθετήθηκαν κατά τη διάρκεια της θεραπείας σε χωριστά δωμάτια. Υπήρχε ένα μαγνητικό πεδίο υποβάθρου συχνότητα 60 Hz, μόνο στο δωμάτιο των εκτιθέμενων ζώων (περίπου 0,11 μ T). Τα ζώα θανατώθηκαν την 18η ημέρα της

κύησης, οπότε οι μητέρες και τα έμβρυα εξετάστηκαν για έναν αριθμό τελικών σημείων. Δεν υπάρχουν επιπτώσεις που σχετίζονται με την έκθεση όσον αφορά στις μητέρες, συμπεριλαμβανομένων των κλινικών ενδείξεων, του σωματικού βάρους και της αύξησης του βάρους. Τα έμβρυα εξετάστηκαν για τη βιωσιμότητα, τις δυσμορφίες, το βάρος, το μήκος και το φύλο. Σε καμιά περίπτωση δεν σημειώθηκαν τυχόν επιπτώσεις λόγω της έκθεσης. Η μελέτη αυτή επεκτείνει το έργο από την ίδια ομάδα, όπου ερευνήθηκαν οι επιπτώσεις του σήματος 20 kHz μέγιστης έντασης 6,25 μ T. Επίσης, η μελέτη αυτή ήταν αρνητική, δηλαδή χωρίς ανεπιθύμητες επιρροές που σχετίζονται με την έκθεση (Kim et al., 2004). Η σημασία αυτής της έκθεσης σε μαγνητικά επίπεδα χαμηλών επιπέδων σε μελέτες σε ποντίκια, είναι δύσκολο να αξιολογηθεί για την περίπτωση του ανθρώπου.

Μια σειρά από μελέτες των επιπτώσεων λόγω της έκθεσης σε IF για την εμβρυϊκή ανάπτυξη έχει δημοσιευθεί από τον Nishimura και τους συνεργάτες του (Nishimura et al, 2009, 2011, 2012). Η δουλειά τους έχει τη λογική της στην αυξανόμενη εγχώρια χρήση των φούρνων επαγωγής και των κουζινών στην Ιαπωνία. Κατά συνέπεια σε αυτές τις μελέτες ερευνήθηκαν οι επιδράσεις ημιτονοειδών μαγνητικών πεδίων 20 και 60 kHz.

Στην μελέτη των Nishimura et al. (2009) εκτέθηκαν έμβρυα όρνιθας White Leghorn κατά τη διάρκεια των πρώτων 2, 7, ή 11 ημερών από την εμβρυογένεση. Ένα 20 kHz κάθετο ημιτονοειδές B-πεδίο (0,011, 0,11, ή 1,10 mT RMS) δημιουργήθηκε από πηνία για πειράματα πραγματικής έκθεσης (τυφλές διαδικασίες και συνθήκες ανάλυσης). Τα αυγά τοποθετήθηκαν σε οριζόντια θέση και το υπολογισμένο μέγιστο E-πεδίο εντός των αυγών ήταν 1,8 V/m για την έκθεση 1,1 mT, που όμως δεν αντικατοπτρίζει την πραγματική έκθεση του ίδιου του εμβρύου. Δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές επιδράσεις σε οποιαδήποτε παράμετρο που διερευνήθηκε μετά από τα πειράματα (εκτελέστηκε εις τριπλούν), σε οποιαδήποτε από τις διερευνηθείσες πυκνότητες ροής. Επιπλέον, έμβρυα που υπέστησαν αγωγή με ρετινοϊκό οξύ (ένας γνωστός τερατογόνος παράγων), αντέδρασαν όπως αναμενόταν με εμβρυϊκό θάνατο και αναπτυξιακές ανωμαλίες σε ποσοστό 40-60% για τα μη εκτιθέντα έμβρυα, ποσοστό παρόμοιο με δείγματα που εκτέθηκαν επίσης σε μαγνητική ακτινοβολία. Η ίδια ομάδα χρησιμοποίησε αρουραίους Crl:CD(SD) σε δύο μεταγενέστερες μελέτες, όπου εκτιμήθηκαν οι επιδράσεις των μαγνητικών πεδίων 20 kHz ή 60 kHz (ημιτονοειδές κύμα) στην εμβρυϊκή οργανογένεση (Nishimura et al., 2011) και τη γονιμότητα και την πρόωμη εμβρυογένεση (Nishimura et al., 2012). Στην πρώτη από αυτές τις μελέτες, οι αρουραίοι που κυοφορούσαν εκτέθηκαν είτε σε 20 kHz (0,2 mT RMS), είτε σε 60 kHz (0,1 mT RMS) μαγνητικά πεδία για 22 ώρες/ημέρα (ημέρες κύησης από 7 έως 17). Τα ζώα θανατώθηκαν την 20η ημέρα, οπότε και μελετήθηκαν η μητρική

τοξικότητα, η αναπαραγωγική ικανότητα, η προγεννητική θνησιμότητα, το βάρος και οι ανωμαλίες. Τα πειράματα διεξήχθησαν δύο φορές και για τους δύο τύπους των μαγνητικών πεδίων. Τα αποτελέσματα διέφεραν ελάχιστα ανάμεσα στα εκτιθέμενα έμβρυα και στα μη όσον αφορά στις σκελετικές μεταβολές και στην αναλογία φύλου του εμβρύου σε μεμονωμένα πειράματα.

Η πιο πρόσφατη από τις μελέτες από την ομάδα αυτή (Nishimura et al., 2012) χρησιμοποίησε την ίδια έκθεση μαγνητικής ακτινοβολίας, αλλά με τη σημαντική διαφορά ότι η έκθεση εφαρμόστηκε τόσο στα αρσενικά όσο και τα θηλυκά ζώα 14 ημέρες πριν από και κατά τη διάρκεια του ζευγαρώματος. Τα θηλυκά που κυοφορούσαν εκτίθονταν επίσης μέχρι την 7η ημέρα της κύησης και στη συνέχεια θανατώθηκαν. Ερευνήθηκε ένας μεγάλος αριθμός των παραμέτρων που αφορούν τη γονιμότητα, την μητρική και πατρική τοξικότητα, και την πρώιμη εμβρυϊκή ανάπτυξη. Οι μόνες σημαντικές διαφορές μεταξύ των εκτεθέντων και των μη παρατηρήθηκαν σε ένα από τα δύο πειράματα στα 60 kHz, όπου το σωματικό βάρος στους κυοφορούντες ποντικούς ήταν χαμηλότερο στα εκτεθειμένα ζώα. Μία ομάδα που εκτέθηκε στα 20 kHz είχε χαμηλότερο σωματικό βάρος από ότι η αντίστοιχη ομάδα που δεν εκτέθηκε. Ωστόσο, δεν παρατηρήθηκε καμία επίδραση στην αναπαραγωγική αποτελεσματικότητα στην παρούσα μελέτη.

Έχουν δημοσιευθεί δύο μελέτες *in vitro* που προέρχονται από την ανησυχία για τις αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία από την έκθεση σε πεδία IF που προέρχονται από επαγωγικές εστίες. Η πρώτη μελέτη εξέθεσε κύτταρα χάμστερ CHO-K1 σε 23 kHz μαγνητικά πεδία (6,05 mT, RMS, 2 ώρες) και διερευνηθήκαν παράμετροι γονοτοξικότητας (ανάπτυξη των κυττάρων, σχηματισμός μικροπυρήνων, γονιδιακή μετάλλαξη HPRT) (Sakurai et al., 2009). Η έκθεση των κυττάρων σε μαγνητικά πεδία δεν προκάλεσε διαφορετικά αποτελέσματα σε σχέση με αυτά που δεν εκτίθενταν, ενώ οι θετικοί έλεγχοι έδωσαν τα αναμενόμενα αποτελέσματα.

Σε μια μεταγενέστερη μελέτη η ίδια ομάδα διερεύνησε ένα πιο λεπτό σημείο, την γενική γονιδιακή έκφραση (Sakurai et al., 2012). Χρησιμοποιήθηκε μία ανθρώπινη αστρογλοιακή κυτταρική γραμμή και εκτέθηκε σε πεδίο συχνότητας 23 kHz κι έντασης 100 μ T RMS (2, 4, ή 6 ώρες). Μετά διεξήχθη η ανάλυση του κυτταρικού κύκλου και η ανάλυση των μικροσυστοιχιών της γονιδιακής έκφρασης. Δεν παρατηρήθηκαν επιπτώσεις από την έκθεση ούτε για την διανομή του κυτταρικού κύκλου, ούτε για την γονιδιακή έκφραση.

2.4.1 Συμπεράσματα

Δεν είναι δυνατόν να υπολογισθούν οι κίνδυνοι για την υγεία λόγω της έκθεσης σε πεδία μεσαίων συχνοτήτων, δεδομένου ότι υπάρχουν λίγες μελέτες γενικά, και δεν έχουν διεξαχθεί καθόλου επιδημιολογικές μελέτες. Ωστόσο, κάποιες νέες in vivo μελέτες υποδεικνύουν ότι η αναπαραγωγική και αναπτυξιακή τοξικότητα των IF πεδίων έως και 0,2 mT σε εύρος συχνοτήτων 20-60 kHz, δεν είναι πιθανή.

Ενόψει της αναμενόμενης αύξησης της επαγγελματικής έκθεσης σε IF πεδία, οι νέες πειραματικές μελέτες εστιάζουν στους βιοδείκτες και τις επιρροές στην υγεία των εργαζομένων, και βασίζονται σε λογικού μεγέθους ομάδες με σαφώς ορισμένη έκθεση.

2.5 Πεδία Εξαιρετικά Χαμηλής Συχνότητας (ELF Πεδία)

2.5.1 Νεοπλασματικές Νόσοι

Επιδημιολογικές μελέτες Οι συγκεντρωτικές αναλύσεις των πιο πρόσφατων μελετών σχετικά με τα μαγνητικά πεδία ELF και την παιδική λευχαιμία επιβεβαιώνουν εκείνες προγενέστερων μελετών, όμως η νέα γενιά των μελετών δείχνει μικρή μεθοδολογική πρόοδο σε σύγκριση με εκείνες που διεξάγονταν πριν από το 2000. Ως εκ τούτου, εξακολουθεί να είναι δύσκολο να κρίνουμε κατά πόσον η προφανώς αρκετά ισχυρή εμπειρική σύνδεση, είναι πιθανό να είναι αιτιώδης ή αποτέλεσμα μεθοδολογικών αδυναμιών των μελετών. Ειδικότερα, τα χαμηλά ποσοστά ανταπόκρισης μεταξύ των ελέγχων εξακολουθούν να προκαλούν ανησυχία. Ο προσδιορισμός εναλλακτικών εξηγήσεων, καθώς και η εξεύρεση περαιτέρω αποδείξεων για την βιολογική αληθοφάνεια έχουν σημειώσει μικρή πρόοδο. Ειδικότερα, μια μεγάλη μελέτη που διερευνά την παιδική επιβίωση από λευχαιμία σε σχέση με τα μαγνητικά πεδία ELF, δεν παρατήρησε κάποια σύνδεση, κι έτσι δεν υποστήριξε την υπόθεση ότι τα μαγνητικά πεδία ELF μπορούν να προωθήσουν τους προ-λευχαιμικούς κλώνους τόσο σχετικούς με τον κίνδυνο ανάπτυξης λευχαιμίας, όσο και με τον κίνδυνο υποτροπής της λευχαιμίας μετά από επιτυχή θεραπεία. Μελέτες για άλλους καρκίνους της παιδικής ηλικίας ή καρκίνους σε ενήλικες δεν δείχνουν συνεπή αποτελέσματα, γεγονός που υποδηλώνει ότι η παρατηρηθείσα συσχέτιση εξακολουθεί να αποτελεί πρόβλημα μόνο για την παιδική λευχαιμία.

Από επιδημιολογική άποψη, η πιθανή συσχέτιση μεταξύ της μακροχρόνιας έκθεσης σε μαγνητικά πεδία ELF και του αυξημένου κίνδυνου παιδικής λευχαιμίας φαίνεται να είναι ισχυρή, αφού έχει παρατηρηθεί σε πολλές μελέτες, με

διαφορετικές ρυθμίσεις και σε διαφορετικά χρονικά σημεία. Δυστυχώς, μικρή πρόοδος έχει σημειωθεί στην εξήγηση της διαπίστωσης αυτής, τόσο από την άποψη της εξεύρεσης ενός πιθανού μηχανισμού για μια αιτιολογική συσχέτιση ή στον εντοπισμό εναλλακτικών εξηγήσεων.

Μελέτες in vivo Παρακινημένες από την παρατηρούμενη αύξηση του κινδύνου λευχαιμίας σε παιδιά, οι πειραματικές μελέτες έχουν ερευνησει την πιθανή καρκινογόνο δράση των μαγνητικών πεδίων χρησιμοποιώντας ζώα. Οι μελέτες αυτές έχουν την τάση να χρησιμοποιούν τα παραδοσιακά μοντέλα τροφικών και δεν υποστηρίζουν τα επιδημιολογικά ευρήματα. Ωστόσο, αυτές οι πειραματικές μελέτες πάσχουν από έναν αριθμό περιορισμών (Lagroye et al., 2011). Πρώτον, η έλλειψη κατάλληλων ζωικών μοντέλων για την παιδική λευχαιμία είναι ανησυχητική. Οι περισσότερες μελέτες δεν έχουν χρησιμοποιήσει άμεσα σχετικά μοντέλα, αν και μια πρόσφατη μελέτη κατάφερε να χρησιμοποιήσει ένα μοντέλο αρουραίου με οξεία λεμφοβλαστική λευχαιμία Β-κυττάρων και δεν βρήκε επιδράσεις στην λευχαιμία λόγω των πεδίων. Ωστόσο, μοντέλα ποντικών οξείας λεμφοβλαστικής λευχαιμίας είναι πια διαθέσιμα, όπως το μοντέλο ETV6-RUNX1 (TEL-AML 1) (π.χ. Schlindler et al., 2009, Van der Weyden et al., 2011) κι αναμένεται ότι τα βελτιωμένα μοντέλα θα γίνουν προσβάσιμα στο εγγύς μέλλον (Ziegelberger et al., 2011). Οι μελέτες με αυτά τα μοντέλα θα πρέπει να είναι στις προτεραιότητες των μελλοντικών ερευνών. Επιπλέον, λίγες μελέτες έχουν επίσης διεξαχθεί με εκθέσεις κατά τη διάρκεια της κύησης, όταν τα αρχικά γεγονότα θεωρείται ότι πραγματοποιούνται στην οξεία λεμφοβλαστική λευχαιμία, οπότε οι μελλοντικές μελέτες θα πρέπει να περιλαμβάνουν κι αυτόν τον παράγοντα. Περαιτέρω, είναι πιθανό ότι οι συνθήκες έκθεσης που χρησιμοποιούνται σε πειραματικές μελέτες να μην ήταν οι βέλτιστες ώστε να εξαχθούν αποτελέσματα, διότι δεν έχουν ταυτοποιηθεί οι βιολογικοί σχετικοί παράγοντες, αν και πολλές μελέτες έχουν χρησιμοποιήσει πεδία που υπερβαίνουν κατά πολύ τις τιμές που βρίσκονται συνήθως στο καθημερινό περιβάλλον. Τέλος, η πιθανότητα αύξησης της ευαισθησίας στελεχών στα μαγνητικά πεδία είναι ενδιαφέρουσα, και θα μπορούσε να οδηγήσει στην ταυτοποίηση βιοδεικτών, και γι' αυτό θα πρέπει να διερευνηθεί περαιτέρω. Όλα τα πειράματα πρέπει να είναι επαρκούς μεγέθους και ευαισθησίας για να ανιχνεύσουν επαρκώς μια επίδραση από ένα προκαθορισμένο μέγεθος ώστε να αποφευχθεί η πιθανότητα σφαλμάτων τύπου II.

Οι μελέτες σε ζώα δεν παρέχουν ενδείξεις ότι η έκθεση σε μαγνητικά πεδία και μόνο προκάλεσε όγκους ή ενίσχυσε την ανάπτυξη των εμφυτευμένων όγκων.

Επιπλέον, οι μελέτες αυτές δεν παρέχουν περαιτέρω πληροφορίες για το πώς τα μαγνητικά πεδία θα μπορούσαν να συμβάλουν σε αυξημένο κίνδυνο παιδικής λευχαιμίας.

Μελέτες in vitro Εν ολίγοις, μια σειρά από in vitro μελέτες που δημοσιεύτηκαν τα τελευταία χρόνια είναι σχετικές με το θέμα της έκθεσης μαγνητικών πεδίων ELF και την νεοπλασματική νόσο. Ωστόσο, οι μελέτες είναι πάρα πολύ λίγες και διάσπαρτες σε έκταση και προσέγγιση, ώστε να παρέχουν οποιαδήποτε συμπεράσματα σχετικά με τις πιθανές νεοπλασματικές επιπτώσεις λόγω της έκθεσης σε μαγνητικά πεδία ELF. Επιπλέον, οι μελέτες δεν παρέχουν οποιαδήποτε συμπεράσματα σχετικά με τον τρόπο δράσης για τις παραπάνω επιπτώσεις.

Ωστόσο, ορισμένες μελέτες παρέχουν ενδιαφέροντα ευρήματα που δικαιολογούν τις πρόσθετες ερευνητικές προσπάθειες. Έτσι, υπάρχουν ενδείξεις ότι η βλάβη του DNA λαμβάνει χώρα σε καλλιεργημένα ανθρώπινα κύτταρα κατά τη διάρκεια ορισμένων συνθηκών έκθεσης. Οι επιδράσεις παρατηρήθηκαν κυρίως για πυκνότητα μαγνητικής ροής 1 mT ή υψηλότερη. Ακόμη και σε χαμηλότερες πυκνότητες ροής (0,10 mT και κάτω), η έκθεση σε μαγνητικά πεδία έχει δείχθει ότι διεγείρει τον πολλαπλασιασμό. Το αποτέλεσμα μπορεί πιθανώς να σχετίζεται με επιδράσεις στην μεταγωγή σήματος και τη γονιδιακή έκφραση.

Μια ενδιαφέρουσα παρατήρηση είναι ότι ορισμένες μελέτες αναφέρουν επιπτώσεις της έκθεσης λόγω διαλείπουσας, αλλά όχι λόγω συνεχούς έκθεσης. Η περιοχή αυτή δεν έχει λάβει πολλή προσοχή, αλλά μπορεί να αποδειχθεί ο πρόδρομος για μελέτες μηχανισμών.

Τα στοιχεία των μελετών δείχνουν ότι η έκθεση σε μαγνητικά πεδία ELF μπορεί να προκαλέσει τόσο γονιδοτοξικές όσο και άλλες βιολογικές επιδράσεις in vitro σε πυκνότητες ροής από 100 μT και άνω. Οι μηχανισμοί δεν είναι θεμελιωμένοι και η σημασία τους για μια σύνδεση μεταξύ της έκθεσης σε μαγνητικά πεδία ELF και της παιδικής λευχαιμίας είναι ασαφής.

Συμπεράσματα σχετικά με νεοπλασματικές ασθένειες Οι τελευταίες επιδημιολογικές μελέτες είναι συνεπείς με τις παλιότερες διαπιστώσεις όσον αφορά στον αυξημένο κίνδυνο της παιδικής λευχαιμίας με μέση ημερήσια έκθεση πάνω από 0,3 έως 0,4 μT. Δεν έχουν εντοπιστεί όμως μηχανισμοί σε πειραματικές μελέτες που θα μπορούσαν να εξηγήσουν τα ευρήματα αυτά. Η έλλειψη υποστήριξης από πειραματικές μελέτες και οι αδυναμίες των επιδημιολογικών μελετών εμποδίζουν την εξαγωγή μιας αιτιακής ερμηνείας.

2.5.2 Νευρικό Σύστημα και Νευροσυμπεριφορικές Διαταραχές

Επιδημιολογικές μελέτες Μια μελέτη κοόρτης δεν βρήκε καμία ένδειξη αυξημένης θνησιμότητας από τη νόσο του κινητικού νευρώνα που σχετίζεται με την έκθεση σε πεδία ELF κατά την εργασία (Parlett et al., 2011). Η Εθνική Μακροχρόνια Μελέτη Θνησιμότητας των ΗΠΑ (National Longitudinal Mortality Survey) με τη συμμετοχή 300.000 ατόμων από τις αρχές της δεκαετίας του 1980 αναλύθηκε. Η αξιολόγηση της έκθεσης βασίστηκε στους τίτλους των θέσεων εργασίας σε γενικές γραμμές, με περαιτέρω ταξινόμηση βασισμένη σε μια ήδη κατασκευασμένη μήτρα δουλειάς-έκθεσης. Οι αιτίες θανάτου ελήφθησαν από τον Εθνικό Δείκτη Θανάτων (National Death Index). Ήταν διαθέσιμες και πληροφορίες για αρκετούς πιθανούς συγχυτικούς παράγοντες, συμπεριλαμβανομένων της φυλής/εθνικότητας, της εκπαίδευσης και του εισοδήματος. Παρά το μεγάλο πλήθος των ατόμων, συνέβησαν μόνο 40 θάνατοι από τη νόσο των κινητικών νευρώνων κατά τη διάρκεια της κατά μέσο όρο 8,8 χρόνων παρακολούθησης. Η ακατέργαστη αναλογία κινδύνου ήταν λίγο πιο πάνω από την μονάδα, αλλά μετά την προσαρμογή δεν φάνηκε καμία υπέρβαση για το τεταρτημόριο του πληθυσμού με την υψηλότερη πιθανότητα έκθεσης σε ELF (HR 0,98, 95%, CI 0,39 - 2,50). Δεν βρέθηκε κάποια κλίση στα στρώματα πληθυσμού υψηλότερης έκθεσης. Η μελέτη αυτή περιοριζόταν από τη σχετικά αργή αξιολόγηση της έκθεσης και από στατιστική χαμηλής ισχύος, λόγω του μικρού αριθμού των γεγονότων.

Μια δανική μελέτη που βασίζεται στο μητρώο ασθενών-μαρτύρων έδειξε ότι δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ της οικιστικής έκθεσης σε γραμμές ηλεκτρικού ρεύματος και τον κίνδυνο της νόσου Alzheimer ή της νόσου Parkinson (Frei et al., 2013). Οι περιπτώσεις (περίπου 2000 με νόσο του κινητικού νευρώνα, 8000 με σκλήρυνση κατά πλάκας, 16.000 με νόσο Parkinson και 20.000 με Alzheimer) εντοπίστηκαν από το εθνικό μητρώο εξόδων από τα νοσοκομεία κι ελέγχθηκαν επιτυχώς με τα μητρώα του πληθυσμού. Το ιστορικό των κατοικιών κατασκευάστηκε για τα τελευταία 20 χρόνια και η απόσταση από τις γραμμές υψηλής τάσης υπολογίστηκε με τη χρήση γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών για περίπου το 90% των ασθενών. Οι πληροφορίες ήταν επίσης διαθέσιμες για την οικογενειακή κατάσταση, την εκπαίδευση και το εισόδημα. Καμία ένδειξη για αυξημένο κίνδυνο δεν βρέθηκε για όλους όσους έχουν ζήσει σε απόσταση μικρότερη από 50 μέτρα από μια γραμμή υψηλής τάσης, ακόμη και για μεγάλες διάρκειες παραμονής. Μόνο σε μία υποανάλυση της ομάδας με τη νόσο Alzheimer στην ηλικιακή ομάδα 65-74 ετών, αναφέρθηκε μια σχέση (HR 1.92, 96% CI 0,95 - 3,87). Τα αποτελέσματα δεν επιβεβαιώνουν τα ευρήματα της ελβετικής μελέτης

κούρτης που αναφέρει αυξημένους κινδύνους από τη νόσο Alzheimer για άτομα που ζούνε 15 χρόνια σε απόσταση 50 m από ένα ηλεκτροφόρο καλώδιο.

Μια μετα-ανάλυση 17 μελετών σχετικά με την επαγγελματική έκθεση σε ELF και την αμυοτροφική πλευρική σκλήρυνση (ALS) βρήκε κάποια στοιχεία για αυξημένο κίνδυνο, αλλά τα ευρήματα δεν ήταν συνεπή και εντοπίστηκαν ενδείξεις προκατάληψης της δημοσίευσης (Zhou et al., 2012). Η συνοπτική ανάλυση έδειξε αυξημένο κίνδυνο σε μελέτες ασθενών-μαρτύρων (OR 1.39, 95% CI 1,05 - 1,84), όχι όμως σε μελέτες κούρτης (RR 1,16, 95% CI 0,80 - 1,69). Ομοίως, αυξημένος κίνδυνος αναφέρεται σε μελέτες με κλινική διάγνωση της ALS, αλλά όχι σε εκείνες που στηρίζονται σε πιστοποιητικά θανάτου. Η σουηδική μελέτη διδύμων με 216 περιπτώσεις (2/3 με τη νόσο Alzheimer), παρουσίασαν αυξημένους κινδύνους για την επαγγελματική έκθεση που υπερβαίνει τα 0,12 μT μόνο για τις υποομάδες με ηλικία εμφάνισης της νόσου μικρότερη ή ίση των 75 ετών και για τους εργάτες, αλλά όχι για το σύνολο του πληθυσμού της μελέτης (Andel et al., 2010). Παρά το γεγονός ότι οι νεότερες μελέτες σε ορισμένες περιπτώσεις, έχουν μεθοδολογικές αδυναμίες, δεν παρέχουν υποστήριξη για το ότι η έκθεση σε μαγνητικά πεδία ELF αυξάνει τον κίνδυνο για τη νόσο Alzheimer.

Νευροφυσιολογικές μελέτες Τα τελευταία έξι χρόνια έχουν γίνει επτά δημοσιεύσεις από τέσσερις ερευνητικές ομάδες σχετικά με τις συνέπειες των μαγνητικών πεδίων εξαιρετικά χαμηλής συχνότητας για την ανθρώπινη εγκεφαλική λειτουργία (EEG, λειτουργική απεικόνιση και αποτελέσματα συμπεριφοράς).

Δεδομένου ότι τα κινητά τηλέφωνα, εκτός από ακτινοβολία RF εκπέμπουν και μαγνητικά πεδία ELF διαφόρων φασμάτων ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας, αρκετές ομάδες ερεύνησαν την επίδραση των διαφόρων πραγματικών ή προσομοιωμένων μαγνητικών πεδίων που δημιουργούνται από τα κυκλώματα των συσκευών GSM κατά τη διάρκεια εκπομπής. Οι Schmid et al. (2012b) και Tommaso et al. (2009) διερεύνησαν τόσο τις επιπτώσεις της ακτινοβολίας RF, όσο και της ELF στα σήματα EEG κατά τη διάρκεια του ύπνου και στα δυναμικά κατά τη διάρκεια της εγρήγορσης.

Το αποτέλεσμα της βραχυπρόθεσμης έκθεσης σε μαγνητικά πεδία ELF (2 λεπτά) με διαφορετικές συχνότητες ELF (50, 16,66, 13, 10, 8,33 και 4 Hz) αναλύθηκε (Cvetkovic και Cosic 2009) βασισμένα σε καταγραφές 1 λεπτού όσον αφορά στη διέγερση συγκεκριμένων ζωνών συχνοτήτων: διέγερση με 16.33 Hz: beta2 (15,5 - 17,5 Hz), διέγερση με 13 Hz: beta1 (12-14 Hz), η διέγερση με 10 Hz: alpha2 (9-11 Hz), η διέγερση με 8,33 Hz: alpha1 (7.5-9.5 Hz) και διέγερση με 4 Hz:

theta (3-5 Hz). Η πυκνότητα της μαγνητικής ροής που παράχθηκε από τα πηνία Helmholtz ήταν 20 μ T. Το δείγμα περιελάμβανε 33 υγιή άτομα (24 άνδρες και 9 γυναίκες) στο ηλικιακό εύρος 20-59 ετών. Η μελέτη ήταν διπλή-τυφλή με τις συνεδρίες να εκτελούνται διαδοχικά κατά την ίδια ημέρα και να διαχωρίζονται από ένα διάλειμμα 30 λεπτών. Κανένα από τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής δεν αντανάκλα κάποια επιρροή λόγω έκθεσης κι ως τέτοια, δεν οδήγησε σε ένα στατιστικά σημαντικό αποτέλεσμα.

Οι Legros et al. (2012) ανέλυσαν την επίδραση της έκθεσης σε μαγνητικό πεδίο ELF 60 Hz, 1,8 mT κατά τη διάρκεια μιας ώρας, σε σύγκριση με την εικονική έκθεση σε 73 άτομα (46 άνδρες και 27 γυναίκες, 28 ± 9 έτη) χρησιμοποιώντας μια διπλή τυφλή οργάνωση και με συνεδρίες δοκιμής σε ξεχωριστές ημέρες. Τα μαγνητικά πεδία δημιουργούνταν από πηνία Helmholtz διαμέτρου 1,6 m. Κάθε συνεδρία διήρκεσε 105 λεπτά και αποτελούνταν από τέσσερις συνεδρίες 15 λεπτών (δύο κατά τη διάρκεια της έκθεσης, η μια πριν και η άλλη μετά την έκθεση) που χωρίζονταν από διάλειμμα 15 λεπτών. Η σειρά δοκιμών ανέλυε δεδομένα EEG ανάπαυσης σε 8 τοποθεσίες (2 λεπτά με μάτια ανοιχτά, 2 λεπτά με κλειστά μάτια), ορθοστατικής εκτίμησης τρεμουλιάσματος (1 λεπτό τα μάτια ανοιχτά, 1 λεπτό τα μάτια κλειστά), εθελοντικών κινήσεων των χεριών και ταλαντώσεων της στάσης του σώματος (30 δευτερόλεπτα τα μάτια ανοιχτά, 30 δευτερόλεπτα τα μάτια κλειστά). Καμία από τις μεταβλητές EEG, τις μεταβλητές τρεμουλιάσματος και τις μεταβλητές εθελοντικών κινήσεων των χεριών δεν έδειξε μία σημαντική επίδραση της έκθεσης.

Οι Carone et al. (2009) ερεύνησαν την επίδραση της έκθεσης σε ένα παλμικό μαγνητικό πεδίο ELF 45 λεπτών στη λειτουργία του εγκεφάλου σε 22 άτομα (9 άνδρες και 13 γυναίκες, $27,6 \pm 9$ ετών). 14 από αυτά τα άτομα υποβλήθηκαν σε μια τυφλή πραγματική ή εικονική έκθεση. Μόνο οκτώ άτομα έλαβαν πραγματική έκθεση. Τα ELF μαγνητικά πεδία παράχθηκαν από ένα λεπτό πηνίο που τοποθετούνταν οριζόντια γύρω από το κεφάλι. Το πηνίο τροφοδοτήθηκε με ορθογώνιους παλμούς τάσης των 1,3 ms στα 75 Hz, με αποτέλεσμα μια μέγιστη πυκνότητα ροής 1,8 mT. Η διεγερσιμότητα του φλοιού μετρήθηκε χρησιμοποιώντας διακρανιακή μαγνητική διέγερση. Η παρατηρούμενη επίδραση (αύξηση της ενδοφλοιώδους διευκόλυνσης (ICF) μετά την πραγματική έκθεση) δεν δικαιολογείται, δεδομένου ότι χρησιμοποιείται ένα λάθος παράδειγμα στατιστικής ανάλυσης που δεν λαμβάνει υπόψη τη συνδυαστική φύση των δεδομένων. Συνέκριναν την εικονική έκθεση ενός επιμέρους δείγματος των 14 ατόμων με τα πραγματικά αποτελέσματα της έκθεσης όλων των 22 ατόμων.

Οι Robertson et al (2010) χρησιμοποίησαν λειτουργική απεικόνιση του εγκεφάλου για να διερευνήσουν την πιθανή επίδραση μαγνητικών πεδίων χαμηλής

έντασης, χαμηλής συχνότητας στην νευροεπεξεργασία (neuroprocessing). 31 άτομα στην ηλικιακή ομάδα των 18 - 60 ετών περιελήφθησαν στη μελέτη και είτε ενταχθήκαν σε μια ομάδα εικονικής (17), είτε σε μια ομάδα πραγματικής έκθεσης (14). Χρησιμοποιήθηκε μια πολύπλοκη σειρά μαγνητικών εκρήξεων ELF με μεταβλητά χρονικά διαστήματα, με αποτέλεσμα ένα φάσμα που περιείχε συχνότητες από DC έως και 300 Hz. Τα μαγνητικά πεδία δημιουργήθηκαν χρησιμοποιώντας το πηνίου του Z-άξονα του σαρωτή MRI. Η πυκνότητα ροής (ή η κλίση της) έφτασε τα 200 μT σε πλάτος, όπως χρησιμοποιούνταν σε προηγούμενες μελέτες, στο επίπεδο των φρυδιών του ατόμου. Τα πεδία αυτά είναι πολύ χαμηλότερα από τα μαγνητικά πεδία ELF που δημιουργούνται κατά τη διάρκεια της μέτρησης fMRI. Τα άτομα έλαβαν οξεία ερεθίσματα θερμικού πόνου στην οπισθέναρ περιοχή του δεξιού χεριού. Σημαντικές αλληλεπιδράσεις παρατηρήθηκαν μεταξύ της ενεργοποίησης πριν και μετά την έκθεση, μεταξύ της εικονικής και πραγματικής έκθεσης για αρκετές περιοχές του εγκεφάλου, που δείχνει ότι τα μαγνητικά πεδία ELF ίσως προκαλούν νευροδιαμόρφωση (neuromodulation).

Οι προσεγγίσεις για τη διερεύνηση πιθανών επιπτώσεων της έκθεσης στα φάσματα ισχύος των EEG εγρήγορσης είναι αρκετά ετερογενείς όσον αφορά στους εφαρμοσμένους τομείς, τη διάρκεια της έκθεσης, τον αριθμό των παραμέτρων υπό εξέταση και τις στατιστικές μεθόδους. Ως εκ τούτου, οι μελέτες αυτές δεν είναι χρήσιμες για την εξαγωγή ουσιαστικών συμπερασμάτων. Το ίδιο ισχύει και για τα αποτελέσματα που αφορούν τα αποτελέσματα στη συμπεριφορά και την διεγερσιμότητα του φλοιού.

Μελέτες in vivo Οι μελέτες σε ζώα διερευνούν την επίδραση των μαγνητικών πεδίων στη νευροβιολογία χρησιμοποιώντας διάφορα μοντέλα και συνθήκες έκθεσης. Ενώ γενικά οι μελέτες αυτές είναι καλής ποιότητας, πολλές από αυτές έχουν χρησιμοποιήσει μόνο μια ένταση πεδίου, μερικές φορές πολύ μεγαλύτερη από τις ενδεικτικές τιμές έκθεσης. Επίσης, οι πιθανότητες του θορύβου και των δονήσεων που παράγονται από τα συστήματα έκθεσης πηνίων Helmholtz, δεν έχουν αντιμετωπιστεί επαρκώς σε όλες τις περιπτώσεις, και τα συστήματα πηνίων, όπου η συμπεριφορά ενός ζώου στο κλουβί θα επηρεάσει την έκθεσή του, που δεν είναι ιδανική. Σε συμφωνία με αποτελέσματα παλιότερων ερευνών, οι πρόσφατες μελέτες έχουν αναφέρει ότι η έκθεση σε μαγνητικά πεδία δεν έχει καμία επίδραση στην δραστηριότητα ή στην κινητικότητα, αλλά μπορεί να επηρεάσει την απόδοση της μνήμης για χωρικά καθήκοντα (έχουν αναφερθεί τόσο χειροτερεύσεις όσο και βελτιώσεις) και να προκαλέσει λεπτές αυξήσεις

άγχους συμπεριφοράς. Υπάρχουν κάποιες ενδείξεις ότι οι επιδράσεις αυτές μπορεί να είναι μεγαλύτερες με πεδία υψηλότερης έντασης και με μεγαλύτερη διάρκεια της έκθεσης, αλλά και τα διαθέσιμα στοιχεία δεν επιτρέπουν το μέγεθος ή την κατεύθυνση της επιρροής να καθοριστεί με ακρίβεια. Άλλες μελέτες έχουν διερευνήσει πιθανούς μοριακούς και κυτταρικούς μηχανισμούς, και παρά μια σειρά από μελέτες να συνεχίζουν να αναφέρουν υποψήφιους μηχανισμούς, ιδίως όσον αφορά στις επιπτώσεις στα αντιδραστικά είδη οξυγόνου, κανένας μηχανισμός δεν λειτουργεί σε επίπεδα έκθεσης που βρίσκονται στο καθημερινό περιβάλλον. Τρεις μελέτες έχουν δείξει ότι τα μαγνητικά πεδία μπορούν να προσφέρουν πιθανή θεραπεία έναντι των νευροεκφυλιστικών ασθενειών, αν κι αυτά τα αποτελέσματα πρέπει να επιβεβαιωθούν και να διευκρινιστούν. Τέλος, δεν υπάρχουν πρόσθετες γνώσεις σχετικά με τις επιδράσεις των ηλεκτρικών πεδίων, λόγω της σχεδόν πλήρους απουσίας των νέων δεδομένων.

Μελέτες in vitro Οι in vitro μελέτες είναι κυρίως οξείες ή βραχυπρόθεσμες (με εκθέσεις που κυμαίνονται από μερικά λεπτά έως μερικές ημέρες) και περιορίζονται επίσης από το γεγονός ότι σχεδόν πάντα περιλαμβάνουν μόνο έναν τύπο κυττάρων, πρωτογενείς καλλιέργειες νευρωνικών προδρόμων ή καθορισμένες σειρές κυττάρων. Οι μελέτες δεν επιτρέπουν οποιοδήποτε συμπεράσματα σχετικά με την πιθανή επίδραση της έκθεσης σε μαγνητικά πεδία ELF, για παράδειγμα την ανάπτυξη των νευροεκφυλιστικών ασθενειών, αλλά προσφέρουν κάποια αποτελέσματα που είναι ενδιαφέροντα κι ενδεχομένως αξίζουν παρακολούθηση, συμπεριλαμβανομένων των σημειωθέντων θετικών αποτελεσμάτων για τη διαφοροποίηση. Δεν υπάρχουν in vitro ευρήματα που να τεκμηριώνουν τις επιδράσεις στους δείκτες νόσων ή τα συστήματα πομπού.

Οι λίγες διαθέσιμες in vitro μελέτες δεν παρέχουν καμία υποστήριξη για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τις πιθανές επιπτώσεις της ακτινοβολίας ELF στο νευρικό σύστημα και στις νευροσυμπεριφορικές διαταραχές.

Συμπεράσματα σχετικά με νευρικό σύστημα και νευροσυμπεριφορικές διαταραχές Οι επιδημιολογικές μελέτες που μελετούν την επίδραση στις νευροεκφυλιστικές νόσους ή την άνοια δεν παρέχουν πειστικές ενδείξεις αυξημένου κινδύνου που σχετίζονται με την έκθεση σε ακτινοβολία ELF.

Όσον αφορά στις νευροφυσιολογικές μελέτες, λόγω μεθοδολογικών αδυναμιών, οι μελέτες αυτές δεν είναι χρήσιμες για την εξαγωγή ουσιαστικών συμπερασμάτων. Το ίδιο ισχύει και για τα αποτελέσματα που αφορούν τις επιρροές στη συμπεριφορά και στη διεγερσιμότητα του φλοιού.

Οι τελευταίες *in vivo* μελέτες έχουν αναφέρει ότι η έκθεση σε μαγνητικά πεδία δεν έχει καμία επίδραση στη δραστηριότητα ή την κινητικότητα, αλλά μπορεί να επηρεάσει την απόδοση της μνήμης για χωρικά καθήκοντα (έχουν αναφερθεί τόσο χειροτερεύσεις όσο και βελτιώσεις) και να προκαλέσει λεπτές αυξήσεις άγχους συμπεριφοράς. Υπάρχουν κάποιες ενδείξεις ότι οι επιδράσεις αυτές μπορεί να είναι μεγαλύτερες με πεδία υψηλότερης έντασης και με μεγαλύτερη διάρκεια της έκθεσης, αλλά και τα διαθέσιμα στοιχεία δεν επιτρέπουν το μέγεθος ή την κατεύθυνση της επιρροής να καθοριστεί με ακρίβεια. Οι *in vivo* μελέτες που έχουν διερευνήσει πιθανούς μοριακούς και κυτταρικούς μηχανισμούς, δεν έχουν εντοπίσει κανένα μηχανισμό που να λειτουργεί σε επίπεδα έκθεσης που βρέθηκαν στο καθημερινό περιβάλλον. Μελέτες σε ζώα έχουν δείξει ότι τα μαγνητικά πεδία μπορούν να προσφέρουν πιθανή θεραπεία έναντι των νευροεκφυλιστικών ασθενειών, αν και αυτά τα αποτελέσματα πρέπει να επιβεβαιωθούν και να διευκρινιστούν. Δεν υπάρχουν πρόσθετες γνώσεις σχετικά με τις επιδράσεις των ηλεκτρικών πεδίων, λόγω της σχεδόν πλήρους απουσίας των νέων δεδομένων.

Οι λίγες διαθέσιμες *in vitro* μελέτες δεν παρέχουν καμία υποστήριξη για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τις πιθανές επιπτώσεις της ακτινοβολίας ELF στο νευρικό σύστημα και στις νευροσυμπεριφορικές διαταραχές.

2.5.3 Άλλες Επιπτώσεις στην Υγεία

Συμπτώματα Τα τελευταία έξι χρόνια έχουν γίνει έξι πειραματικές μελέτες πρόκλησης που εξετάσαν αν η έκθεση σε ELF επηρεάζει τα συμπτώματα, την ευημερία ή άλλα υποκειμενικά αποτελέσματα, ή αν οι συμμετέχοντες μπορούν να διακρίνουν μεταξύ πραγματικής και της εικονικής έκθεσης σε ELF.

Οι Kim et al. (2012) αξιολογήσαν τα αποτελέσματα της πραγματικής ή εικονικής έκθεσης σε μαγνητικό πεδίο 60 Hz (12.5 μ T) που δημιουργούνται πάνω από τα κεφάλια 31 συμμετεχόντων. Κάθε συμμετέχων έλαβε μία πραγματική και μία εικονική έκθεση υπό τυφλές συνθήκες. Δεν υπήρξε καμία ένδειξη ότι μπορεί να διακριθεί η πραγματική από την εικονική έκθεση. Στο ίδιο αποτέλεσμα καταλήξαν και οι McCarty et al. (2011).

Επίσης, σε μια διπλή-τυφλή μελέτη πρόκλησης που επικεντρώθηκε στις νευροφυσιολογικές και συμπεριφορικές επιδράσεις της έκθεσης για μία ώρα σε ένα μαγνητικό πεδίο 60 Hz, 1.800 μ T, οι Legros et al. (2012) διαπίστωσαν ότι κανένας από τους 73 συμμετέχοντες δεν ήταν σε θέση να εκτιμήσει με ακρίβεια αν το πεδίο ήταν παρόν ή όχι.

Εκτός από αυτές τις πειραματικές μελέτες πρόκλησης, αρκετές μελέτες πα-

ρατήρησης έχουν αξιολογήσει επίσης την πιθανή συσχέτιση μεταξύ της έκθεσης σε πηγές πεδίων ELF και των συμπτωμάτων ή άλλων υποκειμενικών αποτελεσμάτων. Οι Zamanian et al. (2010) συγκρίναν την ψυχική υγεία τριών ομάδων εργαζομένων: αυτούς που εκτίθενται σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία και θόρυβο κατά την εργασία τους σε ένα σταθμό παραγωγής ενέργειας, αυτούς που εργάζονται σε έναν σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και εκτίθενται μόνο σε θόρυβο, και το διοικητικό προσωπικό από μια εταιρεία τηλεπικοινωνιών που δεν εκτίθεται ούτε σε θόρυβο, ούτε σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία. Οι συγγραφείς παρατήρησαν χειρότερη ψυχική υγεία στις ομάδες που εκτίθονταν σε ΗΜΠ. Ωστόσο, δεν έγινε καμία προσπάθεια να ελεγχθούν τυχόν διαφορές στην εργασία και στο πολιτισμικό υπόβαθρο μεταξύ αυτών των ομάδων. Φαίνεται απίθανο ότι το εξαιρετικά υψηλό επίπεδο των ψυχικών διαταραχών (78,2%) και των κοινωνικών δυσλειτουργιών (94,5%) που εντοπιστήκαν στην ομάδα που εκτέθηκε τόσο σε ήχο όσο και σε πεδία, θα μπορούσε να οφείλεται αποκλειστικά και μόνο στις επιπτώσεις των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων.

Καταληκτικά, οι μελέτες παρατήρησης δεν παρέχουν πειστικά στοιχεία για την επίδραση της έκθεσης σε ELF σε συμπτώματα στον γενικό πληθυσμό και οι περισσότερες πειραματικές αποδείξεις υποδεικνύουν επίσης την απουσία οποιασδήποτε αιτιώδους επίδρασης.

Επιδράσεις στην αναπαραγωγική ικανότητα Η σχέση της οικιστικής έκθεσης σε μαγνητικά πεδία ELF από ηλεκτροφόρα καλώδια και των επιπτώσεων στην εγκυμοσύνη αξιολογήθηκαν σε δύο δημοσιεύσεις μιας καναδικής μελέτης κοόρτης. Το υλικό αποτελείται από περισσότερες από 700.000 γεννήσεις νεογνών στο Μόντρεαλ και το Κεμπέκ για την περίοδο 1990-2004 (Auger et al., 2011). Η αξιολόγηση της έκθεσης έγινε με βάση την απόσταση μεταξύ της κατοικίας και της πλησιέστερης γραμμής μεταφοράς. Τα σημεία που αξιολογήθηκαν αφορούσαν τον πρόωρο τοκετό, το χαμηλό βάρος γέννησης και την μικρή για την ηλικία κύηση. Επίσης ήταν διαθέσιμες πληροφορίες σχετικά με την ηλικία της μητέρας, την οικογενειακή και κοινωνικοοικονομική κατάσταση και την εθνικότητα. Πάνω από 12.000 γεννήσεις κατατάχθηκαν στην υψηλότερη κατηγορία έκθεσης (<50 m από την γραμμή μεταφοράς). Δεν βρέθηκαν αυξημένοι κίνδυνοι για οποιοδήποτε από τα αποτελέσματα. Κάποια αβεβαιότητα οφειλόταν στο γεγονός ότι η διεύθυνση ήταν διαθέσιμη μόνο κατά τη στιγμή της γέννησης, και δεν υπήρχαν πληροφορίες σχετικά με την τάση των γραμμών μεταφοράς κι άλλων παραγόντων του τρόπου ζωής, όπως π.χ. το κάπνισμα. Μια παρόμοια ανάλυση διεξήχθη για θνησιγενή από το 1998 έως το 2007

(Auger et al., 2012). Το υλικό αποτελείται από 2033 θνησιγενή, συμπεριλαμβανομένων και διακοπών της κύησης λόγω ανωμαλιών στο έμβρυο (θάνατος του εμβρύου με βάρος $\geq 500\text{g}$ ανεξάρτητα από την ηλικία κύησης) και περισσότερες από 500.000 γεννήσεις. Δεν βρέθηκαν σημαντικά αυξημένες επιδράσεις για αποστάσεις $< 25\text{ m}$ από τις γραμμές μεταφοράς.

Εν κατακλείδι, τα πρόσφατα αποτελέσματα δεν δείχνουν καμία επίδραση των πεδίων ELF στην αναπαραγωγική λειτουργία στους ανθρώπους.

Επιπτώσεις της έκθεσης του εμβρύου σε ELF στην υγεία των παιδιών Η μητρική έκθεση σε ELF κατά τη διάρκεια της εγκυμοσύνης σχετίστηκε με τον κίνδυνο του άσθματος στους απογόνους από την ηλικία των 12 (Li et al., 2012). Τα αποτελέσματα φαίνονται περίεργα, αλλά η μελέτη έχει ισχυρές αποδείξεις, συμπεριλαμβανομένων των πληροφοριών σχετικά με διάφορους πιθανούς συγχυτικούς παράγοντες. Μια ανάλυση της παιδικής παχυσαρκίας από την ίδια μελέτη αναφέρει συσχέτιση της οικιστικής έκθεσης σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία (Li et al., 2012). Ωστόσο, τα αποτελέσματα αυτά θα πρέπει να αναπαραχθούν για την αξιολόγηση της σημασίας τους για την εκτίμηση του κινδύνου.

2.5.4 Συμπεράσματα

Νευρικό σύστημα Οι επιδημιολογικές μελέτες δεν παρέχουν πειστικές ενδείξεις για αυξημένο κίνδυνο για νευροεκφυλιστικές νόσους ή άνοια, που σχετίζονται με την έκθεση σε μαγνητικά πεδία ELF.

Οι μελέτες που ερευνούν τις πιθανές επιπτώσεις στα σήματα EEG εγρήγορσης λόγω της έκθεσης σε πεδία ELF συχνοτήτων 50/60 Hz είναι πολύ ετερογενείς όσον αφορά την εφαρμογή τους, την διάρκεια της έκθεσης, τον αριθμό των μετρούμενων στοιχείων, και τις στατιστικές μεθόδους για να βγει ένα ουσιαστικό συμπέρασμα. Το ίδιο ισχύει και για τα αποτελέσματα που αφορούν τα αποτελέσματα που έχουν να κάνουν με την συμπεριφορά και την διεγερσιμότητα του φλοιού.

Υπάρχουν ορισμένες ενδείξεις από μελέτες σε ζώα ότι η έκθεση σε μαγνητικά πεδία ELF μπορεί να επηρεάσει την απόδοση των χωρικών εργασιών της μνήμης (έχουν αναφερθεί τόσο αρνητικές επιπτώσεις, όσο και βελτιώσεις) και να προκαλέσει ανεπαίσθητες αυξήσεις στις διαταραχές συμπεριφοράς και στρες. Ούτε οι *in vivo* ούτε οι *in vitro* μελέτες έχουν εντοπίσει κανένα μηχανισμό που να λειτουργεί σε επίπεδα έκθεσης που βρίσκονται στο καθημερινό περιβάλλον.

Συμπτώματα Τα στοιχεία σε σχέση με τα συμπτώματα είναι ασύμφωνα. Ενώ οι περισσότερες μελέτες δεν έχουν βρει επιρροές λόγω των πεδίων ELF, δύο πειραματικές μελέτες έχουν εντοπίσει μεμονωμένους συμμετέχοντες, οι οποίοι αντέδρασαν αρνητικά στην έκθεση. Η αναπαραγωγή αυτών των ευρημάτων είναι απαραίτητη ωστόσο πριν δοθεί βαρύτητα σε αυτά τα αποτελέσματα.

Άλλες επιπτώσεις Οι πρόσφατες επιδημιολογικές μελέτες δεν παρουσιάζουν κανένα στοιχείο για δυσμενείς εκβάσεις στην εγκυμοσύνη λόγω των ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων ELF. Τα αποτελέσματα όσον αφορά στα αποτελέσματα για την υγεία της παιδικής ηλικίας σε σχέση με την έκθεση της μητέρας σε ELF κατά τη διάρκεια της εγκυμοσύνης, είναι αινιγματικά και υπάρχουν κάποια μεθοδολογικά ζητήματα που πρέπει να επιβεβαιωθούν. Προτείνουν απρόβλεπτες συνέπειες, αλλά θα πρέπει να αξιολογούνται με ανεξάρτητο τρόπο, πριν αξιολογηθεί η ισχύ τους.

Νεοπλασματικές νόσοι Με τις επιδημιολογικές μελέτες έχει διαπιστωθεί αυξημένος κίνδυνος της παιδικής λευχαιμίας με ημερήσια μέση έκθεση πάνω από 0,3 έως 0,4 μT . Δεν έχουν όμως εντοπιστεί μηχανισμοί σε πειραματικές μελέτες που θα μπορούσαν να εξηγήσουν τα ευρήματα αυτά. Η έλλειψη υποστήριξης από πειραματικές μελέτες κι ο μικρός αριθμός επιδημιολογικών μελετών εμποδίζουν μια αιτιακή ερμηνεία.

2.6 Στατικά Πεδία

2.6.1 Μελέτες σε Ανθρώπους

Οι μελέτες παρατήρησης έχουν δείξει ότι η κίνηση μέσα σε ισχυρά στατικά μαγνητικά πεδία μπορεί να προκαλέσει υποκειμενικά αποτελέσματα, όπως ίλιγγο και ναυτία. Αυτά είναι πιο πιθανά να συμβούν σε εντάσεις πεδίου πάνω από 2 T.

Οι μελέτες για τις επιδράσεις στην ακεραιότητα του DNA μετά από μια μαγνητική τομογραφία είναι προφανώς ενδιαφέρουσες. Ωστόσο, δεν είναι σαφές ποιο μέρος της έκθεσης στον σαρωτή προκαλεί αρνητική επίδραση: το στατικό πεδίο, το εναλλασσόμενο βαθμωτό πεδίο ή το παλμικό πεδίο ραδιοσυχνοτήτων. Από κάποιες *in vivo* και *in vitro* μελέτες φαίνεται απίθανο το στατικό πεδίο από μόνο του να προκαλεί τις αρνητικές επιπτώσεις. Απαιτούνται περαιτέρω μελέτες σχετικά με την ακεραιότητα του DNA και την έκθεση σε MRI.

2.6.2 Μελέτες σε Ζώα

Μια σειρά από μελέτες αναφέρουν ότι οι επιδράσεις λόγω έκθεσης σε στατικά μαγνητικά πεδία συμβαίνουν με έκθεση σε επίπεδα πεδίου από mT έως T. Ωστόσο, πολλά από τα ευρήματα περιορίζονται σε μεμονωμένες μελέτες και χρειάζονται επαναλήψεις πριν εξαχθούν οποιαδήποτε οριστικά συμπεράσματα.

Με την πάροδο των ετών, πολλές μελέτες αναφέρουν επιπτώσεις στο νευρικό σύστημα. Πολλά από τα ευρήματα που αφορούν τις επιδράσεις στο νευρικό σύστημα είναι αντιφατικά. Από τη μία πλευρά, οι μελέτες που αναφέρουν μείωση του πόνου είναι συνεπείς μεταξύ τους. Από την άλλη πλευρά, οι μελέτες όπου διερευνήθηκε η συμπεριφορά μεταξύ άλλων και σε πολύ υψηλά επίπεδα πεδίων, δεν παράγουν συνεπή αποτελέσματα. Χρειάζεται η διεξαγωγή μηχανιστικών μελετών που να μελετήσουν τις βασικές επιδράσεις στους νευρώνες, για να επιλυθούν πολλές από αυτές τις ασυνέπειες.

Οι ασυνέπειες αυτές είναι επίσης προφανείς στις μελέτες που εστιάζουν στο μεταβολισμό της γλυκόζης και των λιπιδίων. Παρόμοιες συνθήκες έκθεσης προκαλούν αντίθετα αποτελέσματα σε αρουραίους και σε ποντίκια αντίστοιχα.

Στο σύνολό τους, όλα τα ευρήματα στον χώρο αυτό δεν παρέχουν ισχυρές βάσεις για μια σωστή εκτίμηση του κινδύνου λόγω έκθεσης σε στατικά μαγνητικά πεδία.

2.6.3 Μελέτες in Vitro

Στις περισσότερες από τις διαθέσιμες in vitro μελέτες, μελετηθήκαν οι επιδράσεις των στατικών μαγνητικών πεδίων στα κύτταρα, αν και σε ορισμένες περιπτώσεις τα αποτελέσματα ήταν παροδικά. Η γονιδιακή έκφραση ήταν ο μόνος παράγοντας που επηρεάστηκε σε όλες τις μελέτες.

3 Κανονισμοί Προστασίας έναντι Ηλεκτρομαγνητικών Πεδίων

3.1 Κριτήρια για Ασφαλή Όρια Έκθεσης από την ICNIRP

Στόχοι κι έργα Η Διεθνής Επιτροπή Προστασίας από τη Μη-Ιονίζουσα Ακτινοβολία (ICNIRP) έχει ως στόχο να προστατεύει τους ανθρώπους και το περιβάλλον από τις δυσμενείς επιδράσεις της μη ιονίζουσας ακτινοβολίας (NIR). Για το σκοπό αυτό, η ICNIRP αναπτύσσει και διανέμει, έχοντας ως βάση επιστημονικές μελέτες, συμβουλές σχετικά με τον περιορισμό της έκθεσης σε μη ιονίζουσα ακτινοβολία. Ειδικοί από διάφορες χώρες και κλάδους, όπως η βιολογία, η επιδημιολογία, η ιατρική, η φυσική και η χημεία, εργάζονται με ή για την ICNIRP, για την αξιολόγηση του κινδύνου έκθεσης σε NIR και παρέχουν καθοδήγηση. Οι εμπειρογνώμονες της ICNIRP βασίζονται στις συμβουλές τους σε επιστημονικές δημοσιεύσεις γύρω από τις βιολογικές επιδράσεις και τους μηχανισμούς δράσης της ακτινοβολίας, για όλο το φάσμα συχνοτήτων NIR. Οι συμβουλές προστασίας της ICNIRP έχουν διατυπωθεί στις κατευθυντήριες γραμμές, τις κριτικές και τις δηλώσεις της, οι οποίες είναι δημόσια και ελεύθερα διαθέσιμες στο διαδίκτυο. Η ICNIRP διοργανώνει επίσης σεμινάρια για την ενημέρωση σχετικά με τις τρέχουσες επιστημονικές γνώσεις και για να προωθήσει τον διάλογο σχετικά με την προστασία από NIR.[12]

Κατάσταση Η ICNIRP εδρεύει στο Μόναχο της Γερμανίας, ως ένας μη κερδοσκοπικός οργανισμός με επιστημονική αποστολή. Είναι αναγνωρισμένη ως επίσημη συνεργαζόμενη μη-κυβερνητική οργάνωση (non-governmental organization - NGO) από την Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας (World Health Organization - WHO) κι από την Διεθνή Οργάνωση Εργασίας (International Labour Organization - ILO). Τις κατευθυντήριες γραμμές που δημοσιεύει συμβουλευέται η Ευρωπαϊκή Επιτροπή. Η ICNIRP συνδέεται επίσης με πολλές οργανώσεις που ασχολούνται με την προστασία από NIR σε όλο τον κόσμο, μέσω διαφόρων συνεργατικών προγραμμάτων.

Ιστορία Το 1992 η ICNIRP ιδρύθηκε ως μια ανεξάρτητη επιτροπή για να συνεχίσει το έργο της Διεθνούς Επιτροπής Μη-Ιονίζουσας Ακτινοβολίας (International Non-Ionizing Radiation Committee-INIRC) της Διεθνούς Ένωσης Προστασίας από την Ακτινοβολία (International Radiation Protection Association-IRPA). Σύμφωνα με το καταστατικό της, η ICNIRP ενσωματώθηκε ως ένας μη κερδο-

σκοπικός επιστημονικός φορέας κι ως εκ τούτου καταχωρήθηκε στο μητρώο των οργανώσεων (Vereinsregister), στη Γερμανία. Η γραμματεία της έκτοτε εδρεύει στο Μόναχο.

Η απαρχή της ICNIRP πάει πίσω στο 1973, όταν κατά τη διάρκεια του 3ου διεθνούς συνεδρίου της Διεθνούς Ένωσης Προστασίας από την Ακτινοβολία (IRPA), για πρώτη φορά διοργανώθηκε μια σύνοδος για την προστασία από τις μη ιονίζουσες ακτινοβολίες. Η IRPA είναι ο διεθνής φορέας που εκπροσωπεί τους επαγγελματίες προστασίας από την ακτινοβολία σε όλο τον κόσμο. Την επόμενη χρονιά σχηματίστηκε μια ομάδα εργασίας για τις μη ιονίζουσες ακτινοβολίες και το 1975 σχηματίστηκε μια ομάδα μελέτης για την αναθεώρηση του τομέα των μη ιονιζουσών ακτινοβολιών. Κατά τη διάρκεια του 4ου διεθνούς συνεδρίου της IRPA το 1977, δημιουργήθηκε η Διεθνής Επιτροπή Μη-Ιονίζουσας Ακτινοβολίας (INIRC). Αυτή η επιτροπή ήταν ο άμεσος πρόδρομος της ICNIRP, η οποία ιδρύθηκε ως ανεξάρτητη επιτροπή το 1992 κατά τη διάρκεια του 7ου διεθνούς συνεδρίου της IRPA στο Μόντρεαλ.

3.1.1 Στατικά Μαγνητικά Πεδία (0 Hz)

Σύμφωνα με τις κατευθυντήριες γραμμές που δημοσιεύτηκαν το 2009 από την ICNIRP όσον αφορά στα στατικά μαγνητικά πεδία [13] (Guidelines on Limits of Exposure to Static Magnetic Fields), δίνεται διαφορετική καθοδήγηση για την επαγγελματική έκθεση και για την έκθεση του ευρύ κοινού. Δεν ισχύουν όμως τα ίδια και για την έκθεση των ασθενών που υποβάλλονται σε ιατρική διάγνωση ή θεραπεία.

Επαγγελματική έκθεση

Όρια έκθεσης Συνιστάται ότι η επαγγελματική έκθεση της κεφαλής και του κορμού δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τη μέγιστη χωρική πυκνότητα μαγνητικής ροής των 2 T. Μόνη εξαίρεση αποτελούν οι εργασίες για τις οποίες η έκθεση σε πεδία πάνω από 2 T κρίνεται απαραίτητη, οπότε κι επιτρέπεται έκθεση μέχρι και 8 T, εάν το περιβάλλον είναι ελεγχόμενο κι εφαρμόζονται οι κατάλληλες εργασιακές πρακτικές, που ελέγχουν τις επιδράσεις λόγω κίνησης μέσα στο πεδίο. Οι αισθητηριακές επιπτώσεις λόγω της κίνησης μέσα στο πεδίο μπορούν να αποφευχθούν με την τήρηση των βασικών περιορισμών που καθορίζονται στις κατευθυντήριες γραμμές για τις εξαιρετικά χαμηλές συχνότητες (ELF guidelines). Μέγιστες εκθέσεις έως και 8 T είναι αποδεκτές, όταν περιορίζονται στα άκρα.

Εξήγηση Η ανάπτυξη των κατευθυντήριων γραμμών για στατικά πεδία θέτει δύο δύσκολα ζητήματα. Πρώτο είναι η έκταση, αν υπάρχει, στην οποία οι κατευθυντήριες γραμμές θα πρέπει να επιτρέψουν την ενδεχόμενη εμφάνιση, σε ορισμένους εργαζομένους που εκτίθενται, προσωρινών αισθητηριακών επιπτώσεων χωρίς γνωστές μακροπρόθεσμες ή σοβαρές συνέπειες. Δεύτερο είναι η έκταση στην οποία οι περιορισμοί θα πρέπει να εμποδίζουν τα υψηλότερα επίπεδα έκθεσης από εκείνα για τα οποία υπάρχει ανθρώπινη εμπειρία, κι ως εκ τούτου για τα οποία δεν υπάρχει καμία γνωστή αρνητική επίδραση, αλλά ανησυχία για την πιθανή έλλειψη γνώσης. Όσον αφορά στο πρώτο ζήτημα, η ICNIRP θεωρεί ότι υπάρχουν επαγγελματικές περιστάσεις, όπου με τις κατάλληλες συμβουλές και με εκπαίδευση, είναι λογικό για τους εργαζομένους εθελοντικά κι εσκεμμένα να εμφανίσουν πιθανές παροδικές αισθητηριακές επιπτώσεις, όπως η ναυτία, δεδομένου ότι δεν πιστεύεται πως οδηγούν σε μακροπρόθεσμες ή παθολογικές επιπτώσεις στην υγεία. Όσον αφορά στο δεύτερο ζήτημα, η ICNIRP θεωρεί ότι οι εκθέσεις που επιτρέπονται σύμφωνα με τις κατευθυντήριες γραμμές, θα πρέπει να βασίζονται στα επίπεδα για τα οποία υπάρχει αξιόλογη απόδειξη κι ότι δεν θα πρέπει να πάνε υψηλότερα, απλώς λόγω της έλλειψης αποδεικτικών στοιχείων για δυσμενείς επιπτώσεις.

Σημειώνεται ότι για ερευνητικούς σκοπούς, θα μπορούσε να υπάρχει η επιθυμία να διερευνηθούν οι επιπτώσεις των εν λόγω υψηλότερων επιπέδων. Αυτές οι πειραματικές εκθέσεις όμως, είναι ένα θέμα για τις επιτροπές δεοντολογίας.

Έκθεση του ευρύ κοινού

Όρια έκθεσης Με βάση τις επιστημονικές γνώσεις σχετικά με τις άμεσες επιπτώσεις των στατικών πεδίων στον άνθρωπο, η οξεία έκθεση του ευρύ κοινού δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τα 400 mT (οποιοδήποτε μέρος του σώματος). Ωστόσο, λόγω των δυνητικών έμμεσων δυσμενών επιπτώσεων, η ICNIRP αναγνωρίζει ότι συγκεκριμένες πολιτικές πρέπει να εφαρμοστούν για να αποτραπεί η ακούσια επιβλαβή έκθεση των ανθρώπων με εμφυτευμένες ηλεκτρονικές ιατρικές συσκευές κι εμφυτεύματα που περιέχουν σιδηρομαγνητικά υλικά. Επίσης κίνδυνος τραυματισμών υπάρχει εξαιτίας ιπτάμενων σιδηρομαγνητικών αντικειμένων. Αυτές οι περιπτώσεις μπορεί να οδηγήσουν σε πολύ χαμηλότερα επίπεδα περιορισμού, όπως τα 0,5 mT (IEC 2002). Ο ορισμός των ορίων έκθεσης σε σχέση με αυτές τις μη βιολογικές επιπτώσεις δεν είναι, ωστόσο, το καθήκον της ICNIRP.

Εξήγηση Αυτές οι κατευθυντήριες γραμμές της ICNIRP βασίζονται στις άμεσες βιολογικές επιδράσεις από έκθεση σε στατικά μαγνητικά πεδία. Υπάρχουν όμως άλλοι κίνδυνοι λόγω των στατικών πεδίων που δεν είναι άμεσα βιολογικοί κι ως εκ τούτου, δεν είναι η αρμοδιότητα της ICNIRP, αλλά είναι παρ' όλα αυτά σημαντικοί για την προστασία της υγείας.

Με βάση τα διαθέσιμα επιστημονικά δεδομένα για εκθέσεις πάνω από 2 T, το όριο έκθεσης για το ευρύ κοινό (οποιοδήποτε μέρος του σώματος) προέρχεται από την εφαρμογή ενός συντελεστή μείωσης κατά 5 σε σχέση με το επαγγελματικό όριο για το κεφάλι και τον κορμό. Αυτός ο παράγοντας μείωσης εφαρμόζεται για όλα τα μέλη του πληθυσμού.

Τα συνιστώμενα όρια από την ICNIRP για τις επαγγελματικές και για τις εκθέσεις του ευρύ κοινού σε στατικά μαγνητικά πεδία συνοψίζονται στον πίνακα 5.

Πίνακας 5: Όρια έκθεσης σε στατικά μαγνητικά πεδία της ICNIRP

Χαρακτηριστικά έκθεσης	Πυκνότητα μαγνητικής ροής
Επαγγελματική	
Έκθεση της κεφαλής και του κορμού	2 T
Έκθεση των άκρων	8 T
Ευρύ κοινό	
Έκθεση οποιουδήποτε μέρους του σώματος	400 mT

Μέτρα προστασίας Η ICNIRP συνιστά ότι η χρήση των εν λόγω κατευθυντήριων γραμμών θα πρέπει να συνοδεύεται από τα κατάλληλα προστατευτικά μέτρα. Τα μέτρα αυτά πρέπει να εξεταστούν χωριστά για τους δημόσιους χώρους, όπου η έκθεση σε στατικά μαγνητικά πεδία είναι πιθανότατα πολύ χαμηλή και σπάνια, και για χώρους εργασίας, όπου σε ορισμένες περιπτώσεις συναντώνται τακτικά ισχυρά στατικά πεδία.

Υπάρχουν τρεις κύριοι τομείς ανησυχίας.

- Για τα μέλη του κοινού υπάρχει ανάγκη για την προστασία των ατόμων με εμφυτευμένες ιατρικές συσκευές, ενάντια στις πιθανές παρεμβολές κι ενάντια στις δυνάμεις που ασκούνται σε εμφυτεύματα που περιέχουν σιδηρομαγνητικά υλικά.
- Σε ορισμένες ειδικές περιπτώσεις, υπάρχει κίνδυνος ιπτάμενων σιδηρομαγνητικών αντικειμένων.

- Σε συνθήκες εργασίας όπου υπάρχει έκθεση σε πολύ υψηλά πεδία, υπάρχει ανάγκη για ένα σύνολο διαδικασιών εργασίας, που προορίζεται για την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων των παροδικών συμπτωμάτων, όπως ο ίλιγγος και η ναυτία.

3.1.2 Χαμηλές Συχνότητες (1 Hz - 100 kHz)

Δημοσιεύοντας η ICNIRP το 2010 τις κατευθυντήριες γραμμές για τον περιορισμό της έκθεσης σε χρονικά μεταβαλλόμενα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία από 1 Hz έως 100 kHz [14] (Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 kHz)), αντικατέστησε το κομμάτι για τις χαμηλές συχνότητες των κατευθυντήριων γραμμών του 1998 (ICNIRP 1998), που περιγράφονται στο υποκεφάλαιο 3.1.3.

Στο εύρος συχνοτήτων από 100 kHz μέχρι περίπου τα 10 MHz παρατηρούνται φαινόμενα χαρακτηριστικά τόσο των χαμηλών συχνοτήτων, δηλαδή επαγόμενα ρεύματα στο νευρικό σύστημα, όσο και των υψηλών, δηλαδή θέρμανση των ιστών. Για τον λόγο αυτό, το εύρος των κατευθυντήριων αυτών γραμμών επεκτείνεται μέχρι τα 10 MHz, ώστε να περιλαμβάνει κάθε δυνατή περίπτωση επίδρασης στο νευρικό σύστημα.

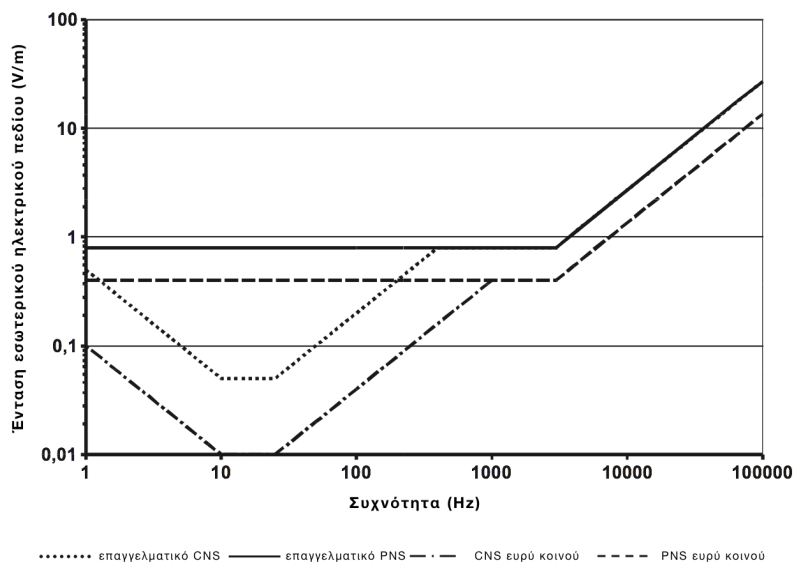
Βασικοί περιορισμοί Ο κύριος στόχος των κατευθυντήριων γραμμών είναι ο περιορισμός της έκθεσης σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία, που θα παρέχει προστασία από τις δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία. Οι κίνδυνοι προέρχονται από τις παροδικές αποκρίσεις του νευρικού συστήματος, συμπεριλαμβανομένων του περιφερικού (PNS) και της κεντρικής νευρικής διέγερσης (CNS), την επαγωγή φωταψιών στον αμφιβληστροειδή και τις πιθανές συνέπειες για ορισμένες πτυχές της λειτουργίας του εγκεφάλου.

Οι βασικοί περιορισμοί παρουσιάζονται στον πίνακα 6 και το σχήμα 5. Σημειώνεται ότι f είναι η συχνότητα σε Hz κι ότι όλες οι τιμές είναι οι RMS (ενεργές τιμές).

Επίπεδα αναφοράς Τα επίπεδα αναφοράς προέρχονται από τους βασικούς περιορισμούς με μαθηματική μοντελοποίηση χρησιμοποιώντας δημοσιευμένα στοιχεία (Dimbylow 2005, 2006). Αυτά υπολογίζονται για την περίπτωση της μέγιστης σύζευξης του πεδίου με το εκτιθέμενο σε αυτό άτομο, παρέχοντας έτσι τον μέγιστο βαθμό προστασίας. Έχουν ληφθεί υπόψη επίσης οι εξαρτήσεις συχνότητας και οι δοσιμετρικές αβεβαιότητες.

Πίνακας 6: Βασικοί περιορισμοί της ICNIRP για την ανθρώπινη έκθεση σε χρονικά μεταβαλλόμενα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία (1 Hz - 10 MHz)

Χαρακτηριστικά έκθεσης	Εύρος συχνοτήτων	Εσωτερικό ηλεκτρικό πεδίο (V/m)
Επαγγελματική έκθεση		
Ιστού CNS της κεφαλής	1 - 10 Hz	0,5/f
	10 Hz - 25 Hz	0,05
	25 Hz - 400 Hz	$2 \times 10^{-3} f$
	400 Hz - 3 kHz	0,8
	3 kHz - 10 MHz	$2,7 \times 10^{-4} f$
Όλοι οι ιστοί της κεφαλής και του σώματος	1 Hz - 3 kHz	0,8
	3 kHz - 10 MHz	$2,7 \times 10^{-4} f$
Έκθεση του ευρύ κοινού		
Ιστού CNS της κεφαλής	1 - 10 Hz	0,1/f
	10 Hz - 25 Hz	0,01
	25 Hz - 400 Hz	$4 \times 10^{-4} f$
	400 Hz - 3 kHz	0,4
	3 kHz - 10 MHz	$1,35 \times 10^{-4} f$
Όλοι οι ιστοί της κεφαλής και του σώματος	1 Hz - 3 kHz	0,4
	3 kHz - 10 MHz	$1,35 \times 10^{-4} f$



Σχήμα 5: Βασικοί περιορισμοί της ICNIRP για την ανθρώπινη έκθεση σε χρονικά μεταβαλλόμενα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία (1 Hz - 100 kHz)

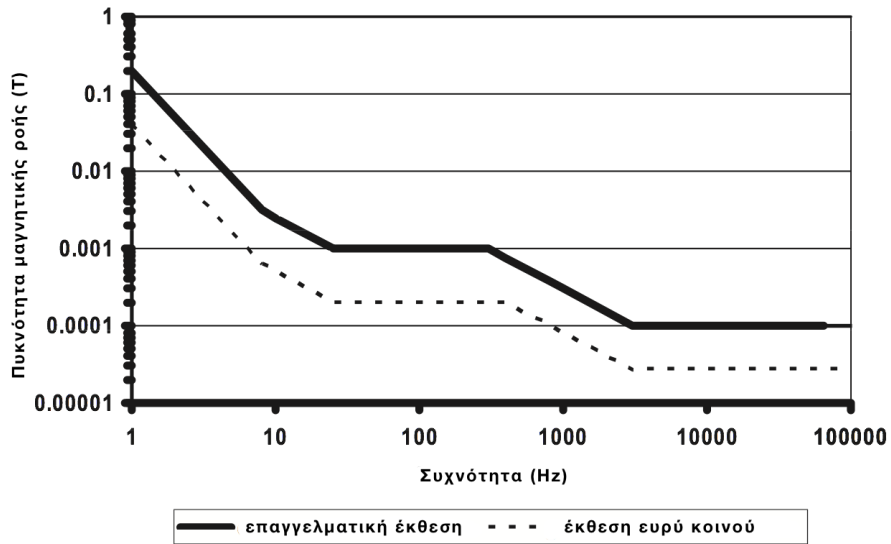
Οι πίνακες 7 και 8 συνοψίζουν τα επίπεδα αναφοράς για την επαγγελματική και την έκθεση του ευρύ κοινού αντίστοιχα, τα οποία απεικονίζονται επίσης στα σχήματα 6 και 7. Σημειώνεται ότι f είναι η συχνότητα σε Hz. Τα επίπεδα αναφοράς υποθέτουν έκθεση σε ένα ομοιόμορφο (ομογενές) πεδίο, σε σχέση με την χωρική έκταση του ανθρώπινου σώματος. Πρόκειται ουσιαστικά για τις πρακτικές τιμές με τις οποίες μπορεί εύκολα να ελεγχθεί το ενδεχόμενο υπέρβασης των βασικών περιορισμών.

Πίνακας 7: Επίπεδα αναφοράς για την επαγγελματική έκθεση σε χρονικά μεταβαλλόμενα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία (1 Hz - 10 MHz, τιμές RMS)

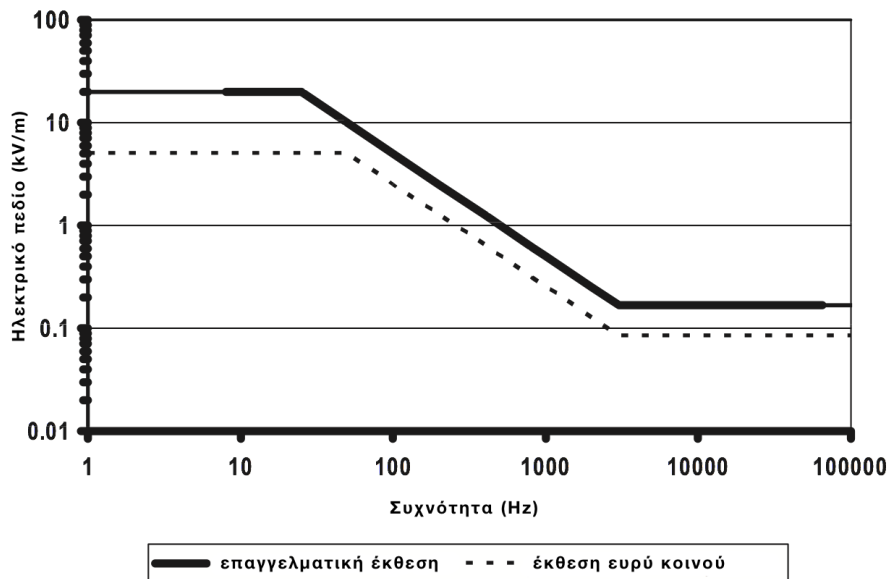
Εύρος συχνοτήτων	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου E (kV/m)	Ένταση μαγνητικού πεδίου H (A/m)	Πυκνότητα μαγνητικής ροής B (T)
1 Hz - 8 Hz	20	$1,63 \times 10^5 / f^2$	$0,2 / f^2$
8 Hz - 25 Hz	20	$2 \times 10^4 / f$	$2,5 \times 10^{-2} / f$
25 Hz - 300 Hz	$5 \times 10^2 / f$	8×10^2	1×10^{-3}
300 Hz - 3 kHz	$5 \times 10^2 / f$	$2,4 \times 10^5 / f$	$0,3 / f$
3 kHz - 10 MHz	$1,7 \times 10^{-1}$	80	1×10^{-4}

Πίνακας 8: Επίπεδα αναφοράς για την έκθεση του ευρύ κοινού σε χρονικά μεταβαλλόμενα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία (1 Hz - 10 MHz, τιμές RMS)

Εύρος συχνοτήτων	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου E (kV/m)	Ένταση μαγνητικού πεδίου H (A/m)	Πυκνότητα μαγνητικής ροής B (T)
1 Hz - 8 Hz	5	$3,2 \times 10^4 / f^2$	$4 \times 10^{-2} / f^2$
8 Hz - 25 Hz	5	$4 \times 10^3 / f$	$5 \times 10^{-3} / f$
25 Hz - 50 Hz	5	$1,6 \times 10^2$	2×10^{-4}
50 Hz - 400 Hz	$2,5 \times 10^2 / f$	$1,6 \times 10^2$	2×10^{-4}
400 Hz - 3 kHz	$2,5 \times 10^2 / f$	$6,4 \times 10^4 / f$	$8 \times 10^{-2} / f$
3 kHz - 10 MHz	$8,3 \times 10^{-2}$	21	$2,7 \times 10^{-5}$



Σχήμα 6: Επίπεδα αναφοράς για την έκθεση σε χρονικά μεταβαλλόμενα μαγνητικά πεδία (1 Hz - 100 kHz)



Σχήμα 7: Επίπεδα αναφοράς για την έκθεση σε χρονικά μεταβαλλόμενα ηλεκτρικά πεδία (1 Hz - 100 kHz)

3.1.3 Υψηλές Συχνότητες (100 kHz - 300 GHz)

Σκοπός των κατευθυντήριων γραμμών που δημοσίευσε η ICNIRP το 1998 για τον περιορισμό της έκθεσης σε χρονικά μεταβαλλόμενα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία μέχρι και 300 GHz [15] (Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (up to 300 GHz)), είναι να παρέχουν προστασία από τις γνωστές δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία.

Πρέπει να σημειωθεί εδώ ξανά, ότι με το έγγραφο που δημοσίευσε η ICNIRP το 2010 για τις κατευθυντήριες γραμμές χαμηλών συχνοτήτων, οι οποίες αναλύονται στο υποκεφάλαιο 3.1.2, αντικαθιστά το κομμάτι χαμηλών συχνοτήτων του παρόντος υποκεφαλαίου.

Βασικοί περιορισμοί Οι βασικοί περιορισμοί βασίζονται σε αποδεδειγμένες επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου. Ανάλογα με τη συχνότητα, τα φυσικά μεγέθη που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό των βασικών περιορισμών για την έκθεση σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία είναι η πυκνότητα ρεύματος, ο ειδικός ρυθμός απορρόφησης (specific absorption rate - SAR) και η πυκνότητα ισχύος. Η προστασία από τις δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία προϋποθέτει ότι δεν γίνεται υπέρβαση των βασικών αυτών περιορισμών.

Χρησιμοποιηθήκαν διαφορετικές επιστημονικές βάσεις για την ανάπτυξη των βασικών περιορισμών έκθεσης για διάφορες περιοχές συχνοτήτων.

- Μεταξύ 1 Hz και 10 MHz, δίνονται οι βασικοί περιορισμοί για την πυκνότητα ρεύματος, για την πρόληψη επιπτώσεων στις λειτουργίες του νευρικού συστήματος.
- Μεταξύ 100 kHz και 10 GHz, δίνονται οι βασικοί περιορισμοί για τον SAR, για την πρόληψη της καταπόνησης λόγω θέρμανσης ολόκληρου του σώματος και της υπερβολικής θέρμανσης συγκεκριμένων ιστών.
- Στην περιοχή από 100 kHz έως 10 MHz, οι περιορισμοί δίνονται και για την πυκνότητα ρεύματος και για τον SAR.
- Μεταξύ 10 και 300 GHz, δίνονται οι βασικοί περιορισμοί για την πυκνότητα ισχύος για την πρόληψη της υπερβολικής θέρμανσης των ιστών στην ή κοντά στην επιφάνεια του σώματος.

Οι βασικοί περιορισμοί για τις πυκνότητες ρεύματος, τον μέσο SAR ολόκληρου του σώματος και τον τοπικό SAR για συχνότητες από 1 Hz έως 10 GHz

παρουσιάζονται στον πίνακα 9. Οι περιορισμοί για την πυκνότητα ισχύος για συχνότητες από 10 - 300 GHz παρουσιάζονται στον πίνακα 10. Σημειώνεται ότι η συχνότητα f είναι σε Hz.

Πίνακας 9: Βασικοί περιορισμοί για χρονικά μεταβαλλόμενα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία για συχνότητες μέχρι και 10 GHz

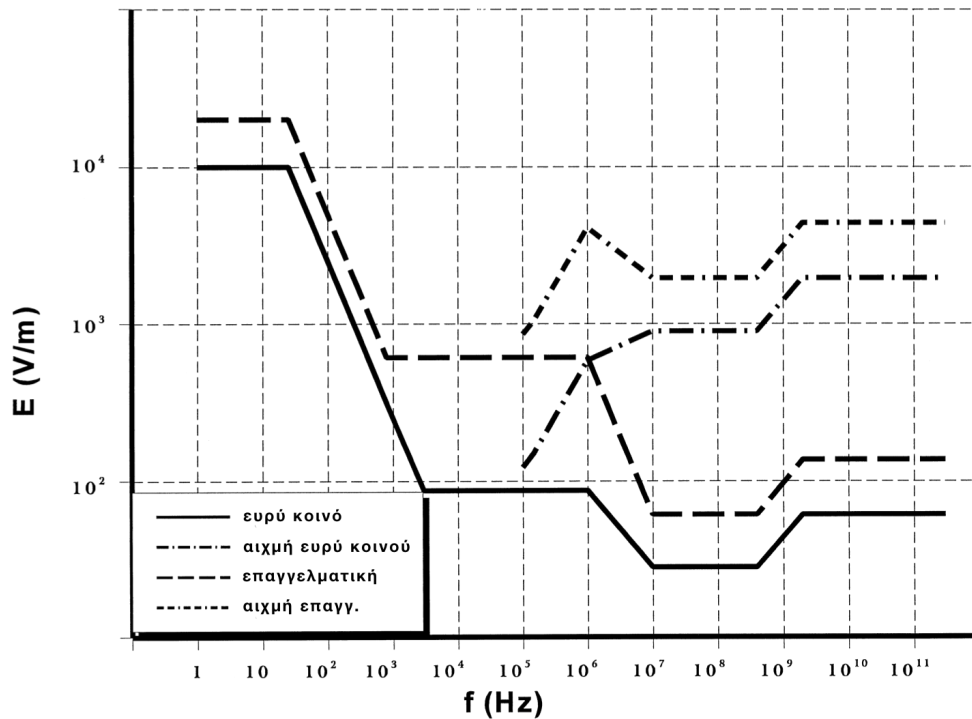
Χαρακτηριστικά έκθεσης		Εύρος συχνοτήτων	Πυκνότητα ρεύματος της κεφαλής και του κορμού ($mA \cdot m^{-2}$) (RMS)	Μέσος SAR ολόκληρου του σώματος (Wkg^{-1})	Τοπικός SAR (κεφαλής και κορμού) (Wkg^{-1})	Τοπικός SAR (άκρα) (Wkg^{-1})
Επαγγελματική έκθεση		μέχρι 1 Hz	40	-	-	-
		1 - 4 Hz	40/f	-	-	-
		4 Hz - 1 kHz	10	-	-	-
		1 - 100 kHz	f/100	-	-	-
		100 kHz - 10 MHz	f/100	0,4	10	20
		10 MHz - 10 GHz	-	0,4	10	20
Έκθεση ευρύ κοινού		μέχρι 1 Hz	8	-	-	-
		1 - 4 Hz	8/f	-	-	-
		4 Hz - 1 kHz	2	-	-	-
		1 - 100 kHz	f/500	-	-	-
		100 kHz - 10 MHz	f/500	0,08	2	4
		10 MHz - 10 GHz	-	0,08	2	4

Πίνακας 10: Βασικοί περιορισμοί για την πυκνότητα ισχύος για συχνότητες μεταξύ 10 και 300 GHz

Χαρακτηριστικά έκθεσης	Πυκνότητα ισχύος (W/m^{-2})
Επαγγελματική έκθεση	50
Έκθεση ευρύ κοινού	10

Επίπεδα Αναφοράς Τα επίπεδα αναφοράς της έκθεσης παρέχονται για σύγκριση με τις μετρηθείσες τιμές των φυσικών ποσοτήτων. Η συμμόρφωση με όλα τα επίπεδα αναφοράς που δίδονται σε αυτές τις κατευθυντήριες γραμμές, διασφαλίζει τη συμμόρφωση με τους βασικούς περιορισμούς. Εάν οι μετρούμενες τιμές είναι μεγαλύτερες από τα επίπεδα αναφοράς, αυτό δεν σημαίνει κατ' ανάγκη ότι οι βασικοί περιορισμοί έχουν ξεπεραστεί, αλλά μια πιο λεπτομερής ανάλυση είναι αναγκαία για την αξιολόγηση της συμμόρφωσης με αυτούς.

Τα επίπεδα αναφοράς προέρχονται από τους βασικούς περιορισμούς με μαθηματική μοντελοποίηση και κατ' επέκταση από τα αποτελέσματα των εργαστηριακών ερευνών σε συγκεκριμένες συχνότητες. Δίνονται για την κατάσταση της μέγιστης σύζευξης του πεδίου με το εκτιθέμενο άτομο, παρέχοντας έτσι τη μέγιστη προστασία. Οι πίνακες 11 και 12 συνοψίζουν τα επίπεδα αναφοράς για την επαγγελματική έκθεση και την έκθεση του ευρύ κοινού, αντίστοιχα, τα οποία απεικονίζονται επίσης στα σχήματα 8 και 9. Τα επίπεδα αναφοράς αυτά προορίζονται να είναι οι μέσες χωρικές τιμές για όλο το σώμα του εκτιθέμενου ατόμου, με τη σημαντική όμως προϋπόθεση ότι δεν σημειώνεται υπέρβαση των βασικών περιορισμών για τοπική έκθεση. Σημειώνεται ότι η μονάδα της συχνότητας f είναι αυτή που χρησιμοποιείται στην στήλη του εύρους συχνοτήτων.



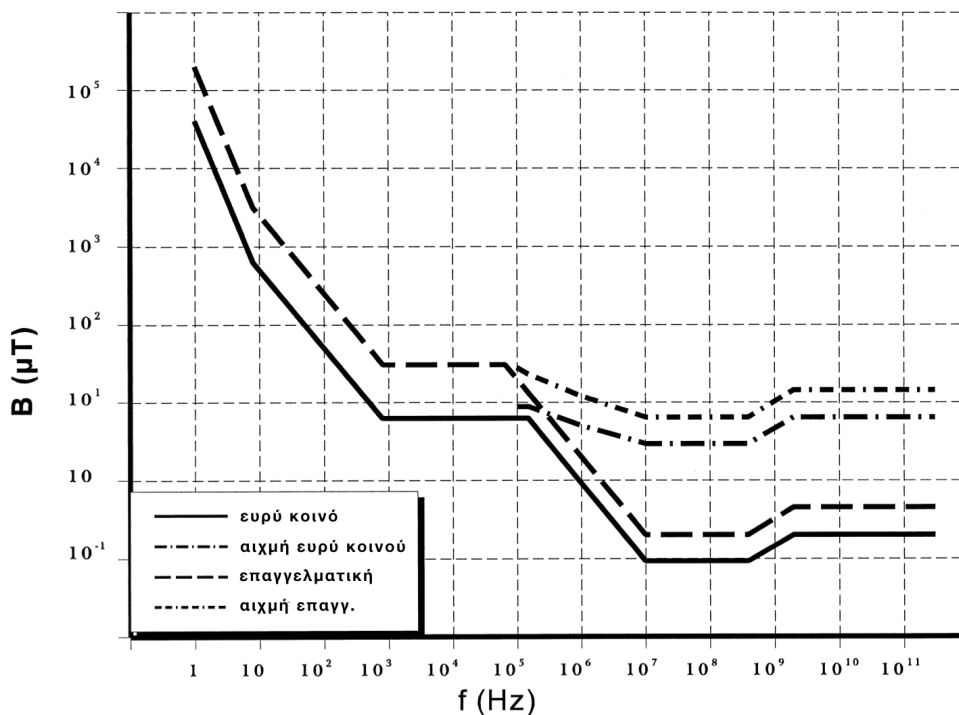
Σχήμα 8: Επίπεδα αναφοράς για την έκθεση σε χρονικά μεταβαλλόμενα ηλεκτρικά πεδία (1 Hz - 300 GHz)

Πίνακας 11: Επίπεδα αναφοράς για την επαγγελματική έκθεση σε χρονικώς μεταβαλλόμενα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία (1 Hz - 300 GHz, RMS τιμές)

Εύρος συχνοτήτων	Ένταση πεδίου E (Vm^{-1})	Ένταση πεδίου H (Am^{-1})	Πεδίο B (μT)	Ισοδύναμη πυκνότητα ισχύος S_{eq} (Wm^{-2})
μέχρι 1 Hz	-	$1,63 \times 10^5$	2×10^5	-
1 - 8 Hz	20.000	$1,63 \cdot 10^5 / f^2$	$2 \cdot 10^5 / f^2$	-
8 - 25 Hz	20.000	$2 \cdot 10^4 / f$	$2,5 \cdot 10^4 / f$	-
0,025 - 0,82 kHz	$500 / f$	$20 / f$	$25 / f$	-
0,82 - 65 kHz	610	24,4	30,7	-
0,065 - 1 MHz	610	$1,6 / f$	$2,0 / f$	-
1 - 10 MHz	$610 / f$	$1,6 / f$	$2,0 / f$	-
10 - 400 MHz	61	0,16	0,2	10
400 - 2000 MHz	$3f^{1/2}$	$0,008f^{1/2}$	$0,01f^{1/2}$	$f/40$
2 - 300 GHz	137	0,36	0,45	50

Πίνακας 12: Επίπεδα αναφοράς για την έκθεση του ευρύ κοινού σε χρονικά μεταβαλλόμενα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία (1 Hz - 300 GHz, RMS τιμές)

Εύρος συχνοτήτων	Ένταση πεδίου E (Vm^{-1})	Ένταση πεδίου H (Am^{-1})	Πεδίο B (μT)	Ισοδύναμη πυκνότητα ισχύος S_{eq} (Wm^{-2})
μέχρι 1 Hz	-	$3,2 \cdot 10^4$	$4 \cdot 10^4$	-
1 - 8 Hz	10.000	$3,2 \cdot 10^4 / f^2$	$4 \cdot 10^4 / f^2$	-
8 - 25 Hz	10.000	$4.000 / f$	$5.000 / f$	-
0,025 - 0,8 kHz	$250 / f$	$4 / f$	$5 / f$	-
0,8 - 3 kHz	$250 / f$	5	6,25	-
3 - 150 kHz	87	5	6,25	-
0,15 - 1 MHz	87	$0,73 / f$	$0,92 / f$	-
1 - 10 MHz	$87 / f^{1/2}$	$0,73 / f$	$0,92 / f$	-
10 - 400 MHz	28	0,073	0,092	2
400 - 2000 MHz	$1,375f^{1/2}$	$0,0037f^{1/2}$	$0,0046f^{1/2}$	$f/200$
2 - 300 GHz	61	0,16	0,20	10



Σχήμα 9: Επίπεδα αναφοράς για την έκθεση σε χρονικά μεταβαλλόμενα μαγνητικά πεδία (1 Hz - 300 GHz)

3.2 Κανονισμοί των Χωρών Οικοδεσποτών του CERN

Στην πολιτική ασφαλείας του CERN (CERN safety policy), δεν υπάρχει έγγραφο που να θέτει όρια έκθεσης σε μη ιονίζουσα ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Για τον λόγο αυτό, τα τηρούμενα όρια βασίζονται στους κανονισμούς των χωρών οικοδεσποτών του CERN, δηλαδή της Γαλλίας και της Ελβετίας.

Τα όρια της Γαλλίας για την έκθεση του ευρύ κοινού, καθορίζονται στο διάταγμα Νο. 2002-775 της 3ης Μαΐου 2002. [16] Το διάταγμα αυτό βασίστηκε πιστά στις συστάσεις του συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης που εκδόθηκε στην επίσημη εφημερίδα των ευρωπαϊκών κοινοτήτων που δημοσιεύτηκε στις 12 Ιουλίου 1999 (1999/519/EK). [17] Οι τελευταίες βασιστήκαν στις κατευθυντήριες γραμμές της ICNIRP του 1998, για τον περιορισμό της έκθεσης σε χρονικά μεταβαλλόμενα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία. [15] Οπότε για την Γαλλία, οι βασικοί περιορισμοί για το ευρύ κοινό παρουσιάζονται στους πίνακες 9 και

10. Η μόνη διαφορά έγκειται στην προσθήκη του περιορισμού των $40 \mu T$ για την πυκνότητα μαγνητικής ροής στατικού πεδίου (0 Hz). Τα επίπεδα αναφοράς της Γαλλίας για την έκθεση του ευρύ κοινού σε ηλεκτρικά, μαγνητικά και ηλεκτρομαγνητικά πεδία (0 Hz - 300 GHz) παρουσιάζονται στον πίνακα 12 και στα σχήματα 8 και 9.

Τα όρια της Ελβετίας για το ευρύ κοινό καθορίζονται από τους ελβετικούς κανονισμούς για την προστασία από τις μη ιονίζουσες ακτινοβολίες, που ψηφιστήκαν στις 23 Δεκεμβρίου 1999. [18, 19] Ομοίως με τα γαλλικά όρια, κι αυτά βασιστήκαν στις κατευθυντήριες γραμμές της ICNIRP του 1998. Οπότε οι βασικοί περιορισμοί και τα επίπεδα αναφοράς για το κομμάτι του ευρύ κοινού, παρουσιάζονται στους αντίστοιχους πίνακες και σχήματα. Η μόνο διαφορά των ελβετικών κανονισμών είναι ότι το πεδίο B που επάγεται από γραμμές μεταφοράς ενέργειας, από υποσταθμούς και από μετασχηματιστές δεν θα πρέπει να υπερβαίνει το $1 \mu T$.

Τα επίπεδα μη ιονίζουσας ακτινοβολίας του CERN ελέγχονται εσωτερικά από το τμήμα DGS, καθώς κι από τις χώρες οικοδεσπότες.

3.3 Κανονισμοί στην Ελλάδα

Το συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης στις 12 Ιουλίου του 1999 υιοθέτησε τις οδηγίες της ICNIRP κι εξέδωσε τη σύσταση «Σχετικά με τον περιορισμό της έκθεσης του κοινού σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία 0Hz-300GHz» L199, 1999/519/EK. [17]

Η σύσταση αυτή έχει υιοθετηθεί από τα περισσότερα κράτη μέλη, συμπεριλαμβανομένης και της Γαλλίας όπως αναλύθηκε στο προηγούμενο υποκεφάλαιο. Εξάιρεση αποτελούν ορισμένες χώρες, όπως η Ελλάδα, που έχουν μειώσει τα όρια περαιτέρω.

3.3.1 Όρια Έκθεσης για Χαμηλές Συχνότητες

Με σκοπό τη σύσταση των ορίων για τις εκπομπές ηλεκτρομαγνητικών πεδίων χαμηλών συχνοτήτων, έχει εκδοθεί η υπουργική απόφαση 3060 (ΦΟΡ) 238/2002 (ΦΕΚ 512/Β'/25.4.2002), με τίτλο «Μέτρα προφύλαξης του κοινού από τη λειτουργία διατάξεων εκπομπής ηλεκτρομαγνητικών πεδίων χαμηλών συχνοτήτων». [20]

Για την εφαρμογή περιορισμών που βασίζονται στην εκτίμηση πιθανών επιδράσεων στην υγεία από ηλεκτρομαγνητικά πεδία χαμηλών συχνοτήτων, γίνεται διαφοροποίηση μεταξύ βασικών περιορισμών και επιπέδων αναφοράς.

Βασικοί περιορισμοί Ορίζονται ως οι περιορισμοί έκθεσης σε χρονικά μεταβαλλόμενα ηλεκτρικά, μαγνητικά και ηλεκτρομαγνητικά πεδία που βασίζονται άμεσα σε αποδεδειγμένες επιδράσεις στην υγεία και σε βιολογικές μελέτες. Τα φυσικά μεγέθη που χρησιμοποιούνται για να προσδιοριστούν αυτοί οι περιορισμοί στην περιοχή των χαμηλών συχνοτήτων, είναι η μαγνητική επαγωγή (B) και η πυκνότητα ρεύματος (J).

Ανάλογα με την 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 τόσο για την μαγνητική επαγωγή στατικών μαγνητικών πεδίων (0 Hz), όσο 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 1 Hz έως 10 MHz, προβλέπονται βασικοί περιορισμοί για την πυκνότητα ρεύματος, για την πρόληψη επιπτώσεων σε λειτουργίες του νευρικού συστήματος.

Στον πίνακα 13 παρουσιάζονται οι θεσμοθετημένοι βασικοί περιορισμοί. Σημειώνεται ότι η συχνότητα f είναι σε Hz. Σημειώνεται επίσης ότι υπάρχει στο επίσημο έγγραφο το εξής παρόραμα. Λείπει η τιμή της πυκνότητας του ρεύματος για την συχνότητα των 1000 Hz. Με κάθε επιφύλαξη και με βάση τις κατευθυντήριες γραμμές της ICNIRP συμπληρώνεται με $f/500$.

Πίνακας 13: Βασικοί περιορισμοί για ηλεκτρικά, μαγνητικά και ηλεκτρομαγνητικά πεδία χαμηλών συχνοτήτων (Ελλάδα)

Εύρος συχνοτήτων	Μαγνητική επαγωγή (mT)	Πυκνότητα ρεύματος ($mA \cdot m^{-2}$) (RMS)
0 Hz	40	-
>0 - 1 Hz	-	8
1 - 4 Hz	-	8/f
4 Hz - 1000 Hz	-	2
1000 Hz	-	f/500
100 kHz	-	f/500

Επίπεδα αναφοράς Τα επίπεδα αυτά είναι τα ανώτερα επιτρεπτά όρια έκθεσης του κοινού σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία στο φάσμα των χαμηλών συχνοτήτων. Χρησιμοποιούνται για την πρακτική εκτίμηση της έκθεσης, προκειμένου να ελεγχθεί το ενδεχόμενο υπέρβασης των βασικών περιορισμών. Ορισμένα επίπεδα αναφοράς προέρχονται από σχετικούς βασικούς περιορισμούς, με τη χρήση μετρήσεων και/ή διαδικασιών υπολογισμού, ενώ άλλα σχετίζονται με την άμεση αντίληψή τους από τον εκτιθέμενο και τις δυσμενείς έμμεσες επιπτώσεις της έκθεσης σε ΗΜΠ. Τα φυσικά μεγέθη που προέρχονται από αντίστοιχους βασικούς περιορισμούς είναι η ένταση ηλεκτρικού πεδίου (E), η ένταση μαγνητικού πεδίου (H), η μαγνητική επαγωγή (B) και το ρεύμα των άκρων (IL). Το μέγεθος που σχετίζεται με την αντίληψή τους από τον εκτιθέμενο κι άλλες έμμεσες επιδράσεις, είναι το ρεύμα επαφής (IC).

Η τήρηση όλων των επιπέδων αναφοράς εξασφαλίζει την τήρηση των βασικών περιορισμών. Στους πίνακες 14 και 15 δίνονται τα επίπεδα αναφοράς για την έκθεση του ευρύ κοινού. Σημειώνεται ότι η μονάδα της συχνότητας f είναι αυτή που χρησιμοποιείται στην στήλη του εύρους συχνοτήτων.

Πίνακας 14: Επίπεδα αναφοράς για την έκθεση του ευρύ κοινού σε χρονικά μεταβαλλόμενα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία (RMS τιμές, Ελλάδα)

Εύρος συχνοτήτων	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου E (V/m)	Ένταση μαγνητικού πεδίου H (A/m)	Μαγνητική επαγωγή B (μ T)
0 - 1 Hz	-	$3,2 \cdot 10^4$	$4 \cdot 10^4$
1 - 8 Hz	10.000	$3,2 \cdot 10^4 / f^2$	$4 \cdot 10^4 / f^2$
8 - 25 Hz	10.000	$4.000 / f$	$5.000 / f$
0,025 - 0,8 kHz	$250 / f$	$4 / f$	$5 / f$
0,8 - 3 kHz	$250 / f$	5	6,25
3 - 150 kHz	87	5	6,25

Αρμόδιες υπηρεσίες Η Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (ΕΕΑΕ) και το Υπουργείο Υγείας και Πρόνοιας είναι υπεύθυνοι για την προστασία του πληθυσμού και του περιβάλλοντος από τις μη ιονίζουσες ακτινοβολίες και παρέχουν σχετική πληροφόρηση σε κάθε ενδιαφερόμενο. Η ΕΕΑΕ πραγματοποιεί συνεχείς μετρήσεις και ελέγχους. Με εγκυκλίους της καθορίζει τη διαδικασία και τους όρους για την εξουσιοδότηση των συνεργείων που πραγματοποιούν μετρήσεις και προσδιορίζει τη μεθοδολογία μετρήσεων στις χαμηλές συχνότητες.

Πίνακας 15: Επίπεδα αναφοράς για ρεύματα επαφής από αγώγιμα σώματα (f σε kHz, Ελλάδα)

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

Μερικώς επίσης για την οργάνωση και την πραγματοποίηση εκπαιδευτικών προγραμμάτων κατάρτισης του προσωπικού όλων των ενδιαφερομένων φορέων σε θέματα προστασίας του κοινού από ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες. Οι συναρμόδιες υπηρεσίες των υπουργείων ΠΕΧΩΔΕ, Υγείας και Πρόνοιας καθώς και η ΕΕΑΕ συνεργάζονται για την αποτελεσματική παρακολούθηση των διεθνών εξελίξεων και την εκπόνηση ερευνητικών μελετών σε θέματα προστασίας της υγείας από την εκπομπή ηλεκτρομαγνητικών ακτινοβολιών.

Σημειώνεται τέλος ότι η τα όρια για τη συχνότητα των 50 Hz στην Ελλάδα είναι 5 kV/m για την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου E και $100\ \mu T$ για το B μαγνητικό πεδίο.

3.3.2 Όρια Έκθεσης για Υψηλές Συχνότητες

Με σκοπό την κάλυψη όλου του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, όσον αφορά στο κομμάτι των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων υψηλότερων συχνοτήτων, έχει εκδοθεί η υπουργική απόφαση 2300 ΕΦΑ (493)/2008 (ΦΕΚ 346/Β'/3.3.2008) «Τρόπος διενέργειας των μετρήσεων για την τήρηση των ορίων ασφαλούς έκθεσης του κοινού σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία από κάθε κεραία». [21]

Γενικά, τα όρια ασφαλούς έκθεσης μπορούν να χωριστούν σε όρια για τις ηλεκτροδιεγερτικές επιδράσεις και σε όρια για τις θερμικές επιδράσεις. Η επιλογή των ορίων με τα οποία θα γίνει σύγκριση εξαρτάται από την συχνότητα ή τις συχνότητες της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που εκπέμπονται από τον ελεγχόμενο σταθμό κεραιών.

Τα επίπεδα αναφοράς αντλούνται από τις υποδείξεις της ICNIRP για τις συχνότητες αυτές, με επιπλέον τη χρήση συντελεστών μείωσης κατά 70% και 60%. Γενικά εφαρμόζονται οι τιμές των επιπέδων με συντελεστή 70%. Αυτές με συντελεστή 60% χρησιμοποιούνται στην περίπτωση που οι κεραίες εκπομπής βρίσκονται σε απόσταση μικρότερη από 300 μέτρα από την περίμετρο κτι-

ριακών εγκαταστάσεων βρεφονηπιακών σταθμών, σχολείων, γηροκομείων και νοσοκομείων.

Ηλεκτροδιεγερτικές επιδράσεις Σε περίπτωση που υπάρχουν εκπομπές σε μία ή περισσότερες συχνότητες, μικρότερες ή ίσες με 10MHz, οι μετρήσεις των εκπομπών αυτών συγκρίνονται με τα όρια για τις ηλεκτροδιεγερτικές επιδράσεις. Τα όρια αυτά για τα μετρήσιμα μεγέθη της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου και της έντασης του μαγνητικού πεδίου ή της μαγνητικής επαγωγής, για συντελεστές μείωσης 70% και 60% παρουσιάζονται στους πίνακες 16 και 17 αντίστοιχα. Σημειώνεται ότι f είναι η συχνότητα σε kHz.

Πίνακας 16: Επίπεδα αναφοράς για ηλεκτροδιεγερτικές επιδράσεις με συντελεστή 70% (Ελλάδα)

Εύρος συχνοτήτων	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου E (V/m)	Ένταση μαγνητικού πεδίου H (A/m)	Μαγνητική επαγωγή πεδίου B (μT)
1 - 3 kHz	175/f	3,5	4,375
3 kHz - 10 MHz	60,9	3,5	4,375

Πίνακας 17: Επίπεδα αναφοράς για ηλεκτροδιεγερτικές επιδράσεις με συντελεστή 60% (Ελλάδα)

Εύρος συχνοτήτων	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου E (V/m)	Ένταση μαγνητικού πεδίου H (A/m)	Μαγνητική επαγωγή πεδίου B (μT)
1 - 3 kHz	150/f	3,5	3,75
3 kHz - 10 MHz	52,2	3,5	3,75

Οι τιμές αναφέρονται σε ενεργές τιμές (τετραγωνική ρίζα μέσης τιμής τετραγώνων) της συνισταμένης τιμής των ανυσμάτων, θεωρώντας ότι και οι τρεις συνιστώσες στο χώρο είναι ημιτονοειδείς συναρτήσεις του χρόνου και μάλιστα της ίδιας συχνότητας. Στην περίπτωση μη ημιτονοειδών σημάτων, η στιγμιαία μέγιστη τιμή θα συγκρίνεται με τις τιμές που προκύπτουν από τον παραπάνω πίνακα, πολλαπλασιάζοντας τις τιμές του με την τετραγωνική ρίζα του 2 (περίπου ίση με 1,414).

Θερμικές επιδράσεις Σε περίπτωση που υπάρχουν εκπομπές σε μία ή περισσότερες συχνότητες μεγαλύτερες από 100kHz, οι μετρήσεις των εκπομπών αυτών συγκρίνονται με τα όρια για τις θερμικές επιδράσεις. Δηλαδή, αν υπάρχουν

εκπομπές στην περιοχή συχνοτήτων 100kHz έως 10MHz, συγκρίνονται τόσο με τα όρια για τις ηλεκτροδιεγερτικές όσο και για τις θερμικές επιδράσεις.

Τα όρια για τις θερμικές επιδράσεις και για τα μετρήσιμα μεγέθη της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου και της έντασης του μαγνητικού πεδίου ή της μαγνητικής επαγωγής, καθώς και το μέγεθος αναφοράς της ισοδύναμης πυκνότητας ισχύος, για συντελεστές μείωσης 70% και 60% παρουσιάζονται στους πίνακες 18 και 19 αντίστοιχα. Σημειώνεται ότι f είναι η συχνότητα σε MHz.

Πίνακας 18: Επίπεδα αναφοράς για θερμικές επιδράσεις με συντελεστή 70% (Ελλάδα)

Εύρος συχνοτήτων	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου E (V/m)	Ένταση μαγνητικού πεδίου H (A/m)	Μαγνητική επαγωγή πεδίου B (μT)	Ισοδύναμη πυκνότητα ισχύος S_{eq} (W/m^2)
100 kHz - 10 MHz	$72,8/\sqrt{f}$	$0,61/f$	$0,77/f$	
10 - 400 MHz	23,4	0,061	0,077	1,4
400 - 2000 MHz	$1,15\sqrt{f}$	$0,0031\sqrt{f}$	$0,0038\sqrt{f}$	$f/286$
2 - 300 GHz	51	0,134	0,167	7

Πίνακας 19: Επίπεδα αναφοράς για θερμικές επιδράσεις με συντελεστή 60% (Ελλάδα)

Εύρος συχνοτήτων	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου E (V/m)	Ένταση μαγνητικού πεδίου H (A/m)	Μαγνητική επαγωγή πεδίου B (μT)	Ισοδύναμη πυκνότητα ισχύος S_{eq} (W/m^2)
100 kHz - 10 MHz	$67,3/\sqrt{f}$	$0,565/f$	$0,71/f$	
10 - 400 MHz	21,7	0,0565	0,071	1,2
400 - 2000 MHz	$1,065\sqrt{f}$	$0,00287\sqrt{f}$	$0,00356\sqrt{f}$	$f/333$
2 - 300 GHz	47,2	0,124	0,155	6

Οι τιμές των παραπάνω πινάκων αναφέρονται σε ενεργές τιμές (τετραγωνική ρίζα μέσης τιμής τετραγώνων) της συνισταμένης των ανυσμάτων, θεωρώντας ότι και οι τρεις συνιστώσες στο χώρο είναι ημιτονοειδείς συναρτήσεις του χρόνου και μάλιστα της ίδιας συχνότητας.

4 Ανασκόπηση Προτύπων

Η Διεθνής Ηλεκτροτεχνική Επιτροπή [22] (IEC - International Electrotechnical Commission) είναι μια μη κερδοσκοπική, μη κυβερνητική οργάνωση διεθνών προτύπων, που προετοιμάζει και δημοσιεύει διεθνή πρότυπα για όλες τις ηλεκτρικές, ηλεκτρονικές και σχετικές τεχνολογίες. Τα πρότυπα της IEC καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα τεχνολογιών από την παραγωγή, την μεταφορά και την διανομή ηλεκτρικής ενέργειας, μέχρι οικιακές συσκευές και εξοπλισμό γραφείου, ημιαγωγούς, οπτικές ίνες, μπαταρίες, ηλιακή ενέργεια, νανοτεχνολογία και θαλάσσια ενέργεια. Η IEC επίσης διαχειρίζεται τρία παγκόσμια συστήματα αξιολόγησης της συμμόρφωσης που να πιστοποιεί αν ο εξοπλισμός, τα συστήματα ή τα εξαρτήματα, συμμορφώνονται με τα διεθνή πρότυπά της.

Ο Σύνδεσμος Προτύπων του Ινστιτούτου Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών [23] (Institute of Electrical and Electronics Engineers Standards Association - IEEE-SA) είναι ένας οργανισμός μέσα στην IEEE που αναπτύσσει παγκόσμια πρότυπα για ένα ευρύ φάσμα βιομηχανιών, συμπεριλαμβανομένων προτύπων:

- ηλεκτρικής ενέργειας,
- βιοϊατρικής και υγειονομικής περίθαλψης,
- τεχνολογίας των πληροφοριών,
- τηλεπικοινωνιών,
- μεταφορών και
- νανοτεχνολογιών.

Στο παρών κεφάλαιο παρουσιάζεται μια ανασκόπηση των δύο παρακάτω προτύπων:

- IEC 61786-1998 - "Measurement of low-frequency magnetic and electric fields with regard to exposure of human beings - Special requirements for instruments and guidance for measurements"
- IEEE 644-1994 - "IEEE Standard Procedures for Measurement of Power Frequency Electric and Magnetic Fields From AC Power Lines"

4.1 IEC 61786-1998

4.1.1 Σκοπός

Το διεθνές πρότυπο αυτό παρέχει οδηγίες για τη μέτρηση της RMS τιμής μαγνητικών και ηλεκτρικών πεδίων μόνιμης κατάστασης με φασματικό περιεχόμενο από 15 Hz έως 9 kHz. Οι πηγές των πεδίων περιλαμβάνουν τις συσκευές που λειτουργούν σε συχνότητες ισχύος (50/60 Hz) και παράγουν πεδία είτε στη συχνότητα αυτή είτε σε αρμονικές της, όπως επίσης και τις συσκευές που παράγουν πεδία ανεξάρτητα από συχνότητα αυτή. Οι κλίμακες που καλύπτονται από αυτό το πρότυπο είναι από 100 nT έως 100 mT για τα μαγνητικά πεδία και από 1 V/m έως 50 kV/m για τα ηλεκτρικά. Όταν εκτελούνται μετρήσεις εκτός του εύρους αυτού, τα περισσότερα μέρη του προτύπου θα εξακολουθούν να ισχύουν, αλλά ορισμένα μέρη, όπως η καθορισμένη αβεβαιότητα και η βαθμονόμηση, μπορεί να χρειαστούν τροποποίηση. Συγκεκριμένα, το πρότυπο αυτό:

- ορίζει την ορολογία,
- προσδιορίζει τις απαιτούμενες προδιαγραφές των πεδιομέτρων,
- υποδεικνύει μεθόδους βαθμονόμησης,
- καθορίζει τις απαιτήσεις για την αβεβαιότητα των οργάνων,
- περιγράφει τα γενικά χαρακτηριστικά των πεδίων,
- ερευνά τις αρχές λειτουργίας των οργάνων και
- περιγράφει τις μεθόδους μέτρησης που επιτυγχάνουν συγκεκριμένους στόχους που αφορούν την έκθεση του ανθρώπου.

Προσδιορίζονται επίσης οι πηγές αβεβαιότητας κατά τη διάρκεια της βαθμονόμησης και των μετρήσεων, και παρέχεται καθοδήγηση σχετικά με το πώς θα πρέπει να συνδυαστούν, για να προσδιοριστεί η συνολική αβεβαιότητα της μέτρησης. Σχετικά με τις μετρήσεις ηλεκτρικού πεδίου, το πρότυπο αυτό θεωρεί μόνο την μέτρηση της έντασης ενός μη διαταρασσόμενου ηλεκτρικού πεδίου σε ένα σημείο του χώρου (δηλαδή το ηλεκτρικό πεδίο πριν από την εισαγωγή του μετρητή και του χειριστή) ή σε αγωγίμες επιφάνειες.

4.1.2 Ορισμοί

Δοκιμές

Δοκιμές αποδοχής Οι συμβατικές δοκιμές για να αποδείξουν στον πελάτη ότι η συσκευή πληροί ορισμένους όρους των προδιαγραφών της.

Δοκιμή τύπου Η δοκιμή μίας ή περισσότερων συσκευών που γίνονται σε μια συγκεκριμένη διάταξη, για να δείχθει ότι η διάταξη πληροί ορισμένες προδιαγραφές. Αυτή η δοκιμή κανονικά εκτελείται από τον σχεδιαστή/κατασκευαστή της συσκευής.

Μετρητές

Μετρητής εναλλασσόμενου ηλεκτρικού πεδίου Πρόκειται για μετρητή σχεδιασμένο για την μέτρηση εναλλασσόμενων ηλεκτρικών πεδίων. Υπάρχουν διαθέσιμοι τρεις τύποι τέτοιων μετρητών: ο μετρητής ελευθέρου σώματος, ο μετρητής επίγειας αναφοράς κι ο ηλεκτρο-οπτικός μετρητής. Οι μετρητές ηλεκτρικού πεδίου αποτελούνται από δύο μέρη: τον αισθητήρα ή το στοιχείο που ανιχνεύει το πεδίο, και τον ανιχνευτή που επεξεργάζεται το σήμα από τον αισθητήρα και δείχνει την RMS τιμή του ηλεκτρικού πεδίου σε μια αναλογική ή ψηφιακή οθόνη.

Ηλεκτρο-οπτικός μετρητής (electro-optic meter) Είναι ο μετρητής που μετρά την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου με τις αλλαγές στην μετάδοση του φωτός μέσα από μια ίνα ή κρύσταλλο, που οφείλονται στην επίδραση του ηλεκτρικού πεδίου. Ενώ υπάρχουν αρκετές ηλεκτρο-οπτικές μέθοδοι που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μέτρηση ηλεκτρικών πεδίων, π.χ. το φαινόμενο Pockels, το φαινόμενο Kerr, και συμβολομετρικές τεχνικές, το πρότυπο αυτό εξετάζει μόνο τους ηλεκτρο-οπτικούς μετρητές που χρησιμοποιούν το φαινόμενο Pockels.

Μετρητής ελευθέρου σώματος (free-body meter) Είναι ο μετρητής που μετρά την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου σε ένα σημείο πάνω από το έδαφος και στηρίζεται στον χώρο χωρίς αγωγή επαφή με τη γη. Οι μετρητές ελευθέρου σώματος κατασκευάζονται συνήθως για τη μέτρηση του επαγωγικού ρεύματος

μεταξύ δύο απομονωμένων τμημάτων ενός αγωγίμου σώματος. Δεδομένου ότι το επαγόμενο ρεύμα είναι ανάλογο προς την παράγωγο ως προς τον χρόνο του ηλεκτρικού πεδίου, το κύκλωμα ανίχνευσης του μετρητή περιέχει συχνά ένα στάδιο ολοκλήρωσης, προκειμένου να ανακτήσει την κυματομορφή του ηλεκτρικού πεδίου. Η ολοκληρωμένη κυματομορφή του ρεύματος συμπίπτει επίσης με εκείνο του επαγόμενου φορτίου. Το στάδιο της ολοκλήρωσης είναι επίσης επιθυμητό, ιδιαίτερα για την μέτρηση των ηλεκτρικών πεδίων με αρμονικό περιεχόμενο, γιατί αυτό το στάδιο εξαλείφει την υπερβολική στάθμιση των αρμονικών συνιστωσών στο επαγόμενο σήμα ρεύματος.

Μαγνητόμετρο πύλης ροής (fluxgate magnetometer) Είναι ένα όργανο σχεδιασμένο για την μέτρηση μαγνητικών πεδίων κάνοντας χρήση των μη γραμμικών μαγνητικών χαρακτηριστικών ενός αισθητήρα, που έχει έναν σιδηρομαγνητικό πυρήνα.

Μετρητής επίγειας αναφοράς (ground reference meter) Είναι ο μετρητής που μετρά το ηλεκτρικό πεδίο στην ή κοντά στην επιφάνεια του εδάφους. Συχνά υλοποιείται με την μέτρηση του επαγόμενου ρεύματος ή φορτίου που ταλαντώνεται μεταξύ ενός απομονωμένου ηλεκτροδίου και της γείωσης. Το απομονωμένο ηλεκτρόδιο είναι συνήθως μία πλάκα που βρίσκεται στην ή ελαφρώς πάνω από την επιφάνεια του εδάφους. Οι μετρητές αυτοί που μετρούν το επαγόμενο ρεύμα, συχνά περιέχουν ένα κύκλωμα ολοκληρωτή για αντιστάθμιση λόγω της σχέσης (παράγωγος) μεταξύ του επαγόμενου ρεύματος και του ηλεκτρικού πεδίου.

Μετρητής πυκνότητας μαγνητικής ροής Είναι ένας μετρητής σχεδιασμένος να μετρά την πυκνότητα μαγνητικής ροής. Τα μαγνητόμετρα αποτελούνται από δύο μέρη: τον αισθητήρα ή το στοιχείο που ανιχνεύει το πεδίο, και τον ανιχνευτή που επεξεργάζεται το σήμα από τον αισθητήρα και δείχνει την RMS τιμή του μαγνητικού πεδίου σε μια αναλογική ή ψηφιακή οθόνη. Χρησιμοποιούνται συχνά διάφοροι τύποι μετρητών, π.χ. πεδιόμετρα με αισθητήρια πηνία, μετρητές με αισθητήρες φαινομένου Hall και μετρητές που συνδυάζουν δύο πηνία με ένα σιδηρομαγνητικό πυρήνα, όπως σε ένα μαγνητόμετρο πύλης ροής.

Μετρητής έρευνας (survey meter) Πρόκειται για έναν ελαφρύ μετρητή που λειτουργεί με μπαταρία, που επιτρέπει μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο

που μπορούν να πραγματοποιηθούν εύκολα κρατώντας τον με το χέρι. Με τη χρήση του μπορούν να διεξαχθούν μετρήσεις τύπου έρευνας σε διαφορετικές τοποθεσίες.

Αισθητήριο πηνίο (coil probe) Είναι ένας αισθητήρας πυκνότητας μαγνητικής ροής που αποτελείται από ένα πηνίο που παράγει μία επαγόμενη τάση ανάλογη προς την παράγωγο ως προς τον χρόνο του μαγνητικού πεδίου. Δεδομένης της σχέσης αυτής (παράγωγος), το κύκλωμα του ανιχνευτή έχει ένα στάδιο ολοκλήρωσης για να ανακτήσει την κυματομορφή της πυκνότητας μαγνητικής ροής. Αυτός ο ανιχνευτής μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση της στατικής (DC) πυκνότητας μαγνητικής ροής, εάν ο αισθητήρας περιστρέφεται.

Αισθητήρας φαινομένου Hall (Hall effect probe) Είναι ένας αισθητήρας πυκνότητας μαγνητικής ροής που περιέχει ένα στοιχείο που εμφανίζει το φαινόμενο Hall για να παράγει μία τάση ανάλογη προς την πυκνότητα μαγνητικής ροής. Οι αισθητήρες αυτοί μετρούν τόσο στατικές όσο και χρονικά μεταβαλλόμενες πυκνότητες μαγνητικής ροής. Λόγω της περιορισμένης ευαισθησίας και λόγω προβλημάτων κορεσμού, που συναντώνται μερικές φορές κατά την προσπάθεια μέτρησης μικρών πυκνοτήτων ροής συχνότητας 50/60 Hz με την παρουσία σημαντικής στατικής γεωμαγνητικής ροής από τη γη, οι αισθητήρες φαινομένου Hall χρησιμοποιούνται σπάνια για την μέτρηση των μαγνητικών πεδίων των AC γραμμών μεταφοράς ενέργειας.

Χαρακτηριστικά μετρητή

Συντελεστής κορυφής Για ένα περιοδικό σήμα, είναι ο λόγος της κορυφής της κυματομορφής προς την RMS τιμή αυτού.

Παρεμβολή φωνής (crosstalk) Είναι ο θόρυβος ή το εξωτερικό σήμα που προκαλείται από εναλλασσόμενου ή παλμικού τύπου σήματα σε γειτονικά κυκλώματα

Απόκριση συχνότητας Είναι η απόκριση (ανάγνωση) ενός μετρητή πεδίου σε ένα πεδίο σταθερού πλάτους, αλλά διαφορετικών συχνοτήτων.

Περάτη ζώνη συχνοτήτων (pass-band) Είναι ένα φάσμα συχνοτήτων που μπορούν να περάσουν με χαμηλή εξασθένηση.

Μέσος ανορθωμένος ανιχνευτής (βαθμονομημένος σε RMS) Είναι το κύκλωμα του ανιχνευτή που ανορθώνει το σήμα από τον αισθητήρα κι έχει βαθμονομηθεί για να δώσει την σωστή RMS τιμή ενός ημιτονοειδούς πεδίου σε μία δεδομένη συχνότητα. Αν υπάρχουν αρμονικές στο πεδίο, ο ανιχνευτής αυτός δεν θα δείχνει την πραγματική RMS τιμή του πεδίου, εάν το σήμα από τον αισθητήρα είναι ανάλογο προς την παράγωγο ως προς τον χρόνο του πεδίου. Εάν ο ανιχνευτής περιέχει ένα στάδιο ολοκλήρωσης, το σφάλμα μειώνεται. Το σφάλμα θα είναι επίσης μία συνάρτηση της σχέσης φάσης μεταξύ της θεμελιώδους και των αρμονικών συνιστωσών του πεδίου.

Ανιχνευτής πραγματικής RMS Είναι ένας ανιχνευτής που περιέχει ένα κύκλωμα που εκτελεί την μαθηματική πράξη $\sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [v(t)]^2 dt}$ σε ένα περιοδικό σήμα $v(t)$, όπου T είναι η περίοδος του σήματος.

Εάν το $v(t)$ είναι ανάλογο με τη χρονική παράγωγο του πεδίου, το κύκλωμα του ανιχνευτή απαιτεί επίσης ένα στάδιο ολοκλήρωσης πριν από την RMS μέτρηση, προκειμένου να ανακτήσει την κυματομορφή της πυκνότητας μαγνητικής ροής. Αυτός ο τύπος ανιχνευτή δίνει την πραγματική RMS τιμή ενός πεδίου που περιέχει αρμονικές, υπό την προϋπόθεση ότι η απόκριση συχνότητας του ανιχνευτή είναι επίπεδη πάνω από την περιοχή συχνοτήτων που μας ενδιαφέρει. Αν υπάρχουν στην $v(t)$ σημαντικά επίπεδα αρμονικών, πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στην πιθανότητα κορεσμού κάποιου ενισχυτή, αν η διάταξη ακολουθεί ένα ή περισσότερα στάδια ενίσχυσης.

Χαρακτηριστικά πεδίου

Διαταραγμένο πεδίο Είναι το πεδίο που μεταβάλλεται σε μέγεθος ή κατεύθυνση, ή και τα δύο, μετά την εισαγωγή ενός αντικειμένου.

Το ηλεκτρικό πεδίο στην επιφάνεια του αντικειμένου, σε γενικές γραμμές, διαταράσσεται ισχυρά από την παρουσία του αντικειμένου. Σε συχνότητες 50/60 Hz, η πυκνότητα μαγνητικής ροής δεν διαταράσσεται γενικά σε μεγάλο βαθμό από την παρουσία των αντικειμένων που δεν περιλαμβάνουν μαγνητικά υλικά. Εξαιρέσεις σε αυτό περιλαμβάνουν περιοχές κοντά στην επιφάνεια παχέων ηλεκτρικών αγωγών και περιοχές μακριά από τους αγωγούς αυτούς, αν ο αγωγός είναι κοντά στην πηγή μαγνητικού πεδίου. Η διαταραχή σε αυτές τις

περιπτώσεις οφείλεται στα αντίθετα μαγνητικά πεδία που παράγονται από τα δινορεύματα στους αγωγούς.

Μη διαταραγμένο πεδίο Είναι το πεδίο σε ένα σημείο που θα υπήρχε ελλείψει προσώπων ή κινητών αντικειμένων.

Οιονεί στατικό πεδίο (quasi-static field) Είναι το πεδίο που ικανοποιεί την συνθήκη $f \ll c \div l$, όπου f είναι η συχνότητα του πεδίου, c είναι η ταχύτητα του φωτός, και το l είναι μια χαρακτηριστική διάσταση της γεωμετρίας μέτρησης, π.χ. η απόσταση μεταξύ της πηγής του πεδίου και του σημείου μέτρησης. Τα μαγνητικά και τα ηλεκτρικά πεδία συχνότητας 50/60 Hz κοντά σε ηλεκτροφόρα καλώδια και συσκευές, είναι παραδείγματα οιονεί στατικών πεδίων.

Συνιστάμενο ηλεκτρικό πεδίο Είναι το ηλεκτρικό πεδίο που δίνεται από την έκφραση:

$$E_R = \sqrt{E_x^2 + E_y^2 + E_z^2} \quad (11)$$

όπου E_x , E_y και E_z είναι οι RMS τιμές των τριών ορθογώνιων συνιστωσών του πεδίου.

Συνιστάμενο μαγνητικό πεδίο Είναι το μαγνητικό πεδίο που δίνεται από την έκφραση:

$$B_R = \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2} \quad (12)$$

όπου B_x , B_y και B_z είναι οι RMS τιμές των τριών ορθογώνιων συνιστωσών του πεδίου.

Μετρήσεις

Συντελεστής διόρθωσης Είναι ο αριθμητικός παράγοντας με τον οποίο το μη διορθωμένο αποτέλεσμα μιας μέτρησης πολλαπλασιάζεται για να αντισταθμίσει ένα γνωστό σφάλμα. Εφόσον το γνωστό σφάλμα δεν μπορεί να προσδιοριστεί ακριβώς, η αντιστάθμιση δεν μπορεί να είναι πλήρης.

Συντελεστής κάλυψης Είναι ο αριθμητικός παράγοντας που χρησιμοποιείται ως πολλαπλασιαστής της συνδυασμένης τυπικής αβεβαιότητας (standard uncertainty), προκειμένου να αποκτηθεί μια διευρυμένη αβεβαιότητα (expanded uncertainty).

Συντελεστής κλίμακας Είναι ο παράγοντας κατά τον οποίο η ένδειξη του οργάνου πολλαπλασιάζεται για να αποκτηθεί η ποσότητα της εισόδου του.

Μέτρηση σημείου (point-in-time measurement) Είναι η μέτρηση που γίνεται σε κάποια στιγμή και σε κάποιο σημείο του χώρου, που δεν παρέχει πληροφορίες σχετικά με τις χρονικές ή χωρικές μεταβολές του πεδίου

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

Αβεβαιότητα της μέτρησης Είναι η παράμετρος που σχετίζεται με το αποτέλεσμα μιας μέτρησης και χαρακτηρίζει τη διασπορά των τιμών που θα μπορούσε εύλογα να αποδοθεί στην μετρούμενη ποσότητα.

Η αβεβαιότητα μέτρησης αποτελείται γενικά από πολλές συνιστώσες. Μερικές από αυτές μπορούν να υπολογιστούν επί τη βάση της στατιστικής κατανομής των αποτελεσμάτων μιας σειράς μετρήσεων, και μπορούν να χαρακτηριστούν από πειραματικές τυπικές αποκλίσεις. Οι εκτιμήσεις των άλλων συνιστωσών μπορεί να βασίζονται στην εμπειρία ή σε άλλες πληροφορίες.

4.1.3 Προδιαγραφές Οργάνων

Πρέπει να παρέχονται επαρκείς πληροφορίες για τον εξοπλισμό, συμπεριλαμβανομένων των προδιαγραφών των οργάνων κι ένα εύχρηστο εγχειρίδιο οδηγιών. Έτσι οι χρήστες του μπορούν να καθορίσουν τη συμμόρφωση με το πρότυπο αυτό, να χρησιμοποιήσουν σωστά τον μετρητή, καθώς και να αξιολογήσουν τη χρησιμότητα της συσκευής για τις ανάγκες τους.

Αβεβαιότητα εξοπλισμού Το σύστημα μέτρησης για εναλλασσόμενα μαγνητικά/ηλεκτρικά πεδία θα πρέπει να μετρά την RMS τιμή ενός ομογενούς μαγνητικού/ηλεκτρικού πεδίου με αβεβαιότητα μικρότερη από $\pm(10\%$ της τιμής $+20$ nT) για τα μαγνητικά πεδία και $\pm(10\%$ της τιμής $+2$ V/m) για τα ηλεκτρικά, μετά την εφαρμογή των συντελεστών διόρθωσης, ανάλογα με την περίπτωση.

Η αβεβαιότητα του οργάνου καθορίζεται από πολλές συνιστώσες, όπως η αβεβαιότητα βαθμονόμησης, η θερμοκρασία των ηλεκτρονικών, η σταθερότητα και οι εξωτερικές πηγές θορύβου. Η παραπάνω αβεβαιότητα σχετίζεται με το σχεδιασμό και τη λειτουργία του μετρητή πυκνότητας μαγνητικής ροής/ηλεκτρικού πεδίου σε ένα σχεδόν ομοιόμορφο πεδίο. Το 10% αναφέρεται στην αβεβαιότητα κατά τη βαθμονόμηση πάνω από το εύρος συχνοτήτων (pass-band)

που καθορίζεται για τον εξοπλισμό και περιλαμβάνει αβεβαιότητες στην τιμή της πυκνότητας μαγνητικής ροής/ηλεκτρικού πεδίου κι άλλες πρόσθετες αβεβαιότητες κατά τη διάρκεια της διαδικασίας βαθμονόμησης. Ο συντελεστής κάλυψης είναι 2.

Εύρος έντασης Το εύρος εντάσεων σε σχέση με τις οποίες το όργανο λειτουργεί μέσα στην καθορισμένη αβεβαιότητα πρέπει να αναφέρεται σαφώς.

Περατή ζώνη συχνοτήτων Το όργανο πρέπει να είναι εφοδιασμένο με τα στοιχεία βαθμονόμησης ή τις προδιαγραφές, που επιτρέπουν στον χρήστη να αξιολογήσει την αβεβαιότητα στον προσδιορισμό του μεγέθους των πεδίων, όταν χρησιμοποιείται το όργανο σε πεδία που περιέχουν διαφορετικές συχνότητες. Οι πληροφορίες αυτές θα πρέπει να περιλαμβάνουν επίσης την ευαισθησία του οργάνου σε συχνότητες πέρα από την προβλεπόμενη ωφέλιμη περιοχή, π.χ. τα σημεία -3 dB. Η απόκριση συχνότητας του οργάνου πρέπει να είναι τέτοια, ώστε η απαίτηση της αβεβαιότητας του οργάνου να πληρούται πάνω από το φάσμα συχνοτήτων στο οποίο αναφέρεται.

Εύρη λειτουργίας θερμοκρασίας και υγρασίας Τα εύρη θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας μέσα στα οποία το όργανο λειτουργεί με την καθορισμένη αβεβαιότητα, δεν πρέπει να είναι μικρότερα από 0°C έως 45°C και 5% έως 95%, αντίστοιχα. Θα πρέπει να αποφεύγονται επίσης οι απότομες αλλαγές στην θερμοκρασία.

Τροφοδοσίες Αν χρησιμοποιούνται μπαταρίες, θα πρέπει να υπάρχει ένδειξη για το αν η κατάσταση της μπαταρίας είναι επαρκής για τη σωστή λειτουργία του μετρητή πεδίου. Τα όργανα θα πρέπει να είναι σε θέση να λειτουργούν τουλάχιστον 8 ώρες εντός της ονομαστικής τους αβεβαιότητας, πριν από την αντικατάσταση ή την επαναφόρτιση των μπαταριών. Εάν χρησιμοποιούνται επαναφορτιζόμενες μπαταρίες, συνιστάται τα όργανα να μην τίθενται σε λειτουργία ενώ είναι συνδεδεμένα με την παροχή ενέργειας. Για την περίπτωση των αισθητήρων ηλεκτρικών πεδίων τύπου ελευθέρου σώματος, δεν θα πρέπει να υπάρχουν συνδέσεις καλωδίων με αυτούς.

Αναγνωσιμότητα της κλίμακας Οι ενδείξεις των μετρητών μαγνητικού πεδίου τύπου έρευνας θα πρέπει να είναι αρκετά μεγάλες για να διαβάζονται εύκολα από απόσταση ίση με το μήκος του βραχίονα. Εάν παρέχονται περισσό-

τερα από ένα εύρη ευαισθησίας, η μέγιστη τιμή της επιλεγμένης περιοχής θα πρέπει να αναφέρεται, και οι μονάδες θα πρέπει να είναι εύκολα ερμηνεύσιμες. Γενικά τα όργανα θα πρέπει να παρέχουν μια σαφή ένδειξη των μονάδων που εμφανίζονται.

Για την περίπτωση των αισθητήρων ηλεκτρικών πεδίων, οι ενδείξεις του μετρητή θα πρέπει να είναι αρκετά μεγάλες κι αναγνώσιμες από απόσταση, για να αποφευχθούν σημαντικές διαταράξεις του ηλεκτρικού πεδίου που οφείλονται σε επιδράσεις της εγγύτητας του παρατηρητή. Η χρήση αισθητήρων τύπου ελευθέρου σώματος με απομακρυσμένες οθόνες, λύνει εντελώς αυτό το πρόβλημα.

Διαστάσεις εξοπλισμού

Αισθητήρες μαγνητικού πεδίου Θα πρέπει να παρέχονται οι διαστάσεις του περιβλήματος που περιέχει το κύκλωμα του αισθητήρα και των καλωδίων σύνδεσης. Το μέγεθος των αισθητήριων στοιχείων θα πρέπει να είναι κατάλληλο για τη χωρική μεταβολή του πεδίου που μετράται. Τα αισθητήρια στοιχεία θα πρέπει να έχουν εμβαδό $0,01 \text{ m}^2$, ή μικρότερο. Για μετρητές τριών αξόνων, τα τρία αισθητήρια στοιχεία μπορούν να είναι ομόκεντρα (δηλαδή πηνία που έχουν ένα κοινό κεντρικό σημείο) ή, εάν τα στοιχεία ανιχνεύσεως δεν είναι μεγαλύτερα από $0,05 \text{ m}$, θα πρέπει να είναι όσο όσο το δυνατόν πιο κοντά μεταξύ τους. Η μέγιστη διάσταση του όγκου που περιέχει τα τρία πηνία δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τα $0,2 \text{ m}$.

Αισθητήρες ηλεκτρικού πεδίου Οι διαστάσεις για τους μετρητές ηλεκτρικού πεδίου θα πρέπει να δίνονται ανάλογα με τον τύπο του μετρητή:

- Μετρητής ελευθέρου σώματος: οι διαστάσεις και το μήκος της μονωμένης λαβής.
- Μετρητής επίγειας αναφοράς: οι διαστάσεις του μετρητή και του αισθητήρα καθώς και το μήκος του ομοαξονικού καλωδίου σύνδεσης.
- Ηλεκτρο-οπτικός μετρητής: οι διαστάσεις του μετρητή και του αισθητήρα καθώς και το μήκος της οπτικής ίνας σύνδεσης.

Αντοχή Ο μετρητής και τα άλλα εξαρτήματα του συστήματος θα πρέπει να είναι αρκετά ανθεκτικά, ώστε να αντέχουν τις δονήσεις και τους κραδασμούς που προέρχονται από τις μεταφορές αυτών. Η χρήση θήκης μεταφοράς είναι επιθυμητή.

Βάρος Θα πρέπει να δίνεται το βάρος των οργάνων. Το βάρος αυτό θα πρέπει να διατηρείται όσο πιο χαμηλό γίνεται ώστε να είναι πρακτική η χρήση τους υπό περιοριστικές συνθήκες, π.χ. σε ορισμένα βιομηχανικά περιβάλλοντα.

Συγκεκριμένα το βάρος ενός αισθητήρα ηλεκτρικού πεδίου τύπου ελευθέρου σώματος θα πρέπει να διατηρείται χαμηλό, ώστε να μπορεί ο χειριστής του να πραγματοποιήσει εύκολα μετρήσεις με το χέρι με τη χρήση μιας μονωτικής λαβής 2 m.

4.1.4 Βαθμονόμηση

Τα συστήματα μέτρησης πρέπει να υποβάλλονται σε βαθμονόμηση και επαλήθευση της βαθμονόμησής τους καθ' όλη τη διάρκεια ζωής τους. Οι δοκιμές βαθμονόμησης που αναφέρονται σε αυτό το πρότυπο είναι οι *δοκιμές τύπου* και οι *δοκιμές αποδοχής*. Οι *δοκιμές τύπου* εκτελούνται κανονικά από τον κατασκευαστή για μία ή περισσότερες συσκευές. Οι *δοκιμές αποδοχής* κανονικά εκτελούνται μόνο μία φορά από τον κατασκευαστή για κάθε μετρητή πεδίου. Οι *δοκιμές αποδοχής* πρέπει να επαναλαμβάνονται εάν έχουν γίνει σημαντικές τροποποιήσεις ή επισκευές του οργάνου. Οι δοκιμές επαλήθευσης πραγματοποιούνται σε χρονικά διαστήματα κατά τη χρήση του οργάνου. Όλες οι βαθμονομήσεις θα πρέπει να γίνονται με βάση εθνικά και διεθνή πρότυπα, μέσω μιας αδιάσπαστης αλυσίδας διακριβώσεων, έχοντας όλα δηλώσει τις αβεβαιότητές τους.

Οι ακόλουθες τρεις μέθοδοι βαθμονόμησης καλύπτονται από αυτό το πρότυπο:

- βαθμονόμηση με εισαγωγή του αισθητήρα σε ένα υπολογισμένο μαγνητικό πεδίο (μετά από μετρήσεις των διαστάσεων και του ρεύματος του πηνίου),
- βαθμονόμηση χρησιμοποιώντας μια τεχνική έγχυσης τάσης και
- βαθμονόμηση με σύγκριση με ένα μετρητικό σύστημα αναφοράς.

Διαδικασία βαθμονόμησης

Μαγνητικά πεδιόμετρα Οι βαθμονομήσεις απαιτούνται ως μέρος των δοκιμών τύπου, των δοκιμών αποδοχής και των δοκιμών περιοδικής επαλήθευσης. Για τη διακρίβωση των ανωτέρων κλιμάκων μεγέθους (δηλαδή για εύρη που δεν επηρεάζεται σημαντικά από τα μαγνητικά πεδία υποβάθρου), ο αισθητήρας μαγνητικού πεδίου πρέπει να τοποθετείται σε ένα σχεδόν ομοιόμορφο πεδίο που παράγεται από ένα σύστημα πηνίου. Ο άξονας του αισθητήρα θα πρέπει να συμπίπτει με τον άξονα του συστήματος πηνίου και η μεγαλύτερη απόκλιση του πεδίου από την κεντρική τιμή θα πρέπει να είναι μικρότερη από 1%.

Οι βαθμονομήσεις μετρητών μονού άξονα και για κάθε άξονα μετρητών τριών αξόνων, θα πρέπει να πραγματοποιούνται με ημιτονοειδή μαγνητικά πεδία ή τις ισοδύναμες τάσεις τους (τεχνική έγχυσης τάσης) στα επίπεδα και τις συχνότητες που υποδεικνύονται από τις προδιαγραφές του οργάνου.

Η πυκνότητα μαγνητικής ροής στο σύστημα πηνίου πρέπει να είναι γνωστή με αβεβαιότητα μικρότερη του $\pm 3\%$ (συντελεστής κάλυψης 1). Το μέγεθος μπορεί να προσδιοριστεί με υπολογισμό, με βάση τις μετρήσεις των διαστάσεων του πηνίου, τον αριθμό των στροφών του πηνίου και το ρεύμα σε αυτό, ή με άμεση μέτρηση με έναν βαθμονομημένο μετρητή πυκνότητας μαγνητικής ροής αναφοράς με αρκετά χαμηλή αβεβαιότητα μέτρησης. Εάν η τεχνική έγχυσης τάσης χρησιμοποιείται ως μέρος της βαθμονόμησης (ανάλογα με το σχεδιασμό οργάνων, αυτό μπορεί να είναι δυνατό μόνο κατά τη διάρκεια των δοκιμών τύπου), η ισοδύναμη πυκνότητα μαγνητικής ροής προσδιορίζεται από την εγχυμένη τάση.

Η αβεβαιότητα της βαθμονόμησης θα καθοριστεί από παράγοντες όπως την αβεβαιότητα στην τιμή της πυκνότητας μαγνητικής ροής στο σύστημα βαθμονόμησης (± 3) ή την αβεβαιότητα στην εγχυμένη τάση, την ανάλυση στην ανάγνωση του οργάνου υπό δοκιμή, και την μεταβολή της ανάγνωσης αν το όργανο υπό δοκιμή επανειλημμένα τοποθετηθεί στο σύστημα βαθμονόμησης. Άλλοι παράγοντες, όπως τα μαγνητικά πεδία υποβάθρου μπορούν να διακυβεύσουν περαιτέρω την αβεβαιότητα της βαθμονόμησης. Η συνολική αβεβαιότητα της διαδικασίας βαθμονόμησης (συντελεστής κάλυψης 1) δεν θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από το $\pm (5\% + 10 \text{ nT})$. Ένας συντελεστής κάλυψης ίσος με 2 θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί κατά τον προσδιορισμό της αβεβαιότητας του εξοπλισμού, που θα ήταν σε αυτή την περίπτωση $\leq \pm (10\% + 20 \text{ nT})$. Η βαθμονόμηση πρέπει να γίνεται με βάση εθνικά ή / και διεθνή πρότυπα.

Θα πρέπει να καταγράφονται τουλάχιστον τρία επίπεδα μαγνητικού πεδίου

για κάθε εύρος του μετρητή, επαρκή για να καλύπτουν το 30% έως 90% της πλήρους κλίμακας, για τους μετρητές με αναλογικές οθόνες. Τουλάχιστον τέσσερα σημεία, επαρκή για να καλύπτουν το 10% έως 90% της πλήρους κλίμακας, θα πρέπει να λαμβάνονται με τους μετρητές με ψηφιακές οθόνες. Τα πεδίομετρα με δυνατότητες αυτόματης ρύθμισης του εύρους, θα πρέπει να βαθμονομούνται σε κάθε κλίμακα σε όχι λιγότερο από τρία αντιπροσωπευτικά σημεία, τα οποία καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος του φάσματος. Στην πιο ευαίσθητη περιοχή, ένα από τα σημεία βαθμονόμησης πρέπει να είναι κοντά στο 10% της μέγιστης τιμής για την εν λόγω περιοχή. Στην λιγότερο ευαίσθητη κλίμακα, ένα από τα σημεία βαθμονόμησης πρέπει να είναι το 90% της μέγιστης τιμής για αυτό το εύρος. Για τουλάχιστον ένα επίπεδο μαγνητικού πεδίου, οι βαθμονομήσεις θα πρέπει να εκτελούνται σε τρεις συχνότητες που καλύπτουν τη ζώνη διέλευσης, δηλαδή στις υψηλότερες και χαμηλότερες συχνότητες, και μία ενδιάμεση συχνότητα.

Όταν βαθμονομείται κάθε άξονας των αισθητήρων τριών αξόνων, ελέγχεται η ορθογωνιότητα των ανιχνευτών, καθώς επίσης και οι αλληλοπαρεμβολές μεταξύ του κυκλώματος του μετρητή για κάθε αισθητήρα. Ο αισθητήρας τριών αξόνων και το μαγνητικό πεδίο θα πρέπει να διαμορφωθούν έτσι ώστε ο άξονας του κάθε ανιχνευτή να μπορεί να ευθυγραμμίζεται με την κατεύθυνση του μαγνητικού πεδίου διαδοχικά. Για κάθε ευθυγράμμιση των ανιχνευτών, η έξοδος από τους υπόλοιπους δύο ανιχνευτές θα πρέπει να μετρηθεί και θα πρέπει να είναι μικρότερη από το 3% του σήματος του ευθυγραμμισμένου ανιχνευτή. Η εξέταση για την ορθογωνιότητα των ανιχνευτών πηνίου χρειάζεται να γίνει σε ένα μόνο επίπεδο πεδίου. Η βαθμονόμηση των πεδιομέτρων μαγνητικού πεδίου με αισθητήρες τριών αξόνων θα πρέπει επίσης να ελέγχεται για έναν προσανατολισμό (σε μία συχνότητα και ένα επίπεδο πεδίου), όπου περίπου η ίδια ροή περνά μέσα από όλα τα πηνία.

Κατά τη διάρκεια των δοκιμών τύπου, ο θόρυβος θα πρέπει να προσδιορίζεται για κάθε κλίμακα που έχει βαθμονομηθεί. Αν είναι σημαντικού μεγέθους, θα πρέπει να μειωθεί ή να συνδυαστεί με άλλες πηγές αβεβαιότητας των οργάνων. Αυτό πρέπει να γίνει τόσο για τους αισθητήρες μονού άξονα, όσο και για κάθε άξονα των αισθητήρων τριών αξόνων.

Η συχνότητα συντονισμού του βρόχου βαθμονόμησης πρέπει να είναι σημαντικά μεγαλύτερη από τις συχνότητες βαθμονόμησης, έτσι ώστε οι διακρίβώσεις να μην επηρεάζονται από το φαινόμενο του συντονισμού.

Το ρεύμα στα πηνία βαθμονόμησης δεν θα πρέπει να έχει αρμονικό περιεχόμενο (<1%).

Ηλεκτρικά πεδιόμετρα Οι βαθμονομήσεις απαιτούνται ως μέρος των δοκιμών τύπου, των δοκιμών αποδοχής και των δοκιμών περιοδικής επαλήθευσης. Κατά τη διάρκεια της βαθμονόμησης, ο αισθητήρας ηλεκτρικού πεδίου θα πρέπει να τοποθετηθεί σε ένα σχεδόν ομοιόμορφο πεδίο που παράγεται από παράλληλες πλάκες. Η απόκλιση του πεδίου στο κέντρο των παραλλήλων πλακών από την τιμή του ομοιόμορφου πεδίου, δηλαδή το πεδίο που παράγεται από άπειρες παράλληλες πλάκες, θα πρέπει να είναι μικρότερη από 1%. Η παράλληλη απόσταση μεταξύ των πλακών θα πρέπει να είναι επαρκής, ώστε να αποφεύγονται τα ανεπιθύμητα αποτελέσματα λόγω εγγύτητας, όταν ο αισθητήρας εισάγεται μεταξύ των πλακών. Για παράδειγμα, ένας αισθητήρας ελευθέρου σώματος με διαγώνια διάσταση μικρότερη από 0,23 m, μπορεί να βαθμονομηθεί στο κέντρο παραλλήλων πλακών αποστάσεων 1,5 m × 1,5 m × 0,75 m. Η μονωτική λαβή που χρησιμοποιείται συνήθως κατά τη διάρκεια των μετρήσεων πεδίου θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί για να στηρίξει τον αισθητήρα μεταξύ των πλακών. Οι παράλληλες διαστάσεις των πλακών μπορούν να κλιμακώνονται προς τα πάνω ή προς τα κάτω για μεγαλύτερους ή μικρότερους αισθητήρες ελευθέρου σώματος.

Η διακρίβωση ενός αισθητήρα μονού άξονα και κάθε άξονα ενός αισθητήρα τριών αξόνων, θα πρέπει να πραγματοποιείται με ημιτονοειδή ηλεκτρικά πεδία στα επίπεδα και τις συχνότητες που υποδεικνύονται από τις προδιαγραφές του οργάνου.

Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου στο παράλληλο σύστημα πλακών θα πρέπει να είναι γνωστή με αβεβαιότητα μικρότερη του $\pm 3\%$ (συντελεστής κάλυψης 1). Το μέγεθος μπορεί να προσδιοριστεί με υπολογισμό που βασίζεται σε μετρήσεις της παράλληλης απόστασης μεταξύ των πλακών και της τάσης, ή με άμεση μέτρηση με έναν βαθμονομημένο μετρητή ηλεκτρικού πεδίου με αρκετά χαμηλή αβεβαιότητα μέτρησης.

Η αβεβαιότητα της βαθμονόμησης θα καθοριστεί από παράγοντες όπως η αβεβαιότητα στην τιμή του ηλεκτρικού πεδίου στο σύστημα βαθμονόμησης ($\pm 3\%$), η ανάλυση στην ανάγνωση του μετρητή υπό δοκιμή και η μεταβολή της ανάγνωσης, εάν το όργανο υπό δοκιμή επανειλημμένα τοποθετηθεί στο σύστημα βαθμονόμησης. Η συνολική αβεβαιότητα της διαδικασίας βαθμονόμησης (συντελεστής κάλυψης 1) θα πρέπει να είναι μικρότερη από $\pm (5\% + 1 \text{ V} / \text{m})$. Ένας συντελεστής κάλυψης ίσος με 2 θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί κατά τον προσδιορισμό της αβεβαιότητας του εξοπλισμού, που θα είναι στην προκειμένη περίπτωση $\leq \pm (10\% + 2 \text{ V} / \text{m})$. Η βαθμονόμηση πρέπει να γίνεται με βάση εθνικά ή / και διεθνή πρότυπα.

Θα πρέπει να καταγραφούν τουλάχιστον τρία επίπεδα ηλεκτρικού πεδίου

για κάθε εύρος του μετρητή πεδίου, επαρκή για να καλύψουν το 30% έως 90% της πλήρους κλίμακας, για τους μετρητές με αναλογικές οθόνες. Για τους μετρητές με ψηφιακές οθόνες πάλι, τουλάχιστον τέσσερα επίπεδα ηλεκτρικού πεδίου, επαρκή για να καλύψουν το 10% έως 90% της πλήρους κλίμακας, θα πρέπει να καταγραφούν. Τα πεδιόμετρα με δυνατότητα αυτόματης ρύθμισης του εύρους, θα πρέπει να βαθμονομούνται σε κάθε κλίμακα, σε όχι λιγότερα από τρία αντιπροσωπευτικά σημεία, τα οποία καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος του φάσματος. Στην πιο ευαίσθητη περιοχή, ένα από τα σημεία βαθμονόμησης πρέπει να είναι κοντά στο 10% της μέγιστης τιμής για την εν λόγω περιοχή. Στην λιγότερο ευαίσθητη κλίμακα, ένα από τα σημεία βαθμονόμησης πρέπει να είναι το 90% της μέγιστης τιμής για αυτό το εύρος. Το μέγιστο μετρούμενο πεδίο (μετρητές τύπου ελευθέρου σώματος και ηλεκτρο-οπτικοί) θα πρέπει να απαντάται όταν ο άξονας του αισθητήρα περιστρέφεται εντός $\pm 10^\circ$ από την κατακόρυφη διεύθυνση. Πεδιόμετρα με αναγνώσεις που δεν πληρούν τα παραπάνω κριτήρια πρέπει να θεωρούνται ανακριβή. Για τουλάχιστον ένα επίπεδο ηλεκτρικού πεδίου, οι βαθμονομήσεις θα πρέπει να πραγματοποιούνται σε τρεις από τις συχνότητες που καλύπτουν τη ζώνη διέλευσης, δηλαδή στην υψηλότερη και στη χαμηλότερη συχνότητα, καθώς και μία ενδιάμεση.

Οι τάσεις που παρέχονται στις παράλληλες πλάκες από τα τροφοδοτικά, δεν θα πρέπει να περιέχουν αρμονικές ($\leq 2\%$). Σε περίπτωση που αυτό δεν είναι δυνατό, το αρμονικό περιεχόμενο θα πρέπει να καταγράφεται και θα πρέπει να αποδεικνύεται ότι έχει μια αμελητέα επίδραση στην βαθμονόμηση.

Έγγραφα δοκιμών Οι κατασκευαστές των μετρητών θα πρέπει να τεκμηριώνουν τα αποτελέσματα των δοκιμών και να παρέχουν, εκτός από τις προδιαγραφές του οργάνου, τις ακόλουθες πληροφορίες:

- την ταυτοποίηση της πειραματικής μονάδας,
- την ταυτοποίηση του πελάτη,
- την ταυτοποίηση του μοντέλου του οργάνου και του σειριακού αριθμού του,
- έναν μοναδικό αριθμό πρωτοκόλλου της δοκιμής,
- την ημερομηνία της δοκιμής και
- την ταυτοποίηση του ατόμου, υπεύθυνου για την τεχνική αναφορά.

Οι κατασκευαστές των οργάνων θα πρέπει να τεκμηριώνουν τις διαδικασίες βαθμονόμησής τους, αναφέροντας τουλάχιστον τις ακόλουθες πληροφορίες:

- την αβεβαιότητα του μετρητικού συστήματος αναφοράς, τις διαστάσεις των αισθητήρων, το εύρος διέλευσης, την ημερομηνία της τελευταίας επαλήθευσης της βαθμονόμησης,
- **πεδιόμετρα μαγνητικού πεδίου**
 - την γεωμετρία και τις διαστάσεις του πηνίου
 - την συχνότητα συντονισμού του πηνίου,
 - τα όργανα για τη μέτρηση του ρεύματος του πηνίου, την αβεβαιότητα των οργάνων, την ημερομηνία της τελευταίας επαλήθευσης της βαθμονόμησης,
 - τα όργανα που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της τάσης (τεχνική έγχυσης τάσης), την αβεβαιότητα των οργάνων, την ημερομηνία της τελευταίας επαλήθευσης της βαθμονόμησης,
 - τον λόγο του διαιρέτη τάσης (τεχνική έγχυσης τάσης), την εξάρτηση του λόγου από την συχνότητα, την αβεβαιότητα στην τιμή του λόγου,
- **πεδιόμετρα ηλεκτρικού πεδίου**
 - τις διαστάσεις των παράλληλων πλακών και
 - τα όργανα για την μέτρηση της τάσης στις παράλληλες πλάκες, την αβεβαιότητα των οργάνων.

Δοκιμές επαλήθευσης Όταν είναι δυνατόν, είναι επιθυμητό για τους χρήστες των οργάνων να εξετάζουν την απόκριση των αισθητήρων τους χρησιμοποιώντας την τεχνική της έγχυσης τάσης, όταν ο μετρητής έχει βαθμονομηθεί σε ένα γνωστό πεδίο ή λίγο αργότερα. Η πρακτική αυτή επιτρέπει τη χρήση της τεχνικής της έγχυσης τάσης ως μέσο επαλήθευσης της βαθμονόμησης, όταν δεν είναι διαθέσιμο ένα σύστημα πηνίου για τα μαγνητικά πεδιόμετρα (ή ένα σύστημα παράλληλων πλακών για τα ηλεκτρικά).

Οι επαληθεύσεις της βαθμονόμησης από το χρήστη του οργάνου δεν χρειάζεται να είναι τόσο διεξοδικές όσο οι *δοκιμές αποδοχής*. Για παράδειγμα, σε συχνότητες που σχετίζονται με την εφαρμογή, ο έλεγχος σε ένα ή δύο σημεία

για κάθε εύρος του μετρητή πεδίου που θα χρησιμοποιηθεί για τις μετρήσεις, είναι επαρκής για την επαλήθευση του συντελεστή κλίμακας.

Τα αποτελέσματα των δοκιμών ελέγχου θα πρέπει να τεκμηριώνονται και να είναι εύκολα προσβάσιμα. Το έγγραφο θα πρέπει να περιλαμβάνει την ημερομηνία των δοκιμών και την ταυτοποίηση του προσώπου που εκτέλεσε τις δοκιμές.

Η επαλήθευση της βαθμονόμησης στις κλίμακες μεγέθους που χρησιμοποιούνται, πρέπει να πραγματοποιείται σε τακτά χρονικά διαστήματα. Προτείνεται το πολύ ανά διάστημα δώδεκα μηνών. Αυτό το χρονικό διάστημα μπορεί να μεταβληθεί ανάλογα με την ολίσθηση της απόκρισης του μετρητή πεδίου μεταξύ των επαληθεύσεων. Οι έλεγχοι θα πρέπει επίσης να πραγματοποιούνται πριν και μετά από παρατεταμένες περιόδους χρήσης του μετρητή.

4.1.5 Αβεβαιότητα Μετρήσεων

Πυκνότητα μαγνητικής ροής Προκειμένου να καθοριστεί η συνολική αβεβαιότητα που συνδέεται με τις RMS μετρήσεις της πυκνότητας μαγνητικής ροής σε διαφορετικά περιβάλλοντα μέτρησης, θα πρέπει να υπάρχει η κατάλληλη καταγραφή των διαφόρων πηγών της αβεβαιότητας. Μερικές πιθανές πηγές αβεβαιότητας είναι:

- η αβεβαιότητα βαθμονόμησης,
- οι επιδράσεις λόγω εξαγωγής του μέσου όρου από το πηνίο κατά τη διάρκεια μετρήσεων μη ομογενούς πεδίου,
- τα σφάλματα κατά την τοποθέτηση του αισθητήρα σε μη ομογενή πεδία,
- οι περιορισμοί λόγω απόκρισης συχνότητας ή εύρους ζώνης,
- η ανεπαρκής θωράκιση για το ηλεκτρικό πεδίο,
- ο θόρυβος,
- η ορθογωνιότητα των πηνίων τριών αξόνων,
- η παρεμβολή φωνής (crosstalk),
- η σταθερά χρόνου του εξοπλισμού και
- η θερμοκρασία.

Ορισμένες πηγές αβεβαιότητας μπορεί να μειωθούν σε αμελητέα επίπεδα. Για παράδειγμα, η σωστή θωράκιση μπορεί να μειώσει την ευαισθησία σε ηλεκτρικά πεδία συχνότητας 50/60 Hz και τις ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές στο ελάχιστο. Επιπλέον, τα τρίποδα στήριξης κατασκευάζονται από μονωτικά υλικά και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ακριβή τοποθέτηση του αισθητήρα σε μη ομογενή πεδία.

Γνωστοί συντελεστές διόρθωσης θα πρέπει να εφαρμοστούν στις μετρήσεις που λαμβάνονται από αισθητήρες πυκνότητας μαγνητικής ροής. Αν δεν είναι πρακτικό να εφαρμοστούν οι συντελεστές διόρθωσης, η επίδραση αυτών θα πρέπει να αντιμετωπίζεται ως μια επιπλέον αβεβαιότητα της μέτρησης.

Χρειάζεται κάποια κρίση όταν γίνεται ο υπολογισμός της αβεβαιότητας. Αν για παράδειγμα ένα μαγνητικό πεδίο περιέχει αρμονικές, η πραγματική RMS τιμή της πυκνότητας μαγνητικής ροής δίνεται από τον τύπο:

$$B = B_f \sqrt{1 + a_1^2 + a_2^2 + a_3^2 + \dots} \quad (13)$$

όπου:

- B_f είναι η RMS τιμή της συνιστώσας θεμελιώδους συχνότητας και
- a_i είναι το κλάσμα της i -οστής αρμονικής.

Αν οι αρμονικές μειώνονται σε πλάτος στις υψηλότερες συχνότητες και η ζώνη διέλευσης του μετρητή πεδίου είναι ανεπαρκής για να δώσει την πλήρη τιμή των υψηλότερων αρμονικών, η πραγματική RMS τιμή της πυκνότητας μαγνητικής ροής μπορεί ακόμη να μην επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από την περιορισμένη απόκριση συχνότητας, λόγω της άθροισης που γίνεται στην παραπάνω εξίσωση.

Ομοίως, θα πρέπει να αναγνωριστεί ότι οι αβεβαιότητες κατά τη μέτρηση των μαγνητικών πεδίων από συσκευές ή άλλον ηλεκτρολογικό εξοπλισμό, ως συνάρτηση της απόστασης από την πηγή, μπορούν να γίνουν πολύ μεγάλες (π.χ. άνω των 100%), όταν το επίπεδο του πεδίου από την πηγή προσεγγίζει την τιμή του μαγνητικού πεδίου υποβάθρου. Για αυτήν την περίπτωση, η αβεβαιότητα θα πρέπει να περιλαμβάνει έναν επιπλέον όρο, «το ποσοστό του υπόβαθρου», που είναι ίσος με (πεδίο υποβάθρου / μετρούμενο πεδίο) × 100%.

Ένταση ηλεκτρικού πεδίου Ομοίως με την πυκνότητα μαγνητικής ροής, προκειμένου να καθοριστεί η συνολική αβεβαιότητα που συνδέεται με τις RMS μετρήσεις της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου σε διαφορετικά περιβάλλοντα μέ-

τρησης, θα πρέπει να υπάρχει η κατάλληλη καταγραφή των διαφόρων πηγών της αβεβαιότητας. Μερικές πιθανές πηγές αβεβαιότητας είναι:

- η επίδραση εγγύτητας του παρατηρητή,
- τα σφάλματα ανάγνωσης (μετρητές ελευθέρου σώματος με αναλογικές ενδείξεις)
- οι επιδράσεις εγγύτητας αγωγίμων επιφανειών (μετρητές ελευθέρου σώματος)
- τα περιβαλλοντικά μαγνητικά πεδία,
- το ανομοιογενές ηλεκτρικό πεδίο (μετρητές ελευθέρου σώματος),
- η υγρασία,
- η θερμοκρασία και
- η θέση της μέτρησης.

Πολλές από αυτές τις πηγές αβεβαιότητας μπορεί να γίνουν αμελητέες, ή ανάλογα με τον τύπο του μετρητή πεδίου, μπορεί να μην εφαρμόζονται σε μια δεδομένη κατάσταση μέτρησης. Ισχύει κι εδώ ο αντίστοιχος τύπος για την μέτρηση ηλεκτρικού πεδίου με αρμονικές, ανάλογος με την εξίσωση (13).

Γνωστοί παράγοντες διόρθωσης θα πρέπει να εφαρμοστούν σε μετρήσεις που λαμβάνονται με αισθητήρες ηλεκτρικού πεδίου. Αν δεν είναι πρακτικό να εφαρμοστούν οι συντελεστές διόρθωσης, η επίδραση αυτών θα πρέπει να αντιμετωπίζεται ως μια επιπλέον αβεβαιότητα της μέτρησης.

4.1.6 Καταγραφή και Αναφορά Αποτελεσμάτων της Μέτρησης

Οι πληροφορίες που απαιτούνται κατά την καταγραφή και την κοινοποίηση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων μπορούν να ποικίλουν ανάλογα με τους στόχους των μετρήσεων. Μια σαφής ένδειξη των στόχων των μετρήσεων θα πρέπει να παρέχεται από την αρχή. Οι ακόλουθες πληροφορίες σχετικά με τον εξοπλισμό και τις μετρήσεις θα πρέπει επίσης να παρέχονται σε όλες τις περιπτώσεις:

- η ταυτοποίηση του κατασκευαστή,

- η ταυτοποίηση του μοντέλου του οργάνου,
- η ημερομηνία των μετρήσεων,
- ο χρόνος των μετρήσεων,
- η συνολική αβεβαιότητα της μέτρησης,
- μια σαφή ένδειξη για το τι πεδίο μετράται, π.χ. το μέγιστο/συνιστάμενο μαγνητικό/ηλεκτρικό πεδίο, την RMS τιμή του κ.λπ. (σε μονάδες SI),
- το μέγεθος και η γεωμετρία του αισθητήρα και
- η ημερομηνία της τελευταίας δοκιμής βαθμονόμησης / επαλήθευσης.

Άλλες πληροφορίες που πρέπει να παρέχονται, όταν κρίνεται αναγκαίο, περιλαμβάνουν:

- το εύρος συχνοτήτων του οργάνου,
- τις περιγραφές της ανθρώπινης δραστηριότητας, όταν υπάρχει ανθρώπινη έκθεση,
- τα σχέδια που περιγράφουν την περιοχή και τις θέσεις όπου εκτελούνται οι μετρήσεις,
- τον προσδιορισμό του προσωπικού που εκτελεί τις μετρήσεις και
- τις συνθήκες της πηγής, δηλαδή το ρεύμα φόρτισης.

4.1.7 Διαδικασία Μέτρησης Εναλλασσόμενων Μαγνητικών Πεδίων

Οι μετρήσεις πυκνότητας μαγνητικής ροής θα πρέπει να γίνονται με αισθητήρες τριών αξόνων και θα πρέπει να δίνουν το συνιστάμενο μαγνητικό πεδίο, εκτός κι αν υπάρχει ιδιαίτερος λόγος για τη χρήση αισθητήρα ενός άξονα. Οι λόγοι για τη χρήση αισθητήρων μονού άξονα περιλαμβάνουν την επιθυμία να γνωρίζουμε την κατεύθυνση του πεδίου και το μέγιστο μαγνητικό πεδίο. Κάποιοι αισθητήρες τριών αξόνων μπορούν επίσης να καθορίσουν αυτές τις παραμέτρους του πεδίου.

Οι αισθητήρες μονού άξονα μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό του συνιστάμενου μαγνητικού πεδίου, χρησιμοποιώντας την εξίσωση $B_R = \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2}$, όταν το επίπεδο του πεδίου παραμένει σταθερό.

Για αυτήν την περίπτωση, η χρήση ενός εξαρτήματος κατασκευασμένου από μη αγώγιμα υλικά για τον προσανατολισμό του ανιχνευτή σε ορθογώνιες κατευθύνσεις, θα επισπεύσει την διαδικασία μέτρησης.

Το μέγεθος του αισθητήριου στοιχείου θα πρέπει να είναι κατάλληλο για τη χωρική μεταβολή του πεδίου που μετριέται. Συνιστάται ότι τα αισθητήρια στοιχεία θα πρέπει να έχουν εμβαδό $0,01 \text{ m}^2$ ή μικρότερο.

Η ζώνη διέλευσης του οργάνου θα πρέπει να είναι κατάλληλη για το φασματικό περιεχόμενο του πεδίου που μετριέται. Όταν το πεδίο είναι τέτοιο, ώστε η ζώνη διέλευσης του οργάνου να μπορούσε να επηρεάσει σημαντικά το αποτέλεσμα (δηλαδή όταν περισσότερες από μία συχνότητες είναι παρούσες στο πεδίο), η ζώνη διέλευσης θα πρέπει να καταγράφεται και να αναφέρεται με τα αποτελέσματα.

Όταν το μαγνητικό πεδίο παράγεται από ένα σύστημα ισχύος, οι παρούσες συχνότητες θα είναι συνήθως οι θεμελιώδεις (50 Hz ή 60 Hz), συν κάποιες πρώτες αρμονικές. Η ελάχιστη ζώνη διέλευσης που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση αυτών των πεδίων θα πρέπει να εκτείνεται από τη θεμελιώδη συχνότητα μέχρι τα 500 Hz. Μια στενότερη ζώνη διέλευσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο εάν μπορεί να αποδειχθεί ότι το αρμονικό περιεχόμενο είναι αρκετά μικρό, ώστε το αποτέλεσμα της μέτρησης να είναι αμελητέα διαφορετικό, π.χ. κοντά σε ηλεκτροφόρα καλώδια, ή αν υπάρχει ειδικός λόγος για την μέτρηση ενός στενότερου εύρους συχνοτήτων.

Κάθε φορητός εξοπλισμός που ακτινοβολεί ηλεκτρομαγνητικά πεδία (π.χ. κινητά τηλέφωνα) πρέπει να είναι απενεργοποιημένος, ή δεν πρέπει να χρησιμοποιείται κατά την εκτέλεση μετρήσεων μαγνητικού πεδίου.

Κατά τη μέτρηση των πεδίων που παράγονται από άλλες πηγές εκτός του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, η ζώνη διέλευσης θα πρέπει να επιλεγεί κατάλληλα. Τα πεδία που παράγονται από ορισμένα συστήματα έλξης έχουν χαμηλότερη θεμελιώδη συχνότητα, ενώ οι θερμάστρες επαγωγής, οι οθόνες, τα εμπορικά αεροπλάνα, τα πλοία, καθώς και οι αρμονικές που παράγονται από κινητήρες μεταβλητής ταχύτητας, μπορούν να παράγουν πεδία με υψηλότερες συχνότητες. Κατά την επέκταση της ζώνης διέλευσης σε χαμηλότερες συχνότητες, πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα για την αποφυγή σφαλμάτων που προκαλούνται από την κίνηση των ανιχνευτών πηνίου σε στατικά πεδία. Τέτοια λάθη μπορούν γενικά να αποφεύγονται κρατώντας σταθερό το πηνίο.

4.1.8 Διαδικασία Μέτρησης Εναλλασσόμενων Ηλεκτρικών Πεδίων

Οι μετρήσεις μη διαταραγμένων πεδίων θα πρέπει να γίνονται με όργανα που δείχνουν την ένταση και την κατεύθυνση του ηλεκτρικού πεδίου, π.χ. μετρητές ελευθέρου σώματος μονού άξονα, μετρητές ελευθέρου σώματος τριών αξόνων που δείχνουν τον προσανατολισμό του πεδίου, ηλεκτρο-οπτικούς μετρητές και μετρητές επίγειας αναφοράς. Το μέγεθος των αισθητήριων στοιχείων θα πρέπει να είναι κατάλληλο για τη χωρική μεταβολή του πεδίου και την εγγύτητα των γύρω αγωγίμων επιπέδων.

Η ζώνη διέλευσης του οργάνου θα πρέπει να είναι κατάλληλη για το φασματικό περιεχόμενο του πεδίου που μετριέται. Όταν το πεδίο είναι τέτοιο ώστε η ζώνη διέλευσης του οργάνου να μπορούσε να επηρεάσει σημαντικά το αποτέλεσμα (δηλαδή όταν περισσότερες από μία συχνότητες είναι παρούσες στο πεδίο), η ζώνη διέλευσης θα πρέπει να καταγράφεται και να αναφέρεται με τα αποτελέσματα.

Όταν τα ηλεκτρικά πεδία παράγονται από τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας, δηλαδή από γραμμές μεταφοράς, μετασχηματιστές, και ούτω καθεξής, η κυρίαρχη συχνότητα είναι η συχνότητα του δικτύου (50 Hz ή 60 Hz). Ένα όργανο με μια στενή ζώνη διέλευσης επικεντρωμένη γύρω από την συχνότητα του δικτύου, είναι κατάλληλο σε τέτοιες περιπτώσεις για τη μέτρηση της RMS τιμής του ηλεκτρικού πεδίου.

Κατά τη μέτρηση ηλεκτρικών πεδίων από άλλες πηγές, π.χ. από εμπορικά αεροσκάφη, πλοία, και μερικά ηλεκτρικά τρένα, η θεμελιώδης συχνότητα μπορεί να διαφέρει σημαντικά από τα 50 / 60 Hz, και τότε η ζώνη διέλευσης θα πρέπει να επιλεγεί κατάλληλα.

Κάθε φορητός εξοπλισμός που ακτινοβολεί ηλεκτρομαγνητικά πεδία (π.χ. κινητά τηλέφωνα) πρέπει να είναι απενεργοποιημένος, ή δεν πρέπει να χρησιμοποιείται κατά την εκτέλεση μετρήσεων ηλεκτρικού πεδίου.

Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων ηλεκτρικού πεδίου, θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στην αποφυγή των επιπτώσεων λόγω της εγγύτητας του παρατηρητή, καθώς και άλλων που μπορεί να είναι στην περιοχή του αισθητήρα. Θα πρέπει να αποφεύγονται σημαντικές διαταραχές που μπορεί να συμβούν στο πεδίο, ικανές να εισάγουν απaráδεκτα σφάλματα στις μετρήσεις.

4.2 IEEE 644-1994

4.2.1 Σκοπός

Ο σκοπός αυτού του προτύπου είναι η καθιέρωση ενιαίων διαδικασιών, τόσο για την μέτρηση των ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων συχνότητας 50/60 Hz από εναλλασσόμενα ρεύματα (AC) εναέριων γραμμών μεταφοράς ενέργειας, όσο και για την βαθμονόμηση των μετρητών που χρησιμοποιούνται σε αυτές τις μετρήσεις. Μια ενιαία διαδικασία αποτελεί προϋπόθεση για να είναι δυνατές οι συγκρίσεις μεταξύ των ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων, μεταξύ διαφορετικών εναέριων γραμμών μεταφοράς. Οι διαδικασίες αυτές εφαρμόζονται για την μέτρηση των ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων κοντά στο επίπεδο του εδάφους. Μπορούν επίσης να εφαρμοστούν εν μέρει σε μετρήσεις ηλεκτρικού πεδίου κοντά σε αγωγούς ή κατασκευές, αφού ληφθούν υπόψιν οι αντίστοιχες αβεβαιότητες.

4.2.2 Ορισμοί

Παρεμβολή φωνής (crosstalk) Ο θόρυβος ή το εξωτερικό σήμα που προκαλείται από σήματα AC ή παλμικού τύπου σε γειτονικά κυκλώματα (μέτρηση μαγνητικών πεδίων).

Ένταση ηλεκτρικού πεδίου Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου (E-πεδίο) σε ένα σημείο στο χώρο είναι ένα διάνυσμα που ορίζεται από τις συνιστώσες κατά μήκος των τριών ορθογώνιων αξόνων. Για ημιτονοειδή πεδία, κάθε συνιστώσα είναι ένας μιγαδικός αριθμός ή φασιθέτης. Τα μεγέθη των συνιστωσών εκφράζονται από την RMS τιμή τους σε βολτ ανά μέτρο (V / m), και από τις φάσεις τους, που δεν χρειάζεται να είναι ίδιες. Για παράδειγμα το ημιτονοειδές ηλεκτρικό πεδίο μπορεί να εκφραστεί σε καρτεσιανές συντεταγμένες ως:

$$\vec{E} = \hat{x}E_x + \hat{y}E_y + \hat{z}E_z \quad (14)$$

Συχνότητα Ο αριθμός των πλήρων κύκλων μιας ημιτονοειδούς μεταβολής ανά μονάδα χρόνου. Οι μετρούμενες συνιστώσες ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων έχουν θεμελιώδη συχνότητα ίση με εκείνη της τάσης και του ρεύματος της γραμμής, δηλαδή 60 ή 50 Hz.

Αρμονικό περιεχόμενο Είναι η στρέβλωση της ημιτονοειδούς κυματομορφής που χαρακτηρίζεται από την ένδειξη του μεγέθους και της τάξης των όρων

της σειράς Fourier που περιγράφει το κύμα. Για τις γραμμές ηλεκτρικού ρεύματος, το αρμονικό περιεχόμενο είναι μικρό και μικρής σημασίας για τον σκοπό των μετρήσεων πεδίου. Εξαιρέση αποτελούν τα σημεία κοντά σε μεγάλα βιομηχανικά φορτία (κορεσμένους μετασχηματιστές ισχύος, ανορθωτές κ.λπ.), όπου τα επίπεδα ορισμένων αρμονικών μπορούν να φθάσουν το 10% της θεμελιώδους συχνότητας. Σε εργαστηριακές εγκαταστάσεις μπορούν επίσης να υπάρχουν πηγές τάσεων ή ρευμάτων με σημαντικό αρμονικό περιεχόμενο.

Πυκνότητα μαγνητικής ροής Η ποσότητα του διανύσματος (B-πεδίο) με απόκλιση μηδέν σε όλα τα σημεία, η οποία καθορίζει τη συνιστώσα της δύναμης Coulomb-Lorentz, που είναι ανάλογη με την ταχύτητα του φορέα φορτίου.

Διαταραγμένο πεδίο Ένα πεδίο που μεταβάλλεται σε μέγεθος ή κατεύθυνση, ή και τα δύο, με την εισαγωγή ενός αντικειμένου. Το ηλεκτρικό πεδίο στην επιφάνεια του αντικειμένου, σε γενικές γραμμές, διαταράσσεται ισχυρά από την παρουσία του αντικειμένου. Σε συχνότητες 50/60 Hz το μαγνητικό πεδίο δεν διαταράσσεται σε μεγάλο βαθμό από την παρουσία αντικειμένων που δεν έχουν μαγνητικά υλικά. Εξαιρέσεις σε αυτό είναι οι περιοχές κοντά στην επιφάνεια ηλεκτρικών αγωγών μεγάλου πάχους, όπου τα δινορεύματα μεταβάλλουν τα χρονικά μεταβαλλόμενα μαγνητικά πεδία.

Φασιθέτης Ένας μιγαδικός αριθμός που εκφράζει το μέγεθος και την φάση μιας χρονικά μεταβαλλόμενης ποσότητας. Εκτός αν ορίζεται αλλιώς, χρησιμοποιείται μόνο στο πλαίσιο εναλλασσόμενων γραμμικών συστημάτων μόνιμης κατάστασης.

Πεδία πολυφασικού AC Τα πεδία των οποίων οι χωρικές συνιστώσες μπορεί να μην είναι σε φάση. Αυτά τα πεδία παράγονται από πολυφασικές γραμμές τροφοδοσίας. Το πεδίο σε κάθε σημείο μπορεί να περιγραφεί από το από το πλάτος και την κατεύθυνσή του.

Συνιστάμενο μαγνητικό πεδίο Το συνιστάμενο μαγνητικό πεδίο δίνεται από την έκφραση:

$$B_R = \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2} \quad (15)$$

όπου τα B_x , B_y και B_z είναι οι RMS τιμές των τριών ορθογώνιων συνιστωσών του πεδίου.

Πεδία μονοφασικού AC Τα πεδία των οποίων οι χωρικές συνιστώσες βρίσκονται σε φάση. Αυτά τα πεδία παράγονται από μονοφασικές γραμμές ρεύματος. Το πεδίο σε κάθε σημείο μπορεί να περιγραφεί με μια ενιαία κατεύθυνση στο χώρο και το χρονικά μεταβαλλόμενο μέγεθός του.

Ομοιόμορφο πεδίο Ένα πεδίο στο οποίο το μέγεθος και η κατεύθυνσή του είναι ομοιόμορφα για κάθε χρονική στιγμή σε όλα τα σημεία μέσα σε μια καθορισμένη περιοχή.

Κατακόρυφη συνιστώσα του ηλεκτρικού πεδίου Η ενεργός τιμή της συνιστώσας του ηλεκτρικού πεδίου κατά μήκος της κατακόρυφης γραμμής που διέρχεται από το σημείο της μέτρησης. Η ποσότητα αυτή συχνά χρησιμοποιείται για να χαρακτηρίσει τις επαγωγές από το ηλεκτρικό πεδίο σε αντικείμενα κοντά στο επίπεδο του εδάφους.

Ασθενώς διαταραγμένο πεδίο Σε ένα δεδομένο σημείο, ένα πεδίο του οποίου το μέγεθος δεν μεταβάλλεται κατά περισσότερο από 5%, ή η κατεύθυνση του οποίου δεν μεταβάλλεται περισσότερο από 5 μοίρες, όταν ένα αντικείμενο εισάγεται μέσα στην περιοχή.

4.2.3 Μετρητές Ηλεκτρικού Πεδίου

Γενικά Χαρακτηριστικά Δύο τύποι μετρητών που χρησιμοποιούνται για την μέτρηση του ηλεκτρικού πεδίου από τις γραμμές μεταφοράς εναλλασσόμενου ρεύματος είναι:

- ο μετρητής ελευθέρου σώματος (free-body meter): Μετρά το επαγόμενο ρεύμα ή φορτίο μόνιμης κατάστασης που ταλαντώνεται μεταξύ δύο μονωμένων μερών ενός αγωγίμου σώματος μέσα σε ένα ηλεκτρικό πεδίο.
- ο μετρητής επίγειας αναφοράς (ground-reference-type meter): μετρά το ρεύμα από ένα επίπεδο μονωμένο ηλεκτρόδιο προς το έδαφος που επάγεται από ένα ηλεκτρικό πεδίο.

Ο μετρητής ελευθέρου σώματος είναι κατάλληλος για μετρήσεις τύπου μελέτης, επειδή είναι φορητός, επιτρέπει μετρήσεις πάνω από το επίπεδο του εδάφους και δεν απαιτεί μια γνωστή γείωση αναφοράς. Ως εκ τούτου, αυτός ο

τύπος μετρητή συνιστάται για εξωτερικές μετρήσεις κοντά σε γραμμές μεταφοράς κι έτσι το πρότυπο αυτό παρουσιάζει τεχνικές μέτρησης μόνο για τέτοιου τύπου μετρητές.

Βασικά, ένας μετρητής εντάσεως ηλεκτρικού πεδίου αποτελείται από δύο μέρη, τον ανιχνευτή και τον αισθητήρα. Για εμπορικώς διαθέσιμους μετρητές ελευθέρου σώματος, ο ανιχνευτής συνήθως περιέχεται, ή αποτελεί αναπόσπαστο τμήμα του αισθητήρα. Ο ανιχνευτής κι ο αισθητήρας εισάγονται εντός ενός ηλεκτρικού πεδίου πάνω σε μια μονωτική λαβή. Ο αισθητήρας μετράει το επαγόμενο ρεύμα ή φορτίο που ταλαντώνεται μεταξύ των αγωγικών ηλεκτροδίων του ανιχνευτή. Ο παρατηρητής έχει απομακρυνθεί επαρκώς από τον αισθητήρα, για να αποφευχθεί η διατάραξη του ηλεκτρικού πεδίου στον αισθητήρα. Το μέγεθος του αισθητήρα πρέπει να είναι τέτοιο ώστε οι κατανομές φορτίου στις οριακές επιφάνειες που παράγουν το ηλεκτρικό πεδίο (τόσο στην υπό τάση, όσο και στην γειωμένη επιφάνεια) να διαταράσσονται ελάχιστα όταν ο αισθητήρας εισάγεται για μέτρηση. Το ηλεκτρικό πεδίο πρέπει να είναι περίπου ομοιόμορφο στην περιοχή όπου τοποθετείται ο αισθητήρας. Οι μετρητές έχουν βαθμονομηθεί για να δείχνουν την ενεργό τιμή του ηλεκτρικού πεδίου της θεμελιώδους συχνότητας (50/60 Hz) κατά μήκος του ηλεκτρικού άξονα (ο άξονας με τη μεγαλύτερη ένταση ηλεκτρικού πεδίου).

Υπάρχουν επίσης μετρητές ελευθέρου σώματος σχεδιασμένοι για απομακρυσμένη απεικόνιση του ηλεκτρικού πεδίου. Σε αυτήν την περίπτωση, ένα τμήμα του κυκλώματος επεξεργασίας σήματος περιέχεται στον αισθητήρα και το υπόλοιπο βρίσκεται σε ένα ξεχωριστό περίβλημα με μια αναλογική ή ψηφιακή οθόνη. Μία οπτική ίνα συνδέει τον αισθητήρα με το πεδιόμετρο. Αυτός ο τύπος ανιχνευτή επίσης εισάγεται εντός ενός ηλεκτρικού πεδίου πάνω σε μια μονωτική λαβή.

Με σκοπό να χαρακτηριστεί ο εξοπλισμός επαρκώς, ο κατασκευαστής θα πρέπει να παρέχει λεπτομερή περιγραφή των ηλεκτρονικών, καθώς κι άλλες σχετικές πληροφορίες. Για παράδειγμα, εάν ο μετρητής πεδίου έχει μια εξάρτηση από τη θερμοκρασία, θα πρέπει να παρέχεται ο συντελεστής της θερμοκρασίας. Αυτό επιτρέπει στο χειριστή να διορθώνει τις τιμές μετρήσεων του E-πεδίου που γίνονται σε εξωτερικούς χώρους, χρησιμοποιώντας ένα όργανο που έχει βαθμονομηθεί σε θερμοκρασία δωματίου.

Λειτουργικά χαρακτηριστικά Ο μετρητής, ακόμη κι αν έχει βαθμονομηθεί για να δείχνει την ενεργό τιμή του πεδίου συχνότητας 50/60 Hz, μπορεί, ανάλογα με το σχεδιασμό του κυκλώματος ανιχνευτή, να μετράει:

- μια ποσότητα που είναι ανάλογη με τη μέση τιμή του ανορθωμένου σήματος συχνότητας ισχύος από τον αισθητήρα, ή
- την πραγματική RMS τιμή του σήματος.

Η απόκριση του ανιχνευτή σε αρμονικές συνιστώσες στο πεδίο E, εξαρτάται επίσης από την σχεδίαση του κυκλώματος του ανιχνευτή. Για παράδειγμα στην πρώτη περίπτωση, λόγω του υπολογισμού του μέσου όρου του σήματος, μια αναλογική οθόνη δεν θα δείχνει απαραίτητα την ενεργό τιμή της κυματομορφής του σύνθετου E-πεδίου (θεμελιώδης συχνότητα συν αρμονικές). Για την δεύτερη περίπτωση, η πραγματική τιμή της ενεργού τιμής της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου με τις αρμονικές, θα μπορούσε να παρατηρηθεί εάν το κύκλωμα του ανιχνευτή περιείχε ένα στάδιο της ολοκλήρωσης.

Η απόκριση συχνότητας του μετρητή ελευθέρου σώματος μπορεί να προσδιοριστεί πειραματικά παρατηρώντας την απόκρισή του, μετά την εισαγωγή εναλλασσόμενου ρεύματος σε διάφορες συχνότητες.

Η ονομαστική ακρίβεια του ανιχνευτή σε συχνότητες ισχύος, έχει να κάνει με την σταθερότητα των συστατικών του σε μια δεδομένη θερμοκρασία και υγρασία και είναι γενικά υψηλή (<0,5% αβεβαιότητα), σε σύγκριση με την ακρίβεια ανάγνωσης, όταν η αναλογική ένδειξη διαβάζεται από απόσταση 1 ή 2 m.

Διακρίβωση Για την διακρίβωση των μετρητών χρησιμοποιούνται δομές παράλληλων πλακών, ενιαία γειωμένη πλάκα με δακτύλιο προστασίας, καθώς και κυκλώματα έγχυσης ρεύματος. Ο μετρητής ηλεκτρικού πεδίου πρέπει να βαθμονομείται περιοδικά, με τη συχνότητα των βαθμονομήσεων να εξαρτάται εν μέρει από τη σταθερότητα του μετρητή.

Μετά την βαθμονόμηση πρέπει να υπολογίζεται ένα διάγραμμα του ομοιόμορφου ηλεκτρικού πεδίου E_0 με την τάση που εφαρμόζεται στις παράλληλες πλάκες. Η αβεβαιότητα στο υπολογισμένο ηλεκτρικό πεδίο πρέπει να αναγράφεται σε ένα αντιπροσωπευτικό σημείο με μια κάθετη γραμμή σφάλματος. Το σφάλμα αυτό αντιπροσωπεύει τις συνδυασμένες αβεβαιότητες (δηλαδή την τετραγωνική ρίζα του αθροίσματος των τετραγώνων όλων των αβεβαιοτήτων) στη μέτρηση της τάσης, την παράλληλη απόσταση μεταξύ των πλακών, και την ανομοιομορφία του πεδίου (<1%), και θα πρέπει να είναι $\pm 3\%$.

Παράμετροι που επηρεάζουν την ακρίβεια των μετρήσεων Η αβεβαιότητα της μέτρησης κατά τη διάρκεια πρακτικών υπαίθριων μετρήσεων χρησιμοποιώντας εμπορικά διαθέσιμους μετρητές ελευθέρου σώματος, είναι συνήθως

κοντά στο 10%, αν και το ποσοστό αυτό μπορεί να μειωθεί κάτω υπό ελεγχόμενες συνθήκες. Οι πιο πιθανές πηγές σημαντικών σφαλμάτων είναι η δυσκολία στην τοποθέτηση του μετρητή, τα σφάλματα ανάγνωσης, οι διαρροές λόγω της λαβής σε ορισμένες περιπτώσεις, οι επιπτώσεις της θερμοκρασίας, και οι επιπτώσεις λόγω της εγγύτητας του παρατηρητή.

Οι ανομοιομορφίες στο πεδίο E μπορούν επίσης να μειώσουν την ακρίβεια των μετρήσεων, διότι η διαδικασία βαθμονόμησης ισχύει μόνο για τη μέτρηση ομογενών πεδίων. Χωριστές διαδικασίες βαθμονόμησης χρησιμοποιώντας ανομοιομορφα πεδία θα μπορούσαν να επινοηθούν για αυτές τις περιπτώσεις. Μπορεί όμως να αποδειχθεί ότι το σφάλμα μέτρησης παραμένει μικρό, ακόμα κι όταν ο ανιχνευτής δεν είναι ευθυγραμμισμένος με την κατεύθυνση του πεδίου. Κατά συνέπεια, το σφάλμα που προκαλείται από την ανομοιομορφία του πεδίου κάτω από τις γραμμές μεταφοράς είναι αμελητέο.

4.2.4 Διαδικασία Μέτρησης Ηλεκτρικού Πεδίου

Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου κάτω από γραμμές μεταφοράς ενέργειας θα πρέπει να μετράται σε ύψος 1 m πάνω από το επίπεδο του εδάφους. Μετρήσεις σε άλλα ύψη θα πρέπει να αναφέρονται ρητά. Ο αισθητήρας θα πρέπει να προσανατολίζεται ώστε να μετρά το κάθετο πεδίο E, επειδή η ποσότητα αυτή συχνά χρησιμοποιείται για να χαρακτηρίσει τις επιδράσεις λόγω επαγωγής σε αντικείμενα κοντά στο επίπεδο του εδάφους. Η απόσταση μεταξύ του μετρητή ηλεκτρικού πεδίου και του χειριστή θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 2,5 m. Η απόσταση αυτή θα μειώσει την επίδραση εγγύτητας ενός γειωμένου παρατηρητή ύψους 1,8 m μεταξύ 1.5% και περίπου 3%. Σε περιπτώσεις όπου μεγαλύτερες επιπτώσεις λόγω εγγύτητας θεωρούνται αποδεκτές, η απόσταση του παρατηρητή μπορεί να μειωθεί. Σε τέτοιες περιπτώσεις όμως, η απόσταση θα πρέπει να σημειώνεται ρητά. Υπάρχει πέντε τοις εκατό επίδραση εγγύτητας όταν η απόσταση του παρατηρητή και του μετρητή είναι μεταξύ 1.8 m και 2,1 m. Η πραγματική τιμή εξαρτάται από τη γεωμετρία του συνδυασμού γραμμής-παρατηρητή-μετρητή.

Πλευρική κατανομή Η πλευρική κατατομή του ηλεκτρικού πεδίου στα σημεία ενδιαφέροντος κατά μήκος ενός ανοίγματος, θα πρέπει να μετρείται σε επιλεγμένα διαστήματα πάνω σε μια ευθεία, 1 m πάνω από το επίπεδο του εδάφους. Οι μετρήσεις των πλευρικών κατατομών θα πρέπει να αρχίσουν από την κεντρική γραμμή στην περιοχή ενδιαφέροντος και να γίνουν μέχρι μια πλευρική απόσταση τουλάχιστον 30 m πέρα από τον εξωτερικό αγωγό. Τουλάχιστον

πέντε ισαπέχουσες μετρήσεις θα πρέπει να εκτελεστούν κάτω από τους αγωγούς.

Διαμήκης κατανομή Η διαμήκης κατανομή της έντασης του πεδίου θα πρέπει να μετράται όταν το πεδίο είναι μεγαλύτερο στο μέσο ή σε άλλα σημεία ενδιαφέροντος, όπως καθορίζονται από το πλευρικό προφίλ, παράλληλα με τη γραμμή και 1 m πάνω από το επίπεδο του εδάφους.

Αβεβαιότητα Οι αβεβαιότητες των μετρήσεων λόγω βαθμονόμησης, θερμοκρασίας, παρεμβολών και άλλων παραμέτρων, θα πρέπει να υπολογιστούν (τετραγωνική ρίζα του αθροίσματος των τετραγώνων τους) και να αναφέρονται ως σύνολο στο τέλος των μετρήσεων. Η συνολική αβεβαιότητα δεν θα πρέπει να υπερβαίνει το $\pm 10\%$.

4.2.5 Μετρητές Μαγνητικού Πεδίου

Γενικά Χαρακτηριστικά Οι μετρητές μαγνητικού πεδίου αποτελούνται από δύο μέρη, τον αισθητήρα, δηλαδή το στοιχείο που ανιχνεύει το πεδίο, και τον ανιχνευτή, ο οποίος επεξεργάζεται το σήμα από τον αισθητήρα και δείχνει την RMS τιμή του μαγνητικού πεδίου σε μια αναλογική ή μια ψηφιακή οθόνη. Οι αισθητήρες μαγνητικού πεδίου, που αποτελούνται από ένα ηλεκτρικά θωρακισμένο πηνίο (δηλαδή έναν ανιχνευτή μονού άξονα), χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με ένα βολτόμετρο ως εξοπλισμός για την μέτρηση μαγνητικών πεδίων από γραμμές τροφοδοσίας. Επίσης υπάρχουν διαθέσιμα όργανα με τρία ορθογώνια προσανατολισμένα πηνία (μετρητές τριών αξόνων) που μετρούν ταυτόχρονα τις ενεργές τιμές των τριών χωρικών συνιστωσών και τις συνδυάζουν για να δώσουν το συνιστάμενο μαγνητικό πεδίο. Οι μετρητές μαγνητικού πεδίου μετρούν τη συνιστώσα του παλλόμενου (γραμμικά πολωμένου) ή περιστρεφόμενου (ελλειπτικά ή κυκλικά πολωμένου) διανύσματος μαγνητικού πεδίου, που είναι κάθετο προς την περιοχή του ανιχνευτή(ών).

Υπάρχουν διαθέσιμα γκαουσόμετρα φαινομένου Hall που μπορούν να μετρήσουν πυκνότητες μαγνητικής ισχύος πεδίων συχνότητας από DC, μέχρι αρκετές εκατοντάδες hertz. Ωστόσο, οι αισθητήρες μαγνητικού πεδίου φαινομένου Hall, ανταποκρίνονται στην συνολική πυκνότητα ροής. Λόγω της χαμηλής ευαισθησίας και των προβλημάτων κορεσμού από το πεδίο της γης, χρησιμοποιούνται σπάνια κάτω από γραμμές μεταφοράς ενέργειας. Για τον λόγο ο εξοπλισμός αυτός δεν καλύπτεται από το πρότυπο αυτό.

Υπάρχουν λιγότεροι μηχανισμοί για διαταραχές B-πεδίου και για σφάλματα μέτρησης σε σύγκριση με την περίπτωση του E-πεδίου. Τα όργανα που καλύπτονται στο πρότυπο αποτελούνται από ένα θωρακισμένο πηνίο, που συνδέεται με ένα θωρακισμένο καλώδιο σε έναν θωρακισμένο ανιχνευτή. Ο αισθητήρας μπορεί να κρατιέται με μια μικρή διηλεκτρική λαβή, χωρίς να επηρεάζεται σοβαρά η μέτρηση. Οι επιπτώσεις λόγω της εγγύτητας διηλεκτρικών και μη μαγνητικών αγωγών είναι, σε γενικές γραμμές, αμελητέες.

Όπως σημειώθηκε προηγουμένως για τους μετρητές ηλεκτρικού πεδίου, με σκοπό να χαρακτηρίσει επαρκώς ο εξοπλισμός, ο κατασκευαστής θα πρέπει να παρέχει μια λεπτομερή περιγραφή των ηλεκτρονικών, καθώς και τις πληροφορίες των αισθητήρων.

Διακρίβωση Η βαθμονόμηση του μετρητή μαγνητικού πεδίου γίνεται κανονικά με την εισαγωγή του αισθητήρα μέσα σε ένα σχεδόν ομοιόμορφο μαγνητικό πεδίο γνωστής έντασης και κατεύθυνσης. Γνωστά μαγνητικά πεδία μπορούν να παραχθούν από συστήματα πηνίων με κυκλικές και ορθογώνιες γεωμετρίες. Για παράδειγμα, πηνία Helmholtz έχουν συχνά χρησιμοποιηθεί για να δημιουργήσουν τέτοια πεδία.

Ο μετρητής μαγνητικού πεδίου θα πρέπει να βαθμονομείται περιοδικά, με συχνότητα που εξαρτάται εν μέρει από την σταθερότητα του μετρητή. Η βαθμονόμηση θα πρέπει να γίνεται για κάθε άξονα στους αισθητήρες τριών αξόνων. Θα πρέπει επίσης να συνοδεύεται από τους ελέγχους για την παρεμβολή φωνής (crosstalk) μεταξύ των κυκλωμάτων για κάθε αισθητήρα.

Παράμετροι που επηρεάζουν την ακρίβεια των μετρήσεων Πολλές από τις δυσκολίες που υφίστανται κατά την πραγματοποίηση μετρήσεων του πεδίου E, δεν είναι σοβαρά ζητήματα για τις μετρήσεις του πεδίου B. Η τοποθέτηση του αισθητήρα, τα σφάλματα ανάγνωσης, οι επιδράσεις λόγω εγγύτητας του παρατηρητή ή κοντινών (μη αγώγιμων) αντικειμένων, η ηλεκτρική διαρροή της λαβής του αισθητήρα, και η ανομοιομορφία του πεδίου, έχουν πολύ μικρότερη ή αμελητέα επίπτωση. Η ηλεκτρική θωράκιση του ανιχνευτή, ωστόσο, είναι απαραίτητη για την αποφυγή των επαγωγικών ρευμάτων από το ηλεκτρικό πεδίο του περιβάλλοντος.

Η επίδραση της θερμοκρασίας επίσης στον αισθητήρα, καθώς και η κακή μηχανική ισορροπία του μετρητή (για μετρητές με αναλογικές οθόνες), παραμένουν πιθανές πηγές αβεβαιότητας.

4.2.6 Διαδικασία Μέτρησης Μαγνητικού Πεδίου

Το μαγνητικό πεδίο κάτω από τις γραμμές μεταφοράς ενέργειας θα πρέπει να μετράται σε ύψος 1 m πάνω από το επίπεδο του εδάφους. Μετρήσεις σε άλλα ύψη πρέπει να αναφέρονται ρητά. Τα πεδιόμετρα με αισθητήρες μονού άξονα θα πρέπει να είναι προσανατολισμένα για τη μέτρηση της μέγιστης τιμής. Εναλλακτικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν αισθητήρες τριών αξόνων για τη μέτρηση του συνισταμένου μαγνητικού πεδίου. Η οριζόντια και η κατακόρυφη συνιστώσα του πεδίου μπορούν να μετρηθούν όταν απαιτούνται, για τις συγκρίσεις με τους υπολογισμούς ή για τον υπολογισμό των επιπτώσεων λόγω επαγωγής σε φράχτες, κ.λπ.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι το συνιστάμενο μαγνητικό πεδίο για μετρήσεις σε τρεις άξονες, B_R , είναι ίσο με την συνολική πυκνότητα μαγνητικής ροής, και είναι ανεξάρτητο από τις φάσεις των ορθογώνιων συνιστωσών

Ο χειριστής μπορεί να μείνει κοντά στον αισθητήρα. Τα αντικείμενα που περιέχουν μαγνητικά υλικά ή μη μαγνητικούς αγωγούς, θα πρέπει να είναι τουλάχιστον τρεις φορές την μεγαλύτερη διάσταση του αντικειμένου μακριά από το σημείο της μέτρησης, προκειμένου να μετρηθεί ανενόχλητα η τιμή του πεδίου. Η απόσταση μεταξύ του αισθητήρα και των μονίμων μαγνητικών αντικειμένων δεν θα πρέπει να είναι μικρότερη από 1 m, ώστε να μετρηθεί με ακρίβεια το πεδίο.

Πλευρική και διαμήκης κατανομή Ισχύουν ακριβώς οι ίδιες διαδικασίες όπως και στις μετρήσεις του ηλεκτρικού πεδίου E.

Αβεβαιότητα Οι αβεβαιότητες μέτρησης λόγω της βαθμονόμησης, οι επιπτώσεις της θερμοκρασίας κ.λπ., θα πρέπει να συνδυάζονται (τετραγωνική ρίζα του αθροίσματος των τετραγώνων τους) και να αναφέρονται ως συνολική εκτιμώμενη αβεβαιότητα της μέτρησης. Η συνολική αβεβαιότητα δεν πρέπει να υπερβαίνει το $\pm 10\%$.

4.2.7 Αναφορά Μετρήσεων Πεδίου

Γενικές πληροφορίες, όπως οι περιβαλλοντικές συνθήκες (π.χ. θερμοκρασία, υγρασία), οι παράμετροι της γραμμής μεταφοράς (π.χ. τάσεις και ρεύματα, η γεωμετρία του αγωγού, οι θέσεις των μετρήσεων) και τα όργανα που χρησιμοποιούνται θα πρέπει να καταγράφονται. Ανάλογα με τους στόχους της μέτρησης (π.χ. σύγκριση πλευρικών κατανομών με θεωρητική πρόβλεψη έναντι

μέτρησης μιας τυπικής πλευρικής κατανομής), μπορεί να απαιτούνται περισσότερες ή λιγότερες πληροφορίες.

5 Το CERN και το Ηλεκτρικό του Δίκτυο

5.1 Εισαγωγή

Το CERN, διατηρώντας τη σύντμηση (ακρωνύμιο) της αρχικής ονομασίας του Conseil Européenne pour la Recherche Nucléaire, είναι ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Πυρηνικών Ερευνών, το μεγαλύτερο στον κόσμο ερευνητικό κέντρο του είδους του. [24] Η ίδρυσή του το 1954 αποτέλεσε μια από τις πρώτες κοινές ευρωπαϊκές προσπάθειες και συνιστά ένα μοναδικό παράδειγμα διεθνούς συνεργασίας. Τα 12 ιδρυτικά κράτη-μέλη (στα οποία ανήκει και η Ελλάδα), έχουν αυξηθεί σήμερα σε 21. Το CERN βρίσκεται πάνω στα Γαλλοελβετικά σύνορα, δυτικά της Γενεύης, στους πρόποδες της οροσειράς του Ιούρα (Jura). Περίπου 6500 επιστήμονες, δηλαδή σχεδόν το 50% των επιστημόνων σ' όλο τον κόσμο που ασχολούνται με σωματιδιακή φυσική, χρησιμοποιούν τις εγκαταστάσεις του CERN. Οι επιστήμονες αυτοί εκπροσωπούν τουλάχιστον 500 πανεπιστήμια και πάνω από 80 εθνικότητες.

Οι εγκαταστάσεις του CERN είναι διασκορπισμένες στις δύο παρακάτω περιοχές.

- Στην περιοχή του Meyrin, που βρίσκεται τόσο σε ελβετικό όσο και σε γαλλικό έδαφος και είναι η πιο πυκνοκτισμένη από τις δύο.
- Στην περιοχή του Prévessin, που βρίσκεται εξ ολοκλήρου επί γαλλικού εδάφους.

Το CERN βρίσκεται στην πρωτοπορία της ανθρώπινης αναζήτησης για τη γνώση, μιας αναζήτησης που έχει τις ρίζες της στα βάθη των απαρχών του πολιτισμού. Ο κύριος εξοπλισμός του οργανισμού, οι επιταχυντές των σωματιδίων και οι ανιχνευτές, συγκαταλέγονται στα μεγαλύτερα και πολυπλοκότερα επιστημονικά όργανα στον κόσμο. Οι επιταχυντές είναι διατάξεις που επιταχύνουν σωματίδια (ηλεκτρόνια, πρωτόνια κ.α.) σε πολύ μεγάλες ταχύτητες (και ενέργειες). Στον LHC (Large Hadron Collider) του CERN, επιταχύνονται πρωτόνια και βαρέα ιόντα μολύβδου. Μέσω της σύγκρουσης αυτών των σωματιδίων με ακίνητους στόχους ή μεταξύ τους και της καταγραφής των αποτελεσμάτων των συγκρούσεων με τους ανιχνευτές, οι φυσικοί μπορούν να μελετήσουν τις δυνάμεις που ασκούνται μεταξύ των σωματιδίων και να ανακαλύψουν νέα θεωρία. Στο CERN, οι δέσμες των σωματιδίων χρησιμοποιούνται για να διεισδύσουν μέσα στην καρδιά της ύλης και να δημιουργήσουν καταστάσεις ανάλογες

με αυτές που επικρατούσαν λίγο μετά την Μεγάλη Έκρηξη (Big Bang). Οι ερευνητές του CERN εξετάζουν εκατομμύρια ασυνήθιστα γεγονότα προσπαθώντας να καταλάβουν πώς, μετά από περίπου 14 δισεκατομμύρια χρόνια, το σύμπαν κατέληξε σε ό,τι βλέπουμε σήμερα γύρω μας.

Στο CERN παράγεται τόσο γνώση υψηλού επιπέδου για περίπλοκα δίκτυα επικοινωνιών, όσο και η υψηλότερη δυνατή τεχνολογία υπολογιστικών συστημάτων, η οποία οδήγησε στην εφεύρεση του World Wide Web (WWW), ως μία τεχνολογία η οποία αρχικά ικανοποιούσε τις αυξανόμενες επικοινωνιακές ανάγκες υπολογιστικών συστημάτων της ερευνητικής κοινότητας.

Ακόμη, τα πεδία που ωφελήθηκαν από τις τεχνολογικές προόδους της έρευνας της φυσικής των στοιχειωδών σωματιδίων συμπεριλαμβάνουν:

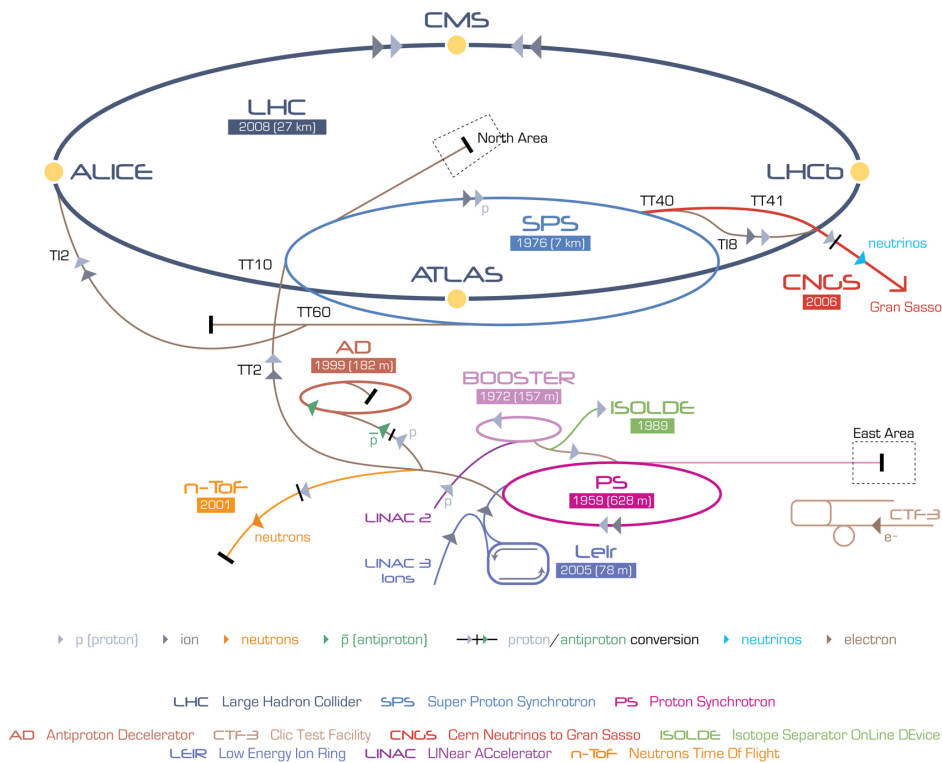
- τις μεθόδους ιατρικών απεικονίσεων,
- την ποζιτρονική τομογραφία (PET) και
- την κατασκευή ηλεκτρονικών υπολογιστικών κυκλωμάτων.

Από επιστημονικής απόψεως, οι πιο σημαντικές τεχνολογικές και επιστημονικές γνώσεις που προέρχονται από τις δραστηριότητες του CERN εντοπίζονται:

- στις ιδιότητες των υλικών σε αέρια, υγρή ή στερεά μορφή,
- στις αλληλεπιδράσεις τους με ακτινοβολίες υψηλής ενέργειας,
- στα υπεραγώγιμα υλικά που δημιουργούν υψηλά μαγνητικά πεδία,
- στα υπερρευστά που χρειάζονται για την λειτουργία των επιταχυντών,
- στις πηγές πολύ ισχυρής ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και στη φυσική μεταλλικών επιφανειών,
- στην τεχνολογία κενού και
- στις τεχνολογίες δικτύων και υπολογιστικών συστημάτων και εφαρμογών.

5.2 Σύμπλεγμα Επιταχυντών

Το σύμπλεγμα επιταχυντών στο CERN είναι μια διαδοχή από μηχανές που επιταχύνουν σωματίδια σε ολοένα και υψηλότερες ενέργειες. Κάθε μηχανή ενισχύει την ενέργεια μιας δέσμης σωματιδίων, πριν από την εισαγωγή της δέσμης αυτής στην επόμενη μηχανή στην ακολουθία. Στον Μεγάλο Επιταχυντή Αδρονίων (LHC), το τελευταίο στοιχείο σε αυτή την αλυσίδα, οι δέσμες σωματιδίων επιταχύνονται μέχρι την ενέργεια των 4 TeV ανά δέσμη, πριν από το Long Shutdown 1 (LS1). Μετά από αυτό, η ενέργεια θα ανέλθει στα 6,5 TeV ανά δέσμη. Οι περισσότεροι από τους άλλους επιταχυντές της αλυσίδας έχουν τις δικές τους αίθουσες πειραμάτων, όπου οι δέσμες χρησιμοποιούνται για πειράματα σε χαμηλότερες ενέργειες (π.χ. ISOLDE, nTOF κ.λπ.). Ο LHC είναι χωρισμένος σε 8 σημεία (points), με το σημείο 1 να βρίσκεται νότια, στο πείραμα ATLAS και η αρίθμηση να συνεχίζεται ωρολογιακά. Το σύμπλεγμα επιταχυντών φαίνεται στο Σχήμα 10.



Σχήμα 10: Σύμπλεγμα επιταχυντών στο CERN

5.3 Το Ηλεκτρικό Δίκτυο στο CERN

Το ηλεκτρικό δίκτυο του CERN τροφοδοτείται από τις δύο παρακάτω πηγές. [25]

- Την EOS (Energie Ouest Suisse), την περιφερειακή εταιρεία του ελβετικού δικτύου, μέσω μιας εναέριας γραμμής 130kV από τον σταθμό παραγωγής στο Verbois, κοντά στη Γενεύη.
- Την RTE (Réseau Transport Electrique), την γαλλική εθνική εταιρεία ενέργειας, μέσω μιας εναέριας γραμμής 400kV από τον σταθμό παραγωγής Génissiat, μέσω του σταθμού Bois-Tollot κοντά στο χώρο του CERN στην περιοχή Prévessin.

Υπάρχουν οι παρακάτω δύο υποσταθμοί εισόδου που αντιστοιχούν σε αυτές τις δύο πηγές.

- Για την RTE, ο κύριος υποσταθμός BE9 στα 400kV/66kV/18kV στην περιοχή Prévessin, με διανομή στα 66kV και 18kV.
- Για την EOS, ο υποσταθμός ME10 στα 130kV στην περιοχή Meyrin, με τη διανομή του στα 18kV.

Το CERN έχει ένα δίκτυο καλωδίων στα 66kV που εξασφαλίζει τη μετάδοση ισχύος στον υποσταθμό BE9 και στα σημεία υψηλής ζητούμενης ισχύος του LHC: 1, 2, 4, 6, 8. Σε αυτά τα σημεία γίνεται περαιτέρω μετασχηματισμός 66kV / 18kV. Η εσωτερική διανομή ηλεκτρικής ενέργειας στο CERN γίνεται σε επίπεδο 18kV.

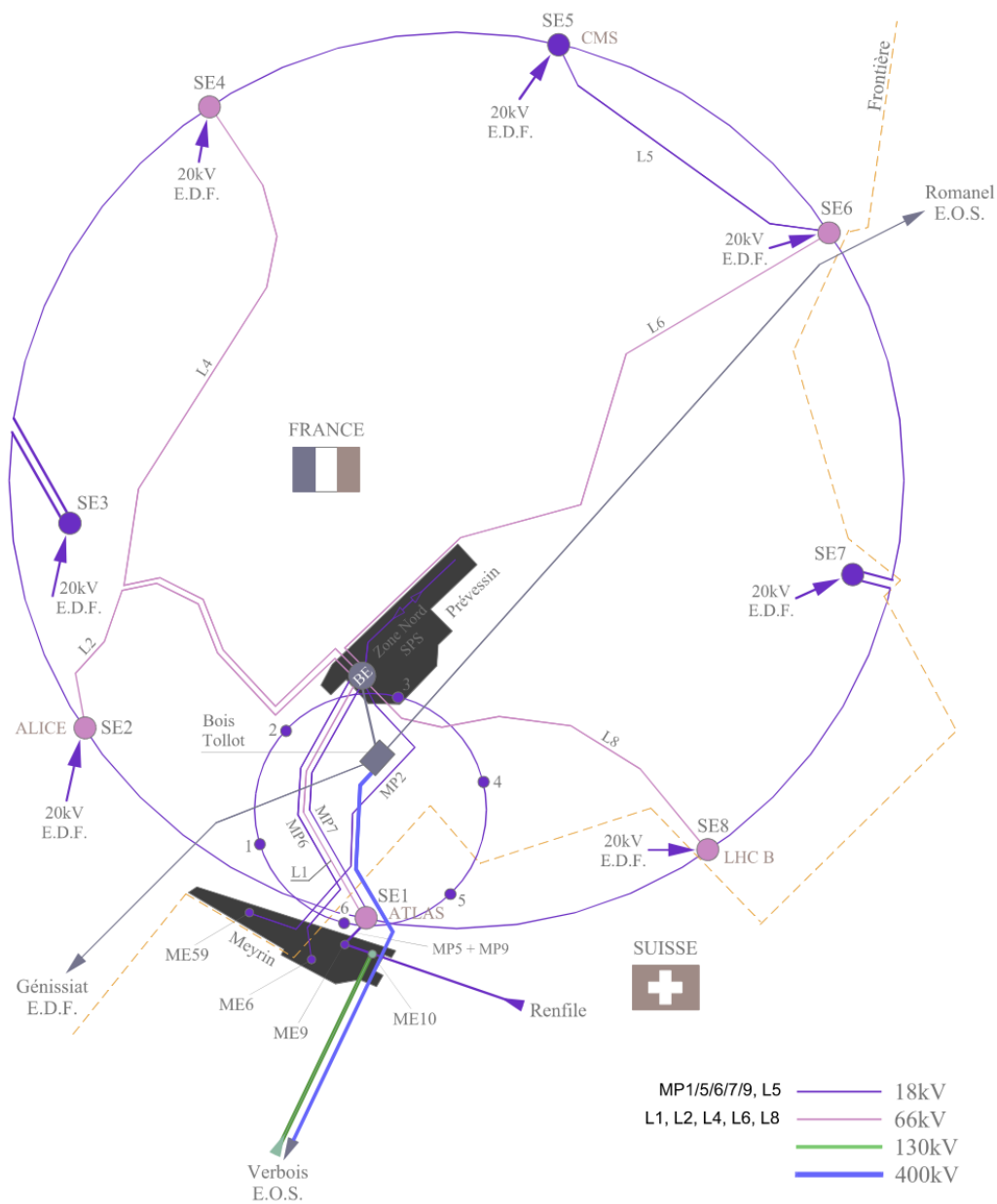
Οι επιταχυντές απαιτούν μεγάλες ποσότητες παλμικής ισχύος, που παρέχεται από τους χιλιάδες εγκατεστημένους σταθμούς ανορθωτών. Εκτός από τη μεγάλη διακύμανση της ενεργού ισχύος, οι ανορθωτές καταναλώνουν επίσης υψηλές ποσότητες αέργου ισχύος και παράγουν μεγάλα ρεύματα υψηλών αρμονικών, τα οποία εγχέονται πίσω στο δίκτυο κατά τη διάρκεια της λειτουργίας τους. Για να περιοριστεί η διάδοση της ρύπανσης αυτής, το δίκτυο διαιρείται σε πολλούς τομείς. Τα τμήματα που περιέχουν μεγάλες ποσότητες ανορθωτών, και ιδίως αρκετούς με παλμική λειτουργία, είναι εξοπλισμένα με εξοπλισμό για αντιστάθμιση, για την μείωση της ρύπανσης σε ένα αποδεκτό επίπεδο. Οι διακυμάνσεις της κατανάλωσης αέργου ισχύος αντισταθμίζονται με κορεσμένα πηνία ή πηνία ελεγχόμενα με θυρίστορ. Τα ρεύματα αρμονικών σχεδόν εξαλείφονται με μεγάλα φίλτρα αρμονικών, τα οποία παράγουν ταυτόχρονα την απαραίτητη άεργο ισχύ με τράπεζες πυκνωτών. Οι μεγάλες διακυμάνσεις

της ενεργού ισχύος αντιμετωπίζονται με την απευθείας σύνδεση με το γαλλικό δίκτυο 400kV, όπου η υψηλή ισχύς βραχυκυκλώσεως μειώνει την επίδραση των διακυμάνσεων αυτών σε αμελητέο επίπεδο.

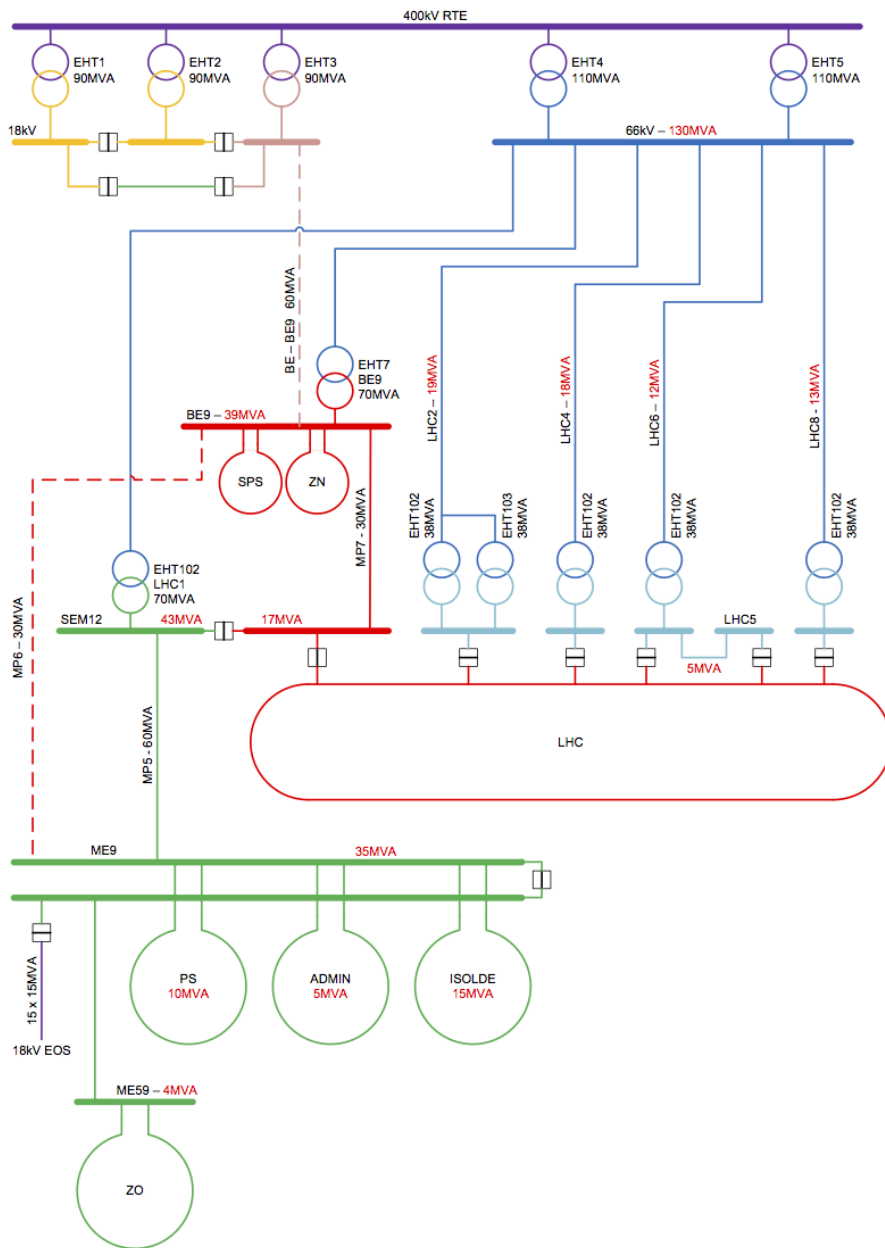
Το δίκτυο διανομής 18kV καλύπτει όλες τις περιοχές του CERN. Είναι χωρισμένο στα παρακάτω τμήματα που σχετίζονται με τους επιταχυντές.

- Ένα παλμικό δίκτυο που προμηθεύει τους μετατροπείς ισχύος για τον επιταχυντή SPS, καθώς και τις πειραματικές περιοχές της βόρειας και της δυτικής πλευράς. Στο μέλλον θα παρέχει επίσης ισχύ στους μετατροπείς του επιταχυντή PS. Λόγω του ειδικού παλμικού φορτίου, δεν μπορεί να διασυνδεθεί με τα άλλα τμήματα του δικτύου κατά τη διάρκεια εκτέλεσης του πειράματος.
- Ένα σταθερό δίκτυο που τροφοδοτεί τα μη παλμικά φορτία του επιταχυντή SPS, τη βόρεια πειραματική περιοχή και την περιοχή Prévessin.
- Το δίκτυο του επιταχυντή LHC, μέσω του μετασχηματισμού 66kV / 18kV, που τροφοδοτεί τα φορτία που συνδέονται με τη λειτουργία του επιταχυντή LHC.
- Το δίκτυο γενικών υπηρεσιών του LHC, που τροφοδοτεί τα φορτία των υποδομών του LHC.
- Το δίκτυο 18kV στο Meyrin, το οποίο τροφοδοτεί όλα τα φορτία στην περιοχή Meyrin, συμπεριλαμβανομένου του συμπλέγματος επιταχυντών του PS.

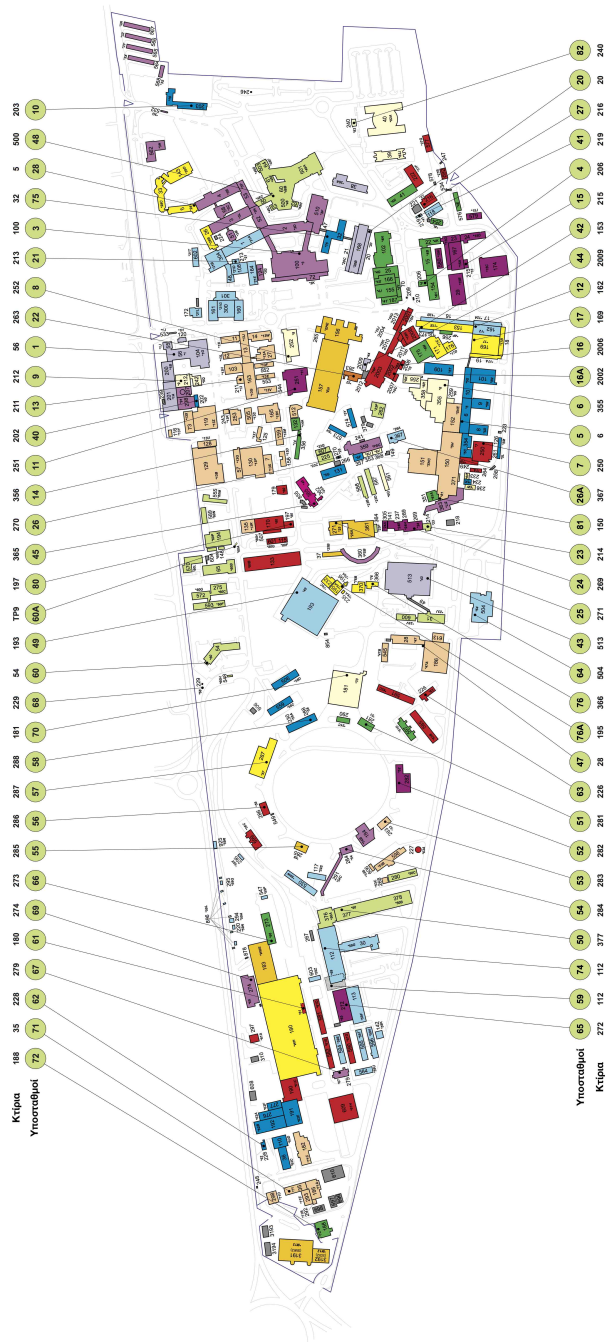
Οι τελικοί χρήστες τροφοδοτούνται σε επίπεδα τάσης 18kV, 3,3kV και 400V. Το Σχήμα 11 περιλαμβάνει τη γεωγραφική επισκόπηση του δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας του CERN, το Σχήμα 12 δείχνει ένα απλοποιημένο μονογραμμικό διάγραμμα του ηλεκτρικού δικτύου του CERN και στο Σχήμα 13 φαίνονται οι τοποθεσίες όλων των υποσταθμών στην περιοχή Meyrin.



Σχήμα 11: Διάταξη του δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας του CERN



Σχήμα 12: Απλοποιημένο μονογραμμικό διάγραμμα του ηλεκτρικού δικτύου του CERN



Σχήμα 13: Θέσεις υποσταθμών στην περιοχή Meyrin του CERN

5.4 Πηγές Μη Ιονίζουσας Ακτινοβολίας στο CERN

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται για κάθε κατηγορία πηγής μη ιονίζουσας ακτινοβολίας στο CERN, οι βασικές αρχές, οι χρήσεις τους και οι κίνδυνοι που προκύπτουν.

5.4.1 Γραμμές Μεταφοράς

Οι γραμμές μεταφοράς χρησιμοποιούνται για την διανομή και την μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας κατά μήκος μεγάλων αποστάσεων. Μια εναέρια γραμμή τροφοδοσίας αποτελείται από έναν ή περισσότερους αγωγούς (συχνότερα τρεις ή τέσσερις) που στηρίζονται πάνω σε πύργους ή στύλους. Δεδομένου ότι το μεγαλύτερο μέρος της μόνωσης παρέχεται από τον αέρα, οι εναέριες γραμμές μεταφοράς ενέργειας είναι γενικά η μέθοδος μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας με το χαμηλότερο κόστος για μεγάλες ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας.

Οι πύργοι για την υποστήριξη των γραμμών κατασκευάζονται από ξύλο (όπως είναι ή με προστατευτική επίστρωση), χάλυβα (είτε δικτυωτές κατασκευές είτε σωληνοειδείς), σκυρόδεμα, αλουμίνιο, και περιστασιακά από ενισχυμένα πλαστικά. Τα αγωγά καλώδια είναι γενικά κατασκευασμένα από αλουμίνιο (είτε απλό είτε ενισχυμένο με χάλυβα, ή σύνθετα υλικά όπως άνθρακα και ίνες υάλου), αν και χρησιμοποιούνται κάποια χάλκινα καλώδια στις γραμμές διανομής μέσης τάσης και στις συνδέσεις χαμηλής τάσης με τους πελάτες. Ένας σημαντικός στόχος της χρήσης των εναέριων γραμμών μεταφοράς είναι να διατηρηθεί επαρκής απόσταση από τους άλλους αγωγούς υπό τάση, όπως κι από το έδαφος, έτσι ώστε να αποτρέψουν μια επικίνδυνη επαφή με τη γραμμή και να παρέχουν αξιόπιστη υποστήριξη για τους αγωγούς, ανθεκτική σε καταιγίδες, φορτίο πάγου, σεισμούς κι άλλες πιθανές αιτίες που μπορεί να προκαλέσουν βλάβη. [26]

Στο CERN οι περισσότερες γραμμές μεταφοράς είναι σήμερα υπόγειες. Παρ' όλα αυτά υπάρχουν και κάποιες εναέριες γραμμές μεταφοράς, κυρίως κοντά στους υποσταθμούς που συνδέονται με το γαλλικό και το ελβετικό ηλεκτρικό δίκτυο.

Η συχνότητα του δικτύου στην Ευρώπη, συμπεριλαμβανομένου του CERN, είναι 50 Hz. Το θέμα των βιολογικών επιδράσεων λόγω της εξαιρετικά χαμηλής συχνότητας (ELF) είναι πολύ αμφιλεγόμενο. Η έρευνα έχει επικεντρωθεί σε πιθανές καρκινογόνες, αναπαραγωγικές και νευρολογικές επιπτώσεις. Άλλες προτεινόμενες επιδράσεις στην υγεία περιλαμβάνουν καρδιαγγειακές, εγκεφαλικές και συμπεριφορικές, ορμονικές και ανοσοποιητικού συστήματος μεταβο-

λές. Το θέμα της βιολογικής επίδρασης των γραμμών μεταφοράς αναπτύσσεται εκτενέστερα στο υποκεφάλαιο 2.5.

5.4.2 Ηλεκτρικοί Υποσταθμοί

Ο υποσταθμός είναι ένα μέρος του συστήματος παραγωγής, μεταφοράς και διανομής ηλεκτρισμού. Οι μετασχηματιστές που σχετίζονται με τους υποσταθμούς μετατρέπουν την τάση από υψηλή σε χαμηλή, ή το αντίστροφο, ή εκτελούν άλλες σημαντικές λειτουργίες. Μεταξύ του σταθμού παραγωγής ενέργειας και των καταναλωτών, η ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να ρέει μέσα από αρκετούς υποσταθμούς σε διαφορετικά επίπεδα τάσης.

Το CERN τροφοδοτείται από το γαλλικό ηλεκτρικό δίκτυο μέσω μιας εναέριας γραμμής που προέρχεται από έναν από τους υποσταθμούς διασύνδεσης στο Génissiat. Αυτή η εναέρια γραμμή ανήκει στην Réseau de Transport d'Électricité (RTE), την γαλλική εταιρεία κοινής ωφελείας που ελέγχει το γαλλικό δίκτυο μεταφοράς. Το CERN διαθέτει μια σύμβαση προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας με την Électricité de France (EDF). Μια πρόσθετη σύνδεση με το ελβετικό ηλεκτρικό δίκτυο χρησιμοποιείται σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης ή κατά τη διάρκεια εργασιών συντήρησης. Αυτή η γραμμή στα 130 kV ελέγχεται από την Industriels de Genève (SIG) και περιορίζεται στα 60 MVA. Το CERN χρησιμοποιεί 1,26 τεραβατώρες ηλεκτρικής ενέργειας ετησίως. [27] Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο υπάρχουν 144 υποσταθμοί διασκορπισμένοι στις περιοχές Meyrin και Prévessin του CERN για να ικανοποιήσουν την υψηλή αυτή ζήτηση.

Τα μαγνητικά πεδία των υποσταθμών είναι κάπως πιο πολύπλοκα και πιο δύσκολο να μετρηθούν από ότι τα μαγνητικά πεδία κοντά σε ηλεκτροφόρα καλώδια ή σε σπίτια. Οι υποσταθμοί συγκεντρώνουν πολύπλοκες πηγές μαγνητικών πεδίων, οι οποίες αποτελούνται από πολλά σημεία διασύνδεσης για τις γραμμές μεταφοράς και διανομής. Τα ρεύματα γραμμών που διέρχονται από τους ζυγούς των υποσταθμών και τον υπάρχονα εξοπλισμό, παράγουν μαγνητικά πεδία εντός των υποσταθμών, που έχουν λίγο πολύ τα ίδια χαρακτηριστικά με τα μαγνητικά πεδία κάτω από τις ίδιες τις γραμμές. [28]

Η στενή εγγύτητα του εξοπλισμού ενός υποσταθμού με τη γείωση περιπλέκει τα χαρακτηριστικά του πεδίου και σε κάποιο βαθμό τη χωρική μεταβλητότητά του, αλλά δεν αλλάζει εγγενώς τη φύση του μαγνητικού πεδίου. Είναι προφανές ότι οι πιο εμφανείς πηγές μαγνητικών πεδίων στους υποσταθμούς συνοψίζονται στις παρακάτω. [29, 30]

- Ζυγοί και γραμμές υψηλής ή χαμηλής τάσης.

- Ρεύματα σε συνδέσεις με τη γείωση από δομικό χάλυβα, φράχτες, μετασχηματιστές κι άλλες μεταλλικές κατασκευές στον υποσταθμό.
- Πηνία με πυρήνα σιδήρου ή αέρα.
- Τράπεζες πυκνωτών.

5.4.3 Στατικοί Αντισταθμιστές Αέργου Ισχύος (Static VAR Compensators)

Ένας στατικός αντισταθμιστής αέργου ισχύος (Static VAR Compensator ή SVC) είναι μια ηλεκτρική συσκευή για την παροχή ταχείας δράσεως αέργου ισχύος σε δίκτυα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας υψηλής τάσης. [31, 32] Τα SVCs αποτελούν μέρος της οικογένειας συσκευών ευέλικτων συστημάτων μετάδοσης AC, ρυθμίζοντας την τάση και σταθεροποιώντας το σύστημα. [33, 34] Σε αντίθεση με έναν σύγχρονο πυκνωτή, ο οποίος είναι ουσιαστικά μια περιστρεφόμενη ηλεκτρική μηχανή, ένας στατικός αντισταθμιστής αέργου ισχύος δεν έχει σημαντικά κινούμενα μέρη (εκτός από τους εσωτερικούς διακόπτες). Πριν από την εφεύρεση του SVC, η διόρθωση του συντελεστή ισχύος γινόταν με τη χρήση μεγάλων περιστρεφόμενων μηχανών, όπως οι σύγχρονοι πυκνωτές ή με τράπεζες πυκνωτών μεταγωγής. [35]

Το SVC είναι μια αυτοματοποιημένη συσκευή ταιριάσματος εμπέδησης, που έχει σχεδιαστεί για να φέρει το σύστημα πλησιέστερα στον μοναδιαίο συντελεστή ισχύος. Τα SVCs χρησιμοποιούνται κυρίως:

- συνδεδεμένα στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, για τη ρύθμιση της τάσης μετάδοσης ("SVCs μεταφοράς"), ή
- συνδεδεμένα κοντά σε μεγάλα βιομηχανικά φορτία, για τη βελτίωση του συντελεστή ισχύος ("Βιομηχανικά SVCs")

Για το ηλεκτρικό δίκτυο του CERN, οι επιταχυντές σωματιδίων αντιπροσωπεύουν σε μεγάλο βαθμό παλλόμενα ηλεκτρικά φορτία με μεταβλητό συντελεστή ισχύος, κυρίως λόγω της χρήσης των δωδεκαπαλμικών κι εξαπαλμικών μετατροπών ισχύος με θυρίστορ. Λόγω του μεγάλου πλάτους και του σύντομου χρόνου ανόδου της παλλόμενης ισχύος, η γρήγορη αέργος ισχύς που παρέχεται από τα SVCs, είναι απαραίτητη για την σταθεροποίηση της τάσης και την εξισορρόπηση της αέργου ισχύος. Επιπλέον, απαιτούνται ισχυρά φίλτρα για την εξάλειψη των αρμονικών που παράγονται από τους μετατροπείς ισχύος.

Για το σκοπό αυτό, στο CERN σήμερα λειτουργούν εννέα στατικοί αντισταθμιστές αέργου ισχύος στα 18kV με συνολική εγκατεστημένη ισχύ μεγαλύτερη από 500Mvar. [36]

Τυπικά, ένας SVC περιλαμβάνει μία ή περισσότερες τράπεζες πυκνωτών σταθερών ή μεταγωγής και αντιδραστήρες (πηνία), εκ των οποίων τουλάχιστον μία τράπεζα ελέγχεται από θυρίστορ. Τα στοιχεία τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να φτιαχτεί ένας SVC συνήθως περιλαμβάνουν:

- πηνία ελεγχόμενα από θυρίστορ (thyristor controlled reactor - TCR), όπου το πηνίο μπορεί να έχει πυρήνα σιδήρου ή αέρα,
- πυκνωτές ελεγχόμενους από θυρίστορ (thyristor switched capacitor - TSC),
- φίλτρα αρμονικών και
- μηχανικά ελεγχόμενους πυκνωτές ή αντιδραστήρες (ελεγχόμενους με έναν διακόπτη).

Οι περισσότεροι SVCs, συμπεριλαμβανομένων αυτών στο CERN, χρησιμοποιούν πηνία με πυρήνα αέρα. Αυτά είναι συνήθως μεγάλα και αποτελούνται από πολλές στρώσεις, σε σύγκριση με ένα πηνίο με πυρήνα σιδήρου ίδιας αυτεπαγωγής. Δεδομένου ότι δεν υπάρχει σίδηρος, τα διαφυγόντα μαγνητικά πεδία είναι αρκετά υψηλά και παρουσιάζουν κίνδυνο για την υγεία σε άτομα με βηματοδότες κι άλλες ιατρικές συσκευές. Αυτά τα προβλήματα μπορούν να μειωθούν ή να εξαλειφθούν περιφράζοντας αρκετό χώρο γύρω από το πηνίο κι απαγορεύοντας την είσοδο στο μη εξειδικευμένο προσωπικό.

5.4.4 Συστήματα UPS

Ένα σύστημα UPS (uninterruptible power supply/source) είναι μια ηλεκτρική συσκευή που εξασφαλίζει την αδιάλειπτη παροχή ηλεκτρικής ισχύος, παρέχοντας ισχύ σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης σε ένα φορτίο, όταν η πηγή ισχύος εισόδου του, τυπικά το ηλεκτρικό δίκτυο, βγει για κάποιο λόγο εκτός λειτουργίας. Ένα UPS διαφέρει από ένα βοηθητικό ή έκτακτης ανάγκης σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας ή μια γεννήτρια σε κατάσταση αναμονής, στο ότι μπορεί και παρέχει σχεδόν ακαριαία προστασία από τις διακοπές ρεύματος στην είσοδο, με την παροχή της ενέργειας που αποθηκεύεται σε μπαταρίες ή έναν σφόνδυλο. Ο χρόνος λειτουργίας που μπορεί να παρέχει η μπαταρία της αδιάλειπτης πηγής ενέργειας είναι σχετικά μικρός (μόλις λίγα λεπτά), αλλά είναι αρκετός

για να ξεκινήσει μια βοηθητική πηγή ενέργειας ή να κλείσει σωστά ο προστατευόμενος εξοπλισμός.

Ένα UPS χρησιμοποιείται συνήθως για να προστατεύει υπολογιστές, κέντρα δεδομένων, τηλεπικοινωνιακό εξοπλισμό ή άλλες ευαίσθητες ηλεκτρικές συσκευές, όπου μια απρόσμενη διακοπή ρεύματος μπορεί να προκαλέσει σφάλμα, καταστροφή του εξοπλισμού, σοβαρές διαταραχές για τις επιχειρήσεις ή απώλεια δεδομένων. Οι μονάδες UPS κυμαίνονται σε μέγεθος από μονάδες που έχουν σχεδιαστεί για να προστατεύσουν έναν υπολογιστή χωρίς οθόνη (περίπου 200 VA) έως μεγάλες μονάδες που τροφοδοτούν ολόκληρα κέντρα δεδομένων ή κτίρια.

Στο CERN υπάρχουν 44 μονάδες UPS εγκατεστημένες από το group EN-EL στην τοποθεσία Meyrin. Τα περισσότερα από αυτά τα UPS βρίσκονται στο κέντρο υπολογιστών (Κτίριο 513). Αυτά παρέχουν ισχύ σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης στον ευαίσθητο πληροφοριακό εξοπλισμό, όταν τύχει κάποια διακοπή ρεύματος, αλλά μόνο για λίγα λεπτά, τα οποία όμως είναι αρκετά για να πραγματοποιηθεί η εναλλαγή μεταξύ του γαλλικού και του ελβετικού δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας σε περίπτωση προβλημάτων. Μερικές από τις εγκαταστάσεις ψύξης υποστηρίζονται επίσης από UPS.

Δεν φαίνεται να υπάρχουν σοβαρές απειλές για την υγεία από τα επαγόμενα πεδία από μια μονάδα UPS. Ως εκ τούτου, οι μελέτες και τα πρότυπα επικεντρώνονται κυρίως στις ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές τους (EMI). [37]

5.4.5 Δίκτυο TETRA

Το TETRA [38] είναι ένας όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει την τεχνολογία γνωστή ως Terrestrial Trunked Radio. Χρησιμοποιείται για την παροχή ανθεκτικών, ισχυρών, ιδιωτικών υπηρεσιών κινητών επικοινωνιών που απαιτούνται από απαιτητικούς επαγγελματίες, όπως στις υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης και σε εμπορικές οργανώσεις με κινητό εργατικό δυναμικό ή μεγάλο στόλο οχημάτων. Το TETRA έχει κοινά χαρακτηριστικά με τα δίκτυα κινητών επικοινωνιών που χρησιμοποιούνε όλοι σήμερα για να κάνουν κλήσεις όταν βρίσκονται σε κίνηση, αλλά προσφέρει πρόσθετες δυνατότητες για να παρέχει μια ασφαλή, αξιόπιστη κι ευέλικτη επικοινωνία. Τα χαρακτηριστικά αυτά περιλαμβάνουν ψηφιακή ποιότητα κλήσης, μετάδοση φωνής, δεδομένων και εικόνων, κρυπτογράφηση, την άμεση λειτουργία αναμονής που επιτρέπει τη σύσταση τοπικών ομάδων επικοινωνίας και διαχειρίσιμη εφεδρεία για επιπλέον ανθεκτικότητα. [39]

Το TETRA είναι ένα διεθνές ανοιχτό πρότυπο [38] για τις ψηφιακές κινητές

ραδιοεπικοινωνίες, που αναπτύχθηκε από το Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Τηλεπικοινωνιακών Προτύπων. Ορίζει έναν συγκεκριμένο τρόπο κωδικοποίησης ραδιοσημάτων για την παροχή εξελιγμένων κινητών επικοινωνιών, συμπεριλαμβανομένων της ραδιοεπικοινωνίας δύο κατευθύνσεων, της κινητής τηλεφωνίας, των μηνυμάτων και της μεταφοράς δεδομένων. Τα δίκτυα TETRA δουλεύουν σε πολλά μέρη του κόσμου, συμπεριλαμβανομένων της Ευρώπης, της Ασίας, της Αφρικής και της Λατινικής Αμερικής, όπου εξυπηρετούν τις κρίσιμες ανάγκες κινητής επικοινωνίας των οργανώσεων, όπως οι υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης, οι οργανώσεις μεταφορών, οι οργανώσεις ασφαλείας και οι δημόσιες επιχειρήσεις.

Ένα δίκτυο TETRA λειτουργεί με τη χρήση τερματικών και μια σειρά από σταθμούς βάσης που κατευθύνουν τις κλήσεις σε άλλα σημεία του δικτύου. Όπως και σε άλλες μορφές κινητών επικοινωνιών, τα τερματικά TETRA και οι σταθμοί βάσης χρησιμοποιούν χαμηλής ισχύος ραδιοκύματα, γνωστά κι ως ηλεκτρομαγνητικά πεδία (EMF) ραδιοσυχνοτήτων (RF), για τη μετάδοση φωνής ή δεδομένων στο δίκτυο. Σε αντίθεση με τα κυψελοειδή τηλεφωνικά συστήματα, το TETRA επιτρέπει επίσης την ταχεία επικοινωνία ανάμεσα σε μια ιδιωτική ομάδα χρηστών κινητής τηλεφωνίας. Αυτή η δυνατότητα είναι πολύ χρήσιμη για παράδειγμα όταν μια ομάδα από τις υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης εργάζεται στο χώρο ενός συμβάντος.

Το σύστημα TETRA που εγκαταστάθηκε πρόσφατα στο CERN χρησιμοποιείται από την πυροσβεστική υπηρεσία, καθώς κι από εκατοντάδες εργαζομένους κι εργολάβους που εργάζονται στις σήραγγες. Το σύστημα λειτουργεί και παρακολουθείται εσωτερικά από το CERN. Είναι ο διάδοχος του δικτύου πολύ υψηλής συχνότητας (VHF) που είχε χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν. [40]

Το σύστημα TETRA είναι σχεδιασμένο κυρίως για επικοινωνίες έκτακτης ανάγκης, αλλά επιτρέπει στους χρήστες να στέλνουν μηνύματα του τύπου «έφτασα στον προορισμό» ή «ανάληψη του ασθενούς», ώστε να μπορεί να παρακολουθείται η πρόοδος των κλήσεων από την θέση ελέγχου σε πραγματικό χρόνο. Αυτό το χαρακτηριστικό είναι μια μεγάλη βοήθεια στη βελτιστοποίηση της εργασίας των πυροσβεστών στο πεδίο. Οι πομποί TETRA είναι επίσης εξοπλισμένοι με έναν συναγερμό "lone worker", το οποίο προειδοποιεί τον πυροσβεστικό σταθμό αν κάποιος εργάζεται μόνος του, είναι επιρρεπής σε κίνδυνο και δεν έχει ανιχνευτεί κανένα σημάδι κίνησης για μεγάλο χρονικό διάστημα ή σε περίπτωση σύγκρουσης ή πρόσκρουσης ή σε άλλες τέτοιες επιπτώσεις.

Οι ακόλουθοι τρεις σταθμοί βάσης έχουν εγκατασταθεί στις περιοχές του CERN.

- Ο πρώτος πάνω στον πύργο νερού (water tower) στην περιοχή Meyrin.
- Ο δεύτερος πάνω στο κέντρο ελέγχου του CERN (Cern Control Centre, CCC, Κτίριο 874) στην περιοχή Prévessin.
- Ο τελευταίος στο Σημείο 4 (Point 4) του LHC.

Η ραδιοκάλυψη εκτείνεται μέχρι το νοσοκομείο στο Saint-Julien-en-Genevois της Γαλλίας. Αυτές οι κεραιές ωφελούν επίσης τις γαλλικές και τις ελβετικές πυροσβεστικές υπηρεσίες, παρέχοντάς τους τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσουν τον εξοπλισμό επικοινωνίας τους στις υπόγειες υποδομές του CERN.

Μεγάλη επιστημονική έρευνα έχει διεξαχθεί κατά τα τελευταία 50 χρόνια πάνω στην επίδραση των ραδιοκυμάτων στην υγεία. Η έρευνα έχει καλύψει ένα μεγάλο φάσμα των αναλογικών και ψηφιακών σημάτων, σε διαφορετικές συχνότητες και διαμορφώσεις, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που χρησιμοποιούνται από το TETRA. Αυτή η έρευνα έχει αξιολογηθεί από πολλές ανεξάρτητες επιστημονικές ομάδες εμπειρογνομόνων, οργανισμούς τυποποίησης σε όλο τον κόσμο, όπως το Εθνικό Συμβούλιο Ακτινοπροστασίας (τώρα μέρος της Υπηρεσίας Προστασίας της Υγείας), κυβερνητικές υπηρεσίες και αρχές για την υγεία, όπως ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (WHO). Όλοι τους έχουν φτάσει στο ίδιο γενικό συμπέρασμα, ότι δεν υπάρχει καμία απόδειξη σχετικά με τις τυχόν αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία από την έκθεση σε ραδιοκύματα, στο πλαίσιο των κατευθυντήριων γραμμών για την έκθεση σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία που ισχύουν για το δίκτυο TETRA και για τα άλλα συστήματα κινητών επικοινωνιών. [39] Επειδή επίσης το δίκτυο TETRA είναι ένα ψηφιακό σύστημα, αυτό αντλεί κι επομένως εκπέμπει αμελητέα ισχύ σε σχέση με ένα αντίστοιχο αναλογικό. Το θέμα της βιολογικής επίδρασης του δικτύου TETRA αναπτύσσεται εκτενέστερα στο υποκεφάλαιο 2.3.

5.4.6 Φούρνοι Μικροκυμάτων

Ένας φούρνος μικροκυμάτων λειτουργεί με το πέρασμα μη ιονίζουσας ακτινοβολίας μικροκυμάτων μέσα από την τροφή. Η ακτινοβολία μικροκυμάτων που χρησιμοποιείται βρίσκεται μεταξύ των κοινών ραδιοσυχνοτήτων και των υπέρυθρων συχνοτήτων, έχει συνήθως συχνότητα 2,45 GHz και μήκος κύματος 122 mm, ή σε μεγάλους βιομηχανικούς/εμπορικούς φούρνους 915 MHz, 328 mm. [41] Το νερό, το λίπος κι άλλες ουσίες μέσα στο τρόφιμο απορροφούν ενέργεια από τα μικροκύματα με μια διαδικασία που ονομάζεται διηλεκτρική θέρμανση. Πολλά μόρια (όπως εκείνα του νερού) είναι ηλεκτρικά δίπολα, που σημαίνει ότι

έχουν ένα μερικά θετικό φορτίο στο ένα άκρο κι ένα μερικά αρνητικό φορτίο στο άλλο, κι ως εκ τούτου περιστρέφονται καθώς προσπαθούν να ευθυγραμμισθούν με το εναλλασσόμενο ηλεκτρικό πεδίο των μικροκυμάτων. Τα περιστρεφόμενα μόρια χτυπάνε με άλλα μόρια και τα βάζουν σε κίνηση, απελευθερώνοντας έτσι ενέργεια. Αυτή η ενέργεια, όταν διασπείρεται ως μοριακή δόνηση σε στερεά και υγρά (δηλαδή, τόσο ως δυναμική ενέργεια κι ως κινητική ενέργεια των ατόμων), είναι η θερμότητα. Μερικές φορές, η θέρμανση με μικροκύματα εξηγείται ως συντονισμός των μορίων του νερού, αλλά αυτό είναι λάθος, αφού συντονισμοί συμβαίνουν μόνο σε συχνότητες άνω του 1 THz. [42]

Στο CERN υπάρχουν φούρνοι μικροκυμάτων σχεδόν σε κάθε κτίριο. Παρά το γεγονός ότι πολλοί άνθρωποι τους χρησιμοποιούν καθημερινά για να μαγειρέψουν ή να ζεστάνουν το σπιτικό φαγητό τους, μόνο λίγοι πραγματικά νοιάζονται για τους κινδύνους που προκύπτουν.

Η διπλωματική αυτή πραγματεύεται μόνο τις επιπτώσεις από τις εκπομπές ενός φούρνου μικροκυμάτων κι όχι αν είναι ή όχι υγιές να τρώμε τρόφιμα ζεσταμένα με μικροκύματα. Κάποια ισχύς των μικροκυμάτων μπορεί να διαρρέυσει από το φούρνο ενώ χρησιμοποιείται, αλλά αυτό δε θα δημιουργούσε κανένα κίνδυνο για την υγεία, αν ο φούρνος έχει συντηρηθεί σωστά. [43] Τα παλιά ή ελαττωματικά λάστιχα ασφαλείας της πόρτας είναι η πιο κοινή αιτία της διαρροής ακτινοβολίας μικροκυμάτων. Η μηχανική κακοποίηση, η συσσώρευση βρομιάς, ή η φθορά από την επανειλημμένη χρήση μπορεί να κάνει την θωράκιση της πόρτας λιγότερο αποτελεσματική. Οι μακροχρόνιες μελέτες σε τρωκτικά με σκοπό να αξιολογήσουν τον κίνδυνο εμφάνισης καρκίνου, μέχρι στιγμής δεν έχουν εντοπίσει τυχόν καρκινογένεση από ακτινοβολία 2,45 GHz μικροκυμάτων, ακόμη και μετά από χρόνια έκθεση. [44, 45] Ωστόσο, με την πόρτα του φούρνου ανοιχτή, η ακτινοβολία μπορεί να προκαλέσει βλάβες λόγω θέρμανσης. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο κάθε φούρνος μικροκυμάτων που πωλείται έχει ένα μέτρο προστασίας, έτσι ώστε να μην μπορεί να λειτουργεί όταν η πόρτα είναι ανοιχτή ή εσφαλμένα ασφαλισμένη. Το θέμα της βιολογικής επίδρασης των φούρνων μικροκυμάτων αναπτύσσεται εκτενέστερα στο υποκεφάλαιο 2.3.

5.4.7 Λείζερ

Ένα λέιζερ είναι μια συσκευή που εκπέμπει φως μέσω μιας διαδικασίας οπτικής ενίσχυσης με βάση την εξαναγκασμένη εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Ο όρος «λέιζερ» δημιουργήθηκε ως ένα ακρωνύμιο για την έκφραση "Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation". [46] Τα λέιζερ διαφέρουν από άλλες πηγές φωτός, επειδή εκπέμπουν φως συνεκτικά. Η χωρική

συνοχή τους, τους επιτρέπει να επικεντρώνονται σε μια μικρή περιοχή, και γι' αυτό χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές όπως η κοπή και η λιθογραφία με λέιζερ. Η χωρική συνοχή τους κρατά επίσης μια δέσμη συγκεντρωμένη σε μεγάλες αποστάσεις, κι αυτό επιτρέπει τη λειτουργία των δεικτών λέιζερ. Τα λέιζερ έχουν ακόμη υψηλή χρονική συνοχή, που τους επιτρέπει να έχουν ένα πολύ στενό φάσμα, δηλαδή εκπέμπουν μόνο ένα χρώμα του φωτός. Η χρονική συνοχή τους επιτρέπει επίσης να εκπέμπουν παλμούς φωτός που διαρκούν μόνο ένα femtosecond.

Τα λέιζερ έχουν πολλές σημαντικές εφαρμογές. Χρησιμοποιούνται σε κοινές καταναλωτικές συσκευές όπως τα DVD players, οι εκτυπωτές λέιζερ και οι σαρωτές barcode. Χρησιμοποιούνται στην ιατρική για τη χειρουργική επέμβαση με λέιζερ και για διάφορες θεραπείες του δέρματος, και στη βιομηχανία για την κοπή και την συγκόλληση υλικών. Χρησιμοποιούνται σε στρατιωτικές συσκευές και συσκευές επιβολής του νόμου για τη σήμανση στόχων και τη μέτρηση απόστασης και ταχύτητας. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν ως μέσο ψυχαγωγίας. Τα λέιζερ έχουν πολλές σημαντικές εφαρμογές και στον τομέα της επιστημονικής έρευνας.

Το λέιζερ παράγει μια έντονη, υψηλής κατευθυντικότητας ακτίνα φωτός. Εάν κατευθυνθεί, αντικατοπτριστεί, ή εστιαστεί πάνω σε ένα αντικείμενο, το λέιζερ θα απορροφηθεί εν μέρει, αυξάνοντας τη θερμοκρασία της επιφάνειας ή/και του εσωτερικού του αντικειμένου, προκαλώντας πιθανώς μια αλλοίωση ή παραμόρφωση του υλικού. Αυτές οι ιδιότητες που έχουν εφαρμοστεί στις χειρουργικές επεμβάσεις με λέιζερ και στην επεξεργασία υλικών, μπορούν να προκαλέσουν βλάβη στους ιστούς. Εκτός από αυτές τις προφανείς θερμικές επιδράσεις επί του ιστού, μπορούν επίσης να υπάρχουν φωτοχημικές επιδράσεις όταν το μήκος κύματος της ακτινοβολίας λέιζερ είναι επαρκώς μικρό, δηλαδή στην υπεριώδη ή κυανή περιοχή του φάσματος. Σήμερα, τα περισσότερα λέιζερ υψηλής ισχύος αποσκοπούν στην ελαχιστοποίηση της έκθεσης σε ακτινοβολία λέιζερ κατά τη διάρκεια της λειτουργίας τους. Τα χαμηλότερης ισχύος λέιζερ εκπέμπουν επίπεδα ακτινοβολίας που δεν αποτελούν κίνδυνο.

Το ανθρώπινο σώμα είναι ευάλωτο ως προς την έξοδο ορισμένων λέιζερ και υπό ορισμένες συνθήκες η έκθεση μπορεί να προκαλέσει βλάβη στα μάτια και το δέρμα. [47, 48] Έχουν πραγματοποιηθεί έρευνες σχετικά με τα όρια της ζημίας στα μάτια και το δέρμα προκειμένου να κατανοηθούν οι βιολογικοί κίνδυνοι της ακτινοβολίας λέιζερ. Είναι πλέον ευρέως αποδεκτό ότι το ανθρώπινο μάτι είναι σχεδόν πάντα πιο ευάλωτο σε τραυματισμούς από το ανθρώπινο δέρμα. Ο κερατοειδής (η διαυγής, εξωτερική, εμπρόσθια επιφάνεια των οπτικών του ματιού), σε αντίθεση με το δέρμα, δεν έχει ένα εξωτερικό στρώμα νεκρών κυτ-

τάρων για να τον προστατεύσει από το περιβάλλον. Στις περιοχές μακρινής-υπεριώδης και μακρινής-υπέρυθρης ακτινοβολίας του οπτικού φάσματος, ο κερατοειδής απορροφά την ενέργεια του λέιζερ και μπορεί να καταστραφεί. Σε ορισμένα μήκη κύματος στις περιοχές εγγύς-υπεριώδης και εγγύς-υπέρυθρης ακτινοβολίας, ο φακός του ματιού μπορεί να είναι ευάλωτος σε ζημιά. Τη μεγαλύτερη ανησυχία, ωστόσο προκαλεί η έκθεση σε λέιζερ στην περιοχή του οπτικού φάσματος όπου κινδυνεύει ο αμφιβληστροειδής, περίπου από 400 nm (ιώδες φως) έως 1400 nm (εγγύς-υπέρυθρη ακτινοβολία) και περιλαμβάνει ολόκληρο το ορατό τμήμα του οπτικού φάσματος. Μέσα σε αυτήν τη φασματική περιοχή οι ευθυγραμμισμένες ακτίνες λέιζερ επικεντρώνονται σε ένα πολύ μικρό σημείο πάνω στον αμφιβληστροειδή.

Για να συμβεί η χειρότερη περίπτωση έκθεσης, το μάτι ενός ατόμου πρέπει να είναι εστιασμένο σε μια απόσταση και μια άμεση δέσμη ή κατοπτρική αντανάκλαση πρέπει να εισέλθει στο μάτι. Το φως που εισέρχεται στο μάτι από μία παραλληλισμένη δέσμη φάσματος, η οποία ανήκει στην περιοχή που προκαλεί κίνδυνο στον αμφιβληστροειδή, συγκεντρώνεται κατά έναν παράγοντα 100.000 φορές όταν χτυπά τον αμφιβληστροειδή. Ως εκ τούτου, μια ορατή, 10 milliwatt/cm² δέσμη λέιζερ θα μπορούσε να οδηγήσει σε μια έκθεση 1000 watt/cm² στον αμφιβληστροειδή, η οποία είναι περισσότερο από αρκετή πυκνότητα ισχύος (ένταση ακτινοβολίας) για να προκαλέσει ζημιά. Αν το μάτι δεν είναι εστιασμένο σε μια απόσταση ή εάν η δέσμη ανακλάται από μια τραχιά επιφάνεια (όχι σαν καθρέφτης), πολύ υψηλότερα επίπεδα ακτινοβολίας λέιζερ θα χρειαζόντουσαν για να προκαλέσουν τραυματισμό. Αντίθετα, δεδομένου ότι το φαινόμενο εστίασης του οφθαλμού δεν ισχύει στο δέρμα, το δέρμα είναι πολύ λιγότερο ευάλωτο σε ζημιά από αυτά τα μήκη κύματος.

5.4.8 Στατικά Πεδία

Η έκθεση σε στατικά μαγνητικά πεδία 25-60 μT από τον πυρήνα της Γης είναι πανταχού παρούσα. Επιπλέον μεγαλύτερες εκθέσεις προκύπτουν από ορισμένες τεχνητές πηγές, που παράγονται είτε ως ηθελημένη συνέπεια είτε ως υποπροϊόν της λειτουργίας του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού και της μεταφοράς/διανομής ηλεκτρικής ενέργειας συνεχούς ρεύματος (DC). Τα στατικά μαγνητικά πεδία παράγονται είτε από μόνιμους μαγνήτες, είτε από τη ροή συνεχούς ρεύματος μέσα από αγωγία υλικά.

Το CERN χρησιμοποιεί χιλιάδες μαγνήτες διαφορετικών ποικιλιών και μεγεθών, για να κατευθύνουν τις δέσμες γύρω από τον επιταχυντή. Μόνο στον LHC χρησιμοποιούνται 1232 διπολικοί μαγνήτες μήκους 15 μέτρων, οι οποίοι

χρησιμοποιούνται για να κάμπτουν τις δέσμες και 392 τετραπολικόι μαγνήτες, μήκους 5-7 μέτρα, οι οποίοι τις εστιάζουν. Ακριβώς πριν από την σύγκρουση, ένας άλλος τύπος μαγνήτη χρησιμοποιείται για την «συμπίεση» των σωματιδίων πλησιέστερα μεταξύ τους, έτσι ώστε να αυξηθούν οι πιθανότητες των συγκρούσεων. Το μέγιστο μαγνητικό πεδίο διπόλου είναι 8,33T.

Τα πολύ ισχυρά στατικά μαγνητικά πεδία μπορεί να προκαλέσουν ατυχήματα λόγω του φαινομένου όπου τα σιδηρομαγνητικά αντικείμενα που έλκονται από το κέντρο ενός μαγνήτη, εκτοξεύονται από την έλξη και είναι ικανά να προκαλέσουν τραυματισμούς ή και θάνατο. Μπορούν θεωρητικά να επηρεάσουν το καρδιαγγειακό σύστημα επηρεάζοντας άμεσα ή έμμεσα την κυτταρική λειτουργία, τον καρδιακό ρυθμό, την απόδοση της αντλίας της καρδιάς, την αγγειακή αντίσταση και την αιμάτωση των ιστών. Ωστόσο, υπάρχουν μηδαμινές ενδείξεις για τις βιολογικές αυτές βλάβες, ακόμη κι από πολύ ισχυρά στατικά μαγνητικά πεδία μέχρι 8T. [49, 50] Το θέμα της βιολογικής επίδρασης λόγω στατικών πεδίων αναπτύσσεται εκτενέστερα στο υποκεφάλαιο 2.6.

6 Παρουσίαση Μετρήσεων

6.1 Σκοπός των Μετρήσεων

Σκοπός αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι η αξιολόγηση και η μέτρηση των ηλεκτρικών, μαγνητικών και ηλεκτρομαγνητικών πεδίων που υπάρχουν πλέον στο καθημερινό περιβάλλον εργασίας ενός εργαζομένου στο CERN. Αυτά οφείλονται κυρίως στις διατάξεις παροχής ηλεκτρικής ενέργειας που βρίσκονται τοποθετημένες σε διάφορα σημεία και στις δύο περιοχές του (Meyrin και Prévessin), στα συστήματα ασυρμάτων ευρυζωνικών μικροκυματικών επικοινωνιών (δίκτυο TETRA) και στις οικιακές συσκευές που χρησιμοποιούνται.

Στη συνέχεια εξακριβώνεται αν οι τιμές των επαγόμενων πεδίων πληρούν ή όχι τα όρια ασφαλούς έκθεσης του γενικού πληθυσμού, όπως αυτά ορίζονται από την πολιτική ασφαλείας του CERN (CERN safety policy). Αυτή, όσον αφορά στο κομμάτι της μη ιονίζουσας ακτινοβολίας, βασίζεται στους κανονισμούς των χωρών οικοδεσποτών του CERN, δηλαδή της Γαλλίας και της Ελβετίας. Οι κανονισμοί των χωρών αυτών με τη σειρά τους βασίζονται στις προτάσεις της Διεθνούς Επιτροπής για την Προστασία από τις Μη Ιονίζουσες Ακτινοβολίες (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection - ICNIRP), με τους κανονισμούς της Ελβετίας να θέτουν σε ορισμένες περιπτώσεις πιο αυστηρά όρια. Οι κανονισμοί των χωρών αυτών, καθώς και τα όρια έκθεσης που ισχύουν στην Ελλάδα, παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 3.

Οι μετρήσεις πραγματοποιηθήκαν, σε γενικές γραμμές, σύμφωνα με τα δύο παρακάτω πρότυπα:

- Το πρότυπο IEC-61786:1998: "Measurement of low-frequency magnetic and electric fields with regard to exposure of human beings – Special requirements for instruments and guidance for measurements", από την Διεθνή Ηλεκτροτεχνική Επιτροπή (International Electrotechnical Commission - IEC).
- Το πρότυπο IEEE 644-1994 - "IEEE Standard Procedures for Measurement of Power Frequency Electric and Magnetic Fields From AC Power Lines", από το Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (Institute of Electrical and Electronics Engineers - IEEE).

Τα πρότυπα αυτά παρουσιάζονται κι αναλύονται στο κεφάλαιο 4. Οι όποιες αποκλίσεις από τα πρότυπα κατά την διεξαγωγή των μετρήσεων αναφέρονται ρητά.

6.2 Εξοπλισμός Μετρήσεων Ηλεκτρικού και Μαγνητικού Πεδίου

Η διάταξη μετρήσεων αποτελείται από τρία βασικά μέρη:

- τον χρησιμοποιούμενο αισθητήρα,
- την οπτική ίνα σύνδεσης (για τον αισθητήρα EHP50A) και
- το μετρητικό όργανο.

Το μετρητικό όργανο ήταν το PMM 8053A της γερμανικής εταιρείας NARDA Safety Test Solutions. Πρόκειται για ένα ολοκληρωμένο σύστημα μετρήσεων που χρησιμοποιεί μια σειρά αισθητήρων που καλύπτουν το φάσμα συχνοτήτων από 5Hz έως 40GHz. Για να καλυφθεί πλήρως το φάσμα αυτό χρησιμοποιήθηκαν οι ακόλουθοι 3 αισθητήρες:

- PMM EHP50A,
- PMM EP330 και
- PMM EP408.

Για τις χαμηλές συχνότητες (5 Hz - 100 kHz) χρησιμοποιήθηκε ο αισθητήρας PMM EHP50A που μετρά το μαγνητικό πεδίο B (δηλαδή την πυκνότητα μαγνητικής ροής) σε μικροτέσλα (μT) και το ηλεκτρικό πεδίο E σε βολτ ανά μέτρο (V/m). Για τα πεδία υψηλότερων συχνοτήτων (100 kHz - 40 GHz) χρησιμοποιήθηκαν οι αισθητήρες PMM EP330 και PMM EP408, οι οποίοι μετράνε το ηλεκτρικό πεδίο E σε βολτ ανά μέτρο (V/m).

Ο πίνακας 20 περιλαμβάνει τις μετρούμενες συχνότητες και μονάδες των οργάνων.

Πίνακας 20: Εύρος συχνοτήτων και μονάδες του μετρητικού οργάνου και των αισθητήρων

Όργανο	Εύρος συχνοτήτων	Μονάδες
Μετρητικό όργανο PMM 8053A	5 Hz - 40 GHz	εξαρτάται από τον αισθητήρα
Αισθητήρας PMM EHP50A	5 Hz - 100 kHz	0,1 V/m - 100 kV/m & 10 nT - 10 mT
Αισθητήρας PMM EP330	100 kHz - 3 GHz	0,3 - 300 V/m
Αισθητήρας PMM EP408	1 MHz - 40 GHz	0,8 - 800 V/m

Τόσο τα όργανα μέτρησης όσο και οι αισθητήρες ήταν διακριβωμένα με πιστοποιητικά διακρίβωσης εν ισχύ. Στο Παράρτημα Α' παρουσιάζονται ολοκληρωμένα τα τεχνικά χαρακτηριστικά του μετρητικού οργάνου και των αισθητήρων.

6.3 Διαδικασία Μετρήσεων

Έχοντας εντοπίσει τις πηγές μη ιονίζουσας ακτινοβολίας στο CERN, αποφασίστηκε ποια επαγόμενα πεδία θα μετρηθούν. Μετά από μερικές δοκιμαστικές μετρήσεις κοντά στα δωμάτια που περιείχαν μανάδες UPS, εξήχθη το συμπέρασμα ότι τα πεδία που επαγόντουσαν ήταν αρκετά χαμηλά κι έτσι οι μετρήσεις αυτές δεν περιλαμβάνονται στην διπλωματική αυτή. Επίσης, δεν υπάρχουν μετρήσεις στατικών πεδίων και πεδίων που επάγονται από συσκευές λέιζερ. Συγκεκριμένα τα στατικά πεδία δημιουργούνται από τους υπεραγώγιμους ηλεκτρομαγνήτες μέσα στον επιταχυντή, όταν αυτός βρίσκεται σε λειτουργία. Σε αυτή την περίπτωση όμως απαγορεύεται η πρόσβαση, αφού τα πεδία αυτά είναι αρκετά μεγάλα και γιατί υπάρχει ιονίζουσα ακτινοβολία. Έτσι, οι μετρήσεις που περιλαμβάνονται στην παρούσα διπλωματική αφορούν τα πεδία που επάγονται από:

- γραμμές μεταφοράς.
- ηλεκτρικούς υποσταθμούς (μετασχηματιστές).
- στατικούς αντισταθμιστές αέργου ισχύος (static VAR compensators).
- το δίκτυο TETRA.
- φούρνους μικροκυμάτων.

Η κάθε μέτρηση διαρκούσε 6 λεπτά. Οι ανιχνευτές μετρούσαν το συνιστάμενο μαγνητικό/ηλεκτρικό πεδίο και οι τελικές τιμές ήταν οι RMS τιμές των πεδίων. Τέλος οι ανιχνευτές ήταν στερεωμένοι σε ένα πλαστικό τρίποδο και η απόστασή τους από το έδαφος ήταν πάντα 1m.

6.4 Γραμμές Μεταφοράς

Σύμφωνα με το πρότυπο IEEE 644 σε εναέριες γραμμές μεταφοράς θα πρέπει να πραγματοποιείται μια μέτρηση αρχικά κάτω από χαμηλότερο σημείο της

έκτασης των αγωγών. Μετά θα πρέπει να γίνονται διαδοχικές μετρήσεις και καταγραφές του πεδίου κατά μήκος και κατά πλάτος των γραμμών, ανά τακτές αποστάσεις. Στις μετρήσεις εδώ υπάρχει απόκλιση σε σχέση με το πρότυπο, αφού μας ενδιέφεραν περισσότερο τα επίπεδα του πεδίου εντός του κτιρίου, παρά κάτω από τις γραμμές.

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στις 27/05/2013 και ώρα 14:41. Όπως συνιστάται από το πρότυπο, χρησιμοποιήθηκε στο πεδίομετρο το εύρος συχνοτήτων (SPAN) 500 Hz, αφού δεν υπήρχαν υψηλές αρμονικές.

Το σχήμα 14 και ο πίνακας 21 περιλαμβάνουν τις θέσεις και τις μετρηθείσες τιμές της πυκνότητας μαγνητικής ροής και του ηλεκτρικού πεδίου που επάγονται από την εναέρια γραμμή ηλεκτρικής ενέργειας δίπλα από το κτίριο 40. Πρόκειται για μια γραμμή τετραπλού κυκλώματος. Αποτελείται από ένα 400kV, ένα 230kV και δύο 130kV τριφασικά κυκλώματα.

Πίνακας 21: Μετρήσεις σε γραμμές μεταφοράς

	Τοποθεσία	B (μT)	E (V/m)
1	Ακριβώς κάτω από την εναέρια γραμμή	0,952	22,43
2	1ος όροφος του κτιρίου 40 στην πλευρά κοντά στην γραμμή	0,424	0,085
3	2ος όροφος του κτιρίου 40 στην πλευρά κοντά στην γραμμή	0,553	0,092
4	3ος όροφος του κτιρίου 40 στην πλευρά κοντά στην γραμμή	0,612	0,112
5	4ος όροφος του κτιρίου 40 στην πλευρά κοντά στην γραμμή	0,650	0,101

Τα ηλεκτρικά πεδία είναι ισχυρότερα κοντά σε ένα φορτίο ή έναν φορτισμένο αγωγό και η τιμή τους μειώνεται γρήγορα με την απομάκρυνση από αυτό. Αγωγοί όπως τα μέταλλα, μπορούν να θωρακίσουν τα ηλεκτρικά πεδία πολύ αποτελεσματικά. Άλλα υλικά, όπως τα δομικά υλικά και τα δέντρα, παρέχουν μια ικανοποιητική θωράκιση. Επειδή το κτίριο 40 είναι μια μεταλλική κατασκευή, το ηλεκτρικό πεδίο που προκαλείται από την εναέρια γραμμή ισχύος στον εξωτερικό χώρο θωρακίζεται πολύ αποτελεσματικά. Ένα μεταλλικό κτίριο λοιπόν συμπεριφέρεται σαν ένας ανηχοϊκός θάλαμος και μηδενίζει το ηλεκτρικό πεδίο στο εσωτερικό του.

Όπως και τα ηλεκτρικά πεδία, τα μαγνητικά πεδία είναι ισχυρότερα κοντά στην πηγή τους και μειώνονται αισθητά σε μεγαλύτερες αποστάσεις από αυτή. Τα μαγνητικά πεδία ωστόσο δεν μπορούν να θωρακιστούν από κοινά υλικά, όπως τα μέταλλα και τα τοιχώματα των κτιρίων.

Τα όρια έκθεσης για τα πεδία που προκαλούνται από μια γραμμή μεταφοράς είναι $1\mu T$ για το B-πεδίο και $5000V/m$ για το ηλεκτρικό πεδίο στα 50Hz. Όπως



Σχήμα 14: Μετρήσεις σε γραμμές μεταφοράς

συμπεραίνεται, τα μετρημένα πεδία ήταν μικρότερα από τα όρια έκθεσης κι έτσι δεν φαίνεται να υπάρχει κάποιος κίνδυνος λόγω των πεδίων που επάγονται από τις εναέριες γραμμές ηλεκτρικού ρεύματος.

6.5 Ηλεκτρικοί Υποσταθμοί

Πολλοί υποσταθμοί ήταν κατά τη διάρκεια των μετρήσεων εκτός λειτουργίας λόγω του Long Shutdown 1 (LS1). Μετρήθηκε το πεδίο που επάγεται από μετασχηματιστές σχεδόν όλων των υποσταθμών και στις δύο περιοχές του CERN, προκειμένου να χαρακτηριστεί η πυκνότητα μαγνητικής ροής και το ηλεκτρικό

πεδίο κατά μήκος του περιβλήματός τους. Οι μετρήσεις πυκνότητας μαγνητικής ροής που λήφθηκαν σε απόσταση 1 m από το έδαφος και 1 m από το περίβλημα του μετασχηματιστή είχαν κατά μέσο όρο τιμή $1,1 \mu T$, με τις μεμονωμένες μετρήσεις να κυμαίνονται μεταξύ 0,1 και $14,2 \mu T$. Οι υψηλότερες τιμές της πυκνότητας μαγνητικής ροής της τάξεως των 3 έως $15 \mu T$ μετρηθήκαν κοντά στα καλώδια τροφοδοσίας. Σε όλες τις περιπτώσεις, σε αποστάσεις κυμαινόμενες μεταξύ 5 και 10 m από το περίβλημα, οι πυκνότητες μαγνητικής ροής που οφείλονται στους υποσταθμούς ήταν πολύ μικρές μεταξύ 0,02 και $0,10 \mu T$. Κατά μήκος της διαδρομής των καλωδίων και των γραμμών, η πυκνότητα μαγνητικής ροής έφτανε μέχρι το $1 \mu T$.

Οι μετρήσεις του ηλεκτρικού πεδίου κοντά στους υποσταθμούς δείχνουν ότι η ισχύς του ηλεκτρικού πεδίου είναι συνήθως κάτω από $2,5 V/m$ κι αυτό αποδίδεται στην θωράκιση που παρέχεται από το μεταλλικό περίβλημα για τα εξαρτήματα και τα καλώδια, καθώς και στα τοιχώματα του θαλάμου. Μόνο στην περίπτωση που υπάρχουν εναέριες γραμμές τροφοδοσίας, είναι πιθανό το ηλεκτρικό πεδίο να υπερβεί τα μερικά βολτ ανά μέτρο. Μέχρι λίγες δεκάδες βολτ ανά μέτρο έχουν μετρηθεί κάτω από τις αντίστοιχες γραμμές υψηλής τάσης.

Τα πρότυπα για τη μέτρηση των επαγόμενων πεδίων από τους μετασχηματιστές προβλέπουν μετρήσεις κοντά στα καλώδια τροφοδοσίας τους και κατά μήκος της έκτασης των καλωδίων αυτών. Οι μετρήσεις που παρουσιάζονται εδώ όμως γίναν μπροστά από το περίβλημα ή την περίφραξη του μετασχηματιστή, αφού τα καλώδια στις περισσότερες περιπτώσεις ήτανε υπόγεια και στις υπόλοιπες πήγαιναν κατευθείαν μέσα σε ένα κτίριο έχοντας έναν μεγάλο χώρο περίφραξης γύρω από αυτά.

Το σχήμα 15 και ο πίνακας 22 περιλαμβάνουν τις τοποθεσίες και τα πεδία που μετρήθηκαν μπροστά από τον μετασχηματιστή EMT104*72 (υποσταθμός 72) του κτιρίου 188 στην τοποθεσία Meyrin. Αυτός ο τύπος μετασχηματιστή είναι ο τυπικός μετασχηματιστής που χρησιμοποιείται στο CERN, αφού υπάρχουν 769 τέτοιοι εγκατεστημένοι στο CERN, συνολικής ισχύος περίπου 900 MVA. [25] Οι ονομαστικές τιμές του είναι $18kV/400V$, $1250kVA$. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στις 25/02/2014 και ώρα 14:05. Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων η τιμή του ρεύματος ήτανε ίση με την ονομαστική. Στο πεδιόμετρο χρησιμοποιήθηκε το εύρος συχνοτήτων (SPAN) 500 Hz, αφού δεν υπήρχαν υψηλές αρμονικές.

Πίνακας 22: Μετρήσεις μετασχηματιστή EMT104*72

	Τοποθεσία	B (μT)	E (V/m)
1	25cm από το περίβλημα του Μ/Σ	22,529	1,469
2	50cm από το περίβλημα του Μ/Σ	11,734	1,016
3	1m από το περίβλημα του Μ/Σ	4,329	0,712
4	2m από το περίβλημα του Μ/Σ	0,748	0,444



Σχήμα 15: Μετρήσεις μετασχηματιστή EMT104*72

Το σχήμα 16 κι ο πίνακας 23 περιλαμβάνουν τις τοποθεσίες και τα πεδία που μετρήθηκαν μπροστά από τον μετασχηματιστή EMT104*43 (υποσταθμός 43) του κτιρίου 513 (κέντρο υπολογιστών) στην τοποθεσία Meyrin. Αυτός είναι ένας ειδικός τύπος μετασχηματιστή που χρησιμοποιείται για φορτία με υψηλές αρμονικές στο CERN. Οι ονομαστικές τιμές του είναι 18kV/400V, 3000kVA. Ο μετασχηματιστής αυτός λειτουργεί επίσης σαν ένα φίλτρο για τις υψηλότερες αρμονικές, οι οποίες φαινόντουσαν στο φάσμα συχνοτήτων κατά τη μέτρηση. Οι αρμονικές αυτές υπήρχαν και στο φάσμα του πεδίου προς μέτρηση, κι έτσι

στο πεδίομετρο χρησιμοποιήθηκε το εύρος συχνοτήτων (SPAN) 1 kHz. Οι μετρήσεις πραγματοποιηθήκαν στις 26/02/2014 και ώρα 15:30. Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων η τιμή του ρεύματος ήταν ίση με την ονομαστική.

Πίνακας 23: Μετρήσεις μετασχηματιστή EMT104*43

	Τοποθεσία	B (μT)	E (V/m)
1	40cm από τον φράχτη του Μ/Σ	28,453	5,678
2	80cm από τον φράχτη του Μ/Σ	18,989	3,408
3	1,2m από τον φράχτη του Μ/Σ	11,855	2,600
4	1,6m από τον φράχτη του Μ/Σ	9,310	1,338



Σχήμα 16: Μετρήσεις μετασχηματιστή EMT104*43

Ο υποσταθμός 400kV (BEH) που βρίσκεται στην τοποθεσία Prévessin είναι ο μεγαλύτερος στο CERN. Το φάσμα του σήματος που εκπέμπεται από την εκκένωση corona έχει εύρος συχνοτήτων από 20 MHz έως 100 MHz. [51] Για τη μέτρηση του συνιστάμενου ηλεκτρικού πεδίου που δημιουργείται λόγω του φαινομένου corona χρησιμοποιήθηκε ο αισθητήρας PMM EP330. Η τιμή του ήταν πάντα κάτω από 2 V/m.

Καταλήγοντας, τα ηλεκτρικά πεδία συχνότητας 50Hz γύρω από τους υποσταθμούς είχαν πάντα τιμή μικρότερη της τιμής αναφοράς των 5000 V/m. Αν-

τιθέτως οι πυκνότητες μαγνητικής ροής συχνά ξεπερνούσαν το όριο του $1\mu T$. Οι τιμές τους όμως εξασθενούσαν γρήγορα με την απόσταση από τις πηγές.

6.6 Στατικοί Αντισταθμιστές Αέργου Ισχύος

Λόγω του Long Shutdown 1 (LS1) οι περισσότεροι στατικοί αντισταθμιστές αέργου ισχύος (static VAR compensators - SVC) ήταν εκτός λειτουργίας, μέχρι την επανεκκίνηση των συγκρούσεων το 2015. Παρόλα αυτά, λόγω των δοκιμών που γινόντουσαν στον επιταχυντή Booster, ο στατικός αντισταθμιστής αέργου ισχύος του κτιρίου 242 λειτουργούσε κανονικά. Το σχήμα 17 κι ο πίνακας 24 περιλαμβάνουν τις τοποθεσίες και τα πεδία που μετρήθηκαν κοντά στον στατικό αντισταθμιστή αέργου ισχύος του κτιρίου 242 στην περιοχή Meyrin.

Πρώτα έγιναν κάποιες δοκιμαστικές μετρήσεις του μαγνητικού πεδίου Β γύρω από το SVC, κι αφού παρατηρήθηκε ότι μεγιστοποιούταν στην δεξιά πλευρά της περιφράξης, ληφθήκαν οι μετρήσεις που περιλαμβάνονται εδώ. Οι μετρούμενες αρμονικές κοντά στον αντισταθμιστή ξεκινούν από την θεμελιώδη αρμονική (50Hz) και φτάνουν ως την 40η αρμονική (2kHz). Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε το εύρος (SPAN) 2kHz στο πεδίομετρο.



Σχήμα 17: Μετρήσεις στατικού αντισταθμιστή αέργου ισχύος

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στις 27/02/2014 και ώρα 16:58. Η ισχύς και το ρεύμα των Thyristor Controlled Reactors (TCR) του Booster προσφέρθη-

Πίνακας 24: Μετρήσεις στατικού αντισταθμιστή αέργου ισχύος

	Τοποθεσία	B (μT)	E (V/m)
1	60cm από τον φράχτη, δεξιά πλευρά	229,59	14,820
2	1m από τον φράχτη, δεξιά πλευρά	173,24	15,926
3	2m από τον φράχτη, δεξιά πλευρά	104,53	12,008
4	1m από τον φράχτη, μπροστά	36,742	7,834

καν από τον κ. Karsten Kahle (TE-EPC-HPC) και ήταν 14,739 Mvar και 462,19 A αντίστοιχα κατά τη διάρκεια των μετρήσεων.

Τα όρια έκθεσης για τη θεμελιώδη συχνότητα των 50 Hz είναι 100 μT για την πυκνότητα της μαγνητικής ροής και 5000 V/m για το ηλεκτρικό πεδίο. Στις πλευρές των αντισταθμιστών η πυκνότητα μαγνητικής ροής υπερέβη τα όρια κατά 130%. Αυτό οφείλεται στο ότι τα πηνία αέρα είναι πιο κοντά στις πλευρές του φράχτη από ότι στην μπροστινή πλευρά.

Δίπλα από τον αντισταθμιστή βρίσκεται ένας χώρος στάθμευσης. Έτσι πολλοί άνθρωποι τον προσεγγίζουν άθελά τους καθημερινά. Δεδομένου ότι τώρα είναι δύσκολο να αλλαχθούν οι θέσεις των περιφράξεων, προτάθηκε να τοποθετηθούν προειδοποιητικές ταμπέλες για την απαγόρευση των βηματοδοτικών και για κίνδυνο από υψηλά πεδία για προληπτικούς λόγους.

6.7 Δίκτυο TETRA

Το σχήμα 18 κι ο πίνακας 25 περιλαμβάνουν την θέση και την μέτρηση του συνισταμένου ηλεκτρικού πεδίου E που προκαλείται από την κεραία του δικτύου TETRA, πάνω στο κτίριο CCC (Cern Control Center, Κτίριο 874). Από περισσότερες μετρήσεις που γίναν πάνω στο κτίριο σε διαφορετικές αποστάσεις από την κεραία, η διακύμανση του επιπέδου του ηλεκτρικού πεδίου δεν ήταν σημαντική.

Πίνακας 25: Μέτρηση δικτύου TETRA

	Τοποθεσία	E (V/m)
1	πάνω στο κτίριο CCC (Κτίριο 874), 10 μέτρα από την κεραία TETRA	0,975

Το δίκτυο TETRA είναι ένα ψηφιακό σύστημα επικοινωνιών κι έτσι καταναλώνει κι εκπέμπει αμελητέα ισχύ, σε σύγκριση με ένα αντίστοιχο αναλογικό. Το όριο έκθεσης για συχνότητες κοντά στα 400 MHz, οι οποίες χρησιμοποιούνται



Σχήμα 18: Μέτρηση δικτύου TETRA

από το δίκτυο TETRA, είναι $27,5 \text{ V/m}$ για το ηλεκτρικό πεδίο. Όπως συμπεραίνεται τα μετρημένα πεδία ήταν πολύ πιο κάτω από τα όρια έκθεσης, λιγότερο από $3,6 \%$ για το ηλεκτρικό πεδίο, οπότε το δίκτυο TETRA δεν ενέχει κανένα κίνδυνο.

6.8 Φούρνοι Μικροκυμάτων

Το σχήμα 19 κι ο πίνακας 26 περιλαμβάνουν την χειρότερη περίπτωση όσον αφορά στα πεδία που επάγονται από όλους τους φούρνους μικροκυμάτων που μετρηθήκαν και δουλεύουν στο εστιατόριο 1 (R1) του CERN.

Αν και κοντά στους φούρνους μικροκυμάτων το ηλεκτρικό πεδίο μπορεί να είναι υψηλό, η τιμή του μειώνεται γρήγορα με την απόσταση. Το πεδίο ως επί το πλείστον θωρακίζεται από το γειωμένο μεταλλικό περίβλημα του φούρνου μικροκυμάτων και η τιμή του μειώνεται με συντελεστή 1000.

Το όριο έκθεσης για το ηλεκτρικό πεδίο συχνότητας $2,4 \text{ GHz}$ είναι 61 V/m . Το πεδίο που μετρήθηκε στη χειρότερη περίπτωση ήταν μικρότερο από το όριο,



Σχήμα 19: Μετρήσεις φούρνων μικροκυμάτων

Πίνακας 26: Μετρήσεις φούρνων μικροκυμάτων

	Τοποθεσία	E (V/m)
1	5cm από την πόρτα φούρνου μικροκυμάτων εν λειτουργία	40
2	25cm από την πόρτα φούρνου μικροκυμάτων εν λειτουργία	16

στο 66% αυτού.

7 Επίλογος

7.1 Συμπεράσματα

Με βάση τις μετρήσεις μπορούμε να συμπεράνουμε με ασφάλεια ότι οι περισσότερες περιοχές στο CERN είναι ασφαλείς, όσον αφορά στα επίπεδα μη ιονίζουσας ακτινοβολίας. Σχεδόν όλες οι μετρήσεις ήταν πολύ κάτω από τα όρια που καθορίζονται από τους κανονισμούς ασφαλείας, κι έτσι πληρούνται οι βασικοί περιορισμοί για την ασφαλή έκθεση του γενικού πληθυσμού, τόσο σε μαγνητικά όσο και σε ηλεκτρικά πεδία σύμφωνα με τα επίπεδα αναφοράς.

Η μόνη περίπτωση που αυτές οι τιμές υπερβαίνουν τα όρια, ήταν στις μετρήσεις κοντά στους στατικούς αντισταθμιστές αέργου ισχύος. Για το λόγο αυτό προτάθηκε στα πλαίσια της εκστρατείας, η τοποθέτηση προειδοποιητικών ταμπελών για την απαγόρευση των βηματοδοτικών και για κίνδυνο από υψηλά πεδία για προληπτικούς λόγους.

7.2 Σημεία Καινοτομίας

Το σημείο στο οποίο η εκστρατεία αυτή καινοτόμησε ήταν στο ότι ήταν η πρώτη οργανωμένη προσπάθεια για μέτρηση και καταγραφή των επιπέδων της μη ιονίζουσας ακτινοβολίας και στις δύο περιοχές του CERN που οργανώθηκε από την μονάδα ασφαλείας του CERN, δηλαδή το HSE Unit (DGS Department).

Μέχρι τώρα οι μετρήσεις μη ιονίζουσας ακτινοβολίας γινόντουσαν μόνο κατά την εγκατάσταση νέου ηλεκτρολογικού κι όχι μόνο εξοπλισμού ή κατόπιν αιτήσεως του ιδιοκτήτη του εξοπλισμού προς μέτρηση. Με αυτόν τον τρόπο όμως δεν λαμβανόταν υπόψιν η γήρανση του εξοπλισμού και το ευρύ κοινό μπορεί να ερχόταν σε επαφή με πεδία μεγαλύτερα από αυτά που είχαν εκτιμηθεί.

Άψογη ήταν επίσης η συνεργασία με τα δύο παρακάτω groups του CERN.

- Το EN-EL, για την παροχή ηλεκτρολογικών σχεδίων με τις τοποθεσίες και τα χαρακτηριστικά των μετασχηματιστών και των γραμμών στο CERN, καθώς και για τα δικαιώματα πρόσβασης που δοθήκαν για το σύστημα SCADA.
- Το TE-EPC, για την παροχή των χαρακτηριστικών των στατικών αντισταθμιστών αέργου ισχύος και για την πρόσβαση στα δεδομένα τους.

7.3 Προτάσεις για Περαιτέρω Διερεύνηση

Οι σημαντικές αποκλίσεις των μετρήσεων που διεξήχθησαν σε ορισμένες περιπτώσεις από τα πρότυπα, καθώς και η γενικότερη κρισιμότητα θεμάτων ασφαλείας, κάνουν φανερή την ανάγκη περαιτέρω διερεύνησης του συγκεκριμένου θέματος, ώστε να εξαχθούν πιο ασφαλή συμπεράσματα, καθώς και για να μελετηθούν πτυχές της εκστρατείας που δεν εξεταστήκαν σε βάθος. Συγκεκριμένα:

- Κρίνεται απαραίτητο να υπολογιστούν οι αβεβαιότητες όλων των μετρήσεων. Οι ανεκτές αβεβαιότητες τόσο για το ηλεκτρικό, όσο και για το μαγνητικό πεδίο είναι σύμφωνα με τα πρότυπα περίπου $\pm 10\%$ της τιμής του πεδίου. Υπάρχουν όμως πολλοί παράγοντες που τις επηρεάζουν, κι αν δεν ακολουθούνται ορισμένα μέτρα ασφαλείας, αυτές μπορούν εύκολα να αυξηθούν σε μη ανεκτά επίπεδα. [52]
- Θα ήταν επίσης χρήσιμο να υπολογίζονται και θεωρητικά τα αναμενόμενα μέτρα του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου, τουλάχιστον για τις εναέριες γραμμές μεταφοράς, λόγω χαμηλής πολυπλοκότητας της κατανομής των πεδίων. Για παράδειγμα θα μπορούσε να υπολογιστεί το μαγνητικό πεδίο B με την χρήση του νόμου Biot-Savart και κατόπιν να συγκριθεί με το μετρηθέν συνιστάμενο πεδίο. [53, 54]
- Είναι επίσης αναγκαία η παράλληλη καταγραφή των ρευμάτων για τις μετρήσεις γραμμών μεταφοράς. Για παράδειγμα, σημαντικό ρόλο θα μπορούσε να παίξει ένας ενδεχόμενος τετραπλασιασμός του ρεύματος, αφού το συνιστάμενο μαγνητικό πεδίο θα αυξανόταν ανάλογα.
- Σημαντική κρίνεται και η ανάγκη για επανάληψη των μετρήσεων σε τακτά χρονικά διαστήματα.
- Οι επόμενες μετρήσεις που θα προγραμματιστούν θα ήταν καλό να ήταν διεργαστηριακές, δηλαδή να πραγματοποιούνταν παράλληλα με άλλα διαπιστευμένα εργαστήρια με τη χρήση διαφορετικού εξοπλισμού. Έχει παρατηρηθεί ότι οι τιμές που μετρούνται, καθώς και οι αντίστοιχες αβεβαιότητες μπορούν κάποιες φορές να διαφέρουν αρκετά μεταξύ τους. [55]
- Οι μετρήσεις για να αποκτήσουν μεγαλύτερη χρησιμότητα για όλους τους εργαζομένους στο CERN, θα πρέπει να αποθηκευτούν σε ένα σύστημα GIS. Με αυτόν τον τρόπο ο καθένας θα είχε πρόσβαση ανά πάσα στιγμή στα δεδομένα αυτά.

- Τέλος, προτείνεται η χρήση δοσιμέτρων μη ιονίζουσας ακτινοβολίας στις τοποθεσίες όπου οι τιμές των πεδίων υπερβαίνουν τα όρια ασφαλείας, τουλάχιστον από το προσωπικό που εργάζεται κοντά σε αυτές.

Ο Large Hadron Collider (LHC) έχει δώσει στους φυσικούς μια τεράστια ποσότητα δεδομένων για ανάλυση από την πρώτη στιγμή που τέθηκε σε λειτουργία το 2009. Το "Long Shutdown 1" (LS1) ξεκίνησε στις 14 Φεβρουαρίου 2013 και δεν πραγματοποιούνται συγκρούσεις για μια περίοδο σχεδόν δύο χρόνων. Μετά ο LHC θα λειτουργήσει ξανά σε υψηλότερες τιμές ενέργειας κι έτσι η ενεργειακή ζήτηση ομοίως θα αυξηθεί. Τότε θα πρέπει άμεσα να προγραμματιστούν καινούριες μετρήσεις μη ιονίζουσας ακτινοβολίας για την ασφάλεια του ευρύ κοινού, γιατί όπως είχε πει ο Luciano Maiani, πρώην Γενικός Διευθυντής του CERN: «Η ασφάλεια είναι ένα θέμα ζωτικής σημασίας για όλους όσους εργάζονται στο CERN αλλά και για το περιβάλλον μας. Θα πρέπει να προσπαθούμε να έχουμε εξαιρετικές επιδόσεις στον τομέα αυτό, όπως ακριβώς και στη φυσική.»

Βιβλιογραφία

- [1] Baigrie, Brian (2006), *Electricity and Magnetism: A Historical Perspective*, Greenwood Press, pp. 7–8, ISBN 0-313-33358-0.
- [2] Allday, Jonathan (2002). *Quarks, Leptons and the Big Bang*. Second Edition. ISBN 978-0-7503-0806-9.
- [3] Mehta, Akul. "Introduction to the Electromagnetic Spectrum and Spectroscopy".
- [4] Mohr, Peter J., Taylor, Barry N., Newell, David B. (2008). *CODATA Recommended Values of the Fundamental Physical Constants: 2006*.
- [5] Woodside, Gayle (1997). *Environmental, Safety, and Health Engineering*. US: John Wiley & Sons. p. 476. ISBN 0471109320.
- [6] Kwan-Hoong Ng (20 - 22 October 2003). *Non-ionising Radiations - Sources, Biological Effects, Emissions and Exposures*. Proceedings of the International Conference on Non-ionising Radiation at UNITEN ICNIR2003 Electromagnetic Fields and Our Health.
- [7] Constantine A. Balanis. (2005). *Antenna Theory: Analysis and Design*, 3rd edition.
- [8] Oleg D. Jefimenko, *Electricity and Magnetism: An Introduction to the Theory of Electric and Magnetic Fields*, Appleton-Century-Crofts (New-York - 1966). 2nd ed.: Electret Scientific (Star City - 1989), ISBN 978-0-917406-08-9.
- [9] Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR). Preliminary opinion on Potential health effects of exposure to electromagnetic fields (EMF). SCENIHR approved this opinion at the 4th plenary of 12 December 2013.
- [10] Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR) | http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/index_en.htm/ (n.d.). Retrieved October, 2014.
- [11] WHO | World Health Organization | <http://www.who.int/> (n.d.). Retrieved October, 2014.

- [12] Aim, Status & History. | <http://www.icnirp.org/> (n.d.). Retrieved October, 2014.
- [13] ICNIRP Guidelines on Limits of Exposure to Static Magnetic Fields, Health Physics 96(4):504-514; 2009.
- [14] ICNIRP Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 kHz), Health Physics 99(6):818-836; 2010.
- [15] ICNIRP Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (up to 300 GHz), Health Physics 74 (4):494-522; 1998.
- [16] Décret n°2002-775 du 3 mai 2002 pris en application du 12° de l'article L. 32 du code des postes et télécommunications et relatif aux valeurs limites d'exposition du public aux champs électromagnétiques émis par les équipements utilisés dans les réseaux de télécommunication ou par les installations radioélectriques, NOR: INDI0220135D, Version consolidée au 05 mai 2002.
- [17] Σύσταση του συμβουλίου της 12ης Ιουλίου 1999 περί του περιορισμού της έκθεσης του κοινού σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία (0 Hz – 300 GHz), (1999/519/EK), Επίσημη εφημερίδα L 199/59 που δημοσιεύτηκε στις 30.7.1999.
- [18] Ordonnance sur la protection contre le rayonnement non ionisant (ORNI), du 23 décembre 1999 (Etat le 1er juillet 2012).
- [19] Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV), vom 23. Dezember 1999 (Stand am 1. Juli 2012).
- [20] Υ.Α. 3060(ΦΟΡ) 238/2002, Μέτρα προφύλαξης του κοινού από τη λειτουργία διατάξεων εκπομπής ηλεκτρομαγνητικών πεδίων χαμηλών συχνοτήτων, Φ.Ε.Κ. 512/Β'/25.4.2002.
- [21] Υ.Α. 2300 ΕΦΑ (493)/2008, Τρόπος διενέργειας των μετρήσεων για την τήρηση των ορίων ασφαλούς έκθεσης του κοινού σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία από κάθε κεραία, Φ.Ε.Κ. 346/Β'/3.3.2008.
- [22] IEC Statutes and Rules of Procedure, IEC. 2011-07-01, p. 30.

- [23] IEEE-SA - About the IEEE Standards Association | <http://standards.ieee.org/about/index.html> (n.d.). Retrieved October, 2014.
- [24] About CERN | <http://home.web.cern.ch/> (n.d.). Retrieved October, 2014.
- [25] G. Gumer, Description of the CERN Electrical Network, EDMS No.559013.
- [26] Donald G. Fink and H. Wayne Beaty, Standard Handbook for Electrical Engineers, Eleventh Edition, McGraw-Hill, New York, 1978, ISBN 0-07-020974-X, Chapter 14 Overhead Power Transmission.
- [27] CERN Electrical Power Consumption Flyer 2012.
- [28] I.O. Habiballah, M.M. Dawoud, K. Al-Balawi, A.S. Farag KFUPM, Dhahran, Magnetic Field Measurement & Simulation of A 230 kV Substation.
- [29] N.A. Rahman, N.A. Rashid, W.N. Mahadi and Z. Rasol, Magnetic Field Management of Substations in High-Rise Buildings.
- [30] N.A. Rahman, N.A. Rashid, W.N. Mahadi and Z. Rasol, Electromagnetic Fields in Substations - Sources Modeling and Measurements.
- [31] De Kock, Jan, Strauss, Cobus (2004). Practical Power Distribution for Industry. Elsevier. pp. 74-75. ISBN 978-0-7506-6396-0.
- [32] Deb, Anjan K. Power Line Ampacity System. CRC Press. pp. 169-171. ISBN 978-0-8493-1306-6.
- [33] Song, Y.H., Johns, A.T. Flexible ac transmission systems. IEE. ISBN 0-85296-771-3.
- [34] Hingorani, N.G. & Gyugyi, L. Understanding FACTS - Concepts and Technology of Flexible AC Transmission Systems. IEEE. ISBN 0-7803-3455-8.
- [35] Ryan, H.M. (2001). High Voltage Engineering and Testing. IEE. pp. 160-161. ISBN 978-0-85296-775-1.
- [36] Karsten KAHLE John PEDERSEN, Tomas LARSSON Marcio Magalhães de OLIVEIRA, The new 150 MVAR, 18 KV Static VAR Compensator at CERN: background, design and commisioning, Barcelona, 12-15 May 2003.

- [37] Uninterruptible Power Supplies, European guide, by the European Committee of Manufacturers of Electrical Machines and Power Electronics (CEMEP).
- [38] ETSI EN 300 392-2 v3.2.1 (2007-09), European Standard (Telecommunications series), Terrestrial Trunked Radio (TETRA).
- [39] TETRA Health & Safety - Overview, Tetra Industry Group (TIG).
- [40] CERN Bulletin, 17 December 2012.
- [41] "Litton - For Heat, Tune to 915 or 2450 Megacycles". Litton Industries, 1965. Southwest Museum of Engineering, Communications and Computation. 2007.
- [42] Schmitt, Ron (2002). Electromagnetics Explained: a handbook for wireless/RF, EMC, and high-speed electronics. Burlington, MA, USA: Elsevier. p. 343. ISBN 978-0-7506-7403-4. Retrieved 3 December 2012.
- [43] Radiation Safety of Microwave Ovens, Canadian Centre for Occupational Health and Safety (CCOHS).
- [44] Frei, MR, Jauchem, JR, Dusch, SJ, Merritt, JH, Berger, RE, Stedham, MA (1998). "Chronic, low-level (1.0 W/kg) exposure of mice prone to mammary cancer to 2450 MHz microwaves".
- [45] Frei, MR, Berger, RE, Dusch, SJ, Guel, V, Jauchem, JR, Merritt, JH, Stedham, MA (1998). "Chronic exposure of cancer-prone mice to low-level 2450 MHz radiofrequency radiation".
- [46] Gould, R. Gordon (1959). The LASER, Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation. In Franken, P.A. and Sands, R.H. (Eds.). The Ann Arbor Conference on Optical Pumping, the University of Michigan, p. 128.
- [47] Safety of laser products - Part 1: Equipment classification and requirements (2nd ed.). International Electrotechnical Commission. 2007.
- [48] Laser Safety Information, Laser Institute of America (LIA).
- [49] "Static Magnetic Fields, Report of the Independent Advisory Group on Non-ionising Radiation", Health Protection Agency.

- [50] Domenico Formica & Sergio Silvestr, Biological effects of exposure to magnetic resonance imaging: an overview, BioMedical Engineering OnLine (2004).
- [51] Shijiazhuang , Xijun, Z. , Sun Guozhi , Yang Jie, Yuan Qingyun, "Research on Frequency Characteristics of Signal Radiated from Corona Discharge", Electrostatic & Electromagnetic Protection Inst.
- [52] Ztoupis I.N., Gonos I.F., Stathopoulos I.A., «Uncertainty Evaluation in the Measurement of Power Frequency Electric and Magnetic Fields from AC Overhead Power Lines», Radiation Protection Dosimetry, Volume 157, no 1, pp. 11-21, January, 2013.
- [53] Ztoupis I.N., Gonos I.F., Stathopoulos I.A.: «Calculation of Power Frequency Fields from High Voltage Overhead lines in Residential Areas», Proceedings of the 18th International Symposium on High-Voltage Engineering (ISH 2013), Seoul, South Korea, August 25-30, 2013, paper PA-01, pp. 62-66.
- [54] Ζτούπης Ι.Ν, Γκόνοσ Ι.Φ., Σταθόπουλοσ Ι.Α.: «Μετρήσεις και υπολογισμοί ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων εναέριων γραμμών μεταφοράσ ηλεκτρικής ενέργειας», Σύνοδοσ Ε.Ε. CIGRE, Αθήνα, 12-13 Δεκεμβρίου 2013, Ενότητα ΣΤ: Ανάλυση Μετρήσεων: ΣΤ1.
- [55] Ζτούπης Ι.Ν, Νικολοπούλου Ε.Π., Καραμπέτσοσ Ε., Γκόνοσ Ι.Φ., Σταθόπουλοσ Ι.Α.: «Διεργασθηριακές μετρήσεις σε χαμηλόσυχνα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία», Σύνοδοσ Ε.Ε. CIGRE, Αθήνα, 12-13 Δεκεμβρίου 2013, Ενότητα ΣΤ: Ανάλυση Μετρήσεων: ΣΤ4.

Παράρτημα

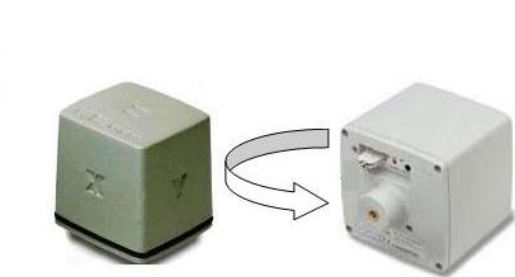
Α' Περιγραφή Πεδιομέτρου και Αισθητήρων

Για τους σκοπούς αυτής της εκστρατείας χρησιμοποιήθηκε το πεδιόμετρο PMM 8053A (Σχήμα Α'.1) της εταιρίας Narda. Για να καλυφθεί πλήρως το φάσμα συχνοτήτων από 5 Hz έως 40 GHz, χρησιμοποιήθηκαν οι ακόλουθοι 3 αισθητήρες:

- PMM EHP50A (Σχήμα Α'.2)
- PMM EP330 (Σχήμα Α'.3)
- PMM EP408 (Σχήμα Α'.4)



Σχήμα Α'.1: Μετρητικό όργανο PMM 8053A



Σχήμα Α'.2: Αισθητήρας PMM EHP50A



Σχήμα Α'.3: Αισθητήρας PMM EP330



Σχήμα Α'.4: Αισθητήρας PMM EP408

Ο πίνακας Α'.1 περιλαμβάνει τις τεχνικές προδιαγραφές του μετρητικού οργάνου.

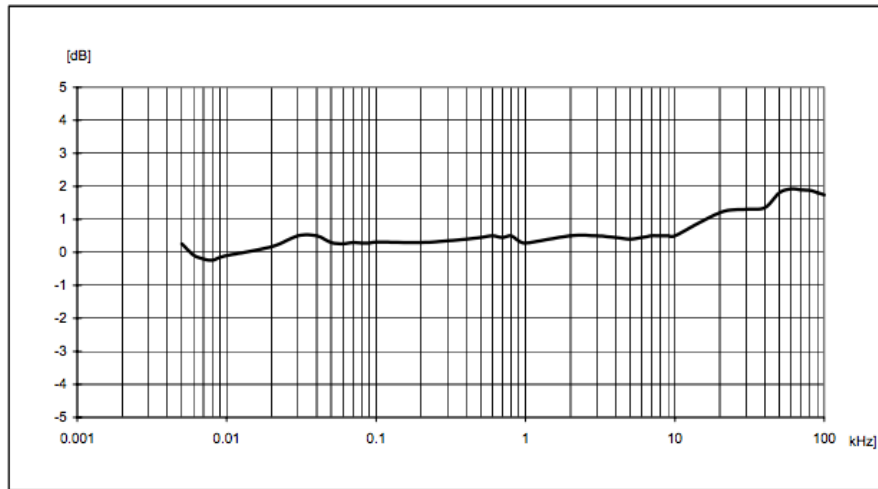
Πίνακας Α'.1: Τεχνικές προδιαγραφές του μετρητικού οργάνου PMM 8053A

Εύρος συχνοτήτων	5 Hz - 40 GHz
Μονάδες μέτρησης	V/m, kV/m, μ W/cm ² , mW/cm ² , W/m ² , A/m, nT, μ T, mT
Μετρούμενο πεδίο	X, Y, Z σε απόλυτες τιμές ή επί τοις εκατό και συνολικό
Εσωτερική μνήμη	Έως 32700 μετρήσεις
Είσοδος	Απ' ευθείας με σύνδεση Fischer ή μέσω οπτικής ίνας
Έξοδος	LCD οθόνη 72 x 72 mm 128 x 128 pixel, RS232 ή μέσω οπτικής ίνας
Εσωτερική μπαταριά	Επαναφορτιζόμενες NiMH μπαταριές (5 x 1,2V)
Χρόνος λειτουργίας	>24 ώρες
Χρόνος επαναφόρτισης	<4 ώρες
Τροφοδοσία	DC, 10-15V, 500mA
Θερμοκρασία λειτουργίας	-10 έως +40°C
Θερμοκρασία αποθήκευσης	-20 έως +70°C
Διαστάσεις (WxHxD)	108 x 240 x 50 mm
Βάρος	1,07kg

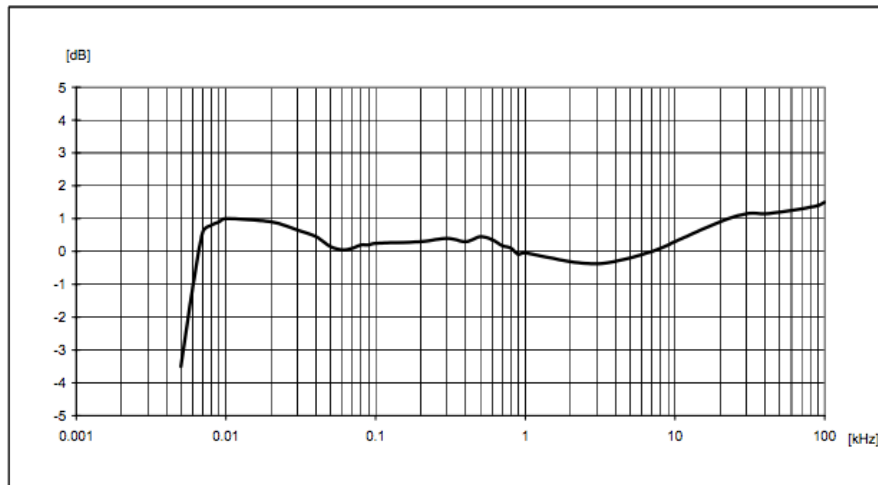
Οι πίνακες Α'.2, Α'.3, Α'.4 περιλαμβάνουν τις τεχνικές προδιαγραφές των διαθέσιμων αισθητήρων και τα σχήματα Α'.5, Α'.6, Α'.7 και Α'.8 τις τυπικές αποκρίσεις συχνότητας αυτών.

Πίνακας Α΄.2: Τεχνικές προδιαγραφές του αισθητήρα PMM EHP50A

	Ηλεκτρικό πεδίο	Μαγνητικό πεδίο
Εύρος συχνοτήτων		5 Hz - 100 kHz
Επίπεδο κλίμακας	0.1 V/m - 100 kV/m	10 nT - 10 mT
Υπερφόρτιση	200 kV/m	20 mT
Δυναμικό εύρος		>120 dB
Ανάλυση	0.01 V/m	1 nT
Ευαισθησία	0.1 V/m	10 nT
Απόλυτο σφάλμα	± 0.8 dB (@ 50 Hz 1 kV/m)	± 0.8 dB (@ 50 Hz 0.1 mT)
Ομαλότητα (40 Hz - 10 kHz)	± 0.5 dB	± 0.5 dB
Ισοτροπία		± 1 dB
SPAN	100 Hz, 200 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 10 kHz, 100 kHz	
Συχνότητα έναρξης		1.2% του SPAN
Συχνότητα λήξης		Ίση με του SPAN
Απόρριψη ηλ. πεδίου	-	>20 dB
Απόρριψη μαγν. πεδίου	>20 dB	-
Βαθμονόμηση		Εσωτερική σε μνήμη E ² PROM
Σφάλμα θερμοκρασίας		0.05 dB/°C
Διαστάσεις		96 x 96 x 115 mm
Βάρος		780 g
Υποστήριξη τριπόδου		Εσοχή 1/4"
Εσωτερική μπαταρία		Επαναφορτιζόμενες NiMH μπαταρίες (5 x 1,2V)
Χρόνος λειτουργίας	>10 ώρες, >150 ώρες σε λειτουργία χαμηλής ισχύος	
Χρόνος επαναφόρτισης		<4 ώρες
Εξωτερική DC τροφοδοσία		DC, 10-15V, 200mA
Σύνδεση οπτικής ίνας		>80m
Ενημέρωση λογισμικού		Μέσω σειριακής θύρας
Θερμοκρασία λειτουργίας		-10 έως +40°C
Θερμοκρασία αποθήκευσης		-20 έως +70°C



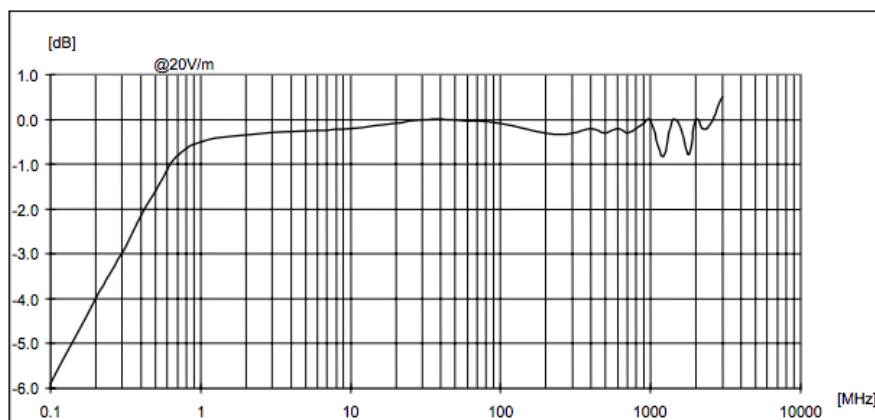
Σχήμα Α'.5: Τυπική απόκριση συχνότητας PMM EHP50A (ηλεκτρικό πεδίο)



Σχήμα Α'.6: Τυπική απόκριση συχνότητας PMM EHP50A (μαγνητικό πεδίο)

Πίνακας Α΄.3: Τεχνικές προδιαγραφές του αισθητήρα PMM EP330

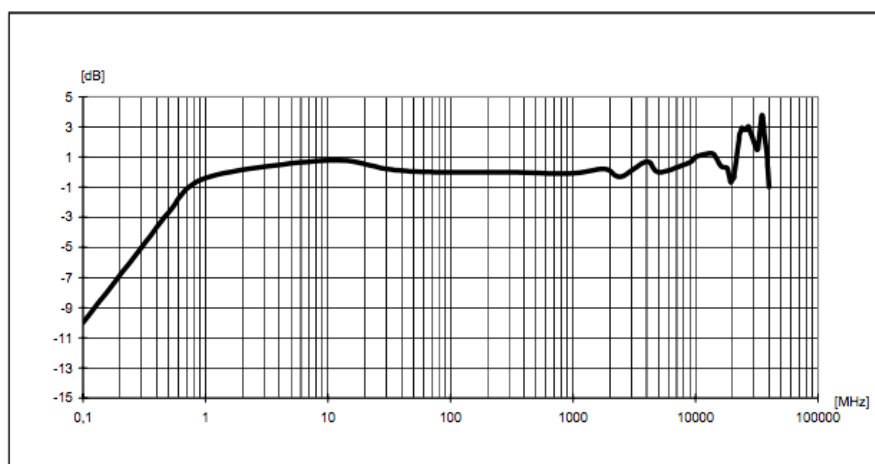
Εύρος συχνοτήτων	100 kHz - 3 GHz
Επίπεδο κλίμακας	0.3 - 300 V/m
Υπερφόρτιση	>600 V/m
Δυναμικό εύρος	>60 dB
Ανάλυση	0,01 V/m
Ευαισθησία	0,3 V/m
Απόλυτο σφάλμα @ 50 MHz 20 V/m	± 0.8 dB
Ομαλότητα (10 - 300 MHz)	± 0.5 dB
Ομαλότητα (3 MHz - 3 GHz)	± 1.5 dB
Ισοτροπία	± 1 dB
Απόρριψη ηλ. πεδίου	>20 dB
	$20^{\circ}C-60^{\circ}C = \pm 0.1 \text{ dB}$
	$0^{\circ}C-20^{\circ}C = -0,05 \text{ dB}/^{\circ}C$
	$-20^{\circ}C-0^{\circ}C = -0,15 \text{ dB}/^{\circ}C$
Σφάλμα θερμοκρασίας	Εσωτερική σε μνήμη E^2 PROM
	317 mm μήκος, 58 mm διάμετρος
Βαθμονόμηση	
Διαστάσεις	
Βάρος	100 g



Σχήμα Α΄.7: Τυπική απόκριση συχνότητας PMM EP330

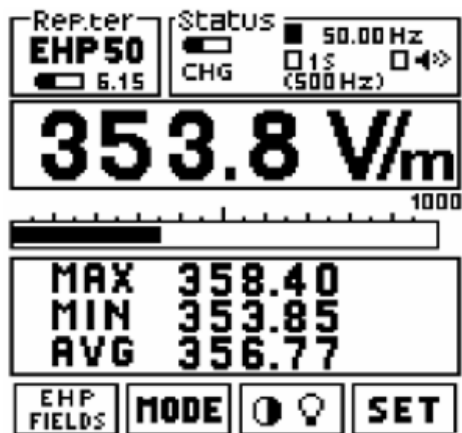
Πίνακας Α΄.4: Τεχνικές προδιαγραφές του αισθητήρα PMM EP408

Εύρος συχνοτήτων	1 MHz - 40 GHz
Επίπεδο κλίμακας	0.8 - 800 V/m
Υπερφόρτιση	>1000 V/m
Δυναμικό εύρος	>60 dB
Ανάλυση	0.01 V/m
Ευαισθησία	0.8 V/m
Απόλυτο σφάλμα @ 200 MHz 6 V/m	± 0.8 dB
Ομαλότητα (1 MHz - 1 GHz)	± 1.5 dB
Ομαλότητα (1 - 3 GHz)	± 2 dB
Ομαλότητα (3 - 18 GHz)	± 2.5 dB
Ομαλότητα (18 - 26.5 GHz)	± 3 dB
Ομαλότητα (26.5 - 40 GHz)	± 4 dB
Ισοτροπία @ 200 MHz	± 1 dB
Απόρριψη ηλ. πεδίου	>20 dB
Σφάλμα θερμοκρασίας	0.02 db ^o C
Βαθμονόμηση	Εσωτερική σε μνήμη E ² PROM
Διαστάσεις	317 mm μήκος, 52 mm διάμετρος
Βάρος	90 g



Σχήμα Α΄.8: Τυπική απόκριση συχνότητας PMM EP408

Το σχήμα Α'9 δείχνει ένα τυπικό στιγμιότυπο της οθόνης του μετρητικού οργάνου εν ώρα λειτουργίας. Οι πληροφορίες που εμφανίζονται στην οθόνη είναι:



Σχήμα Α'9: Τυπικό στιγμιότυπο της οθόνης του μετρητικού οργάνου

- στο κελί Rep.ter:
το μοντέλο του συνδεδεμένου αισθητήρα (EHP50) και η κατάσταση της μπαταρίας του,
- στο κελί Status:
το επίπεδο μπαταρίας του οργάνου,
η θεμελιώδης συχνότητα του μετρούμενου πεδίου (50Hz),
ο χρόνος αποτύπωσης (1s) ή ο αριθμός των στοιχείων του δείγματος,
το εύρος συχνοτήτων (500Hz),
- η ψηφιακή ένδειξη της μέτρησης. Η ένδειξη αυτή χρησιμοποιεί την μέτρηση για κάθε άξονα και υπολογίζεται για το συνιστάμενο ηλεκτρικό πεδίο με τον ακόλουθο τύπο:

$$V/m_{total} = \sqrt{E_x^2 + E_y^2 + E_z^2}$$

- η αναλογική τιμή της ένδειξης του οργάνου απεικονισμένη είτε γραμμικά είτε λογαριθμικά και

- οι λειτουργίες των επάνω τεσσάρων κουμπιών του οργάνου.

Ο αισθητήρας EHP50A συνδέεται στο πεδιόμετρο 8053A με τη βοήθεια οπτικής ίνας στην υποδοχή του πεδιομέτρου και του αισθητήρα με την επιγραφή OPTIC LINK, επιτρέποντας το χειρισμό του πεδιομέτρου εκτός του πεδίου δοκιμών. Οι αισθητήρες EP330 και EP408 συνδέονται απευθείας στο πεδιόμετρο.

Με το κουμπί EHP-FIELDS γίνεται η επιλογή ανάμεσα σε ηλεκτρικό πεδίο (V/m) και σε πυκνότητα μαγνητικής ροής (μT), όταν χρησιμοποιείται ο αισθητήρας EHP50A, ή μεταξύ ηλεκτρικού πεδίου (V/m), συσχετισμένου μαγνητικού πεδίου (A/m) ή συσχετισμένης ροής ισχύος (mW/cm^2), όταν χρησιμοποιείται ένας από τους άλλους δύο αισθητήρες ηλεκτρικού πεδίου.