



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

**Επεξεργασία και ανάλυση των επιπέδων ηλεκτρομαγνητικής
ακτινοβολίας σε «πάρκα» κεραιών και στο περιβάλλον
κεραιοδιατάξεων ραντάρ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΤΟΥ
ΠΑΝΑΓΙΩΤΗ Ι. ΚΟΥΤΡΟΥΜΠΗ

Επιβλέπουσα : Νικήτα Κωνσταντίνα
Καθηγήτρια Ε.Μ.Π

Αθήνα, Ιούλιος 2024



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

**Επεξεργασία και ανάλυση των επιπέδων ηλεκτρομαγνητικής
ακτινοβολίας σε «πάρκα» κεραιών και στο περιβάλλον
κεραιοδιατάξεων ραντάρ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

ΠΑΝΑΓΙΩΤΗ Ι. ΚΟΥΤΡΟΥΜΠΗ

Επιβλέπουσα : Νικήτα Κωνσταντίνα

Καθηγήτρια Ε.Μ.Π

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 8η Ιουλίου 2024

.....
Κωνσταντίνα Νικήτα

Καθηγήτρια Ε.Μ.Π

.....
Γεώργιος Στάμου

Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....
Αθανάσιος Βουλόδημος

Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Ιούλιος 2024

.....
Παναγιώτης Ι. Κουτρομπής

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π

Copyright © Παναγιώτης Ι. Κουτρομπής, 2024

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 πριν τον συγγραφέα.

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

Περίληψη

Η Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (ΕΕΑΕ) καθώς και συνεργαζόμενες ιδιωτικές εταιρείες έχουν πραγματοποιήσει τα τελευταία χρόνια πολλαπλές μετρήσεις τόσο σε πάρκα κεραιών, αποτελούμενα από κεραιοδιατάξεις κινητής τηλεφωνίας και ραδιοτηλεοπτικούς σταθμούς, όσο και σε εγκαταστάσεις κεραιοδιατάξεων ραντάρ. Στο πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας, παρουσιάζεται η επεξεργασία και η στατιστική ανάλυση αυτών των μετρήσεων με στόχο την ανίχνευση τυχόν υπερβάσεων. Για τα πάρκα κεραιών πραγματοποιήθηκε στατιστική ανάλυση λαμβάνοντας υπόψη α) τις υπηρεσίες (FM, VHF, TETRA, TV UHF, GSM-900, GSM-1800, UMTS, WiFi) ανά έτος, β) την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου και γ) το συνολικό λόγο έκθεσης ανά έτος. Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν για τις κεραιοδιατάξεις των ραντάρ χωρίστηκαν σε δύο κατηγορίες ανάλογα με τα όργανα μέτρησης (EMR-300, SRM-3006) που χρησιμοποιήθηκαν. Η στατιστική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε αφορά α) στην ένταση του ηλεκτρικού πεδίου, β) στην ένταση του μαγνητικού πεδίου γ) στην πυκνότητα ισχύος και δ) τον λόγο έκθεσης λ και λρ, ανά έτος. Από την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε για τα πάρκα κεραιών και για τα σημεία που παρουσιάζουν συγκεντρώσεις κεραιών βρέθηκε ότι η υπηρεσία που κυριαρχεί είναι το FM ενώ κάποια πάρκα κεραιών παρουσιάζουν τουλάχιστον μια υπέρβαση του ορίου ασφαλούς έκθεσης. Για τα ραντάρ βρέθηκε ότι για κάποια έτη υπάρχουν κάποιες ακραίες τιμές οι οποίες βρίσκονται εκτός των επιτρεπτών ορίων. Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα ανά τα έτη.

Λέξεις-κλειδιά: *πάρκα κεραιών, κεραιοδιατάξεις ραντάρ, λόγος έκθεσης, ένταση ηλεκτρικού πεδίου, πυκνότητα ισχύος, στατιστική επεξεργασία*

Abstract

In the past few years, the Greek Atomic Energy Commission (GAEC) and collaborating private companies have conducted several measurements in the antenna parks, consisting of mobile phone base stations and radio/TV broadcasters, as well as at radar installations. The diploma thesis presents statistical analysis and processing of these measurements to detect whether the reference levels are exceeded. For antenna parks statistical analysis is performed considering a) the services, separated by frequency bands (FM, VHF, TETRA, TV UHF, GSM-900, GSM-1800, UMTS, WiFi) per year, b) the electric field value and c) the total exposure ratio, per year. The measurements performed for radar installations are divided into two categories based on the used measuring methodology and instrumentation (EMR-300, SRM-3006). Statistical analysis was carried out concerning a) the electric field value b) the magnetic field value c) the power density and d) the total exposure ratio λ and λ_p per year. The analysis conducted on antenna parks and areas with concentrations of antennas showed that the dominant service is FM, while some antenna parks exceed the safe exposure limit. For radar systems, it was found that in certain years, there are extreme values that fall outside the permissible limits. The intensity of the electric field has remained at low levels over the years.

Keywords: *antenna parks, radar installations, the electric field strength, power density, statistical analysis*

Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη.....	5
Abstract.....	7
Πίνακας Περιεχομένων.....	9
Πίνακας Πινάκων.....	11
Πίνακας Σχημάτων.....	13
Πρόλογος.....	14
Κεφάλαιο 1. Βιβλιογραφική Επισκόπηση.....	16
1.1 Έρευνες για την εκτίμηση της συνολικής εκπεμπόμενης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας 16	
1.1.1 Διεθνείς έρευνες για την αποτίμηση της έκθεσης του γενικού πληθυσμού σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.....	16
1.1.2 Έρευνες για την αποτίμηση της έκθεσης του γενικού πληθυσμού σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία στην Ελλάδα.....	20
Κεφάλαιο 2. Βασικές έννοιες και όρια έκθεσης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.....	21
2.1 Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.....	21
Εικόνα 2.1 Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα.....	22
Εικόνα 2.2 Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα και διαχωρισμός ακτινοβολιών σε Ιοντίζουσες και μη ακτινοβολίες.....	23
2.2 Δίκτυα κινητής τηλεφωνίας.....	26
2.2.1 Πώς λειτουργεί η κινητή τηλεφωνία.....	26
Εικόνα 2.3 Επικοινωνία κινητού τηλεφώνου με σταθμό βάσης μέσω ηλεκτρομαγνητικών σημάτων.....	26
Εικόνα 2.4 Θεωρητική μοντελοποίηση ενός δικτύου.....	27
2.2.2 Σταθμοί βάσης κινητής τηλεφωνίας.....	27
Εικόνα 2.5 Τυπική μορφή σταθμού βάσης.....	28
2.3 Πάρκα Κεραιών.....	29
Εικόνα 2.6 Πάρκο κεραιών.....	30
2.4 Ραντάρ.....	30
Εικόνα 2.7 Βασικά μέρη ραντάρ.....	30
Εικόνα 2.8 Αρχή λειτουργίας των ραντάρ.....	31
2.4.1 Κατηγορίες ραντάρ.....	32
2.5 Τα ραδιοκύματα.....	33
2.5.1.Πεδία ραδιοσυχνοτήτων.....	33
2.6 Βιολογική επίδραση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.....	35
2.7 Τα όρια για την έκθεση στην Ευρωπαϊκή Ένωση.....	36
2.7.1.Επίπεδα αναφοράς για το γενικό πληθυσμό.....	37
2.7.2 Όρια για τους επαγγελματικά απασχολούμενους σε χώρους έκθεσης σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.....	39
2.8 Τα όρια στην Ελλάδα.....	41
Κεφάλαιο 3.Μεθοδολογία, εξοπλισμός μετρήσεων και θεμελιώδεις έννοιες.....	46
3.1 Οι Αρμοδιότητες της ΕΕΑΕ για τις μη ιοντίζουσες ακτινοβολίες.....	46
3.2 Διαδικασία μετρήσεων.....	47
3.3 Εξοπλισμός Μέτρησης.....	48
3.4 Διαδικασία μέτρησης.....	54

3.4.1 Εξοπλισμός Μέτρησης.....	54
3.4.1.1 Διαδικασία μέτρησης με EMR-300.....	55
3.4.1.2 Διαδικασία μέτρησης με SRM-3000 και SRM-3006.....	58
3.5 Θεμελιώδεις έννοιες.....	60
3.5.1 Λόγος έκθεσης.....	60
3.5.2 Συνολικός λόγος έκθεσης.....	61
3.5.3 Όρια ασφαλούς έκθεσης και συνολικός λόγος έκθεσης.....	61
3.5.4 Αβεβαιότητα συνολικού λόγου έκθεσης.....	62
3.5.5 Ορισμός στατιστικών μεγεθών.....	63
3.5.6 Σταθμισμένες τιμές υπηρεσιών.....	64
Κεφάλαιο 4. Ανάλυση και παρουσίαση των μετρήσεων για τα πάρκα κεραιών.....	65
4.1 Θεωρητική περιγραφή δεδομένων.....	65
4.2 Κατηγοριοποίηση ανά υπηρεσίες.....	66
4.3 Κατηγοριοποίηση υπηρεσιών ανά έτος.....	67
4.4 Χαρακτηριστικά του Συνολικού λόγου έκθεσης ανά έτος.....	70
4.5 Ένταση ηλεκτρικού πεδίου.....	71
4.6 Πάρκα με πιθανή υπέρβαση του ορίου ασφαλούς έκθεσης και μελέτη μείωσης της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας τους ανά τα έτη.....	73
4.7 Συμπεράσματα για την μελέτη των πάρκων κεραιών.....	82
4.8 Ανάλυση και παρουσίαση των μετρήσεων για τις τοποθεσίες που παρουσιάζουν συγκέντρωση πολλών κεραιοδιατάξεων.....	83
4.8.1 Θεωρητική περιγραφή δεδομένων.....	83
4.8.2 Κατηγοριοποίηση ανά υπηρεσίες.....	84
4.8.3 Κατηγοριοποίηση υπηρεσιών ανά έτος.....	85
4.8.4 Χαρακτηριστικά του Συνολικού λόγου έκθεσης ανά έτος.....	87
4.8.5 Ένταση ηλεκτρικού πεδίου.....	89
4.8.6 Συμπεράσματα για την μελέτη των σημείων με μεγάλη συγκέντρωση κεραιών.....	91
Κεφάλαιο 5. Ανάλυση και παρουσίαση των μετρήσεων για τα ραντάρ.....	91
5.1 Περιγραφή δεδομένων.....	91
5.2 Μετρήσεις με όργανο μέτρησης EMR-300.....	92
5.2.1 Κατηγοριοποίηση έντασης ηλεκτρικού πεδίου ανά έτος.....	92
5.2.2 Κατηγοριοποίηση έντασης μαγνητικού πεδίου ανά έτος.....	93
5.2.3 Κατηγοριοποίηση πυκνότητας ισχύος ανά έτος.....	95
5.2.4 Κατηγοριοποίηση λόγου έκθεσης λ και λόγου έκθεσης λρ ανά έτος.....	97
5.2.5 Συμπεράσματα για τις μετρήσεις στα ραντάρ με το όργανο μέτρησης EMR-300.....	99
5.3 Μετρήσεις με όργανο μέτρησης SRM-3006.....	100
5.3.1 Κατηγοριοποίηση έντασης ηλεκτρικού πεδίου ανά έτος.....	100
5.3.2 Κατηγοριοποίηση λόγου έκθεσης λ και λόγου έκθεσης λρ ανά έτος.....	101
5.3.3 Συμπεράσματα για τις μετρήσεις στα ραντάρ με το όργανο μέτρησης SRM-3006.....	104
Κεφάλαιο 6. Γενικά συμπεράσματα.....	105
6.1 Πάρκα Κεραιών.....	105
6.2 Σημεία με μεγάλη συγκέντρωση κεραιών.....	106
6.3 Μετρήσεις ραντάρ με το όργανο EMR-300.....	106
6.4 Μετρήσεις ραντάρ με το όργανο SRM-3006.....	107

Πίνακας Πινάκων

Πίνακας 2.1 Βασικοί περιορισμοί της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την απορροφούμενη ενέργεια στο σώμα ενός ανθρώπου που ανήκει στην ομάδα του γενικού πληθυσμού από την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία στην περιοχή των ραδιοσυχνοτήτων.....	38
Πίνακας 2.2 Επίπεδα αναφοράς για την έκθεση του γενικού πληθυσμού σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία από 100 KHz έως 300 GHz κατά μέσο όρο για χρόνο μέτρησης 30 λεπτών σε όλο το σώμα.....	38
Πίνακας 2.3 Επίπεδα αναφοράς για το γενικό πληθυσμό όσον αφορά τις κυριότερες συχνότητες εφαρμογής.....	39
Πίνακας 2.4 Επίπεδα αναφοράς για την έκθεση των επαγγελματικά εκτιθέμενων σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία από 100 KHz έως 300 GHz κατά μέσο όρο για χρόνο μέτρησης 30 λεπτών σε όλο το σώμα.....	40
Πίνακας 2.5 Επίπεδα αναφοράς για τους επαγγελματικά απασχολούμενους όσον αφορά τις κυριότερες συχνότητες εφαρμογής.....	41
2.8 Τα όρια στην Ελλάδα.....	41
Πίνακας 2.6 Βασικοί περιορισμοί της Σύστασης της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την πυκνότητα του επαγόμενου ρεύματος στην περιοχή συχνοτήτων 100kHz-10MHz.....	42
Πίνακας 2.7 Βασικοί περιορισμοί της Σύστασης της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την απορροφούμενη ενέργεια από την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία στην περιοχή συχνοτήτων 100kHz-10GHz	43
Πίνακας 2.8 Βασικοί περιορισμοί της Σύστασης της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την πυκνότητα ισχύος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στην περιοχή συχνοτήτων 10-300GHz.....	44
Πίνακας 2.9 Επίπεδα αναφοράς της Ελληνικής Νομοθεσίας σε διάφορες περιοχές συχνοτήτων όπως προκύπτουν για συντελεστή μείωσης 70% και 60% για τα μεγέθη της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου (E), της έντασης του μαγνητικού πεδίου (H) και της ισοδύναμης πυκνότητας ισχύος επίπεδου κύματος (P).....	45
Πίνακας 3.1. Φασματικές περιοχές που συνήθως χρησιμοποιούνται για την ανάλυση των μετρούμενων πεδίων ανά υπηρεσίαν με χρήση της Ισοτροπικής Κεραίας Ηλεκτρικού Πεδίου Υψηλών Συχνοτήτων E- field antenna (27MHz – 3 GHz).....	51
Πίνακας 3.2. Φασματικές περιοχές που συνήθως χρησιμοποιούνται για την ανάλυση των μετρούμενων πεδίων ανά υπηρεσία με χρήση της Ισοτροπικής Κεραίας Ηλεκτρικού Πεδίου Υψηλών Συχνοτήτων E- field antenna (420 MHz – 6 GHz).....	52
Πίνακας 3.3 Φασματικές περιοχές που συνήθως χρησιμοποιούνται για την ανάλυση των μετρούμενων πεδίων ανά υπηρεσία.....	57
Πίνακας 4.1 Στοιχεία για τα πάρκα κεραιών που μετρήθηκαν.....	65
Πίνακας 4.2 Στατιστικά στοιχεία υπηρεσιών.....	66
Πίνακας 4.3 Πλήθος υπηρεσιών ανά έτος που συμμετέχουν στην τριάδα τιμών που	

απομονώθηκε - Συνολικός αριθμός μετρήσεων έτους.....	68
Πίνακας 4.4 Σταθμισμένη μέση τιμή λόγου έκθεσης.....	68
Πίνακας 4.5 Σταθμισμένη διάμεσος τιμή λόγου έκθεσης.....	69
Πίνακας 4.6 Χαρακτηριστικά του συνολικού λόγου έκθεσης ανα έτος.....	71
Πίνακας 4.7 Ποσοστιαία (%) κατανομή συχνότητας εμφάνισης μετρήσεων, συναρτήσει ομαδοποιημένων τιμών της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου.....	72
Πίνακας 4.8 Πολλαπλές μετρήσεις για κάθε ένα πάρκο κεραιών που παρουσιάζει πιθανή υπέρβαση.....	74
Πίνακας 4.9 Στοιχεία για τα σημεία με συγκέντρωση κεραιών που μετρήθηκαν.....	84
Πίνακας 4.10 Στατιστικά στοιχεία υπηρεσιών.....	85
Πίνακας 4.11 Πλήθος υπηρεσιών ανά έτος που συμμετέχουν στην τριάδα τιμών που απομονώθηκε - Συνολικός αριθμός μετρήσεων έτους.....	86
Πίνακας 4.12 Σταθμισμένη μέση τιμή λόγου έκθεσης.....	87
Πίνακας 4.13 Σταθμισμένη διάμεσος τιμή λόγου έκθεσης.....	87
Πίνακας 4.14 Χαρακτηριστικά του συνολικού λόγου έκθεσης ανα έτος.....	89
Πίνακας 4.15 Ποσοστιαία (%) κατανομή συχνότητας εμφάνισης μετρήσεων, συναρτήσει ομαδοποιημένων τιμών της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου.....	90
Πίνακας 5.1 Χαρακτηριστικά της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου ανα έτος.....	92
Πίνακας 5.2 Χαρακτηριστικά της έντασης του μαγνητικού πεδίου ανα έτος.....	94
Πίνακας 5.3 Χαρακτηριστικά της πυκνότητας ισχύος ανα έτος.....	96
Πίνακας 5.4 Χαρακτηριστικά του λόγου έκθεσης λ ανά έτος.....	97
Πίνακας 5.5 Χαρακτηριστικά του λόγου έκθεσης λρ ανά έτος.....	98
Πίνακας 5.6 Χαρακτηριστικά της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου ανα έτος.....	100
Πίνακας 5.7 Χαρακτηριστικά του λόγου έκθεσης λ ανά έτος.....	102
Πίνακας 5.8 Χαρακτηριστικά του λόγου έκθεσης λρ ανά έτος.....	103

Πίνακας Σχημάτων

Σχήμα 4.1 Σταθμισμένη μέση τιμή και σταθμισμένη διάμεσος του λόγου έκθεσης κάθε υπηρεσίας.....	67
Σχήμα 4.2 Σταθμισμένη μέση τιμή και σταθμισμένη διάμεσος του λόγου έκθεσης υπηρεσίας ανά έτος.....	69
Σχήμα 4.3 Διακύμανση και κατανομή συνολικού λόγου έκθεσης ανά έτος.....	71
Σχήμα 4.4 Ποσοστιαία (%) κατανομή συχνότητας εμφάνισης μετρήσεων, συναρτήσει ομαδοποιήσεων τιμών της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου.....	72
Σχήμα 4.5 Συνολικός λόγος έκθεσης όρος Λυκόδημο Μεσσηνίας.....	75
Σχήμα 4.6 Συνολικός λόγος έκθεσης Βασιλικό Ηρακλείου.....	76
Σχήμα 4.7 Συνολικός λόγος έκθεσης για Πολύγυρο Χαλκιδικής.....	76
Σχήμα 4.8 Συνολικός λόγος έκθεσης για όρος Κτυπάς Εύβοιας.....	77
Σχήμα 4.9 Συνολικός λόγος έκθεσης για Υμηττό Αττικής.....	77
Σχήμα 4.10 Συνολικός λόγος έκθεσης για όρος Παντοκράτωρ Κέρκυρας.....	78
Σχήμα 4.11 Συνολικός λόγος έκθεσης για Λαζάρηδες Αττικής.....	78
Σχήμα 4.12 Συνολικός λόγος έκθεσης για Λέσβο Δωδεκανήσου.....	79
Σχήμα 4.13 Συνολικός λόγος έκθεσης για Λέσβο Δωδεκανήσου.....	79
Σχήμα 4.14 Συνολικός λόγος έκθεσης για Καλλιθέα Φωκίδας.....	80
Σχήμα 4.15 Συνολικός λόγος έκθεσης για Σέρβια Κοζάνης.....	81
Σχήμα 4.16 Συνολικός λόγος έκθεσης για Τσουκαλά Χαλκιδικής.....	81
Σχήμα 4.17 Συνολικός λόγος έκθεσης για Καλαμάτα Μεσσηνίας.....	82
Σχήμα 4.18 Σταθμισμένη μέση τιμή και σταθμισμένη διάμεσος του λόγου έκθεσης κάθε υπηρεσίας.....	84
Σχήμα 4.19 Σταθμισμένη μέση τιμή και σταθμισμένη διάμεσος τιμή λόγου έκθεσης υπηρεσίας ανά έτος.....	87
Σχήμα 4.20 Διακύμανση και κατανομή συνολικού λόγου έκθεσης ανά έτος.....	89
Σχήμα 4.21 Ποσοστιαία (%) κατανομή συχνότητας εμφάνισης μετρήσεων, συναρτήσει ομαδοποιήσεων τιμών της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου.....	90
Σχήμα 5.1 Διακύμανση και κατανομή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου ανά έτος.....	93
Σχήμα 5.2 Διακύμανση και κατανομή της έντασης του μαγνητικού πεδίου ανά έτος.....	94
Σχήμα 5.3 Διακύμανση και κατανομή της πυκνότητας ισχύος ανά έτος.....	96
Σχήμα 5.4 Διακύμανση και κατανομή του λόγου έκθεσης λ ανά έτος.....	98
Σχήμα 5.5 Διακύμανση και κατανομή του λόγου έκθεσης λρ ανά έτος.....	99
Σχήμα 5.6 Διακύμανση και κατανομή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου ανά έτος.....	101
Σχήμα 5.7 Διακύμανση και κατανομή του λόγου έκθεσης λ ανά έτος.....	103
Σχήμα 5.8 Διακύμανση και κατανομή του λόγου έκθεσης λρ ανά έτος.....	104

Πρόλογος

Στη διπλωματική εργασία παρουσιάζεται η επεξεργασία και η ανάλυση των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν με σκοπό την αποτίμηση της εκπεμπόμενης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από τις κεραιοδιατάξεις των πάρκων κεραιών και των ραντάρ. Το κίνητρο για τη συγκεκριμένη εργασία είναι μέσα από την ανάλυση των δεδομένων που συλλέξαμε να διαπιστώσουμε τυχόν υπερβάσεις των ορίων ασφαλούς έκθεσης του πληθυσμού σε πανελλαδική κλίμακα, όπως αυτές προκύπτουν από τις εγκαταστάσεις των εν λόγω κεραιοδιατάξεων.

Για τη στατιστική ανάλυση των πάρκων κεραιών χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από την ιστοσελίδα της Ελληνικής Επιτροπής Ατομικής Ενέργειας (ΕΕΑΕ) όπως αυτά προέκυψαν από τις μετρήσεις που πραγματοποίησαν τόσο κλιμάκια της υπηρεσίας όσο και συνεργαζόμενες ιδιωτικές εταιρείες. Οι μετρήσεις αυτές αφορούν τα έτη 2010 έως και 2016. Επίσης έγινε καταγραφή και ανάλυση του συνολικού λόγου έκθεσης στα πάρκα όπου υπήρξε υπέρβαση των ορίων ασφαλούς έκθεσης σε συγκεκριμένες χρονιές καθώς και περαιτέρω έλεγχος συμμόρφωσης αυτών των τιμών σε μελλοντικό χρόνο.

Για τις κεραιοδιατάξεις των ραντάρ χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από τις εκθέσεις μετρήσεων οι οποίες συντάχθηκαν από το προσωπικό της ΕΕΑΕ. Οι μετρήσεις αυτές αφορούν τα έτη 2002 έως και 2015. Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε ύστερα από το διαχωρισμό των μετρήσεων των ραντάρ σε δυο κατηγορίες (παλιό και νέο σύστημα) ανάλογα με το όργανο και τη μεθοδολογία μέτρησης που ακολουθήθηκε.

Η διπλωματική εργασία δομείται σε έξι κεφάλαια, το περιεχόμενο των οποίων αναλύεται ακολουθώς:

Στο **Κεφάλαιο 1** παρουσιάζονται διεθνείς μελέτες για την εκπεμπόμενη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που έχουν πραγματοποιηθεί από διάφορους ερευνητές με στόχο να διερευνηθεί κατά πόσο η ακτινοβολία που δέχεται ο πληθυσμός από την ραγδαία αύξηση των σταθμών βάσης είναι εντός των επιτρεπόμενων ορίων. Τέλος παρουσιάζονται και μελέτες από Έλληνες ερευνητές με σκοπό την αποτίμηση της έκθεσης σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία του πληθυσμού της Ελλάδας.

Το **Κεφάλαιο 2** περιλαμβάνει το θεωρητικό υπόβαθρο της διπλωματικής εργασίας αναλύοντας αρχικά την γενικότερη έννοια του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου καθώς και τα προβλεπόμενα επίπεδα αναφοράς που ορίζονται από τις διεθνείς επιτροπές και υιοθετούνται από το νομικό πλαίσιο της εκάστοτε χώρας. Στη συνέχεια γίνεται αναφορά στην αρχή λειτουργίας των κινητών επικοινωνιών όπως είναι η ζώνη συχνοτήτων που εκπέμπει η κάθε υπηρεσία, καθώς και ανάλυση των υπηρεσιών που παρέχονται. Τέλος γίνεται αναφορά στον τρόπο λειτουργίας των ραντάρ, στις συχνότητες που χρησιμοποιούνται καθώς και αναλυτικά στους τύπους ραντάρ.

Το **Κεφάλαιο 3** περιγράφει τη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε τόσο για τη συλλογή των δεδομένων μέτρησης όσο και για την ανάλυση των δεδομένων καθώς επίσης και τον εξοπλισμό που χρησιμοποιήθηκε κατά τη διάρκεια των μετρήσεων στο περιβάλλον των πάρκων κεραιών καθώς και των κεραιοδιατάξεων ραντάρ.

Το **Κεφάλαιο 4** περιλαμβάνει την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε για τα μετρημένα επίπεδα ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στο περιβάλλον των πάρκων κεραιών καθώς και σε σημεία που συγκεντρώνουν μεγάλο αριθμό κεραιοδιατάξεων. Παρουσιάζονται τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από την ιστοσελίδα της ΕΕΑΕ καθώς και το μαθηματικό υπόβαθρο που χρησιμοποιήθηκε για τη στατιστική ανάλυσή τους.

Τα αποτελέσματα απεικονίζονται σε διαγράμματα, συνοψίζοντας τα αντίστοιχα συμπεράσματα.

Το **Κεφάλαιο 5** περιλαμβάνει την ανάλυση των μετρούμενων επιπέδων ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στο περιβάλλον των κεραιοδιατάξεων των ραντάρ. Θα παρουσιαστούν οι δυο κατηγορίες στις οποίες χωρίσαμε τις μετρήσεις όπως αυτές προκύπτουν από τη μεθοδολογία μέτρησης και τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν. Επίσης για την κάθε κατηγορία θα γίνει παρουσίαση των δεδομένων που συλλέχθηκαν από τις εκθέσεις των μετρήσεων που συνέταξε το προσωπικό της ΕΕΑΕ, όπως επίσης και σχετικά διαγράμματα που συνοψίζουν τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης.

Το **Κεφάλαιο 6** περιλαμβάνει τα γενικά συμπεράσματα που προκύπτουν από την ανάλυση των δεδομένων.

Κεφάλαιο 1. Βιβλιογραφική Επισκόπηση

Η ραγδαία ανάπτυξη της κινητής τηλεφωνίας τα τελευταία χρόνια έχει ως αποτέλεσμα τον πολλαπλασιασμό των σταθμών βάσεων, με σκοπό την εξυπηρέτηση όλο και περισσότερων χρηστών. Ειδικότερα τις τελευταίες δύο δεκαετίες η έκθεση των ανθρώπων σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία (RF-EMF) λόγω αυτής της εξάρσης του αριθμού των σταθμών βάσεων έχει επιφέρει ανησυχία στους κατοίκους των πόλεων, εκεί όπου παρατηρείται και ο μεγαλύτερος όγκος κεραιών. Τη μεγαλύτερη συμβολή στην εκπομπή της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας κατέχουν τόσο οι κεραιές κινητής τηλεφωνίας όσο και οι κεραιές του Wi-Fi. Για το λόγο αυτό παγκοσμίως συλλέγονται πολλά δεδομένα από μετρήσεις σε σταθμούς βάσης και εξάγονται συμπεράσματα από διάφορες έρευνες με σκοπό να διαπιστωθεί ότι η έκθεση των πολιτών είναι εντός των επιτρεπόμενων ορίων τα οποία έχουν θεσπιστεί από την Διεθνή επιτροπή για την προστασία από τις μη ιοντίζουσες ακτινοβολίες (ICNIRP) σε συνεργασία με τον Παγκόσμιο οργανισμό υγείας (WHO) και το ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (IEEE). Τα δεδομένα που επεξεργάζονται οι μελέτες παγκοσμίως προέρχονται είτε από συστήματα συνεχούς παρακολούθησης (monitoring systems) δηλαδή 24ωρη μέτρηση και καταγραφή της εκπεμπόμενης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας των ραδιοσυχνοτήτων, είτε από επιτόπιες μετρήσεις στο περιβάλλον σταθμών βάσης (on-site measurements), είτε τέλος από προσωπικά δοσίμετρα (personal dosimeters). Παρακάτω θα παρουσιαστούν κάποιες από τις διεθνείς μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί σε διάφορα αστικά και μη περιβάλλοντα, σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους με σκοπό να διαπιστωθεί αν τα όρια ασφαλούς έκθεσης σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία τηρούνται. Τέλος θα παρουσιαστούν και κάποιες μελέτες που αφορούν την έκθεση του πληθυσμού της Ελλάδας σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία.

1.1. Έρευνες για την εκτίμηση της συνολικής εκπεμπόμενης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας

1.1.1 Διεθνείς έρευνες για την αποτίμηση της έκθεσης του γενικού πληθυσμού σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία

Στην Ινδία που είναι μια από τις μεγαλύτερες και ταχύτερα αναπτυσσόμενες βιομηχανίες τηλεπικοινωνιών στον κόσμο πραγματοποιήθηκε μια έρευνα (N. Jayaraju et al, 2023) για να διαπιστωθεί η τήρηση ή μη των θεσπισμένων ορίων έκθεσης σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Η έρευνα διεξήχθη σε διάφορες πόλεις μεταξύ των οποίων και στην πόλη Χαϊντεραμπάντ από την ομάδα μέσω ενημέρωσης TV9 η οποία και διαπίστωσε ότι τα όρια ακτινοβολίας είναι πολλές φορές υψηλότερα από το εύρος που καθορίζεται από την ICNIRP και ότι θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη σημασία στα όρια ακτινοβολίας και τις επιπτώσεις τους στην ανθρώπινη υγεία. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας μια ευρυζωνική μονοπολική κεραιά κέρδους 2dB και έναν αναλυτή φάσματος σε διάφορες θέσεις μπροστά από τους πύργους εκπομπής και σε διαφορετικές γωνίες από τον πύργο. Σημαντικό εύρημα της έρευνας ήταν επίσης ότι όλες οι εταιρίες κινητής τηλεφωνίας παραβίασαν τον νόμο περί προστασίας του περιβάλλοντος του 1986 τοποθετώντας σταθμούς βάσης και κεραιές κοντά σε ευαίσθητες περιοχές όπως σχολεία, νοσοκομεία και κατοικημένες περιοχές.

Οι ίδιες παραβάσεις σημειώθηκαν και σε άλλες μεγάλες πόλεις της Ινδίας στις οποίες πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις.

Μιας μεγαλύτερης κλίμακας μελέτη (S. Sagar et al, 2018) που πραγματοποιήθηκε σε πολυεθνικό επίπεδο έρχεται να απαντήσει στο ίδιο ερώτημα. Η έρευνα πραγματοποιήθηκε σε 94 υπαίθρια μικροπεριβαλλόντα και 18 μέσα μαζικής μεταφοράς σε έξι χώρες: Ελβετία, Αιθιοπία, Νεπάλ, Νότια Αφρική, Αυστραλία και Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής. Οι μετρήσεις λήφθηκαν μέσω φορητών συσκευών με υψηλό ρυθμό δειγματοληψίας είτε με περπάτημα φορώντας ένα σακίδιο με τις συσκευές στο ύψος του κεφαλιού και σε απόσταση 20-30 εκατοστών από το σώμα, είτε οδηγώντας ένα αυτοκίνητο με τις συσκευές τοποθετημένες στην οροφή του, οι οποίες ήταν σε ύψος 170-180 εκατοστών από το έδαφος. Κάθε ένα από τα επιλεγμένα 94 μικροπεριβαλλόντα μετρήθηκε δύο φορές μεταξύ 10 Μαρτίου 2015 και 14 Απριλίου 2017. Αυτή είναι η πρώτη μελέτη που εφαρμόζει παγκοσμίως το ίδιο πρωτόκολλο και τις ίδιες συσκευές (εκτός από τις Ηνωμένες Πολιτείες, όπου χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικά εύρη ζώνης συχνότητας) για την εξαγωγή συμπερασμάτων. Από τις μετρήσεις προέκυψε ότι η μέση συνολική έκθεση RF-EMF στα διάφορα υπαίθρια μικροπεριβαλλόντα κυμαίνεται μεταξύ 0,23 V/m και 1,85 V/m ενώ στα μέσα μαζικής μεταφοράς μεταξύ 0,32 V/m και 0,86 V/m. Η περισσότερη έκθεση προέρχεται από τη διαμετάδοση (downlink) σε υπαίθρια περιβάλλοντα, εκτός από την Αυστραλία όπου η εκπομπή (broadcasting) ήταν η πιο σημαντική πηγή. Η αναμετάδοση από τα κινητά τηλέφωνα (uplink) δεν είναι γενικά σημαντική σε υπαίθρια περιβάλλοντα. Τα δίκτυα WLAN ήταν αμελητέα σε όλα τα μετρημένα μικροπεριβαλλόντα. Στο συμπέρασμα που κατέληξε η συγκεκριμένη μελέτη δείχνει ότι τα μέσα επίπεδα συνολικής έκθεσης σε πηγές ακτινοβολίας RF-EMF σε όλες τις χώρες βρίσκονται σημαντικά κάτω από τα όρια οδηγιών της ICNIRP για τον γενικό πληθυσμό (ICNIRP, 1998).

Στη μελέτη (C. Kurnaz et al, 2020) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν τα έτη 2016-2018 σε μία από τις μεγαλύτερες περιοχές της Τουρκίας την Altinordu της πόλης Ordu με σκοπό να διαπιστωθούν τυχόν αποκλίσεις των τιμών από τα θεσπισμένα από την ICNIRP όρια έκθεσης του πληθυσμού σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Επιλέχθηκαν 500 σημεία της περιοχής για να μετρηθεί η αύξηση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με την εισαγωγή του σήματος 4G. Οι μετρήσεις χωρίστηκαν σε τρία στάδια. Στο πρώτο στάδιο κατά τα έτη 2016 - 2017 πραγματοποιήθηκαν βραχυπρόθεσμες μετρήσεις RF-EMF στην περιοχή συχνοτήτων 100kHz – 3GHz. Η υψηλότερη τιμή Eavg που μετρήθηκε ήταν 4,55 V/m το έτος 2016 η οποία ήταν κατά 21,66% χαμηλότερη από το χαμηλότερο επίπεδο αναφοράς της ICTA και κατά 16,25% χαμηλότερη από το χαμηλότερο επίπεδο αναφοράς της ICNIRP. Το 2017 η τιμή Eavg αυξήθηκε στα 5,86 V/m. Ο μέσος όρος όλων των βραχυπρόθεσμων μετρήσεων RF-EMF το έτος 2016 ήταν 0,39 V/m ο οποίος αυξήθηκε το έτος 2017 σε 0,79 V/m αύξηση της τάξης του 102,5%. Αυτό οφείλεται στην εισαγωγή του σήματος 4G το 2017. Στο δεύτερο στάδιο πραγματοποιήθηκαν 24 ωρες μακροπρόθεσμες μετρήσεις για να προσδιοριστεί η διακύμανση του RF-EMF κατά τη διάρκεια της ημέρας. Οι μέγιστες συνολικές και μέσες τιμές RF-EMF αντιστοιχούσαν στις τιμές 9,54 V/m και 5,13 V/m αντίστοιχα, τιμές πολύ χαμηλότερες από το χαμηλότερο επίπεδο αναφοράς της ICTA. Στο τρίτο και τελευταίο στάδιο πραγματοποιήθηκαν επιλεκτικές μετρήσεις ζώνης RF-EMF στις ίδιες θέσεις που έχουν πραγματοποιηθεί οι μακροπρόθεσμες μετρήσεις του δεύτερου σταδίου. Από όλες τις τοποθεσίες που μετρήθηκαν, το υψηλότερο μέσο επίπεδο RF-EMF ήταν 5,013 V/m στο οποίο καθοριστική ήταν η συμβολή του FM. Την μεγαλύτερη συνεισφορά στο RF-EMF ήταν από τους σταθμούς βάσης με 57,3% επί

των συνολικών μετρήσεων και τιμή 2,284 V/m για τη ζώνη LTE 800. Τέλος από όλες τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν βρέθηκε ότι όλες οι τιμές βρίσκονται πιο κάτω από τα όρια που έχουν τεθεί από την ICTA και την ICNIRP. Ωστόσο παρατηρήθηκε ετήσια αύξηση στο RF-EMF και συνίσταται να γίνονται μετρήσεις ετησίως για να διασφαλίζεται ότι τα επίπεδα παραμένουν κάτω από τα θεσπισμένα όρια.

Στην μελέτη (R. Ramirez-Vazquez et al, 2020) πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις σε ένα σχολείο της Αλμπαθέτε στην Ισπανία με σκοπό τα διαπιστωθούν τα επίπεδα ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που δέχονται οι μαθητές κατά τη διάρκεια της ημέρας. Πραγματοποιήθηκαν επιτόπιες μετρήσεις σε σημεία μέσα και έξω του σχολικού κτιρίου. Για τον εξωτερικό χώρο του σχολείου επιλέχθηκαν δέκα σημεία ενώ για τον εσωτερικό χώρο του σχολείου επιλέχθηκαν επτά σημεία. Οι μετρήσεις στα σημεία πραγματοποιήθηκαν από τις 10 το πρωί έως τις 11 το πρωί τόσο για τις καθημερινές που λειτουργούσε το σχολείο όσο και για τα σαββατοκύριακα που ήταν κλειστό. Το όργανο που χρησιμοποιήθηκε ήταν το EME Spy 140 of Satimo το οποίο ρυθμίστηκε να παίρνει μετρήσεις ανά 5 δευτερόλεπτα για συνολική διάρκεια 6 λεπτών (όπως προτείνει και η ICNIRP) για κάθε σημείο. Με αυτό τον τρόπο προέκυψαν 72 μετρήσεις για το κάθε σημείο. Από τις μετρήσεις προέκυψε ότι η μέση έκθεση στα εξωτερικά σημεία του σχολείου σε Wi-Fi ήταν $20.4 \mu\text{W}/\text{m}^2$ το σαββατοκύριακο και $13.0 \mu\text{W}/\text{m}^2$ τις καθημερινές και αυτό γιατί τα σαββατοκύριακα χρησιμοποιείται περισσότερο το Wi-Fi από τους κατοίκους που μένουν γύρω από το σχολείο. Στα εσωτερικά σημεία του σχολείου η μέση έκθεση στο Wi-Fi ήταν $19.5 \mu\text{W}/\text{m}^2$ τα σαββατοκύριακα και $25.3 \mu\text{W}/\text{m}^2$ τις καθημερινές και αυτό γιατί οι καθηγητές και οι μαθητές τις ώρες λειτουργίας του σχολείου είναι συνδεδεμένοι στο Wi-Fi με τις ηλεκτρονικές τους συσκευές. Από την άλλη συγκρίνοντας τις τιμές των κεραιών κινητής τηλεφωνίας παρατηρήθηκε ότι τα σαββατοκύριακα η ύψιστη τιμή ήταν τα $99.2 \mu\text{W}/\text{m}^2$ ενώ τις καθημερινές έφτασε μέχρι και $300 \mu\text{W}/\text{m}^2$ συμπεραίνοντας έτσι ότι η χρήση των κινητών τηλεφώνων είναι πιο συχνή τις καθημερινές. Τέλος προκύπτει ότι όλες οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στα διάφορα σημεία βρίσκονται κάτω από τα θεσπισμένα για την έκθεση σε ακτινοβολία όρια από την ICNIRP.

Στην μελέτη (T. Onishi et al, 2021) πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις σε δυο αστικές και δυο προαστιακές περιοχές καθώς και σε ένα υπόγειο εμπορικό κέντρο στην Ιαπωνία. Οι μετρήσεις έγιναν σε 100 σημεία (πλέγματα 10×10) σε περιοχή 1×1 χλμ στις δύο αστικές και δύο προαστιακές περιοχές και σε 158 σημεία στο υπόγειο εμπορικό κέντρο. Σκοπός ήταν να διερευνηθεί η εξέλιξη του περιβάλλοντος EMF από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν σε σταθμούς βάσης κινητής τηλεφωνίας το 2006 και 2007 από το Υπουργείο Εσωτερικών Υποθέσεων και Επικοινωνιών της Ιαπωνίας (MIC) μέχρι τις τελευταίες μετρήσεις το 2020 και 2021 και να δημιουργηθεί μια συνολική εικόνα της έκθεσης σε EMF στην καθημερινή ζωή. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι τιμές του E-field ήταν υψηλότερες το 2019 και το 2020 σε σύγκριση με το 2006 και 2007, ιδιαίτερα στο εμπορικό κέντρο. Παρόλα αυτά, οι μεσαίες αναλογίες προς τις κατευθυντήριες γραμμές προστασίας της Ιαπωνίας ήταν κάτω από -40 dB. Οι συχνότητες που μετρήθηκαν περιλάμβαναν τις ζώνες που χρησιμοποιούνται για συστήματα κινητής τηλεφωνίας, δίκτυα τοπικής περιοχής (LAN) και το σύστημα προσωπικών φορητών τηλεφώνων (PHS). Οι μετρήσεις έγιναν με ανάλυση 1 MHz και ο μέσος όρος του E-field υπολογίστηκε για 1 λεπτό, παρόμοια με τις παλαιότερες μετρήσεις για σύγκριση. Τα αποτελέσματα δείχνουν αυξημένες τιμές του E-field στις αστικές περιοχές και το εμπορικό κέντρο σε σχέση με τις προαστιακές περιοχές, με τις τιμές να είναι περίπου 7 dB μεγαλύτερες στις αστικές περιοχές. Οι συγκρίσεις με τα δεδομένα του 2006 και 2007 δείχνουν ότι η αύξηση της ισχύος των σταθμών

βάσης κινητής τηλεφωνίας και η προσθήκη νέων ζωνών συχνοτήτων πιθανόν συνέβαλαν στην αύξηση του E-field. Σε σχέση με άλλες χώρες, οι τιμές που μετρήθηκαν στην Ιαπωνία είναι ελαφρώς μικρότερες από αυτές που αναφέρθηκαν στο Ηνωμένο Βασίλειο. Οι μετρήσεις συνεχίζονται για να περιλαμβάνουν και τα νέα συστήματα 5G, προκειμένου να συγκεντρωθούν περισσότερα δεδομένα για την έκθεση σε EMF σε διάφορες καθημερινές συνθήκες.

Η μελέτη (R. Ramirez-Vazquez et al, 2024) παρουσιάζει μια επισκόπηση μετρήσεων έκθεσης σε RF-EMF που πραγματοποιήθηκαν σε εκπαιδευτικά κέντρα κυρίως στην Ευρώπη. Αυτές οι μετρήσεις περιλαμβάνουν δεδομένα σχετικά με την προσωπική έκθεση σε ευαίσθητα περιβάλλοντα όπως σχολεία και πανεπιστήμια, όπου μαθητές, νέοι και καθηγητές περνούν πολύ χρόνο. Παρουσιάζονται μετρήσεις σε δύο ζώνες συχνοτήτων Wi-Fi σε διάφορες χώρες, όπως αναφέρθηκαν από τους Arribas et al. (2022). Οι χώρες αυτές επιλέχθηκαν λόγω της μέτρησης των ασύρματων συνδέσεων σε κτίρια εκπαίδευσης, με βάση τη μεθοδολογία PECO. Μια πρόσφατη μελέτη από τους Ramirez-Vazquez et al. (2023a) δείχνει τα επίπεδα έκθεσης στις ζώνες Wi-Fi 2.4 GHz και 5.85 GHz σε ένα πανεπιστήμιο στην Ισπανία. Τα επίπεδα έκθεσης είναι εντός των ορίων των ICNIRP και IEEE, αλλά πολλά από τα αποτελέσματα υπερβαίνουν τα όρια της BioInitiative. Αν υιοθετηθούν τα όρια της BioInitiative, οι υπηρεσίες Wi-Fi θα πρέπει να διακοπούν σε μεγάλο μέρος του κτιρίου. Μια ανασκόπηση από τους Ramirez-Vazquez et al. (2023b) παρουσιάζει προσωπικές μετρήσεις σε διάφορα περιβάλλοντα και χώρες, όπου μόνο το ένα τρίτο των μελετών συμμορφώνονται με τα όρια της BioInitiative. Σε πολλές χώρες, οι τιμές υπερβαίνουν αυτά τα όρια. Το 66% των μελετών της ανασκόπησης δεν συμμορφώνονται με αυτά τα όρια. Τα επίπεδα RF-EMF δεν υπερβαίνουν τα διεθνή όρια (ICNIRP, IEEE) και μειώνονται με την άφιξη νέων γενεών τεχνολογίας τηλεπικοινωνιών.

Στη μελέτη (N. Loizeau et al, 2023) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν σε 49 εξωτερικά σημεία και μέσα μεταφοράς (τρένα, λεωφορεία, τραμ) στην Ελβετία το 2021 και το 2014. Οι 49 αυτές περιοχές κατατάχθηκαν σε 8 τύπους μικροπεριβάλλοντος: 5 κέντρα αστικών πόλεων, 5 κεντρικές και 5 μη κεντρικές αστικές κατοικημένες περιοχές, 6 προαστιακά κέντρα, 6 προαστιακές κατοικημένες περιοχές, 8 αγροτικά κέντρα, 8 αγροτικές κατοικημένες περιοχές και 6 βιομηχανικές περιοχές. Τα 49 αυτά εξωτερικά σημεία βρίσκονται σε 19 πόλεις αντιπροσωπεύοντας έτσι την ποικιλομορφία των πόλεων στην Ελβετία. Μεταξύ 2014 και 2021, δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές αλλαγές στα μέσα επίπεδα RF-EMF στην Ελβετία, παρά τις ραγδαίες εξελίξεις στην κινητή τηλεφωνία και την αύξηση της ασύρματης σύνδεσης. Το 2021, τα μέσα επίπεδα σε όλες τις εξωτερικές περιοχές ήταν κατά 0.022 V/m χαμηλότερα από ό,τι το 2014. Τα μέσα επίπεδα downlink τείνουν να είναι χαμηλότερα το 2021 (0.23 V/m) σε σύγκριση με το 2014 (0.30 V/m). Αυτή η παρατήρηση μπορεί να οφείλεται στην εφαρμογή πιο αποτελεσματικών τεχνολογιών κινητής επικοινωνίας που έλαβαν χώρα μεταξύ 2014 και 2021.

1.1.2 Έρευνες για την αποτίμηση της έκθεσης του γενικού πληθυσμού σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία στην Ελλάδα

Στην μελέτη (C. Tyrakis et al, 2023) πραγματοποιήθηκαν επιτόπιες μετρήσεις σε 7 από τις 13 περιοχές της Ελλάδας. Οι περιοχές που μετρήθηκαν είναι η Ανατολική, Κεντρική και Δυτική Μακεδονία, η Αττική, η Πελοπόννησος, η Θεσσαλία και η Κρήτη. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα να καλυφθεί το 78.89% του γενικού πληθυσμού της Ελλάδας ως προς την έκθεση του σε ακτινοβολία. Οι περιοχές χωρίστηκαν σε μητροπολιτικές όπου περιελάμβαναν τα μεγάλα αστικά κέντρα (Αθήνα και Θεσσαλονίκη) και σε υπόλοιπες αστικές και αγροτικές περιοχές. Συνολικά επιλέχθηκαν 1000 σημεία μέτρησης (624 στις μητροπολιτικές περιοχές και 376 στις υπόλοιπες) τα οποία ήταν εξωτερικά σημεία στη περίμετρο σχολείων, πανεπιστημίων, νηπιαγωγείων, γηροκομεία, νοσοκομεία και παιδικές χαρές. 713 μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν έξω από σχολεία και πανεπιστήμια, 245 σε νηπιαγωγεία ή γηροκομεία, 16 σε νοσοκομεία και 26 σε παιδικές χαρές. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με την επιλογή του σημείου με την υψηλότερη πυκνότητα ισχύος. Από τις μετρήσεις προέκυψε ότι για τις μητροπολιτικές περιοχές την μεγαλύτερη συνεισφορά στην έκθεση την έχουν οι υπηρεσίες Radio FM και TV με ποσοστό 36.2% (14.9% και 21.3% αντίστοιχα) επί της συνολικής έκθεσης (ER) με τα στρατιωτικά και μετεωρολογικά συστήματα να ακολουθούν με συνεισφορά 24.9% , τις κινητές τηλεπικοινωνίες με συνεισφορά 14.9% και τέλος το Wi-Fi με συνεισφορά μόνο 1.4%. Όσον αφορά τις υπόλοιπες αστικές και αγροτικές περιοχές την μεγαλύτερη συνεισφορά κατέχουν τα στρατιωτικά και μετεωρολογικά συστήματα με ποσοστό 31.1% επί της συνολικής έκθεσης με τις υπηρεσίες Radio FM και TV να ακολουθούν με ποσοστό 30.9%, τις κινητές τηλεπικοινωνίες με ποσοστό 12.2% και τέλος το Wi-Fi με ποσοστό 1.6%. Από όλες τις μετρήσεις και στα δυο είδη περιοχών που χωρίστηκε η συγκεκριμένη μελέτη προέκυψε ότι η μέση και η διάμεση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου είναι αρκετά πιο κάτω από τις κατευθυντήριες γραμμές της ICNIRP.

Σημαντικά συμπεράσματα εξάγονται και από μια μελέτη από την Ελλάδα (Y. Kiontrekis et al, 2020) σχετικά με την έκθεση των παιδιών στην ακτινοβολία. Να τονιστεί εδώ ότι τα όρια έκθεσης για τον ευαίσθητο πληθυσμό όπως τα παιδιά, ασθενείς σε νοσοκομεία κ.ά είναι πιο χαμηλά από αυτά του γενικού πληθυσμού. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε 492 σχολεία πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης με σκοπό να υπολογιστεί μέση τιμή για πηγές ακτινοβολίας RF-EMF στο εύρος 27 MHz-3 GHz. Η μελέτη επαληθεύει ότι η ισχύς ηλεκτρικού πεδίου στο 85% των σχολείων που βρίσκονται σε αστικά περιβάλλοντα στην Ελλάδα είναι τουλάχιστον 3120 φορές κάτω από τα ελληνικά όρια.

Στην μελέτη (M. Christopoulou et al, 2022) παρουσιάζονται τα δεδομένα των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν σε περισσότερους από 120 σταθμούς βάσης εξοπλισμένους με κεραιές 5G. Πραγματοποιήθηκαν επιτόπιες μετρήσεις σε τουλάχιστον τρία σημεία ενδιαφέροντος κοντά στους σταθμούς. Οι μετρήσεις για την

ένταση του ηλεκτρικού πεδίου (E) έγιναν σε τρία διαδοχικά ύψη: 170, 150, 110 cm. Για τις μετρήσεις χρησιμοποιήθηκε το σύστημα SRM-3006 ενώ η ανάλυση του φάσματος πραγματοποιήθηκε στη ζώνη συχνοτήτων 3400-3800 MHz με σκοπό να ληφθούν τα πρώτα αποτελέσματα σχετικά με τη συμβολή των νέων εκπομπών στα επίπεδα έκθεσης του κοινού. Οι περισσότερες μετρήσεις από τις αρχές του 2021 έως και σήμερα έχουν γίνει σε αστικά περιβάλλοντα καθώς η εγκατάσταση της υπηρεσίας 5G ξεκίνησε από τις μεγάλες πόλεις. Σε όλους τους σταθμούς βάσης που ελέγχθηκαν, επιβεβαιώνεται η συμμόρφωση με τα επίπεδα αναφοράς για την έκθεση του κοινού όπως ορίζονται από την ελληνική νομοθεσία.

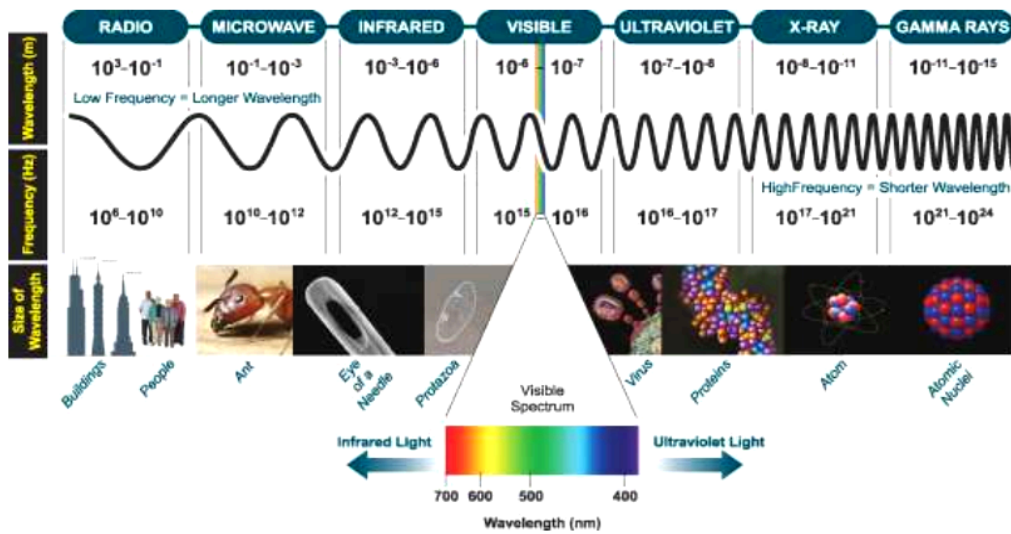
Στην μελέτη (V. Softa et al, 2022) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων για την υπηρεσία 5G που πραγματοποιήθηκαν από το εργαστήριο ιατρικής φυσικής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στην μητροπολιτική περιοχή της Θεσσαλονίκης. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε δυο κατοικημένες περιοχές της Θεσσαλονίκης: στην πλατεία Αριστοτέλους και στην Διεθνή έκθεση Θεσσαλονίκης προκειμένου να υπολογιστεί η έκθεση του κοινού στις συχνότητες EMF των 700, 2100 και 3500-3800 MHz. Στην πλατεία Αριστοτέλους η έκθεση ενός ατόμου στην υπηρεσία 5G μετρήθηκε σε διάφορες αποστάσεις και πλευρές. Στην περιοχή της Διεθνούς Έκθεσης Θεσσαλονίκης οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν ενώ γινόταν χρήση της υπηρεσίας 5G για υπηρεσίες όπως το Youtube, Live-TV κ.ά. Οι συγκρίσεις των μετρήσεων έγιναν με τα αυστηρότερα ελληνικά όρια, τα οποία είναι 60% των ορίων του ICNIRP 2020. Και στα δύο σημεία μέτρησης η συνολική έκθεση είναι πολύ κάτω σε σχέση με τα όρια ασφαλείας.

Κεφάλαιο 2. Βασικές έννοιες και όρια έκθεσης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας

2.1 Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία

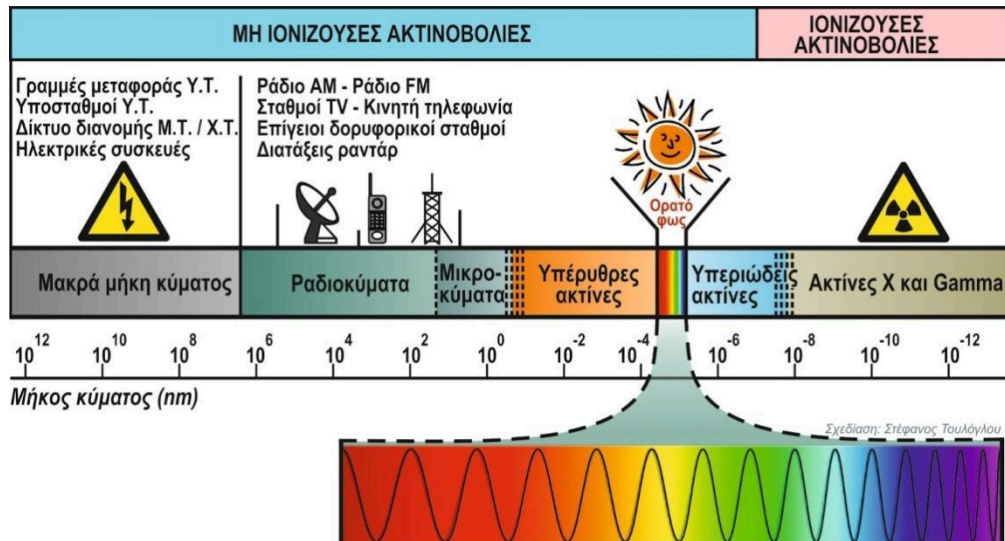
Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία αποτελείται από κύματα ηλεκτρικής και μαγνητικής ενέργειας, τα οποία διαδίδονται (ακτινοβολούνται) στον ελεύθερο χώρο. Η περιοχή στην οποία αναπτύσσονται τα κύματα αυτά ονομάζεται ηλεκτρομαγνητικό πεδίο. Όλα τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα διαδίδονται με την ταχύτητα του φωτός. Τα σημαντικά χαρακτηριστικά των διαφόρων τύπων κυμάτων είναι η απόσταση που καλύπτεται από ένα κύκλο του κύματος, που ονομάζεται μήκος κύματος, και ο αριθμός των κυμάτων που διέρχονται από ένα συγκεκριμένο σημείο ανά δευτερόλεπτο, που είναι η συχνότητα του κύματος. Οι σημαντικότερες διαφορές των διαφορετικών τύπων κυμάτων σχετίζονται με τη συχνότητα. Για οποιοδήποτε ηλεκτρομαγνητικό κύμα, το γινόμενο του μήκους κύματος και της συχνότητας

ισούνται με την ταχύτητα του φωτός. Η συχνότητα ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος εκφράζεται συνήθως σε μονάδες Hertz (Hz). Ένα Hz ισούται με ένα κύμα ανά δευτερόλεπτο. Ένα Kilohertz (KHz) ισούται με χίλια κύματα ανά δευτερόλεπτο, ένα Megahertz (MHz) ισούται με ένα εκατομμύριο κύματα ανά δευτερόλεπτο και ένα Gigahertz (GHz) ισούται με 1 δισεκατομμύριο κύματα ανά δευτερόλεπτο. Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα εμφανίζονται με πολλές διαφορετικές μορφές. Αυτές είναι τα ραδιοκύματα, τα μικροκύματα, οι υπέρυθρες ακτίνες, το ορατό φως, οι υπεριώδεις ακτίνες, οι ακτίνες X και οι ακτίνες γάμμα.



Εικόνα 2.1 Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα

Το φάσμα συχνοτήτων διαχωρίζεται μεταξύ της ιονίζουσας (ή ιοντίζουσας) και της μη ιονίζουσας (ή μη ιοντίζουσας) ακτινοβολίας.



Εικόνα 2.2 Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα και διαχωρισμός ακτινοβολιών σε Ιοντίζουσες και μη ακτινοβολίες

Ιοντίζουσες είναι οι ακτινοβολίες που μεταφέρουν ενέργεια ικανή να εισχωρήσει στην ύλη, να προκαλέσει ιοντισμό των ατόμων, να διασπάσει βίαια χημικούς δεσμούς και να προκαλέσει βιολογικές βλάβες στον ανθρώπινο οργανισμό. Ο ιοντισμός ενός ουδέτερου ατόμου είναι η βίαιη απομάκρυνση ενός ηλεκτρονίου από τις στοιβάδες του, λόγω εξωτερικού αιτίου, με αποτέλεσμα την παραγωγή δύο αντίθετα φορτισμένων ιόντων, του θετικού ατόμου και του αρνητικού ηλεκτρονίου. Οι γνωστότερες ιοντίζουσες ακτινοβολίες είναι οι ακτίνες X που χρησιμοποιούνται ευρέως στην ιατρική, καθώς και οι ακτινοβολίες α , β , και γ που εκπέμπονται από τους ασταθείς πυρήνες ατόμων.

Μη ιοντίζουσα, ή γνωστή και ως ηλεκτρομαγνητική, είναι η ακτινοβολία που μεταφέρει σχετικά μικρή ενέργεια, που δεν προκαλεί ιοντισμό, είναι ικανή όμως να προκαλέσει ηλεκτρικές, χημικές και θερμικές επιδράσεις στον οργανισμό. Πρόκειται για ταλαντώσεις ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων που διαδίδονται στο χώρο υπό τη μορφή κύματος

Τα ραδιοκύματα είναι κύματα με συχνότητα από 3 KHz μέχρι 300 GHz. Το μήκος κύματος των ραδιοκυμάτων ποικίλλει μεταξύ των τιμών 1mm και 10Km. Τα ραδιοκύματα δημιουργούνται από την κίνηση ηλεκτρικών φορτίων επί των κεραιών και αναφέρονται και ως ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ραδιοσυχνοτήτων (ΡΣ), γιατί ακτινοβολούνται στο χώρο απομακρυνόμενα από την πηγή τους, δηλαδή την κεραία εκπομπής. Τα ραδιοκύματα ανήκουν στην κατηγορία των μη ιοντιζουσών ακτινοβολιών, καθώς δεν είναι ικανά να διασπάσουν χημικούς δεσμούς ή να αποσπάσουν ηλεκτρόνια από άτομα, προκαλώντας ιοντισμό της ύλης, όπως η ραδιενέργεια (ακτίνες X, ακτίνες γ). Η κυριότερη βιολογική επίδραση των

ραδιοκυμάτων είναι η αύξηση της θερμοκρασίας των ιστών που εκτίθενται σε αυτά υπό ορισμένες συνθήκες. Οι μέχρι σήμερα έρευνες δεν έχουν τεκμηριώσει σχέση αίτιου-αιτιατού μεταξύ αυτού του τύπου της ακτινοβολίας και της πρόκλησης επιβλαβών επιπτώσεων στην υγεία (π.χ. καρκινογενέσεις

Τα μικροκύματα αποτελούν ένα υποσύνολο των ραδιοκυμάτων με συχνότητες που κυμαίνονται περίπου μεταξύ των 300 MHz και 3 GHz. Τα μικροκύματα χωρίζονται σε τρεις επιμέρους ζώνες:

- Στα δεκατομετρικά μικροκύματα (Ultra high frequency, συντ. **UHF**) (0.3-3 GHz)
- Στα εκατοστομετρικά μικροκύματα (Super high frequency συντ.**SHF**) (3-30 GHz)
- Στα χιλιοστομετρικά μικροκύματα (Extremely high frequency συντ.**EHF**) (30-300 GHz).

Τα μικροκύματα έχουν πολύ περισσότερες εφαρμογές σε σχέση με τις άλλες ζώνες ραδιοκυμάτων λόγω του πλούσιου φάσματός τους. Χρησιμοποιούνται για εκπομπή επίγειου τηλεοπτικού σήματος (UHF), στην εκπομπή δορυφορικού τηλεοπτικού σήματος αλλά και στις δορυφορικές επικοινωνίες γενικότερα. Εφαρμόζονται επίσης στην κινητή τηλεφωνία, στην εφαρμογή Wi-Fi, στο πρότυπο ανταλλαγής αρχείων Bluetooth, στα Ραντάρ αλλά και στους φούρνους μικροκυμάτων καθώς οι μικροκυματικές συχνότητες αλληλεπιδρούν με την ύλη.

Η υπέρυθη ακτινοβολία ή υπέρυθρες ακτίνες είναι τμήμα του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Στο φάσμα τοποθετούνται ως μικρότερη συχνότητα στην προέκταση της κόκκινης ορατής ακτινοβολίας, εξ ου και το όνομα «υπέρυθρες» (υπό του ερυθρού). Το μήκος κύματός τους κυμαίνεται από το 1 χιλιοστό έως τα 700 νανόμετρα, όπου ξεκινά το ορατό φάσμα. Συνήθως εκπέμπονται από όλα τα σώματα που έχουν κάποια θερμοκρασία. Τα σώματα με τη μεγαλύτερη θερμοκρασία εκπέμπουν περισσότερες υπέρυθρες και αντίστροφα τα σώματα που απορροφούν περισσότερες υπέρυθρες αυξάνεται η θερμοκρασία τους. Το φαινόμενο αυτό σχετίζεται με την ταλάντωση των σωματιδίων από τα οποία αποτελείται, η οποία αφορά τη θερμική ενέργεια του σώματος. Οι υπέρυθρες ακτίνες μπορούν να γίνουν αντιληπτές από ορισμένους οργανισμούς, όπως οι σκύλοι και τεχνητά με θερμικές κάμερες. Στην τελευταία συνήθως με μπλε και άσπρο συμβολίζεται θερμό σημείο, ενώ με πράσινο και κόκκινο ψυχρό σημείο. Αυτές οι κάμερες χρησιμοποιούνται και για τον εντοπισμό εμπυρετών ατόμων στα αεροδρόμια. Επίσης οι υπέρυθρες ακτίνες χρησιμοποιούνταν για μεταφορά δεδομένων από τα κινητά τηλέφωνα πριν την κυκλοφορία του Bluetooth.

Υπεριώδης ακτινοβολία ονομάζεται η περιοχή της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας της οποίας το μήκος κύματος στο κενό κυμαίνεται περίπου μεταξύ 380 και 60 νανομέτρων (nm). Υπάρχουν τρία είδη υπεριώδους ακτινοβολίας:

- UV-A: Αυτή η ακτινοβολία κυμαίνεται στο κενό μεταξύ 315 και 400 νανόμετρα. Παρόλο που δεν είναι τόσο βλαβερή όσο η UVB μπορεί κάλλιστα να έχει αρνητικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία.

- UV-B: Αυτή η ακτινοβολία κυμαίνεται στο κενό μεταξύ 280 και 315 nm. Παρόλο που παίζει καθοριστικό ρόλο στην σύνθεση της βιταμίνης D η πολύωρη έκθεση σε αυτή μπορεί να προκαλέσει βλάβες στο δέρμα.
- UV-G: Αυτή η ακτινοβολία κυμαίνεται στο κενό μεταξύ 40 nm και 280 nm. Η έκθεση οργανισμών στην συγκεκριμένη ακτινοβολία είναι άκρως επιβλαβής αλλοιώνοντας το DNA τους.

Κύρια πηγή υπεριώδους ακτινοβολίας είναι ο ήλιος. Φτάνει στη γη μέσω της επανεκπομπής της από τη στρατόσφαιρα. Είναι επικίνδυνη ακτινοβολία και το στρώμα του όζοντος προστατεύει την επιφάνεια της γης από αυτήν.

Οι ακτίνες X καλύπτουν ένα τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος που αντιστοιχεί σε μια περιοχή μήκους κύματος μεταξύ 10 nm με 10 pm (δηλ. σε περιοχή συχνότητας από 30 PHz - 30 EHz) και σε περιοχή ενέργειας 120 eV - 120 keV. Αυτό το τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος βρίσκεται μεταξύ των τμημάτων της υπεριώδους ακτινοβολίας και των ακτίνων γ. Οι ακτίνες X πρωταρχικά χρησιμοποιήθηκαν από την Ιατρική ως διαγνωστικό εργαλείο με τη μορφή της ακτινογραφίας και από τη Φυσική και τη Χημεία με τη μορφή της κρυσταλλογραφίας. Όμως, οι ακτίνες X ανήκουν στις ιονίζουσες ακτινοβολίες, αφού η ενέργειά τους είναι ικανή να προκαλέσει τον ιονισμό ατόμων και μορίων από αριθμό εσωτερικών τους ηλεκτρονίων. Επομένως παρουσιάζει κινδύνους βλαβών σε ζωντανούς οργανισμούς και όχι μόνο. Οι ακτίνες X διαχωρίζονται σε 2 υποπεριοχές μήκους κύματος, συχνότητας και ενέργειας:

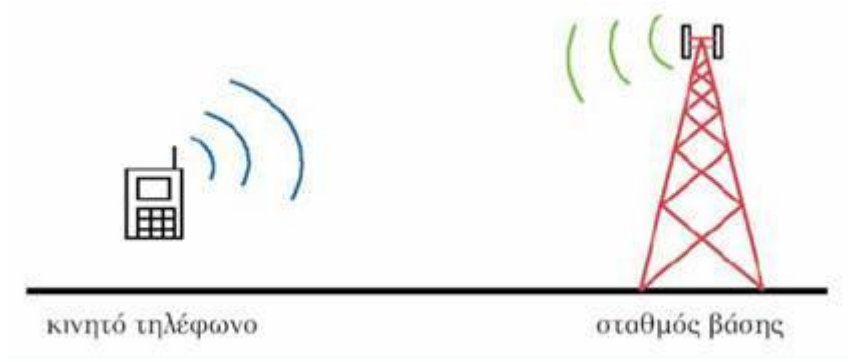
- «Μαλακές ακτίνες X»: 10 nm - 100 pm, 30 PHz - 3 HHz, 120 eV - 12 keV.
- «Σκληρές ακτίνες X»: 100 - 10 pm, 3 - 30 HHz, 12 - 120 keV.

Οι ακτίνες γ αποτελούν τις ακτίνες με τη μεγαλύτερη συχνότητα. Το μήκος κύματός τους κυμαίνεται μεταξύ 10^{-10} έως 10^{-14} μέτρα, ώστε να είναι συγκρίσιμο με τη διάμετρο ενός πυρήνα ατόμου. Είναι εξαιρετικά επικίνδυνες ακτίνες, οι οποίες διασπών τις ουσίες των κυττάρων και μεταλλάσσουν το DNA. Χρησιμοποιούνται όπως οι ακτινογραφίες για την απεικόνιση του εσωτερικού του σώματος. Στις ακτινογραφίες χρησιμοποιούνται οι ακτίνες X, οι οποίες παράγονται εκείνη τη στιγμή από εξωτερική πηγή και διαπερνούν το σώμα. Μία τεχνική που χρησιμοποιεί τις ακτίνες γ είναι το σπινθηρογράφημα, όπου η ακτινοβολία παράγεται από ένα ραδιενεργό υγρό που έχει χορηγηθεί στον εξεταζόμενο. Χρησιμοποιούνται επίσης και στην πλήρη αποστείρωση τροφίμων εξοντώνοντας όλους τους μικροοργανισμούς και διατηρώντας τις θρεπτικές ουσίες.

2.2 Δίκτυα κινητής τηλεφωνίας

2.2.1 Πώς λειτουργεί η κινητή τηλεφωνία

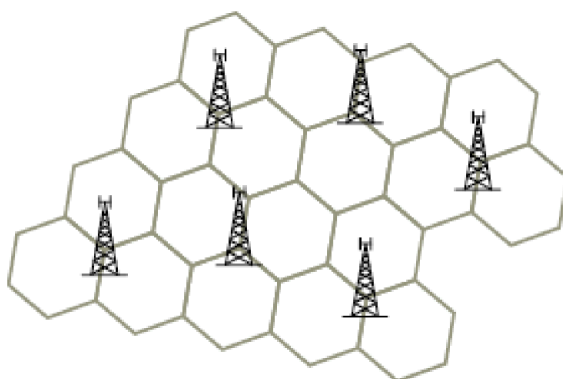
Για να έχουμε την δυνατότητα χρήσης του κινητού τηλεφώνου είναι απαραίτητη η ύπαρξη ενός τουλάχιστον ασύρματου δικτύου κινητής τηλεφωνίας. Τα δίκτυα αυτά χρησιμοποιούν σταθμούς βάσης για να καλύψουν με ηλεκτρομαγνητικό σήμα τους χώρους που βρισκόμαστε. Όταν χρησιμοποιούμε το κινητό μας τηλέφωνο για να επικοινωνήσουμε, τότε αυτό στέλνει και λαμβάνει ηλεκτρομαγνητικά σήματα προς και από έναν σταθμό βάσης, ο οποίος στη συνέχεια επικοινωνεί ενσύρματα ή ασύρματα με κάποια κέντρα ανα διανέμοντας την πληροφορία, ώστε να μπορούμε να επικοινωνούμε με αυτούς που θέλουμε.



Εικόνα 2.3 Επικοινωνία κινητού τηλεφώνου με σταθμό βάσης μέσω ηλεκτρομαγνητικών σημάτων

Ο σταθμός βάσης είναι το σύνολο των εγκαταστάσεων μιας εταιρείας κινητής τηλεφωνίας που τοποθετούνται σε μια περιοχή για την υποστήριξη του ασύρματου δικτύου της. Οι σταθμοί βάσης αποτελούνται από κεραιοσυστήματα εκπομπής και λήψης των ηλεκτρομαγνητικών σημάτων, καθώς και ηλεκτρονικό εξοπλισμό για την επεξεργασία των σημάτων αυτών. Τα κεραιοσυστήματα των σταθμών βάσης βρίσκονται τοποθετημένα πάνω σε μεταλλικούς πυλώνες ή ιστούς. Πολλοί σταθμοί

βάσης κατασκευάζονται εντός των πόλεων και έχουν τα κεραιοσυστήματά τους τοποθετημένα στις οροφές ψηλών κτιρίων. Κάθε σταθμός βάσης καλύπτει μια συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή, η οποία χωρίζεται σε μία ή περισσότερες κυψέλες. Το επιθυμητό από τις εταιρείες κινητής τηλεφωνίας μέγεθος της κυψέλης καθορίζεται βάσει των ιδιαίτερων γεωγραφικών χαρακτηριστικών της περιοχής, καθώς και τον αριθμό και τη χρήση των κινητών τηλεφώνων που συνήθως υπάρχουν εκεί. Επειδή κάθε σταθμός βάσης μπορεί να εξυπηρετήσει ταυτόχρονα περιορισμένο αριθμό τηλεφώνων (της τάξης των 50 με 100), οι κυψέλες είναι σχετικά μικρές εντός των πόλεων (της τάξης των εκατοντάδων μέτρων), και σχετικά μεγάλες στις αγροτικές περιοχές (της τάξης των δεκάδων χιλιομέτρων).



Εικόνα 2.4 Θεωρητική μοντελοποίηση ενός δικτύου

Για την ομαλή λειτουργία των δικτύων κινητής τηλεφωνίας ακολουθούνται καθορισμένες αρχές κωδικοποίησης και διαμόρφωσης των εκπεμπόμενων σημάτων. Στη χώρα μας δραστηριοποιούνται τρεις εταιρείες κινητής τηλεφωνίας (Vodafone, Wind, Cosmote) στα συστήματα 800 MHz (LTE), 900 MHz (GSM & UMTS), 1800 MHz (DCS & LTE), 2100 MHz (UMTS) και 2600 MHz (LTE)

2.2.2 Σταθμοί βάσης κινητής τηλεφωνίας

Σταθερές κεραιές που χρησιμοποιούνται για την εξυπηρέτηση της κινητής τηλεφωνίας αναφέρονται ως σταθμοί βάσης κυψελωτών επικοινωνιών ή πύργοι μετάδοσης κινητής τηλεφωνίας. Οι σταθμοί βάσης αποτελούνται από τις κεραιές αναμετάδοσης, τις μικροκυματικές κεραιές και τον ηλεκτρονικό εξοπλισμό. Για να παρέχεται ικανοποιητική κάλυψη συγκεκριμένης περιοχής και πλήθους χρηστών, οι κεραιές πρέπει να τοποθετούνται σε μεγάλο ύψος και, επομένως, εγκαθίστανται

συνήθως σε ταρατσες πολυκατοικιών ή στύλους. Το σύνηθες ύψος εγκατάστασης σταθμών βάσης κυμαίνεται μεταξύ 10 και 40m. Τα σήματα τροφοδοτούνται προς τις κεραίες μέσω καλωδίων και, στη συνέχεια, εκπέμπονται ως ραδιοκύματα στην περιοχή που περιβάλλει το σταθμό βάσης.

Μερικοί σταθμοί βάσης χρησιμοποιούν ομοιοκατευθυντικές κεραίες, οι οποίες μοιάζουν με στύλους ύψους 3-4.5 μέτρων. Αυτού του τύπου οι κεραίες απαντώνται συνήθως σε αγροτικές περιοχές. Στους σταθμούς βάσης σε αστικό και προαστιακό περιβάλλον, οι εταιρίες κινητής τηλεφωνίας χρησιμοποιούν συνήθως κατευθυντικές κεραίες (sector antennas).



Εικόνα 2.5 Τυπική μορφή σταθμού βάσης.

Εκτός από τα ανωτέρω είδη κεραιών που χρησιμοποιούνται για την επικοινωνία με τα κινητά τηλέφωνα, στους σταθμούς βάσης υπάρχουν και κεραίες σε σχήμα πιάτου/τυμπάνου (dish antenna), οι οποίες αποτελούν τερματικούς κόμβους για τη μικροκυματική σύνδεση και επικοινωνία με άλλους σταθμούς βάσης, εξυπηρετούν δηλαδή τη διασύνδεση του δικτύου.

Μερικές φορές, οι σταθμοί βάσης συνδέονται μεταξύ τους με υπόγεια καλώδια αντί με μικροκυματικές ασύρματες ζεύξεις. Ανάλογα με τη θέση του σταθμού βάσης και το πλήθος των εξυπηρετούμενων χρηστών κινητών τηλεφώνων, οι σταθμοί βάσης μπορεί να απέχουν μεταξύ τους από μερικές εκατοντάδες μέτρα σε μεγάλες πόλεις έως αρκετά χιλιόμετρα σε αγροτικές περιοχές.

Οι κεραιές κινητής τηλεφωνίας δεν εκπέμπουν σφαιρικά γύρω τους με τον ίδιο τρόπο, αλλά ακτινοβολούν σε συγκεκριμένες κατευθύνσεις για να επικοινωνούν με τα κινητά τηλέφωνα που βρίσκονται στην περιοχή που έχει σχεδιαστεί να καλύπτει ο σταθμός βάσης. Είναι, δηλαδή, κατευθυντικές και στο οριζόντιο και στο κατακόρυφο επίπεδο. Οι κεραιές αυτές ακτινοβολούν περισσότερο προς την κατεύθυνση του ορίζοντα που κατευθύνεται η κύρια δέσμη τους και πολύ λιγότερο στις υπόλοιπες.

2.3 Πάρκα Κεραιών

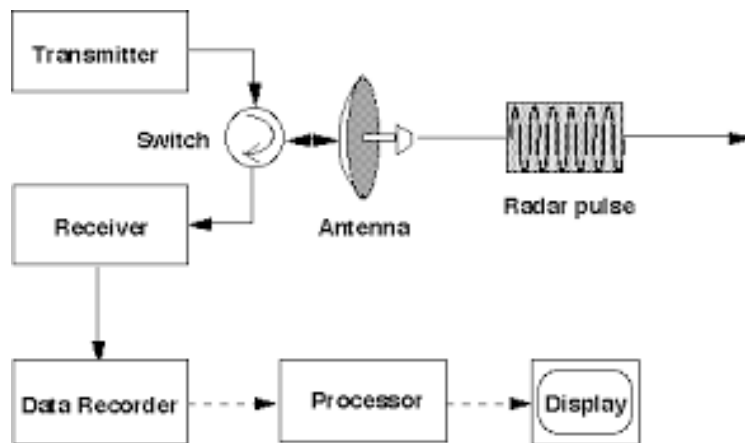
Πάρκο κεραιών θεωρείται μια τοποθεσία σε απόσταση από τον οικιστικό ιστό στην οποία εγκαθίσταται ένα πλήθος κεραιοδιατάξεων με σκοπό την μετάδοση και λήψη ασύρματων σημάτων. Οι κεραιές αυτές μπορεί να χρησιμοποιούνται για διάφορους σκοπούς όπως είναι η μετάδοση τηλεοπτικών ή ραδιοφωνικών σημάτων, η παροχή σήματος Wi-Fi, για μετάδοση σημάτων κινητής τηλεφωνίας κ.ά. Τα πάρκα κεραιών είναι σημαντικά για την κάλυψη των αναγκών της μεγάλης ζήτησης ασύρματων υπηρεσιών.



Εικόνα 2.6 Πάρκο κεραιών

2.4 Ραντάρ

Η λέξη ραντάρ (radar) δείχνει την έμφαση που είχε δοθεί από τους επιστήμονες για μια συσκευή που θα ανιχνεύει ένα αντικείμενο και θα προσδιορίζει την θέση του. Radar είναι σύντμηση των λέξεων radio detection and ranging. Αρχικά είχε αναπτυχθεί ως συσκευή προειδοποίησης για επιδρομή εχθρικών αεροσκαφών και κατάλληλη κατεύθυνση αντιαεροπορικών όπλων. Ωστόσο ένα καλά σχεδιασμένο και σύγχρονο ραντάρ μπορεί να εξάγει περισσότερες πληροφορίες από το σήμα που ανακλάται και όχι μόνο τη θέση.

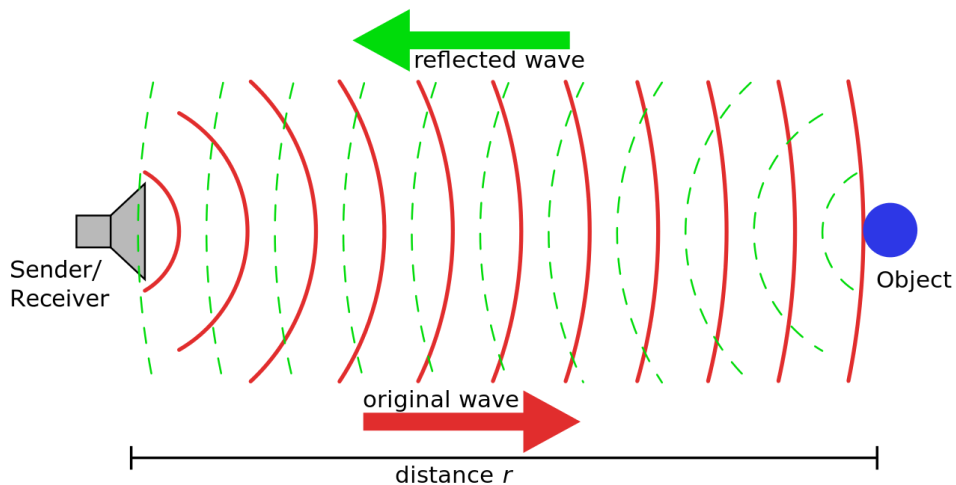


Εικόνα 2.7 Βασικά μέρη ραντάρ

Το ραντάρ είναι ένα ηλεκτρομαγνητικό σύστημα για την ανίχνευση και εντοπισμό αντικειμένων. Η αρχή λειτουργίας του βασίζεται στη μετάδοση μιας συγκεκριμένης μορφής κυματομορφής, για παράδειγμα μια ακολουθία από ημιτονοειδείς παλμούς, και στην ανίχνευση του σήματος επιστροφής.

Μια στοιχειώδης διάταξη ραντάρ αποτελείται από μια κεραία εκπομπής που εκπέμπει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία παραγόμενη από ταλαντωτή κάποιας

μορφής, μια κεραία δέκτη και μια συσκευή ανίχνευσης ενέργειας ή δέκτης. Μέρος του μεταδιδόμενου σήματος επανεκπέμπεται προς όλες τις κατευθύνσεις προσπίπτοντας σε ένα αντικείμενο (στόχος). Εφόσον βρει τον στόχο επιστρέφει πίσω στο ραντάρ. Η κεραία του δέκτη συλλέγει την επιστρεφόμενη ενέργεια και την παραδίδει στον δέκτη, όπου γίνεται η επεξεργασία για να ανιχνευθεί η παρουσία του αντικειμένου και να εξαχθούν πληροφορίες όπως η θέση του και η σχετική ταχύτητα του. Η απόσταση μέχρι το αντικείμενο προσδιορίζεται μετρώντας το χρόνο που χρειάζεται το σήμα να ταξιδέψει μέχρι το στόχο και πίσω. Αν υπάρχει σχετική κίνηση μεταξύ του αντικειμένου και του ραντάρ, η ολίσθηση στη συχνότητα του φέροντος σήματος ανάκλασης (φαινόμενο Doppler) είναι ένα μέτρο της ακτινικής ταχύτητας και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να διακρίνει τα κινητά από τα σταθερά αντικείμενα. Στα ραντάρ που παρακολουθούν συνεχώς τη κίνηση των αντικειμένων, διατίθεται μια συνεχή ένδειξη του ρυθμού αλλαγής της θέσης των αντικειμένων.



Εικόνα 2.8 Αρχή λειτουργίας των ραντάρ

2.4.1 Κατηγορίες ραντάρ

Η τεχνολογία εξελίσσεται με γρήγορους ρυθμούς με αποτέλεσμα όλες οι εφαρμογές και τα συστήματα τεχνολογίας να εξελίσσονται και αυτά μαζί. Έτσι έχουν αναπτυχθεί διάφορα συστήματα Radar που διαχωρίζονται ανάλογα με την αρχή σχεδίασης τους. Το κάθε είδος ραντάρ συνήθως χρησιμοποιεί μια συγκεκριμένη συχνότητα λειτουργίας και επεξεργάζεται το σήμα με συγκεκριμένο τρόπο που το διαφοροποιεί από τα άλλα ραντάρ. Οι πιο χαρακτηριστικοί τύποι ραντάρ παρουσιάζονται παρακάτω.

Παλμικό Radar: Το παλμικό ραντάρ (pulse radar) είναι η βασική μορφή ραντάρ που χρησιμοποιείται. Σκοπός του είναι ο εντοπισμός και ο προσδιορισμός της θέσης διαφόρων στόχων όπως πλοία και αεροπλάνα καθώς επίσης χρησιμοποιείται για ραντάρ καιρού. Στηρίζεται στην εκπομπή και λήψη μιας σειράς ραδιο παλμών μικρής χρονικής διάρκειας. Η περιβάλλουσα των παλμών είναι ιδανικά είναι ορθογώνια με σταθερό πλάτος και πολύ μικρούς χρόνους ανόδου και καθόδου. Ο πομπός (transmitter) είναι ένας ταλαντωτής ο οποίος πάλλεται από διαμορφωτή (modulator) για να δημιουργήσει τους επαναλαμβανόμενους παλμούς. Στις περισσότερες περιπτώσεις χρησιμοποιείται μια κεραία για εκπομπή και λήψη. Η κυματομορφή που δημιουργείται από τον πομπό οδεύει μέσω γραμμής μεταφοράς στην κεραία όπου και εκπέμπεται στο χώρο. Ο διπλέκτης (duplexer) λειτουργεί ως διακόπτης που στέλνει το επιστρεφόμενο σήμα στο δέκτη (receiver) και όχι στο πομπό ώστε να αποφεύγονται πιθανές παρεμβολές. Ο δέκτης είναι συνήθως υπερετεροδύνου. Στο πρώτο στάδιο υπάρχει ένας RF ενισχυτής (amplifier) χαμηλού θορύβου που αυξάνει την ευαισθησία του δέκτη. Ακολούθως ο μίκτης (mixer) και ο τοπικός ταλαντωτής μετατρέπουν το RF σήμα σε ενδιάμεση συχνότητα IF. Τέλος αφού πραγματοποιηθεί μεγιστοποίηση του λόγου σήματος προς θόρυβο, ο διαμορφωμένος παλμός εξάγεται από τον ανιχνευτή σήματος (detector) και ενισχύεται από τον ενισχυτή σήματος video.

Doppler Radar συνεχούς εκπομπής: Το Doppler radar είναι γνωστό κυρίως για την ικανότητά ανίχνευσης και μέτρησης της ταχύτητας διαφόρων στόχων με αρκετά μεγάλη ακρίβεια. Το ραντάρ αυτό εκπέμπει ένα συνεχές μη διαμορφωμένο κύμα. Όταν το κύμα αυτό προσκρούει σε ένα κινούμενο στόχο, αντανακλάται επιστρέφοντας ένα κύμα με μετατοπισμένη συχνότητα f_d . Η μετατόπιση της συχνότητας ονομάζεται αλλιώς μετατόπιση Doppler λόγω του φαινομένου Doppler που την προκαλεί και ισούται με την αξονική συνιστώσα της ταχύτητας του στόχου να μετρημένη σε μισά μήκη κύματος:

$$f_d = \pm 2 \cdot v_r \lambda$$

Το πρόσημο μας δείχνει την απομάκρυνση ή την προσέγγιση του στόχου στο ραντάρ.

FM Radar: Μπορούμε να προσδιορίσουμε την θέση του στόχου χρησιμοποιώντας την τεχνική FM radar. Στο συγκεκριμένο σύστημα έχουμε μια RF φέρουσα συχνότητα η οποία διαμορφώνεται κατά συχνότητα. Η εκπεμπόμενη κυματομορφή που έχει σταθερό πλάτος σαρώνει γραμμικά μια συγκεκριμένη ζώνη συχνοτήτων. Η γεννήτρια παράγει περιοδική τριγωνική κυματομορφή που

διαμορφώνει την συχνότητα του φορέα (f_c). Η συχνότητα αυτή εκπέμπει προς τον στόχο. Αφού ανακλαστεί στον στόχο, επιστρέφει πίσω, ενισχύεται και με δείγμα του εκπεμπόμενου σήματος οδηγείται σε μίκτη. Στην έξοδο του μίκτη λαμβάνεται η διαφορά συχνοτήτων, η οποία οδηγείται τελικά σε video ενισχυτή.

Εναέριο ραντάρ πλάγιας όψης (SLAR): Το συγκεκριμένο εναέριο ραντάρ έχει μια στερεωμένη μικρής ακτίνας κεραία που κατευθύνεται κάθετα στην διεύθυνση πορείας του αεροσκάφους για να επιτύχει ανάλυση γωνίας ή διασταυρωμένη κατεύθυνση. Ένας πολύ μικρός παλμός παρέχει ανάλυση κατεύθυνσης. Το SLAR, που είναι παλμικό ραντάρ, καταγράφει την επιστρεφόμενη ισχύ και δημιουργεί στη δισδιάστατη οθόνη την απεικόνιση του χώρου με την σχετική ένταση κάθε εικονοστοιχείου ανάλογη της έντασης της ισχύος επιστροφής.

Ραντάρ Σύνθετου Ανοίγματος (SAR): Αυτό το ραντάρ χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο πάνω σε κινούμενο όχημα για παράδειγμα πάνω σε ένα αεροπλάνο και γενικά η ακτίνα της κεραίας του προσανατολίζεται κάθετα στην κατεύθυνση της πορείας του. Αυτό επιτυγχάνει υψηλή ανάλυση της γωνίας, αποθηκεύοντας τα λαμβανόμενα σήματα στην μνήμη και μετά τα προσθέτει σαν να ήταν από μια μεγάλη παράταξη της κεραίας. Η απόδοση του είναι μια υψηλής ανάλυσης εικόνα από μια σκηνή.

Ραντάρ αντίστροφου σύνθετου ανοίγματος (ISAR): Το ISAR είναι παρόμοιο με το SAR, εκτός απ' το ότι αυτό επιτυγχάνει ανάλυση διασταυρωμένων κατευθύνσεων χρησιμοποιώντας την συχνότητα Doppler που προέρχεται από κίνηση του στόχου σε σχέση με το ραντάρ. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να επιτύχει μια εικόνα του στόχου. Υπάρχουν αρκετά ακόμα είδη ραντάρ τα οποία είτε χρησιμοποιούν κάποια από τις προηγούμενες τεχνολογίες η συνδυάζοντας κάποιες από αυτές πετυχαίνουν βέλτιστη σάρωση και υψηλή ποιότητα λειτουργίας.

2.5 Τα ραδιοκύματα

2.5.1.Πεδία ραδιοσυχνοτήτων

Τα ραδιοκύματα μπορούν να ακτινοβολούνται προς όλες τις κατευθύνσεις για ευρυεκπομπή, προς συγκεκριμένες περιοχές του χώρου όπου ενδεχομένως βρίσκεται ένας μετακινούμενος δέκτης, ή προς σταθερούς δέκτες που βρίσκονται σε γνωστές θέσεις. Η κεραία είναι διάταξη σχεδιασμένη για να εκπέμπει και να λαμβάνει ραδιοκύματα. Η ένταση του πεδίου που δημιουργείται εξαρτάται από:

- Τη συνολικά ακτινοβολούμενη ισχύ – μεγαλύτερη ισχύς προκαλεί ισχυρότερα πεδία.

- Την απόσταση από την κεραία – η ένταση του πεδίου μειώνεται σημαντικά με την αύξηση της απόστασης .
- Το διάγραμμα ακτινοβολίας της κεραίας– στενές δέσμες δημιουργούν ισχυρά πεδία στο εσωτερικό τους.

Ως προς την εξάρτηση από την απόσταση, τα ραδιοκύματα εξασθενούν αντιστρόφως ανάλογα προς το τετράγωνο της απόστασης από την πηγή τους. Δηλαδή, η πυκνότητα ισχύος που είναι το μέγεθος που καθορίζει την ποσότητα ισχύος που προσπίπτει σε μια επιφάνεια και μετριέται σε W/m^2 , σε απόσταση 100 μέτρων από την πηγή ακτινοβολίας, εξασθενεί 10.000 φορές σε σχέση με την πυκνότητα ισχύος που δημιουργείται σε απόσταση 1 μέτρου από την πηγή.

Όταν συναντούν αντικείμενα κατά τη διάδοσή τους, τα ραδιοκύματα μπορεί να ανακλαστούν, να απορροφηθούν ή να διαπεράσουν το αντικείμενο μερικώς ή ολικώς κατά τρόπο αντίστοιχο με ό,τι συμβαίνει με το φως.

Η πλέον σημαντική εφαρμογή των ραδιοκυμάτων είναι οι τηλεπικοινωνίες. Οι ραδιοφωνικές και τηλεοπτικές εκπομπές, τα κινητά τηλέφωνα, τα ασύρματα τηλέφωνα, οι επικοινωνίες της αστυνομίας και της πυροσβεστικής, οι δορυφορικές επικοινωνίες πραγματοποιούνται μεταδίδοντας την ενέργεια ραδιοκυμάτων. Τα ραδιοκύματα λειτουργούν ως φορείς της πληροφορίας στις τηλεπικοινωνίες, τη ραδιοφωνία και την τηλεόραση.

Άλλες χρήσεις των ραδιοκυμάτων περιλαμβάνουν τους φούρνους μικροκυμάτων, τα ραντάρ, βιομηχανικά συστήματα θέρμανσης και στεγανοποίησης και τα ιατρικά μηχανήματα. Η ενέργεια των ραδιοκυμάτων, ειδικά αυτή των μικροκυμάτων, έχει τη δυνατότητα να θερμαίνει το νερό. Δεδομένου ότι οι περισσότερες τροφές έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε νερό, τα μικροκύματα μπορούν να θερμάνουν το φαγητό αρκετά γρήγορα. Τα ρανταρ χρησιμοποιούν την ενέργεια των ραδιοκυμάτων για τον εντοπισμό αυτοκινήτων και αεροπλάνων καθώς και για στρατιωτικές εφαρμογές. Οι βιομηχανικοί θερμαντήρες και στεγανοποιητές χρησιμοποιούν ραδιοκύματα για τη συγκόλληση παραγώγων ξύλου, τη στεγανοποίηση δερμάτινων αντικειμένων όπως παπουτσιών και για την επεξεργασία φαγητού. Οι ιατρικές χρήσεις της ενέργειας ραδιοκυμάτων περιλαμβάνουν τη μαγνητική τομογραφία, την εποπτεία και τον προγραμματισμό βηματοδοτών, την υπερθερμία για την αντιμετώπιση του καρκίνου.

Το μέγεθος που χρησιμοποιείται για την ποσοτικοποίηση της ενέργειας ραδιοκυμάτων που απορροφάται από το σώμα ονομάζεται Ρυθμός Ειδικής Απορρόφησης (Specific Absorption Rate-SAR). Συνήθως εκφράζεται σε Watts ανά χιλιόγραμμο (W/kg) ή milliwatts ανά γραμμάριο (mW/g) και υπολογίζεται από τη σχέση :

$$SAR = \sigma \frac{|E|^2}{\rho}$$

όπου σ (Si/m) η ηλεκτρική αγωγιμότητα του ιστού, ρ (kg/m^3) η πυκνότητα μάζας του ιστού και E (V/m) η ενεργός τιμή του ηλεκτρικού πεδίου.

2.6 Βιολογική επίδραση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας

Τα αποτελέσματα της επίδρασης των ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων στον άνθρωπο, εξαρτώνται από την ένταση του πεδίου, την συχνότητα, τον χρόνο έκθεσης καθώς και την απόσταση του ανθρώπου από αυτά. Έτσι τα χαμηλόσυχνα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία επιδρούν στο ανθρώπινο σώμα, επάγοντας πεδία και ρεύματα στο εσωτερικό του, ενώ τα ραδιοκύματα και τα μικροκύματα θερμαίνουν τα κύτταρα και τους ιστούς. Όπως είναι γνωστό οι βιολογικοί ιστοί του ανθρώπου και κάθε ζώντος οργανισμού, αποτελούνται από χημικές ενώσεις. Από ηλεκτρική άποψη κάθε μόριο των βιολογικών ιστών εμφανίζεται σαν ηλεκτρικό δίπολο. Υπό την επίδραση λοιπόν ενός ισχυρού εξωτερικού ηλεκτρομαγνητικού πεδίου, τα δίπολα τείνουν να προσανατολιστούν κατά τη φορά του πεδίου με αποτέλεσμα την ταλάντωση των μορίων. Η κινητική αυτή δε ενέργεια των ταλαντωμένων μορίων μετατρέπεται σε θερμότητα. Εξαιτίας αυτής της αλληλεπίδρασης μεταξύ υψίσυχνων ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων με τους βιολογικούς οργανισμούς, λόγω της αύξησης της κινητικής ενέργειας κυρίως των μορίων του νερού που περιέχουν, παρουσιάζεται αύξηση της θερμοκρασίας είτε τοπικά είτε ακόμα και συνολικά σε όλο το ανθρώπινο σώμα. Οι επιδράσεις, ανάλογα με την αύξηση της θερμοκρασίας που προκαλούν στο βιολογικό σύστημα, διακρίνονται σε θερμικές και σε μη – θερμικές.

- **Θερμικές επιδράσεις:** Όταν η θερμοκρασία του συστήματος αυξάνεται περισσότερο από 0.1°C , η επίδραση χαρακτηρίζεται θερμική. Στην περίπτωση αυτή σημαντικό ρόλο παίζουν οι διηλεκτρικές ιδιότητες του βιολογικού ιστού. Η παρουσία των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων αυξάνει την κινητική ενέργεια των μορίων του νερού με συνέπεια τη μεταφορά ενέργειας στους ιστούς, με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας είτε μόνο του ιστού, είτε ολόκληρου του βιολογικού συστήματος.
- **Μη-θερμικές επιδράσεις:** Ως μη-θερμικές χαρακτηρίζονται οι επιδράσεις όταν η θερμοκρασία του βιολογικού αντικειμένου δεν αυξάνεται περισσότερο από 0.1°C . Στην περίπτωση αυτή το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο διεισδύει στα κύτταρα και στα μόρια δίχως την αύξηση της θερμοκρασίας των ιστών.

2.7 Τα όρια για την έκθεση στην Ευρωπαϊκή Ένωση

Το 1998 η Διεθνής Επιτροπή για την Προστασία από τις Μη-Ιοντίζουσες Ακτινοβολίες (International Commission of Non-Ionizing Radiation Protection – ICNIRP) εξέδωσε όρια για την έκθεση, τόσο του γενικού πληθυσμού όσο και των εργαζόμενων, σε ΗΜ-πεδία συχνοτήτων 0 Hz 300 GHz. Στις συχνοτικές αυτές περιοχές περιλαμβάνονται οι κεραίες των τηλεοπτικών και ραδιοφωνικών σταθμών, οι σταθμοί βάσης κινητής τηλεφωνίας, οι διατάξεις ραντάρ και το σύνολο των τηλεπικοινωνιακών εφαρμογών. Η ICNIRP είναι μια ανεξάρτητη επιστημονική οργάνωση, μεγάλου κύρους που ασχολείται με την προφύλαξη των ανθρώπων από τις μη ιοντίζουσες ακτινοβολίες (όπως είναι αυτές που χρησιμοποιούνται στα συστήματα κινητής τηλεφωνίας). Είναι επίσημα αναγνωρισμένη μη κυβερνητική οργάνωση από την Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας, το Διεθνές Γραφείο Εργασίας και την Ευρωπαϊκή Ένωση. Έχει ως μέλη διεθνώς αναγνωρισμένους επιστήμονες που καλύπτουν τις επιστημονικές περιοχές της ιατρικής, της βιολογίας, της επιδημιολογίας, της φυσικής και της μηχανικής.

Η Ευρωπαϊκή ένωση βασισμένη στα όρια αυτά εξέδωσε το 1999 τη Σύσταση του Συμβουλίου της <<Σχετικά με τον Περιορισμό της Έκθεσης του Κοινού σε ΗΜ-πεδία 0 HZ – 300 GHz >> (L199 – 1999/519/EC), θεσπίζοντας με τον τρόπο αυτό όρια για την έκθεση σε ΗΜ-ακτινοβολία του γενικού πληθυσμού.

Οι οδηγίες της ICNIRP έχουν εφαρμόσει ένα παράγοντα ασφαλείας 50, χαμηλότερα από την οριακή τιμή κάτω από την οποία δεν έχουν αναφερθεί αρνητικά φαινόμενα στον ανθρώπινο οργανισμό. Τα όρια έκθεσης χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες : (α) στα όρια που αφορούν το γενικό πληθυσμό και (β) στα όρια που αφορούν τους επαγγελματικά απασχολούμενους / ελεγχόμενους με τα ΗΜ-πεδία. Τα όρια έκθεσης διαχωρίζονται σε βασικούς περιορισμούς και επίπεδα αναφοράς. Οι βασικοί περιορισμοί έκθεσης σε μεταβαλλόμενα ηλεκτρικά, μαγνητικά και ηλεκτρομαγνητικά πεδία και οι οποίες βασίζονται άμεσα σε αποδεδειγμένες επιπτώσεις στην υγεία και σε βιολογικές μελέτες. Ανάλογα με την συχνότητα του πεδίου, τα φυσικά μεγέθη που χρησιμοποιούνται για να προσδιορίσουν αυτούς τους περιορισμούς είναι η μαγνητική επαγωγή (B) , η πυκνότητα ρεύματος (J), ο ρυθμός ειδικής απορρόφησης ενέργειας (SAR), και η πυκνότητα ισχύος (S). Τα επίπεδα αναφοράς είναι αυτά που χρησιμοποιούνται για την πρακτική εκτίμηση της έκθεσης, προκειμένου να διαπιστωθεί το ενδεχόμενο υπέρβασης των βασικών περιορισμών. Ορισμένα επίπεδα αναφοράς προέρχονται από σχετικούς βασικούς περιορισμούς, με τη χρήση μετρήσεων ή και διαδικασιών υπολογισμού, ενώ άλλα περιλαμβάνουν την αντίληψη και τις δυσμενείς έμμεσες επιπτώσεις της έκθεσης σε ΗΜ-πεδία. Τα παράγωγα φυσικά μεγέθη είναι η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου (E), η ένταση του μαγνητικού πεδίου (H), η μαγνητική επαγωγή (B), η πυκνότητα ισχύος (S) και το ρεύμα άκρων (I_L). Τα μεγέθη που ορίζουν την αντίληψη και άλλες έμμεσες επιδράσεις είναι το ρεύμα επαφής (I_c) και για τα παλμικά πεδία η ειδική απορρόφηση ενέργειας (SAR).

Σε κάθε κατάσταση έκθεσης οι μετρούμενες ή υπολογιζόμενες τιμές πολλών από αυτά τα μεγέθη μπορούν να συγκριθούν με το αντίστοιχο επίπεδο αναφοράς. Η συμμόρφωση με το επίπεδο αναφοράς εξασφαλίζει και την συμμόρφωση με τον αντίστοιχο βασικό περιορισμό. Εάν η μετρούμενη τιμή υπερβαίνει το επίπεδο αναφοράς, δεν έπεται κατ' ανάγκη ότι στο σημείο που μετρήθηκε η τιμή θα σημειώνεται και υπέρβαση του βασικού περιορισμού. Σε μια τέτοια περίπτωση θα πρέπει να ελέγχεται και ο αντίστοιχος βασικός περιορισμός.

Τα όρια αυτά αφορούν μόνο την ΗΜ-ακτινοβολία και όχι την ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα, οπότε η συμμόρφωση ως προς τη συμβατότητα θα πρέπει να εξετάζεται με άλλα πρότυπα (EMC compliance).

2.7.1.Επίπεδα αναφοράς για το γενικό πληθυσμό

Το μέγεθος που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της ποσότητας της ενέργειας των ραδιοκυμάτων που απορροφάται από το σώμα ονομάζεται Ρυθμός Ειδικής Απορρόφησης (Specific Absorption Rate-SAR). Συνήθως εκφράζεται σε Watts ανά χιλιόγραμμα (W/kg) ή milliwatts ανά γραμμάριο (mW/g). Όταν εκτιθέμεθα σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μια ποσότητα ενέργειας από την εκπεμπόμενη ακτινοβολία απορροφάται από το σώμα μας. Ο ειδικός ρυθμός απορρόφησης ενέργειας ή SAR (Specific Absorption Rate) εκφράζει την απορροφούμενη ενέργεια από τον ιστό ανά μονάδα μάζας ιστού. Ορίζεται και ο μέσος SAR σε μάζα ιστού 1g που εκφράζει την μέση τιμή της απορροφούμενης ενέργειας σε όλο το σώμα και ο τοπικός SAR σε μάζα ιστού 10g που αναφέρεται στην τοπική απορρόφηση σε μια περιοχή του σώματος. Στη περίπτωση των κινητών τηλεφώνων τα αντίστοιχα μεγέθη είναι ο τοπικός SAR στην περιοχή του κεφαλιού και στην περίπτωση των σταθμών βάσης ο μέσος ολόσωμος SAR.

Προκειμένου να θεσπιστούν όρια ασφαλείας από διεθνείς επιτροπές όπως η ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) έγιναν αποτιμήσεις των επιδράσεων της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, εκφραζόμενες μέσα από επιδημιολογικά, κλινικά και βιολογικά αποτελέσματα. Τα όρια ασφαλούς έκθεσης βασίζονται σε βραχυπρόθεσμες επιδράσεις των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων, αφού τα δεδομένα για τη μακροπρόθεσμη επίδρασή τους δεν είναι επαρκή για τη θέσπιση ορίων. Εφόσον προκύψουν νέα αποτελέσματα μελετών τα θεσπισμένα όρια ανανεώνονται ώστε να συμβαδίζουν με αυτά. Οι τιμές της ICNIRP που ισχύουν μέχρι σήμερα είναι από το 2020 και καλύπτουν συχνότητες από 0 έως 300 GHz. Για μεγαλύτερες συχνότητες της τάξης του 1 MHz τα όρια ασφαλούς έκθεσης στοχεύουν στην αποφυγή της θερμικής επίδρασης από την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Στον παρακάτω πίνακα 2.1 παραθέτονται τα όρια της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τους διάφορους τύπους SAR ενώ στον πίνακα 2.2 τα επίπεδα αναφοράς για την έκθεση του γενικού πληθυσμού σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία σύμφωνα με την ICNIRP.

Πίνακας 2.1 Βασικοί περιορισμοί της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την απορροφούμενη ενέργεια στο σώμα ενός ανθρώπου που ανήκει στην ομάδα του γενικού πληθυσμού από την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία στην περιοχή των ραδιοσυχνοτήτων.

Φυσικό Μέγεθος	Όρια ΕΕ (mA/m ²)
Μέσος ρυθμός ειδικής απορρόφησης (SAR) ολόκληρου του σώματος	0,08
Τοπικός ρυθμός ειδικής απορρόφησης (SAR) στο κεφάλι και στον κορμό	2
Τοπικός ρυθμός ειδικής απορρόφησης (SAR) στα άκρα	4

Πίνακας 2.2 Επίπεδα αναφοράς για την έκθεση του γενικού πληθυσμού σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία από 100 KHz έως 300 GHz κατά μέσο όρο για χρόνο μέτρησης 30 λεπτών σε όλο το σώμα.

Ζώνη Συχνοτήτων	E_{inc} (V/m)	H_{inc} (A/m)	S_{inc} (W/m ²)
0,1 – 30 MHz	$300/f_M^{0,7}$	$2,2/f_M$	-
30 – 400 MHz	27,7	0,073	2
400 – 2000 MHz	$1,375f_M^{0,5}$	$0,0037f_M^{0,5}$	$F_M/200$
2- 300 GHz	-	-	10

Όπου:

- F_M η συχνότητα με MHz
- E_{inc} , H_{inc} , S_{inc} υπολογισμένα κατά μέσο όρο για διάστημα 30 λεπτών σε όλο το σώμα.

Πίνακας 2.3 Επίπεδα αναφοράς για το γενικό πληθυσμό όσον αφορά τις κυριότερες συχνότητες εφαρμογής

Εφαρμογή	Ένταση Ηλεκτρικού Πεδίου (V/m)	Ένταση Μαγνητικού Πεδίου(A/m)	Πυκνότητα Ισχύος Ισοδύναμου Επιπέδου ΗΜ Κύματος (W/m²)
Κινητή τηλεφωνία 900 MHz (GSM)	90	0,24	22,5
Κινητή τηλεφωνία 1800MHz (DCS)	127	0,34	45
Κινητή τηλεφωνία 2100MHz (UMTS)	137	0,36	50
Ασύρματα δίκτυα 2,4 GHz (WiFi)	137	0,36	50
Ασύρματα δίκτυα 3,5 GHz (WiMax)	137	0,36	50

2.7.2 Όρια για τους επαγγελματικά απασχολούμενους σε χώρους έκθεσης σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία

Σύμφωνα με τις οδηγίες της ICNIRP, προτείνεται ένα σύστημα δύο επιπέδων ως προς τα όρια επιτρεπτής έκθεσης: χαμηλότερα όρια για το γενικό πληθυσμό και υψηλότερα για τους επαγγελματικά απασχολούμενους σε χώρους έκθεσης σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Αυτό συμβαίνει διότι ο επαγγελματικά εκτεθειμένος αποτελείται από ενήλικες εργαζόμενους οι οποίοι, γενικά, είναι ενημερωμένοι για την ύπαρξη των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων και τα αποτελέσματά τους. Οι εργαζόμενοι εκπαιδεύονται ώστε να γνωρίζουν τον πιθανό κίνδυνο και να λαμβάνουν τις απαραίτητες προφυλάξεις. Αντίθετα, ο γενικός πληθυσμός αποτελείται από άτομα όλων των ηλικιών με κυμαινόμενη κατάσταση υγείας, τα οποία σε πολλές περιπτώσεις δεν γνωρίζουν ότι εκτίθενται σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία. Επιπλέον οι εργαζόμενοι

τυπικά εκτίθενται μόνο κατά τη διάρκεια της εργάσιμης μέρας (συνήθως 8 ώρες τη ημέρα) ενώ ο γενικός πληθυσμός μπορεί να είναι εκτεθειμένος μέχρι και 24 ώρες την ημέρα. Αυτοί είναι οι θεμελιώδεις λόγοι που οδήγησαν σε περισσότερο αυστηρούς περιορισμούς έκθεσης για το γενικό πληθυσμό σε σχέση με τον επαγγελματικά εκτεθειμένο πληθυσμό. Στον παρακάτω πίνακα 2.3 καταγράφονται οι τα αντίστοιχα επίπεδα αναφοράς για την έκθεση όπως αυτά έχουν καθοριστεί από την ICNIRP.

Πίνακας 2.4 Επίπεδα αναφοράς για την έκθεση των επαγγελματικά εκτιθέμενων σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία από 100 KHz έως 300 GHz κατά μέσο όρο για χρόνο μέτρησης 30 λεπτών σε όλο το σώμα.

Ζώνη συχνότητων	E_{inc} (V/m)	H_{inc} (A/m)	S_{inc} (W/m²)
0,1 – 30 MHz	$660/f_M^{0.7}$	$4,9/f_M$	-
30 – 400 MHz	61	0,16	10
400 – 2000 MHz	$3f_M^{0.5}$	$0,008f_M^{0.5}$	$F_M/40$
2 – 300 GHz	-	-	50

Όπου:

- F_M η συχνότητα με MHz
- E_{inc} , H_{inc} , S_{inc} υπολογισμένα κατά μέσο όρο για διάστημα 30 λεπτών σε όλο το σώμα.

Πίνακας 2.5 Επίπεδα αναφοράς για τους επαγγελματικά απασχολούμενους όσον αφορά τις κυριότερες συχνότητες εφαρμογής

Εφαρμογή	Ένταση Ηλεκτρικού Πεδίου (V/m)	Ένταση Μαγνητικού Πεδίου(A/m)	Πυκνότητα Ισχύος Ισοδύναμου Επιπέδου ΗΜ Κύματος (W/m ²)
Κινητή τηλεφωνία 900 MHz (GSM)	90	0,24	22,5
Κινητή τηλεφωνία 1800MHz (DCS)	127	0,34	45
Κινητή τηλεφωνία 2100MHz (UMTS)	137	0,36	50
Ασύρματα δίκτυα 2,4 GHz (WiFi)	137	0,36	50
Ασύρματα δίκτυα 3,5 GHz (WiMax)	137	0,36	50

2.8 Τα όρια στην Ελλάδα

Τα όρια ασφαλούς έκθεσης του κοινού ορίζονται στις παραγράφους 1 και 3 (κατά περίπτωση) του άρθρου 35 του Νόμου 4635 (ΦΕΚ 167/Α/30-10-2019) και στα άρθρα 2-4 της υπ' αριθ. 53571/3839 (ΦΕΚ 1105/Β/6-9-2000) Κοινής Απόφασης των Υπουργών Ανάπτυξης, Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων, Υγείας και Πρόνοιας, Μεταφορών και Επικοινωνιών, με θέμα «Μέτρα προφύλαξης του κοινού από την λειτουργία κεραιών εγκατεστημένων στην ξηρά». Η προαναφερθείσα Κ.Υ.Α. βασίστηκε στη Σύσταση του Συμβουλίου της Ε.Ε., L 199 (1999/519/EC), 30-7-1999, «Σχετικά με τον περιορισμό της έκθεσης του κοινού σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία 0 Hz - 300 GHz».

Προβλέπονται βασικοί περιορισμοί και επίπεδα αναφοράς για την έκθεση στα ηλεκτρομαγνητικά πεδία. Οι βασικοί περιορισμοί βασίζονται άμεσα σε αποδεδειγμένες επιπτώσεις στην υγεία και σε βιολογικές μελέτες, ενώ τα επίπεδα αναφοράς χρησιμοποιούνται για την πρακτική εκτίμηση της έκθεσης, προκειμένου να διαπιστωθεί το ενδεχόμενο υπέρβασης των βασικών περιορισμών.

Διευκρινίζεται εδώ ότι οι βασικοί περιορισμοί για την έκθεση του κοινού στα εκπεμπόμενα ηλεκτρομαγνητικά πεδία, βασίστηκαν σε όλες τις μέχρι σήμερα αποδεδειγμένες επιδράσεις και έχουν οριστεί με μεγάλους συντελεστές ασφαλείας (μεγέθους περίπου 50) έτσι ώστε να λαμβάνονται υπόψη οι αβεβαιότητες που υπάρχουν όσον αφορά την ατομική ευαισθησία, τις περιβαλλοντικές συνθήκες καθώς και τις διαφορές όσον αφορά την ηλικία και την κατάσταση της υγείας του κοινού. Επίσης, πρέπει να υπογραμμιστεί πως τα επίπεδα αναφοράς που χρησιμοποιούνται για τον περιορισμό της έκθεσης προέρχονται από τους βασικούς περιορισμούς, υπό συνθήκες μέγιστης σύζευξης του πεδίου με το εκτεθειμένο σε αυτό άτομο, παρέχοντας έτσι το μέγιστο βαθμό προστασίας.

Ακόμα πρέπει να τονιστεί πως ως όρια ασφαλούς έκθεσης του κοινού στην Ελλάδα (1 και 3 (κατά περίπτωση) του άρθρου 35 του Νόμου 4635 (ΦΕΚ 167/Α/30-10-2019)) θεωρούνται το 70% των τιμών της Ε.Ε., εισάγοντας έτσι ένα πρόσθετο συντελεστή ασφαλείας. Επίσης, ειδικά σε περίπτωση εγκατάστασης κατασκευής κεραίας σε απόσταση μέχρι 300 μέτρων από την περίμετρο κτιριακών εγκαταστάσεων βρεφονηπιακών σταθμών, σχολείων, γηροκομείων και νοσοκομείων, προβλέπεται περαιτέρω μείωση των ορίων ασφαλούς έκθεσης του κοινού (παραγράφους 1 και 3 (κατά περίπτωση) του άρθρου 35 του Νόμου 4635 (ΦΕΚ 167/Α/30-10-2019)), καθώς αυτά απαγορεύεται να υπερβαίνουν το 60% των τιμών της Ε.Ε. Πρέπει λοιπόν εδώ να υπογραμμιστεί ότι σύμφωνα με την κείμενη νομοθεσία, η Ελλάδα συγκαταλέγεται στις χώρες που έχουν θεσπίσει από τα αυστηρότερα όρια στην Ευρώπη. Στον Πίνακα 2.6 παρουσιάζονται οι βασικοί περιορισμοί της σύστασης της Ε.Ε. για την περιοχή συχνοτήτων 100 kHz-10 MHz για την πυκνότητα του επαγόμενου ρεύματος. Στον Πίνακα 2.7 παρουσιάζονται οι βασικοί περιορισμοί για την περιοχή συχνοτήτων 100 kHz-10 GHz για τον ρυθμό ειδικής απορρόφησης (SAR). Για συχνότητες από 10-300 GHz οι βασικοί περιορισμοί αφορούν την πυκνότητα ισχύος και παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.8. Στους Πίνακες 2.6 έως 2.8 παρουσιάζονται και οι βασικοί περιορισμοί στην Ελληνική Νομοθεσία, όπως προκύπτουν μετά την εφαρμογή των συντελεστών μείωσης 70% και 60% κατά περίπτωση.

Πίνακας 2.6 Βασικοί περιορισμοί της Σύστασης της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την πυκνότητα του επαγόμενου ρεύματος στην περιοχή συχνοτήτων 100kHz-10MHz

Φυσικό Μέγεθος	Τιμές ΕΕ (mA/m ²)	Ελληνική νομοθεσία	
		70% τιμών ΕΕ (mA/m ²)	60% τιμών ΕΕ (mA/m ²)
Πυκνότητα επαγόμενου ρεύματος	$f / 500$	$f / 714$	$f / 833$

Πίνακας 2.7 Βασικοί περιορισμοί της Σύστασης της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την απορροφούμενη ενέργεια από την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία στην περιοχή συχνοτήτων 100kHz-10GHz .

Φυσικό Μέγεθος	Τιμές ΕΕ (W/kg)	Ελληνική νομοθεσία	
		70% τιμών ΕΕ (W/kg)	60% τιμών ΕΕ (W/kg)
Μέσος ρυθμός ειδικής απορρόφησης (SAR) ολόκληρου του σώματος	0,08	0,05 6	0,04 8
Τοπικός ρυθμός ειδικής απορρόφησης (SAR) στο κεφάλι και στον κορμό	2	1,4	1,2
Τοπικός ρυθμός ειδικής απορρόφησης (SAR) στα άκρα	4	2,8	2,4

Πίνακας 2.8 Βασικοί περιορισμοί της Σύστασης της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την πυκνότητα ισχύος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στην περιοχή συχνοτήτων 10-300GHz.

Φυσικό Μέγεθος	Τιμές ΕΕ (W/m ²)	Ελληνική νομοθεσία	
		70% τιμών ΕΕ (W/m ²)	60% τιμών ΕΕ (W/m ²)
Πυκνότητα Ισχύος	10	7	6

Τα επίπεδα αναφοράς αφορούν τα μετρήσιμα φυσικά μεγέθη της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου (E), της έντασης του μαγνητικού πεδίου (H) και της ισοδύναμης πυκνότητας ισχύος επίπεδου κύματος (P).

Δεδομένου του ότι δεν είναι ισοδύναμη η εφαρμογή ενός συντελεστή μείωσης στις τιμές των μεγεθών που αφορούν τα επίπεδα αναφοράς και τους βασικούς περιορισμούς και επειδή η τήρηση των βασικών περιορισμών είναι το ζητούμενο σε κάθε περίπτωση, ενώ τα επίπεδα αναφοράς είναι ουσιαστικά ενδιάμεσα μετρήσιμα μεγέθη που διευκολύνουν πρακτικά την διαπίστωση της συμμόρφωσης με τους βασικούς περιορισμούς, προκύπτει ότι η εφαρμογή των συντελεστών μείωσης στο 60% και 70% κατά περίπτωση, αφορά αποκλειστικά τα μεγέθη των βασικών περιορισμών. Με αυτόν τον τρόπο, άλλωστε, διασφαλίζεται ότι σε κάθε περίπτωση η μη υπέρβαση των επιπέδων αναφοράς συνεπάγεται και την μη υπέρβαση των βασικών περιορισμών, ενώ η υπέρβαση των επιπέδων αναφοράς, δεν συνεπάγεται κατ' ανάγκη και την υπέρβαση των βασικών περιορισμών. Τα επίπεδα αναφοράς της ελληνικής νομοθεσίας λοιπόν προκύπτουν έτσι ώστε να τηρούνται σε κάθε περίπτωση οι βασικοί περιορισμοί των πινάκων 2.6 έως 2.8. Δηλαδή, τα επίπεδα αυτά προκύπτουν από την εφαρμογή συντελεστή μείωσης 70% ή 60% ανάλογα με την περίπτωση, στα επίπεδα αναφοράς της Ε.Ε. για τα μεγέθη E και H όταν πρόκειται για την τήρηση των βασικών περιορισμών που αφορούν επαγόμενα ρεύματα και E², H² και P όταν πρόκειται για την τήρηση των βασικών περιορισμών που αφορούν SAR ή πυκνότητα ισχύος.

Στον πίνακα 2.9 παρουσιάζονται τα επίπεδα αναφοράς της ελληνικής νομοθεσίας για διάφορες περιοχές συχνοτήτων στις οποίες λειτουργούν βασικές τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες.

Πίνακας 2.9 Επίπεδα αναφοράς της Ελληνικής Νομοθεσίας σε διάφορες περιοχές συχνοτήτων όπως προκύπτουν για συντελεστή μείωσης 70% και 60% για τα μεγέθη της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου (E), της έντασης του μαγνητικού πεδίου (H) και της ισοδύναμης πυκνότητας ισχύος επίπεδου κύματος (P).

Περιοχή Συχνοτήτων	70%			60%			Εφαρμογές
	E (V/m)	H (A/m)	P (W/m ²)	E (V/m)	H (A/m)	P (W/m ²)	
10-400MHz	23,43	0,0611	1,40	21,69	0,0565	1,20	ραδιοφωνία FM, επικοινωνίες TETRA, εκπομπές VHF, Αεροναυτική και ναυτιλιακή επικοινωνία κ.α.
600 MHz	28,18	0,0758	2,10	26,09	0,0702	1,80	Εκπομπές TV UHF
800 MHz	32,54	0,0876	2,80	30,12	0,0811	2,40	
900 MHz	34,51	0,0929	3,15	31,95	0,0860	2,70	κινητή τηλεφωνία, ραδιοεντοπισμός
1800 MHz	48,81	0,1313	6,30	45,19	0,1216	5,40	Κινητή τηλεφωνία
2-300GHz	51,04	0,133 9	7,00	47,25	0,123 9	6,00	κινητή τηλεφωνία, Wi-Fi, μικροκυματικές ζεύξεις, δορυφορικές επικοινωνίες, ραντάρ, ραδιοεντοπισμός

Σύμφωνα με την κείμενη νομοθεσία, τα παραπάνω όρια έκθεσης στην περιοχή συχνοτήτων από 100 kHz έως 10 GHz, αφορούν τον μέσο όρο των τετραγώνων των

εντάσεων των πεδίων E^2 και H^2 ή της πυκνότητας ισχύος P για κάθε χρονική περίοδο διάρκειας 6 λεπτών.

Κεφάλαιο 3.Μεθοδολογία, εξοπλισμός μετρήσεων και θεμελιώδεις έννοιες

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστεί η μεθοδολογία και ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε για την συλλογή των δεδομένων. Οι μετρήσεις που επεξεργάστηκαν αφορούν τόσο κεραιοδιατάξεις πάρκων κεραιών όσο και ραντάρ.

3.1 Οι Αρμοδιότητες της ΕΕΑΕ για τις μη ιοντίζουσες ακτινοβολίες

Η ΕΕΑΕ είναι υπεύθυνη για την προστασία του πληθυσμού και του περιβάλλοντος από τις τεχνητά παραγόμενες μη-ιοντίζουσες ακτινοβολίες - οι οποίες δεν πρέπει σε καμία περίπτωση να συγχέονται με τη ραδιενέργεια (ιοντίζουσα ακτινοβολία) - και φροντίζει για την παροχή σχετικής πληροφόρησης σε κάθε ενδιαφερόμενο. Ο ρόλος της περιλαμβάνει τον έλεγχο των μελετών ραδιοεκπομπών, τον έλεγχο των περιβαλλοντικών μελετών και τις μετρήσεις της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας.

Ο έλεγχος αφορά διατάξεις εκπομπής ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, όπως οι ακόλουθες:

- Σταθμοί βάσης κινητής τηλεφωνίας και σταθερής ασύρματης πρόσβασης και άλλα είδη σταθμών που παρέχουν πάσης φύσεως τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες
- Γραμμές μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, υποσταθμοί συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας και ηλεκτρικές εγκαταστάσεις, μηχανήματα, συσκευές και άλλες διατάξεις εκπομπής ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων χαμηλών συχνοτήτων
- Κεραίες τηλεοπτικών και ραδιοφωνικών σταθμών
- Διατάξεις ραντάρ και επίγειοι δορυφορικοί σταθμοί
- Σολάριουμ (διατάξεις τεχνητού μαυρίσματος)
- Μαγνητικοί τομογράφοι

3.2 Διαδικασία μετρήσεων

Οι μετρήσεις διεξάγονται από κλιμάκιο του Γραφείου Μη Ιοντιζουσών Ακτινοβολιών της Ε.Ε.Α.Ε. με σκοπό την καταγραφή των επιπέδων της εκπεμπόμενης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και την εξακρίβωση της συμμόρφωσης ή όχι με τα όρια ασφαλούς έκθεσης του κοινού όπως αυτά ορίζονται παραγράφους 1 και 3 (κατά περίπτωση) του άρθρου 35 του Νόμου 4635 (ΦΕΚ 167/Α/30-10-2019) και στα άρθρα 2-4 της υπ' αριθ. 53571/3839 (ΦΕΚ 1105/Β/6-9-2000) Κοινής Απόφασης των Υπουργών Ανάπτυξης, Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων, Υγείας και Πρόνοιας, Μεταφορών και Επικοινωνιών, με θέμα «Μέτρα προφύλαξης του κοινού από την λειτουργία κεραιών εγκατεστημένων στην ξηρά».

Η διαδικασία μετρήσεων που πραγματοποιεί το Γραφείο Μη Ιοντιζουσών Ακτινοβολιών της Ε.Ε.Α.Ε. βασίζεται πέραν της κείμενης σχετικής νομοθεσίας και στα κάτωθι πρότυπα που αφορούν θέματα μετρήσεων ηλεκτρομαγνητικών πεδίων υψηλών συχνοτήτων:

- ΕΛΟΤ EN 50383, 2003 “Βασικό πρότυπο για τον υπολογισμό και την μέτρηση έντασης του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου και του SAR σχετικά με την έκθεση του ανθρώπου σε ραδιοσταθμούς βάσης και σταθερούς τερματικούς σταθμούς για ασύρματα τηλεπικοινωνιακά συστήματα (110 MHz - 40 GHz)”
- ΕΛΟΤ EN 50400, 2006 “Βασικό πρότυπο για την επίδειξη συμμόρφωσης σταθερού εξοπλισμού για ραδιομετάδοση (110MHz-40GHz) που προορίζεται να χρησιμοποιηθεί σε ασύρματα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα με τους βασικούς περιορισμούς ή τις στάθμες αναφοράς σχετικά με την έκθεση γενικού πληθυσμού στα ηλεκτρομαγνητικά πεδία ραδιοσυχνοτήτων, όταν πρόκειται να τεθούν σε υπηρεσία”
- CEPT Revised ECC/REC/(02)04, “Measuring non-ionising electromagnetic radiation (9 kHz – 300 GHz)”
- ETSI EG 202 373 V.1.1.1, 2005 “Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Guide to the methods of measurement of Radio Frequency (RF) fields”
- IEEE Std C95.3-2002, «IEEE Recommended Practice For Measurements and Computations of Radio Frequency Electromagnetic Fields with Respect to Human Exposure to Such Fields, 100kHz-300GHz»
- Ελληνικό πρότυπο ΕΛΟΤ 1422-3,2007 «Συνεγκατάσταση κεραιών ραδιοεπικοινωνιών - Μέρος 3: Τεχνικές Δοκιμών και Μετρήσεων - Όρια», Έκδοση 1η
- ΕΛΟΤ EN 50420,2006 “Βασικό πρότυπο για την αποτίμηση της έκθεσης του ανθρώπου στα ηλεκτρομαγνητικά πεδία από αυτόνομο πομπό ευρυεκπομπής (30 MHz - 40 GHz) ”
- ΕΛΟΤ EN 50413,2008/A1,2013 «Βασικό πρότυπο διαδικασιών μέτρησης και υπολογισμού για την έκθεση του ανθρώπου σε ηλεκτρικά, μαγνητικά και ηλεκτρομαγνητικά πεδία (0 Hz - 300 GHz)»

- ΕΛΟΤ EN 50492,2008/A1,2014 «Βασικό πρότυπο για την επιτόπια μέτρηση της έντασης του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου σε σχέση με την έκθεση του ανθρώπου σε γειννίαση με σταθμούς βάσης »
- ΕΣΥΔ_ΚΟ-ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΠΕΔΙΑ/01/01/11-05-2012
- ΕΛΟΤ EN 61566,1999 «Μετρήσεις της έκθεσης σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία ραδιοσυχνότητας – Ένταση πεδίου στην περιοχή συχνοτήτων 100 kHz έως 1 GHz».
- IEC 62232 ed1.0,2011 «Determination of RF field strength and SAR in the vicinity of radio communication base stations for the purpose of evaluating human exposure.»
- IEC/TR 62669 ed1.0,2011 «Case studies supporting IEC 62232 - Determination of RF field strength and SAR in the vicinity of radio communication base stations for the purpose of evaluating human exposure.»
- Recommendation ITU-T K.91, 2012 “Guidance for assessment, evaluation and monitoring of human exposure to radio frequency electromagnetic fields”.

3.3 Εξοπλισμός Μέτρησης

Τα όργανα που χρησιμοποιούνται για τη λήψη των μετρήσεων είναι τα SRM-3000, SRM-3006 και EMR-300 καθώς και κατάλληλος βοηθητικός εξοπλισμός.

Σύστημα SRM-3000

Το σύστημα SRM – 3000, της εταιρείας Narda-STS, χρησιμοποιείται για συχνό επιλεκτικές μετρήσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και αποτελείται από μια βασική μονάδα – φασματικό αναλυτή στην περιοχή 100 kHz – 3 GHz στην οποία μπορούν να συνδέονται κατά περίπτωση, διάφορα είδη κεραιών είτε απευθείας είτε μέσω RF καλωδίου επέκτασης.

Το άμεσα μετρούμενο μέγεθος είναι η ένταση ηλεκτρικού πεδίου (E) σε V/m από το οποίο υπολογίζονται οι λόγοι έκθεσης στις οριζόμενες από το χρήστη φασματικές περιοχές-ζώνες συχνοτήτων (Πίνακας 3.1) καθώς και ο συνολικός λόγος έκθεσης σε όλη την περιοχή συχνοτήτων λειτουργίας του εκάστοτε χρησιμοποιούμενου ανιχνευτή (27 MHz – 3 GHz). Το σύστημα SRM – 3000 δύναται να παρουσιάζει τα αποτελέσματα ως ποσοστό μιας οριακής τιμής ή ως απόλυτες τιμές σε V/m, A/m ή W/m² και mW/cm², μετά την ρύθμιση όλων των απαραίτητων παραμέτρων λειτουργίας του από το χρήστη είτε κατά την λειτουργία του ως φασματικός αναλυτής (spectrum analysis) είτε κατά τη λειτουργία του ως ευρυζωνικός μετρητής σε όλες τις οριζόμενες από το χρήστη ζώνες συχνοτήτων μέτρησης (safety evaluation). Ως όρια έκθεσης έχουν εισαχθεί-οριστεί στη βασική μονάδα τα όρια έκθεσης του κοινού για όλο το χρησιμοποιούμενο φάσμα συχνοτήτων όπως αυτά ορίζονται κατά περίπτωση (70 ή 60%), στην κείμενη νομοθεσία στο

παράρτημα με τίτλο: «Κανονισμός διενέργειας μετρήσεων των επιπέδων της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στο περιβάλλον σταθμών κεραιών» της υπ' αριθ. 2300 ΕΦΑ (493) Κοινής Υπουργικής Απόφασης (ΦΕΚ 346/Β/3-3-2008).

Η ΕΕΑΕ διαθέτει τρία τέτοια συστήματα μέτρησης (βασική μονάδα, ανιχνευτή ηλεκτρικού πεδίου στη ζώνη 27 MHz – 3 GHz και RF καλώδιο 1,5 m).

Οι συνδυασμοί των προαναφερθέντων βασικών μονάδων - κεραιών επιτρέπουν την πλήρη ανάλυση του φασματικού περιεχομένου των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων στην περιοχή συχνοτήτων από 27 MHz έως 3 GHz (ή από 420 MHz έως 6 GHz) και τον άμεσο συσχετισμό των μετρούμενων τιμών με τα όρια έκθεσης της Ελληνικής Νομοθεσίας. Το σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση μια στενής φασματικής περιοχής, όπως για παράδειγμα τις εκπομπές ενός συγκεκριμένου ραδιοφωνικού σταθμού, ή/και για την μέτρηση ευρύτερων φασματικών περιοχών, π.χ. στον πίνακα 3.1 δίνονται οι φασματικές περιοχές που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση των μετρούμενων πεδίων ανά υπηρεσία.

Στο όργανο SRM-3000 με σειριακό αριθμό M-0145, υπάρχει και η δυνατότητα αποδιαμόρφωσης των πιλοτικών καναλιών (UMTS P-CPICH) των κυψελών, όπου το όργανο δύναται να αποκωδικοποιεί το πιλοτικό κανάλι (P-CPICH – Primary Common Pilot Channel) της κάθε κυψέλης UMTS (UMTS cell) που ανιχνεύεται μέσα στο κανάλι UMTS των 5 MHz. Το όργανο παράγει τα αντίστοιχα αποτελέσματα υπό μορφή πίνακα ο οποίος καθορίζεται σύμφωνα με τους αποκρυπτογραφημένους κώδικες που χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό των διαφορετικών κυψελών (cells). Το SRM παρουσιάζει τα αποτελέσματα ως ποσοστό μιας οριακής τιμής ή ως απόλυτες τιμές σε V/m, A/m ή W/m² και mW/cm². Μαζί με το αποτέλεσμα της συνολικής έντασης πεδίου που οφείλεται από την αποδιαμόρφωση, το όργανο καθορίζει τη συνολική αναλογική ισχύ του καναλιού UMTS που αξιολογείται. Συγχρόνως, το όργανο παρουσιάζει τις στιγμιαίες τιμές καθώς και τις μέγιστες τιμές που έχουν εμφανιστεί σε κάθε κυψέλη (cell) από την τελευταία αναστοιχειοθέτηση. Η επιλογή των καναλιών UMTS γίνεται εισάγοντας τη κεντρική συχνότητα του καναλιού ή τον αριθμό του σχετικού καναλιού.

Σύστημα SRM-3006

Το σύστημα SRM – 3006, της εταιρείας Narda-STS, χρησιμοποιείται για συχνό επιλεκτικές μετρήσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και αποτελείται από μια βασική μονάδα – φασματικό αναλυτή στην περιοχή 9 kHz – 6 GHz στην οποία μπορούν να συνδέονται κατά περίπτωση, διάφορα είδη ανιχνευτών είτε απευθείας είτε μέσω RF καλωδίου επέκτασης.

Το άμεσα μετρούμενο μέγεθος είναι η ένταση ηλεκτρικού πεδίου (E) σε V/m από το οποίο υπολογίζονται οι λόγοι έκθεσης στις οριζόμενες από το χρήστη φασματικές περιοχές-ζώνες συχνοτήτων (Πίνακες 3.1 και 3.2 ανάλογα με το χρησιμοποιούμενο ανιχνευτή / κεραία) καθώς και ο συνολικός λόγος έκθεσης σε όλη την περιοχή συχνοτήτων λειτουργίας του εκάστοτε χρησιμοποιούμενου ανιχνευτή (420 MHz – 6 GHz ή 27 MHz – 3 GHz). Το σύστημα SRM – 3006 δύναται να παρουσιάζει τα αποτελέσματα ως ποσοστό μιας οριακής τιμής ή ως απόλυτες τιμές σε V/m, A/m ή W/m² και mW/cm², μετά την ρύθμιση όλων των απαραίτητων παραμέτρων λειτουργίας του από το χρήστη είτε κατά την λειτουργία του ως φασματικός αναλυτής (spectrum analysis) είτε κατά τη λειτουργία του ως ευρυζωνικός μετρητής σε όλες τις οριζόμενες από το χρήστη ζώνες συχνοτήτων

μέτρησης (safety evaluation). Ως όρια έκθεσης έχουν εισαχθεί-οριστεί στη βασική μονάδα τα όρια έκθεσης του κοινού για όλο το χρησιμοποιούμενο φάσμα συχνοτήτων όπως αυτά ορίζονται κατά περίπτωση (70 ή 60%), στην κείμενη νομοθεσία στο παράρτημα με τίτλο: «Κανονισμός διενέργειας μετρήσεων των επιπέδων της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στο περιβάλλον σταθμών κεραιών» της υπ' αριθ. 2300 ΕΦΑ (493) Κοινής Υπουργικής Απόφασης (ΦΕΚ 346/Β/3-3-2008).

Η ΕΕΑΕ διαθέτει τρία τέτοια συστήματα μέτρησης (βασική μονάδα και ανιχνευτή ηλεκτρικού πεδίου στη ζώνη 27 MHz – 3 GHz ή 420 MHz – 6 GHz και RF καλώδια 1,5 ή 5 m).

Στο όργανο SRM-3006 με σειριακό αριθμό F-0023, υπάρχει και η δυνατότητα επιλογής της λειτουργίας Scope (Scope mode). Με την επιλογή αυτή μπορεί να πραγματοποιηθεί σε πραγματικό χρόνο απεικόνιση των σημάτων συναρτήσεως του χρόνου. Έχει τη δυνατότητα γραφικής απεικόνισης των παλμικών σημάτων σε πραγματικό χρόνο, πραγματοποίηση συνεχούς μέτρησης (από μς έως και 24 ώρες) εμφανίζοντας στην οθόνη του οργάνου τη μεταβολή του πεδίου στο χρόνο και μπορεί να προγραμματιστεί ώστε να τίθεται σε λειτουργία όταν ξεπεραστεί ένα καθορισμένο κατώφλι πεδίου ή μετά από κάποια χρονική στιγμή. Τέλος, θέτοντας το όργανο σε λειτουργία Duty cycle μπορεί να προσδιοριστεί το εύρος και η περίοδος του παλμού.

Σύστημα EMR-300

Η Βασική Μονάδα Μετρήσεων είναι η EMR – 300, της εταιρείας Wandel-Goltermann (πλέον NARDA – STS). Πρόκειται για φορητή ψηφιακή μονάδα πεδιομέτρου για ισοτροπικές μετρήσεις, υψηλής ακρίβειας με δυνατότητα αυτόματου μηδενισμού των τιμών ακόμα και υπό παρουσία πεδίου τα οποία, αν κριθεί απαραίτητο, χρησιμοποιούνται επικουρικά για προεπισκόπηση του χώρου, σύμφωνα με τα πρότυπα. Τα μετρούμενα μεγέθη είναι η ένταση ηλεκτρικού πεδίου (E) σε V/m ή η ένταση μαγνητικού πεδίου (H) σε A/m (ανάλογα με τον χρησιμοποιούμενο ανιχνευτή από τους δέκα που διαθέτει η Υπηρεσία μας) από τα οποία υπολογίζεται (σε συνθήκες μακράν πεδίου) η πυκνότητα ισχύος ισοδύναμου επίπεδου κύματος (Seq) σε mW/cm² ή W/m² ή ως ποσοστό των ορίων έκθεσης. Ο ρυθμός δειγματοληψίας, όταν χρησιμοποιείται φορητός υπολογιστής, ρυθμίζεται από το χρήστη.

Η ΕΕΑΕ διαθέτει δύο τέτοιες βασικές μονάδες. Ανάλογα με τη στρατηγική και την μέθοδο δειγματοληψίας χρησιμοποιούνται όσοι από τους δέκα ανιχνευτές (μαγνητικού ή ηλεκτρικού πεδίου) απαιτούνται κατά περίπτωση.

Βοηθητικός Εξοπλισμός

Εκτός από τα προαναφερθέντα συστήματα μέτρησης της υψίσυχνης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, χρησιμοποιείται συνήθως και βοηθητικός εξοπλισμός που περιλαμβάνει:

- ειδικά τρίποδα στα οποία στηρίζεται η κεραία μέτρησης, τα οποία είναι κατάλληλα για να μην διαταράσσουν το υπό μέτρηση πεδίο και κατάλληλα

επισημασμένα ώστε να τοποθετείται η κεραία στα ύψη των 170, 150 και 110 cm,

- φορητούς υπολογιστές,
- το αντίστοιχο λογισμικό με το οποίο καθορίζονται οι παράμετροι του οργάνου για την λήψη των μετρήσεων καθώς και η μεταφορά των δεδομένων από την μνήμη του οργάνου στον ηλεκτρονικό υπολογιστή για περαιτέρω ανάλυση,
- φωτογραφικές μηχανές για την αποτύπωση της εγκατάστασης από διάφορες οπτικές γωνίες και την καταχώρησή της στην έκθεση των μετρήσεων που θα ακολουθήσει αλλά και στο αρχείο της ΕΕΑΕ
- συστήματα GPS για τον προσδιορισμό της ακριβούς θέσης της μέτρησης αλλά και της ακριβούς σχετικής απόστασης και κατεύθυνσης του εκάστοτε σημείου μέτρησης σε σχέση με την εγκατάσταση του υπό ελέγχου σταθμού κεραιών.
- αποστασιόμετρο LASER για την μέτρηση αποστάσεων έως 70 m, τύπου Leica Disto A5
- θερμομέτρα και υγρόμετρα για την καταγραφή των περιβαλλοντικών συνθηκών κατά την διάρκεια των μετρήσεων. Τα δύο όργανα είναι τύπου VA8010 (με αριθμούς σειράς S/N: VA100508087 και VA100508123), για την μέτρηση της σχετικής υγρασίας (από 0% έως 100%, με ανάλυση 0,1%) και της θερμοκρασίας (από -10°C έως 50°C με ανάλυση 0,1°C), με ημερομηνία τελευταίας διακρίβωσης 05/10/2016 από το εργαστήριο Algosystem S.A. – METROLOGY DIVISION

Στους παρακάτω δυο πίνακες παρουσιάζονται οι υπηρεσίες στις οριζόμενες από το χρήστη φασματικές περιοχές-ζώνες συχνότητας :

Πίνακας 3.1. Φασματικές περιοχές που συνήθως χρησιμοποιούνται για την ανάλυση των μετρούμενων πεδίων ανά υπηρεσίαν με χρήση της Ισοτροπικής Κεραίας Ηλεκτρικού Πεδίου Υψηλών Συχνοτήτων E- field antenna (27MHz – 3 GHz).

Φασματική Περιοχή (MHz)		Υπηρεσίες
Από	έως	
27	87,5	
87,5	108	Ραδιοφωνικές εκπομπές στη φασματική περιοχή των FM
110	272	Αεροναυτική και ναυτιλιακή επικοινωνία - Εκπομπές στη φασματική περιοχή VHF
370	430	Ενδοεπικοινωνίες ιδιωτικών δικτύων και δίκτυα σωμάτων ασφαλείας (σύστημα TETRA)
460	875	Ψηφιακές τηλεοπτικές εκπομπές (DVB-T) στη φασματική περιοχή UHF, εκπομπές σταθμών βάσης κινητής τηλεφωνίας στις ζώνες συχνοτήτων των 800 MHz (LTE)
876	960	Εκπομπές σταθμών βάσης κινητής τηλεφωνίας στις ζώνες συχνοτήτων των 900 MHz (GSM, GSM-R & UMTS), ραδιοεντοπισμός
1710	1880	Εκπομπές σταθμών βάσης κινητής τηλεφωνίας στις ζώνες συχνοτήτων των 1800MHz (DCS & LTE)
1905	2160	Εκπομπές σταθμών βάσης κινητής τηλεφωνίας στις ζώνες συχνοτήτων των 2000-2100 MHz (UMTS)
2160	3000	Εκπομπές σταθμών βάσης κινητής τηλεφωνίας στη ζώνη συχνοτήτων των 2600 MHz (LTE), εκπομπές κεραιοδιατάξεων Wifi, εκπομπές μικροκυματικών κεραιών ζεύξης, συστήματα ραντάρ, ραδιοεντοπισμός
Ενδιάμεσες περιοχές συχνοτήτων (Ε.Π.Σ)		Οι υπόλοιπες περιοχές συχνοτήτων από 27 MHz έως 3 GHz, οι οποίες δεν περιέχονται στις παραπάνω περιοχές

Πίνακας 3.2. Φασματικές περιοχές που συνήθως χρησιμοποιούνται για την ανάλυση των μετρούμενων πεδίων ανά υπηρεσία με χρήση της Ισοτροπικής Κεραίας Ηλεκτρικού Πεδίου Υψηλών Συχνοτήτων E- field antenna (420 MHz – 6 GHz).

Φασματική Περιοχή (MHz)		Υπηρεσίες
Από	Έως	
420	430	Δίκτυα σωμάτων ασφαλείας (σύστημα TETRA)
460	875	Ψηφιακές τηλεοπτικές εκπομπές (DVB-T) στη φασματική περιοχή UHF, εκπομπές σταθμών βάσης κινητής τηλεφωνίας στις ζώνες συχνοτήτων των 800 MHz (LTE)
876	960	Εκπομπές σταθμών βάσης κινητής τηλεφωνίας στις ζώνες συχνοτήτων των 900 MHz (GSM, GSM-R & UMTS), ραδιοεντοπισμός
1710	1880	Εκπομπές σταθμών βάσης κινητής τηλεφωνίας στις ζώνες συχνοτήτων των 1800MHz (DCS & LTE)
1905	2160	Εκπομπές σταθμών βάσης κινητής τηλεφωνίας στις ζώνες συχνοτήτων των 2000-2100 MHz (UMTS)
2400	2497	Εκπομπές κεραιοδιατάξεων Wifi, ραδιοεντοπισμός
3410	3600	Εκπομπές κεραιοδιατάξεων Wi-max (πρωτόκολλο 802.16), ραδιοεντοπισμός
5150	5875	Εκπομπές κεραιοδιατάξεων Wifi, ραδιοεντοπισμός, δορυφορικές επικοινωνίες
5875	6000	Εκπομπές μικροκυματικών κεραιών καθώς και συστήματα ραντάρ, δορυφορικές επικοινωνίες
Ενδιάμεσες περιοχές συχνοτήτων (Ε.Π.Σ)		Εκπομπές σταθμών βάσης κινητής τηλεφωνίας στη ζώνη συχνοτήτων των 2600 MHz (LTE) και οι υπόλοιπες περιοχές συχνοτήτων από 420 MHz έως 6 GHz οι οποίες δεν περιέχονται στις παραπάνω περιοχές

Όπως συμβαίνει με όλα τα όργανα μέτρησης έτσι και στα συστήματα SRM-3000 και SRM-3006 υπάρχει πάντα ο βαθμός της αβεβαιότητας στις μετρήσεις. Κάποιοι από τους παράγοντες που συνεισφέρουν σε αυτή την αβεβαιότητα είναι :

- Ακρίβεια της συσκευής
- Περιβαλλοντικές συνθήκες κατά τη διάρκεια των μετρήσεων
- Επίδραση εγγύτητας χειριστή
- Βαθμονόμηση ανιχνευτή
- Ανισοτροπία
- Απόκριση συχνότητας κ.ά.

Για τον λόγο αυτό για τον υπολογισμό της συνολικής αβεβαιότητας μέτρησης θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα οριζόμενα Ευρωπαϊκά και Διεθνή πρότυπα.

3.4 Διαδικασία μέτρησης

3.4.1 Εξοπλισμός Μέτρησης

Τα όργανα τα οποία χρησιμοποιούνται στις μετρήσεις είναι πεδίομετρα ευρέως φάσματος και υψηλής ακρίβειας που μπορούν να φέρουν διάφορα είδη ανιχνευτών-αισθητήρων (probes) ανάλογα με το είδος του μετρούμενου πεδίου (ηλεκτρικό ή μαγνητικό) και ανάλογα με τις απαιτήσεις για το συχνοτικό εύρος λειτουργίας των ανιχνευτών για κάθε είδος πεδίου.

Τα όργανα αυτά μπορούν να καταγράφουν στιγμιαίες, μέγιστες καθώς και μέσες τιμές ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων. Σύμφωνα με την κείμενη νομοθεσία, οι μετρηθείσες τιμές για όλα τα μεγέθη στην περιοχή συχνοτήτων από 100 kHz έως 10 GHz, πρέπει να εκφράζονται ως μέσος όρος για κάθε χρονική περίοδο διάρκειας 6 λεπτών. Για συχνότητες που υπερβαίνουν τα 10 GHz η αντίστοιχη χρονική περίοδος υπολογίζεται από την έκφραση $68/f^{1.05}$. Αυτοί ακριβώς οι μέσοι όροι απεικονίζονται σε όλες τις θέσεις μετρήσεων.

Μέχρι το 2012 οι μετρήσεις πραγματοποιούνταν με το σύστημα μέτρησης EMR-300.

3.4.1.1 Διαδικασία μέτρησης με EMR-300

Αρχικά, καταγράφεται η μέγιστη τιμή του μεγέθους της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου σε V/m. Η εν λόγω τιμή χρησιμοποιείται παρακάτω για τον υπολογισμό των τιμών για τις οποίες προβλέπονται περιορισμοί στην υπ. αριθ. 53571/3839 ΚΥΑ (ΦΕΚ 1105/Β/6-9-2000). Αυτές είναι η μέση τιμή και η τιμή κορυφής και αμέσως παρακάτω περιγράφεται πως προκύπτουν οι τιμές αυτές από τις μετρήσεις.

Η μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου αναφέρεται στη τετραγωνική ρίζα της μέσης τιμής του τετραγώνου (γεωμετρικός μέσος όρος) των μεγεθών και η μέση τιμή της πυκνότητας ισχύος αναφέρεται στο μέσο όρο. Τα μεγέθη αυτά είναι συγκρίσιμα με τα αντίστοιχα μεγέθη στους πίνακες της προαναφερθείσας ΚΥΑ (ΦΕΚ 1105/Β/6-9-2000). Για τον υπολογισμό της μέσης τιμής απαιτείται ο υπολογισμός ενός ενδιάμεσου μεγέθους, της τιμής εντός δέσμης.

Η τιμή εντός δέσμης είναι ένα θεωρητικό μέγεθος και αναφέρεται στη μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου καθώς και της πυκνότητας ισχύος αν το ραντάρ δεν περιστρέφεται και ακτινοβολούσε συνεχώς το σημείο μέτρησης. Η τιμή εντός δέσμης προκύπτει από την μέγιστη τιμή, λαμβάνοντας υπόψη την εξασθένηση που οφείλεται στο ότι ο χρόνος ολοκλήρωσης του οργάνου μέτρησης που χρησιμοποιήθηκε, $t_{int} = 307$ ms, είναι σημαντικά μεγαλύτερος σε σχέση με το χρόνο φωτισμού t_{ot} δηλαδή το χρόνο που ακτινοβολείται κάθε σημείο μέτρησης, σε κάθε περιστροφή του ραντάρ.

Ο χρόνος φωτισμού t_{ot} , για σημεία που βρίσκονται σε μακρινή οριζόντια απόσταση σε σχέση με το ενεργό πλάτος της, υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$t_{ot} = \frac{\Delta\phi}{360^\circ} T_{rot}$$

όπου $\Delta\phi$ το οριζόντιο γωνιακό εύρος ημίσειας ισχύος της εκπεμπόμενης δέσμης της ακτινοβολίας και T_{rot} ο χρόνος πλήρους περιστροφής της κεραίας του ραντάρ.

Ο χρόνος φωτισμού t_{ot} , για σημεία που βρίσκονται σε μικρή οριζόντια απόσταση σε σχέση με το ενεργό πλάτος της κεραίας (δηλ. στο εγγύς πεδίο της), υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$t_{ot} = \frac{\sin^{-1}\left(\frac{a_{hor}}{2r}\right)}{180^\circ} T_{rot}$$

όπου a_{hor} το (οριζόντιο) ενεργό πλάτος της κεραίας και r η οριζόντια απόσταση από την κεραία του ραντάρ (εκτιμάται σε 80% του φυσικού οριζόντιου πλάτους της κεραίας). Ειδικά για τα σημεία που βρίσκονται σε απόσταση από την κεραία μικρότερη από το πλάτος της κεραίας (κάτι που δεν συμβαίνει στις μετρήσεις που θα παρουσιαστούν παρακάτω), ο χρόνος φωτισμού θεωρείται ίσος με το μισό του χρόνου περιστροφής:

$$t_{\text{ot}} = \frac{1}{2} T_{\text{rot}}$$

Η εξασθένιση α που οφείλεται στη σημαντική διαφορά του χρόνου ολοκλήρωσης του οργάνου σε σχέση με το χρόνο φωτισμού του σημείου μέτρησης δίνεται (από τον κατασκευαστή του οργάνου), από την ακόλουθη σχέση (σε dB):

$$\alpha = 5 \log \left[1 + \left(\frac{t_{\text{int}}}{t_{\text{ot}}} \right)^2 \right]$$

Η μέση τιμή της ακτινοβολίας προκύπτει από την τιμή εντός δέσμης λαμβάνοντας υπόψη πως κάθε σημείο ακτινοβολείται μόνο κατά τον χρόνο φωτισμού t_{ot} σε κάθε περιστροφή του ραντάρ που διαρκεί T_{rot} . Η τιμή κορυφής προκύπτει από την τιμή εντός δέσμης θεωρώντας τον κύκλο εργασίας (duty cycle) του ραντάρ ίσο με

$$PRF \cdot PW = DutyCycle$$

Λόγω της παλμικής διαμόρφωσης του εκπεμπόμενου σήματος του ραντάρ πρέπει (σύμφωνα με τις οδηγίες της κατασκευάστριας εταιρείας, Narda Technical Note 2: Standards-compliant test of non – ionizing radiation on radar equipment, www.narda-sts.de) να εφαρμοστούν ακόμα κάποιοι συντελεστές διόρθωσης στις τιμές που απορρέουν από τα παραπάνω. Οι συντελεστές αυτοί είναι συνάρτηση της ένδειξης του οργάνου και των χαρακτηριστικών διαμόρφωσης του σήματος του ραντάρ. Από τις τιμές αυτές προκύπτει η μέση τιμή των μεγεθών του πεδίου λαμβάνοντας υπόψη ότι κάθε σημείο ακτινοβολείται σε κάθε περιστροφή των ραντάρ μόνο κατά τον χρόνο φωτισμού.

Σύμφωνα με την σημείωση 8 του πίνακα 2 της ΚΥΑ 53571/3839/6-9-2000 στην περίπτωση των παλμικά διαμορφωμένων πεδίων, πρέπει ο μέσος όρος της πυκνότητας ισχύος εφ' όλου του εύρους του παλμού να μην υπερβαίνει το 1000πλάσιο των επιπέδων αναφοράς, ή οι εντάσεις των πεδίων να μην υπερβαίνουν το 32πλάσιο των επιπέδων αναφοράς. Οι παραπάνω περιορισμοί για τις τιμές κατά την διάρκεια των παλμών είναι αυστηρότεροι από τους αντίστοιχους περιορισμούς για την μέση τιμή των μεγεθών εάν το duty cycle είναι μικρότερο από 1/1000. Οι τιμές κορυφής που αναφέρονται παρακάτω αφορούν την μέση τιμή των μεγεθών κατά την διάρκεια εκπομπής του παλμού από το ραντάρ.

Για την συγκεκριμένη διαδικασία μετρήσεων οι κατάλληλοι ανιχνευτές (probes) είναι οι εξής :

- Ανιχνευτής Μαγνητικού Πεδίου Υψηλών Συχνοτήτων H - Field probe (27 MHz- 1 GHz), Type 10.2, στο εύρος τιμών 0.025 - 16 A/m.
- Ανιχνευτής Μαγνητικού Πεδίου Υψηλών Συχνοτήτων H - Field probe (300 kHz- 30 MHz), Type 12.1, στο εύρος τιμών 0.022 - 17 A/m.

- Ανιχνευτής Μαγνητικού Πεδίου Υψηλών Συχνοτήτων H - Field probe (3 kHz- 3 MHz), Type 13.0, στο εύρος τιμών 0.3 - 250 A/m.
- Ανιχνευτής Ηλεκτρικού Πεδίου Υψηλών Συχνοτήτων E- field probe (100 kHz – 3 GHz), Type 8.2, στο εύρος τιμών 0.6 - 800 V/m.
- Ανιχνευτής Ηλεκτρικού Πεδίου Υψηλών Συχνοτήτων E- field probe (27 MHz – 60 GHz), Type 11.3, στο εύρος τιμών 1 - 800 V/m.
- Ανιχνευτής Ηλεκτρικού Πεδίου Υψηλών Συχνοτήτων E- field probe (300 MHz – 50 GHz), Type 33.0, στο εύρος τιμών 8 - 614 V/m.
- Ανιχνευτής Ηλεκτρικού Πεδίου Υψηλών Συχνοτήτων E- field probe (100 kHz – 3 GHz), Type 18.0, στο εύρος τιμών 0.3 - 400 V/m.
- Ανιχνευτής Ηλεκτρικού Πεδίου Υψηλών Συχνοτήτων E- field probe (300 kHz – 40 GHz), Type 26.1 frequency weighted, στο εύρος τιμών 0.3 – 10000 % των ορίων για την επαγγελματική έκθεση της ICNIRP του 1998 – (χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις ύπαρξης ΗΜ ακτινοβολίας διαφορετικών συχνοτήτων, και η καμπύλη της συχνοτικής του απόκρισης ακολουθεί την μεταβολή των ορίων στο εύρος συχνοτήτων 300 kHz – 40 GHz).
- Ανιχνευτής Ηλεκτρικού Πεδίου Υψηλών Συχνοτήτων E- field probe (10 MHz – 40 GHz), Type 19.1, στο εύρος τιμών 9 - 4000 V/m.

Η αποθήκευση των σειρών μετρήσεων και άλλων δεδομένων σε όλες τις θέσεις μέτρησης πραγματοποιείται είτε απευθείας στην μνήμη του οργάνου (λειτουργία MEM), είτε με την βοήθεια ενός φορητού υπολογιστή, ο οποίος ελέγχει το όργανο μέτρησης μέσω κατάλληλα εξελιγμένου λογισμικού (ETS – 1 της Wandel-Goltermann), από όπου ρυθμίζονται και όλες οι παράμετροι λειτουργίας κατά την διεξαγωγή των μετρήσεων. Το υπολογιστικό αυτό σύστημα, χρησιμοποιεί έναν προσαρμογέα εισόδου διπλής οπτικής ίνας σε θύρα RS232 και το λογισμικό που προαναφέρθηκε για την συλλογή και την καταγραφή των πεδιακών μετρήσεων. Οι μετρήσεις στον εξωτερικό χώρο πραγματοποιούνται με τον ανιχνευτή τοποθετημένο σε ύψος 2 μέτρων από το έδαφος (ύψος ενός ιδιαίτερα ψηλού ανθρώπου). Για την τοποθέτηση του ανιχνευτή δύναται να χρησιμοποιηθεί ειδικό τρίποδο.

Επικουρικά, για την εκτίμηση του συχνοτικού περιεχομένου της μετρούμενης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, χρησιμοποιείται το SRM – 3000, της εταιρείας Wandel-Goltermann, με χρήση κατάλληλου ισοτροπικού ανιχνευτή. Το σύστημα αυτό επιτρέπει την πλήρη ανάλυση του φασματικού περιεχομένου των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων στην περιοχή συχνοτήτων από 75 MHz έως 3 GHz. Συγκεκριμένα, συσχετίζει αυτόματα τα αποτελέσματα με υπηρεσίες τηλεπικοινωνιών, σύμφωνα με τις χορηγηθείσες άδειες χρήσης φάσματος από την αρμόδια αρχή, καθώς και στις περιοχές συχνοτήτων των ραδιοφωνικών και τηλεοπτικών εκπομπών.

Για την ανάλυση αυτή είναι απαραίτητη η εισαγωγή στο όργανο πινάκων με προκαθορισμένες φασματικές περιοχές. Στον πίνακα 3.3 δίνονται οι φασματικές περιοχές που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση των μετρούμενων πεδίων ανά υπηρεσία.

Πίνακας 3.3 Φασματικές περιοχές που συνήθως χρησιμοποιούνται για την ανάλυση των μετρούμενων πεδίων ανά υπηρεσία.

Υπηρεσία	Φασματική Περιοχή (MHz)		Παρατηρήσεις
	από	έως	
Radio FM	87,5	108	Ραδιοφωνικές εκπομπές στη φασματική περιοχή των FM
VHF Com	110	130	Επικοινωνίες στη φασματική περιοχή VHF
TV VHF	132	272	Τηλεοπτικές εκπομπές στη φασματική περιοχή VHF
TETRA	370	430	Ενδοεπικοινωνίες ιδιωτικών δικτύων και δικτύων σωμάτων ασφαλείας
TV UHF	460	880	Τηλεοπτικές εκπομπές στη φασματική περιοχή UHF
GSM	885	960	Εκπομπές σταθμών βάσης κινητής τηλεφωνίας στο σύστημα GSM 900
DCS	1730	1880	Εκπομπές κινητής τηλεφωνίας στο σύστημα DCS 1800
UMTS	1905	2155	Εκπομπές κινητής τηλεφωνίας στο σύστημα UMTS

3.4.1.2 Διαδικασία μέτρησης με SRM-3000 και SRM-3006

Κατά την διαδικασία μέτρησης η κεραία του SRM-3000 ή του SRM-3006, τοποθετείται σε ειδικό τρίποδο στη εκάστοτε θέση μέτρησης. Η βασική μονάδα

τίθεται σε κατάσταση χρονικής ανάλυσης (time analysis mode), με κεντρική συχνότητα τη συχνότητα εκπομπής του radar, εύρος ανάλυσης (resolution bandwidth) 6 MHz, ανίχνευση κορυφής (peak detector) και διατήρηση μεγίστου (max hold). Το σύστημα ρυθμίζεται ώστε να καταγράφει την ένδειξη μόνο ενός άξονα της κεραίας, π.χ. στον άξονα X. Έτσι εξασφαλίζεται το ότι οι μετρήσεις είναι αδιάλειπτες. Όταν η ένδειξη σταθεροποιείται, κάτι που επιτυγχάνεται μετά από λίγες περιστροφές της κεραιοδιάταξης του radar, καταγράφεται η τιμή του πεδίου στο εν λόγω άξονα και η διαδικασία επαναλαμβάνεται και για τους υπόλοιπους δύο άξονες, δηλ. για τους άξονες Y και Z.

Κατ' αυτόν τον τρόπο μετρούνται απευθείας από το όργανο οι συνιστώσες κορυφής της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε τρεις κάθετους άξονες. Η συνισταμένη αυτών είναι η τιμή του πεδίου κατά την διάρκεια του παλμού. Η τιμή αυτή είναι συγκρίσιμη με το 32-πλάσιο των επιπέδων αναφοράς σε όρους ηλεκτρικού πεδίου ή με το 1000-πλάσιό τους, σε όρους πυκνότητας ισχύος. Επίσης, η τιμή αυτή χρησιμοποιείται στον υπολογισμό του λόγου έκθεσης κατά την διάρκεια του παλμού λ_p .

Ακολούθως, η βασική μονάδα τίθεται ξανά σε κατάσταση χρονικής ανάλυσης (time analysis mode), με κεντρική συχνότητα τη συχνότητα εκπομπής του radar, εύρος ανάλυσης (resolution bandwidth) 6 MHz, ανίχνευση ενεργούς τιμής (RMS) και επιλογή υπολογισμού μέσης τιμής (AVG) σε χρονικό διάστημα έξι λεπτών (Average Time: 6 min). Το σύστημα ρυθμίζεται ώστε να καταγράφει την ένδειξη μόνο ενός άξονα της κεραίας, π.χ. τον άξονα X, ώστε οι μετρήσεις να είναι αδιάλειπτες. Μετά την πάροδο του χρονικού διαστήματος των 6 λεπτών, καταγράφεται η τιμή του πεδίου στο άξονα αυτό και η διαδικασία επαναλαμβάνεται και για τους υπόλοιπους δύο κάθετους άξονες, δηλ. για τους άξονες Y και Z.

Κατ' αυτόν τον τρόπο μετρούνται απευθείας από το όργανο οι συνιστώσες της μέσης ενεργής τιμής E_m της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε τρεις κάθετους άξονες. Η συνισταμένη αυτών είναι η τιμή του πεδίου, λαμβάνοντας υπόψη τον κύκλο εργασίας (duty cycle) καθώς και τον περιορισμένο χρόνο φωτισμού κάθε σημείου λόγω της περιστροφής της κεραίας. Η υπολογιζόμενη μέση ακτινοβολία είναι άμεσα συγκρίσιμη με τα επίπεδα αναφοράς και επίσης χρησιμοποιείται στον υπολογισμό του λόγου έκθεσης λ .

Σε περίπτωση που δεν εφαρμόζονται τα παραπάνω, από την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου κατά την διάρκεια του παλμού E_p , μπορούμε να υπολογίσουμε την μέση ενεργή τιμή της E_m λαμβάνοντας υπόψη τον κύκλο εργασίας (duty cycle) της εκπεμπόμενης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας καθώς και τον περιορισμένο χρόνο φωτισμού κάθε σημείου λόγω της περιστροφής της κεραίας. Ο κύκλος εργασίας μπορεί να υπολογιστεί από τον λόγο της ισχύος κορυφής P_p προς την μέση ισχύ P_m που εκπέμπονται από το ραντάρ ή από το γινόμενο της χρονικής διάρκειας ενός παλμού t_p τους ραντάρ επί την συχνότητα επανάληψης παλμών prf. Αν T ο χρόνος περιστροφής της κεραίας, ο χρόνος φωτισμού κάθε σημείου, t_{ot} προσεγγίζεται από τη σχέση $t_{ot} = T \Delta\phi / 2\pi$, όπου $\Delta\phi$ το γωνιακό εύρος ημίσειας ισχύος της κεραίας του radar. Έτσι,

$$E_m = E_p \sqrt{(duty\ cycle) \frac{t_{of}}{T}} = E_p \sqrt{\frac{P_p}{P_m} \frac{\Delta\phi}{2\pi}} = E_p \sqrt{t_p\ prf \frac{\Delta\phi}{2\pi}}$$

Η υπολογιζόμενη μέση ακτινοβολία είναι άμεσα συγκρίσιμη με τα επίπεδα αναφοράς και επίσης χρησιμοποιείται στον υπολογισμό του λόγου έκθεσης λ.

3.5 Θεμελιώδεις έννοιες

Πριν πραγματοποιηθεί η παρουσίαση της επεξεργασίας των δεδομένων που συλλέχθηκαν θα παρουσιαστεί η έννοια του λόγου έκθεσης, ο οποίος αποτελεί και τη θεμελιώδη έννοια για την ανάλυση που ακολουθεί παρακάτω, της αβεβαιότητας του συνολικού λόγου έκθεσης καθώς επίσης και των στατιστικών μεγεθών που χρησιμοποιήθηκαν.

3.5.1 Λόγος έκθεσης

Ο λόγος έκθεσης είναι ένας καθαρός αριθμός που χρησιμοποιείται για να σταθμιστεί η επιβάρυνση στην έκθεση του κοινού από διατάξεις που λειτουργούν σε μία σχετικά στενή περιοχή συχνοτήτων (π.χ. στην συχνότητα εκπομπής μιας συγκεκριμένης κεραίας ή στην φασματική περιοχή που χρησιμοποιείται από μια συγκεκριμένη υπηρεσία) σε μία συγκεκριμένη θέση. Ανάλογα με το αν εξετάζονται ηλεκτροδιεγερτικές ή θερμικές επιδράσεις και με το αν εξετάζονται ξεχωριστά οι επιδράσεις του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου (για συχνότητες μικρότερες από 10 MHz ή σε συνθήκες κοντινού αντιδραστικού πεδίου) και το αν εξετάζεται έκθεση σε παλμικά διαμορφωμένα πεδία, υφίστανται περισσότεροι από ένας λόγοι έκθεσης που υπολογίζονται με διαφορετικό τρόπο.

Για συχνότητες μεγαλύτερες των 10 MHz, ο συνηθέστερα χρησιμοποιούμενος λόγος έκθεσης λ υπολογίζεται βάσει της ενεργού τιμής (τετραγωνικής ρίζας του μέσου τετραγώνου) των μετρήσεων της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου E ή της ενεργού τιμής των μετρήσεων της έντασης του μαγνητικού πεδίου H ή της μέσης τιμής της πυκνότητας ισοδύναμου επίπεδου κύματος S, σε μια συχνότητα στην οποία τα επίπεδα αναφοράς (μετά την εφαρμογή των προβλεπόμενων συντελεστών μείωσης 60% ή 70%) είναι L_E, L_H και L_S, αντίστοιχα.

$$\lambda = \frac{E^2}{L_E^2} = \frac{H^2}{L_H^2} = \frac{S}{L_S}$$

Για μετρήσεις στο κοντινό αντιδραστικό πεδίο της κεραίας υπάρχει διαφοροποίηση του λόγου έκθεσης σε λόγο έκθεσης λ_E και λ_H , βάσει των μετρήσεων του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου αντίστοιχα.

$$\lambda_E = \frac{E^2}{L_E^2} \quad \lambda_H = \frac{H^2}{L_H^2}$$

Για μετρήσεις παλμικά διαμορφωμένων πεδίων π.χ. στο περιβάλλον κεραιών radar υπολογίζεται επίσης ο λόγος έκθεσης λ_p , βάσει των μετρήσεων της ενεργού τιμής της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου E_p ή της μέσης τιμής ης πυκνότητας ισχύος S_p κατά την διάρκεια ενός παλμού.

$$\lambda_p = \frac{E_p^2}{(32L_E)^2} = \frac{S_p}{1000L_S}$$

3.5.2 Συνολικός λόγος έκθεσης

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

3.5.3 Όρια ασφαλούς έκθεσης και συνολικός λόγος έκθεσης

Όπως αναφέρθηκε και πριν ο συνολικός λόγος έκθεσης χρησιμοποιείται για να εκτιμηθεί κατά πόσον υπερβαίνονται τα όρια ασφαλούς έκθεσης σε κάποια τοποθεσία, όπου πραγματοποιήθηκε μέτρηση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Συγκεκριμένα ο συνολικός λόγος έκθεσης συγκρίνεται με τη μονάδα για να διαπιστωθεί αν τα επίπεδα της έκθεσης υπερβαίνουν τα όρια. Έτσι αν ο συνολικός λόγος έκθεσης είναι μικρότερος ή ίσος της μονάδας συνεπάγεται το συμπέρασμα ότι τηρούνται τα όρια ασφαλούς έκθεσης που έχει ορίσει η Ελληνική νομοθεσία. Αν και ένας συνολικός λόγος έκθεσης ίσος με τη μονάδα μπορεί να ερμηνευθεί ως πιθανή υπέρβαση των ορίων. Αντιθέτως αν ο συνολικός λόγος έκθεσης βρεθεί μεγαλύτερος της μονάδας τότε συνεπάγεται το συμπέρασμα ότι δεν τηρούνται τα όρια ασφαλούς έκθεσης. Σημειώνεται ότι ο λόγος έκθεσης είναι ένας καθαρός αριθμός, με μέγιστη

τιμή 1, η οποία αντιστοιχεί στο 100% των ορίων, τα οποία στο πλαίσιο της εργασίας τίθενται στο 60% των αντίστοιχων τιμών της Ε.Ε.

3.5.4 Αβεβαιότητα συνολικού λόγου έκθεσης

Για την σύγκριση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων σε κάθε θέση με τα θεσμοθετημένα όρια έκθεσης του κοινού είναι απαραίτητος σύμφωνα με την κείμενη νομοθεσία, ο καθορισμός της αβεβαιότητας του συνολικού λόγου έκθεσης που υπολογίζεται στη θέση αυτή. Η διευρυμένη αβεβαιότητα του συνολικού λόγου έκθεσης $U(\Lambda)$ υπολογίζεται από τις διευρυμένες αβεβαιότητες των λόγων έκθεσης $U(\lambda_f)$, οι οποίες με την σειρά τους υπολογίζονται από τις διευρυμένες αβεβαιότητες της μετρούμενης έντασης ηλεκτρικού πεδίου για κάθε φασματική περιοχή $U(E_f)$ όπως προκύπτουν από τις αντίστοιχα υπολογιζόμενες τιμές της συνδυασμένης τυπικής αβεβαιότητας $u_c(E_f)$ λαμβάνοντας υπόψη όλους τους παράγοντες αβεβαιότητας που υπεισέρχονται στις μετρήσεις στην κάθε φασματική περιοχή, για διάστημα εμπιστοσύνης 95%.

Με βάση τα ανωτέρω, η διευρυμένη αβεβαιότητα του συνολικού λόγου έκθεσης $U(\Lambda)$ υπολογίζεται ως εξής:

Η τυπική αβεβαιότητα του λόγου έκθεσης για κάθε φασματική περιοχή f , $u(\lambda_f)$,

(δεδομένου ότι $\lambda_f = \frac{E_f^2}{E_{op,f}^2}$), δίνεται από τη σχέση :

$$u(\lambda_f) = u\left(\frac{E_f^2}{E_{op,f}^2}\right) = \frac{u(E_f^2)}{E_{op,f}^2} \cong \frac{2 \cdot E_f \cdot u(E_f)}{E_{op,f}^2}$$

όπου $u(E_f) = \frac{1}{3 \cdot E_f} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^3 [E_{i,f} \cdot u(E_{i,f})]^2}$ είναι η συνδυασμένη τυπική αβεβαιότητα της συνολικά μετρούμενης έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στη φασματική περιοχή f

και $u(E_{i,f}) = E_{i,f} \cdot u_c(E_{i,f})$ η συνδυασμένη τυπική αβεβαιότητα της μέτρησης της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο i και στη φασματική περιοχή f .

Άρα, η διευρυμένη αβεβαιότητα του λόγου έκθεσης για κάθε φασματική περιοχή f , $U(\lambda_f)$, (θέτοντας $k = 1,96$, δηλαδή διάστημα εμπιστοσύνης 95%), με βάση τα προαναφερθέντα, δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$\begin{aligned} U(\lambda_f) &\cong 1,96 \cdot \frac{2 \cdot E_f \cdot u(E_f)}{E_{op,f}^2} = \frac{3,92}{3 \cdot E_{op,f}^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^3 [E_{i,f} \cdot u(E_{i,f})]^2} = \\ &= \frac{3,92}{3} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^3 \left[\frac{E_{i,f}}{E_{op,f}^2} \cdot u(E_{i,f}) \right]^2} = \frac{3,92}{3} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^3 \left[\frac{E_{i,f}^2}{E_{op,f}^2} \cdot u_c(E_{i,f}) \right]^2} \Rightarrow \\ &\Rightarrow U(\lambda_f) = \frac{3,92}{3} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^3 [\lambda_{i,f} \cdot u_c(E_{i,f})]^2} \end{aligned}$$

Η διευρυμένη αβεβαιότητα του συνολικού λόγου έκθεσης $U(\Lambda)$ προκύπτει από τη σχέση:

$$U^2(\Lambda) = \sum_f U^2(\lambda_f)$$

Έτσι το 95% διάστημα εμπιστοσύνης για τον συνολικό λόγο έκθεσης ($\Lambda_{2,5\%}$, $\Lambda_{97,5\%}$) υπολογίζεται ως εξής :

$$\Lambda_{2,5\%} = \Lambda - U(\Lambda)$$

$$\Lambda_{97,5\%} = \Lambda + U(\Lambda)$$

3.5.5 Ορισμός στατιστικών μεγεθών

Η **δειγματική μέση τιμή (average)** αποτελεί το σπουδαιότερο και χρησιμότερο μέτρο της στατιστικής και ουσιαστικά αποτελεί την μαθηματική πράξη εύρεσης της μέσης απόστασης ανάμεσα σε δύο ή περισσότερους αριθμούς. Η δειγματική μέση τιμή συμβολίζεται με \bar{x} και ορίζεται ως :

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Η **διάμεσος (median)** είναι η τιμή που χωρίζει ένα σύνολο δεδομένων περίπου στη μέση όταν αυτά τα δεδομένα τοποθετηθούν με σειρά τάξης μεγέθους. Είναι ουσιαστικά η τιμή εκείνη με την ιδιότητα ότι το πολύ 50% των μετρήσεων είναι μικρότερες από την τιμή αυτή και το πολύ 50% είναι μεγαλύτερες από την τιμή αυτή. Για να βρούμε τη διάμεσο, οι παρατηρήσεις κατατάσσονται κατά τη φυσική τους διάταξη. Στην περίπτωση που οι τιμές της μεταβλητής δεν περιέχονται σε πίνακα συχνοτήτων, η διάμεσος δίνεται από τον όρο $(N+1)/2$, όπου N το πλήθος των παρατηρήσεων. Εάν το N είναι **περιττός** αριθμός η διάμεσος είναι η παρατήρηση που βρίσκεται στη $(N+1)/2$ θέση, γιατί αυτή η παρατήρηση αφήνει $(N-1)/2$ παρατηρήσεις προς τα κάτω και $(N-1)/2$ παρατηρήσεις προς τα πάνω. Ενώ εάν το N είναι **άρτιος**, τότε στη μέση των τιμών υπάρχουν δύο τιμές, οπότε η διάμεσος είναι ο μέσος όρος των δυο αυτών μεσαίων τιμών.

Η **τυπική απόκλιση (stdev)** είναι ένα μέτρο που χρησιμοποιείται για να υπολογιστεί το ποσό της μεταβολής ή της διασποράς ενός συνόλου τιμών δεδομένων. Μια χαμηλή τυπική απόκλιση υποδηλώνει ότι τα σημεία των δεδομένων τείνουν να είναι κοντά στο μέσο όρο (που ονομάζεται επίσης η αναμενόμενη τιμή) του συνόλου, ενώ μία υψηλή τυπική απόκλιση υποδεικνύει ότι τα στοιχεία απλώνονται πάνω από ένα ευρύτερο φάσμα των τιμών.

Το **εκατοστημόριο (percentile)** ενός συνόλου τιμών είναι η τιμή εκείνη για την οποία το $K\%$ των παρατηρήσεων είναι μικρότερες από αυτή τη τιμή. Στην δική μας στατιστική ανάλυση χρησιμοποιήσαμε $K=95$.

3.5.6 Σταθμισμένες τιμές υπηρεσιών

Για τον υπολογισμό των σταθμισμένων τιμών χρησιμοποιήσαμε μόνο τις τρεις μεγαλύτερες σε λόγο έκθεσης υπηρεσίες, ενώ αγνοήσαμε τις υπόλοιπες. Υπολογίσαμε έτσι τόσο τον σταθμισμένο μέσο όρο όσο και τη σταθμισμένη διάμεσο.

Ο σταθμισμένος μέσος όρος και η σταθμισμένη διάμεσος είναι παρόμοια με έναν αριθμητικό μέσο όρο και μια αριθμητική διάμεσο όπου αντί για κάθε ένα από τα σημεία δεδομένων που συμβάλλουν εξίσου στον τελικό μέσο όρο και στη διάμεσο, μερικά σημεία δεδομένων συμβάλλουν περισσότερο από άλλα. Εάν όλα τα βάρη είναι ίσα, τότε ο σταθμισμένος μέσος όρος και η σταθμισμένη διάμεσος είναι ίδια με τον αριθμητικό μέσο όρο και την αριθμητική διάμεσο αντίστοιχα. Οι δυο σταθμισμένες έννοιες δίνονται από τη σχέση :

$$\frac{\sum_{i=1}^n x_i p_i}{\sum_{i=1}^n p_i} = \frac{x_1 p_1 + x_2 p_2 + \dots + x_n p_n}{p_1 + p_2 + \dots + p_n}$$

Κεφάλαιο 4. Ανάλυση και παρουσίαση των μετρήσεων για τα πάρκα κεραιών

4.1. Θεωρητική περιγραφή δεδομένων

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει παρουσίαση της επεξεργασίας των μετρήσεων για τα πάρκα κεραιών. Τα δεδομένα προήλθαν από μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν από την ΕΕΑΕ καθώς και από συνεργαζόμενα συνεργεία τα έτη 2010 έως και 2016 και αφορούν συνολικά 58 πάρκα κεραιών. Λόγω του ότι έχουν πραγματοποιηθεί παραπάνω από μια μετρήσεις σε ορισμένα πάρκα ο συνολικός αριθμός των μετρήσεων μας ανέρχεται σε 155. Τα αναλυτικά στοιχεία των δεδομένων που επεξεργάστηκαν παρατίθενται στον πίνακα 4.1. Λόγω των μη ομοιόμορφων δειγμάτων μετρήσεων ανά έτος χρησιμοποιήσαμε στην ανάλυση τις σταθμισμένες τιμές των τιμών για την εκπεμπόμενη ακτινοβολία. Θα γίνει παρουσίαση της ανάλυσης των δεδομένων για εκείνα τα πάρκα που εμφανίζουν υπέρβαση του ορίου ασφαλούς έκθεσης του πληθυσμού καθώς επίσης θα παρουσιαστεί και μια μελέτη μείωσης της ακτινοβολίας αυτών ανά τα έτη για να διαπιστωθεί αν μετά τις τελευταίες μετρήσεις η εκπεμπόμενη ακτινοβολία βρίσκεται εντός ορίων. Τέλος θα γίνει παρουσίαση και ανάλυση κάποιων σημείων μέτρησης που παρουσιάζουν συγκέντρωση πολλαπλών κεραιοδιατάξεων κινητής τηλεφωνίας και αναμετάδοσης τηλεοπτικού και ραδιοφωνικού σήματος χωρίς να υπάγονται στην κατηγορία των πάρκων κεραιών.

Πίνακας 4.1 Στοιχεία για τα πάρκα κεραιών που μετρήθηκαν

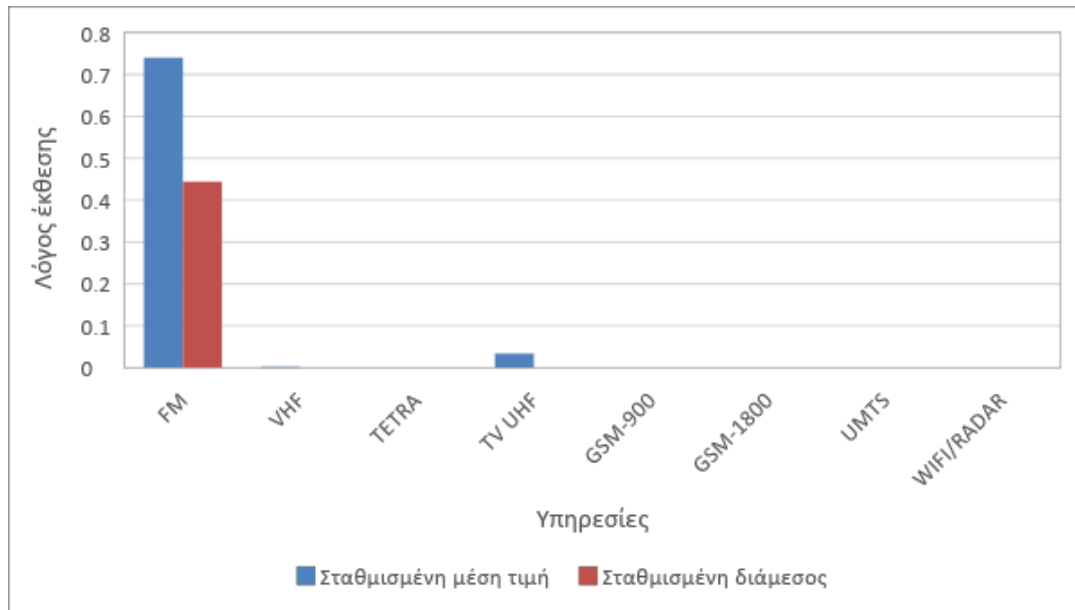
Αριθμός μετρήσεων	Πάρκα
1 Φορά	15
2 Φορές	16
3 Φορές	11
4 Φορές	8
5 Φορές	6
6 Φορές	1
7 Φορές	1
Συνολικά πάρκα που μετρήθηκαν	58
Συνολικές μετρήσεις πάρκων	155
Πιθανές υπερβάσεις ορίου - Λόγος έκθεσης >1	19

4.2 Κατηγοριοποίηση ανά υπηρεσίες

Για τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν σε κάθε πάρκο καταγράφηκαν οι τρεις μεγαλύτερες σε λόγο έκθεσης υπηρεσίες, ενώ οι υπόλοιπες αγνοήθηκαν. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν για τις υπηρεσίες παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα 4.2.

Πίνακας 4.2 Στατιστικά στοιχεία υπηρεσιών

Στατιστικά στοιχεία	FM	VHF	TETRA	TV UHF	GSM-900	GSM-1800	UMTS	WIFI/RADAR
Μέση τιμή	0,7705	0,0035	5,30E-05	0,0469	0,00041	4,33E-05	5,97E-05	0,00025
Διάμεσος	0,4617	0,0004	0	0,0036	0	0	0	0
Τυπική απόκλιση	0,966	0,021 9	0,00048	0,1887	0,0013	0,0003	0,00060	0,00077
	Συνολικές μετρήσεις : 155							
Πλήθος μετρήσεων	149	101	4	111	39	12	5	38
Σταθμισμένη μέση τιμή	0,7406	0,0023	1,40E-06	0,0336	0,0001	3,35E-06	1,93E-06	6,20E-05
Σταθμισμένη διάμεσος	0,4439	0,0003	0	0,0026	0	0	0	0



Σχήμα 4.1 Σταθμισμένη μέση τιμή και σταθμισμένη διάμεσος του λόγου έκθεσης κάθε υπηρεσίας

Από το σχήμα 4.1 παρατηρούμε ότι όλες οι υπηρεσίες πλην του FM έχουν μικρή μέση τιμή λόγου έκθεσης που δεν ξεπερνά το 0,05 ενώ η υπηρεσία FM παρουσιάζει τη μεγαλύτερη μέση τιμή η οποία φτάνει λίγο πιο πάνω από το 0,7. Επίσης όλες οι υπηρεσίες πλην του FM έχουν μικρή διάμεσο τιμή λόγου έκθεσης που δεν ξεπερνά το 0,003 ενώ η υπηρεσία FM παρουσιάζει τη μεγαλύτερη μέση τιμή η οποία φτάνει λίγο πιο πάνω από το 0,4. Από αυτά τα στοιχεία συμπεραίνεται ότι η έκθεση σε ραδιοκύματα διαφοροποιείται σημαντικά ανάλογα την υπηρεσία και ότι η υπηρεσία FM μπορεί να προκαλεί υψηλότερα επίπεδα έκθεσης σε σχέση με άλλες υπηρεσίες.

4.3 Κατηγοριοποίηση υπηρεσιών ανά έτος

Από τον διαχωρισμό των μετρήσεων με βάση το έτος πήραμε τους παρακάτω πίνακες. Ο πίνακας 4.3 δείχνει τον συνολικό αριθμό των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκε το εκάστοτε έτος καθώς και τον αριθμό των υπηρεσιών που συμμετέχουν στην τριάδα των μετρήσεων που απομονώθηκε (σταθμισμένες τιμές) ανά έτος. Ο πίνακας 4.4 περιλαμβάνει την σταθμισμένη μέση τιμή του λόγου έκθεσης των υπηρεσιών ανά έτος και ο πίνακας 4.5 την σταθμισμένη διάμεσο του λόγου έκθεσης των υπηρεσιών ανά έτος.

Πίνακας 4.3 Πλήθος υπηρεσιών ανά έτος που συμμετέχουν στην τριάδα τιμών που απομονώθηκε - Συνολικός αριθμός μετρήσεων έτους

ΠΛΗΘΟΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ ΑΝΑ ΕΤΟΣ									
ΕΤΟΣ	F M	VH F	TETRA	TV UHF	GSM-900	GSM-1800	UMTS	WIFI/RADAR	ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΕΤΟΥΣ
2009	4	3	0	3	1	0	0	1	4
2010	22	15	0	20	5	3	2	6	24
2011	9	8	0	8	1	0	0	1	9
2012	15	7	1	11	5	1	1	4	15
2013	24	19	1	16	8	3	1	4	25
2014	34	24	1	24	8	3	0	9	35
2015	22	12	0	16	7	1	0	8	23
2016	19	13	1	13	4	1	1	5	20

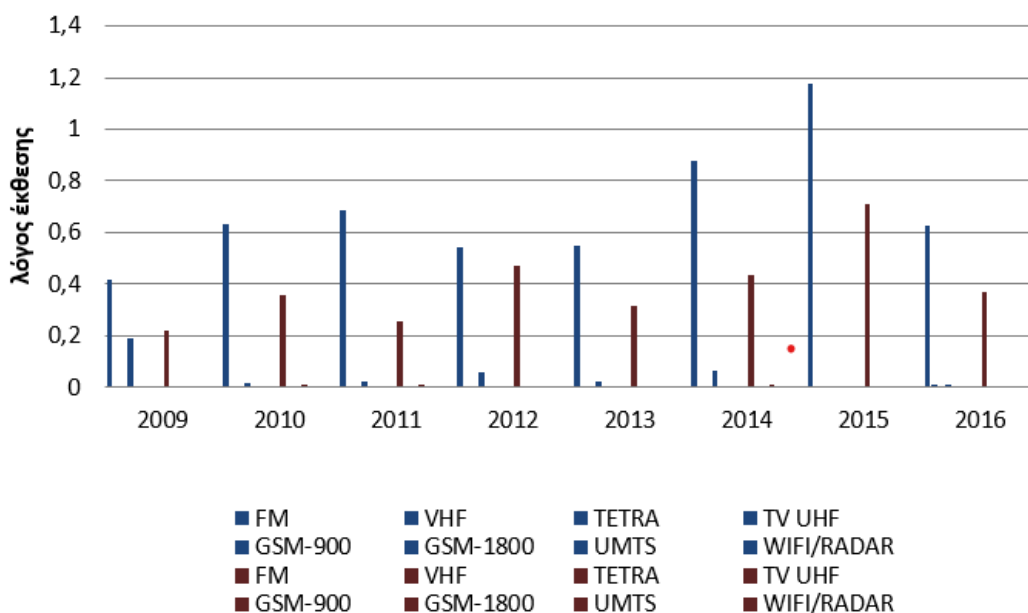
Πίνακας 4.4 Σταθμισμένη μέση τιμή λόγου έκθεσης

ΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΟΣ ΜΕΣΟΣ								
ΕΤΟΣ	FM	VHF	TETRA	TV UHF	GSM-900	GSM-1800	UMTS	WIFI/RADAR
2009	0,4161	0,0005	0	0,1872	0,0001	0	0	0,00002
2010	0,6349	0,0012	0	0,0172	9,505E-06	7,1354E-07	2,73681E-05	1,24792E-05
2011	0,6834	0,0023	0	0,0223	2,654E-06	0	0	6,46914E-06
2012	0,5421	0,0003	2,60311E-05	0,0553	0,0001	2,3467E-06	8,71111E-07	0,0001
2013	0,5494	0,0015	0,000001	0,0247	0,0001	1,656E-06	0,0000009	3,39584E-05
2014	0,8793	0,0010	7,24082E-07	0,0608	0,0001	1,1596E-05	0	0,0001
2015	1,1770	0,0003	0	0,0017	9,49E-05	1,3025E-06	0	0,0001
2016	0,6240	0,0107	0,000002	0,0095	0,0001	6,85E-07	0,000001	0,00004

Πίνακας 4.5 Σταθμισμένη διάμεσος τιμή λόγου έκθεσης

ΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΗ ΔΙΑΜΕΣΟΣ								
ΕΤΟΣ	FM	VHF	TETRA	TV UHF	GSM-900	GSM-1800	UMTS	WIFI/RADAR
2009	0,2165	0,0006	0	0,0006	0	0	0	0
2010	0,3572	0,0001	0	0,0083	0	0	0	0
2011	0,2570	0,0016	0	0,0082	0	0	0	0
2012	0,4716	0	0	0,0026	0	0	0	0
2013	0,3166	0,0005	0	0,0003	0	0	0	0
2014	0,4353	0,0005	0	0,0085	0	0	0	0
2015	0,7071	4,38261E-05	0	0,0006	0	0	0	0
2016	0,3709	0,0001	0	0,0027	0	0	0	0

Σταθμισμένη μέση τιμή και σταθμισμένη διάμεσος τιμή λόγου έκθεσης υπηρεσίας ανά έτος



Σχήμα 4.2 Σταθμισμένη μέση τιμή και σταθμισμένη διάμεσος του λόγου έκθεσης υπηρεσίας ανά έτος

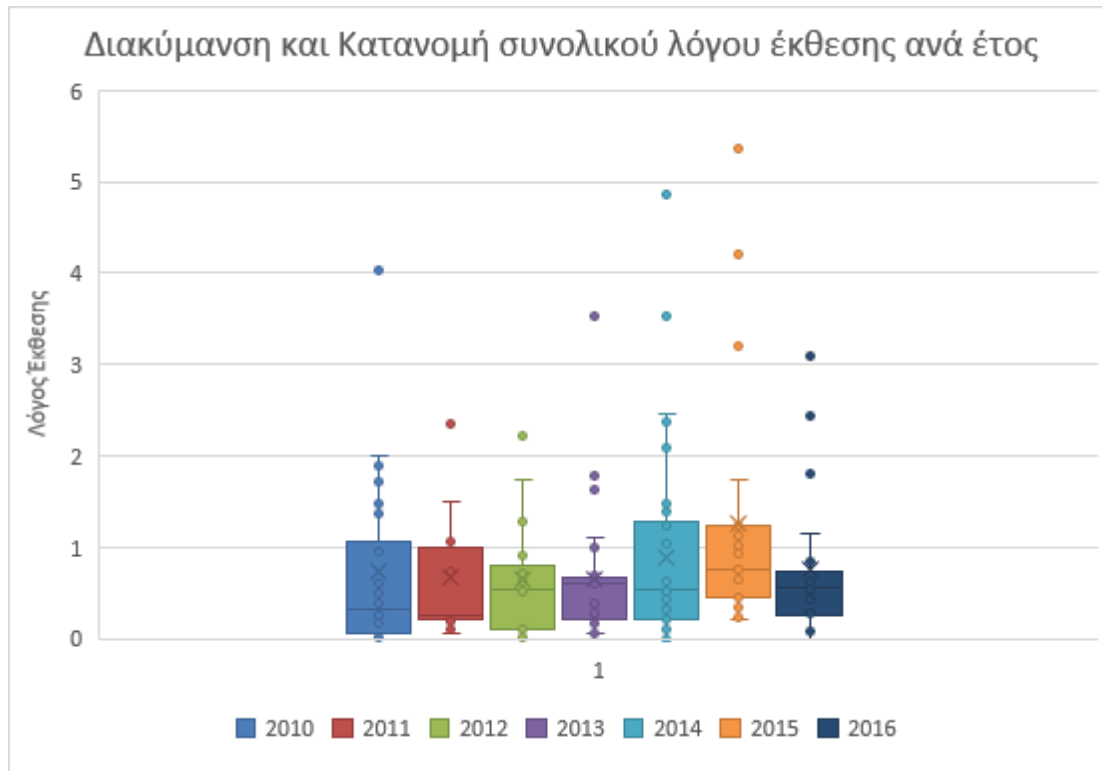
Με βάση τη σταθμισμένη μέση τιμή του λόγου έκθεσης, παρατηρήθηκε ότι τη μεγαλύτερη συνεισφορά παρουσιάζει η υπηρεσία FM ενώ ακολουθεί η υπηρεσία TV-UHF με τιμή που δεν ξεπερνά το 0,06 ανά τα έτη. Οι τιμές των υπόλοιπων υπηρεσιών έρχονται πολύ κοντά στο μηδέν. Με βάση τη σταθμισμένη διάμεσο τιμή του λόγου έκθεσης, την μεγαλύτερη τιμή παρουσιάζει η υπηρεσία FM με μέγιστη τιμή που ξεπερνάει το 0,60 το έτος 2015 ενώ αρκετά πιο πίσω έρχεται η υπηρεσία TV-UHF με τιμή που δεν ξεπερνά το 0,03 ανά τα έτη. Οι τιμές των υπόλοιπων υπηρεσιών έρχονται πολύ κοντά στο μηδέν.

4.4 Χαρακτηριστικά του Συνολικού λόγου έκθεσης ανά έτος

Βάση των μετρήσεων που συλλέξαμε κατηγοριοποιήσαμε τον συνολικό λόγο έκθεσης ανά έτος και πραγματοποιήσαμε την αντίστοιχη ανάλυση δημιουργώντας τον παρακάτω πίνακα 4.6, ο οποίος περιλαμβάνει την μέση τιμή, την τυπική απόκλιση, τ, το εκατοστημόριο 95% που εμφανίζονται για κάθε έτος. Επίσης έγινε υπολογισμός των Q1(25%), Q2 Median, Q3(75%), R, IQR, MIN, MAX με τις οποίες χωρίστηκε ο συνολικός λόγος έκθεσης σε τεταρτημόρια με σκοπό να αποτυπωθεί η διακύμανση και η κατανομή του καθώς και να εντοπιστούν τυχόν ακραίες τιμές του. Η διακύμανση και η κατανομή του συνολικού λόγου έκθεσης παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα 4.3.

Πίνακας 4.6 Χαρακτηριστικά του συνολικού λόγου έκθεσης ανα έτος

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Μέση τιμή	0,7362	0,6748	0,6403	0,6443	0,8917	1,2689	0,7479
Τυπική απόκλιση	0,9583	0,7558	0,6639	0,7233	1,0873	1,3574	0,8096
Εκατ 95%	1,9772	1,9674	1,8878	1,7383	2,8304	4,2127	2,473
MIN	0,0004	0,0578	0,00164	0,0469	0	0,2088	0
Q1(25%)	0,0483	0,0578	0,1085	0,2080	0,2157	0,4512	0,2473
Q2 median	0,3209	0,2570	0,5358	0,0469	0,5330	0,7458	0,5600
Q3(75%)	1,0708	0,9861	0,8048	0,6642	1,2898	1,2351	0,7274
MAX	4,0401	2,3510	2,2193	3,5233	4,8566	5,3737	3,0840
R ευρος	4,0396	2,2932	2,2177	3,4763	4,8566	5,1648	3,0840
IQR	1,0224	0,9282	0,6962	0,4562	1,0741	0,7838	0,4801



Σχήμα 4.3 Διακύμανση και κατανομή συνολικού λόγου έκθεσης ανά έτος

Από το θηκόγραμμα γίνεται σαφές ότι οι διάμεσοι ανά τα έτη παρουσιάζουν κάποιες μικρές αυξομειώσεις χωρίς όμως να διαφέρουν και τόσο πολύ, με το έτος 2015 η διάμεσος να καταγράφει την υψηλότερη της τιμή. Επίσης έχουμε σημαντικές αυξομειώσεις στις τιμές των πάνω ορίων ενώ αντίθετα οι τιμές των κάτω ορίων βρίσκονται σε πολύ κοντινά επίπεδα όλα τα έτη. Παρατηρείται επίσης μια ένδειξη ασυμμετρίας της κατανομής των τιμών σε κάποια έτη όπως το έτος 2011 και 2013 όπου η διάμεσος βρίσκεται κοντά στο κάτω τεταρτημόριο το έτος 2011 και πολύ κοντά στο άνω τεταρτημόριο το 2013. Τα υπόλοιπα χρόνια η ασυμμετρία στην κατανομή των τιμών δεν είναι τόσο έντονη. Επίσης παρατηρούνται ακραίες τιμές ανά τα έτη με την μεγαλύτερη τιμή να λαμβάνει χώρα το έτος 2015 με τιμή 5,37. Αυτές οι ακραίες τιμές μπορεί να οφείλονται και σε πιθανές υπερβάσεις του ορίου ασφαλούς έκθεσης.

4.5 Ένταση ηλεκτρικού πεδίου

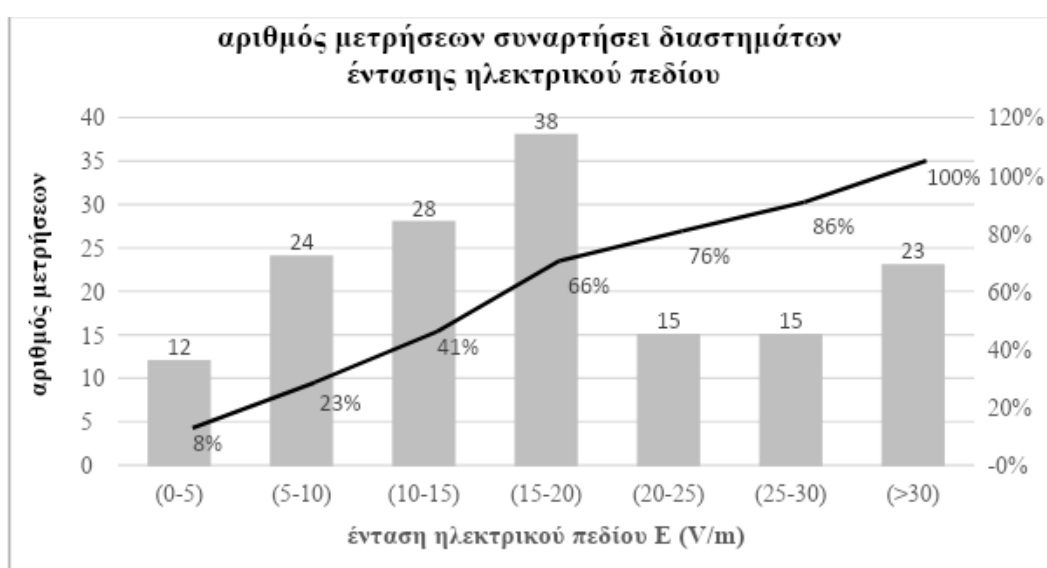
Από τις μετρήσεις μας ομαδοποιήσαμε τα δεδομένα για την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου και καταγράψαμε το ποσοστό εμφάνισης της κάθε ομαδοποίησης. Τα αποτελέσματα της διαδικασίας παρουσιάζονται στον πίνακα 4.7. Στη πρώτη στήλη του πίνακα περιέχεται η ομαδοποίηση που ορίστηκε για τις τιμές της έντασης του

ηλεκτρικού πεδίου, στη δεύτερη στήλη ο αριθμός των μετρήσεων που βρίσκονται στο εκάστοτε διάστημα που ορίσαμε και στη Τρίτη στήλη περιέχεται το ποσοστό εμφάνισης της κάθε ομάδας.

Πίνακας 4.7 Ποσοστιαία (%) κατανομή συχνότητας εμφάνισης μετρήσεων, συναρτήσει ομαδοποιημένων τιμών της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου

Συνολικό ποσοστό μετρήσεων (%)		
(0-5)	12	8%
(5-10)	24	23%
(10-15)	28	41%
(15-20)	38	66%
(20-25)	15	76%
(25-30)	15	86%
(>30)	23	100%
Σύνολο	155	

Στο παρακάτω σχήμα 4.4 φαίνεται η ποσοστιαία κατανομή των τιμών της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στα ομαδοποιημένα διαστήματα.



Σχήμα 4.4 Ποσοστιαία (%) κατανομή συχνότητας εμφάνισης μετρήσεων, συναρτήσει ομαδοποιήσεων τιμών της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου

Το Σχήμα 4.4 απεικονίζει την ποσοστιαία κατανομή του αριθμού των μετρήσεων, στις οποίες η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου λαμβάνει τιμή εντός των επιλεγμένων διαστημάτων: 0-5 V/m, 5-10 V/m, 10-15 V/m, 15-20 V/m, 20-25 V/m, 25-30 V/m, >30 V/m. Παρατηρείται ότι η πλειονότητα των μετρήσεων (87%) αντιστοιχεί σε τιμές έντασης ηλεκτρικού πεδίου χαμηλότερες από 30 V/m, τιμή που είναι σαφώς μικρότερη από το 60% των επιπέδων αναφοράς της Ε.Ε. (Ελληνική Νομοθεσία) και μόνο ένα 23% των μετρήσεων να ξεπερνάει το φράγμα των 30 V/m.

4.6 Πάρκα με πιθανή υπέρβαση του ορίου ασφαλούς έκθεσης και μελέτη μείωσης της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας τους ανά τα έτη

Από τα 58 πάρκα κεραιών που μελετήσαμε τα 13 παρουσιάζουν πιθανή υπέρβαση του ορίου ασφαλούς έκθεσης. Από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν, η υπηρεσία FM είναι αυτή που συμβάλλει σε μεγάλο βαθμό στον λόγο έκθεσης. Στον παρακάτω πίνακα 4.8 παρουσιάζονται: το πάρκο που έγιναν οι μετρήσεις, οι χρονιές που έγιναν καθώς και ο λόγος έκθεσης του αντίστοιχου έτους με σκοπό να διαπιστωθεί αν υπάρχει μείωση τη εκπεμπόμενης ακτινοβολίας ανά τα έτη.

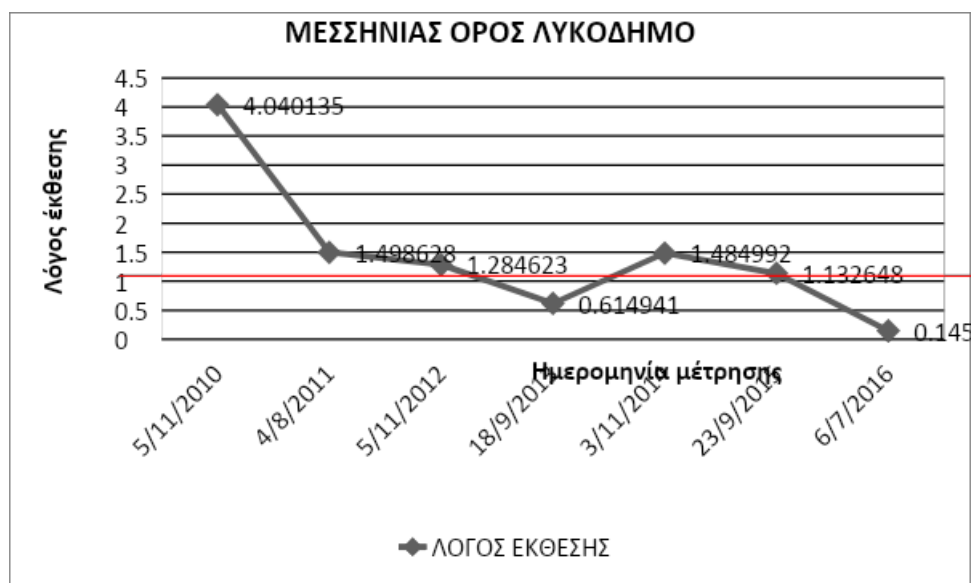
Πίνακας 4.8 Πολλαπλές μετρήσεις για κάθε ένα πάρκο κεραιών που παρουσιάζει πιθανή υπέρβαση

	Μετρήσεις πάρκου με υπέρβαση				Μετρήσεις πάρκου χωρίς υπέρβαση		
			Έτος	Λόγος έκθεσης		Έτος	Λόγος έκθεσης
ΟΡΟΣ ΛΥΚΟΔΗΜΟ	1001307	5/11/2010	2010	4,040135	18/9/2013	2013	0,614941
		4/8/2011	2011	1,498628	6/7/2016	2016	0,145689
		5/11/2012	2012	1,284623			
		3/11/2014	2014	1,484992			
		23/9/2015	2015	1,132648			
ΒΑΣΙΛΙΚΟ	1406136	22/12/2010	2010	1,991071	10/6/2014	2014(α)	0,54497
		10/11/2011	2011	1,067379	4/12/2014	2014(β)	0,57337

					16/6/2016	2016	0,362559
ΠΟΛΥΓΥΡΟΣ	190027	9/9/2010	2010	1,720218	1/8/2016	2016	0,664123
		19/12/2014	2014	4,856654			
		1/10/2015	2015	1,730252			
ΟΡΟΣ ΚΤΥΠΑΣ	1200069	6/11/2013	2013	1,097592	19/10/2012	2012	0,636185
		18/12/2014	2014	1,309637	29/9/2015	2015	0,3759
					29/8/2016	2016	0,834707
ΟΡΟΣ ΥΜΗΤΤΟΣ		4/11/2010	2010	1,48162			
		19/10/2012	2012	2,219364			
		17/7/2013	2013	1,634146			
ΟΡΟΣ ΠΑΝΤΟΚΡΑΤΩΡ	1200250	23/9/2011	2011	2,351063	28/1/2013	2013	0,708556
		23/10/2012	2012	1,745733	19/10/2016	2016	0,691744
		21/11/2014	2014	1,381757			
		11/11/2015	2015	1,235125			
ΛΑΖΑΡΗΔΕΣ		17/9/2010	2010	1,375445	24/4/2015	2015	0,932748
		12/2/2013	2013(α)	3,523299			
		25/9/2013	2013(β)	1,782939			
		14/10/2016	2016	1,144775			
ΛΕΣΒΟΥ	1000273	5/10/2015	2015	1,313227	26/2/2014	2014	0,634781
		18/7/2016	2016	1,798172			
ΧΙΟΥ ΑΙΠΟΣ	1406251	12/10/2015	2015	4,212772			
		4/8/2016	2016	3,084082			
ΚΑΛΛΙΘΕΑ	1001023	10/9/2014	2014(α)	2,0814	3/12/2009	2009	0,112709
		4/11/2014	2014(β)	3,531785	16/5/2013	2013	0,046985
		30/7/2015	2015	3,209659			
		7/10/2016	2016	2,440937			
ΣΕΡΒΙΩΝ	1001327	20/9/2010	2010	1,899224			

		8/10/2015	2015	5,37373			
ΤΣΟΥΚΑΛΑΣ	1000152	9/9/2010	2010	1,720218	15/11/2012	2012	0,00164
		19/12/2014	2014	4,856654	1/8/2016	2016	0,664123
		1/10/2015	2015	1,730252			
ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ	1200223	3/11/2014	2014	1,484992	16/10/2012	2012	0,711122
		23/9/2015	2015	1,132648	6/7/2016	2016	0,145689

Από τις μετρήσεις που παρουσιάζονται στον πίνακα 4.8 κατασκευάστηκαν τα αντίστοιχα διαγράμματα για το κάθε πάρκο στα οποία απεικονίζεται η αυξομείωση του συνολικού λόγου έκθεσης της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας ανά τα έτη. Η κόκκινη γραμμή στα σχεδιαγράμματα υποδηλώνει την τιμή του ορίου (≤ 1) που δεν θα πρέπει να ξεπερνά ο λόγος έκθεσης. Η παρουσιαζόμενη τιμή είναι χωρίς την αβεβαιότητα.



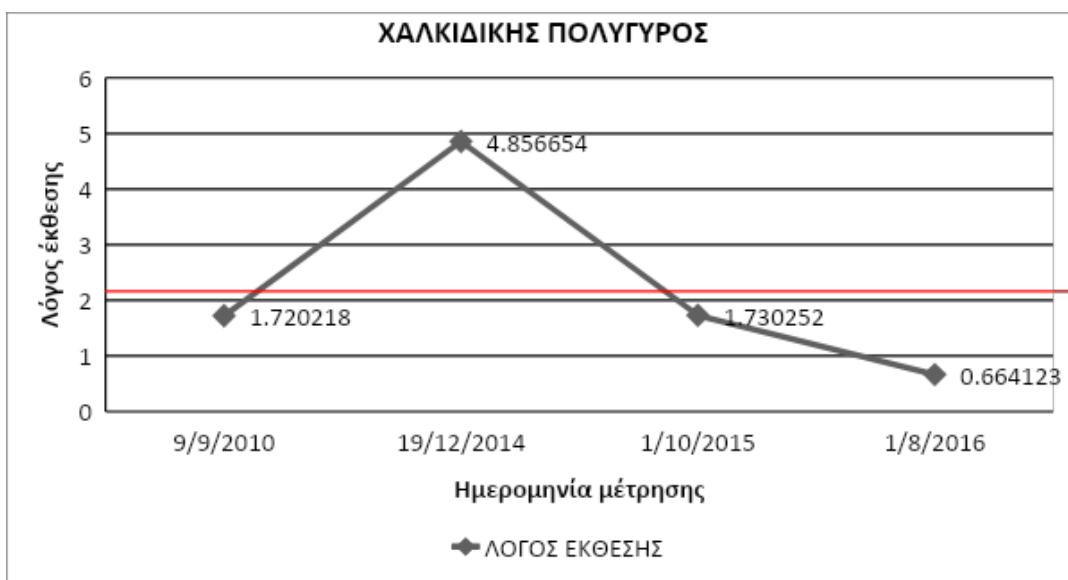
Σχήμα 4.5 Συνολικός λόγος έκθεσης όρος Λυκόδημο Μεσσηνίας

Από το σχήμα 4.5 παρατηρούμε ότι ο συνολικός λόγος έκθεσης παρουσιάζει σταδιακή μείωση μέχρι το έτος 2013 όπου η τιμή του επιστρέφει εντός του επιτρεπτού ορίου. Τα έτη 2014 και 2015 η τιμή ξεπερνάει και πάλι το όριο ασφαλούς έκθεσης μέχρι το έτος 2016 όπου επιστρέφει και πάλι εντός ορίων.



Σχήμα 4.6 Συνολικός λόγος έκθεσης Βασιλικό Ηρακλείου

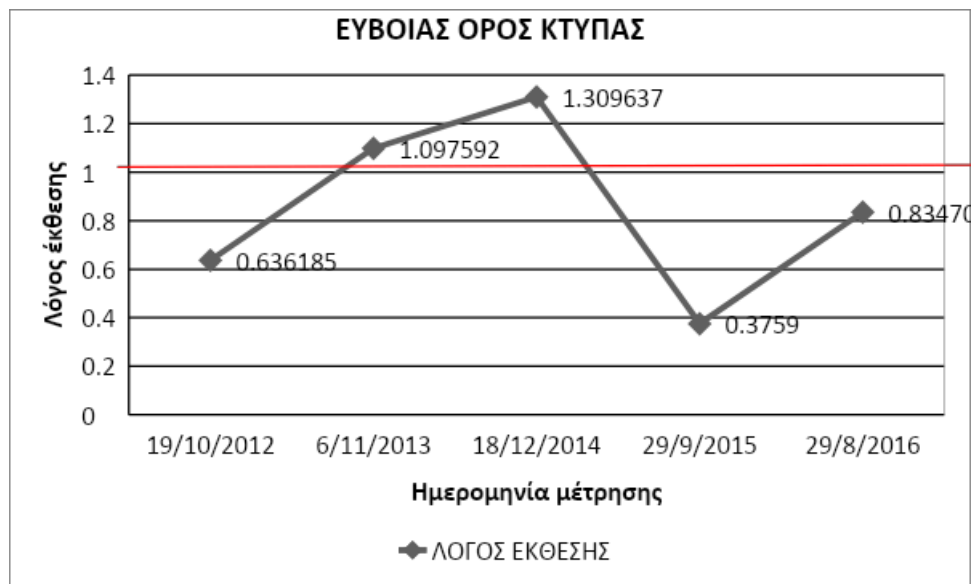
Παρατηρούμε ότι ο συνολικός λόγος έκθεσης παρουσιάζει σταδιακή μείωση ανά τα έτη και επανέρχεται στα επιτρεπτά όρια τα έτη 2014 και 2016.



Σχήμα 4.7 Συνολικός λόγος έκθεσης για Πολύγυρο Χαλκιδικής

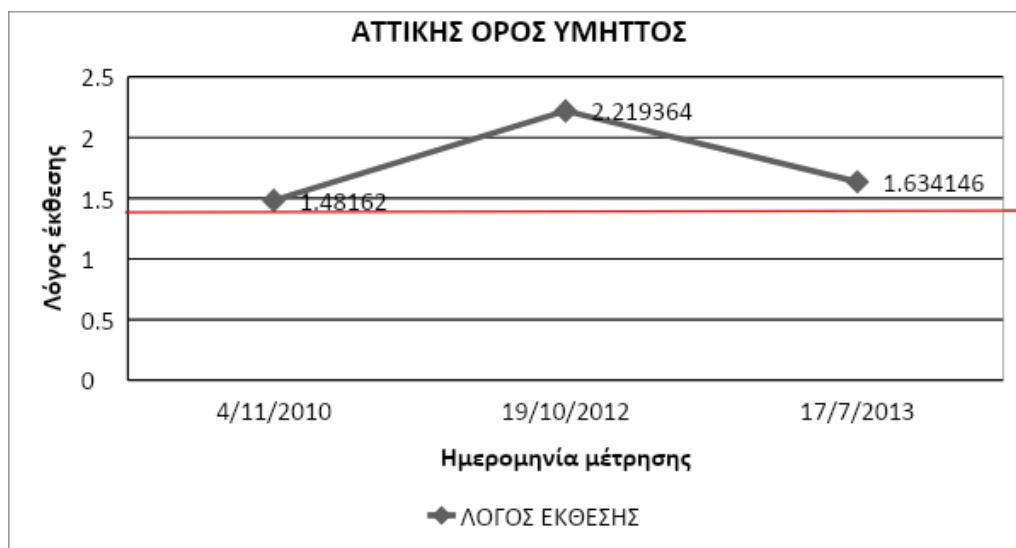
Από το σχήμα παρατηρούμε ότι για τα περισσότερα έτη που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις για τον Πολύγυρο η τιμή του συνολικού λόγου έκθεσης κινείται εκτος

επιτρεπτού ορίου φτάνοντας μέχρι την τιμή του 4,85 το έτος 2014. Επιστρέφει στα επιτρεπτά επίπεδα το έτος 2016.



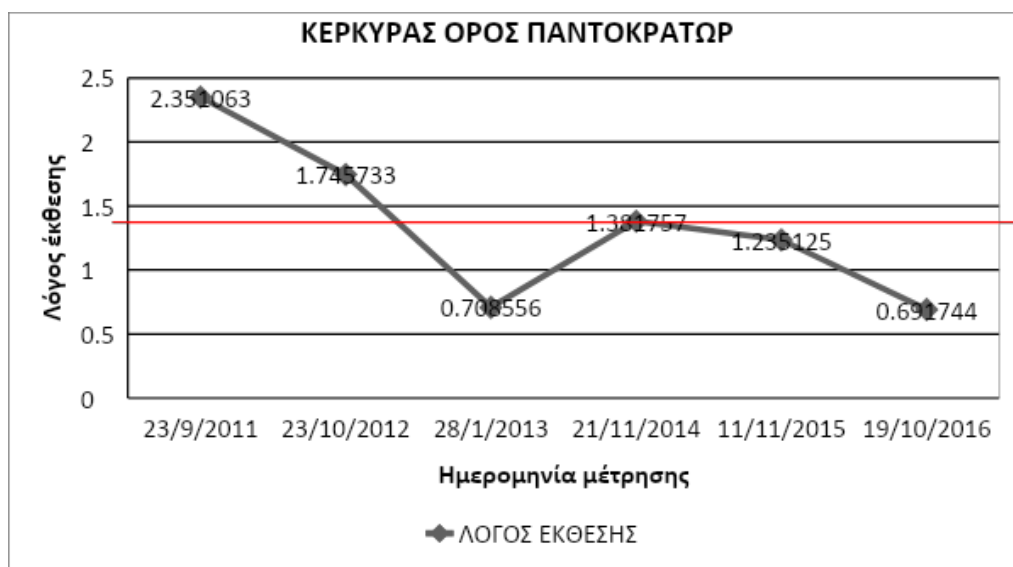
Σχήμα 4.8 Συνολικός λόγος έκθεσης για όρος Κτυπός Εύβοιας

Παρατηρούμε ότι η τιμή του συνολικού λόγου έκθεσης εισέρχεται στο φάσμα τιμών που ξεπερνούν το επιτρεπτό όριο ακτινοβολίας τα έτη 2013 και 2014 και επιστρέφει εντός του ορίου τα δυο επόμενα έτη.



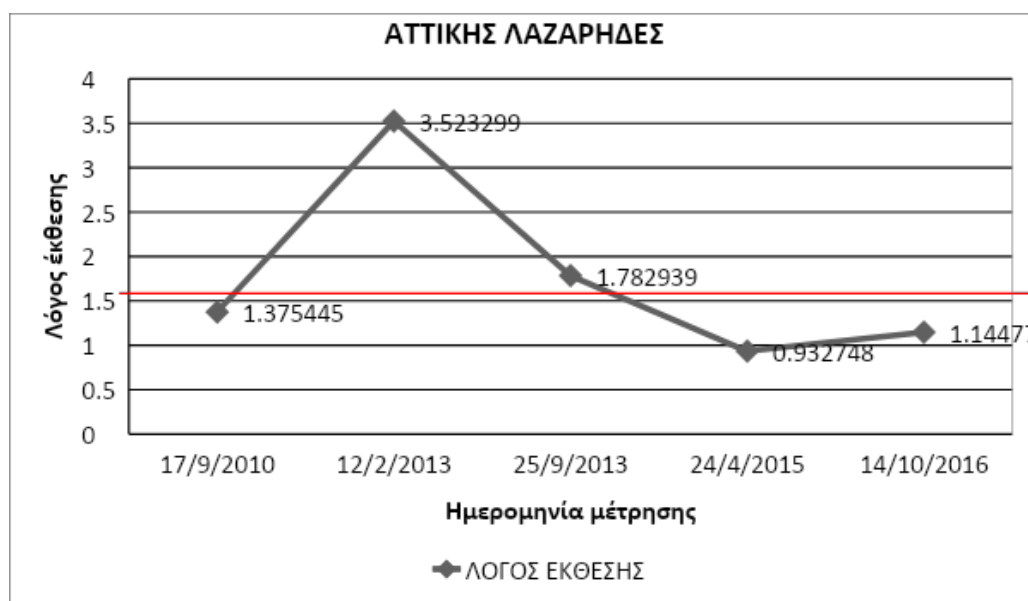
Σχήμα 4.9 Συνολικός λόγος έκθεσης για Υμηττό Αττικής

Από το σχήμα βλέπουμε ότι για τα έτη που πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις η τιμή του συνολικού λόγου έκθεσης παραμένει εκτός του επιτρεπτού ορίου.



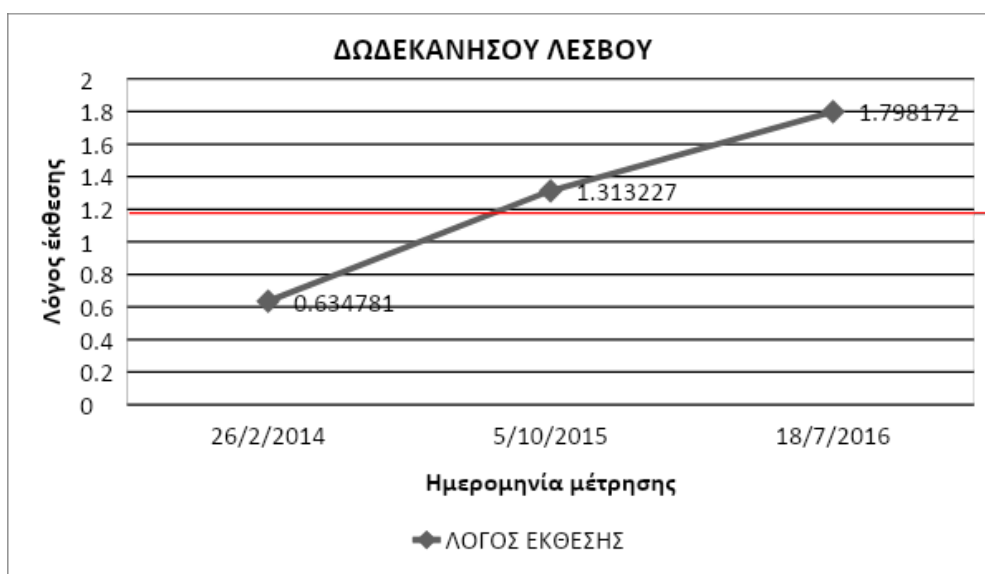
Σχήμα 4.10 Συνολικός λόγος έκθεσης για όρος Παντοκράτωρ Κέρκυρας

Από το σχήμα παρατηρούμε μια μείωση της τιμής του συνολικού λόγου έκθεσης από το 2011 στο 2012 όπου και εισέρχεται στο φάσμα τιμών εντός του ορίου ασφαλούς έκθεσης. Στις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν τα έτη 2014 και 2015 η τιμή του ξεπερνά και πάλι το όριο έως ότου να επανέλθει σε φυσιολογικές τιμές το έτος 2016.



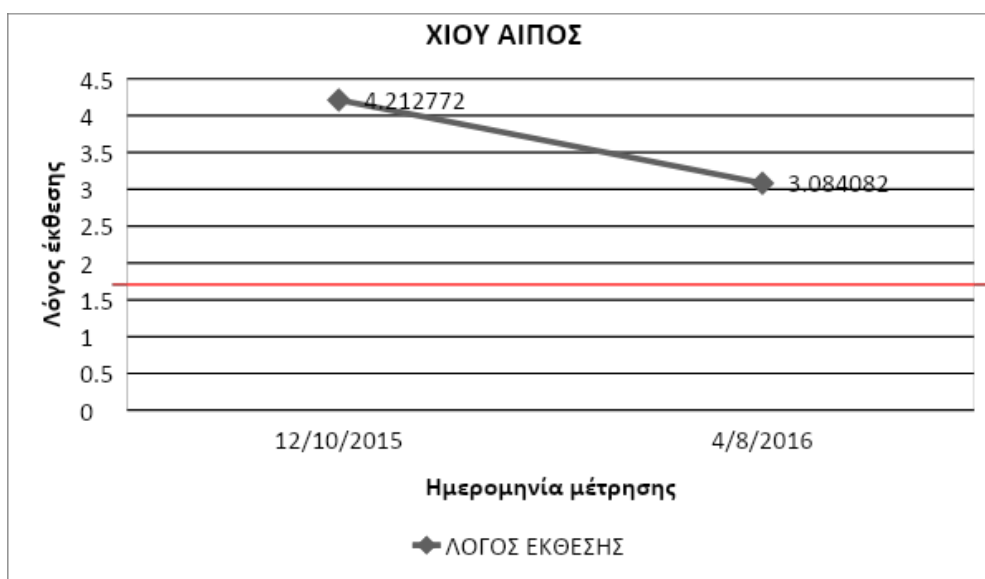
Σχήμα 4.11 Συνολικός λόγος έκθεσης για Λαζάρηδες Αττικής

Από το σχήμα φαίνεται ότι ο συνολικός λόγος έκθεσης κινείται εκτός του επιτρεπτού ορίου στις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν τα περισσότερα έτη, με εξαίρεση το έτος 2015 όπου η τιμή του βρίσκεται εντός του ορίου.



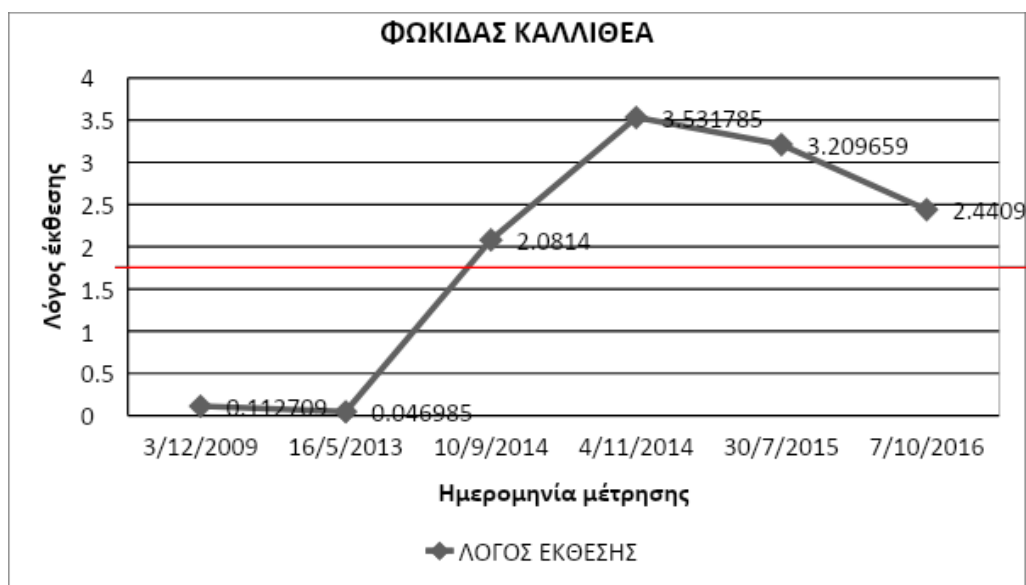
Σχήμα 4.12 Συνολικός λόγος έκθεσης για Λέσβο Δωδεκανήσου

Από το σχήμα αυτό παρατηρούμε μια σταδιακή άνοδο της τιμής του συνολικού λόγου έκθεσης με τιμές που ξεπερνούν το όριο ασφαλούς έκθεσης τα έτη 2015 και 2016 αντίστοιχα.



Σχήμα 4.13 Συνολικός λόγος έκθεσης για Λέσβο Δωδεκανήσου

Παρατηρούμε ότι για τις δυο μετρήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί η τιμή του συνολικού λόγου έκθεσης μπορεί να παρουσιάζει μείωση αλλά εξακολουθεί να βρίσκεται εκτός του επιτρεπτού ορίου.



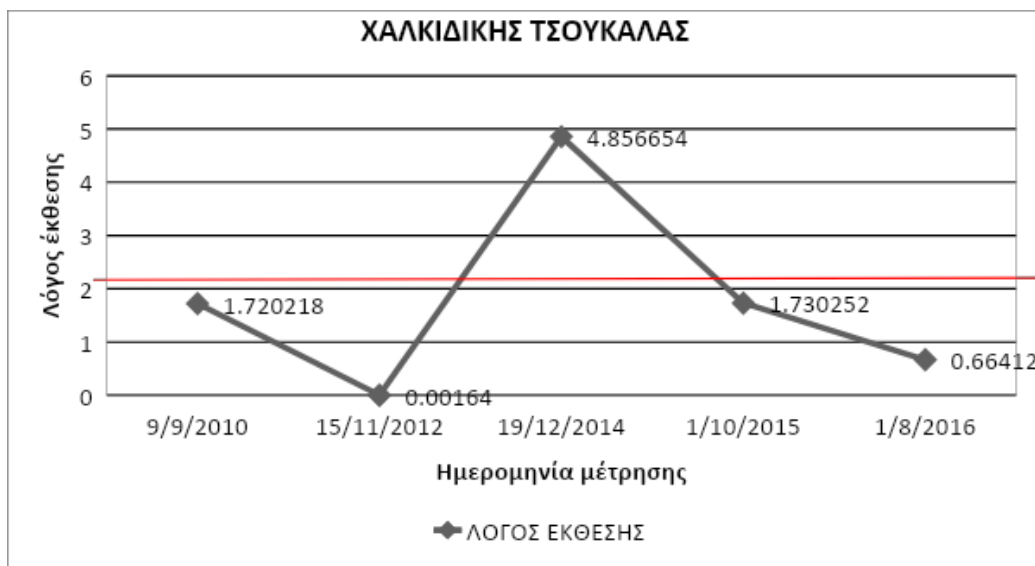
Σχήμα 4.14 Συνολικός λόγος έκθεσης για Καλλιθέα Φωκίδας

Από το σχήμα βλέπουμε ότι μετά τις μετρήσεις του 2009 και 2013 η τιμή του συνολικού λόγου έκθεσης υπερβαίνει το όριο ασφαλούς έκθεσης παίρνοντας μέγιστη τιμή 3,5 το έτος 2014. Στις μετρήσεις των επόμενων ετών η τιμή του συνολικού λόγου έκθεσης παρουσιάζει σταδιακή μείωση παραμένοντας ωστόσο εκτός του επιτρεπτού ορίου.



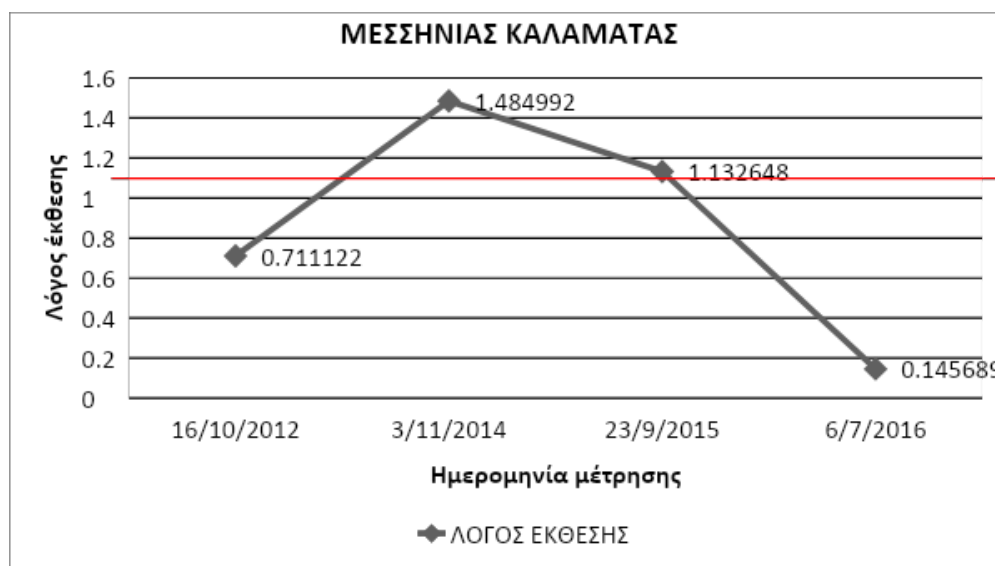
Σχήμα 4.15 Συνολικός λόγος έκθεσης για Σέρβια Κοζάνης

Παρατηρούμε ότι ο συνολικός λόγος έκθεσης κινείται εκτός του επιτρεπτού ορίου και παρουσιάζει σημαντική άνοδο στη τιμή του από το έτος 2010 στο 2015 κατά περίπου 3,5 μονάδες.



Σχήμα 4.16 Συνολικός λόγος έκθεσης για Τσουκαλά Χαλκιδικής

Από το σχήμα παρατηρούμε ότι υπάρχει αυξομείωση στην τιμή του συνολικού λόγου έκθεσης εντός και εκτός του επιτρεπτού ορίου λαμβάνοντας μέγιστη τιμή 4,85 το έτος 2014.



Σχήμα 4.17 Συνολικός λόγος έκθεσης για Καλαμάτα Μεσσηνίας

Η τιμή του συνολικού λόγου έκθεσης παρουσιάζει και σε αυτό το σημείο μέτρησης σημαντική αυξομείωση στη τιμή του ξεπερνώντας το επιτρεπτό όριο τα έτη 2014 και 2015.

4.7 Συμπεράσματα για την μελέτη των πάρκων κεραιών

Η τιμή του λόγου έκθεσης του FM είναι αυτή που κυριαρχεί έναντι των άλλων υπηρεσιών στη διαμόρφωση του συνολικού λόγου έκθεσης ανά τα έτη. Από τα 58 πάρκα κεραιών που μελετήσαμε τα 13 παρουσιάζουν υπέρβαση του ορίου ασφαλούς έκθεσης, έστω και μία φορά. Ο συνολικός λόγος έκθεσης παρουσιάζει συνεχείς αυξομειώσεις στη τιμή του ανά τα έτη με τιμές εντός και εκτός του επιτρεπτού ορίου κάτι που μπορεί να οφείλεται στην αυθαίρετη εισαγωγή ή/και αφαίρεση κεραιοδιατάξεων από ιδιώτες. Τέλος από το έτος 2015 έχουμε την σταδιακή εισαγωγή του σήματος της ψηφιακής τηλεόρασης στις διάφορες περιοχές ανά την Ελλάδα. Παρατηρούμε όμως ότι σε πολύ λίγα σημεία μέτρησης έχουμε μείωση της τιμής της υπηρεσίας του TV-UHF μεταξύ εκείνων των ετών.

4.8 Ανάλυση και παρουσίαση των μετρήσεων για τις τοποθεσίες που παρουσιάζουν συγκέντρωση πολλών κεραιοδιατάξεων

4.8.1.Θεωρητική περιγραφή δεδομένων

Στην ενότητα αυτή θα παρουσιαστούν οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν σε τοποθεσίες με μεγάλη συγκέντρωση κεραιοδιατάξεων οι οποίες όμως δεν ανήκουν στην κατηγορία των πάρκων κεραιών. Πρόκειται για τοποθεσίες που παρουσιάζουν συγκέντρωση πολλών κεραιοδιατάξεων όχι όμως τόσων ώστε να θεωρηθούν πάρκα κεραιών. Τα δεδομένα προήλθαν από μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν από την ΕΕΑΕ καθώς και από συνεργαζόμενα συνεργεία τα έτη 2009 έως και 2016 και αφορούν συνολικά 54 σημεία μέτρησης. Λόγω του ότι έχουν πραγματοποιηθεί παραπάνω από μια μετρήσεις ο συνολικός αριθμός των μετρήσεων μας ανέρχεται σε 92 . Τα αναλυτικά στοιχεία των δεδομένων που επεξεργάστηκαν παρατίθενται στον πίνακα 4.9. Για την καλύτερη επεξεργασία και τη συλλογή περισσότερων συμπερασμάτων για την εκπεμπόμενη ακτινοβολία οι τιμες χωρίστηκαν σε σταθμισμένες, όπου και έγινε η αντίστοιχη ανάλυση. Να σημειωθεί ότι και εδώ πρόκειται για τοποθεσίες μέτρησης που βρίσκονται σε υψόμετρο και μακριά από κατοικημένες περιοχές όπου η πρόσβαση είναι περιορισμένη στο κοινό. Στην κάθε τοποθεσία συναντάμε περισσότερους από δύο πυλώνες που φιλοξενούν κεραιοδιατάξεις και είναι συνήθως η παρουσία κεραιοδιατάξεων τόσο των τριών εταιρειών κινητής τηλεφωνίας όσο και πλήθος κεραιοδιατάξεων αναμετάδοσης τηλεοπτικού και ραδιοφωνικού σήματος.

Πίνακας 4.9 Στοιχεία για τα σημεία με συγκέντρωση κεραιών που μετρήθηκαν

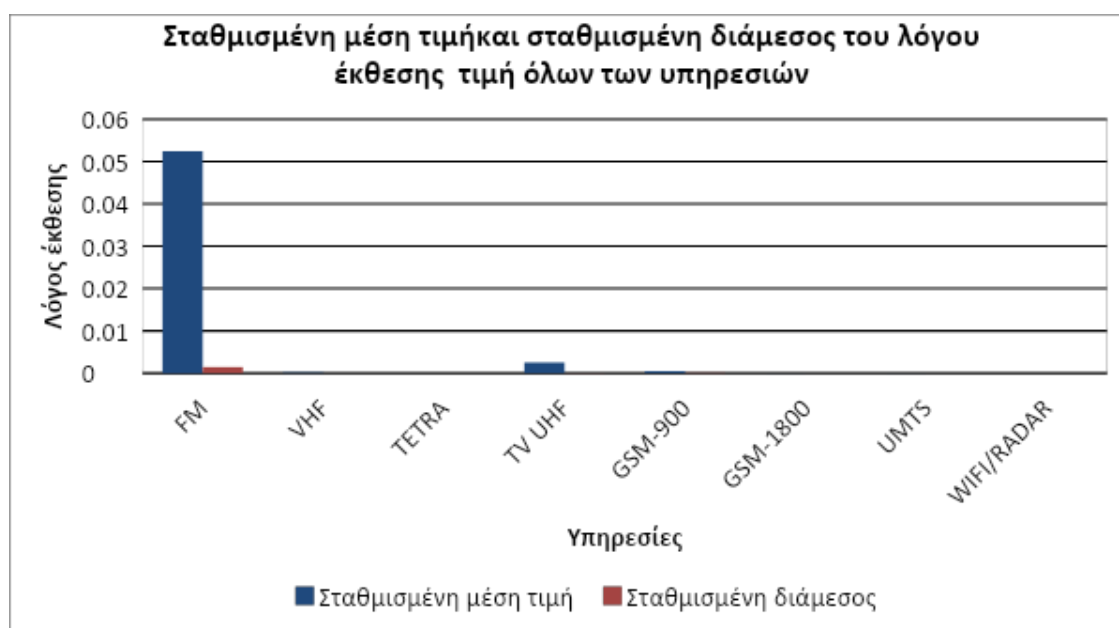
Αριθμός μετρήσεων	Συγκεντρώσεις κεραιών
1 φορά	28
2 φορές	18
3 φορές	5
4 φορές	2
5 φορές	1
Συνολικά σημεία που μετρήθηκαν	54
Συνολικές μετρήσεις	92

4.8.2 Κατηγοριοποίηση ανά υπηρεσίες

Για τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν, καταγράφηκαν οι τρεις μεγαλύτερες σε λόγο έκθεσης υπηρεσίες, ενώ οι υπόλοιπες αγνοήθηκαν. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν για τις υπηρεσίες παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα 4.10.

Πίνακας 4.10 Στατιστικά στοιχεία υπηρεσιών

Στατιστικά στοιχεία	FM	VHF	TETRA	TV UHF	GSM-900	GSM-1800	UMTS	WIFI/RADAR
Μέση τιμή	0,0862	0,0005	1,91E-05	0,0045	0,0006	8,21E-05	7,23E-05	1,96E-05
Διάμεσος	0,0024	0	0	0,00008	0,0001	0	0	0
Τυπική απόκλιση	0,1857	0,0014	0,0001	0,0173	0,0028	0,0002	0,0001	0,0001
Συνολικές μετρήσεις : 92								
Πλήθος μετρήσεων	56	36	2	51	67	28	31	8
Σταθμισμένη μέση τιμή	0,0524	0,0001	4,14E-07	0,0025	0,0005	2,50E-05	2,44E-05	1,71E-06
Σταθμισμένη διάμεσος	0,0014	0	0	4,57E-05	0,0001	0	0	0



Σχήμα 4.18 Σταθμισμένη μέση τιμή και σταθμισμένη διάμεσος του λόγου έκθεσης κάθε υπηρεσίας

Από το σχήμα 4.18 παρατηρούμε ότι όλες οι υπηρεσίες πλην του FM έχουν μικρή μέση τιμή λόγου έκθεσης (στα όρια του μηδενός) ενώ η υπηρεσία FM παρουσιάζει τη μεγαλύτερη μέση τιμή η οποία φτάνει λίγο πιο πάνω από το 0,05. Επίσης όλες οι υπηρεσίες πλην του FM έχουν σχεδόν μηδενική διάμεσο τιμή λόγου έκθεσης ενώ η υπηρεσία FM παρουσιάζει τη μεγαλύτερη διάμεσο τιμή η οποία φτάνει λίγο πιο πάνω από το 0 στην τιμή 0,0014. Από αυτά τα στοιχεία συμπεραίνεται ότι η έκθεση σε ραδιοκύματα διαφοροποιείται σημαντικά ανάλογα την υπηρεσία και ότι η υπηρεσία FM μπορεί να προκαλεί υψηλότερα επίπεδα έκθεσης σε σχέση με άλλες υπηρεσίες όχι τόσο ψηλά όσο στα πάρκα κεραιών που παρουσιάστηκαν νωρίτερα.

4.8.3 Κατηγοριοποίηση υπηρεσιών ανά έτος

Από τον διαχωρισμό των μετρήσεων με βάση το έτος πήραμε τους παρακάτω πίνακες. Ο πίνακας 4.11 δείχνει τον συνολικό αριθμό των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκε το εκάστοτε έτος καθώς και τον αριθμό των υπηρεσιών που συμμετέχουν στην τριάδα των μετρήσεων που απομονώθηκε (σταθμισμένες τιμές) ανά έτος. Ο πίνακας 4.12 περιλαμβάνει την σταθμισμένη μέση τιμή του λόγου έκθεσης των υπηρεσιών ανά έτος και ο πίνακας 4.13 την σταθμισμένη διάμεσο του λόγου έκθεσης των υπηρεσιών ανά έτος.

Πίνακας 4.11 Πλήθος υπηρεσιών ανά έτος που συμμετέχουν στην τριάδα τιμών που απομονώθηκε - Συνολικός αριθμός μετρήσεων έτους

Πλήθος μετρήσεων υπηρεσίας ανά έτος									Συνολικές μετρήσεις έτους
ΕΤΟΣ	F M	VH F	TETR A	TV UHF	GSM-90 0	GSM-180 0	UMT S	WIFI/RADA R	
2009	6	4	0	6	4	1	2	2	8
2010	12	11	1	12	10	4	1	3	18
2011	3	0	0	1	3	1	0	1	3
2012	9	5	1	9	12	3	6	0	15
2013	6	5	0	8	12	6	8	1	15
2014	11	6	0	6	15	10	9	1	19
2015	5	4	0	4	5	1	2	0	7
2016	4	1	0	5	6	2	3	0	7

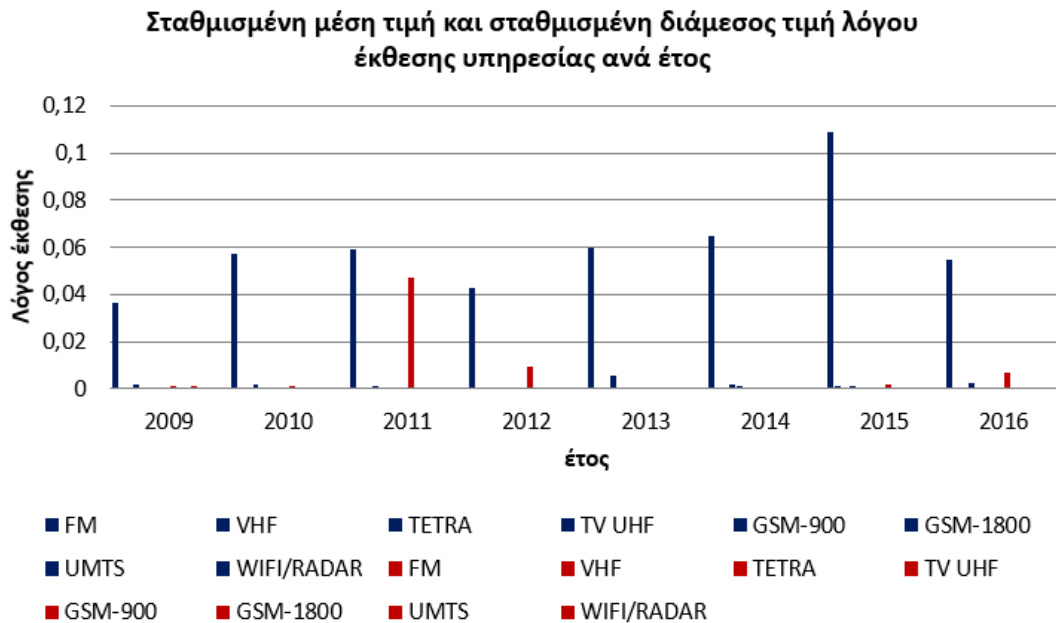
Πίνακας 4.12 Σταθμισμένη μέση τιμή λόγου έκθεσης

ΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΟΣ ΜΕΣΟΣ								
ΕΤΟΣ	FM	VHF	TETRA	TV UHF	GSM-900	GSM-1800	UMTS	WIFI/RADAR
2009	0,036376688	9,51875E-05	0	0,002183344	9,65625E-05	1,78125E-06	0,00000125	2,80313E-05
2010	0,057012963	0,000267123	3,58333E-06	0,001899852	8,10185E-05	2,83951E-06	8,64198E-08	5,26852E-06
2011	0,059414333	0	0	0,001029667	0,000379	2,88889E-06	0	3,61111E-05
2012	0,042766	0,000048	2,63111E-06	0,0004706	0,000636587	0,00001436	3,13867E-05	0
2013	0,059588733	0,000369267	0	0,005830151	0,000273067	6,25867E-05	4,52978E-05	0,00000004
2014	0,064856975	0,000109097	0	0,002029247	0,001314681	6,25762E-05	7,559E-05	0
2015	0,108709694	0,000948245	0	0,001040082	0,000776735	8,32653E-06	2,16327E-05	0
2016	0,054608735	4,38776E-06	0	0,002602755	0,000310286	4,45714E-05	3,51429E-05	0

Πίνακας 4.13 Σταθμισμένη διάμεσος τιμή λόγου έκθεσης

ΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΗ ΔΙΑΜΕΣΟΣ								
ΕΤΟΣ	FM	VHF	TETRA	TV UHF	GSM-900	GSM-1800	UMTS	WIFI/RADAR
2009	0,001137375	0,00000075	0	0,0010755	0,00001675	0	0	0
2010	0,001403	2,38333E-05	0	9,26667E-05	1,91667E-05	0	0	0
2011	0,047378	0	0	0	0,000268	0	0	0
2012	0,0096756	0	0	0,0000552	0,0002424	0	0	0
2013	0	0	0	3,89333E-05	0,0001952	0	2,66667E-06	0
2014	0,000162684	0	0	0	0,000128684	1,63158E-05	0	0
2015	0,002045	0,000459429	0	2,28571E-05	0,000608571	0	0	0
2016	0,007022857	0	0	0,000407857	0,000118286	0	0	0

Τα αποτελέσματα από τους δύο πίνακες για την σταθμισμένη μέση τιμή και για την σταθμισμένη διάμεσο του λόγου έκθεσης των υπηρεσιών ανά έτος απεικονίζονται στο παρακάτω σχήμα 4.19.



Σχήμα 4.19 Σταθμισμένη μέση τιμή και σταθμισμένη διάμεσος τιμή λόγου έκθεσης υπηρεσίας ανά έτος

Με βάση τη σταθμισμένη μέση τιμή του λόγου έκθεσης, παρατηρήθηκε ότι τη μεγαλύτερη συνεισφορά παρουσιάζει η υπηρεσία FM ενώ ακολουθεί η υπηρεσία TV-UHF με τιμή που δεν ξεπερνάει κατά πολύ το 0 ανά τα έτη. Οι τιμές των υπόλοιπων υπηρεσιών έρχονται πολύ κοντά στο μηδέν. Με βάση τη σταθμισμένη διάμεσο τιμή του λόγου έκθεσης, την μεγαλύτερη τιμή παρουσιάζει η υπηρεσία FM με μέγιστη τιμή που φτάνει κοντά στο 0,05 το έτος 2011 ενώ οι τιμές των υπόλοιπων υπηρεσιών έρχονται πολύ κοντά στο μηδέν.

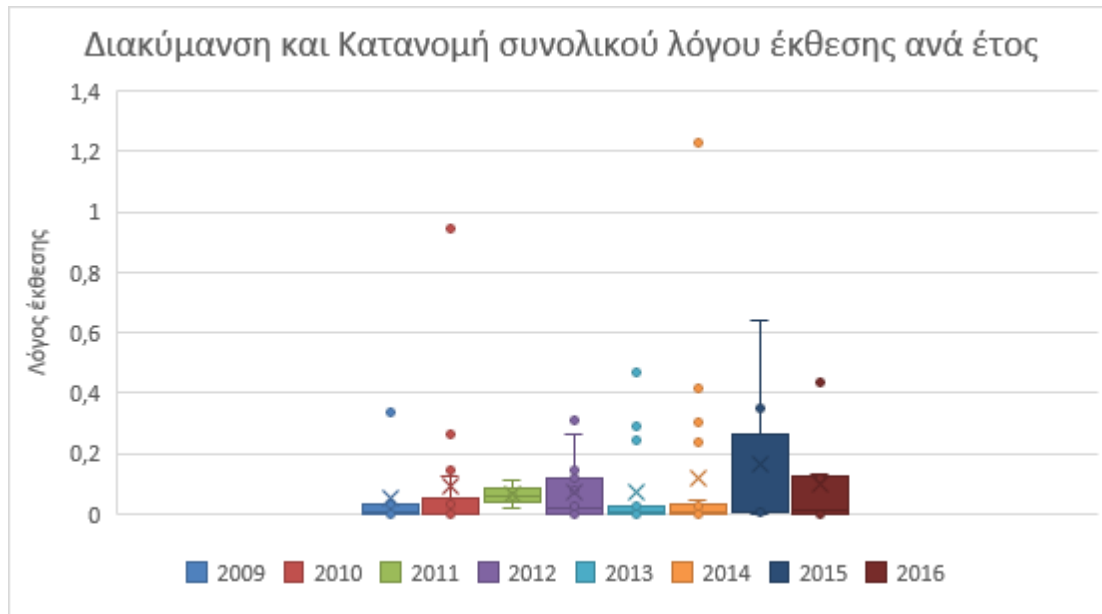
4.8.4 Χαρακτηριστικά του Συνολικού λόγου έκθεσης ανά έτος

Βάση των μετρήσεων που συλλέξαμε κατηγοριοποιήσαμε τον συνολικό λόγο έκθεσης ανά έτος και πραγματοποιήσαμε την αντίστοιχη ανάλυση δημιουργώντας τον παρακάτω πίνακα 4.14, ο οποίος περιλαμβάνει την μέση τιμή, την τυπική απόκλιση, τ , το εκατοστημόριο 95% που εμφανίζονται για κάθε έτος. Επίσης έγινε υπολογισμός των Q1(25%), Q2 Median, Q3(75%), R, IQR, MIN, MAX με τις οποίες χωρίστηκε ο συνολικός λόγος έκθεσης σε τεταρτημόρια με σκοπό να αποτυπωθεί η διακύμανση και η κατανομή του καθώς και να εντοπιστούν τυχόν ακραίες τιμές του. Η

διακύμανση και η κατανομή του συνολικού λόγου έκθεσης παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα 4.20

Πίνακας 4.14 Χαρακτηριστικά του συνολικού λόγου έκθεσης ανα έτος

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Μέση τιμή	0,0525	0,0903	0,0650	0,0741	0,0729	0,1222	0,1687	0,1003
Τυπική απόκλιση	0,1148	0,2253	0,0453	0,1017	0,1422	0,2939	0,2698	0,1589
Εκατ 95%	0,2290	0,3657	0,1079	0,2796	0,3445	0,4989	0,5688	0,3447
MIN	0,0001	0,00008	0,0237	0,0004	0,00007	0,0001	0,0009	0,0001
Q1(25%)	0,0019	0,0013	0,0407	0,0016	0,0026	0,0012	0,0051	0,0014
Q2 median	0,0087	0,0025	0,0578	0,0177	0,0059	0,0051	0,0072	0,0136
Q3(75%)	0,0321	0,0533	0,0856	0,1226	0,0290	0,0364	0,2647	0,1243
MAX	0,3347	0,9474	0,1135	0,3107	0,4663	1,2305	0,6416	0,4369
R ευρος	0,3346	0,9473	0,0898	0,3103	0,4662	1,2304	0,6406	0,4367
IQR	0,0301	0,0520	0,0449	0,1210	0,0263	0,0352	0,2595	0,1229



Σχήμα 4.20 Διακύμανση και κατανομή συνολικού λόγου έκθεσης ανά έτος

Από το θηκόγραμμα γίνεται σαφές ότι οι διάμεσοι ανά τα έτη κυμαίνονται πάρα πολύ κοντά στο 0 με το έτος 2011 να καταγράφει την υψηλότερη της τιμή. Επίσης έχουμε σημαντικές αυξομειώσεις στις τιμές των πάνω ορίων ενώ αντίθετα οι τιμές των κάτω ορίων βρίσκονται σε πολύ κοντινά επίπεδα όλα τα έτη. Παρατηρείται επίσης μια ένδειξη ασυμμετρίας της κατανομής των τιμών σχεδόν σε όλα τα έτη με την διάμεσο να βρίσκεται κοντά στο κάτω τεταρτημόριο. Επίσης παρατηρούνται ακραίες τιμές ανά τα έτη με την μεγαλύτερη τιμή να λαμβάνει χώρα το έτος 2014 με τιμή 1,23. Οι ακραίες τιμές αυτές είναι και πάλι πολύ χαμηλές ενώ η μια που βρίσκεται ψηλότερα μπορεί να οφείλεται σε πιθανή υπέρβαση του ορίου ασφαλούς έκθεσης.

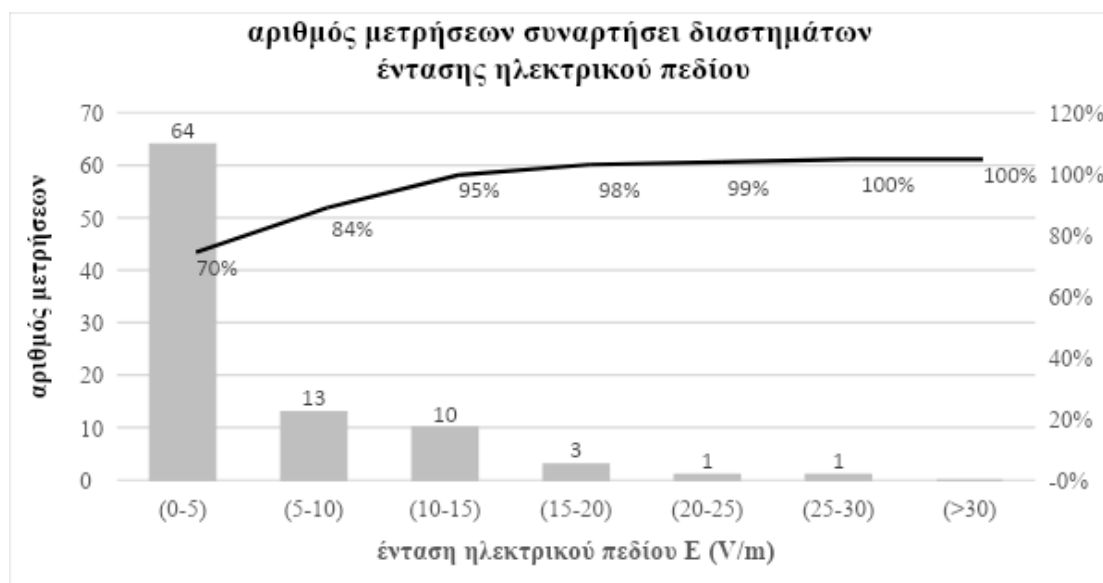
4.8.5 Ένταση ηλεκτρικού πεδίου

Από τις μετρήσεις μας ομαδοποιήσαμε τα δεδομένα για την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου και καταγράψαμε το ποσοστό εμφάνισης της κάθε ομαδοποίησης. Τα αποτελέσματα της διαδικασίας παρουσιάζονται στον πίνακα 4.15. Στη πρώτη στήλη του πίνακα περιέχεται η ομαδοποίηση που ορίστηκε για τις τιμές της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου, στη δεύτερη στήλη ο αριθμός των μετρήσεων που βρίσκονται στο εκάστοτε διάστημα που ορίσαμε και στη Τρίτη στήλη περιέχεται το ποσοστό εμφάνισης της κάθε ομάδας.

Πίνακας 4.15 Ποσοστιαία (%) κατανομή συχνότητας εμφάνισης μετρήσεων, συναρτήσει ομαδοποιημένων τιμών της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου

Συνολικό ποσοστό μετρήσεων (%)		
(0-5)	64	70%
(5-10)	13	84%
(10-15)	10	95%
(15-20)	3	98%
(20-25)	1	99%
(25-30)	1	100%
(>30)	0	100%
Σύνολο	92	

Στο παρακάτω σχήμα 4.21 φαίνεται η ποσοστιαία κατανομή των τιμών της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στα ομαδοποιημένα διαστήματα.



Σχήμα 4.21 Ποσοστιαία (%) κατανομή συχνότητας εμφάνισης μετρήσεων, συναρτήσει ομαδοποιήσεων τιμών της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου

Το Σχήμα 4.21 απεικονίζει την ποσοστιαία κατανομή του αριθμού των μετρήσεων, στις οποίες η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου λαμβάνει τιμή εντός των επιλεγμένων διαστημάτων: 0-5 V/m, 5-10 V/m, 10-15 V/m, 15-20 V/m, 20-25 V/m, 25-30 V/m,

>30 V/m. Παρατηρείται ότι όλες οι μετρήσεις (100%) αντιστοιχούν σε τιμές έντασης ηλεκτρικού πεδίου χαμηλότερες από 30 V/m, τιμή που είναι σαφώς μικρότερη από το 60% των επιπέδων αναφοράς της Ε.Ε. (Ελληνική Νομοθεσία).

4.8.6 Συμπεράσματα για την μελέτη των σημείων με μεγάλη συγκέντρωση κεραιών

Παρατηρούμε ότι και εδώ η τιμή του λόγου έκθεσης του FM είναι αυτή που κυριαρχεί έναντι των άλλων υπηρεσιών στη διαμόρφωση του συνολικού λόγου έκθεσης ανά τα έτη. Ο συνολικός λόγος έκθεσης παρουσιάζει συνεχείς αυξομειώσεις στη τιμή του ανά τα έτη με τιμές εντός του επιτρεπτού ορίου. Με την εισαγωγή του ψηφιακού σήματος τηλεόρασης από το έτος 2015 στις διάφορες περιοχές ανά την Ελλάδα παρατηρούμε μια μικρή μείωση στη τιμή της υπηρεσίας του TV-UHF.

Κεφάλαιο 5. Ανάλυση και παρουσίαση των μετρήσεων για τα ραντάρ

5.1 Περιγραφή δεδομένων

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει παρουσίαση της επεξεργασίας των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν στο περιβάλλον εγκαταστάσεων ραντάρ. Τα δεδομένα συλλέχθηκαν από τις εκθέσεις μετρήσεων που συνέταξε το κλιμάκιο της υπηρεσίας της ΕΕΑΕ για τα έτη 2002 έως 2015. Η ανάλυση των μετρήσεων έγινε κατόπιν διαχωρισμού τους σε μετρήσεις με όργανο μέτρησης το EMR-300 (μέθοδος που πραγματοποιήθηκε τα έτη 2002-2014) και σε μετρήσεις με όργανο μέτρησης SRM-3006 (μέθοδος που πραγματοποιήθηκε τα έτη 2012-2015). Καταγράψαμε συνολικά 43 μετρήσεις για τα ραντάρ εκ των οποίων 24 κατηγοριοποιήθηκαν με βάση το όργανο μέτρησης EMR-300 και 19 με το όργανο μέτρησης SRM-3006. Το περιβάλλον μέτρησης των ραντάρ είναι το αγροτικό διότι βρίσκονται μακριά από κατοικημένες περιοχές και συνήθως σε απομακρυσμένες τοποθεσίες δίπλα σε στρατιωτικές μονάδες, αεροδρόμια ή λιμάνια.

5.2 Μετρήσεις με όργανο μέτρησης EMR-300

5.2.1 Κατηγοριοποίηση έντασης ηλεκτρικού πεδίου ανά έτος

Βάση των μετρήσεων που συλλέξαμε κατηγοριοποιήσαμε την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου ανά έτος και πραγματοποιήσαμε την αντίστοιχη ανάλυση δημιουργώντας τον παρακάτω πίνακα 5.1 ο οποίος περιλαμβάνει την μέση τιμή και την τυπική απόκλιση που εμφανίζονται για κάθε έτος. Επίσης έγινε υπολογισμός των Q1(25%), Q2 Median, Q3(75%), R, IQR, MIN, MAX με τις οποίες χωρίστηκε η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου σε τεταρτημόρια με σκοπό να αποτυπωθεί η διακύμανση και η κατανομή της καθώς και να εντοπιστούν τυχόν ακραίες τιμές της. Η διακύμανση και η κατανομή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα 5.1.

Πίνακας 5.1 Χαρακτηριστικά της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου ανα έτος

	2006	2007	2008	2009
Μέση τιμή	6,619	5,65	4,667	0,85
Τυπική απόκλιση	10,41	7,99	4,44	0
MIN	0,14	0	1,51	0,85
Q1(25%)	0,84	2,825	1,675	0,85
Διάμεσος	2,44	5,65	3,065	0,85
Q3(75%)	10,105	8,475	6,057	0,85
MAX	139,53	11,3	11,03	0,85
R(εύρος)	139,39	11,3	9,52	0
IQR	9,265	5,65	4,382	0



Σχήμα 5.1 Διακύμανση και κατανομή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου ανά έτος

Από το θηκόγραμμα γίνεται σαφές ότι οι διάμεσοι ανά τα έτη δεν παρουσιάζουν σημαντικές αυξομειώσεις και κυμαίνονται σε σχετικά χαμηλές τιμές. Επίσης δεν παρατηρούνται αυξομειώσεις στις τιμές τόσο των πάνω όσο και των κάτω ορίων. Τη χρονιά 2006 παρατηρείται μια ένδειξη ασυμμετρίας της κατανομής των τιμών της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου όπου η διάμεσος βρίσκεται κοντά στο κάτω τεταρτημόριο ενώ τα υπόλοιπα έτη δεν παρατηρείται ασυμμετρία στην κατανομή των τιμών της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου. Επίσης παρατηρούνται ακραίες τιμές το έτος 2006 με μέγιστη ακραία τιμή 139,53 V/m. Αυτή η ακραία τιμή οφείλεται σε υπέρβαση του ορίου ασφαλούς έκθεσης.

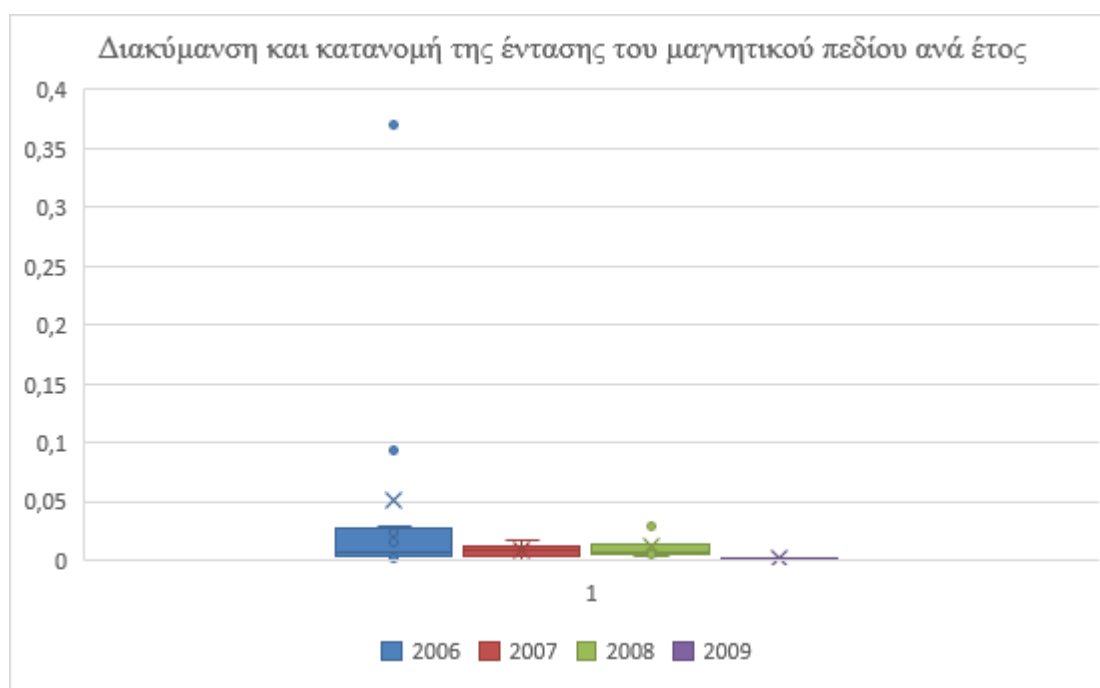
5.2.2 Κατηγοριοποίηση έντασης μαγνητικού πεδίου ανά έτος

Βάση των μετρήσεων που συλλέξαμε κατηγοριοποιήσαμε την ένταση του μαγνητικού πεδίου ανά έτος και πραγματοποιήσαμε την αντίστοιχη ανάλυση δημιουργώντας τον παρακάτω πίνακα 5.2 ο οποίος περιλαμβάνει την μέση τιμή και την τυπική απόκλιση που εμφανίζονται για κάθε έτος. Επίσης έγινε υπολογισμός των Q1(25%), Q2 Median, Q3(75%), R, IQR, MIN, MAX με τις οποίες χωρίστηκε η ένταση του μαγνητικού πεδίου σε τεταρτημόρια με σκοπό να αποτυπωθεί η διακύμανση και η

κατανομή της καθώς και να εντοπιστούν τυχόν ακραίες τιμές της. Η διακύμανση και η κατανομή της έντασης του μαγνητικού πεδίου παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα 5.2.

Πίνακας 5.2 Χαρακτηριστικά της έντασης του μαγνητικού πεδίου ανα έτος

	2006	2007	2008	2009
Μέση τιμή	0,0505	0,00875	0,0116	0,0022
Τυπική απόκλιση	0,109368917	0,012374369	0,011693588	0
MIN	0,0001	0	0,004	0,0022
Q1(25%)	0,0037	0,004375	0,00475	0,0022
Διάμεσος	0,0069	0,00875	0,00675	0,0022
Q3(75%)	0,0268	0,013125	0,0136	0,0022
MAX	0,3702	0,0175	0,0289	0,0022
R(εύρος)	0,3701	0,0175	0,0249	0
IQR	0,0231	0,00875	0,00885	0



Σχήμα 5.2 Διακύμανση και κατανομή της έντασης του μαγνητικού πεδίου ανά έτος

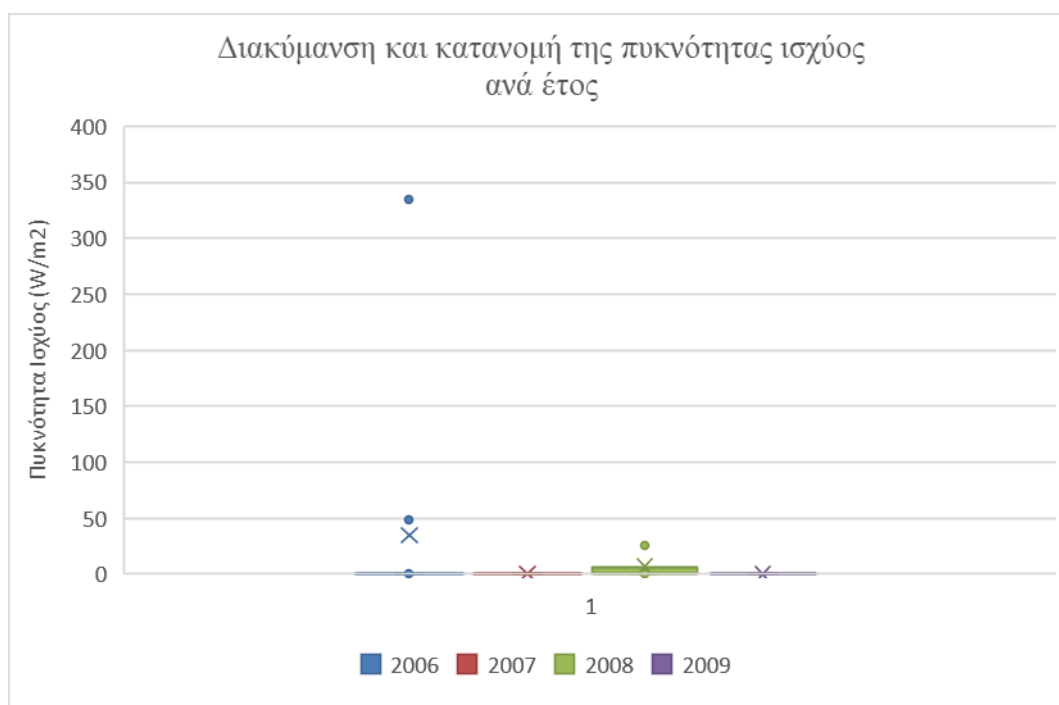
Από το θηκόγραμμα γίνεται σαφές ότι οι διάμεσοι ανά τα έτη κυμαίνονται σε σχετικά χαμηλές τιμές. Επίσης δεν παρατηρούνται αυξομειώσεις στις τιμές τόσο των πάνω όσο και των κάτω ορίων. Τις χρονιές 2006 και 2008 παρατηρείται μια ένδειξη ασυμμετρίας της κατανομής των τιμών της έντασης του μαγνητικού πεδίου όπου η διάμεσος βρίσκεται κοντά στο κάτω τεταρτημόριο ενώ τα υπόλοιπα έτη δεν παρατηρείται ασυμμετρία στην κατανομή των τιμών της έντασης του μαγνητικού πεδίου. Επίσης παρατηρούνται ακραίες τιμές το έτος 2006 και το 2008 με μέγιστη ακραία τιμή 0,3702 A/m του έτους 2006. Αυτή η ακραία τιμή οφείλεται σε υπέρβαση του ορίου ασφαλούς έκθεσης ενώ οι άλλες δύο ακραίες τιμές που εντοπίζονται βρίσκονται χαμηλά και εντός των επιτρεπτών ορίων.

5.2.3 Κατηγοριοποίηση πυκνότητας ισχύος ανά έτος

Βάση των μετρήσεων που συλλέξαμε κατηγοριοποιήσαμε την πυκνότητα ισχύος ανά έτος και πραγματοποιήσαμε την αντίστοιχη ανάλυση δημιουργώντας τον παρακάτω πίνακα 5.3 ο οποίος περιλαμβάνει την μέση τιμή και την τυπική απόκλιση που εμφανίζονται για κάθε έτος. Επίσης έγινε υπολογισμός των Q1(25%), Q2 Median, Q3(75%), R, IQR, MIN, MAX με τις οποίες χωρίστηκε η πυκνότητα ισχύος σε τεταρτημόρια με σκοπό να αποτυπωθεί η διακύμανση και η κατανομή της καθώς και να εντοπιστούν τυχόν ακραίες τιμές της. Η διακύμανση και η κατανομή της πυκνότητας ισχύος παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα 5.3.

Πίνακας 5.3 Χαρακτηριστικά της πυκνότητας ισχύος ανά έτος

	2006	2007	2008	2009
Μέση τιμή	34,83691873	0,0414	6,40355	0,0019
Τυπική απόκλιση	100,4238513	0,014707821	12,79763376	0
MIN	0,000006	0,031	0,0002	0,0019
Q1(25%)	0,00175	0,0362	0,00455	0,0019
Διάμεσος	0,0158	0,0414	0,007	0,0019
Q3(75%)	0,275	0,0466	6,406	0,0019
MAX	334,5	0,0518	25,6	0,0019
R(εύρος)	334,499994	0,0208	25,5998	0
IQR	0,27325	0,0104	6,40145	0



Σχήμα 5.3 Διακύμανση και κατανομή της πυκνότητας ισχύος ανά έτος

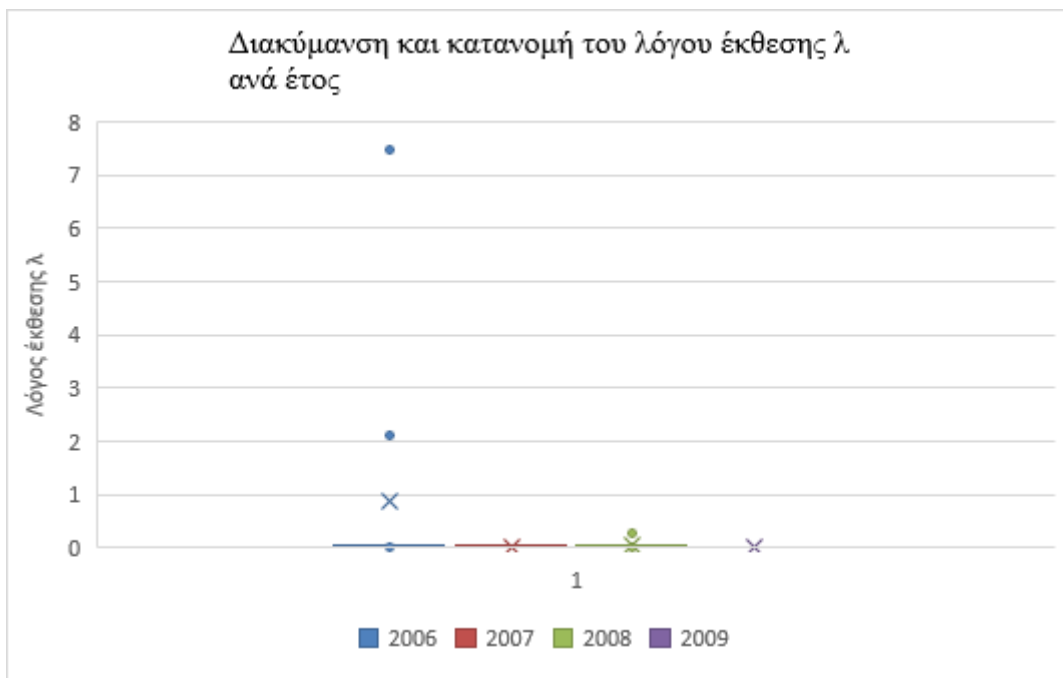
Από το θηκόγραμμα γίνεται σαφές ότι οι τιμές της πυκνότητας ισχύος ανά τα έτη κυμαίνονται σε σχετικά χαμηλές τιμές πολύ κοντά στο 0. Παρατηρούνται ακραίες τιμές το έτος 2006 και το 2008 με μέγιστη ακραία τιμή 334,5 W/m² του έτους 2006 οι οποίες υπερβαίνουν τα επιτρεπόμενα θεσπισμένα όρια για την έκθεση του πληθυσμού.

5.2.4 Κατηγοριοποίηση λόγου έκθεσης λ και λόγου έκθεσης λρ ανά έτος

Βάση των μετρήσεων που συλλέξαμε κατηγοριοποιήσαμε τόσο τον λόγο έκθεσης λ όσο και τον λόγο έκθεσης λρ ανά έτος και πραγματοποιήσαμε την αντίστοιχη ανάλυση δημιουργώντας τους παρακάτω πίνακες 5.4 και 5.5 οι οποίοι περιλαμβάνουν την μέση τιμή και την τυπική απόκλιση που εμφανίζονται για κάθε έτος. Επίσης έγινε υπολογισμός των Q1(25%), Q2 Median, Q3(75%), R, IQR, MIN, MAX με τις οποίες χωρίστηκαν οι δυο λόγοι έκθεσης (λ και λρ) σε τεταρτημόρια με σκοπό να αποτυπωθεί η διακύμανση και η κατανομή τους καθώς και να εντοπιστούν τυχόν ακραίες τιμές τους. Η διακύμανση και η κατανομή των λόγων έκθεσης λ και λρ παρουσιάζονται στα παρακάτω σχήματα 5.4 και 5.5 αντιστοίχα.

Πίνακας 5.4 Χαρακτηριστικά του λόγου έκθεσης λ ανά έτος

Λόγος έκθεσης λ				
	2006	2007	2008	2009
Μέση τιμή	0,883846544	0,024517475	0,053008975	0,000324
Τυπική απόκλιση	2,27689432	0,034672946	0,10233016	0
MIN	0,000011229	0	2,1E-11	0,000324
Q1(25%)	0,0001143	0,012258738	0,00131705	0,000324
Διάμεσος	0,00228627	0,024517475	0,00481625	0,000324
Q3(75%)	0,047509775	0,036776213	0,038634838	0,000324
MAX	7,47625406	0,04903495	0,258363	0,000324
R(εύρος)	7,476242831	0,04903495	0,258363	0
IQR	0,047395475	0,024517475	0,037317788	0



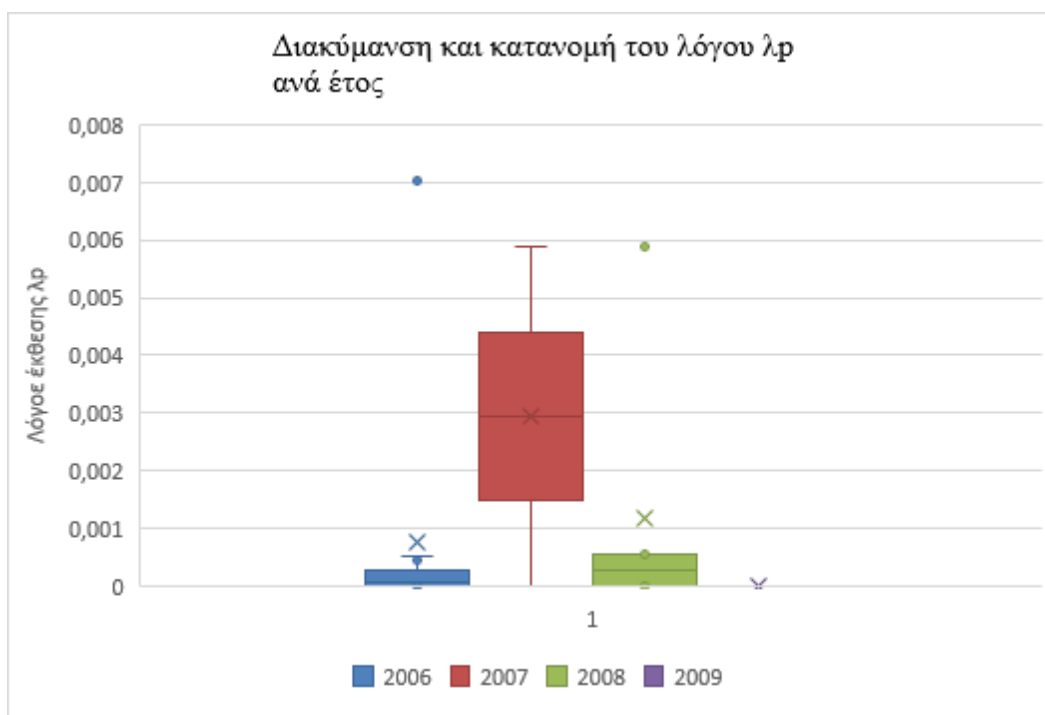
Σχήμα 5.4 Διακύμανση και κατανομή του λόγου έκθεσης λ ανά έτος

Από το θηκόγραμμα γίνεται σαφές ότι οι τιμές των λόγων έκθεσης λ ανά τα έτη κυμαίνονται σε σχετικά χαμηλές τιμές πολύ κοντά στο 0. Παρατηρούνται ακραίες τιμές το έτος 2006 (2,27 και 7,47 αντίστοιχα) οι οποίες υπερβαίνουν τα επιτρεπόμενα θεσπισμένα όρια για την έκθεση του πληθυσμού.

Πίνακας 5.5 Χαρακτηριστικά του λόγου έκθεσης λρ ανά έτος

Λόγος έκθεσης λρ				
	2006	2007	2008	2009
Μέση τιμή	0,000747406	0,00294222	0,001163548	0,000000096
Τυπική απόκλιση	0,002090963	0,004160927	0,00232776	0
MIN	0	0	0	0,000000096
Q1(25%)	1,005E-07	0,00147111	2,98263E-06	0,000000096
Διάμεσος	0,00005181	0,00294222	0,00027416	0,000000096
Q3(75%)	0,000265365	0,00441333	0,000545493	0,000000096

MAX	0,00702733	0,00588444	0,00588444	0,000000096
R(εύρος)	0,00702733	0,00588444	0,00588444	0
IQR	0,000265265	0,00294222	0,00054251	0



Σχήμα 5.5 Διακύμανση και κατανομή του λόγου έκθεσης λp ανά έτος

Από το θηκόγραμμα γίνεται σαφές ότι οι διάμεσοι ανά τα έτη κυμαίνονται σε σχετικά χαμηλές τιμές. Παρατηρούνται κάποιες ακραίες τιμές το έτος 2006 και το 2008 χωρίς όμως και αυτές να κυμαίνονται υψηλά και εκτός των επιτρεπτών ορίων. Το έτος 2007 έχουμε μια άνοδο στις τιμές του λόγου έκθεσης χωρίς όμως και αυτές να βρίσκονται εκτός επιτρεπόμενων ορίων.

5.2.5 Συμπεράσματα για τις μετρήσεις στα ραντάρ με το όργανο μέτρησης EMR-300

Από την ανάλυση των μετρήσεων γίνεται σαφές ότι οι τιμές της έντασης του ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου καθώς και η πυκνότητα ισχύος κυμαίνονται σε αρκετά χαμηλά επίπεδα. Παρουσιάζονται βέβαια και κάποιες ακραίες τιμές αυτών ανά τα έτη οι οποίες βρίσκονται εκτός των επιτρεπτών για την έκθεση του πληθυσμού ορίων. Όσον αφορά τον λόγο έκθεσης λ και εκεί οι τιμές του κυμαίνονται αρκετά χαμηλά με μοναδική εξαίρεση το έτος 2006 όπου παρατηρούνται κάποιες ακραίες τιμές εκτός των επιτρεπτών ορίων. Για τον λόγο λρ, ενώ έχουμε μια αύξηση των τιμών του το έτος 2007 εντούτοις όλες οι τιμές του βρίσκονται εντός των επιτρεπτών ορίων.

5.3 Μετρήσεις με όργανο μέτρησης SRM-3006

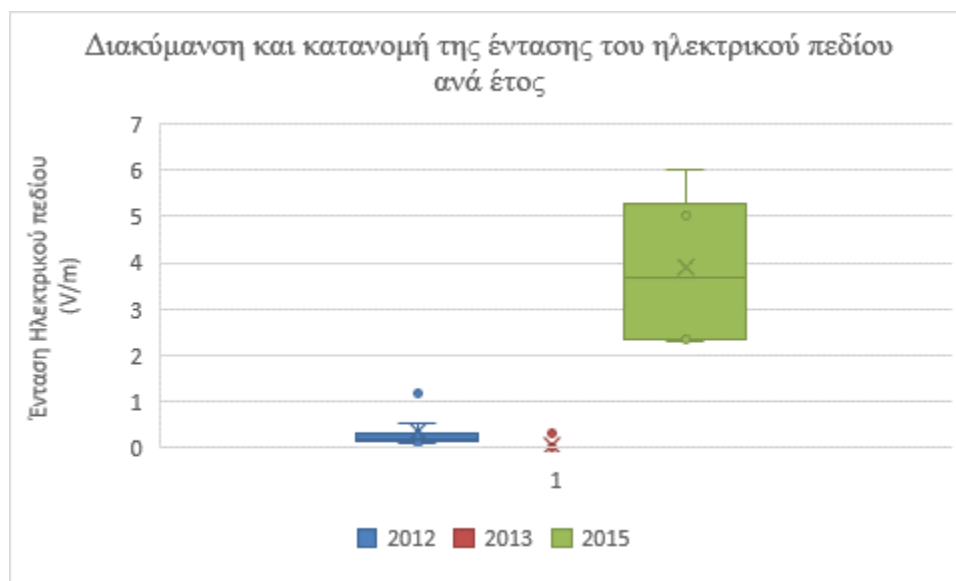
5.3.1 Κατηγοριοποίηση έντασης ηλεκτρικού πεδίου ανά έτος

Βάση των μετρήσεων που συλλέξαμε κατηγοριοποιήσαμε την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου ανά έτος και πραγματοποιήσαμε την αντίστοιχη ανάλυση δημιουργώντας τον παρακάτω πίνακα 5.6 ο οποίος περιλαμβάνει την μέση τιμή και την τυπική απόκλιση που εμφανίζονται για κάθε έτος. Επίσης έγινε υπολογισμός των Q1(25%), Q2 Median, Q3(75%), R, IQR, MIN, MAX με τις οποίες χωρίστηκε η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου σε τεταρτημόρια με σκοπό να αποτυπωθεί η διακύμανση και η κατανομή της καθώς και να εντοπιστούν τυχόν ακραίες τιμές της. Η διακύμανση και η κατανομή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα 5.6.

Πίνακας 5.6 Χαρακτηριστικά της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου ανα έτος

	2012	2013	2015
Μέση τιμή	0,343	0,06895	3,918
Τυπική απόκλιση	0,365	0,133	1,892
MIN	0,09	0,0073	2,285
Q1(25%)	0,147	0,0091	2,335
Διάμεσος	0,21	0,0153	3,683
Q3(75%)	0,335	0,0252	5,265

MAX	1,18	0,34	6,021
R(εύρος)	1,09	0,3327	3,736
IQR	0,187	0,0161	2,930



Σχήμα 5.6 Διακύμανση και κατανομή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου ανά έτος

Από το θηκόγραμμα γίνεται σαφές ότι η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα. Το έτος 2015 παρατηρείται μια άνοδος της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου χωρίς όμως αυτή να ξεφεύγει από τα θεσπισμένα όρια ασφαλούς έκθεσης.

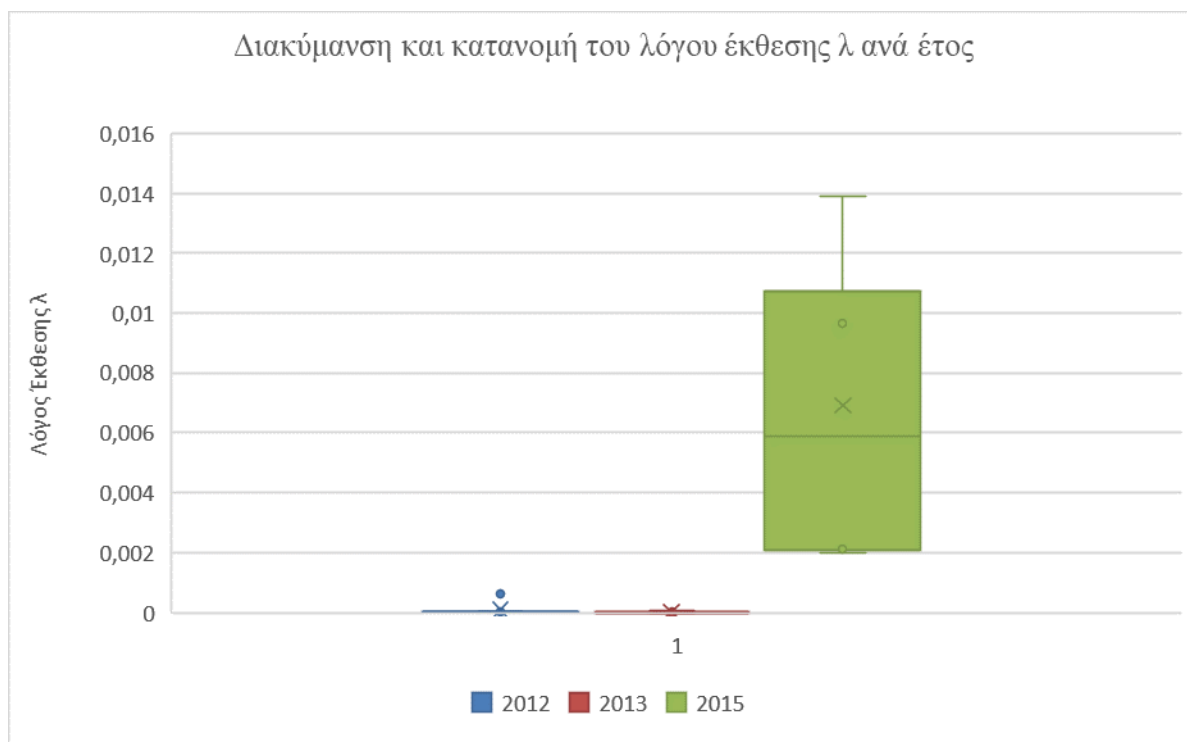
5.3.2 Κατηγοριοποίηση λόγου έκθεσης λ και λόγου έκθεσης λρ ανά έτος

Βάση των μετρήσεων που συλλέξαμε κατηγοριοποιήσαμε τόσο τον λόγο έκθεσης λ όσο και τον λόγο έκθεσης λρ ανά έτος και πραγματοποιήσαμε την αντίστοιχη ανάλυση δημιουργώντας τους παρακάτω πίνακες 5.7 και 5.8 οι οποίοι περιλαμβάνουν την μέση τιμή και την τυπική απόκλιση που εμφανίζονται για κάθε έτος. Επίσης έγινε

υπολογισμός των Q1(25%), Q2 Median, Q3(75%), R, IQR, MIN, MAX με τις οποίες χωρίστηκαν οι δυο λόγοι έκθεσης (λ και $\lambda\rho$) σε τεταρτημόρια με σκοπό να αποτυπωθεί η διακύμανση και η κατανομή τους καθώς και να εντοπιστούν τυχόν ακραίες τιμές τους. Η διακύμανση και η κατανομή των λόγων έκθεσης λ και $\lambda\rho$ παρουσιάζονται στα παρακάτω σχήματα 5.7 και 5.8 αντιστοίχα.

Πίνακας 5.7 Χαρακτηριστικά του λόγου έκθεσης λ ανά έτος

Λόγος Έκθεσης λ			
	2012	2013	2015
Μέση τιμή	9,33238E-05	1,53E-05	0,006922
Τυπική απόκλιση	0,000216618	2,56985E-05	0,005873577
MIN	0,00000583	4,54E-08	0,002004
Q1(25%)	0,000010865	8,28E-08	0,00209325
Διάμεσος	0,00002005	0,000000337	0,005887
Q3(75%)	0,00002415	2,67645E-05	0,01071575
MAX	0,000629	0,0000529	0,01391
R(εύρος)	0,00062317	5,28546E-05	0,011906
IQR	0,000013285	2,66817E-05	0,0086225



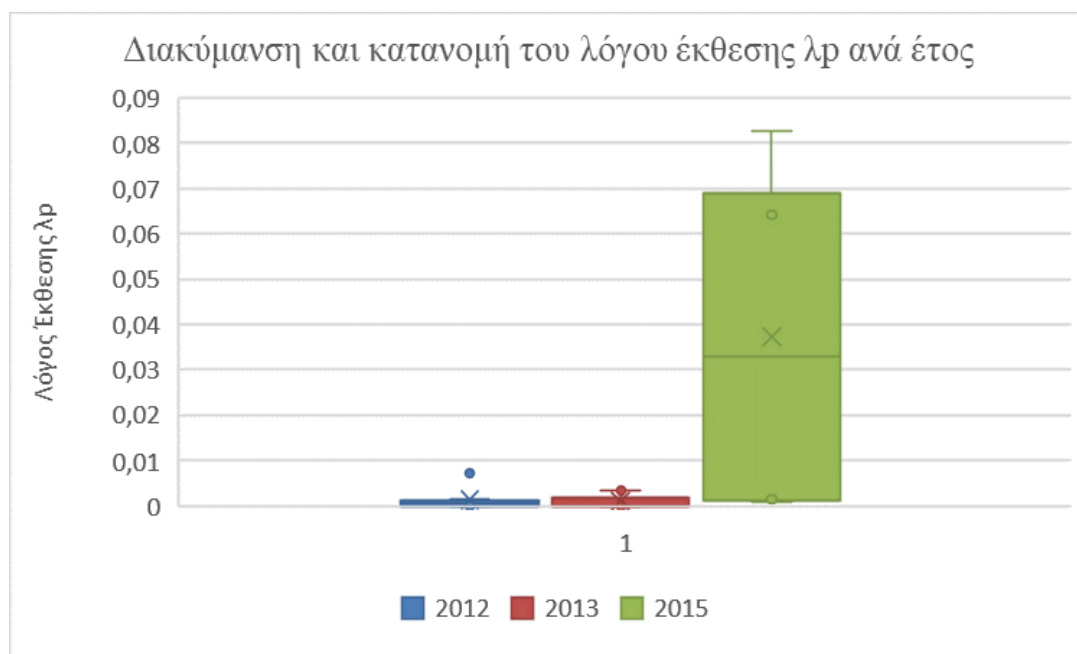
Σχήμα 5.7 Διακύμανση και κατανομή του λόγου έκθεσης λ ανά έτος

Από το θηκόγραμμα γίνεται σαφές ότι οι τιμές των λόγων έκθεσης λ ανά τα έτη κυμαίνονται σε σχετικά χαμηλές τιμές. Δεν παρατηρούνται ακραίες τιμές. Το έτος 2015 παρουσιάζει ο λόγος έκθεσης μια άνοδο χωρίς όμως να είναι ιδιαίτερα σημαντική και εκτός των επιτρεπόμενων ορίων.

Πίνακας 5.8 Χαρακτηριστικά του λόγου έκθεσης λρ ανά έτος

Λόγος Έκθεσης λρ			
	2012	2013	2015
Μέση τιμή	0,0013238	9,97E-04	0,0372797
Τυπική απόκλιση	0,002452464	0,001682358	0,042452107
MIN	0,0000088	0,000002547	0,0007478
Q1(25%)	0,00001605	0,000005181	0,0012827
Διάμεσος	0,0003675	0,0000239	0,0328255
Q3(75%)	0,00115175	0,0017422	0,0688225
MAX	0,00723	0,00346	0,08272

R(εύρος)	0,0072212	0,003457453	0,0819722
IQR	0,0011357	0,001737019	0,0675398



Σχήμα 5.8 Διακύμανση και κατανομή του λόγου έκθεσης λρ ανά έτος

Από το θηκόγραμμα γίνεται σαφές ότι οι τιμές των λόγων έκθεσης λρ ανά τα έτη κυμαίνονται σε σχετικά χαμηλές τιμές. Δεν παρατηρούνται ακραίες τιμές. Το έτος 2015 παρουσιάζει ο λόγος έκθεσης μια άνοδο χωρίς όμως να είναι ιδιαίτερα σημαντική και εκτός των επιτρεπόμενων ορίων.

5.3.3 Συμπεράσματα για τις μετρήσεις στα ραντάρ με το όργανο μέτρησης SRM-3006

Από την ανάλυση των μετρήσεων παρατηρείται ότι η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα. Το έτος 2015 παρατηρείται μια άνοδος της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου χωρίς όμως αυτή να ξεφεύγει από τα θεσπισμένα όρια ασφαλούς έκθεσης. Το ίδιο ισχύει και για τον λόγο έκθεσης λ και για τον λόγο

έκθεσης λρ. Οι τιμές των λόγων έκθεσης λ και λρ ανά τα έτη κυμαίνονται σε σχετικά χαμηλές τιμές. Δεν παρατηρούνται ακραίες τιμές. Το έτος 2015 παρουσιάζουν μια άνοδο στις τιμές τους χωρίς όμως να είναι ιδιαίτερα σημαντική και εκτός των επιτρεπόμενων ορίων.

Κεφάλαιο 6. Γενικά συμπεράσματα

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παραθέσουμε τα γενικά συμπεράσματα που προέκυψαν από την ανάλυση των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκε στο Κεφάλαιο 4 για τα πάρκα κεραιών και των σημείων με μεγάλη συγκέντρωση κεραιών καθώς και στο Κεφάλαιο 5 για τις κεραιοδιατάξεις των ραντάρ.

Τα δεδομένα για τα πάρκα κεραιών και των σημείων με μεγάλη συγκέντρωση κεραιών συλλέχθηκαν από την ηλεκτρονική σελίδα της ΕΕΑΕ και αφορούν μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν από το κλιμάκιο της υπηρεσίας καθώς και από ιδιωτικά συνεργεία το διάστημα από το 2009 έως το 2016. Τα πάρκα κεραιών που μετρήθηκαν είναι στον αριθμό 58 ενώ τα σημεία με μεγάλη συγκέντρωση κεραιών είναι 54. Λόγω των μη ομοιόμορφων δειγμάτων μετρήσεων ανά έτος χρησιμοποιήσαμε στην ανάλυση τις σταθμισμένες τιμές των τιμών για την εκπεμπόμενη ακτινοβολία.

Τα δεδομένα για τα ραντάρ συλλέχθηκαν από τις εκθέσεις μετρήσεων που συνέταξε το κλιμάκιο της υπηρεσίας της ΕΕΑΕ για τα έτη 2002 έως 2015. Η ανάλυση των μετρήσεων έγινε κατόπιν διαχωρισμού τους σε μετρήσεις με όργανο μέτρησης το EMR-300 (μέθοδος που πραγματοποιήθηκε τα έτη 2002-2014) και σε μετρήσεις με όργανο μέτρησης SRM-3006 (μέθοδος που πραγματοποιήθηκε τα έτη 2012-2015). Καταγράψαμε συνολικά 43 μετρήσεις για τα ραντάρ εκ των οποίων 24 κατηγοριοποιήθηκαν με βάση το όργανο μέτρησης EMR-300 και 19 με το όργανο μέτρησης SRM-3006.

6.1 Πάρκα Κεραιών

Η τιμή του λόγου έκθεσης του FM είναι αυτή που κυριαρχεί έναντι των άλλων υπηρεσιών στη διαμόρφωση του συνολικού λόγου έκθεσης ανά τα έτη. Το 90% του πεδίου οφείλεται στο ραδιόφωνο επομένως μέχρι να υπάρξει ψηφιοποίηση του δεν θα έχουμε εντυπωσιακές αλλαγές στη συμβολή του. Από τα 58 πάρκα κεραιών που μελετήσαμε τα 13 παρουσιάζουν υπέρβαση του ορίου ασφαλούς έκθεσης, έστω και μία φορά. Ο συνολικός λόγος έκθεσης παρουσιάζει συνεχείς αυξομειώσεις στη τιμή του ανά τα έτη με τιμές εντός και εκτός του επιτρεπτού ορίου κάτι που μπορεί να οφείλεται στην αυθαίρετη εισαγωγή ή/και αφαίρεση κεραιοδιατάξεων από ιδιώτες. Τέλος από το έτος 2015 έχουμε την σταδιακή εισαγωγή του σήματος της ψηφιακής τηλεόρασης στις διάφορες περιοχές ανά την Ελλάδα. Παρατηρούμε όμως ότι σε πολύ

λίγα σημεία μέτρησης έχουμε μείωση της τιμής της υπηρεσίας του TV-UHF μεταξύ εκείνων των ετών. Όσον αφορά την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου, η πλειονότητα των μετρήσεων (87%) αντιστοιχεί σε τιμές έντασης ηλεκτρικού πεδίου χαμηλότερες από 30 V/m, τιμή που είναι σαφώς μικρότερη από το 60% των επιπέδων αναφοράς της Ε.Ε. (Ελληνική Νομοθεσία) και μόνο ένα 23% των μετρήσεων να ξεπερνάει το φράγμα των 30 V/m.

6.2 Σημεία με μεγάλη συγκέντρωση κεραιών

Παρατηρούμε ότι και εδώ η τιμή του λόγου έκθεσης του FM είναι αυτή που κυριαρχεί έναντι των άλλων υπηρεσιών στη διαμόρφωση του συνολικού λόγου έκθεσης ανά τα έτη κάτι το οποίο μπορεί να βελτιωθεί μόνο με την ψηφιοποίηση του ραδιοφώνου. Ο συνολικός λόγος έκθεσης παρουσιάζει συνεχείς αυξομειώσεις στη τιμή του ανά τα έτη με τιμές εντός του επιτρεπτού ορίου. Με την εισαγωγή του ψηφιακού σήματος τηλεόρασης από το έτος 2015 στις διάφορες περιοχές ανά την Ελλάδα παρατηρούμε μια μικρή μείωση στη τιμή της υπηρεσίας του TV-UHF. Για την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος παρατηρείται ότι όλες οι μετρήσεις (100%) αντιστοιχούν σε τιμές έντασης ηλεκτρικού πεδίου χαμηλότερες από 30 V/m, τιμή που είναι σαφώς μικρότερη από το 60% των επιπέδων αναφοράς της Ε.Ε. (Ελληνική Νομοθεσία).

6.3 Μετρήσεις ραντάρ με το όργανο EMR-300

Από την ανάλυση των μετρήσεων γίνεται σαφές ότι οι τιμές της έντασης του ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου καθώς και η πυκνότητα ισχύος κυμαίνονται σε αρκετά χαμηλά επίπεδα. Παρουσιάζονται βέβαια και κάποιες ακραίες τιμές αυτών ανά τα έτη οι οποίες βρίσκονται εκτός των επιτρεπτών για την έκθεση του πληθυσμού ορίων. Όσον αφορά τον λόγο έκθεσης λ και εκεί οι τιμές του κυμαίνονται αρκετά χαμηλά με μοναδική εξαίρεση το έτος 2006 όπου παρατηρούνται κάποιες ακραίες τιμές εκτός των επιτρεπτών ορίων. Για τον λόγο λρ, ενώ έχουμε μια αύξηση των τιμών του το έτος 2007 εντούτοις όλες οι τιμές του βρίσκονται εντός των επιτρεπτών ορίων.

6.4 Μετρήσεις ραντάρ με το όργανο SRM-3006

Από την ανάλυση των μετρήσεων παρατηρείται ότι η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα. Το έτος 2015 παρατηρείται μια άνοδος της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου χωρίς όμως αυτή να ξεφεύγει από τα θεσπισμένα όρια ασφαλούς έκθεσης. Το ίδιο ισχύει και για τον λόγο έκθεσης λ και για τον λόγο έκθεσης λρ. Οι τιμές των λόγων έκθεσης λ και λρ ανά τα έτη κυμαίνονται σε σχετικά χαμηλές τιμές. Δεν παρατηρούνται ακραίες τιμές. Το έτος 2015 παρουσιάζουν μια άνοδο στις τιμές τους χωρίς όμως να είναι ιδιαίτερα σημαντική και εκτός των επιτρεπόμενων ορίων.

Βιβλιογραφία

- [1] Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. (2024). Wikipedia [Online]. Διαθέσιμο στο: <https://www.wikipedia.org/>
- [2] Ιοντίζουσα ακτινοβολία. (2024). ΕΕΑΕ [Online]. Διαθέσιμο στο: <https://eeae.gr/>
- [3] Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και κινητή τηλεφωνία. (2024). ΕΕΤΤ [Online]. Διαθέσιμο στο: https://www.eett.gr/opencms/export/sites/default/admin/downloads/Informative_Documentation/hlktromagnitikh_Entypo_3.pdf
- [4] Κινητή τηλεφωνία και υγεία. (2024). ΕΕΑΕ [Online]. Διαθέσιμο στο: <https://eeae.gr/>
- [5] Αξιολόγηση και διαχείριση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας για επαγγελματικά εκτιθέμενους. (2024). Ελληνικό ινστιτούτο υγιεινής και ασφάλειας της εργασίας [Online]. Διαθέσιμο στο: <https://www.elinyae.gr/themata-yaе/ektimisi-epaggelmatikoy-kindynoy>
- [6] Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και όρια ασφαλούς έκθεσης. (2024). ΕΕΚΤ [Online]. Διαθέσιμο στο: <http://www.eekt.gr/TechnologyofMobileTelephonyHuman/ScientificOrganizationLimitsMeasurements/tabid/104/Default.aspx>
- [7] , Όρια έκθεσης. (2024). ΕΠΗΠ [Online]. Διαθέσιμο στο: <https://paratiritirioemf.eeae.gr>
- [8] Radar. (2024). Wikipedia [Online]. Διαθέσιμο στο: <https://www.wikipedia.org/>
- [9] Επιτόπιες Μετρήσεις ηλεκτρομαγνητικών πεδίων. ΕΕΑΕ [Online]. Διαθέσιμο στο: <https://eeae.gr>
- [10] V. Softa, C. Christakis, F. Kosma, C. Tyrakis, K. Theodorou and C. Kappas, “EMF Exposure in Public Places in Central Greece. Active versus Non Active Users 5G Exposure,” Preprints.org, January 2024, doi: 10.20944/preprints202401.2045.v1.
- [11] S.I. Henderson and M.J. Bangay,” Survey of RF Exposure Levels from Mobile Telephone Base Stations in Australia,” Bioelectromagnetics, vol. 27, no. 1, pp. 73-76, January 2006, doi: 10.1002/bem.20174.
- [12] C. Giliberti, F. Boella, A. Bedini, R. Palomba, and L. Giuliani, “Electromagnetic Mapping of Urban Areas: The Example of Monselice (Italy),” Piers Online, vol. 5, no. 1, January 2009, doi: 10.2529/PIERS081006112200.

- [13] W. Joseph, L. Verloock, F. Goeminne, G. Vermeeren, and L. Martens, "Assessment of General Public Exposure to LTE and RF Sources Present in an Urban Environment," *Bioelectromagnetics*, vol. 31, no. 7, pp. 576-579, October 2010, doi: 10.1002/bem.20594.
- [14] B. Chan Kim and Se ong-Ook Park, "Evaluation of RF Electromagnetic Field Exposure Levels from Cellular Base Stations in Korea," *Bioelectromagnetics*, vol. 31, no. 6, pp. 495-498, September 2010, doi: 10.1002/bem.20585.
- [15] W. Joseph, L. Verloock, F. Goeminne, G. Vermeeren, and L. Martens, "In Situ LTE Exposure of the General Public: Characterization and Extrapolation," *Bioelectromagnetics*, vol. 33, no. 6, pp. 466-475, September 2012, doi: 10.1002/bem.21707.
- [16] J. Estenberg and T. Augustsson, "Extensive Frequency Selective Measurements of Radiofrequency Fields in Outdoor Environments Performed with a Novel Mobile Monitoring System," *Bioelectromagnetics*, vol. 35, no.3, pp. 227-230, April 2014, doi: 10.1002/bem.21830.
- [17] T. Wu, Q. Shao, L. Yang, D. Qi, J. Lin, X. Lin and Z. Yu, "A large-scale measurement of electromagnetic fields near GSM base stations in Guangxi, China for risk communication," *Radiation Protection Dosimetry*, vol. 155, no. 1, pp. 25–31, June 2013, doi:10.1093/rpd/ncs309.
- [18] K. H. Joyner, M. J. Van Wyk and J. T. Rowley, "National surveys of radiofrequency field strengths from radio base stations in Africa," *Radiation Protection Dosimetry*, vol. 158, no. 3, pp. 251–262, February 2014, doi:10.1093/rpd/nct222.
- [19] M. Koprivica, N. Neskovic, A. Neskovic and G. Paunovic
Telecommunications Department, School of Electrical Engineering, University of Belgrade, Belgrade, Serbia, "Statistical analysis of electromagnetic radiation measurements in the vicinity of GSM/UMTS base station antenna masts," *Radiation Protection Dosimetry*, vol. 158, no. 3, pp. 263–275, February 2014, doi:10.1093/rpd/nct230.
- [20] B. Chan Kim, W. Kim, G.Tae Lee, H.Do Choi, N. Kim,
and J.Ki Pack, "Evaluation of Radiofrequency Exposure Levels from Multiple Wireless Installations in Population Dense Areas in Korea," *Bioelectromagnetics*, vol. 35, no.8, pp. 603-606, December 2014, doi: 10.1002/bem.21874.
- [21] B. Valic, B. Kos and P. Gajsek, "Typical exposure of children to EMF: exposimetry and dosimetry," *Radiation Protection Dosimetry*, vol. 163, no. 1, pp. 70–80, 2015
- [22] Y. Kiouvrekis, G. Manios, V. Tsitsia , G. Gourzoulidis and C. Kappas, "A statistical analysis for RF-EMF exposure levels in sensitive land use: A novel study in Greek primary and secondary education schools," *Environmental Research*, vol. 191, p. 109940, December 2020, doi: 10.1016/j.envres.2020.109940.

- [23] S. Sagar, S. M Adem, B. Struchen, S. P Loughran, M. E Brunjes, L. Arangua, M. Aqiel Dalvie, R. J Croft, M. Jerrett, J. M Moskowitz, T. Kuo and M. Rösli, "Comparison of radiofrequency electromagnetic field exposure levels in different everyday microenvironments in an international context," *Environment International*, vol. 114, pp. 297-306, May 2018, doi: 10.1016/j.envint.2018.02.036.
- [24] C. Kurnaz & M. Mutlu, "Comprehensive radiofrequency electromagnetic field measurements and assessments: a city center example," *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 192, no. 334, May 2020, doi: 10.1007/s10661-020-08312-3.
- [25] T. N. Kapetanakis, M. P. Ioannidou, A. T. Baklezos, C. D. Nikolopoulos, E. S. Sergaki, A. J. Konstantaras and I. O. Vardiambasis, "Assessment of Radiofrequency Exposure in the Vicinity of School Environments in Crete Island, South Greece," *Electromagnetic Antennas for HF, VHF, and UHF Band Applications*, May 2022, doi: 10.3390/app12094701.
- [26] H. Jalilian, M. Eeftens, M. Ziaei and M. Rösli, "Public exposure to radiofrequency electromagnetic fields in everyday microenvironments: An updated systematic review for Europe," *Environmental Research*, vol. 176, p. 108517, September 2019, doi: 10.1016/j.envres.2019.05.048.
- [27] A. B. Olorunsola, O. M. Ikumapayi, B. I. Oladapo, A. O. Alimi and A. O.M. Adeoye, "Temporal variation of exposure from radiofrequency electromagnetic fields around mobile communication base stations," *Scientific African*, vol. 12, p. e00724, July 2021, doi: 10.1016/j.sciaf.2021.e00724.
- [28] T. Onishi, M. Ikuyo, K. Tobita, S. Liu, M. Taki and S. Watanabe , "Radiofrequency Exposure Levels from Mobile Phone Base Stations in Outdoor Environments and an Underground Shopping Mall in Japan," *Occupational and General Public Exposure to Electromagnetic Fields*, July 2021, doi: 10.3390/ijerph18158068.
- [29] R. Ramirez-Vazquez, I. Escobar, G. A.E. Vandenbosch and E. Arribas, "Personal exposure to radiofrequency electromagnetic fields: A comparative analysis of international, national, and regional guidelines," *Environmental Research*, vol. 246, p.118124, April 2024, doi: 10.1016/j.envres.2024.118124.
- [30] N. Loizeau, M. Zahner, J. Schindler, C. Stephan, J. Fröhlich, M. Gugler, T. Ziegler and M. Rösli, "Comparison of ambient radiofrequency electromagnetic field (RF-EMF) levels in outdoor areas and public transport in Switzerland in 2014 and 2021," *Environmental Research*, vol. 237, p. 116921, November 2023, doi: 10.1016/j.envres.2023.116921.
- [31] M. Christopoulou, E. Karabetsos and D. Koutounidis, "5G NR launching in Greece: Preliminary in situ and monitoring network measurements of electromagnetic fields exposure levels at rooftops," *Bioelectromagnetics*, vol. 45, no. 4, pp. 193-199, May 2024, doi: 10.1002/bem.22502.

[32] V. Softa , C. Tyrakis , C. Kappas and K. Theodorou, “MEASUREMENT OF EXPOSURE LEVELS IN URBAN AREAS FROM 5G TECHNOLOGY: INITIAL EXPERIENCE,” POSTER PRESENTATIONS: NON-IONIZING RADIATIONS (NIR), vol. 104, December 2022, doi: 10.1016/S1120-1797(22)03152-0.

[33] Μ. Χριστοπούλου, Δ. Κουτουνίδης και Ε. Καραμπέτσος, “ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΥΨΙΣΥΧΝΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ ΠΟΥ ΕΧΟΥΝ ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΘΕΙ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΚΑΤΑ ΤΑ ΈΤΗ 2008-2013,” Παρουσιάστηκε στο 5ο Τακτικό Εθνικό Συνέδριο Μετρολογίας, Εθνικό Ίδρυμα Ερευνών, Αθήνα, Ελλάδα, Μάιος 9-10, 2014.

[34] Δρ. Ε. Καραμπέτσος και Δ. Κουτουνίδης, “Έκθεση μετρήσεων των επιπέδων της υψίσυχνης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στο περιβάλλον των κεραιοδιατάξεων που βρίσκονται εγκατεστημένες στο ύψωμα πλησίον του Οσίου Παταπίου στο Λουτράκι Ν. Κορινθίας,” ΕΕΑΕ, Αγία Παρασκευή, Αθήνα, 2002.

[35] Δρ. Ε. Καραμπέτσος και Δρ. Γ. Φιλιππόπουλος, “Έκθεση μετρήσεων των επιπέδων της εκπεμπόμενης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από τις διατάξεις ραντάρ GCA της Πολεμικής Αεροπορίας που βρίσκονται εγκατεστημένες εντός του Αεροδρομίου Ελευσίνας του Νομού Αττικής,” ΕΕΑΕ, Αγία Παρασκευή, Αθήνα, 2003.

[36] Δρ. Ε. Καραμπέτσος και Ν. Σκαμνάκης, “Έκθεση μετρήσεων των επιπέδων της εκπεμπόμενης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από τις διατάξεις των ραντάρ που είναι εγκατεστημένες στη Φρεγάτα ‘Κουντουριώτης’ του Πολεμικού Ναυτικού. ΕΕΑΕ, Αγία Παρασκευή, Αθήνα, 2006.

[37] Δρ. Ε. Καραμπέτσος και Ν. Σκαμνάκης, “Έκθεση μετρήσεων των επιπέδων της εκπεμπόμενης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από τις κεραιοδιατάξεις των συστημάτων ραντάρ που βρίσκονται εγκατεστημένες στη Φρεγάτα ‘Μπουμπουλίνα’ του Πολεμικού Ναυτικού,” ΕΕΑΕ, Αγία Παρασκευή, Αθήνα, 2006.

[38] Δρ. Ε. Καραμπέτσος και Ν. Σκαμνάκης, “Έκθεση μετρήσεων των επιπέδων της εκπεμπόμενης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από τη διάταξη ραντάρ της Πολεμικής Αεροπορίας που βρίσκεται εγκατεστημένο στην περιοχή Μουστάκο, στο Δήμο Πελεκάνου του Νομού Χανίων,” ΕΕΑΕ, Αγία Παρασκευή, Αθήνα, 2006.

[39] Δρ. Γ. Φιλιππόπουλος και Ε. Καραμπέτσος, “Έκθεση μετρήσεων των επιπέδων της εκπεμπόμενης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από το ραντάρ της ΕΜΥ που βρίσκεται εγκατεστημένο εντός του Κρατικού Αερολιμένα Καβάλας «Μέγας Αλέξανδρος» του Νομού Καβάλας,” ΕΕΑΕ, Αγία Παρασκευή, Αθήνα, 2007.

[40] Δρ. Ε. Καραμπέτσος και Ν. Σκαμνάκης, “Έκθεση μετρήσεων των επιπέδων της εκπεμπόμενης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από τη διάταξη του ραντάρ που είναι εγκατεστημένη στο Ελληνικό Κέντρο Θαλασσιών Ερευνών, στην Ανάβυσσο του Ν. Αττικής,” ΕΕΑΕ, Αγία Παρασκευή, Αθήνα, 2007.

[41] Δρ. Ε. Καραμπέτσος και Ν. Σκαμνάκης, “Έκθεση μετρήσεων των επιπέδων της εκπεμπόμενης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από τη διάταξη του ραντάρ που είναι εγκατεστημένη στο Κέντρο Ελέγχου Περιοχής Αθηνών, στο Ελληνικό του Ν. Αττικής,” ΕΕΑΕ, Αγία Παρασκευή, Αθήνα, 2008.

[42] Δρ. Ε. Καραμπέτσος και Ν. Σκαμνάκης, “Έκθεση μετρήσεων των επιπέδων της εκπεμπόμενης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από τη διάταξη του ραντάρ που είναι εγκατεστημένη πλησίον της περιοχής Σταυρός, στο Δ. Ακρωτηρίου του Ν. Χανίων,” ΕΕΑΕ, Αγία Παρασκευή, Αθήνα, 2008.

[43] Δρ. Ε. Καραμπέτσος και Χ.Γκόβαρη, “Έκθεση μετρήσεων των επιπέδων της εκπεμπόμενης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στο περιβάλλον διάταξης radar και κεραιοδιατάξεων ραδιοφωνικών και τηλεοπτικών σταθμών καθώς και σταθμών βάσης κινητής τηλεφωνίας, στο ύψωμα Προφήτης Ηλίας του Πύργου Καλλίστης Δήμου Θήρας Νομού Κυκλάδων,” ΕΕΑΕ, Αγία Παρασκευή, Αθήνα, 2008.

[44] Δρ. Ε. Καραμπέτσος και Θ.Κυρίτση, “Έκθεση μετρήσεων των επιπέδων της εκπεμπόμενης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από το σύστημα ραντάρ και τις διατάξεις κεραιών αναμετάδοσης κινητής τηλεφωνίας που βρίσκονται εγκατεστημένες στο ύψωμα πάνω από τον οικισμό Αγ. Δέκα και στην περιοχή Καρουμπάτικα Πέλεκα, του Δήμου Αχιλλείων αντίστοιχα, στη Νήσο Κέρκυρα, Νομού Κέρκυρας,” ΕΕΑΕ, Αγία Παρασκευή, Αθήνα, 2008.

[45] Δρ. Ε. Καραμπέτσος και Ν. Σκαμνάκης, “Έκθεση μετρήσεων των επιπέδων της εκπεμπόμενης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από τις διατάξεις ραντάρ που βρίσκονται εγκατεστημένες στη θαλαμηγό Α&Ι,” ΕΕΑΕ, Αγία Παρασκευή, Αθήνα, 2009.

[46] Δρ. Ε. Καραμπέτσος και Γ. Τσανίδης, “Έκθεση μετρήσεων των επιπέδων της εκπεμπόμενης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από τη διάταξη ραντάρ και τις κεραιοδιατάξεις της εταιρείας ΟΤΕ ΑΕ που βρίσκονται εγκατεστημένες στην περιοχή Κυρά Παναγιά, του Δήμου Καρπάθου του Νομού Δωδεκανήσου. ΕΕΑΕ,” Αγία Παρασκευή, Αθήνα, 2009.

[47] Δρ. Ε. Καραμπέτσος και Α. Γιαλόφας, “Έκθεση μετρήσεων των επιπέδων της εκπεμπόμενης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από το σύστημα ραντάρ της Υπηρεσίας Πολιτικής Αεροπορίας στο Δήμο Ελληνικού του Νομού Αττικής,” ΕΕΑΕ, Αγία Παρασκευή, Αθήνα, 2009.

[48] Δρ. Γ. Φιλιππόπουλος και Δρ. Ε. Καραμπέτσος, “Έκθεση μετρήσεων των επιπέδων της εκπεμπόμενης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από τις διατάξεις ραντάρ του Διεθνούς Αερολιμένα Αθηνών «Ελευθέριος Βενιζέλος» στις θέσεις Καμάρα και Μερέντα του Ν. Αττικής,” ΕΕΑΕ, Αγία Παρασκευή, Αθήνα, 2012.

[49] Δρ. Ε. Καραμπέτσος και Ν. Σκαμνάκης, “Έκθεση μετρήσεων των επιπέδων της υψίσυχνης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από τη διάταξη ραντάρ PSR της Υπηρεσίας Πολιτικής Αεροπορίας, που βρίσκεται εγκατεστημένη στον Πύργο Ελέγχου του Διεθνή Αερολιμένα Αθηνών, στα Σπάτα του Ν. Αττικής,” ΕΕΑΕ, Αγία Παρασκευή, Αθήνα, 2012.

[50] Δρ. Ε. Καραμπέτσος και Ν. Σκαμνάκης, “Έκθεση μετρήσεων των επιπέδων της υψίσυχνης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από τη διάταξη ραντάρ ATARS PSR της Υπηρεσίας Πολιτικής Αεροπορίας, στο πρώην Ανατολικό Αεροδρόμιο του Ελληνικού, στο Δήμο Ελληνικού του Ν. Αττικής,” ΕΕΑΕ, Αγία Παρασκευή, Αθήνα, 2012.

[51] Δρ. Ε. Καραμπέτσος και Ν. Σκαμνάκης, “Έκθεση μετρήσεων των επιπέδων της υψίσυχνης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από τη διάταξη ραντάρ ΚΑΗΚ TAR PSR της Υπηρεσίας Πολιτικής Αεροπορίας, στην περιοχή Δύο Αοράκια, στο Δήμο Νέας Αλικαρνασσού του Ν. Ηρακλείου,” ΕΕΑΕ, Αγία Παρασκευή, Αθήνα, 2012.

[52] Δρ. Ε. Καραμπέτσος και Ν. Σκαμνάκης, “Έκθεση μετρήσεων των επιπέδων της υψίσυχνης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από τη διάταξη ραντάρ TAR PSR/MSSR της Υπηρεσίας Πολιτικής Αεροπορίας, στη θέση Καμάρα, στο Δήμο Σπάτων Αρτέμιδος του Ν. Αττικής,” ΕΕΑΕ, Αγία Παρασκευή, Αθήνα, 2012.

[53] Δρ. Ε. Καραμπέτσος και Ν. Σκαμνάκης, “Έκθεση μετρήσεων των επιπέδων της υψίσυχνης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από τη διάταξη ραντάρ ΚΑΚΚ TAR PSR της Υπηρεσίας Πολιτικής Αεροπορίας, στην περιοχή Άγιοι Δέκα, στο Δήμο Κέρκυρας του Ν. Κέρκυρας,” ΕΕΑΕ, Αγία Παρασκευή, Αθήνα, 2012.

[54] Δρ. Ε. Καραμπέτσος και Ν. Σκαμνάκης, “Έκθεση μετρήσεων των επιπέδων της υψίσυχνης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από τη διάταξη ραντάρ PSR της Υπηρεσίας Πολιτικής Αεροπορίας στην περιοχή Εύζωνας στον Υμηττό του Ν. Αττικής. ΕΕΑΕ,” Αγία Παρασκευή, Αθήνα, 2012.

[55] Δρ. Ε. Καραμπέτσος και Α. Γιαλόφας, “Έκθεση μετρήσεων των επιπέδων της υψίσυχνης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από τη διάταξη ραντάρ TAR ΚΑΘΜ της Υπηρεσίας Πολιτικής Αεροπορίας, στην Περαία στο Δήμο Θερμαϊκού του Ν. Θεσσαλονίκης,” ΕΕΑΕ, Αγία Παρασκευή, Αθήνα, 2012.

[56] Δρ. Ε. Καραμπέτσος και Α. Γιαλόφας, “Έκθεση μετρήσεων των επιπέδων της υψίσυχνης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από τη διάταξη radar - En Route MSSR της Υπηρεσίας Πολιτικής Αεροπορίας, στη θέση ΠΛΙΑΣΙΔΙ ΠΗΛΙΟΥ του Ν. Μαγνησίας,” ΕΕΑΕ, Αγία Παρασκευή, Αθήνα, 2013.

[57] Δρ. Ε. Καραμπέτσος και Χ. Γκόβαρη, “Έκθεση μετρήσεων των επιπέδων της υψίσυχνης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από τη διάταξη radar En Route MSSR της Υπηρεσίας Πολιτικής Αεροπορίας, στη θέση ΜΕΡΕΝΤΑ, Ν.Αττικής,” ΕΕΑΕ, Αγία Παρασκευή, Αθήνα, 2013.

[58] Δρ. Ε. Καραμπέτσος και Ν. Σκαμνάκης, “Έκθεση μετρήσεων των επιπέδων της υψίσυχνης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από τη διάταξη ραντάρ En Route MSSR της Υπηρεσίας Πολιτικής Αεροπορίας, στην Εγκλουβή, στο Δήμο Λευκάδας του Ν. Λευκάδας,” ΕΕΑΕ, Αγία Παρασκευή, Αθήνα, 2013.

[59] Δρ. Ε. Καραμπέτσος και Χ. Τζουμανίκα, “Έκθεση μετρήσεων των επιπέδων της υψίσυχνης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από τη διάταξη radar - En Route MSSR της Υπηρεσίας Πολιτικής Αεροπορίας, στη θέση ΜΕΡΜΗΓΚΑΡΗΣ, στο Δήμο Κυθήρων του Ν. Αττικής,” ΕΕΑΕ, Αγία Παρασκευή, Αθήνα, 2013.

[60] Δρ. Ε. Καραμπέτσος και Ν. Σκαμνάκης, “Έκθεση μετρήσεων των επιπέδων της υψίσυχνης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από τη διάταξη ραντάρ TAR ΚΑΗΚ της Υπηρεσίας Πολιτικής Αεροπορίας, στη θέση 2 Αορακία, στο Δήμο Αλικαρνασσοῦ του Ν. Ηρακλείου,” ΕΕΑΕ, Αγία Παρασκευή, Αθήνα, 2013.

[61]: Δρ. Ε. Καραμπέτσος και Χ. Τζουμανίκα, “Έκθεση μετρήσεων των επιπέδων της υψίσυχνης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από τη διάταξη radar En Route MSSR της Υπηρεσίας Πολιτικής Αεροπορίας, στη θέση ΜΕΝΕΤΕΣ, στο Δήμο Καρπάθου του Ν. Δωδεκανήσου,” ΕΕΑΕ, Αγία Παρασκευή, Αθήνα, 2013.

[62] Δρ. Ε. Καραμπέτσος και Ν. Σκαμνάκης, “Έκθεση μετρήσεων των επιπέδων της υψίσυχνης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από τη διάταξη ραντάρ ΚΟΔΕΝ RADAR PC MDS-62R, που βρίσκεται εγκατεστημένη στον προβλήτα του λιμένα Καλύμνου,” ΕΕΑΕ, Αγία Παρασκευή, Αθήνα, 2014.

[63] Δρ. Ε. Καραμπέτσος και Ν. Σκαμνάκης, “Έκθεση μετρήσεων των επιπέδων της υψίσυχνης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από τη διάταξη ραντάρ TAR ΚΑΗΚ της Υπηρεσίας Πολιτικής Αεροπορίας, στη θέση 2 Αορακία, στο Δήμο Αλικαρνασσοῦ του Ν. Ηρακλείου,” ΕΕΑΕ, Αγία Παρασκευή, Αθήνα, 2015.

[64] Δρ. Ε. Καραμπέτσος και Ν. Σκαμνάκης, “Έκθεση μετρήσεων των επιπέδων της υψίσυχνης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από τη διάταξη ραντάρ του Πεδίου Βολής Κρήτης, στη θέση Δράπανο, στο Δήμο Αποκορώνου του Ν. Χανίων,” ΕΕΑΕ, Αγία Παρασκευή, Αθήνα, 2015.

[65] Δρ. Ε. Καραμπέτσος και Ν. Σκαμνάκης, “Έκθεση μετρήσεων των επιπέδων της υψίσυχνης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από τη διάταξη ραντάρ του Πεδίου Βολής Κρήτης, στο ύψωμα Βασιλικό, πλησίον Ηρακλείου του Ν. Ηρακλείου,” ΕΕΑΕ, Αγία Παρασκευή, Αθήνα, 2015.

