



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

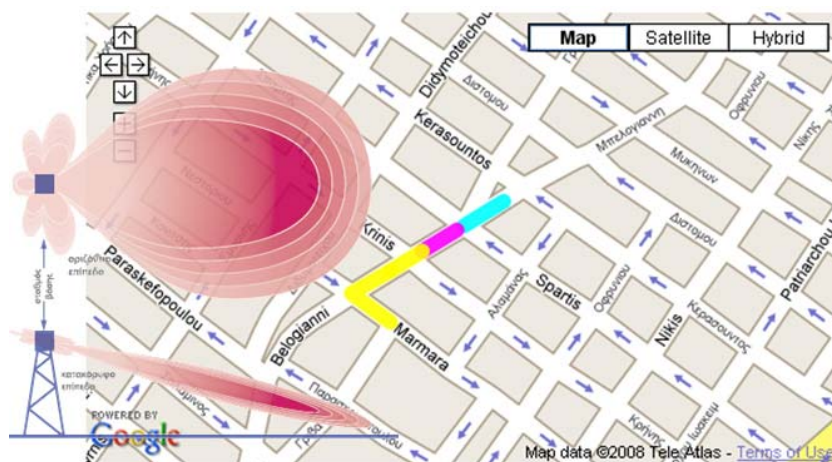
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ & ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ»

Μελέτες Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων από Τηλεπικοινωνιακά Έργα με Πηγές Ακτινοβολίας

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

ΝΙΚΟΛΑΟΥ ΕΥΘ. ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ



Επιβλέπων : Κ. Κασσιός
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2008



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ & ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ»

Μελέτες Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων από Τηλεπικοινωνιακά Έργα με Πηγές Ακτινοβολίας

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

ΝΙΚΟΛΑΟΥ ΕΥΘ. ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ

Επιβλέπων : Κ. Κασσιός
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την Ιουλίου 2008.

.....
Κ. Κασσιός
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Κ. Κουτσόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Φ. Κωνσταντίνου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2008

.....
Νικόλαος Ε. Παπανικολάου
Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Νικόλαος Ε. Παπανικολάου, 2008
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

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

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή μου κ. Κ.Κασσιό για τη δυνατότητα που μου έδωσε να ασχοληθώ με το αντικείμενο που με ενδιαφέρει και να εκπονήσω την παρούσα διπλωματική εργασία σε έναν ενδιαφέροντα τομέα των τηλεπικοινωνιών. Ευχαριστώ ιδιαίτερα την υποψήφια διδάκτορα κ. Μ. Λάμπρου για τη συνεργασία και την πολύτιμη βοήθεια της τόσο κατά τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας, όσο και για τις πολύτιμες παρατηρήσεις της κατά τη συγγραφή της διπλωματικής εργασίας, καθώς επίσης και τη Γραμματέα του ΔΠΜΣ «Γεωπληροφορική» κ. Ε. Παλιάτσου για τη βοήθεια και τη αμέριστη συμπαράστασή της. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την στήριξη που μου προσέφερε σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Παπανικολάου Νικόλαος

Ιούλιος 2008

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι ο εντοπισμός και η ανάλυση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τηλεπικοινωνιακά έργα που αποτελούν πηγές ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Αυτό που διαφοροποιεί αυτού του τύπου τα έργα είναι ότι συχνά εγκαθίστανται σε περιοχές κατοικίας και πολλές φορές εν αγνοία των κατοίκων και γι αυτό είναι πολύ σημαντικό να προσδιοριστούν οι επιπτώσεις που μπορεί να έχουν αυτά τα έργα. Γι αυτό η διπλωματική εργασία επικεντρώνεται στις κεραίες κινητής τηλεφωνίας, που είναι οι κεραίες με τη μεγαλύτερη ακτινοβολούμενη ισχύ που εγκαθίστανται σε κατοικημένες περιοχές. Πραγματοποιήθηκε μελέτη των ιδιοτήτων και των πιθανών βιολογικών αποτελεσμάτων των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων και κυρίως των ραδιοκυμάτων τα οποία χρησιμοποιούνται σε τηλεπικοινωνιακά έργα. Η παρούσα εργασία αποτελείται από πέντε κεφάλαια. Τα πρώτα τέσσερα κεφάλαια περιέχουν το βασικό θεωρητικό υπόβαθρο και το νομικό πλαίσιο που σχετίζεται με το θέμα και το τελευταίο κεφάλαιο περιέχει μεθοδολογία μετρήσεων και απεικόνισή τους σε Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών.

Στο Κεφάλαιο 1 γίνεται μια παρουσίαση βασικών εννοιών όπως ηλεκτρομαγνητικό πεδίο και ραδιοκύματα καθώς επίσης περιγράφονται οι ιδιότητες τους και ο τρόπος που μεταδίδονται.

Στο Κεφάλαιο 2 γίνεται παρουσία των βασικών περιορισμών και των επιπέδων αναφοράς των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων όπως αυτά έχουν οριστεί από την ICNIRP. Επίσης, παρουσιάζονται τα όρια που ισχύουν στην Ελλάδα και σε κάποιες άλλες χώρες εντός και εκτός Ευρώπης. Επίσης, γίνεται αναφορά των βασικών περιορισμών και των επιπέδων αναφοράς τα οποία εφαρμόζονται τόσο στο γενικό πληθυσμό όσο και στους εργαζόμενους. Τέλος, γίνεται κατηγοριοποίηση των ορίων ανά ζώνη συχνοτήτων.

Στο Κεφάλαιο 3 παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά των σταθμών βάσης και του κυψελωτού συστήματος. Επίσης, γίνεται περιγραφή του τρόπου επικοινωνίας μεταξύ των σταθμών βάσης αλλά και μεταξύ σταθμού βάσης και κινητού τηλεφώνου. Τέλος, παρουσιάζονται οι βασικές ιδιότητες του συστήματος GSM και η αρχή λειτουργίας των κινητών τηλεφώνων. Με αυτές τις πληροφορίες μπορεί κάποιος να κατανοήσει τον τρόπο ανάπτυξης και λειτουργίας των δικτύων κινητής τηλεφωνίας

και επομένως να κατανοήσει καλύτερα και τις επιπτώσεις των έργων αυτού του τύπου..

Στο Κεφάλαιο 4 περιγράφονται το νομικό πλαίσιο που ισχύει για την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από σταθμούς βάσης κινητής τηλεφωνίας, και κυρίως το κομμάτι που εκτιμά τις επιπτώσεις από τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία και δεν είναι άλλο από τη μελέτη ραδιοεκπομπών, που περιλαμβάνεται σε κάθε ΜΠΕ για σταθμό βάσης κινητής τηλεφωνίας. Περιλαμβάνονται οι μέθοδοι υπολογισμού των εκπεμπόμενων ηλεκτρομαγνητικών πεδίων, παραδοχές και θεωρήσεις για τα διαγράμματα ακτινοβολίας των κεραιών καθώς και τους απαιτούμενους ελέγχους για τον καθορισμό των μη ελεύθερα επισκέψιμων από το κοινό χώρων γύρω από τους σταθμούς βάσης κινητής τηλεφωνίας. Επίσης, περιλαμβάνονται πίνακες παρουσίασης των τεχνικών και άλλων δεδομένων του κάθε σταθμού βάσης καθώς και των αποτελεσμάτων των θεωρητικών υπολογισμών και των αναγκαίων μέτρων προφύλαξης του κοινού, στις υποβαλλόμενες στην ΕΕΑΕ μελέτες ραδιοεκπομπών.

Στο κεφάλαιο 5 παρουσιάζεται μεθοδολογία μετρήσεων των επιπέδων ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε μία συγκεκριμένη περιοχή, τα βασικά χαρακτηριστικά και οι λειτουργίες του εξοπλισμού μέτρησης ηλεκτρικού πεδίου και παρουσιάζεται μία διάταξη για αυτοματοποιημένη λήψη μετρήσεων από κινητή μονάδα μετρήσεων ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Παρουσιάζονται αναλυτικά τα στάδια από τη λήψη των μετρήσεων μέχρι την απεικόνισή τους σε σύστημα GIS, που βλέπει ο τελικός χρήστης.

Abstract

The aim of this thesis is to study the characteristics and the possible biological consequences of the electromagnetic fields which are used in telecommunication structures. The present thesis divides into five chapters. The first four chapters include the basic theoretical knowledge and the legal frame which is relevant to the subject and the last chapter includes emf measurements methodology and measurement presentation in geographic information system (GIS).

The Chapter 1 is about electromagnetic fields and radio waves, their characteristics and the way that they are transmitted.

The Chapter 2 includes the EMF exposure standards and limits which are applied in Europe, in my country, Greece, and in other European countries. Moreover, it is made a reference to the limits and exposure standards which are applied to both general public and workers as well as the limits are categorized per frequency band.

In Chapter 3 it is described the way that the base stations work and transmit the required signals so as communication to be achieved with other base stations or mobile phones. Moreover, it includes information about GSM and the function principle of mobile phones.

The Chapter 4 is about research and the required considerations which must be done when a new base station antenna is about to be installed.

In Chapter 5 it is presented the measurement methodology of electromagnetic field levels in a specific area, the basic characteristics and functions of e-field measurement equipment and it is presented an integrated system that can be used for conducting e-field measurements. They are described all the stages from the measurement procedure to the measurement processing and their presentation in GIS.

Πίνακας Περιεχομένων

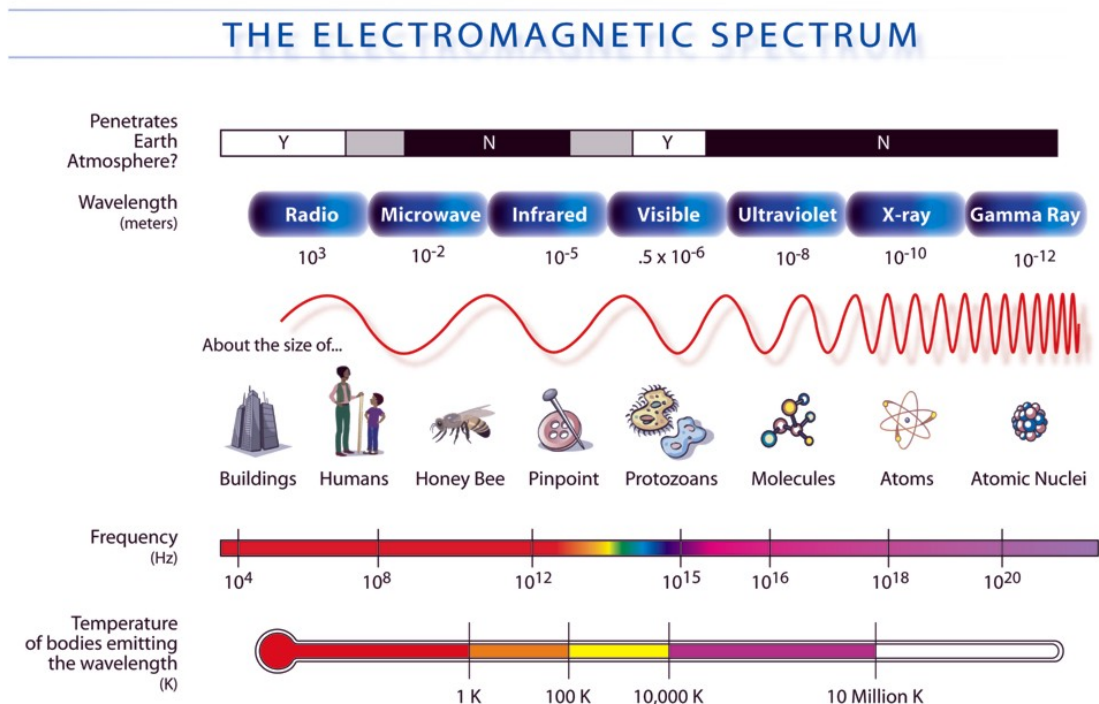
Περίληψη	6
Abstract.....	9
Πίνακας Περιεχομένων	11
Κεφάλαιο 1.....	13
1 Ακτινοβολίες.....	Error! Bookmark not defined.
1.1 Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.....	13
1.2 Η ενέργεια ραδιοσυχνοτήτων	16
1.3 Ηλεκτρομαγνητικά πεδία και πιθανά βιολογικά αποτελέσματα.....	19
Κεφάλαιο 2.....	23
2 Προστασία από την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.....	23
2.1 Το κανονιστικό πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης.....	23
2.2 Όρια για τους επαγγελματικά ασχολούμενους σε χώρους έκθεσης σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.....	27
2.3 Τα όρια στην Ελλάδα	29
2.4 Επίπεδα αναφοράς ανά ζώνη συχνοτήτων	38
2.5 Βασικοί περιορισμοί και επίπεδα αναφοράς ανά χώρα.....	41
Κεφάλαιο 3.....	45
3 Το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας.....	45
3.1 Περί σταθμών βάσης και δικτύου κινητής τηλεφωνίας	45
3.2 Το δίκτυο GSM.....	53
3.3 Περί κινητών τηλεφώνων.....	54
Κεφάλαιο 4.....	57
4 Μελετών περιβαλλοντικών επιπτώσεων και τεχνικές μελέτες ραδιοεκπομπών κεραιών σταθμών βάσης κινητής τηλεφωνίας.....	57
4.1 Εισαγωγή.....	57
4.2 Δεδομένα σταθμού	58
4.3 Όρια ασφαλούς έκθεσης	61
4.4 Υπολογισμοί μεγεθών εκπεμπόμενων ηλεκτρομαγνητικών πεδίων	62
4.5 Βασικές παραδοχές και περιβάλλουσες διαγράμματος ακτινοβολίας	63
4.6 Καθορισμός περιοχής προστασίας μεμονωμένου ιστού και έλεγχος συμμόρφωσης με αποστάσεις ασφαλείας.....	68
4.7 Καθορισμός περιοχής προστασίας μεμονωμένων κατευθυντικών κεραιών και έλεγχος συμμόρφωσης με αποστάσεις ασφαλείας.....	72
4.8 Ανεξάρτητη θεώρηση δύο ή περισσότερων κεραιοδιατάξεων, υπολογισμός επιπέδων ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και σύγκριση με τα όρια	77
4.9 Μικροκυματικές ζεύξεις.....	80
4.10 Μέτρα προφύλαξης του κοινού	80
4.11 Ενσωμάτωση της μελέτης ραδιοεκπομπών στη ΜΠΕ.....	83
Κεφάλαιο 5.....	86
5 Μεθοδολογία μετρήσεων επιπέδων ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.....	86
5.1 Μεθοδολογία μετρήσεων	86
5.2 Μετρήσεις με αναλυτή φάσματος AARONIA Spectran.....	86
5.3 Διεξαγωγή μετρήσεων.....	92
5.4 Επεξεργασία μετρήσεων – Παρουσίαση σε GIS.....	93

Κεφάλαιο 1

1 Ακτινοβολίες

1.1 Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (ή ηλεκτρομαγνητική ενέργεια) αποτελείται από κύματα ηλεκτρικής και μαγνητικής ενέργειας που διαδίδονται ταυτόχρονα στον ελεύθερο χώρο. Η περιοχή στην οποία αναπτύσσονται αυτά τα κύματα λέγεται ηλεκτρομαγνητικό πεδίο. Τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία εμφανίζονται σε ένα ευρύ φάσμα συχνοτήτων (ηλεκτρομαγνητικό φάσμα) που χωρίζεται σε επιμέρους περιοχές (ζώνες συχνοτήτων). Για παράδειγμα τα ραδιοκύματα, τα μικροκύματα, το ορατό φως αλλά και οι ακτίνες X είναι μορφές ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, οι περισσότερες από τις οποίες είναι αόρατες εκτός από ένα τμήμα που μπορεί να εντοπιστεί από το ανθρώπινο μάτι και αποτελεί το ορατό φως που παράγει τα διάφορα χρώματα του ουράνιου τόξου. Όλα τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα διαδίδονται με την ταχύτητα του φωτός.



Εικόνα 1.1-Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα

Η ύπαρξη ηλεκτρομαγνητικού πεδίου προκαλεί ηλεκτρικό ρεύμα. Τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία μπορεί να είναι υψηλής ή χαμηλής έντασης και συνεχούς ή μικρής διάρκειας. Η αιτία δημιουργίας ηλεκτρικών πεδίων είναι η ύπαρξη διαφοράς ηλεκτρικού δυναμικού. Συγκεκριμένα, όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά δυναμικού τόσο ισχυρότερο είναι το ηλεκτρικό πεδίο που προκύπτει. Η μονάδα μέτρησης της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου είναι βολτ ανά μέτρο (V/m). Τα μαγνητικά πεδία δημιουργούνται όταν υπάρχει ηλεκτρικό ρεύμα.. Όσο πιο υψηλή είναι η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος τόσο πιο ισχυρό είναι το μαγνητικό πεδίο. Όταν διακοπεί το ηλεκτρικό ρεύμα το μαγνητικό πεδίο μηδενίζεται. Η μονάδα μέτρησης της έντασης του μαγνητικού πεδίου είναι αμπέρ ανά μέτρο (A/m) [1].

Τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά των διαφόρων τύπων κυμάτων είναι η απόσταση που καλύπτεται από έναν κύκλο κύματος, η οποία αποτελεί και το λεγόμενο μήκος κύματος (λ) καθώς επίσης και ο αριθμός των κυμάτων που διέρχονται από ένα συγκεκριμένο σημείο ανά δευτερόλεπτο, που ορίζει τη συχνότητα του κύματος (f). Το μήκος κύματος ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος εκφράζεται συνήθως σε μέτρα (m) και η συχνότητα εκφράζεται συνήθως σε Hertz (Hz) . Ένα Hertz ισούται με ένα κύμα ανά δευτερόλεπτο. Άλλες μονάδες μέτρησης της συχνότητας είναι το kilohertz (kHz), το megahertz (MHz) και το gigahertz (GHz) που αντιστοιχούν σε χίλια, ένα εκατομμύριο και ένα δισεκατομμύριο κύματα αντίστοιχα ανά δευτερόλεπτο. Οι σημαντικότερες διαφορές των διαφορετικών τύπων κυμάτων οφείλονται στις διαφορετικές τιμές συχνότητας.

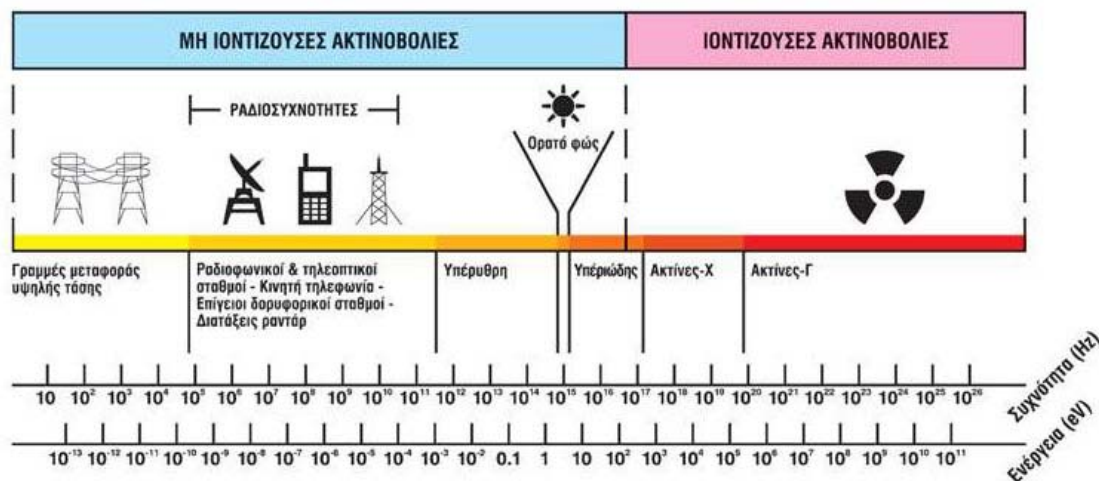
Τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία (ΗΜΠ), υπάρχουν παντού στο περιβάλλον μας και προέρχονται είτε από φυσικές είτε από τεχνητές πηγές. Το ηλιακό φως, το γήινο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο, οι κεραυνοί ο χτύπος της καρδιάς, το ανθρώπινο νευρικό σύστημα αποτελούν φυσικές πηγές ηλεκτρομαγνητικών πεδίων. Στις τεχνητές πηγές περιλαμβάνονται οι οικιακές ηλεκτρικές συσκευές (ψυγείο, τηλεόραση, ηλεκτρική σκούπα, φούρνος μικροκυμάτων κ.λ.π.), οι γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικού ρεύματος, οι ραδιοφωνικοί και τηλεοπτικοί σταθμοί, οι σταθμοί βάσης κινητής τηλεφωνίας, τα ραντάρ κ.λ.π. Συνεπώς τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα ήταν ανέκαθεν παρόντα στη γη (φυσικές πηγές). Ωστόσο κατά τη διάρκεια του 20^{ου} αιώνα, η περιβαλλοντική έκθεση σε τεχνητές πηγές ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας αυξήθηκε ραγδαία. Οι κυριότερες αιτίες αυτής της αύξησης είναι οι απαιτήσεις για ηλεκτρισμό, η ανάπτυξη της ασύρματης τεχνολογίας και των εφαρμογών της όπως επίσης οι αλλαγές στις

εργασιακές σχέσεις και στην κοινωνική συμπεριφορά.[1], με επιπτώσεις που ίσως να μην γνωρίζουμε ακόμη.

Τα πιθανά βιολογικά αποτελέσματα από τις κατασκευασμένες από τον άνθρωπο πηγές ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας αποτελούν αντικείμενο έρευνας από τα τέλη του 1800. Ωστόσο, η ραγδαία αύξηση της έκθεσης του αστικού πληθυσμού σε τεχνητές πηγές ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας εξαιτίας των απαιτήσεων σε ηλεκτρισμό και της ανάπτυξης της ασύρματης τεχνολογίας συνέβαλλε στην δημιουργία έντονης ερευνητικής δραστηριότητας κατά τα τελευταία 30 χρόνια η οποία προσπαθεί να δώσει απαντήσεις σε θέματα που αφορούν την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και τις πιθανές επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου.

Γενικά, το φάσμα των συχνοτήτων περιλαμβάνει την ιονίζουσα (ή ιοντίζουσα) και την μη ιονίζουσα (ή μη ιοντίζουσα) ακτινοβολία. Η ιονίζουσα ακτινοβολία χαρακτηρίζεται από μικρό μήκος κύματος, υψηλή συχνότητα και μεγάλη ενέργεια. Η ιονίζουσα ακτινοβολία περιλαμβάνει τις ακτίνες X (χρησιμοποιούνται στις ακτινογραφίες, στον αξονικό τομογράφο και αλλού), τις ακτίνες γάμμα, την κοσμική ακτινοβολία και την υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία. Όταν κύτταρα του ανθρώπινου οργανισμού εκτίθενται σε αυτήν, προκαλεί ιονισμό του δεοξυριβονουκλεϊκού οξέος (DNA). Ο ιονισμός είναι επικίνδυνος, οδηγεί σε αλλοιώσεις του γενετικού κώδικα και είναι αιτία καρκίνου. Είναι γνωστό ότι οι πρώτοι ακτινολόγοι όπως και η Μαρί Κιουρί που ανακάλυψε τις ακτίνες X αποβίωσαν πρόωρα λόγω λευχαιμίας, αναιμίας και άλλων καρκίνων. Επίσης, η υπεριώδης ακτινοβολία του ηλιακού φωτός, εξαιτίας του ιονισμού, μπορεί να προκαλεί αλλοιώσεις στα γονίδια των κυττάρων του δέρματος, αυξάνοντας έτσι τον κίνδυνο για διάφορες μορφές καρκίνου του δέρματος.

Η μη ιονίζουσα ακτινοβολία είναι αυτή που χρησιμοποιείται για εφαρμογές της σύγχρονης τεχνολογίας και σε αντίθεση με την ιονίζουσα ακτινοβολία δεν είναι αρκετά ισχυρή ώστε να διασπάσει τους δεσμούς που συγκρατούν μεταξύ τους τα μόρια μέσα στα κύτταρα και, συνεπώς, δεν μπορεί να προκαλέσει ιοντισμό. Περιλαμβάνει το ορατό φως, την υπέρυθρο ακτινοβολία, τα μικροκύματα, τα ραδιοκύματα και τα πολύ χαμηλής συχνότητας πεδία που δημιουργούνται από τα ηλεκτροφόρα καλώδια και συσκευές που λειτουργούν με ηλεκτρισμό. Η κυριότερη βιολογική της επίδραση, είναι η αύξηση της θερμότητας των ιστών οι οποίοι υποβάλλονται σε αυτή κάτω από ορισμένες συνθήκες. Δεν προκαλεί ιοντισμό και οι έρευνες μέχρι σήμερα δεν έχουν τεκμηριώσει μία αιτιολογική σχέση μεταξύ του τύπου αυτού της ακτινοβολίας και του καρκίνου[2].



Εικόνα 1.2-Μη ιονίζουσα-ιονίζουσα ακτινοβολία

1.2 Η ενέργεια ραδιοσυχνοτήτων

Η ενέργεια ραδιοσυχνοτήτων είναι μια εναλλακτική ονομασία για τα ραδιοκύματα. Αποτελεί μια μορφή ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας που περιλαμβάνει κύματα με συχνότητα από περίπου 3000 κύματα ανά δευτερόλεπτο (3 kHz) μέχρι 300 δισεκατομμύρια κύματα ανά δευτερόλεπτο (300 GHz). Τα μικροκύματα αποτελούν ένα υποσύνολο των ραδιοκυμάτων με συχνότητες που κυμαίνονται περίπου μεταξύ των 300 εκατομμυρίων κυμάτων ανά δευτερόλεπτο (300 MHz) και των τριών δισεκατομμυρίων κυμάτων ανά δευτερόλεπτο (3 GHz). Το μήκος κύματος των ραδιοκυμάτων ποικίλει μεταξύ των τιμών 1mm και 10 km[3].

Τα ραδιοκύματα δημιουργούνται από την κίνηση ηλεκτρικών φορτίων στις κεραίες και αναφέρονται ως ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ραδιοσυχνοτήτων, γιατί «ακτινοβολούνται» ταξιδεύοντας στο χώρο απομακρυσμένα από την πηγή τους (κεραία). Τα ραδιοκύματα ανήκουν στην κατηγορία των μη ιονιζουσών ακτινοβολιών που σημαίνει ότι δεν μπορούν να διασπάσουν χημικούς δεσμούς ή να αποσπάσουν ηλεκτρόνια από άτομα προκαλώντας ιοντισμό της ύλης. Η κυριότερη βιολογική επίδραση των ραδιοκυμάτων είναι η αύξηση της θερμοκρασίας των ιστών που εκτίθενται σε αυτά υπό ορισμένες συνθήκες. Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι οι μέχρι σήμερα έρευνες δεν έχουν τεκμηριώσει σχέση αιτίου-αιτιατού μεταξύ αυτού του τύπου της ακτινοβολίας και του καρκίνου. Η επιστημονική έρευνα τα τελευταία χρόνια έχει επικεντρωθεί κυρίως στις επιπτώσεις από την χρήση ασύρματων

συσκευών, όπως το κινητό τηλέφωνο και λιγότερο στις επιπτώσεις από τις κεραίες. Οι μεγαλύτερες έρευνες έχουν γίνει σε μεγάλα δείγματα πληθυσμού σε χώρες όπως η Σουηδία και η Δανία (από τους πρώτους χρήστες κινητού τηλεφώνου) χωρίς να αποδειχθεί συσχέτιση της χρήσης κινητού τηλεφώνου με την παρουσία καρκίνων. Η πιο απαισιόδοξη πρόσφατη έρευνα (M J Schoemaker, A J Swerdlow, A Ahlbom, A Auvinen, K G Blaasaas, E Cardis, H Collatz Christensen, M Feychting, S J Hepworth, C Johansen, L Klæboe, S Lönn, P A McKinney, K Muir, J Raitanen, T Salminen, J Thomsen and T Tynes, Mobile phone use and risk of acoustic neuroma: results of the Interphone case-control study in five North European countries, *British Journal of Cancer* (2005)**93**,842–848.doi:10.1038/sj.bjc.6602764, 30 August 2005) μιλά για αυξημένη πιθανότητα παρουσίασης νευρινόματος (καλοήθης όγκος) στο ακουστικό νεύρο. Ωστόσο υπάρχουν από τότε μεγαλύτερης κλίμακας έρευνες που δεν το επιβεβαιώνουν.

Η ενέργεια των ραδιοκυμάτων χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο στις τηλεπικοινωνίες. Οι τηλεοπτικές και ραδιοφωνικές εκπομπές, τα ασύρματα τηλέφωνα, τα κινητά τηλέφωνα, τα συστήματα επικοινωνιών της αστυνομίας και της πυροσβεστικής, οι δορυφορικές επικοινωνίες πραγματοποιούνται μεταδίδοντας την ενέργεια ραδιοσυχνοτήτων. Άλλες πολύ σημαντικές χρήσεις περιλαμβάνουν τους φούρνους μικροκυμάτων, τα ραντάρ, βιομηχανικά συστήματα θέρμανσης και στεγανοποίησης και τα ιατρικά μηχανήματα.

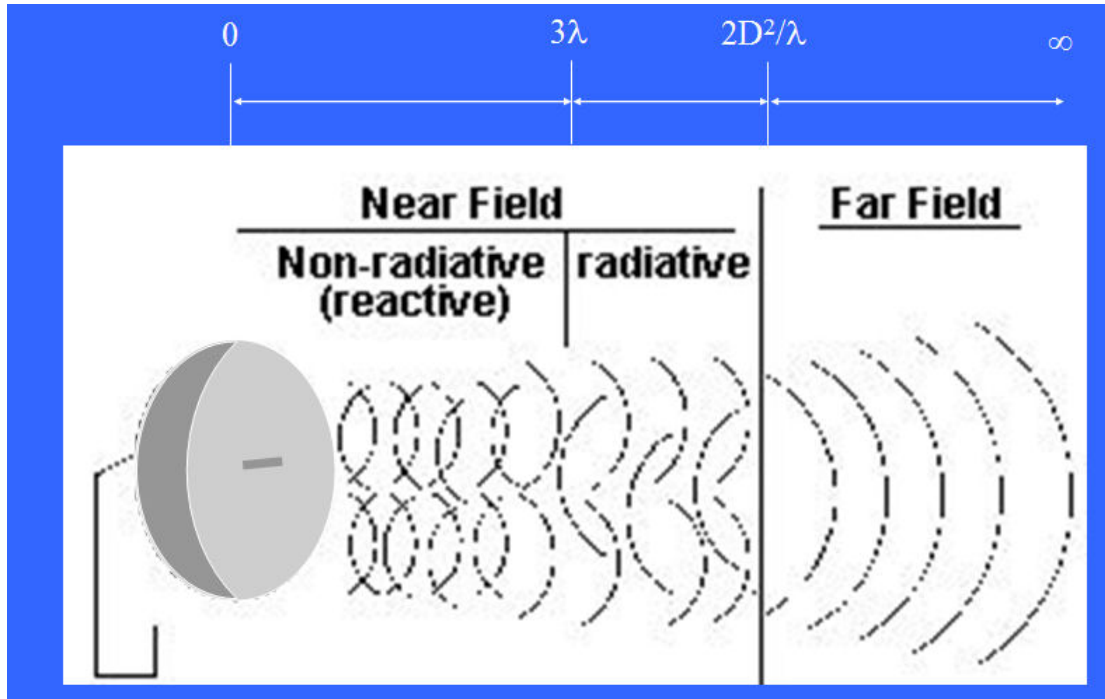
Τα ραδιοκύματα απαρτίζονται από ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία. Μπορούν να ακτινοβολούν προς όλες τις κατευθύνσεις για ευρυεκπομπή, προς σταθερούς δέκτες που βρίσκονται σε γνωστές θέσεις ή προς συγκεκριμένες περιοχές του χώρου όπου ενδεχομένως βρίσκεται ένας μετακινούμενος δέκτης. Η κεραία είναι συσκευή για να λαμβάνει και να εκπέμπει ραδιοκύματα.

Τα κύματα και τα πεδία ραδιοσυχνοτήτων διαθέτουν ηλεκτρικές και μαγνητικές συνιστώσες. Υπάρχουν διάφορα μεγέθη που ποσοτικοποιούν την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με το πιο ευρέως διαδεδομένο στις ραδιοσυχνότητες την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου (συμβολίζεται με E και μετριέται σε Βολτ ανά μέτρο). Άλλα μεγέθη είναι η ένταση του μαγνητικού πεδίου (συμβολίζεται με H και μετριέται σε Αμπέρ ανά μέτρο), η μαγνητική επαγωγή πεδίου (συμβολίζεται με B και μετριέται σε Τέσλα) και η πυκνότητα ροής ισχύος (συμβολίζεται με S και μετριέται σε Βατ ανά τετραγωνικό μέτρο). Η πυκνότητα ροής ισχύος ορίζεται ως η πυκνότητα

ανά μονάδα επιφάνειας. Η πυκνότητα ροής ισχύος μπορεί επίσης να εκφραστεί σε milliwatts (1 χιλιοστό του Watt) ανά τετραγωνικό εκατοστό (mW/cm^2) ή microwatts (1 εκατομμυριοστό του Watt) ανά τετραγωνικό εκατοστό ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$)[4].

Το μέγεθος που χρησιμοποιείται για την μέτρηση της ποσότητας των ραδιοκυμάτων που απορροφάται από το σώμα ονομάζεται Ρυθμός Ειδικής Απορρόφησης (Specific Absorption Rate-SAR). Εκφράζεται σε Watts/χιλιόγραμμα (W/kg) ή milliwatts/γραμμάριο (mW/g). Όταν ένα άτομο εκτίθεται σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μία ποσότητα της ενέργειας από την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία απορροφάται από το σώμα του. Ο Ρυθμός Ειδικής Απορρόφησης ή SAR εκφράζει την απορροφούμενη ενέργεια ανά μονάδα χρόνου και μάζας στα διάφορα μέρη του σώματος. Υπάρχει ο μέσος ολόσωμος SAR που εκφράζει τη μέση τιμή της απορροφούμενης ενέργειας σε όλο το σώμα και ο τοπικός SAR που αναφέρεται στην τοπική απορρόφηση σε μια περιοχή του σώματος (η περιοχή αυτή συνήθως ορίζεται σε 10g ιστού). Στην 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[4].

Σε συνθήκες επίπεδου κύματος, δηλαδή όταν η απόσταση από την κεραία είναι αρκετά μεγαλύτερη από τις διαστάσεις της κεραίας (Μακρινό πεδίο-Far field) η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου E , η ένταση του μαγνητικού πεδίου H και η πυκνότητα ισχύος S συνδέονται μεταξύ τους μέσω απλών μαθηματικών σχέσεων ($S=EH=E^2/377=377H^2$) και η γνώση του ενός μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση των άλλων δύο. Πολύ κοντά στις κεραίες σε σχέση με τις φυσικές τους διαστάσεις (Κοντινό πεδίο-near field) η ένταση του ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου δεν συνδέονται μεταξύ τους με σταθερή σχέση και η πυκνότητα ισχύος δεν ορίζεται[5]. Αυτό συμβαίνει γιατί στο κοντινό πεδίο το ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο δεν έχει ακόμη πολωθεί, όπως φαίνεται και στο επόμενο σχήμα.



Εικόνα 1.3-Κοντινό-μακρινό πεδίο

1.3 Ηλεκτρομαγνητικά πεδία και πιθανά βιολογικά αποτελέσματα

Ηλεκτρικά ρεύματα υπάρχουν φυσικά και μέσα στο ανθρώπινο σώμα και είναι απαραίτητα για τις φυσιολογικές σωματικές λειτουργίες. Τα βιολογικά αποτελέσματα της έκθεσης του ανθρώπινου σώματος και των κυττάρων του σε εξωτερικά πεδία ραδιοσυχνοτήτων εξαρτώνται κυρίως από την ένταση και την συχνότητα των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων. Στις ραδιοσυχνότητες, η ακτινοβολία απορροφάται μερικώς και διεισδύει σε μικρό μόνο βάθος μέσα στο σώμα. Η ενέργεια των ηλεκτρομαγνητικών αυτών πεδίων απορροφάται και προκαλεί την κίνηση των μορίων. Η τριβή και οι κρούσεις μεταξύ των ταχέως κινούμενων μορίων έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας. Πρόκειται για τα λεγόμενα θερμικά αποτελέσματα τα οποία ουσιαστικά σημαίνουν αύξηση της θερμοκρασίας και απορρόφηση ενέργειας. Ωστόσο, τα επίπεδα έντασης των πεδίων ραδιοσυχνοτήτων στα οποία εκτίθεται το κοινό στο καθημερινό περιβάλλον είναι πολύ ασθενέστερα σε σχέση με αυτά που απαιτούνται για να προκληθεί αξιοσημείωτη τοπική θέρμανση ή αύξηση της θερμοκρασίας του σώματος.

Πέρα όμως από τη μελέτη των θερμικών αποτελεσμάτων της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας υπάρχει σήμερα αυξημένο ενδιαφέρον για την μελέτη ύπαρξης και άλλων μη θερμικών μηχανισμών αλληλεπίδρασης των ραδιοκυμάτων με τους βιολογικούς ιστούς. Τα μη θερμικά αποτελέσματα δεν συνοδεύονται από ανιχνεύσιμη αύξηση της θερμοκρασίας και προκαλούνται από έκθεση σε χαμηλά επίπεδα ηλεκτρομαγνητικής ισχύος. Ορισμένες μελέτες έχουν δείξει ότι τα ραδιοκύματα μπορούν να προκαλέσουν, υπό ορισμένες συνθήκες, μη θερμικές βιολογικές επιδράσεις σε καλλιέργειες κυττάρων ή πειραματόζωα, χωρίς, ωστόσο αυτές οι επιδράσεις να σχετίζονται άμεσα με την πρόκληση κάποιας βλάβης στον ανθρώπινο οργανισμό. Γενικά υπάρχει αβεβαιότητα και ανάγκη για περαιτέρω διερεύνηση των μηχανισμών που σχετίζονται με μη θερμικά φαινόμενα και τη συσχέτιση τους με επιβλαβείς βιολογικές επιδράσεις και πιθανά αποτελέσματα στην υγεία. Σε καμία περίπτωση δεν θα ήταν σοφό να θεωρηθεί ότι είναι γνωστά όλα όσα αφορούν τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία. Οι άνθρωποι υποβάλλονται όλο και περισσότερο σε αυτά και είναι αβέβαιο το τι μπορεί να σημαίνει η έκθεση αυτή για το μέλλον τους.

Ο αριθμός των ερευνών που έχουν γίνει κατά τα τελευταία 30 χρόνια για την επίδραση των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων στον άνθρωπο είναι εκπληκτικός. Έχουν γίνει περισσότερες από 25.000 επιστημονικές δημοσιεύσεις, πράγμα που δεν έγινε για κανένα άλλο περιβαλλοντικό παράγοντα που πιθανόν να επηρεάζει την ανθρώπινη υγεία. Η έρευνα σε παγκόσμιο επίπεδο συνεχίζεται υπό τον συντονισμό του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (World Health Organization-WHO). Μερικές έρευνες έδειξαν συσχετισμούς μεταξύ έκθεσης σε μη ιονίζουσα ακτινοβολία και αυξημένου κινδύνου για καρκίνο ή άλλη επίδραση στην ανθρώπινη υγεία. Οι πλείστες έρευνες απέτυχαν να τεκμηριώσουν κάτι τέτοιο. Καμία δεν τεκμηρίωσε ότι η μη ιονίζουσα ακτινοβολία είναι αιτία καρκίνου. Ωστόσο, η παρούσα κατάσταση των ανθρωπίνων επιστημονικών γνώσεων δεν επιτρέπει εφησυχασμό. Παραμένουν πολλά άγνωστα μέχρι σήμερα, όπως για παράδειγμα το αποτέλεσμα των μακροχρόνιων επιδράσεων της έκθεσης στη μη ιονίζουσα ακτινοβολία, ποια είναι η συνολική ακτινοβολία από διάφορες πηγές που δέχονται οι άνθρωποι, ποιες συνέπειες πιθανόν να προκληθούν στα παιδιά που σήμερα είδη από μικρή ηλικία κατέχουν και χρησιμοποιούν κινητά τηλέφωνα. Συνεπώς οι φόβοι που δημιουργούνται λόγω ηλεκτρομαγνητικών πεδίων στο ευρύ κοινό είναι δικαιολογημένοι. Υπάρχουν πολλοί ιστορικοί και επίκαιροι λόγοι που προκαλούν

ανησυχίες. Από την άλλη όμως η έρευνα που έχει διεξαχθεί μέχρι τώρα σχετικά με τις επιδράσεις της ιονίζουσας και μη ιονίζουσας ακτινοβολίας παρέχει σημαντικό βαθμό ασφάλειας στον τομέα αυτό[2].

Τα βιολογικά αποτελέσματα αποτελούν μετρήσιμες αποκρίσεις του οργανισμού ή των κυττάρων σε κάποια διέγερση ή αλλαγή του περιβάλλοντος. Η αντίδραση του οργανισμού σε μεταβολές του περιβάλλοντος (π.χ η υπνηλία μέσα σε ένα αποπνικτικό δωμάτιο, η ταχυκαρδία μετά την κατανάλωση καφέ) είναι απολύτως φυσιολογική. Ωστόσο, ο οργανισμός ενδέχεται να μην διαθέτει επαρκείς μηχανισμούς ελέγχου ώστε να ανταποκρίνεται σε όλο το φάσμα των περιβαλλοντικών μεταβολών. Διαρκής περιβαλλοντική έκθεση, ακόμα και ασθενής, μπορεί να αποτελέσει κίνδυνο για την υγεία. Στον ανθρώπινο οργανισμό, ένα αρνητικό αποτέλεσμα για την υγεία προέρχεται από ένα βιολογικό αποτέλεσμα το οποίο προκαλεί ανιχνεύσιμη βλάβη στην υγεία ή στην καλή φυσική κατάσταση των εκτεθειμένων ατόμων. Η συμμόρφωση με τα όρια έκθεσης (βασικούς περιορισμούς και επίπεδα αναφοράς) που προτείνονται από τις εθνικές και τις διεθνείς οδηγίες συντελεί στον έλεγχο του κινδύνου από την έκθεση σε ραδιοκύματα, τα οποία μπορεί να είναι επιβλαβή για την υγεία του ανθρώπου.

Κεφάλαιο 2

2 Όρια προστασίας από ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία

2.1 Το κανονιστικό πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Το συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης, κατόπιν σχετικής εισήγησης της επιστημονικής επιτροπής καθοδήγησης επί διεπιστημονικών θεμάτων, υιοθέτησε τα όρια για την προστασία του κοινού της ICNIRP (International Commission on Non Ionizing Radiation Protection-Διεθνής Επιτροπή για την Προστασία από τις Μη Ιοντίζουσες Ακτινοβολίες), όπως αυτά παρουσιάστηκαν στις σχετικές κατευθυντήριες γραμμές της. 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[3].

Η ICNIRP ανακοινώνει οδηγίες που προτείνουν όρια για την έκθεση, τα οποία αναθεωρούνται και ενημερώνονται περιοδικά, όταν κρίνεται απαραίτητο. Οι πλέον πρόσφατες οδηγίες της ICNIRP δημοσιεύτηκαν το 1998 και έχουν υιοθετηθεί από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης CENELEC (Commission Europeen de Normalisation Electrotechnique) και το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο κατά τη σύνταξη του ισχύοντος προτύπου για την έκθεση σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία. Οι οδηγίες της ICNIRP αποτελούν τη βάση και της ελληνικής νομοθεσίας για την προστασία του κοινού από την έκθεση στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.

Οι οδηγίες της ICNIRP έχουν υιοθετηθεί ευρέως σε ολόκληρο τον κόσμο και έχουν μετατραπεί σε εθνικά πρότυπα ασφαλείας. Οι οδηγίες εφαρμόζονται τόσο σε κινητά τηλέφωνα όσο και σε θέσεις εγκατάστασης σταθμών βάσης και περιλαμβάνουν μεγάλα περιθώρια ασφαλείας, ώστε να παρέχουν επαρκή προστασία από όλες τις εξακριβωμένες επιπτώσεις για την υγεία από την έκθεση σε

ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ραδιοκυμάτων. Δεν υπάρχουν γνωστές επιβλαβείς επιπτώσεις στην υγεία σε επίπεδα έκθεσης χαμηλότερα από τα επίπεδα των οδηγίων. Επίσης, οι οδηγίες της ICNIRP για την έκθεση σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία καλύπτουν το εύρος συχνοτήτων της μη ιοντίζουσας ακτινοβολίας από 0 μέχρι 300GHz. Βασίζονται σε διεξοδικές επισκοπήσεις όλης της δημοσιευμένης επιστημονικής βιβλιογραφίας. Τα όρια της αποδεκτής έκθεσης έχουν καθοριστεί με βάση αποτελέσματα σχετικά με την βραχυπρόθεσμη έντονη έκθεση και όχι την μακροπρόθεσμη έκθεση, διότι η διαθέσιμη επιστημονική πληροφορία για τα μακροπρόθεσμα αποτελέσματα της έκθεσης σε χαμηλής έντασης ηλεκτρομαγνητικά πεδία θεωρείται ανεπαρκής για την θέσπιση ποσοτικών ορίων.

Οι οδηγίες της ICNIRP προτείνουν ένα σύστημα δύο επιπέδων ως προς τα όρια επιτρεπτής έκθεσης. Συγκεκριμένα καθορίζονται χαμηλότερα όρια για τον γενικό πληθυσμό και υψηλότερα για τους επαγγελματικά ασχολούμενους σε χώρους έκθεσης σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, καθώς οι δεύτεροι έχουν γνώση των κινδύνων και μπορούν να λάβουν τα ενδεικνυόμενα μέτρα προστασίας. Επίσης ορίζονται βασικοί περιορισμοί που αφορούν σε δοσιμετρικά μεγέθη αλλά και αντίστοιχα επίπεδα αναφοράς για τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία τα οποία μπορούν εύκολα να μετρηθούν.

Η ICNIRP αφού μελέτησε το σύνολο των δημοσιευμένων ερευνών σχετικά με τις βιολογικές επιδράσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας ραδιοσυχνοτήτων, κατέληξε ότι οι μόνες επιδράσεις που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως βάση για την θέσπιση ορίων έκθεσης των ανθρώπων είναι αυτές που οφείλονται στην αύξηση της θερμοκρασίας των ιστών από την απορρόφηση της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας από το σώμα.. Συγκεκριμένα, θεωρήθηκε ότι οι δυσμενείς βιολογικές επιδράσεις προκύπτουν με την αύξηση της θερμοκρασίας κατά 1°C. Η αύξηση αυτή γίνεται με την απορρόφηση ενέργειας από το ανθρώπινο σώμα με ρυθμό μεγαλύτερο από 4W/kg, δηλαδή για έναν άνθρωπο 80kg με ρυθμό 320W. Λαμβάνοντας υπόψη ότι ενδεχομένως κάποιες ομάδες πληθυσμού να είναι πιο ευπαθείς και ότι δεν αποκλείεται η έκθεση να λαμβάνει χώρα σε ήδη επιβαρυσμένους χώρους με αυξημένη θερμοκρασία ή υγρασία ή κατά την διάρκεια έντονης άσκησης, επέλεξαν ένα συντελεστή ασφαλείας 50 στη θέσπιση των ορίων έκθεσης του κοινού. Έτσι, προέκυψε ο βασικός περιορισμός για την έκθεση του κοινού σε 0.08W/kg, δηλαδή για έναν άνθρωπο 80kg το όριο του ρυθμού απορρόφησης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας είναι 6.4W. Ταυτόχρονα για να μην υπάρχουν περιοχές του σώματος

στις οποίες να εμφανίζεται τοπικά υψηλή απορρόφηση ενέργειας προβλέπονται οι περιορισμοί και για τον μέγιστο τοπικό ρυθμό απορρόφησης σε 2W/kg για το κεφάλι και τον κορμό του σώματος και 4W/kg στα άκρα.[6] Σε παρόμοια συμπεράσματα και όρια για την έκθεση στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία έχουν καταλήξει και άλλοι διεθνείς επιστημονικοί φορείς, όπως το IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers-Ίδρυμα Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών), το NRPB (National Radiological Protection Board-Εθνικό Συμβούλιο Ραδιολογικής Προστασίας) της Μεγάλης Βρετανίας, κ.ά.

Φυσικό μέγεθος	Όρια Ευρωπαϊκής Ένωσης (W/kg)
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 2.1-Βασικοί περιορισμοί της Σύστασης της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την απορροφούμενη ενέργεια στο σώμα ενός ανθρώπου που κατατάσσεται στο γενικό κοινό από την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία στην περιοχή των ραδιοσυχνοτήτων (περιλαμβάνονται και οι συχνότητες που χρησιμοποιούνται στα συστήματα κινητής τηλεφωνίας)

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα όρια αυτά ισχύουν όταν η έκθεση στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία είναι συνεχής και μόνιμη. Οι τιμές των ορίων αναφέρονται ως χρονικός μέσος όρος οποιουδήποτε εξαλέπτου έκθεσης. Δηλαδή, για έκθεση μικρής διάρκειας είναι δυνατόν να εκτεθεί κάποιος και σε μεγαλύτερες τιμές από αυτές των ορίων, αρκεί ο μέσος όρος της έκθεσης στην διάρκεια οποιουδήποτε εξαλέπτου να μην υπερβαίνει το όριο. Επίσης οι τιμές των ορίων υπολογίζονται ως μέση τιμή σε μάζα 10g συνεχούς ιστού.

Όταν ένας άνθρωπος εκτίθεται στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, η απορρόφηση της ενέργειας εξαρτάται από την ένταση και τη συχνότητα της ακτινοβολίας και πολλούς άλλους παράγοντες που έχουν να κάνουν με τα χαρακτηριστικά του σώματός του (μέγεθος, βάρος, στάση κλπ) αλλά και τις συνθήκες

έκθεσης (συχνότητα, πόλωση, κατεύθυνση από όπου έρχεται η ακτινοβολία, αν είναι τοπική ή ολόσωμη έκθεση κ.α.). Προκειμένου να υπάρχουν όρια που να εξασφαλίζουν την προστασία των ανθρώπων ανεξαρτήτως των χαρακτηριστικών του σώματός τους προέκυψαν τα επίπεδα αναφοράς που προϋποθέτουν συνθήκες μέγιστης σύζευξης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με το εκτιθέμενο σε αυτή άτομο, παρέχοντας έτσι έναν επιπλέον συντελεστή ασφαλείας. Τα επίπεδα αναφοράς είναι μεγέθη που περιγράφουν την ένταση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (ένταση ηλεκτρικού πεδίου, ένταση μαγνητικού πεδίου και πυκνότητα ισχύος) και μπορούν να συγκριθούν με μετρηθείσες τιμές. Η τήρηση των επιπέδων αναφοράς εξασφαλίζει σε κάθε περίπτωση και την τήρηση των βασικών περιορισμών για την απορροφούμενη ενέργεια. Επειδή οι συχνότητες που χρησιμοποιούνται στα διάφορα συστήματα κινητής τηλεφωνίας είναι διαφορετικές, οι τιμές των επιπέδων αναφοράς δεν είναι ακριβώς οι ίδιες αλλά διαφέρουν ανάλογα με το σύστημα κινητής τηλεφωνίας[4].

Εφαρμογή	Ένταση Ηλεκτρικού Πεδίου (V/m)	Ένταση Μαγνητικού Πεδίου (A/m)	Πυκνότητα Ισχύος Ισοδύναμου Επίπεδου ΗΜ Κύματος (W/m^2)
Κινητή τηλεφωνία 900 MHz (GSM)	41	0.11	4.5
Κινητή τηλεφωνία 1800 MHz (DCS)	58	0.16	9
Κινητή τηλεφωνία 2100 MHz (UMTS)	61	0.16	10
Ασύρματα δίκτυα 2.4 GHz (WiFi)	61	0.16	10
Ασύρματα δίκτυα 3.5 GHz (WiMax)	61	0.16	10

Πίνακας 2. 2-Επίπεδα αναφοράς για τον γενικό πληθυσμό σε συνήθεις εφαρμογές ασυρμάτων δικτύων.

2.2 Όρια για τους επαγγελματικά ασχολούμενους σε χώρους έκθεσης σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία

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.

Το 2004, η Ευρωπαϊκή Ένωση υιοθέτησε μία οδηγία- Οδηγία 2004/40/EC η οποία περιλαμβάνει τα ελάχιστα μέτρα ασφαλείας του επαγγελματικά εκτεθειμένου πληθυσμού σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία. Η οδηγία αυτή περιέχει και συγκεκριμένες πρακτικές εφαρμογές έτσι ώστε να επιτευχθεί συμμόρφωση με τα όρια που προτείνει η ICNIRP για τον επαγγελματικά εκτεθειμένο πληθυσμό. Η οδηγία ορίζει ως ημερομηνία συμμόρφωσης των βιομηχανιών με τα προτεινόμενα όρια το 2008 με αποτέλεσμα οι βιομηχανίες να έρχονται αντιμέτωπες με πρακτικά θέματα έτσι ώστε να καταφέρουν να περιορίσουν τα επίπεδα ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στο χώρο της εργασίας. Ένα θέμα που έχει προκαλέσει έντονο προβληματισμό είναι αν θα πρέπει οι εγκυμονούσες γυναίκες να δέχονται μεγαλύτερη προστασία στο χώρο εργασίας τους και αυτό γιατί αν δεν παρθούν ειδικά όρια το έμβρυο δέχεται ακτινοβολία η οποία ξεπερνά τα επιτρεπτά όρια του γενικού πληθυσμού[7].

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω θεωρείται ότι οι δυσμενείς βιολογικές επιδράσεις προκύπτουν με την αύξηση της θερμοκρασίας κατά 1°C. Πρόκειται για θερμική επίδραση που παρατηρείται για Ρυθμό Ειδικής Απορρόφησης ίσο με 4W/kg σωματικού βάρους, υπολογισμένο ως μέση τιμή σε ολόκληρο το σώμα. Για να συμπεριλάβει επιστημονικές αβεβαιότητες, αυτό το κατώτατο επίπεδο κατωφλίου

μειώθηκε περαιτέρω για να προκύψουν οι τιμές των ορίων για την ανθρώπινη έκθεση (βασικοί περιορισμοί). Θέτοντας ένα συντελεστή ασφαλείας ίσο με 10, καθορίστηκε η μέγιστη επιτρεπτή τιμή του Ρυθμού Ειδικής Απορρόφησης για τον άνθρωπο-επαγγελματική έκθεση σε 0.4 W/kg. Με παρόμοιο σκεπτικό, προέκυψαν αντίστοιχα όρια για τον περιορισμό της έκθεσης τμημάτων του ανθρώπινου σώματος σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία ΡΣ

Φυσικό μέγεθος	Όρια Ευρωπαϊκής Ένωσης (W/kg)
Μέσος ρυθμός ειδικής απορρόφησης (SAR) ολόκληρου του σώματος	0.4
Τοπικός ρυθμός ειδικής απορρόφησης (SAR) στο κεφάλι και στον κορμό	10
Τοπικός ρυθμός ειδικής απορρόφησης (SAR) στα άκρα	20

Πίνακας 2.3- Βασικοί περιορισμοί της Σύστασης της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την απορροφούμενη ενέργεια στο σώμα ενός ανθρώπου που κατατάσσεται στο εργαζόμενο πληθυσμό που εκτίθεται σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία στην περιοχή των ραδιοσυχνοτήτων (περιλαμβάνονται και ο οι συχνότητες που χρησιμοποιούνται στα συστήματα κινητής τηλεφωνίας)

Εφαρμογή	Ένταση Ηλεκτρικού Πεδίου (V/m)	Ένταση Μαγνητικού Πεδίου (A/m)	Πυκνότητα Ισχύος Ισοδύναμου Επίπεδου ΗΜ Κύματος (W/m ²)
Κινητή τηλεφωνία 900 MHz (GSM)	90	0.24	22.5
Κινητή τηλεφωνία 1800 MHz (DCS)	127	0.34	45
Κινητή τηλεφωνία 2100 MHz (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

Πίνακας 2.4-Επίπεδα αναφοράς για τους εργαζομένους σε συνήθεις εφαρμογές ασυρμάτων δικτύων

2.3 Τα όρια στην Ελλάδα

Σύμφωνα με την Ελληνική νομοθεσία στη χώρα μας υπάρχουν όρια για την έκθεση του κοινού σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Τα όρια αυτά βασίστηκαν σε σχετική Σύσταση της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Μάλιστα τα ελληνικά όρια είναι αυστηρότερα σε σχέση με τα οριζόμενα στην προαναφερθείσα Σύσταση της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Ελληνική Νομοθεσία

- Κοινή Απόφαση υπ' αριθ. 53571/3839 των Υπουργών Ανάπτυξης, ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ. Υγείας και Πρόνοιας, Μεταφορών και Επικοινωνιών (ΦΕΚ 1105/Β/6-9-2000) με θέμα «Μέτρα προφύλαξης του κοινού από την λειτουργία εγκατεστημένων κεραιών στην ξηρά» με την οποία εισάγονται στην ελληνική νομοθεσία τα όρια της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την έκθεση του κοινού σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και ορίζονται μηχανισμοί ελέγχου για τα επίπεδα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που εκπέμπονται από τους σταθμούς κεραιών όλων των ειδών[4].

- Νόμος 3431 (ΦΕΚ 13/Α/3-2-2006) «Περί ηλεκτρονικών επικοινωνιών και άλλες διατάξεις», άρθρο 31 «Ρυθμίσεις σχετικά με την εγκατάσταση κεραιών». Σύμφωνα με το άρθρο τα Ελληνικά όρια για την έκθεση του κοινού τίθενται στο 70% των ορίων της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τους σταθμούς κεραιών που βρίσκονται σε απόσταση μεγαλύτερη των 300 μέτρων από την περίμετρο των κτιριακών εγκαταστάσεων σχολείων βρεφονηπιακών σταθμών, νοσοκομείων και γηροκομείων και στο 60% των ορίων της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τους σταθμούς κεραιών που βρίσκονται σε απόσταση μικρότερη των 300 μέτρων από τις εγκαταστάσεις αυτές[8].

Ευρωπαϊκή Νομοθεσία

- Σύσταση του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης «Περί του περιορισμού της έκθεσης του κοινού σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία (0Hz-300GHz)», L 199 (1999/519/EC), 30-7-1999.[6]

Τα όρια της ICNIRP βασίστηκαν στην επιστημονική έρευνα και προέκυψαν εφαρμόζοντας μεγάλους συντελεστές ασφαλείας (της τάξης του 50 για το γενικό πληθυσμό και του 10 για τους εργαζόμενους, όπως προαναφέρθηκε). Η εφαρμογή των επιπλέον συντελεστών μείωσης στην Ελληνική Νομοθεσία δεν προκύπτει από τα επιστημονικά δεδομένα. Ήταν, όμως, μία καθαρά πολιτική απόφαση που βασίστηκε στα πλαίσια της «αρχής της προφύλαξης», δηλαδή στην λήψη μέτρων χωρίς να είναι σίγουρο ότι υπάρχει κάποιος κίνδυνος. Η μείωση των ορίων στην Ελληνική Νομοθεσία δεν θα πρέπει να κάμψει την εμπιστοσύνη απέναντι στην επιστημονική κοινότητα και στα όρια που έχουν επιστημονική βάση. Παρόμοιες κινήσεις έχουν γίνει και σε άλλες χώρες όπως στην Ιταλία (γενικό όριο 6V/m), στο Σάλτσμπουργκ της Αυστρίας (παγκόσμια μοναδική περίπτωση με όριο 0,61 V/m) και στο Παρίσι. Σε όλες αυτές τις περιπτώσεις η μείωση των ορίων έγινε χωρίς επιστημονικά κριτήρια μετά από πιέσεις των πολιτών. Ειδικά στην περίπτωση του Σάλτσμπουργκ η μείωση συνοδεύτηκε από συμφωνία με τις εταιρείες κινητής τηλεφωνίας της Αυστρίας ότι θα μπορούν χωρίς ειδική διαδικασία (αδειοδότηση) να τοποθετούν κεραίες κινητής τηλεφωνίας όπου θεωρούν ότι πρέπει να τοποθετηθούν αυτές με τον περιορισμό ότι παντού, σε περιοχές που ζει και κινείται ο γενικός πληθυσμός η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου θα πρέπει να είναι λιγότερο από 0,61 V/m. Το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι να υπάρχουν σήμερα στην επαρχία του Σάλτσμπουργκ παρά πολλές κεραίες (ανάπτυξη δικτύου σε μικροκυψέλες), οι οποίες όμως εκπέμπουν πολύ χαμηλά ώστε να τηρούνται τα όρια

Η Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (ΕΕΑΕ) είναι αρμόδια για την προστασία του πληθυσμού και του περιβάλλοντος τόσο από τις ιοντίζουσες όσο και από τις τεχνητά παραγόμενες μη ιοντίζουσες ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες. Είναι δηλαδή ο εθνικός φορέας για την ασφαλή χρήση όλων των ειδών ακτινοβολιών. Το Γραφείο Μη Ιοντιζουσών Ακτινοβολιών της Ελληνικής Επιτροπής Ατομικής Ενέργειας είναι στελεχωμένο με εξειδικευμένους επιστήμονες σε θέματα μετρήσεων και προστασίας του κοινού από τις μη ιοντίζουσες ακτινοβολίες και είναι άρτια εξοπλισμένο με σύγχρονα συστήματα για την μέτρηση αυτών[4].

Όσον αφορά τις θερματικές συσκευές, η ICNIRP έχει θεσπίσει ως όριο για το SAR στο κεφάλι από τα κινητά τηλέφωνα την τιμή 2W ανά χιλιόγραμμο μάζας, όταν λαμβάνεται ο μέσος όρος σε 10 γραμμάρια μάζας συνεχούς ιστού στο κεφάλι για μια περίοδο 6 λεπτών. Αυτό το όριο έχει υιοθετήσει και η Ευρωπαϊκή Ένωση. Σύμφωνα

με την Ελληνική Νομοθεσία, οι βασικοί περιορισμοί είναι αυστηρότεροι, καθώς αντιστοιχούν στο 70% και στο 60% των τιμών της ICNIRP.

Όσον αφορά την Ελληνική Νομοθεσία θα πρέπει να δοθούν οι εξής διευκρινίσεις:

- Στην Κ.Υ.Α με θέμα «Μέτρα προφύλαξης του κοινού από την λειτουργία εγκατεστημένων κεραιών στην ξηρά» αλλά και στην σύσταση της Ευρωπαϊκής Ένωσης το πλαίσιο προστασίας προβλέπει βασικούς περιορισμούς και επίπεδα αναφοράς για την έκθεση στα ηλεκτρομαγνητικά πεδία, υιοθετώντας τις κατευθυντήριες γραμμές της Διεθνούς Επιτροπής Προστασίας από Μη Ιοντίζουσες Ακτινοβολίες, ICNIRP. 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.

- 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 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 προέρχονται από τους βασικούς περιορισμούς, υπό συνθήκες μέγιστης σύζευξης του πεδίου με το εκτιθέμενο σε αυτό άτομο, παρέχοντας έτσι το μέγιστο βαθμό προστασίας.

- Τα επίπεδα αναφοράς προβλέπονται για λόγους σύγκρισης με τις τιμές των μετρούμενων μεγεθών όσον αφορά την έκθεση και εάν οι μετρούμενες τιμές είναι μεγαλύτερες από τα επίπεδα αναφοράς, αυτό δεν σημαίνει αυτομάτως και υπέρβαση των βασικών περιορισμών. Στην περίπτωση αυτή, θα εκτιμάται κατά πόσο τα επίπεδα έκθεσης είναι χαμηλότερα από τους βασικούς περιορισμούς.

- Σύμφωνα με την κείμενη νομοθεσία η Ελλάδα συγκαταλέγεται στις χώρες που έχουν θεσπίσει από τα αυστηρότερα όρια στην Ευρώπη.

- 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 τη 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 η μη υπέρβαση των βασικών περιορισμών, ενώ η υπέρβαση των επιπέδων αναφοράς, δεν συνεπάγεται κατ' ανάγκη και την υπέρβαση των βασικών περιορισμών[9].

- Στους πίνακες 2.6 και 2.7 παρουσιάζονται οι βασικοί περιορισμοί, όπως προκύπτουν μετά την εφαρμογή των συντελεστών μείωσης 70% και 60%, αντίστοιχα, στους αντίστοιχους βασικούς περιορισμούς του άρθρου 2 της υπ' αριθμ.53571/3839/6.9.2000 Κ.Υ.Α. Δεν παρουσιάζονται βασικοί περιορισμοί για συχνότητες μικρότερες από 1 kHz, καθώς δεν υπάρχουν και δεν νοούνται σταθμοί κεραιών που να εκπέμπουν σε τόσο χαμηλές συχνότητες.

- Τα επίπεδα αναφοράς που περιγράφουν εντάσεις πεδίων προκύπτουν έτσι ώστε να τηρούνται οι βασικοί περιορισμοί. Δηλαδή, τα επίπεδα αναφοράς για τα επίπεδα πεδίων προκύπτουν με την εφαρμογή του συντελεστή μείωσης 70% ή 60% (ανάλογα με την περίπτωση), είτε:

- απευθείας στα φυσικά μεγέθη των εντάσεων των πεδίων (δηλαδή στα μεγέθη της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου, E , και της έντασης του μαγνητικού πεδίου, H , ή της μαγνητικής επαγωγής, B) όταν πρόκειται για την τήρηση των βασικών περιορισμών που αφορούν επαγόμενα ρεύματα ή ηλεκτροδιεγερτικές επιδράσεις ή
- στα τετράγωνα των μεγεθών που περιγράφουν εντάσεις πεδίων (δηλαδή στο τετράγωνο της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου, E^2 , στο τετράγωνο της έντασης του μαγνητικού πεδίου, H^2 , ή της μαγνητικής επαγωγής, B^2) και απευθείας στην ισοδύναμη πυκνότητα ισχύος επίπεδου κύματος, S_{eq} , όταν πρόκειται για την τήρηση των βασικών περιορισμών που αφορούν θερμικές επιδράσεις.

- Στους πίνακες 2.8 και 2.9 παρουσιάζονται τα επίπεδα αναφοράς για τα επίπεδα πεδίων όπως προκύπτουν μετά την εφαρμογή των συντελεστών μείωσης 70% και 60%, αντίστοιχα, στους αντίστοιχους βασικούς περιορισμούς. Δεν παρουσιάζονται βασικοί περιορισμοί για συχνότητες μικρότερες από 1kHz, καθώς δεν υπάρχουν και δεν νοούνται σταθμοί κεραιών που να εκπέμπουν σε τόσο χαμηλές συχνότητες. Στο

σημείο αυτό θα γίνει μια ειδική αναφορά στην περιοχή συχνοτήτων 100kHz-10MHz. Για την προστασία του κοινού από τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία στην περιοχή συχνοτήτων 100kHz-10MHz προβλέπονται βασικοί περιορισμοί τόσο για την πυκνότητα του επαγόμενου ρεύματος όσο και για τους ρυθμούς ειδικής απορρόφησης ενέργειας (SAR) για την πρόληψη από ηλεκτροδιεγερτικές επιδράσεις και θερμικές επιδράσεις αντίστοιχα. Τα επίπεδα αναφοράς για την περιοχή συχνοτήτων 100kHz-10MHz είναι οι ελάχιστες RMS τιμές των ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων που προκύπτουν ώστε να τηρούνται οι βασικοί περιορισμοί τόσο για τις ηλεκτροδιεγερτικές όσο και τις θερμικές επιδράσεις, θεωρώντας ημιτονοειδώς μεταβαλλόμενα πεδία. Το επίπεδο αναφοράς για την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου ορίζεται σε 87V/m σε ότι αφορά τις ηλεκτροδιεγερτικές επιδράσεις και σε $87/\sqrt{f}$ V/m (f σε MHz) σε ότι αφορά τις θερμικές επιδράσεις. Ομοίως, το επίπεδο αναφοράς για την ένταση του μαγνητικού πεδίου ορίζεται σε 5A/m σε ότι αφορά τις ηλεκτροδιεγερτικές επιδράσεις και σε $0.73/f$ A/m (f σε MHz) σε ότι αφορά τις θερμικές επιδράσεις.

Στα παραπάνω επίπεδα αναφοράς δεν έχουν εφαρμοστεί οι συντελεστές μείωσης 60 και 70% που προβλέπονται στον Νόμο 3431. Σε σχέση με την εφαρμογή των συντελεστών αυτών, αναφέρεται ότι εφαρμόζονται ως έχουν στα επίπεδα αναφοράς για τις εντάσεις των πεδίων όταν θεωρούνται οι ηλεκτροδιεγερτικές επιδράσεις και με την τετραγωνική τους ρίζα όταν θεωρούνται οι θερμικές επιδράσεις. Στον ακόλουθο πίνακα παρατίθενται τα επίπεδα αναφοράς για την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου E, και την ένταση του μαγνητικού πεδίου H, όπως προκύπτουν από την ΚΥΑ μετά την εφαρμογή των συντελεστών 60% και 70% στους βασικούς περιορισμούς, τα οποία και θα πρέπει να ελέγχονται ταυτόχρονα σε κάθε περίπτωση.

Συντελεστής	Ηλεκτροδιεγερτικές επιδράσεις		Θερμικές επιδράσεις	
	E(V/m)	H(A/m)	E(V/m)	H(A/m)
100%	87	5	$87/\sqrt{f}$	$0.73/f$
70%	60.9	3.5	$72.8/\sqrt{f}$	$0.611/f$
60%	52.2	3	$67.4/\sqrt{f}$	$0.565/f$

Πίνακας 2.5-Επίπεδα αναφοράς για την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου E και την ένταση του μαγνητικού πεδίου H μετά την εφαρμογή των συντελεστών 60% και 70% στους βασικούς περιορισμούς (f σε MHz).

- Στους πίνακες 2.10 και 2.11 παρουσιάζονται τα επίπεδα αναφοράς για τα ρεύματα επαφής στα αγωγίμα σώματα όπως προκύπτουν μετά την εφαρμογή των συντελεστών μείωσης 70% και 60%, αντίστοιχα, στους αντίστοιχους βασικούς περιορισμούς. Δεν παρουσιάζονται βασικοί περιορισμοί για συχνότητες μικρότερες από 1kHz, καθώς δεν υπάρχουν και δεν νοούνται σταθμοί κεραιών που να εκπέμπουν σε τόσο χαμηλές συχνότητες. Το επίπεδο αναφοράς στη ζώνη συχνοτήτων 10MHz-110MHz για το ρεύμα διαμέσου οποιουδήποτε μέλους του σώματος για τον περιορισμό του εντοπισμένου SAR ανά οποιαδήποτε εξάλεπτη περίοδο, καθορίζεται σε 37.6mA για συντελεστή μείωσης 70% και σε 34.9 mA για συντελεστή μείωσης 60%.

- Για τις περιπτώσεις που εξετάζονται κεραιοδιατάξεις που εκπέμπουν σε διαφορετικές περιοχές συχνοτήτων (π.χ GSM-900 και DCS-1800) ή όταν υπάρχουν γειτονικοί σταθμοί κεραιών και εκπέμπουν σε διαφορετικές περιοχές συχνοτήτων, τότε θα εφαρμόζονται όσα αναφέρονται στο άρθρο 4 της υπ' αριθ. 53571/3839 (ΦΕΚ 1105/Β/6-9-2000) ΚΥΑ. Στις συνήθεις περιπτώσεις που όλες οι κεραιοδιατάξεις εκπέμπουν σε συχνότητες μεγαλύτερες από 10 MHz, το άρθρο 4 ικανοποιείται εάν ισχύει η εξής ανισότητα για τον δείκτη έκθεσης πηγών πολλαπλών συχνοτήτων, ΔΕΠΠΣ:

$$\Delta\text{ΕΠΠΣ} = \sum_f \frac{S_f}{S_{f,\max}} \leq 1$$

Όπου S_f η ισοδύναμη πυκνότητα ισχύος στη συχνότητα f που προσπίπτει στην υπό εξέταση θέση και $S_{f,\max}$ το επίπεδο αναφοράς για την ισοδύναμη πυκνότητα ισχύος στη συχνότητα f , μετά την εφαρμογή του κατάλληλου συντελεστή μείωσης[10].

- Σε ότι αφορά την έκθεση σε πηγές με πολλαπλές συχνότητες ισχύουν τα εξής:
 - Στην περίπτωση συντελεστή μείωσης 70% χρησιμοποιούνται οι τιμές των πινάκων 2.6, 2.8 και 2.10 και οι τιμές για τα a , b , c , d και $I_{L,k}$ που δίνονται στον πίνακα 2.12.
 - Στην περίπτωση συντελεστή μείωσης 60% χρησιμοποιούνται οι τιμές των πινάκων 2.7, 2.9 και 2.11 και τιμές για τα a , b , c , d και $I_{L,k}$ που δίνονται στον πίνακα 2.13.

Διευκρινίζεται ότι οι τιμές των πεδιακών εντάσεων, E και H , που χρησιμοποιούνται στις σχέσεις για τις ηλεκτροδιεγερτικές επιδράσεις αφορούν στιγμιαίες τιμές RMS,

ενώ οι τιμές των E^2 και H^2 στις σχέσεις για τις θερμικές επιδράσεις αφορούν μέσες τιμές.

Ζώνη Συχνοτήτων	Πυκνότητα ρεύματος (rms) (mA/m ²)	Μέσος ρυθμός ειδικής απορρόφησης για όλο το σώμα (W/kg)	Τοπικός ρυθμός ειδικής απορρόφησης (κεφάλι και κορμός) (W/kg)	Τοπικός ρυθμός ειδικής απορρόφησης (άκρα) (W/kg)	Πυκνότητα Ισχύος (W/m ²)
1kHz-100kHz	f/714	-	-	-	-
100kHz-10MHz	f/714	0.056	1.4	2.8	-
10MHz-10GHz	-	0.056	1.4	2.8	-
10GHz-300GHz	-	-	-	-	7

Πίνακας 2.6 -Βασικοί περιορισμοί στην περιοχή συχνοτήτων 1kHz-300GHz, όπως προκύπτουν μετά την εφαρμογή του συντελεστή μείωσης 70%, που ορίζεται στην παράγραφο 9 του άρθρου 31 του Νόμου 3431 (ΦΕΚ 13/Α/03-02-2006), στους αντίστοιχους βασικούς περιορισμούς του άρθρου 2 της υπ' αριθμ. 53571/3839/6.9.2000 ΚΥΑ (f είναι η συχνότητα σε Hz).

Ζώνη Συχνοτήτων	Πυκνότητα ρεύματος (rms) (mA/m ²)	Μέσος ρυθμός ειδικής απορρόφησης για όλο το σώμα (W/kg)	Τοπικός ρυθμός ειδικής απορρόφησης (κεφάλι και κορμός) (W/kg)	Τοπικός ρυθμός ειδικής απορρόφησης (άκρα) (W/kg)	Πυκνότητα Ισχύος (W/m ²)
1kHz-100kHz	f/833	-	-	-	-
100kHz-10MHz	f/833	0.048	1.2	2.4	-
10MHz-10GHz	-	0.048	1.2	2.4	-
10GHz-300GHz	-	-	-	-	6

Πίνακας 2.7 -Βασικοί περιορισμοί στην περιοχή συχνοτήτων 1kHz-300GHz, όπως προκύπτουν μετά την εφαρμογή του συντελεστή μείωσης 60%, που ορίζεται στην παράγραφο 10 του άρθρου 31 του Νόμου 3431 (ΦΕΚ 13/Α/03-02-2006), στους αντίστοιχους βασικούς περιορισμούς του

άρθρου 31 του Νόμου 3431 (ΦΕΚ 13/Α/03-02-2006), στους αντίστοιχους βασικούς περιορισμούς του άρθρου 2 της υπ' αριθμ. 53571/3839/6.9.2000 ΚΥΑ (f είναι η συχνότητα σε Hz).

Ζώνη Συχνοτήτων	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου, E (V/m)	Ένταση μαγνητικού πεδίου, H (A/m)	Μαγνητική επαγωγή πεδίου, B (μT)	Ισοδύναμη πυκνότητα ισχύος επίπεδου κύματος, S_{eq} (W/m ²)
1-3kHz	175/f	3.5	4.375	-
3-174kHz	60.9	3.5	4.375	-
0.174-1.43MHz	60.9	0.61/f	0.77/f	-
1.43-10MHz	72.8/f	0.61/f	0.77/f	-
10-400MHz	23.4	0.061	0.077	1.4
400-2000MHz	1.15f	0.0031f	0.0038f	f/286
2-300GHz	51	0.134	0.167	7

Πίνακας 2.8 -Επίπεδα αναφοράς για τα επίπεδα πεδίων στην περιοχή συχνοτήτων 1kHz-300GHz, όπως προκύπτουν μετά την εφαρμογή του συντελεστή μείωσης 70%, που ορίζεται στην παράγραφο 9 του άρθρου 31 του Νόμου 3431 (ΦΕΚ 13/Α/03-02-2006), στους βασικούς περιορισμούς του άρθρου 2 της υπ' αριθμ. 53571/3839/6.9.2000 ΚΥΑ (f είναι η συχνότητα στις μονάδες Hz, kHz ή MHz που αναγράφονται στη στήλη στη ζώνη συχνοτήτων, στην εκάστοτε γραμμή του πίνακα).

Ζώνη Συχνοτήτων	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου, E (V/m)	Ένταση μαγνητικού πεδίου, H (A/m)	Μαγνητική επαγωγή πεδίου, B (μT)	Ισοδύναμη πυκνότητα ισχύος επίπεδου κύματος, S_{eq} (W/m ²)
1-3kHz	150/f	3	3.75	-
3-188kHz	52.2	3	3.75	-
0.188-1.66MHz	52.2	0.565/f	0.71/f	-
1.66-10MHz	67.3/f	0.565/f	0.71/f	-
10-400MHz	21.7	0.0565	0.071	1.2
400-2000MHz	1.065f	0.00287f	0.00356f	f/333
2-300GHz	47.2	0.124	0.155	6

Πίνακας 2.9 -Επίπεδα αναφοράς για τα επίπεδα πεδίων στην περιοχή συχνοτήτων 1kHz-300GHz, όπως προκύπτουν μετά την εφαρμογή του συντελεστή μείωσης 60%, που ορίζεται στην παράγραφο 10 του άρθρου 31 του Νόμου 3431 (ΦΕΚ 13/Α/03-02-2006), στους βασικούς περιορισμούς του άρθρου 2 της υπ'αριθμ. 53571/3839/6.9.2000 ΚΥΑ (f είναι η συχνότητα στις μονάδες Hz, kHz ή MHz που αναγράφονται στη στήλη στη ζώνη συχνοτήτων, στην εκάστοτε γραμμή του πίνακα).

Ζώνη Συχνοτήτων	Μέγιστο ρεύμα επαφής
1-2.5kHz	0.35
2.5-100kHz	0.14f
0.1-110MHz	14

Πίνακας 2.10 -Επίπεδα αναφοράς για τα ρεύματα επαφής από αγωγίμα σώματα στην περιοχή συχνοτήτων 1kHz-110MHz, όπως προκύπτουν μετά την εφαρμογή του συντελεστή μείωσης 70%, όπως ορίζεται στην παράγραφο 9 του άρθρου 31 του Νόμου 3431 (ΦΕΚ 13/Α/03-02-2006), στους βασικούς περιορισμούς του άρθρου 2 της υπ'αριθμ. 53571/3839/6.9.2000 ΚΥΑ (f είναι η συχνότητα σε kHz).

Ζώνη Συχνοτήτων	Μέγιστο ρεύμα επαφής
1-2.5kHz	0.3
2.5-100kHz	0.12f
0.1-110MHz	12

Πίνακας 2.11 -Επίπεδα αναφοράς για τα ρεύματα επαφής από αγωγίμα σώματα στην περιοχή συχνοτήτων 1kHz-110MHz, όπως προκύπτουν μετά την εφαρμογή του συντελεστή μείωσης 60%,

όπως ορίζεται στην παράγραφο 10 του άρθρου 31 του Νόμου 3431 (ΦΕΚ 13/Α/03-02-2006), στους βασικούς περιορισμούς του άρθρου 2 της υπ'αριθμ. 53571/3839/6.9.2000 ΚΥΑ (f είναι η συχνότητα σε kHz).

Παράμετρος	Τιμή
a	60.9V/m
b	3.5A/m (4.375μT)
c	72.8/f V/m
d	0.61/f A/m
I _{L,k}	37.6mA

Πίνακας 2.12 -Τιμές των παραμέτρων του άρθρου 4 της υπ'αριθμ.53571/3839/6.9.2000 ΚΥΑ, όπως προκύπτουν μετά την εφαρμογή του συντελεστή μείωσης 70%, που ορίζεται στην παράγραφο 9 του άρθρου 31 του Νόμου 3431 (ΦΕΚ 13/Α/03-02-2006) (f είναι η συχνότητα σε MHz).

Παράμετρος	Τιμή
a	52.2V/m
b	3A/m (3.75μT)
c	67.4/f V/m
d	0.565/f A/m
I _{L,k}	34.9mA

Πίνακας 2.13 -Τιμές των παραμέτρων του άρθρου 4 της υπ'αριθμ.53571/3839/6.9.2000 ΚΥΑ, όπως προκύπτουν μετά την εφαρμογή του συντελεστή μείωσης 60%, που ορίζεται στην παράγραφο 10 του άρθρου 31 του Νόμου 3431 (ΦΕΚ 13/Α/03-02-2006) (f είναι η συχνότητα σε MHz).

2.4 Επίπεδα αναφοράς ανά ζώνη συχνοτήτων

Γενικά τα επίπεδα αναφοράς για τα ηλεκτρικά, μαγνητικά και ηλεκτρομαγνητικά πεδία ανά ζώνη συχνοτήτων παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα. Τα επίπεδα αυτά αναφέρονται στο γενικό πληθυσμό και είναι αυτά που έχει υιοθετήσει η Ευρωπαϊκή Ένωση.

Ζώνη Συχνοτήτων	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου, E (V/m)	Ένταση μαγνητικού πεδίου, H (A/m)	Μαγνητική επαγωγή πεδίου, B (μT)	Ισοδύναμη πυκνότητα ισχύος επίπεδου κύματος, S_{eq} (W/m ²)
0-1 Hz	-	$3.2 \cdot 10^4$	$4 \cdot 10^4$	-
1-8 Hz	10000	$3.2 \cdot 10^4 / f^{1/2}$	$4 \cdot 10^4 / f^2$	-
8-25 Hz	10000	$4000 / f$	$5000 / f$	-
0.025-0.8 kHz	$250 / f$	$4 / f$	$5 / f$	-
0.8-3 kHz	$250 / f$	5	6.25	-
3-150 kHz	87	5	6.25	-
0.15-1 MHz	87	$0.73 / f$	$0.92 / f$	-
1-10 MHz	$87 / f^{1/2}$	$0.73 / f$	$0.92 / f$	-
10-400 MHz	28	0.073	0.092	2
400-2000 MHz	$1.375 f^{1/2}$ 900-31.9 1800-45.1	$0.0073 f^{1/2}$	$0.0046 \cdot f^{1/2}$	$f/200 \times 0.6$ 900-2.7 1800-5.4
2-300 GHz	61	0.16	0.20	10

Πίνακας 2.14 -Επίπεδα αναφοράς για τα ηλεκτρικά, μαγνητικά και ηλεκτρομαγνητικά πεδία ανά ζώνη συχνοτήτων

L1999/519/EC

Κ.Υ.Α. αριθ.53571/3839/6-9-2000, Ν 3431/06 ΦΕΚ

13/A/3-2-2006)

Σχετικά με τις τιμές του παραπάνω πίνακα ισχύουν τα ακόλουθα:

- Η τιμή του f είναι όπως ορίζεται στη στήλη των συχνοτήτων.
- Για συχνότητες από 100kHz-10GHz, οι τιμές των S_{eq} , E^2 , H^2 και B^2 πρέπει να εκφράζονται ως μέσος όρος για κάθε χρονική περίοδο διάρκειας έξι λεπτών (6min).
- Για συχνότητες μεγαλύτερες από 10GHz, οι τιμές των S_{eq} , E^2 , H^2 και B^2 πρέπει να εκφράζονται ως μέσος όρος για κάθε χρονική περίοδο διάρκειας $68/f^{1.05}$ λεπτών (f σε GHz).
- Για συχνότητες από 100kHz-10MHz, οι τιμές αιχμής αναφοράς προκύπτουν από τον πολλαπλασιασμό των αντίστοιχων τιμών rms επί 10^α , όπου $\alpha=0.665 \cdot \log(f/10^5)+0.176$, με τη συχνότητα f εκφρασμένη σε Hz. Για συχνότητες από 10MHz-300GHz οι τιμές αιχμής αναφοράς προκύπτουν από τον πολλαπλασιασμό των αντίστοιχων τιμών rms επί 32. Για τις συχνότητες που υπερβαίνουν τα 10MHz προτείνεται ο μέσος όρος της S_{eq} σε όλο το εύρος του παλμού να μην υπερβαίνει το

1000πλάσιο των επιπέδων αναφοράς ή οι εντάσεις των πεδίων να μην υπερβαίνουν το 32πλάσιο των επιπέδων αναφοράς για την ένταση του πεδίου[4].

Επίσης παρακάτω παρατίθεται πίνακας με τα επίπεδα αναφοράς για την ισοδύναμη πυκνότητα ισχύος S της Ελληνικής Νομοθεσίας σε διάφορες περιοχές συχνοτήτων όπως προκύπτουν για συντελεστή μείωσης 70% και 60%.

Περιοχή Συχνοτήτων	Ισοδύναμη Πυκνότητα Ισχύος S_{max} για συντελεστή μείωσης 70% (W/m^2)	Ισοδύναμη Πυκνότητα Ισχύος S_{max} για συντελεστή μείωσης 60% (W/m^2)	Εφαρμογές
10-400MHz	1.4	1.2	ραδιοφωνία FM, επικοινωνίες TETRA, εκπομπές VHF, κ.α.
600MHz	2.1	1.8	ενδεικτικές συχνότητες για εκπομπές TV UHF
800MHz	2.8	2.4	
900MHz	3.15	2.7	κινητή τηλεφωνία GSM-900
1800MHz	6.3	5.4	κινητή τηλεφωνία GSM-1800
2-300GHz	7	6	κινητή τηλεφωνία UMTS, μικροκυματικές ζεύξεις, δορυφορικές επικοινωνίες

Πίνακας 2.15 -Επίπεδα αναφοράς για την ισοδύναμη πυκνότητα ισχύος S της Ελληνικής Νομοθεσίας σε διάφορες περιοχές συχνοτήτων όπως προκύπτουν για συντελεστή μείωσης 70% και 60%

2.5 Βασικοί περιορισμοί και επίπεδα αναφοράς ανά χώρα

Οι βασικοί περιορισμοί και τα επίπεδα αναφοράς των διαφόρων χωρών παρατίθενται στους ακόλουθους πίνακες[11].

Συχνότητα (MHz)	Ηλεκτρικό πεδίο E (V/m)	Πυκνότητα ισχύος (W/m ²)
1-10	$87/f^{1/2}$	-
10-400	28	2
400-2000	$1.375f^{1/2}$	f/200
2000-300000	61	10

Πίνακας 2.16 -Τιμές ορίων για γενικό πληθυσμό σύμφωνα με την ICNIRP

Χώρα	
Καναδάς	47,56 V/m
ΗΠΑ	47,56V/m
Ιαπωνία	47,55V/m
Αγγλία	41,25V/m
Αυστρία	41,25V/m
Γερμανία	41,25V/m
Ολλανδία	41,25V/m
Ισραήλ	41,25V/m
Γαλλία	41,25V/m
Ισπανία	41,25V/m
Σλοβακία	41,25V/m
Νέα Ζηλανδία	41,25V/m
Σιγκαπούρη	41,25V/m
Κροατία	41,25V/m
Ταϊβάν	41,25V/m
Νότια Κορέα	41,25V/m
Μάλτα	41,25V/m
Νορβηγία	41,25V/m
Πορτογαλία	41,25V/m
Σλοβενία	41,25V/m
Νότιος Αφρική	41,25V/m
Τσεχία	41,25V/m
Αυστραλία	41,25V/m
Σουηδία	41,25V/m
Ελλάδα	32,00V/m
Βέλγιο	20,58V/m
Ρωσία	10,00V/m
Πολωνία	6,67V/m
Βουλγαρία	6,14V/m
Ιταλία	6,00V/m
Ελβετία	3,88V/m
Κίνα	3,00V/m
Αυστρία Σαλζμπουργκ	0,61V/m

Πίνακας 2.17 -Επίπεδα ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας διαφόρων χωρών στα 900MHz

Χώρα	
Καναδάς	61,40 V/m
ΗΠΑ	61,40V/m
Ιαπωνία	61,40V/m
Αγγλία	58,33V/m
Αυστρία	58,33V/m
Γερμανία	58,33V/m
Ολλανδία	58,33V/m
Ισραήλ	58,33V/m
Γαλλία	58,33V/m
Ισπανία	58,33V/m
Σλοβακία	58,33V/m
Νέα Ζηλανδία	58,33V/m
Σιγκαπούρη	58,33V/m
Κροατία	58,33V/m
Ταϊβάν	58,33V/m
Νότια Κορέα	58,33V/m
Μάλτα	58,33V/m
Νορβηγία	58,33V/m
Πορτογαλία	58,33V/m
Σλοβενία	58,33V/m
Νότιος Αφρική	58,33V/m
Τσεχία	58,33V/m
Αυστραλία	58,33V/m
Σουηδία	58,33V/m
Ελλάδα	46,18V/m
Βέλγιο	29,18V/m
Ρωσία	10,00V/m
Πολωνία	6,67V/m
Βουλγαρία	6,14V/m
Ιταλία	6,00V/m
Αυστρία Σάλζμπουργκ	0,61V/m

Πίνακας 2.18 - Επίπεδα ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας διαφόρων χωρών στα 1800MHz

Κεφάλαιο 3

3 Το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας

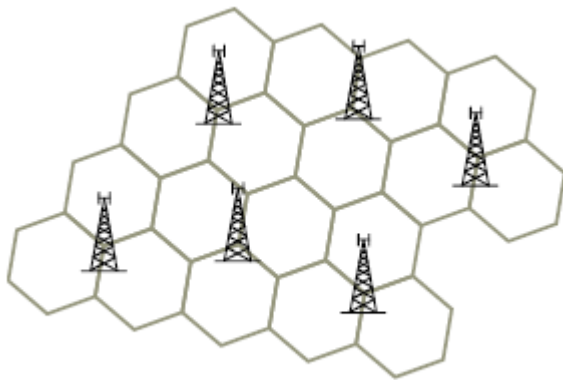
3.1 Περί σταθμών βάσης και δικτύου κινητής τηλεφωνίας

Οι σταθερές κεραιές που χρησιμοποιούνται για τις ασύρματες επικοινωνίες ονομάζονται σταθμοί βάσης κυψελωτών επικοινωνιών ή πύργοι μετάδοσης κινητής τηλεφωνίας. Ένας σταθμός βάσης αποτελείται από πολλά διαφορετικά εξαρτήματα-συμπεριλαμβανομένων ενός στεγάστρου εξοπλισμού, ενός πύργου ή ιστού που παρέχει το απαραίτητο ύψος για την προσφορά καλύτερης κάλυψης και των πομποδεκτών και κεραιών που βρίσκονται στην κορυφή του πύργου ή ιστού. Σε μερικές περιπτώσεις οι πομποδέκτες και οι κεραιές είναι προσαρτημένα στην κορυφή κτιρίων, όπου το ίδιο το κτίριο προσφέρει το απαραίτητο ύψος. Το τυπικό ύψος εγκαταστάσεων σταθμών βάσης κυμαίνεται μεταξύ 15 και 60 μέτρων. Τα ραδιοσήματα τροφοδοτούνται μέσω καλωδίων προς τις κεραιές και στη συνέχεια, εκπέμπονται ως ραδιοκύματα στην περιοχή ή την κυψέλη που περιβάλλει το σταθμό βάσης. Οι κεραιές που χρησιμοποιούνται για την μετάδοση και λήψη σημάτων προς και από τους κινητούς χρήστες είναι συνήθως περίπου 15-30 εκατοστά σε πλάτος και μέχρι μερικά μέτρα σε μήκος, ανάλογα με την συχνότητα λειτουργίας τους, και αποτελούνται από ορθογώνια πλαίσια με διαστάσεις περίπου 0.3-1.2 μέτρων (sector antenna)[3].

Πέρα όμως από τις παραπάνω κεραιές που χρησιμοποιούνται για την επικοινωνία με τα κινητά τηλέφωνα, στους σταθμούς βάσης υπάρχουν και κεραιές σε σχήμα πιάτου (dish antenna), οι οποίες αποτελούν τερματικούς κόμβους μικροκυματικής σύνδεσης σημείο σε σημείο και επικοινωνίας με άλλους σταθμούς βάσης για τη διασύνδεση του δικτύου. Σε ορισμένες περιπτώσεις, οι σταθμοί βάσεις συνδέονται μεταξύ τους με υπόγεια καλώδια αντί για μικροκυματικές συνδέσεις.

Ανάλογα με τη θέση του σταθμού βάσης και το πλήθος των εξυπηρετούμενων χρηστών κινητών τηλεφώνων, οι σταθμοί βάσης μπορούν να απέχουν μεταξύ τους, από μερικές εκατοντάδες μέτρα, σε μεγάλες πόλεις, μέχρι μερικά χιλιόμετρα σε αγροτικές περιοχές.

Τα δίκτυα κινητής επικοινωνίας χωρίζονται σε γεωγραφικές περιοχές που ονομάζονται κυψέλες, η καθεμία από τις οποίες εξυπηρετείται από ένα σταθμό βάσης. Τα κινητά τηλέφωνα αποτελούν το σύνδεσμο του χρήστη με το δίκτυο. Το σύστημα είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε να εξασφαλίζει τη διατήρηση της σύνδεσης των κινητών τηλεφώνων με το δίκτυο, καθώς οι χρήστες μετακινούνται από τη μία κυψέλη στην άλλη.



Εικόνα 3.1-Θεωρητική μοντελοποίηση ενός δικτύου

Τα κινητά τηλέφωνα, για να επικοινωνήσουν με τους σταθμούς βάσης ανταλλάσσουν ραδιοσήματα. Το επίπεδο ισχύος αυτών το σημάτων βελτιστοποιείται με προσοχή έτσι ώστε το δίκτυο να λειτουργεί ικανοποιητικά. Επιπλέον είναι ενδεδειγμένα ρυθμισμένα έτσι ώστε να αποφεύγονται παρεμβολές με άλλα ραδιοσυστήματα που χρησιμοποιούνται, για παράδειγμα, από τις υπηρεσίες άμεσης δράσης, τα ταξί και τους ραδιοφωνικούς και τηλεοπτικούς αναμεταδότες.



Εικόνα3.2-Παράδειγμα της περιοχής κάλυψης ενός σταθμού βάσης

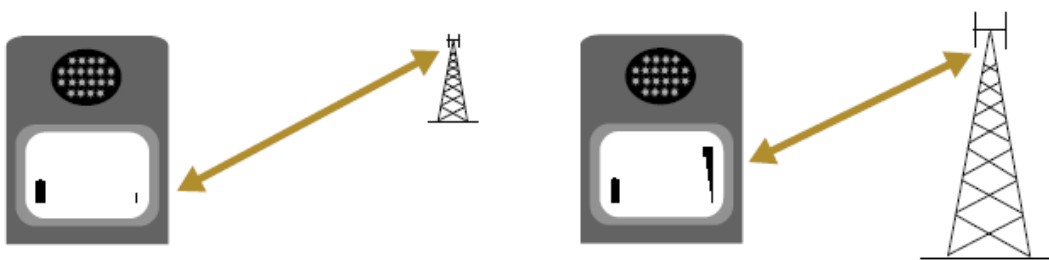
Οι κυψέλες θεωρούνται ως κανονικά εξάγωνα σχηματίζοντας δομή κηρήθρας, αν και στην πράξη το σχήμα τους ενδέχεται να είναι ακαθόριστο διότι όχι μόνο τα χαρακτηριστικά του ανάγλυφου του εδάφους όπως δέντρα, λόφοι και κτίρια μπορούν να εμποδίσουν ή να εξασθενίσουν τα ραδιοκύματα αλλά και επειδή οι εταιρείες κινητής τηλεφωνίας δεν έχουν πάντα την δυνατότητα να τοποθετούν τους σταθμούς βάσης όπου επιθυμούν, διότι δεν είναι πάντα διαθέσιμες οι κατάλληλες θέσεις. Επίσης, μικρότερες κυψέλες είναι απαραίτητες όπου υπάρχει υψηλή πυκνότητα χρηστών[3].

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να επισημανθούν τα εξής:

- Υπάρχουν όρια σχετικά με την μέγιστη περιοχή κάλυψης των σταθμών βάσης διότι τα ραδιοκύματα εξασθενούν σημαντικά, καθώς διαδίδονται στον αέρα. Ανεξαρτήτως εξοπλισμού, η ισχύς των ραδιοκυμάτων μειώνεται κατακόρυφα, καθώς απομακρυνόμαστε από την κεραία. Σε ελεύθερο χώρο, η ισχύς μειώνεται στο ένα τέταρτο της αρχικής, όταν η απόσταση διπλασιάζεται. Στην πραγματικότητα η ισχύς μειώνεται πολύ πιο γρήγορα λόγω της απώλειας της ισχύος του σήματος (επίσης γνωστή ως «εξασθένιση») που προκαλείται επειδή τα ραδιοκύματα πρέπει να περάσουν μέσα από εμπόδια όπως δέντρα και κτίρια. Κεραίες με τιμές ισχύος εκπομπής επιτρέπουν τη διάδοση των ραδιοκυμάτων σε μεγάλες αποστάσεις, όμως πέραν των 35 χιλιομέτρων, ο χρόνος που απαιτείται για να μεταδοθούν τα σήματα μεταξύ των κινητών τηλεφώνων και των σταθμών βάσης GSM αυξάνεται αισθητά.

- Οι σταθμοί βάσης έχουν περιορισμένη χωρητικότητα σε σχέση με το μέγιστο αριθμό κλήσεων από κινητά τηλέφωνα που μπορούν να εξυπηρετήσουν ταυτόχρονα. Ο αριθμός των πομπών που εγκαθίσταται σε ένα σταθμό βάσης είναι το στοιχείο που καθορίζει τη χωρητικότητα και ο αριθμός των χρηστών κινητών τηλεφώνων καθορίζει το επίπεδο της ζήτησης. Προσθέτοντας περισσότερους πομπούς αυξάνεται η χωρητικότητα ενός σταθμού βάσης. Όμως υπάρχει περιορισμός στον αριθμό των σταθμών βάσης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Λαμβάνοντας υπόψη τους παραπάνω περιορισμούς, οι κυψέλες για σταθμούς βάσης GSM έχουν μέγιστη διάσταση γενικά 1-10 χιλιόμετρα σε αγροτικές περιοχές και μερικές εκατοντάδες μέτρα σε αστικό περιβάλλον.

- Η αδιάκοπη ραδιοεπικοινωνία ενός χρήστη κινητού τηλεφώνου που διασχίζει τη χώρα επιτυγχάνεται με τη διαδοχική επικοινωνία του με τους σταθμούς βάσης που συναντά κατά την διαδρομή του. Τα ραδιοκύματα δεν χρειάζεται ποτέ να μεταδοθούν σε αποστάσεις μεγαλύτερες από μερικά χιλιόμετρα.
- Αν οι σταθμοί βάσης είναι αραιά τοποθετημένοι τότε η κάλυψη του δικτύου δεν είναι ικανοποιητική και υπάρχει περίπτωση διακοπής της κλήσης, όταν ο χρήστης βρίσκεται σε κίνηση. Κάθε σταθμός βάσης μπορεί να εξυπηρετήσει ένα μέγιστο αριθμό κλήσεων οπότε αύξηση των χρηστών έχει ως αποτέλεσμα την ανάγκη αύξησης των σταθμών βάσης.
- Το κινητό τηλέφωνο είναι σχεδιασμένο για να λειτουργεί σε διάφορα επίπεδα ισχύος ώστε να χρησιμοποιείται μόνο η απαραίτητη εκπεμπόμενη ισχύς για την επικοινωνία με το δίκτυο εξασφαλίζοντας την απαιτούμενη ποιότητα ραδιοεπικοινωνίας με το σταθμό βάσης. Γενικά, όσο εγγύτερα βρίσκεται ο χρήστης του κινητού τηλεφώνου στο σταθμό βάσης, τόσο χαμηλότερη είναι η ισχύς εκπομπής του κινητού. Ανάλογα προς τη μείωση της ισχύος εκπομπής του κινητού μειώνεται και η τιμή του SAR που δημιουργεί η συσκευή στο κεφάλι του χρήστη. Συνεπώς η πύκνωση του δικτύου σταθμών βάσης έχει ως αποτέλεσμα την ελάττωση της εκπεμπόμενης ισχύος από τα κινητά τηλέφωνα, αφού στην περίπτωση αυτή γίνεται εκπομπή της ελάχιστης δυνατής ισχύος για τη λειτουργία της συσκευής.



Εικόνα 3.3-Η ισχύς του σήματος επηρεάζεται από αρκετούς παράγοντες, αλλά η εγγύτητα σε ένα σταθμό βάσης αποτελεί το σημαντικότερο από αυτούς

Στα πρώτα κυψελωτά συστήματα η ακτίνα των κυψελών εκτείνονταν σε αρκετά χιλιόμετρα και εξυπηρετούσαν χρήστες που βρίσκονταν σε οχήματα. Κυψέλες με

αρκετά μεγάλη ακτίνα της τάξης μερικών δεκάδων χιλιομέτρων, καλούνται μακροκυψέλες (macrocells). Λόγω της αύξησης των συνδρομητών που πρέπει να εξυπηρετηθούν σε μία συγκεκριμένη περιοχή και συνεπώς της ανάγκης για υποστήριξη μεγαλύτερης χωρητικότητας, επαναχρησιμοποιούνται οι ραδιοδίαυλοι, μειώνοντας ταυτόχρονα την ισχύ εκπομπής από τους σταθμούς βάσης. Έτσι λοιπόν προκύπτουν μικρότερες σε έκταση κυψέλες που καλούνται μικροκυψέλες (microcells) και έχουν ακτίνα μέχρι 1km. Υπάρχουν και μικρότερες κυψέλες με ακτίνα περίπου 100 μέτρων, που ονομάζονται πικοκυψέλες (picocells) οι οποίες χρησιμοποιούνται ιδιαίτερα σε εσωτερικούς χώρους, αλλά και σε περιοχές υψηλής πυκνότητας τηλεπικοινωνιακής κίνησης, που ονομάζονται spots ή hot-spots[12].

Με τη μείωση της ακτίνας των κυψελών επιτυγχάνεται εξυπηρέτηση υψηλής τηλεπικοινωνιακής κίνησης, αλλά απαιτείται μεγαλύτερος αριθμός σταθμών βάσης για την κάλυψη μιας γεωγραφικής περιοχής, αυξάνοντας έτσι το κόστος ανάπτυξης του δικτύου. Επίσης, μικρές σε ακτίνα κυψέλες έχουν σαν αποτέλεσμα την αύξηση του αριθμού των απαιτούμενων μεταπομπών για χρήστες που κινούνται με μεγάλη ταχύτητα. Λόγω της έκτασης της κάλυψης και των φαινόμενων διάδοσης, οι μακροκυψέλες προορίζονται κυρίως για παροχή υπηρεσιών στενής ζώνης σε αγροτικές ή ημιαστικές περιοχές με μικρή παρεμπόδιση της διάδοσης λόγω κτιρίων και σημαντική παρεμπόδιση λόγω βλάστησης. Οι σταθμοί βάσης των μακροκυψελών τοποθετούνται συνήθως σε υψηλούς πύργους με καλή ορατότητα της περιοχής κάλυψης. Οι σταθμοί βάσης των μικροκυψελών τοποθετούνται συνήθως πάνω από στέγες των κτιρίων και προορίζονται για παροχή υπηρεσιών στενής ζώνης. Οι σταθμοί βάσης των πικοκυψελών τοποθετούνται συνήθως στο επίπεδο των δρόμων προς κάλυψη, σε ύψη μέχρι 4m, και αν πρόκειται για εσωτερικούς χώρους, σε διαδρόμους ή και σε ανελκυστήρες.

Για να εκμεταλλευτούμε τα πλεονεκτήματα όλων των τύπων των κυψελών, συνήθως σχεδιάζουμε τα δίκτυα με ιεραρχική δομή κυψελών, δηλαδή με επικάλυψη διαφορετικών τύπων κυψελών. Προκύπτουν έτσι δύο τύποι συστημάτων ιεραρχημένων κυψελών, τα συστήματα χαμηλής βαθμίδας ιεράρχησης (Low Tier Systems), όπου συνδυάζονται πικοκυψέλες και μικροκυψέλες (π.χ στο DECT), και τα συστήματα υψηλής βαθμίδας ιεράρχησης (High Tier Systems), όπου συνδυάζονται μικροκυψέλες και μακροκυψέλες (π.χ στο GSM). Τα χαμηλής βαθμίδας συστήματα χρησιμοποιούνται για την κάλυψη μικρών περιοχών με πεζούς χρήστες, ενώ τα υψηλής βαθμίδας συστήματα υποστηρίζουν και χρήστες κινούμενους με υψηλές

ταχύτητες. Γενικά τα χαμηλής βαθμίδας συστήματα παρέχουν καλύτερη ποιότητα φωνής και μικρότερο κόστος, λόγω της απουσίας τεχνικών αντιμετώπισης της χρονικής διασποράς.

Η κατηγοριοποίηση των σταθμών βάσης βασίζεται περισσότερο στο σκοπό της τοποθέτησης παρά σε τεχνικούς περιορισμούς, όπως η ισχύς της εκπομπής ή το ύψος των κεραιών. Υπάρχουν διάφοροι τύποι σταθμών βάσης και δεν κατηγοριοποιούνται αυστηρά σε σταθμούς βάσης μακροκυψελών, μικροκυψελών και πικοκυψελών.

Μια κατηγοριοποίηση των σταθμών βάσης είναι η εξής:

- Σταθμοί βάσης σε υφιστάμενα κτίρια/οικοδομές (συμπεριλαμβανομένων υδατόπυργων/υδατοδεξαμενών). Οι σταθμοί αυτοί είναι στην πλειονότητα τους εγκατεστημένοι πάνω σε δώματα κτιρίων/οικοδομών και αποτελούνται από τηλεπικοινωνιακό εξοπλισμό εξωτερικού τύπου ή εξοπλισμό εσωτερικού τύπου μέσα σε οικίσκο εξοπλισμού και σύστημα κεραιών εγκατεστημένο σε χαμηλές μεταλλικές κατασκευές.
- Σταθμοί βάσης σε γη (ιδιωτική, χαλίτικη, δασική). Τέτοιοι σταθμοί είναι συνήθως εγκατεστημένοι εντός περιφραγμένου χώρου (μέχρι 80 m²) που εξασφαλίζεται με σχετική συμφωνία (ιδιωτική γη) ή μακροχρόνια μίσθωση κατόπιν σχετικής έγκρισης από το Υπουργικό Συμβούλιο (χαλίτικη ή δασική γη). Αποτελούνται από τηλεπικοινωνιακό εξοπλισμό εξωτερικού τύπου ή εξοπλισμό εσωτερικού τύπου μέσα σε οικίσκο εξοπλισμού (με εμβαδόν γύρω στα 8 m²) και σύστημα κεραιών εγκατεστημένο σε μεταλλικό πύργο/ιστό ή ξύλινο στύλο.
- Σταθμοί βάσης σε εγκαταστάσεις τρίτων που διαθέτουν υφιστάμενους πύργους/ιστούς. Οι σταθμοί αυτοί αποτελούνται από τηλεπικοινωνιακό εξοπλισμό εξωτερικού τύπου ή εξοπλισμό εσωτερικού τύπου μέσα σε οικίσκο εξοπλισμού ή μέσα σε κτίριο και σύστημα κεραιών εγκατεστημένο στον υφιστάμενο πύργο (π.χ σε πυλώνες φωτισμού γηπέδων)[13].

Οι σταθμοί βάσης σε περιοχές με χαμηλή χρήση κινητών τηλεφώνων μπορούν να έχουν μόνο ένα πομπό συνδεδεμένο με την κεραία τους, οπότε μεταδίδουν μόνο σε μία συχνότητα. Οι σταθμοί βάσης σε πολυσύχναστες περιοχές μπορούν να έχουν περισσότερους από 10 πομπούς, οι οποίοι συνδέονται με τις κεραίες τους

επιτρέποντας την ταυτόχρονη μετάδοση σε διαφορετικές συχνότητες και την εξασφάλιση επικοινωνίας με πολλά κινητά τηλέφωνα. Η ισχύς εκπομπής κάθε πομπού σταθμού βάσης τίθεται σε ένα επίπεδο που επιτρέπει την χρήση των κινητών τηλεφώνων μέσα στην περιοχή που καλύπτει ο σταθμός βάσης, και όχι εκτός αυτής της περιοχής. Για την κάλυψη μεγαλύτερων κυψελών καθώς και για την κάλυψη κυψελών με δύσκολο ανάγλυφο εδάφους χρειάζονται υψηλότερες τιμές ισχύος. Στους σταθμούς βάσης με μεγαλύτερη χωρητικότητα οι οποίοι έχουν πολλαπλούς πομπούς, η ισχύς εξόδου μπορεί να μεταβάλλεται με το χρόνο και με το πλήθος των τηλεφωνικών κλήσεων που διαχειρίζονται.

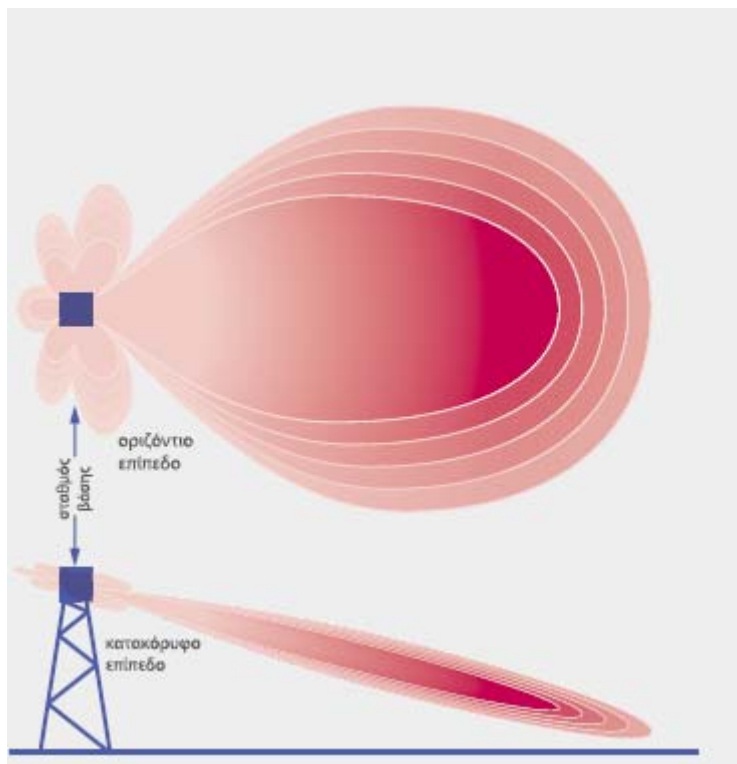
Σε σύγκριση με άλλους πομπούς ραδιοκυμάτων, όπως για παράδειγμα τους ραδιοτηλεοπτικούς πομπούς, τα επίπεδα ακτινοβολούμενης ισχύος είναι σημαντικά χαμηλότερα. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται χαρακτηριστικά επίπεδα ισχύος για την λειτουργία των σταθμών βάσης κινητής τηλεφωνίας συγκριτικά με τα αντίστοιχα των ραδιοτηλεοπτικών πομπών.

Τυπικά επίπεδα ισχύος σταθμού βάσης κινητής τηλεφωνίας (ανά κεραία)	Watt
Σταθμοί βάσης σε αγροτικό περιβάλλον	40
Σταθμοί βάσης σε αστικό περιβάλλον	10
Κεραίες ασύρματων δικτύων εσωτερικού χώρου	0.1
Τυπικά επίπεδα ισχύος ραδιοτηλεοπτικών μεταδοτών	
Μεγάλοι τηλεοπτικοί μεταδότες (UHF)	40000
Μεγάλοι ραδιοτηλεοπτικοί μεταδότες (VHF)	2000

Πίνακας 3.1 -Τυπικά επίπεδα ισχύος σταθμών βάσης και ραδιοτηλεοπτικών πομπών.

Η ισχύς από τις κεραίες που χρησιμοποιούνται σε σταθμούς βάσης μακροκυψελών ακτινοβολείται σε στενές κατά την κατακόρυφη διεύθυνση δέσμες οι οποίες παρουσιάζουν ελαφρά κλίση προς τα κάτω σε σχέση με τον ορίζοντα. Η ένταση του πεδίου ακριβώς κάτω από τις κεραίες και πάνω στους στύλους του σταθμού βάσης είναι πολύ χαμηλότερη από αυτή ακριβώς μπροστά από την κεραία

σε λίγη απόσταση. Συνεπώς, η πραγματικότητα είναι αντίθετη από την κοινή, λανθασμένη αντίληψη ότι η εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας είναι πιο ισχυρή ακριβώς κάτω από τις κεραιές, γεγονός που εν μέρει εξηγεί κάποιες από τις ανησυχίες σχετικά με τις κεραιές που είναι τοποθετημένες πάνω από σχολεία ή πολυκατοικίες.



Εικόνα 3.4-Κατεύθυνση και σχήμα λοβών ακτινοβολίας σταθμών βάσης

Οι λοβοί των κεραιών διευρύνονται με την απόσταση και αγγίζουν το επίπεδο του εδάφους σε αποστάσεις 50-300 μέτρων από τις κεραιές. Τα επίπεδα του ραδιοκυμάτων σε αυτές τις αποστάσεις είναι πολύ μικρότερα από εκείνα που προκύπτουν απευθείας μπροστά από τις κεραιές και μπορούν εύκολα να υπολογιστούν.

Σε αποστάσεις μικρότερες από εκείνες όπου ο κύριος λοβός αγγίζει το επίπεδο του εδάφους, η έκθεση οφείλεται σε ασθενέστερους λοβούς, που είναι γνωστοί ως δευτερεύοντες λοβοί και των οποίων η πυκνότητα ισχύος δεν υπολογίζεται εύκολα εκτός αν είναι διαθέσιμη λεπτομερής τεχνική πληροφόρηση σχετικά με το διάγραμμα ακτινοβολίας των κεραιών.

3.2 Το δίκτυο GSM

Στην Ελλάδα λειτουργούν τέσσερα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας χρησιμοποιώντας το ψηφιακό Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Επικοινωνιών (GSM). Αυτά είναι γνωστά ως συστήματα δεύτερης γενιάς (2G), καθώς ακολούθησαν τα πρώτης γενιάς αναλογικά συστήματα, τα οποία πλέον δεν λειτουργούν. Επίσης, τα συστήματα τρίτης γενιάς (3G) είναι διαθέσιμα και στην Ελλάδα[3].

Το Ευρωπαϊκό Τηλεπικοινωνιακό Συμβούλιο το 1982, άρχισε τη μελέτη για τη δημιουργία ενός κοινού Ευρωπαϊκού ψηφιακού συστήματος κινητής τηλεφωνίας δεύτερης γενιάς (2G) και τότε αυτό το σύστημα ονομάστηκε αρχικά Group Special Mobile (GSM). Το GSM είναι ένα κυψελοειδές ψηφιακό σύστημα κινητής τηλεφωνίας δεύτερης γενιάς (2G) κάνοντας χρήση ηλεκτρομαγνητικών σημάτων χρησιμοποιώντας την τεχνική πολλαπλής πρόσβασης με διαχωρισμό του διαθέσιμου φάσματος συχνοτήτων σε ένα αριθμό καναλιών και την διαίρεση αυτών σε χρονοθυρίδες για την μετάδοση σημάτων.

Το 1989 η ευθύνη του GSM ανατέθηκε στο Ευρωπαϊκό Τηλεπικοινωνιακό Ινστιτούτο Προτύπων (ETSI) και το 1990 ανακοινώθηκε επίσημα για πρώτη φορά το πρότυπο και τα χαρακτηριστικά του GSM. Το 1991 λοιπόν άρχισε η εμπορική του διάθεση στην Ευρώπη, ενώ στην Ελλάδα το 1993 από την WIND. Το πρότυπο GSM δεν είναι μόνο ένα Ευρωπαϊκό πρότυπο αφού υιοθετήθηκε και από πολλές άλλες χώρες των άλλων ηπείρων. Σήμερα το GSM είναι το πιο διαδεδομένο σύστημα παγκοσμίως και υλοποιήθηκε από 500 παροχείς σε 158 χώρες, παρέχοντας υπηρεσίες σε 400 εκ. χρήστες (Οκτώβριος 2000) καλύπτοντας το 59% της αγοράς των ασύρματων δικτύων.

Το GSM στηρίζεται σε TDMA τεχνική, με 200 kHz απόσταση φερόντων, αλλά συνδυάζει και την FDMA με FDD. Κάθε φέρον έχει οκτώ διαύλους με διάρκεια χρονοσχισμής τα 0.577 msec, ενώ χρησιμοποιεί την τεχνική ψηφιακής διαμόρφωσης GMSK με τελικό ρυθμό μετάδοσης τα 270,8Kbps. Οι συχνότητες λειτουργίας είναι οι 890-915MHz/935-960MHz. Υποστηρίζει υπηρεσίες φωνής (13Kbps) και δεδομένων μέχρι 9.6 Kbps.

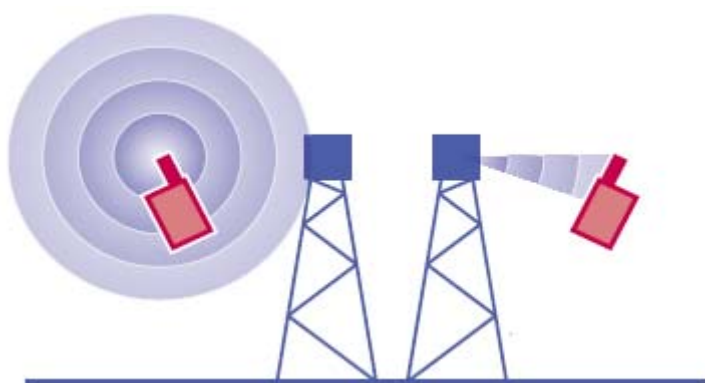
Μια τροποποίηση του GSM900 είναι το GSM1800 ή DCS1800, το οποίο λειτουργεί στις ζώνες συχνοτήτων 1710-1785MHz/1805-1880MHz. Το σύστημα έχει

βελτιστοποιηθεί για τερματικές συσκευές χειρός με μέγιστη ισχύ το 1Watt ή τα 250mWatt και υποστηρίζει την επικάλυψη macrocells και picocells.

3.3 Περί κινητών τηλεφώνων

Τα κινητά τηλέφωνα είναι χαμηλής ισχύος πομποδέκτες ραδιοκυμάτων, που με την βοήθεια κατάλληλης ενσωματωμένης κεραίας και ηλεκτρονικού εξοπλισμού μετατρέπουν τη φωνή και τα ψηφιακά δεδομένα σε ραδιοκύματα και το αντίστροφο. Όταν ένα κινητό τηλέφωνο είναι ενεργοποιημένο, ανταποκρίνεται σε συγκεκριμένα σήματα ελέγχου από κοντινούς σταθμούς βάσης. Όταν εντοπίσει τον πιο κοντινό σταθμό βάσης του δικτύου στο οποίο ανήκει, ξεκινά μια σύνδεση. Έπειτα, το τηλέφωνο θα παραμείνει σε λανθάνουσα κατάσταση- πέρα από κάποια περιστασιακή επικοινωνία με το δίκτυο για θέματα ενημέρωσης θέσης- μέχρι ο χρήστης να θελήσει να κάνει ή να δεχτεί μία κλήση.

Όταν ο χρήστης θέλει να πραγματοποιήσει μία κλήση από το κινητό του, αυτό εκπέμπει ραδιοκύματα που διαδίδονται στον αέρα προς όλες τις κατευθύνσεις μέχρι να συναντήσουν τον πλησιέστερο σταθμό βάσης. Ο σταθμός βάσης προωθεί την κλήση σε έναν άλλο σταθμό βάσης και τελικά η κλήση αποστέλλεται μέσω του δικτύου κινητής τηλεφωνίας στο σταθμό βάσης που βρίσκεται πλησιέστερα στον καλούμενο χρήστη. Στη συνέχεια, αυτός ο σταθμός βάσης αποστέλλει ραδιοκύματα που λαμβάνονται από το κινητό τηλέφωνο του καλούμενου χρήστη και μετατρέπονται ξανά σε ήχο (φωνή).



Εικόνα 3.5-Τηλεφωνική σύνδεση

Η μέση ισχύς εκπομπής των κινητών τηλεφώνων είναι πολύ χαμηλή, 0.5W ή χαμηλότερη. Επιπλέον, τα κινητά τηλέφωνα προσαρμόζουν την εκπεμπόμενη ισχύ τους στο κατώτερο επίπεδο που είναι απαραίτητο για την αξιόπιστη επικοινωνία με το σταθμό βάσης. Γενικά, όσο εγγύτερα βρίσκεται ο χρήστης του κινητού στο σταθμό βάσης, τόσο χαμηλότερη είναι η ισχύς εκπομπής του κινητού και ανάλογα μειώνεται και η τιμή του SAR που δημιουργεί η συσκευή στο κεφάλι του χρήστη. Συνεπώς η πύκνωση του δικτύου σταθμών βάσης κινητής τηλεφωνίας έχει ως αποτέλεσμα την ελάττωση της εκπεμπόμενης ισχύος από τα κινητά τηλέφωνα.

Η ICNIRP έχει θεσπίσει ως όριο του SAR στο κεφάλι από τα κινητά τηλέφωνα τα 2W/kg μάζας, όταν λαμβάνεται ο μέσος όρος σε 10g μάζας συνεχούς ιστού στο κεφάλι για μία περίοδο έξι λεπτών. Κάθε συσκευή που κυκλοφορεί στην Ευρωπαϊκή ένωση και συμμορφώνεται με τα θεσπισμένα όρια φέρει τη σήμανση CE. Στο εγχειρίδιο χρήσης της συσκευής αναφέρονται τα όρια SAR[6].

Η τιμή του SAR εκτιμάται με τη χρήση εγκεκριμένων διαδικασιών ελέγχου συμμόρφωσης υπό συνθήκες σταθερής μέγιστης ισχύος εκπομπής και αποτελεί τη μοναδική επιλογή για σύγκριση μεταξύ κινητών τηλεφώνων στο πλαίσιο της αγοράς. Στην πράξη, οι τιμές του SAR αναφέρει ο κατασκευαστής δε θα ταυτίζονται με αυτές που παρατηρούνται στο κεφάλι του χρήστη αφού η ισχύς εξόδου της κινητής τηλεφωνικής συσκευής ενδέχεται να είναι πολύ χαμηλότερη στις πραγματικές συνθήκες χρήσης.

Όταν ο χρήστης απομακρύνει τη συσκευή από το κεφάλι και το σώμα του, θεωρητικοί υπολογισμοί αλλά και μετρήσεις δείχνουν ότι η ένταση της ακτινοβολίας που απορροφά και κατά συνέπεια η τιμή του SAR, μειώνεται δραστικά. Για να μπορέσει όμως ο χρήστης να χρησιμοποιεί τη συσκευή του θα πρέπει να προσθέσει ένα εξάρτημα αποδέσμευσης των χεριών του, το λεγόμενο “hands free kit”. Υπάρχουν δύο τύποι “hands free”, τα ενσύρματα και τα ασύρματα (τεχνολογία Bluetooth). Όταν γίνεται αποτελεσματική χρήση του “hands free”, η τιμή του SAR μπορεί να μειωθεί τυπικά κατά 100 φορές (απόσταση συσκευής από το κεφάλι μισό μέτρο τουλάχιστον).

Γενικά, για τα επίπεδα έκθεσης των κινητών τηλεφώνων και των σταθμών βάσης μπορούμε να συνοψίσουμε τα εξής[14]:

Κινητά τηλέφωνα	Σταθμοί βάσης
Εκπέμπουν με μέση ισχύ ως $\frac{1}{4}$ του Watt (W)	Εκπέμπουν με ισχύ μέχρι 100W
Χρησιμοποιούνται σε απόσταση 2cm από το κεφάλι του χρήστη	Οι κεραιές τους είναι συνήθως μερικές δεκάδες μέτρα μακριά από το γενικό πληθυσμό
Εκθέτουν σε ακτινοβολία κυρίως τους ιστούς που είναι εγγύτερα στην κεραία τους	Η έκθεση αφορά σε όλους τους ιστούς αλλά σε επίπεδα πολύ χαμηλότερα του κινητού τηλεφώνου
Η τοπική έκθεση μετρείται με βάση τον SAR (ρυθμό ειδικής απορρόφησης)	Η πυκνότητα ισχύος S της προσπίπτουσας ακτινοβολίας θεωρείται καλό μέτρο της ολόσωμης έκθεσης
Οι οδηγίες έκθεσης της ICNIRP προσδιορίζουν όριο στον SAR ίσο με 2W/kg για κάθε 10g ιστού και 6 λεπτά (Στην Ελλάδα το 70 ή 60% του ορίου)	Οι οδηγίες έκθεσης της ICNIRP προσδιορίζουν όριο στην S είτε 4.5W/m ² είτε 9 W/m ² στις συχνότητες GSM (Στην Ελλάδα το 70 ή 60% του ορίου)
Όλα τα τηλέφωνα με τη ένδειξη CE που κυκλοφορούν στην Ελλάδα πρέπει να συμμορφώνονται με την παραπάνω τιμή	Οι εταιρείες κινητής τηλεφωνίας υποχρεώνονται στη διεξαγωγή και την έγκριση μελέτης μη ιοντιζουσών ακτινοβολιών πριν τεθεί σταθμός βάσης σε λειτουργία
Οι τιμές του SAR για τα κινητά κυμαίνονται μέχρι 1.5W/kg	Η τυπική έκθεση σε τοποθεσίες προσβάσιμες από το κοινό είναι χιλιάδες φορές χαμηλότερη από τα όρια των οδηγιών

Πίνακας 3.2 -Σύγκριση των επιπέδων έκθεσης στην ακτινοβολία τερματικών συσκευών και σταθμών βάσης

Κεφάλαιο 4

4 Περί μελετών περιβαλλοντικών επιπτώσεων και τεχνικών μελετών ραδιοεκπομπών κεραιών σταθμών βάσης κινητής τηλεφωνίας

4.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται παρουσίαση των μεθόδων υπολογισμού των εκπεμπόμενων ηλεκτρομαγνητικών πεδίων, παραδοχών και θεωρήσεων για τα διαγράμματα ακτινοβολίας των κεραιών καθώς και των απαιτούμενων ελέγχων για τον καθορισμό των μη ελεύθερα επισκέψιμων από το κοινό χώρων γύρω από τους σταθμούς βάσης κινητής τηλεφωνίας. Περιλαμβάνονται επίσης πίνακες παρουσίασης των τεχνικών και άλλων δεδομένων του κάθε σταθμού βάσης καθώς και των αποτελεσμάτων των θεωρητικών υπολογισμών και των αναγκαίων μέτρων προφύλαξης του κοινού, στις υποβαλλόμενες στην ΕΕΑΕ (Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας) μελέτες ραδιοεκπομπών.

Η πρώτη σελίδα της μελέτης είναι τυποποιημένη και παρουσιάζεται στο τέλος του παρόντος κεφαλαίου. Στην αρχή της μελέτης πραγματοποιείται μια γενική περιγραφή της εγκατάστασης που πρόκειται να εξεταστεί, οι υπηρεσίες που θα παρέχει, ο κάτοχος της εγκατάστασης- πάροχος, η εξυπηρέτηση- συνεγκατάσταση άλλων παρόχων, η παρουσία όλων των γειτονικών σταθμών κεραιών εντός 50 μέτρων, κλπ.

Στη συνέχεια περιγράφεται ο τρόπος εργασίας. Αρχικά γίνεται αναφορά στις γενικές θεωρήσεις που πρέπει να περιλαμβάνει μία μελέτη και στη συνέχεια περιγράφονται περισσότεροι από ένας εναλλακτικοί τρόποι προσέγγισης και εκπόνησης της μελέτης. Η τελική επιλογή του τρόπου προσέγγισης εξαρτάται από τις ιδιαιτερότητες του εκάστοτε υπό μελέτη σταθμού βάσης. Τέλος γίνεται αναφορά στα μέτρα προφύλαξης του κοινού και θα πρέπει να ακολουθείται σε κάθε μελέτη. Κάθε μελέτη ραδιοεκπομπών σταθμών βάσης κινητής τηλεφωνίας που υποβάλλεται στην

ΕΕΑΕ θα πρέπει να ακολουθεί απαρέγκλιτα τις προβλέψεις που παρατίθενται στη συνέχεια. Γίνονται επίσης αποδεκτές και μελέτες ραδιοεκπομπών με αυστηρότερες από τις παραδοχές που περιγράφονται παρακάτω.

4.2 Δεδομένα σταθμού

Η μελέτη θα πρέπει να συνοδεύεται από αρχιτεκτονικά και τοπογραφικά σχέδια στα οποία πρέπει να απεικονίζονται όλοι οι ιστοί στήριξης των υπό εγκατάσταση καθώς και των υφιστάμενων κεραιοδιατάξεων σε απόσταση μικρότερη των 50 μέτρων από τον υπό εξέταση σταθμό στην ακριβή θέση τοποθέτησής τους. Επίσης θα πρέπει να απεικονίζονται τα παρακείμενα κτίρια με ένδειξη για το μέγιστο ύψος τους, λαμβάνοντας υπόψη και τις απολήξεις των κτιρίων στα όμορα και άμεσα γειτονικά σε σταθμούς κτίρια[10].

Θα πρέπει επίσης να συμπληρώνεται ο πίνακας που ακολουθεί στον οποίο δηλώνονται όλοι οι ιστοί στήριξης κεραιοδιατάξεων που θεωρούνται στη μελέτη. Κάθε ιστός ονοματίζεται μονοσήμαντα και τα ονόματα των ιστών αποτυπώνονται και στα συνοδευτικά σχέδια . Ο τίτλος «κάτοχος» αναφέρεται στον ιδιοκτήτη του ιστού ενώ δηλώνονται και οι αριθμοί των κεραιοδιατάξεων που φέρει ο ιστός ανάλογα με το είδος τους. Επίσης δηλώνεται το ύψος του ιστού (μαζί με το αλεξικέραυνο), το ύψος του κτιρίου στο σημείο που εδράζει ο ιστός ή το υψόμετρο του εδάφους στη βάση του κτιρίου- αν εδράζει πάνω σε κτίριο ή στη βάση του ιστού αν δεν υπάρχει κτίριο.

ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΙΣΤΟΥ	A	B	Γ	Δ
ΚΑΤΟΧΟΣ				
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΕΡΑΙΩΝ ΚΙΝΗΤΗΣ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑΣ				
ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΙΚΡΟΚΥΜΑΤΙΚΩΝ ΖΕΥΞΕΩΝ				
ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΛΛΩΝ ΚΕΡΑΙΟΔΙΑΤΑΞΕΩΝ				

ΥΨΟΣ ΙΣΤΟΥ				
ΥΨΟΣ ΚΤΙΡΙΟΥ				
ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΕΔΑΦΟΥΣ				

Πίνακας 4.1- Χαρακτηριστικά ιστών στήριξης κεραιοδιατάξεων

Παρακάτω παρατίθεται πίνακας ο οποίος αφορά τα τεχνικά χαρακτηριστικά όλων των κεραιοδιατάξεων. Ο αύξων αριθμός περιγράφει μονοσήμαντα κάθε κεραιοδιάταξη. Στην περίπτωση που μία κεραιοδιάταξη χρησιμοποιείται για εκπομπή σε περισσότερες από μία συχνότητες (dual band, triple band), τότε ο αριθμός παραμένει σταθερός και τα χαρακτηριστικά των διαφορετικών συχνοτήτων δηλώνονται με την προσθήκη ενός γράμματος μετά τον αριθμό. Στη συνέχεια δηλώνονται ο πάροχος, οι υπηρεσίες που παρέχονται από την κεραιοδιάταξη, η συχνότητα εκπομπής, η αζιμουθιακή γωνία, η γωνία κλίσης (ηλεκτρική συν μηχανική), η απόσταση (ύψος) της κεραιοδιάταξης από τη βάση του ιστού. Επίσης, από τα θεωρητικά διαγράμματα ακτινοβολίας και τα στοιχεία που παρέχει ο κατασκευαστής της κάθε κεραιοδιάταξης για το συγκεκριμένο τύπο-μοντέλο και τη συγκεκριμένη συχνότητα εκπομπής λαμβάνονται το μέγιστο κέρδος του κυρίου λοβού της κεραιοδιάταξης, οι γωνίες ημίσειας ισχύος θ_{-3dB} και ϕ_{-3dB} στο κατακόρυφο και στο οριζόντιο διάγραμμα, αντίστοιχα, το μέγιστο κέρδος του μεγαλύτερου δευτερεύοντα λοβού στο κατακόρυφο διάγραμμα G_s , η γωνία θ_s μεταξύ των δύο διευθύνσεων στο κατακόρυφο διάγραμμα στον κύριο λοβό στις οποίες το κέρδος έχει την τιμή G_s , οι γωνίες ϕ_{-10dB} και ϕ_{-20dB} μεταξύ των δύο διευθύνσεων στο οριζόντιο διάγραμμα εκατέρωθεν του κυρίου λοβού στις οποίες το κέρδος είναι το 1/10 και το 1/100, αντίστοιχα, του μέγιστου κέρδους και το μέγιστο κέρδος του μεγαλύτερου πλάγιου λοβού στο οριζόντιο διάγραμμα G_r . Τα στοιχεία που παρέχονται από τον κατασκευαστή κάθε κεραιοδιάταξης, συνοποβάλλονται σε παράρτημα στο τέλος της μελέτης. Τέλος, στον πίνακα δηλώνεται ο μέγιστος αριθμός των φασματικών καναλιών (φερουσών) στην συγκεκριμένη περιοχή συχνοτήτων και η ισχύς στην είσοδο κάθε κεραιοδιάταξης ανά φασματικό κανάλι. Επίσης, στον παρακάτω πίνακα αναφέρεται η παρουσία κάθε κεραίας εκπομπής που περιλαμβάνεται στις κεραιοδιατάξεις του σταθμού βάσης ακόμα και αν η ενεργός ακτινοβολούμενη ισχύς εκπομπής της είναι μικρότερη από 164W EIRP.

A/A ΚΕΡΑΙΟΔΙΑΤΑΞΗΣ	1	2	3A	2B
ΙΣΤΟΣ ΣΤΗΡΙΞΗΣ	A	A	A	A
ΠΑΡΟΧΟΣ				
ΥΠΗΡΕΣΙΑ				
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΕΚΠΟΜΠΗΣ				
ΑΖΙΜΟΥΘΙΟ				
ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΚΛΙΣΗ ψ				
ΥΨΟΣ ΚΕΝΤΡΟΥ ΑΠΟ ΒΑΣΗ ΙΣΤΟΥ				
ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗΣ				
ΜΟΝΤΕΛΟ/ΤΥΠΟΣ				
ΜΕΓΙΣΤΟ ΚΕΡΔΟΣ ΚΥΡΙΟΥ ΛΟΒΟΥ G_m (dBi)				
ΜΕΓΙΣΤΟ ΚΕΡΔΟΣ ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΟΥ ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΝΤΟΣ ΛΟΒΟΥ G_s (dBi)				
ΓΩΝΙΑ ΗΜΙΣΕΩΣ ΙΣΧΥΟΣ θ_{-3dB} (ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ)				
ΓΩΝΙΑ θ_s (ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ)				
ΓΩΝΙΑ ΗΜΙΣΕΩΣ ΙΣΧΥΟΣ φ_{-3dB} (ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ)				
ΓΩΝΙΑ 1/10 ΙΣΧΥΟΣ φ_{-10dB} (ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ)				
ΓΩΝΙΑ 1/100 ΙΣΧΥΟΣ φ_{-20dB} (ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ)				
ΜΕΓΙΣΤΟ ΚΕΡΔΟΣ ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΟΥ ΠΛΑΓΙΟΥ ΛΟΒΟΥ G_r (dBi)				
ΑΡΙΘΜΟΣ ΦΑΣΜΑΤΙΚΩΝ				

ΚΑΝΑΛΙΩΝ (ΦΕΡΟΥΣΩΝ)				
ΙΣΧΥΣ ΣΤΗΝ ΕΙΣΟΔΟ ΤΗΣ ΚΕΡΑΙΟΔΙΑΤΑΞΗΣ ΑΝΑ ΦΕΡΟΥΣΑ				

Πίνακας 4.2-Τεχνικά χαρακτηριστικά των κεραιοδιατάξεων

4.3 Όρια ασφαλούς έκθεσης

Θα πρέπει να διευκρινιστεί ότι στην περίπτωση μελέτης ραδιοεκπομπών όταν δεν είναι ακριβώς γνωστή η συχνότητα εκπομπής μιας γειτονικής κεραιοδιάταξης, τότε θα θεωρείται ότι εκπέμπει με την συχνότητα στην οποία προκύπτουν οι δυσμενέστερες (αριθμητικά μικρότερες) τιμές για το επίπεδο αναφοράς της ισοδύναμης πυκνότητας ισχύος (π.χ για τηλεοπτική εκπομπή στην περιοχή συχνοτήτων UHF: 460MHz- 880MHz, θεωρείται ως δυσμενέστερη περίπτωση, εκπομπή στη συχνότητα 460MHz, δηλαδή επίπεδο αναφοράς για την ισοδύναμη πυκνότητα ισχύος 1.61W/m^2 και 1.38W/m^2 για συντελεστή μείωσης 70% και 60%, αντίστοιχα).

Επίσης στη μελέτη θα πρέπει να περιλαμβάνεται παράγραφος με θέμα τα όρια έκθεσης στην οποία θα αναφέρονται τα όρια έκθεσης για κάθε συχνότητα εκπομπής με τα οποία γίνεται σύγκριση, ο συντελεστής μείωσης που εφαρμόστηκε (70% ή 60%) καθώς και αν χρησιμοποιείται ο ΔΕΠΠΣ.

Τέλος, θα πρέπει να σημειωθεί ότι αν δεν είναι δυνατή η εξέταση ύπαρξης κτιριακών εγκαταστάσεων βρεφονηπιακών σταθμών, σχολείων, γηροκομείων, και νοσοκομείων για τις οποίες η απόσταση της περιμέτρου τους από τον σταθμό να είναι μικρότερη από 300 μέτρα, θα χρησιμοποιείται συντελεστής μείωσης 60%. Συνίσταται, χωρίς να είναι υποχρεωτικό, για σταθμούς που βρίσκονται εντός αστικών περιοχών να χρησιμοποιείται σε κάθε περίπτωση ο συντελεστής μείωσης 60%.

4.4 Υπολογισμοί μεγεθών εκπεμπόμενων ηλεκτρομαγνητικών πεδίων

Ο υπολογισμός της πυκνότητας ισχύος ισοδύναμου επίπεδου κύματος S που εκπέμπεται από κεραία αναμετάδοσης κινητής τηλεφωνίας γίνεται γενικά με βάση τον ακόλουθο τύπο:

$$S = \frac{P \cdot 10^{0.1G}}{4\pi R^2} u^2$$

όπου

- S η πυκνότητα ισχύος ισοδύναμου επίπεδου κύματος, σε W/m^2 ,
- P η ισχύς στην είσοδο της κεραίας σε Watt, (=αριθμός φερουσών x ισχύ ανα φέρουσα)
- G το ισοτροπικό κέρδος της κεραίας σε dbi,
- R η απόσταση από την κεραία της θέσης υπολογισμού της έντασης ακτινοβολίας, σε m, και
- u ο παράγοντας διάταξης που λαμβάνει υπόψη την ανάκλαση από το έδαφος

Ο παράγοντας u κυμαίνεται από 1 (διάδοση ελευθέρου χώρου) έως 2 (τέλεια αγωγίμο έδαφος – τέλεια ανάκλαση).

Λαμβάνοντας υπόψη στους υπολογισμούς τη δυσμενέστερη περίπτωση ($u=2$), όπου θεωρείται ότι τα απευθείας κύματα συμβάλλουν σε φάση με τα ανακλώμενα, ο παραπάνω τύπος γίνεται :

$$S = \frac{P \cdot 10^{0.1G}}{\pi R^2}$$

Αν λύσουμε τον τύπο αυτόν ως προς R , υπολογίζεται η απόσταση R_{\min} , που απαιτείται ώστε η πυκνότητα ισχύος S να μην υπερβαίνει το επίπεδο αναφοράς S_{\max} .

$$R_{\min} = \sqrt{\frac{P \cdot 10^{0.1G}}{\pi S_{\max}}}$$

Οι παραπάνω σχέσεις μπορούν να χρησιμοποιούνται γενικά και για τον υπολογισμό της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και στο περιβάλλον άλλων κεραιοδιατάξεων όπως κεραίες ραδιοφωνίας και τηλεόρασης αν χρειαστεί να συνυπολογιστεί στην μελέτη η παρουσία τέτοιων διατάξεων.

4.5 Βασικές παραδοχές και περιβάλλουσες διαγράμματος ακτινοβολίας

Οι κεραιές δεν ακτινοβολούν ομοιόμορφα στον περιβάλλοντα χώρο αλλά εκπέμπουν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία η οποία συγκεντρώνεται σε ορισμένες κατευθύνσεις. Για αυτό τον λόγο το ιστροπικό κέρδος $G(\theta, \varphi)$ (σε dBi) είναι συνάρτηση των γωνιακών πολικών συντεταγμένων, δηλαδή της γωνίας ανύψωσης θ ($0^\circ < \theta < 180^\circ$) και της γωνίας αζιμουθίου φ ($-180^\circ < \varphi < 180^\circ$).

Οι κεραιές διακρίνονται σε ομοιοκατευθυντικές (omni) όταν εκπέμπουν ομοιόμορφα στο οριζόντιο επίπεδο και κατευθυντικές όταν έχουν περιορισμένο άνοιγμα στο οριζόντιο διάγραμμα ακτινοβολίας. Τα διαγράμματα ακτινοβολίας που χρησιμοποιούνται στους υπολογισμούς προκύπτουν από τα θεωρητικά διαγράμματα των κατασκευαστών μέσω αυστηρών παραδοχών, εξασφαλίζοντας έτσι τους υπολογισμούς έναντι ανακρίβειών που οφείλονται στις μη ιδανικές συνθήκες λειτουργίας των κεραιών (αλληλεπίδραση με ιστό στήριξης, παρουσία αγωγίμου εδάφους, κλπ).

Για να απλουστευθούν οι μέθοδοι υπολογισμού, μπορούν πολλές κατευθυντικές κεραιές, τοποθετημένες πάνω στον ίδιο ιστό ή σε πολύ κοντινούς ιστούς και σε ίδιο περίπου ύψος να θεωρηθούν ότι παράγουν διάγραμμα ακτινοβολίας που προσεγγίζει αυτό μιας ομοιοκατευθυντικής κεραιάς. Για να γίνει όμως αυτή η παραδοχή θα πρέπει η σχετική αζιμουθιακή γωνία μεταξύ δύο γειτονικών κεραιών να είναι μεγαλύτερη του ημιαθροίσματος των γωνιών ημίσειας ισχύος των κεραιών αυτών στο οριζόντιο επίπεδο. Στην περίπτωση αυτή μπορεί να θεωρηθεί αντί των πραγματικών κεραιών, μία ισοδύναμη ομοιοκατευθυντική κεραιά με θέση το γεωμετρικό κέντρο των κατευθυντικών κεραιών. Η ισοδύναμη ομοιοκατευθυντική κεραιά θα έχει χαρακτηριστικά εκπομπής τα οποία προκύπτουν από τη σύνθεση των πλέον επιβαρυντικών χαρακτηριστικών των πραγματικών κεραιών. Το θεωρούμενο διάγραμμα ακτινοβολίας θα είναι, συνεπώς, ανεξάρτητο από τη γωνία αζιμουθίου φ και θα κατασκευάζεται περιβάλλουσα μόνο στο κατακόρυφο επίπεδο (ως προς θ). Σε περίπτωση που η σχετική αζιμουθιακή γωνία μεταξύ δύο γειτονικών κεραιοδιατάξεων είναι μικρότερη από το ημιάθροισμα των γωνιών ημίσειας ισχύος τότε αντί των δύο κεραιοδιατάξεων θεωρείται μία ισοδύναμη κεραιοδιάταξη με ισχύ εκπομπής το

άθροισμα των ισχύων των δύο κεραιοδιατάξεων και με υπόλοιπα χαρακτηριστικά εκπομπής τα δυσμενέστερα των δύο κεραιοδιατάξεων.

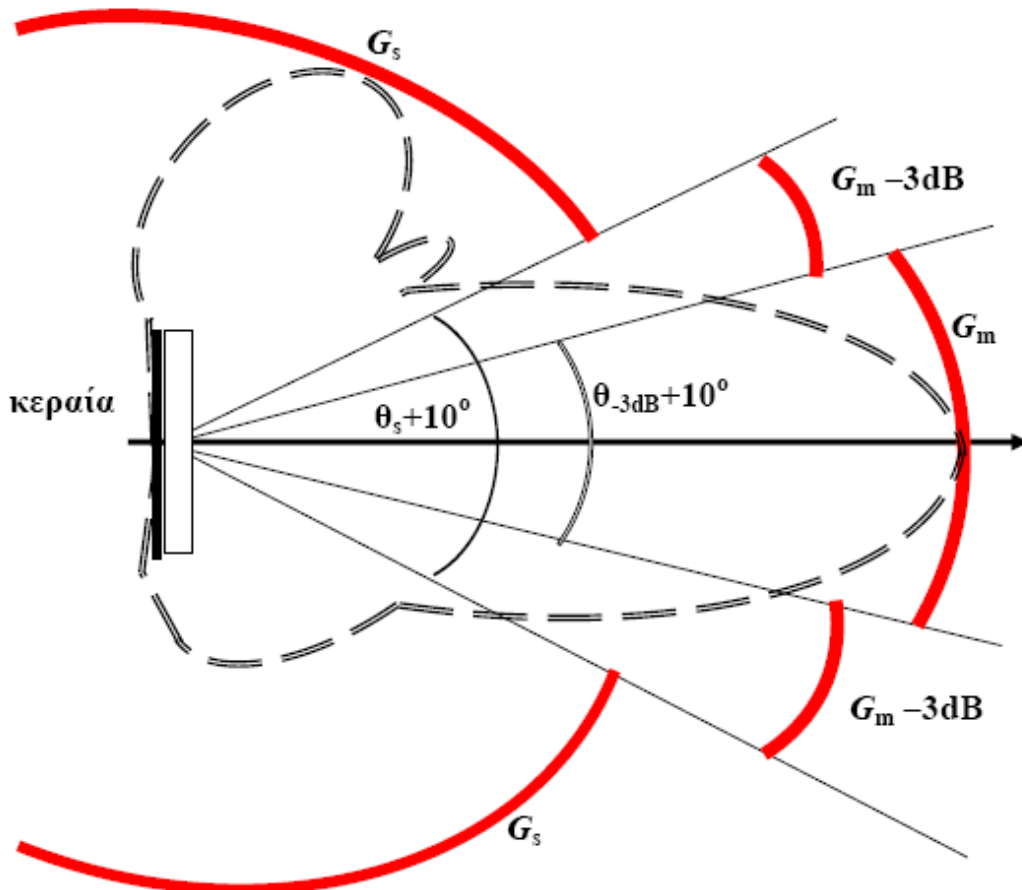
4.5.1 Περιβάλλουσα του διαγράμματος ακτινοβολίας στο κατακόρυφο επίπεδο

Στην περίπτωση αυτή γίνεται ο προσδιορισμός του διαγράμματος ακτινοβολίας μέγιστου κέρδους ανεξάρτητα από τη γωνία αζιμουθίου φ . Η κατασκευή της περιβάλλουσας του διαγράμματος ακτινοβολίας στο κατακόρυφο επίπεδο γίνεται βάσει των θεωρητικών διαγραμμάτων ακτινοβολίας των κεραιοδιατάξεων και είναι η εξής :

- ❖ Προσδιορισμός του μέγιστου κέρδους G_m (dBi) στον κύριο λοβό.
- ❖ Προσδιορισμός του μέγιστου κέρδους G_s (dBi) στον μεγαλύτερο δευτερεύοντα πλευρικό λοβό.
- ❖ Προσδιορισμός της γωνίας ημίσειας ισχύος θ_{-3dB} . Για λόγους ασφαλείας η τιμή της γωνίας προσαυξάνεται κατά 10° .
- ❖ Προσδιορισμός της γωνίας θ_s μεταξύ των δύο διευθύνσεων, στον κύριο λοβό, στις οποίες το κέρδος έχει την τιμή G_s . Για λόγους ασφαλείας η τιμή της γωνίας προσαυξάνεται κατά 10° .
- ❖ Λαμβάνονται οι δυσμενέστερες τιμές για τα G_m (μέγιστο), G_s (μέγιστο), θ_s (μέγιστη), θ_{-3dB} (μέγιστη) και ψ (ηλεκτρική και μηχανική κλίση-μέγιστη).
- ❖ Η περιβάλλουσα του διαγράμματος ακτινοβολίας δίνεται από τη συνάρτηση του κέρδους $G(\theta)$:

$$G(\theta) = \begin{cases} G_s & 0 \leq \theta \leq 85^\circ - \frac{1}{2}\theta_s \\ \max(G_s, G_m - 3dB) & 85^\circ - \frac{1}{2}\theta_s \leq \theta \leq 85^\circ - \frac{1}{2}\theta_{-3dB} \\ G_m & 85^\circ - \frac{1}{2}\theta_{-3dB} \leq \theta \leq 95^\circ + \frac{1}{2}\theta_{-3dB} \\ \max(G_s, G_m - 3dB) & 95^\circ + \frac{1}{2}\theta_{-3dB} \leq \theta \leq 95^\circ + \frac{1}{2}\theta_s \\ G_s & 95^\circ + \frac{1}{2}\theta_s \leq \theta \leq 180^\circ \end{cases}$$

Ο όρος $\max(G_s, G_m-3\text{dB})$ εισάγεται για να καλύψει και την περίπτωση που $G_m - G_s < 3\text{dB}$. Στην περίπτωση αυτή θεωρείται κέρδος G_s αντί του $G_m-3\text{dB}$ στην παραπάνω σχέση.



Εικόνα4.1-Περιβάλλουσα διαγράμματος ακτινοβολίας στο κατακόρυφο επίπεδο

4.5.2 Περιβάλλουσα του διαγράμματος ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο

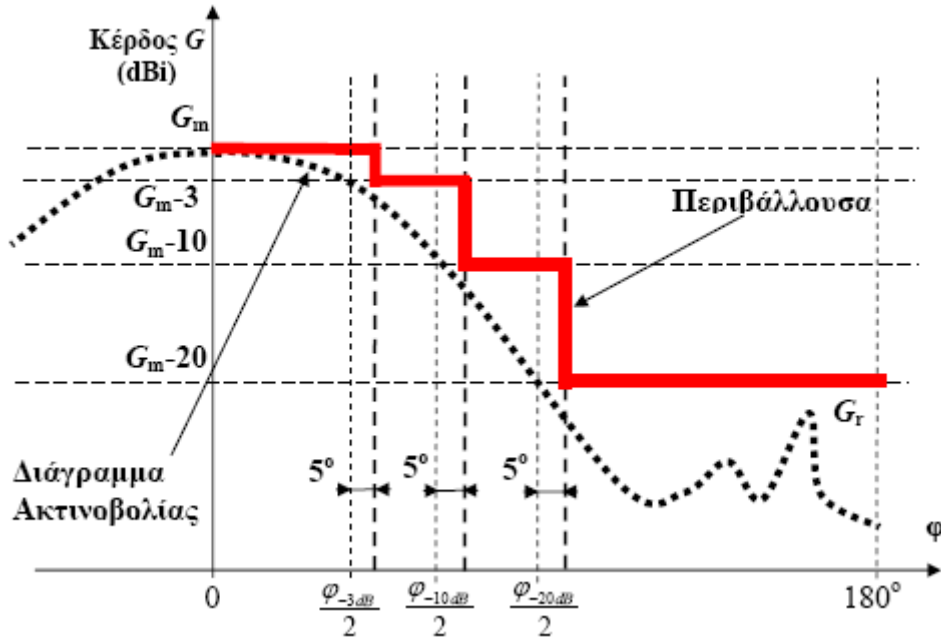
Αν οι θεωρήσεις της προηγούμενης παραγράφου κρίνονται υπερβολικά αυστηρές τότε κατασκευάζεται επιπλέον περιβάλλουσα του διαγράμματος ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο ($-180^\circ < \varphi < 180^\circ$), ως εξής:

- ❖ Προσδιορισμός της γωνίας ημίσεως ισχύος ϕ_{-3dB} στο οριζόντιο διάγραμμα ακτινοβολίας. Για λόγους ασφαλείας η τιμή της γωνίας αυτής προσαυξάνεται κατά 10° .
- ❖ Προσδιορισμός της γωνίας ϕ_{-10dB} μεταξύ των δύο διευθύνσεων, στον κύριο λοβό, στις οποίες το κέρδος έχει την τιμή $G_m - 10dB$. Για λόγους ασφαλείας η τιμή της γωνίας αυτής προσαυξάνεται κατά 10° .
- ❖ Προσδιορισμός της γωνίας ϕ_{-20dB} μεταξύ των δύο διευθύνσεων, στον κύριο λοβό, στις οποίες το κέρδος έχει την τιμή $G_m - 20dB$. Για λόγους ασφαλείας η τιμή της γωνίας αυτής προσαυξάνεται κατά 10° .
- ❖ Προσδιορισμός της μέγιστης τιμής κορυφής (τοπικό μέγιστο που αντιστοιχεί στον ισχυρότερο πλάγιο ή οπίσθιο λοβό) του κέρδους G στα διαστήματα $[-180^\circ, -\frac{1}{2}\phi_{-3dB}]$, $[\frac{1}{2}\phi_{-3dB}, 180^\circ]$. Έστω G_r η τιμή αυτή.
- ❖ Με την προϋπόθεση ότι το κέρδος έχει σταθερή κλίση σε καθένα από τα διαστήματα $[-\frac{1}{2}\phi_{-20dB}, 0^\circ]$, $[0^\circ, \frac{1}{2}\phi_{-20dB}]$, η περιβάλλουσα του οριζόντιου διαγράμματος ακτινοβολίας δίνεται από τη συνάρτηση του κέρδους $G(\phi)$:

$$G(\phi) = \begin{cases} G_m & |\phi| \leq \frac{1}{2}\phi_{-3dB} + 5^\circ \\ \max(G_r, G_m - 3dB) & \frac{1}{2}\phi_{-3dB} + 5^\circ \leq |\phi| \leq \frac{1}{2}\phi_{-10dB} + 5^\circ \\ \max(G_r, G_m - 10dB) & \frac{1}{2}\phi_{-10dB} + 5^\circ \leq |\phi| \leq \frac{1}{2}\phi_{-20dB} + 5^\circ \\ \max(G_r, G_m - 20dB) & \frac{1}{2}\phi_{-20dB} + 5^\circ \leq |\phi| \leq 180^\circ \end{cases}$$

Ο όρος $\max(G_r, G_m - kdB)$ (για $k=3, 10$ ή 20) εισάγεται για να καλύψει την περίπτωση που $G_m - G_r < k$ dB. Στην περίπτωση αυτή θεωρείται κέρδος G_r αντί του $G_m - k$ dB στην παραπάνω σχέση. Επομένως ο λοβός μέγιστης ακτινοβολίας κέρδους G_m απεικονίζεται σε γωνιακό άνοιγμα $\phi_1 = \phi_{-3dB} + 10^\circ$ εκατέρωθεν του προσανατολισμού

της κεραίας. Λόγω του τρόπου κατασκευής της, η περιβάλλουσα είναι συμμετρική ως προς τη διεύθυνση $\varphi=0^\circ$.



Εικόνα 4.2-Περιβάλλουσα διαγράμματος ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο

Αν πάνω στον ιστό ή σε πολύ κοντινούς ιστούς και στο ίδιο περίπου ύψος βρίσκονται τοποθετημένες κεραίες που εκπέμπουν σε διαφορετικές περιοχές συχνοτήτων είναι δυνατόν προκειμένου να θεωρηθούν ως μία, να γίνει αναγωγή της εκπεμπόμενης ισχύος κάποιας ή κάποιων από αυτών σε άλλη συχνότητα βάσει της παρακάτω σχέσης:

$$P_2 = P_1 \frac{S_{2\max}}{S_{1\max}}$$

όπου P_1 η πραγματική ισχύς εκπομπής στη συχνότητα f_1 , P_2 η θεωρούμενη ισχύς εκπομπής στη συχνότητα f_2 , $S_{1\max}$ και $S_{2\max}$ τα επιτρεπτά επίπεδα αναφοράς- όρια για την ισοδύναμη πυκνότητα ισχύος στις συχνότητες f_1 και f_2 , αντίστοιχα.

Αν μία έντονα κατευθυντική κεραία, η οποία έχει μέγιστο κέρδος G_1 , τροφοδοτείται με μικρή ισχύ P_1 τοποθετείται στον ίδιο ή σε πολύ κοντινό ιστό και σε ίδιο περίπου ύψος με μία λιγότερο κατευθυντική κεραία, η οποία έχει μέγιστο κέρδος G_2 και είναι μεγαλύτερης ισχύς P_2 , τότε μπορεί να ληφθεί, έτσι ώστε να θεωρηθούν

ως μία ισοδύναμη κεραιοδιάταξη, ότι η πρώτη κεραία εκπέμπει με ισχύ P_2 με ταυτόχρονη μείωση του κέρδους της. Η μείωση του κέρδους της πρώτης κεραίας ΔG δίνεται από την σχέση:

$$\Delta G = 10 \log \left(\frac{P_1}{P_2} \right)$$

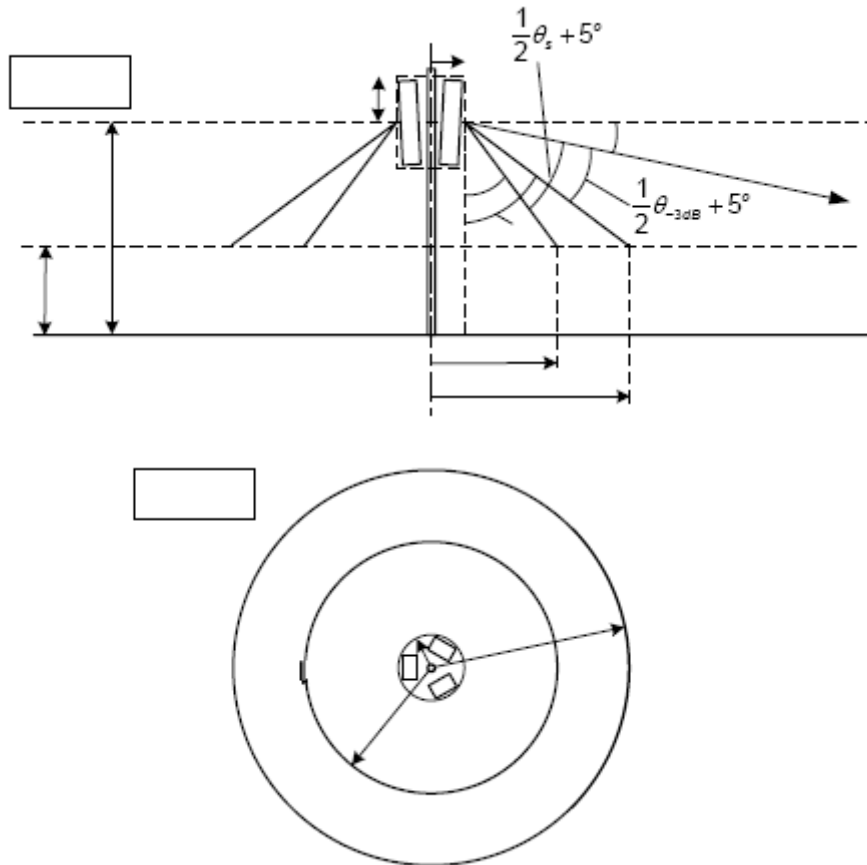
Γενικά, επιτρέπεται για απλοποίηση των υπολογισμών η θεώρηση περιβάλλουσας με μεγαλύτερο κέρδος από αυτό που περιγράφηκε παραπάνω για το οριζόντιο και κατακόρυφο επίπεδο. Για παράδειγμα μπορεί να απαλειφθούν οι περιοχές κέρδους $G_m-3\text{dB}$ επεκτείνοντας την περιοχή κέρδους G_m . Δεν επιτρέπεται όμως, η θεώρηση περιβάλλουσας με μικρότερο κέρδος.

4.6 Καθορισμός περιοχής προστασίας μεμονωμένου ιστού και έλεγχος συμμόρφωσης με αποστάσεις ασφαλείας

Θα πρέπει αρχικά να σημειωθεί ότι θεωρούμε ότι ισχύουν οι παραδοχές της παραγράφου 4.5 με αποτέλεσμα να εφαρμόζεται η μέθοδος της παραγράφου 4.5.1. Η τιμή της συνολικής ισχύος P που εκπέμπεται από την ισοδύναμη ομοιοκατευθυντική κεραία λαμβάνεται ίση με τη μέγιστη ισχύ που εκπέμπεται από τις κεραίες οι οποίες βρίσκονται τοποθετημένες πάνω στον ιστό ή στους κοντινούς ιστούς. Η ισχύς κάθε κεραίας προκύπτει ως το άθροισμα των επιμέρους τιμών ισχύος που εκπέμπονται από την κεραία στα διάφορα φασματικά κανάλια (φέρουσες) στην ίδια περιοχή συχνοτήτων.

Θεωρούμε το ψ ως τη συνολική κλίση προς τα κάτω της διεύθυνσης μέγιστου κέρδους της κεραίας ως προς τον οριζόντιο άξονα ($\psi =$ συνολικό tilt = ηλεκτρικό + μηχανικό) και ότι διαγράφονται δύο νοητές κωνικές επιφάνειες (η μία μέσα στην άλλη) με κοινό κατακόρυφο άξονα και κορυφή το κέντρο της διάταξης των κεραιών. Η γωνία μεταξύ της εξωτερικής επιφάνειας και του κατακόρυφου άξονα λαμβάνεται $\omega_{εξ} = 85^\circ - \psi - \frac{1}{2} \theta_{-3dB}$ και μεταξύ της εσωτερικής επιφάνειας και του κατακόρυφου άξονα $\omega_{εσ} = 85^\circ - \psi - \frac{1}{2} \theta_s$. Σε περίπτωση που τοποθετούνται πολλές κατευθυντικές

κεραίες πάνω στον ίδιο ιστό ή σε πολύ κοντινούς ιστούς, λαμβάνεται ως γωνία ψ η μεγαλύτερη μεταξύ των κλίσεων των κεραιών.



Εικόνα 4.3-Γεωμετρία ελέγχου ισοδύναμης ομοιοκατευθυντικής κεραίας

Μετά τον προσδιορισμό των γωνιών που αναφέρθηκαν παραπάνω ακολουθεί ο προσδιορισμός των κρίσιμων αποστάσεων R_m , R_{-3dB} και R_s που αναφέρονται στον κύριο λοβό, στην περιοχή ημίσειας ισχύος και στον μεγαλύτερο δευτερεύοντα πλευρικό αντίστοιχα και στις οποίες η ένταση ακτινοβολίας ισούται με το επίπεδο αναφοράς- όριο για την ισοδύναμη πυκνότητα ισχύος S_{max} . Από τον τύπο που υπολογίζεται γενικά η απόσταση R_{min} που απαιτείται ώστε η πυκνότητα ισχύος S να μην υπερβαίνει το επίπεδο αναφοράς S_{max} , ο οποίος έχει δοθεί σε προηγούμενη παράγραφο προκύπτουν οι παρακάτω σχέσεις:

$$R_m = \frac{\rho}{\sin \omega_{\varepsilon\xi}} + \sqrt{\frac{P \cdot 10^{0.1G_m}}{\pi S_{\max}}}, \quad R_{-3dB} = \frac{\rho}{\sin \omega_{\varepsilon\sigma}} + \sqrt{\frac{P \cdot 10^{0.1G_m}}{2\pi S_{\max}}}$$

$$R_s = \sqrt{\rho^2 + \frac{d^2}{4}} + \sqrt{\frac{P \cdot 10^{0.1G_s}}{\pi S_{\max}}}$$

όπου ρ η ακτίνα κατακόρυφου κυλίνδρου που περιβάλλει όλες τις θεωρούμενες κεραιοδιατάξεις και όπου d το ύψος του κυλίνδρου αυτού. Η προσαύξηση των σχετικών διαστάσεων του κυλίνδρου στις αποστάσεις αυτές γίνεται για να αντισταθμιστεί η απώλεια από την θεώρηση της ομοιοκατευθυντικής κεραίας στο κέντρο της διάταξης.

Η περιοχή στην οποία δεν πρέπει να υπάρχει δυνατότητα πρόσβασης περιορίζεται εντός του εσωτερικού κώνου σε αποστάσεις από το κέντρο της διάταξης των κεραιών μικρότερες από R_s , μεταξύ των δύο κωνικών επιφανειών σε αποστάσεις από το κέντρο της διάταξης των κεραιών μικρότερες από R_{-3dB} και έξω από τον εξωτερικό κώνο σε αποστάσεις από το κέντρο της διάταξης των κεραιών μικρότερες από R_m .

Με τη βοήθεια του τοπογραφικού διαγράμματος και των στοιχείων τα οποία περιλαμβάνονται στο σχετικό φάκελο του σταθμού, γίνεται εντοπισμός των τριών πλησιέστερων προς την κεραία θέσεων (εντός του εσωτερικού κώνου, μεταξύ των δύο κώνων και εκτός αυτών) οι οποίες θεωρείται ότι χρήζουν προστασίας (κατοικία, έδαφος, ταράτσα και γενικά οποιοδήποτε μέρος όπου υπάρχει ανθρώπινη πρόσβαση). Στη συνέχεια, γίνεται υπερύψωση των παρακάτω θέσεων κατά 2 μέτρα- θεώρηση παρουσίας ενός ιδιαίτερα ψηλού ανθρώπου και υπολογίζεται η απόσταση τους από το κέντρο της κεραίας. Έστω $R_{\varepsilon\sigma}$, $R_{\mu\epsilon\tau}$ και $R_{\varepsilon\xi}$ οι αντίστοιχες αποστάσεις. Ακολουθούν οι παρακάτω έλεγχοι:

- ελέγχεται αν η απόσταση $R_{\varepsilon\sigma}$ είναι μεγαλύτερη από την απόσταση R_s , ή αλλιώς να μην υπάρχει θέση όπου να είναι δυνατή η πρόσβαση του κοινού και αν υπερυψωθεί κατά 2 μέτρα, να βρίσκεται εντός του εσωτερικού κώνου και σε απόσταση μικρότερη από R_s από το κέντρο της κεραίας.
- ελέγχεται αν η απόσταση $R_{\mu\epsilon\tau}$ είναι μεγαλύτερη από την απόσταση R_{-3dB} , ή αλλιώς να μην υπάρχει θέση όπου να είναι δυνατή η πρόσβαση του κοινού και αν υπερυψωθεί κατά 2 μέτρα, να βρίσκεται μεταξύ των δύο κώνων και σε απόσταση μικρότερη από R_{-3dB} από το κέντρο της κεραίας.

- ελέγχεται αν η απόσταση $R_{εξ}$ είναι μεγαλύτερη από την απόσταση R_m , ή αλλιώς να μην υπάρχει θέση όπου είναι δυνατή η πρόσβαση του κοινού και αν υπερυψωθεί κατά 2 μέτρα, να βρίσκεται εκτός του εξωτερικού κώνου και σε απόσταση μικρότερη από R_m από το κέντρο της κεραίας.

Εφόσον το αποτέλεσμα είναι θετικό και στους τρεις παραπάνω ελέγχους, κρίνεται ότι σε χώρους που είναι προσιτοί από το γενικό πληθυσμό η ένταση ακτινοβολίας είναι χαμηλότερη από το επίπεδο αναφοράς- όριο.

Το που βρίσκεται το σημείο δηλαδή εντός του εσωτερικού κώνου, μεταξύ των δύο κώνων ή εκτός του εξωτερικού κώνου καθορίζεται από την υψομετρική του στάθμη σε σχέση με το ύψος τοποθέτησης της κεραίας και την οριζόντια απόσταση από αυτή. Πιο συγκεκριμένα, αν το κέντρο της κεραίας βρίσκεται σε ύψος H μέτρων πάνω από το οριζόντιο επίπεδο- στάθμη αναφοράς όπου γίνεται ο υπολογισμός, τα σημεία του επιπέδου που βρίσκονται σε οριζόντια απόσταση x από το κέντρο της κεραίας θεωρούνται ότι βρίσκονται:

- εντός του εσωτερικού κώνου αν $x < \rho_{εσ}$
- μεταξύ των δύο κώνων αν $\rho_{εσ} \leq x < \rho_{εξ}$
- εκτός του εξωτερικού κώνου αν $\rho_{εξ} \leq x$

όπου $\rho_{εσ}$ και $\rho_{εξ}$ οι ακτίνες των κύκλων που σχηματίζουν οι τομές του εσωτερικού και εξωτερικού κώνου αντίστοιχα, με το οριζόντιο επίπεδο- στάθμη αναφοράς.

$$\rho_{εσ} = \rho + (H - 2) \tan \omega_{εσ}, \quad \rho_{εξ} = \rho + (H - 2) \tan \omega_{εξ}$$

Υπενθυμίζεται ότι με ρ συμβολίζεται η ακτίνα κατακόρυφου κυλίνδρου που περιβάλλει όλες τις θεωρούμενες κεραιοδιατάξεις.

Σε περίπτωση που στον ίδιο ή σε πολύ κοντινούς ιστούς τοποθετούνται κεραίες που εκπέμπουν σε πολλαπλές συχνότητες, f_k ($k=1,2,\dots$), ως εσωτερικός κώνος θεωρείται αυτός με την μικρότερη γωνία $\omega_{εσ}$, όπως προκύπτει για τις διάφορες συχνότητες εκπομπής και ομοίως ως εξωτερικός κώνος θεωρείται αυτός με την μικρότερη γωνία $\omega_{εξ}$. Οι οριακές αποστάσεις R_m , R_{-3dB} και R_s προκύπτουν από τις ακόλουθες σχέσεις:

$$R_m = \frac{\rho}{\sin \omega_{εξ}} + \sqrt{\sum \left(\frac{P_k \cdot 10^{0.1G_{nm}}}{\pi S_{k \max}} \right)^2}$$

$$R_{-3dB} = \frac{\rho}{\sin \omega_{\varepsilon\sigma}} + \sqrt{\sum_k \left(\frac{P_k \cdot 10^{0.1G_{km}}}{2\pi S_{k \max}} \right)^2}$$

$$R_s = \sqrt{\rho^2 + \frac{d^2}{4}} + \sqrt{\sum_k \left(\frac{P_k \cdot 10^{0.1G_{ks}}}{\pi S_{k \max}} \right)^2}$$

όπου G_{km} το μέγιστο κέρδος, G_{ks} το κέρδος του μεγαλύτερου πλευρικού λοβού, P_k η ισχύς στην είσοδο της κεραίας και $S_{k \max}$ το επίπεδο αναφοράς- όριο στη συχνότητα εκπομπής f_k .

Σε περίπτωση που στον ίδιο ιστό ή σε πολύ κοντινούς ιστούς τοποθετούνται κεραίες σε διαφορετικές υψομετρικές στάθμες, αυτές μπορούν να θεωρηθούν ως δύο ισοδύναμες ομοιοκατευθυντικές κεραίες στις στάθμες αυτές. Θεωρούνται οι ίδιοι εσωτερικοί και εξωτερικοί κώνοι και για τις δύο κεραίες και συγκεκριμένα από τους κώνους που προκύπτουν για τις δύο κεραίες, επιλέγονται ως εσωτερικός και εξωτερικός κώνος, αντίστοιχα, αυτοί με την μικρότερη γωνία $\omega_{\varepsilon\sigma}$ και $\omega_{\varepsilon\xi}$. Ως θεωρούμενο ύψος τοποθέτησης των κεραιών λαμβάνεται η χαμηλότερη υψομετρική στάθμη όπου υπάρχουν κεραίες.

4.7 Καθορισμός περιοχής προστασίας μεμονωμένων κατευθυντικών κεραιών και έλεγχος συμμόρφωσης με αποστάσεις ασφαλείας

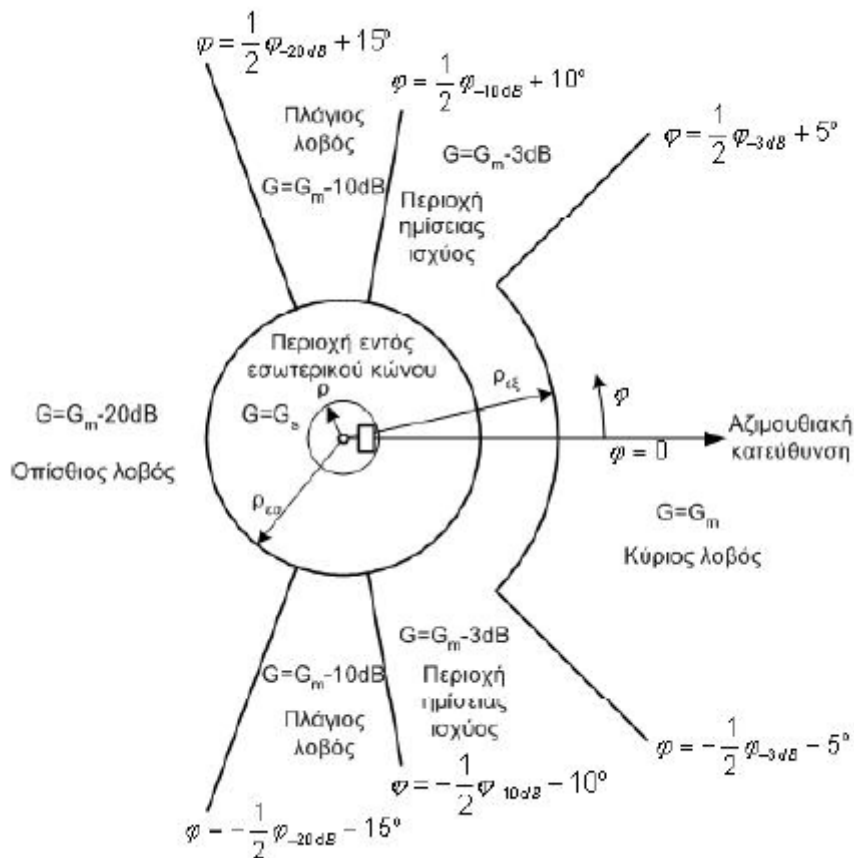
Αν έχουμε μία κατευθυντική κεραία τότε προσδιορίζεται η αζιμουθιακή γωνία μέγιστου κέρδους γ , που δείχνει τον προσανατολισμό της και υπολογίζεται η περιβάλλουσα του διαγράμματος ακτινοβολίας ως προς φ και οι σχετικές παράμετροι που έχουν αναφερθεί στην παράγραφο 4.5.2. Στη συνέχεια προσδιορίζονται οι αποστάσεις ασφαλείας R_m , R_{-3dB} (δίνονται στην παράγραφο 4.6), R_{-10dB} και R_{-20dB} οι οποίες αντιστοιχούν στις περιοχές σταθερού κέρδους G_m , G_m-3dB , G_m-10dB και G_m-20dB . Οι αποστάσεις ασφαλείας R_{-10dB} και R_{-20dB} δίνονται από τις ακόλουθες σχέσεις:

$$R_{-10dB} = \frac{\rho}{\sin \omega_{\varepsilon\sigma}} + \sqrt{\frac{P \cdot 10^{0.1G_m}}{10\pi S_{\max}}}, R_{-20dB} = \frac{\rho}{\sin \omega_{\varepsilon\sigma}} + \sqrt{\frac{P \cdot 10^{0.1G_m}}{100\pi S_{\max}}}$$

Με τη βοήθεια του τοπογραφικού διαγράμματος και των στοιχείων τα οποία περιλαμβάνονται στο σχετικό φάκελο του σταθμού, γίνεται εντοπισμός των πέντε πλησιέστερων προς την κεραία θέσεων (περιοχή κύριου λοβού, περιοχή ημίσειας ισχύος, περιοχή πλάγιου λοβού, περιοχή οπίσθιου λοβού και περιοχή εντός εσωτερικού κώνου) οι οποίες θεωρείται ότι χρήζουν προστασίας (κατοικία, έδαφος, ταράτσα και γενικά οποιοδήποτε μέρος όπου υπάρχει ανθρώπινη πρόσβαση). Στη συνέχεια, γίνεται υπερύψωση των παρακάτω θέσεων κατά 2 μέτρα- θεώρηση παρουσίας ενός ιδιαίτερα ψηλού ανθρώπου και υπολογίζεται η απόσταση τους από το κέντρο της κεραίας. Έστω $R_{κλ}$, $R_{ηι}$, $R_{πλ}$, $R_{ολ}$ και $R_{εσ}$ οι αποστάσεις στις περιοχές κύριου λοβού, ημίσειας ισχύος, πλάγιου λοβού, οπίσθιου λοβού και εντός εσωτερικού κώνου αντίστοιχα. Στη συνέχεια, ελέγχεται αν οι αποστάσεις αυτές ικανοποιούν τις ακόλουθες σχέσεις:

- Στην περιοχή κυρίου λοβού, πρέπει: $R_{κλ} > R_m$
- Στην περιοχή ημίσειας ισχύος, πρέπει: $R_{ηι} > R_{-3dB}$
- Στην περιοχή πλάγιου λοβού, πρέπει: $R_{πλ} > R_{-10dB}$
- Στην περιοχή οπίσθιου λοβού, πρέπει: $R_{ολ} > R_{-20dB}$
- Στην περιοχή εντός εσωτερικού κώνου, πρέπει: $R_{εσ} > R_s$

Οι έλεγχοι αυτοί είναι απαραίτητοι μόνο εάν εντός των αποστάσεων αυτών υπάρχουν σημεία που χρήζουν προστασίας. Επίσης, θα πρέπει να σημειωθεί ότι είναι δυνατόν να θεωρηθούν δύο ή περισσότερες γειτονικές περιοχές ως μία στην οποία το κέρδος της κεραίας λαμβάνεται ίσο με το μέγιστο των περιοχών αυτών και η απόσταση από την κεραία ίση με την ελάχιστη των δύο.



Εικόνα4.4-Γεωμετρία ελέγχου κατευθυντικής κεραίας

Αν έχουμε στον ίδιο ιστό ή σε πολύ κοντινό ιστό μία δεύτερη κατευθυντική κεραία τότε προσδιορίζονται οι προσανατολισμοί των δύο κεραιών και χαράσσεται η κοινή περιβάλλουσα διαγραμμάτων ακτινοβολίας και ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία (η ίδια διαδικασία χρησιμοποιείται και όταν η δεύτερη κεραία είναι πραγματική ή ισοδύναμη ομοιοκατευθυντική) :

- Γίνεται κατασκευή των περιβαλλουσών των κατακόρυφων και οριζόντιων διαγραμμάτων των δύο κεραιών σύμφωνα με τα όσα έχουν ήδη αναφερθεί στις παραγράφους 4.5.1 και 4.5.2. Στην περίπτωση της ομοιοκατευθυντικής κεραίας, το οριζόντιο διάγραμμα θα είναι μία ευθεία γραμμή).
- Έστω ότι P_1 και P_2 αντίστοιχα, ισχύς τροφοδοσίας της πρώτης και της δεύτερης κεραίας. Υπολογίζεται ο λόγος $\Delta G_P = P_2/P_1$ σε dB και προστίθεται στα διαγράμματα ακτινοβολίας της δεύτερης κεραίας. Αυτό γίνεται για να αναφέρονται τα διαγράμματα ακτινοβολίας των δύο κεραιών στην ίδια ισχύ εκπομπής.

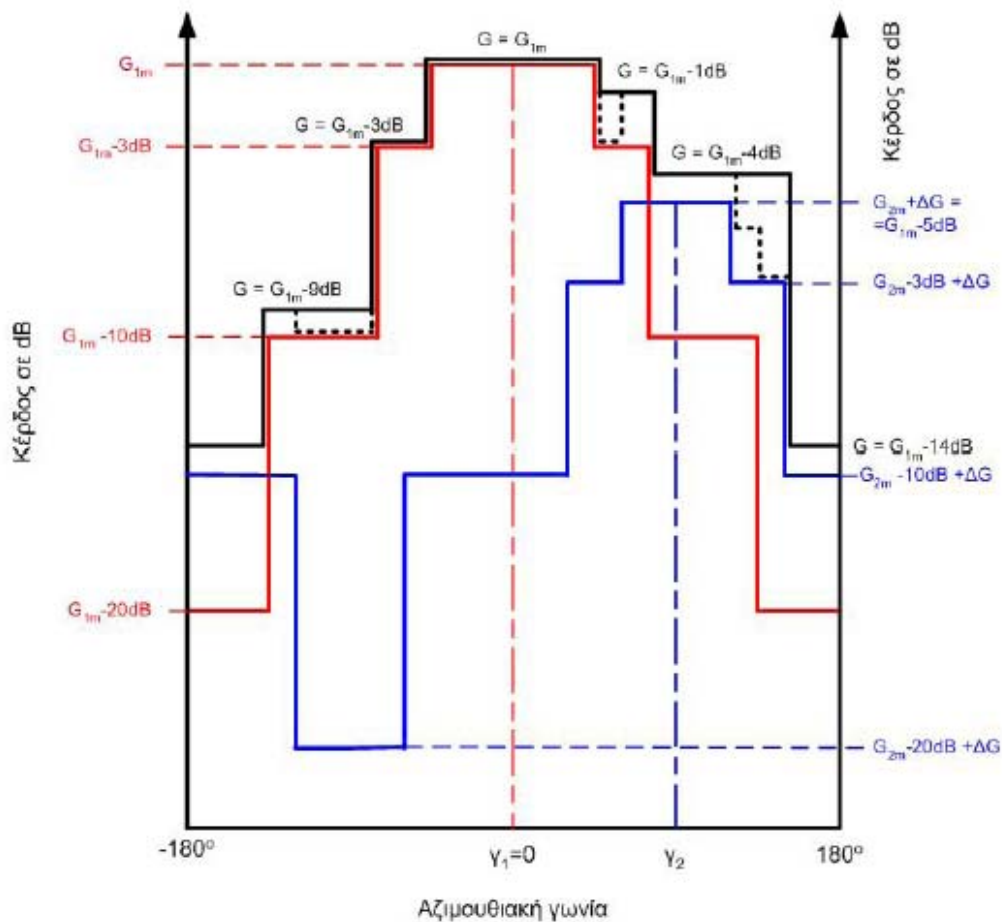
- Έστω f_1 και f_2 οι συχνότητες εκπομπής αντίστοιχα, της πρώτης και της δεύτερης κεραίας. Στις συχνότητες αυτές, αντιστοιχούν, στην γενική περίπτωση, δύο διαφορετικά επίπεδα αναφοράς για την ισοδύναμη πυκνότητα ισχύος S_{1max} και S_{2max} , αντίστοιχα. Υπολογίζεται ο λόγος $\Delta G_f = S_{1max} / S_{2max}$ σε dB και προστίθενται στα διαγράμματα ακτινοβολίας της δεύτερης κεραίας. Αυτό γίνεται για να αναφέρονται τα διαγράμματα ακτινοβολίας στην ίδια συχνότητα εκπομπής. Συνολικά δηλαδή, στο διάγραμμα ακτινοβολίας της δεύτερης κεραίας προστίθεται $\Delta G = \Delta G_p + \Delta G_f$.
- Η εγκατάσταση των δύο κεραίων μπορεί να θεωρηθεί ως μία ισοδύναμη κεραία που τροφοδοτείται με ισχύ P_1 και εκπέμπει στη συχνότητα f_1 . Το συνολικό οριζόντιο διάγραμμα ακτινοβολίας $G(\varphi)$ της ισοδύναμης κεραίας λαμβάνεται ίσο με το μέγιστο των δύο συν μία προσαύξηση που εξαρτάται από την απόλυτη διαφορά των δύο κερδών (λαμβάνοντας υπόψη και την διαφορά στην αζιμουθιακή γωνία κατεύθυνσης των δύο κεραίων)

$$G(\varphi) = \max[G_1(\varphi), G_2(\varphi) + \Delta G] + \text{προσαύξηση}$$

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι τιμές της προσαύξησης που θεωρούνται συναρτήσει της απόλυτης διαφοράς των δύο κερδών. Τα $G_1(\varphi)$ και $G_2(\varphi)$ είναι οι περιβάλλουσες που προκύπτουν για τα οριζόντια διαγράμματα ακτινοβολίας των δύο κεραίων, λαμβάνοντας υπόψη την διαφορετική αζιμουθιακή κατεύθυνση των κύριων λοβών τους.

$D = G_1 - G_2 - \Delta G $ σε dB	Προσαύξηση σε dB
$0 \leq D \leq 1$	3
$1 < D \leq 4$	2
$4 < D \leq 9$	1
$D > 9$	0

Πίνακας 4.3- Προσαύξηση σε dB στη σχέση που ορίζει το συνολικό οριζόντιο διάγραμμα ακτινοβολίας $G(\varphi)$ της ισοδύναμης κεραίας



Εικόνα4.5-Κατασκευή κοινής περιβάλλουσας του οριζόντιου διαγράμματος στο περιβάλλον δύο κατευθυντικών κεραιών. Στο διάγραμμα της περιβάλλουσας οριζόντιας ακτινοβολίας της πρώτης κεραιάς (συμβολίζεται γενικά με κόκκινο χρώμα και τον δείκτη 1) μεταφέρεται η περιβάλλουσα της δεύτερης κεραιάς (συμβολίζεται γενικά με μπλε χρώμα και τον δείκτη 2) λαμβάνοντας υπόψη την μεταβολή ΔG στο κέρδος της δεύτερης κεραιάς λόγω διαφορετικής ισχύος και διαφορετικής συχνότητας εκπομπής. Λαμβάνεται επίσης υπόψη ότι οι αζιμουθιακές κατευθύνσεις γ_1 και γ_2 των δύο κεραιών είναι διαφορετικές. Η κοινή περιβάλλουσα που εξάγεται λόγω της σχέσης που ορίζει το συνολικό οριζόντιο διάγραμμα ακτινοβολίας $G(\varphi)$ της ισοδύναμης κεραιάς απεικονίζεται με μαύρη γραμμή. Σε μερικά σημεία έχουν γίνει ελαφρώς αυστηρότερες θεωρήσεις για την κοινή περιβάλλουσα με στόχο την απλοποίηση του διαγράμματος. Στα σημεία αυτά η περιβάλλουσα που ακολουθεί επακριβώς την σχέση που ορίζει το συνολικό οριζόντιο διάγραμμα ακτινοβολίας $G(\varphi)$ της ισοδύναμης κεραιάς απεικονίζεται με διακεκομμένη μαύρη γραμμή.

Σε περίπτωση που έχουμε μία τρίτη κεραιά τότε επαναλαμβάνεται η διαδικασία που περιγράφηκε παραπάνω προσθέτοντας στο διάγραμμα ακτινοβολίας που προέκυψε το οριζόντιο διάγραμμα της τρίτης κεραιάς.

Ως εσωτερικός κώνος της τελικής ισοδύναμης κεραίας θεωρείται αυτός με την μικρότερη γωνία $\omega_{\text{εσ}}$, που προκύπτει για τις θεωρούμενες κεραίες και ως κέρδος του εσωτερικού κώνου θεωρείται αυτό που προκύπτει από τη παραπάνω σχέση που δίνει το συνολικό οριζόντιο διάγραμμα ακτινοβολίας $G(\varphi)$ της ισοδύναμης κεραίας με κέρδη G_1 και G_2 τα G_{s1} και G_{s2} , αντίστοιχα. Ομοίως, ως εξωτερικός κώνος θεωρείται αυτός με την μικρότερη γωνία $\omega_{\text{εξ}}$ που προκύπτει για τις δύο κεραίες. Στο ενδιάμεσο των κώνων το κέρδος θεωρείται ίσο με αυτό που προκύπτει από την σχέση που αναφέραμε παραπάνω μείον 3dB. Στο εξωτερικό των δύο κώνων ως κέρδος της κεραιοδιάταξης θεωρείται αυτό που προκύπτει από τη σχέση που δίνει το συνολικό οριζόντιο διάγραμμα ακτινοβολίας $G(\varphi)$ της ισοδύναμης κεραίας. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία υπολογίζεται θεωρώντας μια ισοδύναμη κεραία με τα κέρδη αυτά, που τροφοδοτείται με ισχύ P_1 και εκπέμπει στη συχνότητα f_1 . Στη συνέχεια υπολογίζονται αποστάσεις ασφαλείας όπως προκύπτουν για κάθε περιοχή και συγκρίνονται με τις πραγματικές αποστάσεις των σημείων όπου υπάρχει ανθρώπινη πρόσβαση στο περιβάλλον των κεραιοδιατάξεων [10].

Θα πρέπει να αναφερθεί ότι στην παράγραφο αυτή θεωρήθηκε ότι όλες οι κεραιοδιατάξεις βρίσκονται τοποθετημένες στο ίδιο περίπου ύψος. Αν στην πράξη οι κεραιοδιατάξεις βρίσκονται τοποθετημένες σε διαφορετικά ύψη τότε μπορεί να θεωρηθεί, ως δυσμενής θεώρηση, ότι όλες οι κεραιοδιατάξεις βρίσκονται στο χαμηλότερο ύψος.

4.8 Ανεξάρτητη θεώρηση δύο ή περισσότερων κεραιοδιατάξεων, υπολογισμός επιπέδων ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και σύγκριση με τα όρια

Αν έχουμε στον ίδιο χώρο δύο ή περισσότερες κεραιοδιατάξεις τότε ο χώρος ελεύθερης πρόσβασης στο περιβάλλον τους χωρίζεται σε περιοχές έτσι ώστε το θεωρούμενο κέρδος από την περιβάλλουσα του διαγράμματος κάθε κεραιοδιάταξης, πραγματικής ή ισοδύναμης να είναι σταθερό. Οι περιοχές αυτές ονομάζονται περιοχές σταθερού κέρδους και αριθμούνται χαρακτηριστικά.

Για κάθε περιοχή σταθερού κέρδους i επιλέγεται το σημείο που απέχει την ελάχιστη απόσταση από κάθε κεραιοδιάταξη (υπερυψωμένο κατά δύο μέτρα) και

υπολογίζεται η μέγιστη ακτινοβολούμενη ισχύς από την κεραιοδιάταξη j στην περιοχή i και στη συχνότητα f (για τις περιπτώσεις εκπομπής σε περισσότερες από μία συχνότητες από την ίδια κεραιοδιάταξη), S_{jif} , από το γενικό τύπο που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του μεγέθους της πυκνότητας ισχύος ισοδύναμου επίπεδου κύματος S που εκπέμπεται από κεραία αναμετάδοσης κινητής τηλεφωνίας:

$$S = \frac{P \cdot 10^{0.1G}}{4\pi R^2} u^2$$

Τα μεγέθη της σχέσης αυτής περιγράφονται αναλυτικά στην παράγραφο 4.4. Στη συνέχεια, υπολογίζεται ο μέγιστος λόγος έκθεσης από την κεραιοδιάταξη j στην περιοχή i , ΛE_{ji} .

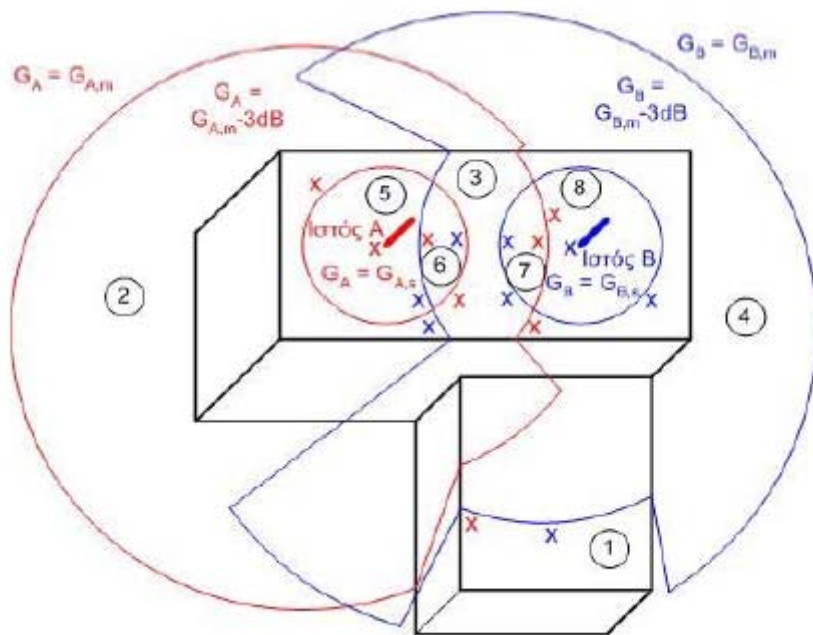
$$\Lambda E_{ji} = \sum_f \frac{S_{jif}}{S_{f,\max}}$$

όπου $S_{f,\max}$ το επίπεδο αναφοράς- όριο για την συχνότητα f .

Στη συνέχεια, υπολογίζεται αν το άθροισμα των μέγιστων λόγων έκθεσης, $\Lambda \Lambda E_i$ στην περιοχή i είναι μικρότερο της μονάδας.

$$\Lambda \Lambda E_i = \sum_j \Lambda E_{ji} < 1$$

Αν το άθροισμα των μέγιστων λόγων έκθεσης, $\Lambda \Lambda E_i$, είναι μικρότερο της μονάδας, τότε, επειδή ο δείκτης έκθεσης πολλαπλών συχνοτήτων είναι μικρότερος του $\Lambda \Lambda E_i$ οπουδήποτε στην περιοχή i , δεν χρειάζεται η λήψη μέτρων προφύλαξης του κοινού στην περιοχή i . Αν αντιθέτως το άθροισμα των μέγιστων λόγων έκθεσης, $\Lambda \Lambda E_i$, δεν είναι μικρότερο της μονάδας, τότε ενδεχομένως στην περιοχή i ή σε τμήμα αυτής να χρειάζεται η λήψη μέτρων προφύλαξης του κοινού. Εάν το σχήμα μιας περιοχής σταθερού κέρδους είναι τέτοιο ώστε να προκύπτουν εξαιρετικά μικρές αποστάσεις από δύο ή περισσότερες κεραιοδιατάξεις, είναι δυνατόν η περιοχή αυτή να διαιρεθεί σε μικρότερα τμήματα για πιο ρεαλιστικούς υπολογισμούς. Μετά τη διαίρεση της περιοχής σε τμήματα επαναλαμβάνεται ο υπολογισμός που περιγράφηκε παραπάνω ώστε να αποδειχθεί ότι σε οποιαδήποτε περιοχή είναι δυνατή η ανθρώπινη πρόσβαση, ισχύει η ανισότητα $\Lambda \Lambda E_i = \sum_j \Lambda E_{ji} < 1$.



Εικόνα 4.6-Τρισδιάστατη απεικόνιση δύο ομοιοκατευθυντικών κεραιοδιατάξεων που βρίσκονται τοποθετημένες επί δύο ανεξάρτητων ιστών Α και Β στην οροφή ενός κτιρίου παρουσία ενός χαμηλότερου γειτονικού κτιρίου. Απεικονίζονται ακόμη τα περιγράμματα των κώνων που ορίζουν τις περιοχές σταθερού κέρδους των δύο κεραιοδιατάξεων όπως διαμορφώνονται από την παρουσία των κτιρίων. Οι περιοχές σταθερού κέρδους αριθμούνται από 1 έως 8. Στον ακόλουθο πίνακα φαίνονται τα θεωρούμενα κέρδη G_A και G_B στον ιστό Α και Β, αντίστοιχα, στις περιοχές αυτές. Με κόκκινο και μπλε χ σημειώνονται τα σημεία ελάχιστης απόστασης από τις κεραιοδιατάξεις στον ιστό Α και Β, αντίστοιχα, σε κάθε περιοχή για τον υπολογισμό της μέγιστης ακτινοβολούμενης ισχύος.

Περιοχή	G_A	G_B
1	$G_{A,m}$	$G_{B,m}$
2	$G_{A,m}-3dB$	$G_{B,m}$
3	$G_{A,m}-3dB$	$G_{B,m}-3dB$
4	$G_{A,m}$	$G_{B,m}-3dB$
5	$G_{A,s}$	$G_{B,m}$
6	$G_{A,s}$	$G_{B,m}-3dB$
7	$G_{A,m}-3dB$	$G_{B,s}$
8	$G_{A,m}$	$G_{B,s}$

Πίνακας 4.4-Θεωρούμενα κέρδη G_A και G_B στον ιστό Α και Β, αντίστοιχα, ανά περιοχή

4.9 Μικροκυματικές ζεύξεις

Όσον αφορά την εκπεμπόμενη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία από την μικροκυματική ζεύξη που χρησιμοποιείται για τη διασύνδεση του σταθμού βάσης, αυτή πρακτικά μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα. Οι λόγοι αυτής της θεώρησης είναι ότι η ισχύς στην είσοδο της ζεύξης είναι εξαιρετικά μικρή (της τάξης των mW), η μικροκυματική κεραία είναι υπερκατευθυντική καθώς επίσης η διεύθυνση μέγιστης ακτινοβολίας της μικροκυματικής κεραίας δεν συναντά σημεία προσιτά στον γενικό πληθυσμό. Σε περίπτωση που ο τελευταίος λόγος δεν ισχύει, πρέπει να λαμβάνονται μέτρα προφύλαξης του κοινού και αναφέρονται στην τεχνική μελέτη ραδιοεκπομπών του σταθμού βάσης κινητής τηλεφωνίας.

Στην συνήθη περίπτωση που ο σταθμός βάσης κινητής τηλεφωνίας περιλαμβάνει μόνο μία μικροκυματική ζεύξη σε τέτοιο ύψος, ώστε να μην υπάρχει δυνατότητα πρόσβασης από τον γενικό πληθυσμό στην διεύθυνση μέγιστης ακτινοβολίας της, δεν απαιτείται συνυπολογισμός της κεραίας αυτής.

Εάν ο σταθμός κινητής τηλεφωνίας περιλαμβάνει περισσότερες από μία μικροκυματικές ζεύξεις, η εκπεμπόμενη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία από τις ζεύξεις αυτές πρέπει να συνυπολογίζεται και να προστίθεται στην ακτινοβολία των κεραιοδιατάξεων κινητής τηλεφωνίας σύμφωνα με τον ισχύον τεχνικό υπόδειγμα της ΕΕΑΕ για τους σταθμούς μικροκυματικών κεραιών

4.10 Μέτρα προφύλαξης του κοινού

Αφού γίνουν οι υπολογισμοί των επιπέδων της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και οι έλεγχοι τήρησης των ορίων ασφαλούς έκθεσης του κοινού, ακολουθεί ο προσδιορισμός με σαφήνεια των σημείων εκείνων που χρήζουν προστασίας και πρέπει να αποκλειστεί η δυνατότητα πρόσβασης του κοινού. Στη συνέχεια, θα αναφέρεται με σαφήνεια ο τρόπος υλοποίησης των μέτρων προφύλαξης του κοινού. Πιθανοί τρόποι προφύλαξης είναι :

- Ο περιορισμός της πρόσβασης με την χρήση φυσικών μέσων όπως περίφραξη, κυγκλιδώματα, κλειδωμένες πόρτες κλπ.

- Η ενημέρωση για την περιοχή απαγορευμένης πρόσβασης με την ανάρτηση ειδικών πινακίδων.
- Η επισήμανση της περιοχής απαγορευμένης πρόσβασης με την χρήση έγχρωμων διαγραμμίσεων.
- Η χρήση φωτεινών και ηχητικών συναγερμών σε περίπτωση παραβίασης της περιοχής απαγορευμένης πρόσβασης.

Τα μέτρα προφύλαξης του κοινού πρέπει να είναι επαρκή, απλά και κατανοητά.

Μετά τον ορισμό των μέτρων προφύλαξης του κοινού, θα ακολουθούν οι υπολογισμοί των επιπέδων της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε άλλα τρία τουλάχιστον σημεία στο περιβάλλον του υπό μελέτη σταθμού βάσης, π.χ. στα υψηλότερα όμορα ή άμεσα γειτονικά κτίρια καθώς και στα κτίρια βρεφονηπιακών σταθμών, σχολείων, γηροκομείων και νοσοκομείων εφόσον βρίσκονται σε απόσταση μικρότερη των 50 μέτρων από σταθμό βάσης. Συνίσταται επίσης να προβλέπεται η τακτική θεώρηση γενικά του σταθμού κεραιών και ειδικά των μέτρων προφύλαξης του κοινού με στόχο την επιβεβαίωση του αναλλοίωτου της καταστάσεως του σταθμού και την συντήρηση-αποκατάσταση των μέτρων προφύλαξης από φθορές που ενδεχομένως επέλθουν με την πάροδο του χρόνου.

Αρ. Πρ. Γνωμάτευσης¹: _____

Αρ. Πρ. Εισερχ. ΕΕΑΕ¹: _____

Αρ. Πρ. Κατάθεσης Κατόχου: _____

ΜΕΛΕΤΗ ΡΑΔΙΕΚΠΟΜΠΩΝ ΚΕΡΑΙΩΝ
ΣΤΑΘΜΟΥ ΒΑΣΗΣ ΚΙΝΗΤΗΣ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑΣ

ΚΑΤΟΧΟΣ: _____

ΚΩΔΙΚΗ ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΘΕΣΗΣ: _____

ΚΩΔΙΚΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ ΘΕΣΗΣ: _____

ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ: _____

ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ (ΕΓΣΑ 87): _____

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ²: _____

ΜΕΛΕΤΗΤΗΣ: _____

ΤΙΤΛΟΣ: _____

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ: _____

ΥΠΟΓΡΑΦΗ: _____

4.11 Ενσωμάτωση της μελέτης ραδιοεκπομπών στη ΜΠΕ

Σύμφωνα με την υπουργική απόφαση Αριθμ. ΥΠΕΧΩΔΕ/ΕΥΠΕ/οικ. 126880 (ΦΕΚ 435/29-03-2007) που περιγράφει τη Διαδικασία Περιβαλλοντικής Αδειοδότησης και το Περιεχόμενο Περιβαλλοντικών Μελετών για τις Εγκαταστάσεις Κεραιών Σταθμών στην Ξηρά, σύμφωνα με το άρθρο 31, παρ. 18 του ν. 3431/2006 (ΦΕΚ Α΄ 13) στη Μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων περιγράφονται συνοπτικά, με την απαραίτητη τεκμηρίωση, οι σημαντικότερες περιβαλλοντικές, κοινωνικές και οικονομικές επιπτώσεις από την πραγματοποίηση του εξεταζόμενου έργου και των συνοδών του στο σύνολο των περιβαλλοντικών μέσων και παραμέτρων, όπως:

- α) Μορφολογία-τοπίο
- β) Έδαφος
- γ) Φύση/Προστατευόμενες περιοχές
- δ) Χρήσεις γης
- ε) Δομημένο περιβάλλον
- στ) Ιστορικό/πολιτιστικό περιβάλλον
- ζ) Κοινωνικό/οικονομικό περιβάλλον
- η) Ατμόσφαιρα
- θ) Ακουστικό περιβάλλον/δονήσεις
- ι) Ακτινοβολίες
- κ) Επιφανειακά & υπόγεια νερά

Η εκτίμηση αφορά στις θετικές-αρνητικές, βραχυχρόνιες-μακροχρόνιες, αναστρέψιμες-μερικώς αναστρέψιμες-μη αναστρέψιμες, καθώς και στις αθροιστικές και συνεργιστικές επιπτώσεις από άλλα παρεμφερή ή μη έργα και δραστηριότητες.

Έμφαση πρέπει να δίδεται στην παρουσίαση ποσοτικών δεδομένων για την αξιολόγηση των επιπτώσεων σε σχέση με τις ισχύουσες διατάξεις, πρότυπα και όρια εκπομπών κλπ. Απαιτείται να δοθεί ιδιαίτερη βαρύτητα στην εκτίμηση και αξιολόγηση της επιβάρυνσης από τις εκπομπές της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με ποσοτικά στοιχεία (πιθανή ανάγκη διεξαγωγής επί τόπου μετρήσεων ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας) και τεκμηριώσεις και σύγκριση αυτών με τα εθνικά και διεθνή πρότυπα. Επίσης αξιολογούνται οι επιπτώσεις στο τοπίο (π.χ. διάσπαση της γραμμής του ορίζοντα και των φυσικών σχημάτων και χρωμάτων,

εικόνα του έργου από επιλεγμένες θέσεις σκόπευσης, παρατήρησης κλπ.) εντός της περιοχής μελέτης.

Σύμφωνα με τα παραπάνω βαρύνουσα σημασία δίνεται στο περιεχόμενο της μελέτης ραδιοεκπομπών, αφού περιγράφει και ποσοτικοποιεί τις επιπτώσεις του έργου στους ανθρώπους που ζουν και εργάζονται γύρω από αυτό.

Η σύνοψη των παραπάνω επιπτώσεων θα μπορούσε να γίνει με έναν πίνακα όπως ο παρακάτω (μήτρα διπλής εισόδου με βάρη) [11].

A/A	Είδος επίπτωσης	Συν/της βαρύτητας	Ανέγερση	Λειτουργία
1	Μορφολογία-τοπίο			
2	Έδαφος			
3	Φύση/Προστατευόμενες περιοχές			
4	Χρήσεις γης			
5	Δομημένο περιβάλλον			
6	Ιστορικό/πολιτιστικό περιβάλλον			
7	Κοινωνικό/οικονομικό περιβάλλον			
8	Ατμόσφαιρα			
9	Ακουστικό περιβάλλον/δονήσεις			
10	Ακτινοβολίες			
11	Επιφανειακά & υπόγεια νερά			
Σύνολο		1		

Σε αυτόν τον πίνακα μεγαλύτερο συντελεστή βαρύτητας πρέπει να έχουν οι επιπτώσεις που πραγματικά υφίστανται, όπως οι ακτινοβολίες ή η μορφολογία και το τοπίο και μικρότερο ή μηδενικό συντελεστή για παράδειγμα τα υπόγεια ύδατα, που κατά κανόνα δεν επηρεάζονται από τέτοιου είδους έργα.

Κεφάλαιο 5

5 Μεθοδολογία μετρήσεων επιπέδων ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας

5.1 Μεθοδολογία μετρήσεων

Οι μετρήσεις πραγματοποιούνται σύμφωνα με την σύσταση ECC/REC/(02)04 της CEPT (European Conference of Postal and Telecommunications Administrations), ECC/REC/(02)04, με τίτλο “Measuring non-ionising electromagnetic radiation (9 kHz–300 GHz)”[12].

Η κεραία λήψης (ισοτροπική) τοποθετείται σε ύψος 1,5 m από το έδαφος και καταγράφονται οι τιμές έντασης πεδίου (σε V/m) για χρονικό διάστημα 6 λεπτών. Από τις τιμές έντασης πεδίου σε V/m υπολογίζεται η μέση τιμή Eaverage καθώς και η μέγιστη τιμή Emaximum. Το όχημα με τη μετρητική διάταξη πρέπει να κινείται με την ελάχιστη δυνατή ταχύτητα για να είναι πιο αξιόπιστες οι μετρήσεις (μείωση πιθανών ανακλάσεων) και για να είναι χωρικά πιο πυκνή η δειγματοληψία.

Η επεξεργασία των μετρήσεων έγινε σύμφωνα με την σύσταση 1999/519/EC της Ευρωπαϊκής Ένωσης: “Council Recommendation of 12 July 1999 on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz)”[6].

Για την σύγκριση των αποτελεσμάτων, στην περίπτωση εκπομπών που προέρχονται από πολλές διαφορετικές πηγές, υπολογίζεται η τετραγωνική ρίζα του αθροίσματος των τετραγώνων των εντάσεων των πεδίων E όλων των εκπομπών. Ο υπολογισμός αυτός γίνεται τόσο για τις μέσες τιμές Eaverage καθώς και για τις μέγιστες τιμές Emaximum.

5.2 Μετρήσεις με αναλυτή φάσματος AARONIA Spectran

Η βασική μονάδα μετρήσεων είναι η Spectran HF-6080 (Spectrum Analyser), της γερμανικής AARONIA AG. Πρόκειται για μια φορητή μετρητική συσκευή που

χρησιμοποιείται για ανάλυση ασφαλείας των ραδιοκυμάτων και των μικροκυματικών ηλεκτρομαγνητικών πεδίων. Πρόκειται ουσιαστικά για έναν φορητό αναλυτή φάσματος με δυνατότητα αναγωγής της ισχύος σε τιμές έντασης ηλεκτρικού πεδίου (σε συνδιασμό με κεραία με γνωστό διάγραμμα antenna factor) και σύγκρισης με τα εκάστοτε ισχύοντα όρια.



Εικόνα 5.1 –Αναλυτής φάσματος AARONIA Spectran HF-6080

Σαν αισθητήρα μέτρησης χρησιμοποιούμε την ισοτροπική κεραία BicoLog 20300 της AARONIA AG.

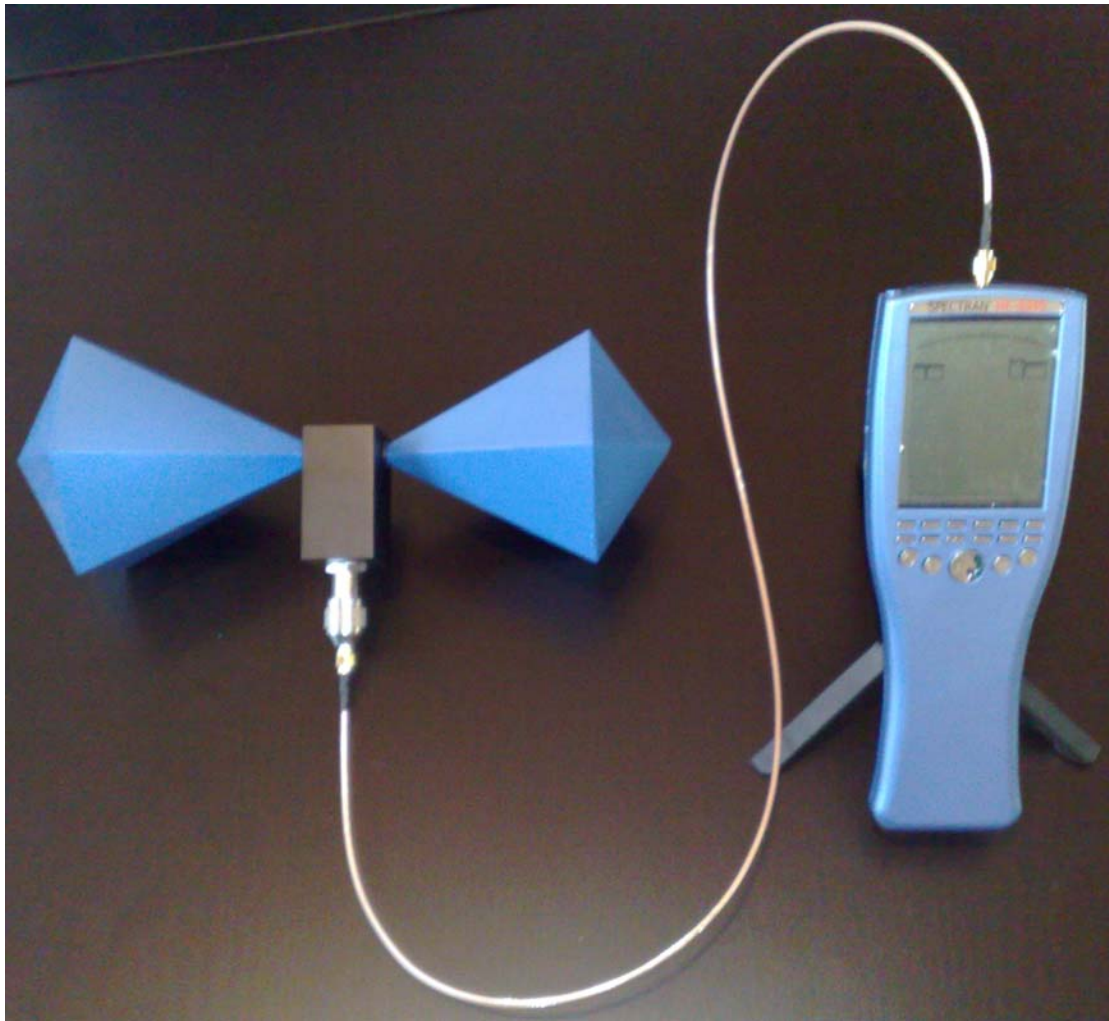


Εικόνα 5.2 -Κεραία μέτρησης BicoLog isotropic.

Η συσκευή Spectran μπορεί να υπολογίσει αποτελέσματα που αφορούν

- Επίπεδο της έντασης του πεδίου ή ποσοστό του επιτρεπτού επιπέδου έκθεσης
 - είτε από μία πηγή ή κανάλι
 - είτε από λίστα πολλών πηγών ή καναλιών
- Τη συνεισφορά κάθε δεδομένης τηλεπικοινωνιακής υπηρεσίας
- Τη συνεισφορά από όλες τις υπηρεσίες και το ποσοστό τους στην συνολική έκθεση

Τα αποτελέσματα μέτρησης παρουσιάζονται σε μονάδες έντασης πεδίου, πυκνότητας ισχύος ή ποσοστού του επιτρεπτού ορίου.

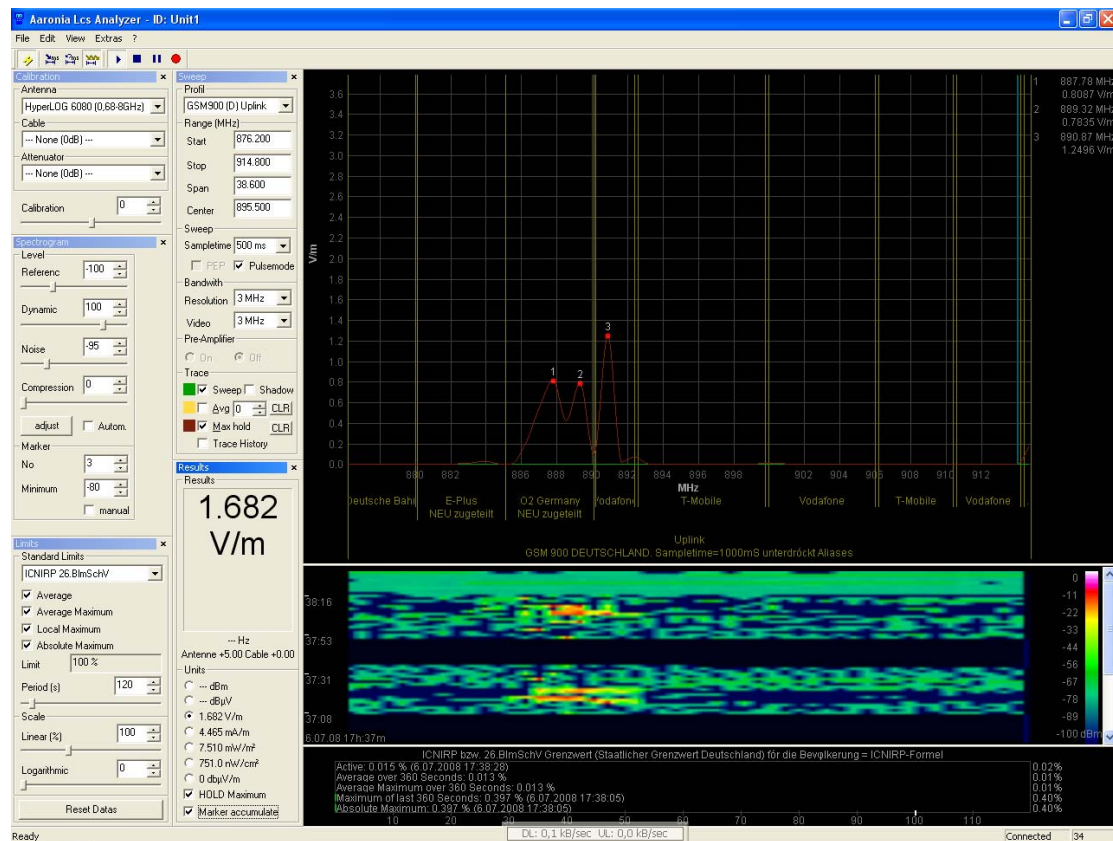


Εικόνα 5.3 -Διάταξη Μετρήσεων

Η ισοτροπική κεραία εγκαθίσταται σε ένα ξύλινο τρίποδο και συνδέεται με την κύρια μονάδα του Spectran μέσω καλωδίου. Η αποθήκευση της σειράς μετρήσεων και άλλων δεδομένων για όλες τις θέσεις μέτρησης πραγματοποιήθηκε με την βοήθεια ενός φορητού υπολογιστή, ο οποίος ελέγχει το όργανο μέτρησης μέσω κατάλληλα εξελιγμένου λογισμικού, από όπου ρυθμίζονται και όλες οι παράμετροι λειτουργίας κατά την διεξαγωγή των μετρήσεων. Το υπολογιστικό αυτό σύστημα, χρησιμοποιεί έναν καλώδιο USB/miniUSB σε θύρα USB και το λογισμικό που προαναφέρθηκε για την συλλογή και την καταγραφή των μετρήσεων. Στον υπολογιστή γίνεται περαιτέρω ανάλυση ώστε να απεικονίζονται τα αποτελέσματα σε μορφή πινάκων και διαγραμμάτων. Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων αποθηκεύεται και η θέση που έγινε η κάθε μέτρηση με χρήση συσκευής GPS. Το σύστημα συντεταγμένων που χρησιμοποιείται είναι το WGS84.

5.2.1 Ρύθμιση παραμέτρων συσκευής Spectran μέσω λογισμικού προγράμματος

Το λογισμικό πρόγραμμα “AARONIA LCS ANALYZER” είναι ένα ανεξάρτητο λογισμικό που παρέχεται από την εταιρεία κατασκευής της συσκευής SPECTRAN, εγκαθίσταται σε υπολογιστή με λειτουργικό WINDOWS98® ή και νεότερης έκδοσης και επιτρέπει τη ρύθμιση των παραμέτρων της συσκευής μέσω υπολογιστή.



Εικόνα 5.4 –AARONIA LCS ANALYZER

Οι λειτουργίες που υλοποιούνται μέσω του λογισμικού είναι:

- Διενέργεια μετρήσεων μέσω υπολογιστή
- Απομακρυσμένη διαχείριση της συσκευής
- Παραμετροποίηση της συσκευής SPECTRAN
- Λήψη αποθηκευμένων δεδομένων από την συσκευή
- Ενεργοποίηση καταστάσεων λειτουργίας /χαρακτηριστικών
- Αναβάθμιση λογισμικού

5.2.2 Προετοιμασία μετρητικού εξοπλισμού πριν τη χρήση

Πριν την υλοποίηση μετρήσεων με τη χρήση του Spectran HF-6080 πρέπει να ελέγχονται τα κάτωθι:

- Έλεγχος των προρυθμισμένων παραθύρων φάσματος της συσκευής
- Έλεγχος των καλωδίων που συνδέουν την κεραία με την κυρίως συσκευή
- Έλεγχος ότι η συσκευή είναι κλειστή όταν θα συνδέεται με την κεραία.
- Έλεγχος ότι η κεραία είναι στερεωμένη στο τρίποδο σωστά
- Έλεγχος ότι η συσκευή είναι σωστά συνδεδεμένη με τον υπολογιστή
- Έλεγχος ότι οι μπαταρίες είναι ικανοποιητικά φορτισμένες για το χρονικό διάστημα που απαιτεί η συγκεκριμένη μέτρηση.

Όταν γίνεται εκκίνηση της συσκευής (συσκευή ON), αρχικά γίνεται εσωτερικός έλεγχος από την ίδια τη συσκευή της λειτουργικότητας των επιμέρους συστημάτων – λειτουργιών. Όταν λειτουργία εσωτερικού ελέγχου ολοκληρωθεί με επιτυχία, η συσκευή είναι έτοιμη προς χρήση.

Στην περίπτωση που εμφανιστεί κάποιο σφάλμα κατά τη διάρκεια εσωτερικού ελέγχου, η διαδικασία εκκίνησης της συσκευής διακόπτεται και ο αντίστοιχος ενδεικτικός κωδικός του σφάλματος εμφανίζεται στην οθόνη.

5.2.3 Εγκατάσταση μετρητικής διάταξης

Η μετρητική διάταξη τοποθετείται σε ειδικά διαμορφωμένο όχημα με τους εξής περιορισμούς:

- Η ιστροπική κεραία πρέπει να βρίσκεται σε απόσταση τουλάχιστον 1 μέτρο από μεταλλική επιφάνεια, επομένως καλύτερη λύση θεωρείται το ειδικά διαμορφωμένο τρέιλερ όπου η κεραία τοποθετείται σε ξύλινο τρίποδο.
- Η βασική μονάδα spectran και ο φορητός υπολογιστής που συλλέγει και επεξεργάζεται τα δεδομένα μετρήσεων πρέπει να είναι προφυλαγμένα στην

καμπίνα του οχήματος, επομένως για τη σύνδεση της κεραίας με τη βασική μονάδα απαιτείται βαθμονομημένο ομοαξονικό καλώδιο με μικρές απώλειες.

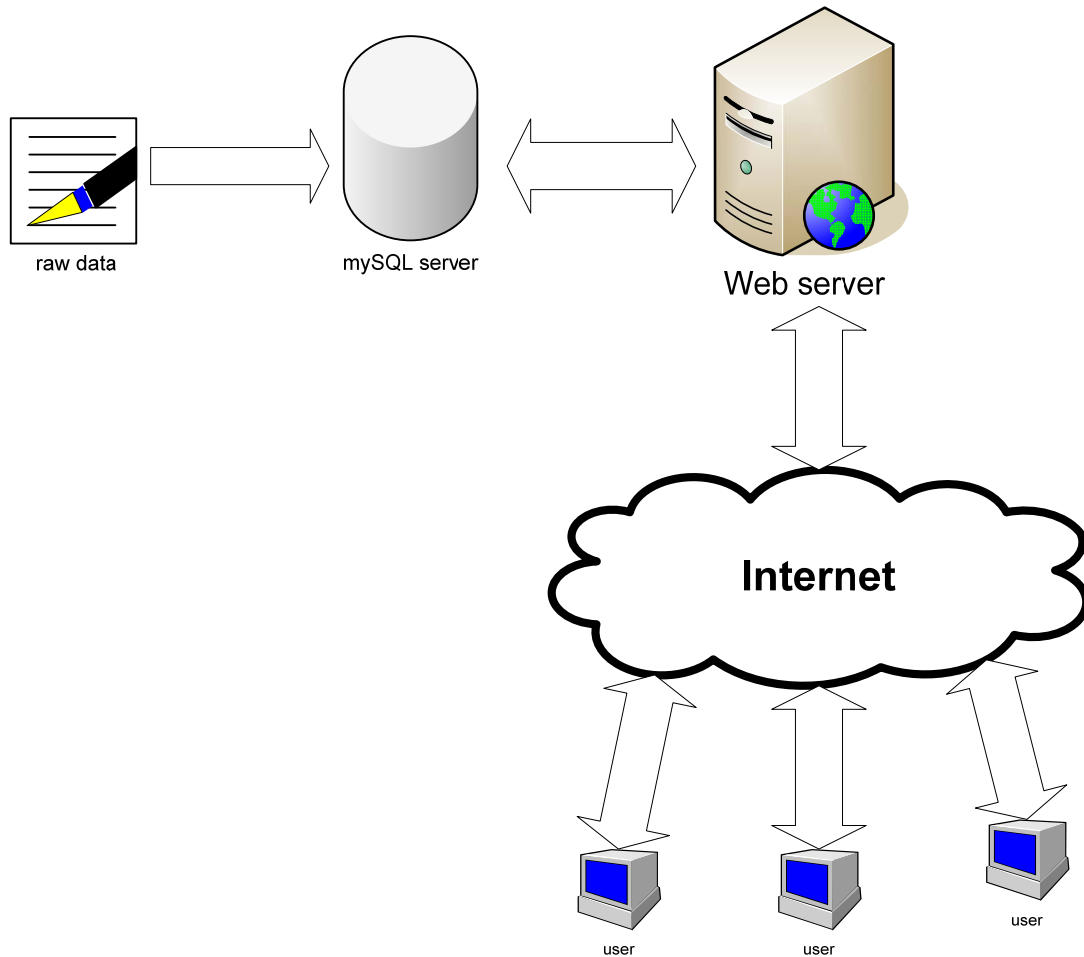
- Δε θα πρέπει κοντά στην κεραία να υπάρχουν πηγές ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, που πιθανόν να επηρεάζουν τη μέτρηση.

5.3 Διεξαγωγή μετρήσεων

Κατά τη διεξαγωγή των μετρήσεων θα πρέπει το όχημα να κινείται με την ελάχιστη δυνατή ταχύτητα ώστε να υπάρχει χωρικά πιο πυκνή δειγματοληψία μετρήσεων και να μην μετρώνται πολλαπλές ανακλάσεις. Σε κάθε περίπτωση για να έχουμε τη χειρότερη δυνατή εκτίμηση της κατάστασης χρησιμοποιούμε τη ρύθμιση max hold. Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων αποθηκεύονται στον φορητό υπολογιστή μαζί με τις γεωγραφικές συντεταγμένες του σημείου όπου πραγματοποιήθηκε η μέτρηση.

5.4 Επεξεργασία μετρήσεων – Παρουσίαση σε google maps

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων από τα αρχεία κειμένου αποθηκεύονται σε σχεσιακή βάση δεδομένων MySQL, η οποία δίνει τη δυνατότητα να αποθηκευτούν και χωρικά δεδομένα (στην περίπτωσή μας σημεία).



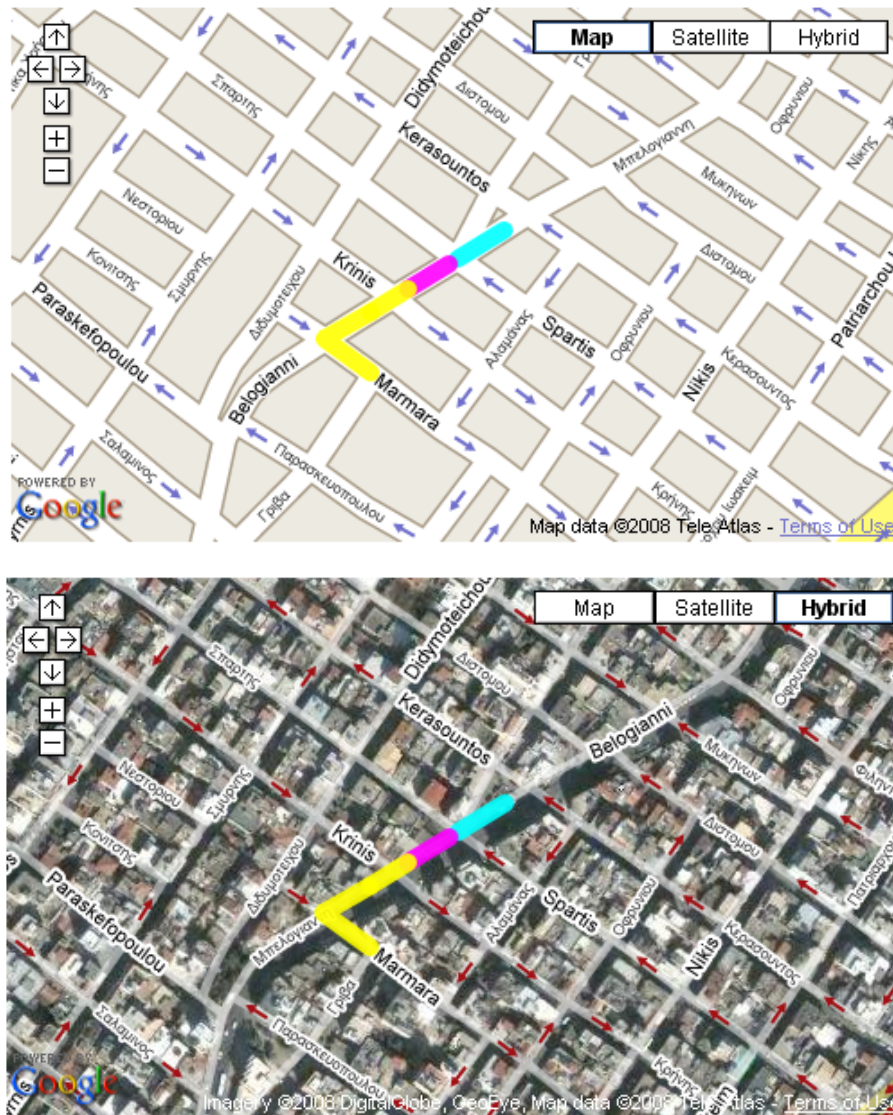
Εικόνα 5.5 –Σχηματική δομή του συστήματος

Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται και τα βήματα για να μπορεί ο τελικός χρήστης να δει το χάρτη χρωματισμένο είναι τα εξής:

- Τα δεδομένα από τη βάση δεδομένων με τα εργαλεία domxml της php ανακτώνται σε μορφή xml.
- Μέσω του google maps API, με χρήση της γλώσσας javascript τα δεδομένα μορφής xml, προστίθενται σε μία δομή Gmap.
- Πρωτού παρουσιαστούν τα δεδομένα πρέπει να ευθυγραμμιστούν με το οδικό δίκτυο όπως φαίνεται στο google maps, έτσι ώστε να χρωματίζονται οι υπάρχοντες δρόμοι και να μην φαίνονται ξεχωριστές γραμμές. Για να γίνει αυτό χρησιμοποιούμε τα εργαλεία GDirections του Google maps API. Έπειτα

αφού προσαρμοστούν τα σημεία στο οδικό δίκτυο του Google maps κατασκευάζονται χρωματιστές γραμμές με χρώματα αντίστοιχα της έντασης ηλεκτρικού πεδίου που μετράται σε κάθε σημείο. Για να γίνει αυτό χρησιμοποιείται χρωματικός κώδικας cold to warm.

Το αποτέλεσμα, όμως με φανταστικά δεδομένα φαίνεται παρακάτω.



Εικόνα 5.6 –Απεικόνιση αποτελεσμάτων μετρήσεων σε Google maps

Βιβλιογραφία

- [1] Πρόγραμμα συστηματικών μετρήσεων ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας-“Ερμής”:http://www.hermes-program.gr/gr/emrinfo_basic.html
- [2] ΑΤΗΚ-CΥΤΑ- Ειδική έκδοση από το Medlook «Ηλεκτρομαγνητικά πεδία πρόσφατες εξελίξεις»: <http://www.medlook.net/emf2/fovos.asp>
- [3] ΕΕΤΤ, «Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και κινητή τηλεφωνία-Τα επιστημονικά δεδομένα», 1-12-06
- [4] Κοινή Απόφαση υπ’ αριθ. 53571/3839 των Υπουργών Ανάπτυξης, ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε., Υγείας και Πρόνοιας, Μεταφορών και Επικοινωνιών (ΦΕΚ 1105/Β/6-9-2000), « Μέτρα προφύλαξης του κοινού από τη λειτουργία κεραιών εγκατεστημένων στην ξηρά»
- [5] ΕΕΑΕ-«Υπόδειγμα τεχνικής μελέτης ραδιοεκπομπών μικροκυματικών κεραιών σημειακών ζεύξεων και κεραιών επίγειων δορυφορικών σταθμών»: http://www.eeae.gr/gr/index.php?fvar=html/misc/_applications
- [6] Οδηγία 1999/519/EC της Ευρωπαϊκής Ένωσης, “Council Recommendation of 12 July 1999 on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz)“
- [7] ELF Gateway, First Semi-Annual Executive Update, October 2006-March 2007
- [8] Νόμος 3431 (ΦΕΚ 13/Α/3-2-2006) «Περί Ηλεκτρονικών Επικοινωνιών και άλλες διατάξεις»
- [9] ΕΕΑΕ, «Καθορισμός ορίων ασφαλούς έκθεσης του κοινού σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία στο περιβάλλον σταθμών κεραιών σε εφαρμογή του Ν. 3431/2006 (ΦΕΚ 13/Α/03-02-2006)», Αγ. Παρασκευή, 12.01.2007
- [10] ΕΕΑΕ-«Υπόδειγμα τεχνικής μελέτης ραδιοεκπομπών κεραιών σταθμών βάσης κινητής τηλεφωνίας»: http://www.eeae.gr/gr/index.php?fvar=html/misc/_applications
- [11] Κ. Κασσιός, «Οι επιπτώσεις στο περιβάλλον από έργα και Προγράμματα – Απόψεις για την αντιμετώπισή τους», Αθήνα 2006
- [12] ECC/REC/(02)04 της CEPT (European Conference of Postal and Telecommunications Administrations), “Measuring non-ionising electromagnetic radiation (9 kHz – 300 GHz)”