



**ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΜΕΣΟΛΟΓΓΙΟΥ ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ  
ΝΑΥΠΑΚΤΟΥ**

**ΤΜΗΜΑ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΚΕΡΔΟΥΣ ΚΑΙ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΑΠΟ ΚΕΡΑΙΕΣ**

**ΧΟΑΝΗΣ**

**ΜΙΧΑΛΟΠΟΥΛΟΥ ΜΑΡΚΕΛΛΑ**

**ΚΟΝΙΔΑΡΗ ΝΙΚΟΛΙΤΣΑ**

**Επιβλέπων: Ασαρίδης Ηλίας**

**Λούβρος Σπύρος**

**ΜΑΡΤΙΟΣ 2012**



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη.....	σελ.08
<b><u>Κεφάλαιο 1</u></b>	
1.1 Τι είναι κεραία.....	σελ.09
1.2 Είδη κεραιών.....	σελ.10
1.3 Κατευθυντικότητα κεραίας.....	σελ.12
1.4 Παρεμβολή σήματος.....	σελ.13
1.5 Διασπορά σήματος.....	σελ.14
1.6 Μήκος κεραίας.....	σελ.15
1.7 Μοντέλα διάδοσης.....	σελ.16
1.8 Βασικά χαρακτηριστικά κεραιών.....	σελ.19
1.8.1 Βέλτιστη περιοχή συχνοτήτων.....	σελ.19
1.8.2 Πόλωση.....	σελ.19
1.8.3 Απολαβή (κέρδος) κεραίας.....	σελ.20
1.9 Κεραίες χοάνης.....	σελ.23
1.9.1 Ειδικές χοάνες.....	σελ.25
<b><u>Κεφάλαιο 2</u></b>	
2.1 Ηλεκτρομαγνητικό πεδίο.....	σελ.27
2.2 Εκπομπή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.....	σελ.30
2.3 Χαρακτηριστικά του ηλεκτρομαγνητικού κύματος.....	σελ.31
2.4 Μονάδες μέτρησης.....	σελ.34
2.5 Βασικές έννοιες ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.....	σελ.34

2.6 Κύματα στον ελεύθερο χώρο.....	σελ.35
2.7 Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα.....	σελ.36
2.8 Τύποι ακτινοβολίας.....	σελ.39
2.9 Ιονίζουσα ακτινοβολία.....	σελ.40
2.10 Μη ιονίζουσα ακτινοβολία.....	σελ.42
2.10.1 Υπέρυθρη ακτινοβολία.....	σελ.42
2.10.2 Μικροκύματα.....	σελ.43
2.10.3 Υπεριώδης ακτινοβολία.....	σελ.44
2.10.4 Ορατή ακτινοβολία.....	σελ.46
2.10.5 Ραδιοκύματα.....	σελ.47
2.11 Τα διεθνή όρια που έχουν θεσπιστεί για την προστασία από την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.....	σελ.48
2.12 Τι ισχύει στην Ελλάδα για την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.....	σελ.49

### Κεφάλαιο 3

3.1 Θερμικές επιδράσεις της μη ιονίζουσας ακτινοβολίας.....	σελ.51
3.2 Μη θερμικές επιδράσεις.....	σελ.52
3.3 Ραδιοσυχνότητες (RF) και ακτινοβολία μικροκυμάτων (MW).....	σελ.53
3.4 Πώς μετρείται η ακτινοβολία RF.....	σελ.54
3.5 Τα βιολογικά αποτελέσματα που μπορούν να προκληθούν από την RF ή μη ιονίζουσα ακτινοβολία.....	σελ.55
3.6 Ασφαλή επίπεδα έκθεσης στα RF ηλεκτρομαγνητικά κύματα.....	σελ.58
3.7 Επιδημιολογικές μελέτες.....	σελ.59

3.7.1 Σχολιασμός των ευρημάτων των επιδημιολογικών ερευνών.....	σελ.61
3.8 Μελέτες σε πειραματόζωα.....	σελ.62
3.9 Μελέτες με καλλιέργειες κυττάρων-επιδράσεις στο κυτταρικό επίπεδο.....	σελ.64
3.10 Λειτουργικές επιπτώσεις.....	σελ.67
3.11 Βιολογικές επιπτώσεις.....	σελ.70
3.12 Ακτίνα της βιολογικής ζώνης επικινδυνότητας.....	σελ.72
3.13 Συμπεράσματα.....	σελ.74
3.14 Επιπτώσεις στην υγεία.....	σελ.75
3.15 Συμπεράσματα και συστάσεις.....	σελ.77
3.16 Προληπτικά μέτρα.....	σελ.77
3.17 Ανησυχίες σχετικά με την υγεία .....	σελ.80
3.18 Μελέτες και οδηγίες ασφαλείας.....	σελ.81
3.19 Άποψη της ελληνικής επιτροπής ατομικής ενέργειας.....	σελ.82

#### **Κεφάλαιο 4**

4.1 Κινητά τηλέφωνα.....	σελ.85
4.2 Σταθμοί βάσης κινητής τηλεφωνίας.....	σελ.86
4.3 Κυψέλη κινητής τηλεφωνίας .....	σελ.88
4.4 Ανησυχίες για τα πεδία ραδιοσυχνοτήτων.....	σελ.90
4.5 Μελέτες και οδηγίες ασφαλείας .....	σελ.91
4.6 Τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας στην Ελλάδα.....	σελ.93
4.7 Αρχή λειτουργίας κινητών τηλεφώνων.....	σελ.94

4.8 Τυπικά επίπεδα ισχύος εκπομπής κατά την λειτουργία των κινητών τηλεφώνων...	σελ.95
4.9 Ένταση του λαμβανόμενου σήματος.....	σελ.96
4.10 Απόσταση της συσκευής από το κεφάλι και το σώμα.....	σελ.97
4.11 Χρήση κινητού τηλεφώνου και παιδιά.....	σελ.98
4.12 Ομάδες αυξημένης ευαισθησίας.....	σελ.99
4.13 Πηγές μαγνητικών πεδίων στο περιβάλλον μας.....	σελ.100
4.14 Μέτρα προστασίας από ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές.....	σελ.101
4.15 Προκαλεί η ακτινοβολία της κινητής τηλεφωνίας πονοκεφάλους και διαταραχές ύπνου;.....	σελ.104
4.16 Μπορεί η ακτινοβολία κινητών τηλεφώνων να προκαλέσει καρκίνο.....	σελ.104
4.17 Επηρεάζει η ακτινοβολία της κινητής τηλεφωνίας τα ακουστικά βαρηκοΐας;.....	σελ.105

## Κεφάλαιο 5

Εισαγωγή.....	σελ.107
5.1 Περιοχή μακρινού πεδίου (far field region).....	σελ.108
5.3 Προσδιορισμός κέρδους κεραίας (G).....	σελ.109
5.3 Εύρεση καλύτερης ευθείας (μέθοδος ελάχιστων τετραγώνων ).....	σελ.110
5.4 Στάσιμα κύματα.....	σελ.111
5.5 Προσδιορισμός $\lambda$ με την μέθοδο στάσιμων κυμάτων χωρίς χρήση ανιχνευτή DP.....	σελ.118
5.6 Προσδιορισμός $\lambda_0$ με την μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων.....	σελ.11.8
5.7 Υπολογισμός ασφαλούς απόστασης από την κεραία εκπομπής.....	σελ.126

5.8 Συμπεράσματα.....	σελ.128
5.9 Θεωρία σφαλμάτων.....	σελ.129
5.9.1 Εισαγωγή.....	σελ.129
5.9.2 Είδη μετρήσεων .....	σελ.130
5.9.3 Ακρίβεια και πιστότητα.....	σελ.130
5.9.4 Κατηγορίες σφαλμάτων.....	σελ.131
5.9.4.1 Τυχαία σφάλματα.....	σελ.131
5.9.4.2 Συστηματικά σφάλματα.....	σελ.132
5.9.4.3 Πολλαπλές μετρήσεις.....	σελ.133
5.9.5 Μέση τιμή.....	σελ.133
5.9.6 Διάδοση σφαλμάτων.....	σελ.135
Βιβλιογραφία .....	σελ.139

## Περίληψη

Σε αυτήν την πτυχιακή εργασία θα μελετήσουμε τις επιδράσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στον άνθρωπο και το περιβάλλον.

Αρχικά, γίνεται λεπτομερής αναφορά στις κεραίες, στα είδη κεραιών που υπάρχουν καθώς και στα χαρακτηριστικά τους. Στη συνέχεια μελετάμε το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο και τις δύο κατηγορίες στις οποίες χωρίζεται (ιονίζουσα και μη ιονίζουσα ακτινοβολία). Ακόμη, μελετάμε τις επιδράσεις της μη ιονίζουσας ακτινοβολίας και τα βιολογικά αποτελέσματα που προκαλούνται στο περιβάλλον και στον άνθρωπο, τα μέτρα προστασίας και τους νόμους που έχουν θεσπίσει διεθνής οργανισμοί. Επιπλέον, αναφέρεται η λειτουργία των σταθμών βάσης κινητής τηλεφωνίας, η χρήση κινητών τηλεφώνων και οι επιπτώσεις που έχει στην ζωή των ανθρώπων και στην υγεία τους καθώς και μέτρα προστασίας.

Τέλος, διεξάγεται λεπτομερές πείραμα για τον προσδιορισμό κέρδους και απόστασης ασφαλείας από κεραίες χοάνης.

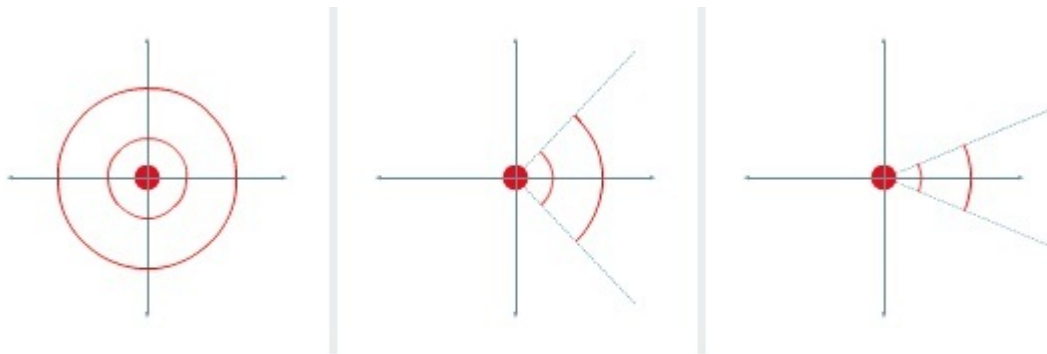


## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

### 1.1 Τι είναι κεραία

Η κεραία είναι μια διάταξη που έχει σχεδιαστεί για να ακτινοβολεί (λειτουργία εκπομπής) με κινητούς δέκτες/πομπούς, ή με σταθερούς δέκτες/πομπούς που βρίσκονται σε γνωστές ή άγνωστες θέσεις. Η κατανομή της ακτινοβολίας της κεραίας στο χώρο διαφέρει, ανάλογα με την εφαρμογή.

Η κεραία αποτελεί το μέσο μετατροπής του δεσμευμένου κύματος που προορίζεται για εκπομπή σε ελεύθερο ηλεκτρομαγνητικό κύμα χώρου και αντίστροφα. Θεωρητικά οι κεραίες θεωρούνται ως ανοικτά ταλαντευόμενα κυκλώματα, που έχουν διαστάσεις όχι αμελητέες σε σχέση με το μήκος κύματος συντονισμού τους. Επειδή πρόκειται για αντιστρεπτό φυσικό φαινόμενο, καμία διάκριση δεν υπάρχει θεωρητικά ανάμεσα στις κεραίες εκπομπής και κεραίες λήψης.



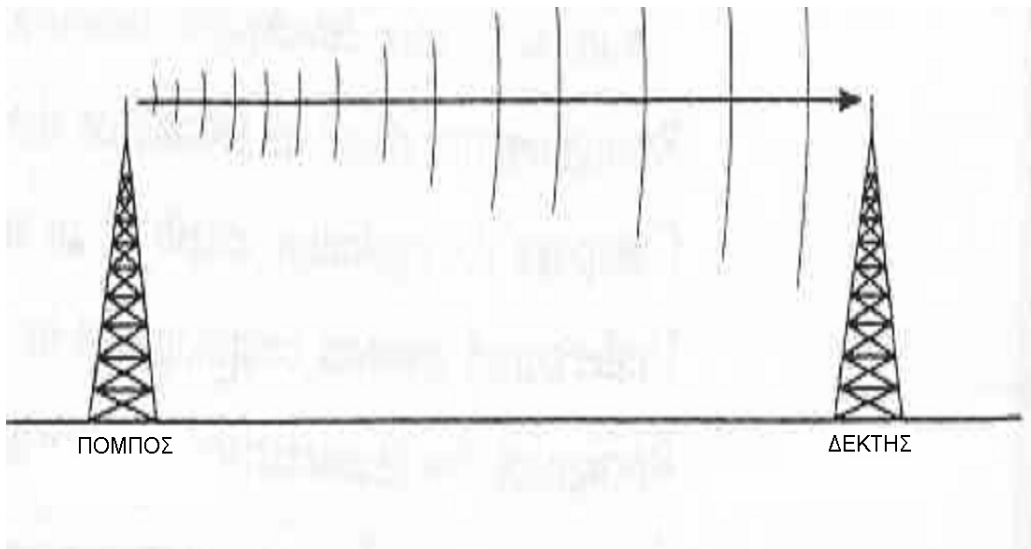
**Εικόνα 1.1** Κατανομή ακτινοβολίας

Η κεραία, με απλά λόγια, αποτελεί μια μεταλλική κατασκευή η οποία έχει ως κύρια λειτουργία της την μετατροπή των υψίσυχων τάσεων ή ρευμάτων σε ηλεκτρομαγνητικά κύματα στην περίπτωση που η κεραία χρησιμοποιείται ως πομπός. Την αντίστροφη λειτουργία εκτελεί στην περίπτωση που η κεραία μας είναι δέκτης. Η κεραία μπορεί να εκτελεί και τις δυο λειτουργίες και έτσι να είναι ταυτόχρονα πομπός και δέκτης. Συμπληρωματικά, κεραία είναι ένας αγωγός μέσα σε μονωτικό χώρο που διαρρέεται από ομόρροπα παλινδρομικά ρεύματα (δηλαδή το μήκος κύματος της συχνότητας που

διαρρέει τον αγωγό να είναι συγκρίσιμο με αυτόν). Συνεπώς όσο χαμηλότερη είναι η συχνότητα τόσο μεγαλώνει το μηχανικό μήκος της κεραίας.

Εάν για πολύ ειδικούς λόγους το μήκος της γίνει μικρότερο του  $\lambda/10$  η εκπομπή γίνεται πλέον πολύ δύσκολα αφού βραχυκυκλώνεται σχεδόν ολόκληρο το πεδίο της κεραίας (κορυφή με γη, ή άκρο με άκρο).

Ένα παράδειγμα εκπομπής και λήψης ηλεκτρομαγνητικού κύματος από κεραίες φαίνεται στην πιο κάτω εικόνα.



**Εικόνα 1.2** Εκπομπή και λήψη ηλεκτρομαγνητικού κύματος

## **1.2 Είδη κεραιών**

Τα είδη των κεραιών είναι τρία και παρουσιάζονται πιο κάτω:

- κατευθυντικές κεραιές
- πολυκατευθυντικές κεραιές
- Ημικατευθυντικές κεραιές

Στην κατευθυντική κεραία το χαρακτηριστικό πρότυπο εκπομπής της είναι έντονα ενισχυμένο προς μια κατεύθυνση. Κεραίες αυτού του τύπου είναι τα πιάτα και η κεραία με πλέγμα (Grid). Παράδειγμα για την κεραία με πλέγμα φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.



Μια πολυκατευθυντική κεραία εκπέμπει προς όλες τις κατευθύνσεις. Τέτοια κεραία είναι η ομοιοκατευθυντική κεραία (omni) η οποία παρουσιάζεται σχηματικά πιο κάτω.



Η ημικατευθυντικές κεραίες είναι μια ενδιάμεση κατηγορία των προηγούμενων. Αυτή η κατηγορία κεραιών εκπέμπει με γωνία οριζόντιας κάλυψης από 50 έως 180 μοίρες. Αυτού του τύπου κεραίες έχουμε την τομεακή (sector).



Από την επινόηση των ραδιοεπικοινωνιών έχει αναπτυχθεί μια ποικιλία κεραιών, ώστε να καλύπτουν τις ειδικές ανάγκες διαφόρων εφαρμογών και να διευκολύνεται η κατασκευή και ένταξή τους στο φυσικό και δομημένο περιβάλλον. Οι κεραιές εντάσσονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

- Δίπολα και παραλλαγές αυτών. Πρόκειται για την μεγαλύτερη κατηγορία, ευρύτατα χρησιμοποιούμενη από 2 MHz έως 4 GHz.
- Κατακόρυφες κεραιές Marconi. Χρησιμοποιούνται από τις πολύ χαμηλές συχνότητες μέχρι τους 5 GHz. Δεν είναι αυτόνομες αλλά συνεργάζονται με κάποιο "έδαφος", που μπορεί να είναι το φυσικό έδαφος, μια αγώγιμη μεταλλική επιφάνεια ή μεταλλικοί αγωγοί.
- Κεραιές βρόχου (loop)
- Διάφορες αperiοδικές κεραιές, όπως ρομβικές, V, disccone και ελικοειδείς.

Χοανοειδείς κεραιές (horn), συνεργάζονται καλύτερα με κυματοδηγούς και χρησιμοποιούνται σε συχνότητες άνω του 1 GHz.



**Εικόνα 1.3** Είδη κεραιών

### **1.3 Κατευθυντικότητα κεραιάς**

Αυτό το χαρακτηριστικό είναι απολύτως σχετικό, καθώς υπάρχει η κοινή, λανθασμένη αντίληψη ότι οι εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας είναι πιο ισχυρή ακριβώς κάτω από τις κεραιές,

γεγονός που εν μέρει εξηγεί κάποιες από τις ανησυχίες σχετικά με τις κεραίες που είναι τοποθετημένες πάνω από σχολεία ή πολυκατοικίες.

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 από αυτό, 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.

Κάποιοι διερωτώνται γιατί ο εξοπλισμός ενός σταθμού βάσης δεν τοποθετείται πάντοτε σε βιομηχανικές περιοχές ή μακριά από κατοικημένες περιοχές. Υπάρχουν αρκετοί λόγοι: καταρχάς, αν ο εξοπλισμός τοποθετηθεί πολύ μακριά από τους χρήστες, όχι μόνο θα έχουμε χαμηλή ποιότητα επικοινωνίας, αλλά τα τηλέφωνα σε αυτή την περίπτωση θα πρέπει να αυξήσουν την εκπεμπόμενη ισχύ για να διατηρήσουν τη σύνδεση, μειώνοντας κατ' αυτόν τον τρόπο τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας και το χρόνο ομιλίας. Δεύτερον, υπάρχουν πρακτικοί περιορισμοί σε ότι αφορά τη γεωγραφική περιοχή που μπορεί να εξυπηρετείται αποτελεσματικά από ένα σταθμό βάσης, ιδιαίτερα σε περιοχές όπου υπάρχει μεγάλος αριθμός χρηστών. Σε αυτή την περίπτωση, οι σταθμοί βάσης πρέπει να βρίσκονται πιο κοντά ο ένας στον άλλο για να προσφέρουν αυξημένη χωρητικότητα παρά κάλυψη και σαν αποτέλεσμα της εγγύτητάς τους, κάθε σταθμός πρέπει να λειτουργεί σε πολύ χαμηλά επίπεδα ισχύος, ούτως ώστε να αποφεύγεται η παρεμβολή με άλλους κοντινούς σταθμούς. Επομένως, ένα σωστά σχεδιασμένο δίκτυο θα βελτιστοποιήσει τόσο την κάλυψη όσο και την χωρητικότητα και άρα θα λειτουργεί μόνο στα κατώτατα όρια ισχύος, που είναι αναγκαία για την παροχή καλής επικοινωνίας.

#### **1.4 Παρεμβολή σήματος**

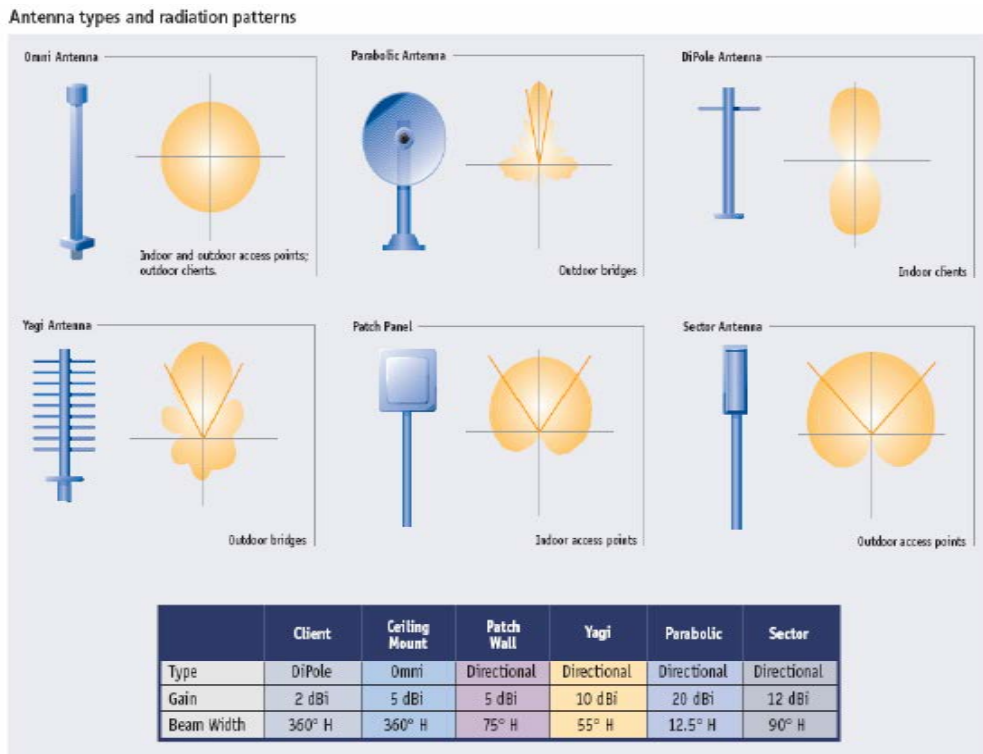
Κάθε σήμα ή εκπομπή που ακτινοβολείται στον χώρο ή άγεται σε καλώδια τροφοδοσίας ή σημάτων και θέτει σε κίνδυνο τη λειτουργία συστημάτων ασύρματης πλοήγησης ή άλλες υπηρεσίες

ασφαλείας ή υποβαθμίζει, παρεμποδίζει ή διακόπτει επανειλημμένα μια αδειοδοτημένη υπηρεσία ασύρματων επικοινωνιών. Στις υπηρεσίες ασυρμάτων επικοινωνιών περιλαμβάνονται, ενδεικτικά, οι εμπορικές εκπομπές AM/FM, η τηλεόραση, η κινητή τηλεφωνία, τα ραντάρ, ο έλεγχος εναέριας κυκλοφορίας, η τηλεειδοποίηση και οι Υπηρεσίες

Προσωπικής Επικοινωνίας (Personal Communication Services ή PCS). Αυτές οι Αδειοδοτημένες και οι μη αδειοδοτημένες υπηρεσίες ασυρμάτων επικοινωνιών, όπως το WLAN ή το Bluetooth, μαζί με ακούσιους πομπούς όπως ψηφιακές συσκευές, συμπεριλαμβανομένων συστημάτων υπολογιστών, συμβάλλουν στο ηλεκτρομαγνητικό περιβάλλον. Υπάρχουν κάποια μεγάλα αντικείμενα τα οποία βρίσκονται μεταξύ της κεραίας του πομπού και του δέκτη. Αυτά τα αντικείμενα δημιουργούν κάποιες παρεμβολές στο ηλεκτρομαγνητικό μας κύμα με αποτέλεσμα να έχουμε κάποιες απώλειες. Μερικά υλικά που πρέπει να λάβουμε υπόψη είναι: ξύλο, χαρτί, τοίχοι, μετασχηματιστές, φούρνοι μικροκυμάτων, λάμπες φθορίου.

### **1.5 Διασπορά σήματος**

Με τον όρο διασπορά σήματος μιας κεραίας εννοούμε το ποσοστό κατανομής του σήματος στο χώρο. Η διασπορά σήματος εξαρτάται από το είδος της κεραίας, παραδείγματα βρίσκονται στο πιο κάτω σχέδιο.



Εικόνα 1.4 Διασπορά σήματος

## 1.6 Μήκος κεραίας

Το μήκος μιας κεραίας μπορούμε να το υπολογίσουμε με την βοήθεια των πιο κάτω τύπων:

$$c = \lambda * \nu$$

$$\lambda = c / \nu$$

Μήκος κεραίας:  $l = \nu \lambda / \nu$

όπου  $\nu \lambda = c * \lambda / f$

c: ταχύτητα φωτός

λ: μήκος κύματος

$v$ : συχνότητα

$V_f$ : velocity factor

### **1.7 Μοντέλα διάδοσης**

Για την διάδοση σημάτων χρησιμοποιούνται κάποιοι μηχανισμοί διάδοσης όπως ανάκλαση, περίθλαση και σκέδαση.

Ανάκλαση : Ανάκλαση έχουμε στις εξής περιπτώσεις:

- Πρόσπτωση του κύματος σε αντικείμενα μεγάλα σε σχέση με το μήκος κύματος  $\lambda$ .
- Μερική ανάκλαση σε επιφάνειες που διαχωρίζουν περιοχές με διαφορετική διηλεκτρική σταθερά .
- Σε τέλειο αγωγό όλη η ποσότητα της προσπίπτουσας ενέργειας ανακλάται.

→Πιθανά αποτελέσματα που μπορεί να έχουμε είναι απόσβεση σήματος και αλλαγή φάσης.

Υπάρχει ομοιότητα μεταξύ της ανάκλασης του φωτός σε ένα καθρέφτη και της ανάκλασης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων σε ένα αγωγίμο μέσο. Και στις δύο περιπτώσεις η γωνία ανάκλασης είναι ίδια με την γωνία πρόσπτωσης.

Περίθλαση : Περίθλαση έχουμε στις εξής περιπτώσεις:

- Πρόσπτωση του κύματος σε αντικείμενα με ακμές (της τάξης του  $\lambda$  ) που βρίσκονται ανάμεσα στον πομπό και το δέκτη
- Σύμφωνα με την αρχή του *Huygen* όλα τα σημεία του σφαιρικού μετώπου του κύματος μπορούν να θεωρηθούν ως δευτερεύουσες σημειακές πηγές



- Κάμψη του κύματος και διάδοσή του ακόμη και στις περιοχές «σκιάς» του αντικειμένου.
- Στις υψηλές συχνότητες υπάρχει εξάρτηση του φαινομένου από: γεωμετρία του αντικειμένου, πλάτος και φάση του προσπίπτοντος κύματος, είδος πόλωσης.

Η περίθλαση είναι μια άλλη ιδιότητα των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων και προέρχεται από την ύπαρξη σχισμών σε ένα αγωγίμο επίπεδο ή την ύπαρξη αιχμηρών εμποδίων. Το φαινόμενο αυτό ανακαλύφτηκε τον δέκατο έβδομο αιώνα και απετέλεσε την βάση για την ανάπτυξη της θεωρίας του Huygens. Σύμφωνα με το θεώρημα του Huygens κάθε σημείο του μετώπου ενός σφαιρικού κύματος μπορεί να θεωρηθεί σαν μια πηγή κυμάτων, η οποία ακτινοβολεί προς την εξωτερική πλευρά. Το συνολικό πεδίο σε σημεία μακριά από την πηγή είναι ίσο με το διάνυσμα του αθροίσματος των δευτερευόντων αυτών κυματιδίων. Για κανονική διάδοση, το θεώρημα του Huygens δεν λαμβάνεται υπ όψιν αλλά σε περιπτώσεις που ο υπολογισμός της περίθλασης κυμάτων είναι ζητούμενος πρέπει να λαμβάνεται υπ όψιν. Η θεωρία του Huygens μπορεί να αποδειχτεί επίσης και με βάση τις εξισώσεις του Maxwell.

Σκέδαση : Σκέδαση έχουμε στις εξής περιπτώσεις:

- Πρόσπτωση του κύματος σε αντικείμενα (ή επιφάνειες με προεξοχές) με διαστάσεις μικρότερες από το  $\lambda$
- Ο αριθμός των αντικειμένων ή/και προεξοχών ανά μονάδα όγκου πρέπει να είναι αρκούντως μεγάλος.

- Για να θεωρείται ανώμαλη η επιφάνεια πρέπει

$$(\min(h)/\max(h)) > hc$$

όπου  $hc = \lambda / (\delta \sin\theta_i)$  το κρίσιμο ύψος προεξοχής

και  $\theta_i$  η γωνία πρόσπτωσης

Στη Φυσική και ιδιαίτερα στην Οπτική με τον όρο σκέδαση ή σκέδαση του φωτός ονομάζεται ο διασκορπισμός των φωτεινών ακτινών που ακολουθεί όταν προσπέσουν σε μικροσκοπικά σωματίδια, έτσι ώστε να διαχέονται στο χώρο χωρίς να φαίνονται αυτές. Η οπτική αντίληψη του γεγονότος αυτού ονομάζεται **φαινόμενο σκέδασης**.

Η σκέδαση είναι προϊόν πολλαπλής ανάκλασης. Η λέξη ετυμολογικά προέρχεται από το αρχαίο ρήμα *σκεδάννυμι* ή *σκεδῶ* = διασκορπίζω.

Οι ηλιακές ακτίνες, για παράδειγμα, όταν φτάσουν στην ατμόσφαιρα της Γης πέφτουν πάνω στα σωματίδια της σκόνης ή τα σταγονίδια νερού που αιωρούνται τα οποία και τις διασκορπίζουν με πολλές ανακλάσεις που δημιουργούν.

Τέτοια φυσικά φαινόμενα σκέδασης είναι το λυκαυγές, το λυκόφως, που παρατηρούνται προ της ανατολής και μετά τη δύση του Ήλιου αντίστοιχα, η ελαφριά ομίχλη που παρατηρείται περισσότερο το μεσημέρι μέσα στο Κατακαλόκαιρο, καθώς και ο χρωματισμός του ουρανού σε γαλάζιο όταν ο καιρός είναι αίθριος. Το τελευταίο συμβαίνει επειδή τα διάφορα μήκη κύματος του ηλιακού φωτός (δηλαδή τα διάφορα χρώματα που συνθέτουν αυτό) "σκεδάζονται" σε διαφορετικό βαθμό στη γήινη ατμόσφαιρα με κυρίαρχη θέση αυτή του μπλε. Υπάρχουν μοντέλα διάδοσης τα οποία λαμβάνουν υπόψη συγκεκριμένα χαρακτηριστικά του ακανόνιστου εδάφους και άλλων εμποδίων που πιθανώς να υπάρχουν στη διαδρομή μεταξύ πομπού και δέκτη έτσι ώστε να πετύχουμε όσο το δυνατό καλύτερη διάδοση του σήματος.

## 1.8 Βασικά χαρακτηριστικά κεραιών

### 1.8.1 Βέλτιστη περιοχή συχνοτήτων

Κάθε κεραία έχει μια συγκεκριμένη περιοχή συχνοτήτων στην οποία λειτουργεί βέλτιστα. Αυτό σημαίνει ότι στην συγκεκριμένη περιοχή η κεραία λειτουργεί σαν **αποτελεσματικός ακτινοβολητής**.

Αν χρησιμοποιήσουμε την κεραία εκτός αυτής της μάντας, το μεγαλύτερο ποσοστό της ισχύος του πομπού θα **ανακλάται** πίσω προς τον πομπό και δεν θα ακτινοβολείται, αντίστοιχα στη λήψη η κεραία δεν θα λειτουργεί βέλτιστα.

Συνήθως ορίζεται μια κεντρική συχνότητα και μια απόκλιση γύρω από αυτήν, ή ορίζεται ένα εύρος συχνοτήτων που θα κινηθούμε. (Πχ 2400MHz ως 2500MHz ή 2450MHz±50MHz)

Σε κάθε περίπτωση το εύρος αυτό δια την κεντρική συχνότητα δεν μπορεί να είναι μεγάλο (πχ 10%), δηλαδή η κεραία είναι μια συσκευή περιορισμένης ζώνης (υπάρχουν βέβαια και ειδικές κατασκευές που επιτυγχάνουν λειτουργία σε μεγάλη περιοχή συχνοτήτων).

### 1.8.2 Πόλωση

Ένα άλλο χαρακτηριστικό της κεραίας είναι σε ποια πόλωση εκπέμπει το ηλεκτρομαγνητικό κύμα και οι κατηγορίες πόλωσης βρίσκονται πιο κάτω:

- Κάθετη πόλωση: Το διάνυσμα της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου είναι κάθετο.
- Οριζόντια πόλωση: Το διάνυσμα της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου είναι οριζόντιο.
- Κυκλική πόλωση: Υπάρχει και κάθετο και οριζόντιο διάνυσμα και μάλιστα είναι ίσα τα δυο διανύσματα. (δεν χρησιμοποιείτε πολύ)
- Ελλειπτική πόλωση: Υπάρχει και κάθετο και οριζόντιο διάνυσμα τα οποία είναι άνισα. (δεν χρησιμοποιείτε πολύ)

Το ηλεκτρομαγνητικό κύμα είναι εγκάρσιο και το ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο είναι κάθετα μεταξύ τους. Το μαγνητικό πεδίο περιβάλλει το καλώδιο και είναι κάθετο σε αυτό, το οποίο σημαίνει ότι το ηλεκτρικό πεδίο θα είναι παράλληλο στο καλώδιο. Αυτό ισχύει μετά την εκπομπή του ηλεκτρομαγνητικού κύματος από την κεραία. Η πόλωση αναφέρεται στον φυσικό προσανατολισμό του εκπεμπόμενου κύματος στον χώρο. Τα κύματα ονομάζονται πολωμένα (γραμμικά πολωμένα) αν έχουν τον ίδιο προσανατολισμό στον χώρο. Είναι χαρακτηριστικό των περισσότερων κεραιών ότι η ακτινοβολία που εκπέμπουν είναι γραμμικά πολωμένη. Για παράδειγμα, μια κάθετη κεραία ακτινοβολεί ηλεκτρομαγνητικά κύματα των οποίων τα διανύσματα των ηλεκτρικών τους πεδίων είναι κάθετα και παραμένουν κάθετα κατά την διάδοσή τους στον ελεύθερο χώρο. Από την άλλη πλευρά το φως ακτινοβολείται από μη συμφασικές πηγές (όπως το φως που ακτινοβολείται από τον ήλιο) και έχει τα διανύσματα των ηλεκτρικών πεδίων των ακτινών τυχαία κατανεμημένα. Αυτό το είδος της πόλωσης ονομάζεται τυχαία πόλωση.

Γενικά ισχύει ότι η κατεύθυνση της πόλωσης είναι ίδια με την κατεύθυνση της κεραίας. Έτσι κατακόρυφες κεραιές ακτινοβολούν κατακόρυφα πολωμένα κύματα και οριζόντιες κεραιές ακτινοβολούν οριζόντια πολωμένα κύματα. Γενικά επικρατεί η τάση να αναφέρονται κεραιές σαν κατακόρυφα ή οριζόντια πολωμένες παρόλο που αυτό δεν είναι απόλυτα σωστό.

Είναι επίσης πιθανό κεραιές να εκπέμπουν κυκλικά ή ελλειπτικά πολωμένα ηλεκτρομαγνητικά κύματα, με αποτέλεσμα η κατεύθυνση του κύματος να περιστρέφεται συνεχώς με ελικοειδή τρόπο.

### **1.8.3 Απολαβή (κέρδος) κεραίας**

Η απολαβή (κέρδος) μιας κεραίας είναι ο λόγος της ισχύος που ακτινοβολείται (ή λαμβάνεται) ανά μονάδα στερεάς γωνίας από την κεραία προς μια δεδομένη διεύθυνση, προς την ισχύ που ακτινοβολείται (ή λαμβάνεται) ανά μονάδα στερεάς γωνίας από μια ιστροπική κεραία, η οποία

τροφοδοτείται με την ίδια ισχύ. Η απολαβή είναι μέγιστη στη διεύθυνση της μέγιστης ακτινοβολίας (του ηλεκτρομαγνητικού άξονα της κεραίας), και έχει τιμή η οποία δίνεται από τη σχέση:

$$G_{\max} = \left( \frac{4\pi}{\lambda^2} \right) \cdot A_{\text{eff}}$$

Όπου  $\lambda=c/f$  και  $c$  είναι η ταχύτητα του φωτός  $=3 \cdot 10^8$  m/s και  $f$  είναι η συχνότητα του ηλεκτρομαγνητικού κύματος. Η  $A_{\text{eff}}$  είναι η ενεργός επιφάνεια της κεραίας. Για μια κεραία με μια κυκλική επιφάνεια ή ανακλαστήρα διαμέτρου  $D$  και γεωμετρική επιφάνεια  $A = \pi D^2/4$ , είναι  $A_{\text{eff}} = n \cdot A$ , όπου  $n$  είναι η απόδοση της κεραίας. Έτσι, είναι :

$$G_{\max} = n \cdot \left( \frac{\pi D}{\lambda} \right)^2 = n \cdot \left( \frac{\pi D f}{c} \right)^2$$

Εκφρασμένη σε dBi (η απολαβή σχετικά με μια ισοτροπική κεραία), η πραγματική απολαβή της κεραίας είναι:

$$G_{\max}, \text{dBi} = 10 \log n \left( \frac{\pi D}{\lambda} \right)^2 = 10 \log n \left( \frac{\pi D f}{c} \right)^2$$

Η απόδοση  $n$  της κεραίας είναι το γινόμενο μερικών συντελεστών, που λαμβάνουν υπόψη το νόμο πρόσπτωσης ακτινοβολίας στην κεραία, τις απώλειες από διάχυση, από ατέλειες της επιφάνειας, τις απώλειες από τις ωμικές αντιστάσεις και τη μη προσαρμογή σύνθετων αντιστάσεων:

$$n = n(i) * n(s) * n(f) * n(z) \dots$$

Η απόδοση πρόσπτωσης ακτινοβολίας  $n(i)$  καθορίζει την απόδοση του ανακλαστήρα σε σχέση με την περίπτωση ομοιόμορφης πρόσπτωσης ακτινοβολίας. Η ομοιόμορφη πρόσπτωση ακτινοβολίας ( $n(i)=1$ ) οδηγεί σε υψηλό επίπεδο δευτερευόντων λοβών. Μπορούμε να επιτύχουμε μια συμβιβαστική λύση, εξασθενώντας την πρόσπτωση ακτινοβολίας στα όρια του ανακλαστήρα (κλιμάκωση πρόσπτωσης ακτινοβολίας στα όρια του ανακλαστήρα).

Η απόδοση διάχυσης  $n(s)$  ορίζεται ως ο λόγος της ενέργειας που ακτινοβολείται από την κύρια πηγή και συλλαμβάνεται από τον ανακλαστήρα, προς την ολική ενέργεια που ακτινοβολείται από την κύρια πηγή. Η διαφορά αυτών των μεγεθών αποτελεί την ενέργεια διάχυσης. Όσο μεγαλύτερη είναι η γωνία από τη οποία ο ανακλαστήρας “βλέπει” την κύρια πηγή, τόσο μεγαλύτερη είναι η απόδοση διάχυσης. Όμως, για ένα δεδομένο διάγραμμα ακτινοβολίας της πηγής, το επίπεδο πρόσπτωσης ακτινοβολίας στα όρια του ανακλαστήρα γίνεται μικρότερο με μεγάλες τιμές της γωνίας αυτής και η απόδοση πρόσπτωσης ακτινοβολίας ελαττώνεται σημαντικά. Η συμβιβαστική λύση μας οδηγεί σε απόδοση διάχυσης της τάξης του 80%.

Η απόδοση επιφάνειας  $n(f)$  λαμβάνει υπόψη την επίδραση των ανωμαλιών της επιφάνειας του ανακλαστήρα στην απολαβή της κεραίας. Στην πράξη, το παραβολικό “προφίλ” διαφέρει από το θεωρητικό. Έτσι, πρέπει να βρεθεί ένας συμβιβασμός μεταξύ των χαρακτηριστικών της κεραίας και του κόστους κατασκευής. Η επίδραση των ανωμαλιών της επιφάνειας στην απολαβή επί του εστιακού άξονα έχει τη μορφή:

$$n(f) = \Delta G = \exp \left[ -B \left( \frac{4\pi\varepsilon}{\lambda} \right)^2 \right]$$

όπου  $\varepsilon$  είναι η ενδεικτική τιμή (rms) σφάλματος της επιφάνειας, δηλαδή η απόκλιση μεταξύ του πραγματικού και των θεωρητικών προφίλ που μετρούνται κάθετα στην κοίλη επιφάνεια και  $B$  είναι ένας συντελεστής μικρότερος ή ίσος με τη μονάδα του οποίου η τιμή εξαρτάται από την ακτίνα καμπυλότητας του ανακλαστήρα. Αυτός ο συντελεστής αυξάνεται καθώς η ακτίνα καμπυλότητας του ανακλαστήρα μειώνεται.

## 1.9 Κεραίες χοάνης

Ένας κυματοδηγός μπορεί να ακτινοβολεί ενέργεια σε ανοιχτό χώρο αν διεγείρεται κατάλληλα στο ένα του άκρο και είναι ανοιχτός στο άλλο. Αυτή η ακτινοβολία είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή που παίρνουμε από μία δισύρματη γραμμή μεταφοράς, αλλά παρουσιάζει παρόμοιες δυσκολίες. Μόνο ένα μικρό ποσοστό της εμπρόσθιας ενέργειας στον κυματοδηγό εκπέμπεται, και ένα μεγάλο μέρος της ανακλάται προς τα πίσω από το ανοιχτό κύκλωμα. Όπως και με την γραμμή μεταφοράς, το ανοιχτό κύκλωμα αποτελεί μία ασυνέχεια, η οποία δεν προσαρμόζει καλά τον κυματοδηγό στον χώρο. Περιθλάσεις στις άκρες καθιστούν το διάγραμμα ακτινοβολίας μη κατευθυντικό. Για να αντιμετωπίσουμε αυτά τα προβλήματα, μπορούμε να μεγαλώσουμε το άνοιγμα του κυματοδηγού μεταφοράς, όπου θα προκύψει μια ηλεκτρομαγνητική χοάνη.

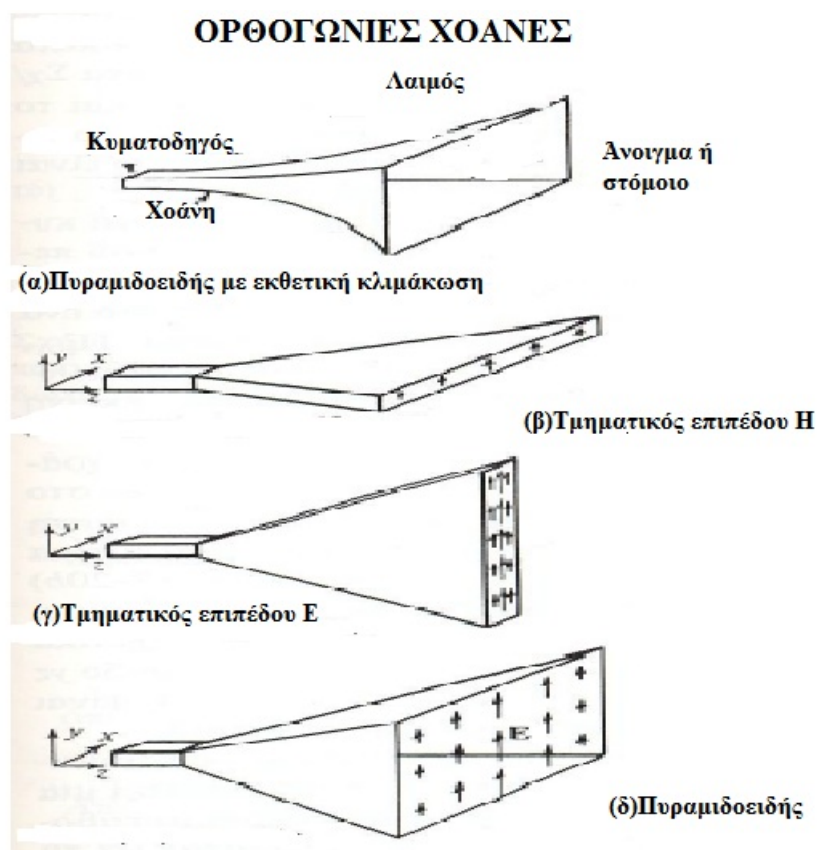
Μία κεραία χοάνης ή κεραία μικροκυμάτων είναι μια κεραία που αποτελείται από ένα μεταλλικό κυματοδηγό καύσης που διαμορφώνεται για να κατευθύνει τα ραδιοκύματα. Οι κεραίες χοάνης χρησιμοποιούνται ευρέως ως κεραίες σε UHF συχνότητες μικροκυμάτων και πάνω από 300 M Hz. Χρησιμοποιούνται ως τροφοδότες (που ονομάζονται κεραίες τροφοών) για τις μεγαλύτερες δομές κεραιών όπως παραβολικές κεραίες, όπως κεραίες πρότυπο βαθμονόμησης για τη μέτρηση του κέρδους των άλλων κεραιών καθώς και για κεραίες οδηγούς για αυτά τα συστήματα, όπως τα ραντάρ. Επίσης, έχει χαμηλό SWR, μεγάλο εύρος ζώνης, και είναι απλής κατασκευής και προσαρμογής. Μπορούν να λειτουργούν σε ένα ευρύ φάσμα συχνοτήτων, μεγάλο εύρος ζώνης. Το ωφέλιμο εύρος ζώνης της κεραίας χοάνης είναι συνήθως της τάξης του 10:1, και μπορεί να είναι έως και 20:01 (για παράδειγμα, επιτρέπει να λειτουργούν από 1 GHz έως 20 GHz). Η αντίσταση εισόδου είναι αργά μεταβαλλόμενη πάνω αυτό το μεγάλο εύρος συχνοτήτων, επιτρέποντας χαμηλό VSWR πάνω από το εύρος ζώνης. Το κέρδος τους κυμαίνεται έως και 25 dBi, με 10 -.. 20 dBi.

Μια κεραία χοάνης χρησιμοποιείται για τη μετάδοση ραδιοκυμάτων από έναν κυματοδηγό (μεταλλικός σωλήνας που χρησιμοποιείται για τη μεταφορά ραδιοκυμάτων) στο διάστημα, ή για να

συλλέξουν ραδιοκύματα σε έναν κυματοδηγό. Αποτελείται συνήθως από μία μικρού μήκους σε σχήμα ορθογώνιο ή κυλινδρικό μεταλλική σωλήνα (το κυματοδηγό), κλειστή στο ένα άκρο, κωνικό ή πυραμιδικό σχήμα στο άλλο άκρο. Τα ραδιοκύματα που συνήθως εισάγονται στο κυματοδηγό με ένα ομοαξονικό καλώδιο που συνδέονται στο πλάι, με το κεντρικό αγωγό προβολής στον κυματοδηγό. Τα κύματα τότε εκπέμπονται από το τέλος σε μια στενή δέσμη. Ωστόσο, σε ορισμένες συσκευές είναι τα ραδιοκύματα που πραγματοποιούνται από τον πομπό στον δέκτη από έναν κυματοδηγό, και στην περίπτωση αυτή η χοάνη επισυνάπτεται στο τέλος του κυματοδηγού.

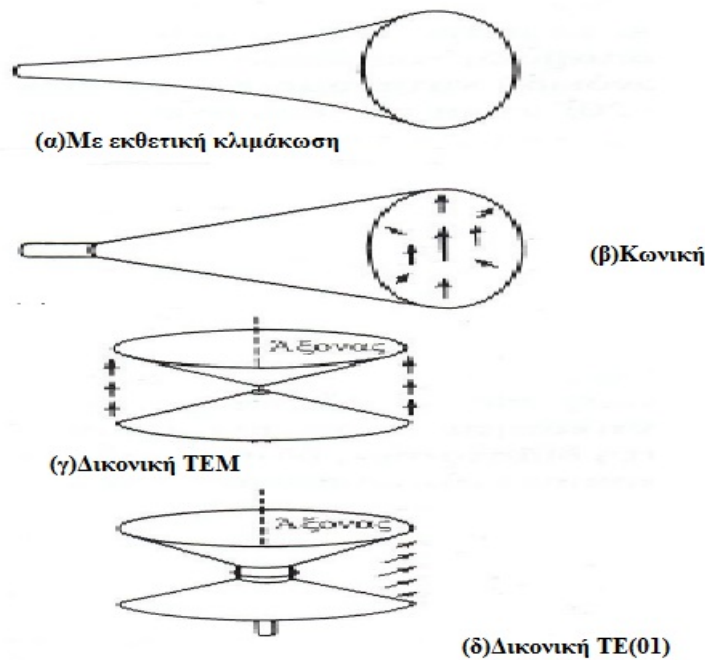
Μία από τις πρώτες κεραιές χοάνης κατασκευάστηκε το 1897 από τον Ινδό ερευνητή ραδιοφώνου Jagadish Chandra Bose σε πρωτοποριακά πειράματά του με μικροκύματα. Στη δεκαετία του 1930 έγινε η πρώτη πειραματική έρευνα (Southworth και Barrow, 1936) και θεωρητική ανάλυση (Barrow και Chu, 1939 ) για τις κεραιές χοάνης.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται μερικοί τύποι χοάνης .





## ΚΥΚΛΙΚΕΣ ΧΟΑΝΕΣ



**Εικόνα 1.5** Τύποι χοάνης

### 1.9.1 Ειδικές Χοάνες

Υπάρχουν δύο κεραίες σε χρήση που είναι σχετικά δύσκολο να τις κατατάξουμε, αφού κάθε μία αποτελεί διασταύρωση μεταξύ μίας χοάνης και ενός παραβολικού ανακλαστήρα. Πρόκειται για την Cass χοάνη και την τριπλά αναδιπλούμενη χοάνη ανακλαστήρα, η τελευταία αποκαλείται συχνότερα τοξοειδής χοάνη.

Στην Cass-χοάνη κεραία, τα ραδιοκύματα συλλέγονται από μια μεγάλη επιφάνεια βάσης, η οποία είναι ελαφρά (παραβολικά) κυρτή και ανακλώνται προς τα πάνω σε γωνία  $45^\circ$ . Όταν χτυπήσουν την πάνω επιφάνεια, η οποία είναι ένας μεγάλος υπερβολικός κύλινδρος, ανακλώνται προς τα κάτω στην εστία, βρίσκεται στο κέντρο της επιφάνειας της βάσης. Εκεί, οι ακτίνες συλλέγονται από την κωνική χοάνη που είναι τοποθετημένη στην εστία. Στην περίπτωση της εκπομπής συμβαίνουν τα ακριβώς αντίθετα.

Αυτός ο τύπος της κεραίας χοάνης-ανακλαστήρα έχει κέρδος και εύρος δέσμης συγκρίσιμο με αυτό ενός παραβολειδούς ανακλαστήρα της ίδιας διαμέτρου. Όπως και το Cassegrain feed, από το οποίο πήρε και το όνομά του, η Cass- χοάνη έχει τέτοια γεωμετρία που επιτρέπει την τοποθέτηση του δέκτη (ή του πομπού) στην εστία, χωρίς εμπόδια. Πρόκειται λοιπόν για μια κεραία χαμηλού θορύβου που χρησιμοποιείται στην παρακολούθηση δορυφόρων και επικοινωνιακών σταθμών.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### 2.1 Ηλεκτρομαγνητικό πεδίο

**Ηλεκτρομαγνητικό πεδίο** είναι ένα φυσικό πεδίο που παράγεται από ηλεκτρικά φορτισμένα αντικείμενα. Επηρεάζει τη συμπεριφορά των φορτισμένων αντικειμένων στην περιοχή του πεδίου.

Το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο επεκτείνεται επ' άπειρον στο χώρο και περιγράφει τις ηλεκτρομαγνητικές αλληλεπιδράσεις. Είναι μια από τις θεμελιώδεις αλληλεπιδράσεις στη φύση (οι άλλες είναι η βαρύτητα, η ασθενής αλληλεπίδραση και η ισχυρή αλληλεπίδραση).

Το πεδίο μπορεί να εκφραστεί ως ο συνδυασμός ενός ηλεκτρικού πεδίου και ενός μαγνητικού πεδίου.

Το ηλεκτρικό πεδίο παράγεται από στατικά φορτία, και το μαγνητικό από κινούμενα φορτία (ρεύματα).

Αυτά τα δύο περιγράφονται συνήθως ως οι πηγές του φορτίου. Ο τρόπος με τον οποίο φορτία και ρεύματα αλληλεπιδρούν με το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο περιγράφεται από τις εξισώσεις Μάξουελ και το Νόμο της δύναμης Λόρεντζ.

Από την πλευρά της κλασσικής φυσικής, το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο παρατηρείται ως ένα συνεχές πεδίο, που προωθείται με κυματοειδή τρόπο, ενώ από την πλευρά της κβαντομηχανικής το πεδίο είναι κβαντισμένο και αποτελείται από φωτόνια.

Το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο είναι δύο ίδια πεδία, το ένα ηλεκτρικό, το άλλο μαγνητικό που είναι αδύνατον να υπάρξουν το ένα χωρίς το άλλο. Το ηλεκτρικό πεδίο περιγράφεται με το διάνυσμα  $E$  (ένταση ηλεκτρικού πεδίου), όπως και το «γνωστό» ηλεκτρικό (ηλεκτροστατικό) πεδίο το δημιουργούμενο από ηλεκτρικά φορτία, αλλά διαφέρει από αυτό κατά το ότι «είναι χρονικώς μεταβαλλόμενο». Αυτό θα πει ότι η έντασή του, σε ένα σημείο του χώρου, μεταβάλλεται, ενώ η ένταση του ηλεκτροστατικού, σε ένα σημείο του χώρου, είναι χρονικώς σταθερή.

Επιπλέον, τα Ηλεκτρομαγνητικά Πεδία (ΗΜΠ) είναι χώροι όπου υπάρχουν και μεταδίδονται ηλεκτρομαγνητικά κύματα (ακτινοβολία). Πηγή τους είναι τα ηλεκτρικά φορτία που - υπάρχουν τόσο στο σύμπαν όσο και μέσα στο σώμα μας. Τα κύματα αυτά αποτελούνται από ένα ηλεκτρικό και μαγνητικό κύμα (πεδίο) που μεταβάλλονται περιοδικά στον χώρο και στον χρόνο και διαδίδονται στο κενό (και στον αέρα) με την ταχύτητα του φωτός. Το ηλεκτρικό πεδίο δημιουργείται από την ισχύ των ηλεκτρικών φορτίων και το μαγνητικό από την κίνηση τους. Τέτοια κύματα υπάρχουν γύρω μας τόσο από φυσικές πηγές (π.χ. κοσμική και ηλιακή ακτινοβολία) όσο και από τεχνητές (π.χ. ασύρματες επικοινωνίες και μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας).

Τα ΗΜΠ διακρίνονται σε 3 κατηγορίες: Εκείνα των πολύ υψηλών συχνοτήτων (ραδιενέργεια, ακτίνες Χ), τα ΗΜΠ των σχετικά υψηλών συχνοτήτων (τηλεπικοινωνίες, οικιακές συσκευές κλπ) και τέλος τα ΗΜΠ των χαμηλών συχνοτήτων που παρατηρούνται κυρίως στις γραμμές μεταφοράς του ηλεκτρικού ρεύματος.

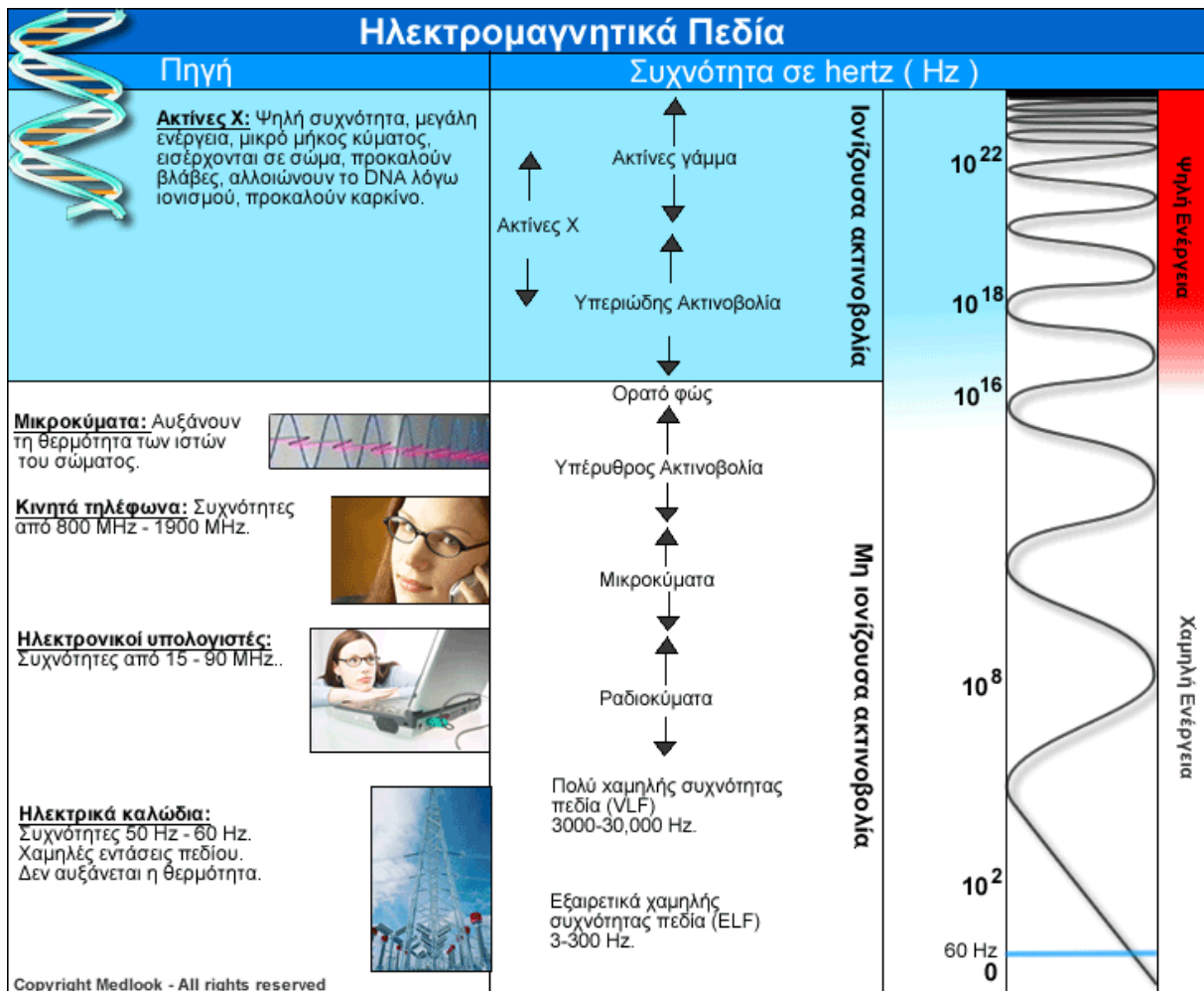
Σε ότι αφορά την επίδραση τους στους ζωντανούς και στον ανθρώπινο οργανισμό, διεθνείς επιστημονικές μελέτες απέδειξαν ότι:

- Οι υψίσυχνες ακτινοβολίες εξ αιτίας της πολύ μεγάλης ενέργειας που μεταφέρουν, μπορούν να διασπάσουν το DNA των κυττάρων και να δημιουργήσουν καρκίνους.
- Οι ακτινοβολίες σχετικά υψηλής συχνότητας έχουν θερμικές επιδράσεις και βέβαια ή αύξηση της θερμοκρασίας των ιστών στο ανθρώπινο σώμα έχει δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία του.
- Οι ακτινοβολίες χαμηλής συχνότητας ( μερικών δεκάδων ηζ) έχουν μακροπρόθεσμες βιολογικές και άλλες επιδράσεις που θα εξετάσουμε στη συνέχεια αυτού του αφιερώματος.

Οι επιπτώσεις στην υγεία μας κατά την παραγωγή και μεταφορά της ηλιακής ενέργειας είναι τέτοιες που δεν πρέπει να εφησυχάζουμε.

Επειδή τα πεδία αυτά (που δημιουργούνται κυρίως από τους πυλώνες υψηλής τάσεως) δεν έχουν ιονικές ή θερμικές επιδράσεις μέχρι πρόσφατα υπήρχε ή άποψη ότι είναι ακίνδυνες για τον ανθρώπινο οργανισμό. Μια σειρά όμως από μελέτες που έγιναν τα τελευταία χρόνια κατέγραψαν μια σειρά παρενεργειών που συσχετίζονταν με την μακροχρόνια έκθεση σε αυτές τις- ακτινοβολίες. Αναφέρουμε ενδεικτικά ορισμένες από αυτές:

- Στα πρακτικά του Συμποσίου της Ευρωπαϊκής Κοινότητας που έγινε το 1994 στο Λονδίνο αναφέρονται επιδράσεις των ΗΜΠ χαμηλής συχνότητας επί των υποδοχέων της κυτταρικής μεμβράνης που προκαλούν ενζυματικές αντιδράσεις εντός του κυττάρου και παραγωγή χημικών μηνυμάτων που μπορούν να ενεργοποιήσουν την αντιγραφή γονιδίων στο DNA
- Από πολλά εργαστηριακά πειράματα ( σχετικές είναι η έρευνα του W. Loescher και η εργασία Liburdy) προκύπτει ότι τα ΗΜΠ συχνότητας 50HZ προκαλούν αναστολή της λειτουργίας του ανοσοποιητικού συστήματος και μειωμένη έκκριση μελατονίνης, ουσίας που αναστέλλει την δράση της ως ογκοταστικού παράγοντα σε εκθέσεις έντασης πάνω από 1,2  $\mu\text{T}$ .
- Σύμφωνα με έκθεση που δημοσίευσε τον Ιούλιο του 1997 ο M.Linet για λογαριασμό του N.C.I. των ΗΠΑ, προκύπτει συσχέτιση μεταξύ χρόνιας έκθεσης (ενδεικτικός χρόνος 8 ώρες ημερησίως) σε ΗΜΠ έντασης άνω των 0,3  $\mu\text{T}$  και νευρικής κατάθλιψης, λόγω διαταραχής των ιόντων ασβεστίου εντός των νευρικών κυττάρων.



Εικόνα 2.1 Ηλεκτρομαγνητικό πεδίο

## 2.2 Εκπομπή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων

Όταν τροφοδοτείται ένα ηλεκτρικό κύκλωμα με ισχύ, αναπτύσσεται σε αυτό ένα σύστημα ρευμάτων και τάσεων, των οποίων η σχέση εξαρτάται από την τοπολογία του κυκλώματος. Για παράδειγμα η τάση (συγκρινόμενη με το ρεύμα) μπορεί να είναι υψηλή αν η εμπέδηση (ή σύνθετη αντίσταση) είναι ένα μέγεθος του ηλεκτρισμού που αναφέρεται σε κυκλώματα εναλλασσομένου ρεύματος) του κυκλώματος είναι υψηλή ή αν η τάση και το ρεύμα έχουν διαφορά φάσης 90 μοίρες. Κατά παρόμοιο τρόπο αν ισχύς, εκπέμπεται στον ελεύθερο χώρο, μεταδίδεται λαμβάνοντας υπ όψιν τα χαρακτηριστικά του ελευθέρου χώρου. Αν η ισχύς αυτή εκπέμπεται για κάποιο συγκεκριμένο σκοπό

τότε λέμε ότι ακτινοβολείται και διαδίδεται στον ελεύθερο χώρο με την μορφή που ονομάζουμε ηλεκτρομαγνητικό κύμα.

Με τον όρο ελεύθερο χώρο εννοούμε έναν χώρο στον οποίον δεν υπάρχουν μαγνητικά πεδία και πεδία βαρύτητας, χωρίς συμπαγή σώματα και ιονισμένα σωματίδια. Γενικά λέγοντας ελεύθερο χώρο εννοούμε κάτι το ιδανικό, το οποίο δεν υπάρχει στην πραγματικότητα. Ωστόσο η έννοια του ελεύθερου χώρου χρησιμοποιείται γιατί απλουστεύει το φαινόμενο της διάδοσης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, καθώς είναι εύκολο να υπολογιστούν οι συνθήκες διάδοσης. Ακόμη οι συνθήκες διάδοσης μερικές φορές στην πραγματικότητα προσεγγίζουν τις συνθήκες του ελεύθερου χώρου, ειδικά στις υψηλότερες συχνότητες την ζώνης UHF.

Η θεωρία της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας αναπτύχθηκε από τον Άγγλο φυσικό James Clerk Maxwell το 1857 και τελειοποιήθηκε το 1873. Αποτελεί την βασική μαθηματική εξήγηση της συμπεριφοράς των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Επειδή η μαθηματική εξήγηση των εξισώσεων του Maxwell δεν είναι το αντικείμενο του βιβλίου αυτού θα δοθεί έμφαση στην περιγραφή και εξήγηση της διάδοσης των ηλεκτρομαγνητικών σημάτων με αναφορές στο μαθηματικό υπόβαθρο όπου απαιτείται.

### **2.3 Χαρακτηριστικά του ηλεκτρομαγνητικού κύματος**

**Πλάτος ( $E_0$ ,  $B_0$ ):** Το πλάτος ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος σχετίζεται με το πλάτος ταλάντωσης του ηλεκτρικού και το μαγνητικού πεδίου και είναι ανάλογο της έντασης του ηλεκτρομαγνητικού κύματος.

**Μήκος κύματος ( $\lambda$ ):** Η κλίμακα των ηλεκτρομαγνητικών ακτινοβολιών ξεκινά από άπειρα μήκη κύματος ως μερικά εκατοντάκις χιλιοστά του χιλιοστού. Το μήκος κύματος ( $\lambda$ ) προσδιορίζει την απόσταση που χωρίζει δύο διαδοχικά σημεία ίδιας έντασης και μετριέται σε μέτρα στο

σύστημα (S.I). Συνηθέστερες μονάδες μέτρησης για τα μήκη κύματος αποτελούν τα υποπολλαπλάσια του μέτρου:  $\mu\text{m}$  (micrometer, μικρόμετρα),  $\text{nm}$  (nanometer, νανόμετρα).

**Συχνότητα ( $\nu$ ):** Η συχνότητα ενός κύματος είναι ίση με την ταχύτητά του προς το μήκος κύματος,  $\nu = v/\lambda$ , και εκφράζει τον αριθμό των πλήρων εναλλαγών του ηλεκτρομαγνητικού κύματος στη μονάδα του χρόνου.

**Ταχύτητα:** Όπως είπαμε παραπάνω η ταχύτητα ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος στο κενό είναι περίπου 300.000 χλμ το δευτερόλεπτο. Βέβαια όταν ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα διαδίδεται σε κάποιο υλικό, η ταχύτητά του περιορίζεται και εξαρτάται από τον δείκτη διάθλασης του υλικού.

**Περίοδος:** Το χρονικό διάστημα κατά το οποίο το ηλεκτρομαγνητικό κύμα διαδίδεται κατά ένα μήκος κύματος ( $\lambda$ ) ονομάζεται περίοδος ( $T$ ) του Η/Μ κύματος. Η περίοδος του ηλεκτρομαγνητικού κύματος συνδέεται με την συχνότητα ( $\nu$ ) του μέσω της απλής σχέσης  $T=1/\nu$ . [3]

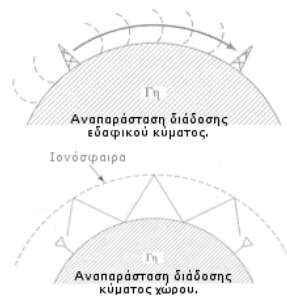
**Τρόποι διάδοσης:** Ο τρόπος διάδοσης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων στην ατμόσφαιρα και στον χώρο μπορεί να υποδιαιρεθεί σε τρεις κατηγορίες διάδοσης:

**Εδαφικού κύματος:** είναι ο επικρατέστερος τρόπος διάδοσης για τις συχνότητες στην ζώνη των μεσαίων συχνοτήτων που χρησιμοποιείται για ΑΜ ραδιοφωνία και ναυτιλιακές ραδιοεκπομπές. Οι κύριες διαταραχές που επικρατούν στη ζώνη αυτή είναι ατμοσφαιρικός θόρυβος, θόρυβος από ανθρώπινες δραστηριότητες και θερμικός θόρυβος.

**Κύματος χώρου:** προκύπτει από μεταδιδόμενα σήματα τα οποία ανακλώνται (εκτρέπονται) από την ιονόσφαιρα, η οποία αποτελείται από μερικά στρώματα με φορτισμένα σωματίδια (ιόντα) σε ύψη 30-250 μίλια επάνω από την επιφάνεια του εδάφους. Κατά την διάρκεια της ημέρας η θέρμανση της κατώτερης ατμόσφαιρας από τον ήλιο προκαλεί το σχηματισμό των κατώτερων στρωμάτων σε ύψος κάτω των 75 μιλίων. Αυτά τα κατώτερα στρώματα, ιδιαίτερα το λεγόμενο



στρώμα-D, απορροφά τις συχνότητες κάτω των 2 MHz, περιορίζοντας έτσι σοβαρά την εμβέλεια της διάδοσης του κύματος-χώρου των ραδιοσταθμών AM. Όμως, κατά την διάρκεια των βραδινών ωρών η ηλεκτρονική πυκνότητα των κατώτερων στρωμάτων της ιονόσφαιρας μειώνεται απότομα και η απορρόφηση συχνοτήτων που εμφανίζεται κατά τη διάρκεια της ημέρας περιορίζεται σημαντικά. Στα κύματα HF έχουμε ως προσθετικό θόρυβο ένα συνδυασμό ατμοσφαιρικού και θερμικού θορύβου.



**Εικόνα 2.2** Τρόποι διάδοσης του κύματος

**Οπτικής επαφής:** ο πομπός και η κεραία λήψης θα πρέπει να είναι σε απευθείας οπτική επαφή με ελάχιστα ή καθόλου εμπόδια. Για το λόγο αυτό, οι σταθμοί εκπομπής τηλεόρασης στα VHF και UHF υπερυψώνουν τις κεραίες τους προκειμένου να επιτύχουν μεγάλη περιοχή κάλυψης. Γενικά, η περιοχή κάλυψης οπτικής επαφής περιορίζεται λόγω της καμπυλότητας της γης. Ο επικρατέστερος θόρυβος που περιορίζει την επίδοση των συστημάτων επικοινωνιών της περιοχής συχνοτήτων VHF και UHF είναι ο θερμικός θόρυβος που παράγεται από τον δέκτη και ο κοσμικός θόρυβος που συλλαμβάνει η κεραία.

## 2.4 Μονάδες μέτρησης

Στον πίνακα 2.1 αναφέρονται τα βασικά μεγέθη που χρησιμοποιούνται για την περιγραφή ενός Η/Μ κύματος, καθώς και οι μονάδες μέτρησης τους.

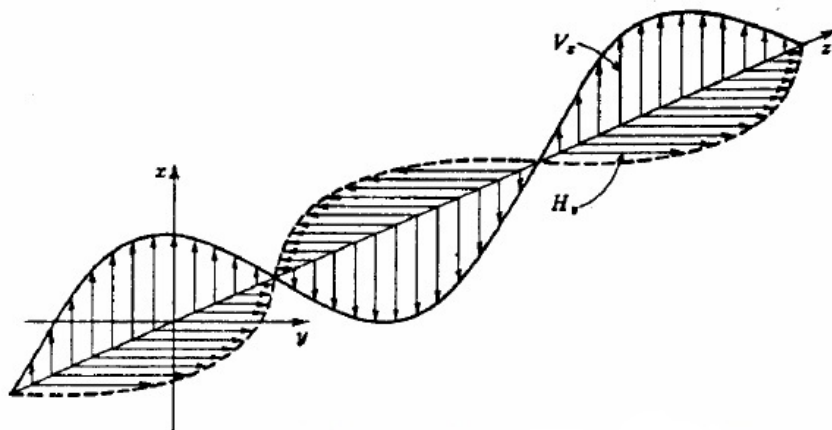
ΦΥΣΙΚΟ ΜΕΓΕΘΟΣ	ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ	ΜΟΝΑΔΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ
Ένταση Ηλεκτρικού πεδίου	E	Volts/meter(V/m)
Ένταση Μαγνητικού πεδίου	B	Tesla(T) ή Gauss(G)
Μήκος Κύματος	$\lambda$	Meter (m)
Συχνότητα	$\nu$ ή f	Hertz (Hz)
Ισχύς	N	Watt (W)
Πυκνότητα Ισχύος	P ή S	Watt / (meter) <sup>2</sup> (W/m <sup>2</sup> )
Χρόνος	Tα	Second (s)

**Πίνακας 2.1** Βασικά μεγέθη που χρησιμοποιούνται για την περιγραφή ενός Η/Μ κύματος.

## 2.5 Βασικές έννοιες ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων

Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα είναι ταλαντώσεις που μεταδίδονται στον ελεύθερο χώρο με την ταχύτητα του φωτός ( $c = 3 \cdot 10^8$  m/sec). Η διάδοση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων έχει πολλές ομοιότητες με την διάδοση των κυμάτων που δημιουργούνται στο νερό όταν μια πέτρα διαταράξει την ισορροπία του, με μια σημαντική διαφορά. Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα είναι εγκάρσια ενώ τα κύματα στο νερό διαμήκη. Το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος είναι κάθετα μεταξύ τους. Αυτή είναι μια θεωρία που πρακτικά δεν μπορεί να ελεγχθεί αφού τα

ηλεκτρομαγνητικά κύματα είναι μη ορατά. Ωστόσο η θεωρία αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη της συμπεριφοράς των κυμάτων κατά τα φαινόμενα της ανάκλασης της διάθλασης και της περίθλασης.



Εικόνα 2.4 Εγκάρσιο ηλεκτρομαγνητικό κύμα

## 2.6 Κύματα στον ελεύθερο χώρο

Ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα που εκπέμπεται από μια σημειακή πηγή διαδίδεται στον ελεύθερο χώρο ομοιόμορφα προς όλες τις κατευθύνσεις. Η διάδοση του κύματος είναι σφαιρική. Για να απλουστεύσουμε την έννοια της διάδοσης φανταζόμαστε ακτίνες που εκπέμπονται από την σημειακή πηγή προς όλες τις κατευθύνσεις. Σε απόσταση  $P$  από την σημειακή πηγή το κύμα έχει μια συγκεκριμένη φάση. Η ακτίνα αφήνει την σημειακή πηγή όταν η τάση και το ρεύμα είναι μέγιστα σε ένα κύκλωμα το οποίο τροφοδοτεί την σημειακή πηγή. Όλα τα σημεία εκείνα τα οποία έχουν την ίδια φάση σχηματίζουν ένα επίπεδο το οποίο ονομάζεται μέτωπο κύματος. Αν το μήκος της ακτίνας  $Q$  είναι

διπλάσιο του  $P$  τότε η νέα σφαίρα που δημιουργείται έχει επιφάνεια 4 φορές μεγαλύτερη της σφαίρας ακτίνας  $P$ . Αποδεικνύεται, ότι η συνολική ισχύς της σημειακής πηγής εξαπλώνεται καλύπτοντας τετραπλάσια περιοχή (σφαιρική) για κάθε διπλασιασμό της απόστασης. Έτσι αν ορίσουμε την πυκνότητα ισχύος σαν ακτινοβολούμενη ισχύς ανά μονάδα επιφάνειας τότε η πυκνότητα ισχύος ελαττώνεται στο  $\frac{1}{4}$  της τιμής της όταν η απόσταση από την πηγή διπλασιάζεται. Αποδεικνύεται ότι η πυκνότητα ισχύος είναι αντίστροφα ανάλογη του τετραγώνου της απόστασης από την πηγή. Ο νόμος αυτός ονομάζεται νόμος του αντίστροφου τετραγώνου και ισχύει για κάθε μορφή διάδοσης στον ελεύθερο χώρο.

## 2.7 Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα

**Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα** ονομάζεται το εύρος της περιοχής συχνοτήτων που καλύπτουν τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα εκτείνεται θεωρητικά από σχεδόν μηδενικές συχνότητες έως το άπειρο. Με βάση κάποιες χαρακτηριστικές ιδιότητες των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα χωρίζεται σε επιμέρους ζώνες. Αυτές είναι τα ραδιοκύματα, τα μικροκύματα, η υπέρυθρη ακτινοβολία, η ορατή ακτινοβολία (φως), η υπεριώδης ακτινοβολία, οι ακτίνες  $X$  και οι ακτίνες  $\gamma$ .

- Τα ραδιοκύματα είναι ηλεκτρομαγνητικά κύματα χαμηλών σχετικά συχνοτήτων. Καλύπτουν περιοχή συχνοτήτων 0-300MHz. Η ενέργεια των φωτονίων τους είναι πολύ χαμηλή και φτάνει μέχρι τα  $10^{-5}$  eV. Παράγονται από κεραίες και χρησιμοποιούνται ευρύτατα στις τηλεπικοινωνίες. Χωρίζονται σε επιμέρους κατηγορίες με βάση την συχνότητα τους ή ισοδύναμα με βάση το μήκος κύματός τους. Η χαμηλότερη ζώνη συχνοτήτων των ραδιοκυμάτων είναι η περιοχή των βιομηχανικών κυμάτων και η υψηλότερη ζώνη είναι η περιοχή των υπερβραχέων.

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

- Η ζώνη του ορατού φωτός είναι μία στενή ζώνη του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, στην οποία είναι ευαίσθητο το αισθητήριο της όρασης των ζωντανών οργανισμών. καλύπτει περιοχή συχνοτήτων 400-800THz και η ενέργεια των φωτονίων κυμαίνεται από 1,6 - 3,2 eV. Το ορατό φάσμα χωρίζεται σε επιμέρους ζώνες τις οποίες το ανθρώπινο μάτι τις αντιλαμβάνεται ως διαφορετικά χρώματα.

- Η Υπεριώδης ακτινοβολία καλύπτει την περιοχή συχνοτήτων από 800THz -  $3 \cdot 10^{17}$ Hz και η ενέργεια των φωτονίων της είναι μεταξύ 3eV - 2000eV . Εκπέμπεται από εξαιρετικά θερμά σώματα όπως τα άστρα. Η υπεριώδης είναι ακτινοβολία υψηλής ενέργειας και αρκετά επιβλαβής για τους ζωντανούς ιστούς.

- Η ακτινοβολία γ είναι ακτινοβολία εξαιρετικά υψηλής συχνότητας που κυμαίνεται από  $5 \cdot 10^{19}$ Hz -  $3 \cdot 10^{22}$ Hz. Οι ενέργειες των φωτονίων της είναι πολύ υψηλές και κυμαίνονται 10 5eV -  $10^7$ eV.

Λόγω της υψηλής ενέργειας προκαλούν Οι ακτίνες  $\gamma$  παράγονται από ραδιενεργούς πυρήνες και από αστέρια στο διάστημα.



**Εικόνα 2.5** Ζώνες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία αποτελείται από κύματα που στην πλειονότητά τους είναι αόρατα. Από την ακτινοβολία αυτή, μόνο ένα μικρό τμήμα της μπορεί να εντοπισθεί από το ανθρώπινο μάτι και αποτελεί το ορατό φως που παράγει τα διάφορα χρώματα του ουράνιου τόξου.

Τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία εμφανίζονται σε ένα ευρύ φάσμα συχνοτήτων (ηλεκτρομαγνητικό φάσμα) που χωρίζεται σε επιμέρους περιοχές (ζώνες συχνοτήτων). Το φάσμα των συχνοτήτων περιλαμβάνει την ιονίζουσα και τη μη ιονίζουσα ακτινοβολία. Η ιονίζουσα ακτινοβολία είναι αυτή που έχει συχνότητα υψηλότερη από το ορατό φως. Είναι μικρότερου μήκους κύματος και μεταφέρει πολύ υψηλή ενέργεια.

Η ιονίζουσα ακτινοβολία περιλαμβάνει την κοσμική ακτινοβολία, τις ακτίνες X και τις ακτινοβολίες  $\alpha$ ,  $\beta$  και  $\gamma$  ραδιενεργού διάσπασης. Χαρακτηρίζεται με τον όρο «ιονίζουσα», διότι προκαλεί ιονισμό της ύλης, δηλαδή το φωτόνιό της διαθέτει τέτοια ενέργεια, ώστε μπορεί να εκδιώξει ένα ηλεκτρόνιο από

ένα άτομο της ύλης. Η ακτινοβολία αυτή μπορεί να προκαλέσει άμεση βλάβη στη βιολογική ύλη και συγκεκριμένα στο DNA των κυττάρων.

Οι πηγές των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων, στα οποία υποβαλλόμαστε καθημερινά (ραδιοκύματα, μικροκύματα, ηλεκτρισμός), είναι μεγάλου μήκους κύματος και χαμηλής συχνότητας. Δεν μπορούν να προκαλέσουν ιονισμό, διότι η ενέργεια που μεταφέρουν είναι μικρή. Δεν μπορούν να σπάσουν χημικούς δεσμούς στα μόρια των κυττάρων.

Τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία που παράγονται από τα καλώδια ηλεκτρικού ρεύματος και τις οικιακές ηλεκτρικές συσκευές, είναι εξαιρετικά χαμηλής συχνότητας που φτάνουν μέχρι 300 Hz. Οι ραδιοσυχνότητες βρίσκονται μεταξύ 10 MHz και 300 GHz.

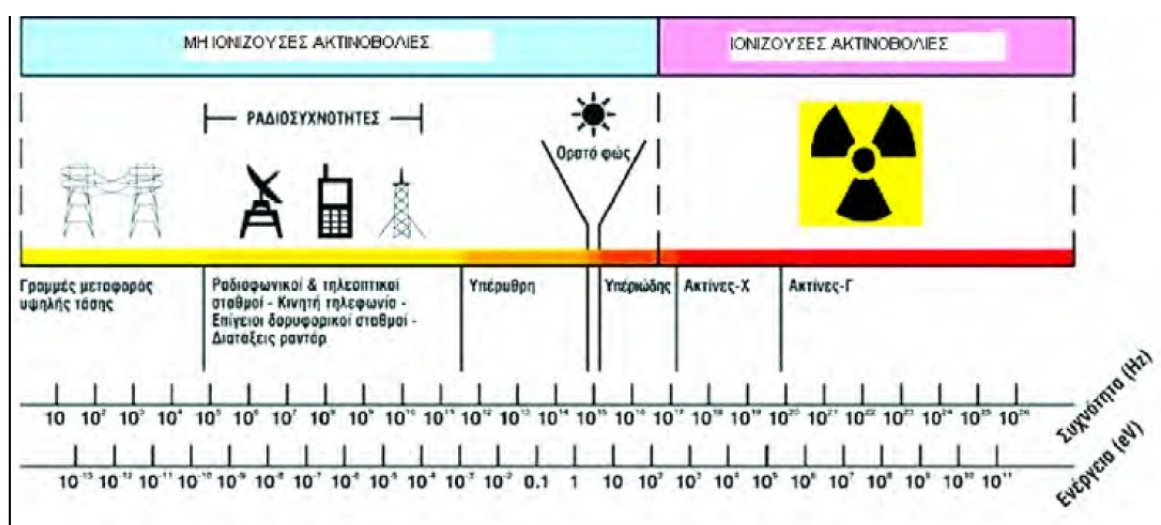
Τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία (ΗΜΠ), υπάρχουν παντού στο περιβάλλον μας και προέρχονται από φυσικές ή τεχνητές πηγές. Το γήινο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο, το ηλιακό φως, οι κεραυνοί, ο χτύπος της καρδιάς, το ανθρώπινο νευρικό σύστημα αποτελούν φυσικές πηγές ηλεκτρομαγνητικών πεδίων. Στις τεχνητές πηγές περιλαμβάνονται οι οικιακές ηλεκτρικές συσκευές (ηλεκτρική σκούπα, φούρνος μικροκυμάτων, ψυγείο, τηλεόραση) οι γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικού ρεύματος, οι τηλεοπτικοί και ραδιοφωνικοί σταθμοί, οι σταθμοί βάσης κινητής τηλεφωνίας, τα ραντάρ.

## **2.8 Τύποι ακτινοβολίας**

Ο όρος ακτινοβολία είναι πολύ ευρύς και περιλαμβάνει μεταξύ άλλων την ιονίζουσα (ακτίνες α, β, γ, ακτίνες-X, νετρόνια), και τη μη ιονίζουσα ακτινοβολία (ορατό φως, μικροκύματα, ραδιοκύματα, υπεριώδης, υπέρυθρη).

Όταν η ακτινοβολία προκαλεί ιονισμό σε ένα βιολογικό υλικό, μπορεί να συμβεί ρήξη χημικών δεσμών, δηλαδή καταστροφή του μορίου με επακόλουθο την παραγωγή δραστικών χημικών ριζών. Η

ρήξη του μοριακού δεσμού προκαλεί βιολογική βλάβη διότι καταστρέφει απαραίτητα για τη ζωή ή για τον πολλαπλασιασμό του κυττάρου μόρια. Οι δραστικές χημικές ρίζες που παράγονται από τη διάσπαση των μορίων, με τη σειρά τους προκαλούν πρόσθετη έμμεση βλάβη, διότι επιδρούν σε άλλα μόρια, τα καταστρέφουν και δημιουργούν άχρηστες ή βλαβερές για το κύτταρο, χημικές ενώσεις. Ιδιαίτερη σημασία για τη ζωή και την αναπαραγωγή του κυττάρου έχουν οι βλάβες εκείνες που προκαλούνται στο γενετικό του υλικό, διότι αυτές συνδέονται τόσο με τη μεταβίβαση κληρονομικών ανωμαλιών στους απογόνους όσο και με τη διαδικασία της καρκινογένεσης.



**Εικόνα 2.6** Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα-Ιονίζουσα και μη ιονίζουσα ακτινοβολία

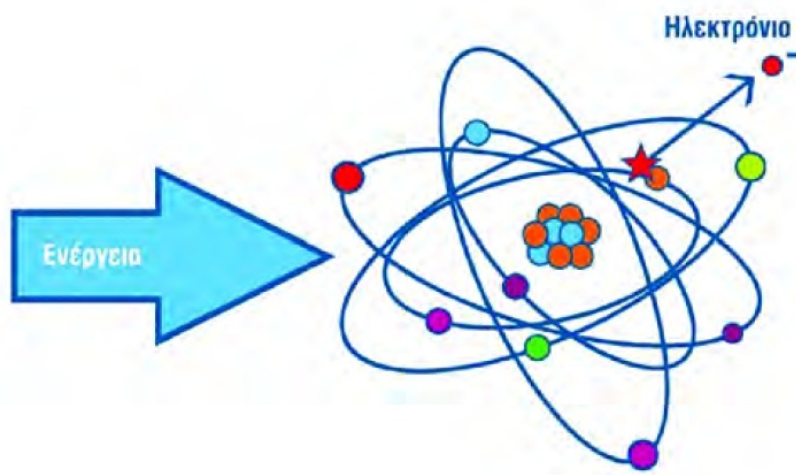
## 2.9 Ιονίζουσα ακτινοβολία

Ιονίζουσα ακτινοβολία είναι ο όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει την εκπομπή ενέργειας που προκύπτει ως αποτέλεσμα της διάσπασης του πυρήνα του ατόμου ενός στοιχείου ή της απώλειας ενέργειας από την επιβράδυνση ηλεκτρονίων. Η ιονίζουσα ακτινοβολία μεταφέρει



ενέργεια ικανή να εισχωρήσει στην ύλη, να προκαλέσει ιονισμό των ατόμων της, να διασπάσει βίαια χημικούς δεσμούς και να προκαλέσει βιολογικές βλάβες στον ανθρώπινο οργανισμό.

Ο ιονισμός ενός ουδέτερου ατόμου είναι η βίαιη απομάκρυνση ενός ηλεκτρονίου από τις στιβάδες του, λόγω εξωτερικού αιτίου με αποτέλεσμα την παραγωγή δύο αντίθετα φορτισμένων σωματιδίων, του θετικά φορτισμένου ιόντος του ατόμου και του αρνητικά φορτισμένου ηλεκτρονίου.



Ορισμένα φυσικά υλικά είναι ασταθή και οι πυρήνες τους μπορούν να διασπαστούν, με αποτέλεσμα την αποδέσμευση της ενέργειας που περικλείουν υπό τη μορφή ακτινοβολίας και την παραγωγή ιόντων. Αυτή η ακτινοβολία ονομάζεται φυσική ραδιενέργεια και τα υλικά που εκπέμπουν ραδιενέργεια ονομάζονται ραδιενεργά υλικά. Συχνά, ο όρος ραδιενέργεια χρησιμοποιείται για να δηλώσει την ακτινοβολία που προέρχεται από τους ραδιενεργούς πυρήνες, υποκαθιστώντας τη λέξη ακτινοβολία. Η ραδιενεργός διάσπαση εκφράζεται σε μονάδες Μπεκερέλ ( Becquerel) και συμβολίζεται ως Bq. Ένα Becquerel ισούται με μια διάσπαση ανά δευτερόλεπτο.

## **2.10 Μη ιονίζουσα ακτινοβολία**

Η μη ιονίζουσα ακτινοβολία, είναι η περιοχή της Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας (H/M) που περιλαμβάνει τις υπεριώδεις ακτίνες (UV), το ορατό φως, την υπέρυθρη ακτινοβολία (IR), τα μικροκύματα (MW), τις ραδιοσυχνότητες (RF), και τέλος τις εξαιρετικά χαμηλές συχνότητες (ELF). Τα λέιζερ λειτουργούν συνήθως στο υπεριώδες φάσμα - UV, στις ορατές, και στις υπέρυθρες συχνότητες IR.

Η μη ιονίζουσα ακτινοβολία εκπέμπεται από ένα ευρύ φάσμα ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών καθώς και σε πομπούς H/M κυμάτων. Μπορεί δε να θέσει σε κίνδυνο τα άτομα που εργάζονται κοντά σε αυτές τις συσκευές ή τις χρησιμοποιούν, αν ενδεχομένως αυτές δεν έχουν ελεγχθεί για τα επίπεδα της ακτινοβολίας που εκπέμπουν.

### **2.10.1 Υπέρυθρη ακτινοβολία**

Η **υπέρυθρη ακτινοβολία** ή υπέρυθρες ακτίνες είναι τμήμα του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Στο φάσμα τοποθετούνται ως μικρότερη συχνότητα στην προέκταση της κόκκινης ορατής ακτινοβολίας, εξ ου και το όνομα «υπέρυθρες» (υπό του ερυθρού). Το μήκος κύματός τους κυμαίνεται από το 1 χιλιοστό έως τα 700 νανόμετρα, όπου ξεκινά το ορατό φάσμα. Συνήθως εκπέμπονται από όλα τα σώματα που έχουν κάποια θερμοκρασία. Τα σώματα με τη μεγαλύτερη θερμοκρασία εκπέμπουν περισσότερες υπέρυθρες και αντίστροφα τα σώματα που απορροφούν περισσότερες υπέρυθρες αυξάνεται η θερμοκρασία τους. Το φαινόμενο αυτό σχετίζεται με την ταλάντωση των σωματιδίων από τα οποία αποτελείται, η οποία αφορά τη θερμική ενέργεια του σώματος.

Οι υπέρυθρες ακτίνες μπορούν να γίνουν αντιληπτές από ορισμένους οργανισμούς, όπως οι σκύλοι και τεχνητά με θερμικές κάμερες. Στην τελευταία συνήθως με μπλε και άσπρο συμβολίζεται θερμό

σημείο, ενώ με πράσινο και κόκκινο ψυχρό σημείο. Αυτές οι κάμερες χρησιμοποιούνται και για τον εντοπισμό εμπύρετων ατόμων στα αεροδρόμια.

### **2.10.2 Τα μικροκύματα**

Τα **Μικροκύματα** είναι περιοχή των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων με μήκος κύματος μεταξύ 0,1 και 100 εκατοστών, που αντιστοιχεί σε συχνότητες μεταξύ 0,3-300 GHz. Ωστόσο, δεν υπάρχουν ακριβή όρια που διαχωρίζουν τα μικροκύματα από τις γειτονικές περιοχές του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, των υπερβραχέων και της υπέρυθρης ακτινοβολίας. Τα μικροκύματα χωρίζονται σε τρεις επιμέρους ζώνες:

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

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

Η υπέρυθρη ακτινοβολία βρίσκεται στην άκρη της ανάλυσης του φάσματος, μετά τα όρια του ορατού φωτός. Είναι η **ακτινοβολία της θερμότητας**, μία από τις ακτινοβολίες που εκπέμπει ο ήλιος και η σημαντικότερη για την ύπαρξη της ζωής στον πλανήτη.

Η υπέρυθη ακτινοβολία δεν είναι νέα για την φύση και τον πλανήτη μας. Είναι αυτή που ευθύνεται για την θερμότητα που εισπράττουμε από τον ήλιο και η βασική της ιδιότητα είναι ότι θερμαίνει σώματα και πράγματα χωρίς να θερμαίνει τον αέρα. Αυτό το χαρακτηριστικό είναι που κάνει την υπέρυθη ακτινοβολία μια πραγματική επανάσταση στην θέρμανση των εσωτερικών χώρων. Η αξιοποίησή της αποτελεί τεχνολογική καινοτομία.

### **2.10.3 Υπεριώδης ακτινοβολία**

**Υπεριώδης ακτινοβολία** ονομάζεται η περιοχή της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας της οποίας το μήκος κύματος στο κενό κυμαίνεται περίπου μεταξύ 380 και 60 νανομέτρων .

Υπάρχουν τρία είδη υπεριώδους ακτινοβολίας:

- UV-A: Αυτή η ακτινοβολία κυμαίνεται στο κενό μεταξύ 315 και 400 νανόμετρα. Είναι το πιο ακίνδυνο είδος. Η UVA εθεωρείτο παλαιότερα ότι δεν είχε ιδιαίτερη επίδραση στο δέρμα. Τα τελευταία χρόνια όμως αποδείχθηκε ότι συνεισφέρει τα μέγιστα στις δερματικές βλάβες. Διεισδύει βαθύτερα στο δέρμα, φτάνοντας μέχρι το χόριο όπου πολλές διαδικασίες φωτογήρανσης λαμβάνουν χώρα.
- UV-B: Αυτή η ακτινοβολία κυμαίνεται στο κενό μεταξύ 280 και 315 nm. Αυτή προκαλεί το μαύρισμα, αλλά μπορεί να γίνει επικίνδυνη. Η UV-B διεισδύει στις εξωτερικές στοιβάδες του δέρματος (επιδερμίδα) και είναι το πρωταρχικό αίτιο πρόκλησης εγκαυμάτων από τον ήλιο. Στην επιφάνεια της γης φτάνει σε μικρότερα ποσά λόγω της απορρόφησης μεγάλου μέρους της από τη στοιβάδα του όζοντος. Και πάλι όμως αρκεί για να προκαλέσει ζημιά.
- UV-Γ: Αυτή η ακτινοβολία κυμαίνεται στο κενό μεταξύ 40 nm και 280 nm . Είναι το πιο επικίνδυνο είδος της υπεριώδους ακτινοβολίας, καθώς με αυτήν έχουν επιτευχθεί εργαστηριακά

μεταλλάξεις. Η UV-Γ απορροφάται τελείως από την στοιβάδα του όζοντος στην στρατόσφαιρα και δεν φτάνει στην επιφάνεια της γης. Είναι πολύ επικίνδυνη και καρκινογόνος για το δέρμα.

Και τα δύο είδη της ακτινοβολίας (UVA,UVB), προκαλούν ρυτίδωση, μειωμένη ανοσία έναντι των λοιμώξεων, βλάβες γήρανσης του δέρματος και καρκίνους. Πιθανοί μηχανισμοί για τα βλαπτικά αυτά αποτελέσματα είναι η διάσπαση του κολλαγόνου, ο σχηματισμός ελεύθερων ριζών, η αλληλεπίδραση με μηχανισμούς επιδιόρθωσης του DNA και η ανασταλτική τους δράση σε ανοσολογικούς μηχανισμούς.

Κύρια πηγή υπεριώδους ακτινοβολίας είναι ο ήλιος. Φτάνει στη γη μέσω της επανεκπομπής της από τη στρατόσφαιρα. Είναι επικίνδυνη ακτινοβολία και το στρώμα του όζοντος προστατεύει την επιφάνεια της γης από αυτήν. Αυτός είναι ο λόγος που η τρύπα του όζοντος είναι σοβαρό οικολογικό πρόβλημα.

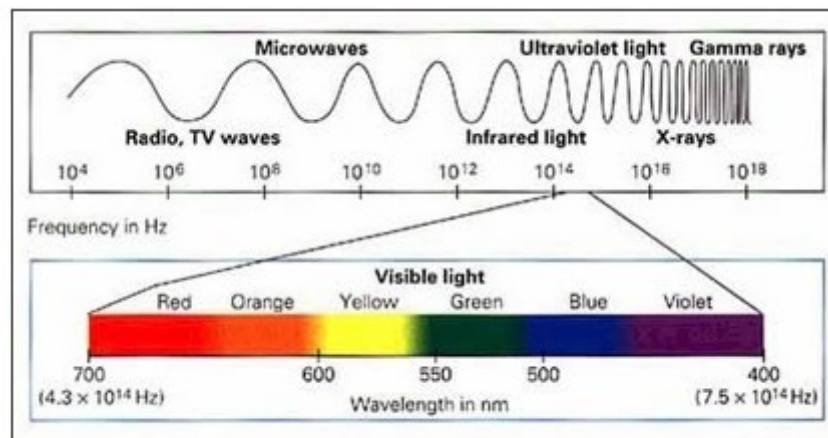
Η υπεριώδης ακτινοβολία είναι μέρος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, που εκπέμπεται από τον ήλιο. Ενώ, μάλιστα, οι ακτίνες UVC (μήκος κύματος 100 - 280 nm) απορροφώνται από το όζον της ατμόσφαιρας, τους υδρατμούς, το οξυγόνο και το διοξείδιο του άνθρακα, οι UVA (μήκος κύματος 315 - 400 nm) και το 10% των UVB (μήκος κύματος 280 - 315 nm) φθάνουν στην επιφάνεια της γης.

Τόσο οι UVA, όσο και οι UVB, είναι ιδιαίτερης σημασίας για την ανθρώπινη υγεία. Μικρές ποσότητες υπεριώδους ακτινοβολία είναι αναγκαίες για την παραγωγή της Βιταμίνης D, ενώ αντίθετα, η υπερέκθεση μπορεί να επιφέρει οξείας και χρόνιας μορφής συνέπειες για το δέρμα. Η ελάττωση του στρώματος του όζοντος είναι γνωστό ότι επιδεινώνει τις επιπτώσεις στην υγεία από τη UV ακτινοβολία για τον άνθρωπο, τα ζώα, τους θαλάσσιους οργανισμούς και τα φυτά, διότι τότε δεν απορροφά αποτελεσματικά τη UV ακτινοβολία (ιδίως UVB ακτινοβολία).

### 2.10.4 Ορατή ακτινοβολία

Έτσι ονομάζεται η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία την οποία αντιλαμβανόμαστε με τα οπτικά μας όργανα (μάτια). Το εύρος της σε μήκη κύματος κυμαίνεται από 400 έως 700 νανόμετρα.

Το ορατό φως αποτελεί ένα μικρό μέρος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Στην καθημερινή μας ζωή "βομβαρδιζόμαστε" από ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, της οποίας ένα μικρό μέρος γίνεται αντιληπτό από τα μάτια μας. Η κυριότερη πηγή της ορατής ακτινοβολίας είναι βέβαια ο ήλιος, αλλά οι πηγές της μη ορατής ακτινοβολίας είναι πολλές. Ο ήλιος είναι μια τέτοια πηγή μη ορατής ακτινοβολίας. Στο εσωτερικό των διάφορων χώρων η ορατή ακτινοβολία προέρχεται από πηγές τεχνητού φωτός, όπως μια λάμπα πυρακτώσεως.



**Εικόνα 2.7** Χρώματα που βλέπει το ανθρώπινο μάτι

Ο παραπάνω πίνακας δείχνει τι χρώμα βλέπει το ανθρώπινο μάτι ανάλογα με το μήκος κύματος της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας. Όταν βλέπουμε ένα χρώμα όπως κίτρινο σημαίνει ότι υπάρχει κάποια ακτινοβολία στα 590 νανόμετρα. Αυτό όμως δεν είναι απόλυτο, γιατί κίτρινό πάλι μπορούμε να βλέπουμε αν έχουμε δύο ακτινοβολίες με μήκη κύματος κοντά στα 590 και 600 νανόμετρα. Επίσης πάλι κίτρινο θα δούμε αν έχουμε πολλές ακτινοβολίες με μήκη κύματος στο

διάστημα 590 με 600 νανόμετρα. Αυτά τα λέμε για να γίνει κατανοητός ο τρόπος που αντιλαμβανόμαστε τα χρώματα και τις αποχρώσεις αυτών. Σε κάθε μία από τις παραπάνω περιπτώσεις το κίτρινο που βλέπουμε δεν είναι το ίδιο.

### **2.10.5 Ραδιοκύματα**

Τα ραδιοκύματα είναι ηλεκτρομαγνητικά κύματα με συχνότητα από περίπου 3 kHz μέχρι 300 GHz. Τα μικροκύματα αποτελούν ένα υποσύνολο των ραδιοκυμάτων με συχνότητες που κυμαίνονται μεταξύ 300 MHz και 3 GHz.

Τα ραδιοκύματα δημιουργούνται από την κίνηση ηλεκτρικών φορτίων επί των κεραιών και αναφέρονται και ως ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ραδιοσυχνοτήτων (ΡΣ), γιατί ακτινοβολούνται στο χώρο απομακρυνόμενα από την πηγή τους, δηλαδή την κεραία εκπομπής .

Τα ραδιοκύματα ανήκουν στην κατηγορία των μη ιονιζουσών ακτινοβολιών καθώς δεν είναι ικανά να διασπάσουν χημικούς δεσμούς ή να αποσπάσουν ηλεκτρόνια από άτομα, προκαλώντας ιοντισμό της ύλης όπως η ραδιενέργεια (ακτίνες X , ακτίνες γ). Σε αντίθεση με τον ιοντισμό, που είναι επικίνδυνος γιατί μπορεί να οδηγήσει σε αλλοιώσεις του γενετικού υλικού και να προκαλέσει επιβλαβή αποτελέσματα στην υγεία (όπως ο καρκίνος), η κυριότερη βιολογική επίδραση των ραδιοκυμάτων υπό ορισμένες συνθήκες είναι η αύξηση της θερμοκρασίας των ιστών που εκτίθενται σε αυτά. Οι μέχρι σήμερα έρευνες δεν έχουν τεκμηριώσει μια αιτιοκρατική σχέση μεταξύ του τύπου αυτού της ακτινοβολίας και των επιβλαβών επιπτώσεων στην υγεία.

## 2.11 Τα Διεθνή όρια που έχουν θεσπιστεί για την προστασία από την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία

Σύμφωνα με τις οδηγίες της ICNIRP, προτείνεται ένα σύστημα δύο επιπέδων ως προς τα όρια επιτρεπτής έκθεσης: χαμηλότερα όρια για το γενικό πληθυσμό και υψηλότερα για τους επαγγελματικά ασχολούμενους σε χώρους έκθεσης σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, καθώς οι δεύτεροι έχουν γνώση των κινδύνων και μπορούν να λάβουν τα ενδεικνύμενα μέτρα προστασίας. Επιπλέον, ορίζονται βασικοί περιορισμοί που αφορούν σε δοσιμετρικά μεγέθη αλλά και αντίστοιχα επίπεδα αναφοράς για τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία τα οποία μπορούν εύκολα να μετρηθούν. Επισημαίνεται ότι για τη διατύπωση των βασικών περιορισμών έχει υιοθετηθεί ένας παράγοντας ασφάλειας (10 ως και 50), ο οποίος αντιπροσωπεύει την αβεβαιότητα εκτίμησης του ορίου εμφάνισης επιβλαβών επιπτώσεων στην υγεία. Το βασικό μέγεθος για την ποσοτικοποίηση των θερμικών επιδράσεων είναι ο **Ρυθμός Ειδικής Απορρόφησης (SAR)**.

Η θέσπιση ορίων αποδεκτής έκθεσης από τη CENELEC και άλλες επιτροπές τυποποίησης για ολόσωμη έκθεση σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία έχει βασιστεί στην πρόληψη διαταραχών της συμπεριφοράς που παρατηρούνται σε ζώα κατά την έκθεσή τους σε χαμηλά επίπεδα ακτινοβολίας. Ο όρος «διαταραχές συμπεριφοράς» αναφέρεται στην τάση των ζώων να σταματούν την εκτέλεση μιας πολύπλοκης γνωσιακής λειτουργίας όταν εκτίθενται σε συγκεκριμένα επίπεδα ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας. Πρόκειται για θερμική επίδραση που παρατηρείται για Ρυθμό Ειδικής Απορρόφησης ίσο με 4 W/kg σωματικού βάρους, υπολογισμένο ως μέση τιμή σε ολόκληρο το σώμα. Για να συμπεριλάβει επιστημονικές αβεβαιότητες, αυτό το επίπεδο κατωφλίου μειώθηκε περαιτέρω για να προκύψουν οι τιμές των ορίων για την

ανθρώπινη έκθεση (βασικοί περιορισμοί). Υιοθετώντας 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 και θέτοντας έναν επιπλέον συντελεστή ασφαλείας ίσο με 5



για το γενικό πληθυσμό καθορίστηκε αντίστοιχη μέγιστη τιμή του Ρυθμού Ειδικής Απορρόφησης ίση με 0.08W/kg, υπολογισμένη ως μέση τιμή για ολόκληρο το σώμα και για χρονικό διάστημα μέτρησης 6 λεπτών. Με παρόμοιο σκεπτικό, προέκυψαν αντίστοιχα όρια για τον περιορισμό της έκθεσης τμημάτων του ανθρώπινου σώματος σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία ΡΣ.

Εφαρμογή	Ρυθμός Ειδικής Απορρόφησης-SAR (W/Kg) (μέση τιμή για όλο το σώμα)	Ρυθμός Ειδικής Απορρόφησης-SAR (W/Kg) (μέση τιμή για 10g ιστού της κεφαλής ή του κορμού)	Ρυθμός Ειδικής Απορρόφησης-SAR (W/Kg) (μέση τιμή για 10g ιστού των άκρων)
Κινητή τηλεφωνία 900 MHz (GSM)	0.08 (0.4*)	2 (10*)	4 (20*)
Κινητή τηλεφωνία 1800 MHz (DCS)	0.08 (0.4*)	2 (10*)	4 (20*)
Κινητή τηλεφωνία 2100 MHz (UMTS)	0.08 (0.4*)	2 (10*)	4 (20*)
Ασύρματα δίκτυα 2.4 GHz (WiFi)	0.08 (0.4*)	2 (10*)	4 (20*)
Ασύρματα δίκτυα 3.5 GHz (WiMax)	0.08 (0.4*)	2 (10*)	4 (20*)

## **2.12 Τι ισχύει στην Ελλάδα για την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία**

Στην Ελλάδα, οι δύο Νόμοι που έχουν σχέση με την προστασία του κοινού από μη ιονίζουσα ακτινοβολία είναι η Κοινή Υπουργική Απόφαση υπ' αριθ. 53571/3839, «Μέτρα προφύλαξης του κοινού από τη λειτουργία κεραιών εγκατεστημένων στην ξηρά», (ΦΕΚ 1105/Β/6-9-2000) και ο Νόμος 3431/2006 «Περί ηλεκτρονικών επικοινωνιών και άλλες διατάξεις», (ΦΕΚ 13/Α/3-2-2006, Άρθρο 31). Σύμφωνα με τον Νόμο 3431/2006, γύρω από κάθε κατασκευή κεραιάς που εκπέμπει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία δεν θα πρέπει να υπάρχουν χώροι προσπελάσιμοι από το γενικό πληθυσμό, στους οποίους τα επίπεδα έκθεσης υπερβαίνουν το 70% των ορίων της ICNIRP. Επιπλέον, σε περίπτωση εγκατάστασης κατασκευής κεραιάς σε απόσταση μικρότερη από

300 μέτρα από την περίμετρο κτιριακών εγκαταστάσεων βρεφονηπιακών σταθμών, σχολείων, γηροκομείων και νοσοκομείων, τα επίπεδα έκθεσης του κοινού απαγορεύεται να υπερβαίνουν το 60% των ορίων της ICNIRP. Δηλαδή εφαρμόζονται ακόμα αυστηρότερα όρια σε σχέση με αυτά που ορίζονται από την ICNIRP.

**Επίπεδα αναφοράς, σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία, για το γενικό πληθυσμό σε συνήθεις εφαρμογές ασυρμάτων δικτύων. Τα επίπεδα αναφοράς που ισχύουν στην Ελλάδα αντιστοιχούν στο 70% (60%) των ορίων της ICNIRP.**

Εφαρμογή	Ένταση Ηλεκτρικού Πεδίου (V/m)	Ένταση Μαγνητικού Πεδίου(A/m)	Πυκνότητα Ισχύος Ισοδύναμου Επίπεδου ΗΜ Κύματος (W/m <sup>2</sup> )
Κινητή τηλεφωνία 900 MHz (GSM)	28.7 (24.6)	0.08 (0.066)	3.15 (2.7)
Κινητή τηλεφωνία 1800 MHz (DCS)	40.6 (34.8)	0.11 (0.096)	6.3 (5.4)
Κινητή τηλεφωνία 2100 MHz (UMTS)	42.7 (36.6)	0.11 (0.096)	7 (6)
Ασύρματα δίκτυα 2.4 GHz (WiFi)	42.7 (36.6)	0.11 (0.096)	7 (6)
Ασύρματα δίκτυα 3.5 GHz (WiMax)	42.7 (36.6)	0.11 (0.096)	7 (6)

Η Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (ΕΕΑΕ) είναι ο αρμόδιος φορέας για τον έλεγχο της τήρησης των ορίων έκθεσης του κοινού σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Οι έλεγχοι για τη μέτρηση της ακτινοβολίας πραγματοποιούνται από την ΕΕΑΕ ή από εξουσιοδοτημένους από αυτήν φορείς. Όσον αφορά στις τερματικές συσκευές, η ICNIRP έχει θεσπίσει ως όριο SAR από τα κινητά τηλέφωνα στο κεφάλι την τιμή 2 W ανά χιλιόγραμμο μάζας, όταν λαμβάνεται ο μέσος όρος σε 10 γραμμάρια μάζας συνεχούς ιστού στο κεφάλι για μία περίοδο 6 λεπτών. Αυτό το όριο έχει υιοθετήσει και η Ευρωπαϊκή Ένωση και κατά συνέπεια και η Ελλάδα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### 3.1 Θερμικές επιδράσεις της μη ιονίζουσας ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας

Η αρχική επίπτωση, όμως, στην υγεία από τις ακτινοβολίες RF/MW είναι οι θερμικές. Θερμικές ονομάζονται εκείνες οι επιδράσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που οφείλονται σε μετρήσιμη αύξηση της θερμοκρασίας των ιστών που δέχονται ακτινοβολία. Οι βλάβες στον οργανισμό προκαλούνται από τη θέρμανση των ακτινοβολούμενων ιστών και από την αδυναμία των θερμορυθμιστικών μηχανισμών των διαφόρων ιστών στην αντιμετώπιση της ακτινοβολήσης.

Παρατηρείται αύξηση της θερμοκρασίας η οποία προκαλείται από πυκνότητες ισχύος άνω του  $1 \text{ mW/cm}^2$ . Οι θερμικές επιδράσεις είναι αυτές που κατά κύριο λόγο αποτελούν το αντικείμενο μελέτης στις δυτικές χώρες. Οι κανονισμοί της έκθεσης των Δυτικών χωρών βασίζονται στην αποφυγή των θερμικών προβλημάτων. Εντούτοις, η έρευνα συνεχίζεται σε πιθανά "μη- θερμικά" αποτελέσματα.

Η απορρόφηση της ενέργειας των RF/MW μεταβάλλεται ανάλογα με τη συχνότητα. Η μικροκυματική ακτινοβολία απορροφάται κοντά στο δέρμα, ενώ η ακτινοβολία RF μπορεί να απορροφηθεί από τα όργανα βαθιά στο σώμα. Λόγω της παρουσίας νερού και ιόντων, οι ιστοί απορροφούν ενέργεια. Όπως όλοι γνωρίζουμε, το ανθρώπινο σώμα αποτελείται από 70% νερό. Το μόριο του νερού αποτελεί ένα ηλεκτρικό δίπολο (πολική ομοιοπολική ένωση). Έτσι λοιπόν όταν το σώμα μας βρεθεί μέσα σε ένα ηλεκτρομαγνητικό πεδίο τα μόρια του νερού, που είναι δίπολα, θα αρχίσουν να περιστρέφονται ή να ταλαντεύονται στο ρυθμό συχνότητας του κύματος. Όσο πιο μεγάλη είναι η συχνότητα του παλμού και όσο η διάρκεια του φαινομένου είναι μεγαλύτερη τόσο μεγαλύτερα ποσά θερμότητας θα παραχθούν.

Ο οργανισμός του ανθρώπου διαθέτει θερμορυθμιστικούς μηχανισμούς που κρατούν τη θερμοκρασία του σώματος σταθερή μεταξύ 36 και 37 βαθμών Κελσίου. Όταν τα παραγόμενα

ποσά θερμότητας είναι σχετικά μικρά, οι θερμορυθμιστικοί μηχανισμοί μπορούν να απάγουν αυτήν τη θερμότητα και να κρατούν σταθερή τη θερμοκρασία στους 36-37 °C. Αντίθετα, όταν τα ποσά θερμότητας υπερβούν κάποια τιμή, τότε οι μηχανισμοί αυτοί δεν μπορούν να λειτουργήσουν σωστά κάτι που οδηγεί στην αύξηση της θερμοκρασίας σε ιστούς ή όργανα του σώματος άνω των 37 βαθμών.

### **3.2 Μη θερμικές επιδράσεις ( αθερμικές επιδράσεις)**

Οι αθερμικές επιδράσεις προκαλούνται από μικρές πυκνότητες ισχύος (της τάξης των λίγων  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ), ώστε να μην παρατηρείται αύξηση της θερμοκρασίας των ιστών.

Η δράση των Η/Μ κυμάτων με το ανθρώπινο σώμα μπορεί να προκαλέσει τη διέγερση κυττάρων του μυϊκού και νευρικού ιστού, που ανταποκρίνονται σε ηλεκτρικά ερεθίσματα. Αυτά προέρχονται από τα επαγόμενα στο σώμα ηλεκτρικά ρεύματα.

Οι επιδράσεις που χαρακτηρίζονται ως αθερμικές συμβαίνουν συνήθως για συχνότητες πεδίων κάτω των 10 MHz. Αθερμικές επιδράσεις μπορεί να έχουμε και σε υψηλότερες συχνότητες, εφόσον οι τιμές SAR είναι μικρότερες από τα όρια. Για να φτάσουμε στο κατώφλι διεγέρσεως των κυττάρων, απαιτούνται πολύ ισχυρά πεδία. Έχουν παρατηρηθεί όμως, ορισμένα πειραματικά αποτελέσματα, που προκύπτουν χωρίς την ύπαρξη σημαντικών αλλαγών στη θερμοκρασία και για τις τιμές πεδίων κάτω από το κατώφλι διεγέρσεως. Τα αποτελέσματα αυτά θα πρέπει να αποδοθούν σε μη θερμικούς μηχανισμούς σε μοριακό επίπεδο.

Σύμφωνα με τις μέχρι σήμερα επιστημονικές γνώσεις δεν είναι σαφής ο τρόπος με τον οποίο οι μη θερμικές επιδράσεις αποτελούν κίνδυνο για την υγεία. Παρ' όλα αυτά όμως, έχει προταθεί και από την Ευρωπαϊκή Ένωση ότι πρέπει να γίνει έρευνα προς την κατεύθυνση αυτή, διότι μόνο

με βάση τα αποτελέσματα που θα προκύψουν από την έρευνα αυτή μπορεί να θεσπιστούν όρια ασφαλείας για τις μη θερμικές επιδράσεις.

### **3.3 Ραδιοσυχνότητες (RF) και ακτινοβολία μικροκυμάτων (MW)**

Οι ραδιοσυχνότητες (RF) και οι ακτινοβολίες μικροκυμάτων (MW) είναι ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες με συχνότητα από 3 kHz - 300 MHz, και 300 MHz - 300 GHz, αντίστοιχα. Η χρήση της ακτινοβολίας RF/MW περιλαμβάνει τις εξής συσκευές: ραδιόφωνα, κυψελοειδή κινητά τηλέφωνα, επεξεργασία και μαγείρεμα των τροφίμων. Καθώς τα περισσότερα τρόφιμα έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε νερό, τα μικροκύματα μπορούν να ψήσουν τα τρόφιμα γρήγορα. Επίσης, υπάρχουν μεταδότες σημάτων επικοινωνίας, ραντάρ, φούρνοι μικροκυμάτων και άλλες συσκευές. Τα μικροκύματα παράγονται από την ταλάντωση των ηλεκτρικών φορτίων στις κεραίες. Έτσι αν μια κεραία διαρρέεται από εναλλασσόμενο ρεύμα δημιουργούνται Η/Μ κύματα που ακτινοβολούν μακριά από την κεραία.

Όταν τα Η/Μ κύματα συναντούν ένα εμπόδιο τότε μπορεί μέρος αυτών να ανακλαστεί, να διαθλαστεί, να διαδοθεί μέσω του αντικειμένου ή να απορροφηθεί από το αντικείμενο. Ποια από όλες αυτές τις διαδικασίες θα επικρατήσει και σε τι ποσοστό, εξαρτάται από τη συχνότητα του Η/Μ κύματος, τη γωνία πρόσπτωσης, από το πόσο καλός αγωγός του ηλεκτρισμού είναι το αντικείμενο και ακόμη από το σχήμα του αντικειμένου. Το σώμα του ανθρώπου, που έχει μέτρια, αγωγιμότητα, μπορεί να συμβούν όλα τα παραπάνω.

Όπως κάθε μορφή ενέργειας έτσι και η ενέργεια που μεταφέρεται από τα ραδιοκύματα είναι δυνατόν να επιδρά στα κύτταρα, το τελικό δε αποτέλεσμα μπορεί να είναι επιβλαβές σε διάφορο βαθμό ή μπορεί ακόμη να είναι και ευεργετικό. Αυτό εξαρτάται από τις συνθήκες έκθεσης (συχνότητα, πυκνότητα ισχύος, είδος κυματομορφής, διάρκεια έκθεσης κλπ) καθώς επίσης και από

ορισμένους βιολογικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες. Η δράση των Η/Μ κυμάτων πάνω σε βιολογικά συστήματα συντελείται μέσω κάποιων φυσικών μηχανισμών που ανάλογα με την συχνότητα των κυμάτων είναι δυνατόν να προκαλέσουν διέγερση κυττάρων του νευρικού και μυϊκού ιστού ή να προκαλέσουν θέρμανση του σώματος ή των οργάνων. Οι παραπάνω μηχανισμοί έχουν σχέση με την επαγωγή ηλεκτρικών ρευμάτων στο σώμα του ατόμου που είναι εκτεθειμένο σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και με την απορρόφηση ενέργειας γενικότερα.

### **3.4 Πώς μετρείται η ακτινοβολία RF;**

Τα κύματα RF όπως και τα RF πεδία αποτελούνται από ένα ηλεκτρικό και ένα μαγνητικό πεδίο. Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου **E** εκφράζεται από τη μονάδα βολτ ανά μέτρο (V/m), ενώ σε A/m ή (T) Tesla για το μαγνητικό πεδίο **H**. Σε πεδία μικρών συχνοτήτων (0 - 500 Hz) παίζουν ρόλο και οι δύο αυτές εντάσεις, ενώ στις μεγαλύτερες (πάνω από 3 MHz) αρκεί η μέτρηση της μιας έντασης πχ του ηλεκτρικού πεδίου.

Ένας άλλος κοινός τρόπος για να χαρακτηριστεί ένα RF πεδίο είναι με τη βοήθεια της πυκνότητας ισχύος **P** ή **S**. Η πυκνότητα ισχύος **P** καθορίζει την ισχύ του πεδίου ανά εμβαδόν. Παραδείγματος χάριν, η πυκνότητα ισχύος μπορεί να εκφραστεί σαν mW/cm<sup>2</sup> (milliwatts ανά τετραγωνικό εκατοστό) ή σαν μW/cm<sup>2</sup>.

Η πυκνότητα ισχύος, όμως, μας πληροφορεί έμμεσα μόνο για την ποσότητα ενέργειας που θα απορροφήσει το σώμα μας, όταν βρεθεί στο ακτινοβολούμενο σημείο. Ουσιαστικά είναι ένα μέτρο των συνθηκών που επικρατούν σε ένα σημείο, πριν βρεθούμε σ' αυτό. Το σώμα μας, όμως, θα απορροφήσει ένα μέρος μόνο της ενέργειας αυτής και μάλιστα όχι απαραίτητα ομοιόμορφα. Γι' αυτό χρησιμοποιείται μια άλλη ποσότητα για να μετρήσει πόση ενέργεια RF απορροφάται από το σώμα μας και ονομάζεται SAR (Specific Absorption Rate) ή EPA (Ειδικός Ρυθμός

Απορρόφησης). Ενδεικτικά μόνο αναφέρεται ότι η τιμή SAR=4 W/Kg μπορεί να προκύψει, υπό ορισμένες συνθήκες έκθεσης, από ένα πεδίο που έχει πυκνότητα ισχύος περίπου 10mW/cm<sup>2</sup>. Για παράδειγμα κάτω από υπό ευνοϊκές περιβαλλοντικές συνθήκες (όχι πολύ υψηλή θερμοκρασία και υγρασία, ελαφρά ενδυμασία κλπ.), ένα υγιές άτομο εκτεθειμένο σε Η/Μ ακτινοβολία είναι σε θέση να αντιμετωπίσει απορροφημένη ισχύ (SAR) μέχρι 4 W/Kg (κατά μέσο όρο σ' όλο το σώμα) χωρίς να σημειωθεί αύξηση της θερμοκρασίας του πάνω από ένα βαθμό.

### **3.5 Τα βιολογικά αποτελέσματα που μπορούν να προκληθούν από την RF ή μη ιονίζουσα ακτινοβολία.**

Ήταν γνωστό από παλιά ότι οι υψηλές εντάσεις της ακτινοβολίας RF μπορεί να είναι επιβλαβείς λόγω της ικανότητας της ενέργειας RF να θερμαίνει τους βιολογικούς ιστούς γρήγορα. Αυτή είναι η βασική αρχή με την οποία οι φούρνοι των μικροκυμάτων μαγειρεύουν τα τρό-

φιμα. Έτσι και η έκθεση σε υψηλές πυκνότητες ισχύος RF, δηλαδή, σε τάξη 100 mW/cm<sup>2</sup> ή και περισσότερο, μπορεί να οδηγήσει στη θέρμανση του ανθρώπινου σώματος Η καταστροφή των ιστών μπορεί να οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι το ανθρώπινο σώμα δεν μπορεί να αντιμετωπίσει την υπερβολική θερμότητα. Υπό ορισμένους όρους, η έκθεση σε πυκνότητες ισχύος RF, περίπου, 10 mW/cm<sup>2</sup> ή και περισσότερο θα μπορούσε να οδηγήσει σε μετρήσιμη θέρμανση του βιολογικού ιστού. Ο βαθμός θέρμανσης εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, πχ τη συχνότητα της ακτινοβολίας, τη πόλωση της και τον προσανατολισμό του εκτεθειμένου αντικειμένου, τη διάρκεια της έκθεσης, τις περιβαλλοντικές συνθήκες και την ικανότητα του διασκεδάσμού της θερμότητας.

Τα βιολογικά αποτελέσματα που προκύπτουν από τη θέρμανση του ιστού από την ακτινοβολία RF αναφέρονται συχνά ως "θερμικές" επιδράσεις. Δύο περιοχές του σώματος, τα

μάτια και οι όρχεις φαίνονται να επηρεάζονται ιδιαίτερα από τη θέρμανση της ακτινοβολίας RF, λόγω της σχετικής μικρής ροής του αίματος. Εργαστηριακά πειράματα έχουν δείξει ότι μια βραχυπρόθεσμη έκθεση σε υψηλά επίπεδα ακτινοβολίας RF (100-200 mW/cm<sup>2</sup>) μπορούν να προκαλέσουν καταρράκτες στα κουνέλια, όπως επίσης και προσωρινή στειρότητα, που οφείλεται στη μείωση της κινητικότητας του σπέρματος. Θα πρέπει να υπογραμμιστεί ότι τα περιβαλλοντικά υπάρχοντα επίπεδα ακτινοβολίας RF για τον κόσμο, συνήθως είναι πολύ κάτω από τα απαραίτητα επίπεδα που δημιουργούν σημαντική θέρμανση στους ιστούς και το σώμα. Στην πραγματικότητα, η Αμερικανική Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος έχει υπολογίσει ότι το 98-99% του πληθυσμού σε επτά Αμερικανικές αστικές περιοχές που μελετήθηκαν εκτίθενται σε λιγότερο από 0,001 mW/cm<sup>2</sup>.

Εντούτοις, μπορούν να υπάρξουν κυρίως εργασιακοί χώροι, όπου τα πρότυπα ασφάλειας της ακτινοβολίας RF ξεπερνιούνται και οι άνθρωποι θα μπορούσαν να εκτεθούν ενδεχομένως σε επιβλαβή επίπεδα RF.

Εκτός από την ένταση και η συχνότητα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας RF είναι σημαντική για τον καθορισμό του σχετικού κινδύνου. Σε μια απόσταση αρκετών μηκών κύματος από μια πηγή ακτινοβολίας RF, η ολόσωμη απορρόφηση της ενέργειας RF από τους ανθρώπους θα συμβεί στο μέγιστο ρυθμό όταν η συχνότητα της ακτινοβολίας βρίσκεται μεταξύ, περίπου, των 30 και 300 MHz. Λόγω αυτού του "συντονισμού", τα πρότυπα ασφάλειας για τις RF παίρνουν υπ' όψιν τους αυτήν την εξάρτηση της συχνότητας. Επομένως, υπάρχουν πιο αυστηρά κριτήρια σε αυτή την περιοχή συχνοτήτων με τη μέγιστη απορρόφηση. Σε σχετικά χαμηλά επίπεδα έκθεσης στην ακτινοβολία RF, δηλ. εντάσεις πεδίου χαμηλότερες από αυτές που παράγουν σημαντική και μετρήσιμη θέρμανση, τα στοιχεία για την παραγωγή επιβλαβών βιολογικών αποτελεσμάτων είναι λιγότερο καθαρά.



Διάφορες εκθέσεις που έχουν πραγματοποιηθεί στη Ρωσία και στα Ανατολικά κράτη ισχυρίζονται για την ύπαρξη ενός ευρέως φάσματος χαμηλού επιπέδου βιολογικών αποτελεσμάτων. Αυτές οι επιδράσεις χαμηλού επιπέδου στα ζώα και στους ανθρώπους περιλαμβάνουν τροποποιήσεις της συμπεριφοράς, στο σχηματισμό του αίματος και στο ανοσολογικό σύστημα, επιδράσεις στην αναπαραγωγή, αλλαγές στα επίπεδα ορμονών, πονοκέφαλοι, οξυθυμία, κούραση, και καρδιαγγειακά αποτελέσματα. Εντούτοις, απαιτείται κι' άλλη έρευνα για να επιβεβαιωθούν αυτοί οι ισχυρισμοί και για να καθοριστεί αν υπάρχει κίνδυνος με τη μακροπρόθεσμη έκθεση.

Τα τελευταία χρόνια μερικοί δυτικοί επιστήμονες έχουν αναφέρει, επίσης, βιολογικές επιδράσεις με την έκθεση ζώων και ζωικού ιστού σε σχετικά χαμηλά επίπεδα ακτινοβολίας RF. Αυτά τα αποτελέσματα, που συχνά αναφέρονται ως "μη-θερμικά" αποτελέσματα, περιλαμβάνουν αλλαγές στο ανοσοποιητικό σύστημα, νευρολογικά αποτελέσματα, επιδράσεις στη συμπεριφορά, στοιχεία για μια σύνδεση μεταξύ της έκθεσης μικροκυμάτων και της δράσης ορισμένων φαρμάκων και ενώσεων, και μια "εκροή" ασβεστίου στον εγκέφαλο. Τα πειραματικά αποτελέσματα επίσης έχουν δείξει ότι τα μικροκύματα μπορεί να εμπλέκονται στην προώθηση του καρκίνου υπό ορισμένους όμως όρους. Εντούτοις, αντιφατικά πειραματικά αποτελέσματα έχουν αναφερθεί επίσης σε πολλές από αυτές τις περιπτώσεις, και φυσικά απαιτούνται κι' άλλα πειράματα για να καθορίσουν τη γενικότητα αυτών των αποτελεσμάτων και εάν αποτελούν μια απειλή για την ανθρώπινη υγεία.

Είναι πιθανόν ότι οι "μη-θερμικοί" μηχανισμοί υπάρχουν και θα μπορούσαν να προκαλέσουν βλαβερά βιολογικά αποτελέσματα στα ζώα και τους ανθρώπους, οι οποίοι εκτίθενται στην ακτινοβολία RF. Εντούτοις, εάν αυτό είναι μια γενική περίπτωση πρέπει να αποδειχθεί. Ένα από τα "μη-θερμικά" βιολογικά αποτελέσματα που εμφανίζονται να μπορούν να αναπαραχθούν είναι η "εκροή ασβεστίου", φαινόμενο το οποίο θα παρουσιαστεί αναλυτικά στην συνέχεια. Σε αυτό το

φαινόμενο ενισχύεται η απελευθέρωση ιόντων ασβεστίου από τον ιστό του εγκεφάλου μετά από έκθεση σε ορισμένες χαμηλές εντάσεις ακτινοβολίας RF, υπό ιδιαίτερους όρους συχνότητας και διαμόρφωσης των σημάτων. Αυτή η επίδραση έχει παρατηρηθεί σε επίπεδα RF αρκετά κάτω από εκείνα που είναι απαραίτητα για να παραγάγουν θέρμανση του ιστού. Δεν είναι όμως γνωστός ο βαθμός που κινδυνεύουν οι άνθρωποι από αυτό το φαινόμενο, γι' αυτό και απαιτείται περαιτέρω έρευνα για να καθοριστούν τα επίπεδα του σχετικού κινδύνου στην ανθρώπινη υγεία.

Υπό ορισμένους συγκεκριμένους όρους της συχνότητας, της διαμόρφωσης των σημάτων, και της έντασης, αυτό έχειδειχθεί ότι τα ζώα και οι άνθρωποι μπορούν να αντιληφθούν ένα σήμα RF ως βούισμα ή σαν κρότο. Αν και έχουν προωθηθεί διάφορες θεωρίες για να εξηγήσουν αυτήν την επίδραση, η πιο αποδεκτή υπόθεση είναι ότι το σήμα των μικροκυμάτων παράγει θερμοελαστική πίεση μέσα στο κεφάλι, που θεωρείται ως ήχος από τα ακουστικά όργανα. Είναι σημαντικό να υπογραμμιστεί ότι οι όροι κάτω από τους οποίους εμφανίζεται αυτή η επίδραση συναντάται σε πολλούς ανθρώπους.

### **3.6 Ασφαλή επίπεδα έκθεσης στα RF ηλεκτρομαγνητικά κύματα**

Υπάρχει διαφωνία ποια είναι ακριβώς τα ασφαλή επίπεδα ακτινοβολίας RF, ιδιαίτερα όσον αφορά τα χαμηλά επίπεδα έκθεσης. Στη Σοβιετική Ένωση και αρκετές Ανατολικοευρωπαϊκές χώρες τα επαγγελματικά στάνταρτ καθώς και του πληθυσμού είναι γενικά πιο περιοριστικά από όσο τα προτεινόμενα στάνταρτ στις περισσότερες δυτικές χώρες. Αυτή η απόκλιση μπορεί να οφείλεται, λιγότερο εν μέρει, στην πιθανότητα ότι τα ρωσικά και Ανατολικά στάνταρτ βασίζονται σε επίπεδα όπου θεωρείται ότι δεν θα εμφανιζόταν ποτέ καμιά βιολογική επίδραση οποιουδήποτε είδους, παρά ότι αναγνωρίζονται ότι υπάρχουν οι κίνδυνοι. Τα δυτικά στάνταρτ γενικά βασίζονται στα επίπεδα όπου είναι γνωστό ότι υπάρχουν κίνδυνοι, και αυξάνονται κατόπιν τα επίπεδα ασφάλειας για να δίνουν μια ικανοποιητική προστασία.

Οι οδηγίες, από το 1982, του American National Standards Institute-ANSI, που είναι μια μη κυβερνητική οργάνωση, είναι σήμερα από τις πιο έγκυρες διεθνώς. Αυτές δείχνουν ότι το ανθρώπινο σώμα απορροφά RF ενέργεια σε μερικές συχνότητες (300 kHz έως 100 GHz) αποτελεσματικότερα απ' ό,τι σε άλλες. Ιδιαίτερα όμως στο φάσμα 30 έως 300 MHz, όπου συστήνονται ανώτατα όρια  $1 \text{ mW/cm}^2$ , για έκθεση κατά μέσο όρο έξι λεπτών. Οι συστάσεις του ANSI αναπτύχθηκαν μετά από έρευνα πολλών χρόνων πάνω στα βιολογικά αποτελέσματα των επιδράσεων των RF ακτινοβολιών, με τη συνδρομή πολλών επιστημόνων με εμπειρία στις επιδράσεις αυτές. Οι οδηγίες μιλούν ότι η τιμή-κατώφλιο του SAR (μέτρο της ισχύος που απορροφάται ανά μονάδα βάρους του σώματος (W/Kg), για να έχουμε βιολογικές επιδράσεις είναι  $4 \text{ W/kg}$ . Αυτή η τιμή διαιρέθηκε μετά με το 10 για να έχουμε ένα επίπεδο ασφάλειας και φτάσαμε στο γνωστό κατώτατο όριο SAR περίπου  $0.4 \text{ W/kg}$ . Οι οδηγίες δηλώνουν ότι η τιμή δείχνει τα ανώτερα όρια της ασφαλούς έκθεσης, ιδιαίτερα για το ευρύ κοινό. Τα όρια αυτά προέκυψαν μετά και από την υιοθέτηση της μεγαλύτερης παγκοσμίως επιστημονικής ένωσης IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers), με την οδηγία της IEEE C 95.1-1991. Στην συνέχεια της εργασίας θα αναφερθούν κάποιες μελέτες που έχουν γίνει σχετικά με τις μη θερμικές επιδράσεις στον άνθρωπο και στα ζώα.

### **3.7 Επιδημιολογικές μελέτες**

Πρόσθετα ευρήματα των επιδημιολογικών ερευνών της δεκαετίας του '80 είναι η αύξηση των αυτοκτονιών για μαγνητικά πεδία (από γραμμές ισχύος) της τάξης των  $0,1 \mu\text{T}$ , η αύξηση των καρδιοπαθών, υπέρτασης και κατάθλιψης για μαγνητικά πεδία (γραμμών ισχύος)  $0,3\mu\text{T}$ , η δραματική αύξηση αποβολών εγκύων γυναικών που χρησιμοποιούν ηλεκτρικές κουβέρτες και θερμαινόμενα στρώματα ύδατος κλπ. Οι πλέον πρόσφατες επιδημιολογικές μελέτες περιλαμβάνονται στο τεύχος του περιοδικού Spectrum το 1994:

Σύνδεση μεταξύ παιδικής λευχαιμίας και οικιακών ηλεκτρομαγνητικών πεδίων (50 Hz) είναι εμφανής. Οι όγκοι του νευρικού συστήματος σε παιδιά, εμφανίζουν αύξηση για μαγνητικά πεδία (γραμμών ισχύος) μεγαλύτερα των 0,2μT. Ο κίνδυνος λευχαιμίας τριπλασιάζεται για παιδιά που ζουν σε σπίτια όπου το μαγνητικό πεδίο (50Hz) είναι τουλάχιστον 0,2 μT, ενώ τετραπλασιάζεται όταν το μαγνητικό πεδίο είναι πάνω από 0,4μT, σε σύγκριση με παιδιά που ζουν σε σπίτια όπου το μαγνητικό πεδίο είναι κάτω από 0,1μT. Η μελέτη αυτή θεωρείται η πλέον σημαντική, γιατί περιελάμβανε ολόκληρο τον πληθυσμό της Σουηδίας.

Ο κίνδυνος αποβολών εγκύων γυναικών που εκτίθενται σε μαγνητικά πεδία (από οθόνες υπολογιστών, φωτοσύνθεση κλπ) μεγαλύτερα από 0,3μT, είναι τριπλάσιος σε σύγκριση με αυτές που εκτίθενται σε μαγνητικά πεδία μικρότερα των 0,1μT. Το σημαντικότερο εύρημα της μελέτης είναι ότι ο κίνδυνος αποβολών για μαγνητικά πεδία ανάμεσα στα 0,2μT και 0.3 μT είναι διπλάσιος. Αυτό αναδεικνύει άμεση σχέση κινδύνου-έντασης μαγνητικού πεδίου.

Για τους εργαζόμενους στις εταιρίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ο κίνδυνος ανάπτυξης μυελώδους λευχαιμίας είναι τριπλάσιος. Για τους περισσότερο εκτιθέμενους στα ηλεκτρομαγνητικά πεδία ο κίνδυνος ανάπτυξης όγκων εγκεφάλου είναι δωδεκαπλάσιος. Η μελέτη περιελάμβανε 223.000 εργάτες των επιχειρήσεων ηλεκτρισμού της Γαλλίας, Οντάριο και Κεμπέκ. Όλοι τους φορούσαν φορητούς μετρητές ηλεκτρομαγνητικών πεδίων. Η μαζική αυτή μελέτη προκλήθηκε από προηγούμενες, που ανέδειξαν το γεγονός ότι το 50% των εργαζομένων που εκτίθεντο στα πλέον ισχυρά πεδία, έπασχαν από οξεία μυελώδη λευχαιμία. Για άλλες 29 μορφές καρκίνου, καμία αύξηση του κινδύνου δεν παρατηρήθηκε.

Ο κίνδυνος καρκίνου του στήθους για τις εργαζόμενες στις εταιρίες ηλεκτρικής ενέργειας και τηλεφωνικών γραμμών εξαπλασιάζεται. Ο κίνδυνος καρκίνου του στήθους στις εργαζόμενες σε ηλεκτροκίνητα μέσα μεταφοράς τετραπλασιάζεται. Για τους εργαζόμενους σε εργοστάσιο παραγωγής αλουμινίου, που τα ρεύματα ηλεκτρόλυσης είναι ισχυρότατα, ο κίνδυνος ανάπτυξης

λευχαιμίας και λεμφώματος είναι πενταπλάσιος. Στους τεχνικούς τηλεφωνικών καλωδίων, τα περιστατικά λευχαιμίας είναι επταπλάσια σε σχέση με το γενικό πληθυσμό. Παρόμοια είναι και τα ευρήματα δεκάδων άλλων μελετών, ενώ πρέπει να αναφερθεί ότι υπήρξαν και μελέτες χωρίς ευρήματα.

### **3.7.1 Σχολιασμός των ευρημάτων των επιδημιολογικών ερευνών**

Οι επιδημιολογικές μελέτες για την ανίχνευση των επιπτώσεων των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων στην υγεία μειονεκτούν από τους εξής δυο παράγοντες:

- Είναι δυσχερέστατη η αφαίρεση μεγάλου αριθμού πρόσθετων παραγόντων, που θα μπορούσαν να προκαλέσουν την εκδήλωση των ίδιων ασθενειών. Τέτοιοι παράγοντες είναι το κάπνισμα, η κατανάλωση οινοπνευματωδών, η κληρονομικότητα, η ψυχοσύνθεση, το στρες κλπ. Για πλήρη δηλαδή αξιοπιστία της επιδημιολογικής έρευνας, θα έπρεπε να προσδιορισθούν δυο δείγματα πληθυσμών, με κοινό υπόβαθρο ως προς τους προαναφερθέντες άλλους παράγοντες, με μόνοι διαφορά μεταξύ τους τον διαφορετικό βαθμό έκθεσης στα ηλεκτρομαγνητικά πεδία.
- Η «δόση» μη ιονίζουσας ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που δέχεται κάθε ξεχωριστό μέλος των δειγμάτων δεν είναι δυνατόν να προσδιοριστεί με ικανοποιητική ακρίβεια. Σε συγκεκριμένη έρευνα παρόλο που ο κάθε εργαζόμενος που έλαβε μέρος φορούσε μετρητή πεδίων, η επεξεργασία του αχανούς πλήθους μετρήσεων που προέκυψε δεν μπορούσε να οδηγήσει στον ακριβή προσδιορισμό της «δόσης» των εκτιθέμενων, παρόλο που χρησιμοποιήθηκαν όλα τα δυνατά μέσα. Εξάλλου η σύγκριση του εκτιθέμενου σε ακτινοβολία δείγματος γίνεται με ένα άλλο δείγμα πληθυσμού που η «ηλεκτρομαγνητική καθαρότητα» του δεν είναι εύκολο να πιστοποιηθεί, ιδίως αν το δεύτερο αυτό δείγμα είναι ο γενικός πληθυσμός. Σε πολλές δε επιδημιολογικές μελέτες που αφορούν μακροχρόνια

έκθεση σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία, η «δόση» για τα προηγούμενα χρόνια φυσικά δε μετρήθηκε αλλά υπολογίστηκε κατ' αναλογία ή επέκταση, πρακτική που εισάγει πρόσθετα σφάλματα.

Όσοι επιστήμονες οι οποίοι είτε έχουν κάποιες επιστημονικές επιφυλάξεις είτε ακόμα και από κάποια συμφέροντα δεν δέχονται τις βιολογικές επιδράσεις των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων, θεωρούν τις αδυναμίες των επιδημιολογικών ερευνών είναι τόσο μεγάλες, που απορρίπτουν τα ευρήματα τους. Όσοι, αντίθετα (και είναι οι περισσότεροι επιστήμονες), υποστηρίζουν την επικινδυνότητα των πεδίων αυτών, θεωρούν ότι οι αδυναμίες των επιδημιολογικών ερευνών υπερκαλύπτονται, όταν ο παράγων κινδύνου που αναδεικνύουν είναι αρκούντως μεγάλος. Έτσι ένας παράγων κινδύνου 2 (διπλάσιος κίνδυνος ασθένειας για τους εκτιθέμενους σε πεδία), είναι πράγματι μικρός και θεμελιώνει μια απλή ένδειξη επικινδυνότητας. Οι συντάκτες των επιδημιολογικών ερευνών θεωρούν ότι ένας παράγων κινδύνου 10, αν αυτός προέκυπτε σταθερά από τέτοιες έρευνες, θα ήταν αποδεικτικός παράγων επικινδυνότητας των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων, διότι θα υπερκάλυπτε τις αδυναμίες των μελετών αυτών. Παρόλο που υπάρχουν ήδη επιδημιολογικές έρευνες που ανέδειξαν παράγοντα κινδύνου μέχρι και 13, κατά μέσον όρο ο παράγων κινδύνου κινείται γύρω στο 3, με αυξητικές τάσεις όσον αυξάνει το πλήθος των επιδημιολογικών ερευνών.

### **3.8 Μελέτες σε πειραματόζωα**

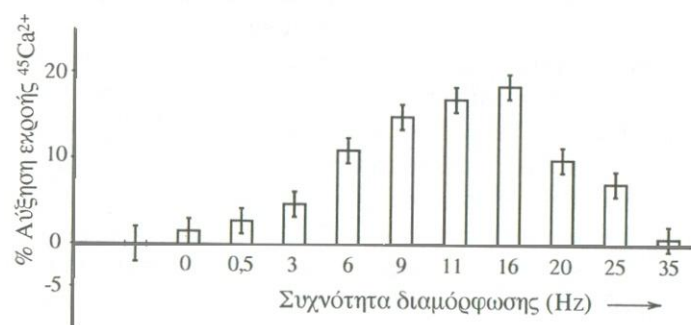
Κατά τις μελέτες σε πειραματόζωα, όπως κουνέλια, ποντικοί, γάτες κλπ, εκτίθενται σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία και τα αποτελέσματα της ακτινοβόλησης ανιχνεύονται με κλινικές εξετάσεις ή νεκροτομή και ιστολογική εξέταση στο εργαστήριο, σε σύγκριση πάντα με μη εκτιθέμενα πειραματόζωα. Αυτό που παρατηρούμε είναι διαταραχές στην συμπεριφορά των πειραματόζωων για πυκνότητες ισχύος άνω των  $40\text{mW/cm}^2$  μικροκυματικής συχνότητας.

Υπερθερμία, υποθερμία, βραδυκαρδία και καρδιακή αρρυθμία στις μικροκυματικές συχνότητες για αριθμούς απορροφημένης ισχύος 11 mW/g (απορροφούμενη ισχύς ανά γραμμάρια βάρους του σώματος του πειραματόζωου, πηλίκων της ολικής απορροφούμενης ισχύος προς το βάρος του σώματος), φαινόμενα που εντείνονται όταν η μικροκυματική ισχύς προσφέρεται κατά παλμούς. Αντιστρεπτές βλάβες οφθαλμών και όρχεων και για μεγαλύτερες δόσεις μόνιμη τύφλωση και στειρότητα και τελικά θάνατος των πειραματόζωων. Στην ίδια εργασία υπολογίστηκε κατ' επέκταση πως για τον ανθρώπινο οφθαλμό η καταρρακτογένεση αρχίζει όταν η θερμοκρασία του οφθαλμού ξεπεράσει τους 45 °C υπό συνθήκες μικροκυματικής ακτινοβολίας. Αύξηση της έκκρισης θυροξίνης από τον θυρεοειδή αδένα και μείωση της αυξητικής ορμόνης σε μικροκυματικές συχνότητες 2450 MHz. Διόγκωση του θυρεοειδούς παρατηρήθηκε και σε τεχνικούς μικροκυματικών εγκαταστάσεων συχνότητα των 2450 MHz είναι εκείνη του φούρνου των μικροκυμάτων. Λευκοπενία, λεμφοπενία, ουδετεροφιλία, αυξομειώσεις ερυθροκυττάρων, αιματοκρίτη και αιμογλοβίνης, γενετικές ανωμαλίες νεογνών, εγκεφαλικές βλάβες για έκθεση ακτινοβολίας κοντά στην περιοχή των 2.4 GHz, αιμοδιάλυση ή πήξη του αίματος, καταρράκτης, ανικανότητα οπτικού διαχωρισμού αντικειμένων για έκθεση ακτινοβολίας κοντά στην περιοχή των 2.8 GHz, ταχυπαλμία και αύξηση της αρτηριακής πίεσης (0.2 GHz). Μείωση του αριθμού των λεμφοκυττάρων μέχρι ποσοστού 40% με την εφαρμογή κατακόρυφου μαγνητικού πεδίου σε ποντίκια χωρίς επίδραση στον αριθμό των ερυθρών αιμοσφαιρίων. Οξεία λεμφοπενία στα 26 MHz με πυκνότητα ισχύος 800 mW/cm<sup>2</sup>, που αύξησε την θερμοκρασία των ποντικιών κατά 2 βαθμούς. Με την παύση της ακτινοβολίας σημειώθηκε απότομη αύξηση των λεμφοκυττάρων T και B που διογκώθηκε με την επανάληψη των ακτινοβολήσεων. Το σημαντικότερο εύρημα της μελέτης αυτής, ήταν ότι, θέρμανση των ποντικιών κατά 2 βαθμούς, με θερμό αέρα, δεν επέφερε καμία απολύτως μεταβολή του αριθμού των λεμφοκυττάρων, η επίδραση δηλαδή των μικροκυμάτων στα λεμφοκύτταρα δεν ήταν θερμική! Θάνατος πειραματόζωων που τοποθετήθηκαν κάτω από γραμμές μεταφοράς υψηλής τάσης. Η νεκροψία έδειξε αλλοιώσεις εγκεφαλικών κυττάρων.

Πρέπει και εδώ να σημειωθεί ότι υπήρξαν και μελέτες σε πειραματόζωα χωρίς ευρήματα. Τα συμπεράσματα των ερευνών με πειραματόζωα ελέγχονται στο κατά πόσο μπορούν να επεκταθούν και στον άνθρωπο, που σαν τελειότερος και κατά μερικούς διαφορετικός οργανισμός, έχει περισσότερο ολοκληρωμένους μηχανισμούς αντίστασης στα εξωτερικά ερεθίσματα.

### **3.9 Μελέτες με καλλιέργειες κυττάρων – Επιδράσεις στο κυτταρικό επίπεδο.**

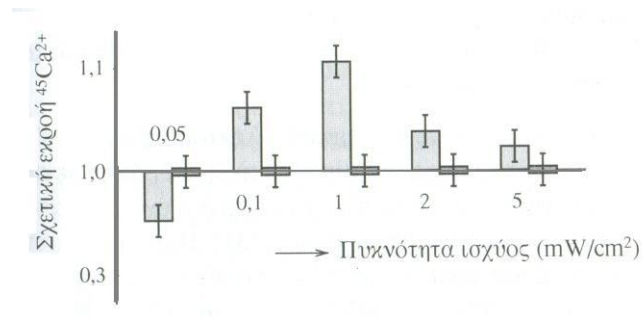
Συμπεράσματα για τις βιολογικές επιδράσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας μπορούν να συναχθούν και από την ακτινοβόληση επιλεγμένων ιστών ή καλλιιεργειών κυττάρων στο εργαστήριο. Το σπουδαιότερο εύρημα των ερευνών αυτών είναι η εκροή ασβεστίου από εγκεφαλικά κύτταρα (σε κοτόπουλα, σε γάτες), που εκτίθενται σε μικροκύματα διαμορφωμένα σε χαμηλές συχνότητες. Η ταχύτητα εκροής του ασβεστίου εξαρτάται τόσο από την συχνότητα διαμόρφωσης, όσο και από την ισχύ των μικροκυμάτων, βρέθηκε δε να είναι μέγιστη όταν η συχνότητα παλμικής διαμόρφωσης των μικροκυμάτων ταυτίζεται με τις ηλεκτροφυσιολογικές ιδιοσυχνότητες του εγκεφάλου (6-20Hz) και για πυκνότητες ισχύος από 0,1 έως 1mW/cm<sup>2</sup> όπως φαίνεται στα σχήματα 3.1 και 3.2. Αλλά ευρήματα είναι:



**Εικόνα 3.1.** Μεταβολή της ταχύτητας εκροής (ραδιενεργού) ασβεστίου από εγκεφαλικά κύτταρα νεογνών πουλερικών, υπό συνθήκες μικροκυματικής ακτινοβόλησης (147MHz). Μέγιστη

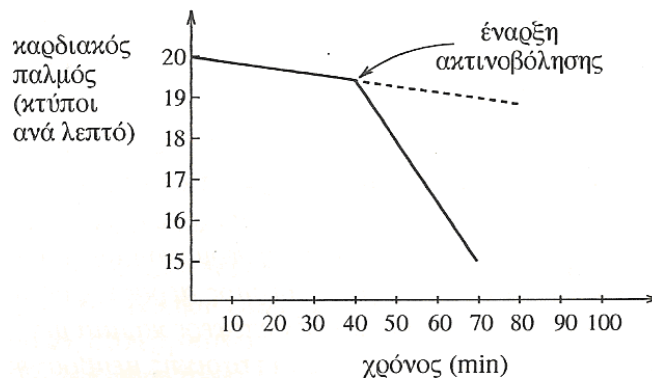


εκροή ασβεστίου παρατηρείται όταν η συχνότητα διαμόρφωσης των μικροκυμάτων ταυτίζεται με τις ηλεκτροφυσιολογικές ιδιοσυχνότητες του εγκεφάλου (6-20Hz).



**Εικόνα 3.2.** Μεταβολή της ταχύτητας εκροής (ραδιενεργού) ασβεστίου από εγκεφαλικά κύτταρα νεογνών πουλερικών, υπό συνθήκες μικροκυματικής ακτινοβολήσης στη συχνότητα 450 MHz διαμορφωμένη κατά πλάτος στα 16Hz. Μεταβλητή η πυκνότητα ισχύος των μικροκυμάτων. Μέγιστη εκροή ασβεστίου παρατηρείται για πυκνότητες ισχύος 0,6-1mW/cm<sup>2</sup>.

Μεταβολή στην ιοντική διαπερατότητα της κυτταρικής μεμβράνης (καβούρια) υπό συνθήκες παλμικής μικροκυματικής ακτινοβολήσης, ειδικότερα στα κύτταρα ισοδύναμη θέρμανση των ίδιων κυττάρων με συμβατικά μέσα (θερμός αέρας) επέφερε καμία μεταβολή της διαπερατότητας της κυτταρική μεμβράνης (θερμική επίδραση). Βραδυκαρδία στα 960 MHz αδιαμόρφωτου κύματος (CW) για πυκνότητες ισχύος 8 mW/cm<sup>2</sup> ανά κυβικό εκατοστό ιστού (καρδιές χελώνας), που ισοδύναμη με απορροφούμενη ισχύ 2mV/g ανά γραμμάριο. Η θεαματική πτώση του καρδιακού ρυθμού όταν αρχίζει η ακτινοβολήση φαίνεται στο σχήμα 3.3. Στην ίδια εργασία παρατηρήθηκε ότι η προσθήκη ενός παρασυμπαθητικού αναστολέα (ατροπίνη), αυξάνει τον καρδιακό ρυθμό, ενώ η προσθήκη ενός αναστολέα του συμπαθητικού ( $\beta$  αποστολέα), επιβραδύνει ακόμα περισσότερο τον καρδιακό ρυθμό για την ίδια πάντοτε πυκνότητα ισχύος και συχνότητα των μικροκυμάτων συνέργεια μικροκυμάτων-φαρμάκων).



**Εικόνα 3.3** Μεταβολή του καρδιακού ρυθμού χελώνας από μικροκυματική ακτινοβολήση.

Ανάπτυξη διαφοράς δυναμικού λίγων mV κατά μήκος της κυτταρικής μεμβράνης νευρικών κυττάρων όταν το ηλεκτρικό πεδίο ενός κύματος προσπίπτει κάθετα στην μεμβράνη διαφορά αυτή του δυναμικού είναι δυνατόν να επηρεάσει:

- την ανταλλαγή ιόντων κυττάρου-περιβάλλοντος και μηδενίζεται πάνω από τα 100 MHz.
- Επίδραση στην σύνθεση των πρωτεϊνών και του DNA για συχνότητες από 40 μέχρι 150 GHz.
- Αθερμική επίδραση στο γενετικό μηχανισμό απλών κυττάρων (ιών) στα 3 GHz.
- Αστάθεια ερυθροκυττάρων , μεταβολή της συγκέντρωσης νουκλεινικού οξέος και πρωτεΐνης, επίδραση στην δραστηριότητα των ιόν ρήξη κυτταρικών τοιχωμάτων, αποσύνθεση του πρωτοπλάσματος, αύξηση του μεγέθους του κυττάρου, διαταραχή του κύκλου της αιματοποίησης στα 46 GHz.
- Επίδραση στην κυτταρική διαίρεση (πολλαπλασιασμό λεμφοκυττάρων), παρουσία αντιγόνων όπως η κονσαβαλίνη A, στις μικροκυματικές συχνότητες παλμικά διαμορφωμένες από 1 έως 100 Hz.

- Αλλοίωση του εγκεφαλογραφήματος για συχνότητες 10-20Hz ή μικροκυματικές, διαμορφωμένες στις συχνότητες ELF πολύ χαμηλής ισχύος.
- Μεταβολή του αριθμού των αντιγράφων DNA σε κύτταρα που εκτίθενται σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία συχνότητας ELF πολύ χαμηλής ισχύος.
- Επίδραση στον πολλαπλασιασμό των καρκινικών κυττάρων σε ραδιοσυχνότητες παλμικά διαμορφωμένες στα 27,1 Hz.
- Μείωση, (μέχρι 25%) της ικανότητας των λεμφοκυττάρων T του ανοσοποιητικού συστήματος (ποντικίων) να φονεύουν καρκινικά κύτταρα, παρουσία μικροκυμάτων 450 MHz, διαμορφωμένων κατά παλμούς συχνότητας 60 Hz (συχνότητα δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας).

Τα παραπάνω ευρήματα από την ακτινοβολήση ιστών ή καλλιέργειών κυττάρων ενισχύουν τις ένδειξης για την επικινδυνότητα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας χωρίς να την αποδεικνύουν, διότι παραμένει το ερώτημα αν μπορούν να επεκταθούν στον ανθρώπινο οργανισμό.

### **3.10 Λειτουργικές Επιπτώσεις**

Οι λειτουργικές επιπτώσεις, από τους σταθμούς βάσης της κυψελωτής τηλεφωνίας προέρχονται από τις πάσης φύσης αλληλεπιδράσεις του σταθμού και των λειτουργιών του με τις λειτουργίες άλλων συστημάτων στο περιβάλλον του.

Οφθαλμοφανείς λειτουργικές επιπτώσεις είναι οι αισθητικές επιδράσεις που εμφανίζονται ως υποβιβασμός της αισθητικής του τοπίου από τους πυλώνες και τις κεραίες της κυψελωτής τηλεφωνίας. Η υποβάθμιση αυτή άλλοτε είναι βαρύτερη ή προκλητική και άλλοτε είναι τόσο ασήμαντη ώστε να περνάει απαρατήρητη μέσα στην γενική κακογουστιά της εποχής. Τα θέματα αισθητικής είναι μία παράμετρος του επιπέδου ζωής και της ψυχικής υγείας, η οποία εν γένει

παραμένει άγνωστη και αδιερεύνητη, παρά το ότι σε ορισμένες περιπτώσεις η θέαση των κεραιών του σταθμού φαίνεται ότι προκαλεί αισθητική δυσφορία και κάποια ψυχολογική καταπίεση ή άγχος για τις συνέπειες της ακτινοβολίας στην υγεία κλπ. Για τον λόγο αυτό τα κριτήρια επιλογής των κεραιών και της θέσης που θα εγκατασταθούν πρέπει να μην είναι μόνο ραδιοηλεκτρικά, αλλά να έχουν και ως κύριο στόχο την ελαχιστοποίηση της αισθητικής ενόχλησης.

Οι μη ορατές λειτουργικές επιπτώσεις, από τους σταθμούς βάσης της κυψελωτής τηλεφωνίας, είναι οι πάσης φύσης ηλεκτρομαγνητικές αλληλεπιδράσεις με το γήινο ηλεκτρικό πεδίο ή με άλλες ηλεκτρονικές διατάξεις. Η επίπτωση στο γήινο ηλεκτρικό πεδίο εκδηλώνεται με αλλαγές στην κεραυνόπτωση που προέρχονται από το αλεξικέραυνο ή το αντικεραυνικό σύστημα της κεραίας. Ειδικότερα μπορεί να υπάρξουν αλλαγές στα σημεία κεραυνόπτωσης και στην συχνότητα της  $f_h$ . Εάν είναι  $\Theta$  ο αριθμός των θυελλωδών ημερών ανά έτος,  $\Phi$  ο αριθμός κεραυνοπτώσεων ανά μονάδα επιφανείας και ημερών θύελλας στην θέση εγκατάστασης ενός πυλώνα ύψους  $h$  που εδράζεται σε ύψος  $h_a$  από το μέσο υψόμετρο μιας περιοχής, η οποία έχει παράγοντα ανάγλυφου  $C$ , τότε

$$f_h = 100 \cdot \Phi \cdot \Theta \cdot (C h_a + h)^2 \text{ κεραυνοί/έτος}$$

Οι αλληλεπιδράσεις με άλλες ηλεκτρονικές διατάξεις είναι τα φαινόμενα ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας (Electro-Magnetic Compatibility, EMC). Τα φαινόμενα EMC ποικίλουν και μπορεί να εκτείνονται από την αστοχία ή λάθη αυτοματισμών, ενδείξεων κλπ. έως την παρενόχληση της ραδιοτηλεόρασης, ραδιοεπικοινωνιών κλπ. εξ αιτίας παρεμβολών (Electro-Magnetic Interference EMI). Στο απόμακρο πεδίο σε απόσταση  $R$  προς την διεύθυνση  $\theta, \varphi$  στο κενό ( $Z=377\Omega$ ), η παρεμβολή  $E_{emi}$  (V/m) από ένα στοιχείο που τροφοδοτείται με (παρασιτική) ισχύ κορυφής  $P_p$ , και την ακτινοβολεί με απολαβή  $G(\theta, \varphi)$ , δίδεται από την

$$E_{emi} = \frac{1}{2R} \cdot \sqrt{\frac{Z}{\pi} \cdot P_p \cdot G(\theta, \phi)}$$

Τα τεκμηριωμένα στοιχεία για τις ηλεκτρομαγνητικές επιπτώσεις από τους σταθμούς βάσης είναι λίγα. Από παρεμβολές όμως των κινητών τηλεφώνων έχει παρατηρηθεί: ασταθής λειτουργία συστημάτων διακυβέρνησης σε αεροσκάφη ή ελικόπτερα, λαθεμένη δράση των ηλεκτρονικών διατάξεων πέδησης (anti-skid) σε οχήματα, παρέκκλιση από την σωστή λειτουργία ορισμένων καρδιακών βηματοδοτών και τέλος παρεμβολές σε τηλεοπτικούς δέκτες, σε ακουστικά ενισχυτικά της ακοής κλπ.

Γεγονότα σαν αυτά αναγνωρίζονται ως διεθνές πρόβλημα και οδήγησαν στην θέσπιση ορίων αντοχής στην EMI για διατάξεις "ανεπηρέαστες" από ισχυρά ηλεκτρομαγνητικά πεδία ( $E_{emi}=1\sim 2$  KV/m για στρατιωτικές συσκευές και αυτοκίνητα,  $E_{emi}=10\sim 200$  V/m για εμπορικές συσκευές κλπ.). Στην EMC επίσης υπάρχουν και αντίστοιχα πρότυπα επιδόσεων για την εκπομπή και την λήψη με βάση την ένταση του ηλεκτρικού  $E_{emc}$  (V/m) ή του μαγνητικού  $H_{emc}$

(A/m) πεδίου. Συνεπώς τα φαινόμενα EMC δεν θα έχουν συνέπειες εάν ισχύει

$$\boxed{E_{emi} \leq E_{emc}}$$

Βασικά λοιπόν πρέπει να αναμένεται ότι οι λειτουργικές επιπτώσεις, από την ύπαρξη του σταθμού της κυψελωτής τηλεφωνίας, θα είναι κάποια παράσιτα ή παρεμβολές (EMI) από και προς τον σταθμό, όπως επίσης και μια επιτόπια αλλαγή των ατμοσφαιρικών ηλεκτρικών παραμέτρων από το σύστημα προστασίας έναντι των κεραυνών. Η υπό εξέλιξη συναφής διεθνής ερευνητική δραστηριότητα στοχεύει κυρίως στην αναζήτηση της τυχόν επικινδυνότητας που ενέχουν οι επιδράσεις σε ηλεκτρονικές διατάξεις, από τις οποίες εξαρτάται η ζωή ή η υγεία (αυτοματισμοί, διαγνωστικά, βηματοδότες κλπ.). Συμπερασματικά λοιπόν οι λειτουργικές επιπτώσεις δεν πρέπει να αγνοούνται. Έτσι όταν ο σταθμός βάσης εγκαθίσταται σε δομημένο

περιβάλλον απαιτείται ιδιαίτερη μελέτη λειτουργικών επιπτώσεων και εφ' όσον προκύψει ζήτημα, κατάλληλη ενημέρωση των περιοίκων από φορείς και αρχές για τα ενδεχόμενα λειτουργικά φαινόμενα με τις τυχόν επιπτώσεις.

### **3.11 Βιολογικές Επιπτώσεις**

Οι βιολογικές επιπτώσεις που συνεπάγεται η έκθεση σε ισχυρές NIR, οφείλονται στην απορρόφηση ακτινοβολίας που προκαλεί μεταβολές ή αλλοιώσεις των κυττάρων ή των συστημάτων κυττάρων ή γενικότερα του βιολογικού υλικού. Οι τυχόν βλάβες μπορεί να είναι μη αναστρέψιμες. Οι βιολογικές επιδράσεις διακρίνονται στις θερμικές (thermal) που εκδηλώνονται με την αύξηση της θερμοκρασίας των ιστών και στις μη-θερμικές (non-thermal, athermal) που εκδηλώνονται ποικιλότροπα. Η έκθεση του πληθυσμού σε ασθενείς NIR είναι συνεχής, χωρίς η βιολογική επίδραση να έχει προφανείς συνέπειες, ενώ η έκθεση σε ισχυρές επιφέρει βιολογικές επιδράσεις αποδεδειγμένα ή ενδεχόμενα επικίνδυνες για την υγεία. Αναφέρονται επιδράσεις γενετικές, δερματικές, κυτταρολογικές, αναπαραγωγικές, αισθητηριακές, νευρολογικές κλπ.

Η έκθεση των ιστών στην ακτινοβολία δεν συνεπάγεται και την πλήρη απορρόφηση της. Έτσι χρησιμοποιείται ο ειδικός ρυθμός απορρόφησης (Specific Absorption Rate, SAR), σαν μια βιολογική παράμετρος που εκφράζει την απορρόφηση της στοιχειώδους ενέργειας  $dW$  από την στοιχειώδη μάζα ιστού  $dm$  στο στοιχειώδες χρονικό διάστημα  $dt$  (δηλ. η απορροφούμενη ισχύς ανά μονάδα μάζας ιστού,  $W/Kg$ ) που εξαρτάται από την έκθεση στο ηλεκτρικό πεδίο  $E_{exp}$  ( $V/m$ ) και έχει ως παραμέτρους την ειδική αγωγιμότητα  $\sigma$  ( $S/m$ ) και την πυκνότητα  $\rho$  ( $Kg/m^3$ ) του ιστού:

$$SAR = \frac{d}{dt} \left( \frac{dW}{dm} \right) = \frac{\sigma \cdot E_{exp}^2}{2\rho}$$

Ο SAR εξαρτάται επίσης και:

- a) Από τα υπόλοιπα στοιχεία του πεδίου στο οποίο εκτίθενται οι ιστοί, δηλαδή από το μέτρο  $H_{exp}$  (A/m) της έντασης του μαγνητικού πεδίου ή από το μέτρο της ισοδύναμης (επιφανειακής) πυκνότητας ισχύος  $S_{exp}$  (W/m<sup>2</sup>) (άνυσμα Pointing ), από την συχνότητα  $F$  και την πόλωση του κύματος, από τις σχετικές θέσεις ιστού-πηγής και τέλος από το εάν η έκθεση γίνεται στο εγγύς πεδίο (near field) ή στο απόμακρο πεδίο (far field).
- b) Από τα χαρακτηριστικά του εκτιθέμενου σώματος, όπως είναι το μέγεθος, η διάταξη και η εξωτερική-εσωτερική γεωμετρία των εκτιθέμενων ιστών, όπως επίσης και οι ηλεκτρομαγνητικές τους ιδιότητες.
- c) Από τα φαινόμενα επιρροής, όπως είναι η ύπαρξη ή όχι γείωσης, οι ανακλάσεις σε αντικείμενα πλησίον του εκτιθεμένου σώματος, κλπ.

Η απορρόφηση συγκεντρώνεται μέσα στο σώμα στη ζώνη θερμής κηλίδας (hot spot)

400~ 2000MHz, ενώ παραμένει επιφανειακή σε  $F > 2\text{GHz}$ . Η επιστημονική γνώση για τους κινδύνους που συνεπάγεται η πρόσκαιρη ή η μακροχρόνια έκθεση στις NIR είναι ελλιπής. Οι επιπτώσεις μπορεί να ελεγχθούν με εφαρμογή των εξής γενικών αρχών

- a) Η Αιτιολόγηση κατά την οποία πρέπει να αποδεικνύεται ότι το όφελος από την χρήση της ακτινοβολίας είναι μεγαλύτερο από τους συνεπαγόμενους κινδύνους.

- b) Η Οριοθέτηση κατά την οποία πρέπει να περιορίζεται η έκθεση σε όρια αποδεκτά, χωρίς αυτό να σημαίνει υποχρεωτικά ότι τα όρια αυτά είναι και ασφαλή.
- c) Η Βελτιστοποίηση ή Αριστοποίηση (As Low As Reasonably Achievable, ALARA) κατά την οποία πρέπει οι χρήσεις να γίνονται έτσι ώστε να επιτυγχάνεται μεν ο σκοπός της εφαρμογής, αλλά να ελαχιστοποιείται η επιβάρυνση του περιβάλλοντος και να

εκπέμπεται η μικρότερη δυνατή ακτινοβολία.

Με βάση την αρχή της οριοθέτησης προσδιορίζεται η αποδεκτή τιμή SAR και εξάγονται τα όρια αποδεκτής έκθεσης (που κακώς αναφέρονται ως όρια ασφαλείας) των ιστών στο ηλεκτρικό πεδίο  $E_{el}$  και στο μαγνητικό πεδίο  $H_{el}$ , τα οποία συνοψίζονται και ως αποδεκτή έκθεση στην (ισοδύναμη) πυκνότητα ισχύος  $S_{el}$  με βάση τη σχέση  $S_{el}=E_{el}\cdot H_{el}$ . Συνεπώς η ακτινοβολία είναι ασθηνής με κριτήριο τη σχέση  $E_{exp}<E_{el}$ , ή  $H_{exp}<H_{el}$  ή/και  $S_{exp}<S_{el}$ . Διαφορετικά θα είναι ισχυρή.

Σε κάθε περίπτωση έκθεσης πρακτικό ενδιαφέρον έχει ο υπολογισμός και η μετρητική επιβεβαίωση της ακτίνας  $R_h$  που καταλαμβάνει η ζώνη της (βιολογικής) επικινδυνότητας (hazard zone) μέσα στον λοβό της κεραίας, δηλαδή η έκταση της περιοχής μέσα στην οποία  $S_{exp}<S_{el}$ , οπότε αφού η ακτινοβολία θα υπερβαίνει τα όρια αποδεκτής έκθεσης, ίσως αποβεί και επιβλαβής.

### **3.12 Ακτίνα της βιολογικής ζώνης επικινδυνότητας**

Για τις (θερμικές) βιολογικές επιδράσεις από τις ακτινοβολίες των σταθμών βάσης της κυψελωτής τηλεφωνίας (ισχύς πομπού  $P=15\sim 45W$ , απολαβή κεραίας  $G=50\sim 80$ ) στην ζώνη των 900MHz ή των 1800MHz, η INIRC (International Non-Ionizing Radiation Committee) της IRPA (International Radiation Protection Association) σε συνεργασία με την Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας, έχουν υιοθετήσει ως αποδεκτό όριο για την συνεχή έκθεση του πληθυσμού την τιμή  $SAR=0,08 W/Kg$ , από την οποία προκύπτει το όριο της  $S_{el}=4,5W/m^2$  (900MHz) ή  $S_{el}=9W/m^2$  (1800MHz) για τις ακτινοβολίες του σταθμού που συνιστά η Ευρωπαϊκή Ένωση.



Επομένως μέσα στο λοβό ακτινοβολίας (far field) της κεραίας του σταθμού θα είναι:

$$Rh = \sqrt{\frac{PG}{4\pi S_{el}}} = 0,8m \text{ (για σταθμό 900MHz)}$$

$$\text{ή } Rh=5,6m \text{ (για σταθμό 1800MHz)}$$

Όμως πολλές χώρες της ανατολικής Ευρώπης, στηριζόμενες σε παρατηρήσεις μη-θερμικών επιδράσεων, έχουν θέσει αυστηρότερα όρια αποδεκτής έκθεσης. Ειδικά στην πρώην Σοβιετική Ένωση το αποδεκτό όριο συνεχούς έκθεσης ήταν  $S_{el}=0,05W/m^2$ , οπότε θα είναι:

$$Rh=75,7m \text{ (για σταθμό 900MHz)}$$

$$\text{ή } Rh=53,5m \text{ (για σταθμό 1800MHz)}$$

Στις κατευθύνσεις που στοχεύουν οι μόνιμες ραδιοζεύξεις του σταθμού σε κάποια από τις ζώνες συχνοτήτων 8GHz, 18GHz, 36GHz κλπ. υπάρχει πρόσθετη ακτινοβολία με τυπικές τιμές ισχύος πομπού  $p=0,1W$  και απολαβής κεραίας  $g=104\sim 105$ . Συνεπώς με την άθροιση και της έκθεσης από ραδιόζευξη η  $Rh$  αυξάνεται:

-για σταθμό 900MHz

$$Rh = \sqrt{\frac{PG}{4\pi S_{el}} + \frac{pg}{4\pi s_{el}}}$$

σε  $Rh=12,0m$  με τα όρια της IRPA ( $S_{el}=4,5W/m^2$ ,  $S_{el}=10W/m^2$ ) ή σε

$Rh=147,1m$  με τα όρια της πρώην Σοβιετικής Ένωσης ( $S_{el}=sel=0,05W/m^2$ ) για σταθμό 1800MHz

$$\Sigma \epsilon Rh = \sqrt{\frac{PG}{4\pi S_{el}} + \frac{pg}{4\pi s_{el}}} = 10,6m \text{ με τα όρια της IRPA } (S_{el}=9W/m^2, sel=10W/m^2) \text{ ή σε}$$

$R_h=147,1\text{m}$  με τα όρια της πρώην Σοβιετικής Ένωσης ( $S_{el}=s_{el}=0,05\text{W/m}^2$ ).

### **3.13 Συμπεράσματα**

Οι λειτουργικές επιπτώσεις στο περιβάλλον και πιθανόν στην υγεία εξαρτώνται από πολλές τοπικές ή ειδικές παραμέτρους και δεν προκύπτουν ευθέως με τους υπολογισμούς ή τις άμεσες μετρήσεις. Συχνά απαιτούνται διαχρονικές παρατηρήσεις-μετρήσεις για την εξαγωγή οριστικών συμπερασμάτων. Οι βιολογικές επιπτώσεις στην υγεία εξαρτώνται από την έκθεση στην ακτινοβολία και την απορρόφηση της.

Με βάση την (σχετικά περιορισμένη) επιστημονική τεκμηρίωση, εάν υποτεθεί ότι στη δυσμενέστερη περίπτωση ο σταθμός θα εκπέμπει συνεχώς (CW), τότε μέσα στους λοβούς των κεραιών:

- a) Γύρω από την κεραία σε μια ζώνη με ακτίνα  $R=8\sim 12\text{m}$  (900MHz) ή  $R=5,6\text{m}\sim 10,6\text{m}$  (1800MHz), η έκθεση θα υπερβαίνει τα όρια αποδεκτής έκθεσης και ίσως είναι βλαπτική.
- b) Γύρω από την κεραία σε μια ευρύτερη ζώνη με ακτίνα μεταξύ  $8\sim 12\text{m}<R<75,7\sim 147,1\text{m}$  (900MHz) ή  $5,6\text{m}\sim 10,6\text{m}<R<53,5\text{m}\sim 147,1\text{m}$  (1800MHz), υπάρχει μια πάρα πολύ αμφισβητούμενη και μάλλον ατεκμηρίωτη υποψία βλαπτικότητας.
- c) Σε ακτίνα  $R>147,1\text{m}$  γύρω από την κεραία δεν προκύπτουν εικαζόμενες ή τεκμηριωμένες βλαπτικές επιπτώσεις από την έως τώρα επιστημονική τεκμηρίωση.

Τελικά συνιστάται η προσεκτική εφαρμογή της συνετούς αποφυγής, ενώ όπου είναι εφικτό πρέπει να γίνεται επισήμανση των ορίων της  $R_h$ . Σημαντική είναι και η τακτική μέτρηση των εντάσεων των ακτινοβολιών με παράλληλη μελέτη για την διερεύνηση όλων των λειτουργικών επιδράσεων και τέλος είναι χρήσιμη η κατάλληλη και σε βάθος ενημέρωση των περιοίκων στα ζητήματα των λειτουργικών και των βιολογικών επιπτώσεων, για να μην υπάρξει η αντίδραση γνωστή ως τεχνοφοβία (technophobia) που μπορεί να τους βλάψει πολύ

περισσότερο από τις όποιες επιπτώσεις έχει ο σταθμός βάσης της κυψελωτής τηλεφωνίας και οι ακτινοβολίες του.

### **3.14 Επιπτώσεις στην Υγεία**

Οι ακτινοβολίες RF διαπερνούν τους εκτεθειμένους ιστούς σε βάθη που εξαρτώνται από τη συχνότητα - μέχρι ένα εκατοστόμετρο στις συχνότητες που χρησιμοποιούνται με κινητά τηλέφωνα. Η ενέργεια RF απορροφάται στο σώμα και παράγει τη θερμότητα, αλλά οι κανονικές θερμοστατικές διαδικασίες του σώματος διώχνουν αυτήν την θερμότητα μακριά. Όλες οι καθιερωμένες επιπτώσεις στην υγεία της έκθεσης RF συσχετίζονται σαφώς με τη θέρμανση. Ενώ η ενέργεια RF μπορεί να αλληλεπιδράσει με τους ιστούς σωμάτων σε επίπεδα πάρα πολύ χαμηλά για να προκαλέσει οποιαδήποτε σημαντική θέρμανση, καμία μελέτη δεν έχει παρουσιάσει δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία σε επίπεδα έκθεσης κάτω από τα διεθνή όρια οδηγίας.

Οι περισσότερες μελέτες έχουν εξετάσει τα αποτελέσματα της έκθεσης βραχυπρόθεσμων, ολόκληρων σωμάτων σε ακτινοβολία RF σε επίπεδα πολύ πιο υψηλά από εκείνα που συνδέονται κανονικά με τις ασύρματες επικοινωνίες. Με την εμφάνιση τέτοιων συσκευών όπως walkie-talkies και κινητά τηλέφωνα, έχει γίνει προφανές ότι λίγες μελέτες εξετάζουν τις συνέπειες των εντοπισμένων εκθέσεων σε ακτινοβολία RF στο κεφάλι.

Ο παγκόσμιος οργανισμός υγείας έχει προσδιορίσει την έρευνα που πρέπει να γίνει για την καλύτερη αξιολόγηση του κινδύνου υγείας και προωθεί την χρηματοδότηση στην έρευνα. Εν συντομία, αυτή τη στιγμή η έρευνα δείχνει:

- **Καρκίνος:** Τα τρέχοντα επιστημονικά στοιχεία δείχνουν ότι η έκθεση σε RF, όπως εκείνη που εκπέμπεται από κινητά τηλέφωνα και τους σταθμούς βάσης των, είναι απίθανο να προκαλέσει ή να υποβοηθήσει τους καρκίνους. Διάφορες μελέτες των ζώων που εκτέθηκαν σε RF παρόμοιους με εκείνους που εκπέμφθηκαν με κινητά τηλέφωνα δεν βρήκαν κανένα στοιχείο

ότι το RF κύμα προκαλεί ή υποβοηθά τον καρκίνο εγκεφάλου. Ενώ μια μελέτη του 1997 διαπίστωσε ότι ακτινοβολίες RF αύξησαν το ποσοστό στο οποίο ανέπτυξαν ποντίκια λέμφωμα, οι επιπτώσεις υγείας αυτού του αποτελέσματος είναι ασαφείς. Διάφορες μελέτες είναι εν εξελίξει για να επιβεβαιώσουν αυτήν την εύρεση και να καθορίσουν οποιαδήποτε σχετικότητα αυτών των αποτελεσμάτων στον καρκίνο στα ανθρώπινα όντα. Τρεις πρόσφατες επιδημιολογικές μελέτες δεν βρήκαν κανένα πειστικό στοιχείο της αύξησης στον κίνδυνο του καρκίνου ή οποιασδήποτε άλλης ασθένειας με τη χρήση των κινητών τηλεφώνων.

- **Άλλοι κίνδυνοι υγείας:** Οι επιστήμονες έχουν εκθέσει άλλα αποτελέσματα της χρησιμοποίησης των κινητών τηλεφώνων συμπεριλαμβανομένων των αλλαγών στη δραστηριότητα εγκεφάλου, τους χρόνους αντίδρασης, και τα σχέδια ύπνου. Αυτά τα αποτελέσματα είναι μικρά και δεν έχουν καμία προφανή σημασία υγείας. Περισσότερες μελέτες είναι υπό εξέλιξη για να προσπαθήσουν να επιβεβαιώσουν αυτά τα συμπεράσματα.
- **Οδήγηση:** Η έρευνα έχει παρουσιάσει σαφώς αυξανόμενο κίνδυνο τροχαίων ατυχημάτων όταν χρησιμοποιούνται τα κινητά τηλέφωνα (είτε φορητός είτε με μια "με ελεύθερα χέρια" εξάρτηση) κατά την οδήγηση.
- **Ηλεκτρομαγνητική παρεμβολή:** Όταν τα κινητά τηλέφωνα χρησιμοποιούνται κοντά σε μερικές ιατρικές συσκευές (συμπεριλαμβανομένων των βηματοδοτών και ορισμένων ενισχυτών ακρόασης) υπάρχει η δυνατότητα να προκληθούν παρεμβολές. Υπάρχει επίσης η δυνατότητα πρόκλησης παρεμβολών μεταξύ των κινητών τηλεφώνων και αεροσκαφών.

### **3.15 Συμπεράσματα και συστάσεις**

Καμία από τις πρόσφατες αναθεωρήσεις δεν έχει καταλήξει στο συμπέρασμα ότι η έκθεση σε RF από τα κινητά τηλέφωνα ή τους σταθμούς βάσης των προκαλεί οποιαδήποτε δυσμενή συνέπεια υγείας. Εντούτοις, υπάρχουν χάσματα στη γνώση που έχουν προσδιοριστεί για την περαιτέρω έρευνα για να αξιολογήσουν καλύτερα τους κινδύνους υγείας. Θα διαρκέσει περίπου 3-4 έτη για την απαραίτητη έρευνα για να ολοκληρωθεί, αξιολογηθεί και να δημοσιευθούν τα τελικά αποτελέσματα οποιωνδήποτε κινδύνων υγείας. Στο μεταξύ, ο Παγκοσμίως οργανισμός Υγείας συστήνει:

- **Ακριβής εμμονή βασισμένες οδηγίες για την υγεία-:** Οι διεθνείς οδηγίες έχουν αναπτυχθεί για να προστατεύσουν τον πληθυσμό: χρήστες κινητών τηλεφώνων, εκείνους που εργάζονται πλησίον ή ζουν γύρω από τους σταθμούς βάσης, καθώς επίσης και άνθρωποι που δεν χρησιμοποιούν τα κινητά τηλέφωνα.

### **3.16 Προληπτικά μέτρα**

**Κυβέρνηση:** Εάν οι ρυθμιστικές αρχές έχουν υιοθετήσει τις βασισμένες στην υγεία οδηγίες αλλά, λόγω των δημόσιων ανησυχιών, θα επιθυμούσαν να θεσπίσουν πρόσθετα προληπτικά μέτρα για να μειωθεί η έκθεση σε RF, δεν πρέπει να υπονομεύσουν τη βάση των οδηγιών της επιστήμης με την ενσωμάτωση αυθαίρετων πρόσθετων παραγόντων ασφάλειας στα όρια έκθεσης. Τα προληπτικά μέτρα πρέπει να θεσπιστούν ως χωριστή πολιτική που ενθαρρύνει, μέσω των εθελοντικών μέσων, τη μείωση της ακτινοβολίας RF από τους κατασκευαστές εξοπλισμού και το κοινό. Οι λεπτομέρειες τέτοιων μέτρων δίνονται σε ένα χωριστό γενικό έγγραφο του WHO.

**Άτομα:** Οι παρούσες επιστημονικές πληροφορίες δεν δείχνουν την ανάγκη για οποιεσδήποτε ειδικές προφυλάξεις για τη χρήση των κινητών τηλεφώνων. Εάν τα άτομα είναι ενδιαφερόμενα, να επιλέξουν να περιορίσουν δικιά τους ή των παιδιών τους έκθεση σε RF με τον

περιορισμό των κλήσεων, ή τη χρησιμοποίηση των hands free συσκευών για να κρατήσουν τα κινητά τηλέφωνα μακριά από το κεφάλι και το σώμα.

- **Υπακούστε τους τοπικούς περιορισμούς στην χρήση κινητών τηλεφώνων για να αποφύγετε emf παρεμβολές:** Τα κινητά τηλέφωνα μπορούν να παρεμποδίσουν ορισμένες ηλεκτροϊατρικές συσκευές, όπως οι καρδιακοί βηματοδότες και οι ενισχυτές ακρόασης. Στα τμήματα εντατικής παρακολούθησης νοσοκομείων η χρήση κινητών τηλεφώνων μπορεί να αποτελέσει κίνδυνο στους ασθενείς και δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται σε αυτές τις περιοχές. Επίσης κινητά τηλέφωνα δεν πρέπει να χρησιμοποιηθούν στα αεροσκάφη δεδομένου ότι μπορούν να παρεμποδίσουν τα συστήματα ναυσιπλοΐας των.
- **Οδηγώντας με ασφάλεια:** Στην κίνηση των οχημάτων υπάρχει μια καλά καθιερωμένη αύξηση στον κίνδυνο τροχαίων ατυχημάτων ενώ ο οδηγός χρησιμοποιεί ένα κινητό τηλέφωνο, είτε ένα συμβατικό μικροτηλέφωνο είτε ένα που εγκαθίσταται με hands free συσκευή. Οι αυτοκινητιστές πρέπει να αποθαρρυνθούν έντονα από τη χρησιμοποίηση των κινητών τηλεφώνων οδηγώντας.
- **Απλά προστατευτικά μέτρα:** Οι φράκτες ή τα εμπόδια ή άλλα προστατευτικά μέτρα απαιτούνται για μερικούς σταθμούς βάσεων (κυρίως, εκείνοι που βρίσκονται στις στεγες) για να αποκλείσουν την αναρμόδια πρόσβαση στις περιοχές όπου τα όρια έκθεσης μπορούν να ξεπεραστούν.
- **Απορροφητικές συσκευές RF:** Τα επιστημονικά στοιχεία δεν δείχνουν οποιαδήποτε ανάγκη για καλύψεις RF- ή άλλες απορροφητικές συσκευές στα κινητά τηλέφωνα. Δεν μπορούν να δικαιολογηθούν για λόγους υγείας και η αποτελεσματικότητα πολλών τέτοιων συσκευών στη μείωση της έκθεσης RF είναι μη αποδεδειγμένη.

- **Οι διαβουλεύσεις με την κοινότητα στην τοποθέτηση σταθμών βάσης:** Οι περιοχές σταθμών βάσης πρέπει να προσφέρουν καλή κάλυψη σημάτων και να είναι προσιτές για συντήρηση. Ενώ τα επίπεδα RF γύρω από τους σταθμούς βάσης δεν θεωρούνται κίνδυνος υγείας, οι αποφάσεις πρέπει να λάβουν υπόψη την αισθητική και τις δημόσιες ευαισθησίες. Εγκαθιστώντας τους σταθμούς βάσης κοντά στους παιδικούς σταθμούς, τα σχολεία και στις παιδικές χαρές μπορεί να χρειαστεί ιδιαίτερη προσοχή. Η ανοικτές σε επικοινωνία και συζήτηση μεταξύ του κινητού παρόχου, του τοπικού συμβουλίου και του κοινού κατά τη διάρκεια των σταδίων προγραμματισμού για μια νέα κεραία μπορούν να βοηθήσουν να δημιουργηθεί δημόσια κατανόηση και μεγαλύτερη αποδοχή μιας νέας δυνατότητας.

**Παροχή πληροφοριών:** Ένα αποτελεσματικό σύστημα ενημέρωσης και επικοινωνιών υγείας μεταξύ των επιστημόνων, των κυβερνήσεων, της βιομηχανίας και του κοινού είναι απαραίτητο για να βελτιώσει το επίπεδο γενικής κατανόησης για την κινητή τηλεφωνική τεχνολογία και να μειώσει οποιουσδήποτε δυσπιστία και φόβους. Αυτές οι πληροφορίες πρέπει να είναι εξακριβωμένες, και να είναι συγχρόνως σωστές στο επίπεδο συζήτησής και κατανοητές στο προοριζόμενο ακροατήριο.

### **3.17 Ανησυχίες σχετικά με την Υγεία**

Τα πεδία ραδιοσυχνοτήτων είναι μη-ιονίζοντα και δεν διαταράσσουν τη μοριακή δομή της βιολογικής ύλης. Η διεθνώς αναγνωρισμένη, ανεξάρτητη «Διεθνής Επιτροπή Προστασίας από Μη-Ιονίζουσες Ακτινοβολίες» (ICNIRP) έχει εκδώσει οδηγίες που προβλέπουν τα όρια ασφαλείας για την έκθεση σε ραδιοσυχνότητες για όλα τα μέλη της κοινωνίας. Όλες οι εξακριβωμένες επιδράσεις στην υγεία εξ' αιτίας της έκθεσης σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, σχετίζονται με τη θερμότητα. Οι λεγόμενες «μη-θερμικές» επιδράσεις είναι υπό συνεχή αξιολόγηση. Έως σήμερα, η άποψη των ειδικών επί της υγείας, είναι ότι η επιστημονική βιβλιογραφία σχετικά με τις μη-θερμικές επιδράσεις παρουσιάζει ασυνέπειες, ενώ η σχετικότητά της με την ανθρώπινη υγεία είναι πάρα πολύ αβέβαιη, ώστε να μπορεί αυτό το σύνολο πληροφοριών να χρησιμοποιηθεί ως βάση για τη θέσπιση ορίων σχετικά με την έκθεση του ανθρώπου στα πεδία ραδιοσυχνοτήτων.

Το βάθος στο οποίο τα ραδιοκύματα διεισδύουν στους εκτιθέμενους ιστούς εξαρτάται από τη συχνότητα που χρησιμοποιείται. Όταν η ενέργεια των ραδιοκυμάτων απορροφάται από το σώμα μας, είναι δυνατό να προκληθεί ένα θερμικό αποτέλεσμα, που εξαρτάται από την ισχύ της έκθεσης. Το επίπεδο θερμότητας που μπορεί να παραχθεί από την έκθεση σε ραδιοκύματα μέσα στα όρια των οδηγιών έκθεσης είναι εξαιρετικά χαμηλό και οι φυσιολογικές διαδικασίες που ρυθμίζουν τη θερμοκρασία του σώματος απομακρύνουν αποτελεσματικά όποια θερμότητα τυχόν παραχθεί. Καμιά επιβεβαιωμένη μελέτη μέχρι σήμερα δεν έχει δείξει επιβλαβείς επιπτώσεις στην υγεία από έκθεση σε επίπεδα ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, κατώτερα από τα επίπεδα που προβλέπονται από τις οδηγίες της ICNIRP.



### **3.18 Μελέτες και Οδηγίες ασφάλειας**

Οι βιολογικές επιπτώσεις των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων ραδιοσυχνοτήτων έχουν μελετηθεί για περισσότερα από 50 χρόνια. Μόνο στη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας, έχουν δαπανηθεί περισσότερα από 200 εκατομμύρια ευρώ για έρευνες. 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 οδηγιών. Στην ερευνητική βάση δεδομένων υπάρχουν περισσότερες από 1.300 δημοσιεύσεις, αξιολογημένες από ομότιμους επιστήμονες, και οι οποίες σχετίζονται με τις βιολογικές επιπτώσεις των ραδιοσυχνοτήτων. Ανάμεσα σε αυτές τις 1.300 επιστημονικές δημοσιεύσεις, υπάρχουν περισσότερες από 350 ανεξάρτητες μελέτες, που έχουν διενεργηθεί σε συχνότητες που χρησιμοποιούνται από τις κινητές επικοινωνίες.

Περισσότερες από τις μισές αναζητούσαν συσχετισμούς ανάμεσα στον καρκίνο και τα ραδιοκύματα. (Για περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τις μελέτες, επισκεφτείτε την ηλεκτρονική διεύθυνση: <http://www.who.int/peh-emf/research/database/en/>). Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (WHO) δήλωσε το 2004: **«Τα τελευταία 30 χρόνια έχουν δημοσιευτεί περίπου 25.000 άρθρα σχετικά με τις βιολογικές επιπτώσεις και τις ιατρικές εφαρμογές της μη-ιονίζουσας ακτινοβολίας. Παρά το γεγονός ότι μερικοί άνθρωποι αισθάνονται ότι είναι απαραίτητο να διεξαχθεί περαιτέρω έρευνα, η επιστημονική γνώση σε αυτό το πεδίο είναι πλέον πιο εκτεταμένη από εκείνη που αφορά τα περισσότερα χημικά».** Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας, μετά από μια πρόσφατη διεξοδική αξιολόγηση της επιστημονικής

βιβλιογραφίας, κατέληξε στο συμπέρασμα ότι τα παρόντα στοιχεία δεν επιβεβαιώνουν ότι η έκθεση σε χαμηλού επιπέδου ηλεκτρομαγνητικά πεδία έχει οποιεσδήποτε επιπτώσεις στην υγεία».

Οι οδηγίες έκθεσης έχουν αναπτυχθεί από τη Διεθνή Επιτροπή Προστασίας από Μη-Ιονίζουσες Ακτινοβολίες (ICNIRP), βασίζονται στην προσεκτική ανάλυση της επιστημονικής βιβλιογραφίας (λαμβάνοντας υπόψη τόσο τις θερμικές όσο και τις μη-θερμικές επιπτώσεις) και προσφέρουν προστασία από όλους τους αναγνωρισμένους κινδύνους από την έκθεση σε ακτινοβολία ραδιοσυχνότητας, με μεγάλα περιθώρια ασφαλείας. Τα συμπεράσματα του Φόρουμ των Κατασκευαστών Κινητών Τηλεφώνων (MMF), τα οποία αφορούν στις επιπτώσεις στην υγεία από την έκθεση σε ραδιοσυχνότητες κινητών τηλεφώνων και σταθμών βάσης, βασίζονται στα συμπεράσματα πολλών επιτροπών εμπειρογνομόνων που έχουν συσταθεί από επίσημους εθνικούς και διεθνείς φορείς. Αυτές οι επιτροπές έχουν αξιολογήσει την επιστημονική βιβλιογραφία των τελευταίων δέκα χρόνων και έχουν συμπεράνει με συνέπεια ότι δεν υπάρχουν αξιόπιστες ή πειστικές αποδείξεις ότι η έκθεση στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία από κινητά τηλέφωνα ή σταθμούς βάσης, που λειτουργούν εντός των επιτρεπόμενων ορίων έκθεσης της ICNIRP, έχουν βλαβερές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία.

### **3.19 Άποψη της Ελληνικής Επιτροπής Ατομικής Ενέργειας**

Οι επιδράσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στην υγεία μας εξαρτώνται προπάντων από τους εξής 3 παράγοντες:

- 1. την ένταση της ακτινοβολίας**
- 2. τη συχνότητα και**
- 3. τη διάρκεια της**

**Η έκθεση σε μεγάλες τιμές ακτινοβολίας υψηλών συχνοτήτων έχει θερμικές επιδράσεις:** Η ακτινοβολούμενη ενέργεια απορροφάται από τους ιστούς και μετατρέπεται σε θερμότητα. Το σώμα θερμαίνεται. Αν η απορροφούμενη ισχύς ακτινοβολίας είναι τόσο μεγάλη, ώστε η θερμοκρασία του σώματος ν' αυξηθεί πάνω από 1-2°C, τότε προκύπτουν οι ίδιες επιδράσεις όπως στην περίπτωση πυρετού ή θερμοπληξίας: επέρχεται μείωση των νοητικών δραστηριοτήτων, αποκλίσεις σε διάφορες σωματικές λειτουργίες μέχρι και διαταραχές της αναπαραγωγής. Όργανα με κακή αιμάτωση και έτσι κακή απαγωγή θερμότητας όπως π.χ. τα μάτια θερμαίνονται γρηγορότερα και γι' αυτό κινδυνεύουν περισσότερο. Οι θερμικές επιδράσεις έχουν σαν κοινό σημείο, ότι κάτω από κάποια ορισμένη τιμή έντασης ακτινοβολίας δεν προκύπτουν πλέον.

**Τα όρια ασφαλούς έκθεσης του κοινού έχουν καθοριστεί έτσι ώστε να μην μπορούν να προκύψουν τέτοιες θερμικές επιδράσεις.** Εφόσον αυτές οι οριακές τιμές τηρούνται σε όλους τους προσιτούς χώρους στους σταθμούς Βάσης καθώς και κατά τη συνομιλία με συσκευή κινητού τηλεφώνου, δεν πρέπει να φοβόμαστε θερμικές επιδράσεις.

**Αντίθετα με τις θερμικές επιδράσεις της υψίσυχνης ακτινοβολίας, οι Βιολογικές επιδράσεις από την έκθεση σε μικρές τιμές ακτινοβολίας υψηλών συχνοτήτων δεν είναι ακόμα εντελώς γνωστές.** Ενώ πριν από μερικά χρόνια η ύπαρξη τέτοιων μη θερμικών επιδράσεων ήταν υπό αμφισβήτηση, σήμερα είναι εξακριβωμένο, ότι η υψίσυχη ακτινοβολία μπορεί να έχει και άλλες επιδράσεις εκτός των θερμικών που προαναφέρθηκαν.

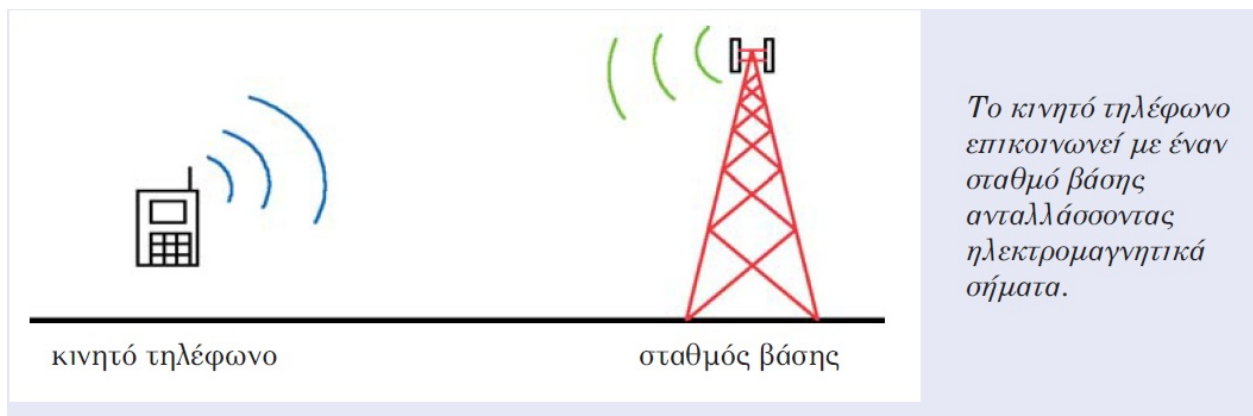
Παρατηρήθηκαν π.χ. φυσιολογικές μεταβολές σε κυτταρικές καλλιέργειες και σε ζώα καθώς και επηρεασμός της ηλεκτρικής δραστηριότητας στον ανθρώπινο εγκέφαλο. Πώς προκύπτουν αυτές οι επιδράσεις, δεν είναι γνωστό. Η αξιολόγηση καθίσταται δύσκολη από το γεγονός ότι τα πειράματα κατά ένα μέρος δεν ήταν δυνατόν να επαναληφθούν ή υπάρχουν αντιφατικά αποτελέσματα. Χρειάζεται περαιτέρω έρευνα για να διαγνωσθούν ενδεχόμενες επιδράσεις στην υγεία της υψίσυχνης ακτινοβολίας μικρής ισχύος, όπως αυτή που

χρησιμοποιείται στην κινητή τηλεφωνία. Οι μακροπρόθεσμες επιδράσεις της ακτινοβολίας μικρής ισχύος δεν κατέστη δυνατόν ως σήμερα να ερευνηθούν καθόλου.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### 4.1 Κινητά τηλέφωνα

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

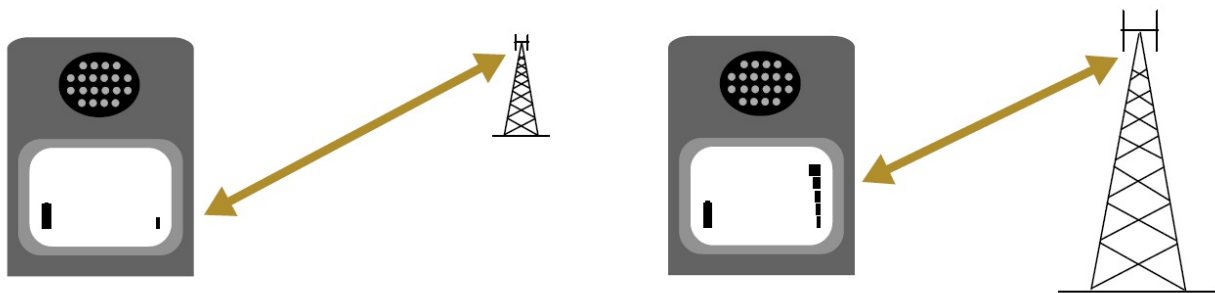


**Εικόνα 4.1:** Επικοινωνία κινητού τηλεφώνου-σταθμού βάσης

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 μια κλήση.

Τα κινητά τηλέφωνα χρησιμοποιούν αυτόματο έλεγχο ισχύος για να μειώνεται στο ελάχιστο δυνατόν η εκπεμπόμενη ενέργεια, ενώ παράλληλα να διατηρείται η καλή ποιότητα κλήσης. Για παράδειγμα, όταν χρησιμοποιείται το τηλέφωνο, η παραγόμενη ισχύς είναι δυνατό να κυμαίνεται

ανάμεσα στο κατώτατο όριο του 0,001 watt περίπου και στο ανώτατο επίπεδο που είναι λιγότερο από 1 watt. Αυτό το χαρακτηριστικό έχει σκοπό να παρατείνει τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας και το διαθέσιμο χρόνο ομιλίας.



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

**Εικόνα 4.2:** Ισχύς σήματος με βάση την απόσταση

#### **4.2 Σταθμοί βάσης κινητής τηλεφωνίας**

Ο σταθμός βάσης είναι το σύνολο των εγκαταστάσεων μιας εταιρείας κινητής τηλεφωνίας που τοποθετούνται σε μια περιοχή για την υποστήριξη του ασύρματου δικτύου της. Οι σταθμοί βάσης αποτελούνται από συστήματα κεραιών εκπομπής και λήψης των ηλεκτρομαγνητικών σημάτων, καθώς και ηλεκτρονικό εξοπλισμό για την επεξεργασία των σημάτων αυτών. Τα συστήματα αυτά των σταθμών βάσης βρίσκονται τοποθετημένα πάνω σε μεταλλικούς πυλώνες ή ιστούς. Πολλοί σταθμοί βάσης κατασκευάζονται εντός των πόλεων και έχουν τα συστήματά κεραιών τους τοποθετημένα στις οροφές ψηλών κτιρίων.

Τα επίπεδα εκπεμπόμενης ισχύος από τους σταθμούς βάσης ποικίλλουν αρκετά ανάλογα με την περιοχή ή «κυψέλη» στην οποία απαιτείται να παρέχουν κάλυψη.

Τυπικά, η εκπεμπόμενη ισχύς από έναν υπαίθριο σταθμό βάσης μπορεί να κυμαίνεται από μερικά watt έως περίπου 100 watt· ενώ, η εκπεμπόμενη ισχύς από έναν σταθμό βάσης εσωτερικού χώρου

είναι ακόμα πιο χαμηλή. Για λόγους σύγκρισης, τα 100 watt ισοδυναμούν με την ισχύ ενός συνηθισμένου λαμπτήρα που χρησιμοποιούμε στο σπίτι μας.

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. Οι κεραιές είναι συνήθως περίπου 15-30 εκατοστά σε πλάτος και μέχρι μερικά μέτρα σε μήκος, ανάλογα με τη συχνότητα λειτουργίας τους.

Αυτές οι κεραιές εκπέμπουν ηλεκτρομαγνητική ενέργεια ραδιοσυχνοτήτων (RF), συχνά αποκαλούμενη ως ραδιοκύματα, σε δέσμες, οι οποίες είναι συνήθως πολύ στενές στην κάθετη διεύθυνση (ύψος), αλλά αρκετά πλατιές στην οριζόντια διεύθυνση (πλάτος). Εξαιτίας αυτού, η εκπεμπόμενη ενέργεια των ραδιοσυχνοτήτων στο επίπεδο του εδάφους ακριβώς κάτω από την κεραία είναι πολύ χαμηλή.

Ως γενικός κανόνας, η ένταση της ενέργειας ραδιοσυχνοτήτων μειώνεται ταχύτατα όταν κάποιος απομακρύνεται από την κεραία του σταθμού βάσης, και ακόμη και μόλις λίγα μέτρα πιο μακριά, τα επίπεδα της ισχύος είναι πολύ κατώτερα από τα διεθνή όρια.

Για να διασφαλιστεί ότι η έκθεση του κοινού παραμένει μεταξύ των καθορισμένων ορίων, οι κεραιές είναι συνήθως ανυψωμένες και όπου κρίνεται απαραίτητο, χρησιμοποιούνται φράκτες ή άλλοι τρόποι για να περιορίζουν την πρόσβαση, παράλληλα με την κατάλληλη σήμανση ώστε να εξασφαλίζεται ότι μόνο το εξουσιοδοτημένο προσωπικό μπορεί να έχει πρόσβαση στην περιοχή κοντά στο σταθμό βάσης. Ως αποτέλεσμα αυτών των μέτρων, σε περιοχές που βρίσκονται γύρω από τους σταθμούς βάσης και είναι προσβάσιμες στο κοινό, τα επίπεδα ραδιοσυχνοτήτων είναι μέσα στα διεθνή όρια ασφαλείας.

Οι σταθμοί βάσης χρειάζονται οπωσδήποτε κεραίες εκπομπής και λήψης για την επικοινωνία με τα κινητά τηλέφωνα. Οι κεραίες αυτές έχουν συνήθως μακρόστενο σχήμα, μήκος ένα

με δύο μέτρα, πλάτος δέκα με είκοσι εκατοστά, πάχος μερικά εκατοστά και τοποθετούνται κατακόρυφα. Επίσης, υπάρχουν και κεραίες κινητής τηλεφωνίας που μοιάζουν με ραβδιά διαμέτρου λίγων εκατοστών και μήκους ένα με δύο μέτρα. Πέραν των κεραιών για την σύνδεση με τα κινητά τηλέφωνα, οι σταθμοί βάσης έχουν συνήθως και μία μικροκυματική κεραία που χρησιμοποιείται για την ασύρματη σύνδεση του σταθμού με το κέντρο για την λήψη και την προώθηση των τηλεφωνικών κλήσεων. Οι κεραίες αυτές μοιάζουν με κυλινδρικά τύμπανα κάθετα τοποθετημένα διαμέτρου συνήθως τριάντα ή εξήντα εκατοστών.

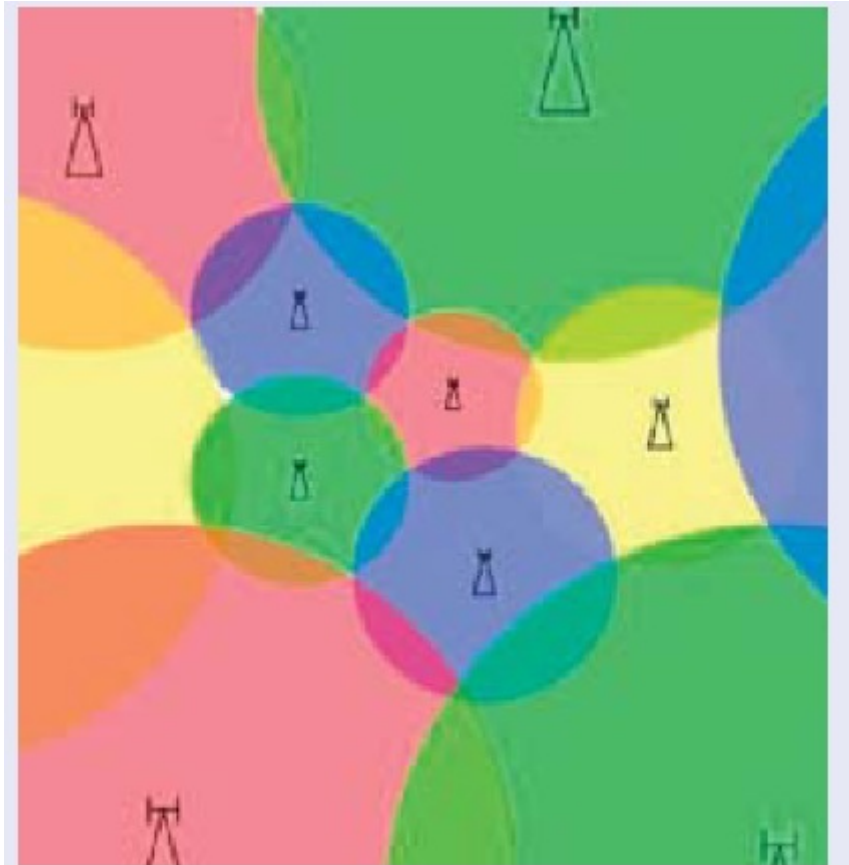
Οι σταθμοί βάσης τοποθετούνται πάνω σε μεταλλικούς πυλώνες στις κορυφές των βουνών με σκοπό να υπάρχει σήμα σε οποιοδήποτε σημείο της χώρας μπορεί να βρεθεί κάποιος χρήστης κινητού τηλεφώνου. Ωστόσο, στις πόλεις λειτουργούν πάρα πολλά κινητά τηλέφωνα και οι παρακείμενοι σταθμοί που βρίσκονται στα βουνά δεν δύνανται να εξυπηρετήσουν όλες τις κλήσεις. Σε αυτές τις περιπτώσεις είναι ανάγκη να εγκατασταθούν πολλοί σταθμοί βάσης με μικρή περιοχή κάλυψης, ώστε να εξυπηρετούνται όλοι οι χρήστες. Ο αριθμός των σταθμών βάσης κινητής τηλεφωνίας σε όλη την χώρα ανέρχεται σήμερα σε 6500 περίπου.

### **4.3 Κυψέλη κινητής τηλεφωνίας**

Κάθε σταθμός βάσης καλύπτει μια συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή, η οποία χωρίζεται σε μία ή περισσότερες κυψέλες. Το επιθυμητό από τις εταιρείες κινητής τηλεφωνίας μέγεθος της κυψέλης καθορίζεται βάσει των ιδιαίτερων γεωγραφικών χαρακτηριστικών της περιοχής, καθώς και τον αριθμό και τη χρήση των κινητών τηλεφώνων που συνήθως υπάρχουν εκεί. Επειδή κάθε σταθμός βάσης μπορεί να εξυπηρετήσει ταυτόχρονα περιορισμένο αριθμό τηλεφώνων (της τάξης των 50 με



100), οι κυψέλες είναι σχετικά μικρές εντός των πόλεων (της τάξης των εκατοντάδων μέτρων), και σχετικά μεγάλες στις αγροτικές περιοχές (της τάξης των δεκάδων χιλιομέτρων).



ΚΥΨΕΛΗ ΚΙΝΗΤΗΣ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑΣ

#### **4.4 Ανησυχίες για τα πεδία ραδιοσυχνότητων**

Τα πεδία ραδιοσυχνότητων είναι μη-ιονίζοντα και δεν διαταράσσουν τη μοριακή δομή της βιολογικής ύλης. Η διεθνώς αναγνωρισμένη, ανεξάρτητη «Διεθνής Επιτροπή Προστασίας από Μη-Ιονίζουσες Ακτινοβολίες» (ICNIRP) έχει εκδώσει οδηγίες που προβλέπουν τα όρια ασφαλείας για την έκθεση σε ραδιοσυχνότητες για όλα τα μέλη της κοινωνίας.

Όλες οι εξακριβωμένες επιδράσεις στην υγεία εξ' αιτίας της έκθεσης σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, σχετίζονται με τη θερμότητα. Οι λεγόμενες «μη-θερμικές» επιδράσεις είναι υπό συνεχή αξιολόγηση. Έως σήμερα, η άποψη των ειδικών επί της υγείας, είναι ότι η επιστημονική βιβλιογραφία σχετικά με τις μη-θερμικές επιδράσεις παρουσιάζει ασυνέπειες, ενώ η σχετικότητα της με την ανθρώπινη υγεία είναι πάρα πολύ αβέβαιη, ώστε να μπορεί αυτό το σύνολο πληροφοριών να χρησιμοποιηθεί ως βάση για τη θέσπιση ορίων σχετικά με την έκθεση του ανθρώπου στα πεδία ραδιοσυχνότητων.

Το βάθος στο οποίο τα ραδιοκύματα διεισδύουν στους εκτιθέμενους ιστούς εξαρτάται από τη συχνότητα που χρησιμοποιείται. Όταν η ενέργεια των ραδιοκυμάτων απορροφάται από το σώμα μας, είναι δυνατό να προκληθεί ένα θερμικό αποτέλεσμα, που εξαρτάται από την ισχύ της έκθεσης. Το επίπεδο θερμότητας που μπορεί να παραχθεί από την έκθεση σε ραδιοκύματα μέσα στα όρια των οδηγιών έκθεσης είναι εξαιρετικά χαμηλό και οι φυσιολογικές διαδικασίες που ρυθμίζουν τη θερμοκρασία του σώματος απομακρύνουν αποτελεσματικά όποια θερμότητα τυχόν παραχθεί. Καμιά επιβεβαιωμένη μελέτη μέχρι σήμερα δεν έχει δείξει επιβλαβείς επιπτώσεις στην υγεία από έκθεση σε επίπεδα ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, κατώτερα από τα επίπεδα που προβλέπονται από τις οδηγίες της ICNIRP.

#### **4.5 Μελέτες και οδηγίες ασφαλείας**

Οι βιολογικές επιπτώσεις των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων ραδιοσυχνοτήτων έχουν μελετηθεί για περισσότερα από 50 χρόνια. Μόνο στη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας, έχουν δαπανηθεί περισσότερα από 200 εκατομμύρια ευρώ για έρευνες.

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 οδηγιών.

Στην ερευνητική βάση δεδομένων υπάρχουν περισσότερες από 1.300 δημοσιεύσεις, αξιολογημένες από ομότιμους επιστήμονες, και οι οποίες σχετίζονται με τις βιολογικές επιπτώσεις των ραδιοσυχνοτήτων. Ανάμεσα σε αυτές τις 1.300 επιστημονικές δημοσιεύσεις, υπάρχουν περισσότερες από 350 ανεξάρτητες μελέτες, που έχουν διενεργηθεί σε συχνότητες που χρησιμοποιούνται από τις κινητές επικοινωνίες. Περισσότερες από τις μισές αναζητούσαν συσχετισμούς ανάμεσα στον καρκίνο και τα ραδιοκύματα.

Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (WHO) δήλωσε το 2004:

«Τα τελευταία 30 χρόνια έχουν δημοσιευτεί περίπου 25.000 άρθρα σχετικά με τις βιολογικές επιπτώσεις και τις ιατρικές εφαρμογές της μη-ιονίζουσας ακτινοβολίας. Παρά το γεγονός ότι μερικοί άνθρωποι αισθάνονται ότι είναι απαραίτητο να διεξαχθεί περαιτέρω έρευνα, η επιστημονική γνώση σε αυτό το πεδίο είναι πλέον πιο εκτεταμένη από εκείνη που αφορά τα περισσότερα χημικά. Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας, μετά από μια πρόσφατη διεξοδική αξιολόγηση της επιστημονικής βιβλιογραφίας, κατέληξε στο συμπέρασμα ότι τα παρόντα στοιχεία

δεν επιβεβαιώνουν ότι η έκθεση σε χαμηλού επιπέδου ηλεκτρομαγνητικά πεδία έχει οποιεσδήποτε επιπτώσεις στην υγεία».

Οι οδηγίες έκθεσης έχουν αναπτυχθεί από τη Διεθνή Επιτροπή Προστασίας από Μη-Ιονίζουσες Ακτινοβολίες (ICNIRP), βασίζονται στην προσεκτική ανάλυση της επιστημονικής βιβλιογραφίας (λαμβάνοντας υπόψη τόσο τις θερμικές όσο και τις μη-θερμικές επιπτώσεις) και προσφέρουν προστασία από όλους τους αναγνωρισμένους κινδύνους από την έκθεση σε ακτινοβολία ραδιοσυχνότητας, με μεγάλα περιθώρια ασφαλείας.

Τα συμπεράσματα του Φόρουμ των Κατασκευαστών Κινητών Τηλεφώνων (MMF), τα οποία αφορούν στις επιπτώσεις στην υγεία από την έκθεση σε ραδιοσυχνότητες κινητών τηλεφώνων και σταθμών βάσης, βασίζονται στα συμπεράσματα πολλών επιτροπών εμπειρογνομόνων που έχουν συσταθεί από επίσημους εθνικούς και διεθνείς φορείς. Αυτές οι επιτροπές έχουν αξιολογήσει την επιστημονική βιβλιογραφία των τελευταίων δέκα χρόνων και έχουν συμπεράνει με συνέπεια ότι δεν υπάρχουν αξιόπιστες ή πειστικές αποδείξεις ότι η έκθεση στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία από κινητά τηλέφωνα ή σταθμούς βάσης, που λειτουργούν εντός των επιτρεπόμενων ορίων έκθεσης της ICNIRP, έχουν βλαβερές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία.

Τα σύγχρονα κινητά τηλέφωνα, παρόλο που εκπέμπουν το ανώτερο μερικές εκατοντάδες milliwatt κατά μέσο όρο, βρίσκονται πολύ κοντά στο σώμα και επομένως, εκθέτουν τον χρήστη σε τοπικά επίπεδα έκθεσης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, που είναι σχετικά υψηλότερα από αυτά ενός σταθμού βάσης.

Η έννοια του Ειδικού Βαθμού Απορρόφησης (SAR) καθιερώθηκε για να προσδιορίζει ποσοτικά το σύνολο της ενέργειας που απορροφάται από το σώμα και για να αποδεικνύει τη συμμόρφωση με τα εθνικά και διεθνή πρότυπα ασφαλείας.

Ο Ειδικός Βαθμός Απορρόφησης ενός τηλεφώνου προσδιορίζεται χρησιμοποιώντας μια ενεργοποιημένη συσκευή κοντά σ' ένα μοντέλο του κεφαλιού ή του σώματος. Το μοντέλο είναι

γεμάτο με ένα υγρό που φέρει τις ηλεκτρικές ιδιότητες των ανθρώπινων ιστών. Ένας ανιχνευτής SAR είναι σε λειτουργία στο εσωτερικό του μοντέλου και έτσι, πραγματοποιείται μια τρισδιάστατη μέτρηση, ώστε να καθοριστεί ο υψηλότερος SAR και να επιβεβαιωθεί ότι αυτός είναι κάτω από το θεσπισμένο όριο.

Σε ότι αφορά τους σταθμούς βάσης, το πιο απλό μοντέλο διάδοσης ραδιοσυχνοτήτων είναι το μοντέλο του «ελεύθερου χώρου», σύμφωνα με το οποίο η ένταση μειώνεται στο ένα τέταρτο, όταν η απόσταση διπλασιάζεται. Ωστόσο, όπως έχει προαναφερθεί, στην πραγματικότητα, η ισχύς μειώνεται πολύ πιο γρήγορα, λόγω της απώλειας ισχύος του σήματος που προκαλείται από την απορρόφηση από δέντρα, κτίρια και από την ίδια τη γη.

Για να μετρηθούν τα επίπεδα RF για λόγους συμμόρφωσης με τα πρότυπα, λαμβάνεται υπόψη η υψηλότερη εκπεμπόμενη ισχύς και η μεγαλύτερη εστιακή απόσταση της κεραίας. Στη συνέχεια χρησιμοποιούνται τα δύο αυτά δεδομένα για τον υπολογισμό των επιπέδων της ενέργειας RF σε οποιαδήποτε απόσταση από μία κεραία. Γενικά, λόγω του ύψους του ιστού μιας κεραίας, της εστιακής απόστασης της κεραίας και άλλων παραγόντων, η εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας RF από τους σταθμούς βάσης είναι χαμηλότερη από ότι προβλέπουν οι οδηγίες της ICNIRP. Σε περιοχές που είναι ελεύθερα προσπελάσιμες στο κοινό, οι μετρήσεις και οι υπολογισμοί έχουν δείξει ότι τα επίπεδα έκθεσης είναι πολύ πιο χαμηλά από τις διεθνείς οδηγίες, συνήθως κατά ένα συντελεστή 500 ή και περισσότερο.

#### **4.6 Τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας στην Ελλάδα**

Στην Ελλάδα λειτουργούν τρία 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, συστήματα τρίτης γενιάς (3G) είναι διαθέσιμα και στην Ελλάδα. Και οι τρεις εταιρείες κινητής τηλεφωνίας αναπτύσσουν δίκτυα τρίτης γενιάς σε ολόκληρη τη χώρα. Οι εταιρείες κινητής τηλεφωνίας που λειτουργούν στην Ελλάδα είναι οι εξής:

- COSMOTE (GSM900, DCS1800, UMTS)
- VODAFONE (GSM900, DCS1800, UMTS)
- WIND (GSM900, DCS1800, UMTS)

Η χρήση διαφορετικών συχνοτήτων για διαφορετικά ραδιοσήματα εξασφαλίζει ότι τα σήματα αυτά δεν παρεμβάλλονται μεταξύ τους. Τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας στην Ελλάδα χρησιμοποιούν τις ζώνες συχνοτήτων 900 MHz, 1800 MHz και 2100 MHz.

#### **4.7 Αρχή λειτουργίας κινητών τηλεφώνων**

Τα κινητά τηλέφωνα είναι χαμηλής ισχύος πομποδέκτες ραδιοκυμάτων, οι οποίοι με τη βοήθεια κατάλληλης ενσωματωμένης κεραίας και ηλεκτρονικού εξοπλισμού μετατρέπουν τη φωνή και τα ψηφιακά δεδομένα σε ραδιοκύματα και το αντίστροφο. Για την αποστολή αυτών των ραδιοκυμάτων από και προς το κινητό τηλέφωνο, χρησιμοποιούνται οι σταθμοί βάσης κινητών επικοινωνιών που αποτελούνται από κεραίες και ηλεκτρονικό εξοπλισμό. Όταν κάποιος καλεί από το κινητό του τηλέφωνο, αυτό εκπέμπει ραδιοκύματα που διαδίδονται στον αέρα μέχρι να συναντήσουν κάποιο δέκτη στον πλησιέστερο σταθμό βάσης. Όταν ο σταθμός βάσης λάβει τα ραδιοκύματα που προέρχονται από το κινητό τηλέφωνο, λειτουργεί ως διακόπτης μεταγωγής και προωθεί την κλήση σε ένα άλλο σταθμό βάσης. Έτσι, η κλήση αποστέλλεται μέσω του δικτύου κινητής τηλεφωνίας στο σταθμό βάσης που βρίσκεται πλησιέστερα στον καλούμενο χρήστη. Στη

συνέχεια, ο σταθμός βάσης εκπέμπει ραδιοκύματα που λαμβάνονται από το δέκτη (κινητό τηλέφωνο) του καλούμενου χρήστη, όπου τα ραδιοκύματα μετατρέπονται ξανά σε ήχο (φωνή).

#### **4.8 Τυπικά επίπεδα ισχύος εκπομπής κατά την λειτουργία των κινητών τηλεφώνων**

Τα κινητά τηλέφωνα εκπέμπουν ραδιοκύματα σε καθορισμένα επίπεδα ισχύος. Η μέση ισχύς εκπομπής είναι πολύ χαμηλή, 0.5W ή και μικρότερη. Επιπλέον, τα κινητά τηλέφωνα προσαρμόζουν την εκπεμπόμενη ισχύ τους στο κατώτερο επίπεδο, το οποίο είναι απαραίτητο για την αξιόπιστη επικοινωνία με το σταθμό βάσης. Συνεπώς, η μέση ισχύς εκπομπής σε πολλές περιπτώσεις είναι εξαιρετικά χαμηλότερη από τη μέγιστη ισχύ εκπομπής. Χαμηλότερα επίπεδα ισχύος εκπομπής απαιτούνται για τη λειτουργία των κινητών τηλεφώνων, όταν αυτά βρίσκονται κοντά στο σταθμό βάσης. Συνεπώς, η πύκνωση του δικτύου των σταθμών βάσης μίας εταιρείας κινητής τηλεφωνίας έχει ως αποτέλεσμα την ελάττωση της ισχύος εκπομπής από τα κινητά τηλέφωνα, διότι τότε εκπέμπεται μικρότερη ισχύς για τη λειτουργία της συσκευής. Ωστόσο, η ρύθμιση της ισχύος δεν επηρεάζεται μόνο από την απόσταση αλλά και από το περιβάλλον. Χαμηλότερα επίπεδα ισχύος απαιτούνται όταν υπάρχει ανεμπόδιστη σύνδεση μεταξύ κινητού τηλεφώνου και σταθμού βάσης, σε σχέση με την περίπτωση όπου μεσολαβούν κτίρια ή άλλα εμπόδια. Τα κινητά τηλέφωνα δεν εκπέμπουν ραδιοκύματα συνεχώς. Όταν κατά τη διάρκεια μιας τηλεφωνικής συνομιλίας ο χρήστης είναι σιωπηλός, το επίπεδο της ισχύος μειώνεται. Σε κατάσταση αναμονής, το κινητό τηλέφωνο εκπέμπει μόνο περιοδικά προκειμένου να διατηρήσει την επικοινωνία με το δίκτυο. Όταν το κινητό τηλέφωνο είναι κλειστό, δεν εκπέμπει. Στο σύστημα GSM, μέχρι οκτώ (8) χρήστες μοιράζονται το ίδιο κανάλι συχνοτήτων και κάθε κινητό τηλέφωνο μεταδίδει μόνο κατά τη διάρκεια του 1/8 του χρόνου. Αυτό σημαίνει ότι η μέση ισχύς βρίσκεται στο 1/8 της μέγιστης ισχύος. Τα κινητά τηλέφωνα τρίτης γενιάς (UMTS/WCDMA) δε διαχωρίζουν τα σήματα στο πεδίο του χρόνου ή στο πεδίο των συχνοτήτων. Το σήμα από κάθε

κινητό τηλέφωνο κωδικοποιείται και στέλνεται ταυτόχρονα με άλλα, χρησιμοποιώντας το ίδιο κανάλι συχνοτήτων. Τα κινητά τηλέφωνα τεχνολογίας GSM λειτουργούν με μέγιστη ισχύ 2 W (GSM 800/900) και 1 W (GSM 1800/1900). Η μέγιστη μέση ισχύς είναι το 1/8 της συνολικής μέγιστης ισχύος, δηλαδή 250 mW ή 0.25 W (GSM 800/900) και 125 mW ή 0.125 W (GSM 1800/1900). Για την τεχνολογία GPRS, τα μέγιστα επίπεδα ισχύος είναι τα ίδια με την τεχνολογία GSM αλλά η μέση ισχύς όταν χρησιμοποιούνται τα 2/8 του χρόνου μπορεί να φθάσει την τιμή των 500 mW ή 0.5 W για τη συχνότητα των 900 MHz και των 250 mW ή 0.25 W για τη συχνότητα των 1800 MHz. Για την τεχνολογία Τρίτης Γενιάς (UMTS/WCDMA), η μέγιστη ισχύς είναι 0.125 W και 0.25 W , ανάλογα με τον τύπο της τερματικής συσκευής.

#### **4.9 Ένταση του λαμβανόμενου σήματος**

Ένα βασικό χαρακτηριστικό των κινητών τηλεφώνων είναι ότι δεν εκπέμπουν με σταθερή ισχύ. Η μέγιστη ισχύς μίας συσκευής GSM είναι 2 W. Όμως, η ισχύς αυτή μπορεί να μειωθεί σε 15 διακριτά βήματα (μείωση κατά 1.6 φορές σε κάθε βήμα) και να φθάσει στο ένα χιλιοστό της μέγιστης ισχύος που είναι τα 2 mW περίπου. Αναλογικά προς την ισχύ εκπομπής της συσκευής μειώνεται και η τιμή του SAR που δημιουργεί η συσκευή στο κεφάλι του χρήστη. Για παράδειγμα, αν ο κατασκευαστής της συσκευής αναφέρει τιμή SAR 1 W/kg, όταν η συσκευή εκπέμπει ισχύ 2 mW, η αντίστοιχη τιμή SAR είναι χίλιες φορές μικρότερη, δηλαδή 0.001 W/kg.

Η ισχύς που εκπέμπει μία συσκευή επιλέγεται από τη συσκευή ανεξάρτητα από το χρήστη ανάλογα με την ποιότητα της ραδιοεπικοινωνίας της συσκευής με το σταθμό βάσης. Όσο καλύτερη είναι η ραδιοεπικοινωνία τόσο μικρότερη είναι η ισχύς εκπομπής της συσκευής. Η ποιότητα της ραδιοεπικοινωνίας εμφανίζεται στη συσκευή συνήθως ως ένταση του λαμβανόμενου σήματος και απεικονίζεται τις περισσότερες φορές με μπάρες. Όσο περισσότερες μπάρες εμφανίζονται στην οθόνη του κινητού τόσο μεγαλύτερη είναι η ένταση του σήματος, δηλαδή τόσο



καλύτερη είναι η ποιότητα της ραδιοεπικοινωνίας και, επομένως, το κινητό λειτουργεί στην περιοχή χαμηλής ισχύος εκπομπής. Η ένταση του λαμβανόμενου σήματος εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως:

- Η απόσταση του σταθμού βάσης από τη συσκευή. Όσο εγγύτερα βρίσκεται η συσκευή στο σταθμό βάσης τόσο μεγαλύτερη είναι η ένταση του λαμβανόμενου σήματος. Στην πράξη, τα εμπόδια μεταξύ του σταθμού βάσης και της συσκευής και οι πολλαπλές ανακλάσεις λόγω εμποδίων κατά την κατεύθυνση διάδοσης μπορεί να αυξήσουν ή να μειώσουν σημαντικά την ένταση του σήματος.
- Αν η συσκευή χρησιμοποιείται σε υπαίθριο ή κλειστό χώρο. Μετρήσεις έχουν δείξει ότι η ένταση σήματος στο εσωτερικό ενός κτιρίου μπορεί να μειωθεί από 60-95% σε σχέση με την ένταση του σήματος σε παρακείμενο δρόμο.

#### **4.10 Απόσταση της συσκευής από το κεφάλι και το σώμα**

Η τιμή SAR που αναφέρει ο κατασκευαστής της συσκευής αναφέρεται στη χειρότερη περίπτωση έκθεσης του χρήστη σε ραδιοκύματα, κατά την οποία ο χρήστης ακουμπά τη συσκευή στο αυτί του. 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, συνεπώς, η τιμή του SAR, μειώνονται δραστικά. Όμως, για να μπορέσει στην περίπτωση αυτή ο χρήστης να χρησιμοποιήσει τη συσκευή του, πρέπει να προσθέσει ένα εξάρτημα αποδέσμευσης των χεριών του, το λεγόμενο "hands free kit". Υπάρχουν δύο τύποι εξαρτημάτων "hands free", τα ενσύρματα και τα ασύρματα. Τα ενσύρματα εξαρτήματα hands free αποτελούνται από το ακουστικό, το μικρόφωνο, το κλιπ στερέωσης και το καλώδιο μεταξύ του ακουστικού/μικροφώνου και της συσκευής. Συνήθως, το μήκος του καλωδίου είναι 1-1.2 μέτρα από το

άκρο που συνδέεται στο κινητό τηλέφωνο έως τα ακουστικά.

- Τα ασύρματα εξαρτήματα hands free ουσιαστικά αντικαθιστούν την εκπομπή της συσκευής κοντά στο κεφάλι με ένα μικρό ασύρματο πομποδέκτη που επικοινωνεί με το κινητό τηλέφωνο. Χρησιμοποιούν, συνήθως, την τεχνολογία Bluetooth στη συχνότητα 2.45 GHz με πολύ μικρή ισχύ εκπομπής (περίπου 1 mW) και με ακτίνα λειτουργίας τουλάχιστον 10 μέτρα. Όταν γίνεται αποτελεσματική χρήση του συστήματος αποδέσμευσης χεριών, η τιμή του SAR μπορεί να μειωθεί μέχρι και κατά 100 φορές (απόσταση συσκευής από το κεφάλι και το σώμα μισό μέτρο τουλάχιστον).

#### **4.11 Χρήση κινητού τηλεφώνου και παιδιά**

Πολλές ερευνητικές ομάδες συμβουλεύουν ότι τα παιδιά πρέπει να αποθαρρύνονται από τη χρήση κινητών τηλεφώνων. Για παράδειγμα, η κυβέρνηση του Ηνωμένου Βασιλείου δίνει με φυλλάδια τα οποία περιείχαν αυτή την εισήγηση το Δεκέμβριο του 2000. Σύμφωνα με την οδηγία αυτή, η Ανεξάρτητη Ομάδα Εμπειρογνομόνων για τα Κινητά Τηλέφωνα (Independent Group of Experts on Mobile Phones – IEGMP) της Βρετανίας αναφέρει ότι παιδιά ηλικίας μικρότερης των 16 ετών πρέπει να αποθαρρύνονται από τη χρήση κινητών τηλεφώνων. Το 2004, αυτό το όριο ηλικίας μειώθηκε στα 10 έτη, δίνοντας έμφαση στη χρήση των κινητών τηλεφώνων από παιδιά μόνο για τις απαραίτητες κλήσεις. Ωστόσο, επισημάνθηκε ότι δεν υπάρχει απόδειξη ότι η χρήση των κινητών τηλεφώνων μπορεί να προκαλέσει καρκίνο του εγκεφάλου ή άλλα επιβλαβή αποτελέσματα. Η εισήγηση για τον περιορισμό της χρήσης κινητών τηλεφώνων από τα παιδιά ήταν καθαρά προληπτική και δεν βασίστηκε σε επιστημονικά δεδομένα, παρά μόνο στο γεγονός ότι τα παιδιά διαθέτουν μικρότερο σε διαστάσεις κεφάλι και λεπτότερο κρανίο. Αυτοί οι παράγοντες, σε συνδυασμό με το αναπτυσσόμενο νευρικό σύστημα των παιδιών αλλά και την

αναμενόμενη πλέον μακροχρόνια έκθεση του παιδιού-χρήστη σε σχέση με αυτήν ενός ενήλικου, θέτουν τα παιδιά σε μία ομάδα ιδιαίτερης ευαισθησίας.

#### **4.12 Ομάδες αυξημένης ευαισθησίας**

Αυξημένη ευαισθησία κατά την έκθεση σε μη ιονίζουσα ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μπορεί να οφείλεται και σε ανεπαρκή θερμορυθμιστική λειτουργία ή σε παρουσία εμφυτευμένων ιατρικών συσκευών. Εμφυτευμένες μεταλλικές συσκευές έχουν ως αποτέλεσμα την τοπική αύξηση της ισχύος που απορροφάται, με συνέπεια τη θέρμανση των γύρω βιολογικών ιστών. Τέτοιες συσκευές είναι ορθοπεδικές μεταλλικές συσκευές, μεταλλικές καρδιακές βαλβίδες καθώς και εμφυτευμένα συστήματα χορήγησης φαρμάκων, όπως ινσουλίνης, που περιέχουν μεταλλικά μέρη. Για άλλες εμφυτευμένες συσκευές, όπως οι καρδιακοί βηματοδότες και τα κοχλιακά εμφυτεύματα, το κυριότερο πρόβλημα προκαλείται από φαινόμενα ηλεκτρομαγνητικής παρεμβολής. Σύμφωνα με μελέτη του ανεξάρτητου οργανισμού για την Έρευνα στις Ασύρματες

Τεχνολογίες (Wireless Technology Research, WTR), μερικοί τύποι βηματοδοτών είναι ευαίσθητοι σε εξωτερικά ηλεκτρομαγνητικά πεδία. Για το λόγο αυτό, άτομα που φέρουν εμφυτευμένο βηματοδότη, πρέπει να κρατούν το φορητό τηλέφωνο, ακόμη και όταν βρίσκεται σε κατάσταση αναμονής, σε απόσταση τουλάχιστον 15 cm από το βηματοδότη.

#### **4.13 Πηγές μαγνητικών πεδίων στο περιβάλλον μας**

##### **• ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ**

Όταν οι ηλεκτρικές συσκευές λειτουργούν, παράγουν μαγνητικά πεδία στο περιβάλλον τους. Τα πεδία αυτά εξασθενούν τάχιστα καθώς αυξάνεται η απόσταση από την συσκευή και έτσι είναι άξια λόγου μόνο σε αποστάσεις αρκετά μικρότερες από ένα μέτρο. Το πεδίο σε επαφή με την συσκευή μπορεί να είναι πολύ μεγάλο, ανερχόμενο μέχρι εκατοντάδες  $\mu\text{T}$ . Κατά κανόνα όμως, η έκθεση των ανθρώπων λαμβάνει χώρα σε αποστάσεις πολύ μεγαλύτερες πλην μερικών συσκευών που κατά τη χρήση τους βρισκόμαστε αναπόφευκτα κοντά τους όπως οι ηλεκτρικές ξυριστικές μηχανές και τα σεσουάρ για τα μαλλιά. Οι άνθρωποι όμως δεν χρησιμοποιούν τέτοιες συσκευές για πολύ ώρα καθημερινά και έτσι η χρονική διάρκεια της έκθεσης είναι περιορισμένη. Επίσης, αφενός η έκθεση από τις συσκευές αυτές εστιάζεται τοπικά σε μια πολύ μικρή περιοχή του σώματος, αφετέρου η σύζευξη του πεδίου με το σώμα είναι εξαιρετικά ασθενής. Λαμβάνοντας λοιπόν υπόψη τις ειδικές αυτές συνθήκες έκθεσης, στην συντριπτική πλειοψηφία των περιπτώσεων, δεν είναι δυνατόν να ξεπεραστούν οι βασικοί περιορισμοί τοπικής έκθεσης, αν και μπορεί να υπάρχει υπέρβαση των επιπέδων αναφοράς που αναφέρθηκαν. Παρατηρώντας τις τιμές του πίνακα, βλέπουμε ότι σε όλες τις περιπτώσεις το μαγνητικό πεδίο ήδη σε απόσταση 30 cm είναι πολύ μικρότερο από το επίπεδο αναφοράς των 100  $\mu\text{T}$  που θέτει η Ευρωπαϊκή Ένωση και η Ελληνική νομοθεσία για την συχνότητα των 50Hz (συχνότητα λειτουργίας του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας στη χώρα μας). Οι ηλεκτρικές συσκευές παράγουν, επίσης, και κάποιες τιμές ηλεκτρικού πεδίου στο περιβάλλον τους, εφόσον βρίσκονται υπό τάση, όταν δηλαδή είναι στην πρίζα. Οι τιμές αυτές (της τάξης των 10 V/m) είναι εξαιρετικά χαμηλές σε σχέση με τα όρια της Ευρωπαϊκής Ένωσης και της Ελληνικής νομοθεσίας (5000 V/m).

## **• ΕΣΩΤΕΡΙΚΕΣ ΚΑΛΩΔΙΩΣΕΙΣ**

Οι καλωδιώσεις που χρησιμοποιούνται για την τροφοδότηση των συσκευών δημιουργούν και αυτές στο περιβάλλον τους μαγνητικά κυρίως πεδία που οφείλονται στο ηλεκτρικό τους ρεύμα. Στις εγκαταστάσεις που λειτουργούν σύμφωνα με τους κανονισμούς ηλεκτρικών εγκαταστάσεων τα ρεύματα των αγωγών των καλωδιώσεων δημιουργούν σύμφωνα με τους κανονισμούς ηλεκτρικών εγκαταστάσεων τα ρεύματα των αγωγών των καλωδιώσεων δημιουργούν μαγνητικά πεδία που σε μεγάλο βαθμό αλληλοαναιρούνται. Σε σπάνιες περιπτώσεις εγκαταστάσεων που δεν πληρούν τους όρους των κανονισμών είναι δυνατόν, λόγω λανθασμένης συνδεσμολογίας ή λόγω ύπαρξης διαρροών, να εμφανιστούν μεγάλα επίπεδα μαγνητικών πεδίων στο περιβάλλον των καλωδιώσεων. Η εμφάνιση μεγάλων μαγνητικών πεδίων από τις ηλεκτρικές καλωδιώσεις είναι, δηλαδή, σύμπτωμα λανθασμένης ηλεκτρολογικής εγκατάστασης που ενδεχομένως να υποκρύπτει και κινδύνους ηλεκτροπληξίας στους χρήστες της εγκατάστασης.

### **4.14 Μέτρα προστασίας από ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές**

Από τις παρενέργειες και δυσλειτουργίες στον ιατρικό εξοπλισμό και από την κρισιμότητα της ομαλής λειτουργίας όλων των μηχανημάτων στο νοσοκομείο είναι φανερό ότι πρέπει να παρθούν μέτρα προστασίας, τόσο από εμάς όλους αλλά όσο και με την δραστική παρέμβαση των αρμόδιων αρχών (κρατικός μηχανισμός, υπηρεσίες νοσοκομείου, κατασκευαστές κ.τ.λ.) Είναι επιτακτική ανάγκη να νιώθουμε ασφαλείς και να είμαστε φυσικά σε έναν τέτοιο χώρο, όπως είναι το νοσοκομείο, μιας και η πιθανή επίσκεψή μας εκεί δεν θα έχει ψυχαγωγικό χαρακτήρα, αλλά μερικές φορές και ζωτικό για την ίδια μας την ζωή. Σε πολλές περιπτώσεις έχουν αναφερθεί ατυχήματα σε ιατρικό εξοπλισμό ή και λάθος μετρήσεις που κατά κύριο λόγο είχαν προκληθεί από ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές, δεν είναι της έρευνάς μας να αναλύσουμε και το ανθρώπινο λάθος στον λάθος χειρισμό. Όλοι οι προσωπικοί υπολογιστές (personal computers) αποτελούν μια

ισχυρή πηγή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Ειδικά τα μοντέρνα PC με Bluetooth / IR επικοινωνία, με ενσωματωμένους δέκτες TV/Radio, με οθόνες και ότι άλλο σύγχρονο 'αξεσουάρ' που ενώ μας διευκολύνουν την ζωή, συχνά μας δωρίζουν και με μια σημαντική ποσότητα ακτινοβολίας. Γι' αυτό και πρέπει να παρθούν μέτρα ελαχιστοποίησης πιθανών παρεμβολών σε ευαίσθητα ιατρικά όργανα. Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί με την κατασκευή ειδικών αιθουσών που θα φιλοξενούν όλους τους υπολογιστές και φυσικά θα είναι φτιαγμένες μακριά από τις 'ευάλωτες' αίθουσες των νοσοκομείων που φιλοξενούν τον ιατρικό εξοπλισμό που θέλουμε να διασφαλίσουμε την ομαλή και σωστή λειτουργία του. Φυσικά υπάρχει και η λύση της 'θωράκισης' της αίθουσας με ειδικό υλικό που αποτρέπει στις επικίνδυνες ακτινοβολίες να περάσουν εκτός.

Στις μέρες μας παρατηρείται ολοένα και περισσότερο η ανεξέλεγκτη χρήση των κινητών τηλεφώνων και μπίπερς (digital pagers) σε όλους τους χώρους των νοσοκομείων ακόμα και κοντά σε αίθουσες χειρουργείων. Είναι γνωστή η ακτινοβολία που εκπέμπουν και οι παρεμβολές που προκαλούν σε ιατρικά μηχανήματα, ας αναλογιστούμε πρώτοι εμείς τις ευθύνες μας και μαζί με την βοήθεια του εκάστοτε φορέα ας ελαχιστοποιήσουμε την χρήση των παραπάνω συσκευών. Μερικά μέτρα που μπορούν να ληφθούν είναι τα εξής:

- Κανένα κινητό τηλέφωνο δεν πρέπει να χρησιμοποιείται ή να μένει ανοιχτό στους διαδρόμους ή σε χώρους που βρίσκονται έναν ή δύο ορόφους πάνω ή κάτω από μία κλινική περιοχή. Επίσης, δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται συσκευές αμφίδρομης τηλεπικοινωνίας για τη μετάδοση μηνυμάτων.

- Κανένα κινητό τηλέφωνο δεν πρέπει να χρησιμοποιείται ή να μένει ανοιχτό στο προαύλιο, σε μονοπάτια και σε δρόμους γύρω από το Νοσοκομείο, εφόσον η απόστασή τους από οποιαδήποτε κλινική περιοχή είναι μικρότερη των 10 μέτρων. Επίσης, δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται συσκευές αμφίδρομης τηλεπικοινωνίας για τη μετάδοση μηνυμάτων.

- Τα ασύρματα τηλέφωνα μέσα στους θαλάμους θα πρέπει να αντικατασταθούν από μόνιμες εγκαταστάσεις.

- Ο κανόνας των 10 μέτρων παρέχει τη δυνατότητα επιλογής μεταξύ δύο μεθόδων για την αντιμετώπιση του κινδύνου από τα κινητά / ασύρματα τηλέφωνα και τις συσκευές αμφίδρομης τηλεπικοινωνίας: 1) ολοκληρωτική απαγόρευση της χρήσης τους, ή 2) καθορισμό ασφαλών περιοχών όπου θα επιτρέπεται η χρήση των συσκευών αυτών.
- Όλοι οι θάλαμοι, οι κλινικές και οι χώροι που βρίσκονται κοντά σε κλινικές περιοχές, ανελκυστήρες και διαδρόμους θα πρέπει να φέρουν κατάλληλη σήμανση απαγόρευσης της χρήσης κινητών / ασύρματων συσκευών. Το ίδιο ισχύει και για τα προαύλια, τα μονοπάτια και τους δρόμους εκτός του νοσοκομείου, που βρίσκονται σε απόσταση μικρότερη των 10 μέτρων από οποιαδήποτε κλινική περιοχή.
- Οι ασφαλείς περιοχές πρέπει να φέρουν κατάλληλη σήμανση διαχωρισμού τους από τις λοιπές περιοχές, ενώ το προσωπικό τους θα πρέπει να είναι ενημερωμένο ως προς την παροχή οδηγιών και κατευθύνσεων στους επισκέπτες και ασθενείς, σχετικά με τη χρήση κινητών τηλεφώνων και συσκευών αμφίδρομης τηλεπικοινωνίας.
- Στους χώρους του προσωπικού θα πρέπει να είναι αναρτημένες εκ-παιδευτικές αφίσες για την ενημέρωση νέων υπαλλήλων.
- Οι θυρωροί των νοσοκομείων πρέπει να χρησιμοποιούν τις συσκευές αμφίδρομης τηλεπικοινωνίας, ως επί το πλείστον, σαν δέκτες. Η εκπομπή μηνυμάτων από μία κλινική περιοχή πρέπει να γίνεται μόνο στην περίπτωση εκτάκτου ανάγκης. Σε οποιαδήποτε άλλη περίπτωση η εκπομπή μηνυμάτων πρέπει να γίνεται από τις ασφαλείς περιοχές.
- Το προσωπικό ασφαλείας και εκτάκτου ανάγκης μπορεί να συνεχίσει τη χρήση κινητών τηλεφώνων και συσκευών αμφίδρομης τηλεπικοινωνίας, όταν βρίσκεται εντός του νοσοκομείου, αλλά με κάποια σύνεση. Επίσης, οι φύλακες και το προσωπικό των ασθενοφόρων πρέπει να ενημερώνονται για την πολιτική αυτή και στις συνέπειές της, όταν αυτό είναι δυνατό.

#### **4.15 Προκαλεί η ακτινοβολία της κινητής τηλεφωνίας πονοκέφαλο και διαταραχές ύπνου**

Έρευνες στη Σκανδιναβία έδειξαν, ότι άτομα που χρησιμοποιούν πολύ το κινητό τηλέφωνο, αναφέρουν συχνότερα πονοκεφάλους, κούραση και φαγούρες σε σχέση με άτομα που το χρησιμοποιούν λιγότερο. Αν αυτά τα συμπτώματα είναι συνέπεια της ακτινοβολίας του κινητού τηλεφώνου, ή επακόλουθο του αγχώδους καθημερινού βίου του ατόμου που χρησιμοποιεί πολύ το κινητό, δεν έχει διευκρινισθεί επί του παρόντος.

Σε μια εργαστηριακή έρευνα που πραγματοποιήθηκε σε ομάδα εθελοντών παρουσιάστηκε ένας επηρεασμός των φάσεων του ύπνου, όταν κατά τη διάρκεια της νύκτας αυτοί ήταν εκτεθειμένοι στην ακτινοβολία ενός κινητού τηλεφώνου σε απόσταση 40 εκατοστών από το κεφάλι τους. Αν μια τέτοια επίδραση υφίσταται και στην περίπτωση των σημαντικά ασθενέστερων τιμών ακτινοβολίας που εκπέμπονται από κάποιο σταθμό Βάσης, παραμένει ως ερώτημα.

#### **4.16 Μπορεί η ακτινοβολία των κινητών τηλεφώνων να προκαλέσει καρκίνο;**

Σε πολλές έρευνες επιβεβαιώθηκε, ότι ακόμη και **ακτινοβολία υψηλής συχνότητας πολύ μεγάλης ισχύος δεν μπορεί να προκαλέσει μεταβολές στο γονότυπο**. Γι' αυτό η υψίσυχη ακτινοβολία δεν θεωρείται καρκινογόνα.

**Αντίθετα, δεν μπορεί να αποκλεισθεί ότι η αύξηση όγκων, αφού δημιουργηθούν, θα μπορούσε να ευνοείται.** Σε μια αυστραλιανή έρευνα, γενετικά μεταλλαγμένα ποντίκια ανέπτυξαν με αυξημένη συχνότητα όγκους, όταν ήταν εκτεθειμένα για μακρύ χρονικό διάστημα σε ακτινοβολία κινητής τηλεφωνίας. Αν αυτό είναι επίφοβο και για τους ανθρώπους, δεν μπορεί ούτε να αποδειχθεί, ούτε να αποκλεισθεί βάσει αυτής της μιας έρευνας.

Για να διαγνωσθούν τέτοιοι κίνδυνοι, διενεργούνται επί του παρόντος ευρύτατες έρευνες σε ομάδες ατόμων που χρησιμοποιούν κινητά τηλέφωνα. Τελικά αποτελέσματα δεν υπάρχουν ακόμη.



#### **4.17 Επηρεάζει η ακτινοβολία της κινητής τηλεφωνίας τα ακουστικά βαρηκοΐας**

Η παλμική ακτινοβολία του κινητού τηλεφώνου μπορεί να προκαλέσει παρεμβολές σε μερικά ακουστικά Βαρηκοΐας. Ακόμα και σε απόσταση ενός μέτρου μπορεί να προκύψουν παρεμβολές. Τα άτομα που φορούν ακουστικό βαρηκοΐας νοιώθουν αυτές τις παρεμβολές σαν βουητό στο αυτί.

Αν φοράτε ακουστικό βαρηκοΐας και θέλετε να χρησιμοποιήσετε κινητό τηλέφωνο, ρωτήστε αν το ακουστικό σας είναι συμβατό με την ακτινοβολία της κινητής τηλεφωνίας (τα μικρά ακουστικά μέσα στο αυτί είναι λιγότερο ευαίσθητα στις παρεμβολές από τα ακουστικά που φοριούνται πίσω από το αυτί). Οι κατασκευαστές προσφέρουν εξ άλλου βοηθήματα για να μην είστε αναγκασμένος να κρατάτε το κινητό τηλέφωνο σε επαφή με το αυτί.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### Εισαγωγή

Στο τελευταίο κεφάλαιο αυτής της εργασίας παρουσιάζονται μελέτες που αποδεικνύουν ότι παρόλο που υπάρχουν όρια ασφαλείας τα οποία έχουν προκύψει από πειράματα Ελλήνων και ξένων ερευνητών, υπάρχουν τιμές που μπορούν να προκαλέσουν βλάβες στους ζώντες οργανισμούς.

Επίσης, σε αυτό το κεφάλαιο θα προσδιοριστεί το κέρδος και η απόσταση ασφαλείας από κεραίες χοάνης. Σύμφωνα με τα δεδομένα που έχουμε χρησιμοποιήσει η συγκεκριμένη απόσταση έχει επιτευχθεί βάση των ορίων ασφαλείας της ΕΕΑΑ και από τον παγκόσμιο οργανισμό υγείας μέσα από τις εκθέσεις τους. Το πείραμα αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την προστασία από την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, γνωστοποιώντας έτσι την ασφαλή απόσταση που πρέπει να υπάρχει από μία κεραία παραγωγής ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Στην παρούσα μελέτη η συχνότητα εκπομπής της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας έχει ρυθμιστεί 9 GHz. Αφού η συχνότητα εκπομπής της κεραίας έχει οριστεί, παρακάτω θα γίνουν κάποια βήματα για την εύρεση της ασφαλούς απόστασης που θα πρέπει να έχουμε από την κεραία. Θα πρέπει να βρούμε την απολαβή  $G$  της κεραίας καθώς και το μήκος κύματος  $\lambda$  της κεραίας, σύμφωνα με τους κατάλληλους μαθηματικούς τύπους.

ΖΩΝΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ	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 <sup>2</sup> )
2 – 300 GHz	51	0,134	0,167	<b>6</b>

**Πίνακας 5.1** Επίπεδα αναφοράς για τα επίπεδα πεδίων στην περιοχή συχνοτήτων 2GHz – 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.

### 5.1 Περιοχή μακρινού πεδίου (far field region)

Ο υπολογισμός του μεγέθους της πυκνότητας ισχύος  $S$  που εκπέμπεται γίνεται με βάση τον ακόλουθο τύπο:

όπου

$$S_{ff} = \frac{P_{in} \cdot G}{4\pi R^2}$$

- $S_{ff}$ : η πυκνότητα ισχύος, σε W/m<sup>2</sup>,
- $P_{in}$ : η μέγιστη ισχύς στην είσοδο της κεραίας σε Watt,
- $G$ : το κέρδος της κεραίας στην κατεύθυνση ενδιαφέροντος,
- $R$ : η απόσταση από το κέντρο της κεραίας της θέσης υπολογισμού της ισχύος ακτινοβολίας, σε m (για αποστάσεις μεγαλύτερες από  $R_{ff}$ )

Ο προσδιορισμός ασφαλούς απόστασης ( $R$ ) από κεραία εκπομπής μικροκυμάτων θα επιτευχθεί μέσω της σχέσης  $S_{ff} = \frac{P_{in} \cdot G}{4\pi R^2}$ . Κατά την εφαρμογή της παραπάνω σχέσης για τον προσδιορισμό του ( $R$ ) η πυκνότητα ισχύος θα προκύψει από τους πίνακες της ΕΕΑΑ και από του παγκόσμιου οργανισμού υγείας για ασφαλή έκθεση και η απολαβή της κεραίας θα προκύψει πειραματικά.

## 5.2 Προσδιορισμός κέρδους κεραίας (G)

Όπως είναι γνωστό η ισχύς ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε απόσταση ( $R$ ) από τη πηγή της περιγράφεται από τη σχέση:

$$P(R) = \frac{P_{\pi} \cdot G_{\pi} \cdot G_{\delta} \cdot \lambda_0^2}{16 \cdot \pi^2} \cdot \frac{1}{R^2}$$

όπου:

- $P_r$ : η ισχύς που εκπέμπει η κεραία σε απόσταση  $r$ , μετρημένη σε W,
- $\lambda_0$ : το μήκος κύματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στο κενό,
- $G$ : το κέρδος της κεραίας στην κατεύθυνση ενδιαφέροντος
- $R$ : η απόσταση από το κέντρο της κεραίας της θέσης υπολογισμού της ισχύος ακτινοβολίας, σε m (για αποστάσεις μεγαλύτερες από  $R_{ff}$ )

Από την σχέση  $P(R) = \frac{P_{\pi} \cdot G_{\pi} \cdot G_{\delta} \cdot \lambda_0^2}{16 \cdot \pi^2} \cdot \frac{1}{R^2}$  είναι δυνατόν να προσδιοριστεί το κέρδος  $G$  της

κεραίας μέσω της κλίσης της ευθείας  $P_r \left( \frac{1}{R^2} \right)$ , όπου η κλίση θα ισούται με  $\frac{P_{\pi} \cdot G_{\pi} \cdot G_{\delta} \cdot \lambda_0^2}{16 \cdot \pi^2}$ .

Είναι προφανές πως για προσδιοριστεί το  $G$  μέσω της κλίσης θα πρέπει πρώτα να προσδιοριστεί το

$\lambda_0$ , δηλαδή το μήκος κύματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στο κενό. Για το λόγω αυτό στην παρούσα μελέτη έχει προσδιοριστεί το μήκος κύματος των μικροκυμάτων που εκπέμπει η πηγή με την μέθοδο των στάσιμων κυμάτων. Υπενθυμίζεται ότι η συχνότητα εκπομπής της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας έχει ρυθμιστεί στα 9 GHz.

### **5.3 Εύρεση της καλύτερης ευθείας (Μέθοδος Ελάχιστων Τετραγώνων)**

Όταν μελετάμε πειραματικά ένα φαινόμενο, ένα από τα πιο σημαντικά βήματα της ανάλυσης των αποτελεσμάτων του πειράματος είναι, αρχικά, η παρουσίαση των μετρήσεων σε μία (κατάλληλη) γραφική παράσταση και στη συνέχεια, με την βοήθεια της γραφικής παράστασης, η προσπάθεια εύρεσης μιας σχέσης (εξίσωσης) η οποία να συνδέει τις μετρήσεις. Έστω, λοιπόν, ότι από το πείραμα έχουμε πάρει ένα σετ από  $N$  μετρήσεις:

$$(x_i, y_i) \text{ με } i = 1, 2, 3, 4, \dots, N$$

όπου  $x$  η ανεξάρτητη μεταβλητή, την οποία μεταβάλλουμε εμείς στο πείραμα και  $y$  η εξαρτημένη μεταβλητή, την τιμή της οποίας μετράμε.

Σε ορισμένες περιπτώσεις η σχέση των μεταβλητών  $x$  και  $y$  είναι γραμμική, δηλαδή είναι της μορφής:

$$y = \beta x + \alpha$$

όπου  $\alpha$  και  $\beta$  δύο αριθμητικές σταθερές. Στην περίπτωση λοιπόν που διαπιστώνεται από την γραφική παράσταση ότι τα πειραματικά μας σημεία συνδέονται με μία γραμμική σχέση, μπορούμε

να βρούμε την σχέση που την περιγράφει χρησιμοποιώντας την μέθοδο της ευθείας των ελαχίστων τετραγώνων (linear least square fit).

Η ευθεία των ελαχίστων τετραγώνων είναι η ευθεία εκείνη, από όλες τις ευθείες που θα μπορούσαμε να σχεδιάσουμε και να περνούν ανάμεσα από τα σημεία, για την οποία το άθροισμα των τετραγώνων των αποστάσεων του κάθε σημείου από την ευθεία γίνεται ελάχιστο, με λίγα λόγια είναι η καλλίτερη ευθεία που μπορούμε να σχεδιάσουμε για τα πειραματικά μας δεδομένα. Οι συντελεστές  $\alpha$  και  $\beta$  με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων  $Y = \alpha + \beta X$  δίνονται από τις σχέσεις:

$$\beta = \frac{N \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{N \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \text{ (κλίση της ευθείας) και}$$

$$a = \frac{\sum x_i^2 \sum y_i - \sum x_i \sum x_i y_i}{N \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

όπου  $N$  είναι το πλήθος των μετρήσεων.

#### **5.4 Στάσιμα Κύματα**

Όταν δυο κύματα ίδιου πλάτους και ίδιας συχνότητας διαδίδονται με αντίθετη φορά, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.1, μέσα στο ίδιο μέσο τότε λέμε ότι τα κύματα συμβάλλουν. Το αποτέλεσμα της συμβολής δυο τέτοιων κυματικών διαταραχών είναι ένα στάσιμο κύμα του οποίου το πλάτος ταλάντωσης κάθε σημείου του είναι “στατικό”. Έτσι λοιπόν το στάσιμο κύμα έχει ορισμένα σημεία τα οποία έχουν μηδενικό πλάτος ταλάντωσης και άλλα σημεία που έχουν μέγιστο πλάτος ταλάντωσης. Η θέση των σημείων αυτών δεν μεταβάλλεται με τον χρόνο.



**Σχήμα 5.1** Δυο κύματα που διαδίδονται στο ίδιο μέσο με αντίθετη φορά.

Με δυο λόγια στάσιμο κύμα ονομάζεται το αποτέλεσμα της συμβολής δυο κυμάτων της ίδιας συχνότητας και του ίδιου πλάτους που διαδίδονται στο ίδιο μέσο με αντίθετες κατευθύνσεις.

Θεωρούμε ότι δυο μονοδιάστατα κύματα με τα παραπάνω χαρακτηριστικά διαδίδονται σε αντίθετες κατευθύνσεις, επίσης υποθέστε ότι τα παραπάνω κύματα περιγράφουν το ηλεκτρικό πεδίο ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος. Οι εξισώσεις των δυο κυμάτων θα είναι:

$$y_1 = E_0 \sin(kx - \omega t) \text{ και } y_2 = E_0 \sin(kx + \omega t)$$

όπου το  $y_1$  περιγράφει μια κυματική διαταραχή που διαδίδεται προς τα δεξιά και το  $y_2$  μια όμοια με την  $y_1$  αλλά διαδιδόμενη προς τα αριστερά. Προσθέτουμε τις δυο κυματοσυναρτήσεις και βρίσκουμε την κυματοσυνάρτηση της συνισταμένης διαταραχής  $y$ .

$$y = y_1 + y_2 = E_0 \sin(kx - \omega t) + E_0 \sin(kx + \omega t)$$

όπου  $k = 2\pi/\lambda$  ως γνωστό είναι ο κυματικός αριθμός και  $\omega = 2\pi f$  είναι η κυκλική συχνότητα.

Χρησιμοποιούμε την τριγωνομετρική ταυτότητα  $\sin a + \sin b = 2 \cos\left(\frac{a-b}{2}\right) \sin\left(\frac{a+b}{2}\right)$  και

βρίσκουμε:  $y = (2E_0 \sin kx) \cos \omega t$  εξίσωση στάσιμου κύματος.

Η παραπάνω σχέση μπορεί να πάρει τη μορφή  $y = A' \cos \omega t$  (όπου  $A' = 2E_0 \sin kx$ ) που είναι η εξίσωση μια απλής αρμονικής ταλάντωσης. Επομένως κάθε σημείο του μέσου διάδοσης



εκτελεί μια απλή αρμονική ταλάντωση. Το πλάτος της ταλάντωσης  $|A'|$  δεν είναι ίδιο για όλα τα σημεία αλλά εξαρτάται από τη θέση του σημείου στο χώρο (είναι συνάρτηση του  $x$ ), όπως φαίνεται και στο σχήμα 1.2 από τα διαφορά στιγμιότυπα του στάσιμου κύματος. Τα σημεία που βρίσκονται σε τέτοια θέση  $x$  ώστε:  $A' = 0 \Rightarrow 2E_0 \sin kx = 0 \Rightarrow 2E_0 \sin \frac{2\pi}{\lambda} x = 0 \Rightarrow \sin \frac{2\pi}{\lambda} x = 0$  δηλαδή

$$\frac{2\pi}{\lambda} x = n\pi \text{ οπου } n = 0, 1, 2, 3, \dots \text{ ή } x = \frac{n\lambda}{2} \quad (1.1) \text{ έχουν μηδενικό πλάτος και παραμένουν συνεχώς}$$

ακίνητα. Είναι οι δεσμοί του στάσιμου κύματος.

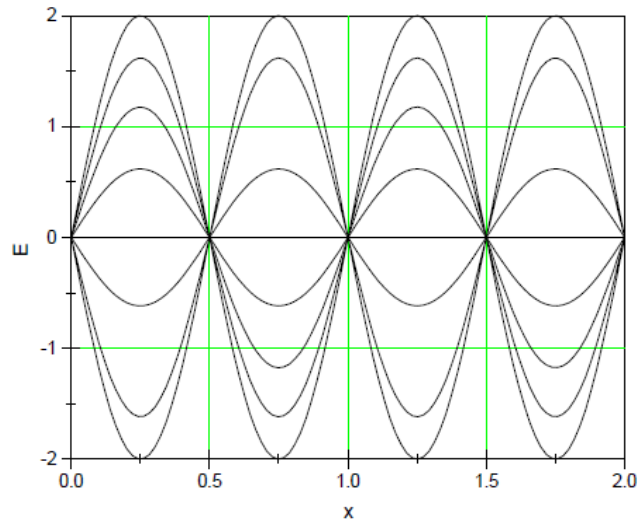
Τα σημεία που βρίσκονται σε τέτοια θέση  $x$  ώστε:

$$A' = \pm 2E_0 \Rightarrow 2E_0 \sin \frac{2\pi}{\lambda} x = \pm 2E_0 \Rightarrow \sin \frac{2\pi}{\lambda} x = \pm 1 \text{ δηλαδή } \frac{2\pi}{\lambda} x = \frac{2n+1}{2} \pi \text{ οπου } n = 0, 1, 2, 3, \dots \text{ ή}$$

$$x = n \frac{\lambda}{2} + \frac{\lambda}{4} \quad (1.2) \text{ έχουν μέγιστο πλάτος ίσο με } 2A_0. \text{ Αποτελούν τις κοιλίες του στάσιμου κύματος.}$$

Από τις σχέσεις (1.1) και (1.2) προκύπτει ότι η απόσταση μεταξύ δυο διαδοχικών δεσμών ή δυο διαδοχικών κοιλιών είναι ίση με το μισό του μήκους κύματος  $\lambda$  των κυμάτων από τη συμβολή των οποίων προήλθε το στάσιμο κύμα.

Στο παρακάτω σχήμα 5.2 φαίνονται οι ταλαντώσεις του ηλεκτρικού πεδίου ενός στάσιμου κύματος που δημιουργείται από την συμβολή δύο κυμάτων που έχουν μήκος κύματος  $\lambda = 1 \text{ cm}$ .



**Σχήμα 5.2** Οι ταλαντώσεις του ηλεκτρικού πεδίου ενός στάσιμου κύματος.

Ανάλογες εξισώσεις με αυτές του ηλεκτρικού πεδίου, ισχύουν και για το μαγνητικό πεδίο του ηλεκτρομαγνητικού κύματος.

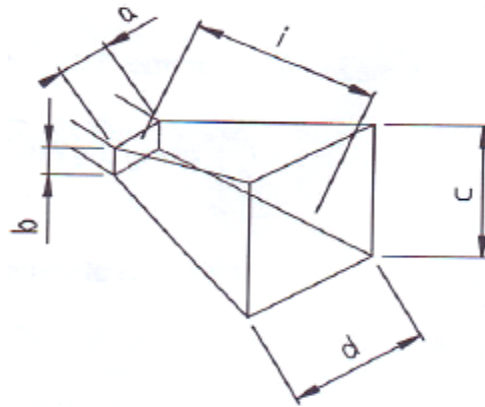
Είναι γενικά πολύ εύκολο από ένα οδεύων κύμα να δημιουργηθούν στάσιμα κύματα. Το μόνο που χρειάζεται είναι να τοποθετήσουμε κάθετα έναν ανακλαστήρα (μία μεταλλική πλάκα για τα μικροκύματα ή ένα καθρέφτη για το ορατό φως) μπροστά από την διεύθυνση διάδοσης του κύματος. Το ανακλώμενο κύμα θα συμβάλει με το οδεύων δημιουργώντας στάσιμα κύματα. Η συχνότητα του οδεύοντος κύματος δίνεται (ως γνωστόν) από την σχέση

$$f = \frac{c}{\lambda}$$

όπου  $c$  η ταχύτητα του φωτός (περίπου  $3 \cdot 10^8$  m/sec) και  $\lambda$  το μήκος κύματος ηλεκτρομαγνητικού του κύματος.

Η πλέον κοινή και εύκολη μέθοδος προσδιορισμού του μήκους κύματος της μικροκυματικής ακτινοβολίας είναι εκείνη των στάσιμων κυμάτων. Αυτή βασίζεται στη μέτρηση της απόστασης μεταξύ δυο συνεχόμενων μεγίστων ("κοιλιών") ή δυο συνεχόμενων ελαχίστων ("δεσμών"), η

οποία απόσταση αντιστοιχεί σε μήκος κύματος  $\lambda/2$ . Οι χοάνες (σχήμα 5.3) του πομπού Π και του δέκτη Δ ενεργούν σε κάποιο μικρό βαθμό και ως ανακλαστήρες των μικροκυμάτων τα οποία όταν ανιχνεύονται στο δεκτή με την ίδια φάση ως προς την αρχική δέσμη, ο μετρητής δείχνει τη μέγιστη ένδειξη.



**Σχήμα 5.3.** Χοάνη πομπού και δέκτη, οι μεταλλικές επιφάνειες τους λειτουργούν ως ανακλαστήρες για τα μικροκύματα.

Αν η θέση Δ ως προς το Π είναι τέτοια ώστε η μεταξύ τους απόσταση  $x = L$  να είναι ίση με  $\lambda/2$ , ή με ακέραιο πολλαπλάσιο του τότε αναμένεται η δημιουργία στάσιμων κυμάτων. Έτσι η συνθήκη για δημιουργία στάσιμων κυμάτων θα είναι:

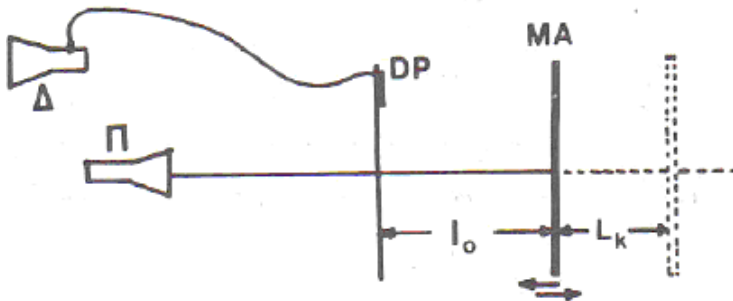
$$L = n \lambda/2, \text{ Συνθήκη Στάσιμων Κυμάτων όπου το } n = 1, 2, 3, 4, \dots$$

Για την ελαχιστοποίηση των σφαλμάτων ανάγνωσης των θέσεων πομπού-δέκτη, συνήθως ακολουθείται η ακόλουθη πειραματική διαδικασία: Ο δέκτης Δ μετακινείται μέχρι να παρουσιαστεί το πρώτο μέγιστο σήμα ή ελάχιστο, όπως παρατηρείται στην οθόνη του παλμογράφου, σε κάποια απόσταση  $x = L_1$  από το πομπό. Πλησιάζοντας ή απομακρύνοντας τον Δ από τον Π, παρουσιάζονται διαδοχικά μέγιστα και ελάχιστα στο σήμα του Δ. Αν η νέα θέση του Δ σε απόσταση  $x = L_2$  από τον Π, n είναι διαδοχικά μέγιστα τότε θα ισχύει:

$$\Delta L = L_2 - L_1 = n \lambda/2 \text{ όπου το } n = 1, 2, 3, 4, \dots$$

Με τη μέτρηση του  $\Delta L$  και του ακέραιου αριθμού k, προσδιορίζεται εύκολα το μήκος κύματος  $\lambda$  των μικροκυμάτων του δέκτη.

Μια ιδιαιτερότητα στη μέθοδο των στάσιμων κυμάτων με μικροκύματα είναι η παρεμβολή ενός ευαίσθητου ανιχνευτή DP (detection probe) μεταξύ του πομπού Π μικροκυμάτων και ενός μεταλλικού ανακλαστήρα MA, έχοντας τη χοάνη του δεκτή Δ πίσω από τον πομπό Π, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα 8.4.



**Σχήμα 5.4.** Σχηματική διάταξη για τον προσδιορισμό του μήκους κύματος  $\lambda$  μικροκυμάτων με τη μέθοδο στάσιμων κυμάτων, χρησιμοποιώντας ειδικό ανιχνευτή DP.

Με τη μετακίνηση του MA ως προς τον DP (ή αντίστροφα) για τη δημιουργία στάσιμων κυμάτων, γίνεται δυνατός ο προσδιορισμός του  $\lambda$  με μεγιστοποίηση του σήματος λήψης σε διάφορες θέσεις, οπότε  $L_n = n\lambda/2$  όπου  $n$  είναι διαδοχικά μέγιστα ή ελάχιστα του σήματος, που καταγράφονται στο δεκτή Δ. Στη συνέχεια περιγράφεται η πειραματική διαδικασία σύμφωνα με την οποία η εύρεση του μήκους κύματος  $\lambda$  επιτυγχάνετε με την μέθοδο των στάσιμων κυμάτων χωρίς την χρήση ανιχνευτή.

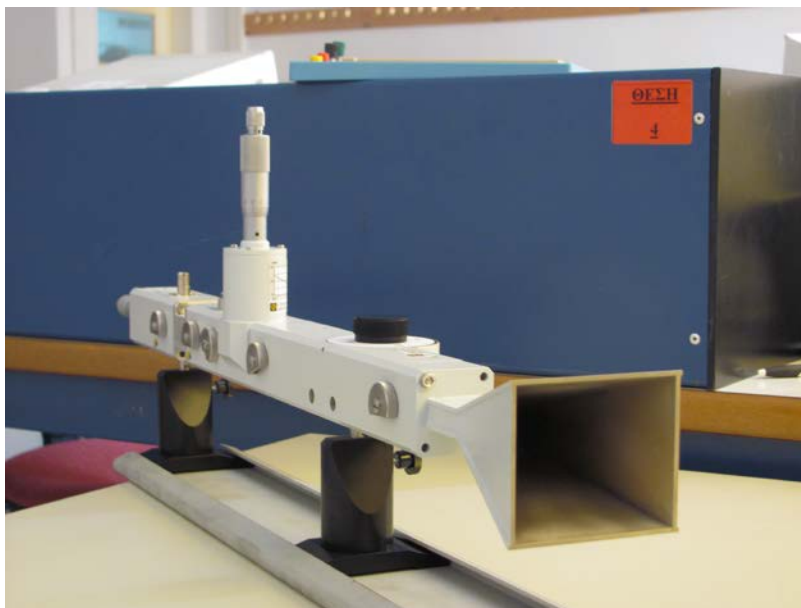
### **5.5 Προσδιορισμός $\lambda$ με τη μέθοδο στάσιμων κυμάτων, χωρίς χρήση ανιχνευτή DP.**

Αρχικά τοποθετήθηκαν τα διαφορά όργανα, όπως δείχνει το παρακάτω σχήμα. Επιβεβαιώθηκε ότι πομπός και δέκτης βρίσκονται στην ίδια ευθεία και ότι οι χοάνες τους έχουν τον ίδιο προσανατολισμό όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα 1.6. Μεταξύ του πομπού και δεκτή δημιουργούνται στάσιμα κύματα για το λόγω ότι οι μεταλλικές τους επιφάνειες μπορούν και ανακλούν τα μικροκύματα.



**Εικόνα 5.1.** Διάταξη για τη μέτρηση του μήκους κύματος  $\lambda$  μικροκυμάτων με τη μέθοδο στάσιμων κυμάτων χωρίς τη χρήση του ειδικού ανιχνευτή DP.

Μετακινώντας με αργό ρυθμό τους Π (κεραία πομπός) και Δ (κεραία δέκτης), ρυθμίστηκε ώστε ο παλμογράφος να δείχνει μέγιστη ένδειξη. Στη συνέχεια, μετακινώντας μόνο τον Δ, απομακρύνοντας τον από τον Π, και σημειώθηκε η αρχική θέση  $L_0$  του Δ για μέγιστη ένδειξη του παλμογράφου. Στα παρακάτω σχήματα παρουσιάζονται κεραία πομπός και η κεραία δέκτης.



**Εικόνα 5.2.** Κεραία πομπός.



**Εικόνα 5.3.** Κεραία δέκτης.

Με την παραπάνω διαδικασία καταγράφηκε ο  $n$  αριθμός μέγιστων που περιέχονται μέσα σε απόσταση  $L_n$ , όπου  $L_n$  η απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

### **5.6 Προσδιορισμός $\lambda_0$ με τη μέθοδο των ελάχιστων τετραγώνων.**

Για τον προσδιορισμό του μήκους κύματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας της κεραίας-πομπού με την μέθοδο των ελάχιστων τετραγώνων κατασκευάστηκε ο παρακάτω πίνακας.

<b>A/A</b>	<b>n=αριθμός μέγιστων</b>	<b><math>L_n</math> = απόσταση μέσα στη οποία περιέχονται n μέγιστα.</b>	<b>Γινόμενο <math>n_i \cdot L_i</math></b>	<b><math>n_i^2</math></b>
<b>1</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>2</b>	<b>3,7</b>	<b>7,4</b>	<b>4</b>

<b>3</b>	<b>3</b>	<b>5,1</b>	<b>15,3</b>	<b>9</b>
<b>4</b>	<b>4</b>	<b>6,7</b>	<b>26,8</b>	<b>16</b>
<b>5</b>	<b>5</b>	<b>8,8</b>	<b>44</b>	<b>25</b>
<b>6</b>	<b>6</b>	<b>10,1</b>	<b>60,6</b>	<b>36</b>
<b>7</b>	<b>7</b>	<b>11,8</b>	<b>82,6</b>	<b>49</b>
<b>8</b>	<b>8</b>	<b>13,6</b>	<b>108,8</b>	<b>64</b>
<b>9</b>	<b>9</b>	<b>15,2</b>	<b>136,8</b>	<b>81</b>
<b>10</b>	<b>10</b>	<b>16,7</b>	<b>167</b>	<b>100</b>
	$\sum n_i = 55$	$\sum L_i = 93,7$	$\sum n_i \cdot L_i = 651,3$	$\sum n_i^2 = 385$

**Πίνακας 5.2**

Στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι προφανές πως ο συντελεστής  $\alpha$  είναι μηδέν και η ευθεία διέρχεται από την αρχή των αξόνων. Για την κλίση θα έχουμε

$$\lambda_0/2 = \frac{N \sum niLi - \sum ni \sum Li}{N \sum ni^2 - (\sum ni)^2} \Rightarrow \lambda_0/2 = \frac{10 \cdot 651,3 - 55 \cdot 93,7}{10 \cdot 385 - 55^2} \Rightarrow \lambda_0/2 = \frac{6513 - 5153,5}{3850 - 3025} \Rightarrow$$

$$\lambda_0/2 = \frac{1359,5}{825} \Rightarrow \lambda_0/2 = 1,64 \Rightarrow \lambda_0 = 3,28cm$$

-Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί το γεγονός ότι το μήκος κύματος  $\lambda_0$  της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας της κεραίας που προσδιορίστηκε με την μέθοδο των ελάχιστων τετραγώνων είναι ακριβώς το ίδιο αποτέλεσμα που προσδιορίστηκε γραφικά με την χρήση του

EXCEL. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα διαφορά υπολογιστικά πακέτα χρησιμοποιούν την συγκεκριμένη θεωρία για να κάνουν την καλύτερη προσαρμογή στα πειραματικά δεδομένα.

$$c = \lambda_{0,θεωρ.} \cdot f \Rightarrow 3 \cdot 10^8 = \lambda_{0,θεωρ.} \cdot 9 \cdot 10^9 \Rightarrow \lambda_{0,θεωρ.} = \frac{3 \cdot 10^8}{9 \cdot 10^9} \Rightarrow \lambda_{0,θεωρ.} = \frac{3 \cdot 10^8 \cdot 10^{-9}}{9}$$

$$\Rightarrow \lambda_{0,θεωρ.} = \frac{10^{-1}}{3} \Rightarrow \lambda_{0,θεωρ.} = 0,3333 \cdot 10^{-1} m \Rightarrow \lambda_{0,θεωρ.} = 3,333 \cdot cm$$

Στην παραπάνω σχέση όπου  $c = 3 \cdot 10^8 m/s$  είναι η ταχύτητα του φωτός στο κενό. Άρα η επί τοις εκατό απόκλιση της πειραματικής από τη θεωρητική τιμή θα είναι:

$$\alpha = \frac{|\lambda_{0,θεωρ} - \lambda_{0,πειρ}|}{\lambda_{0,θεωρ}} \cdot 100 \Rightarrow \alpha = \frac{|3,33 - 3,28|}{3,28} \cdot 100 \Rightarrow \alpha = 1,5\%$$

Όπως παρατηρείται η απόκλιση της θεωρητικής από της πειραματική τιμή είναι αρκετά μικρή, γεγονός που σημαίνει ότι οι πειραματικές μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με αρκετά μεγάλη ακρίβεια.

Στην συνέχεια και αφού έχει προσδιοριστεί το μήκος κύματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας  $\lambda_0$  μπορεί να προσδιοριστεί και η απολαβή της κεραίας  $G$ , μέσω της σχέσης:

$$P(R) = \frac{P_\pi \cdot G_\pi \cdot G_\delta \cdot \lambda_0^2}{16 \cdot \pi^2} \cdot \frac{1}{R^2}$$

όπου:

- $P_\pi$ : η ισχύς που εκπέμπει η κεραία σε απόσταση  $r$ , μετρημένη σε W,
- $\lambda_0$ : το μήκος κύματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στο κενό,
- $G_\pi$ : το κέρδος της κεραίας πομπού στην κατεύθυνση ενδιαφέροντος.
- $G_\delta$ : το κέρδος της κεραίας δέκτη στην κατεύθυνση ενδιαφέροντος,



- R: η απόσταση από το κέντρο της κεραίας της θέσης υπολογισμού της ισχύος ακτινοβολίας, σε m (για αποστάσεις μεγαλύτερες από  $R_{ff}$ )

Για τον προσδιορισμό του  $G$  χρησιμοποιήθηκε η ίδια διάταξη με το προηγούμενο πείραμα με τη μόνη διαφορά ότι τώρα καταγραφόταν η απόσταση R μεταξύ πομπού και δέκτη καθώς και το σήμα του δέκτη σε διάφορες αποστάσεις R. Το σήμα του δέκτη καταγραφόταν μέσω ενός παλμογράφου, όπου λόγω των στάσιμων κυμάτων μεταξύ πομπού και δέκτη είχε ληφθεί μέριμνα ο δέκτης να δείχνει μέγιστο σήμα, να απομακρύνεται από τον πομπό και να σταματά σε μέγιστο σήμα και στη συνέχεια να μετριέται η απόσταση μεταξύ πομπού και δεκτής.

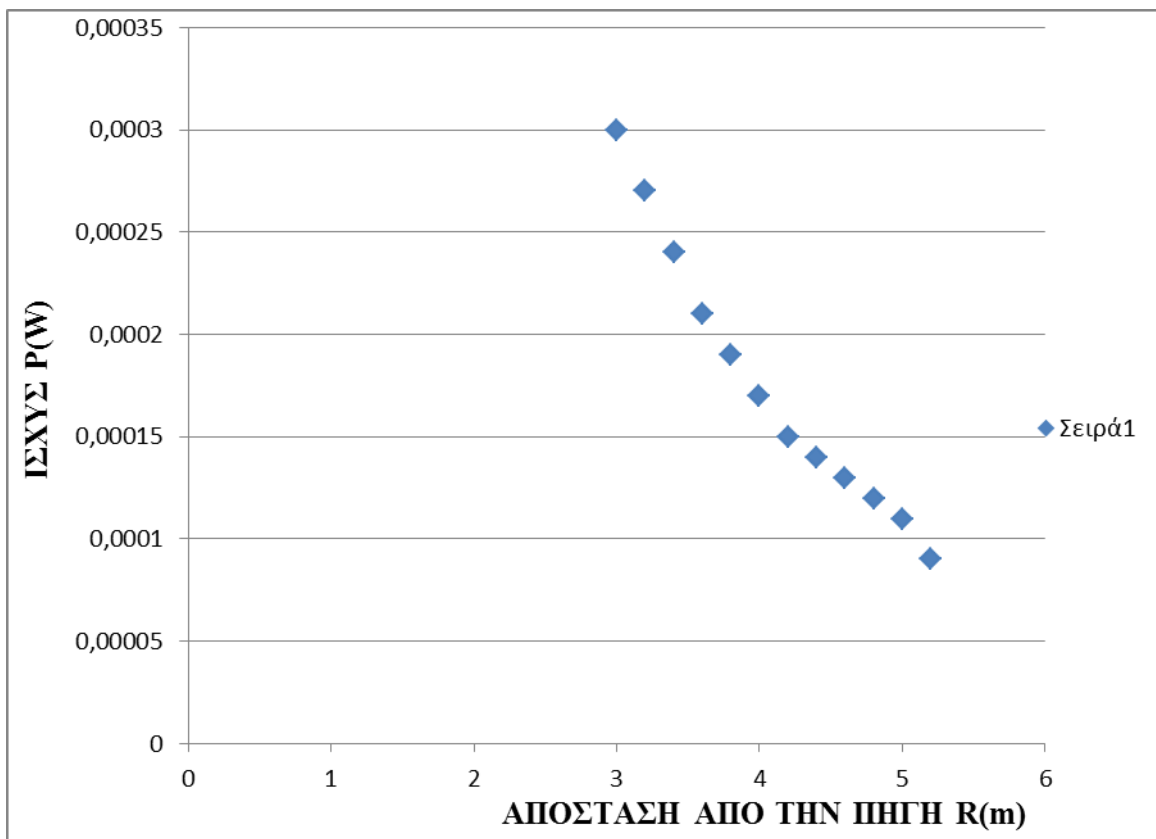
Με την παραπάνω διαδικασία καταγράφηκαν η παρακάτω πειραματικές μετρήσεις, οι οποίες παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

<b>Κεραία Χοανής</b>		
<b>A/A</b>	<b>Απόσταση από την πηγή R(m)</b>	<b>Καταγεγραμμένη Ισχύς P(W) σε απόσταση R(m)</b>
<b>1</b>	<b>3</b>	<b>0,00030</b>
<b>2</b>	<b>3,2</b>	<b>0,00027</b>
<b>3</b>	<b>3,4</b>	<b>0,00024</b>
<b>4</b>	<b>3,6</b>	<b>0,00021</b>
<b>5</b>	<b>3,8</b>	<b>0,00019</b>
<b>6</b>	<b>4</b>	<b>0,00017</b>
<b>7</b>	<b>4,2</b>	<b>0,00015</b>
<b>8</b>	<b>4,4</b>	<b>0,00014</b>
<b>9</b>	<b>4,6</b>	<b>0,00013</b>
<b>10</b>	<b>4,8</b>	<b>0,00012</b>

<b>11</b>	<b>5</b>	<b>0,00011</b>
<b>12</b>	<b>5,2</b>	<b>0,00009</b>

**Πίνακας 5.3**

Τα πειραματικά δεδομένα του παραπάνω πίνακα απεικονίζονται στην παρακάτω γραφική παράσταση  $P_r(R)$ , όπου όπως φαίνεται βρίσκονται πάνω σε μια καμπύλη.



**Σχήμα 5.5** Απεικόνιση πειραματικών σημείων για του υπολογισμό του κέρδους κεραίας.

Το αποτέλεσμα αυτό είναι σε συμφωνία και με τη θεωρία αφού η σχέση που περιγράφει την

εξάρτηση του  $P_r$  με το  $R$  είναι η σχέση  $P(R) = \frac{P_\pi \cdot G_\pi \cdot G_\delta \cdot \lambda^2_0}{16 \cdot \pi^2} \cdot \frac{1}{R^2}$  (είναι δηλαδή μια

συνάρτηση της μορφής  $Y = \frac{A_2}{X^2}$  όπου  $A_2$  είναι μια σταθερά). Στην συγκεκριμένη πειραματική

διάταξη το  $G \propto P \propto G$ . Άρα η παραπάνω σχέση θα γίνει  $P(R) = \frac{P_\pi \cdot G^2 \cdot \lambda_0^2}{16 \cdot \pi^2} \cdot \frac{1}{R^2}$

Προκειμένου να προσδιοριστεί η απολαβή  $G$  της κεραίας κατασκευάζεται η γραφική παράσταση  $P_r \left( \frac{1}{R^2} \right)$  η οποία θα είναι μια ευθεία με κλίση  $A = \frac{P_\pi \cdot G^2 \cdot \lambda_0^2}{16 \cdot \pi^2}$ . Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η συγκεκριμένη γραφική, η οποία όπως φαίνεται είναι μια ευθεία, της οποίας η κλίση όπως αυτή έχει προσδιοριστεί γραφικά, χρησιμοποιώντας τη συνάρτηση SLOPE στο υπολογιστικό πακέτο EXCEL, είναι:

$$A = \frac{P_\pi \cdot G^2 \cdot \lambda_0^2}{16 \cdot \pi^2} \Rightarrow 2,782 \cdot 10^{-3} = \frac{10^{-3} \cdot 100 \cdot G^2 \cdot (3,28 \cdot 10^{-2})^2}{16 \cdot (3,14)^2} \Rightarrow 2,782 = \frac{G^2 \cdot 10,75 \cdot 10^{-2}}{157,6} \Rightarrow$$

$$G^2 \cdot 10^{-2} \cdot 10,75 = 438,6 \Rightarrow G^2 \cdot 10^{-2} = 40,8 \Rightarrow G^2 = 4080 \Rightarrow G = \sqrt{4080} \Rightarrow G = 63,87(W)$$

Για τον υπολογισμό του σφάλματος του  $G$  σε  $W$  θα έχουμε:

$$\sigma(G) = \pm \left\{ \left( \frac{\partial G(P_R, R)}{\partial P} \cdot \sigma(P) \right)^2 + \left( \frac{\partial G(P_R, R)}{\partial R} \cdot \sigma(R) \right)^2 \right\}^{1/2} \quad \text{όπου } \sigma(P) \text{ και } \sigma(R) \text{ τα σφάλματα στα συγκεκριμένα}$$

μετρούμενα μεγέθη. Οπότε  $G(P_R, R) = \frac{4\pi R}{\lambda_0} \left\{ \frac{P_R}{P_e} \right\}^{1/2}$  και οι μερικές παράγωγοι θα είναι

$$\frac{\partial G(P_R, R)}{\partial R} = \frac{4\pi}{\lambda_0} \left\{ \frac{P_R}{P_e} \right\}^{1/2} \quad \text{και} \quad \frac{\partial G(P_R, R)}{\partial P} = \frac{4\pi R}{\lambda_0 \sqrt{P_e}} \cdot \frac{1}{2\sqrt{P_R}} \quad \text{μετά από πράξεις και προσεγγίσεις}$$

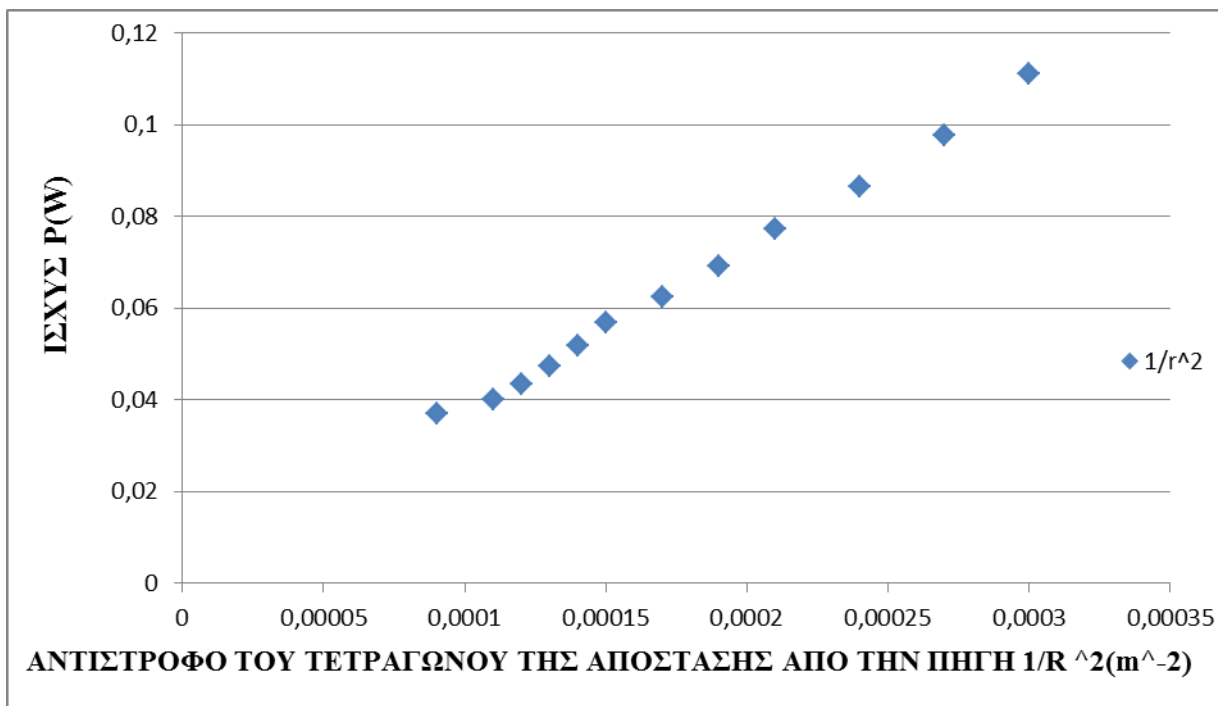
προκύπτει ότι  $\sigma(G) = \pm 5W$

Άρα τελικά προέκυψε  $G = (63,87 \pm 5)W$

Για να γίνει η μετατροπή από  $W$  σε  $dB$  χρησιμοποιούμε τον παρακάτω τύπο:

$$G_s(\text{dB}) = 10 \log G_s(\text{W}) = 10 \log 63,87 = 18 \text{ (dB)}$$

Το  $\sigma(G(\text{dB}))$  σε dB θα είναι προκύπτει συμφωνά με την παραπάνω σχέση  $\sigma(G(\text{dB})) = 3\text{dB}$  άρα τελικά θα προκύπτει ότι  $G = (18 \pm 3)\text{dB}$ .



Σχήμα 5.6

Για την κατασκευή της παραπάνω γραφικής χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα του παρακάτω πίνακα, όπου έχει υπολογιστεί η έκφραση  $\frac{1}{R^2}$ .

A/A	$\left(\frac{1}{R^2}\right) m^{-2}$	Καταγεγραμμένη ισχύς $P_r(\text{W})$ σε απόσταση R
1	0,1111	0,00030
2	0,09765	0,00027
3	0,0865	0,00024

<b>4</b>	<b>0,07716</b>	<b>0,00021</b>
<b>5</b>	<b>0,06925</b>	<b>0,00019</b>
<b>6</b>	<b>0,0625</b>	<b>0,00017</b>
<b>7</b>	<b>0,05668</b>	<b>0,00015</b>
<b>8</b>	<b>0,05165</b>	<b>0,00014</b>
<b>9</b>	<b>0,04725</b>	<b>0,00013</b>
<b>10</b>	<b>0,0434</b>	<b>0,00012</b>
<b>11</b>	<b>0,04</b>	<b>0,00011</b>
<b>12</b>	<b>0,03698</b>	<b>0,00009</b>

**Πίνακας 5.3**

Στην συνέχεια μπορεί να υπολογιστεί και η επί τοις εκατό απόκλιση της πειραματικής από τη θεωρητική τιμή θα είναι:

$$a = \frac{|G_{\theta\epsilon\omega\rho} - G_{\pi\epsilon\iota\rho}|}{G_{\theta\epsilon\omega\rho}} \cdot 100 \Rightarrow \alpha = \frac{|20 - 18|}{20} \cdot 100 \Rightarrow \alpha = 10\%$$

Σε αυτό το σημείο αξίζει να σχολιαστεί το γεγονός ότι η απόκλιση της θεωρητικής από την πειραματική τιμή που προσδιορίστηκε είναι αρκετά μεγάλη. Το γεγονός αυτό μπορεί να οφείλεται:

α) σε ατέλειες των οργάνων μέτρησης (οι ατέλειες των οργάνων είναι κυρίως η βαθμονόμηση της κλίμακας μέτρησης καθώς και η φθορά του οργάνου), β) στη μέθοδο μέτρησης, σε εξωτερικά αίτια, όπως η θερμοκρασία, η υγρασία, οι ηλεκτρικές επιδράσεις κ.α. είναι δυνατόν να επηρεάσουν τις μετρήσεις. Ακόμα είναι δυνατόν αυτή η απόκλιση να οφείλεται γ) στην περιορισμένη ευαισθησία του οργάνου μέτρησης (τα διάφορα μεγέθη μετρούνται συνήθως με κατάλληλα βαθμολογημένα κλίμακα) και τέλος δ) στην ικανότητα του παρατηρητή: η πείρα, η προσοχή και η προσωπική ικανότητα του παρατηρητή είναι στοιχεία που συντελούν στη μεγαλύτερη ακρίβεια των μετρήσεων.

## 5.7 Υπολογισμός ασφαλούς απόστασης από την κεραία εκπομπής

Για τον υπολογισμό της ασφαλούς απόστασης από την κεραία εκπομπής θα χρησιμοποιηθεί η σχέση:

$$S_{ff} = \frac{P_{in} \cdot G}{4\pi R^2}$$

όπου

- $S_{ff}$ : η πυκνότητα ισχύος, σε  $W/m^2$ ,
- $P_{in}$ : η μέγιστη ισχύς στην είσοδο της κεραίας σε Watt,
- $G$ : το κέρδος της κεραίας στην κατεύθυνση ενδιαφέροντος,
- $R$ : η απόσταση από το κέντρο της κεραίας της θέσης υπολογισμού της ισχύος ακτινοβολίας, σε m (για αποστάσεις μεγαλύτερες από  $R_{ff}$ )

Για το συγκεκριμένο υπολογισμό θα χρησιμοποιηθούν οι εξής τιμές των παραπάνω μεγεθών:

$S_{ff} = 6 \frac{W}{m^2}$  όπου η συγκεκριμένη τιμή προκύπτει από τους πίνακες για τα όρια ασφαλείας που προτείνει η Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας,  $G=20dB$ , δηλαδή το κέρδος της κεραίας όπως αυτό έχει προκύψει πειραματικά και  $P_{εκπ} = 10^{-1}W$  όπου είναι η μέγιστη ισχύς στην είσοδο της κεραίας για τάση τροφοδοσίας  $V \approx 15V$  όπως αυτή προκύπτει από το εγχειρίδιο χρήσης. Η επιλογή της συγκεκριμένης τιμής έγινε για το λόγο ότι τα περισσότερα εργαστηριακά πειράματα πραγματοποιούνται με τη συγκεκριμένη τάση με μια ανοχή  $\pm 2V$ . Στο σημείο αυτό και πριν την αντικατάσταση των παραπάνω μεγεθών θα πρέπει να γίνει η μετατροπή του κέρδους της κεραίας σε  $W$ .

$$S = \frac{P_{in} \cdot G}{4\pi R^2} \Rightarrow 6 = \frac{10^{-1} \cdot 63,87}{4 \cdot 3,14 \cdot R^2} \Rightarrow 75,36 \cdot R^2 = 6,387 \Rightarrow$$
$$R^2 = 0,084 \Rightarrow R = 0,29 \Rightarrow R = 29cm$$

Άρα η απόσταση ασφαλείας από την πηγή εκπομπής της Η/Μ ακτινοβολίας με τα παραπάνω χαρακτηριστικά είναι,  $R = (29 \pm 2)cm$  απόσταση που είναι αρκετά μικρή. Το αποτέλεσμα ήταν αναμενόμενο από την στιγμή που πρόκειται για εργαστηριακό εξοπλισμό και θα έπρεπε οι φοιτητές να είναι ασφαλείς στην έκθεση της συγκεκριμένης ακτινοβολίας. Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να τονιστεί το γεγονός ότι η συγκεκριμένη απόσταση υπολογίστηκε για έκθεση σε αυτή την ακτινοβολία μυϊκού ιστού του ανθρώπινου σώματος. Είναι προφανές πως διαφορετικά μέρη του ανθρώπινου σώματος απορροφούν την Η/Μ ακτινοβολία με διαφορετικό και πιο επιλεκτικό τρόπο όπως είναι για παράδειγμα το μάτι, ο εγκέφαλος, τα εσωτερικά όργανα. Για παράδειγμα θα πρέπει γενικότερα να αποφεύγεται η έκθεση του ματιού στην Η/Μ ακτινοβολία, αλλά σε έναν τέτοιο υπολογισμό είναι προφανές πως η απόσταση ασφαλούς έκθεσης στην Η/Μ ακτινοβολία θα προέκυπτε πολύ μεγαλύτερη από την απόσταση που προσδιορίστηκε για ασφαλή έκθεση μυϊκού ιστού.

## **5.8 Συμπεράσματα**

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η επίδραση μη ιονίζουσας ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και πιο συγκεκριμένα η ακτινοβολία μικροκυμάτων στον άνθρωπο. Στη μικροκυματική περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος προέκυψε ότι η συγκεκριμένη ακτινοβολία μπορεί να αποδειχθεί επιβλαβής για την υγεία του ανθρώπου καθώς επίσης έχει προσδιοριστεί η απόσταση ασφαλούς έκθεσης από κεραία μικροκυμάτων.

Επίσης σε αυτό το σημείο θα πρέπει να τονιστεί το γεγονός ότι πολύ μεγάλο ρόλο “παίζει” στην απορρόφηση της ακτινοβολίας το ζωτικό όργανο του ανθρώπινου σώματος που εκτίθεται στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, όπως για παράδειγμα με διαφορετικό τρόπο απορροφά την ακτινοβολία το ανθρώπινο μάτι από ότι ένας μυς του χεριού ή του ανθρωπίνου σώματος γενικότερα με λίγα λόγια το κάθε σημείο του ανθρωπίνου σώματος έχει διαφορετικό συντελεστή απορρόφησης της ακτινοβολίας.

Ακόμα θα πρέπει αναφερθεί ότι μια ακόμη κρίσιμη παράμετρος είναι ο χρονικό διάστημα έκθεσης στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Με λίγα λόγια όσο μεγαλύτερο είναι το χρονικό διάστημα έκθεσης στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία το αυξάνεται η πιθανότητα να προκληθεί κάποια βλάβη.

Από βιβλιογραφικές έρευνες που παρουσιάστηκαν στην παρούσα μελέτη, μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι η μη ιονίζουσα ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μπορεί να επηρεάσει τους ζωντανούς οργανισμούς και το περιβάλλον μέσα στο οποίο ζει ο σύγχρονος άνθρωπος. Τα σημεία του ανθρωπίνου σώματος που εκτίθενται σε μόνιμη βάση και η χρόνια έκθεσή τους μπορεί να είναι επιβλαβής για τον οργανισμό του ανθρώπου.

Επίσης οφείλεται ιδιαίτερη προσοχή στην έκθεση της μη ιονίζουσας ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας κυρίως με τα παιδιά διότι είναι η πιο ευαίσθητη κοινωνική ομάδα και πρέπει να



προστατευτεί. Αξίζει βέβαια να σημειωθεί το γεγονός ότι υπήρξαν και έρευνες από τις οποίες προέκυπταν και αποτελέσματα στα οποία η έκθεση σε μη ιονίζουσα ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία είχε ευεργετικά αποτελέσματα στον άνθρωπο όπως για παράδειγμα η σμίκρυνση των όγκων στο ανθρώπινο σώμα. Σαν γενικό συμπέρασμα θα μπορούσε να αναφερθεί ότι οι επιδημιολογικές μελέτες δεν ανέδειξαν ακόμη κάποια απόδειξη, αλλά μια σοβαρή ένδειξη της επικινδυνότητας της μη ιονίζουσας ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, άρα κρίνεται σκόπιμο η περαιτέρω μελέτη πάνω στο συγκεκριμένο πεδίο έρευνας.

## **5.9 Θεωρία σφαλμάτων**

### **5.9.1 Εισαγωγή**

Το πρώτο βήμα στην κατανόηση ενός φαινομένου είναι να βρούμε τους νόμους που το περιγράφουν. Οι νομοί περιγράφονται από τη σχέση δυο ή περισσότερων μεταβλητών και μας δείχνουν πως μεταβάλλεται ένα φυσικό μέγεθος, όταν κάποιο άλλο μέγεθος που το επηρεάζει μεταβάλλεται. Οι νόμοι αυτοί, που συνήθως εκφράζονται με μαθηματικές σχέσεις, βρίσκονται από πειραματικά δεδομένα. Η συστηματική μελέτη των φυσικών φαινομένων γίνεται κυρίως από μια συνεχή διαδικασία που μπορεί να ξεκινάει από πειραματικά δεδομένα.

Οι πειραματικές μετρήσεις πρέπει να είναι ακριβείς ώστε να οδηγηθούμε σε ορθά αποτελέσματα. Κατά τις μετρήσεις γίνονται σφάλματα που άλλοτε οφείλονται σε συνθήκες παρατήρησης και άλλοτε σε εξωτερικά αίτια που δεν ελέγχονται. Μερικοί από τους παράγοντες που επηρεάζουν τις μετρήσεις και προκαλούν σφάλματα είναι ατέλειες οργάνων, αδεξιότητες παρατηρητή, εξωτερικά πεδία κλπ.

### **5.9.2 Είδη μετρήσεων**

Σ' ένα πείραμα, η εύρεση των σχέσεων μεταξύ μεγεθών προϋποθέτει τη διεργασία μιας μέτρησης. Συνεπώς είναι σκόπιμο να ορίσουμε τι εννοούμε με τον όρο "μέτρηση". "Μέτρηση ενός μεγέθους **A** είναι η διεργασία σύγκρισης αυτού προς ομοειδές μέγεθος **a** που αυθαίρετα

λαμβάνεται ως μονάδα. Η αριθμητική τιμή του μεγέθους  $A$ , είναι ο λόγος του μεγέθους  $A$  προς την ορισμένη μονάδα  $\alpha$ ".

Τις μετρήσεις τις διακρίνουμε σε δυο κατηγορίες: τις απλές (άμεσες) και τις σύνθετες (έμμεσες). Απλές είναι μετρήσεις στις οποίες η αριθμητική τιμή ενός μεγέθους προκύπτει απευθείας από μια παρατήρηση π.χ. η μέτρηση του μήκους μια απόστασης με μια μετροταινία. Σύνθετες είναι οι μετρήσεις με τις οποίες η αριθμητική τιμή ενός μεγέθους προκύπτει σα συνάρτηση των τιμών άλλων μεγεθών π.χ. ο υπολογισμός του εμβαδού μιας επιφάνειας.

### **5.9.3 Ακρίβεια και πιστότητα**

Η λέξη "ακρίβεια" αναφέρεται στη διακριτική ικανότητα της μέτρησης, δηλαδή πόσο στενά είναι τα όρια μέσα στα οποία μπορεί να προσδιοριστεί η τιμή του μεγέθους που μετράμε. Λέμε π.χ. ότι ένα διαστημόμετρο μετρά μήκος "με ακρίβεια δεκάτου χιλιοστού". Στην περίπτωση που ρωτάμε ποια είναι η "ακριβής ώρα" αναφερόμαστε στην πιστότητα της μέτρησης και όχι στην ακρίβεια. Δηλαδή στο πόσο κοντά στην "πραγματική τιμή" του μεγέθους που μετριέται βρίσκεται η τιμή που προσδιορίζει η μέτρηση. Με άλλα λόγια "ακρίβεια" και "πιστότητα" είναι δυο διαφορετικές έννοιες. Μια μέτρηση μπορεί να είναι ακριβής αλλά η τιμή που προσδιορίζει να βρίσκεται μακριά από την πραγματική τιμή του μεγέθους που μετριέται. Στο παράδειγμα του διαστημόμετρου είναι φανερό ότι η ακρίβεια του είναι ανεξάρτητη από το πόσο "σωστό" είναι το αποτέλεσμα της μέτρησης. Όπως θα δούμε αργότερα κάθε μέτρηση εκφράζεται με το συμβολισμό  $\langle \chi \rangle \pm \sigma$ , όπου το  $\chi$  είναι το αριθμητικό αποτέλεσμα της μέτρησης και  $\sigma$  είναι το πειραματικό σφάλμα που συνοδεύει τη μέτρηση. Αν το ρολόι που μετρά το χρόνο δεν διαθέτει δευτερολεπτοδείκτη, μπορεί να δείχνει την πραγματική ώρα, αλλά με μικρή ακρίβεια μέσα στα όρια του ενός λεπτού.

Θα περιορίσουμε τον όρο διακριτική ικανότητα αποκλειστικά στην αξιολόγηση των οργάνων μέτρησης. Για μια μοναδική μέτρηση που πραγματοποιείται από ένα συγκεκριμένο όργανο, η διακριτική ικανότητα αποτελεί τη μέγιστη ακρίβεια με την οποία μπορεί να πραγματοποιηθεί η μέτρηση.

Ορίζουμε ακόμη την απόλυτη ακρίβεια μιας μέτρησης (ή απόλυτη διακριτική ικανότητα ενός οργάνου). Αυτή εκφράζεται με τις ίδιες μονάδες που χρησιμοποιούνται για το μέγεθος που

μετριέται. Η σχετική ακρίβεια εκφράζει την ιδιότητα σε ποσοστιαίες μονάδες σε σχέση με την απόλυτη τιμή που προσδιορίζει η μέτρηση.

#### **5.9.4 Κατηγορίες σφαλμάτων**

Απ' όσα συζητήθηκαν στην παράγραφο I κατανοήσαμε ότι τα σφάλματα είναι ένα αναπόφευκτο χαρακτηριστικό κάθε μετρητικής διαδικασίας και πειραματικής διερεύνησης. Στην πράξη, τα σφάλματα συνηθέστερα ταξινομούνται ως (Α) Τυχαία και (Β) Συστηματικά, κατ' αντιστοιχία με το αν σχετίζονται με την ακρίβεια ή με την πιστότητα της μετρητικής διαδικασίας.

##### **5.9.4.1 Τυχαία σφάλματα**

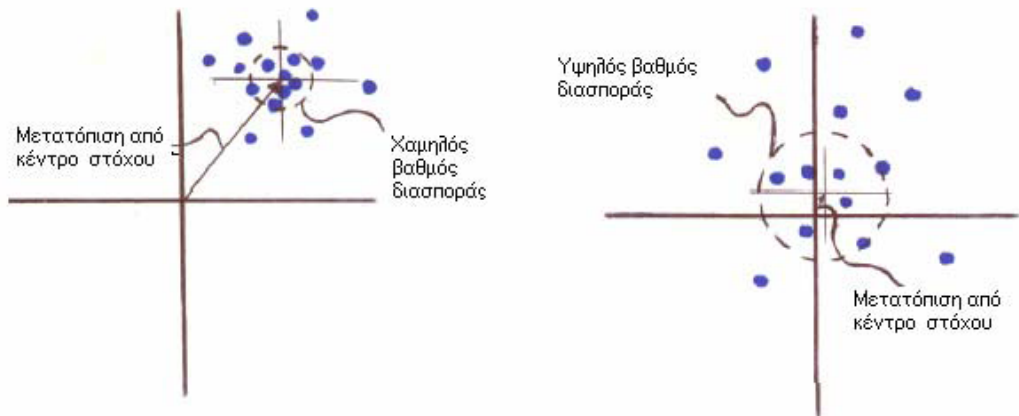
Τα Τυχαία Σφάλματα σχετίζονται με την Ακρίβεια μιας μέτρησης και είναι εκείνα που ανακύπτουν στατιστικά από την ανάλυση των επαναλαμβανόμενων και πολλαπλών μετρήσεων. Ειδικότερα, ποσοτικοποιούνται με καλύτερη ακρίβεια (και η τάξη μεγέθους τους ελαττώνεται) από την αυξανόμενη πολλαπλότητα των μετρήσεων. Τα Τυχαία Σφάλματα διαπράττονται αναπόφευκτα σε κάθε πειραματική διαδικασία, ακόμα και αν θεωρήσουμε ότι ο πειραματιστής εξαντλεί την προσοχή και την επιμέλειά του. Οφείλονται σε αστάθμητους κι ανεξέλεγκτους παράγοντες (τυχαίες διακυμάνσεις). Επενεργούν άλλοτε κατά τη μία και άλλοτε κατά την άλλη κατεύθυνση, «διασπείροντας» τις πειραματικές τιμές που καταγράφουμε «εκατέρωθεν» (δηλαδή δεξιά κι αριστερά) της πραγματικής τιμής του υπό μέτρηση φυσικού μεγέθους. Όλα τα σφάλματα που θα κληθείτε να προσδιορίσετε ποσοτικά, κατά την εξάσκησή σας στα Εργαστήρια Φυσικής, θα είναι πάντοτε τυχαία. Αντιπροσωπευτικό παράδειγμα τυχαίου σφάλματος αποτελούν οι παρατηρούμενες μικροδιαφοροποιήσεις στην καταγραφή του χρόνου πραγματοποίησης ενός φαινομένου.

##### **5.9.4.2 Συστηματικά σφάλματα**

Οφείλονται σε λόγους είτε (α) Θεωρητικούς (Χάριν απλοποίησης της θεωρητικής προσέγγισης ενός φαινομένου, αμελούμε την επίδραση κάποιου παράγοντα και ως εκ τούτου η μέτρηση μας δεν το λαμβάνει υπόψη), είτε (β) Πρακτικούς ( Βρίσκονται «εκτός δικαιοδοσίας» του πειραματιστή και συνήθως οφείλονται σε κατασκευαστική ατέλεια του χρησιμοποιούμενου μετρητικού οργάνου, η οποία συνίσταται στο ότι δεν ομοιάζει επακριβώς του θεωρούμενου ως προτύπου). Τα συστηματικά σφάλματα επενεργούν u960 πάντοτε κατά την ίδια κατεύθυνση μετατοπίζοντας

«συστηματικά» την καταγραφόμενη τιμή του υπό μέτρηση μεγέθους είτε μόνιμα σε μεγαλύτερη, είτε μόνιμα σε μικρότερη ένδειξη. Χαρακτηριστικό παράδειγμα διάπραξης συστηματικού σφάλματος είναι το εξής: Υποθέστε ότι επιχειρούμε τη μέτρηση ενός μήκους με ένα κανόνα (χάρακα). Κι έστω ότι βρίσκουμε το εν λόγω μήκος να έχει την τιμή των 8 μέτρων. Από τη στιγμή που πληροφορηθούμε ότι ο συγκεκριμένος χάρακας που χρησιμοποιήσαμε δεν έχει μήκος ακριβώς 1m ή 100cm, όπως νομίζαμε, αλλά –λόγω κατασκευαστικών ατελειών- είναι κάπως «ελαττωματικός» με συνέπεια το πραγματικό του μήκος να μην είναι 100cm, αλλά 98cm για παράδειγμα. Οπότε, το υπό μέτρηση μέγεθος (εδώ, μήκος) δεν είναι  $8 \times 100\text{cm} = 8$  μέτρα, αλλά  $8 \times 98\text{cm}$ . Μπορείτε τώρα μόνοι σας να φανταστείτε ένα παρεμφερές σενάριο για μία υποθετική μέτρηση μάζας με μία «ελαττωματική» ζυγαριά, που δε μετρά «πραγματικά» κιλά, αλλά είναι έτσι κατασκευασμένη ώστε να καταγράφει το 90% κάθε «πραγματικού» κιλού. Προσέξτε τα ακόλουθα λεπτά σημεία: (α) Κατά τη διάρκεια κάθε πειράματος, γνωρίζω ότι κατά πάσα πιθανότητα υποπίπτω σε συστηματικό σφάλμα. Όμως, δε μπορώ να εκτιμήσω ποσοτικά την τάξη μεγέθους του σφάλματος που διαπράττω, παρά μόνο αν συγκρίνω το μετρητικό όργανο που χρησιμοποιώ με κάποιο άλλο που θεωρείται πρότυπο. Αυτός είναι ο μόνος τρόπος να ποσοτικοποιήσω τα συστηματικά σφάλματα. (β) Σε μία πειραματική διαδικασία κι εφ' όσον το μετρητικό όργανο που χρησιμοποιώ είναι πάντα το ίδιο, το συστηματικό σφάλμα που διαπράττω είναι συνεχώς το ίδιο και μάλιστα μένει ανεπηρέαστο από το πόσες φορές θα εκτελέσω το πείραμα και από το πόσες μετρήσεις θα καταγράψω.

Σε αντίθεση, τα τυχαία σφάλματα σχετίζονται με την Ακρίβεια μιας μέτρησης και περιγράφονται από την επαναληψιμότητα της συγκεκριμένης μέτρησης: Έστω ότι έχουμε αυτές τις δύο εικόνες που προκύπτουν από τα ίχνη των βολών ενός όπλου σε ένα στόχο. Το όπλο σημαδεύει, με τον ίδιο τρόπο και στις δύο περιπτώσεις, στο κέντρο ενός «πραγματικού» στόχου. Σημειώνουμε ότι το πού θα καταλήξει η κάθε σφαίρα και αντίστοιχα το ίχνος που αυτή θα αποδώσει, μεταβάλλονται τυχαία και δε μπορούν να προβλεφθούν εκ των προτέρων.



Σχήμα 5.7

### 5.9.4.3 Πολλαπλές μετρήσεις

Σε πολλές μετρήσεις είναι αδύνατον να εκτιμήσουμε το σφάλμα μόνο με βάση την ένδειξη του οργάνου. Για παράδειγμα όταν με τη βοήθεια χρονομέτρου μετράμε το χρόνο ανάμεσα σε δύο γεγονότα το σφάλμα μας οφείλεται (αν εξαιρέσουμε διάφορους άλλους παράγοντες) κύρια στην αντίδραση του χειριστή του χρονομέτρου, γιατί είναι σχεδόν αδύνατο να θεωρήσουμε ότι πάντα βάζει σε λειτουργία το χρονόμετρο "ταυτόχρονα" με το πρώτο γεγονός και το σταματάει "ταυτόχρονα" με το δεύτερο.

Σ' αυτή την περίπτωση επαναλαμβάνουμε τη μέτρηση μερικές φορές και έτσι μπορούμε να βρούμε καλύτερα και την τιμή που είναι κοντά στην πραγματική, αλλά και το σφάλμα.

### 5.9.5 Μέση τιμή

Έστω λοιπόν ότι μετράμε την ίδια ποσότητα  $N$  φορές και βρίσκουμε τις τιμές  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_N$ . Τότε σύμφωνα με τη θεωρία των πιθανοτήτων θεωρούμε ότι η τιμή που βρίσκεται πιο κοντά στην "πραγματική" είναι η μέση τιμή που υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\delta x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N(N-1)}}$$

Και σ' αυτή την περίπτωση όμως δεν μπορούμε να θεωρήσουμε ότι το αποτέλεσμά μας συμπίπτει με την "πραγματική" τιμή. Πρέπει λοιπόν να υπολογίσουμε το σφάλμα, δηλαδή μια περιοχή τιμών του  $x$  μέσα στην οποία βρίσκεται αυτή η πραγματική τιμή. Δηλαδή

$$x = \pm x \delta x$$

Από τη μαθηματική θεωρία σφαλμάτων προκύπτει ότι αν θέλουμε η πραγματική τιμή να βρίσκεται στο διάστημα (4.2) με πιθανότητα 68%, τότε

$$\delta x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N(N-1)}}$$

Ο υπολογισμός των δύο ποσοτήτων που ορίζουμε αμέσως ακολούθως, θα αποτελέσουν (μαζί με τον υπολογισμό της μέσης τιμής) το ουσιαστικό αποσκοπούμενο σας, κατά την επεξεργασία των μετρήσεων στα πειράματα που θα εκτελέσετε στα Εργαστήρια Φυσικής. Είναι ακριβώς οι τρεις αυτές ποσότητες που αντανακλούν την πεποίθησή μας ότι περιγράφουν αντιπροσωπευτικότερα από οποιεσδήποτε άλλες τα μετρούμενα αποτελέσματα μιας πειραματικής διαδικασίας και των αναπόφευκτα εμπλεκόμενων ανακριβειών. Η κατανόηση της σημασίας τους –και όχι η στείρα απομνημόνευσή τους- προϋποθέτει τη μελέτη, αποκρυστάλλωση και αφομοίωση των βασικότερων στοιχείων της θεωρίας. Συμφωνούμε λοιπόν στο εξής να ονομάζουμε **«απόλυτο σφάλμα της μέσης τιμής»** την ποσότητα:

$$\delta \bar{x} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N(N-1)}} \equiv \sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma_x}{\sqrt{N}}$$

Συμβολίζουμε το απόλυτο σφάλμα της μέσης τιμής με το μικρό ελληνικό γράμμα «δ», για να συμμορφωνόμαστε με τα διεθνώς κείμενα και ισχύοντα. Παρατηρούμε –όπως άλλωστε φαίνεται στη παραπάνω σχέση - ότι το απόλυτο σφάλμα της μέσης τιμής δεν είναι τίποτε άλλο από αυτό που είχαμε ορίσει στην προηγούμενη παράγραφο ως **«τυπική απόκλιση της μέσης τιμής»**. Σημειώνουμε ότι το  $\delta x$  έχει τις ίδιες διαστάσεις (δηλαδή μετριέται στις ίδιες μονάδες) με τη μέση τιμή του μετρούμενου μεγέθους και αυτό είναι κάτι το οποίο δεν πρέπει ν'αμελούμε ποτέ να επισημαίνουμε, κατά την αναφορά των αποτελεσμάτων μας. Εντελώς ανάλογα, ορίζουμε ως **«σχετικό σφάλμα της μέσης τιμής»** την ποσότητα

$$\frac{\Delta\bar{x}}{\bar{x}}$$

Δηλαδή, για να βρούμε το σχετικό σφάλμα ενός μεγέθους, διαιρούμε απλά το απόλυτο σφάλμα με τη μέση τιμή. Σημειώνουμε τα εξής ευνόητα:

(α) Οι δύο εκφράσεις των σφαλμάτων είναι πολύ συγγενείς και αλληλένδετες μεταξύ τους. Από τη στιγμή που γνωρίζουμε το ένα απ'αυτά, μπορούμε να υπολογίσουμε και το άλλο (αρκεί να ξέρουμε τη μέση τιμή) και σε τελική ανάλυση νομιμοποιούμαστε να ισχυριστούμε ότι το σχετικό σφάλμα δεν είναι τίποτε άλλο παρ'εκτός η αναφορά του απόλυτου σφάλματος υπό τη μορφή ποσοστού. (β) Επειδή ακριβώς το σχετικό σφάλμα εκφράζεται ως ποσοστό, δηλαδή λόγος δύο ομοειδών μεγεθών, γι'αυτό είναι και αδιάστατο (είναι όπως λέμε ένας καθαρός αριθμός ή δεν έχει μονάδες μέτρησης). Θα δούμε στη συνέχεια της παρούσας παραγράφου τί σκοπούς εξυπηρετεί αυτό και σε τί πλεονεκτεί η αναφορά του σχετικού σφάλματος σε σχέση με την αναφορά του απόλυτου σφάλματος. Επίσης, θα δούμε τι επιπτώσεις έχει στον τρόπο αναγραφής των αποτελεσμάτων το γεγονός ότι το σχετικό σφάλμα είναι αδιάστατο. (γ) Συνηθέστατα, το σχετικό σφάλμα αναφέρεται και ως ποσοστό επί τοις εκατό, δηλαδή:

$$\sigma_{\%} = \frac{\Delta\bar{x}}{\bar{x}} \cdot 100$$

Αλλά και οι τρεις αυτές επισημάνσεις ήταν τόσο ευνόητες που σίγουρα θα τις είχατε αντιληφθεί και μόνοι σας! Ετσι δεν είναι; Πάντως, εκείνο που κρατούμε ως κανόνα είναι το εξής: **Στο τέλος κάθε πειράματος, μετά τη λήψη μετρήσεων και την επεξεργασία των τιμών, αναφέρουμε πάντα τη μέση τιμή με τα σφάλματα της (και το απόλυτο και το σχετικό).**

### 5.9.6 Διάδοση σφαλμάτων

#### Γενικά

Γενικά, υπάρχουν δύο τρόποι για να βρίσκουμε το πώς «διαδίδονται» τα σφάλματα των άμεσα μετρούμενων μεγεθών, που υπεισέρχονται ως μεταβλητές στην εξίσωση υπολογισμού του τελικά ζητούμενου μεγέθους. Ο πρώτος –και ο απλούστερος– είναι να προσθέτουμε απλά τα επί μέρους

**σχετικά σφάλματα.** Δηλαδή, για να βρούμε τον όγκο της δεξαμενής χρησιμοποιήσαμε τον τύπο  $V=HWL$ . Αρα, σύμφωνα με όσα μόλις είπαμε, το σχετικό σφάλμα του όγκου πρέπει να είναι

$$\frac{\delta V}{V} = \frac{\delta H}{H} + \frac{\delta W}{W} + \frac{\delta L}{L}$$

Το μειονέκτημα αυτού του τρόπου είναι ότι «υπερεκτιμά» τα επί μέρους σφάλματα, δηλαδή τα λαμβάνει όλα υπόψη εξ ίσου, ανεξάρτητα από το αν είναι μεγάλα ή μικρά και μη εξετάζοντας το πόσο συμβάλλουν στο τελικό σφάλμα. Συνήθως, το σφάλμα μιας επί μέρους εμπλεκόμενης μεταβλητής (μεγέθους) είναι ανεξάρτητο από τα σφάλματα των άλλων μεταβλητών και στο τέλος κάποια από αυτά καταλήγουν να είναι αμελητέα σε σχέση με τα υπόλοιπα. Ο δεύτερος τρόπος είναι σωστότερος, πλέον ενδεδειγμένος και –τέλος πάντων- είναι αυτός που πρέπει να χρησιμοποιείτε κατά την εξάσκησή σας στα Εργαστήρια Φυσικής. Το σωστό λοιπόν τρόπο χειρισμού των διαδιδόμενων σφαλμάτων το δανειζόμαστε από ένα μαθηματικό πρόβλημα που αποκαλείται «**πρόβλημα του τυχαίου δρόμου**» (random walk problem). Το πρόβλημα του τυχαίου δρόμου μας παρέχει μία πολύ εκλεπτυσμένη και κομψή μαθηματική έκφραση για να υπολογίζουμε το σφάλμα συναρτήσεων πολλών μεταβλητών σ'ένα πειραματικό εγχείρημα. Για να είμαστε σε θέση να το κατανοήσουμε πλήρως, χρειαζόμαστε κάτι ακόμα! Πρέπει -για μία φορά ακόμη- να προστρέξουμε στο οπλοστάσιο των μαθηματικών μας, για να εφοδιαστούμε με ένα νέο μαθηματικό εργαλείο: την **μερική παράγωγο**. Σ'αυτό το σημείο ας ανοίξουμε μία μεγάλη παρένθεση για μερικές απλές και σύντομες –το υποσχόμαστε- αμμιγείς γνώσεις μαθηματικών: Εστω λοιπόν μία συνάρτηση τριών (3) μεταβλητών  $f = f(x,y,z)$ , τότε γράφουμε

$$\frac{\partial f}{\partial x}$$

διαβάζουμε «μερική παράγωγος της  $f$  ως προς  $x$ » κι εννοούμε ότι  $\frac{\partial f}{\partial x}$  είναι το αποτέλεσμα της παραγωγίσης της  $f$  ως προς τη μεταβλητή  $x$  (όπως ακριβώς ξέραμε μέχρι τώρα, σαν η  $f$  να εξαρτιόταν μόνο από τη μεταβλητή  $x$ ), συμπεριφερόμενοι στα  $y$  και  $z$  σα να ήταν σταθερές. Δηλαδή, αν μας δώσουν την  $f = f(x, y, z) = 8x^5 yz^3$  και μας ζητήσουν να υπολογίσουμε τις μερικές της παραγωγούς, αυτές θα είναι:

$$\frac{\partial f}{\partial x} = 40x^4 yz^3, \quad \frac{\partial f}{\partial y} = 8x^5 z^3 \quad \text{και} \quad \frac{\partial f}{\partial z} = 8x^5 y3z^2$$



Ο γενικός κανόνας υπολογισμού του σφάλματος  $\delta f$ , στην περίπτωση που η  $f$  είναι συνάρτηση πολλών μεταβλητών,  $f = f(x, y, \dots, z)$  και με την προϋπόθεση ότι τα σφάλματα των  $x, y, \dots, z$  είναι τυχαία κι ανεξάρτητα μεταξύ τους δίνεται από τη σχέση:

$$\delta f = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x} \delta x\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y} \delta y\right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial z} \delta z\right)^2}$$

Περιφραστικά, η εξίσωση που μόλις γράψαμε «εισηγείται» ότι το σφάλμα μιας συνάρτησης πολλών μεταβλητών ισούται με τη τετραγωνική ρίζα του αθροίσματος των τετραγώνων των επί μέρους σφαλμάτων όλων των ανεξάρτητων μεταβλητών, σταθμισμένων με την επίδρασή τους πάνω στην  $f$ .



## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1. [http://artemis.cslab.ntua.gr/el\\_thesis/artemis.ntua.ece/DT2005-0074/DT2005-0074.pdf](http://artemis.cslab.ntua.gr/el_thesis/artemis.ntua.ece/DT2005-0074/DT2005-0074.pdf)
2. <http://nefeli.lib.teicrete.gr/browse/stef/hlk/2005/KampiliMaroulis/attached-document/2005KampiliMaroulis.pdf>
3. [http://fiskilis.gr/doc\\_of\\_radiation/23.pdf](http://fiskilis.gr/doc_of_radiation/23.pdf)
4. <http://www.physics4u.gr/articles/2004/nonionizingradiation.html>
5. <http://www.radioin.gr/tecnica/kerea.htm>
6. <http://www.helmedica.gr/items-8-3.htm>
7. <http://nikipress.gr>
8. <http://www.osha.gov>
9. <http://www.osha.gov>
10. <http://www.physicsclassroom.com>
11. <http://www.epa.gov>
12. [http://en.wikipedia.org/wiki/Ionizing\\_radiation](http://en.wikipedia.org/wiki/Ionizing_radiation)
13. [http://missionscience.nasa.gov/ems/02\\_anatomy.html](http://missionscience.nasa.gov/ems/02_anatomy.html)
14. Επιδράσεις μη ιονίζουσας ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στον άνθρωπο-πτυχιακή εργασία Ευδοκίας Παπαχρηστούδη , Χατζή Μαρία
15. Η ακτινοβολία στην ζωή μας- Υπουργείο Εργασίας και κοινωνικών ασφαλίσεων
16. Δορυφορικές επικοινωνίες συστήματα, τεχνικές και τεχνολογία-G. Maral- M. Bousquet