

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ**
**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ**
**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ**
**ΤΟΜΕΑΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ**
**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΙΚΡΟΚΥΜΑΤΙΚΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**

# Πτυχιακή εργασία

με θέμα

## *Επιδράσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στον άνθρωπο και στο περιβάλλον*

από την **Νίκη Καμπύλη** και τον **Σπυρίδωνα Μαρούλη.**

*Εκπονήθηκε υπό την επίβλεψη του Επίκουρου Καθηγητή Δρ.* ***Ιωάννη Βαρδιάμπαση***

*στα πλαίσια του "ΕΠΕΑΕΚ ΙΙ – Αρχιμήδης: Ενίσχυση Ερευνητικών Ομάδων στα ΤΕΙ –* ***Μελέτη-Σχεδίαση ευφυών κεραιών με τεχνικές υπολογιστικού ηλεκτρομαγνητισμού και πιλοτική ανάπτυξη-λειτουργία ψηφιακού ραδιοφωνικού σταθμού DAB στα Χανιά (SMART-DAB)****"***

Χανιά, Οκτώβριος 2005

*Αφιερώνεται στις οικογένειες μας*

# ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Κύριος σκοπός της εργασία μας ήταν να μελετήσουμε τις βιολογικές επιδράσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας τόσο στον άνθρωπο όσο και στο περιβάλλον. Βασική μας πηγή ήταν το διαδίκτυο μέσα από το οποίο βρήκαμε πλήθος πληροφοριών και ερευνών, η κεντρική βιβλιοθήκη του Πολυτεχνείου Κρήτης και η βιβλιοθήκη του Παραρτήματος Χανίων του Τ.Ε.Ι. Κρήτης. Επίσης σημαντικά στοιχεία για την παρούσα εργασία αντλήσαμε από το κέντρο επαγγελματικής κατάρτισης του πανεπιστημιακού νοσοκομείου Πατρών.

Τέλος, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον καθηγητή και επιβλέποντα μας, Επίκουρο Καθηγητή κ. Ιωάννη Οδ. Βαρδιάμπαση για την πολύτιμη βοήθειά του, όπως επίσης και τις οικογένειες μας για την μεγάλη υποστήριξη που μας παρείχαν κατά την διάρκεια των σπουδών μας.

Η εργασία αυτή εκπονήθηκε στο **Εργαστήριο Μικροκυματικών Επικοινωνιών και Ηλεκτρομαγνητικών Εφαρμογών** του Τμήματος Ηλεκτρονικής Τ.Ε.Ι. Κρήτης, στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος "**Αρχιμήδης**: Ενίσχυση Ερευνητικών Ομάδων στα ΤΕΙ – **Μελέτη-σχεδίαση ευφυών κεραιών με τεχνικές υπολογιστικού ηλεκτρομαγνητισμού και πιλοτική ανάπτυξη-λειτουργία ψηφιακού ραδιοφωνικού σταθμού DAB στα Χανιά (SMART-DAB)**" που συγχρηματοδείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση και το Υπουργείο Εθνικής Παιδείας & Θρησκευμάτων μέσω του ΕΠΕΑΕΚ ΙΙ.

Νίκη Καμπύλη & Σπυρίδων Μαρούλης

Χανιά, Οκτώβριος 2005

# ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να μελετήσουμε τις βιολογικές επιδράσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στον άνθρωπο και στο περιβάλλον και να ενημερωθούμε για τις επιπτώσεις και τις επιδράσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (ιονίζουσας και μη ιονίζουσας), τα μέτρα προστασίας, τις ρυθμίσεις και το νομικό πλαίσιο που έχουν θεσπίσει κράτη, διεθνείς οργανισμοί κ.λ.π. για την προστασία του πολίτη και του περιβάλλοντος.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στην ιστορική αναδρομή και επίσης αναφέρονται κάποιες βασικές έννοιες και μεγέθη για τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναφερόμαστε στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, για τις ιονίζουσες και μη ιονίζουσες, το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα και τέλος αναφερόμαστε στις ηλεκτρομαγνητικές ιδιότητες του ανθρώπινου σώματος.

Το τρίτο κεφάλαιο αναφέρεται στην ιονίζουσα ακτινοβολία και ειδικότερα στο φαινόμενο του ιοντισμού, στα ραδιοϊσότοπα και τη ραδιενέργεια, στις χαρακτηριστικές ιδιότητες των ιονιζουσών ακτινοβολιών και τέλος στις βιολογικές επιδράσεις.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναφερόμαστε στη μη ιονίζουσα ακτινοβολία στις πηγές της, στις μεθόδους μελέτης και στις βιολογικές επιδράσεις.

Στο πέμπτο κεφάλαιο αναφερόμαστε στις βιολογικές επιδράσεις από την κινητή τηλεφωνία και τους σταθμούς βάσης. Επίσης, γίνεται αναφορά στο ρυθμό ειδικής απορρόφησης.

Στο έκτο, έβδομο, όγδοο, ένατο, δέκατο και ενδέκατο κεφάλαιο αναφερόμαστε στις βιολογικές επιδράσεις και την ηλεκτρομαγνητική επιβάρυνση από το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας και τα καλώδια υψηλής τάσης, από τα ραντάρ, από τις κεραίες ραδιοτηλεοπτικών σταθμών, από τις οικιακές συσκευές, από τις οθόνες Η/Υ και τέλος από τις οθόνες τηλεόρασης.

Στο τελευταίο κεφάλαιο αναφερόμαστε στα όρια επικινδυνότητας της IRPA, του ANSI και της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Η εργασία αυτή εκπονήθηκε στο **Εργαστήριο Μικροκυματικών Επικοινωνιών και Ηλεκτρομαγνητικών Εφαρμογών** του Τμήματος Ηλεκτρονικής Τ.Ε.Ι. Κρήτης, στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος "**Αρχιμήδης**: Ενίσχυση Ερευνητικών Ομάδων στα ΤΕΙ – **Μελέτη-σχεδίαση ευφυών κεραιών με τεχνικές υπολογιστικού ηλεκτρομαγνητισμού και πιλοτική ανάπτυξη-λειτουργία ψηφιακού ραδιοφωνικού σταθμού DAB στα Χανιά (SMART-DAB)**" που συγχρηματοδείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση και το Υπουργείο Εθνικής Παιδείας & Θρησκευμάτων μέσω του ΕΠΕΑΕΚ ΙΙ.

# ABSTRACT

The objective of this diploma thesis is to study biological effects of electromagnetic radiation on human health and environment, and to be aware about effects and influence of electromagnetic radiation (ionizing and non-ionizing), the protect meausurents, adjustments and legal frames that countries and international corporations have institute for the protection of citizen and environment.

The first chapter introduce a historical reference and also some basic constructions and figures about electromagnetic fields.

The second chapter we refer to electromagnetic radiation, for ionizing and non-ionizing, elctromagnetic spectrum and finally we refer the electromagnetic properties of human body.

The third chapter refers to ioning radiation and specially at phenomenon of ionization, radioisotopes and radioactivity, features of ionizing radiation and ata last to biological effects.

The fifth chapter refers to biological effects from mobile phones and base stations and also refers to Specific Absorption Rate.

At the sixth, seventh, eighth, ninth, seventeenth, eleventh chapters we refers to biological effects from power transmission grid, high power cables, radars, radio-television antennas, electric appliances, monitor and finally television screens.

The last chapter consists hazardous ranges of IRPA, ANSI and European Union.

This work was done at the **Microwave Communications and Electromagnetic Applications Lab** of T.E.I. of Crete and supported by the Greek Ministry of National Education and Religious Affairs and the European Union under the ΕΠΕΑΕΚ ΙΙ – Archimedes – **Support of Research Groups in T.E.I. of Crete project "Smart antenna study & design using techniques of computational electromagnetics and pilot development & operation of a digital audio broadcasting station at Chania of Crete (SMART-DAB)**".

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

**1 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΠΕΔΙΑ……. 8**
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ……..…….. 8
1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ…….…….. 8
1.3 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΚΥΜΑ……10

**2 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ…… 13**
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ…..……..... 13
2.2 ΙΟΝΙΖΟΥΣΕΣ ΚΑΙ ΜΗ ΙΟΝΙΖΟΥΣΕΣ ……..... 14
2.3 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΦΑΣΜΑ……..… 14
2.4 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟΥ ΣΩΜΑΤΟΣ…… 15

**3 ΙΟΝΙΖΟΥΣΑ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ……. 17**
3.1 ΙΟΝΤΙΣΜΌΣ ……. 17
3.2 ΡΑΔΙΟΪΣΟΤΟΠΑ ΚΑΙ ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑ…….. 18
3.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΙΟΝΙΖΟΥΣΩΝ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΩΝ……22
3.4 ΔΟΣΙΜΕΤΡΙΑ ΙΟΝΙΖΟΥΣΑΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ…… 25
3.5 ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΙΟΝΙΖΟΥΣΑΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ……27

**4 ΜΗ ΙΟΝΙΖΟΥΣΑ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ…… 34**
4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ…… 34
4.2 ΠΗΓΕΣ ΜΗ ΙΟΝΙΖΟΥΣΑΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ…….…….. 34
4.3 ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΔΡΑΣΗ Η/Μ ΚΥΜΑΤΩΝ……..…… 35
4.4 ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΛΕΤΗΣ……...……... 38
4.5 ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΜΗ ΙΟΝΙΖΟΥΣΑΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ…...……. 40
4.6 ΟΙ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΒΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΔΡΑΣΕΩΝ……42

**5 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗ ΚΑΙ ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΚΙΝΗΤΉ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑ ΚΑΙ ΤΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΒΑΣΗΣ…..…….. 45**
5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ…….…… 45
5.2 ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΚΕΡΑΙΩΝ ΒΑΣΗΣ ΚΑΙ ΚΙΝΗΤΩΝ ΤΗΛΕΦΩΝΩΝ…….…… 46
5.3 ΡΑΔΙΟΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ…… 51
5.4 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΡΥΘΜΟΥ ΕΙΔΙΚΗΣ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ …….…… 58
5.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ……..…… 66

**6 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗ ΚΑΙ ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΚΑΛΩΔΙΑ ΥΨΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ……..…… 67**

**7 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗ ΚΑΙ ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΑ ΡΑΝΤΑΡ……..... 72**
7.1 ΕΞΙΣΩΣΗ ΡΑΝΤΑΡ……..…… 73
7.2 ΕΙΔΗ ΡΑΝΤΑΡ……...… 77
7.3 ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ…… 80
7.4 ΟΡΙΑ ΕΠΙΤΡΕΠΤΗΣ ΕΚΘΕΣΗΣ……..… 81
7.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ……...… 83

**8 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗ ΚΑΙ ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΙΣ ΚΕΡΑΙΕΣ ΡΑΔΙΟΤΗΛΕΟΠΤΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ……..……..… 85**
8.1 ΚΙΝΔΥΝΟΙ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΤΑ ΠΑΡΚΑ ΚΕΡΑΙΩΝ ……... 88
8.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ…… 89

**9. ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗ ΑΠΟ ΟΙΚΙΑΚΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ……..…. 91**

**10. ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗ ΑΠΟ ΟΘΟΝΕΣ Η/Υ……..…..... 93**

**11. ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗ ΑΠΟ ΟΘΟΝΕΣ ΤΗΛΕΟΡΑΣΗΣ …… 96**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ HAARP ……97**

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥ HAARP…….…. 98

ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥ HAARP …… 100

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΕΡΜΗΣ …… 102**

**I R P A …… 103**

**12. ΟΡΙΑ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ…….... 105**

12.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ……..…. 105

12.2 ΤΑ ΟΡΙΑ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΙΣ ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ…… 105

12.3 ΟΡΙΑ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ IRPA……...… 106

12.4 ΟΡΙΑ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ANSI ……..…… 107

12.5 ΟΡΙΑ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗΣ ΕΝΩΣΗΣ……..…… 107

12.6 ΠΡΟΣΩΠΙΚΑ ΔΟΣΙΜΕΤΡΑ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ……..107

**ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ…… 108**

**ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ……..…… 111**

**LINKS……...… 111**

# Κεφάλαιο 1

# ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΠΕΔΙΑ

## 1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ερευνητική αυτή εργασία πραγματεύεται ένα θέμα επίμαχο, τόσο επιστημονικά όσο και κοινωνικά. Είναι επίμαχο επιστημονικά, καθώς η επιστημονική κοινότητα ασχολείται με αυτό συστηματικά μόνο τις τελευταίες τρεις δεκαετίες και, παρά τον όγκο στοιχείων και εργασιών που διαθέτει, έχει να διανύσει ακόμη μεγάλη απόσταση μέχρι να καταλήξει σε οριστικά συμπεράσματα που θα είναι ευρέως αποδεκτά. Είναι, επίσης, επίμαχο κοινωνικά, καθώς από τη μια οι τεχνολογικά ανεπτυγμένες κοινωνίες μας αναγκαστικά συμβιώνουν με το πρόβλημα (και μάλιστα με αυξανόμενους ρυθμούς) και από την άλλη κοινωνικές, οικονομικές και πολιτικές ομάδες προσεγγίζουν το πρόβλημα από διαφορετικές και συχνά αντίπαλες σκοπιές. Αυτός ακριβώς ο χαρακτήρας του θέματος αποτέλεσε και την αιτία να ασχοληθούμε με αυτό. Σκοπός μας ήταν:

**Μέσα από την βιβλιογραφική έρευνα,** να ενημερωθούμε για τις επιπτώσεις και τις επιδράσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (ιονίζουσας και μη ιονίζουσας) στον άνθρωπο και το περιβάλλον, τα μέτρα προστασίας, τις ρυθμίσεις και το νομικό πλαίσιο που έχουν θεσπίσει κράτη, διεθνείς οργανισμοί κλπ. για την προστασία του πολίτη και του περιβάλλοντος.

**Επίσης, μέσα από έρευνα στο διαδίκτυο** παραθέσαμε έναν αριθμό από μελέτες και έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί, παγκοσμίως, σχετικά με τις βιολογικές επιδράσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στον άνθρωπο και το περιβάλλον.

Τέλος, μέσα από έρευνα στο διαδίκτυο, εντοπίσαμε ένα τεράστιο όγκο δημοσιογραφικής και επιστημονικής αρθρογραφίας, σχετικά με τις επιπτώσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, τις συνέπειες τους στην ισορροπία του περιβάλλοντος και στη δημόσια υγεία καθώς και τους διάφορους παράγοντες, που συντελούν σε αυτό.

## 1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Την πεποίθηση ότι η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία έχει βιολογικές επιδράσεις στον άνθρωπο τη συναντάμε στην προσπάθεια του Ιπποκράτη να θεραπεύσει όγκους στο στήθος με έκθεση του ασθενούς στην Η/Μ ακτινοβολία(ηλιοθεραπεία).Το 18ο αιώνα ξεκινά μια συστηματική προσπάθεια θεραπείας όγκων, ανευρυσμάτων και αιμορραγιών διοχετεύοντας ηλεκτρικό ρεύμα στους προσβεβλημένους ιστούς, ενώ το $19^{ο}$ αιώνα οι προσπάθειες αυτές επεκτείνονται και είναι

γνωστές οι θεραπείες του d' Arsonval, ο οποίος ξεπερνώντας το στάδιο της άμεσης ηλεκτρικής επαφής σε ιστούς, πρωτοπόρησε προχωρώντας σε πειράματα αυτεπαγωγής τοποθετώντας τους ασθενείς στα περιβόητα πηνία ή κρεβάτιά του, που σώζονται στο μουσείο Welcome του Λονδίνου. Μεταξύ των ετών 1894-95, ο d' Arsoval πραγματοποίησε 2.500 τέτοιες θεραπείες των 20 λεπτών, με ρεύματα μέχρι και 450mA.Οι περισσότεροι τύποι υστεριών και νευραλγιών δεν παρουσίασαν βελτίωση.

Αντίθετα η κατάσταση των ασθενών με ρευματικές παθήσεις και αρθριτικά βελτιώθηκε σημαντικά. Πραγματοποιήθηκαν και άλλα τέτοια πειράματα με υψίσυχνα ρεύματα. Οι αναζητήσεις για ευεργετικές επιδράσεις των υψίσυχνων ρευμάτων συνεχίστηκαν ώσπου το 1926, η ιατρική άρχισε να χρησιμοποιεί τις ραδιοσυχνότητες στις εγχειρίσεις ευαίσθητων οργάνων όπως ο εγκέφαλος, το συκώτι, ο προστάτης, κ.ά. για την αντιμετώπιση των αιμορραγιών και τον έλεγχο βλαβερών πολλαπλασιασμών των κυττάρων.

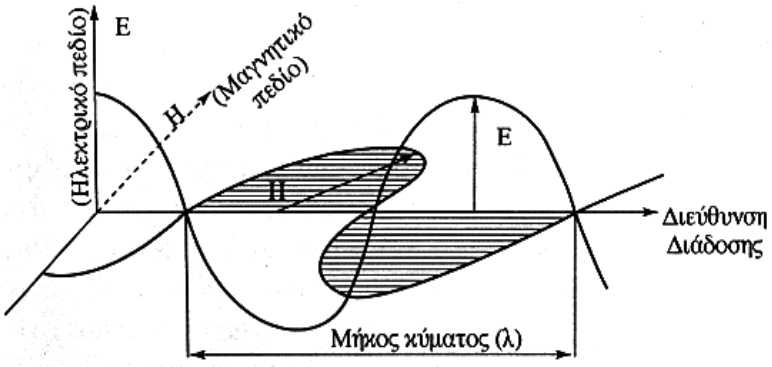
Όταν ανακαλύφθηκε το ραντάρ την εποχή του Β' Παγκοσμίου Πολέμου, το οποίο λειτουργεί στη μικροκυματική περιοχή συχνοτήτων (GHz) και εκπέμπει ισχυρές κατευθυντικές δέσμες, δημιουργήθηκαν οι πρώτες ανησυχίες για πιθανές ανεπιθύμητες επιδράσεις των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων στον άνθρωπο. Μετά το τέλος του πολέμου άρχισαν τα πρώτα πειράματα σε κουνέλια, που ανέπτυξαν γλαύκωμα μέσα σε 10 λεπτά όταν δέχθηκαν στα μάτια δέσμη μικροκυμάτων πυκνότητας ισχύος 3000 $mW/cm^2$. Αρχές του 1950 τα 100 $mW/cm^2$ θεωρούνται γενικά καταστροφικά και προτείνεται ως όριο ασφαλείας τα 0,1 $mW/cm^2$. Όμως, το 1955 θεσπίζονται στις ΗΠΑ ως όριο ασφαλείας τα 10$mW/cm^2$, όριο που ασπάζονται 14 χώρες, μεταξύ των οποίων όλα τα μέλη του ΝΑΤΟ. Το 1960 έγινε γνωστό στις ΗΠΑ ότι το όριο ασφαλείας των Σοβιετικών ήταν 10 $\mu W/cm^2$ δηλ. 1000 φορές μικρότερο από το Δυτικό όριο! Ο λόγος ίσως να είναι ότι οι Σοβιετικοί μελετούσαν συστηματικά τις βιολογικές επιδράσεις των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων ήδη από τη δεκαετία του 1930! Παράλληλα στις Η.Π.Α πληθαίνουν κάποιες μελέτες που συσχετίζουν την εμφάνιση ασθενειών με την έκθεση σε Η/Μ πεδία χαμηλών συχνοτήτων.

Σήμερα, οι εργασίες με αυτό το θέμα βρίσκονται στην αιχμή της επιστημονικής έρευνας. Αυτό γιατί από τη μία μεριά η ραγδαία πρόοδος της τεχνολογίας οδηγεί σε μεγαλύτερη χρήση τέτοιων πηγών ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και από την άλλη οι κοινωνίες των ενημερωμένων πολιτών επιτάσσουν την ορθολογική χρήση των επιστημονικών επιτευγμάτων. Ο τεράστιος όγκος εργασιών που υπάρχει ήδη πάνω σ'αυτό το θέμα επιτρέπει την εξαγωγή των πρώτων συμπερασμάτων. Ωστόσο, θα χρειαστούν δεκαετίες ακόμα εντατικής έρευνας ώστε να αποκτηθεί επαρκής γνώση των συνεπειών της μη ιονίζουσας ακτινοβολίας, ανάλογη με εκείνη της ιονίζουσας.

# 1.3 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΚΥΜΑ – ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΚΑΙ ΜΕΓΕΘΗ

## 1.3.1 Ορισμοί βασικών εννοιών και μεγεθών

Ηλεκτρικό πεδίο ονομάζουμε τον χώρο μέσα στον οποίο ασκούνται δυνάμεις σε ηλεκτρικά φορτία. Αντίστοιχα, το μαγνητικό πεδίο είναι χώρος μέσα στον οποίο ασκούνται δυνάμεις σε ηλεκτρικά ρεύματα. Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου (**E**) είναι το μέγεθος που εκφράζει πόσο ισχυρό είναι το ηλεκτρικό πεδίο σε ένα συγκεκριμένο σημείο του. Το αντίστοιχο εκφράζει η ένταση του μαγνητικού πεδίου (**B**) (Σχήμα1.1). Τα πεδία αυτά, ανάλογα με τις εντάσεις τους **E** ή **B**, χαρακτηρίζονται σαν στατικά (όταν οι εντάσεις τους είναι χρονικά σταθερές), μεταβαλλόμενα και εναλλασσόμενα (όταν οι εντάσεις αλλάζουν μέτρο και φορά ή αλλιώς πολικότητα σε σχέση με τον χρόνο).




**Σχήμα 1.1**

Τα ηλεκτρικά φορτία όταν ταλαντώνονται παράγουν ηλεκτρομαγνητικά κύματα, τα οποία είναι τοπικές και χρονικές μεταβολές του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου. Τα παραγόμενα από τις συνήθεις ηλεκτρονικές διατάξεις ηλεκτρομαγνητικά κύματα είναι αρμονικά, διαδίδονται δηλαδή κατά επίπεδα μέτωπα, πράγμα που σημαίνει ότι οι εντάσεις **E** και **B** μεταβάλλονται τοπικά και χρονικά ακολουθώντας τον νόμο του ημίτονου. Στα επίπεδα κύματα, το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο είναι κάθετα μεταξύ τους και παίρνουν συγχρόνως την μέγιστη ή την ελάχιστη τιμή τους (*συμφασικά)*.

Η απόσταση μέσα στην οποία τα **E** και **B** συμπληρώνουν μια πλήρη εναλλαγή λέγεται μήκος κύματος (λ*),* ενώ ο αριθμός των πλήρων εναλλαγών στην μονάδα του χρόνου (1s) ονομάζεται συχνότητα (ν*),* του κύματος. Η σχέση υ = λ. ν είναι η συνδετική σχέση μεταξύ των λ και ν, όπου υ είναι η ταχύτητα διάδοσης του ηλεκτρομαγνητικού κύματος και είναι ίση με την ταχύτητα του φωτός, δηλαδή υ= 300.000km/s. Η συχνότητα παίζει μεγάλο ρόλο στις μετρήσεις της μη ιονίζουσας ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Σε συχνότητες 0-500 Hz, τα **E** και **B** είναι ασύνδετα. Έτσι, είμαστε αναγκασμένοι σε τόσο χαμηλές συχνότητες να μετράμε την ένταση και των δυο πεδίων. Σε συχνότητες όμως πάνω από 3 MHz (υψηλές συχνότητες), τα **E** και **B** συνδέονται με απλές σχέσεις μεταξύ τους, όπως και με την πυκνότητα ισχύος **P**, η οποία δίνεται από τον τύπο.

Έτσι, στις υψηλές συχνότητες αρκεί η μέτρηση ενός μόνο εκ των δυο για τον προσδιορισμό και του άλλου όπως επίσης για την πυκνότητα ισχύος.

### 1.3.2 Μονάδες μέτρησης

Στον πίνακα 1-1 αναγράφονται τα μεγέθη που προαναφέρθηκαν, καθώς και οι μονάδες μέτρησής τους:

**Πίνακας 1.1**

| ΦΥΣΙΚΟ ΜΕΓΕΘΟΣ | ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ | ΜΟΝΑΔΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ |
|---|---|---|
| Ένταση Ηλεκτρικού Πεδίου | E | Volts/meter (V/m) |
| Ένταση Μαγνητικού Πεδίου | B | Tesla (T) ή Gauss (G) * |
| Μήκος Κύματος | Λ | Meter (m) |
| Συχνότητα | v ή f | Hertz (Hz) |
| Ισχύς | N | Watt (W) |
| Πυκνότητα Ισχύος | P ή S | $Watt/(meter)^2$ ($W/m^2$) |
| Χρόνος | T | Second (s) |

* η σχέση μετατροπής Tesla σε Gauss είναι η εξής: 1T= 10000G

Συχνά, ωστόσο, χρησιμοποιούνται τα πολλαπλάσια και τα υποπολλαπλάσια κάποιων μονάδων. Αυτό δηλώνεται με το κατάλληλο πρόθεμα στη μονάδα μέτρησης. Θα χρησιμοποιήσουμε τα εξής προθέματα(πίνακας 1-2):

**Πίνακας 1.2**

| | | |
|---|---|---|
| milli | $10^{-3}$ | π.χ. : 1mm=(1/1000)m |
| micro | $10^{-6}$ | 1μA=(1/1000000)A = $10^{-6}$A |
| nano | $10^{-9}$ | 1nT=(1/1000000000)T=$10^{-9}$T |
| pico | $10^{-12}$ | 1ps=(1/1000000000000)s=$10^{-12}$s |
| Kilo | $10^{3}$ | 1KW=1000W |
| Mega | $10^{6}$ | 1MHz=1000000Hz=$10^{6}$Hz |
| Giga | $10^{9}$ | 1GHz=1000000000Hz=$10^{9}$Hz |

### 1.3.3 Φυσικά και τεχνητά Η/Μ πεδία

**Φυσικά Η/Μ πεδία**

Τα φυσικά ηλεκτρομαγνητικά πεδία είναι πεδία τα οποία προέρχονται από την ίδια την *φύση* και τα οποία δεν μπορούν να αποφευχθούν από τους ζωντανούς οργανισμούς. Η φυσική ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία χωρίζεται σε στατική ή μη στατική. Για παράδειγμα, μεταξύ της ιονόσφαιρας και της γης υπάρχει φυσικό ηλεκτρικό στατικό πεδίο το οποίο κυμαίνεται, σε συνθήκες καλοκαιρίας, από 0,1 KV/m έως 0,5 KV/m, ενώ σε συνθήκες καταιγίδας το ίδιο πεδίο παίρνει τιμές από 3 KV/m - 20 KV/m. Αντίστοιχα, το γήινο μαγνητικό πεδίο εξαρτάται από το

γεωγραφικό πλάτος και κυμαίνεται από 0,31 έως 0,62 Gauss. Κατά τις εκλάμψεις του ήλιου το μαγνητικό πεδίο της γης μπορεί να μεταβληθεί ως και 0.03 Gauss, οπότε έχουμε τις λεγόμενες *μαγνητικές καταιγίδες.* Εκτός από τα στατικά της πεδία, η γη δέχεται και την επίδραση ηλιακών ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Πιο συγκεκριμένα, ο ήλιος κατά την διάρκεια των εκλάμψεών του (εντεκάχρονης περιοδικότητας) εκπέμπει ένα μεγάλο φάσμα συχνοτήτων, το οποίο περιλαμβάνει τα ραδιοκύματα, το ορατό φως, το υπεριώδες και φτάνει μέχρι και την περιοχή των ακτινών Roentgen.

Από πολύ παλιά, υπήρχε η υπόνοια ότι η φυσική ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία επηρεάζει την ψυχική διάθεση των ανθρώπων αλλά και την εξέλιξη ασθενειών. Την παραπάνω υπόνοια έρχεται τώρα να την επιβεβαιώσει η ίδια η επιστήμη με την έρευνα της πάνω στις βιολογικές επιδράσεις κατά την περίοδο ηλιακών εκρήξεων. Έτσι, σε μια περίοδο ενός περίπου αιώνα, μελετήθηκαν τα κρούσματα περιοδικού ή κυματοειδούς πυρετού στο Ευρωπαϊκό τμήμα της Σ.Ένωσης, και τα κρούσματα μηνιγγίτιδας στη Ν.Υόρκη. Από την μελέτη προέκυψε ότι ο αριθμός των κρουσμάτων μεγιστοποιείται στο μέγιστο της ηλιακής ακτινοβολίας (11ετούς περιοδικότητας), με μεγαλύτερη έξαρση το 1910, όπου η ηλιακή δραστηριότητα παρέμεινε σε υψηλά επίπεδα για αρκετό καιρό.

Τα ατμοσφαιρικά ηλεκτρομαγνητικά φαινόμενα παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον, γιατί στην ίδια περιοχή συχνοτήτων εκπέμπει ηλεκτρομαγνητικά κύματα και ο ίδιος μας ο εγκέφαλος. Μια βασική φασματική ανάλυση του ανθρώπινου εγκεφαλογραφήματος αναδεικνύει περιοχές συχνοτήτων των οποίων οι τιμές είναι κοντινές στις τιμές συχνοτήτων των ατμοσφαιρικών ηλεκτρομαγνητικών συμβάντων.

Έτσι δικαιολογείται η ευαισθησία του εγκεφάλου στα συμβάντα αυτά. Αυτό έχει αποδειχθεί από πειράματα μέτρησης της επίδρασης των ατμοσφαιρικών ηλεκτρομαγνητικών συμβάντων στον χρόνο αντίδρασης οδηγών αυτοκινήτων στα φωτεινά σήματα της τροχαίας.

**Τεχνητά Η/Μ πεδία**

Ο άνθρωπος, πέρα από την επιβάρυνση που δέχεται από τα φυσικά ηλεκτρομαγνητικά πεδία, έχει να αντιμετωπίσει και τα τεχνητά ηλεκτρομαγνητικά πεδία τα οποία έχει δημιουργήσει ο ίδιος. Αυτά τα πεδία καλύπτουν ένα μεγάλο φάσμα συχνοτήτων. Το κυριότερο από τα τεχνητά πεδία που μας περιβάλλει είναι αυτό του δικτύου της Δ.Ε.Η το οποίο είναι 50 Hz. Πέρα όμως από το πεδίο των 50 Hz, στο οικιακό περιβάλλον έχουν προστεθεί πεδία υψηλότερων συχνοτήτων της τάξης των MHz από τους υπολογιστές και τους φούρνους μικροκυμάτων.

Άλλα πεδία στα οποία εκτιθέμεθα στην καθημερινή μας ζωή είναι αυτά των ραδιοτηλεοπτικών σταθμών (300 KHz - 500 MHz), των σταθμών κινητής τηλεφωνίας (900 MHz), και των σταθμών ραντάρ και δορυφορικών επικοινωνιών (της τάξεως των GHz).

# Κεφάλαιο 2

# ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

## 2.1 Εισαγωγή

Κύρια χαρακτηριστικά μιας ακτινοβολίας είναι η φύση της, η ενέργεια που μεταφέρει και η ένταση της. Η ταξινόμηση των ακτινοβολιών γίνεται με κάποια κριτήρια. Αυτά μπορεί να είναι η προέλευση και ο τρόπος παραγωγής τους, είτε τα φαινόμενα που προκαλούν, όταν αλληλεπιδρούν με την ύλη και ιδιαίτερα με ζωντανούς οργανισμούς. Η ταξινόμηση ως προς τη φύση τους, οδηγεί σε δύο κατηγορίες ακτινοβολιών, την ηλεκτρομαγνητική και την ακτινοβολία σωματιδίων με μάζα. ***Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία είναι το είδος εκείνο της ενέργειας που μεταδίδεται στο κενό ή μέσα σε ένα υλικό μέσο με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, δηλαδή τοπικών και χρονικών μεταβολών του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου.***

Υπάρχουν δύο είδη πηγών ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, οι μικροσκοπικές και οι μακροσκοπικές. Στις μικροσκοπικές, η εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας οφείλεται στις μεταπτώσεις ηλεκτρικών φορτίων από μια στάθμη ενέργειας σε μια άλλη, μέσα σε ένα άτομο ή μόριο. Από τέτοιες πηγές εκπέμπονται οι ακτίνες χ και γ, το υπεριώδες, ορατό και υπέρυθρο φως. Στις μακροσκοπικές πηγές η εκπομπή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων προκύπτει από την περιοδική κίνηση των ελεύθερων ηλεκτρονίων σε ηλεκτρικό κύκλωμα. Η συχνότητα του ηλεκτρομαγνητικού κύματος, που εκπέμπεται με τον τρόπο αυτό, εξαρτάται από τις φυσικές διαστάσεις του ηλεκτρικού κυκλώματος. Το φάσμα των ηλεκτρικών, αυτών, συχνοτήτων εκτείνεται από μερικά $Hz$ μέχρι και το απώτερο άκρο της μικροκυματικής περιοχής $10^{11} Hz$ ).

Για να ταξινομήσουμε, τις διάφορες ακτινοβολίες ως προς τα φαινόμενα που προκαλούν, όταν αλληλεπιδρούν με την ύλη, έχει επιλεγεί το φαινόμενο του ιονισμού, δηλαδή κατά πόσο μια ακτινοβολία προκαλεί διέγερση και ιονισμό στο υλικό, στο οποίο προσπίπτει. Έτσι, οι ακτινοβολίες, διακρίνονται σε ιονίζουσες και μη ιονίζουσες. Στα επόμενα κεφάλαια, θα μελετήσουμε, αναλυτικά, τις ιονίζουσες και μη ιονίζουσες ακτινοβολίες, τις βιολογικές επιδράσεις των ακτινοβολιών, αυτών καθώς και διάφορες έρευνες και μελέτες για τις επιδράσεις της ακτινοβολίας στον άνθρωπο και το περιβάλλον.

## 2.2 Ιονίζουσες και μη ιονίζουσες ακτινοβολίες

Ο άνθρωπος κατά τη διάρκεια της ζωής του δέχεται συνεχώς ενέργεια με τη μορφή ακτινοβολίας, τόσο από το φυσικό του περιβάλλον όσον και από τεχνητές πηγές. Η ακτινοβολία αυτή επιδρά πάνω του κατά τρόπο πολύπλοκο, άλλοτε ευεργετικό και άλλοτε βλαβερό,

εξαρτώμενο από το είδος της, την έντασή της και την ενέργεια που μεταφέρει. Οι ακτινοβολίες μπορούν σε πρώτη προσέγγιση να διακριθούν με βάση την ενέργειά τους σε δύο μεγάλες κατηγορίες: τις ιονίζουσες και τις μη ιονίζουσες.

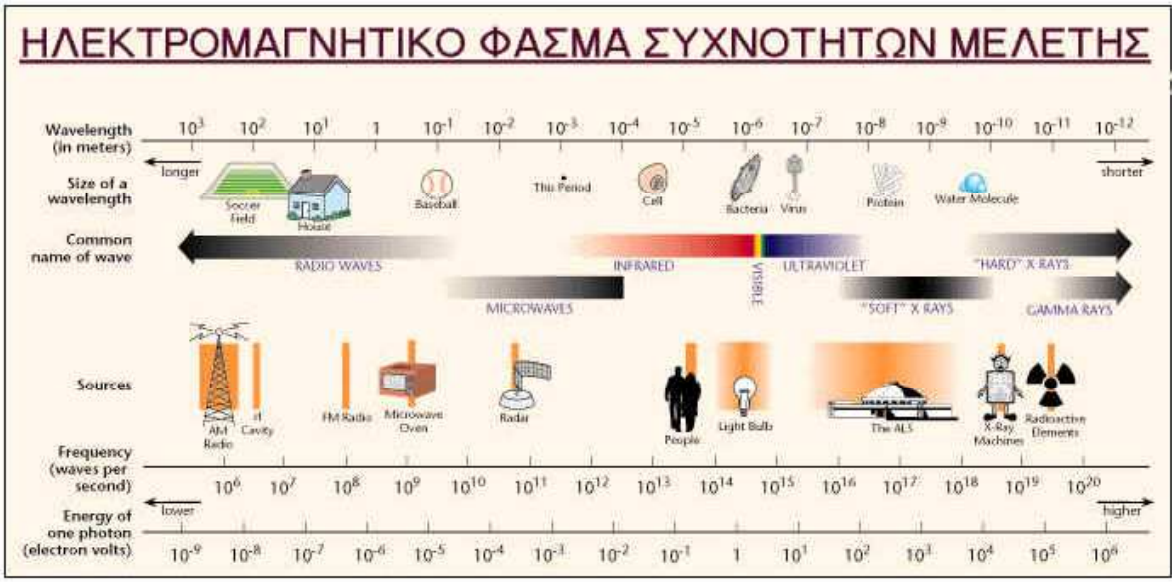
**Ιονίζουσα** είναι η ακτινοβολία που μεταφέρει μεγάλη ενέργεια, ικανή να εισχωρήσει στην ύλη, να διασπάσει βίαια χημικούς δεσμούς και να προκαλέσει βιολογικές βλάβες σε ζώντες οργανισμούς. Ιονίζουσες ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες είναι οι ακτινοβολίες X και γ.

**Μη ιονίζουσα** είναι η ακτινοβολία που μεταφέρει σχετικά μικρή ενέργεια, ανίκανη κατά την αλληλεπίδραση να προκαλέσει άμεσα ιοντισμό, αλλά ικανή να προκαλέσει ηλεκτρικές, θερμικές ή χημικές επιδράσεις στα κύτταρα άλλοτε ευεργετικές και άλλοτε επιβλαβείς για τη λειτουργία τους. Γνωστότερες μη ιοντίζουσες ακτινοβολίες είναι η ορατή ακτινοβολία, η υπέρυθρος, η υπεριώδης, τα μικροκύματα, τα ραδιοκύματα, τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα που εκπέμπουν οι ηλεκτρικές συσκευές, η ακτινοβολία LASER και άλλες.

Οι δύο αυτές μεγάλες κατηγορίες ακτινοβολιών εμφανίζουν σημαντικά διαφορετικές ιδιότητες μεταξύ τους και κατ΄επέκταση έχουν διαφορετικές επιπτώσεις στον άνθρωπο. Για το λόγο αυτό, οι τρόποι η προστασίας από αυτές απαιτούν τελείως διαφορετική μεθοδολογία και μελετώνται από διαφορετικές ομάδες επιστημόνων Στη συνέχεια θα ασχοληθούμε αναλυτικότερα με τις δύο, αυτές, μεγάλες κατηγορίες ακτινοβολιών.

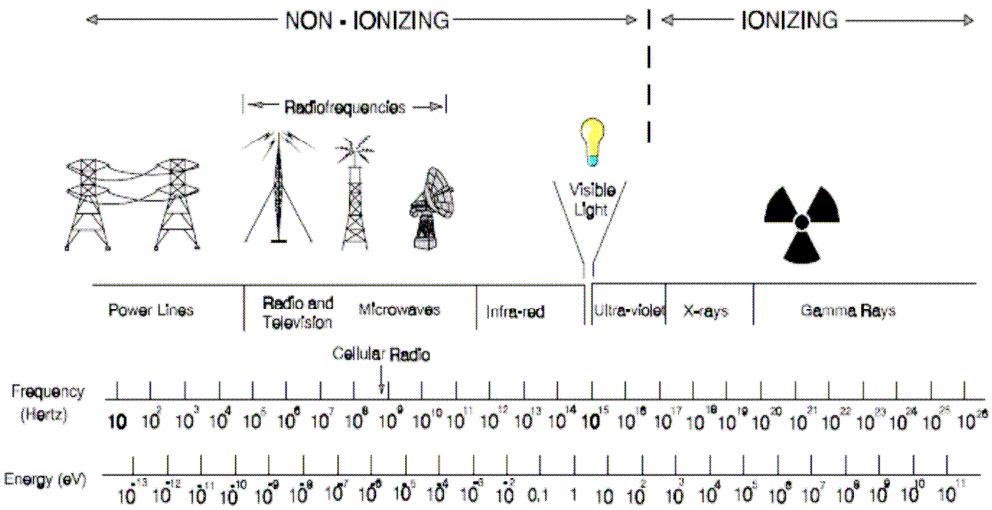
## 2.3 Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα

Περιλαμβάνει το σύνολο της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (συμπεριλαμβανομένου και του ορατού φωτός),με μήκη κύματος από μηδέν έως άπειρα μέτρα. Σε κάθε περιοχή μηκών κύματος αντιστοιχούν διαφορετικοί τύποι ακτινοβολιών που μπορούμε να δούμε στο σχήμα 2.1.




**Σχήμα 2.1**

Από το σχήμα 2.1 βλέπουμε τις διάφορες πηγές συχνοτήτων. Μπορούμε να διακρίνουμε τις διάφορες πηγές συχνοτήτων ανάλογα με την ονομασία τους και τις τυπικές πηγές εκπομπής τους. Καθώς κινούμαστε προς τα αριστερά της γραφικής παράστασης το μήκος κύματος αυξάνει.




**Σχήμα 2.2**

Στο σχήμα 2.2 γίνεται κατηγοριοποίηση της ακτινοβολίας ανάλογα με το αν είναι ιονίζουσα ή όχι.

## 2.4 Ηλεκτρομαγνητικές ιδιότητες ανθρώπινου σώματος

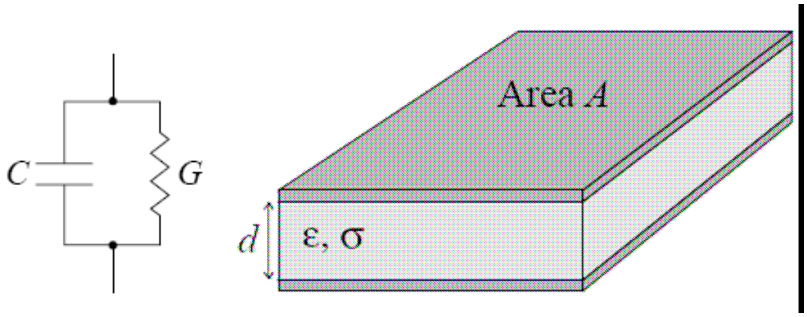
Η ηλεκτρική διαπερατότητα του ανθρώπινου σώματος είναι πολύ μεγάλη, ανάλογα με τον ιστό και τη συχνότητα του Η/Μ κύματος που προσπίπτει στο σώμα, και είναι μιγαδικός αριθμός:

$$\varepsilon = \varepsilon' - i\frac{\sigma}{\omega} \tag{2-1}$$

Ο άνθρωπος δεν είναι μαγνητικό υλικό, οπότε στην εξίσωση $\mu = \mu_r \mu_o$ το $\mu_r = 1$, συνεπώς η μαγνητική διαπερατότητα του ανθρώπου είναι ίδια με αυτή του κενού.

Όμως γιατί είναι η ηλεκτρική διαπερατότητα του σώματός μας μιγαδικός αριθμός;

Κάθε ιστός του σώματός μας αποτελεί ένα μικρό κύκλωμα RC όπως φαίνεται στο σχήμα 2.3.




**Σχήμα 2.3**

η χωρητικότητα του πυκνωτή είναι

$$C = \frac{\varepsilon A}{d} \tag{2.2}$$

και η αντίσταση είναι

$$G = \frac{\sigma A}{d} \tag{2.3}$$

όπου **σ είναι αγωγιμότητα (σε $Sm^{-1}$),** η οποία είναι το αντιστρόφως ανάλογο της ειδικής αντίστασης ρ. Από την παραπάνω σχέση για την ηλεκτρική διαπερατότητα, η χωρητικότητα γίνεται:

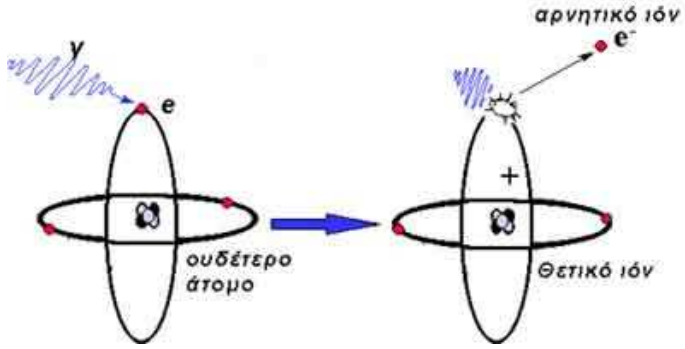
$$C = \frac{\varepsilon' A}{d} - i\frac{\sigma A}{\omega d} \tag{2-4}$$

# Κεφάλαιο 3

# ΙΟΝΙΖΟΥΣΑ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

## 3.1 Ιοντισμός

*Ιοντισμός του ατόμου* είναι η λόγω της δράσης κάποιου εξωτερικού αιτίου, βίαιη απομάκρυνση ενός ή περισσοτέρων ηλεκτρονίων από τις ηλεκτρονικές ατομικές στοιβάδες, με αποτέλεσμα την παραγωγή αντίθετα φορτισμένων ιόντων. Τα ιόντα αυτά αφορούν αφενός στα αρνητικά ηλεκτρόνια που απομακρύνθηκαν από το άτομο και αφετέρου στα ελλειμματικά σε ηλεκτρόνια θετικά φορτισμένα άτομα που προέκυψαν από την αλληλεπίδραση (Σχήμα 3.1).




**Σχήμα 3.1**

Στο σχήμα 3.1 παρατίθεται ο ιοντισμός ουδέτερου ατόμου από προσβολή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Βίαιη εκδίωξη του ηλεκτρονίου από το άτομο και παραγωγή ζεύγους αντίθετα φορτισμένων ιόντων.

Για να εκδιωχθεί ένα ηλεκτρόνιο από τις στοιβάδες του, απαιτείται ενέργεια η οποία προσδίδεται στο άτομο από κάποιο εξωτερικό αίτιο (π.χ. πρόσπτωση ακτινοβολίας). Η ενέργεια αυτή πρέπει προφανώς να καλύπτει την ενέργεια σύνδεσης του ηλεκτρονίου στο άτομο. Η τιμή της εξαρτάται από την ταυτότητα του ατόμου και τη θέση της ηλεκτρονικής στοιβάδας στην οποία είναι συνδεδεμένο του ηλεκτρόνιο. δεν μπορεί να είναι μικρότερη των 10 $eV$ .

**Ιοντισμός και βιολογική βλάβη**

Όταν η ακτινοβολία προκαλεί ιοντισμό σε ένα βιολογικό υλικό, (π.χ. στο κυτταρόπλασμα ή στον πυρήνα ενός κυττάρου), έχει σαν αποτέλεσμα τη ρήξη ενός χημικού δεσμού, δηλαδή την καταστροφή ενός μορίου με επακόλουθο την παραγωγή δύο δραστικών χημικών ριζών. Η ρήξη του μοριακού δεσμού προκαλεί άμεση βιολογική βλάβη διότι καταστρέφει ένα ωφέλιμο για τη ζωή ή τον πολλαπλασιασμό του κυττάρου μόριο. Οι δραστικές χημικές ρίζες που παράγονται, με τη σειρά τους από τη διάσπαση του μορίου, θα προκαλέσουν πρόσθετη έμμεση βλάβη, διότι θα επιτεθούν σε ωφέλιμα μόρια, θα τα καταστρέψουν και θα δημιουργήσουν άχρηστες ή βλαβερές για το κύτταρο χημικές ενώσεις. Όπως θα δούμε σε επόμενα κεφάλαια, ιδιαίτερη σημασία για τη ζωή

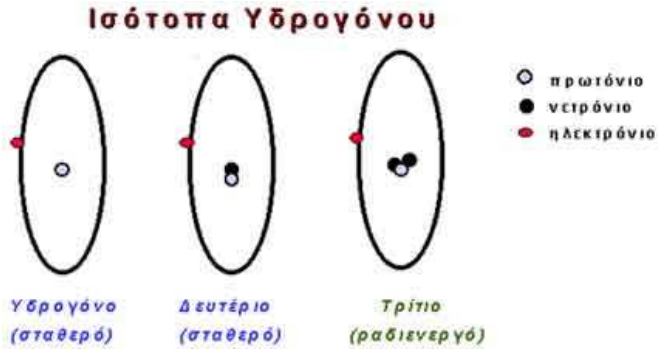
και την αναπαραγωγή του κυττάρου έχουν οι βλάβες εκείνες που προκαλούνται στο γενετικό του υλικό, διότι αυτές συνδέονται τόσο με τη μεταβίβαση κληρονομικών ανωμαλιών στους απογόνους όσο και με τη διαδικασία της καρκινογένεσης.

**Με τον όρο ιονίζουσα ακτινοβολία,** όπως προαναφέραμε, χαρακτηρίζουμε τις ακτινοβολίες, εκείνες, που μεταφέρουν ικανή ενέργεια, ώστε κατά την αλληλεπίδραση τους με την ύλη, να προκαλούν ιοντισμό των ατόμων της. Οι ιονίζουσες ακτινοβολίες εκπέμπονται από φυσικές πηγές παραγωγής ακτινοβολιών (φυσικά ραδιοϊσότοπα, η κοσμική ακτινοβολία) ή από τεχνητές πηγές (ακτινολογικές λυχνίες, τεχνητά ραδιοϊσότοπα). Στις ιονίζουσες ακτινοβολίες, κατατάσσονται οι ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες, όπως οι ακτινοβολίες τύπου α, β, γ και νετρονίων που εκπέμπονται από ραδιενεργούς πυρήνες, όπως επίσης και οι ακτίνες χ και κάποια υποατομικά σωματίδια που παράγονται τεχνητά ή αποτελούν συνιστώσες της κοσμικής ακτινοβολίας.

Από τις ακτινοβολίες, αυτές, οι πιο γνωστή, είναι η ακτινοβολία χ που παράγεται στις ακτινολογικές λυχνίες και έχει ευρεία χρήση στην Ιατρική, καθώς και οι α, β και γ που εκπέμπονται από τους φυσικούς ή τεχνητούς ασταθής πυρήνες των ατόμων κάποιων στοιχείων που ονομάζονται ραδιοϊσότοπα.

## 3.2 Ραδιοϊσότοπα και ραδιενέργεια

Είναι γνωστό ότι ο πυρήνας ενός ατόμου της ύλης αποτελείται από πρωτόνια και νετρόνια. Ο αριθμός των πρωτονίων του πυρήνα καθορίζει το είδος του ατόμου ενώ το άθροισμα πρωτονίων και νετρονίων το βάρος του ατόμου. Άτομα με τον ίδιο αριθμό πρωτονίων είναι ομοειδή, ανήκουν δηλαδή στο ίδιο στοιχείο. Άτομα με τον ίδιο αριθμό πρωτονίων και διαφορετικό αριθμό νετρονίων είναι προφανώς και αυτά ομοειδή και καλούνται ισότοπα του ίδιου στοιχείου.




**Σχήμα 3.2**

Στο σχήμα 3.2 μπορούμε να διακρίνουμε, τα τρία φυσικά ισότοπα του στοιχείου υδρογόνου, από τα οποία το τρίτιο έχει ασταθή ραδιενεργό πυρήνα. Το τρίτιο είναι ραδιενεργό στοιχείο και από τη διάσπαση του προκύπτει η ακτινοβολία β.

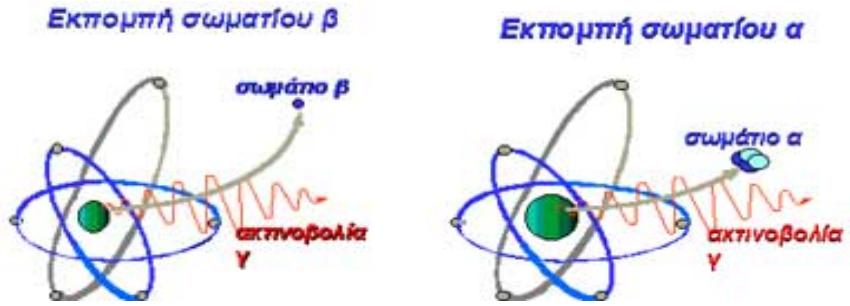
Ο πυρήνας ενός ατόμου είναι σταθερός αν ο συνδυασμός του αριθμού πρωτονίων και νετρονίων είναι αποδεκτός από τη φύση ενώ αντίθετα είναι ασταθής αν ο συνδυασμός αυτός είναι

απαγορευμένος. Στη φύση υπάρχουν ασταθείς πυρήνες ατόμων ενώ ορισμένοι από αυτούς παράγονται τεχνητά.

Οι ασταθείς πυρήνες διασπώνται με χαρακτηριστικούς μηχανισμούς και στόχο τη μετάπτωση σε μία σταθερότερη φυσική κατάσταση. Για το σκοπό αυτό αποβάλλουν μάζα και ενέργεια με τη μορφή σωματιδιακής και ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας αντίστοιχα. Η χαρακτηριστική ιδιότητα των ασταθών πυρήνων να αποβάλλουν μάζα και ενέργεια καλείται ραδιενέργεια**.**

Ραδιενέργεια, ενός υλικού, ονομάζουμε, το φυσικό μέγεθος, το οποίο χαρακτηρίζει το ρυθμό διάσπασης των ασταθών πυρήνων του. Μονάδα μέτρησης είναι το 1 Bequerel (Bq), το οποίο αντιστοιχεί σε μία διάσπαση ενός ασταθούς πυρήνα ανά δευτερόλεπτο.

Τα ραδιοϊσότοπα είναι ισότοπα των γνωστών χημικών στοιχείων που χαρακτηρίζονται από ασταθής πυρήνες. Κάθε ραδιοϊσότοπο ενός στοιχείου χαρακτηρίζεται, μονοσήμαντα από το είδος και την ενέργεια της ακτινοβολίας, την οποία εκπέμπει καθώς και από το χρόνο υποδιπλασιασμού του. Ο χρόνος υποδιπλασιασμού ενός ραδιοϊσοτόπου, είναι ο χρόνος που απαιτείται για να πέσει η τιμή της ραδιενέργειας του, στο μισό της αρχικής της τιμής. Ο χρόνος υποδιπλασιασμού, είναι σταθερός και χαρακτηριστικός για κάθε είδος ραδιοϊσοτόπου. Τα ραδιοϊσότοπα των σταθερών στοιχείων, τα συναντάμε στη φύση, ως φυσικά συστατικά του εδάφους, του νερού και του ατμοσφαιρικού αέρα, ή παράγονται τεχνητά σε εγκαταστάσεις υψηλής τεχνολογίας (π.χ. σε πυρηνικούς αντιδραστήρες).




**Σχήμα 3.3**

## ΕΙΔΗ ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

### Φυσική ραδιενέργεια

Οι πηγές της φυσικής ραδιενέργειας είναι:

- Από τον ουρανό (κοσμική ακτινοβολία)
- Από τη γη (ραδιενεργά κοιτάσματα)
- Από το ίδιο το ανθρώπινο σώμα (εσωτερική ραδιενέργεια)

Και οι τρεις, αυτές, πηγές έχουν την αρχή τους στη δημιουργία του σύμπαντος.

### Κοσμική ακτινοβολία

Κοσμική ακτινοβολία είναι η μυστηριώδης ακτινοβολία που μας έρχεται από το αχανές διάστημα. Είναι προϊόν των συνεχών μεταβολών που συμβαίνουν στον αστρικό χώρο. Από το

διάστημα φτάνει στη Γη ακτινοβολία, φτάνουν βλήματα - πυρηνικά σωματίδια δεν φτάνουν ραδιενεργοί πυρήνες. Οι ραδιενεργοί πυρήνες που φτάνουν στην επιφάνεια της Γης δεν έρχονται από το διάστημα, προέρχονται από τη σύγκρουση της κοσμικής ακτινοβολίας με στοιχεία που βρίσκονται στην ατμόσφαιρα.

Έτσι στην επιφάνεια της Γης είναι ελάχιστα αισθητή διότι η γήινη ατμόσφαιρα την εξασθενεί και συγκρατεί το μεγαλύτερο μέρος της. Φτάνει στη γη από παντού. Δεν υπάρχει κατεύθυνση από την οποία να φαίνεται ότι έρχεται περισσότερη. Κανείς δεν μπορεί να ξεφύγει από αυτήν την "αστρική βροχή". Από πού προέρχεται και επιταχύνεται η κοσμική ακτινοβολία; Προέρχεται από εκρήξεις αστέρων; Επιταχύνεται στην επιφάνεια των αστέρων από τα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία που αναπτύσσονται γύρω από αυτά; Υπάρχουν πολλές πηγές κοσμικής ακτινοβολίας στον Γαλαξία. Ανεξάρτητα πάντως από πού προέρχεται, η αρχική κοσμική ακτινοβολία φτάνει στην επιφάνεια της Γης τροποποιημένη. Την τροποποίηση αυτή την προκαλεί η γήινη ατμόσφαιρα. Καθώς η ακτινοβολία διέρχεται μέσα από την ατμόσφαιρα, συγκρούεται με πυρήνες ατόμων που βρίσκονται στον αέρα. Η σύγκρουση οδηγεί στην παραγωγή ενός μεγάλου αριθμού σωματιδίων διαφόρων τύπων. Τα δευτερογενή αυτά σωματίδια ακολουθούν την πορεία των πρωτογενών, την πορεία προς την επιφάνεια της Γης, στο δρόμο τους όμως συνεχώς απορροφούνται από τα στοιχεία του αέρα και τελικά στην επιφάνεια της Γης φτάνουν πολύ λίγα. Ο μηχανισμός απορρόφησης της κοσμικής ακτινοβολίας από την ατμόσφαιρα είναι εκείνος που οδηγεί στη συνεχή παραγωγή ορισμένων φυσικών ραδιενεργών στοιχείων. Όσο πιο ψηλά βρισκόμαστε στην ατμόσφαιρα τόσο δεχόμαστε περισσότερη κοσμική ακτινοβολία. Αυτό έχει ως συνέπεια οι επιβάτες και τα πληρώματα των αεροπορικών πτήσεων να επιβαρύνονται με μια πρόσθετη δόση. Τα μέρη που είναι πιο κοντά στους πόλους δέχονται 4 φορές περισσότερη ακτινοβολία από τα μέρη που είναι πιο κοντά στον Ισημερινό. Η διαφορά αυτή οφείλεται στο μαγνητικό πεδίο της Γης.

**Ακτινοβολία από τη Γη**

Στο υπέδαφος έχουν βρεθεί περισσότερα από 40 ραδιενεργά ισότοπα. Τα πιο πολλά προέρχονται από διασπάσεις άλλων ραδιενεργών ισοτόπων και κατατάσσονται σε τρεις σειρές με επικεφαλή το αρχικό ισότοπο από το οποίο προέρχονται. Τα πρώτα (πατρικά) δίνουν το όνομά τους στις αντίστοιχες σειρές, είναι το Ουράνιο -238 (σειρά ουρανίου), το θόριο (σειρά θορίου) και το ουράνιο 235 (σειρά ακτινίου). Αυτά τα τρία ισότοπα έχουν αντίστοιχα χρόνους υποδιπλασιασμού 4, 5, 14 και 0,7δισεκατομμύριαχρόνια. Τα "πατρικά" αυτά ισότοπα μπορεί να προέρχονται από άλλα των οποίων ο χρόνος υποδιπλασιασμού ήταν μικρότερος και έτσι δεν υπάρχουν σήμερα. Η εκπεμπόμενη ακτινοβολία μεταβάλλεται από τόπο σε τόπο, ανάλογα με την περιεκτικότητά του σε φυσικά ραδιενεργά κοιτάσματα. Τέτοια μέρη έχουν βρεθεί τώρα στην Βραζιλία και στην Ινδία (στην επαρχία Κεράλα). Έρευνες που έγιναν στην επαρχία Κεράλα για τυχόν επιπτώσεις από τα υψηλά επίπεδα της φυσικής ραδιενέργειας έδωσαν αρνητικά αποτελέσματα.

Σε μια πρόσφατη μελέτη παρατηρήθηκε αυξημένος αριθμός πνευματικά καθυστερημένων

ατόμων που αποδίδεται σε γενετικά αίτια ενώ δεν παρατηρήθηκε αύξηση σε επίκτητες βλάβες. Αυτά είναι ένδειξη ότι η ραδιενέργεια χαμηλής δόσης μπορεί να προκαλέσει βλάβες οι οποίες είναι γενετικής φύσεως.

**Ακτινοβολία από το εσωτερικό του ανθρώπου**

Τα ραδιενεργά ισότοπα εισέρχονται στο σώμα του ανθρώπου με την εισπνοή και τις τροφές. Ανάλογα με το είδος τους κατακρατούνται από ορισμένα όργανα του σώματος για κάποιο διάστημα. Από αυτή τη θέση ακτινοβολούν τη γύρω περιοχή.

**Άλλες φυσικές πηγές ραδιενέργειας**

Ο άνθρωπος στην καθημερινή του ζωή αντιμετωπίζει και άλλες πηγές ραδιενέργειας από τη Γη μικρότερης σημασίας. Η πιο σημαντική προέρχεται από το κάρβουνο, το οποίο όταν καίγεται ελευθερώνει τα ραδιενεργά ισότοπα που περικλείει. Αυτά είτε φεύγουν με τον καπνό, είτε παραμένουν στην στάχτη. Υπάρχουν επίσης τα φωσφορικά ορυκτά που χρησιμοποιούνται για λιπάσματα περιέχουν σε πολύ μικρές ποσότητες ραδιενεργά ισότοπα και φτάνουν στον άνθρωπο με την τροφή.

Η γεωθερμική ενέργεια που ελευθερώνεται με την μορφή ατμού ή ζεστού νερού είναι ένα μέσο που φτάνει η ραδιενέργεια από το εσωτερικό της Γης στην επιφάνειά της. Οι πηγές των μεταλλικών νερών που περιέχουν, σε διάλυση, απορροές ραδιενεργών στοιχείων και πολύ σπάνια ελάχιστα ποσά των ίδιων ραδιενεργών στοιχείων ή των αλάτων τους. Οι απορροές που συναντούνται στα μεταλλικά νερά είναι κυρίως του ραδίου και μετά του θορίου και του ακτινίου, χαρακτηρίζονται και ως ραδιενεργά αέρια και λέγονται αντίστοιχα ραδόνιο, θορόνιο και ακτινόνιο. Οι ραδιενεργές πηγές έχουν θεραπευτική επίδραση σε πολλές παθήσεις όπως είναι τα αρθριτικά, οι χρόνιοι ρευματισμοί, η πνευμονική φυματίωση κ.λ.π. Στην Ελλάδα οι ισχυρότερες ραδιενεργές πηγές είναι αυτές που βρίσκονται στα Καμένα Βούρλα.

Μέχρι σήμερα δεν έχει ανακοινωθεί κάποια ασθένεια που να αποδόθηκε σε φυσική ραδιενέργεια ακόμη και σε περιοχές που μετρήθηκαν δόσεις 20 και 30 φορές μεγαλύτερες από το μέσο όρο που εμφανίζεται στην επιφάνεια του πλανήτη μας. Είναι πιθανό οι μικρές δόσεις από φυσική ραδιενέργεια να προκαλούν γενετικές βλάβες, σε τόσο μικρά ποσοστά ώστε να θεωρούνται αμελητέες μπροστά στις αλλοιώσεις που δημιουργούνται από άλλες εξωγενείς αιτίες.

**Πηγές Τεχνητής Ραδιενέργειας**

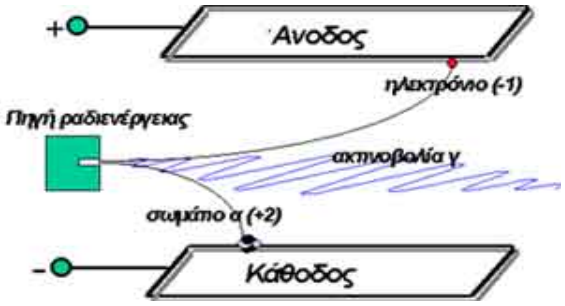
Η συνεχής προσπάθεια του ανθρώπου για την κατανόηση της φύσης και των νόμων της τον οδήγησε στη μελέτη της δομής του πυρήνα και των δυνάμεων που συγκρατούν τα συστατικά του (πρωτόνια και νετρόνια).Έτσι αντιλήφθηκε την τεράστια ενέργεια που περικλείεται στον πυρήνα και επινόησε τεχνητούς τρόπους απελευθέρωσής της. Η τεχνική απελευθέρωση αυτής της ενέργειας είναι το μεγαλύτερο τεχνολογικό επίτευγμα που πραγματοποιήθηκε στον πλανήτη μας.

Η επινόηση των τεχνικών τρόπων απελευθέρωσης της πυρηνικής ενέργειας οδήγησε στην κατασκευή των πυρηνικών αντιδραστήρων και των πυρηνικών όπλων. Οι δυο αυτές "συσκευές" είναι τεράστιες πηγές τεχνητής ραδιενέργειας. Σήμερα, σε 30 χώρες, λειτουργούν 250 πυρηνικοί

ηλεκτρικοί σταθμοί εκ των οποίων 85 στην Ευρώπη, 25 στην Ε.Σ.Σ.Δ, 90 στις Η.Π.Α, 15 στην Ιαπωνία. Στην Ελλάδα λειτουργεί από το 1962 ο πυρηνικός αντιδραστήρας του "Δημόκριτου". Η κύρια χρήση του σήμερα είναι η παραγωγή ραδιοϊσοτόπων για τις ανάγκες των νοσοκομείων. Οι πυρηνικοί αντιδραστήρες λειτουργούν με κανονισμούς ασφαλείας που πρέπει να τηρούνται αυστηρά, για να μην συμβαίνουν ατυχήματα όπως αυτό του αντιδραστήρα του Τσερνομπίλ με τεράστιες επιπτώσεις στο περιβάλλον. Υψηλές δόσεις ραδιενέργειας δέχτηκαν οι εργαζόμενοι στο σταθμό και τα συνεργεία πυρόσβεσης. Έχασαν την ζωή τους 31 άτομα. Οι ατμοσφαιρικές συνθήκες που επικρατούσαν εκείνο το 10ήμερο οδήγησαν στους ραδιενεργούς ρύπους, διαδοχικά, στην Σκανδιναβική Χερσόνησο, βορειοασιατικό τμήμα της Ε.Σ.Σ.Δ, στην κεντρική Ευρώπη, την Αγγλία, στα Βαλκάνια και τη δυτική Τουρκία. Ίχνη του ραδιενεργού νέφους έφτασαν ως τις Η.Π.Α και την Ιαπωνία. Η ραδιενεργός ρύπανση των καλλιεργειών ήταν σημαντικά αυξημένη στις περιοχές που η διέλευση του νέφους συνέπεσε με ισχυρές βροχοπτώσεις. Στην Ελλάδα μεγαλύτερες τιμές ραδιενεργού ρύπανσης του εδάφους μετρήθηκαν στη νοτιοδυτική Μακεδονία και βορειοδυτική Θεσσαλία.

## 3.3 Χαρακτηριστικές Ιδιότητες Ιονιζουσών Ακτινοβολιών

Τα διάφορα είδη των ακτινοβολιών που προαναφέρθηκαν χαρακτηρίζονται από διαφορετικές μεταξύ τους φυσικές ιδιότητες Οι ιδιότητες αυτές καθορίζουν και τη συμπεριφορά τους κατά την αλληλεπίδρασή τους με την ύλη και κατ΄επέκταση τη σχετική βλαπτικότητά τους όταν αυτές προσβάλλουν τους ανθρώπινους ιστούς. Οι διαφορές αυτές όσον αφορά στο φορτίο και στη μάζα των ακτινοβολιών αυτών δίνονται στο παρακάτω σχήμα.




**Σχήμα 3.4**

Στο σχήμα 3.4 μπορούμε να δούμε, τη διέλευση μέσα από ένα ομογενές ηλεκτρικό πεδίο, της εκπεμπόμενης, από ραδιενεργό πηγή, ακτινοβολίας. Τα ευκίνητα ταχέα ηλεκτρόνια β οδεύουν προς την άνοδο και, τα βαριά σωματίδια α προς την κάθοδο, ενώ η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία γ περνάει ανεπηρέαστη.

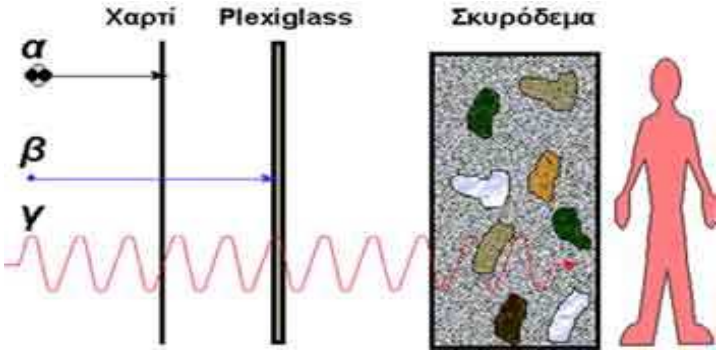
Η διεισδυτικότητα ενός είδους ακτινοβολίας μέσα σε δεδομένο υλικό είναι τόσο μεγαλύτερη όσο μικρότερη είναι η μάζα και το φορτίο της ακτινοβολίας. Ειδικότερα και όσον αφορά τη βλαπτικότητα μιας ακτινοβολίας όταν αυτή προσβάλλει ανά ζωντανό κύτταρο, αυτή εξαρτάται

τόσον από το ποσό της εναποτιθέμενης στο προσβαλλόμενο κύτταρο ενέργειας όσον και από τον τρόπο εναπόθεσής της σ΄ αυτόν.

Έτσι, ακτινοβολίες με μικρή εμβέλεια (διεισδυτικότητα) στους ιστούς, εναποθέτουν όλη την ενέργειά τους στο μικρό μήκος διαδρομής τους και δημιουργούν μεγάλη βλάβη στα προσβαλλόμενα κύτταρα λόγω της μεγάλης χωρικής πυκνότητας των αλληλεπιδράσεων.

Αντίθετα, διεισδυτικές ακτινοβολίες με μεγάλη εμβέλεια στους ιστούς, κατανέμουν την ενέργειά τους σε μεγαλύτερο μήκος διαδρομής, κατά την οποία η τοπική πυκνότητα των αλληλεπιδράσεων είναι μικρή και έτσι η βλάβη των προσβαλλόμενων κυττάρων είναι σχετικά μικρότερη.

Το φυσικό μέγεθος που χαρακτηρίζει τον τρόπο εναπόθεσης της ενέργειας στην ύλη και αποτελεί μέτρο της βλαπτικότητας μιας ακτινοβολίας είναι ο συντελεστής γραμμικής μετάδοσης της ενέργειας LET (Linear Energy Tranfer). Ο συντελεστής γραμμικής μεταφοράς της ενέργειας είναι η ενέργεια, που μεταφέρεται από ένα ταχύ φορτισμένο σωματίδιο, ανά μονάδα μήκους της διαδρομής του, στο βιολογικό δείγμα, μέσα ή πολύ κοντά στη διαδρομή του. Ακτινοβολίες με μεγάλο LET είναι βλαπτικότερες από αντίστοιχες με μικρό LET. Ειδικότερα και σε ό,τι αφορά τις ιδιότητες των ακτινοβολιών με τις οποίες θα ασχοληθούμε στη συνέχεια έχουμε τα ακόλουθα:



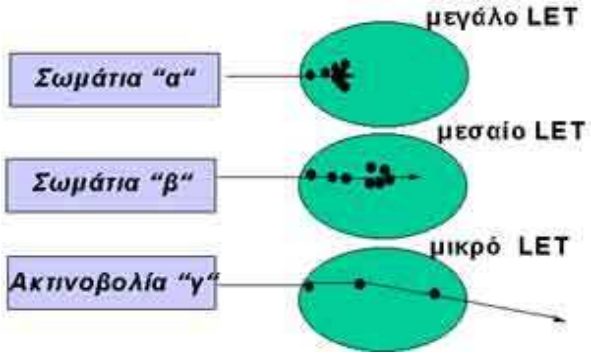

**Σχήμα 3.5**

Στο σχήμα 3.5 βλέπουμε τη διείσδυση της ακτινοβολίας στην ύλη. Τα σωματίδια α αποκόπτονται από ένα φύλλο χαρτιού, τα σωματίδια β από μερικά χιλιοστά lexiglas, ενώ η, ακτινοβολία υψηλής ενέργειας, απαιτεί σχετικά μεγάλα πάχη επιλεγμένων υλικών, για να αποκοπεί.

**ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ 'α'**

Η ακτινοβολία 'α' είναι σωματιδιακή ακτινοβολία η οποία εκπέμπεται από ραδιενεργούς πυρήνες και μπορεί να παραχθεί σε επιταχυντές σωματιδίων. Το σωματίδιο ***α*** είναι σχετικά βαρύ σωμάτιο διότι αποτελείται από δύο πρωτόνια και δύο νετρόνια, (είναι δηλαδή πυρήνας του στοιχείου ηλίου, τέσσερις φορές βαρύτερο του πυρήνα του υδρογόνου), και μεταφέρει σχετικά μεγάλο ηλεκτρικό φορτίο (+2). Όταν τα σωματίδια ***α***, προσβάλλουν την ύλη, λόγω των προαναφερθέντων φυσικών ιδιοτήτων τους, επιβραδύνονται έντονα διότι αλληλεπιδρούν με τα ισχυρά ηλεκτρομαγνητικά και βαρυτικά πεδία που περιβάλλουν τα άτομα, με αποτέλεσμα την άμεση απορρόφησή τους στα πρώτα κιόλας ελάχιστα πάχη του υλικού που συναντούν. Η

**ακτινοβολία ¨α¨** χαρακτηρίζεται από υψηλό LET και είναι δυνατόν να αποκοπεί πλήρως από ένα και μόνο λεπτό φύλλο χαρτιού.




**Σχήμα 3.6**

Στο σχήμα 3.6 βλέπουμε, ότι οι ακτινοβολίες με υψηλό LET προκαλούν σημαντικότερη βλάβη στον προσβαλλόμενο ιστό από τις αντίστοιχες με μικρό LET, διότι εναποθέτουν μεγάλα ποσά ενέργειας στο μικρό μήκος της διαδρομής τους (ιδιαίτερα προς το τέλος της) και αυξάνουν τοπικά την πυκνότητα των ιοντισμών.

**ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ 'β'**

Είναι σωματιδιακή ακτινοβολία η οποία εκπέμπεται από ραδιενεργούς πυρήνες ή μπορεί να παραχθεί σε επιταχυντές σωματιδίων. Τα σωματίδια ***β*** είναι ηλεκτρόνια, με μικρή μάζα (7000 φορές περίπου ελαφρότερη από αυτήν των σωματίων ¨α¨), και φέρουν μικρό σχετικά ηλεκτρικό φορτίο (+1 ή -1, τα θετικά ηλεκτρόνια καλούνται ποζιτρόνια). Οι φυσικές αυτές ιδιότητες επιτρέπουν στην ακτινοβολία ¨β¨ να διεισδύει στην ύλη με μεγαλύτερη ευκολία και να διανύει σημαντικά μεγαλύτερη διαδρομή από ότι η ακτινοβολία ¨α ¨ και συνεπώς χαρακτηρίζεται από σχετικά χαμηλότερο LET. Μερικά χιλιοστά plexiglas είναι ικανά να αποκόψουν την ακτινοβολία ¨β¨.

**ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ 'γ'**

Είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (φωτόνια) υψηλής ενέργειας, που συνοδεύει τις ραδιενεργές διασπάσεις των πυρήνων. Δεν έχει μάζα και δεν μεταφέρει ηλεκτρικό φορτίο. Έτσι η διέλευσή της μέσα από τα πλέγματα των ατόμων της ύλης δεν παρακωλύεται ενώ η πιθανότητά της να αλληλεπιδράσει με τα ηλεκτρόνια ή τους πυρήνες των ατόμων είναι σχετικά μικρή. Συνεπώς είναι διεισδυτική ακτινοβολία χαμηλού LET και αποκόπτεται δύσκολα. Συνήθως για την προστασία μας από αυτήν κατά τις ιατρικές και βιομηχανικές εφαρμογές χρησιμοποιείται μόλυβδος ή σκυρόδεμα το πάχος των οποίων εξαρτάται από την ενέργεια και την ένταση της ακτινοβολίας.

**ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ 'Χ'**

Είναι και αυτή ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (φωτόνια) υψηλής ενέργειας, της ίδιας φύσης με την ακτινοβολία ¨γ¨, αλλά διαφορετικής προέλευσης. Παράγεται στις ηλεκτρονικές στιβάδες των ατόμων (χαρακτηριστική ατομική ακτινοβολία), ή σε στόχους επιβράδυνσης ταχέως κινουμένων φορτισμένων σωματιδίων (ακτινοβολία πέδης) σε ειδικές για το σκοπό αυτό διατάξεις

(λυχνίες ακτινών-Χ, επιταχυντές σωματιδίων). Η ακτινοβολία ¨Χ΄ παρουσιάζει τις ίδιες βασικές φυσικές ιδιότητες με την ακτινοβολία ΄γ΄ σε ό,τι αφορά τη διεισδυτικότητά της.

## 3.4 Δοσιμετρία Ιονίζουσας Ακτινοβολίας

Με τον όρο δοσιμετρία, εννοούμε τη μέτρηση της δόσης, η οποία γίνεται με τη βοήθεια των δοσιμέτρων. Η δοσιμετρία των ακτινοβολιών, είναι απαραίτητο στοιχείο στη Φυσική των ακτινοβολιών. Η δοσιμετρία, ασχολείται με την ποσοτική μέτρηση της ακτινοβολίας, αναφορικά με τις δυσάρεστες επιδράσεις που μπορεί να προκαλέσει. Οι μετρήσεις, αυτές, θεωρούνται απαραίτητες, για τη μελέτη των αρνητικών επιδράσεων της ακτινοβολίας, για την πρόγνωση των κινδύνων που προκύπτουν από την ακτινοβολία και για την προστασία από τις ακτινοβολίες.

Όταν η ιοντίζουσα ακτινοβολία προσπίπτει σε ανθρώπινους ιστούς αλληλεπιδρά με τα μόρια των κυττάρων, εναποθέτει ενέργεια σ΄ αυτά, διασπά χημικούς δεσμούς και προκαλεί βίαιες χημικές αντιδράσεις και βιολογικές μεταβολές. Τα δυσμενή αποτελέσματα της επίδρασης της ακτινοβολίας στους ιστούς έχουν άμεση σχέση με το ποσόν και τη χωρική κατανομή της ενέργειας που εναποτίθεται σ΄ αυτούς.

Στη συνέχεια, αναφέρουμε, τους ορισμούς κάποιων φυσικών δοσομετρικών μεγεθών, τα οποία αποσκοπούν στο να διασυνδέσουν το είδος και την ενέργεια της προσπίπτουσας ακτινοβολίας με την πιθανότητα δημιουργίας βλάβης στον προσβαλλόμενο ιστό και γενικότερα την πιθανότητα βλάβης της υγείας του προσβαλλόμενου ατόμου.

**Απορροφούμενη Δόση**

Η απορροφούμενη δόση $D$ μιας ακτινοβολίας είναι το δοσιμετρικό μέγεθος που εκφράζει την ενέργεια που εναποτίθεται από την προσπίπτουσα ακτινοβολία, ανά μονάδα μάζας της προσβαλλόμενης ύλης. Μονάδα μέτρησης της απορροφούμενης δόσης είναι το 1 Gray, το οποίο αντιστοιχεί σε απορροφούμενη ενέργεια 1 Joule/Kgr προσβαλλόμενης ύλης. Για την περιοχή των δόσεων που αφορούν την ακτινοβόληση του ανθρώπου από φυσικές και τις συνήθεις τεχνητές πηγές (διαγνωστικές εφαρμογές, καταναλωτικά αγαθά κ.λ.π.), χρησιμοποιούνται τα υποπολλαπλάσια του Gray, όπως το milligray (mGy - χιλιοστό του Gy) και το microgray (μGy- εκατομμυριοστό του Gy). Ο τύπος της απορροφούμενης δόσης είναι ο παρακάτω:

$$\mathrm{D} = \frac{\Delta \mathrm{E}}{\Delta \mathrm{m}} \tag{3-1}$$

δηλαδή η απορροφούμενη δόση $D$ μιας ακτινοβολίας, γύρω από ένα σημείο, είναι η ενέργεια $\Delta E$ , η οποία δίνεται από την ακτινοβολία στη μάζα $\Delta m$ στο σημείο που μας ενδιαφέρει, προς τη μάζα $\Delta m$ . Η απορροφούμενη δόση εξαρτάται:

- Από τη φύση της ακτινοβολίας
- Από την ένταση της ακτινοβολίας
- Από τη φύση του απορροφητικού υλικού

Η ενέργεια που απορροφάται και η οποία παρουσιάζεται την πρώτη στιγμή σαν διέγερση του ατόμου ή του πυρήνα δίδεται, αργότερα, σαν ακτινοβολία ή δεσμεύεται σαν δυναμική (χημική) ενέργεια του συστήματος απορρόφησης.

**Ισοδύναμη Δόση**

Η βλάβη που προκαλείται σε έναν ιστό από δεδομένο ποσό απορροφούμενης δόσης, εξαρτάται άμεσα από το είδος της ακτινοβολίας που τον προσβάλλει. 'Άρα για να αποτιμηθεί η βιολογική βλάβη σε έναν ιστό δεν αρκεί να προσδιοριστεί μόνον το ποσό της απορροφούμενης δόσης. Θα πρέπει το ποσό αυτό να πολλαπλασιαστεί με έναν αριθμητικό παράγοντα που να χαρακτηρίζει το LET της προσβάλλουσας ακτινοβολίας και κατ΄επέκταση τη σχετική βαρύτητα της βλάβης που προκαλεί στον ιστό. Το νέο μέγεθος που προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό ονομάζεται ισοδύναμη δόση.

Η ισοδύναμη δόση είναι το δοσομετρικό μέγεθος, που σχετίζεται με τη βλάβη που μπορεί να προκαλέσει σε έναν ιστό, η απορροφούμενη δόση ενός συγκεκριμένου είδους ακτινοβολίας. Μονάδα μέτρησης της ισοδύναμης δόσης είναι το 1 Sievert(Sv).Για την περιοχή των δόσεων που αφορούν την ακτινοβόληση του ανθρώπου από φυσικές και τις συνήθεις τεχνητές πηγές που μας περιβάλλουν, χρησιμοποιούνται τα υποπολλαπλάσια του Sv, όπως το millisievert (mSV - χιλιοστό του Sv) και το microsievert (μSv- εκατομμυριοστό του Sv). Το Sv είναι σχετικά μεγάλη μονάδα δόσεως και χρησιμοποιείται στην αποτίμηση των δόσεων της ακτινοθεραπείας και αυτών προκαλούνται που σε σοβαρά ακτινικά ατυχήματα.

**Ενεργός Δόση**

Οι διάφοροι ανθρώπινοι ιστοί παρουσιάζουν διαφορετική σχετική ευαισθησία στην ακτινοβολία, υπό την έννοια ότι και για δεδομένη ισοδύναμη δόση, κάθε ανθρώπινος ιστός συμβάλλει με διαφορετική βαρύτητα στον συνολικό κίνδυνο που διατρέχει από την ακτινοβόλησή του η υγεία του ανθρώπου. Για παράδειγμα η ακτινοβόληση του αιμοποιητικού ιστού βάζει σε μεγαλύτερο κίνδυνο την υγεία από ότι η ακτινοβόληση με ίση ισοδύναμη δόση του θυρεοειδούς και αυτή με τη σειρά της σε μεγαλύτερο κίνδυνο από ότι η ακτινοβόληση του δέρματος αντίστοιχα. Αν λοιπόν η ισοδύναμη δόση σε ένα όργανο πολλαπλασιαστεί με έναν παράγοντα που χαρακτηρίζει την ευαισθησία του οργάνου, προκύπτει ένα νέο μέγεθος που συμβάλλει στην αποτίμηση του συνολικού κινδύνου που διατρέχει η υγεία από την ακτινοβόληση του συγκεκριμένου οργάνου. Το μέγεθος αυτό καλείται ενεργός δόση και αντιστοιχεί αριθμητικά στην ολοσωματική ισοδύναμη δόση που έπρεπε να δεχθεί το προσβληθέν άτομο ώστε να διατρέξει τον ίδιο κίνδυνο βλάβης της υγείας του με αυτόν που διατρέχει από την τοπική ακτινοβόληση του οργάνου. Η ενεργός δόση, μας επιτρέπει να αντιλαμβανόμαστε και να αποτιμούμε κατά ενιαίο τρόπο το συνολικό κίνδυνο που διατρέχει η υγεία του ανθρώπου από δεδομένη και τα μέτρα ακτινοπροστασίας ακτινοβόληση ενός οργάνου.

Η ενεργός δόση είναι το δοσιμετρικό μέγεθος που σχετίζεται με τον ενεχόμενο συνολικό κίνδυνο για την υγεία, ανεξάρτητα από το είδος της προσβάλλουσας ακτινοβολίας, τις συνθήκες

ακτινοβόλησης και την ακτινοβολούμενη περιοχή του ανθρωπίνου σώματος. Η μονάδα μέτρησης της ενεργού δόσεως, είναι το 1Sievert (Sv).

## 3.5 Βιολογικές Επιδράσεις της Ιονίζουσας Ακτινοβολίας

Η ιονίζουσα ακτινοβολία, δηλαδή η περιοχή άνω των 300 *GHz* του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, που περιλαμβάνει το ηλιακό φάσμα τις ακτίνες Χ, γ κ.τ.λ. έχει μελετηθεί, επαρκώς από τους ερευνητές ως προς τις βιολογικές της, επιδράσεις. Όλοι οι ενεργοί πολίτες, σήμερα, είναι ενήμεροι, σήμερα, για την επικινδυνότητα, της ηλιοθεραπείας, των ακτινογραφιών και της ραδιενέργειας, γενικότερα, έχοντας υποστεί τις συνέπειες ιστορικών καταστροφών, οι οποίες ταλαιπώρησαν και συνεχίζουν να ταλαιπωρούν πολλές περιοχές του πλανήτη μας.(Χιροσίμα, Ναγκασάκι, Τσερνομπίλ).

Στην ιονίζουσα ακτινοβολία, η μεταφερόμενη ενέργεια είναι μεγάλη και αυτό προκαλεί το σπάσιμο των δεσμών μεταξύ των μορίων. Το γεγονός, αυτό, είναι, ιδιαίτερα επικίνδυνο, διότι προκαλεί αλλοιώσεις στο γενετικό κώδικα του DNA.Το DNA αποτελεί το φορέα των κληρονομικών μεταβολών, γι’ αυτό και κάθε αλλοίωση της φυσικοχημικής του δομής, οδηγεί σε αλλοίωση των κληρονομικών και λειτουργικών χαρακτηριστικών των κυττάρων. Οι ιονίζουσες ακτινοβολίες, προκαλούν στα κύτταρα των έμβιων όντων, τις πλέον εκτεταμένες αλλοιώσεις σε κάθε μονάδα εναποτιθέμενης ενέργειας και το κυριότερο φαινόμενο είναι η απορρόφηση της ενέργειας της ακτινοβολίας από μόρια ύδατος, τα οποία και αποτελούν περισσότερο από το 90% του όγκου των κυττάρων.

Το αποτέλεσμα των διαφόρων χημικών αντιδράσεων, που συντελούνται στο DNA από την επίδραση της ιονίζουσας ακτινοβολίας είναι η δημιουργία μόνιμων αλλοιώσεων των κληρονομικών χαρακτηριστικών των κυττάρων, οι οποίες σε επίπεδο οργανισμών είναι μπορούν να εξελιχθούν σε φαινόμενα καρκινογένεσης, μετάλλαξης και θραύσης του μακρομορίου του DNA. Η τελευταία αλλοίωση μπορεί να εξελιχθεί και σε εμφάνιση αλλοιώσεων στα χρωμοσώματα. Στην πορεία των φαινομένων, αυτών, παρεμβάλλονται και διάφοροι επιδιορθωτικοί μηχανισμοί των κυττάρων, οι οποίοι, όμως, δεν είναι σε θέση να αποκαταστήσουν, πλήρως τις καταστροφές από τις διάφορες αλλοιώσεις.

Οι αλλοιώσεις στα χρωμοσώματα, μπορούν να οδηγήσουν στην αναστολή της ικανότητας των κυττάρων. Η απορρόφηση υψηλότερων δόσεων μπορεί να προκαλέσει μεγαλύτερες αλλοιώσεις στα κύτταρα και να φτάσουμε, τελικά στο θάνατο του κυττάρου. Μία από τις πιο ευαίσθητες λειτουργίες των κυττάρων, στις ακτινοβολίες, είναι ο μηχανισμός των διακίνησης ιόντων καλίου και νατρίου μέσα και έξω από τα κύτταρα. Οι αλλοιώσεις, αυτές, όταν είναι αρκετά εκτεταμένες, εμφανίζονται και σε επίπεδο ιστών, όπως στο μυελό των οστών όπου παράγονται τα κύτταρα του αίματος.

Η ιονίζουσα ακτινοβολία είναι υπεύθυνη, για την εμφάνιση διαφόρων μορφών καρκίνου στον

ανθρώπινο οργανισμό. Όπως, αναφέραμε και παραπάνω, οι ιονίζουσα ακτινοβολία, προκαλεί αλλοιώσεις και βλάβες στο DNA. Η σύγχρονη γνώση για τον καρκίνο, είναι ότι ξεκινάει με βλάβη στο γενετικό κώδικα (DNA). Οι βλάβες, αυτές, εδικά όταν ξεπερνούν τα εμπόδια που δημιουργούν οι διάφοροι επιδιορθωτικοί μηχανισμοί που διαθέτει ο γενετικός κώδικας μπορούν πολύ εύκολα να οδηγήσουν σε καρκινογένεση. Οι ακτίνες Χ, οι οποίες χρησιμοποιούνται στην Ιατρική και με τις οποίες οι γιατροί φωτογραφίζουν διάφορα μέρη του σώματος (ακτινογραφίες), για την ανίχνευση ασθενειών στον ανθρώπινο οργανισμό, είναι επικίνδυνες σε μεγάλες δόσεις. Όμως η σωστή και η ελεγχόμενη χρήση τους, βοηθάει στην αναχαίτιση του καρκίνου. Επίσης, οι ακτίνες γ, είναι ακτίνες υψηλής ενέργειας που εκπέμπονται από κάποιο ραδιενεργό στοιχείο. Μπορούν, εύκολα, να διαπεράσουν τα περισσότερα υλικά και η χρήση τους έχει πολύ έντονες βιολογικές επιδράσεις. Η ιονίζουσα ακτινοβολία, όπως προαναφέραμε έχει καρκινογόνες ιδιότητες, επειδή προάγει το σχηματισμό, χημικά ενεργών ομάδων, όταν απορροφηθεί από μόρια, τα οποία, που περιβάλλουν το DNA. Οι χημικές,, αυτές, ομάδες, προκαλούν, επίσης, μεταλλάξεις και μπορούν να σπάσουν το γενετικό κώδικα.

Επίσης, η ιονίζουσα ακτινοβολία, που προκαλείται από τις υπεριώδεις ακτίνες του ηλίου μπορεί να προκαλέσει καρκινογένεση. Η έκθεση, στο ηλιακό φως και κατά συνέπεια στις υπεριώδεις ακτίνες, είναι αιτία εμφάνισης καρκίνου του δέρματος και διαφόρων άλλων αλλοιώσεων και ρυτίδων στο δέρμα.

Οι συνέπειες που μπορούν να προκαλέσουν οι ιονίζουσες ακτινοβολίες στην υγεία του ανθρώπου μπορούν χωριστούν σε δύο κατηγορίες.

**Α)** Στις στοχαστικές συνέπειες που είναι εκείνες οι συνέπειες των οποίων η εμφάνιση χαρακτηρίζεται τυχαία. Η πιθανότητα εκδήλωσης των συνεπειών αυτών, συνδέεται άμεσα με τη δόση της ακτινοβολίας που απορροφάται από τον οργανισμό. Οι στοχαστικές συνέπειες με την ύπαρξη κάποιας κατώτερης οριακής δόσης ακτινοβολίας. Η εκδήλωση τους μπορεί να γίνει πολλές δεκαετίες μετά την έκθεση στην ακτινοβολία. Οι στοχαστικές συνέπειες μπορεί να προκληθούν και από πολύ μικρές δόσεις ακτινοβολίας και είναι:

- Η εμφάνιση καρκίνου. Οι πιο συνηθισμένες μορφές καρκίνου, για τις οποίες υπάρχουν ενδείξεις, ότι μπορούν να προκληθούν από ακτινοβολίες είναι: οι λευχαιμία και ο καρκίνος του μαστού, του μυελού των οστών, του πνεύμονα, των οστών, του θυρεοειδούς, του ήπατος, του λεπτού εντέρου και του δέρματος.
- Οι κληρονομικές ανωμαλίες, οι οποίες προκαλούνται από ακτινοβολίες, οι οποίες συνδέονται με την πρόκληση αλλοιώσεων στο γενετικό κώδικα και στα χρωμοσώματα. Οι ανωμαλίες, αυτές, χαρακτηρίζονται από τοπικές βλάβες στο DNA και δεν είναι ορατές με το μικροσκόπιο και σε διάφορες χρωμοσωμικές ανωμαλίες, οι οποίες δεν επιδιορθώνονται και είναι ορατές με το μικροσκόπιο. Παράδειγμα τέτοιων βλαβών είναι το σύνδρομο DOWN.

**Β)** Στις μη στοχαστικές συνέπειες, που παρατηρούνται, κυρίως σε σχετικά υψηλές δόσεις ακτινοβολίας και η πιθανότητα και ο βαθμός εκδήλωσης τους εξαρτάται από πολλούς παράγοντες,

όπως η ηλικία, το βάρος, η γενική κατάσταση του ατόμου αλλά και από τη δυνατότητα και το είδος της περίθαλψης, που θα του παρασχεθούν τις πρώτες ημέρες από την έκθεση στην ακτινοβολία. Σε αυτή την κατηγορία συνεπειών κατατάσσονται:

- Το γαστρεντερικό σύνδρομο, που οφείλεται στην καταστροφή των κυττάρων που καλύπτουν το γαστρεντερικό σύστημα, και τα οποία αναπαράγονται γρήγορα και για το λόγο, αυτό, είναι πολύ ευαίσθητα στην ακτινοβολία.
- Η καταστροφή του μυελού των οστών, εμφανίζεται 2-3 ημέρες μετά την έκθεση στην ακτινοβολία.. Οι αλλοιώσεις που προκαλεί η ακτινοβολία στο μυελό των οστών, έχουν σοβαρές επιπτώσεις στον αριθμό των κυττάρων του αίματος και τη λειτουργικότητα του. Σε αυτή την περίπτωση, η μόνη θεραπεία που υπάρχει είναι η μεταμόσχευση μυελού των οστών. Το πρόβλημα, είναι, όμως ότι ο οργανισμός απορρίπτει τα ξένα κύτταρα.
- Η ακτινική πνευμονίτιδα, η οποία, εμφανίζεται με αναπνευστικά προβλήματα και πυρετό. Εκδηλώνεται 5-6 ημέρες από την έκθεση του ατόμου στην ακτινοβολία και προκαλεί καταστροφή στα κύτταρα των πνευμόνων.

Συνήθως, τα άτομα, που εκτίθενται σε πολύ μεγάλες δόσεις ακτινοβολίας, φτάνουν στο θάνατο από την καταστροφή του μυελού των οστών. Υπάρχει, όμως οριακή δόση ακτινοβολίας, κάτω από την οποία δεν έχουμε τέτοιου είδους φαινόμενα. Τα άτομα, εκείνα, στα οποία εκδηλώθηκαν μη στοχαστικές συνέπειες της ακτινοβολίας και επιβίωσαν, έχουν αυξημένες πιθανότητες να εμφανίσουν αργότερα στην πορεία της ζωής τους, στοχαστικές επιπτώσεις.

**Επιδράσεις από τη Ραδιενέργεια**

Οι πυρηνικές αντιδράσεις παράγουν ταχέως κινούμενα σωματίδια και ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία υψηλών ενεργειών. Οι αλληλεπιδράσεις τέτοιων εκπομπών με την ύλη είναι δυνητικά επικίνδυνες. Αυτό συμβαίνει γιατί η ακτινοβολία που εκπέμπεται κατά τη διάρκεια των πυρηνικών αντιδράσεων μπορεί να διεγείρει μόρια, να σπάσει χημικούς δεσμούς, να αποσπάσει ηλεκτρόνια από άτομα και μόρια. Τα ελεύθερα αυτά ηλεκτρόνια μπορούν τα ίδια με τη σειρά τους να προκαλέσουν μοριακή διέγερση και διασπάσεις δεσμών. Τα χημικά είδη που προκύπτουν από τέτοιες αλληλεπιδράσεις είναι συχνά ιδιαίτερα ενεργά και σχηματίζουν νέα προϊόντα.

Οι διάφορες μορφές ακτινοβολίας εκπέμπονται σε διάφορες ενέργειες και με διαφορετική ισχύ διείσδυσης. Αυτό έχει σαν συνέπεια να διαφέρουν και οι επιδράσεις στο υλικό που θα τις δεχτεί.

Τα σωματίδια άλφα είναι μεγάλα και έχουν μικρή διεισδυτική ισχύ. Δεν εισχωρούν περισσότερο από μερικά χιλιοστά στο σώμα. Γίνονται όμως πολύ πιο επικίνδυνα αν ληφθούν, με την τροφή, εσωτερικά. Είναι αρκετά ασθενή ώστε να μην μπορούν να διαπεράσουν ένα φύλλο χαρτιού.

Τα σωματίδια βήτα, τα οποία είναι μικρότερα, μπορούν για παράδειγμα να περάσουν από ένα φύλλο χαρτί, θα τα σταματήσει όμως ένας ζωικός ιστός βάθους 2 εκατοστών. Γίνονται, όπως και τα σωμάτια άλφα, πιο επικίνδυνα με την κατάποση, οπότε και μπορούν να ακτινοβολούν άμεσα τα εσωτερικά όργανα του ανθρώπινου σώματος, που είναι πιο ευαίσθητα από το δέρμα. Δε μπορούν

να διαπεράσουν αλουμίνιο.

Η ακτινοβολία γάμα είναι εξαιρετικά διεισδυτική και διαπερνά το ανθρώπινο σώμα. Αποτελεί τον σημαντικότερο κίνδυνο μετά από μία πυρηνική έκρηξη, λόγω της μεγάλης της ενέργειας και σταματά μόνο μπροστά σε ένα παχύ στρώμα μολύβδου. Όλες αυτές είναι ιονίζουσες ακτινοβολίες, βασική επίδραση των οποίων είναι η χημική αλλαγή της ύλης με την οποία αλληλεπιδρούν σε ατομικό, και στην περίπτωση της οργανικής ύλης, σε κυτταρικό επίπεδο. Σε αυτή την περίπτωση μπορεί να ανακοπεί η διεργασία της κυτταρικής διαίρεσης, ή σε ακραίες περιπτώσεις όπου οι αμυντικοί μηχανισμοί του οργανισμού έχουν καταβληθεί, να εξοντωθεί το κύτταρο.

Οι επιδράσεις της ακτινοβολίας στους ανθρώπους έχουν αποτελέσει το αντικείμενο έρευνας για περίπου 100 χρόνια, με ιδιαίτερα εντατικές προσπάθειες μετά το Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο. Τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής έχουν συντεθεί σε ένα διεθνώς καταξιωμένο σύνολο προτύπων για την προστασία από την ακτινοβολία, βασισμένο στις προτάσεις της Διεθνούς Επιτροπής για τη Ραδιολογική Προστασία (ICRP).

Η ακτινοβολία σε μεγάλες και σε μικρό χρονικό διάστημα λαμβανόμενες δόσεις μπορεί να βλάψει ζωτικά όργανα και να προκαλέσει το θάνατο. Τα πυρηνικά όπλα, που χρησιμοποιήθηκαν σε μεγάλες πολεμικές επιχειρήσεις, είχαν αποτελέσματα καταστροφικά, τα οποία έχουν καταχωρηθεί στις μαύρες σελίδες της παγκόσμιας ιστορίας. Είναι γνωστές οι μεγάλες καταστροφές που προκάλεσαν τα πυρηνικά όπλα στη Χιροσίμα και το Ναγκασάκι κατά το δεύτερο Παγκόσμιο πόλεμο. Οι άνθρωποι που επέζησαν από τις καταστροφές αυτές καθώς και οι επόμενες γενιές, αντιμετώπισαν αξεπέραστα προβλήματα υγείας όπως λευχαιμία, καρκινογενέσεις και οφθαλμολογικά προβλήματα. Τα προβλήματα, αυτά μεταφέρθηκαν και στις επόμενες γενιές, και παρατηρούνται ακόμα και σήμερα στις περιοχές, αυτές, φαινόμενα τερατογενέσεων και καρκίνου. Παρόμοιες συνέπειες είχε η χρήση πυρηνικών στον πόλεμο του Περσικού κόλπου καθώς και η έκρηξη που προκλήθηκε στον πυρηνικό αντιδραστήρα στ εργοστάσιο στο Τσερνομπίλ της Ουκρανίας, από την οποία προκλήθηκε και τεράστια περιβαλλοντική μόλυνση, καθώς τεράστια στρώματα ραδιενεργού νέφους, γέμισαν το, ουρανό της Ευρώπης δημιουργώντας μεγάλα προβλήματα στη δημόσια υγεία.



**Σχήμα 3.7**

Στο σχήμα 3.7 μπορούμε να διακρίνουμε το χαρακτηριστικό ‘μανιτάρι’ της ατομικής έκρηξης. Η ραδιολογική προστασία ασχολείται κυρίως με τις επιδράσεις σχετικά μικρών δόσεων που

απορροφώνται σε μεγάλα χρονικά διαστήματα. Αυτές μπορούν να προκαλέσουν λευχαιμία ή άλλου είδους καρκίνους μετά από δεκαετίες, ή να οδηγήσουν σε γενετικές ή χρωμοσωματικές βλάβες που μπορεί να μεταφερθούν στις επόμενες γενιές.

Όλα τα παραπάνω αποτελούν αντικείμενο μελέτης της ραδιοβιολογίας. Η ραδιοβιολογία είναι μια πολύ δύσκολη επιστήμη και είναι μεγάλη και διαρκής η προσπάθεια που γίνεται για την επίτευξη διεθνών προτύπων στα μέτρα προστασίας, έτσι ώστε να εξασφαλιστεί η μέγιστη ασφάλεια για το γενικό πληθυσμό αλλά και για τα άτομα εκείνα που εκτίθονται στις ιονίζουσες ακτινοβολίες, εξαιτίας της απασχόλησης τους σε εργασιακούς χώρους που ασχολούνται με την ατομική έρευνα και την πυρηνική βιομηχανία.

Επιπλέον, οι επιπτώσεις της ραδιενέργειας στο περιβάλλον θεωρούνται καταστροφικές. Οι διάφοροι τύποι ραδιενεργούς επίπτωσης που πηγάζουν από μια πυρηνική έκρηξη ή από κάποιο ατύχημα σε πυρηνικά εργοστάσια, μπορούν να προκαλέσουν ρύπανση σε όλα τα συστατικά του οικοσυστήματος.(ατμοσφαιρικός αέρας, φυτά, ζώα και έδαφος).

Το μέγεθος του προβλήματος που δημιουργείται από την ραδιενεργό ρύπανση εξαρτάται από το είδος των ραδιενεργών ατόμων που αποτελούν τους ρύπους, από την ποσότητα και τις ιδιότητες του καθενός απ' αυτά. Η ποσότητα των ραδιενεργών ατόμων εξαρτάται από την πηγή της ραδιενεργού επίπτωσης και τις κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν στη περιοχή. Επίσης μεγάλη σημασία έχει αν το ραδιενεργό άτομο εισχωρεί στην τροφική αλυσίδα, αν απορροφάται από το πεπτικό σύστημα του ανθρώπου και σε ποια μέρη του σώματος του συσσωρεύεται περισσότερο.

Ο ατμοσφαιρικός αέρας είναι το πρώτο συστατικό του οικοσυστήματος που μολύνεται μετά από πυρηνική έκρηξη ή ατύχημα πυρηνικής εγκατάστασης που έχει σαν αποτέλεσμα τη διαρροή ραδιενεργού υλικού στην ατμόσφαιρα. Ο ατμοσφαιρικός αέρας είναι ο δρόμος με τον οποίο μεταφέρονται τα ραδιενεργά άτομα σε περιοχές μακριά από την πυρηνική έκρηξη ή ατύχημα. Όμως, η ραδιενεργός μόλυνση του αέρα δε διαρκεί πολύ, διότι τα ραδιενεργά υλικά εξαιτίας της βαρύτητας, καταλήγουν σύντομα στο έδαφος και σε ότι βρίσκεται πάνω σε αυτό. Από την θέση αυτή τα ραδιενεργά άτομα ακτινοβολούν τα φυτά, τα ζώα και τον άνθρωπο. Η παραμονή των ραδιενεργών ατόμων στην επιφάνεια του εδάφους εξαρτάται από το χρόνο υποδιπλασιασμού τους και την αλληλεπίδραση τους με το έδαφος. Η βροχή π.χ μπορεί να μετακινήσει σε βαθύτερα στρώματα ή να οδηγήσει σε ποτάμια και θάλασσες μόνο ραδιενεργά άτομα που δεν συγκρατούνται από τα αργιλικά συστατικά του εδάφους.

## Θετικές επιδράσεις από την χρήση της Ιονίζουσας Ακτινοβολίας

Παρά τα αρνητικά αποτελέσματα από τη χρήση των ιονιζουσών ακτινοβολιών, υπάρχουν και οι θετικές επιδράσεις. Η σωστή χρήση των εφαρμογών τους από τον άνθρωπο, δημιουργεί πολλά οφέλη. Οι θετικές εφαρμογές της ιονίζουσας ακτινοβολίας, χρησιμοποιούνται, ευρέως στην επιστήμη και την τεχνολογία.(στην ιατρική για ραδιοθεραπεία καρκινοπαθών, στη βιομηχανία για

παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, στη φαρμακευτική για την αποστείρωση τροφίμων και αντιβιοτικών στην επιστημονική έρευνα και για τη ραδιοχρονολόγηση ιστορικών και γεωπολιτικών περιόδων.

Μια από τις σημαντικότερες, όμως, εφαρμογές των ιονιζουσών ακτινοβολιών είναι στην Ιατρική. Οι ακτίνες Χ, χρησιμοποιούνται στην Ιατρική, για την απεικόνιση του ανθρώπινου σώματος και αποτελούν μια από τις πολλαπλές βασικές μεθόδους που χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση ασθενειών και συγκεκριμένα για τον προσδιορισμό κακοηθών ασθενειών και καρκινικών όγκων. Οι ακτίνες Χ παρέχουν μεγάλα οφέλη, σήμερα, όχι μόνο για τη χρήση τους, στην ανίχνευση του καρκίνου αλλά και γιατί δίνουν και τα μέσα για τη θεραπεία της συγκεκριμένης ασθένειας, την ακτινοθεραπεία. Η χρήση τους, βέβαια, εμπεριέχει και κινδύνους για τον ασθενή, εξαιτίας της σοβαρής πιθανότητας προσβολής των υγιών κυττάρων, που βρίσκονται κοντά στα 'άρρωστα' καρκινικά κύτταρα. Και αυτό γιατί η υψηλή ενέργεια των ακτινών Χ μπορεί να καταστρέψει υγιή κύτταρα και να προκαλέσει ανεπιθύμητες ενέργειες. Τα μειονεκτήματα, αυτά, μπορούν να ξεπεραστούν με τη χρήση δεσμών από ιόντα και αντισωματίδια. Η νέα, αυτή μέθοδος, που τα τελευταία χρόνια διευρύνεται, συνεχώς, βασίζεται στην καταστροφή του DNA των καρκινικών κυττάρων και όχι των διπλανών υγιών κυττάρων. Με τον τρόπο, αυτό, εμποδίζεται η ανάπτυξη και ο πολλαπλασιασμός τους. Οι επιστήμονες, σήμερα βλέποντας τα μειονεκτήματα της θεραπείας με ακτίνες Χ, αποφάσισαν να υιοθετήσουν τη θεραπεία με χρήση εναλλακτικών δεσμών, όχι από ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, αλλά από σωματίδια. Η κλινική εφαρμογή της συγκεκριμένης θεραπείας, δεν έχει ακόμα εξαπλωθεί και εφαρμόζεται μόνο σε μεγάλα ιατρικά κέντρα της Ευρώπης και της Αμερικής.

Πάμπολλες, όμως, είναι και οι χρήσεις των ραδιοϊσοτόπων στον τομέα, αυτό. Παρά, την πολλαπλότητα των προβλημάτων, μπορούμε να διακρίνουμε 2 περιοχές εφαρμογών. Η πρώτη είναι η χρήση των ραδιοϊσοτόπων σαν ιχνηθέτες στη διαγνωστική. Και η δεύτερη, είναι η χρήση των ραδιοϊσοτόπων για τη θεραπεία. Σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιείται, η εσωτερική και η εξωτερική ακτινοβόληση.

Η εξωτερική ακτινοβόληση ονομάζεται και ραδιοτηλεθεραπεία. Η εκλογή του ραδιοϊσοτόπου, που θα χρησιμοποιηθεί στην κάθε εφαρμογή, εξαρτάται από το εκάστοτε πρόβλημα. Η φιλοσοφία και η χρήση των ιχνηθετών στην Ιατρική είναι παρόμοια με αυτή άλλων εφαρμογών, των ραδιοϊσοτόπων. Δηλαδή, η παρακολούθηση μιας αντίδρασης, ή της πορείας μιας αντίδρασης, μέσω της εκπεμπόμενης ραδιενέργειας του κατάλληλου χρησιμοποιούμενου, κάθε φορά, ραδιοϊσοτόπου, που συμμετέχει στην αντίδραση.

Μια άλλη σημαντική εφαρμογή των ακτινοβολιών, στην Ιατρική επιστήμη, είναι, αυτή των ακτινών γ. Προκειμένου, να γίνει διάγνωση στα πλαίσια της Ιατρικής, χορηγείται μια ραδιοφαρμακευτική ουσία, που περιέχει ραδιενεργό ιχνηθέτη και εκπέμπει ακτίνες γ. Οι ακτίνες, αυτές, καταγράφονται από ένα σύστημα ανιχνευτών ραδιενέργειας. Η τεχνική, αυτή, ονομάζεται τομογραφία εκπομπής. Με την εξέταση, αυτή, ο ειδικευμένος γιατρός μπορεί να διακρίνει δομικές

ή μεταβολικές δυσλειτουργίες και αν οδηγηθεί έτσι σε καλύτερη διάγνωση. Επίσης οι ακτίνες γ έχουν σημαντική εφαρμογή στον εντοπισμό όγκων, με τη βοήθεια της τομογραφίας. Τέτοιου είδους εξετάσεις είναι οι αναλύσεις SPECT και PET, που έχουν καθιερωθεί στη διάγνωση των όγκων και τη μελέτη των λειτουργιών του ανθρώπινου εγκεφάλου.

Τέλος, μια άλλη πολύ σημαντική εφαρμογή των ραδιοϊσοτόπων αποτελεί η μαγνητική τομογραφία. Η τεχνική, αυτή, έχει μεγάλη διάδοση και σπουδαία αποτελέσματα στις ιατρικές διαγνώσεις. Οι μαγνητικές τομογραφίες δείχνουν τη διασπορά του νερού στο ανθρώπινο σώμα και τον τρόπο με τον οποίο χρησιμοποιείται από τα ζωτικά όργανα. Οι σπουδαιότερες εφαρμογές της μαγνητικής τομογραφίας είναι στις απεικονίσεις των εγκεφαλικών παθήσεων και των στεφανιαίων αρτηριών καθώς στην ορθοπεδική και την αγγειογραφία.

Γενικότερα, υπάρχει ένα μεγάλο πλήθος εφαρμογών, των ακτινοβολιών και των ραδιοϊσοτόπων στην Ιατρικά επιστήμη και έρευνα, οι οποίες έχουν συμβάλλει στην εξάλειψη πολλών ασθενειών αλλά και στην πρόοδο των ερευνών και την εύρεση νέων και αποτελεσματικότερων θεραπειών για πολλές μορφές καρκίνου.

Όλα τα παραπάνω αποτελούν αντικείμενο μελέτης και έρευνας της Πυρηνικής Φυσικής και της Πυρηνικής Ιατρικής, οι οποίες παρουσιάζουν μεγάλη ανάπτυξη στις μέρες μας, διότι παρά την αύξηση των περιστατικών καρκίνου, με τις έρευνες και τα πειράματα των επιστημών αυτών, έχει παρουσιάσει μεγάλη ανάπτυξη η ιατρική τεχνογνωσία, οι πρακτικές έγκαιρης διάγνωσης και οι μέθοδοι θεραπείας.

# Κεφάλαιο 4

# ΜΗ ΙΟΝΙΖΟΥΣΑ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

## 4.1 Εισαγωγή

Με τον όρο μη ιονίζουσα ακτινοβολία, όπως έχουμε, ήδη αναφέρει, χαρακτηρίζουμε τις ακτινοβολίες, εκείνες, που δεν έχουν αρκετή ενέργεια, έτσι ώστε να μπορούν να απομακρύνουν ηλεκτρόνια από τα άτομα, δηλαδή να μη μπορούν να προκαλέσουν ιονισμό των ατόμων. Οι μη ιονίζουσες ακτινοβολίες είναι ικανές να προκαλέσουν ηλεκτρικές, θερμικές ή χημικές επιδράσεις στα κύτταρα. Οι επιδράσεις, αυτές, είναι άλλοτε ευεργετικές και άλλοτε επιβλαβής για τη λειτουργία τους. Οι πιο γνωστές από τις μη ιονίζουσες ακτινοβολίες είναι η ορατή ακτινοβολία, η υπέρυθρη ακτινοβολία, η υπεριώδης, τα μικροκύματα, τα ραδιοκύματα, τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα που εκπέμπουν οι ηλεκτρικές συσκευές, η ακτινοβολία laser και άλλες. Οι μη ιονίζουσες ακτινοβολίες, εμφανίζουν διαφορετικές ιδιότητες σε σχέση με τις ιονίζουσες ακτινοβολίες και κατά συνέπεια έχουν διαφορετικές επιπτώσεις στον άνθρωπο. Κατ' επέκταση, οι τρόποι προστασίας από τις μη ιονίζουσες ακτινοβολίες, απαιτούν διαφορετική μεθοδολογία και μελετώνται από διαφορετικές ομάδες επιστημόνων.

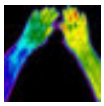
## 4.2 Πηγές της μη ιονίζουσας ακτινοβολίας



**Ακτινοβολία εξαιρετικά χαμηλής συχνότητας(ELF)** Η ακτινοβολία ELF των 60 Hz παράγεται από τα ηλεκτροφόρα καλώδια, την ηλεκτρική καλωδίωση, και τον ηλεκτρικό εξοπλισμό. Οι κοινές πηγές έντονης έκθεσης σε αυτή την ακτινοβολία περιλαμβάνουν τους κλιβάνους επαγωγής και τα υψηλής τάσεως ηλεκτροφόρα καλώδια.



**Ακτινοβολία ραδιοσυχνοτήτων (RF) / Ακτινοβολία μικροκυμάτων (MW)** Η ακτινοβολία μικροκυμάτων απορροφάται κοντά στο δέρμα, ενώ η ακτινοβολία RF μπορεί να απορροφηθεί από όλο το σώμα. Σε αρκετά υψηλές εντάσεις και οι δύο ακτινοβολίες βλάπτουν τους ιστούς εξ' αιτίας της θέρμανσης των. Οι πηγές ακτινοβολίας RF και MW περιλαμβάνουν τις κεραίες των ραδιοφωνικών κυμάτων, τα ραντάρ και τα κυψελωτά κινητά τηλέφωνα, σταθμοί κινητής ακτινοβολίας (900MHz).



**Υπέρυθρη ακτινοβολία (IR)** Το δέρμα και τα μάτια απορροφούν την υπέρυθρη ακτινοβολία ως θερμότητα. Τα άτομα, που εκτίθενται σε αυτήν, καταλαβαίνουν την υπερβολική έκθεση σε αυτήν όταν ζεσταίνονται ή και πονάνε ακόμα. Τέτοιες πηγές ακτινοβολίας IR περιλαμβάνουν τους φούρνους, τους λαμπτήρες θερμότητας, και τα λέιζερ IR.



**Ορατή ακτινοβολία** Οι διαφορετικές ορατές συχνότητες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (ΕΜ) "θεωρούνται" από τα μάτια μας ως διαφορετικά χρώματα. Ο καλός φωτισμός συμβάλλει στην καλή διάθεση αλλά η υπερβολική ορατή ακτινοβολία μπορεί να βλάψει τα μάτια και το δέρμα.



**Υπεριώδης ακτινοβολία(UV)** Τα φωτόνια της υπεριώδους ακτινοβολίας έχουν υψηλή ενέργεια και είναι ιδιαίτερα επικίνδυνη επειδή δεν υπάρχει συνήθως κανένα άμεσο σύμπτωμα της υπερβολικής έκθεσης. Οι πηγές της UV ακτινοβολίας περιλαμβάνουν τον ήλιο, τα μαύρα φώτα, η οξυγονοκόλληση, και τα UV λέιζερ.



**Κίνδυνοι λέιζερ** Τα λέιζερ εκπέμπουν UV, ορατές και IR ακτινοβολίες και πρώτιστα κινδυνεύουν τα μάτια και το δέρμα. Τα κοινά λέιζερ περιλαμβάνουν τα IR λέιζερ του $CO_2$, τα ορατά λέιζερ περιλαμβάνουν του ηλίου - νέου, νεοδμίου YAG, και τα κόκκινα ορατά λέιζερ, ενώ τα UV λέιζερ του αζώτου.

## 4.3 Βιολογική δράση των Η/Μ κυμάτων

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 πρόπτωσης, από το πόσο καλός αγωγός του ηλεκτρισμού είναι το αντικείμενο και ακόμη από το σχήμα του αντικειμένου. Στο 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 σε βιολογικά συστήματα, 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 με το ανθρώπινο σώμα ή με 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.

### 4.3.1 Θερμικές και αθερμικές επιδράσεις

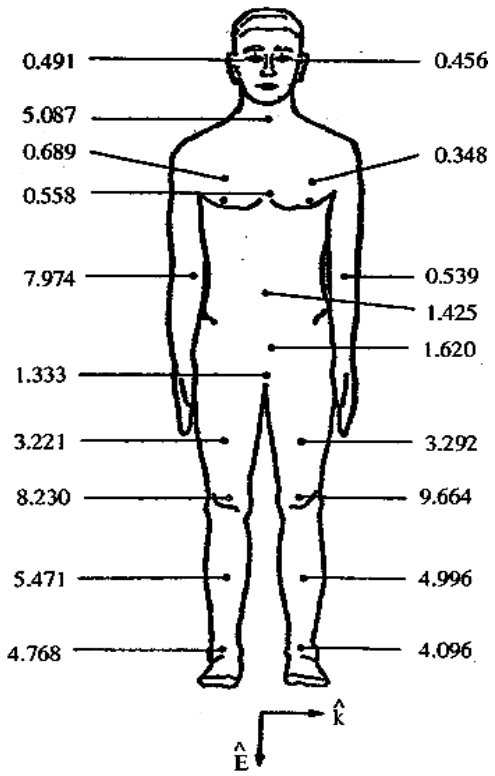
**Θερμικές επιδράσεις**

*Θερμικές* ονομάζονται εκείνες οι επιδράσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που οφείλονται σε μετρήσιμη αύξηση της θερμοκρασίας των ιστών που δέχονται ακτινοβολία. Οι βλάβες στον οργανισμό προξενούνται από τη θέρμανση των ακτινοβολούμενων ιστών και από την αδυναμία των θερμορυθμιστικών μηχανισμών των διαφόρων ιστών στην αντιμετώπιση της ακτινοβόλησης. Παρατηρήσιμη αύξηση της θερμοκρασίας προκαλείται από πυκνότητες ισχύος άνω του 1 $mW/cm^2$. Οι θερμικές επιδράσεις είναι αυτές που κατά κύριο λόγο αποτελούν το αντικείμενο μελέτης στις δυτικές χώρες. Όπως έχει προαναφερθεί, το μέγεθος που χρησιμοποιείται για να εκφράσει την ένταση του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου σ' ένα σημείο ή σε μια περιοχή είναι η πυκνότητα ισχύος η οποία εκφράζεται συνήθως σε $mW/cm^2$. 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 απαραιτήτως ομοιόμορφα. Η μέση τιμή ενεργείας που απορροφάται από ολόκληρο το σώμα εκφράζεται από το δοσομετρικό όρο "Specific Absorption Rate" (SAR) και σημαίνει την ισχύ που απορροφάται ανά μονάδα βάρους του σώματος (W/Kg). Ο SAR είναι ένα μέγεθος που εκτός από τη συχνότητα της ακτινοβολίας και την αγωγιμότητα των ιστών εξαρτάται και από άλλους παράγοντες όπως η "ένταση" του πεδίου, ο προσανατολισμός του ατόμου σε σχέση με την κατεύθυνση του κύματος, το μέγεθος του σώματος κ.α. (συνθήκες έκθεσης).

Λόγω της παρουσίας νερού και ιόντων, οι ιστοί απορροφούν ενέργεια. Όπως όλοι γνωρίζουμε, το ανθρώπινο σώμα αποτελείται από 70% νερό. Το μόριο του νερού ($H_2O$) αποτελεί ένα ηλεκτρικό δίπολο με θετικό φορτίο μεταξύ των δύο ατόμων υδρογόνου και με αρνητικό στην άλλη άκρη του όπου βρίσκεται το άτομο του οξυγόνου. 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 πάλλονται στο ρυθμό συχνότητας του κύματος. Όσο πιο μεγάλη είναι η ταχύτητα 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$^0$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. Επίσης είναι ευνόητο ότι αυτοί οι μηχανισμοί θα ανταποκριθούν αποτελεσματικότερα υπό ευνοϊκές περιβαλλοντικές συνθήκες (όχι πολύ υψηλή θερμοκρασία και υγρασία, ελαφρά ενδυμασία κλπ.). Κάτω από τέτοιες συνθήκες 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 (Σχήμα 4.1)) χωρίς να σημειωθεί αύξηση της θερμοκρασίας του πάνω από ένα βαθμό.




**Σχήμα 4.1**

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$^2$. Η απορρόφηση όμως, της Η/Μ ακτινοβολίας δε γίνεται ομοιόμορφα. Έτσι οι τιμές SAR μπορεί να έχουν μεγαλύτερη τιμή σε κάποιες περιοχές από ό,τι στο υπόλοιπο σώμα. Επίσης η αύξηση της θερμοκρασίας τοπικά, συγκριτικά με άλλες περιοχές του σώματος, είναι ανάλογη με την ικανότητα ανταλλαγής θερμότητας.

**Αθερμικές επιδράσεις**

Οι αθερμικές επιδράσεις προκαλούνται από μικρές πυκνότητες ισχύος (της τάξης των λίγων μW/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 αθερμικές 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 αθερμικές επιδράσεις.

## 4.4 Μέθοδοι μελέτης

**Επιδημιολογικές Μελέτες**

Με την μέθοδο αυτή ερευνάται το ιατρικό ιστορικό ενός δείγματος πληθυσμού (συνήθως χιλιάδων κατοίκων) που κατοικεί σε χώρους βεβαρημένους ηλεκτρομαγνητικά (κοντά σε πυλώνες υψηλής τάσης δικτύων διανομής ρεύματος, εγκαταστάσεις κεραιών κ.λ.π) και η συχνότητα των ασθενειών του δείγματος αυτού συγκρίνεται με εκείνη ενός άλλου ανάλογου δείγματος πληθυσμού που κατοικεί σε χώρους ηλεκτρομαγνητικά καθαρούς. Οι περισσότερες επιδημιολογικές μελέτες εστίασαν στα μαγνητικά πεδία διαμέσου κάποιων επίσης μελετήθηκαν και τα ηλεκτρικά πεδία. Τα αποτελέσματα των περισσότέρων ερευνών αναφέρουν ότι η Η/Μ ακτινοβολία είναι υπεύθυνη για την εμφάνιση των παρακάτω ασθενειών και νοσημάτων:

- Καρκίνος
- Επιδράσεις στην ανθρώπινη αναπαραγωγή
- Νευρολογικές και ψυχιατρικές ασθένειες

**Καρκίνος**

Διάφορες επιδημιολογικές μελέτες έχουν δείξει ότι η Η/Μ ακτινοβολία είναι υπεύθυνη για την εμφάνιση διαφόρων μορφών καρκίνου σε ανθρώπους που ζουν σε περιβάλλον που υφίσταται μεγάλη ηλεκτρομαγνητική επιβάρυνση καθώς και σε άτομα τα οποία εργάζονται σε χώρους στους οποίους υπάρχει αυξημένη εκπομπή ακτινοβολίας.

**Επιδράσεις στην ανθρώπινη αναπαραγωγή**

Μελέτες έχουν δείξει ότι άτομα, που εργάζονται σε χώρους όπου υπάρχει μεγάλη ηλεκτρομαγνητική επιβάρυνση, έχουν μειωμένη αναπαραγωγική ικανότητα. Επίσης, η ηλεκτρομαγνητική επιβάρυνση θεωρείται υπεύθυνη, για περιστατικά αποβολών σε γυναίκες που εργάζονται σε ηλεκτρομαγνητικά βεβαρημένο, εργασιακό περιβάλλον.

**Νευρολογικές και ψυχιατρικές ασθένειες**

Συγκεκριμένες μελέτες έχουν αναφέρει μια φαινομενική αύξηση των ασθενειών, όπως η ασθένεια του Alzheimer¨s, σε συγκεκριμένα γκρουπ εργατών που δέχονται υψηλά επίπεδα έκθεσης. Αυτές οι διαπιστώσεις χρειάζονται περαιτέρω εξέταση και παρακολούθηση. Διαμέσου από κάποιες προτάσεις κάποιων μελετών, σχέσεις με αυτοκτονίες και καταθλίψεις δεν έχουν θεμελιωθεί καλά ακόμα Περισσότερη έρευνα είναι απαραίτητη.

Υπάρχουν εκατοντάδες επιδημιολογικές μελέτες παγκοσμίως των οποίων τα ευρήματα συσχετίζουν την Η/Μ ακτινοβολία με περιπτώσεις καρκίνων σε παιδιά, αποβολών σε εγκύους, λευχαιμιών κ.ά. ασθενειών σε εργαζόμενους σε επιβαρημένους ηλεκτρομαγνητικά χώρους.

Οι επιδημιολογικές έρευνες παρουσιάζουν κάποια σοβαρά μειονεκτήματα, καθώς:

- Είναι εξαιρετικά δύσκολο να προσδιοριστεί επακριβώς η ακτινοβολία που δέχτηκε το δείγμα, ιδίως για μεγάλα χρονικά διαστήματα
- Είναι πολύπλοκο να εξαιρεθούν άλλοι επιβαρυντικοί παράγοντες που προκαλούν την εκδήλωση ίδιων ασθενειών (π.χ. κάπνισμα, κληρονομικότητα) Οι επιστήμονες για να υπερβούν αυτές τις δυσκολίες δέχονται τα αποτελέσματα των επιδημιολογικών ερευνών όταν εμφανίζουν μεγάλο παράγοντα κινδύνου (άνω του 10) στο επιβαρημένο δείγμα έναντι του "καθαρού".

Προς το παρόν οι επιδημιολογικές έρευνες αναδεικνύουν μια σοβαρή ένδειξη περί επικινδυνότητας της Η/Μ ακτινοβολίας αλλά δεν αποτελούν απόδειξη.

**Μελέτες με πειραματόζωα**

Κατά τις μελέτες αυτές πειραματόζωα, όπως κουνέλια, ποντικοί, γάτες κ.λ.π. 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.

**Μελέτη των αιφνίδιων θανάτων βρεφών**

Για την εξήγηση του φαινομένου αιφνίδιων θανάτων βρεφών (σύνδρομο βρεφικής κλίνης), ο Gadson, εξέτασε τους εγκεφάλους από νεκρά βρέφη και διαπίστωσε αλλοιώσεις όμοιες με εκείνες που υφίστανται πειραματόζωα που εκτίθενται στα πεδία γραμμών μεταφοράς υψηλής τάσης. Συγχρόνως, επιδημιολογικές μελέτες έδειξαν πως τέτοιοι θάνατοι βρεφών συμβαίνουν συνήθως σε κατοικίες κοντά σε ηλεκτρικούς σιδηροδρόμους, ενώ βρέθηκε τελικά πως σε όλες τις περιπτώσεις τέτοιων θανάτων, η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου ήταν πάνω από 4 φορές μεγαλύτερη από τον μέσο όρο της τιμής του ηλεκτρικού πεδίου στις κατοικίες, που είναι περίπου 10V/m. Τέτοιου είδους μελέτες, έχουν γίνει, κυρίως, στις Σκανδιναβικές χώρες, στις οποίες είναι, ιδιαίτερα, έντονο το φαινόμενο αυτό, καθώς είναι αυξημένα τα κρούσματα λευχαιμίας σε μικρά παιδιά.

**Μελέτες με καλλιέργειες κυττάρων**

Συμπεράσματα για τις βιολογικές επιδράσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας μπορούν να συναχθούν και από την ακτινοβόληση επιλεγμένων ιστών, ή καλλιεργειών κυττάρων, στο εργαστήριο.

## 4.5 Οι βιολογικές επιδράσεις της μη Ιονίζουσας Η/Μ Ακτινοβολίας

Λόγω έλλειψης ικανού αριθμού αλλά και ομοιομορφίας στην οργάνωση των υφιστάμενων επιδημιολογικών ερευνών, οι απόψεις όσον αφορά τις βιολογικές επιδράσεις της Η/Μ ακτινοβολίας στον άνθρωπο διίστανται. Φυσικά είναι κατανοητό ότι άμεσα πειράματα επί ανθρώπινων πληθυσμών είναι ηθικώς απαράδεκτα, όμως υπάρχει πλήθος βιβλιογραφικών αναφορών για τέτοια πειράματα σε πειραματόζωα. Παρόλο που η άμεση γενίκευση των παρατηρήσεων αυτών στον άνθρωπο δεν είναι επιτρεπτή λόγω των ανατομικών, φυσιολογικών και άλλων διαφορών που υπάρχουν, θεωρούμε χρήσιμη την αναφορά των σπουδαιότερων από αυτών.

**Επιδράσεις στους οφθαλμούς**

Συνήθως η έρευνα για καταρακτογένεση αφορά απλές ή πολλαπλές οξείες εκθέσεις σε Η/Μ ακτινοβολίες με πυκνότητα ισχύος 80-500mW/cm$^2$. Έχει παρατηρηθεί θόλωση του φακού του ματιού σε πειραματόζωα που ακτινοβολήθηκαν τοπικά με συχνότητες ισχύος πάνω από 100mW/cm$^2$. Μικρότερες τιμές της πυκνότητας ακτινοβολίας δεν προκαλούν οποιοδήποτε φαινόμενο στους οφθαλμούς. Πρέπει να σημειωθεί ότι η έκθεση ολόκληρου του σώματος σε παρόμοιες τιμές πυκνότητας ισχύος θα ήταν θανατηφόρα. Έχουν αναφερθεί επίσης οφθαλμικές μεταβολές οφειλόμενες στην Η/Μ ακτινοβολία για χαμηλές πυκνότητες ισχύος, 7-13mW/cm$^2$ στα 2.45GHz, πάντα σε πειραματόζωα, για περιόδους 8 ωρών ανά ημέρα, 5 ημέρες ανά εβδομάδα και για 7-18 εβδομάδες.

**Ακουστικό φαινόμενο**

Άνθρωποι εκτιθέμενοι σε οξείς μικροκυματικούς παλμούς αναφέρουν ότι ακούν υπόκωφο ήχο με συχνότητα ίση προς την συχνότητα επανάληψης των παλμών. Το φαινόμενο έχει εξηγηθεί με τη δημιουργία ακουστικών κυμάτων λόγω θερμοελαστικής διαστολής της εγκεφαλικής ουσίας υπό την έκθεση σε παλμική μικροκυματικη ακτινοβολία. Το παραπάνω φαινόμενο είναι αντιπροσωπευτικό των μικροκυματικών επιδράσεων χαμηλής ισχύος και θεωρείται περισσότερο ως φαινόμενο παρά ως κίνδυνος για την υγεία.

**Εκροή ασβεστίου**

Αυξημένη εκροή ιόντων ασβεστίου $^{45}Ca^{2+}$ έχει παρατηρηθεί σε απομονωμένους εγκεφαλικούς αλλά και καρδιακούς ιστούς πειραματόζωων που εκτέθηκαν σε ημιτονοειδώς διαμορφωμένα Η/Μ πεδία. Τα ιόντα του ασβεστίου είναι εξαιρετικής σημασίας για την μεταφορική σύζευξη (transduktive coupling) μιας μεγάλης γκάμας ανοσολογικών, ενδοκρινολογικών και νευρολογικών φαινομένων στην εξωτερική επιφάνεια της μεμβράνης των κυττάρων. Το φαινόμενο εξαρτάται ισχυρά από την συχνότητα διαμόρφωσης και την πυκνότητα ισχύος της χρησιμοποιούμενης Η/Μ ακτινοβολίας.

Το φαινόμενο της εκροής ιόντων ασβεστίου από τους ιστούς είναι από τις σημαντικότερες βιολογικές επιδράσεις των ραδιοκυμάτων λόγω των χαμηλών τιμών πυκνοτήτων ισχύος που απαιτούνται και αξίζει περαιτέρω μελέτης ιδιαίτερα στις περιοχές των ιδιοσυχνοτήτων των

κρανιακών κοιλοτήτων, όπου η παρεχόμενη ενέργεια στα κύτταρα (κυρίως του Κεντρικού Νευρικού Συστήματος) είναι αυξημένη.

**Φαινόμενα συνεργίας με φάρμακα**

Αν και οι έρευνες στον τομέα αυτό είναι μάλλον ανεπαρκείς, έχει αναφερθεί συνεργιστική δράση παλμικής μικροκυματικής ακτινοβολίας με ψυχοφάρμακα (π.χ αμφεταμίνες) σε ποντικούς. Πιο συγκεκριμένα παρατηρήθηκε διαφορά στην αντίδραση στην ίδια δόση του φαρμάκου όταν τα πειραματόζωα ακτινοβολούνταν με $1mW/cm^2$. Το φαινόμενο απαιτείται να εξεταστεί περαιτέρω.

**Επιδράσεις στη συμπεριφορά**

Η αλλαγή συμπεριφοράς πειραματόζωων που εκτέθηκαν σε Η/Μ ακτινοβολία βρέθηκε να είναι το φαινόμενο που παρουσιάζεται στις χαμηλότερες τιμές κατωφλίων από όλες τις υπόλοιπες βιολογικές επιδράσεις των ραδιοκυμάτων. Τα όρια αυτά βρέθηκαν σε γενικές γραμμές να έχουν τιμές 4-8W/kg ανεξάρτητα από τη συχνότητα τη διαμόρφωση, την μέση ισχύ ή τον τρόπο που γινόταν η έκθεση. Οι αλλαγές συμπεριφοράς περιελάμβαναν αλλαγές στην ποσότητα προσλαμβανομένης τροφής αλλά και του παραγόμενου έργου από τα πειραματόζωα σε ειδικούς τροχούς μέσα στα κλουβιά.

**Γενετικές και αναπτυξιακές ανωμαλίες**

Δεν είναι ξεκάθαρο αν δημιουργούνται τέτοιες ανωμαλίες για SAR 1W/kg. Για παράδειγμα όμως πρέπει να αναφερθεί ότι έχει παρατηρηθεί 10% αλλαγή στον ρυθμό ανάπτυξης κάποιων ποικιλιών δημητριακών που εκτίθονταν σε ακτινοβολία 41.65-41.825 GHz χωρίς να δίνεται αντίστοιχη τιμή του SAR.Κάποιες δημοσιεύσεις αναφέρονται σε επιδράσεις στην ενδομήτρια ανάπτυξη των εμβρύων αλλά και στην μετά τον τοκετό ανάπτυξη των παιδιών των οποίων οι μητέρες εκτέθηκαν σε υψηλές τιμές Η/Μ ακτινοβολίας. Οι επιδράσεις αυτές εξηγήθηκαν ως οφειλόμενες στην τοπική άνοδο της θερμοκρασίας του σώματος της μητέρας ως αποτέλεσμα της απορρόφησης Η/Μ ενέργειας και υπέρβασης των ορίων για τις μέγιστες επιτρεπτές τιμές του SAR. Τέλος, με τον ίδιο τρόπο, δηλ. υπερβολική τοπική θέρμανση, εξηγήθηκαν και οι δυσλειτουργίες που παρατηρήθηκαν στους όρχεις.

**Βιολογικές αλληλεπιδράσεις υπό χρόνια Η/Μ έκθεση**

Επίσης και στην περίπτωση αυτή είναι ανεπαρκής η έρευνα λόγω κόστους αλλά και λόγω δυσκολίας στην αδιαμφισβήτητη εκλογή των σωστών παραμέτρων για χρόνια έκθεση. Παρόλα αυτά τα αποτελέσματα των έως τώρα μελετών και πειραμάτων συμφωνούν στη διατύπωση ότι δεν υπάρχουν αξιοσημείωτες στατιστικές μεταβολές από τις μέσες τιμές στην πρόσληψη τροφής και νερού ή την κινητικότητα των πειραματόζωων, δεν μεταβλήθηκαν συνολικά τα αιματολογικά χαρακτηριστικά τους και ούτε βρέθηκαν υπό κατάσταση στρες. Αλλαγή στην συμπεριφορά παρουσιαζόταν μόνο αμέσως μετά την παύση της έκθεσης στην ακτινοβολία και αυτό ερμηνεύτηκε ως προσπάθεια αντιμετώπισης της διαφοράς στο θερμικό φορτίο.

**Πειράματα εξομοίωσης του ανθρώπινου οργανισμού**

Έχουν γίνει προσπάθειες από ερευνητές να γίνουν θεωρητικοί υπολογισμοί του SAR

χρησιμοποιώντας απλά θεωρητικά μοντέλα που εξομοιώνουν είτε το ανθρώπινο κεφάλι είτε ολόκληρο το σώμα. Στα στατιστικά ηλεκτρομαγνητικά μοντέλα τα οποία αναπτύχθηκαν, ευρέθηκε η κατανομή του SAR σε συγκεκριμένα σημεία του σώματος (π.χ κεφάλι) και το αποτέλεσμα των αναλύσεων αυτών έδειξε ότι η προβλεπόμενη τιμή του SAR υπερβαίνει την μέση επιτρεπτή τιμή του όλου σώματος. Αλληλεπιδράσεις της Η/Μ ακτινοβολίας έχουν επίσης αναφερθεί στο ανοσοποιητικό σύστημα, στο νευρικό, στον αιματοεγκεφαλικό φραγμό και το αιματοποιητικό σύστημα. Σε κάθε περίπτωση όμως οι αλληλεπιδράσεις με τους βιολογικούς οργανισμούς παρατηρούνται για εντάσεις πεδίου που προκαλούν τιμές του SAR πολύ υψηλότερες από αυτές που έχουν τεθεί ως όρια ασφαλείας.

## 4.6 Οι μηχανισμοί βιολογικών επιδράσεων

Είναι σήμερα γενικά αποδεκτό ότι, ο συντονισμός της λειτουργίας του τεράστιου αριθμού κυττάρων τα οποία αποτελούν έναν οποιοδήποτε ζωντανό οργανισμό, επιτυγχάνεται με την παραγωγή, από τα ίδια τα κύτταρα, ενός συστήματος ηλεκτρομαγνητικών σημάτων που στηρίζουν το σύστημα ενδοεπικοινωνίας τους. Οι ζωντανοί ιστοί εκπέμπουν σύμφωνη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (δηλαδή φωτόνια της ίδιας φάσης), όπως εκείνη των λέιζερ. Τα κύτταρα, πριν το θάνατό τους, εκπέμπουν ένα κύκνειο άσμα με την μορφή ενός ηλεκτρομαγνητικού παλμού ενημερώνοντας, ίσως, το νευρικό σύστημα, ή τα γειτονικά κύτταρα, ώστε να αποβληθούν και να αντικατασταθούν.

Σύμφωνα με την παλαιότερη αντίληψη, η λειτουργία του νευρικού συστήματος στηρίζεται σε ηλεκτρονικούς παλμούς που μεταδίδονται μεταξύ των νευρικών κυττάρων, στηρίζοντας ένα σύστημα σαν εκείνο του ηλεκτρονικού υπολογιστή. Οι παλμοί των νευρικών κυττάρων είναι ισχυρότατοι, της τάξης των 1,5 MV/m. Η διαφορά δυναμικού V, εξάλλου, ανάμεσα στο εξωτερικό ηλεκτροθετικότερο τμήμα της κυτταρικής μεμβράνης και στο εσωτερικό ηλεκτραρνητικότερο τμήμα, ενώ είναι μικρή, περίπου 100 mV, αντιστοιχεί εντούτοις σε μια τεράστια ένταση ηλεκτρικού πεδίου, Ε, της τάξης των 50 MV/m, επειδή το πάχος l της κυτταρικής μεμβράνης είναι μόνον 5 nm (σύμφωνα με τη σχέση E=V/1). Συμπερασματικά, τα εσωτερικά πεδία του οργανισμού είναι τόσο ισχυρά, που θα έπρεπε να αποτελούν επαρκή ασπίδα των κυττάρων απέναντι στα εξωτερικά ηλεκτρομαγνητικά πεδία.

Σύμφωνα με τις σύγχρονες αντιλήψεις, ο εγκέφαλος λειτουργεί όχι όπως ένας ψηφιακός (δυαδικός) ηλεκτρονικός υπολογιστής αλλά σαν ένας εξαιρετικά σύνθετος, μη γραμμικός ταλαντωτής, που παράγει τα δικά του ηλεκτρομαγνητικά κύματα χαμηλής συχνότητας (όπως εκείνα ανιχνεύονται στα εγκεφαλογραφήματα) και τα χρησιμοποιεί για να ολοκληρώσει τις λειτουργίες του και να επεξεργαστεί σήματα από τους αισθητήρες του (αισθήσεις). Έτσι, σήματα εισόδου από τους αισθητήρες μετατρέπονται σε χωροχρονικές κυματομορφές συχνοτήτων χαρακτηριστικών του εγκεφάλου και στη συνέχεια αποθηκεύονται στα εγκεφαλικά κύτταρα. Όταν

νέα σήματα εισέρχονται, διεγείρουν τα εγκεφαλικά κύτταρα και, μέσα από φαινόμενα συντονισμού με τις ιδιοσυχνότητες του εγκεφάλου, αναδεικνύουν τις αποθηκευμένες κυματομορφές και συντελούν στην απόκτηση συνειδητής εμπειρίας. Το μη γραμμικό στοιχείο δεν μπορεί να είναι άλλο από την κυτταρική μεμβράνη, που θα μπορούσε να συμπεριφέρεται σαν μια κρυσταλλοδίοδος, μετατρέποντας εναλλασσόμενα πεδία (ac) σε συνεχή (dc) ή ενισχύοντάς τα, όπως γίνεται με τους κοινούς ενισχυτές του εμπορίου. Έχει αποδειχθεί ότι το σύνολο των κυτταρικών μεμβρανών του εγκεφάλου μπορεί να θεωρηθεί ως μια μεγάλη μεμβράνη-σύστημα ηλεκτρονικών δίπολων, που επηρεάζεται από την απουσία ή παρουσία ιόντων ασβεστίου. Η ισχυρή αυτή αλληλεπίδραση δίπολων και ιόντων αποτελεί το *έναυσμα* μη γραμμικών ταλαντώσεων με συντονισμούς στην περιοχή των συχνοτήτων ELF (0-300Hz), οπότε η μεγαλομεμβράνη λειτουργεί σαν ένας ενισχυτής ικανός να ενισχύσει οποιοδήποτε εξωτερικό πεδίο, που η συχνότητά του (ή κάποια αρμονική του) εμπίπτει στην περιοχή των ιδιοταλαντώσεών της.

Για να τονιστεί η σημασία του φαινομένου, πρέπει να σημειωθεί ότι τα μεγαλομόρια του κυτταροπλάσματος συγκρατούνται στις θέσεις τους με τη βοήθεια ενός πλέγματος πολυμερών αλυσίδων-νηματίων, που η στερεότητά του εξασφαλίζεται από μόρια ασβεστίου. Το ασβεστούχο αυτό πλέγμα απουσιάζει από τα καρκινικά κύτταρα. Με την ακτινοβόληση, το πλέγμα αυτό καταρρέει και το πλεονάζον ασβέστιο αποβάλλεται από τα κύτταρα, προδιαθέτοντάς τα, ίσως, στην νεοπλασία.

**Μελατονίνη**

Η μελατονίνη είναι **το βιολογικό μας ρολόι**, μια ορμόνη που εκκρίνεται από την υπόφυση, τον μικρό αδένα που βρίσκεται στο κέντρο του εγκεφάλου και συνδέεται μέσω νευρικών συνάψεων με τα οπτικά νεύρα. Μελατονίνη παράγουν και κύτταρα του αμφιβληστροειδή και της γαστρικής οδού. Όσο πέφτει η νύχτα, γεγονός που καταγράφεται μέσω του αμφιβληστροειδούς των ματιών μας, η συγκέντρωση μελατονίνης αυξάνεται προοδευτικά και κορυφώνεται στη διάρκεια του ύπνου, αποτελώντας έτσι έναν δείκτη των εναλλαγών του κύκλου φως-σκοτάδι για το νευρικό μας σύστημα. Αντίθετα ο ρυθμός έκκρισής της στη διάρκεια της ημέρας είναι πολύ μικρός και σταθερός, ενώ μια ξαφνική έκθεση στο φως, φαίνεται ότι αναστέλλει την παραγωγή της.

Ο ανθρώπινος οργανισμός έχει ανάγκη εξίσου τον ήλιο και το σκοτάδι, ιδιαίτερα στα παιδιά, για να ρυθμίζεται φυσιολογικά η παραγωγή μελατονίνης και να συγχρονίζονται οι βιολογικές λειτουργίες με βάση αυτό τον εναλλασσόμενο κύκλο. Η μελατονίνη επίσης, φαίνεται ότι είναι σημαντικός αντιοξειδωτικός παράγοντας που σχετίζεται με την κινητοποίηση του ανοσοποιητικού.

Η μελατονίνη εισάγει τον παράγοντα χρόνο στην παθολογία, αναδεικνύοντας την σημασία των βιορυθμών, που επηρεάζουν τις φυσιολογικές λειτουργίες. Στη διάρκεια του ύπνου για παράδειγμα, μεταβάλλεται η συχνότητα των καρδιακών παλμών και χαμηλώνει η θερμοκρασία του σώματος. Η μελατονίνη εκκρίνεται από την επίφυση (φωτοαισθητήρας) κατά τη διάρκεια της νύχτας. Πολλά άτομα είναι ευαίσθητα στις μεταβολές της μελατονίνης. Κάποιοι επιστήμονες αποδίδουν διάφορα καταθλιπτικά φαινόμενα που παρουσιάζονται στον άνθρωπο σε συγκεκριμένες

εποχές, στη δυσκολία κάποιων οργανισμών να προσαρμοστούν στις μεταβολές της μελατονίνης. Είναι πιθανόν η επίφυση να αντιδρά με τον ίδιο τρόπο.

Α) Στο φως πολλών φωτιστικών διατάξεων που προσομοιάζει λιγότερο ή περισσότερο με το ηλιακό φως.

Β) Στα τεχνητά ηλεκτρομαγνητικά κύματα (μη ιονίζουσες ακτινοβολίες) των διατάξεων εκπομπής.

Αυτό προκάλεσε μεγάλη αναταραχή, ιδιαίτερα στις Η.Π.Α, διότι πάρα πολλοί άνθρωποι εργάζονται τη νύχτα σε χώρους όπου υπάρχει επιβάρυνση από μη ιονίζουσες ακτινοβολίες. Η αναταραχή, αυτή, είχε ως άμεση συνέπεια να κυκλοφορήσουν χάπια μελατονίνης τα οποία είχαν μεγάλη κατανάλωση. Η αυξημένη όμως κατανάλωση χαπιών μελατονίνης, σύμφωνα με προειδοποιήσεις των επιστημόνων έχει δυσάρεστες συνέπειες για τον ανθρώπινο οργανισμό. Εργαστηριακές μελέτες βασιζόμενες σε πειράματα που έγιναν σε ζωντανούς οργανισμούς έδειξαν ότι η μη ιονίζουσα ακτινοβολία καταστέλλει τη λειτουργία της επίφυσης, μειώνοντας έτσι τα ποσοστά μελατονίνης στον οργανισμό.

Από εργαστηριακά πειράματα έχει αποδειχθεί η ικανότητα της μελατονίνης να μειώσει την ανάπτυξη των καρκινικών κυττάρων. Τα καρκινικά ιδιαίτερα κύτταρα του στήθους, έχουν υποδοχείς που αντιδρούν στη μελατονίνη, σε τέτοιο βαθμό, που η αφαίρεση επέφερε αύξηση των καρκινωμάτων στο στήθος. Αυτό, συμβαίνει, διότι η μελατονίνη οδηγεί σε αύξηση των οιστρογόνων και της προλακτίνης, που θεωρείται προωθητικός παράγοντας του καρκίνου του στήθους. Επειδή, όμως η μελατονίνη αποτρέπει μεταβολές στο μοριακό επίπεδο, πιθανόν ενδεχόμενη ελλειψή της να διευκολύνει την ανάπτυξη φαινομένων όπως η στεφανιαία νόσος, το αλτσχάιμερ, το πάρκινσον.

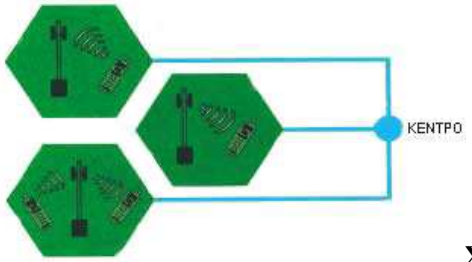
# Κεφάλαιο 5

# ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗ ΚΑΙ ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΚΙΝΗΤΗ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑ

## 5.1 Εισαγωγή

Το κινητό τηλέφωνο αποτελεί ένα από τα επιτεύγματα της σύγχρονης τεχνολογίας των τηλεπικοινωνιών που έχει αναδειχθεί σε είδος πρώτης επιλογής από τους καταναλωτές. Οι λόγοι είναι πολλαπλοί, με κυριότερο εκείνον της εύκολης και άμεσης επικοινωνίας για λόγους επαγγελματικούς, κοινωνικούς αλλά και ψυχαγωγίας. Ιστορικά, η πρώτη εφαρμογή πραγματοποιήθηκε στις ΗΠΑ το 1970 στα Εργαστήρια Bell, και σταδιακά επεκτάθηκε σε όλες τις χώρες του κόσμου και σε όλα τα κοινωνικά στρώματα. Η εξάπλωση είναι τόσο μεγάλη που υπολογίζεται ότι σε πολλές χώρες αντιστοιχεί ένα κινητό τηλέφωνο για κάθε τρεις κατοίκους.
Το ενδιαφέρον και η ανησυχία για τα πιθανά βιολογικά αποτελέσματα που συνδέονται με την έκθεση στα ηλεκτρομαγνητικά πεδία που χρησιμοποιούνται στις συσκευές κινητής επικοινωνίας έχουν αυξηθεί αρκετά κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών. Αυτή η αύξηση οφείλεται στην τεράστια αύξηση στον αριθμό χρηστών αυτών των συσκευών, η οποία έχει οδηγήσει σε πολλές ερωτήσεις για τη δυνατότητα των επικίνδυνων αποτελεσμάτων αυτών των πεδίων. Το ενδιαφέρον τονίζεται ακόμη και από το γεγονός ότι το φορητό κινητό τηλέφωνο χρησιμοποιείται κοντά στο κεφάλι του χρήστη, με αυτόν τον τρόπο εκθέτοντας το χρήστη στα ηλεκτρομαγνητικά πεδία.

Βάση της κινητής τηλεφωνίας είναι ένα δίκτυο που συνίσταται από κυψέλες, γι αυτό και ονομάζεται κυψελοειδές ή κυψελωτό δίκτυο (Σχήμα 5.1). Σε κάθε κυψέλη υπάρχει ένας σταθμός Βάσης που επικοινωνεί με τα κινητά τηλέφωνα στο κοντινό περιβάλλον του δηλαδή στην κυψέλη του. Ένας σταθμός Βάσης αποτελείται από αρκετές κεραίες εκπομπής / λήψης, που συνήθως είναι στερεωμένες σε έναν ιστό, καθώς και από μια μονάδα ελέγχου. Οι σταθμοί Βάσης συνδέονται με ένα κέντρο με συνηθισμένα τηλεφωνικά καλώδια ή με υπερκατευθυντικές ζεύξεις. Από αυτό λαμβάνουν τις συνομιλίες που πρέπει να διαβιβάσουν σε κάποιο κινητό τηλέφωνο στην κυψέλη τους, και σ' αυτό διαβιβάζουν τις συνομιλίες που διενεργούνται από κάποιο κινητό τηλέφωνο στην κυψέλη τους. Αν κάποιο κινητό τηλέφωνο απομακρυνθεί από την κυψέλη, τότε η σύνδεση μεταβιβάζεται αυτόματα στην επόμενη κυψέλη.




**Σχήμα 5.1**

Το μέγεθος της κυψέλης ορίζεται από τον αναμενόμενο αριθμό χρηστών κινητών τηλεφώνων και καθορίζεται κατά το σχεδιασμό του δικτύου. Καθώς ένας σταθμός βάσης μπορεί συνήθως να εξυπηρετήσει ταυτόχρονα το πολύ 64 κινητά τηλέφωνα, οι κυψέλες στις αγροτικές περιοχές με μικρή τηλεφωνική πυκνότητα είναι μεγάλες (διάμετρος 1 έως 4 km ή και μεγαλύτερη), ενώ αντίθετα στο κέντρο κάποιας μεγαλούπολης μικρές (διάμετρος 300 έως 400 μέτρα). Το ραδιοσήμα του σταθμού Βάσης πρέπει να είναι τόσο ισχυρό ώστε να φθάνει σε κάποιο κινητό τηλέφωνο ακόμη και στο όριο της κυψέλης, αλλά όχι υπερβολικά ισχυρό, επειδή έτσι θα δημιουργούσε παρεμβολές στα σήματα της επόμενης ή μεθεπόμενης κυψέλης. Αν σε κάποια κυψέλη χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερα κινητά τηλέφωνα, έρχεται στιγμή που υπερφορτώνεται ο σταθμός Βάσης. Τότε γίνεται υποδιαίρεση της κυψέλης. Εγκαθίστανται δηλαδή αναγκαστικά πρόσθετοι σταθμοί Βάσης που με μικρότερη ισχύ εκπομπής εξυπηρετούν τις ήδη μικρότερες κυψέλες τους.

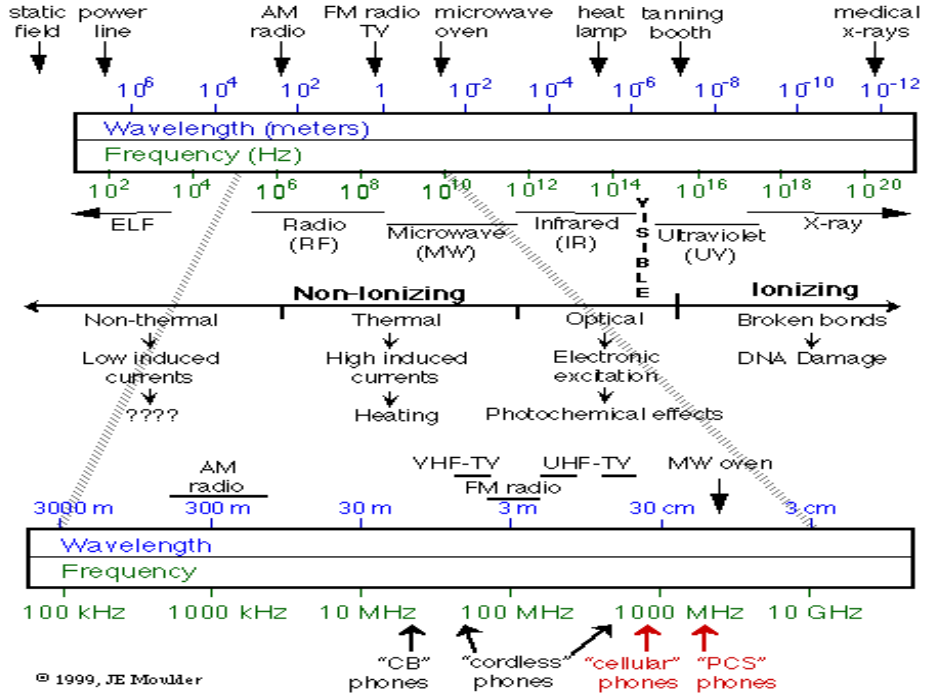
## 5.2 Ακτινοβολία Κεραιών Βάσης και κινητών τηλεφώνων

Οι σταθμοί βάσης της κινητής (κυψελωτής) τηλεφωνίας εξυπηρετούν τις αμφίδρομες (ανοδικές και καθοδικές) ραδιοζεύξεις με τα κινητά τηλέφωνα των συνδρομητών (περιοχή συχνοτήτων 900MHz και 1800MHz), εξυπηρετούν επίσης και τις μόνιμες ραδιοζεύξεις (περιοχή συχνοτήτων 8GHz, 18GHz, 21GHz κ.ά.) με το υπόλοιπο τηλεφωνικό δίκτυο. Οι εκπομπές ανήκουν στις μη-ιονίζουσες ακτινοβολίες (Non-Ionizing Radiation, NIR), δηλαδή στα Η/Μ κύματα με μήκος κύματος $\lambda>100nm$.

Για την αντικατάσταση συστημάτων κινητής τηλεφωνίας πρώτης γενιάς που είχαν εγκαταστήσει οι διάφορες ευρωπαϊκές χώρες, επειδή ήταν ασυμβίβαστα μεταξύ τους προχώρησε στην καθιέρωση ενός κοινού προτύπου που είναι το GSM(Global System Mobile).Το πρότυπο GSM ακολουθεί την κυψελωτή λογική δικτύου. Το βασικό στοιχείο του GSM είναι η μετατροπή του σήματος φωνής σε ψηφιακό σήμα και η μετάδοσή του σε συχνότητες UHF (**U**ltra **H**igh **F**requencies) και συγκεκριμένα γύρω από τα 900 MHz, με κανάλια εύρους ζώνης 200 kHz. Περιέχει τον ορισμό των ζωνών συχνοτήτων (στην Ευρώπη περί τα 900MHz και 1800 MHz).Η κινητή τηλεφωνία στη χώρα μας χρησιμοποιεί δύο περιοχές συχνοτήτων: την περιοχή 900 μεγακύκλων (MHz), οι εταιρίες PANAFON και TELESTET και την περιοχή των 1800 μεγακύκλων η εταιρία COSMOTE.

Οι συχνότητες της κινητής τηλεφωνίας, σε σχέση με τις άλλες συχνότητες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, εντάσσονται στην ευρύτερη περιοχή των ραδιοσυχνοτήτων μαζί με τις συχνότητες της ραδιοφωνίας της τηλεόρασης και των συστημάτων ραντάρ (Σχήμα 5.2). Όπως παρατηρούμε στο πάνω μέρος του Σχ. 5.2 τα κινητά τηλέφωνα εκπέμπουν στην ζώνη των ραδιοσυχνοτήτων (RF). Η ζώνη αυτή έχει συχνότητες πολύ μικρές της τάξης των $10^9$ Herz. Τα χαρακτηριστικά των ραδιοσυχνοτήτων είναι η εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (ΗΜΑ). Όπως έχει αποδειχθεί, η ΗΜΑ διαδίδεται στον αέρα με την ταχύτητα του φωτός και η έντασή της

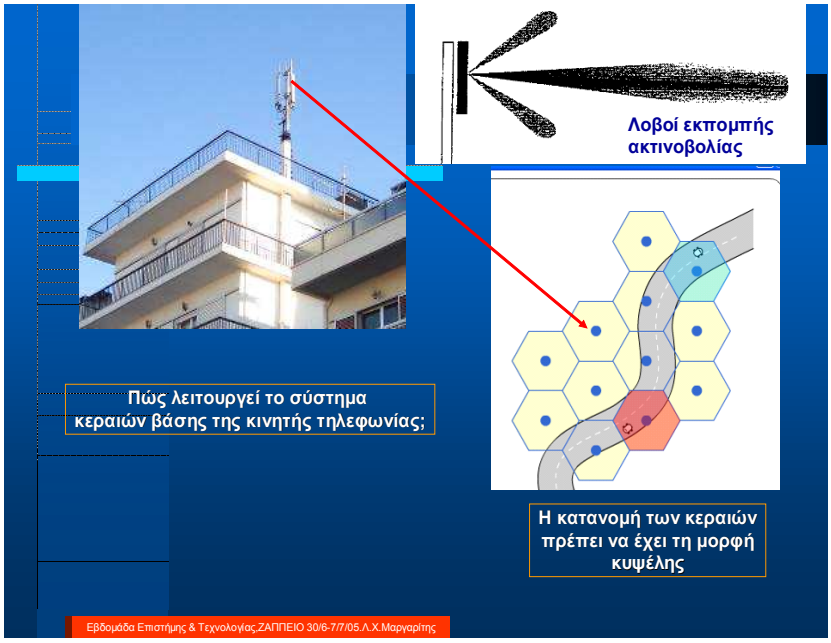
μειώνεται πολύ γρήγορα ανάλογα με την απόσταση από την πηγή εκπομπής. Ο ανθρώπινος οργανισμός δεν αντιλαμβάνεται άμεσα όλες τις συχνότητες της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας επειδή δεν διαθέτει κατάλληλα αισθητήρια όπως π.χ. αντιλαμβάνεται το ορατό φως επειδή στον αμφιβληστροειδή χιτώνα του ματιού υπάρχουν ειδικά κύτταρα (που ονομάζονται κωνία και ραβδία) τα οποία διεγείρονται με την ορατή ακτινοβολία δίνοντας κατάλληλη πληροφορία στον εγκέφαλο ώστε να δημιουργηθεί η αίσθηση της όρασης. Κάτι αντίστοιχο συμβαίνει με ειδικά κύτταρα στο εσωτερικό του αυτιού ώστε να δημιουργηθεί η αίσθηση της ακοής. Οι ραδιοσυχνότητες γίνονται αντιληπτές μόνο με ειδικές ηλεκτρονικές διατάξεις (δέκτες) οι οποίες μπορούν και να μετρήσουν την ένταση της ακτινοβολίας αυτής ή ακόμα, εφόσον η ραδιοσυχνότητα είναι κατάλληλα «διαμορφωμένη» και φέρει μαζί της πληροφορίες ήχου ή εικόνας θα μπορέσουν να αξιοποιηθούν (όπως πράγματι γίνεται) για τη μετάδοση φωνής, μουσικής ή εικόνας ή και άλλων πληροφοριών (π.χ. δεδομένων σε ψηφιακή μορφή).




**Σχήμα 5.2**

Στην κινητή τηλεφωνία λειτουργεί λίγο πολύ η ίδια διαδικασία, δηλ. μια συσκευή (το κινητό τηλέφωνο) λειτουργεί ως πομπός ραδιοσυχνοτήτων φέροντας σε διαμόρφωση τη φωνή του χρήστη όταν φυσικά αυτός μιλάει. Παράλληλα όμως το κινητό τηλέφωνο λειτουργεί και ως δέκτης ραδιοσυχνοτήτων, ώστε να μπορεί να λαμβάνει την εκπομπή ραδιοσυχνοτήτων του πομπού βάσης (η κεραία ενός πομπού βάσης βρίσκεται συνήθως στην οροφή υψηλών κτιρίων, πολλές φορές και μέσα σε κατοικημένες περιοχές ώστε να ικανοποιηθεί η αναγκαιότητα της κυψελοειδούς κάλυψης (Σχήμα 5.3)). Η κατανομή των κεραιών βάσης κινητής τηλεφωνίας πρέπει να έχει τη μορφή κυψέλης για την καλύτερη κατανομή της ακτινοβολίας ώστε να «πιάνουν σήμα» τα κινητά ακόμα και σε δύσκολα σημεία όπως είναι τα πεζοδρόμια, τα λεωφορεία, μέσα στα διαμερίσματα, υπόγεια, κλπ. Κάθε κεραία εκπέμπει κατευθυνόμενη δέσμη ακτινοβολίας προς άλλο σταθμό-κεραία βάσης

(κύριος λοβός εκπομπής), ενώ παράλληλα εκπέμπει και προς τα κάτω πολύ μικρότερη ισχύ (δευτερεύοντες λοβοί εκπομπής).




**Σχήμα 5.3**

Κατά τις τελευταίες δεκαετίες παρατηρήθηκε ραγδαία εξάπλωση της χρήσης των ραδιοσυχνοτήτων (Radiofrequencies, RF) σε ποικίλες εφαρμογές στη βιομηχανία, την ιατρική, την έρευνα κ.α. Ραδιοσυχνότητες είναι το τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος που αντιστοιχεί στην περιοχή από 10 kHz έως 300 GHz. Το τμήμα μεταξύ 300 MHz και 300 GHz συνήθως ονομάζεται μικροκύματα (Microwaves, MW), ενώ συχνά χρησιμοποιείται και ο όρος χιλιοστομετρικά κύματα (millimeter waves, mmW) για την περιοχή 30-300 GHz. Στην περιοχή RF του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος περιλαμβάνονται οι συχνότητες που χρησιμοποιούνται για ραδιοφωνική εκπομπή AM, FM και βραχέων κυμάτων, για τηλεοπτική εκπομπή VHF και UHF, για τις κινητές και δορυφορικές επικοινωνίες, τις μικροκυματικές ζεύξεις κ.λπ.. γνωστό ότι οι βιολογικοί ιστοί αποτελούνται από χημικές ενώσεις.

**Πόσο «έντονα» ακτινοβολούν κινητά τηλέφωνα και σταθμοί βάσης**;

Και τα δυο, δηλαδή τόσο τα κινητά τηλέφωνα όσο και οι σταθμοί Βάσης εκπέμπουν και λαμβάνουν την ίδια υψίσυχνη ακτινοβολία. Η ένταση αυτής της ακτινοβολίας εξαρτάται προπάντων από την ισχύ εκπομπής και την απόσταση από την κεραία.

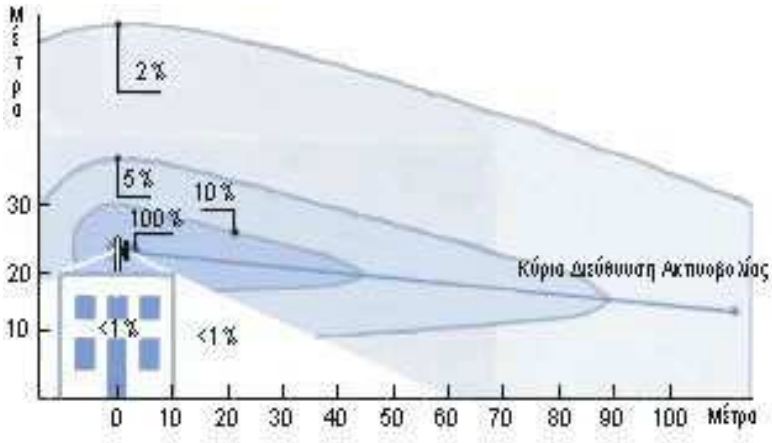
| ΣΤΑΘΜΟΣ ΒΑΣΗΣ | ΚΙΝΗΤΟ ΤΗΛΕΦΩΝΟ |
|---|---|
| • ισχυρότερος πομπός | • ασθενέστερος πομπός |
| • σημαντική απόσταση από πρόσωπα | • πολύ μικρή απόσταση από το κεφάλι |
| • ομοιόμορφη ακτινοβόληση όλου του σώματος | • τοπική ακτινοβόληση του κεφαλιού |
| • μικρή απορρόφηση ισχύος | • μεγαλύτερη απορρόφηση ισχύος στο κεφάλι |
| • ακτινοβολία υπάρχει συνεχώς | • ακτινοβολία υπάρχει μόνο κατά το τηλεφώνημα |

Η ισχύς εκπομπής ενός κινητού τηλεφώνου είναι μεν σημαντικά χαμηλότερη από αυτήν των σταθμών Βάσης, η επιβάρυνση όμως του ανθρώπου από το κινητό τηλέφωνο κατά τη διάρκεια της

συνομιλίας είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτήν που προκύπτει από τον πολύ ισχυρότερο σταθμό Βάσης. Τούτο οφείλεται στην ελάχιστη απόσταση του κινητού τηλεφώνου από το κεφάλι, λίγα εκατοστά μόνο, ενώ στην κεραία του σταθμού Βάσης δεν πλησιάζει κανείς περισσότερο από μερικά μέτρα. Στους σταθμούς Βάσης, οι ακόλουθοι παράγοντες καθορίζουν τη στάθμη της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε κάποιο μέρος που διαμένουν άνθρωποι:

- **Η ισχύς εκπομπής :**Η ακτινοβολία στην οποία εκτίθεται το κάθε άτομο αυξάνεται με την ισχύ εκπομπής.
- **Η απόσταση από την κεραία εκπομπής :**Σε διπλάσια απόσταση οι τιμές της ακτινοβολίας μειώνονται στο ένα τέταρτο.
- **Το διάγραμμα ακτινοβολίας (η τρισδιάστατη μορφή εκπομπής της κεραίας) :**Στις περισσότερες περιπτώσεις, οι κεραίες του σταθμού Βάσης δεν ακτινοβολούν με την ίδια ένταση προς όλες τις κατευθύνσεις. Μπορούν να παρομοιαστούν με ένα φακό που ακτινοβολεί μια δέσμη φωτός οριζόντια και κατακόρυφα σε τομέα 120 έως 180 μοιρών. Η ένταση έξω από αυτή τη δέσμη ακτινοβολίας δεν εξαφανίζεται μεν εντελώς, αλλά είναι εξαιρετικά μειωμένη. Η κεραία σταθμού βάσης εκπέμπει το μεγαλύτερο ποσοστό της ισχύος της οριζοντίως (κάθετα στο μεγάλο άξονα της κεραίας) και ελάχιστο ποσοστό κατακόρυφα. Κατά τη διεύθυνση μέγιστης ακτινοβολίας, οι τιμές της πυκνότητας ισχύος γίνονται μικρότερες από όλα τα όρια επικινδυνότητας πέρα από απόσταση των 50 μέτρων.
- **Τοίχοι και στέγες :**εξασθενούν την ακτινοβολία που προσπίπτει σε κάποιο κτίριο απ' έξω.

Στο σχήμα 5.4 φαίνεται η μείωση της έντασης ακτινοβολίας ανάλογα με την απόσταση. Στο σχήμα απεικονίζονται οι τιμές της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας στο περιβάλλον ενός σταθμού βάσης με συνολική ενεργό ακτινοβολούμενη ισχύς εκπομπής 700 W σαν συνάρτηση της απόστασης και της γωνίας. Τα ποσοστά επί τοις εκατό αναφέρονται στα όρια ασφαλούς έκθεσης του γενικού πληθυσμού στη ζώνη συχνοτήτων των 900 MHz για την τιμή του ηλεκτρικού πεδίου. Έξω από τον έντονα σκιασμένο τομέα(100%) τηρούνται τα όρια ασφαλείας για την έκθεση του γενικού πληθυσμού. Τις τιμές των ορίων αυτών θα τις αναφέρουμε παρακάτω.




**Σχήμα 5.4**

Ύστερα από μετρήσεις σε σταθμούς βάσης σε απόσταση μόλις 10 μέτρων που έγιναν στην Ελλάδα και που απεικονίζουν την χειρότερη περίπτωση έκθεσης έχουμε τα εξής συμπεράσματα:

Η μέγιστη μετρηθείσα πυκνότητα πεδίου βρέθηκε μικρότερη από το όριο προστασίας. Παρομοίως, εφαρμόζοντας και το συντελεστή έκθεσης από πολλαπλές πηγές, υπολογιστήκανε τιμές που είναι μικρότερες της μονάδας. Αφού λοιπόν στην ακραία περίπτωση απευθείας έκθεσης, σε απόσταση μόλις 10 μέτρων από την κεραία εκπομπής, το πεδίο αναπτύσσεται εντός ορίων επικινδυνότητας, τότε είναι εύκολα αντιληπτό, λαμβάνοντας υπόψη και τη σχέση διάδοσης σε ελεύθερο χώρο όπου το πεδίο αποσβένυται με ρυθμό αντιστρόφως ανάλογο του τετραγώνου της αποστάσεως, ότι σε οποιοδήποτε άλλο σημείο πέραν της αποστάσεως των 10 μέτρων το πεδίο παίρνει τιμές σαφώς μικρότερες.

Οι επιπτώσεις στην υγεία τον ανθρώπων από τις κεραίες βάσης κινητής τηλεφωνίας εξαρτώνται από:

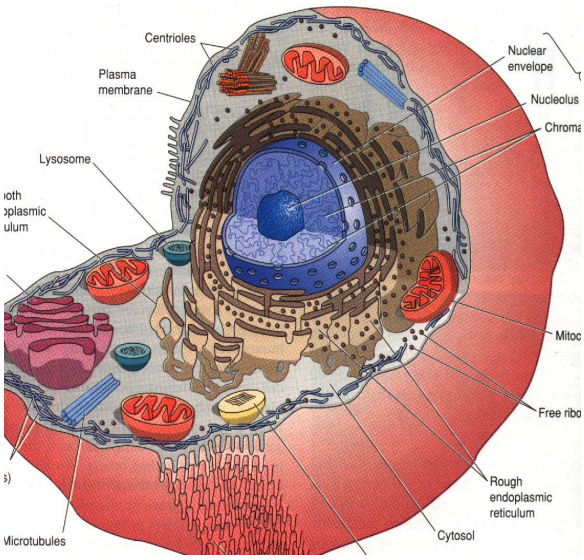
- Από την απόσταση (σε οριζόντιο σχετικά επίπεδο) του χώρου διαβίωσης από την κεραία
- Από τον προσανατολισμό της κεραίας (δηλ εάν εκπέμπει προς την κατεύθυνση του χώρου διαβίωσης)
- Από την ένταση της ακτινοβολίας όπως μπορεί να μετρηθεί ως μέση τιμή.
- Από την ηλικία του εκτιθέμενου και την κατάσταση της υγείας του.
- Από την διάρκεια έκθεσης (δηλαδή ώρες διαβίωσης ανά ημέρα στον συγκεκριμένο χώρο).

Συμπέρασμα: Η επιβάρυνση του πληθυσμού από την ακτινοβολία κεραιών σταθμών βάσης GSM μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα. Στο συμπέρασμα αυτό καταλήγουν και οι πιο πρόσφατες μελέτες που έγιναν από τους καθηγητές του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου Ν. Ουζούνογλου και Κ. Νικήτα στα πλαίσια ερευνητικού ευρωπαϊκού προγράμματος (CEPHOS) με σκοπό την κατάρτιση προτύπων για συσκευές κινητής τηλεφωνίας. Με τη συσκευή του κινητού τηλεφώνου εκτίθεται κατά κύριο λόγο το κεφάλι αυτού που τηλεφωνεί. Η επιβάρυνση είναι σημαντικά μεγαλύτερη από αυτήν που προκύπτει από τους σταθμούς Βάσης. Οι επιπτώσεις στην υγεία από τα κινητά τηλέφωνα εξαρτώνται:

- **Από την ισχύ εκπομπής** που σχετίζεται με την ποιότητα του σήματος (απόσταση κινητού – σταθμού βάσης)
- **Από την απόσταση μεταξύ κεραίας και κεφαλιού**: Από αυτή την άποψη, οι συσκευές κινητών τηλεφώνων εφοδιασμένες με ακουστικά (hands-free) μπορεί να θεωρηθούν ασφαλέστερες όσον αφορά την έκθεση του χρήστη απ' αυτές που δεν χρησιμοποιούνται με ακουστικά και η κεραία είναι δίπλα στο κεφάλι.
- **Από την κατασκευή του κινητού τηλεφώνου και της κεραίας(SAR):** Εδώ υπάρχουν αξιοσημείωτες δυνατότητες μείωσης της ακτινοβολίας που απορροφάται από το κεφάλι.
- **Από την διάρκεια συνομιλίας** και τη συχνότητα των συνομιλιών κάθε μέρα.
- **Από την συνολική διάρκεια χρήσης** (σε χρόνια) του κινητού τηλεφώνου.

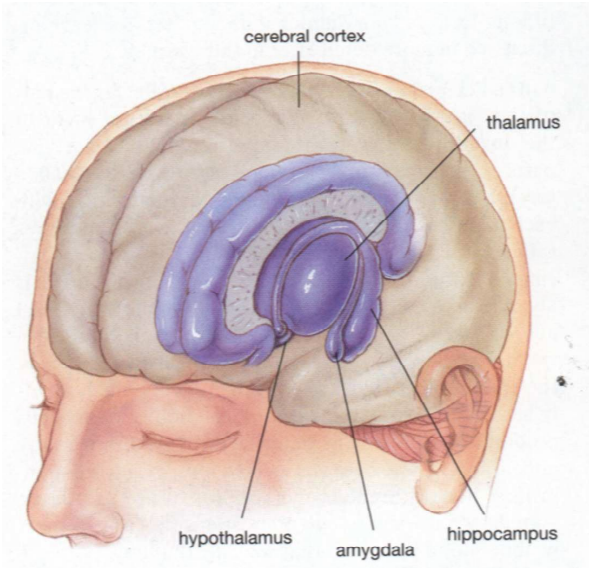
## 5.3 Σχέση ραδιοσυχνοτήτων και ανθρώπινου ανθρώπινου οργανισμού

**Ποια όμως είναι η σχέση των ραδιοσυχνοτήτων με τον ανθρώπινο οργανισμό**; Κατ' αρχάς ο ανθρώπινος οργανισμός αποτελείται από **βιομόρια** (πρωτεΐνες, κ.λ.π.) τα οποία σχηματίζουν λειτουργικές δομές όπως είναι οι **μεμβράνες,** τα **οργανίδια** παραγωγής ενέργειας, που με τη σειρά τους σχηματίζουν τα **κύτταρα**.




**Σχήμα 5.5**: Διάγραμμα ενός κυττάρου όπως είναι τα δισεκατομμύρια κύτταρα που βρίσκονται στον ανθρώπινο οργανισμό. Αυτά περιέχουν πολυάριθμα συστατικά όπου κυριαρχούν οι μεμβράνες, οι οποίες και λειτουργούν με τη συμμετοχή διέλευσης μέσα από αυτές, ιόντων και μορίων. Η διέλευση αυτή μπορεί να διαταχθεί μετά από επίδραση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

Αυτά σχηματίζουν τους **ιστούς** (π.χ. επιθήλιο, νευρικός ιστός κ.λ.π.) οι οποίοι με τη σειρά τους σχηματίζουν τα **όργανα**, όπως είναι οι πνεύμονες, το συκώτι, ο εγκέφαλος.




**Σχήμα 5.6**: Διάγραμμα εγκεφάλου όπου φαίνονται οι ιδιαίτερα ευαίσθητες περιοχές που βρίσκονται πολύ κοντά στην κεραία του κινητού τηλεφώνου

Οι λειτουργίες των διαφόρων οργάνων καθορίζονται από τις επί μέρους λειτουργίες των ιστών και των κυττάρων τους σε συνδυασμό πολλές φορές με άλλα κύτταρα και ιστούς ανταλλάσσοντας μηνύματα που είναι όχι μόνο χημικές ουσίες αλλά και **ηλεκτρικά δυναμικά**. Πολλές σημαντικές λειτουργίες των κυττάρων και ειδικότερα του εγκεφάλου, στηρίζονται στη δημιουργία ηλεκτρικών δυναμικών (π.χ. λειτουργία συνάψεων στα νευρικά κύτταρα). Είναι συνεπώς προφανές ότι οποιαδήποτε παρέμβαση με κάποια εξωτερική ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και στο βαθμό που αυτή θα είναι παραπλήσιας ή και μεγαλύτερης έντασης με τα ενδογενή ηλεκτρικά πεδία, θα έχει ως αποτέλεσμα να επηρεαστεί το κυτταρικό σύστημα ως προς τη φυσιολογική του λειτουργία. Το θέμα αυτό έχει απασχολήσει τους ερευνητές για πολλές δεκαετίες όχι μόνο στην περίπτωση των συχνοτήτων της κινητής τηλεφωνίας αλλά και στην περίπτωση των άλλων ραδιοσυχνοτήτων που βρίσκονται στην υπηρεσία του ανθρώπου επί μακρύτερο χρονικό διάστημα. Όμως καμιά από αυτές τις ακτινοβολίες δεν έχει τόσο άμεση σχέση με τον απλό πολίτη όση η ακτινοβολία από την κινητή τηλεφωνία. Για παράδειγμα**,** τα κύματα ραντάρ αφορούν μικρές ομάδες εργαζομένων, το ίδιο και οι ραδιοφωνικοί αλλά και οι τηλεοπτικοί σταθμοί. Οι δέκτες τηλεόρασης δεν εκπέμπουν ραδιοσυχνότητες αλλά μόνο λαμβάνουν. Με άλλα λόγια, το πρόβλημα που έχει δημιουργηθεί δεν έχει ανάλογό του στην ιστορία του ανθρώπινου γένους ως προς τη μαζικότητα της χρήσης αυτών των συσκευών εκπομπής Ήταν συνεπώς αναμενόμενο να γίνεται μεγάλη προσπάθεια διερεύνησης των επιπτώσεων ειδικά στην περίπτωση της κινητής τηλεφωνίας, προσπάθεια που έχει ξεκινήσει εδώ και αρκετά χρόνια.

Από ηλεκτρική άποψη τα μόρια τους εμφανίζονται ως ηλεκτρικά δίπολα. Κάτω από την επίδραση ισχυρού εξωτερικού ηλεκτρομαγνητικού πεδίου, τα δίπολα τείνουν να προσανατολιστούν κατά τη φορά του ηλεκτρικού πεδίου, και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την ταλάντωση των μορίων. Στη συνέχεια, η κινητική ενέργεια μετατρέπεται σε θερμότητα. Σύμφωνα με τη γενικά παραδεκτή άποψη για την αλληλεπίδραση των υψίσυχνων ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων με τους βιολογικούς οργανισμούς, η παρουσία του ηλεκτρικού πεδίου αυξάνει την κινητική ενέργεια κυρίως των μορίων νερού, με αποτέλεσμα τη μεταφορά ενέργειας από τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα στους ιστούς των βιολογικών οργανισμών.

Η αύξηση της θερμοκρασίας μέσα στους βιολογικούς οργανισμούς είναι μια διαδικασία που πραγματοποιείται σε δύο στάδια. Αρχικά είναι απαραίτητη η ισχυρή διείσδυση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας μέσα στο ανθρώπινο σώμα (τοπικά ή συνολικά) που έχει σαν αποτέλεσμα, στη συνέχεια, την αύξηση της θερμοκρασίας, εφόσον διατηρείται το επιβαλλόμενο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο και η απορροφούμενη ισχύς ανά μονάδα μάζας βιολογικού ιστού είναι αρκετή. Ο θερμικός χαρακτήρας της βιολογικής επίδρασης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας επιβεβαιώνεται στην πράξη από ιατρικές εφαρμογές που έχουν ήδη αναπτυχθεί, όπως η διαθερμία και η μικροκυματική υπερθερμία που εφαρμόζεται για την αντιμετώπιση του καρκίνου. Πιο συγκεκριμένα, οι νόμοι που καθορίζουν την αύξηση της θερμοκρασίας μέσα σε βιολογικούς ιστούς εξαιτίας της έκθεσης σε RF κύματα αναλύονται στη συνέχεια.

Η έκθεση των ιστών στην ακτινοβολία δεν οδηγεί υποχρεωτικά και στην απορρόφηση της. Έτσι υπεισέρχεται μια θεμελιακή βιολογική παράμετρος, **ο ειδικός ρυθμός απορρόφησης** (Specific Absorption Rate, SAR), σχετική με την απορροφούμενη ισχύ ανά μονάδα μάζας βιολογικού ιστού. Ο SAR που εξαρτάται από το πεδίο, τους ιστούς κ.ά. δίδεται από την σχέση:

$$\mathrm{SAR} = \frac{\sigma \cdot \mathrm{E}_{\mathrm{EXP}}^2}{2\rho} \qquad (5\text{-}1)$$

όπου σ είναι η ειδική αγωγιμότητα του ιστού (σε S/m), $E_{EXP}$ είναι η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου (σε V/m), και ρ είναι η πυκνότητα του ιστού (σε Kgr/m$^3$).

Ο Ρυθμός Ειδικής Απορρόφησης εξαρτάται από: (α) τα χαρακτηριστικά της ακτινοβολίας (συχνότητα, πόλωση, ένταση), (β) τα χαρακτηριστικά του βιολογικού αντικειμένου, τη γεωμετρία του (μέγεθος και σχήμα) και την εσωτερική του δομή, (γ) την απόσταση της πηγής εκπομπής της ακτινοβολίας και του βιολογικού αντικειμένου (κοντινό ή μακρινό πεδίο) και (δ) τις ιδιότητες του περιβάλλοντα χώρου.

Ο Ρυθμός Ειδικής Απορρόφησης αποτελεί το σημαντικότερο μέγεθος για την ποσοτικοποίηση των βιολογικών αποτελεσμάτων των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων και μπορεί να προσδιοριστεί θεωρητικά ή να μετρηθεί σε ομοιώματα βιολογικών ιστών, κατά την έκθεσή τους σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.

**Θερμική αντίδραση βιολογικών ιστών**

Η απορρόφηση ισχύος έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας μέσα στους ιστούς. Η μεταβολή της θερμοκρασιακής κατανομής του σώματος είναι συνάρτηση της αιματικής ροής και των δυνατοτήτων των θερμορυθμιστικών μηχανισμών του σώματος. Έτσι το τελικό αποτέλεσμα, εκτός από τα χαρακτηριστικά της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, εξαρτάται και από τον ίδιο τον οργανισμό.

**Ερευνητικά αποτελέσματα**

Από το Β' Παγκόσμιο πόλεμο έχει αρχίσει διεθνώς εκτενής έρευνα για τα βιολογικά αποτελέσματα των RF κυμάτων, η οποία χρηματοδοτήθηκε σχεδόν στο σύνολό της από κρατικούς φορείς. Το κύριο μέρος αυτής της έρευνας αφορούσε πεδία σε συχνότητες 915 MHz και 2450 MHz, κοντά στις συχνότητες που χρησιμοποιούνται στις σύγχρονες κινητές επικοινωνίες. Πολλές από τις έρευνες αυτές κατέληξαν σε αντιφατικά αποτελέσματα. Περιελάμβαναν αρκετές αναφορές για βιολογικά αποτελέσματα των RF πεδίων σε κύτταρα και πειραματόζωα, πολλές φορές σε χαμηλά επίπεδα έκθεσης, που δεν ήταν εύκολα κατανοητά και συχνά δεν ήταν δυνατή η αναπαραγωγή τους. Υπήρχε δε μια σημαντική διασπορά σε ό,τι αφορούσε επιδράσεις στον άνθρωπο από χαμηλά επίπεδα έκθεσης σε RF πεδία.

Ένας νέος κύκλος ερευνών ξεκίνησε στα μέσα της δεκαετίας του '90, που χρηματοδοτείται σημαντικά από τους κατασκευαστές φορητών τηλεφωνικών συσκευών και κρατικές πηγές, εστιάζεται δε κυρίως στην καρκινογένεση και τα φορητά τηλέφωνα.

**Εργαστηριακές μελέτες**

Υπάρχει πληθώρα βιβλιογραφικών αναφορών για τα βιολογικά αποτελέσματα της έκθεσης σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, όμως το μεγαλύτερο μέρος των πειραμάτων έχει πραγματοποιηθεί σε ζώα και είναι αμφισβητήσιμη από πολλούς η δυνατότητα επέκτασης των αποτελεσμάτων στον άνθρωπο.

**Καταρρακτογένεση**

Σε πειραματόζωα που ακτινοβολήθηκαν με σχετικά υψηλή πυκνότητα ισχύος παρατηρήθηκε η πρόκληση καταρράκτη. Το φαινόμενο αποδίδεται σε σημαντική αύξηση της θερμοκρασίας κατά την έκθεση σε RF ακτινοβολία, εξαιτίας της αδυναμίας του οφθαλμού να απάγει τη θερμότητα.

**Μικροκυματικό - ακουστικό φαινόμενο**

Στην περίπτωση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας παλμικής φύσεως, όπως αυτή του ραντάρ, έχει παρατηρηθεί ότι άνθρωποι που βρίσκονται κοντά στην πηγή ακούνε ήχο που προέρχεται από συντονισμό του κρανίου. Σύμφωνα με τη σημερινή γνώση, πρόκειται για θερμικό φαινόμενο και οφείλεται σε απότομη μικρή αύξηση της θερμοκρασίας των ιστών.

**Επιδράσεις στο νευρικό σύστημα**

Οι περισσότερες πειραματικές μελέτες αφορούν στον εγκέφαλο. Τα κυριότερα φαινόμενα που παρατηρήθηκαν είναι μεταβολές στο Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα και στην εκροή ιόντων ασβεστίου. Τα ιόντα ασβεστίου είναι εξαιρετικής σημασίας για τη μεταφορική σύζευξη ενός ευρέος φάσματος ανοσολογικών, ενδοκρινολογικών και νευροβιολογικών φαινομένων στην εξωτερική επιφάνεια της κυτταρικής μεμβράνης. Παρατηρήθηκε ότι η παρουσία παλμικά διαμορφωμένων RF σημάτων επάγει την εκροή ιόντων ασβεστίου σε ιστούς πειραματοζώων, χωρίς να απαιτείται αισθητή αύξηση της θερμοκρασίας στους ιστούς (<0.1°C). Βρέθηκε ότι το φαινόμενο εξαρτάται ισχυρά από τη συχνότητα διαμόρφωσης και από την πυκνότητα ισχύος της εφαρμοζόμενης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Η μέγιστη αλληλεπίδραση αναφέρεται ότι παρουσιάζεται για συχνότητες διαμόρφωσης παραπλήσιες με αυτές της εγκεφαλικής δραστηριότητας (16 Hz). Το φαινόμενο της εκροής ιόντων ασβεστίου θεωρείται από τις σημαντικότερες βιολογικές επιδράσεις των ραδιοκυμάτων, επειδή παρατηρείται για χαμηλές τιμές πυκνότητας ισχύος (μη θερμικής φύσεως).

**Επιδράσεις σε κυτταρικό επίπεδο**

Επιδράσεις στο DNA και καρκινογενετικά φαινόμενα έχουν μελετηθεί εκτενώς από πολλούς ερευνητές σε διάφορες συνθήκες έκθεσης. Ανάπτυξη καρκίνου του εγκεφάλου έχει αναφερθεί σε ποντίκια που εκτέθηκαν σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία που χρησιμοποιούνται σε ασύρματες κυτταρικές επικοινωνίες. Ωστόσο τα αποτελέσματα αυτά δεν έχουν επιβεβαιωθεί από άλλα ανεξάρτητα εργαστήρια.

**Επιδημιολογικές μελέτες**

Οι επιδημιολογικές μελέτες σε ανθρώπινο πληθυσμό που εκτίθεται επαγγελματικά σε RF πεδία είναι περιορισμένες σε αριθμό και σε ποιότητα, αναφέρονται δε κυρίως σε εργαζόμενους σε

στρατιωτικές και βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Έχει περιγραφεί ότι άτομα που εκτίθενται επαγγελματικά σε μικροκυματική ακτινοβολία παρουσιάζουν σύνολο υποκειμενικών εκδηλώσεων που χαρακτηρίζεται σαν «σύνδρομο μικροκυμάτων» και περιλαμβάνει πονοκέφαλο, ναυτία, ζάλη, κόπωση, διαταραχές ύπνου. Μερικές μελέτες αναφέρουν υψηλότερο κίνδυνο καρκίνου για επαγγέλματα στα οποία συνυπάρχουν έκθεση σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και χημικοί παράγοντες.

Πρόσφατα, έχουν γίνει ειδικές μελέτες σχετικά με τη χρήση φορητών τηλεφωνικών συσκευών. Επιδημιολογικές μελέτες στη Σουηδία και τις ΗΠΑ εστίασαν στη διερεύνηση πιθανής σχέσης μεταξύ χρήσης φορητών τηλεφωνικών συσκευών και ανάπτυξης καρκίνου του εγκεφάλου. Παρότι καμιά μελέτη δεν απέδειξε την αύξηση της επίπτωσης καρκίνου του εγκεφάλου σε ανθρώπους που κάνουν χρήση φορητών τηλεφωνικών συσκευών, και στις δύο μελέτες αναφέρεται μια τάση για υψηλότερη πιθανότητα ανάπτυξης όγκου του εγκεφάλου στην πλευρά που συνηθίζει ο χρήστης να κρατά το τηλέφωνο.

Ο καρκίνος του εγκεφάλου χρειάζεται χρόνια ή ακόμα και δεκάδες χρόνια για να αναπτυχθεί. Η ανίχνευση μικρού ή μακροπρόθεσμου κινδύνου ανάπτυξης καρκίνου είναι εξαιρετικά δύσκολη. Η ανίχνευση μικρής αύξησης του κινδύνου απαιτεί μεγάλης κλίμακας έρευνες που παρουσιάζουν δυσκολίες στον έλεγχό τους και συχνά είναι δύσκολη η ερμηνεία των αποτελεσμάτων τους. Επιπλέον, μια έγκυρη μελέτη οφείλει να αξιολογεί τη χρήση φορητού τηλεφώνου από τα άτομα που συμπεριλαμβάνονται στη μελέτη για μια δεκαετία ή περισσότερο, γεγονός που δυσχεραίνεται από τη ραγδαία τεχνολογική ανάπτυξη στη βιομηχανία κυτταρικών επικοινωνιών.

Σε πρόσφατη εργαστηριακή μελέτη αναφέρεται ότι η χρήση φορητών τηλεφωνικών συσκευών μπορεί να επηρεάσει θετικά τη γνωσιακή λειτουργία. Σύμφωνα με τη μελέτη αυτή, άτομα που εκτέθηκαν σε προσομοίωση εκπομπών φορητών τηλεφωνικών συσκευών σε συχνότητα 915 MHz, παρουσίασαν βελτίωση των αντανακλαστικών τους (μείωση του χρόνου αντίδρασης σε εξωτερικά ερεθίσματα).

Όμως, από τις μέχρι σήμερα επιδημιολογικές μελέτες, δεν είναι δυνατόν να εξαχθούν οριστικά συμπεράσματα, εξαιτίας διαφόρων αδυναμιών στη σχεδίαση τους, καθώς και του περιορισμένου αριθμού των περιπτώσεων που εξετάζουν. Επιπλέον, συχνά η έλλειψη ακριβών δοσιμετρικών πληροφοριών και η συνύπαρξη άλλων παραγόντων, εκτός της μελετούμενης ακτινοβολίας, περιορίζουν την αξία των μελετών αυτών.

**Ομάδες αυξημένου κινδύνου**

Αυξημένη ευαισθησία κατά την έκθεση σε μη ιοντίζουσα ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία σε σχέση με το μέσο πληθυσμό μπορεί να οφείλεται σε ανεπαρκή θερμορυθμιστική λειτουργία και στην παρουσία εμφυτευμένων ιατρικών συσκευών. Εμφυτευμένες μεταλλικές συσκευές έχουν σαν αποτέλεσμα την τοπική αύξηση της απορροφούμενης ισχύος, 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 προκύπτει από φαινόμενα ηλεκτρομαγνητικής παρεμβολής. Σύμφωνα με μελέτη του ανεξάρτητου οργανισμού για την Έρευνα Ασύρματων Επικοινωνιών (Wireless Technology Research, WTR), μερικοί τύποι βηματοδοτών είναι ευαίσθητοι σε εξωτερικά ηλεκτρομαγνητικά πεδία, και γι' αυτό άνθρωποι 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.

**Δοσιμετρικά μεγέθη και όρια ασφαλούς έκθεσης**

Σε όλο τον κόσμο, διεθνείς οργανισμοί και χώρες έχουν προχωρήσει στη σύσταση ορίων ασφαλείας για την έκθεση σε μη-ιοντίζουσα ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Το 1974 η Διεθνής Επιτροπή Ακτινοπροστασίας (International Radiation Protection Association, IRPA) συνέστησε ομάδα εργασίας για τη μελέτη προβλημάτων που σχετίζονται με τη μη-ιοντίζουσα ακτινοβολία, σε συνεργασία με την Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας (World Health Organization, WHO). Το 1992 δημιουργήθηκε ανεξάρτητη επιστημονική επιτροπή, η Διεθνής Επιτροπή Προστασίας από Μη-Ιοντίζουσα Ακτινοβολία (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, ICNIRP), με σκοπό την παρακολούθηση όλων των επιστημονικών ερευνών και την αντικειμενική εξέτασή τους για την καθιέρωση οδηγιών σχετικά με τα όρια ασφαλούς έκθεσης σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Οι πιο πρόσφατες οδηγίες της ICNIRP δημοσιεύτηκαν το 1998 και έχουν υιοθετηθεί από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης CENELEC (Commite Europeen de Normalisation Electrotechnique) και την Ευρωπαϊκή Επιτροπή κατά τη σύνταξη του ισχύοντος προτύπου για την έκθεση σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία. Στις ΗΠΑ, τα όρια ασφαλείας για την έκθεση σε RF ακτινοβολία βασίζονται στις οδηγίες του Ινστιτούτου Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE) και έχουν υιοθετηθεί από το Αμερικανικό Ινστιτούτο Τυποποίησης (American National Standards Institute, ANSI).

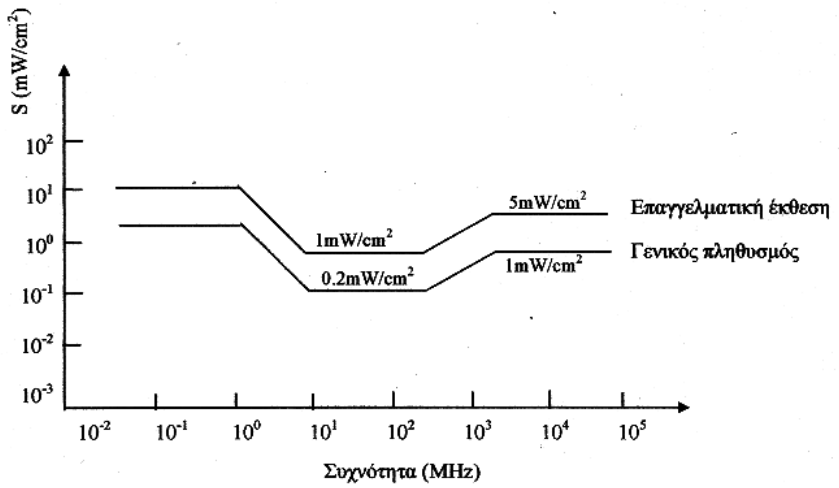
Σε συχνότητες υψηλότερες του 1 MHz, η θέσπιση ορίων ασφαλούς έκθεσης βασίζεται αποκλειστικά στα θερμικά αποτελέσματα των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Το βασικό μέγεθος για την ποσοτικοποίηση των θερμικών επιδράσεων είναι ο Ρυθμός Ειδικής Απορρόφησης. Η θέσπιση ορίων ασφαλείας από τη CENELEC και άλλες επιτροπές τυποποίησης για ολόσωμη έκθεση σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία έχει βασιστεί στην πρόληψη διαταραχών στη συμπεριφορά που παρατηρούνται σε ζώα κατά την έκθεση 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 ορισμένη ποσότητα 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. Θέτοντας ένα συντελεστή ασφαλείας ίσο με 10, καθορίστηκε η μέγιστη επιτρεπτή τιμή του Ρυθμού Ειδικής Απορρόφησης για τον άνθρωπο (επαγγελματική έκθεση) σε 0.4

W/kg και θέτοντας έναν επιπλέον συντελεστή ασφαλείας ίσο με 5 για το γενικό πληθυσμό καθορίστηκε αντίστοιχη μέγιστη τιμή του Ρυθμού Ειδικής Απορρόφησης ίση με 0.08 W/kg, υπολογισμένη ως μέση τιμή για ολόκληρο το σώμα και για χρονικό διάστημα μέτρησης 6 min (Πίνακας Με παρόμοιο σκεπτικό, προκύπτουν αντίστοιχα όρια για έκθεση μέρους του σώματος σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (Πίνακας 2).

Επειδή ο Ρυθμός Ειδικής Απορρόφησης δεν είναι άμεσα μετρήσιμο μέγεθος, συχνά χρησιμοποιείται, ως παράμετρος ηλεκτρομαγνητικής δοσιμετρίας, η πυκνότητα ισχύος (*S*), δηλ. η ισχύς της ακτινοβολίας που προσπίπτει κάθετα στη μονάδα επιφάνειας, η οποία εκφράζεται σε $W/m^2$ ή $mW/cm^2$. Τα όρια του Ρυθμού Ειδικής Απορρόφησης ανάγονται σε μέγιστες επιτρεπτές τιμές ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου, με βάση την προσομοίωση της σύζευξης του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου με το ανθρώπινο σώμα, η οποία εξαρτάται από παράγοντες όπως η συχνότητα και η πόλωση του πεδίου, οι διηλεκτρικές ιδιότητες των βιολογικών ιστών κ.ά. Σε συνθήκες μακρινού πεδίου, η πυκνότητα ισχύος δίνεται από τη σχέση:

$$S = \frac{\left|\underline{E}^2\right|}{Z_0} = Z_0 \left|\underline{H}\right|^2 \qquad (5\text{-}2)$$

όπου $|\underline{E}|(V/m)$ η ενεργή τιμή του ηλεκτρικού πεδίου, $|\underline{H}|(A/m)$η ενεργή τιμή του μαγνητικού πεδίου και $Z_0 = 377\Omega$ η κυματική αντίσταση του ελευθέρου χώρου. Επομένως, αρκεί η γνώση ενός από τα μεγέθη: ηλεκτρικό πεδίο, μαγνητικό πεδίο, πυκνότητα ισχύος του προσπίπτοντος κύματος, για τον υπολογισμό των υπολοίπων δύο. Αυτό ισχύει μόνο στο μακρινό πεδίο, όπου το ηλεκτρομαγνητικό κύμα έχει τα χαρακτηριστικά επίπεδου κύματος -τα διανύσματα του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου είναι κάθετα μεταξύ τους και προς τη διεύθυνση διάδοσης και το κύμα εξασθενεί εκθετικά με την απόσταση. Τα όρια της πυκνότητας ισχύος για την αποφυγή δυσμενών επιπτώσεων στην υγεία εξαιτίας της έκθεσης σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία παρουσιάζονται στο σχήμα 5.7.




**Σχήμα 5.7**: Πυκνότητα ισχύος (S) - Όρια ασφαλούς έκθεσης για τους εργαζόμενους και για το γενικό πληθυσμό.

Αντίθετα στο κοντινό πεδίο, τα διανύσματα του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου μεταβάλλονται πολύ γρήγορα και η μεταξύ τους σχέση είναι εξαιρετικά πολύπλοκη. Έτσι κατά την έκθεση σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία προερχόμενη από κοντινές πηγές, η πυκνότητα της ισχύος του προσπίπτοντος κύματος, δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως παράμετρος δοσιμετρίας. Ένα σώμα απορρόφησης στο κοντινό πεδίο αλληλεπιδρά με την πηγή και επηρεάζει το δημιουργούμενο από την πηγή πεδίο και κατά συνέπεια και την απορροφούμενη από το σώμα ισχύ. Τα όρια ασφαλούς έκθεσης σ' αυτή την περίπτωση είναι προτιμότερο να ορίζονται με βάση το Ρυθμό Ειδικής Απορρόφησης, παρά τον έμμεσο χαρακτήρα του και τις δυσκολίες εκτίμησής του.

**Οριακές τιμές για την ακτινοβολία της κινητής τηλεφωνίας**

Τα όρια ασφαλείας για την ακτινοβολία σταθμών βάσεων χρησιμοποιούνται τρία μεγέθη:

- Η ένταση ηλεκτρικού πεδίου
- Η ένταση μαγνητικού πεδίου και,
- Η πυκνότητα ισχύος του ισοδύναμου επιπέδου ηλεκτρομαγνητικού κύματος

Σύμφωνα με τους γενικούς κανονισμούς (υπουργική απόφαση του ελληνικού κράτους), δεν πρέπει να υπάρχουν χώροι γύρω από την κεραία ελεύθερα προσπελάσιμοι από το γενικό πληθυσμό, στους οποίους τα όρια έκθεσης για την ένταση ηλεκτρικού πεδίου, την ένταση μαγνητικού πεδίου και την πυκνότητα ισχύος να υπερβαίνουν το 80 % των τιμών του ακόλουθου πίνακα της σύστασης της Ευρωπαϊκής Ένωσης όσον αφορά και στις δυο ζώνες συχνοτήτων κινητής τηλεφωνίας που χρησιμοποιούνται στην χώρα μας:

| **Όρια τιμών στα 900 και στα 1800MHz.** |
|---|
| **Ένταση ηλεκτρικού πεδίου E ( V / m )** |
| 41.25 V /m για την ζώνη συχνοτήτων στα 900 MHz |
| 58.34 V /m για την ζώνη συχνοτήτων στα 1800 MHz |
| **Ένταση μαγνητικού πεδίου H ( A / m )** |
| 0.111 A /m για την ζώνη συχνοτήτων στα 900 MHz |
| 0.157 A /m για την ζώνη συχνοτήτων στα 1800 MHz |
| **Πυκνότητα ισχύος ισοδύναμου επίπεδου ηλεκτρομαγνητικού κύματος** |
| 4.5 W /$m^2$ για την ζώνη συχνοτήτων στα 900 MHz |
| 9 W /$m^2$ για την ζώνη συχνοτήτων στα 1800 MHz |

## 5.4 Εκτίμηση ρυθμού ειδικής απορρόφησης

Ο Ρυθμός Ειδικής Απορρόφησης αποτελεί το σημαντικότερο μέγεθος για την ποσοτικοποίηση των βιολογικών αποτελεσμάτων των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων και μπορεί να προσδιοριστεί

θεωρητικά ή να μετρηθεί σε ομοιώματα βιολογικών ιστών, κατά την έκθεσή τους σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.

**Υπολογιστικές τεχνικές**

Για τον υπολογισμό της κατανομής της απορροφούμενης ηλεκτρομαγνητικής ισχύος από βιολογικούς ιστούς, χρησιμοποιούνται αναλυτικές μέθοδοι και γενικές αριθμητικές τεχνικές προσομοίωσης. Οι αναλυτικές μέθοδοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάλυση απλοποιημένων μοντέλων βιολογικών ιστών, όπως ομογενείς ή στρωματοποιημένες κανονικές (επίπεδες, κυλινδρικές, σφαιρικές) γεωμετρίες. Ακόμη η ανάλυση της έκθεσης στο μακρινό πεδίο πηγών, όπου η φύση του ηλεκτρομαγνητικού κύματος είναι σχετικά απλή επιτρέπει την εφαρμογή αναλυτικών τεχνικών. Η εφαρμογή γενικών αριθμητικών τεχνικών (μέθοδος ροπών, μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων, μέθοδος πεπερασμένων διαφορών) επιτρέπει την ανάλυση πολύπλοκων ρεαλιστικών μοντέλων βιολογικών ιστών με ανομοιογένειες, ενώ είναι δυνατή η προσομοίωση σύνθετων ηλεκτρομαγνητικών πηγών. Με αυτό τον τρόπο, μπορεί να ληφθεί υπόψη η πολύπλοκη φύση του κοντινού πεδίου και η αλληλεπίδραση μεταξύ του βιολογικού αντικειμένου και της πηγής.

**Πειραματικές τεχνικές**

Οι κυριότερες μέθοδοι πειραματικού προσδιορισμού του Ρυθμού Ειδικής Απορρόφησης σε ομοιώματα βιολογικών ιστών που εκτίθενται σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, βασίζονται στη μέτρηση του μέτρου του ηλεκτρικού πεδίου ή του ρυθμού αύξησης της θερμοκρασίας κατά την εφαρμογή υψηλής ηλεκτρομαγνητικής ισχύος για σύντομο χρονικό διάστημα.

**Μέτρηση ηλεκτρικού πεδίου**

Ο Ρυθμός Ειδικής Απορρόφησης σε ομοίωμα βιολογικού ιστού που εκτίθεται σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Το μέτρο του ηλεκτρικού πεδίου μπορεί να μετρηθεί άμεσα, χρησιμοποιώντας γραμμική κεραία (δίπολο), μικρών διαστάσεων σε σχέση με το μήκος του ηλεκτρομαγνητικού κύματος στο ομοίωμα και απλό φωρατή, αποτελούμενο από μικροκυματική δίοδο και πυκνωτή. Η διπολική κεραία τοποθετείται στη θέση στην οποία επιθυμείται η μέτρηση του πεδίου. Αν η RF τάση εισόδου στο κύκλωμα του φωρατή είναι ανάλογη προς το τετράγωνο του μέτρου της συνιστώσας του ηλεκτρικού πεδίου που είναι παράλληλη στον άξονα της κεραίας, το σήμα εξόδου είναι μια συνεχής τάση (DC), η οποία θα είναι ανάλογη προς το τετράγωνο του μέτρου του ηλεκτρικού πεδίου που είναι παράλληλο στον άξονα της κεραίας. Όταν η πόλωση του ηλεκτρικού πεδίου είναι άγνωστη, πρέπει να χρησιμοποιηθούν διάφοροι προσανατολισμοί διπόλων ή περισσότερα δίπολα για τη μέτρηση του συνολικού ηλεκτρικού πεδίου. Οι κύριες απαιτήσεις από έναν αισθητήρα μέτρησης πεδίου είναι:

- Γραμμική απόκριση σ’ ένα ευρύ φάσμα συχνοτήτων
- Ισοτροπία σε διαφορετικά μέσα
- Μικρό μέγεθος
- Όσο το δυνατόν μικρότερη πρόκληση διαταραχής στο μετρούμενο ηλεκτρικό πεδίο

- Υψηλή χωρική διακριτική ικανότητα
- Υψηλή ευαισθησία

Συνήθως για την εξασφάλιση ισοτροπικών χαρακτηριστικών, οι αισθητήρες μέτρησης ηλεκτρικού πεδίου αποτελούνται από τρία μικροσκοπικά δίπολα διατεταγμένα σε ορθογώνιες μεταξύ τους κατευθύνσεις. Καθένα από αυτά περιέχει ένα στοιχείο διόδου με αποτέλεσμα το σήμα που οδηγείται προς τη βαθμίδα ενίσχυσης και έπειτα στην ηλεκτρονική συσκευή ανάγνωσης (συνήθως παλμογράφο) να είναι ανορθωμένο.

**Θερμιδομετρική τεχνική**

Η θερμιδομετρική τεχνική αποτελεί εναλλακτική τεχνική μέτρησης του Ρυθμού Ειδικής Απορρόφησης και βασίζεται στη μέτρηση του ρυθμού αύξησης της θερμοκρασίας μέσα σε ομοίωμα βιολογικού ιστού κατά την επιβολή υψηλής ισχύος για σύντομο χρονικό διάστημα. Ο Ρυθμός Ειδικής Απορρόφησης (SAR) μπορεί να εκτιμηθεί με βάση τη σχέση,

$$\mathrm{SAR}(\mathrm{W/kg}) = \mathrm{c}\frac{\Delta \mathrm{T}}{\Delta \mathrm{t}} \tag{5-3}$$

που αποτελεί προσεγγιστική έκφραση της εξίσωσης μεταφοράς θερμότητας,

$$\frac{\partial \mathrm{T}}{\partial \mathrm{t}} - \frac{\mathrm{k}}{\mathrm{pc}}\nabla \mathrm{T}^2 = \frac{\mathrm{SAR}}{\mathrm{c}} \tag{5-4}$$

όπου ρ η πυκνότητα μάζας ομοιώματος βιολογικού ιστού $\mathrm{g/m^3}$), c η ειδική θερμότητα υλικού (J/kg/°C), k η θερμική αγωγιμότητα υλικού (W/m/°C), ΔT η αύξηση θερμοκρασίας (°C), Δt η :διάρκεια παλμού ισχύος (sec). Αυτή η προσέγγιση ισχύει όταν ο δεύτερος όρος του αριστερού μέλους της εξίσωσης (4) που περιγράφει τη διάχυση θερμότητας, μπορεί να θεωρηθεί αμελητέος. Η παραβίαση της αρχικής γραμμικής σχέσης μεταξύ του ρυθμού αύξησης της θερμοκρασίας και του SAR αυξάνεται με την αύξηση του χρόνου εφαρμογής ηλεκτρομαγνητικής ισχύος. Ο μέγιστος αποδεκτός χρόνος Δt εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως η απαιτούμενη ακρίβεια μέτρησης του SAR, η θερμική αγωγιμότητα του ομοιώματος και η χωρική παράγωγος της κατανομής SAR, που με τη σειρά της εξαρτάται από τη συχνότητα, τα χαρακτηριστικά του ομοιώματος και την πηγή του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου. Ο χρόνος Δt πρέπει να είναι αρκετά σύντομος, ώστε να ελαχιστοποιούνται τα φαινόμενα θερμικής διάχυσης. Η θερμοκρασία μετριέται συνήθως με τη βοήθεια θερμοστοιχείων.

**Ηλεκτρομαγνητική δοσιμετρία για κυτταρικές κινητές επικοινωνίες**

Τα τελευταία χρόνια παρατηρήθηκε ραγδαία αύξηση της χρήσης των ραδιοσυχνοτήτων και μικροκυματικών συχνοτήτων, ιδιαίτερα στις επικοινωνίες (κινητές επικοινωνίες, συστήματα παρακολούθησης, τηλεπικοινωνιακοί δορυφόροι κ.λπ.), με συνέπεια την αυξημένη ανησυχία του κοινού για τις πιθανές βιολογικές επιδράσεις αυτών των συχνοτήτων. Για την περίπτωση των σταθμών βάσης των κινητών επικοινωνιών, όπου αναφερόμαστε στο μακρινό πεδίο της κεραίας, η στάθμη 0.5 $\mathrm{mW/cm^2}$ εξασφαλίζει την προστασία του γενικού πληθυσμού.

Αντίθετα για την περίπτωση της έκθεσης στην ακτινοβολία φορητών τηλεφωνικών συσκευών (τοπική έκθεση), τα όρια ασφαλείας εκφράζονται με βάση το Ρυθμό Ειδικής Απορρόφησης. Ως κατώφλι για την αποφυγή δυσμενών επιπτώσεων στην υγεία θεωρείται η απορρόφηση 2 W/kg, που υπολογίζεται ως μέση τιμή σε μάζα βιολογικού ιστού 10 gr (Πίνακας 5.1). Η εκτίμηση της συμμόρφωσης με τα όρια ασφαλούς έκθεσης δεν είναι προφανής όταν πρόκειται για έκθεση στο κοντινό πεδίο ηλεκτρομαγνητικών πηγών, όπως είναι οι φορητές τηλεφωνικές συσκευές. Για το λόγο αυτό, τόσο η CENELEC στην Ευρώπη όσο και η FCC (Federal Communications Committee) στις ΗΠΑ έχουν προχωρήσει στη σύνταξη προκαταρκτικών κειμένων για τον έλεγχο συμμόρφωσης φορητών τηλεφωνικών συσκευών με τα όρια ασφαλείας.

| | SAR (μέση τιμή για όλο το σώμα και για διάστημα μέτρησης 6 min) | SAR (μέση τιμή για 10 gr ιστού διαφορετικού από τα άκρα (χέρια, πόδια) και για διάστημα μέτρησης 6 min) | SAR (μέση τιμή για 10 gr ιστού στα άκρα και για διάστημα μέτρησης 6 min) |
|---|---|---|---|
| Γενικός πληθυσμός | 0.08 W/kg | 2 W/kg | 4 W/kg |
| Επαγγελματική έκθεση | 0.4 W/kg | 10 W/kg | 20 W/kg |

**Πίνακας 5.1:** Ρυθμός Ειδικής Απορρόφησης (SAR) - Όρια ασφαλούς έκθεσης.

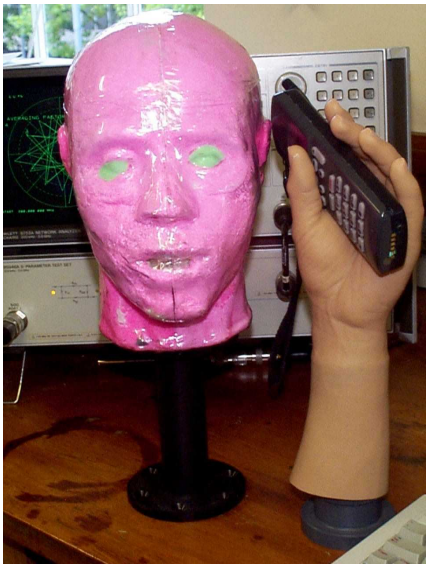
Κατά τη χρήση φορητών τηλεφωνικών συσκευών οι ιστοί του κεφαλιού του χρήστη εκτίθενται στο κοντινό πεδίο της πηγής. Τα αναλογικά φορητά τηλέφωνα εκπέμπουν μέση ισχύ 600 mW και τα περισσότερα ψηφιακά τηλέφωνα 250 mW (900 MHz) ή 125 mW (1800 MHz). Ωστόσο η ισχύς των περισσότερων σύγχρονων τηλεφώνων ελέγχεται από το σταθμό βάσης: το φορητό τηλέφωνο προσαρμόζει την εκπεμπόμενη ισχύ του ώστε να παράγει το ελάχιστο σήμα που απαιτείται για την αξιόπιστη επικοινωνία του με το σταθμό βάσης. Αν και η εκπεμπόμενη ισχύς είναι σχετικά χαμηλή, η τοποθέτηση της συσκευής σε επαφή με το κεφάλι του χρήστη μπορεί να οδηγήσει σε υπέρβαση των ορίων ασφαλείας. Ένας ακόμη παράγοντας που δυσκολεύει την εκτίμηση της έκθεσης είναι η καθοριστική εξάρτησή της από την ακριβή θέση του τηλεφώνου σε σχέση με το κεφάλι και από το ακριβές σχήμα και ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του κεφαλιού, που ποικίλλουν ανάλογα με το χρήστη.

Απαιτείται επομένως προσεκτικός έλεγχος για την εκτίμηση της συμμόρφωσης των φορητών τηλεφωνικών συσκευών με τα διεθνή πρότυπα ασφαλείας. Δυστυχώς είναι αδύνατη η μέτρηση του SAR μέσα στο κεφάλι. Γι' αυτό ο έλεγχος βασίζεται σε πολύπλοκες υπολογιστικές προσομοιώσεις και/ή σε μετρήσεις σε ομοιώματα του ανθρώπινου κεφαλιού.

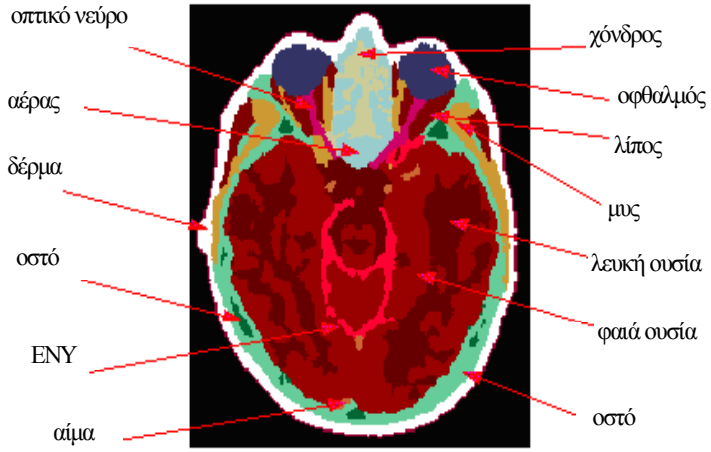
**Μετρήσεις σε ομοιώματα**

Το κεφάλι αποτελείται από πολύπλοκους ιστούς (οστά, δέρμα, εγκεφαλική ουσία, οφθαλμούς κ.λπ.) με διαφορετικές ηλεκτρικές ιδιότητες, και διαφορετικό Ρυθμό Ειδικής Απορρόφησης ηλεκτρομαγνητικής ισχύος. Για τις μετρήσεις χρησιμοποιούνται πολύπλοκα ομοιώματα του ανθρώπινου κεφαλιού που αποτελούνται από διαφορετικά υλικά με ηλεκτρικές ιδιότητες ανάλογες

των βιολογικών ιστών του κεφαλιού. Μια ιδιαίτερα κρίσιμη παράμετρος για τη δοσιμετρία είναι η σύσταση του ομοιώματος από πλευράς τύπων ιστών. Το Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (Institute of Electrical and Electronic Engineers, IEEE) έχει προτείνει τη την οδηγία SCC34/SC2 στην οποία λαμβάνονται υπόψη διαφορετικές αναλογίες δέρματος, λίπους, μυός, οστού, λευκής και φαιάς ουσίας. Συχνά, χρησιμοποιούνται απλούστερα ομοιώματα του ανθρώπινου κεφαλιού που αποτελούνται από πλαστικό κέλυφος στο οποίο τοποθετείται υγρό υλικό με ιδιότητες ανάλογες με αυτές του εγκεφαλικού ιστού. Αυτά τα μοντέλα έχουν καθοριστεί από τη CENELEC για τον έλεγχο συμμόρφωσης φορητών τηλεφωνικών συσκευών με τα όρια ασφαλείας και αντιστοιχούν στη λεγόμενη «χειρότερη περίπτωση έκθεσης», οδηγώντας συνήθως σε υπερεκτίμηση των πραγματικών επιπέδων έκθεσης. Η μέτρηση του ηλεκτρικού πεδίου στο εσωτερικό των ομοιωμάτων πραγματοποιείται με μικροσκοπικό αισθητήρα που κινείται με τη βοήθεια ρομποτικού συστήματος υψηλής ακριβείας. Στο σχήμα 5.8 παρουσιάζεται ένα σύνθετο ομοίωμα του ανθρώπινου κεφαλιού που αποτελείται από πέντε τύπους ιστών.



**Σχήμα 5.8**: Ομοίωμα ανθρώπινου κεφαλιού για πειραματικές μετρήσεις απορροφούμενης ισχύος.



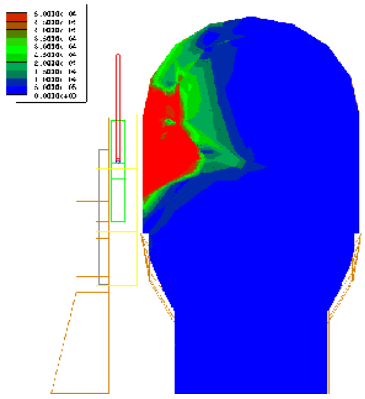

**Σχήμα 5.9:** Εγκάρσια τομή κεφαλιού από Μαγνητική Τομογραφία όπου σημειώνονται οι διάφοροι τύποι ιστών.

## Υπολογιστικές προσομοιώσεις

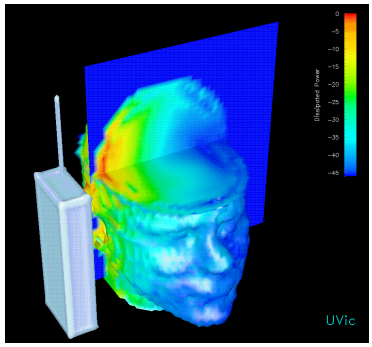
Για τους θεωρητικούς υπολογισμούς, χρησιμοποιούνται είτε απλά γεωμετρικά μοντέλα ή λεπτομερή ανατομικά μοντέλα του ανθρώπινου κεφαλιού που βασίζονται σε δεδομένα Αξονικής ή Μαγνητικής Τομογραφίας (Σχήμα 5.9) υψηλής ευκρίνειας. Από τα δεδομένα Αξονικής ή Μαγνητικής Τομογραφίας κατασκευάζονται αριθμητικά μοντέλα του κεφαλιού που αποτελούνται από κυβικά συνήθως στοιχεία με μέγεθος ακμής που εξαρτάται από τη διακριτική ικανότητα της χρησιμοποιούμενης απεικονιστικής τεχνικής και μπορεί να φτάνει μέχρι 1 mm (Σχήματα 5.10, 5.11, 5.12, 5.13).

Εάν το κινητό τοποθετηθεί στο αυτί κατά τη διάρκεια της συνομιλίας τότε μέρος της ακτινοβολίας εισέρχεται στον εγκέφαλο μέχρι να απορροφηθεί τελείως από τα κύτταρα του εγκεφάλου, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Αν το κινητό το έχομε σε κάποιο σημείο του σώματος, π.χ. τσέπη ή το κρατάμε στα χέρια, τότε επίσης η ακτινοβολία θα απορροφηθεί από τα κύτταρα αρχίζοντας από την επιδερμίδα και προχωρώντας προς τα μέσα. Οι επιπτώσεις και στις δύο περιπτώσεις εξαρτώνται ανάλογα με το ποιους ιστούς θα προσβάλει η ακτινοβολία,, π.χ. καρδιά, γεννητικά όργανα κλπ.

Τα παρακάτω τέσσερα σχήματα δείχνουν την γραφική παράσταση με την βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή της δόσης που απορροφάται από τις διάφορες περιοχές της κεφαλής του χρήστη, κατά την διάρκεια επικοινωνίας με το κινητό τηλέφωνο. Το κόκκινο χρώμα δείχνει το μέγιστο της απορροφούμενης ενέργειας, το πράσινο αντιπροσωπεύει μικρότερη δόση και το μπλε περίπου μηδενική δόση.

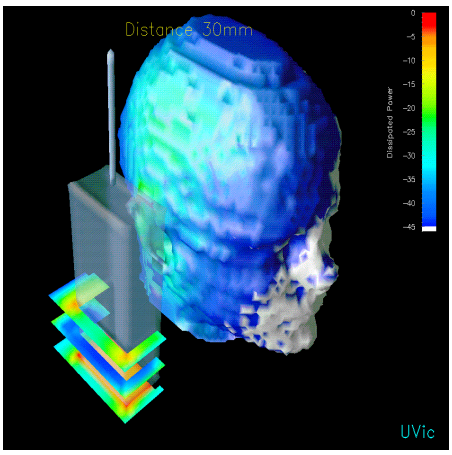


**Σχήμα 5.10**: Η δόση που απορροφάται στο κεφάλι ενός χρήστη κυψελωτού τηλεφώνου.

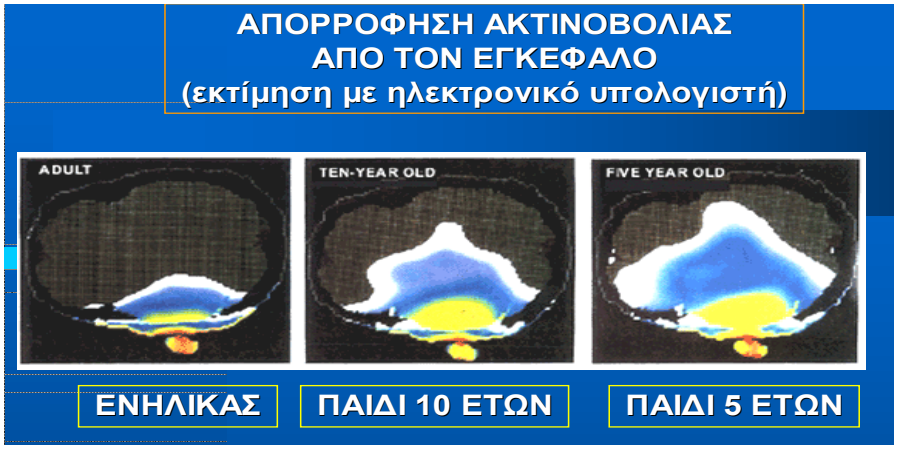



**Σχήμα 5.11:** Η κατανομή RF ισχύος από ένα PCS τηλέφωνο μέσα στο κεφάλι.

Τα χρώματα ποικίλουν από το μπλε στο κόκκινο αντικατροπτίζοντας το SAR όταν το τηλέφωνο είναι τοποθετημένο απέναντι από το κεφάλι. Η ισχύς είναι σε dB και είναι σχετική με το σημείο του μοντέλου όπου έχουμε μέγιστο SAR. Σε αυτή την περίπτωση το κεφάλι.




**Σχήμα 5.12:** Η κατανομή RF ισχύος στην επιφάνεια του χεριού και μέσα στο χέρι. Ένα κινητό τηλέφωνο εκπέμπει 30mm μακριά από την επιφάνεια του κεφαλιού. Η ισχύς είναι σε dB και είναι σχετική με το σημείο του μοντέλου όπου έχουμε μέγιστο SAR. Σε αυτή την περίπτωση τα δάκτυλα στο τηλέφωνο.




**Σχήμα 5.13:** Η ακτινοβολία από ένα κινητό τηλέφωνο στο κεφάλι ενός ενήλικα, ενός παιδιού 10 χρονών και ενός παιδιού 5 χρονών. Βλέπουμε φανερά ότι σε ένα παιδί 5 χρονών η ακτινοβολία εισχωρεί πιο βαθιά στο κεφάλι από ότι στις άλλες κατηγορίες

Επιπλέον, δημιουργούνται ακριβή αριθμητικά μοντέλα των φορητών τηλεφωνικών συσκευών, που βασίζονται συνήθως στα αρχεία CAD των κατασκευαστών. Για την επίλυση του εξαιρετικά σύνθετου αριθμητικού προβλήματος της αλληλεπίδρασης μεταξύ φορητής τηλεφωνικής συσκευής και χρήστη χρησιμοποιούνται προσεγγιστικές αριθμητικές μέθοδοι και κυρίως η μέθοδος των πεπερασμένων διαφορών στο πεδίο του χρόνου (Finite Difference Time Domain, FDTD), ενώ απαιτούνται ιδιαίτερα ισχυρά υπολογιστικά συστήματα. Αξίζει να σημειωθεί ότι η λαμβανόμενη κατανομή SAR εξαρτάται σημαντικά από τον τύπο της συσκευής, από τη συχνότητα λειτουργίας

της, από τις ανατομικές λεπτομέρειες του κεφαλιού του χρήστη, καθώς και από την απόσταση και την τοποθέτηση της συσκευής σε σχέση με το κεφάλι του χρήστη.

Τέλος θα αναφέρουμε τι πρέπει να προσέχουμε όταν αγοράζουμε το κινητό μας τηλέφωνο και τι πρέπει να προσέχουμε κατά την χρήση του κινητού ώστε να μην επιβαρυνθεί το κεφάλι μας από την ακτινοβολία της συσκευή μας.

- **Να είστε σύντομοι**. Όσο περισσότερο μιλάτε, τόσο περισσότερο είστε εκτεθειμένος στην ακτινοβολία.
- **Χρησιμοποιείτε κινητό τηλέφωνο με ακουστικά (hands-free).** Έτσι πετυχαίνετε μεγαλύτερη απόσταση ανάμεσα στην κεραία του κινητού τηλεφώνου και του κεφαλιού σας.. Η συντριπτική πλειοψηφία των ερευνών δείχνει πως έτσι είναι μικρότερη και η ακτινοβολούμενη ισχύς που διεισδύει το κεφάλι σας. Σε περίπτωση που δεν έχετε προσπαθήστε η συσκευή να μην είναι σε επαφή με το αυτί.
- Πριν αποκτήσετε κινητό τηλέφωνο, ενημερωθείτε για την ισχύ της ακτινοβολίας που απορροφάται στο κεφάλι σας (μέγεθος SAR). Σύντομα, όλοι οι κατασκευαστές θα το αναγράφουν στο κουτί της κάθε συσκευής. Από αυτή την άποψη υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των διαφόρων μοντέλων συσκευών κινητών τηλεφώνων. Προτιμήστε μια συσκευή με χαμηλή επιβάρυνση ακτινοβολίας.
- **Τηλεφωνείτε όταν είστε στο αυτοκίνητο μόνο μέσω εξωτερικής κεραίας.** Το μεταλλικό αμάξωμα του αυτοκινήτου σας εγκλωβίζει την ακτινοβολία και αφήνει μικρό μόνο μέρος της να εκπεμφθεί εξωτερικά. Έτσι λοιπόν το κινητό σας τηλέφωνο για να πετύχει ικανοποιητική ποιότητα επικοινωνίας, ανεβάζει αυτόματα την ισχύ εκπομπής του και έτσι και την επιβάρυνση σας σε ακτινοβολία.

**Ευρωπαϊκό Πρόγραμμα COST 244**

Το COST 244 είναι ένα ερευνητικό πρόγραμμα που έγινε στο πανεπιστήμιο Kuopio στην Φιλανδία με την συνεργασία 21 ευρωπαϊκών χωρών για τις βιολογικές επιδράσεις των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων. Το COST σημαίνει συνεργασία στον τομέα της επιστήμης και της τεχνικής έρευνας. Το πρόγραμμα ασχολήθηκε με την πιθανή επιρροή των RF πεδίων που εκπέμπονται από τα κυψελοειδή τηλέφωνα στον ανθρώπινο εγκέφαλο, τον προσδιορισμό της ενεργειακής απορρόφησης RF στο ανθρώπινο κεφάλι και τέλος έγινε ένα πείραμα ζώων με ποντίκια στις εγκαταστάσεις πειραματόζωων της εξεταστικής μονάδας τοξικότητας του εθνικού ιδρύματος δημόσιας υγείας για τα αποτελέσματα της ακτινοβολίας στα 900MHz στην ανάπτυξη καρκίνου στα ποντίκια. Χρησιμοποίησαν 300 θηλυκά ποντίκια και τα διαίρεσαν σε 6 ομάδες. Σε κάποιες ομάδες τα ζώα ήταν ακινητοποιημένα σε μικρούς ακριλικούς σωλήνες και σε κάποιες άλλες ελεύθερα σε ένα κλουβί. Τα ζώα ήταν υπό παρακολούθηση καθημερινά και μια φορά την εβδομάδα εξεταζόντουσαν λεπτομερειακά. Τα ποντίκια εκτέθηκαν σε συνεχή ακτινοβολία RF. Δεν υπήρξε διαφορά μεταξύ των ομάδων όσο αφορά την επιβίωση των ποντικιών. Το πρόγραμμα ξεκίνησε το 1994. Δεν έχει τελειώσει ακόμα.

## 5.5 Συμπεράσματα

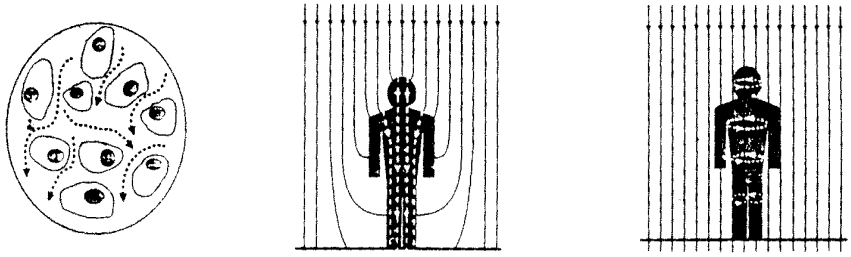
Μπορούμε όμως να πούμε με βάση τις μέχρι σήμερα πληροφορίες ότι η χρήση κινητών τηλεφώνων είναι επιβλαβής; Η απάντηση δεν μπορεί να είναι μονολεκτική επειδή συμμετέχουν πολλοί παράγοντες στο τελικό αποτέλεσμα, όπως α) δεν είναι όλα τα κινητά τηλέφωνα ίδια από πλευρά εκπεμπόμενης ακτινοβολίας αλλά και θέσης της κεραίας εκπομπής ως προς των εγκέφαλο του χρήστη, β) η ισχύς εκπομπής του κινητού τηλεφώνου μεταβάλλεται ανάλογα με το σήμα που δέχεται το κινητό τηλέφωνο από το σταθμό βάσης, με άλλα λόγια όταν το κινητό τηλέφωνο δέχεται ισχυρό σήμα όπως αυτό άλλωστε δείχνεται στην οθόνη του τηλεφώνου τότε το κινητό τηλέφωνο έχει τη δυνατότητα να εκπέμψει με τη μικρότερη δυνατή ισχύ ώστε να υπάρξει επικοινωνία με τον αντίστοιχο σταθμό βάσης γ) δεν είναι όλα τα άτομα ίδια από πλευράς φυσιολογίας αλλά και ηλικίας είναι ιδιαίτερα σημαντικό ότι άτομα νεαρής ηλικίας είναι πιο ευπαθή όπως άλλωστε τονίζεται σε πρόσφατο άρθρο του περιοδικού Lancet που επισημαίνει την ανησυχία των ερευνητών για τα νεαρά άτομα που τη στιγμή αυτή αποτελούν μια από τις πολυπληθέστερες (και συνεχώς αυξανόμενη) κατηγορία χρηστών κινητών τηλεφώνων, δ) δεν χρησιμοποιούν όλοι οι κάτοχοι κινητών τηλεφώνων τον ίδιο χρόνο ημερησίως σε επικοινωνία με κινητό τηλέφωνο.

# Κεφάλαιο 6

# ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗ ΚΑΙ ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΚΑΛΩΔΙΑ ΥΨΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ

Η πόλη που ζούμε σήμερα κατακλύζεται από μια φυσική οντότητα που είναι αδύνατο να τη συλλάβουμε με τις αισθήσεις μας την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Η αδυναμία αυτή, σε συνδυασμό με την επιστημονική αβεβαιότητα που προβάλλουν οι πολυεθνικές εταιρείες και η έλλειψη πληροφόρησης του πολίτη, έχουν δημιουργήσει μια επικίνδυνη αδιαφορία στους κατοίκους. Μια απειρία εγκαταστάσεων, μεταξύ των οποίων προεξέχουσα θέση έχουν τα ραντάρ, τα κινητά τηλέφωνα, οι κεραίες, οι γραμμές μεταφοράς υψηλής τάσης (150.000 Volt) κ.λ.π ακτινοβολούν μόνιμα στο περιβάλλον. Αυτή η εικόνα, δεν είναι ούτε απλή, ούτε αθώα. Η καταγραφή των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τα δίκτυα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας σε γειτονικά συστήματα ή υποσυστήματα και εν τέλει στην ποιότητα ζωής, οδηγεί σε μια πολυεπιστημονική αναζήτηση και μελέτη των τυχόν βιολογικών επιδράσεων μέσα από την επιδημιολογία, βιολογία, φυσική, ηλεκτρονική, ηλεκτρολογία κλπ.

Τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία πλησίον των δικτύων ανήκουν κυρίως στις εξαιρετικά χαμηλές συχνότητες (Extreme Low Frequency, ELF) που εντάσσονται στις μη-ιονίζουσες ακτινοβολίες. Ο ευρισκόμενος πλησίον των ηλεκτρικών δικτύων εκτίθεται σε ηλεκτρικά & μαγνητικά πεδία, τα οποία αναλόγως της απόστασης και του φορτίου, μπορεί να είναι ασθενή ή ισχυρά από βιολογικής πλευράς με κριτήριο τα αποδεκτά όρια έκθεσης (Exposure Limits, EL). Το ηλεκτρικό πεδίο επιδρά μέσα στο σώμα διαφορετικά από το μαγνητικό πεδίο (Σχήμα 6.1).



**Σχήμα 6.1**:Τα επαγόμενα ρεύματα κυκλοφορούν ανάμεσα στα κύτταρα (πρώτη εικόνα) μέσα στο σώμα υπό ηλεκτρικό πεδίο (δεύτερη εικόνα) ή υπό μαγνητικό πεδίο (τρίτη εικόνα)

Ακόμη και κάτω από τα καλώδια των δικτύων το επαγόμενο ρεύμα είναι συχνά πολύ ασθενέστερο από αυτό των φυσικών λειτουργιών του σώματος (εγκέφαλος, καρδιά κλπ.), έτσι διαδίδεται ανάμεσα στα κύτταρα όντας ανεπαρκές να διαπεράσει την κυτταρική μεμβράνη. Το γεγονός αυτό οδηγεί στην υπέρ απλούστευση ότι δεν θα έχει κάποια σημαντική επίδραση. Κάτι

τέτοιο όμως είναι λάθος διότι έχει αποδειχθεί ότι ασθενέστατα ρεύματα ή πεδία μπορεί να διεγείρουν σημαντικές κυτταρικές αντιδράσεις. Σημαντικό είναι επίσης ότι η έκθεση στα πεδία 50/60 Hz δεν συνεπάγεται και αντίστοιχη απορρόφηση διότι οι ιστοί ποικίλουν και υπάρχουν διάφορα φαινόμενα επιρροής (γείωση, πλησίον αντικείμενα κλπ.).

Η πυκνότητα μαγνητικής ροής $B_{exp}$ (μT, 1μT=10mG) και η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου $E_{exp}$ θα είναι ισχυρές, εάν η έκθεση των ιστών υπερβαίνει το αντίστοιχο αποδεκτό όριο έκθεσης $B_{el}$, $E_{el}$. Τα όρια για τον πληθυσμό είναι αυστηρότερα, αφού κάποιος μπορεί να εκτίθεται συνεχώς (24ωρο) χωρίς να γνωρίζει ή να λάβει μέτρα προστασίας, ενώ η έκθεση του επαγγελματία γίνεται μόνο στην διάρκεια της εργασίας του (8ωρο) και υποτίθεται ότι γνωρίζει τις επιπτώσεις λαμβάνοντας τα κατάλληλα μέτρα. Τα αποδεκτά όρια έκθεσης που προτείνονται από διεθνείς φορείς με την εποπτεία του ΟΗΕ βασίζονται σε αποτελέσματα ερευνών, οι οποίες δεν έχουν εξαντλήσει το ζήτημα των βιολογικών επιδράσεων. Πλην όμως τεκμηριώνεται ότι η έκθεση σε ισχυρά πεδία συνεπάγεται βιολογικές επιπτώσεις που οδηγούν σε μεταβολές της δραστηριότητας ή αλλοιώσεις των κυττάρων ή των συστημάτων κυττάρων ή του βιολογικού υλικού γενικά. Η αύξηση της θερμοκρασίας των ιστών είναι η πλέον τεκμηριωμένη και αποδεκτή επίδραση, ενώ υπάρχουν πολλές αναφορές αθερμικών επιδράσεων.

Βασικό ζήτημα είναι η εφαρμογή της αρχής της οριοθέτησης, για την διάκριση των πεδίων σε ασθενή ή ισχυρά με βιολογικά κριτήρια. Δηλαδή η αναζήτηση, διερεύνηση, τεκμηρίωση, και θέσπιση ορίων βιολογικής επικινδυνότητας, σε ένα θέμα με πολλές φυσικές και βιολογικές παραμέτρους και αντιφατικές όψεις. Η ανεπάρκεια τεκμηρίωσης για όλες τις βιολογικές επιδράσεις από τα ισχυρά πεδία 50/60 Hz στους ηλεκτροπαραγωγούς σταθμούς και στα ηλεκτρικά δίκτυα είναι δεδομένη. Παρά την έντονη αντιγνωμία που οδηγεί σε μεγάλες αποκλίσεις ως προς τα αποδεκτά όρια έκθεσης $B_{el}$, $E_{el}$, η πλειοψηφία των διεθνών & εθνικών φορέων ακολουθεί ή προσεγγίζει τα όρια της INIRC (International Non-Ionizing Radiation Committee) της IRPA (International Radiation Protection Association) που εξειδικεύονται για τους επαγγελματίες, τον πληθυσμό και την διάρκεια έκθεσης.

**IRPA/INIRC. Όρια αποδεκτής έκθεσης σε ηλεκτρικά & μαγνητικά πεδία 50/60 Hz για τους επαγγελματίες & τον πληθυσμό**

| **Όρια έντασης ηλεκτρικού πεδίου $E_{el}$ (KV/m)** | | **Όρια πυκνότητας μαγνητικής ροής $B_{el}$ (mT)** | |
|---|---|---|---|
| επαγγελματιών | πληθυσμού | επαγγελματιών | πληθυσμού |
| 10<br>(έκθεση επί 8h/d) | 5<br>(έκθεση μέχρι 24h/d) | 0,5<br>(έκθεση επί 8h/d) | 0,1<br>(έκθεση μέχρι 24h/d) |
| 30<br>(έκθεση μέχρι 2h/d) | 10<br>(έκθεση λίγες h/d) | 5<br>(έκθεση μέχρι 2h/d) | 1<br>(έκθεση λίγες h/d) |

Τα πεδία είναι ισχυρά πολύ κοντά (10-20m) στα καλώδια των δικτύων και πάντως όχι πλέον των 100m, οπότε δεν είναι εύκολη η πρόσβαση. Όμως είναι χρήσιμη η ακτίνα $R_{NHZ}$ [3]της ζώνης

επικινδυνότητας ως η απόσταση στην οποία η έκθεση θα ισούται με το αντίστοιχο EL. Για το μαγνητικό πεδίο στα δίκτυα των 50/60 Hz η $R_{NHZ}$ μπορεί να προσεγγισθεί αριθμητικά από τις σχέσεις:

$$R_{NHZ} \cong a \cdot \sqrt{\frac{2Id}{B_{el}}} \text{ (διπλή γραμμή)}, \; R_{NHZ} \cong b \cdot \sqrt[3]{\frac{f\,Id}{B_{el}}} \text{ (γραμμή υψηλής τάσης)}, \qquad (6.1)$$

όπου I το ρεύμα στον αγωγό ή στην γραμμή, R η απόσταση από τον αγωγό ή την γραμμή, d η απόσταση μεταξύ των αγωγών στην γραμμή μεταφοράς, a συντελεστής προσαρμογής μονάδων, b ο συντελεστής προσαρμογής μονάδων, και f σταθερά σχετική με τον αριθμό των αγωγών.

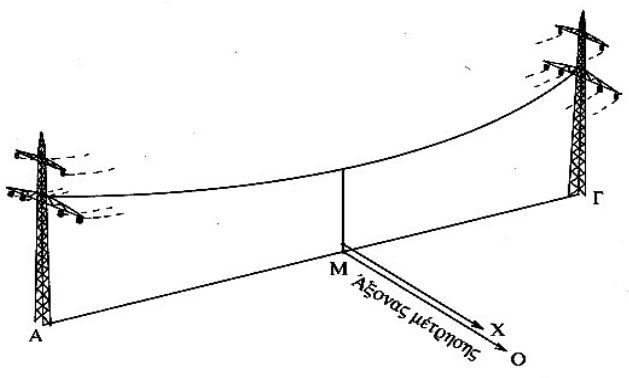
Οι μελέτες και οι ανακοινώσεις επιφανών επιστημόνων οδήγησαν το Αμερικανικό Εθνικό Συμβούλιο Προστασίας από τις Ακτινοβολίες (NCRP) να αναθέσει σε μεγάλου κύρους εμπειρογνώμονες την σύνταξη σχετικής μελέτης. Τον Ιούνιο του 1995 διέρρευσε η έκθεση της επιτροπής όπου εισηγείται για τα πεδία 0-3KHz (δηλαδή, ανάμεσα σε αυτά τα πεδία του δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας των 50-60Hz) ότι τα όρια που ισχύουν σήμερα ( μαγνητικό πεδίο 100μT και ηλεκτρικό πεδίο 5000V/m) πρέπει να μειωθούν ως εξής (για το γενικό πληθυσμό ):

- Σε 3 χρόνια να μην ξεπερνούν αντίστοιχα τα 1μT και 100V/m
- Σε 6 χρόνια να μην ξεπερνούν αντίστοιχα τα 0,5μT και 50V/m
- Σε 10 χρόνια να επανεξεταστούν οι συνέπειες και να γίνει επιπλέον μείωση στα 0,2μT και 10V/m

Ενώ παράλληλα προτείνει:

- Να μη χτίζονται καινούργια σχολεία, νηπιαγωγεία και σταθμοί σε χώρους με μαγνητικό πεδίο άνω των 0,2μT
- Να μη χτίζονται σπίτια σε χώρους με μαγνητικό πεδίο άνω των 0,2μT για περιόδους μεγαλύτερες από 0,2μT την ημέρα
- Να μη γίνονται νέες γραμμές μεταφοράς που θα έχουν ως αποτέλεσμα την υπέρβαση των παραπάνω

Θα γίνει πιο κάτω φανερό ότι τα συμπεράσματα της έκθεσης αυτής πρέπει να οδηγήσουν τις ενέργειες κρατών, οργανισμών και πολιτών σε διαφορετική κατεύθυνση από αυτή των προηγούμενων ετών.

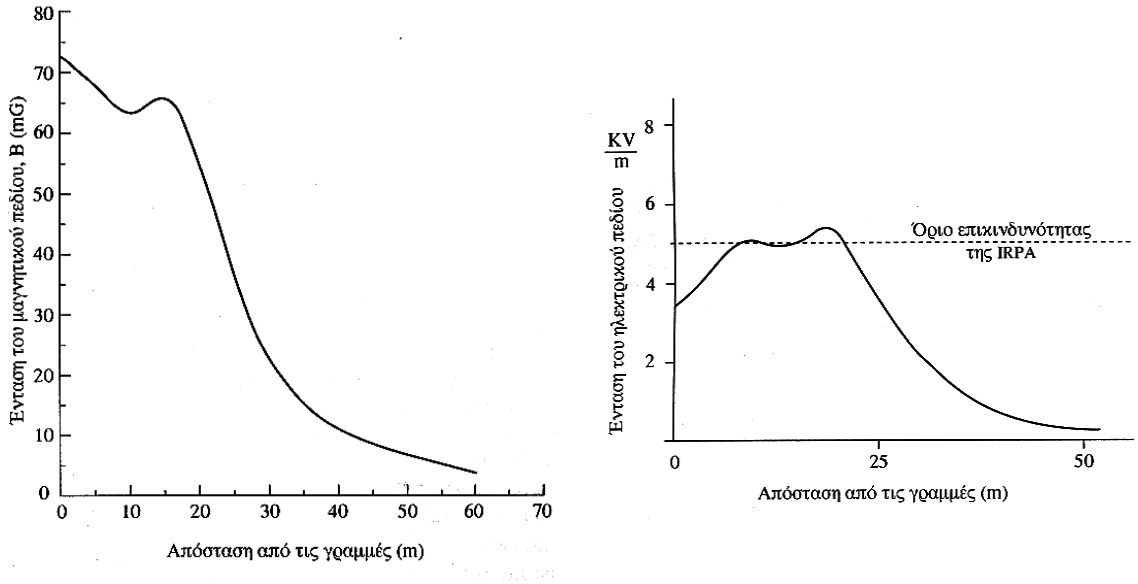



**Σχήμα 6.2**

Τα καλώδια υψηλής τάσης (πυλώνες) έχουν αποδειχθεί σχεδόν επικίνδυνα όσον αφορά την εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας για τον άνθρωπο. Αυτό φάνηκε σε μετρήσεις που έγιναν σε πλήθος γραμμών, όπου φάνηκε ότι το ηλεκτρικό πεδίο (E) στο μέσο της απόστασης δύο διαδοχικών πυλώνων παίρνει τιμές ίσες ή και μεγαλύτερες από το όριο επικινδυνότητας και κατά συνέπεια πολύ μεγαλύτερες από το όριο ασφαλείας. Όσο για το μαγνητικό πεδίο (B) στο ίδιο σημείο, τα πράγματα είναι καλύτερα, αφού οι τιμές που παίρνει είναι πολύ μικρότερες από το όριο επικινδυνότητας για τα 50Hz αλλά και μεγαλύτερες από το όριο ασφαλείας των 2mG.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σαν συμπέρασμα καταλήγουμε στο ότι **ο άνθρωπος δέχεται υπερβολική ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία για την υγεία του σε απόσταση κάτω των 30 μέτρων από τις γραμμές υψηλής τάσης, ενώ ασφαλής απόσταση θεωρούνται τα 200 μέτρα.** Τα συμπεράσματα αυτά απεικονίζονται στα παρακάτω διαγράμματα (Σχήμα 6.3):




**Σχήμα 6.3**

Πέρα όμως από την δημιουργία της 'δικής' τους ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, οι γραμμές υψηλής τάσης θεωρούνται ότι είναι κάποιο είδος 'μαγνήτη' για κάποιους επιπρόσθετους μηχανισμούς παραγωγής ηλεκτρομαγνητικών πεδίων, όπως: συσσώρευση κοσμικής ακτινοβολίας κατά μήκος των γραμμών, συσσώρευση καρκινογόνων και ραδιενεργών ουσιών γύρω από τους αγωγούς, παράταση του χρόνου ζωής των ελεύθερων ριζών. Στους δρόμους των πόλεων μετρήθηκαν μικρές τιμές έντασης του ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου. Ωστόσο, στα σημεία όπου υπάρχουν οι μετασχηματιστές της ΔΕΗ (συνήθως γωνίες δρόμων) τα πεδία έχουν εντάσεις που στις μέγιστες τιμές τους (σε επαφή με το μετασχηματιστή) είναι μικρότερες από το όριο επικινδυνότητας αλλά πολύ μεγαλύτερες από το όριο ασφαλείας. Ασφαλής απόσταση μπορούν να θεωρηθούν τα 3 m και άνω.

[2] Πυκνότητα Μαγνητικής Ροής: Είναι ένα διανυσματικό μέγεθος (B), από το οποίο εξαρτάται η δύναμη που ασκείται σε κινούμενα φορτία· εκφράζεται σε τέσλα (T). Στον κενό χώρο και στα βιολογικά υλικά, μπορεί να γίνει μετατροπή της πυκνότητας μαγνητικής ροής σε ένταση του μαγνητικού πεδίου και αντίστροφα, βάσει του τύπου 1 A $m^{-1}$ =4π$10^{-7}$ T. Στην βιβλιογραφία η πυκνότητα μαγνητικής ροής συναντάται και ως μαγνητική επαγωγή.

[3] Νοητή ζώνη επικινδυνότητας (Nominal Hazard Zone, NHZ) που οριοθετείται από τα σημεία του χώρου που η έκθεση γίνεται η μεγίστη αποδεκτή.

# Κεφάλαιο 7

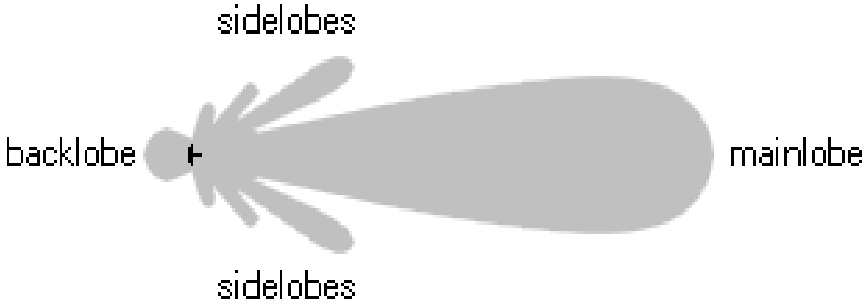
# ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗ ΚΑΙ ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΑ ΡΑΝΤΑΡ

Ένα Ραντάρ αποτελείται από μια συσκευή αποστολής σημάτων (πομπός) που παράγει τα ραδιοκύματα και έναν ή περισσότερους "δέκτες" που τα συλλέγουν. Τόσο η συσκευή αποστολής σημάτων όσο και οι δέκτες εγκαθίστανται μαζί με τις κεραίες. Τα ραδιοκύματα διαδίδονται μέσα στον χώρο και δημιουργούν επαγόμενο ηλεκτρικό ρεύμα σε μια λαμβάνουσα κεραία, μεταφέροντας παράλληλα και πληροφορία.

Οι ραδιοσυχνότητες που εκπέμπονται από κεραίες radar, επηρεάζουν, σε μεγαλύτερο ποσοστό, τα άτομα, που εργάζονται στους συγκεκριμένους χώρους, αυτούς, αλλά και τους κατοίκους περιοχών, στις οποίες είναι τοποθετημένες οι κεραίες. Τα RADAR (Radio Detection And Ranging) είναι συστήματα που χρησιμοποιούν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, για τον εντοπισμό στόχων σε μακρινές αποστάσεις. Η βασική αρχή λειτουργίας ενός συστήματος Ραντάρ είναι η εξής: μικροί παλμοί ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (στην περιοχή των ραδιοκυμάτων $10^5$ Hz ή $10^4$m ) εκπέμπονται από μια κεραία πομπό και αφού ανακλαστούν από έναν στόχο, επιστρέφουν στην κεραία δέκτη και αναλύονται από τα ηλεκτρονικά συστήματα του Ραντάρ.

Αρχικά, θα πρέπει, να ορίσουμε κάποια μεγέθη, τα οποία, θα χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια:
Ισχύς του πομπού (P). Εξαρτάται από την δύναμη των παλμών, καθώς επίσης και από την εστίαση των κεραιών στον στόχο.
Κέρδος (ή ικανότητα δεκτών G). Εκφράζει την ικανότητας λήψης σήματος των κεραιών, καθώς και της ευαισθησίας των δεκτών.
Απώλεια ( L). Είναι μέγεθος αντιστρόφως ανάλογο του κέρδους G.

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που εκπέμπεται μέσω των κεραιών ενός Ραντάρ, καθώς διαδίδεται στον χώρο έχει την μορφή λοβών όπως φαίνεται στο Σχήμα 7.1.




**Σχήμα 7.1**

Όσο καλύτερα εστιάζεται ο εμπρόσθιος λοβός, τόσο αποδοτικότερο είναι ένα σύστημα Ραντάρ.Η ακρίβεια ενός ραντάρ είναι συνάρτηση του γωνιακού πλάτους της ακτίνας του. Μπορείτε να σκεφτείτε μια ακτίνα ραντάρ σαν μια πολύ στενή ακτίνα, όπου μπορεί να ανιχνεύσει πιο εύκολα έναν απομακρυσμένο και συγκεκριμένο στόχο, παρά μια κοντινή και ευρεία ακτίνα.

Υπάρχει ένας τρόπος να παίρνουμε ακρίβεια πολύ μεγαλύτερη από όσο μας επιτρέπει το πραγματικό πλάτος της ακτίνας. Οι κεραίες ραντάρ εκπέμπουν την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία υπό μορφή "λοβού", στενός στις πλευρές και φαρδύς στην άκρη συγκεντρωμένο στις πλευρές και ευρύ στην άκρη. Η προσπάθεια να συλληφθεί ένας στόχος σε έναν ενιαίο ευρύ λοβό είναι δύσκολη, αλλά προϋποθέτει ότι ο πομπός του ραντάρ έχει δύο κεραίες, με τον προσανατολισμό της κάθε μιας να διαφέρει ελάχιστα από αυτόν της άλλης, έτσι ώστε ο πομπός να στέλνει παλμούς εναλλάξ. Ο χειριστής ραντάρ μπορεί έπειτα να μεταβάλει τις κατευθύνσεις των κεραιών έως ότου οι επιστροφές να έχουν το ίδιο μέγεθος, γεγονός που σημαίνει ότι ο στόχος έχει κεντραριστεί. Δεδομένου ότι οι άκρες των λοβών είναι σχετικά αιχμηρές, αυτό επιτρέπει ακρίβεια στον εντοπισμό της θέσης του στόχου. Τα σήματα λάθους που παρέχονται από τη διαφορά στους δύο λοβούς μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον συγχρονισμό των μηχανισμών που καθοδηγούν το ραντάρ κατά μήκος της διαδρομής του στόχου, αυτόματα.

Τα αντιαεροπορικά ραντάρ διαμορφώθηκαν έπειτα από ένα περιπλοκότερο σχέδιο για τη μετατροπή λοβών, γνωστή ως "κωνική ανίχνευση". Αυτό περιλάμβανε μια παραβολική κεραία πιάτων και ένα εκπεμπόμενο σήμα που εκτρεπόταν ελαφρώς από την κεντρική γραμμή.

## 7.1 ΕΞΙΣΩΣΗ RADAR

Η εξίσωση Ραντάρ δίνει την ισχύ της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που λαμβάνει ο δέκτης του Ραντάρ από έναν στόχο και προφανώς παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον στην μελέτη των συστημάτων Ραντάρ όπως αυτή καθορίζεται από τους ακόλουθους παράγοντες.

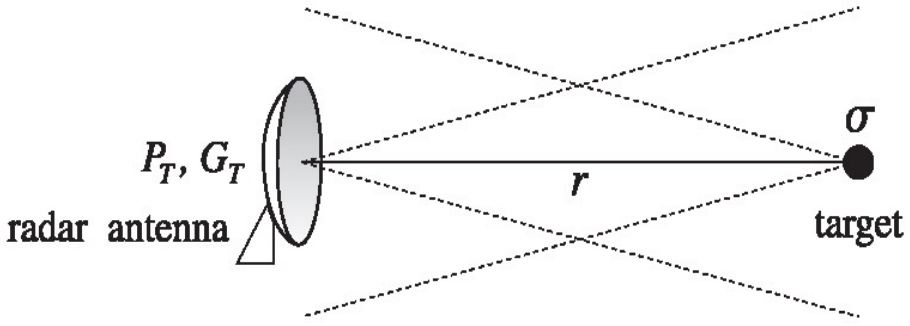
- Ηλεκτρικός θόρυβος Αυτός ο θόρυβος, προέρχεται από το περιβάλλον και παράγεται με τρόπο απρόβλεπτο. Ο θόρυβος αυτός εμφυτεύεται στα ηλεκτρονικά συστήματα του δέκτη. Κάθε λαμβανόμενο σήμα από ένα ραντάρ παλμών, πρέπει να ξεπερνά το κατώφλι του θορύβου αυτού, έτσι ώστε να μπορέσει να εντοπιστεί ο πομπός εκπομπής του σήματος.
- Ισχύ του πομπού. Εξαρτάται από την δύναμη των παλμών του Ραντάρ, καθώς επίσης και από την εστίαση των κεραιών στον στόχο
- Ικανότητα δεκτών. Όπου είναι συνάρτηση της ικανότητας λήψης σήματος των κεραιών, καθώς και της ευαισθησίας των δεκτών.
- Μείωση λόγω απόστασης. Η ισχύς μιας ακτίνας ραντάρ είναι αντιστρόφως ανάλογη με το τετράγωνο της απόστασης. Δεδομένου ότι το ραντάρ πρέπει να λάβει την επιστροφή του παλμού μετάδοσης, ο οποίος μειώνεται επίσης με το τετράγωνο της απόστασης, σημαίνει ότι η ισχύς επιστροφής του παλμού μειώνεται με την τέταρτη δύναμη της απόστασης από τον στόχο.
- Target "radar cross section (RCS)". Το RCS ενός στόχου είναι στην ουσία η ανακλαστικότητά του στο ραντάρ. Το RCS εξαρτάται, από το εάν το υλικό φωτίζεται, παραδείγματος χάριν οι επιφάνειες μετάλλων τείνουν να είναι πιο αντανακλαστικές από τις πλαστικές επιφάνειες, καθώς και από τη φυσική διαμόρφωση των επιφανειών. Μια ομαλή επιφάνεια τείνει να είναι λιγότερο

αντανακλαστική από μια οδοντωτή τραχιά επιφάνεια. Το RCS ενός στόχου τείνει να είναι ιδιαίτερα μεταβλητό, ανάλογα με τη γωνία εξέτασης του στόχου. Ένα αεροσκάφος που είναι πολύ φωτεινό στο ραντάρ από μια γωνία μπορεί να είναι σχεδόν ραντάρ μπορεί να αλλάξει δραστικά καθώς το αεροσκάφος κινείται. αόρατο από άλλη, ενώ η ένδειξη του ραντάρ να αλλάξει δραστικά καθώς το αεροσκάφος κινείται.

- Ατμοσφαιρική μείωση. Αυτός ο παράγοντας είναι ο πιο ασταθής από όλους τους παράγοντες που μπορούν να υπολογιστούν, δεδομένου ότι μπορεί να ποικίλει ανάλογα με τις διακυμάνσεις των ατμοσφαιρικών συνθηκών. Συνήθως εκλαμβάνεται ως σταθερά, δεδομένου ότι είναι δύσκολο να υπολογισθεί ικανοποιητικά στην πράξη.

Υπάρχουν πολλές παραλλαγές της εξίσωσης Ραντάρ, παρέχοντας συνήθως μεγαλύτερη λεπτομέρεια ή τροποποιούνται κατάλληλα για να δείξουν τις ικανότητες των διαφορετικά διαμορφωμένων ραντάρ. Η βασική ιδέα είναι απλή: η ικανότητα ενός ραντάρ να ανιχνεύσει ένα στόχο εξαρτάται από την ισχύ μετάδοσής, την ικανότητα των δεκτών της, και του RCS ενός στόχου και είναι αντιστρόφως ανάλογη των ατμοσφαιρικών διακυμάνσεων και της τέταρτης δύναμης της απόστασης.

Επίσης διάφορα φαινόμενα στην ατμόσφαιρα μπορούν να παρεμποδίσουν τα ραδιοσήματα. Οι υψηλότερες συχνότητες μπορούν να εμποδιστούν από μεγάλες καταιγίδες ή χιονοθύελλες, ενώ μπορεί να προκληθεί ηλεκτρονικός θόρυβος σε ραδιομεταδόσεις, λόγω αστραπών. Επίσης σωματίδια που ξεφεύγουν λόγω ηλιακών εκρήξεων, (Solar Flares), μπορούν να προκαλέσουν διακοπές στις ραδιοεπικοινωνίες, και στην χειρότερη περίπτωση, μπορούν ακόμη και να καταστρέψουν τα πλέγματα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας.




**Σχήμα 7.2**

Η πυκνότητα ισχύος που δέχεται το αντικείμενο, σε απόσταση r από την κεραία εκπομπής δίνεται από την σχέση:

$$P_T = \frac{P_T G_T}{4\pi r^2} \tag{7-1}$$

Κάθε αντικείμενο παρουσιάζει μια ισοδύναμη επιφάνεια ή αλλιώς **εγκάρσια διατομή Ραντάρ,** που ορίζεται ως η επιφάνεια που απορροφά όλη την ηλεκτρομαγνητική ενέργεια που πέφτει πάνω της και την αντανακλά προς όλες τις κατευθύνσεις με αποτέλεσμα να παράγει στον δέκτη του Ραντάρ το ίδιο σήμα, το οποίο δίνει και το πραγματικό αντικείμενο. Αν ο στόχος έχει ενεργό διατομή σ, η απορροφούμενη και επανακτινοβολούμενη από τον στόχο ισχύς θα είναι:

$$P_{\Sigma TOXOY} = \sigma P_T = \frac{\sigma P_T G_T}{4\pi r^2} \tag{7-2}$$

Αυτή η ποσότητα ονομάζεται **ισχύς σκεδάσεως**. Η πυκνότητα ισχύος στην κεραία λήψεως δίνεται από την σχέση:

$$P_{\Lambda H\Psi E\Omega\Sigma} = \frac{P_{\Sigma TOXOY}}{4\pi r^2} = \frac{\sigma P_T G_T}{(4\pi r^2)^2} \tag{7-3}$$

Οπότε, εάν η κεραία λήψεως έχει κέρδος $G_R$ και ενεργό επιφάνεια $A_R$, η ισχύς λήψης θα είναι:

$$P_R = A_R P_{\Lambda H\Psi E\Omega\Sigma} = \frac{A_R \sigma P_T G_T}{(4\pi r^2)^2} \tag{7-4}$$

Ο παραπάνω τύπος αποτελεί την **εξίσωση Radar**. Αν θέσουμε $A_R=A_T$ και $G_T = 4\pi A_T / \lambda^2$, η παραπάνω εξίσωση γίνεται:

$$P_R = P_T G_T{}^2 \left(\frac{\lambda}{4\pi r}\right)^4 \frac{4\pi\sigma}{\lambda^2}. \tag{7-5}$$

Ορίζοντας ως κέρδος στόχου το $G_\sigma = 4\pi\sigma/\lambda^2$ και ως κέρδος ελεύθερου χώρου το $G_f = \lambda^2/(4\pi r)^2$, η (7-5) γίνεται:

$$P_R = P_T G_T{}^2 G_f{}^2 G_\sigma. \tag{7-6}$$

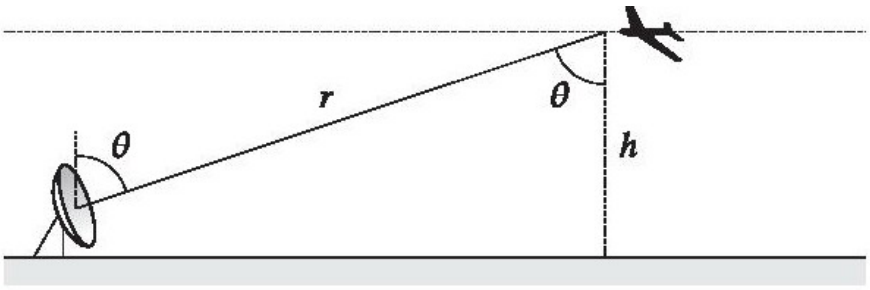
Η μέγιστη απόσταση ανιχνεύσεως ή εμβέλεια του Ραντάρ μπορεί να υπολογιστεί από την (7-4). Θεωρώντας ότι $P_{R,min}$ είναι η ελάχιστη δυνατή ισχύς λήψεως, που θα έδινε αντιληπτό σήμα στον δέκτη, τότε η μέγιστη εμβέλεια του Ραντάρ είναι:

$$r_{max} = \left[\frac{P_T G_T A_T \sigma}{(4\pi)^2 P_{R,min}}\right]^{\frac{1}{4}}. \tag{7-7}$$

Αν ο στόχος δεν είναι στην κατεύθυνση μέγιστου κέρδους $G_T$ της κεραίας, αλλά σε κάποια άλλη τυχαία κατεύθυνση (θ,φ), τότε πρέπει να αντικαταστήσουμε το μέγιστο κέρδος $G_T$ στην (7-5), με το $G_T g(\theta,\varphi)$, όπου το $g(\theta,\varphi)$ είναι ο συντελεστής κανονικοποίησης του κέρδους της κεραίας. Η ισχύς που παίρνει ο δέκτης σε αυτήν την περίπτωση είναι :

$$P_R = \frac{P_T G_T{}^2 g^2(\theta,\phi)\lambda^2\sigma}{(4\pi)^3 r^4} \tag{7-8}$$

Για Ραντάρ εδάφους τα οποία ψάχνουν να εντοπίσουν ιπτάμενους στόχους σε τυχαίο ύψος h, η ισχύς που λαμβάνει το Ραντάρ μπορεί να γίνει ανεξάρτητη της απόστασης r, διαλέγοντας τον συντελεστή κέρδους g(θ,φ) με κατάλληλο τρόπο. Όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα το ύψος h συνδέεται με την απόσταση r μέσω της σχέσης h=rcosθ.




**Σχήμα 7-3**

Αν το κέρδος επιλεγεί έτσι ώστε να έχει την μορφή $g(\theta,\varphi)=K/\cos^2\theta$, όπου K μια σταθερά, τότε η ισχύς θα είναι ανεξάρτητη του r, δηλ. της απόστασης μεταξύ στόχου και δέκτη. Όντως

$$P_R = \frac{P_T G_T{}^2 g^2(\theta,\phi)\lambda^2\sigma}{(4\pi)^3 r^4} = \frac{P_T G_T{}^2 K^2\lambda^2\sigma}{(4\pi)^3 r^4 \cos^4\theta} \Rightarrow P_R = \frac{P_T G_T^2 K^2\lambda^2\sigma}{(4\pi)^3 h^4} \tag{7-9}$$

Αυτή η προσέγγιση δεν είναι ικανοποιητική για όλες τις γωνίες θ, αλλά μόνο για ένα συγκεκριμένο εύρος $0\le\theta\le\theta\max$ όπου η θmax εξαρτάται από το μέγιστο εύρος του Ραντάρ $h\max=r/\cos\theta\max$.Σε περιπτώσεις ραντάρ, τα οποία χρησιμοποιούνται σε πολιτικά αεροδρόμια ή στρατιωτικές εγκαταστάσεις, όπου η κεραία του πομπού περιστρέφεται, η μέση πυκνότητα ισχύος σε απόσταση $r$ θα δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$P_{r,\pi,\pi} = \frac{N_\kappa \cdot w \cdot prf}{4\pi r^2} \cdot 10^{\frac{G}{10}} \cdot \frac{\varphi^\circ}{360^\circ} \left(\frac{W}{m^2}\right) \tag{7-10}$$

όπου φ είναι το εύρος μισής ισχύος του οριζόντιου διαγράμματος της κεραίας σε μοίρες.

Οι επιπτώσεις των ραντάρ (που θα αναφέρουμε παρακάτω) οδηγούν στη διάκριση των ακτινοβολιών σε ασθενείς ή ισχυρές. Ασθενείς είναι όσες έχουν τέτοια ένταση ώστε να μην έχουν επιπτώσεις, ενώ ισχυρές είναι όσες έχουν ένταση επαρκή για λειτουργική ή βιολογική επίδραση. Η διάκριση αυτή δεν είναι εύκολη ή απλή διότι υπάρχουν πολλές φυσικές και βιολογικές παράμετροι, όπως π.χ. η συχνότητα F, η βιολογική απορρόφηση, η ένταση του ηλεκτρικού E (V/m) και του μαγνητικού H (A/m) πεδίου, η πυκνότητα ισχύος S ($W/m^2$) κλπ. Τα μεγέθη αυτά εκτός των άλλων εξαρτώνται από την ακτινοβολούσα κεραία και την απόσταση R από αυτήν. Ο χώρος που περιβάλλει την κεραία υποδιαιρείται στις ζώνες: *Rayleigh, Fresnel* και *Fraunhofer*. Τα χαρακτηριστικά του πεδίου σε κάθε μια από αυτές διαφέρουν αισθητά. Εάν είναι D το ύψος(εύρος) της κεραίας, λ το μήκος κύματος και $p_{tr}$ η ισχύς εκπομπής, τότε η πυκνότητα ισχύος $S_r$ μέσα στον λοβό της κεραίας στην εγγύτερη ζώνη *Rayleigh* που φτάνει έως μιαν απόσταση $B_r$ είναι σταθερή και ίση με:

$$S_r = \frac{16 P_{tr}}{\pi D^2} R_r = 0.3\frac{D^2}{\lambda} \tag{7-11}$$

Το εγγύς πεδίο (near field) περιλαμβάνει τη ζώνη αυτή και την επόμενη ζώνη *Fresnel*, στην οποία η πυκνότητα ισχύος $S_{nf}$ η έχει τόσο περίπλοκη εξάρτηση ώστε κάθε αντικείμενο μέσα στα όρια της να επηρεάζει το πεδίο. Η οριακή απόσταση $R_{nf}$ του εγγύς πεδίου δίδεται από την:

$$R_{nf} = 2D^2 / \lambda \tag{7-12}$$

Από την απόσταση αυτή αρχίζει το απόμακρο πεδίο (far field) ή πεδίο ακτινοβολίας που αποτελεί την ζώνη *Fraunhofer,* στην οποία η τιμή των βασικών μεγεθών του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου υπολογίζεται εύκολα με τις διανυσματικές σχέσεις Maxwell. Σε κάθε σημείο της περιοχής αυτής με συντεταγμένες (θ,φ,R) το άνυσμα Poynting S(θ,φ,R) εκφράζει την πυκνότητα ισχύος που μειώνεται με την απόσταση

$$S(\theta,\varphi,R) = \frac{E^2(\theta,\varphi,R)}{Z_0} = H^2(\theta,\varphi,R)\cdot Z_0 = \frac{P_{tr}\cdot G(\theta,\varphi)}{4\pi R^2} = \frac{P_{rad}(\theta,\varphi)}{4\pi R^2} \tag{7-13}$$

όπου G(θ,φ) η απολαβή της κεραίας προς τη διεύθυνση (θ,φ), $P_{rad}(\theta,\varphi)$ η ισοδύναμη ακτινοβολούμενη ισχύς (erp) προς την διεύθυνση (θ,φ), και $Z_0$ =377Ω η πεδιακή αντίσταση στο κενό.

Βασικό ζήτημα στις εφαρμογές ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων είναι οι συγκρίσεις της τιμής των μεγεθών E, H και S του πεδίου με τα αντίστοιχα όρια $E^{EMC}$, $H^{EMC}$ και $S^{EMC}$ που περιλαμβάνονται στα πρότυπα της ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας (Electro-Magnetic Compatibility, EMC), αλλά και με τα όρια $E^{EL}$, $H^{EL}$ και $S^{EL}$ των βιολογικών επιπτώσεων που περιλαμβάνονται στα πρότυπα της βιολογικά επιτρεπτής έκθεσης σε μη-ιονίζουσες ακτινοβολίες. Έτσι αν προκύψει υπέρβαση των ορίων στο χώρο που περιβάλλει την ακτινοβολούσα διάταξη, τότε οι επιπτώσεις ελέγχονται με τις κατάλληλες προδιαγραφές ή τη λήψη λειτουργικών/διαδικαστικών μέτρων.

## 7.2 ΕΙΔΗ ΡΑΝΤΑΡ

Τα ραντάρ χρησιμοποιούνται σε διάφορους τομείς για την εξαγωγή κινητικών παραμέτρων. Τα ραντάρ χρησιμοποιούνται σε αεροδρόμια για τον έλεγχο της εναέριας κυκλοφορίας, σε στρατιωτικές εγκαταστάσεις, στη ναυσιπλοΐα, στην τροχαία για τον έλεγχο της ταχύτητας στις εθνικές οδούς, στη μετεωρολογία και σε ένα μεγάλο πλήθος άλλων εφαρμογών. Η ανάπτυξη της ηλεκτρονικής τεχνολογίας έχει δημιουργήσει τις προϋποθέσεις για την παραγωγή ραντάρ υψηλής αξιοπιστίας.

**Ραντάρ στρατιωτικών εγκαταστάσεων**

Οι κεραίες των ραντάρ που χρησιμοποιούνται σε στρατιωτικές εγκαταστάσεις εκπέμπουν ισχυρότατες δέσμες που μπορούν να είναι επικίνδυνες μέχρι και σε απόσταση πολλών εκατοντάδων μέτρων. Όμως οι εγκαταστάσεις, αυτές, υπηρετούνται από ειδικευμένο προσωπικό, το οποίο εργάζεται κάτω από αυστηρά μέτρα ασφαλείας. Επιπλέον, οι εγκαταστάσεις, αυτές, των ραντάρ βρίσκονται, συνήθως σε απομονωμένες περιοχές. Επομένως η επιβάρυνση του πληθυσμού από τα στρατιωτικά ραντάρ θεωρείται αμελητέα. Τα ραντάρ που χρησιμοποιούνται στις στρατιωτικές εγκαταστάσεις, μπορούμε να τα διακρίνουμε σε κάποιες υποκατηγορίες:

Α) Τα ραντάρ έρευνας, που έχουν χαρακτηριστικά με τις ακόλουθες τιμές:

Συχνότητα: 1250-1350 MHz.

Διάρκεια παλμού: w=6 μsec

Συχνότητα επανάληψης παλμών: prf= 200 pps

Ισχύς κορυφής παλμού: 10 MW

Περιστρεφόμενη κεραία (5 στροφές ανά λεπτό) μέγιστης διάστασης: D=5m

Απολαβή κεραίας 30 dB

Γωνία μισής ισχύος: $3^o$

Για να υπολογίσουμε το μήκος κύματος της ακτινοβολίας, χρησιμοποιούμε τη σχέση c=λ ν, όπου *c* είναι η ταχύτητα του φωτός και ισούται με 300.000 m/sec και το ν εκφράζει τη συχνότητα. Υπολογίζουμε το μήκος κύματος της ακτινοβολίας:

$$\lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{300.000 \cdot 10^3 \,\mathrm{m/sec}}{1250 \cdot 10^6 \,\mathrm{sec}^{-1}} = 0.24\,\mathrm{m} = 24\mathrm{cm}\,.$$

Το μακρινό πεδίο της κεραίας θα αρχίζει πέρα από την απόσταση:

$$R = \frac{2D^2}{\lambda} = \frac{2 \cdot 5^2\,\mathrm{m}^2}{0.24\mathrm{m}} = 208\,\mathrm{m}\,.$$

Σε μια απόσταση 250 m από την κεραία, στο μακρινό της πεδίο, η αναμενόμενη μέση πυκνότητα ισχύος, υπολογίζεται ως εξής:

$$P = \frac{10 \cdot 10^6\,\mathrm{W} \cdot 6 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{sec} \cdot 200 \cdot \mathrm{sec}^{-1}}{4 \cdot 3.14 \cdot (250)^2\,\mathrm{m}^2} \cdot 10^{\frac{30}{10}} \cdot \frac{3^\circ}{360^\circ} = 0.12\,\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^2} = 0.012\,\frac{\mathrm{mW}}{\mathrm{cm}^2} = 12\,\frac{\mu\mathrm{W}}{\mathrm{cm}^2}$$

Τα όρια επικινδυνότητας Ανατολής - Δύσης διαφέρουν όσον αφορά αυτού του τύπου τα ραντάρ, με αποτέλεσμα η πυκνότητα ισχύος τους σε απόσταση 250m να είναι πολύ μικρότερη από τα «Δυτικά» όρια, αλλά μεγαλύτερη από τα «Ανατολικά». Όσον αφορά όμως το εγγύς πεδίο, δεν μπορούμε να έχουμε σύγκριση τιμών αφού η πυκνότητα ισχύος υπολογίζεται με προσεγγιστικές μεθόδους μόνο. Παρ' όλα αυτά, η έκθεση ενός ανθρώπου στο εγγύς πεδίο δεν μπορεί να θεωρηθεί σε καμία περίπτωση ασφαλής.

**Ραντάρ επιτήρησης στρατηγικών χώρων**

Τα ραντάρ αυτά έχουν τα εξής χαρακτηριστικά με τις ακόλουθες τιμές:

Συχνότητα: 450 MHz

Διάρκεια παλμού: w=60 μsec

prf = 200 pps

Ισχύς κορυφής παλμού: 32 MW

Μέγιστη διάσταση κεραίας: 5 m

Απολαβή κεραίας: 20 dB

Η περιοχή του μακρινού πεδίου αρχίζει πέρα από την απόσταση $R = \frac{2D^2}{\lambda} = \frac{2 \cdot 5^2\,\mathrm{m}^2}{0.66\mathrm{m}} = 75\,\mathrm{m}$.

Το εκπεμπόμενο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο αυτών των ραντάρ σε απόσταση 100 m από τον πομπό έχει πυκνότητα ισχύος περίπου 4 φορές μεγαλύτερη των Δυτικών ορίων επικινδυνότητας και κατά συνέπεια πολύ μεγαλύτερη των Ανατολικών ορίων. Μια πολύ σημαντική έρευνα σχετικά με τα ραντάρ στρατιωτικών εγκαταστάσεων είναι η έρευνα που έκαναν οι γιατροί από το το National Cancer Institute των Ηνωμένων Πολιτειών. Εξέτασαν τα δεδομένα υγείας για 40 χρόνια από 40.581 βετεράνους στρατιώτες και ναύτες που πολέμησαν στον πόλεμο της Κορέας από το 1950 έως το 1954.Η ιδιαιτερότητα που χαρακτηρίζει τους βετεράνους αυτούς είναι ότι υποβλήθηκαν κατά τον πόλεμο της Κορέας σε πολύ ψηλές δόσεις ακτινοβολίας μικροκυμάτων από τα ραντάρ.

Οι συχνότητες μικροκυμάτων χρησιμοποιήθηκαν για τα ραντάρ για σκοπούς ανίχνευσης, για τα οπλικά συστήματα και ακόμη για άμεσες βολές. Οι βετεράνοι αυτοί και ιδιαίτερα οι ναυτικοί, υποβλήθηκαν σε πολύ ψηλότερες δόσεις ακτινοβολίας μικροκυμάτων απ' ότι υποβαλλόμαστε εμείς συνήθως σήμερα.

Τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής έδειξαν ότι η έκθεση σε υψηλά επίπεδα ακτινοβολίας μικροκυμάτων, που προέρχεται από τα ραντάρ, δεν προκάλεσε στους βετεράνους, αυτούς, περισσότερες μορφές καρκίνου, παρά στον υπόλοιπο πληθυσμό. Μάλιστα βρέθηκε οι άνδρες αυτοί, είχαν 35% λιγότερες πιθανότητες να πεθάνουν κατά τη διάρκεια των 40 ετών της έρευνας σε σύγκριση με τους υπόλοιπους άνδρες. Το γεγονός αυτό πιστεύουν οι ερευνητές, οφείλεται στο ότι ένα από τα βασικά κριτήρια της επιλογής των ναυτών, είναι η πολύ καλή τους υγεία και υποχρεώνονται να διατηρούνται σε μια πολύ καλή φυσική κατάσταση κατά τη διάρκεια της υπηρεσίας τους.

Η μόνη εξαίρεση που βρήκαν μεταξύ των βετεράνων αυτών, ήταν οι τεχνικοί ηλεκτρονικών της αεροπορίας. Οι άνδρες αυτοί υποβάλλονταν σε εξαιρετικά ψηλά επίπεδα ακτινοβολίας μικροκυμάτων. Η ομάδα αυτή παρουσίαζε δύο φορές συχνότερα μια συγκεκριμένη μορφή λευχαιμίας, την οξεία μη λεμφοκυτταρική λευχαιμία.

Λόγω της ιδιομορφίας της ομάδας αυτής, οι ερευνητές συμπέραναν ότι τα αυξημένα κρούσματα λευχαιμίας που εκδηλώθηκε, δεν έχει σχέση με τη χαμηλής ενέργειας ακτινοβολία μικροκυμάτων. Φαίνεται λοιπόν ότι η έκθεση σε ψηλά επίπεδα ακτινοβολίας μικροκυμάτων από ραντάρ δεν είχε επιπτώσεις με περισσότερους καρκίνους ή αυξημένους θανάτους στη μεγάλη αυτή ομάδα βετεράνων.

Σίγουρα τα αποτελέσματα αυτά δεν μπορούν να εξαλείψουν τις ανησυχίες μας για τους κίνδυνους των ακτινοβολιών στις οποίες υποβαλλόμαστε καθημερινά. Εντούτοις μας δίνουν σημαντικές και αξιόλογες πληροφορίες για μια μεγάλη ομάδα ανδρών που υποβλήθηκαν σε πολύ ψηλά επίπεδα ακτινοβολίας μικροκυμάτων.

**Ραντάρ πολιτικών αεροδρομίων**

Τα ραντάρ των Ελληνικών πολιτικών αεροδρομίων έχουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

Συχνότητα: 2900 MHz

Ισχύς κορυφής παλμού:1.5 MW

Διάρκεια παλμού: w=0.8 μsec

Prf = 1040 pps

Απολαβή κεραίας: G=33 dB

Μέγιστη διάσταση κεραίας : 5 m

Η μέση πυκνότητα ισχύος που εκπέμπουν τα σύγχρονα ελληνικά τερματικά σε απόσταση άνω των 500 m (μακρινό πεδίο), παίρνει τιμές μικρότερες όλων των ορίων. Οι αντίστοιχες τιμές στο εγγύς πεδίο πρέπει βέβαια να είναι πολύ μεγαλύτερες, αλλά όπως είπαμε παραπάνω δεν μπορούν να συγκριθούν με τα όρια επικινδυνότητας. Όσον αφορά την επιβάρυνση του περιβάλλοντος από τα τερματικά αυτά, μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα αν:

- Η κεραία του ραντάρ είναι εγκατεστημένη σε ύψος 33 μέτρων πάνω από το έδαφος.
- Η κεραία εκπέμπει οριζόντια ή 2° - 3° μοίρες άνω του οριζόντιου άξονα.

Έτσι, βλέπουμε ότι είναι πρακτικά αδύνατο μονάδες πληθυσμού να βρεθούν στη διεύθυνση μέγιστης ισχύος και κατά συνέπεια ο κίνδυνος από την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία είναι ελάχιστος έως ανύπαρκτος. Μάλιστα, έχει αποδειχθεί πειραματικά ότι οι τιμές που παίρνει η πυκνότητα ισχύος σε συγκεκριμένα σημεία με το ραντάρ ανοικτό και έπειτα κλειστό, είναι οι ίδιες. Τα λοιπά είδη ραντάρ, θεωρούνται, με βάση διάφορες επιστημονικές έρευνες και αναλύσεις, ως ακίνδυνα. Με εξαίρεση, βέβαια, τα ραντάρ για τη μέτρηση της ταχύτητας, που χρησιμοποιούνται από την τροχαία, τα οποία, εκπέμπουν ισχύ μεγαλύτερης πυκνότητας. Όμως δε θεωρούνται επικίνδυνα, διότι ο χρόνος λειτουργίας τους είναι περιορισμένος.

## 7.3 ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ

Όπως έχουμε, ήδη αναφέρει, οι ραδιοσυχνότητες που εκπέμπονται από τις κεραίες των ραντάρ επηρεάζουν κυρίως τους ανθρώπους που εργάζονται στους χώρους αυτούς. Η έκθεση στη μη ιονίζουσα ακτινοβολία συνεπάγεται βιολογικές επιδράσεις, δηλαδή αλλοιώσεις στα κύτταρα και μεταβολές ή αλλοιώσεις του βιολογικού υλικού. Οι επιδράσεις μπορεί να είναι:

- Οφθαλμολογικές
- Κυτταρολογικές
- Αισθητηριακές
- Αναπαραγωγικές
- Γενετικές
- Δερματικές
- Αιματολογικές

Η έκθεση στο εγγύς πεδίο μίας ραδιοηλεκτρικής πηγής έχει περίπλοκη εξάρτηση, ενώ στο απόμακρο πεδίο προσεγγίζεται απλούστερα από τις σχέσεις:

$$S_{EXP}(\theta,\varphi,R)=\frac{E_{EXP}^2(\theta,\varphi,R)}{Z_0}=H_{EXP}^2(\theta,\varphi,R)\cdot Z_0=\frac{P_{rad}(\theta,\varphi,R)}{4\pi R^2},$$

όπου (θ,φ) οι γωνιακές συντεταγμένες διεύθυνσης της πηγής, R η απόσταση από τη πηγή, $P_{rad}(\theta,\varphi)$ η ακτινοβολουμένη ισχύς προς τη διεύθυνση (θ,φ) και $Z_0$ η πεδιακή αντίσταση (377 Ω).

Η κεραία των Radar περιβάλλεται από μία νοητή ζώνη επικινδυνότητας (Nominal Hazard Zone, NHZ), δηλαδή από μια περιοχή που ίσως υπάρχουν βιολογικές επιπτώσεις αφού η έκθεση $E_{EXP}$, $H_{EXP}$ ή $S_{EXP}$ θα υπερβαίνει την επιτρεπτή $E_{EL}$, $H_{EL}$ ή $S_{EL}$. Η $R_{NHZ}$ στο απόμακρο πεδίο ενός Radar προσδιορίζεται από τις:

$$S_{EXP}=S_{EL},\quad (S_{EXP})_{peak}=1000\cdot S_{EL},\qquad R_{NHZ}=\sqrt{\frac{P_{rad}(\theta,\varphi)}{4\pi S_{EL}}}.$$

Ο ορισμός της NHZ απαιτεί λεπτομερείς υπολογισμούς, ειδικές μετρήσεις και κατάλληλη χρήση των λειτουργικών παραμέτρων. Με ορισμένα στοιχεία όπως είναι η συχνότητα, ο τρόπος που ακτινοβολείτε ισχύς και οι κυριότερες συνθήκες έκθεσης, μπορεί να γίνει εκτίμηση των διαστάσεων της NHZ. Παραδείγματα τέτοιων εκτιμήσεων δίδονται στον επόμενο Πίνακα 7-1.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 7-1**

**ΑΚΤΙΝΑ ΤΗΣ ΖΩΝΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ $R_{NHZ}$ ΑΠΟ ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ (ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗ ΔΥΣΜΕΝΕΣΤΕΡΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΜΕ ΤΙΜΗ** *SAR = 0.08W / Kgr*

| Είδος πηγής | Χαρακτηριστικά | Ζώνη και συχνότητα | $P_{rad}(\theta,\varphi)$ (KW) | $R_{NHZ}$ (m) |
|---|---|---|---|---|
| Ραντάρ στρατιωτικού αεροδρομίου | Pulsed 500 dB | S (SHF) 3 GHz | 65 KW | 22,7m |
| Ραντάρ πολιτικής αεροπορίας | Pulsed 200 KWp κεραία 41 dB | X (SHF) 9 GHz | 17 KW | 11,6m |
| Ραντάρ επιβατικού πλοίου | Pulsed 15 KWp κεραία 29 dB | S (SHF) 3 GHz | 3 KW | 4,9m |
| Ραντάρ επιβατικού πλοίου | Pulsed 10 KWp κεραία 36 dB | X (SHF) 9.3 GHz | 7 KW | 7,5m |
| Ραντάρ τροχαίας | CW 0.2 Wp κεραία 23 dB | K (SHF) 24.15 GHz | 40 W | 0,6m |

Σε επαγγελματική έκθεση (SAR=0,4W/Kg) η $R_{NHZ}$ μειώνεται στο 0,45 των ανωτέρω τιμών.

## 7.4 ΟΡΙΑ ΕΠΙΤΡΕΠΤΗΣ ΕΚΘΕΣΗΣ

Τα όρια επιτρεπτής έκθεσης (EL) στις μη ιονίζουσες ακτινοβολίες δίδονται σε $E_{EL}$ (V/m) ή σε $H_{EL}$ (A/m) ή σε $S_{EL}$ ($W/m^2$ ή $mW/cm^2$) ή σε $[S.t]_{EL}$ ($J/m^2$ ή $mJ/cm^2$). Βασικό ζήτημα στις εκπομπές των Radar, είναι η εφαρμογή της οριοθέτησης για το διαχωρισμό των ακτινοβολιών σε ασθενείς ή

ισχυρές, με βάση τις βιολογικές επιπτώσεις που έχει αντιφατικές πλευρές. Δηλαδή η αναζήτηση, η διερεύνηση, η τεκμηρίωση, η αναγνώριση και η θέσπιση ορίων επικινδυνότητας με βιολογικά κριτήρια και φυσικές παραμέτρους. Με βάση τα πρότυπα για το οκτάωρο εργασίας η βιολογικά αποδεκτή έκθεση ολόκληρου του σώματος στα ραδιοηλεκτρικά κύματα δεν πρέπει να υπερβαίνει την μέση, ανά εξάλεπτο, τιμή SAR=0.4 W/Kgr, ενώ η αντίστοιχη τιμή για την εικοσιτετράωρη έκθεση του πληθυσμού γενικά είναι SAR=0.08 W/Kgr.

Με βάση τις τιμές αυτές δίδονται στον επόμενο πίνακα τα όρια της επιτρεπτής έκθεσης για τις συχνότητες των Radar που συνιστά η παγκόσμια οργάνωση υγείας (WHO) σε συνεργασία με την επιτροπή μη-ιονιζουσών ακτινοβολιών της οργάνωσης προστασίας από τις ακτινοβολίες (International Radiation Protection Association, IRPA).

**ΠΙΝΑΚΑΣ 7-2**

| **ΟΡΙΑ ΕΠΙΤΡΕΠΤΗΣ ΕΚΘΕΣΗΣ (EL)** | | | |
|---|---|---|---|
| Συχνότητα F (MHz) | Ένταση Ηλεκτρικού πεδίου $E_{EL}$ (V/m) | Ένταση Μαγνητικού πεδίου $H_{EL}$ (A/m) | Ισοδύναμη Πυκνότητα ισχύος $S_{EL}$ ($W/m^2$) |
| **<u>Εργαζόμενοι</u>- (Μέσες τιμές έκθεσης ολόκληρου του σώματος για οποιοδήποτε εξάλεπτο κατά τη διάρκεια οκτάωρης εργασίας ανά εικοσιτετράωρο)** | | | |
| 10 - 400 | 61 | 0,16 | 10 |
| 400 - 2000 | $3F^{1/2}$ | $0,008.F^{1/2}$ | F/40 |
| 2000 - 300 000 | 137 | 0,36 | 50 |
| **<u>Πληθυσμός</u>- (Μέσες τιμές έκθεσης ολόκληρου του σώματος για οποιοδήποτε εξάλεπτο κατά τη διάρκεια του εικοσιτετραώρου)** | | | |
| 10 - 400 | 27,5 | 0,073 | 2 |
| 400 - 2000 | $1,375.F^{1/2}$ | $0,0037.F^{1/2}$ | F/200 |
| 2000 - 300 000 | 61 | 0,16 | 10 |

Παρότι οι περισσότερες έρευνες και μελέτες μας καθησυχάζουν, υποστηρίζοντας ότι η ηλεκτρομαγνητική επιβάρυνση προς το γενικότερο πληθυσμό από ραντάρ (ειδικά στρατιωτικών εγκαταστάσεων) είναι αμελητέα, διότι βρίσκονται σε απομονωμένες περιοχές, υπάρχει και η άποψη που υποστηρίζει το αντίθετο. Η άποψη, αυτή, στηρίζεται σε μαρτυρίες ανθρώπων που ζουν κοντά σε μεγάλες στρατιωτικές βάσεις και σε στατιστικά στοιχεία θανάτων από λευχαιμία και καρκίνο στις περιοχές αυτές.

Μια τέτοια περίπτωση που ενισχύει την άποψη, αυτή, είναι το παράδειγμα της περιοχής Ακρωτηρίου της Κύπρου. Στην περιοχή, αυτή, είναι εγκατεστημένη η Βρετανική στρατιωτική βάση. Στο διάστημα 19 Απριλίου 1995 και 16 Αυγούστου 1997 οκτώ κάτοικοι Ακρωτηρίου ηλικίας 6 μέχρι 72 χρόνων απεβίωσαν μετά που προσβλήθηκαν από κάποιας μορφής καρκίνο, ενώ τα τελευταία πέντε χρόνια σημειώθηκαν οκτώ περιστατικά λευχαιμίας από τα οποία τα επτά κατέληξαν σε θάνατο. Ο τραγικός απολογισμός των θανάτων που σημειώθηκαν τα τελευταία χρόνια στην κοινότητα Ακρωτηρίου προβλημάτισε όχι μόνο τους «ανήσυχους», αλλά και τους

«εφησυχασμένους». Η εγκληματική αδιαφορία των βρετανικών βάσεων και η επιμονή τους να εγκαταστήσουν άλλη μία κεραία στη βάση Ακρωτηρίου, ξεσήκωσε την κοινότητα, αφού είναι αδύνατο να κλείσουν τα μάτια μπροστά στους απανωτούς θανάτους νεαρότατων παιδιών και να επιτρέψουν στους Βρετανούς να εξυπηρετήσουν τα δικά τους συμφέροντα, αδιαφορώντας παντελώς για την υγεία των κατοίκων του Ακρωτηρίου και για το βιότοπο της περιοχής. Οι διαγνώσεις των εμπειρογνωμόνων που κλήθηκαν για να εξετάσουν κατά πόσο οι κεραίες των Βρετανών προκαλούν σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία των κατοίκων, έρχονται σε αντιπαράθεση με τις διαγνώσεις των βρετανικών αρχών. Σύμφωνα με τις διαγνώσεις των Βρετανών, οι ηλεκτρομαγνητικές εκπομπές τόσο από τη νέα κεραία, όσο και από αυτή που κατασκευάστηκε το 1998/9, εξετάστηκαν σχολαστικά από ανεξάρτητους συμβούλους οι οποίοι κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι ο κίνδυνος στους ανθρώπους από την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που θα εκπέμπουν οι δύο νέες κεραίες, είτε μεμονωμένα, είτε σε συνδυασμό είναι αμελητέος. Ωστόσο, σύμφωνα με τον αν. καθηγητή του Πανεπιστημίου Κύπρου Πάνο Ραζή, πρόσφατες επιδημιολογικές μελέτες καταδεικνύουν ότι για πολύ χαμηλές συχνότητες, που έχουν να κάνουν με το δίκτυο και τις εγκαταστάσεις μεταφοράς και παροχής ηλεκτρικής ισχύος, διπλασιάζεται ο κίνδυνος ανάπτυξης καρκίνου και λευχαιμίας σε μικρά παιδιά που κατοικούν γύρω από τις εγκαταστάσεις αυτές. Να σημειώσουμε εδώ ότι η δισδιάστατη στοιχειοκεραία που πρόκειται να τοποθετήσουν οι Βρετανοί στη βάση Ακρωτηρίου, είναι εφοδιασμένη με ανακλαστήρα στο πίσω μέρος, ώστε να διασφαλίζεται η κατευθυντικότητα των σημάτων της σύμφωνα με τις ανάγκες του στρατιωτικού ρόλου που πρόκειται να επιτελέσει. Η εν λόγω κεραία εκτιμάται ότι θα δρα και ως πομπός και ως δέκτης σε συγκεκριμένες συχνότητες στην περιοχή 6-11 MHz.

Ο κ. Ραζής κατέληξε στο συμπέρασμα ότι, υπάρχει βάσιμη υποψία επίδρασης των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων στην υγεία και για τις ενδιάμεσες συχνότητες όπως αυτές στις οποίες σχεδιάζεται να λειτουργήσει η νέα κεραία κι αυτές στις οποίες λειτουργεί η ήδη εγκατεστημένη.

## 7.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ορισμένα Radar ακτινοβολούν μέτρια έως εξαιρετικά υψηλή πυκνότητα ισχύος. Η λειτουργία τους πρέπει να διέπεται από τις αρχές της ακτινοπροστασίας, διότι μπορεί να προκαλέσουν ατυχήματα από παρεμβολές ή βλάβη της υγείας από απορρόφηση ισχύος στους ιστούς του οργανισμού. Εάν από τα στοιχεία του Radar προκύπτει ότι η έκθεση θα υπερβαίνει τα EL, τότε πρέπει να υπολογιστεί, να επιβεβαιωθεί με μετρήσεις και όπου είναι δυνατό να οριοθετηθεί η ζώνη επικινδυνότητας. Πρέπει επίσης να υπάρχουν λεπτομερείς κανονισμοί και οι αρχές να ενημερώνουν περιοδικά τους χρήστες.

Η έκθεση κάποιου από το κοινό μέσα στον λοβό της κεραίας ορισμένων παλμικών Radar (S, X & K band) έχει ζώνη βιολογικής επικινδυνότητας με ακτίνα $R_{NHZ}$ 4,9m - 22,7m. Οι εργαζόμενοι

μόνο πρόσκαιρα μπορεί να προσεγγίζουν σε απόσταση μικρότερη από 0,45 $R_{NHZ}$. Στα ίδια Radar είναι πολλαπλάσια (10~1000 και πλέον) η ακτίνα $R_{EMI}$ της ζώνης παρεμβολών από την ραδιοανίχνευση (in band EMI). Η έκθεση των τροχονόμων μέσα στον κύριο λοβό της κεραίας των Radar της τροχαίας CW (X & K band) έχει ζώνη βιολογικής επικινδυνότητας με ακτίνα $R_{NHZ}$ 0,6m, εάν το Radar λειτουργεί σε ανοικτό πεδίο χωρίς ανακλάσεις. Η χρήση των Radar αυτών μέσα στη καμπίνα του περιπολικού είναι επιβλαβής για τους επιβαίνοντες.

Λόγω περιορισμένης γνωσιολογίας, υπάρχει εκκρεμότητα στην οριοθέτηση με βάση τις αθερμικές βιολογικές επιπτώσεις, στις οποίες υπάρχουν πολλές φυσικές και βιολογικές παράμετροι, με αμφιλεγόμενες καταστάσεις και διισταμένες απόψεις. Παρά ταύτα σε χώρες της Ανατολικής Ευρώπης και της Ασίας υπάρχουν όρια επιτρεπτής έκθεσης κατά χίλιες φορές και πλέον αυστηρότερα από αυτά της IRPA που στηρίζονται και στην αποφυγή αθερμικών επιπτώσεων.

# Κεφάλαιο 8

# ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗ ΚΑΙ ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΑΠΟ ΚΕΡΑΙΕΣ ΡΑΔΙΟΤΗΛΕΟΠΤΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ

Οι κεραίες των ραδιοτηλεοπτικών σταθμών τοποθετούνται στις κορυφές τοποθετούνται σε υψηλά σημεία, σε κορυφές βουνών, μακρυά από κατοικημένες περιοχές. Οι περιοχές, αυτές, ονομάζονται, πάρκα κεραιών. Οι ραδιοφωνικοί σταθμοί FM λειτουργούν στη ζώνη μεταξύ 87.5~108 MHz των VHF. Οι τηλεοπτικοί σταθμοί λειτουργούν στις ζώνες 42-68 MHz των VHF ή 175~223 MHz των UHF ή 607~861 MHz των UHF. Οι πομποί (κεραίες) τοποθετούνται σε υψηλά σημεία, για να υπάρχει αυξημένη εμβέλεια και ραδιοκάλυψη, οπότε χρησιμοποιούνται ραδιοζεύξεις με συχνότητες 0.4~24 GHz για τηλεπισκόπιση ή μεταφορά προγράμματος. Οι συχνότητες, αυτές, ανήκουν στις μη ιονίζουσες ακτινοβολίες, που περιλαμβάνουν το κατώτερο τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος μέχρι και τις υπεριώδεις ακτίνες. Σήμερα, στη χώρα μας, έχει σημειωθεί ραγδαία αύξηση του πλήθους και της ολικής ισχύος των εκπομπών των ραδιοτηλεοπτικών σταθμών, με αποτέλεσμα να είναι κορεσμένο το φάσμα των διαθέσιμων συχνοτήτων σε πολλές περιοχές. Για το λόγο αυτό είναι αναγκαία η εφαρμογή κάποιων κανόνων και μέτρων, διότι παρά τα θετικά αποτελέσματα που προσφέρουν τα ραδιοτηλεοπτικά μέσα στον άνθρωπο και την κοινωνία, γενικότερα, εκπέμπουν και ακτινοβολία, η οποία μπορεί να έχει βλαβερές και καταστροφικές επιπτώσεις για την υγεία του ανθρώπου και το περιβάλλον. Οι επιπτώσεις από τη λειτουργία των ραδιοτηλεοπτικών μέσων μπορούν να διακριθούν σε κάποιες κατηγορίες:

Α) Επιπτώσεις που αφορούν αισθητικά θέματα και οι οποίες είναι λιγότερο επικίνδυνες από τις υπόλοιπες. Οι επιπτώσεις, αυτές, οφείλονται σε συστήματα ακτινοβολίας ή λήψης και γίνονται αντιληπτά από τα δάση των τηλεοπτικών κεραιών λήψης ή από τους μεγάλους πυλώνες των κεραιών εκπομπής ραδιοτηλεοπτικών προγραμμάτων. Οι κεραίες, αυτές τοποθετούνται με λειτουργικά κριτήρια, προσβάλλοντας την αισθητική του τοπίου. Σε μικρότερο βαθμό μπορούν να προσβάλουν την αισθητική του τοπίου και οι κεραίες των ραδιοζεύξεων ή της λήψης δορυφορικών προγραμμάτων, των κινητών επικοινωνιών και της τηλεπισκόπισης των πομπών, οι οποίες σηματοδοτούν αμέσως την θέση μέσα στην πόλη ενός ραδιοφωνικού ή τηλεοπτικού σταθμού. Στο σημαντικό, από αισθητικής πλευράς, συγκεκριμένο, πρόβλημα, μπορούν να δώσουν μια καλή λύση, η συγκρότηση πάρκων κεραιών και η εγκατάσταση καλωδιακών δικτύων διανομής ραδιοτηλεοπτικών προγραμμάτων.

Β) Λειτουργικές επιπτώσεις, οι οποίες περικλείουν προβλήματα ενδιάμεσης σημαντικότητας, που ενδιαφέρουν τους χρήστες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, αφού σχετίζονται με τον ηλεκτρομαγνητικό θόρυβο και τις παρεμβολές. Τα προβλήματα, αυτά, αναφέρονται σαν θέματα

ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας. Κάθε γεωγραφική περιοχή έχει τις ιδιαιτερότητες της, οπότε ο βαθμός φασματικού και γεωγραφικού συνωστισμού χρηστών αυξάνει τις δυσλειτουργίες και αλληλοπαρενοχλήσεις στην ραδιοτηλεόραση, στα τοπικά ραδιοδίκτυα τις ραδιοεπικοινωνίες. Τα προβλήματα επιτείνονται και από το τυχόν ακατάλληλο τεχνολογικό υλικό ή από την αδιαφορία στην σωστή τεχνολογική πρακτική ή ακόμα και από την έλλειψη γνώσης των πρακτικών κανόνων. Τυπικές περιπτώσεις λειτουργικών προβλημάτων είναι ο συνωστισμός ή οι επικαλύψεις στις ραδιοτηλεοπτικές ζώνες, οι αλληλοπαρενοχλήσεις τηλεοπτικών δεκτών και τα παράσιτα από επαγγελματικές και οικιακές συσκευές. Μια άλλη περίπτωση, η οποία εγκυμονεί κινδύνους είναι οι παρεμβολές ραδιοφωνικών εκπομπών στις συχνότητες επικοινωνίας μεταξύ αεροπλάνων και επίγειας καθοδήγησης. Το πρόβλημα, που συμβαίνει σε όλες τις χώρες, ίσως οφείλεται στην έλλειψη σωστών μέτρων από τον ραδιοσταθμό ή στην ανεπίτρεπτη διαφορά συχνοτήτων μεταξύ δύο ή περισσοτέρων ραδιοσταθμών που λειτουργούν στην ίδια περιοχή (πάρκο κεραιών). Μπορεί όμως να οφείλεται στο ότι πρέπει να βελτιωθούν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των παλαιότερων δεκτών που χρησιμοποιούν ορισμένα αεροπλάνα και επίγειοι σταθμοί. Αυτό το τελευταίο αναγνωρίζεται πλέον σαν ένα διεθνές πρόβλημα. Βελτιωτικές επεμβάσεις στα λειτουργικά προβλήματα είναι η τοποθέτηση καταλλήλων φίλτρων περιορισμού των αρμονικών ή των παρασιτικών συχνοτήτων στις διάφορες συσκευές και κυρίως στους ραδιοτηλεοπτικούς πομπούς.

Γ) Οι βιολογικές επιδράσεις, οι οποίες αποτελούν και το κύριο θέμα της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας. Οι επιπτώσεις, αυτές, είναι οι πλέον σοβαρές, επειδή η έκθεση σε ισχυρές μη ιονίζουσες ακτινοβολίες μπορεί να δημιουργήσει μεγάλους κινδύνους στη δημόσια υγεία και το περιβάλλον. Η λειτουργία των ραδιοτηλεοπτικών σταθμών, σίγουρα επιφέρει κάποια θετικά αποτελέσματα στον άνθρωπο, όπως προαναφέραμε, όμως σε καμία περίπτωση δε μπορούμε να αγνοήσουμε τους πιθανούς κινδύνους από την ακτινοβολία των κεραιών τους. Για να μπορέσουμε να πετύχουμε την μείωση, αυτών, των κινδύνων, θα πρέπει λαμβάνονται υπόψη τα καθορισμένα όρια έκθεσης, χωρίς, όμως, αυτό, να σημαίνει, απόλυτα, ότι τα συγκεκριμένα όρια, θεωρούνται, απόλυτα, ασφαλή. Τα όρια για την έκθεση του πληθυσμού είναι αυστηρότερα από αυτά για τους εργαζομένους σε χώρους που παράγεται η ακτινοβολία. Η αρχή της βελτιστοποίησης (As Low As Reasonable Achievable, ALARA) επιβάλει τον περιορισμό της ισχύος της ακτινοβολίας του συγκεκριμένου ραδιοτηλεοπτικού σταθμού, ούτως ώστε να επιτυγχάνεται μεν ο επιδιωκόμενος σκοπός, χωρίς όμως να εκτίθεται σε άσκοπο κίνδυνο η υγεία ή να επιβαρύνεται το περιβάλλον.

Η εφαρμογή, των κανόνων και των ορίων έκθεσης, αποτελεί, ένα πολύ σημαντικό θέμα. Η θέσπιση κάποιων συγκεκριμένων ορίων, οδηγεί στο διαχωρισμό των ακτινοβολιών σε ισχυρές και ασθενείς, με βάση, βέβαια τις βιολογικές τους, επιδράσεις. Ο διαχωρισμός, αυτός, στηρίζεται στην έκθεση του ανθρώπινου σώματος στην ακτινοβολία και έχει ως παραμέτρους τη συχνότητα f και την πυκνότητα ισχύος $S_{EXP}$ ή την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου $E_{EXP}$ ή τη ένταση του μαγνητικού πεδίου $E_{EXP}$. Η έκθεση στο μακρινό πεδίο ακτινοβολίας δίνεται από τη σχέση:

$$S_{EXP} = E_{EXP}^2 / Z_0 = H_{EXP}^2 \cdot Z_0 = G_{\theta,\varphi}(P_{tr} - P_L)/(4\pi R^2),$$

όπου $G_{\theta,\varphi}$ είναι η απολαβή της κεραίας προς την διεύθυνση (θ,φ) του εκτιθέμενου σώματος, R είναι η απόσταση από την κεραία, $P_{t,r}$ είναι η ισχύς του πομπού, $P_L$ είναι η ισχύς των απωλειών στο σύστημα της ακτινοβολίας, $Z_0$ είναι η πεδιακή αντίσταση 377 Ω.

Η έκθεση των ιστών στην ακτινοβολία δεν οδηγεί υποχρεωτικά και στην απορρόφηση της. Όπως και στις άλλα είδη ηλεκτρομαγνητικής επιβάρυνσης, έτσι και στην περίπτωση της επιβάρυνσης από τις κεραίες των ραδιοτηλεοπτικών σταθμών, εισέρχεται ο ειδικός ρυθμός απορρόφησης (SAR). Όπως, έχουμε αναφέρει, στις μη ιονίζουσες ακτινοβολίες, η επικινδυνότητα φαίνεται ότι προέρχεται κυρίως από την αύξηση της θερμοκρασίας των ιστών, όταν απορροφούν ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Όλα τα μέρη του σώματος δεν έχουν την ίδια συμπεριφορά και μπορεί να παρατηρηθούν συντονισμοί. Τυπικό παράδειγμα είναι η πολλαπλάσια απορρόφηση των κατακόρυφων πολωμένων κυμάτων της ζώνης FM έναντι των οριζοντίως πολωμένων που οφείλεται στον παραλληλισμό του επιμήκη άξονα του σώματος με το ηλεκτρικό πεδίο της ακτινοβολίας, οπότε η απορρόφηση σε όλο το σώμα λαμβάνει τιμές ανάλογες με το ύψος του σώματος ή το μήκος κύματος. Έτσι, σε έναν άνθρωπο, μέσου ύψους 1.70 m, η απορρόφηση αυξάνει στην ζώνη των 70 MHz, σε ανθρώπους με πιο μεγάλο ύψος, η απορρόφηση είναι αυξημένη σε μικρότερες συχνότητες, ενώ σε ανθρώπους με πιο μικρό ύψος όπως π.χ. στα παιδιά η απορρόφηση αυξάνει στην ζώνη των 100 MHz. Στο οκτάωρο εργασίας, η έκθεση ολόκληρου του σώματος δεν πρέπει να υπερβαίνει τη μέση, ανά εξάλεπτο τιμή SAR=0.4 W/Kgr. Με βάση την τιμή, αυτή, δίνουμε, στον ακόλουθο πίνακα(14-1), τα αποδεκτά όρια έκθεσης, τα οποία συνιστά η διεθνής οργάνωση για την προστασία από τις ακτινοβολίες (International Radiation Protection Association, IRPA).

**ΠΙΝΑΚΑΣ 8-1: ΑΠΟΔΕΚΤΑ ΟΡΙΑ ΕΚΘΕΣΗΣ ΕΡΓΑΖΟΜΕΝΩΝ (ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ ΑΠΟΔΕΚΤΗΣ ΕΚΘΕΣΗΣ ΟΛΟΚΛΗΡΟΥ ΤΟΥ ΣΩΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΟΠΟΙΑΔΗΠΟΤΕ ΕΞΑΛΕΠΤΟ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΟΚΤΑΩΡΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΝΑ ΕΙΚΟΣΙΤΕΤΡΑΩΡΟ)**

| Συχνότητα f (MHz) | Ένταση ηλεκτρικού πεδίου E (V/m) | Ένταση μαγνητικού πεδίου H (A/m) | Πυκνότητα ισχύος (επιφανειακή) S ($W/m^2$) |
|---|---|---|---|
| 10-400 | 61 | 0.16 | 10 |
| 400-2000 | $3F^{1/2}$ | $0.008 \cdot F^{1/2}$ | $F/40$ |
| 2000-300000 | 137 | 0.36 | 50 |

Η κεραία των ραδιοτηλεοπτικών πομπών περιβάλλεται από μία νοητή ζώνη επικινδυνότητας (Nominal Hazard Zone, NHZ) που οριοθετείται από τα σημεία του χώρου, όπου η έκθεση γίνεται η μέγιστη αποδεκτή, δηλαδή $S_{EXP} = S_{MPE}$, οπότε η οριακή απόσταση επικινδυνότητας $R_{NHZ}$ είναι:

$$R_{NHZ} = \sqrt{\frac{G_{\theta,\varphi}\left(P_{t,r} - P_L\right)}{4\pi S_{MPE}}}.$$

Η NHZ υπολογίζεται θεωρητικά και επιβεβαιώνεται με μετρήσεις. Κατόπιν, όπου είναι εφικτό, επισημαίνεται η NHZ και συγγράφονται λεπτομερείς οδηγίες για το προσωπικό. Η απάντηση στο ερώτημα για την έκταση μιας NHZ δεν είναι εύκολη, διότι απαιτούνται λεπτομερείς υπολογισμοί και πεδιομετρήσεις, ούτε είναι απλή επειδή υπάρχουν αρκετές λειτουργικές παράμετροι που συνοδεύουν την απάντηση. Με βάση ορισμένα στοιχεία, όπως η συχνότητα και η ισχύς του πομπού, οι απώλειες στην γραμμή μεταφοράς και τα διαγράμματα με το ύψος της κεραίας, εκτιμώνται οι διαστάσεις της NHZ για επαγγελματική έκθεση, όπως αυτές που ενδεικτικά δίδονται στον επόμενο πίνακα.

| **ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΚΤΑΣΗΣ ΤΗΣ ΖΩΝΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ (Norminal Hazard Zone, NHZ)** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Είδος εκπομπών | Περιοχή συχνοτήτων | Ισχύς πομπού | Ακτίνα της ζώνης επικινδυνότητας $R_{NHZ}$ | | |
| | | | $G_{ΚΕΡΑΙΑΣ} = 20dB$ | $G_{ΚΕΡΑΙΑΣ} = 10dB$ | $G_{ΚΕΡΑΙΑΣ} = 0dB$ |
| Ραδιόφωνο FM | VHF-II | 1 KW | 28 m | 9 m | 3 m |
| TV | VHF-III | 1 KW | 28 m | 9 m | 3 m |
| TV | UHF | 1 KW | 19 ~ 26 m | 6.1 ~ 8.2 m | 1.9 ~ 2.6 m |
| FM και TV στον ίδιο πυλώνα | VHF-II και UHF | 1 KW και 1 KW | 34.1 ~ 38.1 m | 10.8 ~ 12.1 m | 3.4 ~ 3.8 m |
| ραδιοζεύξη | SHF | 10 W | 1.3 m | 0.4 m | 0.1 m |

Για τη μείωση του κινδύνου από τις επικίνδυνες για την ανθρώπινη υγεία αλλά και το περιβάλλον θα πρέπει να υιοθετούνται από την πολιτεία αλλά και τους ίδιους τους ραδιοτηλεοπτικούς σταθμούς κάποια μέτρα. Όπως:

- Τακτική και ουσιώδεις ενημέρωση του προσωπικού των ραδιοτηλεοπτικών σταθμών, όσον αφορά, τα θέματα αυτά.
- Αποφυγή των εκπομπών μέσα σε κατοικημένες περιοχές.
- Επισήμανση των ορίων της ζώνης επικινδυνότητας με προειδοποιητικές πινακίδες και περίφραξη των περιοχών, αυτών.
- Συγκρότηση πάρκων κεραιών με κριτήρια αποφυγής της επικινδυνότητας.

## 8.1 ΚΙΝΔΥΝΟΙ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΤΑ ΠΑΡΚΑ ΚΕΡΑΙΩΝ

Τα κατάλληλα σημεία, στα οποία μπορούν να εγκατασταθούν οι κεραίες των ραδιοτηλεοπτικών σταθμών είναι ελάχιστα και συνήθως, με περιορισμένη έκταση. Αυτό, τις περισσότερες φορές, έχει ως αποτέλεσμα, τη συσσώρευση πολλών κεραιών στα σημεία, αυτά. Η συγκρότηση ενός πάρκου κεραιών είναι θέμα διαχείρισης των μη ιονίζουσών ακτινοβολιών και συνεπάγεται κάποιες ιδιαιτερότητες στα σημαντικά θέματα των λειτουργικών και αισθητικών προβλημάτων καθώς και των βιολογικών επιπτώσεων που απορρέουν από τη λειτουργία τους. Επομένως κατά τη λήψη των αποφάσεων για τη δημιουργία ενός πάρκου κεραιών θα πρέπει να

λαμβάνεται υπόψη ένα μεγάλο πλήθος σημαντικών παραμέτρων καθώς και τα όρια επικινδυνότητας και ασφάλειας, για τη διασφάλιση της δημόσιας υγείας, των εργαζομένων στα ραδιοτηλεοπτικά μέσα αλλά και για την προστασία του περιβάλλοντος. Στην Ελλάδα, υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός από πάρκα κεραιών, των περισσοτέρων από τα οποία η λειτουργία, είναι παράνομη, διότι δεν τηρούν τα καθιερωμένα όρια. Σε πολλά σημεία των πάρκων, αυτών, προκύπτουν σοβαρά ζητήματα επικινδυνότητας από τη εκπομπή ακτινοβολίας. Τα προβλήματα, αυτά, προκύπτουν από την αδυναμία δημιουργίας μεμονωμένων οριοθετήσεων, από τη γειτνίαση πολλών κεραιών σε μικρές εκτάσεις και την εργασία του προσωπικού, σε σημεία, όπου τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία είναι πολύ ισχυρά.

Σύμφωνα, με την IRPA, όταν έχουμε n πηγές ακτινοβολίας, θα πρέπει να υπολογίζεται το ποσοστό επικινδυνότητας $Q_i$ που οφείλεται σε κάθε πηγή $i$ χωριστά και στη συνέχεια το άθροισμα των ποσοστών $Q_{total}$ το συγκρίνουμε με τη μονάδα. Οπότε θα ισχύει:

$$1 \geq Q_{total} = \sum_{1}^{n} Q_i = \sum_{1}^{n} \frac{S_{iEXP}}{S_{iMPE}} = \frac{1}{4\pi} \sum_{1}^{n} \frac{G_{i\theta,\varphi} \cdot \left(P_{itr} - P_{iL}\right)}{R_i^2 \cdot S_{iMPE}}.$$

Όταν το άθροισμα $Q_{total}$ είναι μεγαλύτερο από την μονάδα θα υπάρχει υπέρβαση της μεγίστης επιτρεπτής έκθεσης. Ο υπολογισμός στις διάσπαρτες πηγές (πάρκα κεραιών) πρέπει να γίνει για κάθε σημείο του χώρου και η ζώνη επικινδυνότητας θα είναι περίπλοκη. Έτσι συχνά στην βάση ενός πυλώνα η έκθεση μπορεί να ασήμαντη, αλλά σε μερικά μέτρα από το έδαφος η έκθεση να ξεπερνά τα όρια MPE.

Σε διάφορες μετρήσεις που έγιναν μέσα στις εγκαταστάσεις της ΕΡΤ, στο πάρκο κεραιών του Υμηττού, τα στοιχεία που προέκυψαν έδειξαν, ότι υπήρχε μία αύξηση της έκθεσης των τεχνικών της ΕΡΤ, χωρίς όμως, να υπάρχουν επικίνδυνες καταστάσεις, εφόσον, οι τεχνικοί βρίσκονται στην επιφάνεια του εδάφους. Στην έρευνα και τις μετρήσεις που έγιναν για την έκθεση των εργαζομένων σε εγκαταστάσεις άλλων ραδιοτηλεοπτικών μέσων, στο ίδιο πάρκο κεραιών, προέκυψε, ότι οι τεχνικοί που ανέρχονται στους πυλώνες, υφίστανται έκθεση, που πλησιάζει ή ξεπερνά τα επιτρεπτά όρια. Παρόμοιες μετρήσεις έχουν διεξαχθεί και σε άλλα πάρκα κεραιών σε ολόκληρη την Ελλάδα και τα αποτελέσματα τους, συγκλίνουν στην άποψη ότι η έκθεση αυξάνει σε μεγάλο ποσοστό, με την άνοδο στον πυλώνα, ενώ στην επιφάνεια του εδάφους, τα ποσοστά έκθεσης είναι πολύ μικρά.

## 8.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα που εκπέμπουν οι διατάξεις ραδιοφωνίας και τηλεόρασης ή οι συναφείς προς αυτές ραδιοζεύξεις, έχουν μέτρια έως εξαιρετικά υψηλή πυκνότητα ισχύος κοντά στην κεραία. Το πρόβλημα στην εγκατάσταση και λειτουργία των διατάξεων αυτών, συνίσταται στο γεγονός ότι δεν υπάρχει ενημέρωση των αρμοδίων, των εργαζομένων, και του κοινού για τα

ζητήματα αυτά και τις επιπτώσεις τους. Η περιπλοκή των ζητημάτων αυτών προέρχεται από την δυσκολία ή την αδυναμία οριοθετήσεων και από την γειτνίαση πολλών κεραιών που εκπέμπουν συνεχώς, σε συνδυασμό με την ευκαιριακή εργασία του προσωπικού σε σημεία όπου τα πεδία είναι ισχυρά.

Εξακολουθεί βεβαίως να υφίσταται σε εκκρεμότητα το επιστημονικό θέμα που θέτει η αρχή της οριοθέτησης, για διαχωρισμό των ακτινοβολιών σε ασθενείς και ισχυρές, με βάση τις άλλες βιολογικές επιπτώσεις εκτός από τις θερμικές. Δηλαδή η αναζήτηση, η διερεύνηση, η τεκμηρίωση, η αναγνώριση και η θέσπιση ορίων επικινδυνότητας με μη θερμικά βιολογικά κριτήρια. Το θέμα αυτό έχει πολλές φυσικές και βιολογικές παραμέτρους και παρουσιάζει αρκετές αμφιλεγόμενες πλευρές με διισταμένες απόψεις. Παρά ταύτα έχουν θεσπιστεί όρια σε εθνικό επίπεδο. Σε χώρες της Ανατολικής Ευρώπης και της Ασίας υπάρχουν όρια MPE κατά εκατό φορές και πλέον αυστηρότερα από αυτά της IRPA. Έτσι λοιπόν υπάρχει ανάγκη καταγραφής και διερεύνησης της πιθανής επικινδυνότητας από τις ακτινοβολίες των ραδιοτηλεοπτικών μέσων στους χώρους εκπομπής ή εργασίας ή στο φυσικό περιβάλλον γενικότερα.

Εφ' όσον από τις σχετικές μετρήσεις και τους υπολογισμούς προκύπτει ότι η ακτινοβολία της διάταξης προσεγγίζει ή υπερβαίνει τα όρια επικινδυνότητας, τότε πρέπει να ενημερώνεται περιοδικά το προσωπικό, πρέπει να υπάρχουν λεπτομερείς κανονισμοί και τέλος όπου είναι δυνατό να επισημανθούν κατάλληλα τα επικίνδυνα σημεία στα όρια της ζώνης επικινδυνότητας, όπου η ακτινοβολία θα είναι ίση με την MPE. Μία ευρύτερη ζώνη, με το 0,3 του ορίου επικινδυνότητας, ορίζεται ως ελεγχόμενη περιοχή και τέλος μία ακόμα πιο ευρύτερη ζώνη, με το 0,1~0,3 του ορίου επικινδυνότητας, ορίζεται ως επιβλεπόμενη περιοχή, στα όρια της οποίας πρέπει να γίνεται η περίφραξη των ραδιοτηλεοπτικών πάρκων.

# Κεφάλαιο 9

# ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗ ΑΠΟ ΟΙΚΙΑΚΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ

Η ηλεκτρομαγνητική επιβάρυνση από οικιακές συσκευές, απορρέει από τη λειτουργία κάποιων μοντέλων οικιακών συσκευών, που χρησιμοποιούμε, καθημερινά, μέσα στο σπίτι, για την εξυπηρέτηση κάποιων αναγκών μας. Τέτοιου είδους συσκευές είναι:

- Πιστολάκια για στέγνωμα μαλλιών
- Ηλεκτρικές ξυριστικές μηχανές
- Ηλεκτρική κουζίνα
- Ηλεκτρική σκούπα
- Ηλεκτρικό mixer
- Φούρνος μικροκυμάτων

Από διάφορες μετρήσεις που έχουν γίνει κατά καιρούς, καθώς και μέσα από τη διεθνή βιβλιογραφία, προκύπτει ότι όταν ερχόμαστε σε επαφή με τις οικιακές συσκευές, οι τιμές του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου, αυξάνονται σε σημείο, τέτοιο, που πολλές φορές ξεπερνούν τα επιτρεπτά όρια και τα όρια επικινδυνότητας για εικοσιτετράωρη έκθεση. Οι τιμές, αυτές, δε θεωρούνται ανησυχητικές, εφόσον όταν χρησιμοποιούμε τις συσκευές, αυτές, δεν ερχόμαστε, σε άμεση επαφή, μαζί τους. Όταν υπάρχει η σχετική απόσταση μεταξύ του χρήστη και της συσκευής, οι τιμές του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου, κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα, σε σχέση με τα όρια επικινδυνότητας και τα όρια ασφαλείας. Επίσης, θα πρέπει να σημειώσουμε, ότι η χρήση των συσκευών, αυτών, γίνεται για πολύ μικρό χρονικό διάστημα, οπότε και η έκθεση στα πεδία, αυτά είναι για μικρό χρονικό διάστημα.

Η ανησυχία, για την έκθεση σε ακτινοβολία από τη λειτουργία των οικιακών συσκευών, επικεντρώνεται, κυρίως, στο φούρνο μικροκυμάτων. Ο φούρνος μικροκυμάτων, όπως ξέρουμε, είναι μια συσκευή, που χρησιμεύει, για το γρήγορο και εύκολο μαγείρεμα των φαγητών. Τα φαγητά στο φούρνο μικροκυμάτων ζεσταίνονται ή ψήνονται με μικροκύματα που ανήκουν στο φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Τα μικροκύματα απορροφώνται από όλα τα αντικείμενα που περιέχουν νερό. Διαπερνούν όλα τα αντικείμενα που είναι κατασκευασμένα από γυαλί ή πλαστικό και αντανακλώνται από ορισμένα μέταλλα. Όλα τα φαγητά και οι τροφές περιέχουν μόρια νερού σε διάφορες συγκεντρώσεις, ανεξάρτητα από το πόσο ξηρά, φαίνονται. Τα μικροκύματα αναταράσσουν τα μόρια νερού, με αποτέλεσμα να δημιουργείται θερμότητα, η οποία ζεσταίνει τα φαγητά. Η κυριότερη ανησυχία που έχει εκφραστεί για τη συγκεκριμένη οικιακή συσκευή είναι ότι εκπέμπει ακτινοβολία. Γενικότερα, έρευνες, έχουν δείξει ότι η έκθεση σε υψηλά επίπεδα ακτινοβολίας μικροκυμάτων μπορεί να προκαλέσει εγκαύματα και εμφάνιση καταρράκτη

στους οφθαλμούς. Στο φούρνο μικροκυμάτων, εκτός από τη συχνότητα 50 Hz εκπέμπονται και ραδιοκύματα, συχνότητας 2450 MHz. Οι μετρήσεις που έγιναν έδειξαν ότι, σε επαφή με το τζάμι η πυκνότητα ισχύος των μικροκυμάτων κυμαίνεται από 180-700 $\mu W/cm^2$, ενώ σε απόσταση μισού μέτρου είναι μικρότερη από το ανατολικό όριο επικινδυνότητας του 1 $\mu W/cm^2$.

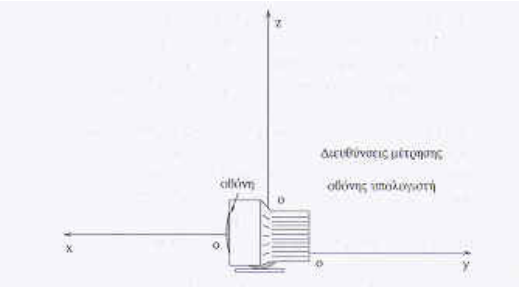
Είναι επομένως, απαραίτητο, να τηρείται κάποια απόσταση ασφαλείας, από τη συσκευή και να τοποθετείται σε κάποιο υψηλό σημείο, για την προστασία των παιδιών. Συμπερασματικά, μπορούμε να πούμε ότι ο φούρνος μικροκυμάτων είναι μια ασφαλής και χρήσιμη συσκευή, όταν χρησιμοποιείται με σωστό τρόπο και τηρούνται οι απαραίτητοι κανόνες.

# Κεφάλαιο 10

## ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗ ΑΠΟ ΟΘΟΝΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Η οθόνη ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή λειτουργεί με τον ίδιο τρόπο που λειτουργούν και οι οθόνες των συσκευών τηλεόρασης. Η αρχή λειτουργίας της, βασίζεται πάνω στην ύπαρξη μιας ηλεκτρικής οθόνης, που ονομάζεται καθοδικός σωλήνας, ο οποίος είναι το ακριβότερο και βασικότερο μέρος της. Ο καθοδικός σωλήνας είναι καλυμμένος από φώσφορο, που εκπέμπει φως, όταν πέσει πάνω του μια δέσμη ηλεκτρονίων. Ο καθοδικός σωλήνας σχηματίζει, στην ουσία την εικόνα, που βλέπουμε στην οθόνη και τα χαρακτηριστικά του είναι αυτά που καθορίζουν την ποιότητα της εικόνας. Μια καλή οθόνη έχει πάντα ένα καλό καθοδικό σωλήνα. Στην πραγματικότητα, ο καθοδικός σωλήνας επηρεάζει, τόσο πολύ την οθόνη, ώστε κάποιες φορές να την αποκαλούμε CRT. Οι οθόνες των ηλεκτρονικών υπολογιστών, δε μπορούν να ενσωματωθούν όλες στην ίδια κατηγορία, διότι ο βαθμός θωράκισης του κάθε μοντέλου διαφέρει. Η θωράκιση υπάρχει διότι ο χρήστης είναι αναγκασμένος να κάθεται πολύ κοντά στην οθόνη. Επομένως, είναι αναμενόμενο οι τιμές του μαγνητικού πεδίου και της πυκνότητας ισχύος να είναι μικρότερες από τις αντίστοιχες μιας τηλεόρασης. Η οθόνη, σε έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή μπορεί να καταναλώσει τόση ενέργεια όση και όλο το υπόλοιπο σύστημα. Ο καθοδικός σωλήνας, επίσης, παράγει κάποιο ποσοστό ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, το οποίο μπορεί να είναι βλαβερό γι'αυτούς που περνούν πολλές ώρες μπροστά από τον υπολογιστή τους.

Όλες οι οθόνες εκπέμπουν ηλεκτρομαγνητικά κύματα, εξαιτίας του τρόπου λειτουργίας τους. Η δέσμη ηλεκτρονίων που δημιουργεί την εικόνα, επίσης, παράγει ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία σαν μια παρενέργεια. Όμως ο βαθμός στον οποίο η παρενέργεια, αυτή, μπορεί να προκαλέσει πρόβλημα είναι άγνωστος και αποτελεί ένα θέμα αμφισβήτησης για την υγεία και την πληροφορική. Οι περισσότεροι από τους ερευνητές συμφωνούν ότι όση λιγότερη, τόσο καλύτερα, αλλά δεν υπάρχει μια συμφωνία σε ποιο βαθμό οι ακτινοβολίες, αυτές, μπορεί να συνδέονται με προβλήματα υγείας. Πιο συγκεκριμένα, πολλοί είναι εκείνοι που πιστεύουν ότι η παρατεταμένη έκθεση σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία που δημιουργούνται από την οθόνη, μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση της πιθανότητας για εμφάνιση καρκίνου. Η Σουηδική κυβέρνηση, ηγείται στην προσπάθεια ανάπτυξης προτύπων, χαμηλής εκπομπής ακτινοβολίας για τις οθόνες.




**Σχήμα 10.1**

Στον παρακάτω πίνακα (10-1) παρατίθονται οι τιμές στις οποίες κινούνται τα περισσότερα μοντέλα που κυκλοφορούν στο εμπόριο, σήμερα:

**ΠΙΝΑΚΑΣ 10-1**

| Απόσταση σε cm για κάθε διεύθυνση | Πυκνότητα ισχύος σε $\mu W/cm^2$ κατά τη διεύθυνση $x$ | Πυκνότητα ισχύος σε $\mu W/cm^2$ κατά τη διεύθυνση $y$ | Πυκνότητα ισχύος σε $\mu W/cm^2$ κατά τη διεύθυνση z |
|---|---|---|---|
| 0 | 150-300 | 500-2000 | 60-3000 |
| 10 | 50-150 | 50-300 | 100-500 |
| 50 | Μικρότερη από 1 | Μικρότερη από 1 | Μικρότερη από 1 |

Όπως αναφέραμε τα αρνητικά αποτελέσματα που προκύπτουν από τη λειτουργία της οθόνης των ηλεκτρονικών υπολογιστών αφορούν την ακτινοβολία που εκπέμπουν. Η ακτινοβολία, αυτή, εκπέμπεται σε σχετικά χαμηλά ποσοστά και μπορεί να είναι ακίνδυνη ακτινοβολία, όπως ακτίνες X ή μη ιονίζουσα ακτινοβολία όπως οι υπεριώδεις ακτίνες.

Πέρα, όμως από την ακτινοβολία, που εκπέμπουν οι οθόνες των υπολογιστών και σύμφωνα με τα αποτελέσματα των ερευνών, δε μπορούμε να πούμε με βεβαιότητα, αν τελικά, μπορεί να προκαλέσει βλάβες στην υγεία των χρηστών, οι περισσότεροι από τους χρήστες που λόγω εργασίας, τις περισσότερες φορές, αναγκάζονται να κάθονται επί ώρες μπροστά από την οθόνη του υπολογιστή, αντιμετωπίζουν κάποια προβλήματα στα μάτια. Οι ενοχλήσεις, αυτές, είναι ερεθισμοί και θόλωση της όρασης αλλά και πονοκέφαλοι ή ζαλάδες. Όλες, αυτές, οι παρενέργειες, οφείλονται στην πολύωρη χρήση του υπολογιστή από το χρήστη αλλά και στη λάθος στάση που παίρνουμε μπροστά από την οθόνη. Μια συνεχής και σταθερή στάση, ειδικά αν ο υπολογιστής βρίσκεται πιο ψηλά από το επίπεδο του κεφαλιού μας, μπορεί να προκαλέσει τάσεις στον αυχένα με αποτέλεσμα τα συμπτώματα που αναφέραμε πιο πάνω. Οπότε, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι όλα τα παραπάνω συμπτώματα δε μπορούν να θεωρηθούν ότι είναι επιπτώσεις της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας της οθόνης αλλά οφείλονται στις συνθήκες του περιβάλλοντος, όπου ο χρήστης της οθόνης εργάζεται. Έτσι λοιπόν οι διάφοροι ερευνητές συνιστούν:

- Να μην καθόμαστε πολλές ώρες; Αδιάκοπα μπροστά από τις οθόνες των υπολογιστών
- Κάθε χρήστης θα πρέπει να εργάζεται σε απόσταση 50 $cm$ από την οθόνη του υπολογιστή.
- Να υπάρχει σωστός φωτισμός στην οθόνη και γύρω μας, ώστε να αποφεύγονται σχετικές ανακλάσεις.
- Η οθόνη να είναι κάτω από το επίπεδο των ματιών μας.
- Να μην καθόμαστε ποτέ πίσω από μια αναμμένη οθόνη.

Σήμερα, είναι ευρύτατα, διαδεδομένες στο εμπόριο οι οθόνες υγρών κρυστάλλων LCD (Liquid Crystal Display) που είναι επίπεδες καθώς δεν περιέχουν καθοδικό σωλήνα. Στις οθόνες, αυτές, αντί για τον καθοδικό σωλήνα, η εικόνα σχηματίζεται σε ένα επίπεδο πλαστικό υλικό. Οι επίπεδες οθόνες αποκαλούνται και ‘μαλακές΄, διότι οι εικόνες τους έχουν μαλακότερη ποιότητα σε σχέση με τον καθοδικό σωλήνα. Η εικόνα δεν τρεμοπαίζει και έτσι προκαλεί λιγότερο πόνο στα μάτια.

Αυτή, τη στιγμή, οι επίπεδες οθόνες θεωρούνται τα περισσότερο ασφαλή προϊόντα, διότι παράγουν μηδενική ακτινοβολία και καταναλώνουν πολύ λιγότερη ενέργεια σε σχέση με τις καθιερωμένες οθόνες.

Συμπερασματικά, μπορούμε να πούμε ότι όλα τα δυσάρεστα συμπτώματα και αποτελέσματα από τη χρήση της οθόνης του υπολογιστή, μπορούν να αποφευχθούν με την εφαρμογή των κατάλληλων μέτρων στο περιβάλλον όπου ζει η εργάζεται ο χρήστης της οθόνης του υπολογιστή καθώς και με τη χρήση επίπεδων οθονών.

# Κεφάλαιο 11

# ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗ ΑΠΟ ΟΘΟΝΕΣ ΤΗΛΕΟΡΑΣΗΣ

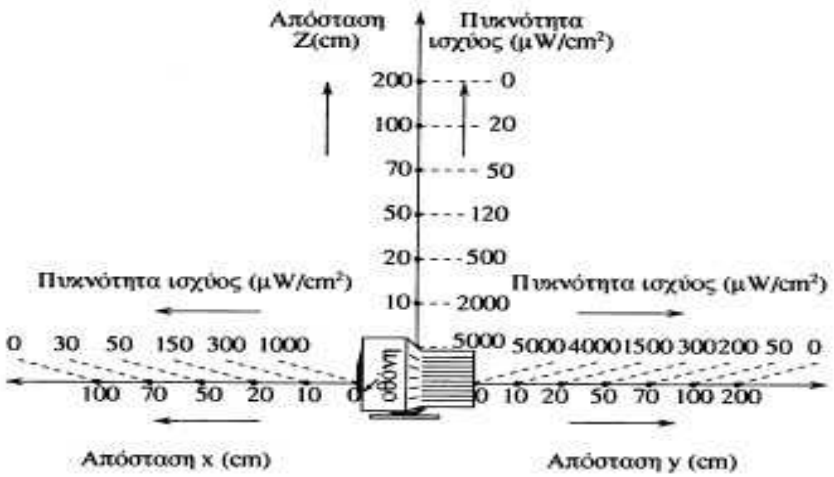
Η τηλεόραση, αποτελεί ουσιαστικά έναν τρόπο να στέλνονται εικόνες μέσω ραδιοκυμάτων ή καλωδίου. Ο δέκτης συγκεκριμένα είναι κυρίως ένας σωλήνας καθοδικών ακτινών (CRT), στον οποίο ένα θερμαινόμενο νήμα εκπέμπει δέσμες ηλεκτρονίων, τις καθοδικές ακτίνες που ξεκινώντας από τη μια του άκρη χτυπάνε στην άλλη (στην οθόνη) δημιουργώντας μια φωτεινή κηλίδα. Αυτό λοιπόν το ηλεκτρονικό τηλεβόλο στέλνει τα ηλεκτρόνια, διαμέσου ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων που δημιουργούνται μέσα στο σωλήνα οπότε η ηλεκτρονική δέσμη αποκλίνει και χτυπώντας στην οθόνη κινείται η κηλίδα και δημιουργείται η εικόνα που βλέπουμε. Το είδωλο πάνω στην οθόνη που σχηματίζεται με μια μέθοδο που λέγεται σάρωση, χωρίζεται σε 625 οριζόντιες γραμμές. Η οθόνη διαθέτει φθορίζουσες ουσίες που ακτινοβολούν καθώς χτυπάνε πάνω τους τα ηλεκτρόνια. Κάθε δευτερόλεπτο σχηματίζονται 25 εικόνες ώστε ο τηλεθεατής να έχει την σωστή αίσθηση της κίνησης. Οι έγχρωμες τηλεοράσεις έχουν όχι ένα, αλλά τρία ηλεκτρονικά τηλεβόλα. Αυτό γίνεται γιατί ο τηλεοπτικός πομπός κάθε σταθμού δεν μπορεί να στέλνει όλα τα χρώματα αλλά τα τρία βασικά - πράσινο, κόκκινο και μπλε και με ανάμιξη τους να δημιουργούνται όλα τα υπόλοιπα. Έτσι δημιουργούνται τρεις εικόνες που επικαλύπτουν η μια την άλλη και με κατάλληλη αναλογία των τριών χρωμάτων βλέπουμε την έγχρωμη εικόνα στις φυσικές της αποχρώσεις.

Μια τυπική τηλεόραση εκπέμπει ηλεκτρομαγνητικά πεδία σε τρεις περιοχές συχνοτήτων:

- Πεδία συχνοτήτων VLF: Παράγονται από το μετασχηματιστή υψηλής τάσης, 20000 *Volts* , στη συχνότητα 15-20 *KHz* .
- Πεδία συχνοτήτων RF (ραδιοσυχνότητες): Επειδή ο μετασχηματιστής υψηλής τάσης παράγει οξύτατους παλμούς βραχύτατης διάρκειας, προκύπτουν εκτός από την κεντρική συχνότητα και οι αρμονικές της. Που καλύπτουν ένα μεγάλο μέρος της περιοχής των ραδιοσυχνοτήτων.(300 *KHz* -10 *GHz* )
- Ραδιενέργεια από την οθόνη, ιονίζουσας συχνότητας, που βρίσκεται πέρα από τη συχνότητα του ορατού.

Με την εξέλιξη της τεχνολογίας οι οθόνες έχουν βελτιωθεί, σημαντικά και η η ραδιενέργεια που εκπέμπουν, σήμερα, θεωρείται, αμελητέα. Από μετρήσεις που έγιναν με ειδικά όργανα συμπεραίνουμε ότι το μαγνητικό πεδίο γύρω από μια τυπική έγχρωμη τηλεόραση είναι κάτω από τα όρια επικινδυνότητας, με αποτέλεσμα μία απόσταση μεγαλύτερη του μισού μέτρου να μπορεί να θεωρηθεί απόλυτα ασφαλής για τον άνθρωπο. Δυστυχώς, δεν συμβαίνει το ίδιο και με τις τιμές πυκνότητας ισχύος, αφού μετρώντας την επάνω στην συσκευή, βλέπουμε ότι είναι πολύ

μεγαλύτερη από όλα τα όρια επικινδυνότητας. Γενικά όμως, μπορούμε να πούμε ότι μια απόσταση μεγαλύτερη των 2 μέτρων θα παρέχει την απαιτούμενη ασφάλεια. Οι μετρήσεις που έγιναν απεικονίζονται στο Σχήμα 11.1:




**Σχήμα 11.1**

Η απόσταση x είναι διεύθυνση οριζόντιας απομάκρυνσης από το γεωμετρικό κέντρο της οθόνης, κάθετα στην οθόνη. Η απόσταση y είναι η διεύθυνση της οριζόντιας απομάκρυνσης από το γεωμετρικό κέντρο του οπίσθιου καλύμματος. Και η απόσταση z είναι η διεύθυνση από της κατακόρυφης απομάκρυνσης από το γεωμετρικό κέντρο του άνω καλύμματος της συσκευής.

Τα όρια επικινδυνότητας για την περιοχή συχνοτήτων VLF, έχουν καθοριστεί μόνο από την Ευρωπαϊκή Ένωση και είναι 530 mG για τους εργαζομένους και 210 mG για το γενικό πληθυσμό. Από το σχήμα μπορούμε να διακρίνουμε, ότι οι τιμές του μαγνητικού πεδίου VLF γύρω από μια τυπική έγχρωμη τηλεόραση είναι πολύ μικρότερες του ορίου επικινδυνότητας που έχει καθορίσει η Ευρωπαϊκή Ένωση. Η αμερικανική επιτροπή NCPR, έχει καθορίσει ότι μια απόσταση πέρα από το μισό μέτρο, από μια έγχρωμη τηλεόραση, θεωρείται ασφαλής ως προς την ακτινοβολία.

## ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ HAARP

Το HAARP αποτελεί μια εξελιγμένη μορφή «ιονοσφαιρικού θερμαστή». Βομβαρδίζει το ανώτερο στρώμα της ιονόσφαιρας, η οποία εκτείνεται από 60 ως 900 km, με μια πανίσχυρη κατευθυνόμενη ηλεκτρομαγνητική ακτίνα. Πιο συγκεκριμένα η συστοιχία των 360 κεραιών που ονομάζεται IRI (Ionospheric Research Instrument), εκπέμποντας 1,7 GW (1.7 δισεκατομμύρια W) ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με τη μορφή εξαιρετικά χαμηλών συχνοτήτων (ELF και VLF), δημιουργεί στο ανώτερο τμήμα της ιονόσφαιρας μια περιοχή διαμέτρου 48 Km, που αποτελείται από διεγερμένα λόγω της «θέρμανσης» σωματίδια (το φαινόμενο αυτό είναι ανάλογο της αρχής λειτουργίας του φούρνου μικροκυμάτων, στον οποίο τα φαγητά ζεσταίνονται μέσω της διέγερσης των μορίων ύδατος που παρέχουν από τα μικροκύματα). Όλη αυτή η διεγερμένη περιοχή λειτουργεί ως ένας τεχνητός φακός (ιονοσφαιρικό κάτοπτρο), που αποσκοπεί στην εστίαση ισχυρών δεσμών ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Αυτή η ενέργεια διασκορπίζεται στη συνέχεια

και σε άλλες περιοχές της ιονόσφαιρας, σχηματίζοντας έτσι μια «εικονική κεραία» μήκους πολλών χιλιάδων χιλιομέτρων. Κοντολογίς, με την μέθοδο αυτή ολόκληρη η ιονόσφαιρα μετατρέπεται σε μια γιγαντιαία κεραία ELF. Τα εκπεμπόμενα ηλεκτρομαγνητικά κύματα αντανακλώνται κατόπιν πίσω στη Γη, διαπερνώντας οτιδήποτε οργανικό και ανόργανο και πραγματοποιώντας μια «γήινη τομογραφία» (γεωτομογραφία).

Η πρώτη εικόνα που προσπάθησε να περάσει το HAARP στην κοινή γνώμη ήταν ότι επρόκειτο για ένα επιστημονικό σχέδιο με στόχο την επιλεκτική τροποποίηση της ιονόσφαιρας για τη βελτίωση των τηλεπικοινωνιών. Σύντομα όμως έγινε αντιληπτό ότι το αμερικανικό Πεντάγωνο ήθελε να εκμεταλλευτεί την ιονόσφαιρα για τους δικούς του σκοπούς. Η επικοινωνία με τα υποβρύχια ήταν ένας από αυτούς.

Ως γνωστό το νερό είναι πρακτικά αδιαπέραστο από τις περισσότερες ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες. Έτσι, ένα υποβρύχιο που βρίσκεται εν καταδύσει δεν μπορεί να επικοινωνήσει με τον κόσμο της επιφάνειας παρά μόνον αν αναδυθεί και προεκβάλλει την κεραία του, με κίνδυνο πάντα να εντοπιστεί από τους εχθρικούς δορυφόρους που σαρώνουν τους ωκεανούς. Ωστόσο οι δέσμες των ELF κυμάτων, που αντανακλώνται από το «ιονοσφαιρικό κάτοπτρο» του HAARP, μπορούν να διαπεράσουν το νερό, επιτρέποντας έτσι την πολυπόθητη επικοινωνία με τα υποβρύχια.

## ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

- Το HAARP δίνει την δυνατότητα στον αμερικανικό στρατό να εκμεταλλευτεί το φαινόμενο του ηλεκτρομαγνητικού παλμού (EMP) στην ατμόσφαιρα, που μέχρι σήμερα μπορούσε να παραχθεί μόνο με πυρηνική έκρηξη. Ως γνωστόν ο ηλεκτρομαγνητικός παλμός μπορεί να καταστρέψει κάθε ηλεκτρικό και ηλεκτρονικό σύστημα
- Δίνει την ευκαιρία για αντικατάσταση των συστημάτων επικοινωνιών των υποβρυχίων, που βρίσκονται στο Μίσιγκαν και το Ουισκόνσιν, με πιο σύγχρονη τεχνολογία
- Μπορεί ν' αντικαταστήσει τα συστήματα ραντάρ «πέρα από τον ορίζοντα».
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παρακώλυση και την καταστροφή των εχθρικών τηλεπικοινωνιών σε μια μεγάλη περιοχή, εξασφαλίζοντας όμως ταυτόχρονα τη λειτουργία των φίλιων στρατιωτικών συστημάτων.
- Καθιστά εφικτή την γήινη τομογραφία, τα αποτελέσματα της οποίας αναλύονται από τους υπερυπολογιστές EMASS και CRAY και παρέχουν πληροφορίες για υπόγεια πυρηνικά εργαστήρια ή χώρους αποθήκευσης πυρηνικών όπλων, που απαραίτητες για τον έλεγχο των συνθηκών Μη Διάδοσης Πυρηνικών Όπλων (NPT).
- Προσφέρει τη δυνατότητα ανεύρεσης πετρελαίου, φυσικού αερίου και κοιτασμάτων μετάλλων σε μια μεγάλη περιοχή έρευνας.

- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση αεροσκαφών και πυραύλων που πετούν σε χαμηλό ύψος και δεν εντοπίζονται από τα ραντάρ.
- Έχει τη δυνατότητα να εξακριβώσει την ταυτότητα των βλημάτων με πυρηνικές κεφαλές από τα παραπλανητικά βλήματα, μέσω ηλεκτρομαγνητικής φασματικής ανίχνευσης.

Όλες οι παραπάνω δυνατότητες του HAARP καθιστούν απαρχαιωμένες μια σειρά από στρατιωτικές τεχνολογίες (π.χ. τα ραντάρ) και, φαινομενικά τουλάχιστον, ικανοποιούν όλους όσους υποστηρίζουν τη μείωση των στρατιωτικών δαπανών, εφόσον το πρόγραμμα στοιχίζει πολύ λιγότερο από τα δισεκατομμύρια δολάρια που ξοδεύονται κάθε χρόνο στην ανάπτυξη και συντήρηση των άλλων αμυντικών τεχνολογιών. Επίσης το HAARP θεωρείται ότι παίζει σημαντικό ρόλο στο ευρύτερο πρόγραμμα του Πολέμου των Άστρων, που συνεχίζει να εξελίσσεται στο πρόσωπο πλέον μιας περιορισμένης αντιβαλλιστικής προστασίας.

Πέρα όμως από τις συμβατικές στρατιωτικές κι επιστημονικές εφαρμογές, το HAARP έχει και μια σειρά άλλων εξωτικών δυνατοτήτων που εξάπτουν τη φαντασία ακόμη και των πιο ψύχραιμων ερευνητών του χώρου της μυστικής τεχνολογίας.

Πιο αναλυτικά λοιπόν το HAARP μπορεί να έχει τις παρακάτω εφαρμογές:

- Η εκπομπή τεράστιων ποσοτήτων ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στην ιονόσφαιρα μπορεί να την ωθήσει να συμπεριφέρεται σαν μια τεράστια κεραία κυμάτων ELF, που είναι σε θέση να πραγματοποιήσει διεισδυτικές «τομογραφίες» του υπεδάφους της γης. Με άλλα λόγια, ακτινοβολώντας κύματα εξαιρετικά χαμηλών συχνοτήτων από τον ουρανό προς τη γη, είναι δυνατόν να σχηματιστεί εικόνα για το τι συμβαίνει στο εσωτερικό της.
- Η «θέρμανση» τμημάτων της άνω και κάτω ιονόσφαιρας για το σχηματισμό εικονικών «κατόπτρων» και «φακών» που ανακλούν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία πολλών φασματικών περιοχών (συχνοτήτων), επιτρέπει την ανίχνευση και τον εντοπισμό των «αόρατων» αεροσκαφών και πυραύλων.
- Η δημιουργία μας «ουράνιας ασπίδας», που θα είναι σε θέση να καταστρέφει τα βαλλιστικά βλήματα μέσω της υπερθέρμανσης των ηλεκτρονικών συστημάτων καθοδήγησής τους, καθώς αυτά θα διέρχονται μέσα από τα ισχυρά ηλεκτρομαγνητικά πεδία που έχουν δημιουργηθεί στην ιονόσφαιρα.
- Η διαχείριση και ο επηρεασμός εντοπισμένων καιρικών φαινομένων, με την πρόκληση διαταραχών όπως πλημμύρες, καταιγίδες, τυφώνες κ.α. που μπορούν να αξιοποιηθούν στρατιωτικά (βλέπε κλιματολογικός πόλεμος).
- Η σταδιακή και επιλεκτική θέρμανση ενός συγκεκριμένου τμήματος του γήινου φλοιού, έχει ως αποτέλεσμα η εκτόνωση αυτής της απορροφημένης ενέργειας να γίνεται με την μορφή σεισμικής και ηφαιστειακής δραστηριότητας (σεισμικός πόλεμος).

Όλες αυτές οι εφαρμογές αναμένεται να έχουν τρομακτικές επιπτώσεις στην ούτως ή άλλως ευαίσθητη ισορροπία της ιονόσφαιρας. Σύμφωνα, με επιστημονικές δημοσιεύσεις και αναλύσεις, ο συνδυασμός των εκπομπών υψηλής συχνότητας του HAARP με τα ELF κύματα, θα έχει πολλές

παρενέργειες, με κυριότερη τον αποσυγχρονισμό του ηλεκτρομαγνητικού πλέγματος.

Παρά τις επίσημες διαβεβαιώσεις, είναι φανερό ότι το κύριο βάρος της λειτουργίας του HAARP έχει δοθεί στην ανάπτυξη κλιματολογικών και σεισμικών όπλων. Το πρόγραμμα HAARP δεν είναι το μοναδικό του είδους. Από το 1948 έλαβαν χώρα πειράματα κάτω από τον γενικό χαρακτηρισμό, Active Ionospheric Experiments. Μερικές από τις πολλές κώδικες ονομασίες ήταν: EXCEDE, RED AIR, CHARGE IV, RIME, CRRES, WISP, ACTIVE, HIPAS, RADC, AIM. Τα κλιματολογικά όπλα έχουν μακρά ιστορία. Σκοπός τους ήταν η εκμετάλλευση των καιρικών φαινομένων ως τακτικό πλεονέκτημα για τον επιτιθέμενο ή την καθήλωση του εχθρού εξ αιτίας της τεχνητής κακοκαιρίας. Για τους ίδιους λόγους πραγματοποιήθηκαν και μια σειρά από σεισμικά πειράματα, σπουδαιότερο των οποίων υπήρξε το πρόγραμμα με την κωδική ονομασία PRIME ARGUS.

Αν και το HAARP αποτελεί τον ισχυρότερο «πομπό» του είδους του (3.000 φορές ισχυρότερος από τον μεγαλύτερο πομπό στον κόσμο), εντούτοις δεν είναι και μοναδικός. Παρόμοιες, αλλά μικρότερες εγκαταστάσεις υψηλής συχνότητας «ιονοσφαιρικών θερμαστών» υπάρχουν στο Τρόμσο της Νορβηγίας, στο Αρεσίμπο του Πουέρτο Ρίκο, στο Φέρμπανκ της Αλάσκα, στο Νίζνυ-Νοβγκορόντ της Ρωσίας, στην Ντουσαμπέ του Τατζικιστάν και στο Χάρκοβο της Ουκρανίας. Είναι φανερό ότι το ενδιαφέρον της παγκόσμιας επιστημονικής κοινότητας, αλλά και των κυβερνήσεων, για τέτοιου είδους τεχνολογίες είναι έντονο και ιδιαίτερα μυστικοπαθές. Η μυστικοπάθεια αυτή, που χαρακτηρίζει τους εμπλεκόμενους στο HAARP, αιτιολογείται κυρίως από τη Σύμβαση Απαγόρευσης Περιβαλλοντικών Τροποποιήσεων του 1977 (EMC ή Enviromental Modification Convention), η οποία απαγορεύει κάθε στρατιωτική ή εχθρική χρήση του περιβάλλοντος με τεχνικές διαμόρφωσής του. Έτσι αιτιολογείται γιατί το αμερικανικό Πεντάγωνο προσπάθησε να αποσιωπήσει την εμπλοκή του στο HAARP.

## ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥ HAARP ΣΤΗ ΔΗΜΟΣΙΑ ΥΓΕΙΑ ΚΑΙ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Από κάθε άποψη το HAARP αποτελεί μια τεράστια πηγή ηλεκτρομαγνητικής μόλυνσης που απειλεί το περιβάλλον και την υγεία των έμβιων όντων. Τις τελευταίες τρεις δεκαετίες ένας αριθμός από μελέτες σε Ευρώπη και ΗΠΑ έχουν συνδέσει την έκθεση σε ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες με μια σειρά από προβλήματα υγείας. Έτσι λοιπόν οι επιδράσεις της λειτουργία του HAARP πάνω στον ανθρώπινο οργανισμό είναι ποικίλες και σοβαρές. Ξεκινώντας από μια απλή κόπωση, υπνηλία ή ευερεθιστότητα και καταλήγουν μέχρι την απώλεια μνήμης, την αύξηση του σακχάρου και της χοληστερίνης στο αίμα, την αύξηση της αρτηριακής πίεσης και των καρδιακών παλμών, τη λευχαιμία, τον καταρράκτη και τον καρκίνο! Μια από τις σοβαρότερες επιδράσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας του HAARP είναι η διατάραξη της χημείας του ανθρώπινου εγκεφάλου και κατ' επέκταση των εγκεφαλικών κυμάτων.

Το HAARP έχει προκαλέσει ποικίλες και σοβαρές αντιδράσεις τόσο στην κοινή γνώμη, όσο και σε ευαίσθητα μέλη της επιστημονικής κοινότητας, κυρίως στις ΗΠΑ. Οι μεγαλύτερες

ανησυχίες εστιάζονται γύρω από τις οικολογικές επιπτώσεις που θα έχει η λειτουργία του προγράμματος. Αρκετοί επιστήμονες υποστηρίζουν ότι η εκπομπή τεράστιων ποσοτήτων ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας (η ισχύς εξόδου του πομπού του HAARP είναι περίπου 3.000 φορές μεγαλύτερη από αυτή των ισχυρότερων εμπορικών ραδιοφωνικών σταθμών), μπορεί να έχει καταστροφικές και μη αναστρέψιμες συνέπειες γα τα ανώτερα στρώματα της γήινης ατμόσφαιρας.

Η ιονόσφαιρα αποτελεί σαφώς το πρώτο τμήμα του περιβάλλοντος που επηρεάζεται άμεσα από το HAARP. Αυτή είναι ένα ευαίσθητο στρώμα, που μεταβάλλεται ανάλογα με τη μέρα ή τη νύχτα, τη διακύμανση του γήινου μαγνητικού πεδίου και την ηλιακή δραστηριότητα (ηλιακές κηλίδες). Αποτελείται από τέσσερα στρώματα, που υψώνονται από 56-800 χλμ. πάνω από την επιφάνεια της Γης. Σ' αυτό το ύψος οι υπεριώδεις ακτίνες και οι ακτίνες Χ του ήλιου, μετατρέπουν τα ουδέτερα άτομα των αερίων σε ιόντα και ελεύθερα ηλεκτρόνια (φαινόμενο ιονισμού). Η θερμοκρασία των ηλεκτρονίων στην Ιονόσφαιρα κυμαίνεται από -54 έως +150 βαθμούς Κελσίου.

Το HAARP κατά τη λειτουργία του αυξάνει τη θερμοκρασία συγκεκριμένου τμήματος της ιονόσφαιρας κατά +23 βαθμούς Κελσίου και για διάρκεια πάνω από 3 μήνες. Ακόμη ούτε οι ίδιοι οι επιστήμονες δεν μπορούν να συμφωνήσουν σχετικά με το τι μεταβολές μπορεί να προκαλέσει αυτή η αύξηση της θερμοκρασίας! Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι ακόμη και μια μικρή διαταραχή της ιονόσφαιρας έχει ως αποτέλεσμα το πάγωμα όλων των ασύρματων επικοινωνιών στον πλανήτη, αφού ως γνωστόν, τα ραδιοφωνικά κύματα αντανακλώνται από την ιονόσφαιρα και μόνο με αυτό τον τρόπο μπορούν να καλύψουν μεγάλες αποστάσεις.

Πέρα από την ιονόσφαιρα άμεσο κίνδυνο από τη λειτουργία του HAARP διατρέχει το ευαίσθητο οικοσύστημα της Αρκτικής, αφού καθημερινά καταναλώνονται 95 τόνοι πετρελαίου για να τροφοδοτηθούν με ισχύ οι εγκαταστάσεις, χωρίς να υπολογίσουμε το καυσαέριο από τις κινήσεις των οχημάτων και τα απόβλητα της ανθρώπινης δραστηριότητας. Επίσης καθημερινά εκλύονται στην ατμόσφαιρα 1,8 τόνοι οξειδίων του θείου και 14 τόνοι οξειδίων του αζώτου. Η επιβάρυνση ωστόσο του περιβάλλοντος σε τοπικό επίπεδο, που κάνει δικαίως τους οικολόγους της Αλάσκα ν' ανησυχούν, δεν είναι τίποτα σχετικά με τις διαταραχές που προκαλεί η λειτουργία του HAARP σε πλανητικό επίπεδο.

Δικαιολογημένα, λοιπόν, εκφράζονται φόβοι, ότι ο επηρεασμός του γήινου μαγνητικού πεδίου από το HAARP θα έχει ως αποτέλεσμα την απώλεια προσανατολισμού των ζώων και κυρίως των μεταναστευτικών πτηνών και ίσως ορισμένων ανθρώπινων δραστηριοτήτων (λειτουργία πυξίδων κ.α.). Ανάμεσα σε όλα αυτά δεν πρέπει να παραβλέψουμε και τον κίνδυνο που διατρέχουν τα αεροσκάφη που εκτελούν τακτικά δρομολόγια και διέρχονται πλησίον της περιοχής του HAARP. Γι' αυτό το σύστημα του HAARP περιλαμβάνει αυτόματη διάταξη αναστολής της λειτουργίας του πομπού μόλις εντοπιστεί κάποιο αεροσκάφος στη περιοχή του το AAR (Aircraft Alert Radar), καθώς στην περιοχή την εγκαταστάσεων πετούν καθημερνά 12-20 αεροσκάφη σε τακτικά δρομολόγια.

Επίσης μπορεί να προκληθεί διακοπή καρδιακών βηματοδοτών, ανάφλεξη στα συστήματα

φόρτωσης και μεταφοράς καυσίμων, να προκαλέσει την ανάφλεξη πυρομαχικών, πυροδότηση πυροσωλήνων και ηλεκτρονικών πυροκροτητών και πλήθος άλλων φαινομένων. Δεν είναι παράξενο λοιπόν που το Πεντάγωνο με ανακοίνωσή του απαγορεύει ρητά να βρίσκεται κοντά στον πομπό οποιαδήποτε στρατιωτική εγκατάσταση.

Αν και το ζήτημα των επιπτώσεων του HAARP στην ιονόσφαιρα και το περιβάλλον δεν έχει ακόμα διερευνηθεί, ωστόσο οι επιστήμονες προχώρησαν ανεύθυνα στη λειτουργία του, πράγμα που κάνει τους ανθρώπους να αντιμετωπίζουν το HAARP με δικαιολογημένη νευρικότητα και αυξημένη ανησυχία.

# ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΕΡΜΗΣ

**Περιγραφή συστήματος**

Το πρόγραμμα ΕΡΜΗΣ είναι ένα σύστημα συνεχούς μέτρησης και ελέγχου της εκπεμπόμενης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας ραδιοσυχνοτήτων στο περιβάλλον από το σύνολο των πηγών που υπάρχουν στην περιοχή που είναι εγκαταστημένο. Με το σύστημα, αυτό, παρέχεται η δυνατότητα μέτρησης και καταγραφής, σε εικοσιτετράωρη βάση, της ακτινοβολίας ραδιοσυχνοτήτων, συγκεκριμένων θέσεων, από διάφορες πηγές, όπως: κεραίες κινητής τηλεφωνίας, κεραίες ραντάρ, κεραίες ραδιοτηλεοπτικών σταθμών. Ο κύριος στόχος του προγράμματος είναι η ενημέρωση των πολιτών σχετικά με τα ποσά της εκπεμπόμενης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στο περιβάλλον. Για την εγκυρότητα των μετρήσεων και τη σωστή λειτουργία του προγράμματος, υπάρχει συνεργασία με εξειδικευμένο προσωπικό της εταιρίας κινητής τηλεφωνίας Vodafone καθώς και με το εργαστήριο κινητών ραδιοεπικοινωνιών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου και το εργαστήριο ραδιοεπικοινωνιών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου της Θεσσαλονίκης.

Η επιλογή των περιοχών, στις οποίες γίνεται η εγκατάσταση των σταθμών μέτρησης του προγράμματος, γίνεται με βάση τα εξής κριτήρια:

- Την υψηλή πληθυσμιακή συγκέντρωση
- Τους χώρους που απευθύνονται στο ευρύτερο κοινό

Το σύστημα αποτελείται από δύο κεντρικούς σταθμούς ελέγχου που είναι εγκατεστημένοι στα δύο πανεπιστημιακά εργαστήρια που συμμετέχουν στο πρόγραμμα και τους σταθμούς μέτρησης.

Οι σταθμοί, αυτοί, ασχολούνται με τον έλεγχο των σταθμών μέτρησης και τη δημοσίευση των μετρήσεων τους στο διαδίκτυο. Ενώ, οι σταθμοί μέτρησης, είναι εγκατεστημένοι, κυρίως, σε σχολεία και πραγματοποιούν τις μετρήσεις των επιπέδων της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Εγκαταστάσεις των σταθμών μέτρησης του προγράμματος Ερμής, υπάρχουν σε διάφορε περιοχές του Νομού Αττικής, του Νομού Θεσσαλονίκης, του Νομού Δωδεκανήσου και του Νομού Ημαθίας. Η επικοινωνία των σταθμών μέτρησης με το τους κεντρικούς σταθμούς ελέγχου γίνεται μέσω του δικτύου κινητής τηλεφωνίας. Οι σταθμοί μέτρησης είναι πιστοποιημένα όργανα μέτρησης

ηλεκτρικού πεδίου. Έχουν τη δυνατότητα καταγραφής πεδίων που εκτείνονται στο σημαντικότερο μέρος του ραδιοφάσματος, στο οποίο εμφανίζεται και η ανθρώπινη δραστηριότητα. Οι σταθμοί μέτρησης ποσοτικοποιούν την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, μετρώντας το μέγεθος της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου και καταγράφοντας την ενεργό τιμή του ανά έξι λεπτά. Δηλαδή καταγράφουν 240 μετρήσεις την ημέρα. Στο πέρας κάθε ημέρας, στέλνουν τις μετρήσεις στο κεντρικό σταθμό ελέγχου. Μετά πραγματοποιείται ο έλεγχος και ακολουθεί η δημοσίευση των αποτελεσμάτων στο διαδίκτυο. Η επικοινωνία του κεντρικού σταθμού με τους απομακρυσμένους σταθμούς μέτρησης γίνεται με τη χρήση ενός ειδικού modem,που ονομάζεται GSM modem. Το GSM modem αποκαθιστά την επικοινωνία ενός υπολογιστή με το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας. Με δεδομένο ότι οι σταθμοί μέτρησης είναι εξοπλισμένοι με αντίστοιχα modem, ο διαχειριστής μπορεί ανά πάσα στιγμή να συνδεθεί με τους σταθμούς μέτρησης, για να μεταφέρει τις μετρήσεις στον κεντρικό υπολογιστή.

**Τρόπος μέτρησης**

Οι σταθμοί μέτρησης περιλαμβάνουν συσκευές ανίχνευσης σε ευρεία περιοχή συχνοτήτων (100 KHz – 3 GHz). Στους σταθμούς μέτρησης, που είναι υπό την ευθύνη του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου, γίνεται επιπλέον ξεχωριστή μέτρηση και στις δύο περιοχές συχνοτήτων λειτουργίας των κεραιών κινητής τηλεφωνίας. Το μέγεθος που καταγράφεται είναι η ενεργός τιμή έντασης του ηλεκτρικού πεδίου. Η τιμή, αυτή, εκφράζεται σε V/m. Το πρόγραμμα Ερμής έχει υιοθετήσει τα επίπεδα αναφοράς μεγάλων διεθνών και εθνικών οργανισμών, για τη μέγιστη έκθεση του πληθυσμού στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Οι σταθμοί μέτρησης, όπως αναφέραμε, καταγράφουν τη μέση τιμή έντασης του ηλεκτρικού πεδίου, λαμβάνοντας μετρήσεις του μεγέθους αυτού κάθε 3 sec. Στη συνέχεια, υπολογίζεται η μέση ενεργός τιμή του μεγέθους για το χρονικό διάστημα των έξι λεπτών, το οποίο έχει καθιερωθεί στην Ευρώπη και σε άλλες χώρες, ως το ελάχιστο χρονικό διάστημα παρατήρησης και σύγκρισης με τα επίπεδα αναφοράς. Τελικά, προκύπτει η χρονική μέση τιμή της ενεργού έντασης του ηλεκτρικού πεδίου της οποίας η αναπαράσταση γίνεται σε συνάρτηση με το χρόνο σε γραφήματα.

## ΔΙΕΘΝΗΣ ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ (INTERNATIONAL PROTECTION ASSOCIATION) (IRPA)

Το 1974, ο Διεθνής Σύνδεσμος Προστασίας Ακτινοβολίας – International Radiation Protection Association (IRPA), σχημάτισε μία ομάδα εργασίας για τη μη ιονίζουσα ακτινοβολία (Non-Ionizing Radiation), η οποία σκοπό είχε να εξετάσει τα συνεχώς αυξανόμενα προβλήματα σχετικά με την προστασία από διάφορους τύπους NIR. Στο συνέδριο του IRPA στο Παρίσι το 1977, η συγκεκριμένη ομάδα εργασίας έγινε η Διεθνής Επιτροπή Μη Ιονιζουσών Ακτινοβολιών – International Non-Ionizing Radiation Committee (INIRC).Η επιτροπή INIRC σε συνεργασία με το

τμήμα περιβαλλοντικής προστασίας της υγείας του παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (World Health Organization-WHO), ανέπτυξε έναν αριθμό από κείμενα σχετικά με τα κριτήρια υγείας που πρέπει να πληρούνται στις NIR σαν μέρος του Προγράμματος Περιβαλλοντικών Κριτηρίων Υγείας-Environmental Health Criteria Program του WHO. Κάθε κείμενο περιλαμβάνει μια περιληπτική σύνοψη των φυσικών χαρακτηριστικών, τη χρήση οργάνων και μετρήσεων, πηγές και εφαρμογές των NIR, μία πλήρως καταρτισμένη ανασκόπηση στη βιβλιογραφία σχετική με τις βιολογικές επιπτώσεις και μία εκτίμηση των κινδύνων από την έκθεση σε NIR. Αυτά τα κριτήρια υγείας παρέχουν την επιστημονική βάση για την επακολουθούμενη εξέλιξη των ορίων έκθεσης και των τρόπων χρήσης σχετικά με τις μη ιονίζουσες ακτινοβολίες.

Στο 8ο Διεθνές Συνέδριο του IRPA (Μόντρεαλ 18-22 Μαΐου 1992) ένας νέος, ανεξάρτητος επιστημονικός οργανισμός –η Διεθνή Επιτροπή Προστασίας από Μη Ιονίζουσες Ακτινοβολίες (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection), προέκυψε σα διάδοχος των IRPA/INIRC. Η λειτουργία της επιτροπής είναι να ερευνήσει τις πηγές κινδύνων οι οποίες μπορεί να συνδέονται με τις διάφορες μορφές της NIR και να αναπτύξει διεθνής κατευθυντήριες οδηγίες περιορισμού της έκθεσης σε NIR. Επίσης σκοπό έχει να ασχοληθεί με όλες τις απόψεις σχετικές με την προστασία από τις NIR.

# Κεφάλαιο 12

# ΟΡΙΑ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

## 12.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όταν μιλάμε, για όρια επικινδυνότητας, δεν ενοοούμε τα όρια ασφαλείας, διότι κάποια δόση ακτινοβολίας, ανεξάρτητα από την πηγή, από την οποία προέρχεται, δε μπορεί σε καμία περίπτωση, να θεωρηθεί ότι είναι ασφαλής. Τα όρια επικινδυνότητας για την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, διαφέρουν, αφού ο κάθε οργανισμός και το κάθε κράτος θεσπίζουν τα όρια, αυτά, σύμφωνα με τις δικές τους παραμέτρους. Η διαφορά, αυτή, στα όρια επικινδυνότητας, των διαφόρων κρατών και οργανισμών, οφείλεται στις διαφορετικές εκτιμήσεις και αξιολογήσεις του μηχανισμού επίδρασης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Έτσι, λοιπόν, οι εκτιμήσεις που βασίζονται στις θερμικές επιδράσεις, προτείνουν υψηλά όρια επικινδυνότητας, ενώ οι εκτιμήσεις που βασίζονται στις αθερμικές επιδράσεις, προτείνουν πολύ χαμηλότερα όρια.

Στις επόμενες ενότητες, του συγκεκριμένου κεφαλαίου, αναφέρουμε τα όρια επικινδυνότητας που έχουν θεσπιστεί από διάφορους οργανισμούς και κράτη για τις θερμικές και αθερμικές επιδράσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

## 12.2 Τα όρια επικινδυνότητας με βάση τις θερμικές επιδράσεις (ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ RF: 30 *KHz* - 300 *GHz* )

Οι επιπτώσεις των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων στην ανθρώπινη υγεία εξαρτώνται από τον βαθμό απορρόφησης τους από τους διάφορους ιστούς. Έχουμε τρεις μηχανισμούς μεταφοράς ενέργειας από το κύμα στο ανθρώπινο σώμα, με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας του:

- Διέγερση των ελευθέρων ηλεκτρονίων των ατόμων.
- Εξαναγκασμένη πόλωση των ατόμων και μορίων των ιστών από το ηλεκτρικό πεδίο του κύματος.
- Ευθυγράμμιση υπαρχόντων δίπολων ατόμων ή μορίων με το ηλεκτρικό πεδίο του κύματος.

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, ένα ειδικό μέγεθος καθιερώθηκε για την μελέτη των επιδράσεων των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, το οποίο ονομάστηκε Ειδικός Ρυθμός Απορρόφησης, EPA, ή διεθνώς SAR (Specific Absorption Rate). Ο SAR ορίζεται ως το ποσό της κυματικής ενέργειας που απορροφά η μονάδα μάζας ενός ιστού στη μονάδα του χρόνου. Εκφράζεται σε W ανά Kg (W/Kg) και διαφέρει για κάθε ιστό. Επίσης εξαρτάται από την συχνότητα του κύματος και τον προσανατολισμό του σώματος σε σχέση με την διεύθυνση του ηλεκτρικού, Ε, και του μαγνητικού, Β, πεδίου του κύματος. Ο τύπος υπολογισμού του SAR για ένα ζωικό ιστό πυκνότητας ρ (g/cm) και ειδικής θερμοκρασίας C (cal/g.grad), για ορισμένη συχνότητα και προσανατολισμό, είναι:

$SAR = 4.166 p C \Delta T / \Delta t$ ,

όπου Δt είναι ο χρόνος ακτινοβόλησης σε sec και ΔT η αύξηση της θερμοκρασίας του ιστού σε βαθμούς Κελσίου (grad).Γενικά συμπεράσματα είναι τα εξής:

α. Το ανθρώπινο σώμα απορροφά την κυματική ενέργεια κατά τρόπο εκλεκτικό, διαφορετικό δηλαδή για κάθε συχνότητα και είδος ιστού.

β. Μέγιστη δεκτικότητα κατά συχνότητα (συντονισμός), εμφανίζεται στην περιοχή από $30\,MHz$ - $300\,MHz$ , όπου ο SAR παίρνει τις μέγιστες τιμές του.

γ. Μέγιστη απορρόφηση ανά είδος ιστού εμφανίζουν σημεία του σώματος όπως ο λαιμός, τα πόδια, οι αγκώνες και η κοιλιακή χώρα, όπου ο τοπικός SAR παίρνει τιμές πολύ μεγαλύτερες (έως και 10 φορές) από τον μέσο SAR ολόκληρου του σώματος. Συνεπώς τα σημεία αυτά πρέπει να εκτίθενται όσο γίνεται λιγότερο στην κυματική ενέργεια.

Έτσι, με βάση μόνο τους θερμικούς μηχανισμούς, τα όρια επικινδυνότητας των Δυτικών Διεθνών Οργανισμών είναι τα εξής: Ο μέγιστος αριθμός απορρόφησης κυματικής ενέργειας (SAR) δεν πρέπει να υπερβαίνει την τιμή των 0,4 W/Kg, αθροιζόμενη κατά μέσο όρο μέσα σε οποιαδήποτε 6 λεπτά του εικοσιτετραώρου και για ολόσωμη έκθεση. Το κριτήριο αυτό διαμορφώθηκε με την προϋπόθεση ότι οι εργαζόμενοι σε ηλεκτρομαγνητικά βεβαρημένους χώρους είναι ενήμεροι των κινδύνων, λαμβάνουν μέτρα ασφαλείας και εκτίθενται μόνον για ένα οκτάωρο. Επειδή ο γενικός πληθυσμός εκτίθεται σε 24ωρη βάση και δεν είναι ενημερωμένος, ώστε να λαμβάνει μέτρα ασφαλείας, η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή του ρυθμού απορρόφησης, για τον γενικό πληθυσμό, ορίστηκε πέντε φορές μικρότερη, δηλαδή 0.08 W/Kg. Τα όρια επικινδυνότητας στις ραδιοσυχνότητες σύμφωνα με μερικούς οργανισμούς είναι τα εξής:

## 12.3 Όρια επικινδυνότητας της IRPA

Τα όρια αυτά θεωρούνται ως τα πλέων έγκυρα στη Δύση και ακολουθούνται από πολλές χώρες ή οργανισμούς, αφού καθιερώθηκαν από την επιτροπή μη ιονίζουσας ακτινοβολίας (International Non-Ionizing Radiation Committee, INIRC) της Διεθνούς Εταιρίας Ακτινοπροστασίας (International Radiation Protection Association, IRPA) σε συνεργασία με το τμήμα περιβαλλοντικής υγείας της Παγκόσμιας Οργάνωσης Υγείας (World Health Organization, WHO), με την επιχορήγηση του ΟΗΕ (United Nations Environmental Program, UNEP).

| Συχνότητα $f(MHz)$ | Ηλεκτρικό πεδίο Ε σε $V/m$ | Μαγνητικό πεδίο Η σε $A/m$ | Ισοδύναμη πυκνότητα ισχύος επιπέδου κύματος $P$ , σε $mW/cm^2$ |
|---|---|---|---|
| $0.1-1$ | $614$ | $1.6/f$ | - |
| $>1-10$ | $614/f$ | $1.6/f$ | - |
| $>10-400$ | $61$ | $0.16$ | $1$ |
| $>400-2000$ | $3f^{1/2}$ | $0.008f^{1/2}$ | $f/400$ |
| $>2000-300000$ | $137$ | $0.36$ | $5$ |

## 12.4 Όρια επικινδυνότητας του ANSI

Είναι τα όρια του Αμερικανικού Ινστιτούτου Εθνικών Ορίων (American National Standards Institute), του επίσημου δηλαδή οργάνου της κυβέρνησης των ΗΠΑ. Τα όρια αυτά προέκυψαν με την υιοθέτηση, το 1992, από το ANSI των ορίων που καθιέρωσε η μεγαλύτερη παγκοσμίως επιστημονική ένωση IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers), με την οδηγία IEEE C 95.1-1991.

## 12.5 Όρια επικινδυνότητας της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Η ευρωπαϊκή επιτροπή ηλεκτροτεχνικής τυποποίησης CENELEC (Comite Europeen de Normalisation Electrotechnique) ενέκρινε στις 30/11/94 το πειραματικό ευρωπαϊκό πρότυπο ENV 50166 - 2 για την έκθεση ανθρώπων σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία συχνοτήτων 10 KHz – 300 GHz. Τρία χρόνια μετά την ημερομηνία αυτή η CENELEC θα έπρεπε να κρίνει αν θα καθιερωνόταν ως οριστικό πρότυπο της Ευρωπαϊκής Ένωσης (εν τω μεταξύ έχει την ισχύ ελληνικού προτύπου). Η απόφαση αυτή αναμένεται να εκδοθεί, αν και ήδη έχει διαρρεύσει σε επιστημονικά έντυπα.

**Τα όρια επικινδυνότητας με βάση και τις αθερμικές επιδράσεις** (300 KHz - 300 GHz)

Τα όρια αυτά έχουν καθιερωθεί από την πρώην Σοβιετική Ένωση και τα κράτη του πρώην Συμφώνου Βαρσοβίας και ισχύουν μέχρι και σήμερα στις χώρες οι οποίες είναι ακόμα πιστές στις στους αθερμικούς μηχανισμούς επίδρασης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Τα όρια αυτά είναι αισθητά αυστηρότερα από τα υπόλοιπα, αφού είναι έως και διακόσιες φορές μικρότερα από εκείνα των δυτικών χωρών.

## 12.6 ΠΡΟΣΩΠΙΚΑ ΔΟΣΙΜΕΤΡΑ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Στους χώρους, όπου υπάρχει εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, σε ποσοστά, τα οποία υπερβαίνουν τα καθιερωμένα πρότυπα ασφαλείας, δηλαδή χώρους όπου υπάρχουν εγκατεστημένες κεραίες, ή χώρους στους οποίους εκπέμπονται ποσοστά ακτινοβολίας επικίνδυνα για την ανθρώπινη υγεία, θα πρέπει να λαμβάνονται κάποια ισχυρά μέτρα προστασίας. Τα μέτρα, αυτά, είναι αναγκαία, για τους ανθρώπους, εκείνους, που εκτίθενται στην ακτινοβολία, λόγω της επαγγελματικής τους ιδιότητας. Στους χώρους, εκείνους, όπου βρίσκονται εγκατεστημένες κεραίες, θα πρέπει να εκτελούνται εργασίες μόνο όταν οι συγκεκριμένες κεραίες, στις οποίες θα πραγματοποιηθούν οι εργασίες, έχουν παύσει τη λειτουργία τους. Επίσης, θα πρέπει να διασφαλίζεται ότι κατά τη διάρκεια πραγματοποίησης των εργασιών, δε θα ενεργοποιηθούν οι συγκεκριμένοι πομποί που είναι συνδεδεμένοι με τις κεραίες, στις οποίες πραγματοποιούνται οι εργασίες. Δυστυχώς, όμως, εξαιτίας των κακών σχεδιασμών και τη μη λήψη των απαιτούμενων μέτρων, αυτό είναι δύσκολο να διασφαλιστεί.

Ένα σωστό και αποτελεσματικό μέτρο, για την προστασία των επαγγελματικά εκτιθέμενων, είναι η χρήση προσωπικών δοσιμέτρων, από τους εργαζόμενους σε τέτοιου είδους, επαγγελματικούς χώρους. Δηλαδή σε πάρκα κεραιών, ραδιοτηλεοπτικούς σταθμούς, νοσοκομεία, ακτινολογικά εργαστήρια, επιστημονικά και ερευνητικά εργαστήρια, στρατιωτικές βάσεις κ.τ.λ.

Τα προσωπικά δοσίμετρα είναι ανιχνευτές κατωφλίου της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, όπου το κατώφλι, αυτό τίθεται, συνήθως στο 50%, των ορίων για τους επαγγελματικά εκτειθέμενους. Στην περίπτωση όπου κάποιος εργαζόμενος βρεθεί σε περιοχή, όπου οι τιμές της ακτινοβολίας, ξεπερνούν το κατώφλι του προσωπικού δοσιμέτρου, τότε παράγεται από αυτό ένας ήχος, που προειδοποιεί το χρήστη, ότι βρίσκεται σε περιοχή, όπου υπάρχει εκπομπή μεγάλων ποσοστών ακτινοβολίας. Τα δοσίμετρα, αυτά, είναι κατασκευασμένα, έτσι ώστε να λειτουργούν σε μια ευρεία περιοχή συχνοτήτων και μπορούν χρησιμοποιηθούν σε όλους τους χώρους, όπου υπάρχει παρουσία ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

Ειδικότερα για τους χώρους, εκείνους, στους οποίους, είναι εγκατεστημένες κεραίες, οι εργαζόμενοι θα πρέπει να τοποθετούν το δοσίμετρο κοντά στην κεραία για μικρό χρονικό διάστημα (συνήθως 30 sec). Εάν η κεραία, είναι ενεργή. Τότε θα ηχήσει το προειδοποιητικό σήμα του δοσιμέτρου. Η χρήση των δοσιμέτρων, διασφαλίζει τους εργαζόμενους, ότι εκτελούν τις εργασίες τους σε ασφαλές περιβάλλον. Το δοσίμετρο, θα πρέπει, πάντα, να τοποθετείται, στα σημεία του σώματος του εργαζομένου, που θεωρούνται, ότι εισέρχονται σε υψηλές τιμές πεδίων.

Τέλος, τα πιο σύγχρονα και εξελιγμένα, τεχνολογικά δοσίμετρα, έχουν τη δυνατότητα να δίνουν και ένδειξη της επί τοις εκατό έκθεσης που δέχεται ο επαγγελματικά εκτιθέμενος σε σχέση με τα καθιερωμένα πρότυπα και όρια ασφαλείας.

# ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ιονίζουσα ακτινοβολία είναι το κομμάτι, εκείνο, του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, το οποίο έχει μελετηθεί, κατά πολύ μεγάλο ποσοστό, από τους ερευνητές. Μέχρι και πριν λίγες δεκαετίες, η μελέτη των επιδράσεων της ακτινοβολίας, αφορούσε μόνο την ιονίζουσα ακτινοβολία, καθώς οι μελέτες για τις επιδράσεις της μη ιονίζουσας ακτινοβολίας, άρχισαν μόλις πριν λίγες δεκαετίες.

Σήμερα, είναι, γνωστές, στο ευρύ κοινό, οι επιδράσεις της ιονίζουσας ακτινοβολίας, καθώς και οι κίνδυνοι που απορρέουν, για τον άνθρωπο και το περιβάλλον. Έτσι, λοιπόν, έχουν θεσπιστεί κανόνες και μέτρα προστασίας, για το γενικότερο πληθυσμό και τους επαγγελματικά εκτιθέμενους στην ιονίζουσα ακτινοβολία.

Ο βαθμός επικινδυνότητας της μη ιονίζουσας Η/Μ ακτινοβολίας δεν έχει μέχρι στιγμής βρεθεί από την επιστήμη. Αυτό το βλέπουμε στις διαφορές που έχουν μεταξύ τους οι επιστήμονες που ασχολούνται με το συγκεκριμένο θέμα, οι οποίοι έχουν χωριστεί σε δυο ομάδες. Η μια υποστηρίζει

ότι ο κίνδυνος που διατρέχουμε εξαιτίας της μη ιονίζουσας Η/Μ ακτινοβολίας είναι αμελητέος έως ανύπαρκτος, ενώ η άλλη υποστηρίζει και μάλιστα πολύ θερμά το αντίθετο. Βέβαια, η αλήθεια είναι μία και πρέπει να αποκαλυφθεί το συντομότερο δυνατόν, αφού η Η/Μ ακτινοβολία είναι κάτι στο οποίο είμαστε αναγκασμένοι να εκτιθέμεθα καθημερινά. Ευτυχώς, φαίνεται ότι το θέμα έχει αρχίσει να απασχολεί μια ήδη μεγάλη και συνεχώς αυξανόμενη μερίδα ανθρώπων, με αποτέλεσμα οι μελέτες να γίνονται πιο εντατικές. Παρότι ο βαθμός επικινδυνότητας, όπως είπαμε παραπάνω, δεν έχει προσδιοριστεί επακριβώς, εντούτοις πιστεύουμε ότι η συνετή αντιμετώπιση του προβλήματος θα ήταν πολύ λογική, έτσι ώστε να αποφύγουμε τυχόν δυσάρεστες συνέπειες στο μέλλον. Λέγοντας ‘συνετή αντιμετώπιση’ εννοούμε από μέρους των πολιτών, αλλά και από μέρους των διάφορων κρατών και εταιριών παγκοσμίως. Τα κράτη και οι διάφορες εταιρίες που η δραστηριότητά τους είναι σχετική με το θέμα (ΔΕΗ, εταιρείες κινητής τηλεφωνίας, εταιρίες κατασκευής ηλεκτρονικών συσκευών, κλπ.) θα πρέπει να μελετούν επιμελέστερα οτιδήποτε σχέδια έχουν να κάνουν με εγκαταστάσεις επιβαρυντικές προς το περιβάλλον και κατά συνέπεια προς τους ίδιους τους ανθρώπους. Θα πρέπει επίσης να μελετήσουν τρόπους μείωσης της εκπομπής Η/Μ ακτινοβολίας αυτών των εγκαταστάσεων (υποσταθμοί ενέργειας, καλώδια υψηλής τάσης κ.α.) ή συσκευών (κινητά τηλέφωνα, Η/Υ, τηλεοράσεις κ.α.) στο ελάχιστο. Επιπλέον η πολιτεία, οι διεθνείς οργανισμοί θα πρέπει με τις ενέργειες τους να υποστηρίξουν και να ενισχύσουν την επιστημονική έρευνα γύρω από το θέμα, όπως επίσης και να εγγυηθούν την ανεξαρτησία της καθώς και την αντικειμενικότητα των επιτροπών που συγκροτούν για την μελέτη του προβλήματος. Όσον αφορά τους απλούς ανθρώπους, θα πρέπει να αρχίσουν να χρησιμοποιούν προσεκτικότερα τις διάφορες οικιακές συσκευές και ειδικότερα εκείνες που θεωρούνται πιο ‘επικίνδυνες’ ως προς αυτόν τον τομέα. Συχνά, όμως, κάτι τέτοιο αντιβαίνει στις καταναλωτικές αντιλήψεις και συμπεριφορές μας (και αυτό κατά τη γνώμη μας εντοπίστηκε και στις απαντήσεις του ερωτηματολογίου).

Σημαντικός πιστεύουμε ότι είναι σε αυτό το σημείο ο ρόλος των ΜΜΕ. Μέχρι στιγμής η έντυπη δημοσιογραφία κυρίως, έχει να επιδείξει πολλά άρθρα σχετικά με την μη ιονίζουσα ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, τα περισσότερα από τα οποία αφορούν τα κινητά τηλέφωνα και τους πυλώνες της Δ.Ε.Η. ο ρόλος των ΜΜΕ είναι σημαντικός αφού αποτελούν τον κυριότερο δρόμο για την ενημέρωση και την ευαισθητοποίηση των πολιτών. Ωστόσο μερικές φορές φαίνεται τα ΜΜΕ να κάνουν τα πάντα για να τραβήξουν το ενδιαφέρον και να κερδίσουν ένα ευκολόπιστο κοινό, προσφέροντας ειδήσεις πρωτότυπες και όσο γίνεται περισσότερο ανησυχητικές και τραγικές. Τις περισσότερες φορές αυτές οι ειδήσεις είναι υπερβολικές ή ανακριβείς. Είναι κάτι ασφαλώς που ισχύει γενικά, αλλά και στο θέμα αυτό. Έτσι τα ΜΜΕ προσφέρουν εντυπωσιακές αναφορές, μερικές φορές ακόμα και για μεμονωμένα περιστατικά. Το κοινό δεν μπορεί να ξέρει από πριν τι είναι σωστό και τι φαίνεται σωστό. Η κατάσταση αυτή μπορεί να γίνει εύκολα εκμεταλλεύσιμη από όσους δεν επιθυμούν να συνεχιστούν οι έρευνες γύρω από το θέμα.

Αυτό που πραγματικά πρέπει να γίνει από τα ΜΜΕ είναι από τη μια μεριά να δώσουν τη δυνατότητα στην επιστημονική κοινότητα να διατυπώσει τεκμηριωμένα τις απόψεις της, συχνά διαφορετικές και από την άλλη μεριά να βοηθήσουν στην ενημέρωση των πολιτών ώστε να γίνουν γνώστες των πηγών εκπομπής της μα ιονίζουσας ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και να είναι σε θέση να λάβουν όλα τα επιβαλλόμενα μέτρα χωρίς υπερβολές. Επίσης τα ΜΜΕ οφείλουν να ενημερώνουν ταχύτατα το κοινό για κάθε πληροφορία και εξέλιξη, που θα είναι ωστόσο εξακριβωμένη και θα έχει επιστημονική εγκυρότητα.

# ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] Κ.Θ. Λιολιούσης, "Βιολογικές επιδράσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας", Εκδόσεις Δίαυλος.

[2] Κ. Λιολιούσης, Σ. Τσιτομενέας, Ε. Βόγκλης, Πανελλήνιο Συνέδριο Φυσικής, Ηράκλειο, Απρίλιος 1996.

[3] Σ. Χαραλάμπους, "Δοσιμετρία και βιολογικές επιπτώσεις των ακτινοβολιών", Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη 1985.

[4] Β. Μακρόπουλος, Κ. Χαλκιώτης, "Αξιολόγηση και διαχείριση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας για επαγγελματικά εκτειθέμενους", Ελληνικό Ινστιτούτο Υγιεινής και ασφάλειας της εργασίας, Αθήνα 2002.

[5] P.R Young, "Biomedical Engineering – Electromagnetic waves and the human body".

[6] "Biological Effects and Potential Hazards of Radiofrequency Electromagnetic Fields", Federal Communications Commission Office of Engineering and Technology, Augast 1999.

[7] "Biological Effects of Electromagnetic Fields", Research Program, University of Kuopio, Finnish Institute of Occupational Health, Finland, June 1997.

[8] Κ. Θεοδώρου, "Αλληλεπίδραση Ακτινοβολίας και Ύλης",, Εργαστήριο Φυσικής-Ακτινοφυσικής, Πανεπιστημιακό Νοσοκομείο Πατρών.

[9] Γ. Τερζούδη, Γ. Παντελιάς, "Βιοδοσιμετρία Ιονιζουσών Ακτινοβολιών και Ανάγκη Εξατομίκευσης της Επικινδυνότητας της Απορροφούμενης Δόσης", Αύγουστος 2000.

[10] Σ. Τσιτομενέας, Κ.Γ Πάσχου, "Τα Ισχυρά Ηλεκτρομαγνητικά πεδία και η Επικινδυνότητά τους", Περιβαλλοντικό Συνέδριο Ε.Ε.Φ, Καλαμάτα, Ιανουάριος 1992.

# LINKS

www.iatrotek.gr

www.bioacademy.gr

www.ilioupolisline.gr/modules.php

www.ecocrete.gr

www.emphs.gr

www.mednet.gr

www.nuclear-medicine.gr

www.neo.gr

www.physics4ugr

health.in.gr

www.geo.auth.gr
www.cern.ch
www.weeklytelecom.gr
www.biosim.ntua.gr
www.politikokafeneio.com
www.enet.gr
tovima.dolnet.gr
www.ucy.ac.cy/Greek/
www.rizospastis.gr
www.prin.gr
www.who.int/en/
www.irpa.net
ta-nea.dolnet.gr
www.hermes-program.gr
www.vofafone.gr
www.tim.com
www.ert.gr
www.kerdos.gr
www.eyrytanika.gr
www.otenet.gr/msakkas
www.iospress.gr
www.kathimerini.gr
www.eu.int
www.aegean.gr
www.upatras.gr
www.nomosphysis.org.gr/articles
www.eeae.gr
www.e-telescope.gr
www.med.auth.gr
www.e-ecology.gr
www.dei.gr
www.synigoros.gr
www.efie.gr
www.medical-physics.gr
www.myphone.gr
www.sante.gouv.fr/
www.haravgi.com.cy

www.tsioumas.gr

www.medlook.gr

www.gym-n-souliou.ser.sch.gr

www.interscience.wiley.com

www.cs.teilar.gr

http://kyttariki.biol.uoa.gr/

www.demokritos.gr/

www.medlook.net/emf/standards.asp

International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP)

http://europa.eu.int/comm/research/infocentre/index_en.cfm

www.wirc.org

www.arpansa.gov.au

http://www.mmfai.org/public/

www.dsi.gr/antennas/interphone

www.pekp.gr/modules.php

http://www.goaegis.com

www.iatroclub.gr

www.qualitynet.gr

www.promitheas.org/vote.htm

www.insomnia.gr

trans.dei.gr

www.mesogios.gr

www.med-physics.com

europa.eu.int

www.biosim.ntua.gr

www.biomed.ntua.gr

http:/bagan.srce.hr/cost244

www.edu.uoc.gr/~poreia/articles/katsaros.htm

www.mod.mil.gr

www.oikoen.gr

www.pulsar.gr/physic/pyriatr/pyriatrmain.htm

www.ekt.gr/ncpfp6/euratom/ participation/v_wp_200201_el.pdf

www.focusmag.gr/

www.new-dimension.gr/

www.ece.rutgers.edu

www-groups.dcs.st-and.ac.uk

www.heliosat3.de/e-learning

http://monographs.iarc.fr

http://multimedia.biol.uoa.gr

www.elinyae.gr